بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به:

- ارواح طیبه شهدای انقلاب اسلامی به ویژه شهدای هشت سال جنگ تحمیلی (۱۳۶۷-۱۳۵۹).
- ارواح طیبه شهدای هفتم تیر ماه سال ۱۳۶۰ علی‌الخصوص روح بلند مرتبه شهید مهندس موسی کلانتری (وزیر اسبق راه و ترابری) و مرحوم دکتر امین ملکوتی (پزشک) که در بهمن ماه سال ۱۳۸۸ در آمریکا به رحمت خدا پیوست.
- تمام تولید کنندگان محصولات کشاورزی- دامی و زحمت کشان گرانقدری که با علاقه مندی و اشتیاق، بیشتر نیاز کشور را به محصولات کشاورزی غنی شده، تامین می‌نمایند.
- تمام عزیزان مسئولی که دلشان همواره برای افزایش عملکرد هکتاری، افزایش کارآیی آب و کود، تولید محصولات کشاورزی غنی شده، افزایش درآمد کشاورزان سخت کوش کشور و ارتقاء سطح سلامت مردم که همانا تامین امنیت غذایی جامعه است، می‌تپد.

"سلامتی از مزرعه می آید"

پتاسیم در کشاورزی

"نقش پتاسیم در تولید محصولات کشاورزی سالم"

پروفسور محمدجعفر ملکوتی
استاد دانشگاه تربیت مدرس

دکتر علی‌اصغر شهابی
استادیار و رئیس مرکز تحقیقات
کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان

دکتر کامبیز بازرگان
استادیار و رئیس موسسه تحقیقات خاک و آب

مبلغان انتشارات
۱۳۹۵

سرشناسه: ملکوتی، محمدجعفر- نویسنده اول

عنوان ونام پدیدآور: پتاسیم در کشاورزی: نقش پتاسیم در تولید محصولات کشاورزی سالم

تالیف: محمدجعفر ملکوتی، علی اصغر شهابی و کامبیز بازرگان

مشخصات نشر: تهران مبلغان ، ۱۳۹۵

مشخصات ظاهری: ۳۵۲ ص.

شابک: ۰-۹۵-۲۶۱۴- ۹۶۴-۹۷۸

وضعیت فهرست نویسی: فیپا

یادداشت: کتابنامه

موضوع: پتاسیم- کشاورزی

رده بندی کنگره: ۱۳۹۳ ۷۲ م ۹الف/S۶۳۳/۵

رده بندی دیویی: ۶۳۱/۸۱۰۹۵۵

شماره کتابشناسی ملی: ۳۵۴۸۵۶۹

پتاسیم در کشاورزی: نقش پتاسیم در تولید محصولات کشاورزی سالم

مؤلفان: پروفسور محمد جعفر ملکوتی ، دکتر علی اصغر شهابی و دکتر کامبیز بازرگان

به سفارش: شرکت مروارید ارس باران

به نشانی: تهران، خیابان گاندی جنوبی، کوچه هفتم (شهید پالیزوانی)، پلاک ۲۲، واحد ۹

طراح روی جلد: مازیار بریمانی

حروفچین و صفحه آرا: زینب نجاری

لیتوگرافی: نوید

چاپ: آبنوس

شمارگان: ۳۰۰۰ نسخه

چاپ دوم: پاییز ۱۳۹۵

ناشر: انتشارات مبلّغان

نشانی: تهران، خیابان دکتر بهشتی، خیابان شهید سرافراز (دریای نور)، خیابان پنجم، شماره ۴، تلفن: ۷۰-۸۸۷۳۳۰۶۹ و نمابر: ۸۸۷۳۶۰۸۸

وب سایت: www.moballeghanpublishing.ir

پست الکترونیک: info@moballeghanpublishing.ir

شابک: ۰-۹۵-۲۶۱۴-۹۶۴-۹۷۸ (کلیهٔ حقوق برای ناشر محفوظ است)

بها: هدیه شرکت مروارید ارس باران

گندمی را زیر خاک انداختند
بار دیگر کوفتندش ز آسیا

پس ز خاکش خوشه‌ها بر ساختند
قیمتش افزود و نان شد جانفزا
مولانا

کشاورزان ارجمند و مولدین محترم کشاورزی

با سلام و آرزوی توفیق الهی، ما متخصصین حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاهی به عنوان خادمین شما بزرگواران در تلاش هستیم تا زحمات شما را ارج نهاده و در این راستا مطالعه و اجرای محتویات کتاب حاضر را اکیدا توصیه می‌نماییم. امید است با به کارگیری محتویات این کتاب که حاصل سال‌ها تحقیق، تجربه و عملیات میدانی نگارندگان، دانشجویان مقطع دکتری و کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس و محققین توانمند مؤسسه تحقیقات خاک و آب می‌باشد، بتوانیم ضمن نیل به تولید پایدار و ارتقای سطح سلامت جامعه، به این تفکر بنیادی که سلامتی از مزرعه می‌آید نه از داروخانه، تحقق بخشیده و علاوه بر افزایش کارآیی کودها، با رعایت مسائل زیست محیطی، بهبود کمی و کیفی محصولات کشاورزی، برای تأمین امنیت غذایی جامعه و افزایش درآمد شما عزیزان را به ارمغان بیاوریم. انشاالله.

تشدید مصرف نامتعادل کود در ۸ سال اخیر و مقایسه آن با مصرف کود نسبتاً آرمانی سال ۱۳۷۹ در کشور

سال / کود	۱۳۷۹ (هزار تن)	۱۳۸۵ (هزار تن)	۱۳۸۶ (هزار تن)	۱۳۸۸ (هزار تن)	۱۳۹۰ (هزار تن)	۱۳۹۳ (هزار تن)	۱۳۹۴ (هزار تن)
کودهای نیتروژنه	۱۸۰۰	۲۶۰۵	۲۵۷۲	۲۰۵۰	۱۱۵۰	۱۴۵۲	۱۴۰۰
کودهای فسفاته	۶۰۰	۱۰۹۴	۱۰۰۶	۹۳۰	۳۵۰	۳۲۸	۳۳۰
کودهای پتاسیمی	۴۰۰	۳۷۶	۴۱۰	۱۱۵	۹۷	۱۰۷	۹۷
جمع	۲۸۰۰	۴۰۷۵	۳۹۸۸	۳۰۹۵	۱۵۹۷	۱۸۸۷	۱۸۲۷
نسبت کودی	۱۰۰-۴۰-۲۳	۱۰۰-۳۸-۱۵	۱۰۰-۳۷-۱۶	۱۰۰-۴۵-۰۶	۱۰۰-۳۰-۰۹	۱۰۰-۲۳-۰۷	۱۰۰-۲۴-۱۴

نیاز کودی بهینه (آرمانی) سالانه برای کشور در مقطع کنونی

نام کود	مقدار (هزار تن)	نام کود	مقدار (هزار تن)
۱-کود کامل زراعت (بسته‌بندی خاکستری)	۴۰۰	۱۶-بیو کوکرد آلی گرانوله	۱۰۰
۲-کود کامل باغبانی و اراضی شور (بسته‌بندی سبز)	۲۰۰	۱۷-ساری کود (کوکرد کشاورزی) گرانوله	۱۰۰
۳-کود کامل آبیاری (بسته‌بندی آبی)	۲۰۰	۱۸-کوکرد آلی گرانوله	۱۰۰
۴-اوره	۱۰۰۰	۱۹-کلرور کلسیم خوراکی	۵۰
۵-نیترات فسفات آمونیوم	۲۰۰	۲۰-سولفات مضاعف پتاسیم منیزیم معدنی	۵۰
۶-سولفات آمونیوم	۲۰۰	۲۱-سولفات منیزیم	۱۰۰
۷-اوره با پوشش گوگردی محتوی روی (SCU+Zn)	۲۰۰	۲۲-سولفات روی گرانوله (۲۸ درصد روی)	۱۰۰
۸-سوپر فسفات تریپل (TSP)	۲۰۰	۲۳-کود کامل میکروی معدنی گرانوله	۲۰
۹-فسفات آمونیوم (DAP و MAP)	۲۰۰	۲۴-سولفات آهن (فرو)	۵۰
۱۰-سوپر فسفات ساده (SSP)	۲۰۰	۲۵-سولفات منگنز	۲۰
۱۱-کود میکروبی فسفاته گرانوله	۱۰۰	۲۶-اسید بوریک	۱۰
۱۲-بیوفسفات طلایی گرانوله	۱۰۰	۲۷-سولفات مس	۱۰
۱۳-کلرور پتاسیم (MOP)	۲۰۰	۲۸-کودهای زیستی (بیولوژیکی)	۲۰ میلیون بسته
۱۴-سولفات پتاسیم (SOP)	۲۰۰	۲۹-کودهای آلی	۱۰۰۰
۱۵-سولوپتاس (سولفات پتاسیم محلول)	۱۰۰	جمع کل	۴۸۰۰

+K

-K

فهرست

سخنی با خوانندگان عزیز الف
شرکت مروارید ارس باران در یک نگاه ب
پیش گفتار چاپ دوم ث
پیش گفتار ۱ (چاپ اول) ح
پیش گفتار ۲ (چاپ اول) خ
پیش گفتار ۳ (چاپ اول) د
مقدمه ۱
فصل اول: پتاسیم در خاک ۵
۱-۱- کلیات ۶
۱-۲- اشکال مختلف پتاسیم در خاک ۷
۱-۲-۱- پتاسیم محلول ۸
۱-۲-۲- پتاسیم تبادلی ۱۲
۱-۲-۳- پتاسیم غیر تبادلی ۱۵
۱-۲-۴- پتاسیم ساختمانی ۱۹
۱-۳- کانی‌های رسی مؤثر در پویایی اشکال مختلف پتاسیم در خاک ۲۰
۱-۳-۱- ظرفیت آزادسازی پتاسیم ساختمانی ۲۹
۱-۳-۲- آزاد شدن پتاسیم از کانی‌های دارای پتاسیم ۳۰
۱-۴- تثبیت پتاسیم ۳۲
۱-۴-۱- سازوکارهای تثبیت پتاسیم ۳۷
۱-۴-۲- عوامل مؤثر بر تثبیت پتاسیم در خاک ۳۸
۱-۵- سینتیک تبادل پتاسیم در خاک ۴۰
۱-۵-۱- کاربرد سینتیک در فرایندهای شیمیایی خاک ۴۱
۱-۵-۲- روش‌های مطالعات سینتیکی در خاک ۴۱
۱-۶- تعادل و معادله گاپون در تبادل پتاسیم - کلسیم در خاک‌های آهکی ۴۵
۱-۷- تحرک پتاسیم در خاک ۴۷
۱-۸- اثر کشت و کار مداوم بر اشکال مختلف پتاسیم در خاک ۵۰
۱-۹- تغییرات پتاسیم قابل جذب خاک در طول فصل رشد گیاه ۵۲
۱-۱۰- روش‌های ارزیابی پتاسیم قابل استفادهٔ گیاه در خاک ۵۳
۱-۱۰-۱- استات آمونیوم یک نرمال و خنثی ۵۵
۱-۱۰-۲- کلرور کلسیم ۰/۰۱ مولار ۵۶
۱-۱۰-۳- بی‌کربنات آمونیوم - دی تی پی ای ۵۷
۱-۱۰-۴- مهلیچ یک (M1) ۵۸
۱-۱۰-۵- مهلیچ ۳ (M3) ۵۸
۱-۱۰-۶- اسید نیتریک مولار جوشان ۵۹
۱-۱۰-۷- تترافنیل بران سدیم ۵۹
۱-۱۰-۸- رزین‌های تبادل کاتیونی ۶۰
۱-۱۰-۹- مروری بر تحقیقات انجام شده در رابطه با عصاره گیرها در کشور ۶۰
۱-۱۰-۱۰- درصد اشباع پتاسیم ۶۸

۱۱-۱۰-۱- رابطه Q/I ۶۹
۱۲-۱۰-۱- اندازه گیری انرژی آزاد ۷۶
۱۳-۱۰-۱- همدماهای جذب پتاسیم ۷۸
۱۴-۱۰-۱- الکترو اولترافیلتراسیون (EUF) ۷۹
فصل دوم: پتاسیم در گیاه ۸۱
۱-۲- کلیات ۸۲
۲-۲- جذب پتاسیم به وسیله گیاه ۸۳
۳-۲- تاثیر عوامل گیاهی در قابلیت جذب پتاسیم ۸۵
۱-۳-۲- مشخصات ریشه ۸۶
۲-۳-۲- تاثیر ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه ۸۶
۳-۳-۲- تاثیر توسعه و شکل ریشه ۸۷
۴-۳-۲- تاثیر دما ۸۸
۵-۳-۲- تاثیر محیط ریشه ۸۸
۶-۳-۲- اثر گونه و رقم گیاهی ۸۹
۷-۳-۲- تاثیر جذب تماسی ۹۰
۴-۲- پتاسیم در فیزیولوژی گیاه ۹۱
۱-۴-۲- فعال شدن آنزیم‌ها ۹۱
۲-۴-۲- متابولیسم مواد هیدروکربن ۹۲
۳-۴-۲- ساختن پروتئین ۹۳
۴-۴-۲- فتوسنتز ۹۴
۵-۴-۲- تنظیم اسمز ۹۵
۶-۴-۲- بزرگ شدن سلول ۹۶
۷-۴-۲- تقسیم سلولی و رشد ۹۷
۸-۴-۲- باز و بسته شدن روزنه‌ها ۹۷
۹-۴-۲- حرکت‌های شبانه‌روزی و تماسی برگ‌ها ۹۸
۱۰-۴-۲- انتقال مواد در آوندهای آبکش ۹۹
۱۱-۴-۲- موازنه آنیون - کاتیون ۱۰۰
۱۲-۴-۲- افزایش کارایی مصرف آب ۱۰۰
۱۳-۴-۲- افزایش مقاومت به سرمازدگی ۱۰۲
۱۴-۴-۲- افزایش مقاومت به خشکی ۱۰۲
۱۵-۴-۲- افزایش مقاومت به شوری ۱۰۴
۱۶-۴-۲- افزایش مقاومت به بیماری ۱۰۵
۱۷-۴-۲- افزایش مقاومت به آفات ۱۰۶
۱۸-۴-۲- افزایش مقاومت به خوابیدگی غلات ۱۰۶
۱۹-۴-۲- رابطه پتاسیم - سدیم (K/Na) ۱۰۷
۲۰-۴-۲- پتاسیم و تثبیت ازت در گیاهان لگوم ۱۰۸
۵-۲- اثر پتاسیم بر کیفیت محصولات زراعی و باغی ۱۰۹
۶-۲- مصرف تجملی پتاسیم ۱۱۱
۷-۲- تحرک دوباره پتاسیم در بین اندام‌های گیاهی ۱۱۱
۱-۷-۲- جوانه زدن دانه ۱۱۲
۲-۷-۲- ناکافی بودن و یا قطع مصرف ۱۱۲
۳-۷-۲- مرحله تولید مثل ۱۱۳

۴-۷-۲- دوره پیش از ریزش برگ (گیاهان چندساله) ۱۱۷
۸-۲- کمبود پتاسیم در گیاهان ۱۱۷
۹-۲- روش‌های تشخیص کمبود پتاسیم ۱۱۸
۱-۹-۲- روش تجزیه خاک ۱۱۸
۲-۹-۲- روش تجزیه گیاه ۱۱۹
۳-۹-۲- روش مشاهده علائم ظاهری کمبود ۱۲۳
۱۰-۲- مقابله با کمبود پتاسیم ۱۳۲
۱۱-۲- درمان کمبود پتاسیم ۱۳۳
۱-۱۱-۲- مصرف کودهای پتاسیمی ۱۳۴
۲-۱۱-۲- مصرف کودهای بیولوژیک پتاسیمی (BPF) ۱۳۷
فصل سوم: تحقیقات انجام شده در رابطه با اثر پتاسیم بر محصولات کشاورزی در ایران ۱۴۳
۱-۳- گندم، برنج، جو و ذرت ۱۴۴
۲-۳- سیب زمینی، پیاز و گوجه فرنگی ۱۶۰
۳-۳- چغندر قند و نیشکر ۱۶۸
۴-۳- پنبه ۱۷۲
۵-۳- دانه‌های روغنی ۱۷۴
۶-۳- سویا و بادام زمینی ۱۸۰
۷-۳- مرکبات ۱۸۱
۸-۳- انگور و سیب درختی ۱۸۵
۹-۳- سایر محصولات ۱۸۹
فصل چهارم: مباحث نوین و نیازهای تحقیقاتی ۱۹۱
۱-۴- مدل‌های شبیه‌سازی جذب پتاسیم به وسیله ریشه گیاهان ۱۹۲
۲-۴- نحوه تخلیه پتاسیم در ریزوسفر گیاه ۱۹۵
۳-۴- اثر متقابل خاک و ریشه در جذب پتاسیم ۱۹۸
۴-۴- تاثیر وضعیت تغذیه پتاسیمی بر ترشحات ریشه ۱۹۸
۵-۴- لزوم تدوین شاخص جدید برای ارزیابی قابلیت استفاده پتاسیم در خاک ۱۹۹
۶-۴- نقش پتاسیم در سلامت انسان ۲۰۱
۱-۶-۴- کمبود پتاسیم ۲۰۲
۲-۶-۴- توصیه‌های رژیمی ۲۰۳
۳-۶-۴- منابع غذایی پتاسیم ۲۰۳
۴-۶-۴- سلامتی انسان ۲۰۵
۵-۶-۴- مسمومیت با پتاسیم ۲۰۵
۷-۴- خط مشی آتی در راستای تامین هدف‌های چشم‌انداز ۲۰ ساله کشور ۲۰۶
فصل پنجم: اثربخشی کودهای پرمصرف و روی(ZN) در میزان افزایش عملکرد هکتاری و تولید ... ۲۱۳
۱-۵- اثربخشی کودهای نیتروژنی در افزایش عملکرد و تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم ۲۱۴
۲-۵- اثربخشی کودهای فسفاتی در افزایش عملکرد و تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم ۲۱۶
۳-۵- اثربخشی کودهای پتاسیمی و روی در افزایش عملکرد و تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم ۲۱۸
۴-۵- روش‌های تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم در کشور ۲۱۹
۱-۴-۵- پی آمدهای ناگوار استمرار مصرف بی رویه کودهای نیتروژنی و فسفاتی وارداتی بر سلامت جامعه ۲۲۱

۲-۴-۵- آلودگی‌های نیترات ناشی از مصرف بی رویه کودهای نیتروژنی ۲۲۲
۳-۴-۵- آلودگی‌های کادمیوم ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای فسفاتی ۲۲۵
۴-۴-۵- چالش‌های پیش رو و ارائه راه حل‌های عملی برای تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم ۲۲۷
۵-۴-۵- لزوم تغییر نگرش از تامین کالری روزانه به حل مشکل گرسنگی سلولی ۲۲۸
۵-۵- نقش پتاسیم در کاهش اثرات شوری و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی ۲۲۹
۱-۵-۵- اثر پتاسیم بر کاهش تنش شوری ۲۳۰
۲-۵-۵- اثر مصرف پتاسیم بر افزایش عملکرد هکتاری گندم و کلزا ۲۳۴
۶-۵- نقش پتاسیم در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش آلاینده‌ها ۲۳۵
۱-۶-۵- تاثیر زمان‌های مختلف مصرف پتاسیم بر کمیت و کیفیت گندم در آذربایجان شرقی ۲۳۵
۲-۶-۵- محلول پاشی پتاسیم و سیلیسیم بر تحمل به شوری در سه رقم گندم ۲۳۶
۳-۶-۵- تاثیر مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی در عملکرد و کیفیت سیب زمینی در آذربایجان شرقی ۲۳۷
۴-۶-۵- تاثیر زمان مصرف کودهای پتاسیمی در عملکرد و کیفیت سیب زمینی در آذربایجان شرقی ۲۳۸
۵-۶-۵- تاثیر مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی و روی در عملکرد و کیفیت سیب زمینی در آذربایجان شرقی ۲۴۰
۶-۶-۵- نقش پتاسیم و روی بر کاهش آلایندگی نیترات و کادمیوم در پیاز و سیب زمینی ۲۴۰
۷-۵- بررسی وظایف پتاسیم و روی در گیاهان و انواع، زمان و روش مصرف آن‌ها ۲۴۳
۱-۷-۵- پتاسیم (K) ۲۴۳
۲-۷-۵- نوع و زمان مصرف کودهای پتاسیمی ۲۴۳
۳-۷-۵- روی (Zn) ۲۴۹
۴-۷-۵- نوع و زمان مصرف کودهای محتوی روی ۲۵۴
۸-۵- ارجحیت سوپرفسفات ساده بر سوپرفسفات تریپل وارداتی از نظر تولید ... ۲۵۵
۹-۵- ارجحیت مصرف سرک سولوپتاس تولید داخل بر دیگر کودهای پتاسیمی ۲۵۷
فصل ششم: چکیده چند پایان‌نامه، جمع بندی، پیشنهادها، چند پرسش کاربردی و پاسخ آن‌ها ۲۵۹
۱-۶- چکیده چند پایان‌نامه ۲۶۰
۱-۱-۶- بررسی اثر مصرف بهینه کود بر عملکرد و ترکیبات شیمیایی اسانس گیاه دارویی به لیمو ۲۶۰
۲-۱-۶- بررسی اثرات کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و دامی بر ویژگی‌های زراعی و افزایش ... ۲۶۱
۳-۱-۶- تاثیر سطوح مختلف روی و بور بر عملکرد و ماده خشک در سیب زمینی ۲۶۱
۴-۱-۶- بررسی مصرف بهینه کودی در افزایش عملکرد و کاهش نسبت مولی اسیدفیتیک به روی در دانه برنج ۲۶۲
۵-۱-۶- عملکرد گل و کلاله زعفران تحت تاثیر مصرف پتاسیم و روی در غرب استان خراسان رضوی ۲۶۳
۶-۱-۶- بررسی اثربخشی اشعه گاما در شرایط مصرف بهینه کودی بر افزایش طول عمر انباری ... ۲۶۴
۷-۱-۶- نقش مصرف بهینه کود بر عملکرد کمی و کیفی سیر در استان مازندران ۲۶۵
۸-۱-۶- بررسی تاثیر پتاسیم و روی بر افزایش عملکرد و کاهش کادمیوم در غده‌های سیب زمینی ۲۶۶
۹-۱-۶- نقش پتاسیم (K) و روی (Zn) در کاهش اثرات تنش شوری ۲۶۷
۲-۶- چند پرسش کاربردی و پاسخ آن‌ها ۲۶۸
۳-۶- جمع‌بندی و پیشنهادها ۲۸۳
فصل هفتم: منابع و چکیده کتاب به زبان انگلیسی ۲۹۵
۱-۷- منابع مورد استفاده در چاپ اول ۲۹۶
۲-۷- منابع مورد استفاده در چاپ دوم ۳۲۷
۳-۷- چکیده چاپ اول کتاب به زبان انگلیسی ۳۳۲

سخنی با خوانندگان عزیز

دلسوزی، تلاش و کوشش **پروفسور محمدجعفر ملکوتی** چهره ماندگارکشور به همراه همکاران ایشان در موسسه تحقیقات خاک و آب (جنابان آقایان **دکتر کامبیز بازرگان** رئیس محترم موسسه تحقیقات خاک وآب و **دکتر علی‌اصغر شهابی** رئیس محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان) در تعلیم، تربیت، انتقال معلومات و تجربیات ارزشمند در کنار برقراری رابطه صمیمی با فعالان عرصه کشاورزی و ایجاد فضای دلنشین کسب علم و دانش و درک شرایط ویژه ایران عزیز در زمینه تولید محصولات کشاورزی سالم، حقیقتاً قابل ستایش است. مجموعه **شرکت مروارید ارسباران** بر خود وظیفه می‌داند به عنوان اولین تولیدکننده **کودهای سولفات پتاسیم و سولوپتاس(سولفات پتاسیم محلول)** در کشور از زحمات و خدمات ارزشمند استادان گرانقدر تقدیر و تشکر نماید.

کتاب پتاسیم درکشاورزی: نقش پتاسیم در تولید محصولات کشاورزی سالم در جهت ارتقای سطح آگاهی جامعه کشاورزی و همچنین برای استفاده از پژوهش و تحقیقات مربوط به نقش بهبود حاصلخیزی خاک و تغذیه بهینه گیاهی در افزایش عملکرد هکتاری محصولات کشاورزی و تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم و ضرورت اصلاح فرمول کودی کشور از سوی **شرکت مروارید ارسباران** بطور رایگان هدیه می‌گردد. امیدواریم با تکیه بر دانش ایرانی، مصرف کودی کشور بهینه و سفره ایرانی محتاج بیگانگان نباشد. **شرکت مروارید ارسباران** با هدیه این کتاب آمادگی دارد در زمینه مصرف بهینه کودها با کشاورزان عزیز، کارشناسان، مسئولین و اساتید محترم کشور، همکاری نماید. توضیح آنکه در حال حاضر از تبدیل کلرورپتاسیم وارداتی با استفاده از روش مانهایم، روزانه ۶۰ تن سولفات پتاسیم گرانوله و پودری تولید می‌شود و از اوایل سال ۹۶ این رقم به ۱۸۰ تن در روز افزایش خواهد یافت. در اینجا از مسئولین محترم وزارت صنعت، معدن و تجارت درخواست می شود که نسبت به تولید کلرورپتاسیم با کیفیت در داخل کشور اهتمام بیشتری به‌عمل آورند تا وابستگی کشور به کلرورپتاسیم وارداتی نیز کاهش یابد.

با آرزوی توفیق الهی
صیاد فرهادی
مدیر عامل شرکت مروارید ارسباران

آدرس دفتر مرکزی شرکت:تهران، خیابان گاندی جنوبی، کوچه هفتم (شهید پالیزوانی)، پلاک ۲۲، واحد ۹
آدرس تارنما (سایت) شرکت: www.morvaridaras.com
آدرس الکترونیکی شرکت: info@morvaridaras.com
تلفن تماس شرکت: ۲۲-۰۲۴۷۷۸۸۸(۰۲۱)
دورنویس شرکت: ۸۶۵۱۷۶۸۸ (۰۲۱)

«شرکت مروارید ارس باران همراهی مطمئن در تولید محصولات کشاورزی سالم»

شرکت مروارید ارس باران در یک نگاه:

- **اولین و بزرگترین تولیدکننده سولفات پتاسیم در کشور** (در حال حاضر ظرفیت تولیدی سالانه آن ۲۰ هزار تن و تا اوایل سال ۱۳۹۶ به ۸۰ هزار تن در سال می‌رسد)؛
- **اولین و بزرگترین تولیدکننده سولوپتاس (سولفات پتاسیم محلول) در کشور** (در حال حاضر ظرفیت تولیدی سالانه آن پنج هزار تن ولیکن در صورت داشتن مشتری، تا اوایل سال ۱۳۹۶ به ۱۰ هزار تن در سال نیز قابل افزایش است)؛
- **تولیدکننده اسید کلریدریک(HCl)** (در حال حاضر ظرفیت تولیدی سالانه آن ۲۴ هزار تن در سال می‌باشد)،
- **مجهز به جدیدترین سیستم گرانول‌سازی؛**
- **مشاوره و راه‌اندازی پروژه سولفات پتاسیم با ظرفیت‌های گوناگون در کشور؛**

این کتاب در جهت ارتقای سطح آگاهی جامعه کشاورزی و همچنین برای استفاده از پژوهش و تحقیقات مربوط به نقش بهبود حاصلخیزی خاک و تغذیه بهینه گیاهی در افزایش عملکرد هکتاری محصولات کشاورزی و تولید فرآوردههای کشاورزی سالم و ضرورت اصلاح فرمول کودی کشور از سوی **شرکت مروارید ارس باران** بطور رایگان هدیه می‌گردد. امیدواریم با تکیه بر دانش ایرانی، مصرف کودی کشور بهینه و سفره ایرانی محتاج بیگانگان نباشد.

شرکت مروارید ارس باران در سال ۱۳۸۵ توسط سهامدارانی پایه‌گذاری شد که از اواخر دهه هفتاد در زمینه تولید کودهای کشاورزی در کشور فعالیت داشتند با بررسی‌های انجام گرفته، به این نتیجه رسیدند که در زمینه تولید سولفات پتاسیم با استفاده از فرایند مانهایم فعالیت نمایند که هیچ گونه تولیدی در کشور صورت نمی‌گرفت و کشاورزی کشورمان نیز نیاز مبرم خود را توسط شرکت خدمات حمایتی کشاورزی تأمین می‌نمودند. در اثر تلاش‌های سازنده و مستمر سهامداران شرکت، در اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۸ اولین واحد سولفات‌پتاسیم کشور در شهرستان گرمسار افتتاح و در حال حاضر با ظرفیت سالانه ۲۰ هزار تن **سولفات‌پتاسیم**، ۵ هزار تن **سولوپتاس (سولفات‌پتاسیم محلول)** و ۲۴ هزار تن **اسید کلریدریک (HCl)**، اولین و بزرگترین تولیدکننده سولفات‌پتاسیم و سولوپتاس در کشور است. تولیدات این شرکت عبارتند از :

- سولفات‌پتاسیم (SOP) گرانوله که به صورت قبل از کاشت مصرف می‌گردد.
- سولفات‌پتاسیم (SOP) پودری که به صورت قبل از کاشت مصرف می‌گردد.
- سولوپتاس (سولفات پتاسیم محلول) که به صورت سرک همزمان با رشد گیاهان زراعی، دارویی، باغ‌های میوه و گلخانه‌ها همراه با آب آبیاری مصرف می‌گردد.

تولیدات این شرکت دارای شماره ثبت از **موسسه تحقیقات خاک و آب** و همچنین دارای گواهینامه‌های ISO ۱۰۶۶۸ - ISO ۹۰۰۱ - ISO ۱۴۰۰۰۱ - OHSAS۱۸۰۰۱ از BRS آمریکا می‌باشد. این مجموعه همواره خود را ملزم به ارائه محصولاتی با کیفیت استاندارد، تنوع مطلوب و قیمت مناسب می‌نماید، به همین دلیل تولیدات این شرکت با استقبال شایسته مشتریان روبرو گشته است . اهداف این شرکت علاوه بر تولید کودهای پتاسیمی با کیفیت مطلوب، ایجاد اشتغال مولد در داخل کشور و ممانعت از ورود محصولات مشابه خارجی می‌باشد. در راستای نیل به این اهداف، **شرکت مروارید ارس باران** محصولات خود را، متناسب با نیاز روز بازار، با کیفیت قابل قبول و مشابه نمونه‌های خارجی (برتر از نمونه خارجی) به بازار عرضه نماید.

میهن عزیزمان ایران با میراث غنی فرهنگی که در بستری از مناظر بدیع و تنوع آب و هوایی قرار گرفته و جغرافیای طبیعی آن را تشکیل می‌دهد. وجود آب و هوای چهار فصل و محصولات متنوع باغی و زراعی، ایران را در زمره کشورهای با تنوع اقلیمی فراوان قرار داده‌است . خداوند منان را شاکریم که **شرکت مروارید ارس باران** در چنین موقعیت جغرافیایی در این کره خاکی قرار گرفته و بر خود می‌بالیم که همواره سعی کردیم در خدمت بخشی باشیم که جزء اقشار زحمتکش جامعه بوده و بخش عمده از نیازهای غذایی کشور را همین قشر زحمتکش تامین می‌نماید و افتخار می‌کنیم محصولات تولیدی این شرکت در راستای تولید محصولات کشاورزی سالم بوده و سبب افزایش درآمد کشاورزان سخت‌کوش خواهد بود.

شرکت مروارید ارس باران بر خود می‌بالد به عنوان اولین تولیدکننده **سولفات‌پتاسیم و سولوپتاس** (سولفات پتاسیم محلول) در کشور شناخته می‌شود و سعی دارد محصولات خود را با بالاترین استاندارد، تولید و به بخش کشاورزی کشور عرضه نماید. این شرکت همواره سعی و تلاش می‌نماید با استفاده از آخرین دستاوردهای علمی و استفاده از تجربیات گذشته، قدمی مثبت در افزایش عملکرد هکتاری، کیفیت و مرغوبیت فرآورده‌های کشاورزی بردارد و در این راستا اعتقاد به ترویج مصرف بهینه انواع نهاده‌های کشاورزی از جمله **سولفات‌پتاسیم و سولوپتاس** (سولفات پتاسیم محلول) که این کودها را کودهای کیفیت نیز می‌نامند، دارد و می‌کوشد با اساتید مبرز دانشگاهی و مراکز تحقیقات کشاورزی، قدم‌های موثری را بردارد. امید است در این برهه از زمان که کمبود آب بخشی عمده از تولیدات کشاورزی کشور را به خطر انداخته، با ترویج مصرف بهینه کودها از جمله مصرف سولفات‌پتاسیم(قبل از کاشت) و سولوپتاس (به صورت سرک)، هزینه‌ها را کاهش و محصولات کشاورزی با کیفیت برتر تولید نماید. زیرا ما اعتقاد راسخ داریم با ترویج مناسب این کودها، ضمن افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی، کیفیت تولیدات افزایش و هزینه‌های تولید نیز کاهش خواهد یافت و امیدواریم جامعه فهیم کشور، ما را در این امر مهم با مطالعـه آخرین دستاوردهای علمی

(کتاب حاضر) همراهی نماید تا علاوه بر نیل به اهداف فوق، کارایی آب، کود و سطح درآمد کشاورزان سخت‌کوش کشور را افزایش دهیم. ان‌شاءالله

با آرزوی توفیق الهی
صیاد فرهادی
مدیر عامل شرکت مروارید ارسباران

آدرس دفتر مرکزی شرکت:تهران، خیابان گاندی جنوبی، کوچه هفتم (شهید پالیزوانی)، پلاک ۲۲، واحد ۹
آدرس تارنما (سایت) شرکت: www.morvaridaras.com
آدرس الکترونیکی شرکت: info@morvaridaras.com
تلفن تماس شرکت: ۲۲-۰۲۴۷۷۸۸۸(۰۲۱)
دورنویس شرکت: ۸۶۵۱۷۶۸۸ (۰۲۱)

پیش‌گفتار چاپ دوم

رتبه بهداشتی جامعه ما از میان ۱۹۲ کشور، ۱۲۳ است.متأسفانه علت اصلی این رتبه بسیار پایین، سوءتغذیه می‌باشد. یکی از دلایل مهم سوءتغذیه، عدم رعایت اصول مصرف بهینه کود در مزارع، باغ‌ها و عدم توجه به محتوای شعار **پیشگیری بهتر از درمان** می‌باشد. به‌رغم آنکه بیش از ۸۵ درصد مردم کشور ظاهراً سیر می‌باشند، لیکن حدود ۹۰ درصد آنان به‌نحوی دچار گرسنگی سلولی هستند و دلیل اصلی آن عدم توجه متولیان تأمین محصولات غذایی به مفهوم امنیت غذایی می‌باشد. پژوهش‌ها در کشور ثابت کرده که رابطه‌ای تنگاتنگی بین خاک سالم، گیاه سالم و انسان سالم وجود دارد و منشأ اکثر کمبودها و بیماریهای انسانی به سوءتغذیه بازمی‌گردد. پایین بودن کیفیت خاک‌های زراعی و تغذیه نامتعادل گیاهی (مصرف نامتعادل کودها) که متأسفانه امروزه گریبان‌گیر بخش کشاورزی کشور شده است، منجر به سوءتغذیه انسانی گردیده است. از علایم سوءتغذیه در جامعه ایرانی می‌توان به ریزش مو، بداخلاقی، سرماخوردگی‌های مزمن، کم‌حوصلگی،خستگی مفرط، پوکی استخوان، تشدید کوتاهی قد، افسردگی، کم‌خونی، سرطان گوارشی و ایمنی پایین بدن اشاره نمود.

با بهبود تغذیه گیاه که عمدتاً با مصرف بهینه کودها در مزرعه تحقق می‌یابد، افزون‌بر افزایش کمّی و کیفی محصولات کشاورزی، بخش عمده‌ای از سوءتغذیه را می‌توان برطرف و وضعیت تغذیه‌ای مردم را اصلاح نمود. همچنین به دلیل افزایش ایمنی بدن، نیاز به انواع مکمل‌های غذایی و داروها را می‌توان در کشور به گونه‌ای چشمگیرکاهش داده و در نهایت رتبه بهداشتی جامعه را اصلاح نمود. انجام این امر مهم که از طریق اصلاح در سیستم یارانه‌ای و نظام تأمین و عرضه کودها قابل تحقق می‌باشد، افزون بر صرفه‌جویی ارزی، باعث ایجاد اشتغال گسترده در کشور از طریق راه‌اندازی کارخانه‌های تولید کودها خواهد شد. همچنین، با رعایت اصول مصرف بهینه کود به‌ویژه مصرف کودهای سولفات پتاسیم و سولفات روی، افزون بر افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی، شاخص سلامت نیز تا حد استاندارد قابل قبول، افزایش خواهد یافت.

در حال حاضر طبق مستندات موجود، سطح کشت اراضی دیم و آبی در جهان بالغ بر ۱/۵ میلیارد هکتار و در ایران نیز حدود ۱۴ میلیون هکتار (در سال‌های پرباران ۱۸ میلیون هکتار) است. از طرف دیگر، مصرف جهانی کودهای پرمصرف برحسب عنصر غذایی در سال بالغ بر ۱۸۰ میلیون تن (کودهای نیتروژنی ۱۱۰، فسفاتی ۴۰ و پتاسیمی ۳۰ میلیون تن) است. به عبارت دیگر، میانگین مصرف کودهای پرمصرف به حسب عنصر غذایی صرفنظر از سطح کشت اراضی آبی و دیم، حدود ۱۱۷ و بر حسب کود نیز تقریباً معادل ۲۶۰ کیلوگرم در هکتار (برحسب نوع کود مصرفی) است. با محاسبه فوق، نظربه اینکه سطح کشت اراضی دیم و آبی در ایران ۱۴

میلیون هکتار است. بنابراین، نیاز سالانه کودهای شیمیایی پرمصرف در کشور در یک سال زراعی نرمال برحسب عنصر غذایی ۱/۶۴ میلیون تن و برحسب مقدار کود ۳/۶۴ میلیون تن (کودهای نیتروژنی ۲/۵۰، فسفاتی ۰/۶۴ و پتاسیمی ۰/۵۰ میلیون تن) برآورد می‌گردد و این در حالی است که نسبت کودی (ترکیب کودهای شیمیایی عناصر غذایی پرمصرف) در جهان به صورت **(پتاسیم) ۲۶ - (فسفر) ۳۷- (ازت) ۱۰۰** است، لیکن، این نسبت در کشور ما نامتعادل بوده (در سال ۱۳۹۲ در ایران این نسبت برابر **(پتاسیم) ۰۷ - (فسفر) ۳۴- (ازت) ۱۰۰** بود.

بنا به گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، دستکم ۳۳ درصد افزایش تولیدات کشاورزی در جهان طی چهار دهه گذشته مرهون مصرف کودهای شیمیایی بوده است. در کشورهایی که مصرف کود در آنها بهینه است، این افزایش تولید می‌تواند تا ۶۰ درصد و حتی بیشتر نیز باشد. مدیر کل پیشین فائو در پیامی به مناسبت روز جهانی غذا، اعلام کرد که از کمبود عناصر ریزمغذی، سالانه درکشورهای در حال توسعه بیش از ۱۲۸ میلیارد دلار خسارت به فرآورده‌های کشاورزی وارد می‌شود. بدیهی است چنانچه ارتقاء سطح سلامت جامعه نیز مطرح باشد، این رقم بسیار بیشتر بوده و غیرقابل شمارش خواهد بود. از طرف دیگر، بی‌گمان، یکی از اصول اولیه تولید پایدار، ارتقاء کیفی خاک از بعد حاصلخیزی و برگرداندن مجدد عناصر غذایی جذب شده توسط گیاهان به خاک است که متأسفانه در برنامه کودی کشور نادیده گرفته شده است. در حالیکه نسبت جذب عناصر غذایی از خاک عمدتاً به صورت ۱۰۰ (N)- ۱۵ (P)-۸۰ (K)- ۳۰ (S)-۳۰ (Ca) - ۱۵ (Mg)- ۰/۵۰(Fe)-۰/۳۰ (Mn) - ۰/۲۰(Zn)- ۰/۱۰(Cu)- ۰/۱۰(B) می‌باشد، لیکن در حال حاضر عمده کودهای مصرفی کشور را کودهای نیتروژنی و فسفاتی تشکیل می‌دهند. این موضوع عملاً زنگ خطری برای تولید محصولات کشاورزی سالم و تهدیدی برای امنیت غذایی کشور می‌باشد. نتایج پژوهش‌ها نشان داده که با مصرف نامتعادل کودها به‌ویژه زیاده‌روی در مصرف کودهای نیتروژنی و فسفاتی، افزون بر افزایش تجمع نیترات (NO_3) و کادمیوم (Cd)، از کیفیت محصولات کشاورزی نیز کاسته می‌شود. با استمرار در مصرف مواد غذایی با کیفیت پایین‌تر، رتبه بهداشتی جامعه نیز افت پیدا خواهد نمود.

بنابراین، برای تحقق مصرف بهینه کود (کوددهی بر پایه نتایج تجزیه خاک‌های تحت کشت فرآورده‌های زراعی، دارویی، زینتی و درختان جدیدالاحداث و نیز کوددهی در درختان میوه ده و زینتی بر پایه نتایج تجزیه برگی)، حفظ منابع پایه، تولید پایدار، افزایش عملکرد هکتاری، افزایش کارآیی کود و آب، نیل به خودکفایی نسبی، غنی‌سازی محصولات کشاورزی و از همه مهمتر ارتقاء سطح سلامت جامعه و بهبود وضعیت معیشتی تولیدکنندگان کشاورزی، مطالعه کتاب **پتاسیم درکشاورزی: نقش پتاسیم درتولید محصولات کشاورزی سالم** را برای اساتید، محققین، کارشناسان، دانشجویان و مولدین کشاورزی زحمتکش توصیه می‌نماید. امید است

با کاربردی کردن مطالب درج شده در این کتاب و کتاب‌های علمی مشابه و همگانی کردن تجزیه خاک و گیاه درطی برنامه چشم‌انداز ۲۰ ساله، افزون بر نیل به خودکفایی نسبی و تولید محصولات کشاورزی با کیفیت برتر، کارآیی کودها را افزایش و مقدار آلاینده‌هایی همچون نیترات و کادمیوم را در محصولات کشاورزی کاهش داده و از این رهگذر، در نیل به تندرستی جامعه کوشش کنیم.

با عنایت به نتایج درج شده در این کتاب، با توجه به تخلیه و قدرت تثبیت بالای پتاسیم توسط خاک‌های رسی درخاک‌های آهکی ایران، برای تحقق افزایش عملکرد (کمی و کیفی) هکتاری محصولات کشاورزی، بهتر است ضمن فرهنگ سازی برای مصرف هر چه بیشتر کودهای پتاسیمی، نسبت کودی تا حد جهانی {**(پتاسیم) ۲۶ - (فسفر) ۳۷- (ازت) ۱۰۰**} اصلاح شود. همچنین، مصرف کودهای پتاسیمی نیز مشابه کودهای نیتروژنی در سه نوبت یعنی یک سوم قبل از کاشت با استفاده از سولفات پتاسیم، یک سوم زمان پنجه‌زنی و یک سوم باقیمانده قبل از زمان گلدهی با استفاده از کلرورپتاسیم (برای شالیزارها و سایر محصولات زراعی در شمال کشور) و یا با استفاده از سولوپتاس (سولفات پتاسیم محلول) به صورت دو بار سرک همراه با آب آبیاری انجام گیرد. با انجام این امر، در صورت مدیریت بهینه سایر عوامل موثر در تولید، ضمن آنکه عملکرد هکتاری و کیفیت محصولات کشاورزی افزایش خواهد یافت،کارآیی پتاسیم بهبود و غلظت آلاینده‌های کادمیوم و نیترات نیز بطور معنی‌داری کاهش خواهد یافت.

در خاتمه، نویسندگان از لطف همکاران به ویژه جنابان آقایان دکتر پیمان کشاورز دانشیار محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، دکتر احمد بای‌بوردی استادیار محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی و دانشجویان دکتری و کارشناسی ارشد گروه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به‌ویژه آقایان مهندس علی‌اکبر زارع، مهندس محمد توفیقی و خانم‌ها مهندس ناصری و مهندس حاتم که برای ویراستاری کتاب حاضر با اینجانب همکاری داشته‌اند و نیز از جناب آقای صیاد فرهادی مدیر عامل محترم شرکت مروارید ارسباران و همکاران به خاطر حمایت‌های مالی بی‌دریغ‌شان برای چاپ کتاب حاضر، از سرکاران خانم‌ها رفیعی و هدایتی برای تایپ و از همکاران محترم انتشارات مبلغان به ویژه سرکار خانم نجّاری و جنابان آقایان صدوقی و بریمانی که در تدوین و چاپ دوم این کتاب همکاری دلسوزانه داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌نماید.

نگارنده اول: محمدجعفر ملکوتی

پاییز، ۱۳۹۵

پیش‌گفتار ۱- چاپ اول

شرایط امروز جهان از نظر تولید محصولات کشاورزی و تغذیه جمعیت انسانی از هر زمانی در گذشته پیچیده تر و بغرنج‌تر شده است . این شرایط پیچیده در جهان سوم به مراتب سخت‌تر و بحرانی تر می‌باشد. از یک طرف به علت فقر حاکم بر جامعه و تولید ناخالص داخلی کم و بدتر از آن توزیع بسیار ناهمگون و غیر متعارف تولید سرانه پایین، قدرت مصرف حداقل‌ها را نیز از اقشار آسیب‌پذیر جامعه خلع نموده، گرسنگی و سوء تغذیه را به شدت به حالت فزاینده‌ای رسانیده و از سوی دیگر باز به دلیل فقر حاکم بر جامعه و سیاست‌های ضد و نقیض اقتصادی در کشورها از جمله کشور ایران سبب گردیده سرمایه گذاری در بخش کشاورزی از رشد مثبتی برخوردار نشود که نتیجه نهایی آن به عدم افزایش پیش‌بینی شده تولید و افزایش بی رویه قیمت‌های محصولات کشاورزی حتی در مقیاس جهانی منجر گردیده است که در نهایت سوء تغذیه را حادتر و وضعیت سلامت و بهداشت جامعه را به شدت نگران کننده نموده است. در این شرایط دشوار اهمیت تحقیقات و مهم تر از آن کاربرد نتایج آن در تولید بسیار حائز اهمیت می‌باشد. گرچه ضعف سرمایه‌گذاری و روند کاهشی آن خود تأثیر به سزایی در عدم کاربردی نمودن نتایج تحقیقات در تولید را باعث شده ولی باز باید خداوند را شاکر بود که هنوز بخش تحقیقات تحت تأثیر مسایل فوق قرار نگرفته و محققین کشور در حد وظایف محوله تلاشهای خود را برای افزایش تولید و کاهش هزینه نهایی انجام می‌دهند و شاید به جرأت بتوان گفت که در صدر این مؤسسات تحقیقاتی، مؤسسه تحقیقات آب و خاک می‌باشد که در ده سال گذشته در این زمینه یعنی افزایش کمی و کیفی تولیدات کشاورزی از طریق انجام تحقیقات کاربردی و سپس انتشار نتایج در قالب کتاب، مقاله و نشریه‌های فنی (تحقیقی-ترویجی) پیشتاز سایرین بوده است.

کتاب ارزشمند پتاسیم در کشاورزی ایران که هم‌اکنون آن را در دست مطالعه دارید، یکی از جدیدترین کتاب‌هایی است که چشم‌اندازی از پتاسیم در کشاورزی ایران را در برابر شما می‌گستراند. به عنوان دبیرکل خانه کشاورز که سرای کلیه کشاورزان اعم از دامداران، مرغداران، زارعین، باغداران، صیادان و صاحبان صنایع غذایی می‌باشد، لازم می‌دانم از زحمات کلیه این عزیزان محقق نهایت سپاسگزاری خود را اعلام نموده و امید آنرا داریم که با توسعه عملی آموزش و ترویج کشاورزی در سطح تولیدکنندگان و کاربرد نتایج تحقیقات به دست آمده، سبب تشویق محققین و افزایش تولید و کاهش قیمت‌های نهایی تمام شده و برطرف گردیدن سوء تغذیه مزمن که سلامت جامعه را به شدت تهدید می کند، باشیم. ان‌شاءالله.

عیسی کلانتری
دبیرکل خانه‌کشاورز

پیش‌گفتار ۲- چاپ اول

خاک محیطی زنده و بستر طبیعی رشد گیاهی است. براساس روایات اسلامی انسان ریشه در خاک دارد و از برکات بی‌انتهای آن همواره بهره‌مند بوده است. اما مجموع دانسته‌های او نسبت به این سرمایه طبیعی، همواره اندک و محدود بوده است. خاک‌شناسی اگرچه از قدیمی‌ترین علوم کشاورزی است، اما شاخه‌ها و رشته‌های مختلف آن همواره از آخرین دستاوردهای علمی بشر در زمینه‌های مختلف علوم و تکنولوژی بهره‌گیری می‌نماید. مصرف متعادل کود یکی از عوامل مهم در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی است. بررسی عملکرد ۱۰ ساله نشان دهنده ایجاد تغییرات اساسی در نوع و مقادیر کودهای شیمیایی مورد نیاز کشور می‌باشد که از این دوره می‌توان به دوره نهضت بهینه‌سازی مصرف کود در کشور یاد نمود. به دلیل اعلام و ترویج تفکر مصرف بهینه کود تنوع کودی از دو نوع کود در سال ۱۳۷۰ به بیش از ۱۸ نوع در سال ۱۳۸۳ افزایش یافته و روند تأمین کود نیز سیر صعودی خود را ادامه داده و قرار است به منظور افزایش تولید و بهبود کیفیت محصول سالانه حداقل ۲۵۰ هزار تن به مصرف کودها اضافه گردد (مصرف کودهای یارانه‌ای در سال ۱۳۸۳ بالغ بر ۳/۷ میلیون تن بوده است). مقایسه عملکرد متوسط تولید چند محصول راهبردی (استراتژیک) کشور با تولیدات کشاورزان نمونه و پیشرو مؤید آن است که از طریق مصرف بهینه کود ضمن توجه کافی به سایر عوامل تولید می‌توان به عملکرد پیش‌بینی شده در برنامه چهارم توسعه دست یافت.

کتاب ارزشمند پتاسیم در کشاورزی ایران که هم‌اکنون آن را در دست مطالعه دارید، یکی از جدیدترین کتاب‌هایی است که چشم‌اندازی از پتاسیم در کشاورزی ایران را در برابر شما می‌گستراند. با مطالعه این کتاب خواننده می‌تواند به کنجکاوی‌های خویش در مورد نقش پتاسیم در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی پاسخ گوید. تدوین‌کنندگان گرامی این کتاب که با صرف وقت ارزشمند خود، با دقت فراوان، مطالب جدیدی را در این کتاب گردآورده‌اند، هر یک از جمله اساتید ارجمندی هستند که در رشته‌های مختلف علوم مربوط به حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاهی، صاحب دانش و تجربه‌ای فراوان هستند و درج نام آنان در مطلع کتاب، موجب جلب نظر محققان، دانش‌پژوهان و دانشجویان عزیزی است که برای سیراب نمودن عطش علمی خود، به دنبال مطالب جدید علمی می‌باشند.

اینجانب کار بزرگ این عزیزان را می‌ستایم و از همتی که در تهیه این کتاب گران‌سنگ مصروف نموده‌اند، سپاسگزاری می‌نمایم و امیدوارم که تلاش آنان مأجور خداوند متعال و مورد استفاده پژوهندگان محترم، اساتید معظم و دانشجویان گرامی قرار گیرد.

مهدی نفیسی
استاد و مشاور مدیریت برنامه‌ریزی شرکت ملی صنایع پتروشیمی

پیش‌گفتار ۳- چاپ اول

پتاسیم بعد از ازت یکی از مهمترین عناصر غذایی در حیات گیاهان بوده که علاوه بر وظایف فیزیولوژیکی بسیار مهمی که در گیاه به عهده دارد، در بهبود کیفیت محصولات کشاورزی نیز جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است، به‌طوریکه از این عنصر به نام عنصر کیفیت نام برده می‌شود. از وظایف بیوشیمیایی پتاسیم فعال سازی سیستم‌های آنزیمی مختلف در گیاه است. به طوری که پتاسیم فعال کننده بیش از ۵۰ گونه آنزیم می باشد. اکسیدوریداکتازها، دی هیدروژنازها، تراتسفرازها و کینازها آنزیم هایی هستند که توسط کاتیون یک ظرفیتی پتاسیم فعال می شوند. میزان گردش نیتروژن و ساخته شدن پروتئین در گیاهان سالم به دلیل فعال بودن این نوع آنزیم‌ها تحت تاثیر میزان پتاسیم کافی در گیاه است. پتاسیم در سطوح گوناگون بر فتوسنتز گیاهان عالی تأثیر دارد. انتقال مواد تحلیل یافته و فتوسنتزی توسط پتاسیم انجام و تسریع می‌یابد. تجمع پتاسیم در آوند چوبی، پتانسیل اسمزی شیره آوندی را کاهش داده و به همین سبب، فشار ریشه‌ای و جذب آب افزایش پیدا می کند. پتاسیم به عنوان برجسته ترین عنصر معدنی نقش کلیدی در تنظیم روابط آبی گیاه دارد. این امر اثر سودمندی بر مصرف آب دارد، زیرا پتانسیل اسمزی کمتر، نگهداری آب را بهبود می بخشد. کاهش در میزان تعرق و تنظیم باز و بسته شدن روزنه نتیجه ورود و خروج پتاسیم در سلولهای محافظ روزنه است. بیشتر بودن میزان اسید آمینه پرولین در گیاهانی که به میزان کافی پتاسیم دریافت کرده‌اند، رویکردی دیگر در افزایش مقاومت به خشکی گیاهان است. نقش پتاسیم در توازن بار و تنظیم پ‌هاش، این نظریه که «پتاسیم کاتیونی برای آنیون‌ها است» را تأیید می‌نماید. بطور کلی افزایش مقاومت در مقابل تنش‌های محیطی زنده و غیر زنده از نقشهای دیگر پتاسیم در گیاه است.

در سال ۱۳۷۰ مقدار کل کود مصرفی در کشور حدود دو میلیون تن و تنها از دو منبع اوره و فسفات آمونیوم بود. مصرف کودهای حاوی پتاسیم و عناصر کم مصرف که همچنان تا اواسط دهه هفتاد در کشور تقریباً ناشناخته بود، از سال ۱۳۷۵ آغاز شد به‌طوری‌که هم‌اکنون به غیر از عناصر کم‌مصرف تنها بیش از ۲۵۰ هزار تن انواع کودهای پتاسیمی در کشور مصرف می‌شود. در ده سال اخیر تغییرات شگرفی در فرمول کودی کشور صورت گرفته است. فرمول کودی کشور که در سال ۱۳۷۰ به ترتیب به نسبت ازت (N) ۱۰۰؛ فسفر (P_2O_5) ۱۱۱؛ پتاسیم (K_2O) ۳؛ گوگرد (S) ۳ و ریزمغذی‌ها صفر درصد و در سال ۱۳۷۵ به ترتیب ۱۰۰؛ ۵۸؛ ۵؛ ۵ و صفر بود، در سال ۱۳۸۰ به ترتیب به ۱۰۰؛ ۵۵؛ ۲۲؛ ۱۰ و ۱ درصد تغییر یافته و در نظر است در پایان برنامه چهارم توسعه با کمک مسئولین امر به نسبت ۱۰۰؛ ۵۰؛ ۴۰؛ ۵۰ و ۴ درصد اصلاح گردد. تا سال ۱۳۷۵، شرکت ملی صنایع پتروشیمی تنها تولیدکننده کود در داخل کشور بود. این شرکت اکنون حدود ۱/۸ میلیون تن کود (عمدتاً نیتروژنی و فسفاتی) تولید و در اختیار شرکت

خدمات حمایتی کشاورزی قرار می‌دهد. از سال ۱۳۷۵ موضوع تولید کود در داخل کشور توسط بخش خصوصی با حمایت مسؤولین وزارت کشاورزی تحقق یافته است. حسب اظهارنظر انجمن صنفی تولیدکنندگان کود، ظرفیت تولید کود توسط بخش خصوصی به رقمی فراتر از دو میلیون تن در سال رسیده که این امر در صورت ادامه حمایت لازم مسؤولین مربوط، نویدبخش خودکفایی تولید کود در کشور است. از جمله طرح های مربوط به نهضت تولید کود در کشور، راه‌اندازی طرح پایلوت تولید کلرید پتاسیم از شورابه‌های کویر با کمک محققین محترم پژوهشگاه صنعت نفت است و هم اکنون این طرح به وزارت صنایع و معادن واگذار شده تا امکان ساخت این کود از شورابه‌های کویر در خور بیابانک با ظرفیت ۱۰ هزار تن در سال فراهم گردد که نیاز به پی‌گیری و حمایت جدی و همه جانبه دارد.

دست‌آوردهای یک دهه اخیر ایجاب می‌نمود که کتاب پتاسیم در کشاورزی ایران با مطالب جدید تهیه و ارائه گردد. امید است مطالب ارائه شده که حاصل یک دهه تلاش شبانه‌روزی محققین گران‌سنگ مؤسسه تحقیقات خاک و آب، بخش‌های تحقیقات خاک و آب در استانهای مختلف کشور، دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری دانشگاه تربیت مدرس و نیز اساتید معزز و دانشجویان محترم سایر گروه‌های خاکشناسی دانشگاههای کشور است، مورد استفاده خوانندگان محترم، به ویژه پژوهندگان شیمی، حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه قرار گیرد.

تهیه‌کنندگان کتاب
بهار، ۱۳۸۴

مقدمه

از مهم‌ترین اهداف کشور در هزاره سوم می‌توان به تعیین پتانسیل تولید منابع خاک و آب و پایش آن‌ها در جهت تولید و توسعه پایدار و سپس تلاش در جهت تدارکات افزایش عملکرد و غنی‌سازی محصولات کشاورزی به منظور بهبود کیفیت غذا در راستای دستیابی به استانداردهای اصول بهداشت و سلامت سلامت جامعه را نام برد. به عبارت ساده‌تر وظایف ما به‌عنوان خادمین تولیدکنندگان محصولات کشاورزی در بخش‌های مختلف تحقیقات، آموزش، ترویج و اجرا عبارت از ارائه راه‌های علمی برای دستیابی به افزایش عملکرد؛ بهبود کیفیت محصولات کشاورزی؛ ارتقاء سطح سلامت جامعه و تأمین امنیت غذایی؛ پایداری در تولیدات کشاورزی و حفاظت از محیط زیست می‌باشد. برنامه عملیاتی پذیرفته شده توسط قطعنامه جهانی غذا (WFS)، که ایران نیز یکی از اعضای آن است، همه دست‌اندرکاران کشاورزی را برای یک سری تلاش‌های هماهنگ در همه سطوح فراخوانده است تا از این طریق تولید غذا و دسترسی به آن را با تمرکز بر کشورهایی که دچار کمبود سرانه غذا هستند، افزایش دهد. در واقع هدف این است که آمار فعلی جمعیت دچار سوء تغذیه تا سال ۲۰۱۵ به نصف تقلیل یابد. بررسی تجربیات سه دهه گذشته توسط FAO و تصویر چشم انداز کشاورزی جهان در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۳۰ و مقایسه این روندها در کشور، ما را در همه سطوح به تفکر در چالش‌های پیش رو وا می‌دارد.

بهره‌گیری از تجربیات کشورهای در حال توسعه و کشورهای توسعه یافت در حرکت از سیستم‌های کشاورزی معیشتی به سمت سیستم کشاورزی مدرن و اقتصادی و بومی کردن این تجربیات و تبیین راهکارهای لازم در کوتاه مدت،میان مدت و بلند مدت متناسب با شرایط کشور می‌تواند از هم اکنون یاری‌مان نماید تا از طریق بازنگری در سیاست‌های آموزشی، پژوهشی و اجرایی مسیر صحیح توسعه پایدار را معین نماییم. رشد جمعیت و به دنبال آن نیاز به غذای بیشتر از یک طرف و مشکلات پیش‌روی افزایش سطح زیر کشت فشار بیش از حد انسان بر منابع، شکنندگی منابع موجود و اثرات نامطلوب آن بر محیط زیست از جمله چالش‌هایی است که سبب شده تا افزایش کمی و بهبود کیفی محصولات در واحد سطح (Intensification) به عنوان یکی از اساسی‌ترین راههای پاسخگویی به نیازهای آتی جوامع، مورد تأکید همه کشورها قرار گرفته و کلیدی بودن حاصلخیزی خاک در امنیت جهانی غذا و کشاورزی پایدار سرلوحه بیانیه جهانی غذا قرار گیرد. از این رو تغییر دیدگاه از حالت جزءنگری به کل‌نگری و نگرش سیستمی نظیر استفاده از مدیریت تلفیقی برخی یا همگی عوامل

موثر در رشد گیاه از جمله راهبردهای مورد تأکید است که در آن‌ها محور اساسی و هدف، افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی می‌باشد. تجربه موفق FAO در مورد مدیریت تلفیقی آفات (IPM) و برگزاری کلاس‌های مزرعه‌ای برای زارعین، سبب شد تا در سال ۱۹۹۶ مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک نیز از طریق برپایی کلاس‌های مزرعه‌ای نگرش زارعین به تحقیق، آموزش و ترویج را تغییر دهد. علوم خاک نیز در سطح جهانی نگرش خود را به خاک و سلامتی انسان تغییر داده تا توان خود را علاوه بر کمیت در کیفیت نیز به کار گیرد. صنعت کود که در دو بخش دولتی و خصوصی در کشور وظیفه سنگینی را در آینده به عهده دارد بایستی از مشارکت‌کنندگان جدی در این عرصه باشد. امید است طرح مسایل فوق در قالب این مجموعه بتواند مشارکت کلیه سطوح از سیاست‌گذاران، مصرف کنندگان، تولید کنندگان، محققان، مروجان و نهادهای مختلف را در راستای نزدیکی دیدگاه‌ها و ایجاد نگرش‌های جدید با اولویت قرار دادن حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در سطح ملی به منظور تحقق امنیت غذایی، کشاورزی پایدار و در نهایت توسعه پایدار، فراهم آورد.

امروزه موضوع کیفیت غذایی محصولات کشاورزی مورد توجه بسیاری از محافل تحقیقاتی جهان است، بخصوص از آن جهت که استفاده بی‌رویهٔ کودهای شیمیایی، علف کش‌ها، حشره‌کش‌ها و غیره از کیفیت محصولات کشاورزی می‌کاهند. کیفیت را می‌توان از جنبه‌های بصری، بویایی، چشایی، مقدار مواد مؤثر در محصول، مانند: مواد قندی، نشاسته‌ای، پروتئینی و یا ویتامین‌های مختلف مورد بررسی قرار داد. عوامل مختلفی مانند عوامل ژنتیکی، آب و هوای محیط کشت و درجه حاصلخیزی خاک می توانند اثرات مهمی در کیفیت محصولات کشاورزی داشته باشند. به طور کلی می‌توان گفت که مشخصات ژنتیکی ارقام مختلف گیاهان تأثیر زیادی روی مقدار ویتامین موجود در محصولات گیاهی دارند. به عنوان مثال غلظت ویتامین C در بعضی محصولات می‌تواند تا ۲۹ برابر محصولات دیگر باشد. آب و هوای منطقه، طول مدت زمان آفتابی در طی رشد و درجه حرارت روز و شب تأثیر زیادی در غلظت ویتامین‌های C و کاروتن محصول خواهند داشت. اثر کودهای شیمیایی در ویتامین‌های موجود در سبزی‌ها و میوه‌ها بسته به نوع کود مصرفی (نیتروژنه، فسفره، پتاسیمی و ریزمغذی‌ها)، نوع ویتامین مورد نظر و نوع گیاه مورد تحقیق می‌تواند بسیار متفاوت باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت که نیتروژن، غلظت ویتامین C را کاهش ولی فسفر، پتاسیم، منگنز، روی، مس و مولیبدن غلظت ویتامین C را بالا می‌برند. از طرف دیگر پتاسیم، منیزیم، منگنز، مس، روی و بور، غلظت بتاکاروتن را افزایش داده، فسفر و بور، غلظت ویتامین B_1 و مقدار آنتی‌اکسیدانت‌ها را در غلات بالا می‌برند.

کیفیت محصولات گیاهی را نمی‌توان به سهولت عملکرد، تعیین و یا اندازه‌گیری نمود. معیار کیفیت بستگی به اهداف مصرف گیاه دارد. مثلاً کیفیت جو از نظر تغذیه دام، سیب‌زمینی از نظر نشاسته، میوه‌ها از نظر طعم و خوش خوراکی و یا عطر که اندازه‌گیری آن‌ها نیز معمولاً مشکل می‌باشد، حایز اهمیت هستند. کودهای پتاسیمی و مخصوصاً سولفات‌پتاسیم را در عرصه باغبانی کود کیفیت

می‌نامند، چرا که پتاسیم باعث بهبود رنگ پوست میوه، خوش خوراکی، افزایش قند و ویتامین C در مرکبات و اکثر میوه ها می‌گردد. درشتی میوه‌ها نیز تا حدودی بستگی به پتاسیم دارد. اگر پتاسیم برگ‌ها از حد طبیعی کمتر باشد، تحت چنین شرایطی با مصرف کودهای پتاسیمی، محصول درختان میوه افزایش و اسیدیته کل آن‌ها نیز زیاد می‌شود. نظر به وجود رقابت منفی بین پتاسیم و کلسیم و منیزیم، گاهی در اثر زیاده‌روی در مصرف کودهای پتاسیمی، عارضه لکه تلخی در میوه‌های سیب ظاهر می‌گردد. سبزی‌هایی نظیر گوجه فرنگی، اسفناج، کاهو و کرفس، به مقدار زیادی به پتاسیم نیاز دارند. در صورتی‌که پتاسیم کافی در اختیار این محصولات قرار نگیرد، عملکرد و کیفیت آن‌ها به طور نامطلوبی کاهش می‌یابد. در سیب‌زمینی نشان داده شده که اگر پتاسیم به مقدار کافی مصرف گردد به دلیل افزایش مقدار نسبی اسید سیتریک در مقایسه با اسید کلروژنیک، سیاه شدن غده سیب‌زمینی بعد از پوست گرفتن به تأخیر می‌افتد.

از جمله دلایل دیگری که پتاسیم را عنصر کیفیت نامیده‌اند، آن است که پتاسیم سبب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی زنده و غیر زنده نظیر آفات، بیماری‌ها، سرما، کم آبی و شوری می‌گردد. امروزه جذب لوکس پتاسیم در بسیاری از محصولات به دلیل اهمیت بالا بودن غلظت این عنصر در گیاه در جهت تقلیل اثرات تنش‌ها و همچنین بهبود خواص کیفی محصولات معنی و مفهوم خود را از دست داده است. گیاهانی که از کمبود پتاسیم رنج می برند معمولاً از شادابی کمتری برخوردار بوده و در شرایط کم آبی به شدت پژمرده می‌شوند، لذا مقاومت به خشکی در آن‌ها کم می شود.

پتاسیم دومین عنصر غذایی ضروری و مهم بعد از نیتروژن بوده و از جمله عناصری است که اگر چه بر خلاف سایر عناصر غذایی ضروری به صورت ترکیبات غیر یونی و یا کمپلکس‌های آلی در ساختمان سلول مشاهده نمی شود، لکن وظایف متابولیسمی زیادی را در گیاه به عهده دارد و شاید کمتر عنصری را بتوان نام برد که به اندازه پتاسیم در متابولیسم گیاه حضور فعال داشته باشد. پتاسیم، فعال‌کننده حدود ۵۰ آنزیم در گیاه است که این آنزیم‌ها کاتالیزور موادی هستند که عامل تعیین‌کننده عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی می‌باشند. نشاسته و پروتئین از جمله این مواد هستند. پتاسیم همچنین در فتوسنتز، تنظیم اسمزی، رشد سلولی، تنظیم روزنه‌ای و نظام آبی گیاه، بارگیری هیدرات‌های کربن ساخته شده در برگ به آوند آبکش و انتقال آن‌ها در گیاه، تعادل آنیون-کاتیون و به عنوان کاتیون همراه در انتقال نیترات نقش دارد. بنابراین طبیعی است چنین عنصری با این وظایف گسترده نه تنها به عنوان یک عنصر کلیدی در افزایش عملکرد نقش دارد، بلکه اثر آن در بهبود کیفیت و کاهش غلظت آلاینده‌هایی نظیر نیترات نمایان تر است. متأسفانه در دهه‌های گذشته به دلیل حاکمیت دیدگاه‌های غیر علمی، مصرف کودها غیر متعادل بوده و نسبت ازت، فسفر، پتاسیم و ریزمغذی‌ها به ترتیب ۱۰۰-۸۵ - صفر و صفردرصد بود به عنوان مثال در سال ۱۳۷۴ از مجموع دو میلیون تن کود مصرفی کشور، یک میلیون تن را اوره و یک میلیون تن دیگر را فسفات آمونیوم تشکیل می‌داد و اثری

از مصرف کودهای پتاسیمی، گوگردی و ریزمغذی‌ها نبود. تداوم این امر یعنی عدم مصرف کودهای پتاسیمی سبب تخلیه شدن نسبی رس‌های غالب خاک‌های شالیزاری شمال، نیشکرکاری‌ها و اراضی چغندرقندکاری و مزارع تحت کشت مداوم سیب‌زمینی کشور از پتاسیم گردیده و نتیجه امر آنکه در اکثر موارد با مصرف سولفات‌پتاسیم بر مبنای آزمون خاک، افزایش عملکرد مشاهده نمی‌گردد.

پتاسیم نه تنها از نظر مقدار موجود در بافت‌های گیاهی فراوانترین کاتیون است، بلکه از نظر وظایف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نیز مهمترین کاتیون به شمار می‌رود. یکی از خصوصیات عمده پتاسیم این است که با سرعت زیاد توسط بافت‌های گیاهی جذب می‌شود. این سرعت جذب زیاد به یک مکانیزم جذب فعال بستگی دارد. شواهد حاکی از آن است که در بین کاتیون‌های معدنی مورد نیاز گیاه، پتاسیم تنها کاتیونی است که بر خلاف یک شیب الکترو شیمیایی به درون سلول‌های گیاهی انتقال می‌یابد. پتاسیم درون گیاه بسیار متحرک بوده و انتقال آن به طرف بافت‌های مریستمی به سرعت انجام می‌گیرد. این یون اغلب از اندام‌های پیرتر گیاه به بافت‌های جوانتر منتقل و در ایجاد pH مناسب شیره سلولی که لازمه فعالیت‌های حیاتی و آنزیمی سلول است، نقش مهمی به عهده دارد.

هدف مؤلفین از تهیه کتاب حاضر آشنا نمودن دانشجویان، محققین، صاحبنظران، علاقمندان و شاغلین رشته‌های مختلف کشاورزی با اصول علمی و یافته‌های تازه در مورد پتاسیم در خاک، آب، گیاه و کود می‌باشد تا با نگاهی به تحقیقات جهانی و نیز بررسی نتایج تحقیقات انجام گرفته در سطح کشور توسط دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی اطلاعات مفیدی را برای استفاده‌کنندگان فراهم نمایند. در فصل‌های اول، دوم و سوم این کتاب وضعیت پتاسیم در خاک، نقش آن در گیاهان و عمده تحقیقات انجام شده در مورد نقش پتاسیم در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی در ایران بحث گردیده است. در فصل چهارم به یافته‌های جدید به‌ویژه حرکت پتاسیم در ریزوسفر، جایگزینی شاخص جدید حد مطلوب پتاسیم به جای حد بحرانی در راستای نیل به اهداف افزایش عملکرد هکتاری برنامه‌های چهارم توسعه و چشم‌انداز ۲۰ ساله و نیز نقش پتاسیم در سلامت انسان به ویژه از دیدگاه تنظیم نسبت پتاسیم به سدیم (K/Na) و در نهایت کنترل فشار خون بحث گردیده است. در این کتاب تلاش گردیده است تا با اشاره به تحقیقات نوین و یافته‌های جدید دریچه‌های نو پیش روی محققین و دانشجویان گشوده شود، با این امید که برای کلیه مطالعه کنندگان مفید باشد. ان‌شاءالله.

"سلامتی از مزرعه می آید"

فصل اول

پتاسیم در خاک

۱-۱- کلیات

پتاسیم یکی از ترکیبات اصلی پوستهٔ زمین است مقدار آن در لیتوسفر به طور متوسط ۲/۵۸ و درخاک حدود ۱/۲ درصد است. از نظر فراوانی عنصری، هفتمین و به‌عنوان عنصر غذایی برای گیاه نیز چهارمین عنصر معدنی در لیتوسفر به‌حساب می‌آید. پتاسیم به‌طور معمول فراوان‌ترین عنصر غذایی پر نیاز در ۱۵ سانتی‌متری لایهٔ سطحی خاک است . متوسط مقدار پتاسیم سنگ‌های آذرین، شیل، ماسه سنگ و سنگ آهک در لیتوسفر به ترتیب ۲۶، ۲۷، ۱۱ و ۲/۷ گرم در کیلوگرم می‌باشد. بیشترین مقدار پتاسیم در کانی‌های اولیه و کانی‌های ثانویه رسی وجود دارد. مقدار پتاسیم درخاک‌های معدنی از ۰/۴ تا ۳ درصد یا بیشتر تغییر می‌کند در حالی‌که در خاک‌های آلی این مقدار حدود۰/۰۲ تا ۰/۰۳ درصد است.

پتاسیم باشعاع یونی ۱/۳۳ انگسترم و وزن اتمی ۳۹/۱ از جمله مهم‌ترین فلزات قلیایی به شمار می‌رود. این عنصر به علت تمایل به واکنش و میل ترکیبی بالا با سایر عناصر، هرگز به شکل عنصری در طبیعت یافت نمی‌شود. اندازهٔ غیر هیدراته یون پتاسیم در بین کاتیون‌های مورد نیاز گیاه بزرگترین و به این دلیل نیز عدد هم‌آرایی آن بالا (۱۲-۸) است که نشان‌دهندهٔ ضعیف بودن قدرت پیوند K-O می‌باشد. قدرت پولاریزاسیون پتاسیم معادل ۰/۰۸۸ نانومترمکعب است که از یون‌های کلسیم، لیتیم، سدیم و منیزیم بیشتر ولی از یون‌های باریم، منیزیم، آمونیم و روبیدیم کمتر می‌باشد. انرژی هیدراسیون پتاسیم ۱۴۲/۵ کیلوژول در گرم یون می‌باشد که نشان‌دهندهٔ توانایی کم این یون درمقایسه با سایر کاتیون‌های یک ظرفیتی به‌ویژه سدیم در انبساط خاک است (ملکوتی و کاوسی، ۱۳۷۸؛ ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳؛ Donald، ۱۹۹۵).

شکل ۱. گردش عمومی پتاسیم در خاک.

۲-۱- اشکال مختلف پتاسیم در خاک

چهار شکل مختلف پتاسیم در خاک به ترتیب سهل‌الوصول بودن برای گیاهان شامل: پتاسیم محلول، پتاسیم تبادلی، پتاسیم غیر تبادلی(تثبیت شده) و پتاسیم ساختمانی می‌باشد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳؛ Sparks، ۱۹۸۷). با وجود اینکه پتاسیم کل در خاک به‌مراتب بیشتر از نیاز گیاه است ولی تنها قسمت کوچکی از آن برای گیاه قابل دسترس می‌باشد. به‌طور کلی ۹۰ تا ۹۸ درصد کل پتاسیم خاک به شکل غیر قابل دسترس، ۱ تا ۱۰ درصد به شکل پتاسیم به‌کندی قابل دسترس و ۰/۱ تا ۲ درصد آن به سرعت قابل دسترس می‌باشد. تعادل موجود بین شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک باعث تداوم تأمین پتاسیم برای گیاهان می‌شود. پتاسیم محلول وتبادلی خیلی سریع با هم به تعادل می‌رسند در حالی‌که تعادل بین پتاسیم ساختمانی و پتاسیم تثبیت شده با پتاسیم تبادلی و محلول به‌کندی حاصل می‌گردد (ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳،کاوسی، ۱۳۷۸؛ Havlin و همکاران، ۲۰۰۴).

شکل ۲. روابط تعادلی بین شکل‌های مختلف پتاسیم درخاک.

واکنش‌های تعادلی بین فازهای مختلف پتاسیم خاک در شکل ۲ نشان داده شده است (حسین‌پور و کلباسی، ۱۳۷۹). در این شکل نمادهای K_a معرف ضریب سرعت جذب، K_d، ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم تبادلی،$K_۱$، ضریب سرعت تثبیت، $K_۲$، ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی، $K_۳$، ضریب سرعت تبلور و $K_۴$= ضریب سرعت حل شدن و هوازدگی کانی‌های خاک می‌باشد.

امیری و فلاح (۱۳۷۵) در یک بررسی دامنهٔ تغییرات میزان پتاسیم کل خاک در اراضی تحت کشت برنج در شرق گیلان را بین ۰/۲۵ تا۱/۳ درصد، دامنهٔ تغییرات پتاسیم محلول خاک را بین ۲ تا ۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنهٔ تغییرات پتاسیم قابل تبادل را بین ۳۸ تا ۱۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات پتاسیم غیر قابل تبادل یا تثبیت شده را بین ۸۰ تا۸۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند. بارانی مطلق و ثواقبی (۱۳۸۲) در یک تحقیق شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های زیر کشت نیشکر خوزستان را اندازه‌گیری نمودند. در این مطالعه که بر روی ۵۴ نمونه خاک جمع‌آوری شده از دو عمق ۳۰-۰و ۶۰-۳۱ سانتی‌متری خاک مزارع زیر کشت نیشکر مربوط به شرکت‌های نیشکر هفت تپه، کارون و توسعه نیشکر و صنایع جانبی صورت گرفت پارامترهای مورد اندازه‌گیری شامل پتاسیم محلول در عصاره اشباع، پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیم نرمال و خنثی و پتاسیم قابل استخراج با اسیدنیتریک مولار جوشان بود. بدین‌ترتیب پتاسیم تبادلی از اختلاف بین مقدار پتاسیم استخراجی توسط روش استات

آمونیم نرمال با پتاسیم محلول محاسبه گردید. پتاسیم غیر تبادلی نیز از اختلاف بین میزان پتاسیم استخراجی توسط اسید نیتریک مولار جوشان و پتاسیم استخراج شده توسط استات آمونیم نرمال و خنثی به دست آمد. نتایج مطالعات این محققین در جدول یک درج گردیده است. اینک به طور تفصیلی به بحث درباره هر یک از شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک پرداخته می‌شود.

جدول ۱. میانگین مقادیر شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه در خوزستان (بارانی مطلق و ثواقبی، ۱۳۸۲)

محل نمونه‌برداری	عمق (سانتی‌متر)	پتاسیم محلول در عصاره اشباع	پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم	پتاسیم تبادلی (محاسبه شده)	پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک	پتاسیم غیر تبادلی (محاسبه شده)
شرکت توسعه نیشکر	۰-۳۰	۴/۹	۱۱۷/۶	۱۱۲/۶	۱۹۳/۲	۷۵/۷
	۳۱-۶۰	۳/۸	۱۰۰/۴	۹۶/۶	۱۸۱/۲	۸۰/۸
شرکت کارون	۰-۳۰	۳/۸	۱۳۳/۴	۱۲۹/۶	۲۳۵/۲	۱۰۱/۸
	۳۱-۶۰	۱/۹	۸۱/۳	۷۹/۴	۱۶۷/۸	۸۶/۵
شرکت هفت‌تپه	۰-۳۰	۱/۰	۸۲/۷	۸۱/۷	۱۶۳/۳	۸۰/۶
	۳۱-۶۰	۱/۱	۷۶/۴	۷۵/۳	۱۵۶/۷	۸۰/۳

۱-۲-۱- پتاسیم محلول: پتاسیم محلول، پتاسیمی است که در محلول خاک به فرم یونی موجود بوده و تنها فرم عمده قابل جذب پتاسیم برای گیاهان است و کاهش ذخیره پتاسیمی خاک در اثر شستشوی عمقی نیز پس از تبدیل سایر شکل‌های پتاسیم به این فرم صورت می‌گیرد. حرکت این نوع پتاسیم به سوی ریشه گیاهان در اثر پخشیدگی یا حرکت توده‌ای است. پتاسیم موجود در محلول خاک با پتاسیم تبادلی در حال تعادل بوده و تمایز آن از این بخش دشوار است. در اغلب خاک‌ها پتاسیم تبادلی در مدت یک‌ساعت با محلول خاک به تعادل می‌رسد و در برخی خاک‌ها این نوع تعادل تقریباً آنی است در حالی که برای برخی رس‌های ورمیکولایتی ممکن است حتی مدت زمان ۲۴ساعت برای برقراری حالت تعادل وقت لازم باشد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳،Malavolta، ۱۹۸۵). غلظت پتاسیم محلول خاک در طول فصل رشد گیاه در نوسان بوده و اندازه‌گیری آن نیز مشکل است با این‌حال در خاک‌هایی که قدرت بافری خوبی دارند توانایی تأمین پتاسیم چندان تحت تأثیر جذب گیاه قرار نمی‌گیرد به‌طوری‌که در این خاک‌ها پتاسیم محلول در خاک درطول دورهٔ رشد گیاه و حتی از سالی به سال دیگر تقریباً ثابت می‌ماند (اوستان، ۱۳۷۳). مقدار پتاسیم موجود در محلول خاک به طور متوسط ۰/۱ تا ۰/۲ درصد پتاسیم کل خاک می‌باشد و بسته به طبیعت گیاه، خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، مقدار کود مصرفی و میزان رطوبت خاک متفاوت است (جدول ۲).

جدول ۲. غلظت یون‌ها در عصاره اشباع خاک (سالاردینی و مجتهدی، ۱۳۷۲)

عنصر	محدودهٔ غلظتی برای انواع خاک‌ها	خاک‌های اسیدی میلی‌مولار(mM)	خاک‌های آهکی
کلسیم	۰/۵-۳۸	۳/۴	۱۴
منیزیم	۰/۷-۱۰۰	۱/۹	۷
پتاسیم	۰/۲-۱۰	۰/۷	۱
سدیم	۰/۴-۱۵۰	۱/۰	۲۹
ازت	۰/۱۶-۵۵	۱۲/۱	۱۳
فسفر	۰</۰۰۱-۱	۰/۰۱	۰/>۰۳
گوگرد	۰</۰۱-۱۵۰	۰/۵	۲۴
کلر	۰/۲-۲۳۰	۱/۱	۲۰

غلظت پتاسیم محلول خاک در درجهٔ اول به سطح پتاسیم تبادلی مربوط نیست، بلکه بیشتر با مقدار و نوع کانی‌های رسی در ارتباط است. پژوهشگران با استفاده از هم‌دماهای جذب نشان داده‌اند، چنانچه غلظت تعادلی پتاسیم محلول ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، مقدار محصول بهینه در سیب‌زمینی و کرفس که جزو گیاهان پتاسیم‌دوست هستند، به دست خواهد آمد. در گیاهانی مانند گوجه‌فرنگی و چغندرقند که نیازشان به پتاسیم در حد متوسط می‌باشد، مقدار۸/۷ میلی‌گرم پتاسیم محلول در هر کیلوگرم خاک برای دسترسی به حداکثر محصول، کافی است. در خاک‌های رسی غلظت پتاسیم محلول با افزایش مقدار پتاسیم تبادلی به کندی افزایش می‌یابد در حالیکه در خاک‌های شنی افزایش مزبور با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد. از آنجا که کلوییدهای خاک با نیروی متفاوتی یون‌های پتاسیم را جذب می‌کنند، توزیع مقدار پتاسیم قابل استخراج با روش استات آمونیم بین محلول خاک وفاز تبادلی از خاکی به خاک دیگر متفاوت است. در سطح معینی از پتاسیم قابل استخراج، کلوییدهایی که با نیروی زیادی پتاسیم را جذب می‌کنند غلظت پتاسیم کمتری را در محلول تعادلیشان خواهند داشت. به واسطهٔ پیوند ضعیف بین پتاسیم و مواد آلی در سطح معینی از پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیم، خاکی که ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) آن عمدتاً به مواد آلی متعلق است مقدار پتاسیم محلول زیادتری خواهد داشت . تحقیقات متعددی نشان داده است که پتاسیم موجود در فاز محلول فقط قادر است پنج درصد ازکل نیاز گیاه به پتاسیم در طول فصل رشد را تأمین کند ولی وجود تعادل بین فرم‌های مختلف پتاسیم باعث می‌شود که کاهش غلظت پتاسیم محلول که در اثر جذب گیاه اتفاق می‌افتد به وسیله شکل‌های دیگر پتاسیم جبران شود(شریفی، ۱۳۷۷،ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳،Sparks، ۱۹۸۷). تأثیر غلظت پتاسیم موجود در محلول خاک بر عملکرد گیاهان بستگی به حضور سایر کاتیون‌ها، به ویژه کلسیم و منیزیم نیز دارد. در خاک‌های آهکی، نسبت فعالیت پتاسیم با استفاده از رابطهٔ زیر به دست می‌آید (Tisdale و همکاران ۱۹۹۳).

$$AR^k = \frac{a_k}{\sqrt{{}^aCa + {}^aMg}} \qquad (۱)$$

که در آن AR_K نسبت فعالیت پتاسیم و a فعالیت یونی است. منظور از نسبت فعالیت، اندازه شدت (غلظت) پتاسیم قابل دسترس در محلول خاک است که برای گیاه قابل استفاده می‌باشد. خاک‌های مختلف با نسبت فعالیت مشابه دارای ظرفیت پتاسیمی‌متفاوتی هستند، زیرا پتاسیم محلول در خاک دایماً از طریق آبشویی و جذب گیاه رو به کاهش بوده و مقدار آن با ظرفیت تامپونی پتاسیم کل (Q/I) در ارتباط مستقیم است.

شکل ۳. شیب غلظت پتاسیم در محلول خاک اطراف ریشه‌های ذرت در خاک‌های با میزان مختلف رس (Marschner، ۱۹۹۵).

بنابراین در بیان مقدار پتاسیم قابل دسترس، ظرفیت تامپونی پتاسیم‌خاک بایستی به طور جداگانه محاسبه گردد، تا بتوان بر مبنای آن غلظت پتاسیم موجود در محلول خاک را دقیقاً محاسبه نمود.

تنها جزیی کوچک از پتاسیم مورد نیاز گیاه که بین ۶ تا ۱۰ درصد کل پتاسیم جذب شده در طول فصل رشد می‌باشد، به طور مستقیم از تماس ریشهٔ گیاه با ذرات خاک تأمین می‌گردد و قسمت عمده آن از طریق پتاسیم موجود در محلول خاک به دست می‌آید. انتقال پتاسیم محلول خاک به سمت ریشهٔ گیاه یکی از مسائل مهم در تغذیه گیاهی است. قسمت عمده این نقل و انتقال از طریق جریان توده‌ای و پخشیدگی انجام می‌شود(ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). جدول ۳ سرعت هر یک از فرآیندهای پخشیدگی و جریان توده‌ای پتاسیم در خاک را نشان می‌دهد (Tisdale و همکاران، ۱۹۹۳).

جدول ۳. فرآیندها و سرعت انتقال پتاسیم در خاک‌های مختلف(Tisdale و همکاران، ۱۹۹۳)

سرعت (سانتی‌متر در روز)	فرآیند	محل
تا ۱۰	عمدتاً جریان توده‌ای	در نیمرخ خاک
تقریباً ۰/۱	عمدتاً جریان توده‌ای و پخشیدگی	اطراف منبع کودی
۰/۰۱-۰/۱	عمدتاً پخشیدگی	اطراف ریشه
۱۰-۷	پخشیدگی	درخارج از لایه‌های بین رس

مطالعات مختلف نشان داده است که مقدار کمی از کل پتاسیم مورد نیاز گیاه در محلول خاک اطراف ریشه گیاه (ریزوسفر) وجود دارد. از بین دو فرآیند جریان توده‌ای و انتقال به صورت پخشیدگی حدود ۷۵ درصد از حرکت پتاسیم در خاک به صورت انتشار پتاسیم در اثر شیب غلظت می‌باشد و حرکت پتاسیم به صورت توده‌ای در اثر شیب رطوبتی خاک بخش کوچکی از حرکت پتاسیم در خاک را تشکیل می‌دهد. هنگامی‌که در یک خاک ظرفیت بافری جذب پتاسیم بالا باشد برقرار شدن شیب غلظت بین ناحیه جذب ریشه و بقیه خاک کندتر می‌شود و حرکت پتاسیم با اختلال مواجه می‌شود. هرچه غلظت پتاسیم در محلول خاک بالاتر باشد سهمی از پتاسیم که توسط جریان توده‌ای محلول خاک به محیط ریشه منتقل می‌شود بیشتر خواهد بود. ویژگی‌های منافذ و ذرات خاک نظیر تعداد، اندازه و توزیع منافذ، پیوستگی و میزان اعوجاج آن‌ها در تحرک پذیری پتاسیم خاک اثرگذار است. جالب اینکه علی‌رغم نقش قابل توجه تحرک پذیری پتاسیم خاک و عوامل مؤثر مربوط به آن در تأمین نیاز پتاسیمی گیاه، هنگام اندازه‌گیری‌های مربوط به شاخص‌های پتاسیم در خاک توجه کمتری به این عوامل شده است که شاید دلیل اصلی این امر مشکلات اندازه‌گیری و دقت آن باشد. بنابراین بایستی در نظر داشت غلظت پتاسیم در محلول خاک تنها عامل مؤثر در تحرک پذیری آن نیست و عوامل متعدد دیگر نیز در این فرآیند مؤثر می‌باشند (ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳).

کاوسی (۱۳۷۸) در یک تحقیق بر روی تعداد ۲۳ نمونه خاک جمع‌آوری شده از مزراع تحت کشت برنج در شمال کشور، پتاسیم محلول خاک را با استفاده از نسبت ۱ به ۲۰ (۱:۲۰) خاک به آب مقطر و تکان دادن به مدت یک ساعت با دستگاه شیکر برقی و سپس خواباندن (Incubation) به مدت ۱۶ ساعت و تکان دادن مجدد به مدت ۱۵ دقیقه و صاف کردن محلول و اندازه‌گیری به روش نورسنجی شعله‌ای (فلیم‌فتومتری)، اندازه‌گیری نمود و نشان داد که حداقل پتاسیم محلول در خاک‌های مورد بررسی ۱۵ و حداکثر آن ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بوده است. این محقق در یک بررسی دیگر بر روی ۱۰۹ نمونه از خاک‌های شالیزاری استان گیلان گزارش نمود که حداقل پتاسیم محلول در خاک‌های مورد بررسی ۸ و حداکثر ۹۲ با میانگین ۴۷/۸ میلی‌گرم در لیتر بوده است (کاوسی،۱۳۸۰). شکل ۴ پراکنش پتاسیم محلول در آب در شالیزارهای گیلان را نشان می‌دهد.

شکل ٤. پراکنش پتاسیم محلول در آب در شالیزارهای گیلان (ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳).

۲-۲-۱- پتاسیم تبادلی. پتاسیم تبادلی یا پتاسیم جذب سطحی شده روی کلوییدها وقابل جایگزین با سایر کاتیون‌ها، همانند کاتیون‌های تبادلی دیگر به وسیله نیروهای الکترو استاتیک بارهای منفی کلوییدهای آلی و معدنی خاک نگهداری می‌شود و تحت شرایطی به آسانی توسط نمک‌های خنثی قابل استخراج می‌باشد. تنها بخش نسبتاً کوچکی از پتاسیم کل خاک به صورت تبادلی بوده و مجموع پتاسیم تبادلی و محلول خاک شاید یک تا دو درصد از کل پتاسیم خاک را شامل شود. مقدار پتاسیم تبادلی از ۱۰۰ تا بیش از ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک گزارش شده است . این بخش از پتاسیم به آسانی می‌تواند برای گیاه قابل استفاده باشد و هنوز اندازه‌گیری آن یکی از مهم‌ترین راه‌های برآورد قابلیت جذب پتاسیم به وسیله گیاه است. پتاسیم تبادلی ممکن است با پیوندهای متفاوتی از نظر انرژی روی مکان‌های تبادلی جذب شده باشد که از این نظر می‌توان آن را به سه فرم زیر تقسیم‌بندی نمود. (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳، Havlin و همکاران، ۲۰۰۰).

- پتاسیم جذب شده بر روی سطوح پایه‌ای کانی‌های رسی که عموماً به صورت غیر اختصاصی جذب شده است (موقعیت P)؛
- پتاسیم جذب شده در لبه کانی‌های رسی که تشخیص آن از پتاسیم جذب شده بر روی سطوح

پایه‌ای رس‌ها به آسانی امکان پذیر نیست و موقعیتی اختصاصی برای پتاسیم به شمار می‌رود (موقعیتe) و

- پتاسیم جذب شده در فضاهای بین لایه‌ای رس‌ها که معمولاً جذب پتاسیم در آن‌ها اختصاصی تر است(موقعیتi).

شکل ۵. موقعیت‌های جذبی پتاسیم برروی کانی‌های رسی

در شرایط مزرعه، غلظت پتاسیم محلول عمدتاً به وسیله پتاسیم موجود در سطوح خارجی کانی‌های رسی بافر می‌شود ولی پتاسیم موجود در لبه‌ها و بین لایه‌های کانی‌های رسی نیز در طولانی‌مدت می‌توانند در بافر کردن پتاسیم محلول خاک نقش داشته باشند. توزیع پتاسیم بین مکان‌های تبادلی و محلول خاک را می‌توان تابعی از نوع و مقدار کاتیون‌های رقیب، غلظت آنیون‌ها، نوع و مقدار رس، واکنش خاک، تراکم بار و درجه تداخل لایه‌ای کانی‌های رسی خاک و ویژگی‌های کمپلکس‌های تبادلی دانست. در خاک‌های آهکی کاتیون‌هایی که پتاسیم را از مکان‌های تبادلی جابجا می‌کنند عمدتاً کلسیم، منیزیم، آمونیم و تا حدی آلومینیوم می‌باشند. کلسیم به خوبی پتاسیم جذب شده بر روی سطوح خارجی رس‌ها را آزاد می‌سازد اما قادر به جایگزینی پتاسیم در لبه کانی‌های رسی نیست ولی یون آمونیم به خوبی می‌تواند پتاسیم موجود در لبه و حتی بخشی از پتاسیم جذب شده در بین لایه‌های کانی‌های رسی (موقعیت i) را نیز جایگزین نماید. یون هیدروژن در خاک‌های اسیدی نیز به خوبی می‌تواند پتاسیم را جایگزین کند. ظرفیت تبادلی مواد آلی که ناشی از یونیزاسیون هیدروژن از گروه‌های عامل اسیدی (کربوکسیل، فنول و انول) است به دلیل ویژگی‌های خاص کلوییدی و تعداد گروههای عامل اسیدی که در آن قابل ملاحظه

است سهم عمده‌ای در ظرفیت تبادلی کاتیونی خاک دارد. این سهم بسته به مقدار ماده آلی خاک ممکن است به ۷۰ درصد هم برسد. همانند مواد آلی، در اکسیدها و هیدروکسیدهای فلزی (سزگویی اکسیدها) نیز بخشی از گنجایش تبادل کاتیونی وابسته به پ‌هاش است، لذا میزان تأثیر آن‌ها درجذب سطحی پتاسیم کاملاً وابسته به پ‌هاش محیط است. پتاسیم تبادلی خاک هرگز در طول یک و یا حتی چند فصل زراعی به طور کامل توسط گیاه از خاک خارج نمی‌گردد هر چند که در خاک‌های مختلف ممکن است این میزان تخلیه متفاوت باشد (شکل ۶). به طور کلی دو علت عمده برای عدم امکان تخلیه کامل خاک از پتاسیم تبادلی توسط برداشت گیاهی می‌توان ذکر کرد (ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳).

۱- جایگزینی پتاسیم تبادلی به وسیله آزاد شدن پتاسیم بین لایه‌ای،

۲- پتاسیم تبادلی از تمام نقاط خاک به طور یکسان به وسیله ریشه جذب نمی‌شود و تحرک پتاسیم به‌وسیله پخشیدگی و جریان توده‌ای به اندازه‌ای نیست که با کمبود و حتی تخلیه شدید پتاسیم تبادلی اطراف ریشه فعال گیاهان، این کمبود به تمام نقاط خاک تسری یابد.

شکل ٦. رابطه جذب پتاسیم توسط بوته‌های چاودار (Secale cereale L.) با میزان کاهش پتاسیم قابل تبادل در دو نوع خاک رسوبی و سبک (Barber، ١٩٨٤).

دواتگر (۱۳۸۰) در نتیجه یک تحقیق بر روی ۱۰۹ نمونه خاک جمع‌آوری شده از مزارع تحت کشت برنج در استان گیلان گزارش نمود که حداقل پتاسیم تبادلی در این خاک‌ها ۴۰ و حداکثر ۳۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بوده است.

شکل ۷.توزیع پتاسیم قابل دسترس در شالیزارهای گیلان (دواتگر، ۱۳۸۲).

توفیقی(۱۳۷۸) دامنه پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیم را در ۵۱ نمونه خاک شالیزاری (۲۷ نمونه ار مازندران و ۲۴ نمونه از گیلان) را از حداقل ۴۱ تا حداکثر ۲۸۰ و با میانگین ۱۳۳/۴ میلی گرم در کیلوگرم گزارش نموده است. اوستان (۱۳۷۳) میانگین پتاسیم تبادلی را در ۵۲ خاک شالیزاری شمال کشور ۱۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش نموده است. گلستانی (۱۳۷۵) نیز با بررسی ۶۷ نمونه از خاک‌های شالیزاری شمال کشور میانگین پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیم را در نمونه‌های خاک پس از ۲۰ روز غرقاب، ۱۲۶/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نموده است. کاوسی(۱۳۷۸) نیز با بررسی ۲۳ نمونه خاک هوا خشک شالیزاری، پتاسیم تبادلی استخراج شده با استات آمونیم یک نرمال خنثی را بین حداقل ۵۰ و حداکثر ۲۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و میانگین ۹۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمود. در این تحقیق با غرقاب نمودن همان نمونه‌ها به مدت دو هفته،پتاسیم تبادلی معادل حداقل ۶۰ و حداکثر ۲۴۰ و با میانگین ۱۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. این محقق از آزمایش خود چنین نتیجه‌گیری نمود که غرقاب شدن خاک شالیزاری می‌تواند تاحدی مقدار پتاسیم تبادلی را افزایش دهد (ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳).

۳-۲-۱- پتاسیم غیر تبادلی: پتاسیم غیر تبادلی یا تثبیت شده پتاسیمی است که به‌آسانی قابل تبادل نبوده و در زمان‌های کوتاه نیز توسط محلول‌های نمکی آزاد نمی‌شود ولی بخشی از

آن با اسید نیتریک مولار جوشان قابل استخراج است. پتاسیم غیرتبادلی که تاحدودی برای گیاه قابل استفاده است شامل دو بخش می‌باشد.

۱- پتاسیم بومی (Native interlayer potassium) موجود بین لایه‌های کانی‌های رسی دو به یک (۲:۱)که تحت شرایط خاصی می‌تواند برای گیاه قابل جذب باشد و به پتاسیم به سختی قابل تبادل معروف است این بخش از پتاسیم با اسیدهای معدنی سرد و رقیق (H_2SO_4,HCl,HNO) قابل استخراج است.

۲- پتاسیم تثبیت شده در بین لایه‌های کانی‌های رس که معمولاً با اسیدهای معدنی سرد و غلیظ (H_2SO_4,HCl_6 مولار) استخراج می‌شود.

مرز مشخص و معینی بین پتاسیم لایه‌ای بومی خاک و پتاسیم تثبیت شده وجود ندارد اما به طور کلی می‌توان گفت که پتاسیم بین لایه‌ای بومی، نسبت به پتاسیم تثبیت شده با نیروی بیشتری نگهداری می‌گردد و به همین جهت به آن پتاسیم به سختی قابل تبادل نیز می‌گویند. البته گاهی اوقات این بخش از پتاسیم ممکن است نقش قابل ملاحظه‌ای در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه داشته باشد (ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳). پتاسیم غیر تبادلی در مناطق گوه‌ای شکل و نیز در حفره‌های شش‌گوش واقع بین ورقه‌های تتراهدرال لایه‌های مجاور میکا، ورمیکولایت و سایر کانی‌های حد واسط نگهداری می‌شود. پتاسیم غیرتبادلی همچنین در حفره‌های نامنظم کانی‌هایی که دارای اندازهٔ رسی بوده و بی‌شکل هستند (آمورف) نیز موجود است. قابلیت استفادهٔ پتاسیم غیر تبادلی به عوامل متعددی بستگی دارد. رها شدن از فرم غیرتبادلی زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار پتاسیم تبادلی و محلول از طریق جذب گیاهی، آبشویی و یا افزایش زیاد فعالیت میکربی و محبوس شدن کاهش یابد(Sparks، ۱۹۸۵).شدت آزاد شدن پتاسیم به مقدار میکای موجود، سطح ویژه یا مقداری که در معرض محلول خاک قرار دارد و فاصله‌ای که پتاسیم بایستی طی نماید تا به لبهٔ خارجی ذره برسد، بستگی دارد. سرعت آزاد شدن پتاسیم از فرم غیر تبادلی معمولاً بسیار کند است. برای انجام این کار ابتدا کاتیون جایگزین شونده بایستی به فرم بدون آب وارد فضای بین لایه‌ای کانی که هنوز منبسط نشده است، گردد. سپس و یا به طور همزمان با آبپوش شدن این کاتیون‌ها فضای بین لایه‌ای منبسط شده و امکان هیدارته شدن یون‌های پتاسیم تثبیت شده فراهم شده و به دنبال آن این یون‌ها به آرامی به مکان‌های تبادلی قسمتهای خارجی ذره رسی منتشر می‌شوند.

در مقایسه با ذرات ریز خاک، ذرات درشت به علت هوادیدگی کمتر، حاوی پتاسیم بیشتری هستند همچنین با وجود فراوانی بالفعل پتاسیم در ذرات رسی، درصد پتاسیم ذخیره(بالقوه) در ذرات شن و سیلت باتوجه به نوع کانی‌های تشکیل دهندهٔ و درجه تخریب آن‌ها، در بعضی موارد بیشتر از ذرات رس می‌باشد(ملکوتی وهمایی، ۱۳۸۳). اگر آزادسازی مستقیم پتاسیم از کانی‌های اولیه حاوی پتاسیم بتواند بخش قابل توجهی از پتاسیم قابل دسترس گیاهان را تأمین نماید جزو

شکل ۸. آزادسازی پتاسیم در میکا از طریق جایگزینی کاتیون‌های هیدراته به جای پتاسیم بین‌لایه‌ای در فرآیند هوادیدگی بین لایه‌ای و هوادیدگی لبه‌ای و تبدیل میکا به ورمیکولایت.

سیلت و حتی شن نیز به خوبی جزو رس می‌توانند پتاسیم مورد نیاز گیاهان را تأمین کنند. در خاک‌های مناطق خشک که غنی از میکا هستند پتاسیم تبادلی به تنهایی شاخص ضعیفی برای ارزیابی پتاسیم قابل دسترس گیاه است و مقدار میکا در اجزاء سیلت و رس به عنوان یک شاخص همبستگی بیشتری با پتاسیم قابل دسترس گیاه دارد (Mengel و Rahmatullah، ۱۹۹۴). درخاک‌هایی که حاوی مقدار کمی پتاسیم غیر تبادلی می‌باشند پتاسیم تبادلی ممکن است فرم غالب قابل استفاده باشد. خاک‌های هیستوسول و اکسی سول عمدتاً دارای چنین شرایطی هستند و پتاسیم ذخیره آن‌ها فوق‌العاده کم است. در خاک‌های حاوی رس‌های قابل انبساط اسمکتایت و ورمیکولایت نیز منبع اصلی تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه، پتاسیم تبادلی است و پتاسیم غیرتبادلی در این خاک‌ها سهم کوچکی در جذب پتاسیم توسط گیاه به‌عهده دارد (Mengel، ۱۹۹۳). ولی در خاک‌هایی که حاوی مقادیر کمی پتاسیم تبادلی اما دارای مقادیر زیادی کانی‌های میکایی و ایلایت هستند، تجدید پتاسیم تبادلی یا محلول تا حد زیادی وابسته به آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی است. باید بخاطر داشت که آزاد شدن پتاسیم بین لایه‌ای فرآیندی است که تحت کنترل پخشیدگی با سرعت پایین است . لذا برای متخصصان تغذیه گیاهی مقدار کل پتاسیم بین لایه‌ای به اندازه آن بخش از پتاسیم بین لایه‌ای که در زمان‌های کوتاه یا متوسط (روز یا هفته) آزاد می‌شوند، اهمیت ندارد. چون تنها این بخش از پتاسیم بین لایه‌ای است که در کوتاه مدت بر جذب پتاسیم به وسیله گیاه تأثیر دارد. البته بایستی در نظر داشت که جذب پتاسیم بین لایه‌ای به عنوان درصدی از کل پتاسیم جذب شده به وسیله گیاه تاحد زیادی به میزان توسعه ریشه‌های موئین و به عبارت دیگر میزان حجم خاک در اختیار ریشه بستگی دارد به همین لحاظ غلات به استثنای ذرت، به دلیل تغذیه بهتر از پتاسیم بین لایه‌ای به خوبی می‌توانند

در خاک‌های با پتاسیم تبادلی پایین ولی پتاسیم ذخیره شده کافی رشد کنند.
وقتی میزان پتاسیم تبادلی به سطح بحرانی رسید جذب بیشتر توسط گیاه، با سرعتی که پتاسیم از فرم غیر تبادلی آزاد می‌شود تنظیم می‌گردد. این سرعت ممکن است به گونه‌ای کند باشد که نیاز پتاسیمی گیاه را مرتفع ننموده و در نتیجه میزان تولید را در صورت عدم مصرف کود پتاسیمی به طور محسوسی کاهش دهد ویا برای برطرف نمودن نیاز کلی گیاه در طول فصل رشد به مقدار کافی سریع باشد به طوری که رشد بهینه و عملکرد مطلوب بدون نیاز به مصرف پتاسیم حاصل گردد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). ملکوتی و کاوسی (۱۳۸۳) به نقل از دواتگر (۱۳۸۲) گزارش نمودند که در نتیجه یک تحقیق بر روی خاک‌های شالیزاری استان گیلان پتاسیم استخراج شده با اسید نیتریک مولار جوشان که مجموع پتاسیم تبادلی و غیر تبادلی را استخراج می‌نماید بین ۲۰۰ تا ۱۹۴۰ با میانگین ۶۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک بوده است. کاوسی (۱۳۷۸) در یک تحقیق مشابه، پتاسیم استخراج شده با روش مذکور را در تعدادی از خاک‌های شالیزاری گیلان بین ۲۹۸ تا ۷۹۱ و با میانگین ۵۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش نموده است. در همین تحقیق پتاسیم بین لایه‌ای بین ۲۱۸ تا ۷۰۶ و با میانگین ۴۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به دست آمده است. این محقق با مقایسهٔ نتایج به دست آمده با جدول ارایه شده توسط Mutscher (۱۹۹۵) که در آن وضعیت پتاسیم بین لایه‌ای براساس مقدار آن در خاک گروه‌بندی گردیده است، چنین نتیجه‌گیری نمود که چون حد پایین پتاسیم بین لایه‌ای اندازه‌گیری شده در خاک‌های گیلان در گروه «کم» و حد بالایی و همچنین میانگین آن در گروه «تا حدی کم» قرار می‌گیرند لذا این امر نشان دهنده کمبود نسبی ذخیره پتاسیم در خاک‌های شالیزاری گیلان می‌باشد.

جدول ٤. گروه بندی خاک‌ها از نظر پتاسیم بین لایه‌ای خاک (Mutscher، ۱۹۹۵)

مقدار پتاسیم بین لایه‌ای * (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	وضعیت نسبی پتاسیم بین لایه‌ای خاک
۵۰ >	فوق‌العاده کم
۵۰–۱۵۰	خیلی‌کم
۱۵۰–۳۰۰	کم
۳۰۰–۶۰۰	تا حد کم
۶۰۰–۱۰۰۰	متوسط
۱۰۰۰–۱۴۰۰	زیاد
۱۴۰۰–۲۰۰۰	خیلی‌زیاد
۲۰۰۰>	فوق‌العاده زیاد

*مقدار پتاسیم بین‌لایه‌ای از کسر نمودن پتاسیم قابل دسترس یا پتاسیم استخراج شده توسط استات آمونیوم نرمال و خنثی از پتاسیم استخراج شده با اسید نیتریک جوشان به دست می‌آید.

شکل ۹.پراکنش پتاسیم استخراج شده با اسید نیتریک مولار جوشان در شالیزارهای استان گیلان (ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳).

۴-۲-۱-پتاسیم ساختمانی: پتاسیم ساختمانی به شکلی از پتاسیم اطلاق می‌شود که جزیی از شبکه کریستالی کانی‌ها می‌باشد. تعداد زیادی از کانی‌ها و اغلب سیلیکات‌ها ممکن است حاوی چنین شکلی از پتاسیم باشند. به‌هر حال سه گروه مهم از کانی‌های پتاسیم‌دار شامل فلدسپارها، میکاها و سیلیکات‌های رسی شبه میکایی می‌باشند. پتاسیم ساختمانی فلدسپارها معمولاً با تخریب شبکه سیلیکاتی طی فرآیندهای هوا دیدگی آزاد می‌شود. پتاسیم بین لایه‌ای میکاها نیز ممکن است به وسیله تخریب شیمیایی کانی‌ها آزاد شود اما حداقل بخشی از پتاسیم ساختمانی این کانی‌ها می‌تواند به وسیله انتشار از فضای بین لایه‌ای بطرف بیرون حرکت کرده و بدون آنکه تخریبی در ساختمان کریستال ایجاد شود، پتاسیم آن آزاد گردد. کانی‌های سیلیکاتی شبه میکایی رفتاری مشابه با میکا از خود نشان می‌دهند با این تفاوت که فرآیند آزادسازی پتاسیم بین لایه‌ای به وسیله انتشار در آن‌ها، سریعتر از میکاها به وقوع می‌پیوندد چون نیروی پیوند پتاسیم در این کانی‌ها کمتر و مسیر انتشار نیز نسبت به میکاها در آن‌ها کوتاهتر است (Mutscher، ۱۹۹۵).

میکاها مهم‌ترین منبع طبیعی پتاسیم در خاک هستند. میکاها سیلیکات‌های لایه‌ای ۲:۱ هستند که از یک لایه اکتاهدرال که بین دو لایه تتراهدرال قرار گرفته، تشکیل شده‌اند. در موسکوویت (دی‌اکتاهیدرال) تنها دو موقعیت از موقعیت‌های سه گانه اکتاهدرال به وسیله آلومینیوم اشغال شده ولی در بیوتیت و فلوگوپایت که میکاهای تری‌اکتاهدرال هستند، هر سه موقعیت به وسیله Fe^{2+} یا Mg^{2+} اشغال شده و پتاسیم در بین لایه‌های مذکور قرار دارد. شدت آزاد سازی پتاسیم از بیوتیت به ترتیب ۱۳ تا ۱۶، ۷۵ تا ۱۰۵، ۱۱۸ تا ۱۹۰ برابر فلوگوپایت، موسکوویت و فلدسپار میکروکلین است (Tisdale، ۲۰۰۳). آزاد سازی پتاسیم از میکاها با کوچکتر شدن اندازه کانی

تسریع می‌شود که علت آن کوتاه‌تر شدن مسیر انتشار و افزایش سطح ویژه است. ایلایت و گلوکونیت که کانی‌های شبه میکایی هستند با وجود شباهتی که به موسکوویت و بیوتیت دارند و حتی بعضی‌ها آن‌ها را یکسان در نظر می‌گیرند، ولی تفاوت‌هایی با دو کانی ذکر شده دارند. فرق ایلایت با موسکوویت درجه کریستالی شدن پایین‌تر ایلایت نسبت به موسکوویت ایده‌آل و داشتن آب در ساختمان آن است. در ضمن ایلایت و گلوکونیت بار لایه‌ای کمتری نسبت به میکاها دارند. فلدسپارها ۵ تا ۲۵ درصد بخش سیلت و شن خاک را تشکیل می‌دهند در حالیکه به طور معمول کمتر از ۵ درصد بخش رس اغلب خاک‌ها را شامل می‌شوند(Maclean ،۱۹۶۱). ساختمان فلدسپارها از اتصال تتراهدرالهای SiO^{-4} و AlO^{4-} به وسیله مشارکت اکسیژن موجود در گوشه لایه‌ها، به صورت یک شبکه سه‌بعدی نامحدود به وجود می‌آید . در ساختمان فلدسپارهای پتاسیم، یک اتم سیلیسیم به وسیله آلومینیوم جایگزین شده و بار حاصله به وسیله کاتیون‌های دیگر از جمله پتاسیم خنثی می‌گردد. پتاسیم موجود در بخش سیلیت ریز خاک عمدتاً از فلدسپارهای پتاسیم تشکیل شده و منبع عمده پتاسیم خاک است . معمولاً پتاسیم ساختمانی برای گیاهان به کندی قابل استفاده بوده و قابلیت استفاده آن به عوامل چندی از قبیل مقدار پتاسیم در سایر فرم‌ها (محلول، تبادلی و غیرتبادلی) و نیز درجه هوادیدگی میکاها و فلدسپارها بستگی دارد (ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳). از آنجا که شناخت کانی‌های جزو رس، سیلت و شن در خاک کمک مؤثری به درک هرچه بیشتر فرآیندهای مربوط به شیمی پتاسیم در خاک و پویایی اشکال مختلف آن از نظر تئوری و مدیریت مصرف کودهای پتاسیمی با توجه به نوع رس‌های حاضر در خاک و نوع گیاه از نظر نیاز پتاسیمی و طول دوره رشد و در نتیجه امکان تأمین پتاسیم مورد نیاز از اشکال مختلف می‌نماید، لذا به طور اختصار به بحث درباره هر یک از کانی‌های خاک پرداخته می‌شود.

۳-۱- کانی‌های رسی مؤثر در پویایی اشکال مختلف پتاسیم در خاک

بیشتر کانی‌های رسی آلومینوسیلیکات‌هایی می‌باشند که عناصر مهم ساختمانی آن‌ها اکسیژن، سیلیسیم و آلومینیوم است. اتم‌های سیلیسیم به صورت چهاروجهی (تتراهدرال) و آلومینیوم‌ها به صورت هشت وجهی (اکتاهدرال) قرار دارند.

آلومینیوم از نظر فراوانی پس از اکسیژن و سیلیسیم سومین عنصر پوسته زمین است (۸/۱۳ درصد). این عنصر در ساختمان اتمی خود سه الکترون کم دارد (Al^{+3})، بنابراین شش اتم اکسیژن را به خود جذب کرده و هشت وجهی اکتاهدرال را تشکیل می‌دهد. چهار وجهی سیلیسیم و هشت وجهی آلومینیوم واحدهای اصلی ساختمان کانی‌های رسی هستند.

چهار وجهی سیلیسیم با مشارکت اتم‌های اکسیژن ورقه‌هایی را تشکیل می‌دهند و هشت وجهی آلومینیوم هم نیز به همین نحو عمل می‌کنند. ورقه‌های تتراهدرال و اکتاهدرال به صورت چند لایه روی هم قرار گرفته و واحد لایه‌ای را به‌وجود می‌آورد. از قرار گرفتن این لایه‌ها بر یکدیگر کانی‌های

رسی گوناگون پدید می‌آید. اتصال ورقه‌ها به یکدیگر با مشارکت اتم‌های اکسیژن موجود بین ورقه‌ها صورت می‌گیرد.

جدول ۵. مشخصات عمومی کانی‌های رسی در خاک‌ها (Havlin و همکاران، ۲۰۰٤)

کانی رس	نوع رس	فاصلهٔ بین لایه‌ای C-Spacing (انگستروم)	بار لایه‌ای	ظرفیت تبادلی کاتیونی (سانتی‌مول بار بر کیلوگرم)	بار وابسته به پ‌هاش
کائولینایت	۱:۱	۷/۲	۰	۳–۱۵	زیاد
مونت موریلینایت	۲:۱	متغییر	۰/۴	۸۰–۱۲۰	کم
ورمی‌کولایت	۲:۱	۱۰–۱۵	۰/۸	۱۲۰–۱۵۰	کم
ایلایت (میکا)	۲:۱	۱۰	۱/۰	۲۰–۴۰	کم
کلرایت	۲:۱:۱	۱۴	۱/۰	۲۰–۴۰	زیاد

کانی‌های سیلیکات رسی بر پایه تعداد ورقه‌های اتم سیلیسیم و آلومینیوم در واحد لایه‌ای خود به گروههایی به شرح زیر تقسیم می‌شوند (حق‌نیا، ۱۳۷۰). این گروه‌ها عبارتند از کاندیت که دارای یک ورقه سیلیسیم و یک ورقه آلومینیوم می‌باشد. اسمکتایت که برای هر ورقه آلومینیوم دو ورقه سیلیسیم دارد. گروه سوم ورمیکولایت است که آن هم از دو ورقه سیلیسیم و یک ورقه آلومینیوم تشکیل شده ولی ویژگی‌های آن با گروه اسمکتایت متفاوت است و بالاخره گروه آخر کلرایت است که دارای دو ورقه سیلیسیم و یک ورقه آلومینیوم بوده لیکن در آن یک ورقه از اتم‌های منیزیم نیز بین ورقه‌های سیلیسیم مجاور قرار می‌گیرد (جدول ۶). در آغاز ممکن است که این تقسیم‌بندی پیچیده به نظر برسد اما هنگامی که درباره هریک از این کانی‌ها توضیح داده شده و شکل‌های مربوط بررسی شود این موضوع روشن خواهد شد که چرا این کانی‌ها با یکدیگر متفاوت‌اند و چرا مطالعه و شناخت آن‌ها از دیدگاه وضع خاک به طور عام و از نظر نقش آن‌ها در شیمی پتاسیم در خاک به طور خاص حایز اهمیت است.

جدول ٦. فرمول‌هایی برای واحدهای سلولی (Formula unit) برخی از کانی‌های رسی برگزیده

کانی	فرمول
کائولینیت(Kaolinite)	$Al_4 Si_4 O_{10} (OH)_8$
هالویسیت(Haloysite)	$Al_4 Si_4 O_{10} (OH)_8 H_2O$
اسمکتایت(Smectite)	$(Al_3 Mg) si_8 O_{20}(OH)_4$
مونتموریلونیت(Montmorilonite)	
نونترونیت (Nontronite)	$Fe_4 (si_7 Al)O_{20}(OH)_4$
ساپونیت(Saponite)	$Mg_6 (si_7 Al)O_{20}(OH)_4$
ورمی کولیت(Vermiculite)	$Mg (Al, Fe, Mg_4) (Al_2 si_6)O_{20}(OH)_4 nH_2O$
کلرایت(Chlorite)	$Mg_6(OH)_{12} (Al, Mg_5) (AL_2 si_6)O_{20}(OH)_4$

- **کاندیت‌ها:** ساده‌ترین گروه کانی‌های سیلیکات رسی گروه کاندیت است. این کانی‌ها از گونه ۱ به ۱ بوده که در آن یک ورقه سیلیسیم به یک ورقه آلومینیوم متصل است. کائولینیت عضوی از گروه کاندیت و با فرمول شیمیایی زیر است. $Al_4 Si_4 O_{10} (OH)_8$

ذکر این نکته ضروری است که در این فرمول تعداد اتم‌های آلومینیوم و سیلیسیم که به یک ورقه از اتم‌های آلومینیوم و یک ورقه از اتم‌های سیلیسیم وابسته‌اند با یکدیگر برابر هستند. افزون بر آن، اکسیژن و هیدروکسیل هم در این فرمول دیده می‌شود. در این مورد به چند پرسش به این شرح بایستی پاسخ داده شود. اگر از ورقه‌های اتم سیلیسیم و آلومینیوم گفتگو می‌شود پس چرا در این فرمولها تعداد اتم‌ها آنقدر کم است؟ آیا تنها چهار اتم توانایی ساختن یک ورقه را دارند؟ مولکول‌های هیدروکسیل در کجای این ساختمان و چگونه قرار می‌گیرند؟

فرمول بالا در حقیقت برای یک واحد سلولی مولکول کائولینیت است. واحد سلولی (Cell Unit) حداقل واحدی است که در یک طرح منظم و در هر سه بعد تکرار می‌شود تا ساختمان بلورین کانی را به وجود آورد. در یک بلور منفرد کائولینیت ممکن است میلیون‌ها واحد سلولی وجود داشته باشد که در بعدهای افقی و عمودی به یکدیگر متصل شده‌اند. وجود هیدروکسیل‌ها برای توازن بار الکتریکی ساختمان مورد نیاز است . اگر با دقت به شکل ۱۰ توجه شود تعداد هشت هیدروکسیل (OH) دیده می‌شود که ۶ عدد آن در کناره و دو عدد دیگر در داخل بلور وجود دارد. اتم‌های هیدروژن فراوان بوده و با اتم‌های اکسیژن که الکترون‌های اضافی (بار الکتریکی منفی خالص) دارند ترکیب می‌شود و اتم سیلیسیم یا آلومینیوم وجود ندارد که با آن‌ها مشارکت داشته باشد.

شکل ۱۰. شمایی از ساختمان کائولینیت به عنوان یک کانی آلومینوسیلیکاتی از نوع ۱:۱ (حق‌نیا، ۱۳۷۰).

ضخامت یک لایه کائولینیت فقط ۰/۷۱ نانومتر است اما ممکن است درازا یا پهنای آن خیلی بیشتر باشد. برای تشکیل یک ذره رسی ۰/۰۰۲ میلی‌متری حدود سه هزار واحد ۰/۷۱ نانومتری مورد نیاز است. چه عاملی سبب می‌شود که این واحدها را به یکدیگر وصل کند؟ در مورد کائولینیت هیدروکسیل‌ها از یک سطح واحد سلولی در مجاورت اتم‌های اکسیژن سطح واحد سلولی دیگر قرار گرفته و از طریق پیوند هیدروژن دو لایه را به یکدیگر متصل می‌کنند. میلیاردها پیوند هیدروژنی از این نوع، لایه‌های کانی را محکم به یکدیگر همبسته نگه می‌دارد و در نتیجه آب و کاتیون‌ها نمی‌توانند به فضاهای بین لایه‌ای کائولنیت داخل شده و

کانی را منبسط کنند.
کاندیت‌ها گروهی از کانی‌های رسی را تشکیل می‌دهند که از آن جمله می‌توان ناکریت، دیکیت، هالویسیت و کائولینیت را نام برد. هنگامی که یک کانی رسی در حال تشکیل است به احتمال قوی مقدار آهن (Fe)، منیزیم (Mg) و یا کاتیون‌های دیگر در مجاورت آن هستند که ممکن است به جای آلومینیوم در ورقه هشت وجهی قرار گیرند که به این عمل جایگزینی همشکلی (Isomorphus Substitution) گویند. هنگامی که کار جایگزینی به مقدار چشمگیری انجام شود یک کانی جدید به وجود خواهد آمد. کانی جدید ممکن است از نظر ساختمانی با کائولینیت یکسان باشد لیکن از نظر شیمیایی به اندازه‌ای با آن تفاوت دارد که نامی جدید به خود می‌گیرد و مهم‌تر آنکه ویژگی‌های شیمیایی آن نیز متفاوت خواهد بود. جایگزینی یک عنصر به جای عنصر دیگر در ساختمان کانی رسی طی فرآیند جایگزینی همشکلی دارای پیامدهای بسیار مهمی است. نخست این که طیف گسترده‌ای از گونه‌های کانی رسی به وجود می‌آید که در خاک‌ها دیده می‌شوند و چون پیدایش کانی‌های رسی گوناگون در موقعیت‌های محیطی متفاوت انجام می‌شود، بنابراین وجودشان در خاک این امکان را می‌دهد تا بتوان تاریخچه خاک را بررسی نمود. دوم و از همه مهم‌تر اینکه کار جانشینی اغلب موجب می‌شود که کانی رسی بار الکتریکی پیدا کند. برای مثال، اگر در ورقه تتراهدرال بلور کائولینیت یک اتم آلومینیوم به جای اتم سیلیسیم بنشیند یک بار منفی (۱-) به وجود خواهد آمد که در این حالت یعنی جایگزینی همشکل آرایش اتم‌ها (مورفولوژی) در کانی تغییر نکرده و تنها نوع اتم‌ها (ساختار) تغییر پیدا می‌کند. معمولاً نتیجه جایگزینی هم شکل بار منفی است که بایستی توسط کاتیون‌ها خنثی شود. اینگونه کاتیون‌ها با حالتی ناپایدار و برگشت‌پذیر در سطح کانی‌های رسی قرار می‌گیرند که به سادگی با دیگر کاتیون‌ها قابل تعویض هستند و از این رو آن‌ها را کاتیون‌های قابل تبادل یا کاتیون‌های تبادلی می‌نامند پتاسیم جذب شده به شکل فوق بر روی رس‌ها از نظر تغذیه پتاسیمی گیاهان نقشی حیاتی دارد.
هالویسیت یکی دیگر از کانی‌های گروه کاندیت است که دارای یک ورقه سیلیسیم چهار وجهی بوده که به یک ورقه آلومینیوم هشت وجهی متصل شده است. لیکن در فضای بین لایه‌ای سیلیسیم و آلومینیوم یک و گاهی دو لایه از مولکول‌های آب وجود دارد. به دلیل وجود این مولکول‌های آب، ضخامت واحد سلولی هالویسیت ۱/۰۲۵ نانومتر است در حالی که این ضخامت در کائولینیت بیشتر از ۰/۷۱ نانومتر نیست. یکی از خصوصیت‌های جالب کانی هالویسیت آن است که بلورهای آن به شکل لوله بوده درحالی که بلورهای دیگر کانی‌های رسی مسطح می‌باشند. به طور خلاصه کاندیت‌ها به وسیله سه خاصیت از کانی‌های رسی دیگر متمایز می‌شوند. نخست آنکه این کانی‌ها از نوع ۱ به ۱ می‌باشند. به عبارت دیگر برای هر ورقه چهاروجهی سیلیسیم یک ورقه هشت وجهی آلومینیوم وجود دارد. دوم اینکه جانشینی آلومینیوم به جای سیلیسیم در ورقه چهار وجهی یا دیگر کاتیون‌ها به جای آلومینیوم در ورقه هشت وجهی زیاد نیست. سوم آنکه فضای بین لایه‌ای ورقه‌ها بسته است و

مقدار کمی آب یا کاتیون می‌تواند به داخل ورقه‌ها راه یابد. بنابراین کانی‌های این گروه عمدتاً غیرقابل انبساط می‌باشند.

- اسمکتایت‌ها: اسمکتایت‌ها آلومینوسیلیکات‌های لایه‌ای ۲ به ۱ هستند. برای تشکیل یک واحد سلولی کانی هر ورقه هشت وجهی آلومینیوم در بین دو ورقه چهار وجهی سیلیسیم قرار گرفته است (شکل ۱۱). مهم‌ترین کانی این گروه اسمکتایت و مونتموریلونیت است. کانی‌های دیگر این گروه نونترونیت، ساپونیت، هکتوریت و ساکونیت می‌باشند. عامل وجود تعداد زیاد کانی‌های رسی در گروه اسمکتایت تعدد ساختمان و مقدار جایگزینی هم شکل است. فرمول کلی کانی‌های گروه اسمکتایت به شکل زیر است:

$$Al_4\ Si_8\ O_{20}\ (OH)_4 . nH_2O$$

در مقایسه با گروه کاندیت، تعداد اتم‌های سیلیسیم در واحد سلولی کانی‌های گروه اسمکتایت دو برابر اتم‌های آلومینیوم و تعداد اتم‌های اکسیژن نیز دو برابر است. لیکن هیدروکسیل آن‌ها نصف هیدروکسیل‌های گروه کاندیت می‌باشد. شباهتی که بین گروه اسمکتایت و کانی هالویسیت می‌توان دید وجود مولکول‌های آب در واحدهای سلولی است با این تفاوت که در اسمکتایت تعداد مولکول‌های آب متغیر است. وجود دو ورقه سیلیسیم و لایه‌های متعدد آب سبب می‌شود که واحد سلولی اسمکتایت از نظر اندازه متغیر و بزرگتر از واحد یاخته‌ای گروه کاندیت باشد. فاصله بین دو لایه مجاور در اسمکتایت ممکن است بین ۰/۹۶ تا ۱/۸ نانومتر یا بیشتر تغییر نماید. همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد اسمکتایت‌ها دارای گستره‌ای از ساختار شیمیایی متفاوت هستند چرا که جایگزینی یونی در آن‌ها به مقدار زیاد صورت گرفته است. در این گروه همزمان با تشکیل کانی اغلب در لایه چهار وجهی آلومینیوم به جای سیلیسیم قرار گرفته است (دی‌اکتاهدرال) و آهن و منیزیم و کرم در لایه هشت وجهی جانشین آلومینیوم شده‌اند (تری‌اکتاهدرال). فاصله متغیر بین لایه‌های اسمکتایت بر این دلالت دارد که حجم آن‌ها تغییرپذیر است. خاکی که رس غالب آن مونت‌موریلونیت باشد در حالت خشک جمع و فشرده شده و هنگامی که مرطوب شود ورم می‌کند زیرا هنگامی که آب وارد فضای بین لایه‌ای می‌شود و یا از آن خارج می‌گردد بلور رس منبسط و یا منقبض می‌شود. هم آب و هم کاتیون‌های گوناگون می‌توانند وارد فضای بین لایه‌ای اسمکتایت بشوند ولی در مورد کاندیت‌ها این حالت میسر نیست. علت این امر را می‌توان در ساختمان کانی جستجو کرد. در رس‌های نوع ۲ به ۱، چهار وجهی‌های سیلیسیم در برابر هم قرار می‌گیرند و به این ترتیب اکسیژن‌های موجود در سطح واحدهای سلولی نیز در مجاورت یکدیگر قرار گرفته و در نتیجه پیوند هیدروژنی تشکیل نمی‌شود. نبودن پیوند هیدروژنی در این حالت بدان معنی است که لایه‌ها به صورت ناپایداری روی هم قرار گرفته و بنابراین مولکول‌های آب می‌توانند به راحتی به داخل آن‌ها وارد شوند. تعداد مولکول‌های آب و گونه‌های کاتیون وابسته به آن، ضخامت واحد سلولی را تعیین می‌کنند.

شکل ۱۱. شمایی از یک واحد لایه‌ای در گروه اسمکتایت به عنوان یک سیلیکات رسی ۲:۱ (حق‌نیا، ۱۳۷۰).

مقدار آب موجود بین لایه‌ها میزان جایگزینی همشکل را تعیین می‌کند. برای مثال، کانی رسی پیروفلیت یکی از کانی‌های گروه اسمکتایت بوده که در آن جایگزینی یون صورت نگرفته است. بنابراین مولکول‌های آب نیز در بین لایه‌های آن دیده نمی‌شوند. اسمکتایت‌هایی که عمل جایگزینی به طور عمده در ورقه چهار وجهی آن‌ها صورت گرفته به طور نسبی مقدار کم آب را در بین لایه‌های خود جذب می‌کند. در حالی که اگر عمل جایگزینی بیشتر در ورقه‌های هشت وجهی صورت گرفته باشد بیشترین مقدار آب را در بین لایه‌های خود جذب می‌کنند. دلیل این امر تفاوت‌هایی است که در توازن یا عدم توازن بار الکتریکی کانی‌های رسی دیده می‌شود. بارهای مثبت و منفی پیروفلیت یا کائولینیت با هم جمع شوند توازن بار در آن‌ها صفر خواهد بود (جدول ۷). در مورد گروه اسمکتایت مانند مونتموریلونیت جانشینی آلومینیوم (Al^{3+}) به جای سیلیسیم (Si^{4+}) در ورقه چهار وجهی و منیزیم (Mg^{2+}) به جای آلومینیوم (Al^{3+}) در ورقه هشت وجهی به ایجاد بار الکتریکی معادل دو بار منفی (۲-) در واحد سلولی می‌انجامد. بارهای یاد شده توسط کاتیون‌های بین لایه‌ای خنثی می‌شوند. چنانچه بار منفی بیشتری در ورقه هشت وجهی باشد فاصله آن تا سطح کانی زیادتر از هنگامی است که این بار منفی در ورقه چهار وجهی قرار داشته باشد. از طرف دیگر می‌دانیم که نیروی جاذبه بارهای مخالف با افزایش فاصله به تندی کاهش می‌یابد. بنابراین اگر بار منفی به گونه‌ای باشد که منشاء آن لایه هشت وجهی باشد برای نگهداری لایه‌ها نسبت به باری که در لایه چهار وجهی و در نتیجه جایگزینی هم شکلی به وجود آمده باشد، توانایی کمتری دارد.

جدول ۷. توازن بار الکتریکی بین سه کانی رسی متداول (حق‌نیا، ۱۳۷۰)

مونت موریلونیت				پیروفیلیت				کائولیت			
			بار				بار				بار
Al	۴	+۳	+۱۲	Al	۴	+۳	+۱۲	Al	۴	+۳	+۱۲
Mg	۱	+۲	+۲	Si	۱	+۴	+۳۲	Si	۴	+۴	+۱۶
Si	۷	+۴	+۲۸	O	۷	−۲	−۴۰	O	۱۰	−۲	−۲۰
O	۲۰	−۲	−۴۰	OH	۲۰	−۱	−۴	OH	۸	−۱	−۸
OH	۴	−۱	−۴		۴						
			−۲				۰		توازن بار		۰

این موضوع که چرا عمل جایگزینی در رس‌های اسمکتایت صورت می‌گیرد و نه در گروه کاندیت و اینکه چرا اسمکتایت‌ها ۲ به ۱ هستند نه ۱به ۱ هنوز دقیقاً مشخص نشده است. با این وجود توضیحی که در این باره می‌توان داد آن است که اسمکتایت‌ها در وضعیت‌هایی به وجود می‌آیند که مقدار محیط سیلیسیم محیط بسیار زیادتر از آلومینیوم (بیش از دو برابر) بوده و کاتیون‌های زیادی در محیط وجود داشته باشند. کاندیت‌ها برعکس در خاک‌هایی تشکیل می‌شوند که در آن نسبت سیلیسیم به آلومینیوم نزدیک به ۱ به ۱ است و برای پدیده جایگزینی در ساختمان رس و یا خنثی کردن بار حاصله از یون‌های جانشین شونده، کاتیون‌های کمتری در دسترس است.

بسته به گونه، مقدار و موقعیت جایگزینی همشکل، خصوصیت‌های شیمیایی هر عضو گروه اسمکتایت تا اندازه‌ای با یکدیگر تفاوت دارند. کانی پیروفیلیت که مولکول آب بین لایه‌ای و یا هر گونه جایگزینی ندارد ضخامتی برابر ۰/۹۶ نانومتر دارد. در کانی مونتموریلونیت اغلب مقداری آلومینیوم به جای سیلیسیم می‌نشیند و آهن و منیزیم جانشین آلومینیوم می‌شود و بسته به به مولکول‌های آبی که این کانی را هیدارته می‌کنند ضخامت آن به ۱/۸ نانومتر نیز می‌رسد. کانی نونترونیت در ورقه هشت وجهی خود به جای Al دارای اتم‌های Fe است. ورقه هشت وجهی کانی ساپونیت همگی از Mg درست شده و آلومینیوم در آن دیده نمی‌شود و هکتوریت مقداری لیتیم (Li) در ورقه هشت وجهی خود دارد. در یک جمع‌بندی می‌توان گفت بار منفی زیاد و سطحی که در بین لایه‌های گروه اسمکتایت‌ها وجود دارد سبب می‌شود که این گروه را جزو فعال‌ترین بخش کانی‌های خاک قرار دهد.

- ورمیکولایت: این کانی نیز مانند کانی‌های گروه اسمکتایت از نوع ۲ به ۱ است (شکل ۱۲). در ورمیکولایت جانشینی Al به جای Si در ورقه چهار وجهی و جانشینی Fe^{2+} و Fe^{3+}و Mg^{2+} به جای Al^{3+} در ورقه هشت وجهی به طور نسبی زیاد است. فضای بین لایه‌ای در این کانی معمولاً به وسیله منیزیم و مولکول‌های آب اشغال شده است. فاصله بین دو لایه مجاور در ورمیکولایت بین ۱ تا ۱/۵ نانومتر و یا بیشتر متغیر است. از آنجا که بیشتر پدیده‌های جایگزینی همشکل در این کانی در ورقه چهار وجهی صورت گرفته است بنابراین امکان حضور مولکول‌های آب و کاتیون‌ها در بین لایه‌ها در مقایسه با اسمکتایت از محدودیت بیشتری برخوردار است. همچنین از آنجایی که لایه‌ها با شدت زیادتری یکدیگر را نگه می‌دارند، انبساط

واحد سلولی در ورمی کولیت نیز کمتر از اسمکتایت است.

شکل ۱۲. شمایی از یک واحد لایه‌ای ورمیکولایت به عنوان یک آلومینوسیلیکات رسی از نوع ۲ به ۱ با یون‌های منیزیم هیدراته در فضای بین لایه‌ای (حق‌نیا، ۱۳۷۰).

- کلرایت: کلرایت یک کانی رسی غیرقابل تورم در بین رس‌های سیلیکاتی از نوع ۲ به ۱ می‌باشد. لایه اضافی در این کانی وجود ورقه هیدروکسید منیزیم $Mg_{۶}(OH)_{۱۲}$ یا بروسیت در بین فضای بین لایه‌ای است (شکل ۱۳). ساختمان ۲ به ۱ سیلیسیم و آلومینیوم در این کانی شباهت زیادی به ساختمان ۲ به ۱ اسمکتایت و ورمی کولیت دارد. تنها اختلاف بنیادی آن وجود ورقه بروسیت می‌باشد. در ورقه بروسیت یون‌های $Al^{۳+}$، $Fe^{۲+}$ و $Fe^{۳+}$ جانشین $Mg^{۲+}$ گردیده و منجر به ایجاد بار مثبت خالص شده‌اند و این وضع سبب تقویت و تشکیل پیوند محکمی بین ورقه‌های رسی کلرایت شده است. ضخامت واحد سلولی کلرایت ۱/۴ نانومتر است.

شکل ۱۳. شمایی از یک واحد لایه‌ای کلرایت به عنوان یک کانی ۲:۱:۱ (حق‌نیا، ۱۳۷۰).

- ایلایت: ایلایت نوع دیگر از کانی‌های رسی ۲ به ۱ است. به این کانی گاهی میکای آبدار نیز گفته می‌شود زیرا فرض بر این است که ایلایت فرآورده هوادیدگی کانی میکاست. اما به هرحال یک کانی رسی شبه میکایی است که در بین لایه‌های آن پتاسیم به صورت تثبیت شده وجود دارد.

پتاسیم بین لایه‌ای به پایداری این کانی و ماهیت غیرقابل تورم آن کمک می‌کند (شکل ۱۴).

شکل ۱۴. شمایی از یک واحد لایه‌ای ایلایت به عنوان یک کانی رسی ۲:۱ با قابلیت انبساط و انقباض محدود (حق‌نیا، ۱۳۷۰).

- رس‌های غیرسیلیکاتی: برخی خاک‌ها دارای مقدار فراوانی از کانی‌های در اندازه رس می‌باشند که پاره‌ای ویژگی‌های سیلیکات‌های رسی را دارا هستند ولی واحد ساختمانی آن‌ها بدون سیلیسیم است. اینگونه کانی‌ها را سزگویی اکسید می‌نامند و نام دیگر این کانی‌ها، اکسیدهای آبدار آهن و آلومینیوم می‌باشد. کانی‌های یاد شده ممکن است متبلور یا کاملاً بی‌شکل (آمورف) بوده و یا اینکه حالت تبلور ناپایدار داشته باشند. گونه‌های بلورین آن‌ها ویژگی‌های مشابه سیلیکات‌های رسی دارند. گونه‌های بی‌شکل این کانی‌ها دارای ویژگی‌های تبادلی کاتیونی و آنیونی زیادی هستند. سیلیسیم نیز در خاک به شکل ترکیب‌های آمورف دیده می‌شود گاهی کانی‌های آمورف را با نام کلی آلوفان مشخص می‌کنند که تصور می‌شود حالت ژله مانند در خاک داشته باشد.

اکسیدها و هیدروکسیدهای بلورین آهن و آلومینیوم شامل هماتیت (Fe_2O_3)، گئوتیت، ($FeOOH$)، گیبسیت ($Al(OH)_3$) و بوهمیت، ($AlOOH$) بوده و از کانی‌های متداول خاک به شمار می‌روند. رنگ‌های زرد، قرمز و قرمز تیره متمایل به قهوه‌ای که در برخی خاک‌ها دیده می‌شود، در اثر وجود آهن است. این کانی‌ها از واحدهای ساختمانی هشت وجهی درست شده است که در آن O و OH اطراف کاتیون مرکزی Fe^{3+} یا Al^{3+} را گرفته‌اند. هشت وجهی‌ها با مشارکت اتم‌های اکسیژن تشکیل ورقه‌هایی را می‌دهد که روی هم قرار گرفته و توسط پیوند هیدورژنی نگهداری می‌شوند. اکسیدها از دیدگاه پایداری خاک دارای اهمیت بوده ولی مهم‌تر اینکه دارای بار الکتریکی می‌باشند. اکسیدها و هیدروکسیدها، مانند آلومینوسیلیکات‌ها چه بلورین باشند و چه آمورف، بار الکتریکی خود را از پدیده جایگزینی همشکل به دست نیاورده بلکه بار خود را از راه کسب پروتون یا از دست دادن آن به دست می‌آورند.

بسته به غلظت یون‌های هیدروژن در محلول خاک، ممکن است یون‌های هیدروژن به ساختمان کانی افزوده شود (پروتون‌گیری) یا اینکه از ساختمان کانی آزاد شود (پروتون‌دهی)، در این حالت می‌توانند کاتیون‌ها یاآنیون‌ها را به صورت تبادلی در سطح خود جذب کنند. کانی‌های یاد شده از بار الکتریکی متغیر یا بار وابسته pH برخوردارند. به سخنی دیگر، بسته به غلظت یون هیدروژن مقدار بار الکتریکی آن‌ها تغییر می‌کند. مثالی در این مورد با واکنش زیر نشان داده شده است:

آلومینوسیلیکات‌های لایه‌ای بخاطر وجود OH در لبه‌های خود دارای درصد نسبتاً کمی از بار متغیر با بار وابسته pH هستند. برعکس همه بار منفی موجود در هوموس از گونه متغیر است. در برخی از خاک‌ها اکسیدها و هوموس دارای بار مثبت بوده و از این رو به نگهداریآنیون‌ها در سطح خود کمک می‌کنند. در یک جمع‌بندی می‌توان گفت بار الکتریکی و سطح ویژه دو خاصیت برجستهٔ کانی‌های رسی هستند که اهمیت آن‌ها را به‌عنوان ذرات کلوئیدی فعال در تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و به ویژه از نظر حفظ و تأمین عناصر غذایی نظیر پتاسیم در خاک تعیین می‌کنند. (حق‌نیا، ۱۳۷۰).

۱-۳-۱- ظرفیت آزاد سازی پتاسیم ساختمانی : ظرفیت آزاد سازی پتاسیم تحت تأثیر دو گروه عوامل محیطی و ساختار کانی‌های حاوی پتاسیم قرار می‌گیرد . به طور کلی در محیط مرطوب شرایط برای هوازدگی شیمیایی فراهم‌تر است و کانی‌های حاوی پتاسیم سریع‌تر محتوای خود را آزاد می‌کنند. میزان اسیدیته خاک خود تابعی از ورود ترکیبات اسیدزا از طریق هوا، تولید ترکیبات اسیدی در خاک در نتیجه فعالیت ریشه گیاهان و ریزجانداران خاک، ظرفیت بافری خاک و میزان آبشویی ترکیبات کاتیونی از پروفیل خاک می‌باشد. بسته به اینکه پتاسیم موجود در بخش ساختمانی خاک درکانی‌های فلدسپاتی یا گروه میکاها و یا سیلیکات‌های لایه‌ای باشد سرعت آزاد شدن آن متفاوت است در هر گروه نیز سرعت هوازدگی و آزاد شدن پتاسیم از یک کانی به کانی دیگر تفاوت دارد بنابر این در شرایط هوازدگی محیطی یکسان و از نظر محتوای یکسان پتاسیم ساختمانی، سرعت آزاد شدن پتاسیم ممکن است بین دو خاک تفاوت داشته باشد در گروه فلدپارها، فلدسپات‌های سدیم وکلسیم سریع‌تر از فلدسپات‌های پتاسیم هوازده و تخریب

می‌شوند و بیوتیت هوازدگی سریع‌تری در مقایسه با موسکوویت نشان می‌دهد. در گروه ایلایت‌ها که از کانی‌های عمده رس حاوی پتاسیم است نیز سرعت هوازدگی و آزاد کردن پتاسیم ساختمانی یکسان نمی‌ماند و بسته به نوع ایلایت در خاک سرعت آزاد شدن پتاسیم ساختمانی متفاوت است. علاوه بر ویژگی‌های فیزیکی ذرات حاوی ایلایت مانند قطر و اندازه و درجه تخلیه آن‌ها از پتاسیم و میزان و نوع جایگزینی هم شکل در ساختار کانی، تغییر و تحولاتی که در خاک به وجود می‌آیند مانند پوشیده شدن سطح کانی ایلایت با مواد حاصل از هوادیدگی و رسوب هیدورکسیدها در منفذ بین لایه‌ها و جلوگیری از خروج و انتشار پتاسیم بین لایه‌ای به محلول خاک می‌تواند سرعت آزادسازی و سایر فرآیندهای استاتیکی و دینامیکی حاکم بر هوازدگی آن را تحت تأثیر قرار دهد (حسین‌پور، ۱۳۷۹).

۲-۳-۱- آزاد شدن پتاسیم از کانی‌های دارای پتاسیم :

آزاد شدن پتاسیم از میکا: کانی‌های میکایی نخست تحت تأثیر عوامل محیطی به طور فیزیکی هوا دیده شده و به ذرات کوچکتر (غالباً در اندازه ذرات رس) تبدیل می‌شوند و سپس تغییرات شیمیایی در آن‌ها آغاز می‌گردد. تبدیل میکای پتاسیم دار به کانی‌های ۲:۱ قابل انبساط و جایگزینی پتاسیم بین لایه‌ای آن با کاتیون‌های هیدراته دیگر را تغییر شکل ساده میکا می‌گویند. تغییر شکل میکا ممکن است به صورت هوادیدگی لایه‌ای یا هوادیدگی لبه‌ای باشد. در هوادیدگی لایه‌ای، بعضی از لایه‌های داخلی باز شده و بقیه لایه ممکن است بسته باقی بمانند. ذرات رسی که دارای چنین وضعیت هستند(یعنی هم دارای لایه‌های باز و هم لایه‌های مسدود می‌باشند) کانی‌های مخلوط میکا – ورمی کولایت نامیده می‌شوند. در هوادیدگی لبه‌ای، بسیاری از لایه‌ها به طور همزمان ولی فقط در لبه‌ها باز می‌شوند که منجر به ایجاد مناطق گوه‌ای شکل در این کانی‌ها می‌گردد (شکل ۱۵).

شکل ۱۵. شمایی از هوادیدگی میکا و تبدیل آن به ایلایت و ورمیکولایت (Havlin و همکاران، ۲۰۰۵).

آزاد شدن پتاسیم از میکا تا رسیدن به‌یک غلظت بحرانی پتاسیم در محلول خاک ادامه می‌یابد که این غلظت بحرانی برای میکای سه جایی (تری‌اکتاهیدرال) بیشتر از میکای دوجایی (دی‌اکتاهیدرال) است . یعنی میکای تری‌اکتاهیدرال نسبت به میکای دی‌اکتاهیدرال در غلظت‌های بالاتری از پتاسیم محلول خاک، قادر به آزاد سازی پتاسیم خود می‌باشد. تأثیر غلظت بحرانی پتاسیم محلول خاک بر

آزاد شدن پتاسیم از میکا شاید علت اصلی هوادیدگی سریع‌تر میکا در خاک‌های تحت کشت متراکم که در آن‌ها جذب مداوم پتاسیم به وسیله ریشه گیاه صورت می‌گیرد نسبت به خاک‌های به آیش گذاشته شده، باشد. عوامل متفاوتی در آزاد شدن پتاسیم از کانی‌های میکایی تأثیر دارد که از جمله این عوامل می‌توان به موارد زیر اشاره نمود (ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳).

۱- طبیعت کانی : معمولاً پتاسیم از میکای سه جایی سریع‌تر از میکای دو جایی آزاد می‌شود. اختلاف اساسی در آزاد شدن پتاسیم در دو کانی مذکور با تراکم بار یکسان، به جهت‌گیری هیدروکسیلی نسبت داده می‌شود. در میکا فاصله هسته یون هیدروژن از هسته اتم اکسیژن ۰/۰۹ تا ۰/۰۹۵ نانومتر است. در میکای دوجایی به علت خالی بودن یک موقعیت از سه موقعیت ورقه هشت وجهی، یون هیدروژن از ورقه هشت وجهی فاصله گرفته و به‌طرف ورقه چهار وجهی متمایل می‌شود و در نتیجه دو کاتیون مجاور در میکای دو جایی، یون هیدروژن را به‌طرف موقعیت خالی هشت وجهی می‌راند. در حالیکه درمیکای سه جایی، یون هیدروژن به یک اندازه توسط کاتیون‌های مجاور در موقعیت سه گانه هشت وجهی دفع می‌شود. این اختلاف باعث می‌شود که پتاسیم در میکای دو جایی نسبت به میکای سه جایی بیشتر تحت تأثیر میدان الکتریکی مربوط به یون هیدروکسیل قرار گیرد و آزاد سازی پتاسیم بین لایه‌ای مشکل‌تر شود. جایگزینی هیدروکسیل ساختمانی به وسیله یون فلوراید، نیز به نگهداری پتاسیم در بین لایه‌ها کمک می‌کند.

۲- اندازه ذرات میکا :آزاد شدن پتاسیم از کانی‌های میکایی با کاهش اندازه ذره افزایش می‌یابد که دلیل آن کوتاه‌تر شدن مسیر پخشیدگی و سطح ویژه بیشتر کانی‌ها می‌باشد.

۳-عوامل محیطی : عوامل محیطی خود شامل غلظت و نوع یون‌های موجود در محلول خاک، پ.هاش خاک، وضعیت اکسایشی بعضی عناصر و همچنین خشک و مرطوب شدن متناوب خاک می‌باشد. که اینک به شرح هریک پرداخته می‌شود.

- غلظت و نوع یون‌های موجود در محلول خاک: با افزایش غلظت پتاسیم در محلول خاک و رسیدن آن به سطح بحرانی، آزاد شدن پتاسیم ساختمانی محدود می‌شود. غلظت بحرانی پتاسیم محلول خاک برای جلوگیری از ادامه هوادیدگی میکا، در میکاهای سه جایی بیشتر از میکاهای دو جایی با اندازه‌های یکسان است. بنابراین بیوتیت در مقایسه با موسکوویت، در تعادل با سطح بیشتری از پتاسیم محلول خاک قادر به هوادیدگی می‌باشد. به‌عبارت دیگر اگر در خاکی بیوتیت و موسکوویت با هم وجود داشته باشند ابتدا بیوتیت تقریباً به طور کامل هوا دیده شده و سپس هوادیدگی موسکوویت شروع خواهد شد. نوع و غلظت کاتیون‌های تبادل کننده با پتاسیم نیز تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر غلظت بحرانی پتاسیم برای هوادیدگی میکا دارند. کاتیون‌های دو ظرفیتی مثل منیزیم و باریم نسبت به کاتیون‌های یک ظرفیتی،باعث تداوم بیشتر هوادیدگی میکا می‌گردند.
- پ‌هاش خاک : پ‌هاش پایین خاک آزاد سازی پتاسیم را به خصوص از میکای سه جایی تشدید می‌کند. افزایش فعالیت یون هیدروژن باعث افزایش میزان تأثیر یون‌های هیدروژن بر

هیدروکسیل‌های ساختمانی در لبه کانی‌های میکایی شده که پیامد آن تجزیه سریع‌تر ساختمان میکا در محیط اسیدی می‌باشد.

- وضعیت اکسایشی بعضی عناصر: جهت‌گیری هیدروکسیلی نه‌تنها تابعی از نوع کانی است بلکه تحت تأثیر وضعیت اکسایشی بعضی عناصر نظیر Fe^{+2} موجود در لایه هشت وجهی است. اکسید شدن Fe^{+2} لایه هشت وجهی باعث افزایش ظرفیت تثبیت پتاسیم کانی‌هایی مانند ورمی کولیت و دشوار شدن جایگزینی پتاسیم بین لایه‌ای کانی بیوتیت به وسیله کاتیون‌های دیگر می‌شود.
- خشک و مرطوب شدن متناوب: خشک و ترشدن متناوب خاک بسته به غلظت پتاسیم محلول و کانی‌های غالب می‌تواند پتاسیم قابل استخراج را کاهش یا افزایش دهد. در صورتی که مقدار پتاسیم تبادلی خاک نسبتاً زیاد باشد ویا به تازگی به خاک کود پتاسیمی اضافه شده باشد، خشک شدن معمولاً باعث ایجاد انقباض در شبکه رسی و تثبیت پتاسیم می‌گردد، از طرف دیگر خشک شدن ممکن است باعث ایجاد پیچش در ورقه‌های رسی گردد که نتیجه آن آزاد شدن یون‌های پتاسیمی است که قبلاً این ورقه‌ها را کنار هم نگاه می‌داشتند. برخی از محققین علت این وضع را هیدراته شدن پروتون و تبدیل SiO^{-2} به $SiOH$ و کاهش بار لایه‌ای می‌دانند.
- آزاد شدن پتاسیم از فلدسپارها: فرآیند هوادیدگی فلدسپارها با تخریب فیزیکی آن‌ها به ذرات کوچکتر با سطح ویژه بیشتر شروع می‌گردد. از عوامل مهم در آزادسازی پتاسیم از فلدسپارها می‌توان به خصوصیات ساختمانی، ترکیب شیمیایی، اندازه ذرات، فعالیت یون‌های هیدرونیوم(H_3O^+) و خروج فرآورده‌های هوادیدگی اشاره نمود. جایگزینی پتاسیم با یون هیدرونیوم، ساختمان فلدسپار را تضعیف می‌کند که نتیجه آن انبساط لایه‌های فلدسپاراست. یون‌های هیدرونیوم جذب سطحی شده می‌توانند باعث شکستن پیوندهای $Al-O$ شوند و عدد هم‌آرایی Al از چهار به شش تغییر کرده و در نتیجه از ساختمان فلدسپار بیرون رانده می‌شود.
- خصوصیات آزاد شدن پتاسیم از فلدسپارها درحضور لیگاندهای آلی کمپلکس‌کننده کاملاً متفاوت است. احتمالاً لیگاندهای مذکور از طریق برهمکنش خاصی که با ترکیبات Al دارند سبب ایجاد ترکیبات حفاظت‌کننده رس در مقابل هوا دیدگی می‌گردند.

۴-۱-تثبیت پتاسیم

قابلیت دسترسی پتاسیم برای گیاهان به وسیلهٔ فرآیندهای فیزیکوشیمیایی مختلف در خاک کنترل می‌شود. از میان فرآیندهای مختلف، تثبیت پتاسیم وبه عبارت دیگر به تله افتادن یون پتاسیم در بین لایه‌های رسی از بیشترین اهمیت برخوردار است این پدیده در تمام رس‌ها به یک اندازه تحقق نیافته بلکه در رس‌های یک به یک حداقل و در رس‌های دو به یک و به خصوص ایلایت به حداکثر می‌رسد.

گلستانی‌فرد (۱۳۷۵) تثبیت پتاسیم را به‌عنوان فرآیندی تعریف نمود که طی آن یون‌های پتاسیم

از فاز محلول و یا تبادلی خاک به فضاهای بین لایه‌ای رس‌های میکا، ایلایت و یا ورمیکولایت انتقال و با جایگزینی درحفرات دیتریگونال (Ditrigonal Voids) سبب فرو ریزش لایه‌ای (Colapse) گردیده و در نتیجه بخش اعظم آن در کوتاه مدت قابل تبادل نمی‌باشد. این محقق همچنین بیان نمود که تثبیت پتاسیم از لحاظ حاصلخیزی و تغذیه گیاه در مجموع فرآیندی نافع بوده زیرا از هدر رفت بخشی از پتاسیم در اثر آبشویی جلوگیری می‌نماید ولی ممکن است دربعضی از خاک‌های با ظرفیت تثبیت پتاسیمی بالا در کوتاه مدت موجب بروز مشکلاتی از نظر تغذیه گیاهی گردد.Mengel و Kirkby (۱۹۸۰) تثبیت پتاسیم را به مکان‌های بین لایه‌ای کانی‌های رسی نسبت داده و معتقدند که تثبیت پتاسیم به مفهوم جذب یون‌های پتاسیم به وسیله این مکان‌ها و به صورت اختصاصی است. Malavolta (۱۹۸۵) تبدیل پتاسیم محلول و یا تبادلی به فرم غیر تبادلی را به عنوان تعریف دیگری از تثبیت پتاسیم ذکر نموده است. ملکوتی و کاوسی (۱۳۸۳) حرکت تدریجی پتاسیم از محلول خاک و مکان‌های جذب سطحی با نیروی پیوند کم به‌طرف مکان‌های با نیروی پیوند بیشتر و نیز به طرف مکان‌های بین لایه‌ای با جذب اختصاصی که نتیجهٔ آن کمتر شدن پتاسیم قابل دسترس نسبت به پتاسیم کل می‌باشد را به عنوان تعریفی از تثبیت پتاسیم ارایه داده‌اند. این محققین فرآیند تثبیت پتاسیم را عکس فرآیند هوادیدگی در کانی‌های میکایی در نظر گرفته و همچنین بیان نموده‌اند که این پدیده در تمام خاک‌ها به یک اندازه تحقق نیافته بلکه در خاک‌هایی که در آن‌ها رس‌های یک به یک به مقدار زیاد وجود دارد، حداقل و در خاک‌های حاوی مقدار زیاد کانی‌های دو به یک نظیر ورمیکولایت، ایلایت و کلرایت قدرت تثبیت پتاسیم حداکثر است.

گروهی وجود فضاهای خالی که ابعاد آن‌ها برابر ضخامت یون پتاسیم آبدار می‌باشد را دلیل تثبیت پتاسیم می‌دانند. بر اساس این نظریه، یون‌های پتاسیم بر اثر نیروهای الکتریسیتهٔ ثابت(بار دائمی) به طور محکم در این فضاهای خالی نگهداری می‌شوند و یون آمونیوم که شعاع هیدراتهٔ آن حدوداً با یون آبدار پتاسیم برابری می‌کند، با وضعیتی مشابه در میان لایه‌های سیلیکاتی تثبیت می‌گردد.

شکل ۱۶. نمایی از محبوس شدن (تثبیت) پتاسیم در بین لایه‌های رسی در کانی‌های ۲:۱ (Havlin و همکاران، ۲۰۰۵).

قرار گرفتن یون‌های آمونیوم در بین لایه‌های این کانی موجب می‌گردد تا ظرفیت تثبیت پتاسیم

در بین لایه‌ها کاهش یافته و قابلیت جذب آن برای گیاه فزونی یابد (شکل ۱۷). در صورتی که یون‌های پتاسیم بیش از یون‌های آمونیوم در میان لایه‌ها قرار گیرد، ظرفیت تثبیت آمونیوم کاهش یافته و بر قابلیت جذب این یون افزوده می‌گردد. این موضوع از نقطه نظر اقتصادی و مدیریت مصرف کود اهمیت کاربردی فراوان داشته و به هنگام محاسبه مقدار کودهای ازتی و پتاسیمی بایستی مورد توجه کامل قرار گیرد. از نظر کاربردی در خاک‌های تخلیه شده از نظر پتاسیم، اگر مصرف کودهای آمونیومی مقدم بر کودهای پتاسیمی باشد، مقدار تثبیت آمونیوم در بین لایه‌های رسی به مراتب بیشتر از پتاسیم خواهد بود.

شکل ۱۷. آزاد شدن پتاسیم تثبیت شده از دو نوع خاک زراعی در طول مدت زمان ۱۰ روز پس از اضافه کردن کود ازته آمونیومی به خاک (Tisdale و همکاران، ۱۹۹۳).

کاوسی (۱۳۸۰) به نقل از منابع مورد بررسی گزارش نموده‌است که پتاسیم تثبیت شده در بین لایه‌های کانی‌های رسی به عنوان یکی از شکل‌های پتاسیم در خاک می‌تواند نقش قابل ملاحظه‌ای در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه داشته باشد این محقق هچنین بیان نمود که مرز مشخص و معینی بین پتاسیم لایه‌ای بومی و پتاسیم تثبیت شده وجود ندارد اما به طور کلی می‌توان گفت که پتاسیم بین لایه‌ای بومی، نسبت به پتاسیم تثبیت شده با نیروی بیشتری نگهداری می‌گردد و به همین جهت به آن پتاسیم به سختی قابل تبادل نیز می‌گویند. البته گاهی اوقات این بخش از پتاسیم نیز ممکن است نقش قابل ملاحظه‌ای در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه داشته باشند. برخی از محققان عقیده دارند که در خاک‌های با قدرت تثبیت بالاتر از ۶۵ درصد باید میزان مصرف کودهای پتاسیمی نسبت به حالت عادی افزایش یابد. برخی نیز توصیه کرده‌اند که در خاک‌های با ظرفیت تثبیت پتاسیم خیلی زیاد، تعیین مقدار کود مصرفی سالیانه باید مستقل از مقدار پتاسیم قابل جذب خاک صورت گرفته و برای مقابله باقدرت تثبیت بالای پتاسیم کاربرد سالانه ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (K_2O) را امری ضروری دانسته‌اند (ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳). ملکوتی و همایی به نقل از گلستانی‌فرد و توفیقی

(۱۳۷۸) که در یک مطالعه مربوط به تعیین ظرفیت تثبیت پتاسیم در خاک‌های شالیزاری شمال، تعیین دامنهٔ تغییرات و میانگین تثبیت در این خاک‌ها، اثر زمان تماس کود پتاسیم و افزایش غلظت پتاسیم محلول در خاک ناشی از مصرف کود بر مقدار تثبیت و نیز سینتیک تثبیت در رابطه با زمان غرقاب نمودن خاک، نتایج به دست آمده به شرح زیر خلاصه گردیده است.

- درصد تثبیت پتاسیم در خاک‌های شالیزاری استان مازندران از ۱۴ تا ۴۹ و در خاک‌های شالیزاری استان گیلان از ۵ تا ۶۵ درصد تغییرات داشته است و میانگین درصد تثبیت پتاسیم در خاک‌های شالیزاری دو استان مازندران و گیلان به ترتیب ۲۷ و ۲۸ بود که از لحاظ آماری تفاوتی با یکدیگر نداشتند.
- بر مبنای ۵۵۰ هزار هکتار سطح کل زیر کشت برنج، ۱۱۴ هزار هکتار از خاک‌های شالیزاری با ظرفیت تثبیت زیاد (بیش از ۴۰ درصد)، ۲۵۴ هزار هکتار با ظرفیت تثبیت متوسط (بین ۲۰ تا ۴۰ درصد) و ۱۸۲ هزار هکتار آن دارای ظرفیت تثبیت کم (کمتر از ۲۰ درصد) بود. این نتایج بیانگر آن است که سطح وسیعی از شالیزارهای شمال قابلیت تثبیت مقادیر زیادی پتاسیم را دارا می‌باشند.

بستانی و ثواقبی (۱۳۸۲) در یک تحقیق اثر غلظت پتاسیم اضافه شده به خاک و نیز تأثیر سابقه کشت روی میزان تثبیت پتاسیم در تعدادی از خاک‌های تحت کشت نیشکر خوزستان را مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه بر روی ۳۵ نمونه خاک سطحی جمع‌آوری شده از مزارع نیشکر با سابقه کشت‌های متفاوت انجام گرفته است. میزان رس خاک‌های مورد مطالعه بین ۱۵ تا ۵۰ درصد، ظرفیت تبادل کاتیونی بین ۷ تا ۲۱ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم و پتاسیم قابل دسترس بین ۴۵ تا ۱۷۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. روش کار به این صورت بوده است که ابتدا خاک‌ها از نظر سابقه کشت به چهار گروه خاک‌های با سابقه کشت کمتر از ۱۰ سال، ۱۰ تا ۲۰ سال، ۲۰ تا ۳۰ سال و بیش از ۳۰ سال گروه‌بندی و بر روی زیرنمونه‌های مربوط در هر گروه چهار سطح صفر (شاهد)، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات‌پتاسیم اضافه گردید. سپس نمونه‌ها به مدت شش ماه در درجه حرارت ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور نگهداری گردیدند. در طول دوره خوابانیدن (Incubation) نیز روش نگهداری رطوبت (آبیاری) به صورت خشک و مرطوب شدن (Drying-wetting) بوده است. با این توضیح که پس از کاهش رطوبت ظرفیت مزرعه تا حالت هواخشک، رطوبت خاک مجدداً توسط آب مقطر به رطوبت ظرفیت مزرعه برگردانده می‌شد. این محققین ظرفیت تثبیت پتاسیم در دو زمان سه و شش ماه را با استفاده از رابطه زیر تعیین نمودند.

$$K_{fix} = (K_i + K_a) - K_f$$

در آن K_{fix} مقدار پتاسیم تثبیت شده، K_i پتاسیم قابل دسترس خاک قبل از شروع آزمایش، K_a مقدار پتاسیم افزوده شده و K_f مقدار پتاسیم قابل دسترس نمونه پس از گذشت زمان موردنظر

(سه یا شش ماه) و تمامی غلظت‌ها در رابطه فوق بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که متوسط تثبیت پتاسیم در خاک‌های مورد بررسی از ۷۱/۷ تا ۱۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بوده است که با فرض وزن مخصوص ظاهری متوسط خاک‌ها معادل ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب میزان پتاسیم تثبیت شده بین ۲۱۵ تا ۳۸۸ کیلوگرم در هکتار متغیر بوده است. این محققین همچنین گزارش نمودند که میزان پتاسیم تثبیت شده در هر دو زمان سه و شش ماه به طور مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر غلظت پتاسیم بکار رفته و سابقه کشت بوده است و میزان پتاسیم تثبیت شده در سطوح مختلف نیز به طور معنی‌داری با هم متفاوت بودند به‌طوری‌که با افزایش غلظت پتاسیم هم مقدار تثبیت و هم درصد تثبیت افزایش یافته بود. نکته دیگر اینکه در تیمار شاهد (بدون مصرف پتاسیم) در طول دوره نگهداری، آزادسازی پتاسیم صورت گرفته بود و پتاسیم قابل دسترس به طور نسبی افزایش نشان داد. این محققین چنین نتیجه‌گیری نمودند که در تمامی نمونه‌های خاک با سابقه کشت کمتر از ۳۰ سال اختلاف معنی‌داری بین سوابق مختلف و میزان تثبیت پتاسیم وجود ندارد اما در زمان‌های طولانی‌تر با افزایش سابقه کشت تثبیت نیز افزایش می‌یابد. کاوسی و کلباسی (۱۳۸۰) در یک تحقیق تأثیر غلظت پتاسیم اضافه شده به خاک بر درصد تثبیت پتاسیم خاک و نقش برخی از عوامل فیزیکو شیمیایی بر قدرت تثبیت پتاسیم در خاک‌های شالیزاری شمال کشور را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این آزمایش نشان داد که درصد تثبیت پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه از حداقل ۳۱ درصد تا حداکثر ۷۷ درصد با میانگین ۵۶ درصد متغیر بوده است. در این تحقیق مقدار تثبیت پتاسیم با افزایش مقدار پتاسیم اضافه شده به‌خاک به صورت خطی و به طور معنی‌داری افزایش یافته بود لکن در اکثر خاک‌ها (۱۵ نمونه خاک از ۲۳ نمونه خاک مورد بررسی) با افزایش مقدار پتاسیم به خاک درصد تثبیت به طور معنی‌داری کاهش یافته بود. به عبارت دیگر یک همبستگی منفی بین درصد تثبیت و مقدار پتاسیم اضافه شده به خاک در اکثر خاک‌ها مشاهده گردید. در این مطالعه رابطه معنی‌داری بین درصد تثبیت پتاسیم و میزان کربن آلی خاک و پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیم یک مولار وجود نداشت ولی رابطه معنی‌دار بین درصد تثبیت پتاسیم با ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و همچنین درصد رس خاک مشاهده گردید. امیری و فلاح (۱۳۷۵) طی تحقیقی پتانسیل تثبیت پتاسیم در اراضی شالیکاری شرق گیلان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه که بر روی دوازده سری از خاک‌های عمدهٔ شالیکاری شرق گیلان صورت گرفت نشان داد که کانی غالب رس در نمونه‌ها به ترتیب مونت موریلونایت، ورمی کولیت، ایلایت همراه با کمی کلرایت و کائولینیت است. میزان ظرفیت تثبیت پذیری پتاسیم دارای تغییراتی بین ۵ تا ۵۰ درصد و با میانگین ۳۶ درصد و معادل ۱۵۰ تا ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم با میانگین ۱۰۸۲/۵ کیلوگرم گزارش گردید و چنین نتیجه‌گیری شد که اکثر خاک‌های تحت بررسی از ظرفیت تثبیت‌پذیری پتاسیم نسبتاً بالایی برخوردار هستند. کاوسی

و همکاران (۱۳۸۰) در یک مطالعه ظرفیت تثبیت پتاسیم در شالیزارهای استان گیلان را مورد بررسی قرار داده و میزان تثبیت پتاسیم را بین ۲۵ تا ۸۵ درصد گزارش کردند. شهابی (۱۳۸۰) در یک مطالعه آزمایشگاهی به منظور بررسی میزان تثبیت پتاسیم در زمان‌های نخست پس از کوددهی در خاک‌های با مقادیر مختلف رس در استان اصفهان گزارش نمود که با افزایش سطوح پتاسیم به خاک در تمامی خاک‌های متفاوت از نظر میزان رس، مقدار تثبیت افزایش یافته لکن درصد نسبی تثبیت کاهش می‌یابد. در این مطالعه مقدار تثبیت پتاسیم یک هفته پس از کوددهی بین ۲۵ تا ۷۵ درصد گزارش گردید که کمترین میزان تثبیت مربوط به خاک با میزان رس ۱۷ درصد و بیشترین میزان تثبیت مربوط به خاک با میزان ۵۲ درصد رس بود. در تمامی نمونه‌های مربوط به خاک‌های مورد بررسی با گذشت زمان میزان نسبی تثبیت کاهش یافته بود و شدت کاهش در هفته هشتم نسبت به هفته‌های اول بسیار کمتر بود که این امر نشانه ایجاد یک حالت شبه تعادل بین فرمهای محلول و تبادلی (قابل جذب) با فرم غیر قابل تبادل یا تثبیت شده بود. این محقق همچنین بیان داشته است هنگامی که در خاک گیاهان زراعی با عملکرد بالا و پر توقع از نظر پتاسیم و در عین حال با طول دوره رشد کوتاه به طور مداوم کشت می‌شوند پاسخ گیاه به پتاسیم بومی خاک و پتاسیم بکار رفته بیش از هر چیز تابع تثبیت و آزادسازی پتاسیم می‌باشد. بنابراین آگاهی از سازوکارهایی که در تثبیت پتاسیم دخالت دارند برای اعمال مدیریت کارآمد در حاصلخیزی خاک الزامی است.

۱-۴-۱- سازوکارهای تثبیت پتاسیم: به نظر می‌رسد که تثبیت پتاسیم به وسیله جزو رس خاک توسط دو سازوکار اصلی صورت می‌گیرد. سازوکار اول مربوط به قرار گرفتن پتاسیم در حفرات شش وجهی موجود در سطوح قاعده‌ای رس‌های سیلیکاتی لایه‌ای دو به یک و سازوکار دوم تشکیل ترکیبات نامحلول پتاسیم به ویژه آلومینوسیلیکات‌های پتاسیم‌دارا است. هرچند که بخش عمده‌ای از تثبیت پتاسیم از طریق سازوکار اول انجام می‌گیرد ولی ضرورتاً نمی‌توان تمام پدیدهٔ تثبیت توسط رس‌ها را با آن توضیح داد. چنین به نظر می‌رسد که این فرآیند با دهیدراته شدن (از دست دادن آب) یون‌هایی نظیر پتاسیم و آمونیم به هنگام نزدیک شدن لایه‌های مجاور سیلیکات‌های لایه‌ای درطول زمان خشک شدن که ابعاد آن‌ها برابر ضخامت یون پتاسیم آبدار می‌باشد، فعال می‌گردد. با توجه به مطالب فوق بنظر می‌رسد که انرژی آبپوشی (هیدراتاسیون) نسبی یون‌های مختلف در پدیدهٔ تثبیت حائز اهمیت باشد. انرژی آبپوشی نسبتاً پایین یون‌هایی نظیر پتاسیم، آمونیم، روبیدیم وسزیم باعث سهولت از دست دادن آب و کاهش شعاع هیدراته و به دنبال آن افزایش ضریب ترجیح آن‌ها برای قرار گرفتن در مکان‌های تثبیت می‌گردد. نظریه انرژی آبپوشی به خوبی این واقعیت را توضیح می‌دهد که چرا باریم دو ظرفیتی با شعاع کریستالی یکسان با آمونیم توسط میکا یا ورمیکولایت تثبیت نمی‌شود. ظاهراً یون‌های باریم با انرژی آبپوشی زیادشان نمی‌توانند به سهولت بی‌آب یا دهیدراته شده و توسط لایه‌های مجاور کانی

محبوس شوند. با مرطوب شدن مجدد، یون‌های باریم به سهولت آبپوشی شده و شبکه‌های مجاور را به فاصله گرفتن از یکدیگر مجبور می‌کنند (Bohn، ۱۹۸۵). محبوس شدن یون پتاسیم در نتیجهٔ فروریزش (Colapse) لایه‌های سیلیکاتی مجاور انجام می‌گیرد که در ارتباط با از دست دادن آب (دهیدراتاسیون) فضای بین لایه‌ای و کاتیون‌های بین لایه‌ای می‌باشد. دلیل اینکه چرا یون پتاسیم به وسیله رس‌های سیلیکاتی ترجیح داده می‌شود پایین بودن انرژی آبپوشی و مناسب بودن اندازهٔ آن برای قرار گرفتن درحفرات شش گوش در ورقه‌های تتراهدرال می‌باشد. عمل تثبیت پتاسیم با کاهش فضای بین لایه‌ای در شبکه بلور همراه است زیرا یون‌های پتاسیم با نیروی کافی توسط دو لایه جذب می‌شوند و در نتیجه دولایه را به‌هم نزدیک می‌کنند. تثبیت پتاسیم با سازوکار فوق با تشکیل کانی‌های میکا شکل توأم است. به‌طوری‌که ضخامت کانی در بعد c از ۱/۵ نانومتر به ۱/۲۵ و ۱ نانومتر کاهش پیدا می‌کند . تثبیت پتاسیم به این طریق همانند یک واکنش برگشت ناپذیر باعث کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی اولیه خاک می‌گردد.

دومین سازوکار تثبیت از طریق تشکیل ترکیبات نامحلول پتاسیم به ویژه آلومینوسیلیکات‌ها بوده و در پ‌هاش بالا به شکل مطلوب‌تری انجام می‌گیرد. در چنین شرایطی مقدار پتاسیم تثبیت شده نسبت به کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی بسیار بیشترخواهد بود. (کاوسی، ۱۳۷۸، Shaviv و همکاران، ۱۹۸۵).

۲-۴-۱- عوامل مؤثر بر تثبیت پتاسیم در خاک: با تداوم خروج پتاسیم از خاک توسط برداشت گیاهی یا آبشویی سبب خارج شدن مقدار بیشتری از یون‌های پتاسیم از فضاهای بین لایه‌ای گردیده که این امر به مفهوم تخلیه پتاسیمی خاک می‌باشد. طبیعی است افزایش تخلیه پتاسیمی معادل افزایش ظرفیت تثبیت پتاسیم اضافه شده به صورت کود در مراحل بعدی خواهد بود. به طورکلی عوامل مؤثر بر تثبیت پتاسیم توسط محققین مربوط به شرح زیر خلاصه شده است (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳، ملکوتی و کاوسی ۱۳۸۳؛ Bohn، ۱۹۸۵).

- کانی‌های رس: نوع رس بر میزان تثبیت پتاسیم به شدت تأثیر می‌گذارد. پدیدهٔ تثبیت پتاسیم به طور عمده در رس‌های گروه ۲:۱، یعنی ایلایت، ورمیکولایت و اسمکتایت‌ها رخ داده و رس‌های گروه ۱:۱ نقشی در این تثبیت ندارند. نتیجهٔیک تحقیق در مورد سرعت تثبیت پتاسیم در چهار نوع خاک مختلف حاکی از آن بود که مقدار پتاسیم تثبیت شده برای هر نوع خاک، با توجه به خصوصیات آن به ویژه نوع کانی‌ها، متفاوت است (ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳). علاوه بر نوع رس، مقدار رس نیز در میزان تثبیت پتاسیم مؤثر است به‌طوری‌که با افزایش مقدار رس در شرایط یکسان از نظر تخلیه پتاسیمی میزان تثبیت افزایش می‌یابد.

شکل ۱۸. رابطه مقدار رس با شاخص‌های پتاسیم قابل استفاده، پتاسیم تثبیت شده و ظرفیت بافری در سه خاک متفاوت

- پ.هاش خاک: ظرفیت تثبیت پتاسیم در حضور، هیدروکسید آلومینیوم و پلیمرهای آن که معمولاً در شرایط اسیدی غلظت آن‌ها زیادتر است، کاهش می‌یابد.
- غلظت پتاسیم اضافه شده: اضافه کردن پتاسیم به خاک‌هایی که ظرفیت تثبیت بالایی دارند موجب تثبیت بیشتر یون پتاسیم می‌گردد، بنابراین بهتر است که پیش از افزودن کودهای پتاسیمی به خاک، ظرفیت تثبیت آن از نقطهٔ نظر پتاسیم مشخص شده و هنگام تصمیم‌گیری در مورد میزان مصرف کود پتاسیمی در نظر گرفته شود. در غیر این صورت اضافه کردن کود پتاسیمی به دلیل تثبیت، عدم عکس‌العمل مثبت گیاه را بدنبال خواهد داشت.
- تَر و خشک شدن خاک: خشک‌شدن در بعضی از خاک‌ها که پتاسیم قابل تبادل فراوانی دارند، منجر به تثبیت و کاهش این‌گونه پتاسیم می‌گردد. از سوی دیگر، خشک‌شدن خاک‌های مرطوب که حاوی مقادیری کم تا متوسط پتاسیم می‌باشند، به ویژه خاک‌های زیرین، موجب فزونی پتاسیم قابل تبادل گشته و در برخی شرایط، مقدار پتاسیم قابل تبادل در خاک زیرین به چندین برابر فراوانی عادی آن می‌رسد. اثر تر و خشک شدن خاک بر قابلیت جذب پتاسیم هنوز روشن نشده است. هر چند دانستن این موضوع در تجزیهٔ خاک به منظور ارزیابی پتاسیم قابل استفاده

خاک بسیار با اهمیت است، چرا که در روش اندازه‌گیری پتاسیم، خاک را در هوای آزاد خشک می‌کنند. این کار ممکن است مقدار پتاسیم خاک را در حد واقعی نشان نداده و بدین ترتیب توصیه کودی را از نظر دقت دچار اشکال نماید. کاوسی و همکاران (۱۳۸۰) در یک مطالعه به منظور مقایسهٔ روش‌های مختلف تعیین درصد تثبیت پتاسیم گزارش نمودند که میزان تثبیت پتاسیم به روش تر کمتر از میزان تثبیت به روش خشک است. این محققین در توجیه این پدیده، دلیل امر را به امکان جمع شدن واحدهای رس در روش خشک شدن و در نتیجه محبوس شدن پتاسیم بیشتر در بین لایه‌های واحدهای رسی نسبت به حالت مرطوب نسبت داده‌اند.

- کودهای آمونیمی: به نظر می‌رسد رابطه‌ای مثبت بین ظرفیت تثبیت پتاسیم با آمونیوم وجود دارد. بدین مفهوم که هر یک از کودهای پتاسیمی یا آمونیومی زودتر به خاک اضافه گردد، کاتیون مربوط تثبیت شده و بدین ترتیب کاتیون موجود در کود مصرفی پس از کود اول با سهولت بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد.
- انرژی هیدراته شدن (آبگیری) کاتیون : کاتیون‌های با انرژی آبگیری پایین مولکول‌های آب خود را به راحتی از دست می‌دهند در نتیجه زمانی که این کاتیون‌ها بین لایه‌های کانی‌های رسی قرار می‌گیرند باعث نزدیک شدن لایه‌های این کانی‌ها به یکدیگر و تثبیت کاتیون‌هایی نظیر K^+,NH_4^+,Rb^+ وCs^+ می‌شوند. در حالیکه کاتیون‌های با انرژی آبگیری بیشتر نظیر Na^+,Ca^{2+} و Mg^{2+} قادر به ایجاد چنین شرایطی نیستند. بنابراین حضور و قرار گرفتن کاتیون‌های با انرژی آبپوشی بیشتر تثبیت پتاسیم را کاهش می‌دهند.
- اندازه کاتیون‌ها: کاتیون‌هایی که اندازه غیرهیدراته آن‌ها متناسب با فضای حفرات شش وجهی ایجاد شده در بین لایه‌های چهار وجهی کانی‌های رسی باشد به خوبی در این حفرات جا گرفته و باعث نزدیک شدن لایه‌های مذکور به یکدیگر و نهایتاً تثبیت آن‌ها می‌گردد.
- وجود مناطق گوه‌ای شکل: به دلیل وجود تطابق فضایی بین کاتیون‌های پتاسیم و آمونیوم و مناطق گوه‌ای شکل برخی از کانی‌های رسی، عمل تثبیت انفاق می‌افتد. طبیعی است هر چقدر مناطق گوه‌ای شکل در کانی‌ها بیشتر باشد، میزان تثبیت نیز بیشتر خواهد بود.

۵-۱- سینتیک تبادل پتاسیم در خاک

بررسی فرآیندهای شیمیایی پتاسیم در خاک می‌تواند از دیدگاه ترمودینامیکی و یا سینتیکی انجام شود با مروری بر مطالعات انجام شده در این رابطه روشن می‌شود که اکثر کارها از دیدگاه ترمودینامیکی (تعادلی) صورت پذیرفته و تنها مطالعات به صورت محدود از دیدگاه سینتیکی انجام گرفته است. با وجود مفید بودن مطالعات انجام شده ترمودینامیکی، این‌گونه مطالعات اطلاعات چندانی درباره سرعت و یا مکانیسم فرآیندهای تبادلی پتاسیم در خاک به دست نمی‌دهند ضمن اینکه رسیدن به حالت تعادل در مزرعه عملاً امکان پذیر نیست از آنجا که

اغلب خاک‌های زراعی به طور فشرده (Intensive) زراعت شده و بعضا کود پتاسه نیز دریافت داشته‌اند بنابراین اینگونه خاک‌ها همواره در یک وضعیت عدم تعادل بسر می‌برند . برای افزایش راندمان کود پتاسه اضافه شده به‌خاک و برای پیش‌بینی سرنوشت پتاسیم اضافه شده داشتن اطلاعاتی درباره دینامیک واکنش‌های بین فازهای مختلف خاک در رابطه با پتاسیم ضروری به نظر می‌رسد (کاوسی، ۱۳۷۸، حسین‌پور، ۱۳۷۹).

۱-۵-۱- کاربرد سینتیک در فرآیندهای شیمیایی خاک: به‌کارگیری اصول سینتیک شیمیایی حتی در محلول‌های ساده‌کاری پر زحمت است، به خصوص هنگامی که قصد به کارگیری این اصول در محیط‌های پیچیده و ناهمگن نظیر خاک باشد، مشکلات بزرگتر می‌شوند. عبارت سینتیک واژه‌ای کلی است که به واکنش‌های وابسته به زمان اشاره دارد. سینتیک شیمیایی طبق تعریف به مطالعه سرعت واکنش‌های شیمیایی و فرآیندهای مولکولی در محیطی که نقل و انتقال مواد و محصولات واکنش در آن محدود کننده نباشد، گفته می‌شود. در محیط خاک واکنش‌های سینتیکی مخـــــلوطی از سینتیک کنترل شده توسط انتقال Transport controlled و سینتیک کنترل شده توسط واکنش (Reaction controlled) می‌باشند (کاوسی، ۱۳۷۸، حسین‌پور، ۱۳۷۹). به طور کلی دو دلیل عمده جهت انجام مطالعات سینتیکی در خاک به شرح زیر وجود دارد.

۱- پی بردن به زمانی که یک واکنش خاص در خاک به حالت تعادل یا شبه تعادل می‌رسد.

۲- پی بردن به سازوکار واکنش.

اطلاعات درباره سینتیک و سازوکار واکنش‌های تبادلی در خاک بسیار اندک است لذا در این زمینه به تحقیقات بیشتری در داخل کشور نیاز است.

۲-۵-۱- روش‌های مطالعات سینتیکی درخاک: یکی از جنبه‌های مهم مطالعات سینتیکی در خاک روش انجام آن است. هیچ روش مطالعه سینتیکی در حال حاضر وجود ندارد که کامل باشد. هر روش مزایا و معایب خاص خود را دارد. لذا از شروع به تحقیق باید با توجه به هدف تحقیق و آگاهی از انواع روش‌ها، روش مناسب انتخاب گردد. به‌عنوان مثال برای بررسی یک واکنش سریع در خاک نمی‌توان از شیوه‌های سنتی که دارای سرعت کمی هستند استفاده کرد. اگرچه روش‌های سنتی هنوز برای بررسی واکنش‌های کند نظیر هوادیدگی کانی‌ها و واکنش مواد حشره‌کش در خاک که واکنش‌های سریعی نیستند، روش‌های مناسبی به نظر می‌رسند. مسأله مهم دیگر ثابت نگه داشتن دما طی آزمایش است چرا که سرعت اغلب واکنش‌های مورد بررسی در خاک شدیداً به دما وابسته است. در مطالعه سینتیک جذب و آزادسازی عناصر از خاک روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که از بین این روش‌ها می‌توان به تکنیک بچ، تکنیک جایگزینی اختلاط پذیر یا فلاو و تکنیک کپسول‌های رزینی اشاره نمود (ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳ کاوسی، ۱۳۷۸، حسین‌پور، ۱۳۷۹).

- تکنیک بچ : مطالعات بسیاری بر روی سینتیک کانی‌های رسی و خاک با استفاده از این تکنیک صورت گرفته است. در این تکنیک یک تبادل کننده و یک جذب شونده در محفظه‌ای مثل لولـه سانتریفیوژ قرار گرفته و پس از تکان دادن و سانتریفوژ کردن، محلول زلال بالایی حاصل مورد تجزیه قرار می‌گیرد. از جمله موادی که به‌عنوان جذب کننده در این تکنیک استفاده می‌شود رزینهای تبادلی می‌باشد بدین صورت که مقدار معینی خاک و رزین با هم مخلوط شده و مقدار لازم آب به آن اضافه می‌شود. در حدود ۴۰ درصد مطالعاتی که با استفاده از این روش انجام گرفته در مورد فسفر و از جمله هدف‌های آن تخمین فسفر قابل جذب خاک بوده است. اخیرا این شیوه به استفاده از کیسه رزین و غشاهای تبادلی آنیونی تغییر یافته است. روش‌های مشابهی با آنچه که برای فسفر استفاده گردیده برای مطالعه کاتیون‌هانیز بکارگرفته شده است که از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعات آزاد سازی پتاسیم از اجزای مختلف خاک، شدت پخشیدگی کاتیون‌ها در خاک، استخراج مواد هومیکی از خاک، اندازه‌گیری میزان آلودگی کادمیوم و تعیین مقدار روی قابل استخراج بارزین اشاره نمود. روش بچ دارای معایب و محدودیتهایی است. مثلاً اکثر تکنیکهای بچ احتیاج به سانتریفیوژ نمودن نمونه به مدت ۵ دقیقه جهت جدا کردن فازهای جامد و مایع از یکدیگر دارند. بسیاری از واکنش‌های تبادلی در ظرف این مدت و یا حتی کمتر از آن به طور کامل انجام می‌شوند، مشکل دیگر این تکنیک این است که محلول و تبادل کننده با یکدیگر مخلوط می‌گردد که اگر این اختلاط کافی نباشد،شدت واکنش محدود خواهد شد. اما اگر اختلاط خیلی قوی و شدید انجام شود می‌تواند باعث سایش ذرات تبادل کننده شود که این امر خود سبب افزایش شدت واکنش و تغییر شیمی سطح ذرات می‌گردد. از دیگر محدودیتهای روش بچ این است که نتایج به دست آمده شدیداً تحت تأثیر نسبت رزین - خاک - محلول، مدت زمان تکان دادن، دما و روش استخراج یون‌های جذب شده بر روی رزین واقع می‌شود.
- تکنیک جایگزینی اختلاط پذیر یا فلاو: این تکنیکها برای مطالعه سینتیک خاک‌ها و کانی‌های رسی کمتر مورد استفاده قرار گرفته است اما برای مطالعه پدیده‌های جذب و آزاد سازی یون‌ها به وسیله کلوییدها به‌ویژه اگر مقصود ارتباط دادن مطالعات سینتیکی با انتقال املاح در شرایط مزرعه‌ای باشد نسبت به روش بچ ترجیح داده می‌شود. این تکنیک نسبتهای واقعی از محلول به جامد (اغلب کمتر یا مساوی ۱) ایجاد می‌کند که برای بسیاری از گونه‌های شیمیایی مثل پتاسیم، فسفات و سلنات مطلوب است و اثرات متقابل حل شونده - جامد در آن بسیار کندتر از تکنیک بچ است. در این تکنیک با جریان یافتن محلول از درون سیستم خاک نه تنها محلول، یون‌های بیشتری را خارج می‌کند بلکه یون‌های آزاد شده در این روش خارج شده و از رقابت این یون‌ها برای آزاد سازی گونه‌های دیگر که در مکان‌های جذبی قرار دارند جلوگیری می‌شود. این مسئله به خصوص در مطالعه پتاسیم حایز اهمیت است چون حتی مقادیر کم پتاسیم در

محلول تعادلی، از آزاد شدن پتاسیم‌های جذب شده بر روی سطوح تبادلی خاک، جلوگیری می‌کند. با وجود اینکه مطالعات ترمودینامیکی از ارزش علمی بالایی برخوردارند ولی کمکی به درک سازوکارها و سرعت واکنش‌های یونی در خاک نمی‌کنند. لذا برای درک این واکنشها اطلاع از سینتیک آن‌ها امری ضروری است. یکی دیگر از روش‌های مطالعه سینتیک جذب و رها سازی پتاسیم از خاک روش استفاده از رزین کپسول‌ها (PDT) می باشد.

- تکنیک کپسول‌های رزینی: در این تکنیک، کپسولهای با شکل و اندازه یکسان و حاوی رزینهای تبادلی کاتیونی و آنیونی به صورت مخلوط وارد خاک شده و مستقیماً در تماس با محلول خاکی که غرقاب شده قرار می‌گیرد و با فرآیندهایی شبیه به آنچه که در ریشه‌های زنده گیاهان اتفاق می‌افتد، یون‌ها راجذب می‌کنند. این رزینها حاوی مخلوط پلی‌استرهای کاتیونی قوی(H^+) با اکی‌والانهای یکسان می‌باشند و دارای شکل کروی و سطح ویژه یکسان به‌مقدار ۱۱/۴سانتی‌متر مربع درکپسول می‌باشند و هر کپسول دارای ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی برابر با ۲/۲ میلی‌اکی‌والان می‌باشد. این کپسول‌ها در مرکز نمونه خاک اشباع قرار گرفته و فوراً شروع به جذب یون‌ها از محلول خاک نموده و در عوض یون‌های H^+و OH^- را آزاد می‌کنند. کپسولهای رزینی در ارتباط با سینتیک آزاد سازی عناصر از ویژگی‌های زیر برخوردار هستند.
- انتخاب پذیری رزینها برای یون‌ها بیشتر از خاک است.
- در مقایسه با حجم نسبتاً کمی از خاک که تحت تأثیر رزین قرار می‌گیرد، ظرفیت تبادلی کپسول زیاد است و اساساً مانند یک منبع جذب‌کننده یون‌ها با سطح بی‌نهایت عمل می‌کنند.
- سطوح ویژه فعال کپسول در طول دوره جذب یون‌ها ثابت است
- انواع زیادی از یون‌ها را می‌تواند به طور همزمان و مستقل از یکدیگر جذب کند و
- رهاسازی عناصر از سطح رزین به محلول خاک قابل چشم‌پوشی است چون شیب پتانسیل بین رزین و محلول خاک بسیار بالا است.

پدیده تبادل یونی بین خاک و رزینها تحت تأثیر دو فرآیند پخشیدگی است یکی پخشیدگی فیلم (Film diffusion) است که با حرکت یون‌ها از مکان‌های تبادلی ذرات خاک به محلول اطراف ذرات رزین و حرکت یون‌ها از این محیط مایع به طرف سطوح رزینها تعریف می‌شود و تحت تأثیر ویژگی‌های خاک می‌باشد و دومین فرآیند، پخشیدگی ذره‌ای(Particle diffusion) است که مربوط به حرکت یون‌ها در داخل ذرات رزین و بین سطوح تبادلی ذرات رزین می‌باشد. رزینهای کپسولی در خاک بیشتر تحت تأثیر پخشیدگی فیلم هستند و بر این اساس جذب یون‌ها توسط آن‌ها از خاک بیشتر تحت تأثیر خصوصیات خاک می‌باشد.

سینتیک جذب کاتیون‌ها یاآنیون‌ها به وسیله کپسولهای رزینی را می‌توان با معادلات ریاضی مختلفی از جمله معادلـه لانگ موير، قانون انتشار پارابولیکی، معادلـه ایلوویچ۳ و غیره بیان نمود، ولی معمولاً استفاده از معادلات توانی به صورت زیر برای اکثر عناصر جواب قابل قبولی ارائه

می‌دهد (ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳).

$$RAQ(i,t) = at^{b} \qquad a \geq 0 \qquad 0 \leq b \langle 1$$

در آن رابطه فوق i، مقدار عنصر جذب شده به وسیله رزین در زمان t برحسب میکرومول در هر سانتی‌متر مربع از رزین و a و b پارامترهای ثابت معادلـه می‌باشند. در این معادلـه ضریب b مشخص کننده پتانسیل یک خاک برای آزاد سازی یک عنصر از منابع مختلف آن عنصر در خاک، در مدت زمان طولانی می‌باشد. هرچه ضریب b کمتر باشد مقدار افزایش جذب عنصر به وسیله رزین نیز کمتر می‌شود. لازم به ذکر است که مقادیر زیاد b به تنهایی الزاماً نشان دهنده زیاد بودن مقدار آزاد سازی یک عنصر نمی‌باشد چون ممکن است علی‌رغم بالا بودن b، مقدار a فوق‌العاده کوچک باشد.

تحقیقات انجام گرفته بر روی سینتیک آزاد سازی پتاسیم با استفاده از رزینها، معادلات مختلفی را ارایه داده است. Sparksو همکاران(۱۹۸۰) و بعضی محققان دیگر گزارش نموده‌اند که واکنش‌های پتاسیم بین محلول خاک و فاز تبادلی در سیستم خاک ازسینتیک رده اول (First order) پیروی می‌کنند . Sparksو همکاران(۱۹۸۰) سینتیک آزاد سازی پتاسیم را در دو گروه از خاک‌های ویرجینیا مطالعه نمودند که در مطالعات آن‌ها آزادسازی پتاسیم به طرز قابل قبولی توسط معادلات رده اول و با ضرایب همبستگی ۰/۹۹۳- تا ۰/۹۹۸- توصیف شده است. نتایج مطالعه انجام گرفته درهندوستان نیز نشان داد که سینتیک رده اول به خوبی می‌تواند آزاد سازی پتاسیم ازخاک را توصیف کند(r -۰/۹۷). قانون پخش پارابولیکی نیز به طور موفقیت‌آمیزی در تشریح آزاد سازی پتاسیم از کانی‌های رسی به کار گرفته شده است (حسین‌پور، ۱۳۷۹؛ ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳). توفیقی(۱۳۷۴) سینتیک آزاد شدن پتاسیم از سه خاک شالیزاری را با استفاده از سدیم‌تترافنیل بران مورد مطالعه قرار داد و نتیجه گرفت که هیچیک از دو معادله مرتبه اول و مرتبه صفر قادر به توصیف سینتیک آزاد شدن پتاسیم از خاک‌های مورد مطالعه نیستند اما معادله انتشار پارابولیکی به طرز قابل قبولی بر داده‌ها تطبیق دارند. با این حال هر سه معادله در محدوده زمانی کوتاه (۱/۵ ساعت) به‌خوبی بر داده های به دست آمده منطبق می‌شوند.

کاوسی و همکاران (۱۳۷۸) با هدف تعیین پارامترهای سینتیکی پتاسیم به وسیله گیاه برنج طی یک آزمایش گلدانی بر روی ۱۰ خاک جمع‌آوری شده از شالیزارهای استان گیلان از تکنیک رزین کپسول‌ها استفاده نمودند. رزین کپسول‌های مورد استفاده در این تحقیق دارای شکل کروی یکسان با سطح ویژه ۱۱/۴ سانتی‌متر بر گرم بوده و شامل مخلوطی از رزینهای با کاتیون‌های اسید قوی (H^+) وآنیون‌های بازی قوی (OH^-) با اکی‌والانهای مساوی بودند که دارای ظرفیت تبادل کاتیونی ۱/۲ میلی‌اکی والان و ظرفیت تبادل آنیونی یک میلی‌اکی والان بودند. با قرار دادن رزین کپسول‌ها در خاک با روش خاص و سپس خارج کردن آن‌ها از خاک در زمان‌های مورد نظر (۱، ۲، ۴، ۷

و ۱۴ روز) پتاسیم جذب شده توسط آن‌ها استخراج و اندازه‌گیری گردید. پتاسیم آزاد شده از خاک در طول زمان (که همان پتاسیم جذب شده توسط رزین کپسول‌ها می‌باشد) با استفاده از مدلهای سینتیکی مرتبهٔ اول، مرتبه صفر، معادلهٔ الوویچ، انتشار پارابولیکی و معادله توانی برازش داده شد نتایج به دست آمده نشان داد که تمام معادلات سینتیک استفاده شده توانسته‌اند آزاد سازی پتاسیم با جذب پتاسیم توسط رزین کپسول را توجیه نمایند. لکن بسته به نوع خاک‌ها برخی معادلات نسبت به برخی دیگر همبستگی بیشتری داشتند. شیب هیچکدام از معادلات همبستگی معنی‌داری با پتاسیم جذب شده و همچنین عملکرد نسبی برنج نداشت اما عرض از مبدأ معادلات توانی، ایلوویچ و درجه اول همبستگی بالایی با مقدار جذب پتاسیم به وسیله گیاه نشان داد که در مقایسه با همبستگی پتاسیم استخراج شده با روش‌های استات منیزیم، کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار و استات آمونیم با جذب پتاسیم توسط گیاه می‌توان نتیجه گرفت که عرض از مبداء معادلهٔ توانی بهتر ازروش‌های کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و استات آمونیم می‌تواند مقدار جذب پتاسیم توسط گیاه برنج را پیش بینی نماید.

۶-۱- تعادل و معادله گاپون در تبادل پتاسیم – کلسیم در خاک‌های آهکی

در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک حضور کاتیون کلسیم به مقدار زیاد در سیستم تعادلی خاک(محلول و تبادلی)، همواره واکنش‌های شیمیایی فاز محلول و تبادلی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. پدیده تبادل از جمله این واکنش‌های شیمیایی است که تأثیر کاتیون دو ظرفیتی کلسیم در آن بسیار مهم می‌باشد. یکی از تعادلهایی که در سیستم شیمیایی خاک‌های آهکی از اهمیت بیشتری برخوردار است، تعادل پتاسیم ـ کلسیم است که می‌تواند پاسخگوی بسیاری از مسائل در شیمی و حاصلخیزی خاک و قابلیت استفاده این عناصر به ویژه پتاسیم باشد. با توجه به اهمیت موضوع، تحقیقات زیادی در خاک‌های آهکی کشور در این زمینه انجام نشده است. طبق نظر Beckett (۱۹۶۴) تبادل پتاسیم - کلسیم از قانون نسبت اسکوفیلد تبعیت می‌کند و قابلیت استفاده این عناصر به پتانسیلهای شیمیایی آن‌ها در خاک بستگی دارد که مستقیما قابل اندازه گیری نیست لذا معادلات تبادلی از جمله معادلـــه گاپون می‌تواند برآورد مناسبی از وضعیت این سیستم تعادلی داشته باشد (خراسانی و حق‌نیا، ۱۳۸۰).

معادله تبادلی گاپون در سیستم تعادل پتاسیم ـ کلسیم به صورت زیر قابل بیان است:

$$Ca_{1/2}X^{0} + K^{+} = KX^{0} + \frac{1}{2}Ca^{+2} \qquad (۱)$$

X= سطح تبادل کننده با یک بار منفی است.

برای ساده‌تر نمودن شکل معادله گاپون دو پارامتر EKR وKAR به صورت زیر قابل تعریف است.

$$KAR=(K^{+})/(Ca^{+2}) \text{ و } EAR=[ExK]/[ExCa] \qquad (۲)$$

که در روابط فوق : Ex بیانگر فرم تبادلی است، علامت () نشانگر فعالیت کاتیون‌های محلول برحسب مول بر لیتر و علامت [] نشانگر غلظت کاتیون‌های تبادلی بر حسب مول بر کیلوگرم است. در این حالت می‌توان ثابت تعادل گاپون را برای معادله (۱) به صورت ساده زیر بیان کرد:

$$K_G = EKR/KAR \quad (۳)$$

رابطه خطی بین KAR و EKR با توجه به K_G به این صورت بیان می‌شود:

$$EKR = K_G . KAR + C \quad (۴)$$

C: مقدار ثابت معادله خطی (عرض از مبداء)

خراسانی و حق‌نیا (۱۳۸۰) طی یک تحقیق و به منظور بررسی روابط تعادلی و معادلهٔ گاپون در تبادل پتاسیم و کلسیم در خاک‌های آهکی، آزمایشی را بر روی ۱۴ نمونه خاک انتخابی از شمال خراسان با این روش انجام دادند که ابتدا تمام نمونه‌های خاک طی چند مرحله با کلسیم اشباع گردید. سپس فاز محلول خاک‌ها توسط الکل در چند مرحله شستشو داده شده و در ادامه کار هر خاک توسط محلول‌هایی با قدرت یونی ثابت با غلظتهای مختلف پتاسیم (صفر تا ده میلی مول بر لیتر) تحت تیمار قرار گرفت و پس ازاطمینان از حصول تعادل، محلول تعادلی از هر تیمار استخراج شده و پتاسیم و کلسیم آن‌ها اندازه‌گیری گردید. سپس فعالیت پتاسیم و کلسیم پس از تعیین قدرت یونی محلولها از فرمول بسط یافته «دبای ـ هاکل» تعیین شد و پس از محاسبه KAR و EKR، رابطه خطی بین آن‌ها به دست آمده و ثابت گاپون که در حقیقت شیب خط محسوب می‌شود برای هر خاک تعیین گردید. در قسمت دیگر این تحقیق رابطه خطی بین ΔK وKAR تعیین و سپس PBC_K نیز به دست آمده و مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه مقادیر K_G به دست آمده از رابطه خطی KAR و EKR بین ۱/۲۶ تا ۳/۳۶ متغیر بود و ضریب رگرسیون مربوط در همه خاک‌ها بالا بود و بین ۰/۹۱ تا ۰/۹۹ تغییر می‌کرد. بالا بودن K_G خاک در نتیجه زیاد بودن EKR یا کم بودن KAR در هر صورت بیانگر تمایل خاک برای جذب پتاسیم به صورت تبادلی است. یعنی پتاسیم در خاکی که K_G بیشتری دارد در مقایسه با خاک‌های دیگر، به ازای اضافه کردن غلظتهای مشخص پتاسیم، با شیب بیشتری تمایل به جایگزین شدن با کلسیم دارند و لذا با دانستن مقادیر K_G و معادلـه خط که در این تحقیق به‌دست می‌آید و با تعیین فعالیت پتاسیم و کلسیم فاز محلول می‌توان نسبت پتاسیم به کلسیم تبادلی را با تقریب بالا برآورد کرد که این برآوردکمک شایان توجهی به بررسی وضعیت قابلیت استفاده پتاسیم در خاک، آبشویی پتاسیم، توصیه کودی و ... می‌کند در این تحقیق مقدار PBC_K که در حقیقت شیب معادله خط ΔK و KAR است در خاک‌های مورد مطالعه بین ۱۴/۱۷ تا۵۳/۶۸ سانتی مول بر کیلوگرم به دست آمد. همبستگی K_G و PBC_Kبا برخی از پارامترهای خاک مورد بررسی قرار گرفت و چنین گزارش گردید که در خاک‌های مورد مطالعه همبستگی قوی بین PBC_K با K_G وجود داشته است.

۷-۱- تحرک پتاسیم در خاک

نظر به این که اغلب کانی‌های رسی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بنا به طبیعت خاص خود پتاسیم را به صورت قابل تبادل جذب، و یا بین لایه‌های خود تثبیت می‌کنند، لذا پتاسیم اضافه شده به خاک نمی‌تواند چندان متحرک باشد. حرکت پتاسیم به اعماق خاک تحت شرایطی خاص اتفاق می‌افتد. در خاک‌های شنی، به دلیل پایین بودن میزان نسبی کلوییدهای فعال در جذب کاتیون‌ها، مقدار بیشتری از پتاسیم توسط آب آبیاری به اعماق شسته می‌شود. راه دیگر هدر رفت پتاسیم، فرسایش خاک است. بدین ترتیب که پتاسیم عمدتاً همراه با ذرات خاک به صورت معلق در رواناب سطحی از خاک خارج می‌گردد. در این حالت مقدار هدرروی بستگی به شیب زمین، بافت خاک، مقدار مواد آلی و میزان پتاسیم اضافه شده به خاک، میزان بارندگی و یا آب آبیاری و مدیریت آن دارد. برخی از محققان آبشویی و خروج پتاسیم از پروفیل خاک را در خاک‌هایی با بافت سبک گزارش کرده‌اند(Sparks و همکاران، ۱۹۸۰). Neilsen و Stevensen (۱۹۸۳) در مطالعات لایسیمتری در خاک‌هایی با بافت لوم شنی تا شنی، میانگین تلفات سالانه پتاسیم از طریق آبشویی را حدود ۵۹ کیلوگرم در هکتار برآورد نموده‌اند. برخی از محققان دیگر نیز پس از انجام آزمایش‌های متعدد گزارش کرده‌اند که پتاسیم افزوده شده به خاک در لایه سطحی خاک جذب شده و بارندگی یا آبیاری از طریق آبشویی نمی‌تواند آن‌را به میزان محسوسی جابجا کند. تحقیقاتی نیز توسط محققین مؤسسه تحقیقات خاک و آب بر روی استفاده از کودهای پتاسیمی به همراه آب آبیاری (کودآبیاری) یا به روش سرک در خاک‌های با بافت سبک و متوسط صورت گرفته و نشان داده است که در روش استفاده از کودهای پتاسیمی به همراه آب آبیاری عملکرد محصول افزایش یافته و یا بر میزان درصد پتاسیم محصول مؤثر بوده است (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). در این رابطه و به منظور افزایش کارآیی پتاسیم مورد استفاده در سیستم کود آبیاری توصیه می‌شود که غلظت پتاسیم در هر نوبت بایستی کم باشد به‌طوری‌که مقدار کود مورد نیاز طی چند نوبت مصرف شود و نه به صورت یکجا مصرف شود. بازرگان و همکاران (۱۳۸۰) طی تحقیقی تأثیر عوامل مختلف بر تحرک پتاسیم در ستونهای خاک را مورد بررسی قرار دادند. این بررسی که بر روی بیش از ۵۰ ستون خاک با تیمارهای مختلف از نظر غلظت پتاسیم محلول، حجم محلول مصرفی و کیفیت آن انجام شده بود نشان داد که اگر چه کودهای پتاسیمی کاملاً در آب محلولند ولی ذرات خاک به شدت با پتاسیم موجود در محلول واکنش داده و با توجه به بافت خاک، مقدار پتاسیم اولیه، غلظت پتاسیم محلول کودی، مقدار محلول کودی و حضور سایر یون‌ها در این محلول از ۴۰ تا بیش از ۷۰ درصد از کل پتاسیم موجود در محلول کودی در لایهٔ ۲/۵ سانتی‌متری اول خاک نگه داشته می‌شود. بخش دیگری از نتایج مربوط به بررسی عوامل مؤثر بر حرکت پتاسیم در ستونهای خاک توسط این محقق به شرح زیر بوده است:

ـ کیفیت آب آبیاری: با افزایش شوری آب آبیاری در غلظت یکسان پتاسیم، میزان حرکت پتاسیم

به لایه‌های پایینی افزایش یافته و از میزان تجمع آن در ۲/۵ سانتی‌متری اول کاسته شد.
ـ بافت خاک: حرکت پتاسیم در تمامی غلظتهای مورد استفاده در محلول ۰/۰۱ مولار کلرور کلسیم در خاک‌های سبک خیلی بیشتر از خاک‌های سنگین بود.
ـ نوع کود پتاسیمی : تفاوتی بین کلرورپتاسیم و سولفات‌پتاسیم از نظر تأثیر بر حرکت پتاسیم در طول ستون خاک مشاهده نگردید.
ـ رطوبت اولیه خاک: وجود رطوبت اولیه نه تنها حرکت پتاسیم در طول ستون را تسهیل نکرده بلکه در برخی از موارد حتی حرکت را کندتر وسبب تجمع بیشتر پتاسیم در لایه اول شده بود.
ـ حجم محلول کودی و غلظت آن : با افزایش حجم محلول کودی با غلظت معین، حرکت پتاسیم بیشتر و نیز با افزایش غلظت محلول کودی در حجم معین، حرکت نسبی پتاسیم یا درصد نسبی پتاسیم آبشویی شده کاهش یافته بود.
در این تحقیق، اندازه‌گیری غلظت پتاسیم در زه‌آب جمع‌آوری شده از ستونهای خاک نشان داده شد که غلظت پتاسیم در زه‌آب این ستونها می‌تواند به بیش از ۱۰ برابر غلظت معمول پتاسیم در محلول خاک‌ها برسد. براساس نتایج و نیز اطلاعاتی که از عصاره‌گیری محلول در تعادل با خاک مربوط به لایه‌های مختلف ستونها به دست آمد، چنین نتیجه‌گیری گردید که بخشی از پتاسیم موجود در محلول کودی اولیه که توسط فاز جامد خاک جذب نشده است همچنان در محلول خاک باقی مانده و یا بعضاً به همراه زه‌آب خارج می‌شود بنابراین درصورتی‌که کود پتاسیمی به صورت سرک یا کود آبیاری هنگامی به خاک اضافه شود که گیاه از نظر جذب پتاسیم فعال باشد آنگاه می‌توان آثار مثبت ناشی از این روش را در گیاه و نیز کاهش میزان هدرروی آن مشاهده نمود. انگشتری (۱۳۸۰) در یک مطالعه بر روی میزان هدر رفت عناصر ازت، فسفر و پتاسیم در اثر فرسایش آبی در عرصهٔ منابع طبیعی استان خراسان گزارش نمود که میزان هدر رفت ازت کل، فسفر و پتاسیم از خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب برابر ۱۶۸، ۰/۸۸ و ۲/۳۳ کیلوگرم در هکتار در سال می‌باشد. این محقق به نقل از منابع مورد بررسی، میزان هدر رفت سالیانه ازت، فسفر و پتاسیم در خاک‌های منطقه قفقاز را به ترتیب ۶ تا ۸ کیلوگرم، ۱۸ تا ۶۰ کیلوگرم و ۵۰۰ تا ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش نموده است. جلالی و راول (۱۳۷۸) در یک مطالعه اثر املاح کلسیم بر آبشویی پتاسیم در یک خاک شنی را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق که به صورت آزمایشگاهی و در ستونهایی از خاک شنی صورت گرفت تأثیر کلرور کلسیم با غلظتهای متفاوت، کربنات کلسیم و گچ (هر یک به میزان ۵ درصد) بر میزان جذب و آبشویی پتاسیم بررسی شد. نتایج نشان داد با افزایش غلظت کلسیم ناشی از وجود غلظتهای مختلف کلرور کلسیم در محلول آبشویی، میزان پتاسیم آبشویی شده و غلظت آن در محلول خروجی افزایش یافته است. در خاک حاوی گچ (۵ درصد) پس از عبور ۲۹۰ میلی‌لیتر آب از خاک حدود ۷۷ درصد از پتاسیم مصرفی (معادل ۳۰۷ کیلوگرم در هکتار) و در خاک حاوی کربنات کلسیم پس از عبور ۱۰۰ سانتی‌متر

آب از خاک حدود ۱۶ درصد از پتاسیم مصرفی (معادل ۶۴ کیلوگرم در هکتار) آبشویی شده بود. از این آزمایش چنین نتیجه‌گیری گردید که توزیع غلظت یون پتاسیم در ستون خاک بستگی به ضریب جذب واکنش تبادل یونی، ظرفیت تبادل کاتیونی و غلظت یون کلسیم دارد . همچنین حضور یون کلسیم در آب آبیاری و همچنین رهاسازی آن از کانی‌هایی که حاوی این یون هستند نقش مهمی درتعیین میزان آبشویی پتاسیم از خاک دارد. آنیون همراه پتاسیم نیز ممکن است در میزان حرکت پتاسیم نقش داشته باشد. آنیون کلر در مقایسه با سولفات تحرک بیشتری را برای پتاسیم به وجود می‌آورد. ظاهراً آن دسته ازآنیون‌هایی که با کلسیم تولید نمک‌های محلول می‌کنند سبب جانشینی بیشتر کلسیم به جای پتاسیم گردیده و در نتیجه حرکت پتاسیم را افزایش می‌دهند. در این رابطه، ممکن است از طریق اضافه نمودن گچ به سطح خاک، پتاسیم قابل تبادل را در لایه‌های عمقی خاک جایگذاری نمود. در درختان مسن که منطقه فعال ریشه در عمق پایین خاک قرار داشته و در آن مناطق کمبود پتاسیم وجود داشته باشد، می‌توان از این طریق پتاسیم را به اعماق پایین‌تر رسانده تا در اختیار ریشه قرار گیرد.

جلالی و راول (۱۳۷۸) در یک مطالعه پیش‌بینی روند آبشویی پتاسیم خاک با استفاده از مدل‌های ریاضی را مورد بررسی قرار دادند. از آنجا که مدل‌سازی فرآیندهای مختلفی که در خاک صورت می‌گیرد نقش بسزایی در پیش‌بینی رفتار این سیستم و درک صحیح‌تر از سازوکارهای حاکم بر آن دارد. لذا در ارتباط با کاربرد کودهای شیمیایی در خاک نیز مدل‌سازی توزیع و حرکت عناصر قابل جذب و به ویژه پتاسیم می‌تواند میزان و نحوهٔ مصرف کودهای مربوط را مشخص سازد. مدل لایه‌ای از جمله مدل‌های ساده ریاضی است که این محققین به منظور امکان پیش‌بینی توزیع و حرکت پتاسیم در خاک از آن استفاده کرده‌اند. در مدل لایه‌ای پروفیل خاک به لایه‌های متعددی تقسیم شده و تفکیک پتاسیم مصرفی در خاک و در هر لایه بین دو فاز تبادلی و محلول با استفاده از ضریب جذب ثابت که از هم‌دماهای جذب سطحی به دست می‌آید، صورت می‌گیرد. هر لایه پس از رسیدن به ظرفیت زراعی، آب اضافی خود را همراه با یون‌های موجود در فاز محلول به لایه بعدی منتقل می‌سازد. این محققین به منظور ارزیابی قابلیت این مدل در پیش‌بینی حرکت پتاسیم در خاک از پنج تیمار مختلف آبشویی استفاده نمودند. پتاسیم افزوده شده به سطح خاک با غلظت‌های ۱، ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌مول در لیتر کلرید کلسیم آبشویی و غلظت پتاسیم در محلول آبشویی شده اندازه‌گیری گردید. نتایج آزمایش نشان داد منحنی‌های آبشویی پتاسیم دارای توزیع نرمال نبود که این امر حاکی از وقوع فرآیندهای شیمیایی بین پتاسیم و ذرات خاک بود. با استفاده از این مدل گرچه شکل کلی بعضی از منحنی‌های آبشویی پتاسیم به خوبی پیش‌بینی گردید لکن دنباله منحنی‌های آبشویی پیش‌بینی نشد. همچنین در مراحل مختلف آبشویی به دلیل جذب و دفع یون‌های کلسیم و پتاسیم غلظت یون‌های مذکور ثابت نبوده و دائماً تغییر می‌کنند لذا فرض ثابت بودن ضریب جذب در معادله دچار اشکال بوده و به این سبب

مدل با استفاده از معادلات فروندلیچ و لانگ مویر تکمیل گردید. به این ترتیب با استفاده از یک ضریب جذبی متغیر، مدل جدیدی به دست آمد به‌طوری‌که این مدل جدید به طرز بهتری قادر به پیش‌بینی آبشویی پتاسیم بود. بنا به گزارش این محققین مدل مربوط در قالب یک برنامه رایانهای به زبان بیسیک (Basic) نوشته شده و قادر است توزیع پتاسیم در عمق‌های مختلف خاک در مراحل مختلف آبشویی را محاسبه نماید. اطلاعات اولیه مورد نیاز مدل، شامل غلظت اولیه پتاسیم اضافه شده به سطح خاک، مقدار آب موجود در خاک در حالت ظرفیت زراعی، وزن مخصوص ظاهری خاک، عمق نیمرخ خاک و ضریب جذب واکنش تبادلی پتاسیم با کلسیم می‌باشد.

۸-۱- اثر کشت و کار مداوم بر اشکال مختلف پتاسیم در خاک

اوستان و توفیقی (۱۳۷۵) در یک تحقیق تأثیر دهها سال کشت برنج بر روی اشکال مختلف پتاسیم خاک را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه ۵۲ مزرعه به طور تصادفی در شمال کشور انتخاب و نمونه‌برداری خاک به صورت جفتی انجام گرفت به نحوی که یک خاک شالیزاری در مجاورت یک خاک غیر شالیزاری قرار گرفته بود. نتایج آزمایش‌های اولیه فیزیکی و شیمیایی بر روی جفت نمونه‌ها و همچنین مینرالوژی خاک‌ها نشان از مشابه بودن جفت نمونه‌ها بود و بدین‌طریق امکان استفاده از آزمون جفتی مقایسه میانگینها برای تجزیه و تحلیل داده‌های بعدی میسر گردید. در این مطالعه پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیم و پتاسیم غیر قابل تبادل خاک‌های شالیزاری کاهش معنی‌داری نسبت به خاک‌های غیر شالیزاری مشابه داشتند. این کاهش برای پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیم ۳۷/۸ درصد و برای پتاسیم عصاره‌گیری شده با اسیدنیتریک (پتاسیم غیر قابل تبادل)۲۹/۷ درصد بود. کاهش سطح پتاسیم قابل استخراج با استات‌آمونیم در خاک‌های شالیزاری مازندران ۴۲/۸ درصد بود که این مقدار تقریباً دو برابر مقدار کاهش در خاک‌های شالیزاری گیلان (۲۱/۷) بود. در خاک‌های شالیزاری مازندران کاهش سطح پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم (۴۲/۸ درصد) بیشتر از کاهش سطح پتاسیم غیرقابل تبادل (۲۹/۴) درصد بود در حالی که در خاک‌های شالیزاری گیلان کاهش سطح پتاسیم غیرقابل تبادل (۳۰/۴ درصد) معادل کاهش سطح پتاسیم قابل دسترس (۳۰/۴ درصد) بود. از این آزمایش چنین نتیجه‌گیری گردید که اگر روند کاهش مقدار پتاسیم قابل دسترس گیاه به همان صورت ادامه یابد به احتمال زیاد در سال‌های آینده گیاه برنج در تأمین پتاسیم مورد نیاز خود دچار مشکل می‌شود. بارانی مطلق و همکاران(۱۳۸۲) در یک مطالعه تخلیه پتاسیم از خاک‌های زیر کشت نیشکر در خوزستان را مورد مطالعه قرار دادند. به این منظور از ۳۰ نقطه مزارع نیشکر شرکت‌های کشت و صنعت هفت تپه، کارون و توسعهٔ نیشکر و صنایع جانبی نمونه‌برداری جفتی از دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۱ سانتی‌متری خاک به گونه‌ای صورت گرفته بود که یک خاک کشت شده در مجاورت یک خاک کشت نشده قرار گرفته باشد. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که

پتاسیم تبادلی و غیر تبادلی در هر دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۱ سانتی‌متری خاک‌های زیر کشت در سطح یک درصد کاهش معنی‌داری در مقایسه با خاک‌های کشت نشده داشته‌اند به طوری که سطح پتاسیم تبادلی در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک‌های زیر کشت در مقایسه با خاک‌های کشت نشده مجاور در شرکتهای توسعهٔ نیشکر، کارون، هفت‌تپه به ترتیب ۹/۶، ۴۳/۲۱ و ۷۳/۸ درصد کاهش یافته بود. متوسط کاهش پتاسیم غیرتبادلی برای عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزارع شرکتهای یاد شده نیز به ترتیب ۳۷/۹، ۴۷/۲ و ۶۶/۸ درصد بوده است. در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر سطح پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی در کلیه خاک‌های زیر کشت به‌ترتیب ۵۶ و ۵۴/۴ درصد نسبت به خاک‌های کشت نشده کاهش یافته بود. در خاک‌های زیر کشت نیشکر در مزارع شرکتهای توسعهٔ نیشکر و کارون به دلیل میانگین نسبتاً پایین پتاسیم تبادلی اولیه در خاک‌ها (به‌ترتیب ۱۴۳/۷و ۲۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای عمق ۳۰-۰ و ۱۲۳/۳ و ۱۰۵/۳ برای عمق ۶۰-۳۱ سانتی‌متر)، درصد کاهش پتاسیم غیر تبادلی بیشتر از درصد کاهش پتاسیم تبادلی بوده است. ولی در اراضی مربوط به شرکت کشت و صنعت کشت و صنعت هفت تپه عکس این عمل اتفاق افتاده بود به عبارت دیگر میانگین نسبتاً بالای پتاسیم تبادلی اولیه خاک‌ها (۳۱۲و ۲۷۸ میلی گرم بر کیلوگرم به ترتیب برای عمق‌های ۳۰-۰ و ۶۰-۳۱ سانتی‌متر) سبب گردیده بود تا درصد کاهش پتاسیم تبادلی در خاک‌های زیر کشت بیشتر از درصد کاهش پتاسیم غیرتبادلی باشد. از این آزمایش چنین نتیجه‌گیری گردید که تغییرات زیاد پتاسیم تبادلی و همزمان با آن، افت قابل ملاحظه سطح پتاسیم غیرتبادلی بیانگر نقش شکل اخیر پتاسیم در برآورد نیاز گیاه نیشکر به این عنصر در طی کشت و کار طولانی مدت است. از این رو در نظر گرفتن نقش پتاسیم غیرتبادلی در رابطه با کل پتاسیم جذب شده به وسیله گیاه در طول فصل رشد ضروری به نظر می‌رسد. صلحی و نادیان (۱۳۷۸) نیز در یک مطالعه ظرفیت تثبیت پتاسیم در خاک‌های کشت شده و کشت نشده (بایر) در استان خوزستان را مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که ظرفیت تثبیت پتاسیم در هر دو نوع خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از سطح خاک بیشتر از عمق ۶۰-۳۱ سانتی‌متر بوده است همچنین تفاوت معنی‌داری بین ظرفیت تثبیت پتاسیم در خاک‌های سطحی مربوط به اراضی تحت کشت و اراضی بکر مشاهده گردید به طوری که خاک‌های تحت کشت ظرفیت تثبیت بالاتری داشتند لکن در اکثرخاک‌ها در اثر انجام کشت و کار مداوم تفاوت معنی‌داری بین ظرفیت تثبیت پتاسیم در اعماق ۶۰-۳۱ سانتی‌متری این خاک‌ها در مقایسه با خاک‌های کشت نشده ایجاد نگردیده بود. فیض‌آبادی و کوچکی (۱۳۷۸) در یک مطالعه سه ساله تغییرات ازت، فسفر و پتاسیم باقیمانده خاک در واکنش به تناوب و نظام‌های زراعی متداول و اکولوژیک را مورد بررسی قرار دادند. در این آزمایش از سه تناوب زراعی شامل گندم ـ گندم، ذرت ـ گندم و چغندرقند ـ گندم به عنوان عوامل اصلی و پنج نظام زراعی مختلف شامل نظام متداول، نظام با مصرف نهاده متوسط، نظام با مصرف نهاده کم، نظام تلفیقی و نظام ارگانیک

(بدون مصرف هر گونه کود شیمیایی) به عنوان فاکتور فرعی استفاده شده بود. کلیه عملیات زراعی و نهاده‌های مصرفی در نظام‌های زراعی پرنهاده و کم نهاده به ترتیب حداکثر و حداقل عملیات زراعی و نهاده‌های مصرفی که زارعین منطقه برای هر محصول استفاده می‌نمودند بکار گرفته شد و برای نظام زراعی با نهاده متوسط و تلفیقی میانگین دو نظام پرنهاده و کم نهاده استفاده شد. در نظام ارگانیک کلیه عملیات زراعی با نیروی انسانی و تنها نهادهٔ مصرفی به غیر از بذر، کود حیوانی بود. در کلیه تیمارها قبل از کاشت و بعد از برداشت هر محصول نمونه خاک به صورت مرکب و جداگانه برداشت و تجزیه‌های لازم بر روی آن‌ها صورت گرفت. نتایج تجزیه خاک در پایان آزمایش نشان داد که مقدار ازت، فسفر و پتاسیم قابل جذب در خاک برای نظام‌های ارگانیک و تلفیقی نظیر سایر نظام‌های زراعی و در برخی موارد حتی بیشتر از سایر نظام‌های زراعی بوده است. این محققین همچنین گزارش نمودند که با وجود مصرف عناصر ازت، پتاسیم و فسفر و دیگر نهاده‌ها در نظام زراعی پرنهاده به میزان بیش از دو برابر نظام زراعی کم نهاده و ۱/۵ برابر نظام زراعی متوسط نهاده، مقدار ازت و پتاسیم باقیمانده در خاک برای هر سه نظام زراعی به طور تقریبی یکسان بوده است. پناهی و نوربخش (۱۳۸۰) تغییرات فسفر و پتاسیم قابل استفاده در خاک و رابطه آن‌ها با برخی خصوصیات خاک در ۲۳ سری از خاک‌های استان اصفهان را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه از نتایج تجزیه‌های فیزیکوشیمیایی انجام شده بر روی نمونه‌های خاک پروفیل‌های شاهد که در زمان انجام مطالعات خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی برداشت و تجزیه شده بود، استفاده گردید. بنابراین اعداد و ارقام مورد تجزیه و تحلیل مربوط به زمان انجام مطالعات فوق بوده است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل اطلاعات حاکی از آن بود که ۶۵ درصد خاک‌های موردنظر دارای فسفر بالا یعنی بین ۲۰ تا ۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و تنها ۱۷/۵ درصد آن‌ها دارای فسفر کم یعنی پایین‌تر از ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بودند. بین فسفر قابل استفاده و میزان رس همبستگی مثبت ولی پایینی وجود داشت و بین غلظت فسفر با سایر خصوصیات خاک مانند هدایت الکتریکی و کربن آلی همبستگی وجود نداشت. در مورد پتاسیم نیز ۷۸ درصد سری‌های مورد مطالعه دارای پتاسیم قابل جذب متوسط تا بالا (۲۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بودند و تنها ۲۲ درصد آن‌ها دارای پتاسیم قابل جذب بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بودند.

۹-۱- تغییرات پتاسیم قابل جذب خاک در طول فصل رشد گیاه

فلاح (۱۳۷۵) در یک مطالعه که به صورت کرتهای دائم در یک دورهٔ زمانی هفت ساله انجام گرفت، ظرفیت ترمیم عناصر غذایی ضروری در شالیزارها و پایداری تولید برنج در مازندران را مورد بررسی قرار داد و گزارش کرد که پتاسیم قابل جذب خاک هر ساله به طور متوسط از بهار تا پاییز یعنی زمان کشت تا برداشت برنج ۳۰ درصد کاهش یافته بود ولی در فصل نکاشت و از زمان

پاییز تا بهار سال بعد یعنی فصل کشت بعدی به طور کامل ترمیم یافته و به مقدار اولیه رسیده بود به طوری که طی هفت سال برداشت محصول، کاهشی در پتاسیم قابل جذب خاک رخ نداده بود. لکن با این وجود و علی‌رغم سنگین بودن بافت خاک مصرف کود پتاسیمی در دستیابی به عملکرد بالا مؤثر بوده است. در این آزمایش تغییرات پتاسیم قابل جذب از پاییز تا بهار بعدی اهمیت زمان نمونه‌برداری خاک به ویژه در توصیه کودی براساس تجزیه خاک را نیز نشان داد. محبی (۱۳۸۰) در یک مطالعه توازن پتاسیم در خاک‌های زیر کشت گندم در استان هرمزگان را مورد بررسی قرار داد برای این منظور تعداد ۲۰ مزرعه گندم در مناطق مختلف استان انتخاب نموده و پتاسیم قابل جذب خاک قبل از کشت، درطول فصل کشت و در پایان فصل کشت و همچنین غلظت پتاسیم در اندام‌های گیاهی و در آب آبیاری را اندازه‌گیری و گزارش نمود که از مجموع ۲۰ مزرعه مورد بررسی در ۱۶ مزرعه توازن پتاسیم منفی بوده است به عبارت دیگر پتاسیم قابل جذب خاک در پایان فصل رشد نسبت به ابتدای فصل رشد کاهش یافته بود و تنها در ۴ مزرعه توازن پتاسیم مثبت بوده است. صفاری و ملکوتی (۱۳۸۲) توازن پتاسیم در تعدادی از مزارع گندم خیز استان فارس را مورد مطالعه قرار داده و گزارش نمودند که در ۸۳ درصد مزارع مورد مطالعه توازن پتاسیم منفی بوده است. این محققین چنین نتیجه‌گیری نمودند که با فرض وزن مخصوص ظاهری خاک معادل ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب، میانگین کاهش پتاسیم قابل جذب در مزارع مورد مطالعه معادل ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بوده و با فرض میانگین تثبیت معادل ۲۰ درصد، به منظور جبران نیاز پتاسیمی گندم با عملکرد متوسط ۵/۵ تن در هکتار بایستی هر ساله مقدار ۵۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم) مصرف گردد و به ازاء هر تن افزایش عملکرد حدود ۲۰ کیلوگرم کود اضافی مصرف تا توازن پتاسیم خروجی و ورودی برقرار گردد. طاهری و مجیدی (۱۳۷۸) نیز در مطالعه دیگری موازنه پتاسیم در خاک‌های زیر کشت گندم آذربایجان غربی را مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که در ۲۵ درصد از مزارع مورد بررسی پتاسیم قابل جذب خاک در پایان فصل رشد نسبت به ابتدای فصل کاهش یافته بود. به عبارت دیگر موازنه پتاسیم منفی بوده است و این بدین معنی‌است که سرعت برداشت پتاسیم در طول دورهٔ رشد توسط گیاه بیشتر از قدرت عرضهٔ پتاسیم از منابع ذخیره‌ای و غیر تبادلی بوده است و در ۷۵ درصد مزارع نیز توازن پتاسیم مثبت یا نزدیک به صفر بوده است.

۱۰-۱- روش‌های ارزیابی پتاسیم قابل استفادهٔ گیاه در خاک

پتاسیم از نظر سازوکار جذب تا حد زیادی نظیر دیگر کاتیون‌ها و از نظر مقدار نیز جذب بیش از دیگر کاتیون‌ها مورد توجه گیاهان است. یون پتاسیم به کمک فرآیندهای سه‌گانهٔ تماس مستقیم با سطح ریشه، جریان توده‌ای و حرکت پخشیدگی که پتاسیم را بر اثر وجود اختلاف غلظت به سوی ریشه می‌راند، به وسیلهٔ ریشهٔ گیاه جذب می‌گردد. پخشیدگی، تأمین کنندهٔ بخش عمدهٔ

پتاسیم جذب شده به وسیلهٔ ریشه است. غلظت پتاسیم در سطح ریشه بر اثر رشد گیاه کاهش می‌یابد. اختلاف در غلظت،ایجاد کنندهٔ نیروی محرکهٔ لازم برای حرکت یون به طرف ریشه است. بنابراین با افزایش غلظت پتاسیم در آب خاک، اختلاف غلظت فزونی یافته و پخشیدگی افزایش می‌یابد. از آن جا که این پخشیدگی منحصراً در محیط مایع خاک تحقق می‌پذیرد، رطوبت خاک عاملی مهم در تعیین سرعت آن به شمار می‌رود. ضریب پخشیدگی با افزایش رطوبت خاک به سرعت افزایش می‌یابد. زیرا، سطح مقطع بیشتری برای این عمل حاصل می‌شود. در نتیجه وجود غلظت زیاد پتاسیم و آب کافی برای تأمین سطح بهینهٔ پتاسیم مورد نیاز گیاه در خاک ضروری است. ضریب پخشیدگی (D) عاملی است قابل اندازه‌گیری که نمایانگر تحرک یون‌ها می‌باشد. مقدار ضریب پخشیدگی از ۲×۱۰^{-۵} سانتی‌متر مربع بر ثانیه در آب و ۲×۱۰^{-۶} سانتی‌متر مربع بر ثانیه در خاک مرطوب، تا ۲×۱۰^{-۲۰} سانتی‌متر مربع بر ثانیه در خاک خشک متغیر است. این مقدار برای پتاسیم جذب شده بین لایه‌های رس با انبساط ناچیز مانند ایلایت، حتی به کمتر از ۲×۱۰^{-۲۰} سانتی‌متر مربع بر ثانیه می‌رسد. اگر پتاسیم در محلول خاک با سرعت یک میلی متر بر چهار ساعت حرکت نماید، سرعت حرکت آن در رس ایلایت بسیار کند بوده و تقریباً برابر با یک میلی‌متر در ۱۶ سال خواهد بود (Hagin و Tucker، ۱۹۸۲) . شکل ۱۹ اثر مقدار پتاسیم قابل جذب خاک بر حرکت پخشیدگی پتاسیم به سمت ریشه گیاه را نشان می‌دهد.

شکل ۱۹. منحنی شیب غلظت پتاسیم در اطراف ریشه ذرت در خاک لوم-شنی ناشی از وجود مقادیر مختلف پتاسیم قابل جذب در خاک (Marschner، ۱۹۹۵).

برای تشخیص توان تأمین پتاسیم خاک، تعیین سه عامل شدت (I) که در واقع بیانگر فعالیت نسبی یون پتاسیم در محلول خاک است، کمـّیت (Q) که معرف نسبت پتاسیم در فاز تبادلی است و تحرک که معرف سرعت انتقال مقدار معین پتاسیم در واحد زمان به سطح ریشه می‌باشد، ضروری است (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). حداقل یکی از این عوامل در روش‌های مختلف برای تخمین میزان پتاسیم قابل استفاده اندازه‌گیری می‌شوند. عامل شدت از طریق اندازه‌گیری غلظت پتاسیم در عصارهٔ اشباع خاک تعیین می‌گردد. معمولاً از آب برای این عصاره‌گیری استفاده

می‌شود. بدیهی است هر چه غلظت پتاسیم در محلول خاک زیادتر باشد، شدت عرضه پتاسیم به سطح ریشه‌ها بیشتر است. عامل کمـّیت در بسیاری از حالات با تعیین مقدار پتاسیم قابل تبادل و در بعضی از موارد به همراه اندازه‌گیری برخی از انواع غیر قابل تبادل، تعیین می‌شود. عامل کمـّیت شاخصی از مقدار پتاسیم موجود در بخش جامد خاک است که با محلول خاک در حال تعادل بوده و در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه در طول فصل رشد مشارکت می‌کند. عامل تحرک معمولاً در اندازه‌گیری پتاسیم قابل استفادهٔ گیاه به حساب آورده نمی‌شود، اگر چه می‌تواند نمایان‌گر سرعت انتقال پتاسیم در حالت محلول به طرف محل برداشت در سطح ریشه و همچنین معرف سرعت انتقال از فاز جامد به فاز محلول باشد. اینک برخی از روش‌های مرسوم و متداول جهت ارزیابی پتاسیم قابل استفاده خاک توضیح داده می‌شود. بدیهی است هر یک از روش‌های مورد بحث بسته به شرایط خاک، نوع گیاه، سرعت، دقت، نیاز به تجهیزات خاص و یا قیمت مواد شیمیایی مصرفی ممکن است نسبت به روش یا روش‌های دیگر مزیت نسبی داشته باشد.

۱-۱۰-۱- استات آمونیوم یک نرمال و خنثی: رایج‌ترین روش استخراج پتاسیم تبادلی، استفاده از استات آمونیوم نرمال و خنثی است . این عصاره‌گیر با قدمت ۵۰ ساله برای عصاره‌گیری مقادیر تبادلی عناصر به کار می‌رود و امروزه دراکثر خاک‌ها شاخص خوبی برای ارزیابی پتاسیم قابل دسترس محسوب می‌شود. سازوکار عصاره‌گیری در این روش استخراج پتاسیم از طریق جایگزینی با یون آمونیم می‌باشد که در این حالت مجموع پتاسیم جذب شده به طور غیر اختصاصی (تبادلی) و پتاسیم محلول اندازه‌گیری می‌شود ولی تحقیقات نشان داده است که با ادامه عصاره‌گیری در زمان‌های طولانی (هفت‌هفته) می‌توان لااقل بخشی از پتاسیم غیر تبادلی را نیز استخراج نمود (Mcclean و Watson، ۱۹۸۵). در اکثر مطالعات، همبستگی خوبی بین پتاسیم استخراج شده توسط این روش و جذب گیاه مشاهده شده است (Hagin و Tucker، ۱۹۸۲). اصولاً در خاک‌هایی که کانی‌های اسمکتایت و کائولینیت به مقدار زیاد وجود دارند و در مقابل مقدار کانی‌های پتاسیم‌دار مانند ایلایت و میکای آن‌ها کم است، می‌توان همبستگی بالایی بین پتاسیم تبادلی و پتاسیم قابل جذب گیاه مشاهده کرد. از طرفی این روش در خاک‌هایی که دارای ظرفیت تثبیت بالا برای پتاسیم و دارای مقادیر زیاد کانی‌های ایلایتی و ورمی کولیتی (کانی‌های رسی دو به یک) می‌باشند، مقدار پتاسیم قابل استفاده گیاه را بیش از مقدار واقعی آن نشان می‌دهد زیرا یون آمونیوم به علت هم اندازه بودن با یون پتاسیم، قادر است جایگزین بخشی از پتاسیم تثبیت شده بین لایه‌های رس شود و بدین ترتیب پتاسیم آزاد شده از محلهای اختصاصی همراه پتاسیم تبادلی اندازه‌گیری می‌شود.قابل ذکر است دقت نتایج به دست آمده از این روش نظیر روش‌های دیگر عصاره‌گیری به شدت تحت تأثیر روش نمونه برداری، تیمارهای اولیه نمونه، شرایط نگهداری و میزان رطوبت نمونه قرار دارد (شریفی، ۱۳۷۷؛ کاوسی، ۱۳۷۸).

امیری و فلاح (۱۳۷۵) در یک مطالعه بر روی اراضی شالیکاری شرق گیلان همبستگی بالایی بین پتاسیم قابل تبادل(روش استات آمونیم) و پتاسیم قابل دسترس(K_L) را گزارش نمودند. (r=۰/۹۹). خراسانی و توفیقی (۱۳۷۵) نیز طی تحقیقی در این زمینه بر روی خاک‌های شالیزاری شمال کشور گزارش نمودند که روش عصاره‌گیری با استات آمونیم برای برآورد پتاسیم قابل دسترس خاک روش مناسبی است که دلیل آن همبستگی مثبت و بالایی بود که بین پتاسیم قابل دسترس (K_L) و پتاسیم عصاره‌گیری شده با روش استات آمونیم به دست آمده بود.(R^2 =۰/۹۰).

۲-۱۰-۱- کلرور کلسیم ۰/۰۱ مولار : کلرور کلسیم ۰/۰۱ مولار از سالها پیش برای اندازه‌گیری پ.هاش خاک مورد استفاده قرار گرفته است. سازوکار عمل این عصاره‌گیر تبادل یون پتاسیم به وسیله یون کلسیم می‌باشد. اخیراً گرایش مجددی به کاربرد محلول عصاره‌گیر کلرور کلسیم ۰/۰۱ مولار جهت ارزیابی پتاسیم قابل دسترس صورت گرفته است. علاوه بر اندازه‌گیری پ‌هاش خاک، عناصر متعددی را به طور همزمان می‌توان در این عصاره اندازه‌گیری کرد. دلایل مناسب بودن این عصاره‌گیر به عنوان یک محلول عصاره‌گیر ساده برای برخی عناصر در خاک‌ها به طور خلاصه به شرح زیر است (شریفی، ۱۳۷۷):

- در بسیاری از خاک‌های کشاورزی این محلول با نسبت خاک به آب یک به ده، تقریب رضایت‌بخشی از ترکیب محلول خاک در رطوبتهای حدود ظرفیت مزرعه به دست می‌دهد.
- غلظت کلسیم در محلول خاک در رطوبتهای طبیعی خاک تقریباً به اندازهٔ ۰/۰۱ مولار (یا کمی کمتر) می‌باشد.
- در بسیاری از خاک‌ها کلسیم به عنوان مهم‌ترین کاتیون موجود روی کمپلکس جذبی محسوب شده و این باعث تسهیل تبادل سایر کاتیون‌ها با محلول نسبتاً رقیق کلسیم می‌گردد.
- امکان اندازه‌گیری همزمان فرمهای مختلف نیتروژن معدنی به همراه اندازه‌گیری مهم‌ترین کاتیون‌های موجود در فاز تبادلی و محلول خاک وجود دارد.
- این محلول عصاره‌گیر برای استخراج عناصر میکرو و فلزات سنگین خصوصاً در مطالعات آلودگی، مفید تشخیص داده شده است.
- سرعت، سادگی، ارزانی، دقت و تکرارپذیری بالا در آنالیزهای شیمیایی نیز از محاسن این روش می‌باشد.

رابطه بسیار خوبی بین سدیم، پتاسیم و منیزیم تبادلی و مقادیر عصاره‌گیری شده با محلول ۰/۰۱مولار کلسیم مشاهده شده است. کلرور کلسیم ۰/۰۱ مولار قادر به استخراج همه پتاسیم تبادلی نبوده، بلکه فقط مقداری از آن را خارج می‌کند که این مقدار در خاک‌های شنی حدود ۹۰ درصد و در خاک‌های رسی در حدود ۴۰ درصد پتاسیم تبادلی می‌باشد. گرچه فقط شکل به راحتی قابل دسترس پتاسیم، با این روش استخراج می‌گردد ولی ترکیب این نتایج با سایر پارامترهای خاک نظیر ظرفیت تبادل کاتیونی، مواد آلی، نوع رس وغیره

ممکن است این روش را برای ارزیابی پتاسیم قابل دسترس بسیار مفید جلوه دهد. شریفی (۱۳۷۷) به نقل از منابع مورد مطالعه گزارش نمود که این عصاره‌گیر بر روی خاک‌هایی با بافت مختلف آزمایش گردیده و چنین نتیجه‌گیری شده است که وقتی منحنی مربوط به عملکرد نسبی ذرت در برابر پتاسیم عصاره‌گیری شده با کلرور کلسیم ۰/۰۱ مولار رسم شود، برای همه خاک‌ها رابطهٔ رضایت‌بخشی مشاهده می‌شود. این محقق همچنین گزارش نموده است که بیان پتاسیم عصاره‌گیری شده با کلرورکلسیم ۰/۰۱ مولار به عنوان درصدی از کل ظرفیت تبادلی کاتیونی ($^{K}/_{CEC}\times ۱۰۰$)، یک شاخص معتبر برای قضاوت در مورد مصرف یا عدم مصرف کودهای پتاسیمی و احتمال عکس العمل گیاه نسبت به آن‌هامحسوب می‌شود.

۳-۱۰-۱- بی‌کربنات آمونیم. DTPA(AB-DTPA) عصاره‌گیر بی‌کربنات آمونیم -DTPA در سال ۱۹۷۷ توسط سلطان پور و شواب معرفی گردید. سازوکار عصاره‌گیری پتاسیم در این روش تبادل پتاسیم با آمونیم است . AB-DTPA شامل ترکیب بی‌کربنات آمونیوم ($NH_۴HCO_۳$) یک مولار و DTPA ۰/۰۰۵ مولار می‌باشد که در پ‌هاش ۷/۶ تنظیم می‌شود. این ترکیب برای عصاره‌گیری همزمان فسفر، پتاسیم، کلسیم، آهن، منگنز و روی قابل جذب گیاه پیشنهاد گردیده است و عموماً درخاک‌های قلیایی با پ.هاش بیش از ۷/۵ استفاده می‌شود که مقادیر کلسیم یا سدیم در آن‌ها زیاد نباشد. مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده با این روش همبستگی بالایی با مقدار استخراج شده توسط استات آمونیوم نرمال و خنثی دارد (شریفی، ۱۳۷۷).

شریفی (۱۳۷۷) گزارش نمود که Grzebisz و Oertli (۱۹۹۳) ترکیب AB-DTPA را با تعدادی از عصاره‌گیرهای رایج پتاسیم مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که عصاره‌گیرهای AB-DTPA, مهلیچ سه و استات آمونیوم مولار می‌توانند برای تخمین مقدار پتاسیم در دسترس خاک‌های اوکلاهاما مورد استفاده واقع شوند و نشان دادند که چهار عصاره‌گیر مورد مطالعه، برای فسفر، پتاسیم و منیزیم استخراجی همبستگی بالایی با یکدیگر دارند. عصاره‌گیر AB-DTPA که ابتدا برای خاک‌های آهکی مورد استفاده قرار گرفته بود، در این تحقیق تا حد قابل قبولی فسفر، پتاسیم و منیزیم را درخاک‌های اسیدی و خنثی استخراج نمود. محلول عصاره گیر AB-DTPA پ‌هاش ناپایداری دارد و باید قبل از استفاده به طور تازه تهیه گردد یا برای محافظت در زمان‌های طولانی‌تر در زیر روغن معدنی نگهداری شود. همچنین باید دقت کرد تا بطری‌ها و ظروف مورد استفاده، عاری از مواد دارای پتانسیل آلودگی باشد. از مزایای این روش یکی اینکه یک محلول عصاره‌گیر جایگزین سه محلول استات آمونیوم، بی‌کربنات سدیم و DTPA شده و دوم اینکه زمان عصاره‌گیری کوتاه است (۱۵ دقیقه) و سوم اینکه روش دارای تکرارپذیری نسبتاً خوبی است. از جمله معایب این روش می‌توان به ناپایداری محلول عصاره‌گیر و عدم امکان نگهداری محلول تهیه شده جهت استفاده در مدت زمان طولانی در آزمایشگاه اشاره نمود (شریفی، ۱۳۷۷).

۴-۱۰-۱- مهلیچ یک M_1: در سال ۱۹۵۴ عصاره‌گیر مهلیچ یک که غالباً در گذشته از آن به عنوان کارولینای شمالی یا دبل اسید یاد می‌شد معرفی گردید. مهلیچ یک مخلوطی از اسید کلریدریک ۰/۰۰۵ نرمال و اسید سولفوریک ۰/۰۲۵ نرمال می‌باشد. سازوکار بکار رفته در این عصاره‌گیر تبادل یون پتاسیم با H_3O^+ که شباهت زیادی به پتاسیم دارد، می‌باشد.این عصاره گیر برای خاک‌های شنی اسیدی با ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد مواد آلی کم پیشنهاد شده است که این خاک‌ها به طور شاخص در نواحی شرق و جنوب ایالات متحده یافت می‌شوند. این عصاره‌گیر زمانی که در خاک‌های خنثی تا قلیایی و مناطقی که آپاتیت در آن منبع غالب فسفر قابل جذب گیاه است مورد استفاده قرار گیرد در مدت کوتاهی خاصیت عصاره‌گیری خود را ازدست می‌دهد. مهلیچ یک برای عصاره‌گیری همزمان فسفر، روی، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم و منگنز در خاک‌های شنی اسیدی به کار می‌رود. مقادیر پتاسیم، کلسیم و منیزیم استخراج شده با این عصاره‌گیر همبستگی نزدیکی با مقادیر استخراجی توسط استات آمونیوم یک مولار خنثی دارد و معمولاً کمتر از آن می‌باشد (شریفی، ۱۳۷۷).

۵-۱۰-۱- مهلیچ ۳ (M_3): عصاره‌گیر مهلیچ سه در سال ۱۹۸۴ توسط مهلیچ معرفی گردید. مهلیچ سه شامل اسید استیک ۰/۲ نرمال، نیترات آمونیوم ۰/۲۵ نرمال، فلورید آمونیوم ۰/۰۱۵ نرمال، اسید نیتریک ۰/۰۱۳ نرمال و EDTA ۰/۰۰۱ مولار است . سازوکار عمل این عصاره‌گیر براساس تبادل پتاسیم با کاتیون‌های H_3O^+ و آمونیم می‌باشد. این عصاره‌گیر نوع تغییر یافته عصاره‌گیر مهلیچ دو (شامل اسید کلریدریک ۰/۰۱۲ مولار، کلرید آمونیوم ۰/۲ مولار، فلورید آمونیوم ۰/۰۱۵ مولار و اسید استیک ۰/۳ مولار) است . تغییرات به عمل آمده در عصاره‌گیرمهلیچ دو به منظور افزودن عنصر مس به لیست عناصر قابل عصاره‌گیری، کاهش خاصیت خورندگی وسایل آزمایشگاه و حفظ یا افزایش طیف خاک‌های قابل عصاره‌گیری با این عصاره‌گیر می‌باشد. جایگزینی نیترات به جای کلراید و اضافه کردن EDTA برای انجام این اهداف صورت گرفته است این محلول برای عصاره‌گیری خاک‌های اسیدی وخنثی طراحی گردیده ولی به علت افزایش ظرفیت بافری اسیدی، برروی خاک‌های قلیایی (بازی) نیز کاملاً مؤثر است. فسفر به وسیله واکنش با ترکیبات اسید استیک و فلورید آمونیوم وپتاسیم و منیزیم به وسیله عمل نیترات آمونیوم و اسید نیتریک عصاره‌گیری می‌شوند. EDTA برای جدا سازی عناصر ریز مغذی مس، آهن و منگنز به کار می‌رود. همبستگی بالایی بین پتاسیم استخراج شده با این روش و مقدار جذب پتاسیم به وسیله گیاه مشاهده گردیده که نشانگر مناسب بودن این روش جدید برای آزمایشگاههای آزمون خاک می‌باشد. مقادیرپتاسیم، کلسیم، سدیم و منیزیم عصاره‌گیری شده به وسیله مهلیچ سه همبستگی نزدیکی با مقادیر استخراجی به وسیله استات آمونیوم نرمال و خنثی دارد. مقدار فسفر عصاره‌گیری شده به وسیله این روش با مقدار عصاره‌گیری شده به وسیله عصاره‌گیر بـری(Bray) همبستگی دارد (Jones، ۱۹۹۷).

Beegle و Oravec(۱۹۹۰) استات آمونیوم یک نرمال خنثی و مهلیچ سه را برای ارزیابی پتاسیم قابل دسترس گیاه ذرت در خاک‌های پنسیلوانیا مورد مقایسه قرار دارند. در این آزمایش پتاسیم عصاره‌گیری شده به وسیله مهلیچ سه همبستگی بسیار بالایی(r=۰/۹۶) با پتاسیم عصاره‌گیری شده به وسیله استات آمونیوم نرمال خنثی نشان داد. Hanlon و Johnson (۱۹۸۴) عصاره‌گیرهای جهانی مهلیچ سه وAB-DTPA را با عصاره‌گیرهای رایج بری- کورتز برای فسفر و یک مولار استات آمونیوم برای تعیین پتاسیم ومنیزیم در خاک‌های اوکلاهما مورد مقایسه قرار داده و گزارش نمودند که چهار عصاره‌گیر مورد بررسی دارای همبستگی بالایی برای استخراج فسفر، پتاسیم و منیزیم قابل دسترس هستند(شریفی، ۱۳۷۷).

۶-۱۰-۱- اسید نیتریک مولار جوشان: یکی از سریع‌ترین و آسانترین روش‌های مطالعه دینامیک آزاد سازی پتاسیم غیر تبادلی خاک، استفاده از اسید نیتریک مولار جوشان است سازوکار این عصاره‌گیر براساس تبادل یون‌های هیدروژن با یون‌های پتاسیم است. پتاسیم غیر تبادلی در این روش از تفاضل مقدار پتاسیم استخراج شده با این روش و پتاسیم محلول و تبادلی که با روش استات آمونیم اندازه‌گیری می‌شود، محاسبه می‌گردد.گفته می‌شود که پتاسیم استخراج شده با این روش با مقدار پتاسیم به کندی قابل استفاده در ارتباط است و گاهی اوقات همبستگی خوبی بین آن و جذب پتاسیم به وسیله گیاه مشاهده شده است هرچند همبستگی‌های ضعیفی نیز گزارش شده‌اند. وجود یا عدم وجود همبستگی بین پتاسیم استخراجی به وسیله روش اسید نیتریک مولار جوشان و جذب گیاه به علت نوع کانی‌های موجود در خاک و فرم‌های پتاسیم قابل دسترسی برای گیاه می‌باشد. در این روش از اسیدنیتریک مولار در دمای ثابت ۱۱۳ درجه سانتیگراد (در حمام روغن) به مدت ۲۵ دقیقه استفاده می‌شود. البته بسته به زمان جوشش، مقدار پتاسیم استخراج شده متغیر می‌باشد به طوری که با افزایش زمان جوشش، مقدار پتاسیم غیر تبادلی بیشتـــری استخراج می‌شـــــود که این امر را می‌توان به عنوان یکی از معایب روش فوق دانست . Richard و Bitz (۱۹۸۸) گزارش نمودند که در خاک‌های اونتاریو جنوبی که رس غالب خاک ایلایت و ورمی‌کولایت است بخشی از پتاسیم غیر تبادلی استخراج شده با اسیدنیتریک یک مولار جوشان همبستگی بالایی با پتاسیم غیر تبادلی جذب شده به وسیله یونجه نشان داده است(شریفی، ۱۳۷۷). امیری و فلاح (۱۳۷۵) در یک مطالعه بر روی اراضی شالیکاری شرق گیلان همبستگی بالای بین پتاسیم کل با مقدار پتاسیم عصاره گیری شده با محلول اسید نیتریک مولار جوشان را گزارش نمودند.

۷-۱۰-۱- تترافنیل بران سدیم: عصاره‌گیرتترافنیل بران سدیم (NaBph۴) که به وسیله Scottو Smith (۱۹۶۶) ارائه گردید قابلیت اندازه‌گیری هر دو فرم تبادلی و غیر تبادلی پتاسیم را دارد و ممکن است فرم قابل دسترس گیاه را نیز ارزیابی کند (Husin و همکاران ۱۹۸۶). سازوکار استخراج پتاسیم به وسیله این روش، رسوب تدریجی پتاسیم از محلول خاک می‌باشد

که باعث آزاد شدن پتاسیم تبادلی و بخشی از پتاسیم غیر تبادلی شده و عمل آن شبیه سازوکار جذب پتاسیم به وسیله گیاه است . این عصاره‌گیر یکی از عصاره‌گیرهای رایج برای ارزیابی پتاسیم غیر تبادلی است. تترافنیل بران سدیم، آزاد سازی پتاسیم غیر تبادلی را با رسوب آن‌ها به صورت تترافنیل بران پتاسیم ($KBpH_۴$) تسهیل می‌کند. در مرحلهٔ بعد پتاسیم رسوب کرده، به وسیله جوشانیدن سوسپانسیون با کلرور مس ($CuCl_۲$) آزاد و اندازه‌گیری می‌شود. روش تترافنیل بران سدیم، پتاسیم غیر تبادلی را ۱۰ بار بیشتر از روش معمول اسید نیتریک مولار جوشان برآورد می‌نماید. نتایج تحقیقات نشان داده است که روش تترافنیل بران سدیم می‌تواند به عنوان یک روش معمول برای تخمین پتاسیم غیر تبادلی مورد استفاده قرار گیرد. Wentworth و Rossi (۱۹۷۲) دریافتند که پتاسیم عصاره‌گیری شده با روش تترافنیل بران سدیم پس از یک ساعت نگهداری، تخمین خوبی از پتاسیم قابل دسترس گیاه در کانی‌های سیلیکاتی لایه‌ای را به دست می‌دهد. پتاسیم غیر تبادلی استخراجی باتترافنیل بران در خاک‌هایی که‌رها سازی پتاسیم در آن‌ها کند است، چندین بار بیشتر از اسید نیتریک است. Cox و Joern(۱۹۹۷) نشان دادند که بیشترین پتاسیم بین لایه‌ای قابل عصاره‌گیری با تترافنیل بران در خاک‌های مورد مطالعه در طی ۹۶ ساعت اول آزاد می‌شود. مطالعهٔ ذرات کمتر از ۵ میکرومتر با روش اشعه ایکس نشان داد که بعد از تیمار کردن خاک‌ها با تترافنیل بران، رها سازی پتاسیم در طی ۹۶ ساعت تقریباً همزمان با انبساط کامل لایه‌های ایلایت، انجام می‌گیرد. از این روش بیشتر در خاک‌هایی که در آن‌ها پتاسیم غیر تبادلی منبع اصلی تأمین پتاسیم گیاه است استفاده می‌شود. از مزیتهای این روش می‌توان به شبیه سازی جذب گیاه، عدم تخریب ساختمان کانی‌های رسی و توانایی بالای عصاره‌گیر در استخراج پتاسیم غیر تبادلی اشاره نمود (شریفی،۱۳۷۷).

۸-۱۰-۱- رزین‌های تبادل کاتیونی: اساس این روش تبادل پتاسیم موجود در محلول خاک با کاتیون جذب شده روی مکان‌های تبادلی رزین (عمدتاً H^+) است. Feigenbaum و همکاران (۱۹۸۱) این روش را برای مطالعه سرعت آزاد سازی توسط میکاهای مختلف به کار بردند و Martin و Sparks (۱۹۸۳) نیز از آن در مطالعات سینتیک رها سازی پتاسیم استفاده کردند. Qian و همکاران (۱۹۹۶) این روش را برای ارزیابی پتاسیم قابل دسترس گیاه به کار برده و با سایر روش‌های رایج مقایسه کرده و آن را در طیف وسیعی از خاک‌ها پیشنهاد کردند.

۹-۱۰-۱- مروری بر تحقیقات انجام شده در رابطه با عصاره‌گیرها در کشور: از آنجا که در شرایط مختلف از نظر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و نوع گیاه نوع خاصی از عصاره‌گیرها در مرسوم ممکن است برای اندازه‌گیری پتاسیم قابل استفاده گیاه مناسب‌تر باشد و به عبارت دیگر همبستگی بیشتری با شاخص‌های بیولوژیکی یا خصوصیات عملکردی گیاه داشته باشد، لذا تحقیقات متعددی در این زمینه توسط محققین مربوط در کشور صورت گرفته است که اینک به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

شریفی (۱۳۷۷) در یک تحقیق گلخانه‌ای جهت انتخاب عصاره‌گیر مناسب برای ارزیابی پتاسیم قابل استفاده گیاه ذرت از ۹ عصاره‌گیر مهم پتاسیم و ۱۴ روش عصاره‌گیری در ۱۸ سری از خاک‌های زراعی استان اصفهان استفاده نمود. پتاسیم قابل دسترس این خاک‌ها با استفاده از عصاره‌گیرهای استات آمونیوم (۴ روش)، کلرور کلسیم (۲ روش)، کلرور سدیم (۲ روش)، استات سدیم، بی‌کربنات آمونیوم– DTPA، مهلیچ یک، مهلیچ سه، مورگان ولف و اسید نیتریک استخراج شد. همچنین از ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ جهت کشت و دو تیمار کودی صفر و ۱۵۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل استفاده شده بود و بین مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده از خاک توسط عصاره‌گیرها با هر کدام از شاخص‌های گیاه (جذب پتاسیم، غلظت پتاسیم، ماده خشک، عملکرد نسبی، افزایش عملکرد علوفه و جذب اضافی) و همچنین با لحاظ کردن عوامل سرعت، دقت، سادگی و اقتصادی بودن استفاده گردید. در این تحقیق مطالعات شناسایی کیفی کانی‌ها نیز با استفاده از روش X-Ray difraction برروی چهار سری از خاک‌ها انجام شد که در نتیجه آن کانی ایلایت به عنوان کانی رسی غالب در آن‌ها شناسایی شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تنها در دو سری خاک لنجان و فریدن افزایش پتاسیم به خاک سبب افزایش عملکرد ذرت شده . ولی در سایر خاک‌ها این اثر معنی‌دار نمی‌باشد. این محقق نتیجه گرفت که در اغلب خاک‌ها غلظت پتاسیم عامل محدود کنندهٔ رشد ذرت نمی‌باشد. تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم درکیلوگرم پتاسیم سبب افزایش معنی‌دار در غلظت پتاسیم اندام هوایی گیاهان در بیشتر خاک‌ها وکاهش معنی‌دار غلظت منیزیم اندام هوایی گیاه درهمهٔ خاک‌ها شد ولی بر غلظت کلسیم و سدیم اندام هوایی گیاه تأثیر معنی‌داری نداشت . نتایج تجزیه و تحلیل آماری براساس ضریب همبستگی بین عصاره‌گیرهای مورد استفاده و مقادیر پتاسیم استخراج شده از خاک، عصاره‌گیرها به سه گروه کلی تقسیم گردیدند.

۱- عصاره‌گیرهای نسبتاً ضعیف شامل کلرور کلسیم ۰/۰۱مولار، مهلیچ یک و مورگان – ولف،

۲- عصاره‌گیرهای نسبتاً قوی شامل استات آمونیم نرمال و خنثی، کلرور سدیم دو نرمال، مهلیچ سه، بی‌کربنات آمونیم-DTPA، استات سدیم نرمال و خنثی و کلرور سدیم نرمال و

۳- عصاره‌گیرهای قوی که تنها شامل اسید نیتریک مولار جوشان.

عصاره‌گیرهای هر گروه همبستگی بسیار خوبی با یکدیگر نشان دادند. پایین بودن ضرایب همبستگی اسید نیتریک مولار جوشان با عصاره‌گیرهای دیگر نشانگر عدم هماهنگی آشکار این عصاره‌گیر با سایر روش‌های عصاره‌گیری بود. در این تحقیق براساس ضرایب همبستگی پتاسیم استخراج شده از خاک با جذب پتاسیم و غلظت آن در اندام هوایی گیاه و معنی‌دار بودن این ضرایب، اقتصادی بودن و سرعت کار به ترتیب عصاره‌گیرهای کلرور سدیم دو نرمال، استات سدیم نرمال خنثی، استات آمونیم نرمال خنثی و بی‌کربنات آمونیم DTPA در بین عصاره‌گیرهای مورد

استفاده به‌عنوان مناسبترین عصاره‌گیرها تشخیص داده شدند. تعیین حد بحرانی پتاسیم برای عصاره‌گیرهای پیشنهادی به دلیل محدود کننده نبودن غلظت پتاسیم و در نتیجه عدم رابطهٔ معنی‌دار بین عملکرد یا عملکرد نسبی با جذب پتاسیم و غلظت پتاسیم عصاره‌گیری شده در خاک‌های مورد مطالعه امکان‌پذیر نمود.

این محقق در پایان آزمایش خود و تجزیه و تحلیل نتایج مربوط به آن، موارد زیر را به عنوان نتیجه‌گیری و پیشنهادها مطرح نمود.

- برای تعیین دقیق نیاز کودی محصولات زراعی عمده کشور لازم است از برنامه‌های دقیق آزمون خاک با اهداف دستیابی به عملکرد بهینه، حفظ تعادل عناصر غذایی در خاک، جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی ودستیابی به کشاورزی پایدار استفاده شود. برای بررسی دقیق‌تر وضعیف پتاسیمی خاک‌ها مخصوصاً سرعت رهاسازی پتاسیم از کانی‌ها و تعیین سهمی از پتاسیم غیر تبادلی که توسط گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد، مطالعات سینتیکی جذب و رهاسازی پتاسیم انجام گیرد. به دلیل پیچیده بودن روابط بین اشکال مختلف پتاسیم در خاک و رابطه جذب گیاهی با هر یک از اشکال مختلف و همچنین اثر خصوصیات خاک بر جذب پتاسیم توسط گیاه به هیچ‌وجه نباید نتایج مطالعات منطقه‌ای برروی پتاسیم یا هر عنصر غذایی دیگر و تعیین حد بحرانی برای یک گیاه خاص به مناطق یا گیاهان دیگر تعمیم داده شود. مگر اینکه در آزمایش‌های تحقیقی-تطبیقی امکان انطباق و تعمیم آن‌ها به اثبات رسیده باشد.
- با توجه به معرفی عصاره‌گیرهای کلرور سدیم دو نرمال، استات سدیم نرمال و استات آمونیوم نرمال و خنثی به عنوان بهترین عصاره‌گیرها در شرایط آزمایشی معرفی می‌گردند لکن تعیین حد بحرانی آن‌ها برای گیاه ذرت با سایر گیاهان طی آزمایش‌های بعدی پیشنهاد می‌شود.
- مطالعات مشابهی نظیر تحقیق فوق برروی گیاهان پتاسیم‌دوست نظیر سیب‌زمینی و چغندرقند صورت گیرد.

کاوسی (۱۳۷۸) طی مطالعه‌ای عوامل مؤثر بر جذب پتاسیم از خاک توسط گیاه برنج و عصاره‌گیرهای مختلف برای پتاسیم به منظور انتخاب بهترین عصاره‌گیر در برخی از شالیزارهای استان گیلان را مورد بررسی قرارداد. این تحقیق به صورت آزمایشی گلدانی در مزرعهٔ تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج کشور به اجرا درآمد. به همین منظور مقادیر کافی خاک از شالیزارهای مختلف استان تهیه و پس از خشک شدن به مقدار ۱۱/۵ کیلوگرم و در قالب یک طرح بلوک کامل تصادفی و در سه تکرار وارد گلدانه‌ای آزمایش گردید و دو تیمار شامل تیمار بدون کاربرد پتاسیم وتیمار کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم پتاسیم در هرکیلوگرم خاک در آن‌ها اعمال گردید و سپس در هر گلدان سه نشاء برنج از رقم سپیدرود کشت گردید. در مرحلهٔ رسیدگی، بوته‌ها برداشت شده و عملکرد دانه، کاه و کلش اندازه‌گیری و پس از تجزیه و تحلیل نتایج، حد بحرانی پتاسیم تعیین

و تأثیر پارامترهای خاکی بر قابلیت دسترسی پتاسیم بررسی گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که خاک‌های مورد بررسی از نظر کانی‌های تشکیل دهندهٔ خاک با همدیگر تفاوت چندانی ندارند ولی از نظر درجهٔ کریستاله شدن و بار لایه‌ای با یکدیگر تفاوت دارند. در این آزمایش مقدار تثبیت پتاسیم در خاک با افزایش پتاسیم به خاک زیاد شده بود ولی درصد تثبیت در اکثر خاک‌ها با افزایش پتاسیم به خاک کاهش یافته بود. منحنی‌های آزادسازی پتاسیم در تمام خاک‌ها نسبت به منحنی‌های جذب از شیب کمتری برخوردار بودند که علت اصلی آن تثبیت پتاسیم در خاک بود.در این آزمایش کاربرد پتاسیم به طور متوسط ۲۷درصد عملکرد دانه برنج را افزایش داد و تأثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد بیولوژیک، ارتفاع گیاه، وزن هزار دانه، درصد پوکی، غلظت و جذب پتاسیم در گیاه برنج داشت.

به طورکلی از میان عصاره‌گیرهای مورد استفاده، عصاره‌گیرهای استات منیزیم، اسید سولفوریک، مورگان-ولف و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار برای استخراج پتاسیم قابل دسترس در خاک‌های مورد بررسی مناسب بودند. استفاده از خصوصیات خاک در کنار اعداد به دست آمده از عصاره‌گیرها و وارد کردن آن‌ها در معادلات رگرسیونی تاحد زیادی ضرایب تعیین معادلات مربوط و پیش‌بینی غلظت و جذب پتاسیم توسط برنج را در نتیجهٔ تغییرات پتاسیم خاک افزایش دادند. در خاک‌های با ثابت گاپون و پتانسیل ظرفیت بافری پایین، عصاره‌گیرهایی که توان استخراج پتاسیم به سهولت قابل دسترس را دارند مناسب‌تر و در خاک‌هایی که ثابت گاپون بالاتر و پتانسیل ظرفیت بافری پتاسیم متوسطی دارند عصاره‌گیرهایی مانند استات آمونیم یک مولار و روش تگزاس که قادر به استخراج بخشی از پتاسیم موجود در مناطق گوه‌ای شکل و بین لایه‌ای نیز هستند، مناسبتر می‌باشند. در جدول ۸ ضرایب همبستگی پتاسیم استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مورد استفاده و رزینها با غلظت و جذب پتاسیم در برنج مقایسه شده است و جدول ۹ حدود بحرانی تعیین شده برای گیاه برنج براساس ۹۰درصد عملکرد نسبی با روش تصویری کیت – نلسون را نشان می‌دهد.

جدول ۸. مقایسه ضرایب همبستگی پتاسیم استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای شیمیایی و رزین با غلظت و جذب پتاسیم در برنج (کاوسی، ۱۳۷۸)

عصاره‌گیر	عملکرد برنج		غلظت پتاسیم		مقدار جذب پتاسیم	
	عملکرددانه	عملکردنسبی	کل گیاه	کاه و کلش	کل گیاه	کاه وکلش
$RAQ_{۱}$	۰/*۷۲	۰/*۷۰	۰/*۶۴	۰/*۶۵	۰/*۷۵	۰/*۷۲
$RAQ_{۲}$	۰/**۷۶	۰/*۶۹	۰/*۷۴	۰/*۷۵	۰/**۸۵	۰/**۸۳
$RAQ_{۴}$	۰/*۷۳	۰/*۶۷	۰/*۶۸	۰/*۶۸	۰/**۷۸	۰/*۷۵
$RAQ_{۷}$	۰/*۷۳	۰/*۷۰	۰/*۶۴	۰/*۶۳	۰/**۷۸	۰/*۷۴
$RAQ_{۱۴}$	۰/۶۰ ns	۰/۶۰ ns	۰/*۶۷	۰/*۶۷	۰/*۷۰	۰/*۶۷
استات منیزیم	۰/*۶۹	۰/*۷۱	۰/**۷۷	۰/**۷۹	۰/**۸۲	۰/**۸۳
مورگان	۰/*۶۶	۰/*۶۶	۰/*۷۳	۰/*۷۵	۰/**۷۷	۰/**۷۷
کلوانا	۰/*۶۴	۰/*۶۴	۰/۵۹ ns	۰/۶۱ ns	۰/*۶۹	۰/*۶۸
تگزاس	۰/۶۱ ns	۰/*۶۴	۰/*۶۳	۰/*۶۵	۰/*۶۹	۰/*۷۰
اسید نیتریک	۰/۵۶ ns	۰/*۶۲	۰/۵۶ ns	۰/۵۵ ns	۰/*۶۳	۰/۶۰ ns
اسید سولفوریک	۰/*۷۵	۰/۵۴ ns	۰/**۸۴	۰/**۹۰	۰/**۸۹	۰/**۹۰
استات آمونیم ۱	۰/۵۸ ns	۰/*۷۳	۰/*۶۴	۰/*۶۶	۰/*۷۰	۰/*۷۱
استات آمونیم۲	۰/۵۷ ns	۰/۵۹ ns	۰/*۶۲	۰/*۶۷	۰/*۶۶	۰/*۶۷
اسید کلریدریک	۰/*۶۴	۰/۵۷ ns	۰/۴۶ ns	۰/۴۵ ns	۰/*۶۳	۰/۵۸ ns
کلرید کلسیم	۰/*۶۶	۰/*۶۲	۰/*۶۸	۰/*۶۹	۰/**۷۶	۰/*۷۵
سدیم تترافنیل‌بران	۰/۴۴ ns	۰/*۶۸	۰/۳۲ ns	۰/۳۵ ns	۰/۴۲ ns	۰/۴۰ ns
مهلیچ یک	۰/۳۴ ns	۰/۴۶ ns	۰/۵۲ ns	۰/۵۱ ns	۰/۴۷ ns	۰/۴۷ ns
مهلیچ سه	۰/۵۲ ns	۰/۴۳	۰/۵۲ ns	۰/۵۵ ns	۰/۵۸ ns	۰/۵۸ ns
آب مقطر یک	۰/**۸۲	۰/۵۴ ns	۰/*۷۱	۰/*۷۱	۰/**۸۸	۰/**۸۶
آب مقطر دو	۰/*۷۲	۰/**۸۴	۰/*۶۶	۰/*۶۸	۰/*۷۶	۰/*۷۲

- استات آمونیم۱ و استات آمونیم۲ به ترتیب عصاره‌گیری با استات آمونیم از خاک هوا خشک و خاک پس از دو هفته غرقاب آب مقطر۱ وآب مقطر ۲ به ترتیب عصاره‌گیری با آب مقطر از نمونه خاک هوا خشک و نمونه خاک پس از دو هفته غرقاب.
- RAQ۱،RAQ۲،RAQ۴،RAQ۷ و RAQ۱۴ به‌ترتیب مقادیر پتاسیم جذب شده در هر سانتی‌متر مربع سطح کپسولهای رزینی در روزهای اول، دوم، چهارم، هفتم و چهاردهم تماس رزین با خاک.
- *، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصدو عدم معنی‌دار بودن را نشان می‌دهند.

جدول ۹. حدود بحرانی تعیین شده برای گیاه برنج براساس ۹۰درصد عملکرد نسبی (کاوسی، ۱۳۷۸)

عصاره‌گیر	حد بحرانی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
استات منیزیم	۳۸
مورگان – ولف	۷۴
کلوانا	۷۲
تگزاس	۱۶۰
اسید سولفوریک	۱۱۱
کلرید کلسیم	۳۶
استات آمونیم۱ (هوا خشک)	۱۱۲
استات آمونیم ۲ (پس از دو هفته غرقاب)	۱۰۰

حسین‌پور (۱۳۸۲) در یک تحقیق عصاره‌گیرهای مناسب برای ارزیابی پتاسیم قابل استفاده را معرفی و حد بحرانی پتاسیم برای گیاه سیر (رقم بی‌نام) با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف را

در تعدادی از خاک‌های استان همدان تعیین نمود. برای انجام این تحقیق تعداد ۱۰ نمونه خاک سطحی از نقاط عمده مورد کشت سیر در همدان انتخاب و در یک آزمایش گلدانی هر نمونه به دو زیرنمونه تقسیم و دو سطح پتاسیم شامل صفر (شاهد) و ۲۰۰ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات‌پتاسیم به آن‌ها اضافه گردید و سپس سیرچه‌ها در گلدانها کشت گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد پتاسیم در اکثر خاک‌ها باعث افزایش معنی‌دار عملکرد سیر، غلظت و جذب پتاسیم شده بود. همچنین در این تحقیق ارتباط پتاسیم استخراجی به وسیله عصاره‌گیرهای مختلف و شاخص‌های گیاهی بررسی گردید. با توجه به نتایج به دست آمده چنین گزارش گردید که به جز عصاره‌گیرهای استات آمونیوم، DTPA و اسید نیتریک مولار جوشان سایر عصاره‌گیرها می‌توانند در ارزیابی پتاسیم قابل جذب برای گیاه سیر مورد استفاده واقع شوند. در این آزمایش حد بحرانی پتاسیم به روش تصویری کیت ـ نلسون برای عصاره‌گیرهای مهلیچ یک، کلرید استرانسیم ۰/۰۰۲ مولار، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، کلرید باریم ۰/۱ مولار، کلرید استرانسیم + اسید سیتریک، استات سدیم، اسید کلریدریک ۰/۱ مولار، اسید کلریدریک ۰/۰۵ مولار، اسید سولفوریک ۰/۰۲۵ مولار و آب مقطر برای ۹۰ درصد عملکرد نسبی به ترتیب ۱۳۱، ۵۰، ۴۶، ۱۸۴، ۱۶۳، ۲/۳، ۲/۲، ۴۱، ۵۰ و ۳۱ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین و گزارش گردید.

دواتگر و همکاران (۱۳۸۲) در یک مطالعه وضعیت پتاسیم شالیزارهای استان گیلان و تأثیر خواص فیزیکوشیمیایی خاک بر آن را مورد بررسی قرار دادند. این بررسی بر روی ۱۰۹ نمونه خاک جمع‌آوری شده با در نظر گرفتن پراکنش جغرافیایی مناسب در شالیزارهای غرب و مرکز استان گیلان صورت گرفت. نتایج نشان داد که در تمامی نواحی مورد مطالعه فاکتور رس و در دو ناحیه گیلان غربی و گیلان مرکزی فاکتورهای ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن آلی و پ‌هاش دارای توزیع نرمال می‌باشند. وجود این توزیع بیانگر عدم وجود جوامع فرعی مجزا و برخورداری از واریانس یکنواخت بود. این محققین یکی از شرایط ظهور این توزیع فراوانی نرمال را مشابهت شرایط اقلیمی و فرآیندهای شیمیایی مؤثر در رفتار این متغیرها در نواحی مورد نمونه‌برداری دانستند. بعضی از متغیرها مانند شن، سیلت، پتاسیم محلول در خاک و پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم در حوزه‌های گیلان شرقی و غربی، ظرفیت تبادل کاتیونی و کربن آلی در حوزه گیلان مرکزی، دارای توزیع فراوانی غیرنرمال با چولگی معنی‌دار بودند که به احتمال زیاد بیانگر تغییر در محیط‌های رسوبگذاری و یا اثرات نامتقارن فرآیندهای پدوژنیک و یا هیدروژنیک بر متغیرهای فوق است. در حوزه‌های گیلان شرقی و غربی، شالیزارها در شرایط فیزیوگرافی متفاوت و غیریکنواخت‌تری نسبت به گیلان مرکزی قرار دارند که سبب ایجاد تفاوت در محیط‌های رسوبگذاری و در نتیجه شن و سیلت گردیده است. از طرف دیگر کمیت پتاسیم محلول قابل تبادل در خاک علاوه بر اینکه به طور موضعی تحت تأثیر خواص فیزیکوشیمیایی خاک قرار دارند از آورد پتاسیم توسط رودخانه سپیدرود نیز تأثیر می‌پذیرند. نقشه پراکنش توزیع پتاسیم محلول،

پتاسیم تبادلی و پتاسیم غیرتبادلی به روش کریجینگ و کلاسیک نشان داد تراکم نمونه‌های با کمبود پتاسیم در خاک‌های ناحیه گیلان غربی در مقایسه با بقیه نواحی بیشتر است و بنابراین احتمال نیاز به مصرف پتاسیم در این ناحیه بیشتر است اما خاک‌های ناحیه گیلان مرکزی واقع در حوزه آبخیز سپیدرود از نظر وضعیت پتاسیم در سطح نسبتاً مطلوبی قرار دارند.

شکری‌واحد و همکاران (۱۳۸۲) عصاره‌گیرهای مختلف و مرسوم جهت تعیین پتاسیم قابل دسترس گیاه برنج در برخی خاک‌های شالیزاری استان گیلان را مورد ارزیابی قرار دادند. از آنجا که یکی از موارد مهم در رابطه با ارزیابی وضعیت پتاسیم خاک و توصیه کودی وجود یک عصاره‌گیر مناسب است که علاوه بر صرفه اقتصادی بتواند رابطه مناسبی را بین عکس‌العمل گیاه و پتاسیم استخراجی برقرار سازد، لذا این محققین با این توجیه از عصاره‌گیرهای مختلف استفاده نموده و رابطه آن‌ها را با شاخص‌های عملکرد، غلظت و جذب پتاسیم مورد بررسی قرار دادند. جدول ۱۰ نتایج مربوط به پتاسیم استخراجی و همبستگی بین پتاسیم استخراج شده به وسیله عصاره‌گیرها و شاخص‌های گیاهی مربوط به این آزمایش را نشان می‌دهد. همانگونه که از جدول نیز برمی‌آید روش‌های عصاره‌گیری با اسید نیتریک، مهلیچ سه، استات آمونیوم یک مولار با نسبتهای خاک به عصاره‌گیر ۱:۲۰ و ۱:۱۰ و تگزاس می‌توانند شاخص مناسبی در پیش‌بینی عملکرد و جذب پتاسیم توسط گیاه برنج باشند.

جدول ۱۰. نتایج میانگین پتاسیم استخراجی و همبستگی بین پتاسیم استخراج شده توسط عصاره‌گیرها و شاخص‌های گیاهی (شکری‌واحد و همکاران، ۱۳۸۲)

عصاره‌گیرها	میانگین پتاسیم استخراجی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	عملکرد نسبی	غلظت پتاسیم	جذب پتاسیم
اسید نیتریک	۲۳۹	۰/**۸۷	۰/*۵۰	۰/**۸۱
مهلیچ سه	۱۴۸	۰/**۷۸	۰/*۵۲	۰/**۷۳
اسید سولفوریک	۱۴۱	۰/**۷۳	۰/**۶۵	۰/**۷۲
استات آمونیوم یک مولار ۱:۲۰	۱۳۸	۰/**۸۰	۰/*۵۳	۰/**۷۳
استات آمونیوم یک مولار ۱:۱۰	۱۳۳	۰/**۷۸	۰/*۵۰	۰/**۷۵
تگزاس	۱۱۷	۰/**۷۷	۰/*۵۶	۰/**۷۳
کلووانا	۱۰۳	۰/**۷۱	۰/*۷۱	۰/**۶۲
مورگان	۸۸	۰/**۷۰	۰/**۷۲	۰/**۶۹
مهلیچ ۱	۶۸	۰/*۴۷	۰/ns۳۲	۰/**۴۹
استات منیزیم	۵۹	۰/**۷۳	۰/*۵۷	۰/**۶۹
کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار ۱:۱۰	۴۰	۰/**۵۷	۰/**۶۴	۰/**۶۱
آب مقطر	۱۶	۰/*۵۳	۰/**۷۵	۰/*۴۹

** معنی‌دار در سطح یک درصد، *معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns عدم معنی‌دار از نظر آماری

نیرومند حسینی و مفتون (۱۳۸۲) در یک مطالعه آزمایشگاهی رابطه بین تعدادی از عصاره‌گیرهای شیمیایی با یکدیگر در استخراج پتاسیم قابل استفاده گیاه و همچنین رابطه هر یک از این عصاره‌گیرها با برخی خصوصیات شیمیایی خاک را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور تعداد ۲۵ نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری اراضی زراعی نقاط مختلف استان فارس

با دامنه وسیعی از تنوع ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی انتخاب گردید و جهت تعیین پتاسیم قابل استفاده از عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک مولار (AA)، اسید نیتریک یک نرمال (NA)، اسید سولفوریک ۶ نرمال (SA)، آب مقطر (H_2O)، اولسن (OLS)، مورگان (MOR) و سدیم تترافنیل بران ($NaBph_4$) استفاده گردید و سپس روش‌های مزبور با هم و با برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ربط داده شد و معادلات رگرسیونی مربوط تعیین گردید. این محققین مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده از خاک توسط روش‌های مختلف را به ترتیب زیر گزارش نمودند:

$NaBph_4 > NA > SA > AA > OLS > MOR > H_2O$

بنابراین چنانکه مشاهده می‌شود مقدار پتاسیم استخراج شده توسط روش‌های مورد استفاده در آزمایش به مقدار زیادی با یکدیگر متفاوتند که این به دلیل تفاوت در ترکیب شیمیایی عصاره‌گیر، پ‌هاش و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، مینرالوژی و نوع رس‌ها بوده که شرایط متفاوتی را در استخراج عصاره‌گیرها ایجاد نموده و در کل امری طبیعی به نظر می‌رسد. با توجه به انرژی نسبی پیوند کاتیونی و رقابت با پتاسیم در جایگزینی مکان‌های تبادلی، ترکیب شیمیایی عصاره‌گیر یکی از عوامل مؤثر در مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده می‌باشد. این محققین در تفسیر و توجیه نتایج فوق چنین بیان نمودند که تترافنیل بران سدیم (NaBph۴) عصاره‌گیری است که پتاسیم بین لایه‌ای و غیرتبادلی کانی‌ها را استخراج می‌کند. این محلول با ایجاد رسوب و در نتیجه کاهش غلظت پتاسیم محلول منجر به برهم خوردن تعادل بین اجزای پتاسیم خاک شده و به این ترتیب پتاسیم غیرتبادلی را آزاد می‌کند. از طرفی در مورد آب به عنوان یک عصاره‌گیر از آنجا که آب ضعیف‌ترین عصاره‌گیر به شمار می‌رود لذا فقط پتاسیم محلول را استخراج می‌کند و از این نظر ضعیف‌ترین همبستگی را با سایر عصاره‌گیرها نشان داده است. سایر عصاره‌گیرها بجز آب همبستگی قابل قبولی با یکدیگر داشته‌اند. در این آزمایش همچنانکه جدول ۱۱ نیز نشان می‌دهد از بین خصوصیات خاک ظرفیت تبادل کاتیونی با تمام عصاره‌گیرها همبستگی معنی‌داری را نشان می‌دهد که این امر گویای آن است که بخش رس و ماده آلی خاک از منابع اصلی نگهدارنده پتاسیم قابل استفاده گیاه می‌باشند.

جدول ۱۱. روابط همبستگی بین عصاره‌گیرهای مورد استفاده در آزمایش با ظرفیت تبادلی و رس خاک (نیرومندحسینی و مفتون، ۱۳۸۲)

روش عصاره‌گیری	معادله رگرسیونی	ضریب تبیین (R^2)
استات آمونیوم یک مولار (AA)	y=-۴۱/۵۷+۱۶/CEC۵۹	۰/**۵۰
اسید نیتریک یک نرمال (NA)	y=۲۹/۷۱+۱۰/CEC۴۷+۲/Clay۵۳-۴/CEC۶۸	۰/**۵۴
اسید سولفوریک ۶ نرمال (SA)	y=-۷/۸۱+۱۶/CEC۰۷	۰/**۵۹
اولسن (OLS)	y=۲۴/۸۴+۸/CEC۴۷	۰/**۴۲
مورگان (MOR)	y=۹/۰+۸/CEC۴۵	۰/**۴۴
سدیم تترافنیل بران ($NaBph_4$)	y=۲۱۰/۵+۱۹/CEC۲۶	۰/**۴۹

** معنی‌دار بودن ضرایب را نشان می‌دهد و علائم CEC، CCE و Clay به ترتیب معرف ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد کربنات کلسیم معادل و رس می‌باشند.

این محققین در بررسی روابط بین عصاره‌گیرها و خصوصیات خاک در تمامی عصاره‌گیرها همبستگی معنی‌داری را بین درصد رس و ماده آلی علاوه بر ظرفیت تبادل کاتیونی با پتاسیم عصاره‌گیری شده در هر روش پیدا نمودند اما از آنجا که وارد شدن این دو ویژگی به جز در مورد اسید نیتریک ضرایب تبیین را افزایش نداد، لذا از آوردن آن‌ها در روابط فوق صرفنظر گردیده است.

۱۰-۱۰-۱- درصد اشباع پتاسیم : یکی از دیگر از روش‌های ارزیابی پتاسیم قابل استفاده خاک برای گیاه استفاده از شاخص درصد اشباع پتاسیم یا درصد پتاسیم تبادلی (EPP) می‌باشد که رابطه مربوط به صورت زیر است:

$$EPP = \frac{Kx}{CEC} \times 100$$

که در آن EPP درصد پتاسیم تبادلی (Exchangeable Potassium Percentage) Kx پتاسیم تبادلی اندازه‌گیری شده و CEC ظرفیت تبادلی کاتیونی خاک برحسب سانتی‌مول بار بر کیلوگرم می‌باشد.

بر این مبنا در خاک‌هایی که درصد اشباع پتاسیم آن‌ها بیش از ۵ باشد وضعیت پتاسیم مطلوب، بین ۲ تا ۵ درصد متوسط، کمتر از ۲ درصد فقیر قلمداد می‌شود. این عامل در عین اینکه شاخصی برای فاکتور شدت است می‌تواند معیار و شاخصی از کمـّیت نیز باشد که البته اطلاعات دیگری برای تخمین شدت و کمـّیت به طور جداگانه مورد نیاز می‌باشد.

استفاده از درصد اشباع پتاسیم خاک به‌عنوان معیاری از قابلیت دسترسی پتاسیم، بیشتر در خاک‌های هوا دیده مناطق حاره قابل توصیه می‌باشد . براساس این شاخص در این مناطق اگر درصد اشباع پتاسیم خاک از ۱/۲ درصد کمتر باشد، میزان پتاسیم خاک کم و عکس‌العمل گیاه به مصرف کود پتاسیمی زیاد می‌باشد و اگر این درصد بین ۱/۲ تا ۲/۳ باشد مقدار پتاسیم در حد متوسط و اگر اشباع پتاسیم بیشتر از ۲/۳ درصد باشد مقدار پتاسیم خاک زیاد می‌باشد و احتمال پاسخ به مصرف کود وجود ندارد. البته این اعداد بسته به نوع گیاه و منطقه مورد مطالعه می‌تواند متفاوت باشد (Mustscher، ۱۹۹۵؛ Mengel و Kirkby، ۱۹۸۰).

آزمایش‌های متعدد نشان داده است با افزایش درصد اشباع پتاسیم، غلظت پتاسیم محلول هم افزایش می‌یابد بنابراین درجه اشباع پتاسیم به طور غیر مستقیم منعکس کننده فاکتور شدت می‌باشد. اما اگر خاک‌های مختلف را در نظر بگیریم رابطه بین درصد اشباع پتاسیم و غلظت پتاسیم محلول بستگی به مقدار و نوع رس‌های این خاک‌ها دارد و در نتیجه خاک‌های با درصد اشباع پتاسیم یکسان ممکن است از نظر شدت مقادیر مختلف داشته باشد مثلاً اگر مقدار سیلیکات‌های ۲:۱ و ایلایت زیاد باشد در درصد اشباع پتاسیم یکسان، مقدار فاکتور شدت در این خاک‌ها به طور نسبی کمتر از خاک‌های حاوی رس‌های یک به یک خواهد بود. این مسأله استفاده از درصد اشباع پتاسیم را به‌عنوان شاخصی از شدت پتاسیم محدود می‌نماید (Mustscher، ۱۹۹۵).

۱۱-۱۰-۱- رابطهٔ کمِیت به شدت (Q/I): نسبت فعالیت (ARK) در یک محلول در حال تعادل با خاک برآورد مناسبی از قابلیت استفاده یا پتانسیل پتاسیم بوده، همچنین برآوردی از شدت پتاسیم قابل دسترس می‌باشد. اختلاف رفتار خاک‌های با مقدار مشابه ARK هنگامی که ریشه‌های گیاه پتاسیم جذب می‌نمایند، ممکن است به علت اختلاف در ظرفیت تثبیت ARK این خاک‌ها باشد. چرا که توانایی خاک در تثبیت این نسبت هنگام تخلیه پتاسیم توسط گیاه، بوسیله مقدار ذخیره قابل دسترس پتاسیم، سرعت رهاسازی پتاسیم تثبیت شده و پخشیدگی و انتقال پتاسیم در محلول خاک کنترل می‌گردد، لذا توصیف وضعیت پتاسیم نه تنها تعیین پتانسیل بلکه روشی که در آن پتانسیل مذکور با مقدار پتاسیم قابل دسترس ارتباط پیدا کند ضروری می‌باشد. بکت برای اولین بار در سال ۱۹۶۴ با روشی که بر اساس اصول ترمودینامیکی استوارمی‌باشد پتانسیل پتاسیم را به مقدار پتاسیم قابل دسترس مرتبط نمود. در این روش به مقدار معینی خاک، غلظتهای مختلف پتاسیم اضافه شده و پس از تعادل، غلظت تعادلی K، Ca و Mg در محلول استخراج شده اندازه‌گیری می‌گردد. از تفاضل پتاسیم اولیه و پتاسیم نهایی$K\Delta$ بدست آمده و نسبت فعالیت پتاسیم $\frac{a\ K}{\sqrt{a\ (Ca+Mg)}}$ با استفاده از غلظت آن‌ها در محلول تعادلی استخراج شده، محاسبه می گردد (ARK). از آنجا که ARK برای یک خاک معین کمابیش مستقل از غلظت محلول خاک بوده و تابع نسبت $\frac{K_{ex}}{(Ca+Mg)_{ex}}$ می‌باشد و چون در اکثر خاک‌های زراعی $K_{ex} << (Ca+Mg)_{ex}$ می‌باشد $K\Delta$ (مقدار پتاسیم اضافه شده یا برداشت شده که سبب تغییر ARK در مقدار مزرعه‌ای آن می‌شود) با $\frac{(K \pm \ddot{A}K)}{(Ca+Mg \pm \ddot{A}K)}$ متناسب بوده و اگر ARK برآورد قابل قبولی از قابلیت استفاده پتاسیم در خاک باشد، نمودار $ARK - K\Delta$ تخمین قابل قبولی از روابط $\frac{Q}{I}$ پتاسیم خاک می باشد. لازم به ذکر است به علت تغییر در انرژی پیوندی پتاسیم جذب سطحی شده، نمودار خطی نبوده و کمابیش منحنی است.

شکل ۲۰. نمودار Q/I.

این نمودار شامل دو بخش مجزا می‌باشد.

بخش «a» قسمت خطی: به نظر می‌رسد به تبادل بر روی سطوح قاعده‌ای کانی‌های رسی مرتبط

است. شیب این قسمت PBC یا ظرفیت بافری بالقوه نامیده می‌شود که صرفاً با مقدار سطوح قابل استفاده برای تبادل و با درجه کمتری بوسیله دانسیته بار الکتریکی سطوح و غلظت محلول خاک تعیین می‌شود. قابل توجه آنکه تبادل روی این سطوح سریع می‌باشد.

بخش «b» قسمت منحنی: به نظر می‌رسد به تبادل در لبه‌های صفحات رس مرتبط است. تبادل در این قسمت از سرعت کمتری برخوردار است و شکل آن با زمان تغییر می‌کند (۸). لازم به ذکر است که در نمودار $\frac{Q}{I}$ اطلاعاتی درباره تعادل پتاسیم محلول و پتاسیم جذب سطحی شده می‌توان بدست آورد که عبارتند از :

- غلظت تعادلی مرتبط با درجه اشباع واقعی پتاسیم یا مقدار پتاسیم جذب سطحی شده (K_{ads})
- immediat buffering برای محدوده مورد نظر
- مقدار پتاسیم جذب سطحی شده (K_{ads}) قابل تفکیک در محلول عاری از پتاسیم در نسبت خاک به محلول معین
- ماکزیمم مقدار پتاسیم جذب سطحی شده (K_{ads}) تحت شرایط اندازه‌گیری انتخاب شده.

ـ پارامترهای روابط $\frac{Q}{I}$

ARK: عبارت است از فاکتور شدت پتاسیم در محلول خاک و از رابطه $\frac{a\ K}{\sqrt{a\ (Ca+Mg)}}$ بدست می‌آید که با استفاده از غلظت K، Mg و Ca در محلول تعادلی فعالیت آن‌ها محاسبه و سپس ARK بدست می‌آید واحد آن بر حسب $(mol/L)^{1/2}$ می‌باشد.

ARK_e: عبارت است از نسبت فعالیت پتاسیم در حالت تعادل یعنی همان ARK است وقتی که $\Delta K=o$ باشد. یعنی نه جذب و نه دفع پتاسیم داشته باشیم و به عبارتی همان ARK در مزرعه است. معیار مناسبی برای شدت پتاسیم قابل دسترس است که هر چه مقدار آن زیادتر باشد نشانگر فعالیت بیشتر پتاسیم نسبت به کلسیم و منیزیم است.

ΔK: عبارت است از تغییر در پتاسیم تبادلی نسبت به مقدار پتاسیم قابل تبادل در ARK_e و از تفاضل غلظت پتاسیم اولیه و پتاسیم تعادلی خاک بدست آمده بیانگر فاکتور کمیت (Q) پتاسیم می‌باشد. در قسمتهای بالای نمودار ΔK مثبت بوده و بیانگر جذب پتاسیم توسط خاک می‌باشد. در قسمتهای پائین نمودار ΔK منفی بوده بیانگر رهاسازی پتاسیم در خاک می‌باشد. واحد ΔK بر حسب meq/۱۰۰g و یا جدیداً $Cmol_c/kg$ می‌باشد.

$K_o\Delta$: عبارت است از عرض از مبدا در ARK=O در بخش خطی نمودار $\frac{Q}{I}$ و برآورد اجمالی از ذخیره پتاسیم قابل دسترس در خاک می‌باشد در واقع معیاری است از پتاسیم به سهولت قابل تبادل که نشانگر مقدار پتاسیم قابل تبادل می‌باشد و اکثراً در مکان‌های تبادلی موجود در سطوح خارجی کانی‌ها و سطوح قاعده‌ای کانی‌هایی نظیر مونت‌موریلونیت و ورمیکولایت و نیز در لایه دوگانه اطراف کلوئیدهای آلی وجود دارد. به عبارت دیگر شامل مقدار پتاسیمی است که در

جایگاههای اختصاصی نگهداری می‌شوند.

K_x : برآوردی است از پتاسیم نگاهداری شده در مکان‌های اختصاصی که از تفاضل عرض از مبدا قسمت خطی و قسمت منحنی نمودار $\frac{Q}{I}$ بدست می‌آید. این مکانها برای جذب و نگهداری پتاسیم تمایل زیادی از خود نشان می‌دهند و در مقایسه با سطوح تبادلی، پتاسیم را با قدرت بیشتری نگاهداری می‌کنند.

K_L : عبارت است از کل مقدارپتاسیم قابل دسترس موجود در خاک. K_L شامل مجموع ΔK و K_x بوده و به عبارت دیگر محل تلاقی قسمت منحنی نمودار $\frac{Q}{I}$ با محور ΔK می‌باشد. K_L پتاسیمی است که خاک قبل از آنکه ARKe به صفر برسد آزاد می‌نماید و نماینده پتاسیمی است که قابلیت تبادل یونی بین فاز جامد و محلول خاک طی رسیدن به تعادل را دارد. اختلاف در K_L خاک‌های مختلف ناشی از طبیعت و کمیت پتاسیم جذب سطحی شده می باشد. خاک‌های سنگین K_L بیشتری نسبت به خاک‌های سبک دارند که ناشی از CEC بالاتر آن‌ها می‌باشد.

PBCK : بیانگر ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم می‌باشد. شیب قسمت خطی نمودار $\frac{Q}{I}$ بوده و توان بالقوه خاک را برای تامین یک ARK معین نشان می دهد (بلالی، ۱۳۷۶).

خراسانی و توفیقی (۱۳۷۵) نمودارهای Q/I برای چند نمونه خاک شالیزاری شمال را به دست آورده و پارامترهای مربوط را نیز تعیین نمودند. مقایسه پارامترهای روابط Q/I خاک‌ها نشان داد که میانگین ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم (PBC_K) و K_o (پتاسیم نگهداری شده در مکان‌های غیر اختصاصی) درخاک‌های گیلان بیشتر ولی میانگین K_X (پتاسیم نگهداری شده با انرژی زیاد) در خاک‌های مازندران بیشتر و میانگین K_L (پتاسیم قابل دسترس) در هر دو استان تقریباً مشابه بود. همبستگی پارامترهای Q/I با خصوصیات خاک‌ها نشان داد که بین PBC^K و CEC خاک‌ها همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت. همچنین بین K_o - و CEC خاک همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده شد. همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح یک درصد بین مقادیر K_X و پتاسیم قابل استخراج با اسیدنیتریک (R^2=۰/۶۵) و پتاسیم غیر قابل تبادل (R^2=۰/۴۹) نیز مشاهده گردید. همبستگی بالایی نیز بین KL و پتاسیم قابل استخراج توسط استات آمونیوم که در سطح یک درصد معنی‌دار بود (R_2=۹۰)، مشاهده گردید. این محققین چنین نتیجه‌گیری نمودند که همبستگی بالا مبین آن است که در این خاک‌ها عصاره‌گیری با استات آمونیوم برای برآورد پتاسیم قابل دسترس خاک روش مناسبی است.

بلالی (۱۳۷۶) طی تحقیقی ظرفیت بافری بالقوهٔ پتاسیم(PBC^K) در خاک‌های شالیزاری شمال ایران را مورد بررسی قرار داد. این آزمایش برروی ۷۴ نمونه خاک از شالیزارهای شمال (از آستارا در گیلان تاکلاله در مازندران) انجام گرفت. پس از تعیین PBC^K در نمونه‌های خاک همبستگی آن با خصوصیات خاک‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که از میان خصوصیات خاک تنها ظرفیت تبادل کاتیونی در پ‌هاش ۷ بیشترین همبستگی را با PBC^K دارد و نهایتاً معادلهٔ زیر به عنوان برآورد کنندهٔ ظرفیت بافری بالقوهٔ پتاسیم در خاک‌های شالیزاری شمال ایران پیشنهاد گردید.

PBC_K= ۳/۱۳+۳/۷۲ x CEC (pH=۷) $R^۲$=۰/۷۹۳**

امیری و درودی (۱۳۷۳) در یک مطالعه روابط مقدار به شدت پتاسیم (Q/I) با برخی خصوصیات خاک در ایستگاههای تحقیقاتی چغندرقند استان خراسان را بررسی نمودند. خاک‌های مورد آزمایش به گونه‌ای انتخاب گردیدند که دارای محدودهٔ وسیعی از رس (۸ تا ۲۸ درصد) و ظرفیت تبادل کاتیونی (۵ تا ۱۴ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم) باشند. نتایج آزمایش‌های انجام شده جهت شناسایی نوع کانی‌های رسی توسط روش پرتوگیری با اشعه ایکس نشان داد که کانی‌های غالب خاک شامل ایلایت، ورمی کولیت همراه با مقداری مونت موریلونیت و کلرایت می‌باشند. در این مطالعه بین ظرفیت بافری پتاسیم خاک (PBC^K) با درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) همبستگی مثبت و معنی‌داری گزارش گردید. با افزایش مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی، نسبت فعالیت پتاسیم (AR_K) کاهش یافته بود. به عبارت دیگر یک رابطه منفی بین مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی با AR_K مشاهده گردید. این محققین چنین نتیجه‌گیری نمودند که به دلیل وجود کانی‌های پتاسیم‌دار با ظرفیت بافری بالا در خاک‌های مورد مطالعه این خاک‌ها قادر به تأمین پتاسیم به مدت طولانی برای محصولات زراعی می‌باشند و به همین دلیل با وجود کشت‌های متوالی و عدم مصرف کودهای پتاسیمی هنوز عکس‌العمل به مصرف کودهای پتاسه مشاهده نمی‌شود.

جلالی (۱۳۸۰) در تحقیقی روابط کمـّیت به شدت پتاسیم در خاک‌های استان همدان را مورد بررسی قرار داد. برای این منظور ۱۵ نمونه خاک که از لحاظ میزان رس، ظرفیت تبادل کاتیونی و کربنات کلسیم با یکدیگر متفاوت بودند انتخاب و پس از تقسیم آن‌ها به زیر نمونه‌هایی با مقدار ۲/۵ گرم خاک و اضافه کردن ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۱۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم وحاوی غلظت‌های مختلف صفر تا پنج میلی‌مولار کلرید پتاسیم و اندازه‌گیری عوامل خاکی نمودار مقدار به شدت را برای آن‌ها ترسیم و سپس پارامترهای مربوطه را تعیین نمود. لازم به ذکر است این محقق در آزمایش خود از نسبت غلظت پتاسیم (CR_K) به جای نسبت فعالیت پتاسیم (AR_K) استفاده نمود. مقدار CR_K یا همان شدت (I) از معادله زیر محاسبه گردید.

$$CRK = \frac{CK}{(C\,ca)^{\frac{1}{2}}}$$

شاخص مقدار (Q) نیز از اختلاف غلظت پتاسیم در محلول اولیه و غلظت پتاسیم در حال تعادل در هر یک از زیر نمونه‌ها محاسبه گردید. نتایج نشان داد نسبت غلظت پتاسیم در حال تعادل ($CR^{\cdot}_K$) که بیانگر شدت پتاسیم در خاک است دارای تغییرات $۱۰^{-۴}$ ×۲/۴۹-۰/۲۲ بود. از آنجا که مقدار پارامتر فوق نشان دهندهٔ نوع مکان‌های تبادلی است که در جذب بخش اعظم پتاسیم شرکت دارند لذا این محقق چنین نتیجه‌گیری نمود که مقادیر به دست آمده در خاک‌های مورد مطالعه نشان دهندهٔ جذب پتاسیم در لبه‌ها و سطوح کانی‌های رسی بوده است. در این مطالعه حدود تغییرات پتاسیم قابل دسترس بین ۰/۰۲ تا ۰/۶۴ سانتی مول

بار در کیلوگرم خاک با میانگین ۰/۲۸ و حدود تغییرات ظرفیت بافری پتاسیم خاک‌ها (PBC^K) بین ۱۷۰/۵ تا ۲۳/۳ و با میانگین $Cmolc\ Kg^{-1}/(mol\ L^{-1})^{1/2}$ ۵۳/۴ بود. این محقق بالا بودن پتانسیل تامپونی در خاک‌های مورد مطالعه را از نظر کاربردی چنین توجیه نمود که در این خاک‌ها قابلیت جذب پتاسیم می‌تواند برای مدت طولانی پایدار باشد و پایین بودن پتانسیل بافری را نشانهٔ آن دانست که اینگونه خاک‌ها نیاز به کود پاشی مداوم و منظم دارند.

حسین پور (۱۳۷۸) طی مطالعه‌ای نمودارهای کمـّیت – شدت پتاسیم و ارتباط پارامترهای آن با خصوصیات خاک، ظرفیت تثبیت پتاسیم بخش رس، کل خاک و رس‌های خالص و همچنین سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی از خاک و اجزاء آن در ۱۵نمونه خاک از استانهای اصفهان، چهار محال بختیاری و گیلان و چهار نمونه رس مرجع را مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه زیر نمونه‌هایی از هر خاک با محلول‌های دارای نسبت فعالیت پتاسیم (AR_K) متفاوت به تعادل رسانیده شد و تغییر غلظت پتاسیم در محلول(ΔK) اندازه‌گیری و با استفاده از اطلاعات به دست آمده نمودارهای Q/I برای هر خاک رسم و پارامترهای آن تعیین شد. همچنین همبستگی بین پارامترهای Q/I و بعضی از خصوصیات خاک‌ها تعیین گردید. در این تحقیق نمودارهای Q/I شکل معمول گزارش شده در منابع را نشان دادند ولی از نظر پارامترهای مختلف مربوط به منحنی‌ها تفاوتهای زیادی بین خاک‌ها مشاهد شد.

تثبیت پتاسیم در هر دو حالت خشک و تر در بخش رس، کل خاک و رس‌های خالص(ایلایت، پالیگورسکایت، مونت موریلنایت و بنتونیت) با استفاده از سه سطح پتاسیم اضافه شده تعیین شد. پتاسیم تثبیت شده با افزایش پتاسیم بکار رفته در روش خشک شدن افزایش یافت. تثبیت پتاسیم توسط بخش رس به جز بخش رس خاک‌های گیلان برای یک مقدار پتاسیم اضافه شده با ظرفیت تبادل کاتیونی کل رس همبستگی معنی‌دار داشت. در بخش رس خاک‌های اصفهان میزان تثبیت پتاسیم با ظرفیت تبادلی کاتیونی مربوط به لایه تتراهدارل همبستگی داشت در حالی که در دو استان دیگر چنین همبستگی مشاهده نشد. متوسط مقدار تثبیت پتاسیم در بخش رس و همچنین در کل خاک در استانهای مطالعه شده به ترتیب زیر بود:

خاک‌های اصفهان > خاک‌های چهار محال بختیاری > خاک‌های گیلان

در این تحقیق همچنین سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی در نمونه‌های خاک و اجزاء آن و ۴ نمونه و رس مرجع به روش عصاره‌گیری متوالی با اسید سیتریک ۰/۵میلی مولار در مدت ۲۵۰۰ ساعت انجام شد. سپس سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی با معادلات انتشار پارابولیکی، تابع نمایی، مرتبه صفر، مرتبهٔ اول و الویچ ارزیابی شد.نتایج نشان داد بجز دو معادلهٔ مرتبهٔ صفر والویچ سایر معادلات توانستند سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی را توضیح دهند.

بستانی و ثواقبی (۱۳۸۲) در یک مطالعه روابط کمیت ـ شدت (Q/I) پتاسیم در تعدادی از خاک‌های تحت کشت نیشکر در استان خوزستان را مورد بررسی قرار دادند. این محققین با

توجه به اهمیت روابط Q/I در ارزیابی وضعیت پتاسیم خاک‌ها و نقش کلیدی پتاسیم در گیاه نیشکر از مزارع مختلف کشت و صنعت‌های هفت‌تپه، کارون و طرح توسعه نیشکر ۳۶ نمونه مرکب از خاک سطحی تهیه و با توجه به ضرورت تنوع در بین نمونه‌ها و وجود دامنه تغییرات حداکثر از نظر خصوصیاتی نظیر بافت، پتاسیم قابل دسترس، درصد آهک و سابقه کشت، تعداد ۱۳ نمونه را از بین نمونه‌های جمع‌آوری شده انتخاب نمودند. سپس به منظور به دست آوردن پارامترهای منحنی Q/I برای هر نمونه خاک ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۰۲ مولار کلرید کلسیم که غلظت پتاسیم از منبع کلرید پتاسیم در آن‌ها به ترتیب صفر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸، ۱/۶، ۲/۴ و ۳/۲ میلی مولار بود به طور جداگانه به زیرنمونه‌های دو گرمی با دو تکرار اضافه و به مدت دو ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تکان داده شدند. پس از سانتریفیوژ نمودن نمونه‌ها در ۳۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت پنج دقیقه و صاف نمودن محلول رویی، قابلیت هدایت الکتریکی، غلظت کلسیم و منیزیم و غلظت پتاسیم اندازه‌گیری گردید. سپس تغییر در پتاسیم تبادلی (K) از تفاوت غلظت پتاسیم در محلول اولیه و محلول تعادلی به دست آمد و برای محاسبه ARK از رابط $\frac{a\ K}{\sqrt{a\ (Ca+Mg)}}$ ابتدا قدرت یونی محلول‌ها (I)، با استفاده از هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده و از رابطه تجربی ۰I=/۰۱۳ EC، محاسبه و سپس ضریب فعالیت هر یون با استفاده از معادلهٔ دیویس به دست آمد. فعالیت هر یون با استفاده از فرمول $a_i=\lambda_i C_i$ محاسبه گردید. بدین ترتیب با اطلاعات به دست آمده مقادیر Δ K یا همان Q در مقابل AR_K رسم و نمودارها و پارامترهای Q/I برای هر خاک به دست آمد.

در این بررسی نسبت فعالیت پتاسیم تعادلی ($AR^{\cdot}$) از ۰/۰۱۲۵ تا ۰/۰۹۴۱ میلی‌مول بر لیتر متغیر بود. پتاسیم به آسانی قابل تبادل (K^{o}) بین ۰/۰۳۵ تا ۰/۲۲۵ میلی‌اکی‌والان در صد گرم با میانگین ۰/۰۸۳ میلی‌اکی‌والان در صد گرم و پتاسیم به سختی قابل تبادل (Kx) از ۱/۰۶۳ تا ۴۱/۱۴۳ میلی‌اکی‌والان در صد گرم با میانگین ۲/۳۲۵ میلی‌اکی‌والان در صد گرم به دست آمد. ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم (PBC^K) از ۱/۲۰۳ تا ۳/۰۶۵ با میانگین ۲/۲۳۲ متغیر بود. این محققین چنین بیان نمودند که بالا بودن ظرفیت بافری پتاسیم در خاک‌های مورد بررسی بدین مفهوم است که میزان پتاسیم قابل جذب خاک برای گیاه به مدت طولانی پایدار است و نیازی به مصرف پتاسیم در خاک نمی‌باشد. ولی مقدار کم ظرفیت تامپونی نشان‌دهندهٔ توانایی کم خاک در حفظ سطح پتاسیم قابل جذب خاک در طول دورهٔ رشد برای گیاه است و بدین ترتیب کودپاشی منظم پتاسیمی در این خاک‌ها ضروری است.

فرقانی و سالک گیلانی (۱۳۷۸) روابط مقدار به شدت پتاسیم ، در خاک‌های زراعی استان گیلان را مورد بررسی قرار دادند این محققین پس از رسم نمودارها Q/I و محاسبهٔ پارامترهای مربوط همبستگی معنی‌دار بین پتاسیم نگهداری شده در مکان‌های غیر اختصاصی ($\Delta K^{\cdot}$) و پتاسیم قابل استخراج توسط استات آمونیم و همچنین بین $\Delta K^{\cdot}$ و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) را

گزارش نمودند. همبستگی قوی بین پتاسیم قابل دسترس (K_L) و پتاسیم قابل استخراج توسط استات آمونیم بیانگر این واقعیت بود که استفاده از روش استات آمونیم روش مناسبی برای برآورد پتاسیم قابل دسترس این خاک‌ها می‌باشد. به طور کلی در تکنیک ارزیابی پتاسیم خاک براساس روابط Q/I، فاکتور شدت و فاکتور کمـّیت به طور همزمان ارزیابی شده و علاوه بر تعیین مقدار شکل قابل دسترس پتاسیم، توان بالقوه خاک در تأمین پتاسیم نیز توسط پارامتر ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم (PBC^K) مشخص می‌شود.

قنواتی (۱۳۸۳) با بررسی همبستگی پارامترهای کمیت – شدت پتاسیم خاک (Q/I) با شاخص‌های گیاهی گندم در منطقه آبیک به این نتیجه رسید که نسبت فعالیت پتاسیم تعادلی (AR^K_e) دارای تغییرات بین ۰/۰۱۰۴- ۰/۰۰۰۱ $(mol.l^{-1})^{1/2}$ بود. دامنه تغییرات پتاسیم به آسانی قابل تبادل ΔK_0 در خاک‌های مورد مطالعه ۰/۴۷۴۳ – ۰/۰۹۳ $(cmolc.kg^{-1})$ بود که همبستگی بالایی را با پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم (r=۰/**۸۲۲)، پتاسیم محلول (r=۰/**۷۸۰) و درصد اشباع (r =۰/*۵۱۰) نشان داد. دامنه تغییرات ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک‌ها (PBC^K) بین ۱۸۲/۳۹ – ۴۵/۵۸۳ $(mol.l^{-1})^{1/2}(cmolc.kg^{-1})$ بود. PBC^K همبستگی بالایی را با درصد رس با درصد اشباع خاک (r=۰/۸۷۲ **) نشان داد و معادله زیر برای برآورد ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم در خاک‌های گندم خیز آبیک پیشنهاد گردید.

PBC^K=۴۱۹/۷۴۳-CEC/۱۹ و R^2_{adj}=۰/۷۸۲**

نتایج حاصل از مطالعات گلخانه‌ای نشان داد که اثر کود پتاسه بر عملکرد گیاه گندم در سطح ۵٪ معنی‌دار بوده و اثر خصوصیات خاک نیز بر عملکرد گندم در سطح ۱٪ معنی‌دار گردید. همبستگی بین پارامترهای کمیت – شدت (Q/I) با شاخص‌های گیاهی گندم نشان داد که همبستگی بین پتاسیم قابل استخراج توسط استات آمونیوم، DK_0 و AR^K_e با پتاسیم جذب شده توسط گندم و عملکرد نسبی گندم معنی دار نگردید اما PBC^K با پتاسیم جذب شده توسط گندم (r=۰/۷۱۴ **) و عملکرد نسبی گندم (r=۰/۷۳۵ **) همبستگی بالایی را نشان داد.

همچنین در بررسی اثر آنیون همراه پتاسیم بر روابط کمیت – شدت پتاسیم خاک (Q/I) و همبستگی آن با خصوصیات خاک و شاخص‌های گیاهی گندم مشاهده گردید که بین دو محلول سولفات‌پتاسیم (حاوی آنیون SO_4^{-2}) و کلرید پتاسیم (حاوی آنیون کلر) اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ وجود داشت. همچنین بین DK_0 حاصل از این دو محلول اختلاف معنی داری در سطح ۱٪ وجود داشت، اما بین AR^K_e دو محلول اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. همبستگی بین پارامترهای مختلف Q/I حاصل از این دو محلول با خصوصیات خاک اختلاف معنی داری نداشته و همچنین همبستگی بین AR^K_e و DK_0 حاصل از این دو محلول با پتاسیم جذب شده توسط گندم معنی دارنشد، اما بین PBC^K حاصل از این دو محلول با پتاسیم جذب شده توسط گندم همبستگی معنی داری مشاهده شد. به طوری که همبستگی

بین PBC^K حاصل از کلرید پتاسیم با پتاسیم جذب شده توسط گندم در سطح ۱٪ معنی دار شده ولی برای محلول سولفات‌پتاسیم این همبستگی فقط در سطح ۵٪ معنی دار گردید. این محقق با توجه به نتایج حاصل از آزمایش چنین نتیجه گیری نمود که در تعیین رابطه Q/I خاک‌ها، کلرید پتاسیم دارای ارجحیت بیشتری نسبت به سولفات‌پتاسیم می‌باشد.

۱۲-۱۰-۱- اندازه‌گیری انرژی آزاد: روش دیگر سنجش قابلیت استفادهٔ پتاسیم بر مبنای اندازه‌گیری انرژی لازم برای تبادل آن با کاتیون‌های دوظرفیتی غالب در خاک و یا بر مبنای اختلاف پتانسیل الکتروشیمیایی یون‌های جذب شده استوار می‌باشد. از آنجا که در محلول تعادلی خاک، پتانسیل شیمیایی یون‌های موجود در محلول برابر با انرژی یون‌های جذب شده در سطح خاک است، اندازه‌گیری پتانسیل شیمیایی محلول، اطلاعاتی را در زمینهٔ پتانسیل یا انرژی یون‌های جذب شده ارائه می‌دهد. مایع در تماس با ریشه، افزون بر پتاسیم حاوی کاتیون‌های دیگر، عمدتاً کلسیم، مقداری منیزیم و همچنین قدری سدیم در خاک‌های آهکی می‌باشد. آسانی جذب پتاسیم به وسیلهٔ ریشه در برخورد با سایر کاتیون‌های غالب مانند کلسیم و یا در اغلب خاک‌ها باعث می‌شود که جذب جذب کلسیم و منیزیم با مشکل مواجه گردد. تغییرات انرژی تبادلی طبق معادلهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\ddot{A}F = R\,T\,ln\ \frac{C_K}{\sqrt{C_{Ca} + C_{Mg}}}$$

که در آن ΔF تغییر در مقدار انرژی آزاد بر حسب کالری بر مول، R ضریب ثابت گازها، T درجهٔ حرارت مطلق و C غلظت بر حسب مول در لیتر است. به علت رقت زیاد املاح در محلول خاک، در معادلهٔ بالا، به جای فعالیت یون‌ها، غلظت آن‌ها به کار رفته است. با قرار دادن عدد مربوط به ضریب ثابت گازها و انتخاب دما مثلاً ۲۵ درجه سانتی‌گراد و تغییر لگاریتم طبیعی به لگاریتم معمولی، عدد ۱۳۶۴ برای ضریب به دست می‌آید. واحد ΔF، کالری در مول است. حدود ΔF معمولاً بین ۲۰۰۰- تا ۴۰۰۰- کالری در مول است که حد بالایی (۲۰۰۰-) بیانگر کفایت پتاسیم و حد پایین (۴۰۰۰-) نشان دهندهٔ کمبود آن است (شکل ۲۱).

شکل ۲۱. رابطهٔ بین تغییر در میزان انرژی آزاد و قابلیت استفادهٔ پتاسیم برای گیاهان (Hagin و Tucker، ۱۹۸۲).

در این روش، برای بیان قابلیت استفادهٔ پتاسیم به طور مشخص، عامل شدت به کار گرفته شده است. افزون بر آن، اطلاعاتی دربارهٔ توان جایگزینی پتاسیم از راه جابه جایی پتاسیم قابل تبادل در حضور کلسیم و منیزیم داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، روش فوق که بر مبنای اندازه‌گیری انرژی تبادلی است، در پاره‌ای از موارد با دادن کودهای پتاسیمی به گیاهان رابطهٔ خوبی را نشان می‌دهد. در بعضی از شرایط نیز یا رابطه‌ای دیده نمی‌شود، و یا ارتباطی ضعیف وجود دارد. محققین با بررسی تعداد زیادی از خاک‌ها در هندوستان به این نتیجه رسیدند که این روش مطمئن‌ترین راه برای ارزیابی پتاسیم قابل استفاده برای گیاهان است. محققین حدودی را برای ΔF (تغییرات انرژی آزاد) که در آن کمبود پتاسیم وجود دارد، پیدا کردند. این ارقام بر حسب ظرفیت تأمین توان پتاسیم از ۲۱۰۰- کالری در مول برای خاک‌هایی با توان بالا، تا ۴۶۰۰- کالری در مول برای خاک‌هایی با ظرفیت پایین، متفاوت بوده است. مقدار ΔF در خاک‌های تهی شده از پتاسیم در حدود ۶۰۰۰- گزارش شده است. اینک به منظور روشن شدت موضوع و درک بیشتر کارایی ΔF به ذکر مثالی پرداخته می‌شود.

مثال: در اول بهار، مقدار پتاسیم و مجموع کلسیم-منیزیم محلول در دو خاک زراعی دماوند با بافت متوسط که زیر کشت سیب‌زمینی خواهند رفت به ترتیب ۱۹، ۲۵۰ و ۵۰۰، ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر تعیین گردید. در روش مقایسه‌ای رایج خاک، اولی به کود پتاسیم احتیاج دارد، ولی دومی نیاز ندارد. با محاسبهٔ انرژی تبادلی (ΔF) درستی و یا نادرستی این ادعا را بررسی کنید (دمای خاک ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد است).

حل: ابتدا غلظت‌ها به مول در لیتر تبدیل می‌شوند.

مول در لیتر پتاسیم در خاک اول	$\frac{19}{39/1\times1000}=0/0004859$
مول در لیتر کلسیم و منیزیم در خاک اول	$\frac{250}{36\times1000}=0/006944$
مول در لیتر پتاسیم در خاک دوم	$\frac{500}{39/1\times1000}=0/00127877$
مول در لیتر کلسیم و منیزیم در خاک دوم	$\frac{250}{36\times1000}=0/006944$

سپس تغییرات انرژی آزاد به شرح ذیل محاسبه می‌گردد :

$$\ddot{A}F = R\,T\,ln\,\frac{C_K}{\sqrt{C_{Ca}+C_{Mg}}}$$

کالری در مول در خاک اول $\ddot{A}F = 1/98717\times298\times ln\frac{0/0004859}{\sqrt{0/006944}} = 3046$

کالری در مول در خاک دوم

$$\bar{A}F = 1/98717 \times 298 \times ln\frac{0/00127877}{\sqrt{0/006944}} \times (4/177) = 2470$$

به طوری که ملاحظه می‌شود، از کمبود پتاسیم در خاک اول شدیدتر از خاک دوم است. لیکن چون در خاک‌های آهکی، مقدار کلسیم و منیزیم محلول در خاک بیشتر است (۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) مقدار انرژی آزاد به ترتیب به شرح زیر خواهد بود:

کالری در مول در خاک اول

$$\bar{A}F = 592/2 \times ln\frac{0/0004859}{0/11785} = 592/2 \times (-5/49) = 3250$$

کالری در مول در خاک دوم

$$\bar{A}F = 592/2 \times ln\frac{0/00127877}{0/11785} = 592/2 \times (4/5) = 2680$$

بنابراین، چنین استنباط می‌شود که باافزایش کلسیم و منیزیم محلول در خاک، نیاز پتاسیمی‌خاک افزایش می‌یابد. آزمایش‌های تجزیهٔ خاک در برخی مزارع دشت گرگان، مازندران، گیلان، قزوین، ورامین، دماوند، کرج و شمال خوزستان نیز نشان داد که در اکثر مزارع سیب‌زمینی، ذرت، پنبه، برنج، نیشکر و حتی گندم، کمبود نسبی پتاسیم وجود دارد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳).

۱۳-۱۰-۱-همدماهای جذب پتاسیم: یکی دیگر از روش‌های ارزیابی وضعیت پتاسیم در خاک استفاده از همدماهای جذب پتاسیم است. این روش اغلب برای توصیف خصوصیات جذبی فسفر مورد استفاده قرار گرفته است و در رابطه با خصوصیات جذبی پتاسیم کمتر استفاده گردیده است. نوربخش و همکاران (۱۳۷۸) هم‌دماهای جذب پتاسیم در سه نمونه خاک زراعی در اصفهان که از نظر بافت، درصد مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی متفاوت بودند را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه از چهار مدل هم‌دماهای جذب جهت برازش اطلاعات استفاده گردید که این مدل‌ها شامل لانگمیر، فرندلیش، تمکین و جرم اولیه بودند. برای هر خاک ضرایب تشخیص (R^2) مربوط به معادلات مختلف تعیین و با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که ضرایب تشخیص (R^2) مدل جرم اولیه برای هر سه خاک مورد بررسی بالاتر از ۹۹ درصد بوده و همگی در سطح یک درصد معنی‌دار است. بنابراین مدل فوق بهتر از سایر مدل‌ها جذب پتاسیم را توصیف نموده بود. مدل جرم اولیه توسط این محققین به صورت زیر بیان گردید:

$$X = mx_i - b$$

که در آن X مقدار پتاسیم جذب شده بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم، x_i غلظت اولیه پتاسیم اضافه شده به ازای واحد جرم خاک و m و b ثابت‌های معادله می‌باشند. بر اساس این مدل کمیتی به نام ذخیره پتاسیم خاک (RSP) تعریف گردید که رابطه آن به صورت زیر است:

$$RSP = b / (1-m)$$

در این آزمایش RSP برای خاک‌های موردبررسی تعیین و وجود رابطه مثبت و معنی‌دار آن با

CEC در هر سه خاک گزارش گردید. به طور کلی نتایج مطالعات فوق نشان داد که از هم‌دماهای جذب می‌توان برای توصیف جذب پتاسیم استفاده نمود.

۱۴-۱۰-۱- الکترو اولترا فیلتراسیون (EUF): همانطور که بیان شد در خاک موقعیت‌های مختلفی برای جذب پتاسیم وجود دارد که هر کدام با انرژی مشخصی پتاسیم را به سمت خود جذب و نگهداری می‌کنند، بنابراین قابل دسترس بودن پتاسیم در خاک ارتباط مستقیمی با انرژی پیوند پتاسیم با مکان‌های جذب دارد (Mcclean و Watson، ۱۹۸۵). براین اساس روش (EUF) استفاده از جریان برق یا روش الکترو اولترافیلتریشن ارائه گردید و هم‌اکنون به طور وسیعی در کشورهای آلمان، استرالیا و کشورهای اروپایی استفاده می‌شود. دستگاه EUF شامل سه سلول مجزا است. در یکی از سلولها الکترود آند و دیگری الکترود کاتد قرار گرفته است که توسط یک سلول میانی از یکدیگر جدا شده‌اند. با برقراری اختلاف پتانسیل بین این دو الکترود، کاتیون‌ها به سمت کاتد وآنیون‌ها به سمت آند جذب شده و در نهایت در ظروف مجزا جمع‌آوری می‌شوند. در این روش با تغییر ولتاژ، دما و زمان، مقادیر پتاسیم با انرژیهای جذب متفاوت یا قابلیت دسترسی متفاوت استخراج می‌شوند. بیشتر پتاسیم تبادلی در مدت ۱۰ دقیقه و ولتاژ ۲۰۰ ولت و دمای ۲۹۳ درجه کلوین استخراج می‌شود. در دمای ۳۵۳ درجه کلوین و ولتاژ ۴۰۰ ولت رهاسازی پتاسیم غیر تبادلی از کانی‌های میکایی افزایش می‌یابد. دردسترس نبودن، گرانی و احتیاج به افراد متخصص و باتجربه برای کار با دستگاه EUF، از معایب این روش محسوب می‌شود (Hagin و Tucker، ۱۹۸۲،Sparks،۱۹۸۵). مقایسه روش EUF و روش استات آمونیم یک مولار خنثی در خاک‌های شالیزاری نشان داد که در تمام خاک‌ها همبستگی معنی‌دار و بالایی بین پتاسیم استخراج شده با EUF و عملکرد نسبی وجود داشته است در حالیکه این همبستگی برای روش استات آمونیم به مقدار قابل ملاحظه‌ای پایین‌تر بوده است (کاوسی، ۱۳۷۸). مشایخی (۱۳۷۲) سینتیک تبادل پتاسیم در خاک با استفاده از روش EUF را مورد بررسی قرار داد. خاک‌های مورد مطالعه از نقاط مختلف ایران که در آن‌ها کشت سیب‌زمینی رایج بود انتخاب گردید. رس غالب در تمام خاک‌ها ایلایت و کلرایت بود. روش کار به این صورت بود که از هر یک از خاک‌ها با استفاده از دستگاه الکتروا لترافیلتریشن(EUF)در اختلاف پتانسیل ۲۰۰ ولت و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد در شش نوبت عصاره در زمان‌های ۱،۴،۹،۳۹و۶۹ دقیقه عصاره‌گیری گردید. سپس غلظت پتاسیم در هریک از عصاره‌های مربوط به زمان‌های مختلف به روش نشر اتمی اندازه‌گیری وسپس برحسب میلی گرم پتاسیم آزاد شده در کیلوگرم خاک محاسبه گردید. نمونهٔ دیگری پس از گذشت ۷۵ دقیقه از آزمایش در اختلاف پتانسیل ۴۰۰ ولت و دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد از خاک‌ها تهیه شد. سپس مقدار پتاسیم رها شده به شکل تجمعی در زمان‌های مختلف محاسبه گردید. براساس این اطلاعات منحنی‌های سرعت رهاسازی برای کلیهٔ خاک‌ها ترسیم شدند. همچنین انطباق داده‌های آزمایشی با معادله‌های سینتیکی مرتبه اول، پخشیدگی

سهمی شکل و معادلهٔ الوویچ بررسی شد. از میان پارامترهای آماری از ضریب همبستگی و خطای استاندارد برای قضاوت در مورد چگونگی توجیه داده‌ها توسط معادلات استفاده گردید. براین اساس معادلهٔ مرتبهٔ اول به عنوان بهترین معادله در توجیه داده‌های آزمایشی شناخته شد. در مورد خاک‌هایی که مقدار پتاسیم تبادلی در آن‌ها نسبت به ظرفیت تبادل کاتیونی پایین بود (EPP< ۴٪) در جزو آخر EUF که در دما و اختلاف پتانسیل بالا انجام گرفت یک شکستگی و صعود ناگهانی در منحنی سرعت رهاسازی پتاسیم در این خاک‌ها مشاهده گردید (جدول ۱۳). در جدول ۱۴ مقدار کل پتاسیم استخراج شده توسط EUF (طی ۷۵ دقیقه) با مقدار پتاسیم تبادلی که توسط استات آمونیم استخراج شده مقایسه شده است. همانگونه که این جدول نشان می‌دهد EUF-K استخراج شده در نمونه خاک‌های شماره دو و پنج خیلی بیشتر است که این موضوع نشانگر آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی در طی عصاره‌گیری EUF از این خاک‌هاست.

جدول ۱۳.ضرایب معادلهٔ درجه اول در خاک‌های مختلف

خاک	منطقه	K_a^*	$L_n C_0^*$
۱	دماوند	-۰/۰۴۷	۵/۸۹
۲	دماوند	-۰/۰۱۴	۵/۸۹
۳	همدان	-۰/۰۴۴	۵/۹۷
۴	اصفهان	-۰/۰۲۸	۵/۴۳
۵	اصفهان	-۰/۰۱۹	۶/۳۲

جدول ۱٤. مقایسه پتاسیم تبادلی و K-EUF در خاک‌های مورد آزمایش

خاک	منطقه	پتاسیم تبادلی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	K-EUF (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۱	دماوند	۳۰۰	۳۰۰
۲	دماوند	۲۷۰	۴۱۰
۳	همدان	۳۰۰	۳۵۰
۴	اصفهان	۱۹۰	۲۳۰
۵	اصفهان	۴۰۰	۵۲۰

"سلامتی از مزرعه می‌آید"

فصل دوم

پتاسیم در گیاه

۱-۲- کلیات

پتاسیم، کاتیونی یک ظرفیتی با شعاع یونی آبدار ۰/۳۳۱ نانومتر و انرژی دی هیدراسیون ۳۱۴ ژول در مول است. جذب آن بسیار انتخابی و با فعالیتهای سوخت و سازی درگیاه بستگی نزدیک دارد. از ویژگی‌های بارز آن تحرک زیاد در همهٔ سطوح گیاه نظیر درون سلول‌ها، درون بافت‌ها و نیز جا به جایی بلند مسافت (Long distance) از طریق آوند چوبی و آبکشی است. پتاسیم فراوان‌ترین کاتیون موجود در سیتوپلاسم بوده و نمک‌های پتاسیم به ایجاد پتانسیل اسمزی مناسب در درون سلول‌ها و بافت‌های گیاهان غیر نمک دوست (گلیکوفیت‌ها) کمکی عمده می‌کنند. تقریباً در همهٔ حالات، غلظت پتاسیم در سیتوپلاسم سلولها در یک دامنهای به نسبت محدود، میان ۱۰۰ تا ۱۲۰ میلی مولار حفظ می‌شود. در کلروپلاست‌ها، غلظت پتاسیم بیشتر متغیر است و بین ۲۰ تا ۲۰۰ میلی‌مولار است. نقش پتاسیم در بزرگ شدن سلول به عنوان بخشی از فرآیند رشد سلولی و دیگر فرآیندهایی که به وسیلهٔ عمل تورژسانس تنظیم می‌شوند، با غلظت پتاسیم در واکوئل‌ها ارتباط دارد بر خلاف منیزیم و کلسیم که دارای نقشهای ساختمانی مهم هستند، ولی تنها تحرکی محدود دارند، پتاسیم دارای تحرک زیاد است و به‌طور عمده، به عنوان ناقل بار الکتریکی عمل می‌کند و ترکیبات پیچیدهٔ ضعیفی را تشکیل می‌دهد که به آسانی قابل جایگزین شدن است. غلظت‌های زیاد پتاسیم در سیتوپلاسم و کلروپلاست‌ها برای خنثی کردنآنیون‌های حل شدنی نظیرآنیون‌های اسیدهای آلی وآنیون‌های غیرآلی و نگهداری پ‌هاش این بخش‌های سلول بین ۷ تا ۸ لازم است که البته این پ‌هاش مطلوب برای بیشتر فعالیت‌های آنزیمی است. برای نمونه، کاهش پ‌هاش از ۷/۷ به ۶/۵، فعالیت آنزیم نیترات رداکتاز را تقریباً متوقف می‌کند. تجمع پتاسیم در سیتوپلاسم و کلروپلاست‌ها به میزان زیادی به ایجاد فشار اسمزی کمک می‌کند. پتاسیم افزون بر نقش‌های آن در پایداری پ‌هاش و تنظیم اسمزی، پتاسیم برای فعال کردن آنزیم‌ها و فرآیندهای جابجایی در غشاء نیز لازم است. سازوکارهایی نظیر وجود پمپهای تراغشایی در غشای سیتوپلاسم و نیز احتمالاً در غشای واکوئل جهت جذب و ذخیره پتاسیم در درون سیتوپلاسم وجود دارند. به طور کلی در ارتباط با وظایف پتاسیم در گیاه می‌توان گفت اگرچه کاتیون‌های یک ظرفیتی دیگری وجود دارند که به طور جزیی می‌توانند جایگزین پتاسیم گردند، اما این کاتیون‌ها یا در غلظت‌های زیاد برای سلولها سمی هستند نظیر یون آمونیم به طور فراوان در طبیعت و یا اینکه نظیر روبیدیوم یافت نمی‌شوند (سالاردینی، ۱۳۷۱؛ خلدبرین و اسلام‌زاده ۱۳۸۰؛ Marschner، ۱۹۹۵). نظر به اهمیت این عنصر حیاتی

برای گیاه، اینک به طور جداگانه به بحث دربارهٔ وظایف و نقشهای گوناگون پتاسیم در گیاهان پرداخته می‌شود.

۲-۲- جذب پتاسیم به وسیله گیاه

گیاهان به طور معمول دارای تمام عناصری هستند که در خاک و محیط ریشه وجود دارد ولی نسبت آن‌ها با آنچه در محیط ریشه یافت می‌شود تفاوت کلی دارد. میزان پتاسیم قابل جذب در خاک‌های مختلف معمولاً در حدود۰/۱میزان کلسیم قابل جذب می‌باشد، با این حال مقدار پتاسیم گیاه معمولاً ۱۰ برابر کلسیم می‌باشد و این نشان می دهد که گیاه قدرت انتخابی شدیدی برای برخی عناصر مورد نیاز خود دارد.

جذب یون‌ها توسط ریشه گیاهان از طریق دو سازوکار جذب فعال و جذب غیر فعال صورت می‌گیرد، جذب غیر فعال حرکت یون‌ها از مرزها و ایجاد تعادل با سلولهای ریشه تحت تأثیر نیروهای فیزیکوشیمیایی نظیر شیب غلظتی و جریان پخشیدگی و بدون مصرف هر گونه انرژی می‌باشد. در سازوکارجذب فعال، حرکت یون‌ها از غشاهای سلولی به داخل سیتوپلاسم و واکوئل با مصرف انرژی می‌باشد. این یون‌های جذب شده طی انتقال کوتاه‌مسافت در ریشه به آوندهای چوبی رسیده و در انتقال بلند مسافت از طریق آوندهای چوبی به سایر قسمت‌های گیاه منتقل می‌شوند. جریان جذب به ساختمان ریشه بستگی دارد. در حدود ۱۰ درصد از حجم ریشه از فضاهایی که در دیواره سلولی وجود دارد، تشکیل شده است. این فضاها ترکیب یکسانی با محلول اطراف ریشه دارد. این فضاها را فضای آزاد می‌گویند چرا که محلولی که ریشه‌ها را در خود دارد قادر آزادانه است به درون آن نفوذ کرده ویا خارج شود. علاوه براین، فضاهایی در داخل ریشه وجود دارند که دارای محل‌های تبادل کاتیونی در روی سطح خود هستند. این محل‌های تبادلی، کاتیون‌ها را به خود گرفته و در آن فضاها غلظت کاتیون‌ها را براساس معادلات دونن تنظیم می‌کنند. این فضاها را فضای آزاد دونن(Free donan space) می‌گویند. جذب غیرفعال ممکن است قبل یا همزمان با جذب فعال صورت گیرد. بعضی مواقع ممکن است یون‌ها احتیاج به نفوذ به داخل سلول داشته باشند تا بتوانند به وسیله جذب فعال گرفته شوند ولی به‌هر حال دلایل کافی وجود ندارد که حتماً جذب فعال بایستی همراه یا بعد از جذب غیرفعال باشد. در هر صورت جذب پتاسیم به داخل سیتوپلاسم یا واکوئل‌های سلول‌های ریشه جذب فعال است و احتیاج به انرژی دارد. مرزی که پتاسیم از طریق جذب فعال از آن عبور می‌کند غشاء پلاسمالما است که سیتوپلاسم را احاطه کرده است. دو تئوری یا نظریه برای تشریح جذب انتخابی پتاسیم بوسیله ریشه گیاه وجود دارد، که یکی تئوری حامل و دیگری تئوری نفوذ متابولیسمی است. تئوری حامل که بیشتر مورد قبول است، پیشنهاد می‌کند که برای انتقال یون‌ها از غشاء سلولی ازکمپلکس‌های مولکولی مخصوص استفاده می‌شود. این ترکیبات مولکولی به نام حامل خوانده

می‌شوند و می‌توانند با یون پتاسیم در بیرون غشا به صورت برگشت پذیر ترکیب شده و به صورت مجموع از دیواره گذشته و سپس پتاسیم را داخل سلول آزاد کنند که در این فرآیند انرژی متابولیسمی برای تشکیل و آزادسازی کمپلکس پتاسیم ـ حامل لازم می‌باشد. در این تئوری همچنین وجود که چندین حامل پیش‌بینی شده است که هرکدام دارای خاصیت انتخابی برای یک یون بخصوص است که در واقع حاملهای اختصاصی به حساب می‌آیند. در عین حال ممکن است برای هر یون بیش از یک حامل وجود داشته باشد و برعکس یک حامل قادر باشد بیش از یک یون را به داخل ریشه هدایت کند. نسبت انواع یون‌های قرار گرفتن بر روی جایگاههای اتصال مربوط به حامل‌ها،تابع شدت تمایل یون‌ها برای ترکیب با حامل و غظت آن یون در محلول خارجی است. سالاردینی (۱۳۷۱) به نقل از منابع مورد مطالعه گزارش نمود که دو نوع حامل در جذب پتاسیم تشخیص داده شده است. یک نوع که خاصیت انتخابی خیلی شدید دارد و پتاسیم را می‌تواند از محلول‌های رقیق‌تر از ۰/۲ مولار استخراج کند و فرآیند جذب به کمک آن بدون دخالت آنیون همراه پتاسیم انجام می‌شود. حامل دوم تمایل کمتری برای پتاسیم دارد و پتاسیم را از محلول‌های غلیظ‌تر از ۰/۲مولار می‌تواند استخراج کند و با یون‌هایی نظیر سدیم در جذب رقابت می‌کند، آنیون همراه پتاسیم نیز در جذب بوسیله آن مؤثر است. تئوری دوم برای جذب فعال پتاسیم توسط سلول‌های ریشه گیاهان بر این اساس است که در نتیجه جذب فعالآنیون‌ها که با انرژی تنفسی صورت می‌گیرد یک شیب پتانسیلی بوجود می‌آید که پتاسیم به کمک آن می‌تواند حتی در جهت مخالف شیب غلظت خود به داخل سلول نفوذ کند. وقتی غلظت آنیون در داخل سلول بیش از خارج سلول باشد این شیب پتانسیلی بوجود می‌آید. شکل ۱ برای نشان دادن این نوع جذب پیشنهاد شده است. چنانچه در شکل مشاهده می‌شود جذب پتاسیم بوسیله نفوذ از داخل مجرایی در غشاء سلول است که با بار منفی پوشیده شده است. این نفوذ در واقع یک نوع تبادل بین پتاسیم و هیدروژنی است که در نتیجه جذب فعالآنیون‌ها بوجود آمده است. هر چه غلظت محلول زیادتر شود جذب املاح بیشتر شده و سرعت تنفس ریشه نیز افزایش می‌یابد.

شکل۱. انتقال املاح از محلول خاک به داخل سیتوپلاسم از طریق غشاء سلولی با تکیه بر جذب پتاسیم

بین غلظت پتاسیم محلول اطراف ریشه و مقدار جذب پتاسیم بوسیله گیاه رابطهٔ مستقیم وجود دارد. غلظت پتاسیم در محلول خاک در حدود ۱۰۰ میکرومول یعنی تقریباً ۰/۰۱ غلظت پتاسیمی است که معمولاً در محلول‌های غذایی بکار می‌رود. برای اینکه محلولی بتواند نیاز گیاه را تأمین کند و در نتیجه جذب، غلظت آن کاهش پیدا نکند بایستی بطور مرتب پتاسیم آن تجدید شود. اگر خاک بتواند در این غلظت‌های کم ولی ثابت، پتاسیم گیاه را تأمین کند شاید احتیاج نباشد که مکانیسم تبادل تماسی برای جذب پتاسیم در نظر گرفته شود. ولی به هر حال بسیار مشکل است چنین فرض شود که محلول خاک غلظت نسبتاً ثابتی را در حین رشد گیاه بتواند تأمین نماید چرا که تحرک محلول خاک یا جریان توده‌ای آن بسیار کم است. اصولاً پتاسیم محلول خاک که در تماس با ریشه است آنقدر نیست که بتواند نیاز گیاه را تأمین کند. در خیلی از خاک‌ها پتاسیم بایستی از نقاط مختلف به اطراف ریشه حرکت کند تا پتاسیم مورد نیازگیاه را تأمین نماید که در این حالت نقش غلظت پتاسیم در محلول خاک نقشی اساسی است.

۳-۲. تأثیر عوامل گیاهی در قابلیت جذب پتاسیم

عوامل مختلفی بر میزان قابلیت جذب پتاسیم توسط گیاهان مؤثرند که در یک دسته‌بندی کلی می‌توان آن‌ها را در دو گروه قرار داد. یک گروه عوامل خاکی هستند که بر میزان پتاسیم تبادلی و محلول که به طور عمده پتاسیم به آسانی قابل دسترس یا پتاسیم قابل جذب گیاه را تشکیل می‌دهند، تأثیر می‌گذارند به عبارت دیگر شدت پتاسیم و مقدار آن در خاک تحت تأثیر این عوامل است. از جمله این عوامل نوع کانی‌ها و میزان مواد آلی در خاک، روابط پتاسیم محلول و تبادلی و همچنین نسبت فعالیت پتاسیم به کلسیم در محلول خاک، روابط پتاسیم تبادلی و غیر تبادلی، تأثیر یون آمونیوم، مدیریت کودهای آمونیمی و پتاسیمی در خاک و pH خاک می‌باشد که در فصل اول به تفصیل در مورد آن‌ها بحث شده است.

درهر صورت برآیند کلیه عواملی که در قابلیت جذب پتاسیم اثر دارند در میزان جذب این عنصر به وسیله گیاه خلاصه می‌شود. جذب پتاسیم یک فرآیند انرژی‌خواه بوده که منبع آن انرژی حاصل از تنفس گیاه است. بنابراین میزان اکسیژن و درجه حرارت در آن موثرند. جذب فعال عناصر در خاک تحت شرایط رطوبت، تهویه و گرمای مناسب، بهتر صورت می‌گیرد. نور نیز از جمله عوامل دیگری است که در جذب پتاسیم موثر است. در تاریکی منبع انرژی برای انتقال فعال عناصر غذایی به تنفس و در روشنائی به فتوسنتز گیاه وابسته است. هر عاملی که باعث محدودیت تشکیل و انتقال مواد غذایی و یا مواد لازم برای تنفس گیاه شود می‌تواند مانع رشد طبیعی گیاه گردد. وقتی کمبود پتاسیم در گیاه اتفاق می‌افتد، یک رشته تغییرات مختلف در گیاه به وجود می‌آید که گیاه را برای جذب پتاسیم از خاک ناتوان‌تر می‌کند. بنابراین غیر از عوامل خارجی یا عوامل خاکی که در جذب پتاسیم مؤثرند و در بالا نیز به صورت فهرست‌وار به آن‌ها اشاره شد، تعدادی عوامل و

مشخصات داخلی گیاه تحت عنوان عوامل گیاهی نیز در قابلیت جذب پتاسیم خاک به وسیله گیاه مؤثر می‌باشند که اینک به طور اختصار دربارهٔ آن‌ها بحث می‌شود (سالاردینی، ۱۳۷۱).

۱-۳-۲- مشخصات ریشه: ریشه گیاه مانند قسمت هوایی دارای مشخصات مخصوص به خود است اگر چه تکامل و شکل یافتن ریشه هرگونه گیاه تابع خواص ژنتیکی آن است ولی در عین حال تحت تأثیر عوامل فیزیکی و شیمیایی خاک نیز می‌باشد. با استفاده از میکروسکوپ الکترونی معلوم می‌شود که قایل شدن یک حد فاصل بین خاک و ریشه کار مشکلی است. در واقع معلوم نیست که ریشه گیاه در کجا ختم می‌شود و خاک از چه محلی شروع خواهد شد. بین ریشه، خاک و میکروارگانیسم‌های خاک چنان همبستگی شیمیایی و بیولوژیکی نزدیکی وجود دارد که محدوده هر یک را می‌توان جزء دیگری نیز به حساب آورد.

از لحاظ مرفولوژی در ریشه چهار منطقه مشخص وجود دارد. اول، کلاهک ریشه که حافظ بافت مریستمی است. دوم منطقه بافت‌های مریستمی که تقسیمات سلولی در آن انجام می‌شود. سومین منطقه قسمت سلولهای در حال رشد است که با قسمت دوم مجموعا توسعه وطویل شدن ریشه را باعث می‌شوند. چهارمین قسمت، منطقه تکامل سلول‌ها است که در آن سلول‌ها تکامل یافته و بلافاصله در مدت کوتاه یکی دو روز ریشک‌ها و تارهای کشنده روی آن‌ها می‌رویند. این تارها که عامل گرفتن آب و مواد غذائی هستند، سطح تماس ریشه را با خاک چند صد برابر می‌کنند و در جذب مواد مؤثر واقع می‌شوند. با این حال تا ۹۵ درصد پتاسیم مورد نیاز گیاه بدون تماس ریشه گیاه با ذرات خاک در دسترس گیاه قرار می‌گیرد و آب عامل اساسی در انتقال این عنصر می‌باشد.

۲-۳-۲- تأثیر ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه: ریشه‌های گیاهان دارای ظرفیت تبادل کاتیونی هستند. ظرفیت تبادلی ریشه بر حسب روش اندازه‌گیری متفاوت بوده و گاهی ارقام تا ۱۰ برابر تغییر می‌کند. میزان ظرفیت تبادلی ریشه گیاهان بین ۹ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم ریشه در گندم تا ۹۴ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم ریشه درگیاهی به نام درلارکیسپور تغییر می‌کند. بطور کلی ظرفیت تبادلی ریشه گیاهان دولپه‌ای بیش از تک‌لپه‌ای‌ها است.

فرضیهٔ انتخابی بودن جذب یون‌ها بوسیله ریشه که به ظرفیت تبادلی ریشه ارتباط داده می‌شود براساس اصول دونن درمورد روابط یون‌های دو ظرفیتی و یک ظرفیتی در محیط تبادلی استوار است. براساس این اصل، نسبت فعالیت پتاسیم به جذر فعالیت کلسیم و منیزیم مجموع فعالیت در دو طرف یک غشاء نیمه تراوا یکسان است. هر چه ظرفیت تبادلی ریشه بیشتر باشد نسبت یون‌های یک ظرفیتی به دو ظرفیتی آن کمتر می‌شود. این تمایل جذب یون‌های دو ظرفیتی در کلوئیدهایی که دارای ظرفیت تبادلی بیشتر هستند مربوط به مقدار انرژی پیوندی یا انرژی جذب بیشتر بین کاتیون‌های دو ظرفیتی و این نوع کلوئیدها می‌باشد. برعکس کلوئیدهایی که دارای ظرفیت تبادلی کمتر هستند بیشتر تمایل به جذب کاتیون‌های یک ظرفیتی دارند. ریشه یونجه دارای ظرفیت تبادلی بیشتر از غلاتی چون علف

بروم می‌باشد و بنابراین به کمبود پتاسیم حساسیت بیشتری دارد. این تفاوت یونجه و علف بروم به علت اثرات دونن در روی سطح ریشه و در داخل فضای آزاد دونن می‌باشد که در محدوده‌های ذکر شده پتاسیم کمتر و کلسیم بیشتری متمرکز می‌شود. بنابراین در اثر کم شدن مقدار پتاسیم و همچنین کم بودن نسبت پتاسیم به کلسیم جذب پتاسیم کمتر خواهد شد. بیشترین اثر دونن در محلول خیلی رقیق، در رقتی خیلی کمتر از آنچه در خاک‌های حاصلخیز وجود دارد مشاهده می‌شود.

سالاردینی (۱۳۷۱) به نقل از منابع مورد مطالعه گزارش نمودکه با افزایش ازت در محیط ریشه ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه افزایش می‌یابد و این افزایش موجب جذب بیشتر پتاسیم در ریشه و قسمت‌های هوایی گیاهان می‌شود. جدول ۱ که از تحقیقات انجام شده در این زمینه گرفته شده است رابطهٔ سطح ازت و ظرفیت تبادلی را نشان می‌دهد. به علاوه تفاوت ظرفیت تبادلی ریشه دولپه‌ای‌ها و تک‌لپه‌ای‌ها را نیز می‌توان در هر سطح معین غلظت ازت مشاهده نمود. جذب بیشتر پتاسیم و ازت در نتیجهٔ افزایش مقدار ازت خاک می‌تواند علاوه بر تأثیر بر روی ظرفیت تبادلی بر روی حجم و سطح ریشه نیز مؤثر باشد.

جدول ۱. اثر ظرفیت تبادلی ریشه و افزایش ازت در جذب پتاسیم بوسیله گیاهان (خلدبرین و اسلام‌زاده، ۱۳۸۰)

گیاهان	عمر گیاه (روز)	سطح ازت	ظرفیت تبادلی ریشه ($Cmol_c/kg$)	درصد ازت ریشه	درصد ازت شاخ و برگ
		کم	۲۱/۶	۱/۶۱	۳/۱۶
ذرت	۱۵	متوسط	۲۴/۶	۱/۷۵	۳/۲۱
		زیاد	۲۷/۶	۱/۹۶	۳/۸۴
		کم	۱۷/۷	۱/۲۹	۳/۵۰
جو دو سر	۱۵	متوسط	۲۱/۰	۱/۵۱	۴/۱۵
		زیاد	۲۴/۴	۲/۱۴	۵/۰۸
		کم	۴۴/۷	۲/۳۵	۴/۸۴
پنبه	۲۵	متوسط	۴۵/۹	۲/۶۵	۵/۳۹
		زیاد	۵۰/۰	۳/۰۳	۶/۴۰
		کم	۵۴/۶	۳/۹۳	۷/۱۸
سویا	۲۵	متوسط	۵۶/۳	۴/۲۴	۷/۱۰
		زیاد	۶۰/۹	۴/۲۱	۷/۲۱

۳-۳-۲- تأثیر توسعه و شکل ریشه: توسعه ریشه بیشتر برروی حجم خاکی که ریشه در برمی‌گیرد، یامنطقه‌ای که به آن دسترسی پیدا می‌کند، تأثیرگذار است. وقتی ریشه گیاه به عمق بیشتری نفوذ کند چنانچه خاک زیرین دارای مقدار بیشتری پتاسیم باشد و تهویه آن نیز کافی باشد جذب پتاسیم افزایش می‌یابد. به علاوه ریشه‌های عمیق دسترسی گیاه را به رطوبت موجود در افق‌های زیرین بیشتر می‌کنند و چون انتهای ریشه‌ها قدرت جذب کافی دارند بالطبع مقدار بیشتری آب نیز جذب می‌گردد. نتیجه کاربردی حاصل از این اطلاعات آن است که در فصل خشک یا مواقعی که احتمال بروز تنش خشکی در طول فصل رشد برای گیاه وجود دارد بهتر است کودهای فسفری و پتاسیمی را با شخم در عمق بیشتری قرارداد تا بهتر قابل جذب باشند.

وقتی مقدار بیشتری ماده غذائی در خاک باشد تراکم ریشه‌ها نیز زیادتر می‌شود. به کار بردن ازت، فسفر و پتاسیم باعث تشکیل انشعابات بیشتر ریشه در اغلب گیاهان می‌شود. مصرف کود باعث تشکیل آنزیم و مواد تنظیم کننده رشد شده و تعداد بیشتری ریشه تشکیل می‌شود. کمبود پتاسیم و سایر عناصر غذائی لازم برای گیاه، مانع رشد طبیعی ریشه شده و در این صورت ریشه گستردگی لازم برای جذب عناصر دیگر را نیز نخواهد داشت براین اساس خاک‌های حاصلخیز علاوه بر آن که دارای عناصر غذایی کافی هستند قدرت جذب گیاه را نیز توسعه می‌بخشند. کودپاشی پتاسیم را بایستی با توجه به شکل ریشه انجام داد. در مورد گیاهانی که ریشه افشان دارند مانند گندم و غلات روش کوددهی می‌تواند به صورت نواری در کنار ردیف کاشت صورت گیرد. در مورد گیاهانی که ریشه راست دارند مانند یونجه، گوجه‌فرنگی، چغندرقند و پنبه اگر کود ۵ سانتی‌متری زیر و کنار بذر قرار داده شود، قابلیت جذب آن برای گیاه بیشتر خواهد بود.. تعداد ریشه‌ها و نزدیکی آن‌ها به یکدیگر عامل دیگری در جذب پتاسیم است. وقتی تراکم بوته زیاد باشد احتمال اینکه مقدار بیشتری پتاسیم در واحد سطح از خاک خارج شود بیشتر است. در عین حال بایستی در نظر داشت که تراکم خیلی زیاد ممکن است باعث تشدید کمبود عناصر غذایی خاک شود. به هر حال در تراکم بیشتر بوته مقدار جذب پتاسیم بیشتر می‌شود.

۴-۳-۲- تأثیر دما: در بررسی قابلیت جذب پتاسیم به وسیله گیاه نبایستی اثردما را در فعالیت‌های حیاتی گیاه نادیده گرفت. اصولاً افزایش درجه حرارت محیط باعث جذب بیشتر مواد غذایی از جمله پتاسیم می‌شود ولی عکس‌العمل گیاهان در این مورد متفاوت است. گیاهان گرمسیری معمولاً جذب پتاسیم خود را با افزایش درجه حرارت افزایش می‌دهند ولی گیاهان سردسیری تا حدی پیش می‌روند و از آن پس جذب پتاسیم آن‌ها کاهش می‌یابد. به هرحال برای هر گیاهی درجه حرارت مطلوبی را می‌توان تعیین نمود که در مقادیر کمتر و یا بیشتر از آن جذب پتاسیم کاهش می‌یابد.

۵-۳-۲- تأثیر محیط ریشه: محیطی از خاک که در اختیار ریشه قرار دارد و ریشه‌ها را در بر می‌گیرد، محیط ریشه یا ریزوسفر گفته می‌شود. موجودات ذره‌بینی متعددی در اطراف ریشه‌ها فعالیت می‌کنند. جمعیت باکتری‌ها، قارچ‌ها و سایر گونه‌های میکربی در سطح ریشه و تارهای کشنده تا حدود ۱۲۰ برابر جمعیت این موجودات در خارج از محیط ریشه است. محیط ریشه یا ریزوسفر هرگونه گیاهی مختص آن گیاه می‌باشد. کمک گیاه به توسعه میکروفلور با مواد مترشحه، انساج جدا شده و قطعات مرده ریشه که می‌توانند انرژی، کربن، ازت و عوامل رشدی آن‌ها را عرضه کنند تأمین می‌شود. تنفس ریشه و میکروفلور خاک مولد مقدار قابل توجهی گازکربنیک است که در حل کردن پتاسیم و جذب آن به وسیله گیاه مؤثر است. اصولاً گیاهانی که در محیط استریل و بدون جمعیت میکربی کاشته می‌شوند رشد و نمو و جذب پتاسیم کمتری دارند تا آن‌ها که در محیط عادی کاشته شوند.

میکوریزها قارچهایی هستند که به صورت همزیست با ریشه گیاه زندگی می‌کنند. این قارچها ضمن توسعه بر روی ریشه گیاه (اکتومیکوریزا) ودرون سلولهای ریشه (اندومیکوریزا)، در خاک نیز ریسه‌های خود را پراکنده می‌کنند. بدین صورت که امروزه تصور بر این است که میسلیوم این قارچها مانند تارهای کشنده ریشه عمل می‌کند و در منطقه وسیعی از خاک پراکنده شده و در واقع باعث افزایش سطح جذب برای آب و مواد غذایی می‌شوند. در یک آزمایش بذر ذرت با و بدون تلقیح با قارچ میکوریز کشت شده و چنین گزارش گردید که وزن خشک گیاه تلقیح شده چهار برابر گیاه عادی بوده و در عین حال تقریباً درصد تمام عناصر غذایی و از جمله پتاسیم در این گیاه به مراتب بیشتراز گیاهان بدون تلقیح بذر با قارچ مذکور بوده است (سالاردینی، ۱۳۷۱). از آنجا که موجودات ذره‌بینی خاک دارای محل‌های تبادلی هستند و تراکم آن‌ها در اطراف ریشه زیاد است به نظر می رسد که ظرفیت تبادلی ریزوسفر بیش از محیط خارج بشود و این در جذب عناصر به وسیله گیاه موثر است.

۶-۳-۲- اثرگونه و رقم گیاهی: مقدار نیاز پتاسیمی گیاهان متفاوت است. شاهدی برای این ادعا در جدول ۲ نشان داده شده است. در این جدول پتاسیم کل گیاه نماینده نیاز گیاهان به پتاسیم است و در محاسبه آن میزان پتاسیم موجود در کلیه اندام‌های گیاهی در نظر گرفته شده است. در صورتی که میزان پتاسیم برداشت شده مقداری است که همراه محصول از مزرعه خارج می‌شود. این مقدار معمولاً و در شرایطی که بقایای گیاهی به خاک برگردانده شود، نماینده میزان پتاسیمی است که بایستی به وسیله دادن کود جبران شود. در گیاهانی مانند کرفس و یونجه که تقریباً تمام اندام‌های گیاه از مزرعه خارج می‌شود تفاوت زیادی بین نیاز و برداشت پتاسیم نیست. در صورتی که در مورد گیاهی نظیر پنبه این موضوع ممکن است کاملاً متفاوت باشد.

چنانکه جدول ۲ نشان می‌دهد تفاوت زیادی بین میزان جذب پتاسیم به وسیله گیاهان مختلف وجوددارد. علت تفاوت گیاهان در جذب پتاسیم از خاک به عوامل متعددی بستگی دارد که مهمترین آن‌ها نیاز گیاه است. گیاهانی که مواد قندی و نشاسته‌ای تولید می‌کنند مانند چغندرقند، نیشکر و سیب‌زمینی نیاز بیشتری به این عنصر دارند. عامل دیگر میزان محصول گیاه است. کرفس با عملکرد حدود ۱۷۰ تن محصول مقدار فوق‌العاده‌ای پتاسیم از خاک برداشت می‌کند در صورتی که پنبه مقدار خیلی جزئی پتاسیم از خاک خارج می‌کند، عامل سوم سرعت جذب پتاسیم و طول دوره رشد گیاه است. به عنوان مثال، بعضی گیاهان برای مدت ۵ ماه در خاک هستند در صورتی که برخی دیگر در مدتی کمتر از ۲ ماه رشدشان کامل شده و برداشت می‌شوند. برای گیاهان زودرس و سریع‌الرشد فراهم بودن پتاسیم و سرعت آزاد شدن پتاسیم ازفرمهای غیر قابل جذب به شکل قابل جذب بسیار مهم است. برای مثال لوبیا سبز در ۵۵ روز از لحاظ تجاری رسیده است، گوجه‌فرنگی تقریباً ۱۲۰ روز در زمین است در صورتی که نیشکر ممکن است تا نزدیک یک سال در خاک بماند. بالاخره عامل چهارم، زمان نیاز حداکثر گیاه به

پتاسیم است که بایستی مورد توجه قرار گیرد. در عمل خاکی ممکن است دارای مقدار کافی پتاسیم باشد ولی در موقع رشد حداکثر گیاه، به اندازه کافی پتاسیم از خاک آزاد نشود. در یونجه محصول یک چین که در مدت یک‌ماه تولید می‌شود ممکن است تا ۶/۵ تن و مقدار پتاسیم محتوی آن در حدود ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار باشد. ذرت در ۵۰ روز اول نموخود در حدود ۵۰ درصد پتاسیم مورد نیاز و لوبیا سبز ۸۰ درصد نیاز خود در طول فصل رشد را جذب می‌کنند، در صورتی که در همین مدت سویا فقط ۲۰ درصد نیاز خود را از خاک استخراج می‌کند.

جدول ۲. عملکرد محصول، میزان کل پتاسیم جذب شده توسط گیاه و پتاسیم برداشت شده توسط محصول اصلی گیاهان مختلف زراعی بر حسب کیلوگرم در هکتار (سالاردینی، ۱۳۷۱)

گیاهان	عملکرد محصول	کل پتاسیم جذب شده	پتاسیم برداشت شده
گندم	۴۰۰۰	۱۰۰	۱۵
برنج	۵۰۰۰	۱۰۰	۲۰
پنبه	۱۴۰۰	۸۵	۳۵
ذرت	۸۴۰۰	۱۸۰	۳۵
انگور	۱۳۴۰۰	۷۵	۴۵
لوبیا سبز	۱۳۴۰۰	۱۲۰	۴۵
سویا	۳۴۰۰	۱۱۰	۶۵
توتون	۳۲۰۰	۱۷۵	۸۵
مرکبات	۳۲۰۰۰	۱۶۵	۱۳۰
چغندرقند	۶۷۰۰۰	۵۰۰	۱۸۵
سیب‌زمینی	۴۵۰۰۰	۳۰۰	۲۰۰
یونجه	۱۳۴۰۰	۲۵۰	۲۵۰
نیشکر	۲۲۴۰۰	۵۵۰	۳۲۰
گوجه‌فرنگی	۶۷۰۰۰	۴۵۰	۳۳۵
کرفس	۱۶۸۰۰	۷۰۰	۶۳۰

لازم به ذکر است در داخل گونه‌های گیاهی، ارقام مختلف نیز ممکن است از نظر جذب پتاسیم با یکدیگر متفاوت باشند. این تفاوت ممکن است در نتیجه اختلاف عملکرد محصول، ترکیب شیمیائی یا وضعیت ریشه‌بندی آن‌ها باشد.

۷-۳-۲- تأثیر جذب تماسی: وقتی گیاه در سوسپانسیون رسی کاشته شود پتاسیم می‌تواند مستقیماً از محل‌های تبادلی روی سطح رس به محل‌های تبادلی ریشه انتقال داده شود در این حالت گیاه هم به پتاسیم محلول و هم به پتاسیم تبادلی دسترسی دارد. این تبادل پتاسیم مستقیماً از سوسپانسیون رس به ریشه گیاه را تبادل تماسی (Root interception) می‌نامند. در این حالت ریشه و ذره رس بایستی آنقدر نزدیک هم شوند تا میدان الکتریکی یون پتاسیم روی رس و هیدروژن روی ریشه تداخل کنند و تبادل انجام شود. به هر حال اگرچه تبادل تماسی به عنوان یکی از مکانیزمهای جذب عناصر غذایی و به ویژه جذب پتاسیم توسط ریشه گیاه محسوب

می‌شود اما مقدار پتاسیم جذب شده توسط این مکانیزم در مقایسه با جریان توده‌ای و به ویژه فرآیند پخشیدگی بسیار ناچیز است.

۴-۲- پتاسیم در فیزیولوژی گیاه

۱-۴-۲- فعال شدن آنزیم‌ها: گفته می‌شود بیش از ۵۰ نوع آنزیم در گیاهان وجود دارد که یا به طور کامل به پتاسیم وابسته‌اند و یا به وسیله آن تحریک می‌شوند. پتاسیم و برخی کاتیون‌های یک ظرفیتی دیگر، با تغییر در ساختمان فضایی پروتئین آنزیم، باعث فعال شدن آن می‌شوند. همهٔ مولکول‌های بزرگ، به میزان زیاد آبدار(هیدارته) هستند و بوسیلهٔ مولکول‌های آب که محکم به آن‌ها چسبیده و بار الکتریکی دولایه‌ای را تشکیل می‌دهند، احاطه شده‌اند. پژوهشها نشان داده است که در غلظت‌های ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌مول نمک حداکثر کاهش در بار الکتریکی دو لایه‌ای کاتیون‌های یک ظرفیتی و آبدار شدن پروتئین در اندازه‌ای مطلوب رخ می‌دهد. این دامنهٔ غلظت با میزان پتاسیم موجود در سیتوپلاسم گیاهانی که میزان کافی پتاسیم دریافت کرده‌اند و نیز با غلظت حدود ۱۰۰ میلی مول که برای حداکثر سرعت تثبیت CO_2 بایستی در کلروپلاست وجود داشته باشد، همخوانی دارد. به طور کلی، تغییر ساختمان آنزیم‌ها که به وسیلهٔ پتاسیم انجام می‌گیرد، به افزایش فعالیت آنزیم و حداکثر میزان واکنش (V_{max}) و در مواردی افزایش کشش سوبسترا نسبت به آنزیم (کاهش K_m) منجر می‌شود. در گیاهان مبتلا به کمبود پتاسیم، برخی تغییرات شیمیایی رخ می‌دهدکه در برگیرندهٔ انباشتگی قندهای محلول، کاهش میزان نشاسته و انباشتگی ترکیبات ازتی محلول است. تغییرات سوخت و سازی قندها می‌تواند ناشی از عدم وجود پتاسیم کافی برای فعالیت آنزیمهای تنظیم‌کننده مانند ۶-پیرووات کیناز و فسفو فروکتوکیناز باشد. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، فعالیت آنزیم سینتاز نشاسته نیز به کاتیون‌های یک ظرفیتی وابسته است که در میان آن‌ها پتاسیم از همه مؤثرتر است. این آنزیم، طبق رابطه زیر جابه‌جایی گلوکز را به مولکول‌های نشاسته کاتالیز می‌کند.

گلوگزیل − نشاسته+ ADG ⇌ نشاسته+ گلوکز- ADP

تحقیقات متعدد دیگر نشان داده است که پتاسیم آنزیم سینتاز نشاسته که از گونه‌ها و اندام‌های دیگر گیاهان نظیر برگ‌ها، دانه‌ها و غده‌ها جدا شده است را فعال می‌کند. غلظت پتاسیم مورد نیاز در این حالت، بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی مولار است. از طرف دیگر غلظت‌های بیشتر پتاسیم ممکن است اثرات بازدارنده داشته باشند و احتمالاً در گیاه سیب‌زمینی به کاهش میزان نشاسته در غده‌های سیب‌زمینی منجر شود (Marschner، ۱۹۹۵).

شکل ۲. اثر کاتیون‌های یک ظرفیتی (به صورت کلرور) بر فعالیت آنزیم ADP-گلوکز-سینتاز نشاسته گیاه ذرت (Marschner، ۱۹۹۵).

نقش کلیدی دیگر پتاسیم، فعال کردن آنزیم‌های ATPase چسبیده به غشاء است که به منیزیم نیاز دارند ولی وجود پتاسیم برای فعال شدن آن‌ها ضرورت دارد (شکل ۳). فعال شدن آنزیم‌های ATPase به وسیلهٔ پتاسیم، نه‌تنها باعث آسانی جابه‌جایی خود پتاسیم از محلول بیرونی از طریق غشای سیتوپلاسم به درون سلول‌های ریشه می‌شود، بلکه پتاسیم را نیز به‌عنوان عنصری اساسی در بزرگ شدن سلول و تنظیم اسمزی تبدیل می‌کند.

در بافت‌های گیاهانی که به کمبود پتاسیم مبتلا هستند، فعالیت برخی آنزیم‌های هیدرولیز کننده، نظیر بتا- گلوکوزیداز و یا اکسیدازها مانند پلی‌فنول‌اکسیداز، بسیار بیشتر از فعالیت آن‌ها در بافت‌های گیاهان بدون کمبود پتاسیم است. این تغییرات در فعالیت آنزیم ممکن است، به علت اثرات مستقیم و غیر مستقیم کمبود پتاسیم بر ساختمان آنزیم باشد. مثالی از اثرات غیر مستقیم کمبود، انباشتگی ماده‌ای به نام دو آمینوپوترسین در بافت‌های گیاهان مبتلا به کمبود پتاسیم است. آنزیم‌هایی که ساختن پوترسین را از آرژنین سبب می‌گردند، هنگامی فعال می‌شوندکه پ‌هاش سلول پایین است. با توجه به نقش برتر پتاسیم در نگهداری پ‌هاش بالا در سیتوپلاسم، به نظر می‌رسد که افزایش ساختن پوترسین، بازتابی از سازوکار تنظیم خود به خود پ‌هاش بالا در سیتوپلاسم باشد. در گیاهان مبتلا به کمبود پتاسیم، میزان پوترسین می‌تواند تا حدود ۳۰ درصد، نقش پتاسیم در تنظیم پ‌هاش را جبران کند.

۲-۴-۲- متابولسیم مواد هیدروکربن: گیاهان در ابتدای مبتلا شدن به کمبود پتاسیم معمولاً در انساج خود مقدار زیادی نشاسته و قند ذخیره می‌کنند ولی اگر شرایط کمبود برای مدت طولانی باقی بماند میزان هیدراتهای کربن در گیاه به مراتب کمتر از گیاهان بدون کمبود خواهد شد. تجمع مواد هیدروکربن در گیاه مبتلا به کمبود به آن علت است که مواد ساخته شده نمی‌توانند برای ساخت پروتئین جدید و یا انساج جدید گیاهی به کار روند. کم و زیاد شدن ذخیره هیدرات کربن در گیاهان مبتلا به کمبود با تغییرات تنفس و کربن‌گیری گیاه همگام است، یعنی

شکل ۳. اثر پ.هاش و منیزیم (غلظت ۳ میلی‌مولار و پتاسیم (۵۰ میلی‌مولار) بر فعالیت آنزیم ATP_{ase} غشاء سیتوپلاسمی ریشه ذرت (Marschner، ۱۹۹۵).

کم شدن مقدار هیدروکربن‌ها در گیاه مصادف با کم شدن کربن‌گیری یا تثبیت CO_2 و زیاد شدن تنفس است. ولی عوامل دیگری نیز در تولید و ذخیره هیدرات کربن مؤثرند. عامل اول اینکه، در گیاه رشد و نمو و فعالیت‌های حیاتی کاملاً بستگی به وضعیت قبلی گیاه دارد. اگر گیاهی چند درصد از سطح برگ خود را در روزهای اول رشد در نتیجه کمبود و یا بیماری از دست بدهد، به طور یقین مقدار قابل ملاحظه‌ای از تولید خود را از دست داده است. عامل دوم ریزش گیاهان مبتلا به کمبود است. برگ‌های پیر در این گیاهان به تدریج شروع به ریختن می‌کنند و در کمبود شدید تا حدود ۷۰ درصد برگ‌ها ممکن است خزان کنند. عامل سوم این است که کم شدن رشد و نمو گیاه باعث کم شدن ساخت هیدروکربن‌نیز می‌شود. در خاک‌های حاصلخیز حداکثر درصد قند ریشه در نتیجه افزایش مقدار پتاسیم تا حدی که بدست می‌آید برای رسیدن به حداکثر عملکرد محصول نیز لازم است، به دست می‌آید (Marschner، ۱۹۹۵).

۳-۴-۲- ساختن پروتئین : پتاسیم برای ساختن پروتئین در گیاهان عالی لازم است.پژوهشها نشان داده است در محیط‌های بدون سلول، جهت ساخت پروتئین به وسیلهٔ ریبوزوم‌هایی که از جوانه‌های گندم جدا شده‌اند، وجود غلظت معادل ۱۳۰ میلی‌مولار پتاسیم و در حدود ۲ میلی‌مولار منیزیم در محیط ضرورت دارد. در این مورداحتمال دارد که پتاسیم در چندین مرحله از فرآیند برگردان، مانند چسباندن RNA ناقل (tRNA) به ریبوزوم دخالت داشته باشد. در برگ‌های سبز، نیمی از RNA و پروتئین برگ، در کلروپلاست‌ها جا دارد. در گونه‌های گیاهی روز کوتاه (C_3) بخش عمدهٔ پروتئین کلروپلاست، آنزیم ریبولوزبیس فسفات کربوکسیلاز است. به این ترتیب، همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، هنگامی که کمبود پتاسیم وجود دارد، ساختن این آنزیم آسیب می‌بیند و نسبت به افزودن پتاسیم به سرعت پاسخ می‌دهد. حداکثر فعالیت هنگامی به دست آمده است که غلظت‌های پتاسیم در محلول محیط بیرون تا میزان یک میلی‌مولار پایین آمده بود. این

غلظت پتاسیم در محیط بیرون، به حدی کافی بود تا غلظت پتاسیم را در کلروپلاست‌ها در حدود ۱۰۰ بار بیشتر از آنچه که برای ساختن پروتئین لازم است، بالا نگه دارد.

جدول ۳. اثر پتاسیم بر ورود اسید آمینه لئوسین (C۱٤) به ساختمان آنزیم ریبولوزبیس فسفات کربوکسیلاز در برگ‌های گیاهان یونجهٔ مبتلا به کمبود پتاسیم *

غلظت نیترات پتاسیم در محلول پیش از آغاز آزمایش (میلی‌مولار)	مصرف لئوسین (۱۴C) (شمار ذرات صادر شده در دقیقه، بر حسب میلی‌گرم آنزیم× ۲٤ ساعت)
۰/۰	۹۹
۰/۰۱	۱۶۷
۰/۱۰	۳۲۰
۱/۰۰	۲۷۴
۱۰/۰۰	۵۲۶
شاهد	۶۵۶
(گیاهانی که به میزان کافی پتاسیم دارند)	

*برگ‌ها، قبلاً به مدت ۲۰ ساعت در معرض نور و در محلول‌های حاوی پتاسیم گذاشته شده بودند.

در گیاهان مبتلا به کمبود پتاسیم ازت به صورت ترکیبات محلول(غیر پروتئینی) نظیر اسیدهای آمینه، آمیدها و نیترات تجمع می‌یابد. گفته می‌شود پتاسیم نه‌تنها در فعال‌سازی بلکه احتمالا در ساخت آنزیم نیترات ریداکتاز ضروری است. این آنزیم در فرآیند احیاء نیترات جذب شده و تبدیل آن به آمونیوم جهت ساختن پروتئین لازم است.

۴-۴-۲- فتوسنتز : پتاسیم در سطوح گوناگون بر فتوسنتز گیاهان عالی اثر می‌گذارد که در این فرآیند، پتاسیم به عنوان یونی است که در جهت عکس جابه‌جایی پروتون از درون غشاء تیلاکوئید در نور حرکت می‌کند. حرکت پروتون در نور برای برقراری شیب پهاش در دو سوی غشا و ساختن ATP (فسفوریلاسیون نوری) همانند ساختن ATP در میتوکندری، لازم است.

شکل ٤. اثر پتاسیم بر تأثیر شدت نور و افزایش فتوسنتز در بادام‌زمینی.

نقش پتاسیم را در تثبیت CO_2 می‌توان به طور کاملاً آشکار در کلروپلاست‌های جدا شده نشان

داد (جدول ۴). افزایش غلظت پتاسیم در محیط بیرون به ۱۰۰ میلی‌مولار، یعنی به میزانی در حدود غلظت آن در سیتوپلاسم سلول‌های سالم، تثبیت CO_2 را تا سه برابر افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، والینومایسین که مادهٔ عبور دهنده پتاسیم است و غشاهای زنده را برای جابه‌جایی و خروج غیر فعال پتاسیم به صورت قابل نشت در می‌آورد، تثبیت CO_2 را به شدت کاهش می‌دهد. اثر والینومایسین را می‌توان با غلظت‌های زیاد پتاسیم در محیط بیرون جبران کرد.

جدول ٤. اثر پادزیست والینومایسین و پتاسیم بر میزان تثبیت CO_2 در کلروپلاست‌های سالم و جدا شدهٔ اسفناج

تیمار	میزان تثبیت CO_2 (میکرومول در میلی‌گرم کلروفیل در ساعت)	درصدنسبت به شاهد
شاهد	۲۳/۳	۱۰۰
۱میلی‌مول پتاسیم	۷۹/۲	۳۴۰
۱میکرومول والینومایسین	۱۱/۰	۴۷
(۱میکرومول والینومایسین +۱۰۰میلی‌مول پتاسیم)	۷۸/۴	۳۳۷

افزایش میزان نشت پتاسیم به خارج که به وسیلهٔ پادزیست‌ها رخ می‌دهد نیز باعث تغییراتی شدید در ساختمان ظریف کلروپلاست‌ها و پلاستیدها می‌شود واین دلیلی دیگر بر ضروری بودن پتاسیم برای سالم نگه داشتن پلاستیدها و نقش آن‌هاست. بر همین پایه، در غلظت‌های کمتر از غلظت مطلوب، میزان پتاسیم برگ‌ها با عوامل گوناگون دیگر که بر تثبیت و آزادسازی CO_2 تأثیر می‌گذارند همبستگی نزدیک دارند. افزایش میزان پتاسیم برگ با افزایش میزان فتوسنتز، تنفس نوری و فعالیت آنزیم ریبولوزبیس فسفات کربوکسیلاز و کاهش تنفس میتوکندری همراه است. افزایش میزان تنفس، یکی از آثار معمول ناشی از کمبود پتاسیم است. از جدول ۵ چنین برمی‌آید که پتاسیم نقش عمده خود در فتوسنتز برگ‌ها را از طریق تنظیم حرکت روزنه‌ها ایفا می‌کند (Marschner، ۱۹۹۵)

جدول ۵. رابطهٔ میان غلظت پتاسیم دربرگ‌ها، تثبیت و آزادسازی CO_2 و فعالیت آنزیم ریبولوزبیس فسفات کربوکسیلاز در یونجه

میزان پتاسیم برگ (میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	مقاومت روزنه (ثانیه در سانتی‌متر)	فتوسنتز (میلی‌گرم CO_2 دردسی‌متر مربع در ساعت)	فعالیت آنزیم ریبولوزبیس فسفات کربوکس‌ی‌لاز (میکرومول CO_2 در میلی‌گرم‌پروتئین‌درساعت)	تنفس نوری (شمار ذرات C_{14} صادر شده در دقیقه در دسی‌متر مربع)	تنفس میتوکندری (میلی‌گرم گاز کربنیک در سانتی‌متر مربع در ساعت)
۱۲/۸	۹/۳	۱۱/۹	۱/۸	۴/۰	۷/۶
۱۹/۸	۶/۸	۲۱/۷	۴/۵	۵/۹	۵/۳
۳۸/۴	۵/۹	۲۴/۰	۶/۱	۹/۰	۳/۱

۵-۴-۲- تنظیم اسمز: نظر داده‌اند که فشار اسمزی زیاد در استوانهٔ مرکزی ریشه‌ها برای جابه

جایی مواد در آوند چوبی و همچنین ایجاد فشار تورژسانس و موازنهٔ آب در گیاهان ضرورت است . در اصول، سازوکارهای مشابهی در سلول‌ها و در برخی بافت‌های کلیه گیاهان مسؤول بزرگ شدن سلول و انواع حرکت‌های گوناگون هستند. پتاسیم، به عنوان مهمترین ماده غیرآلی، نقشی کلیدی در این فرآیندها ایفاء می‌کند (Marschner، ۱۹۹۵).

۶-۴-۲- بزرگ شدن سلول: لازمهٔ بزرگ شدن سلول، تشکیل یک واکوئل بزرگ مرکزی است که ۸۰ تا ۹۰ درصد حجم سلول را اشغال می‌کند. دو نیاز عمده برای بزرگ شدن سلول وجود دارد، یکی افزایش کشش‌پذیری دیوارهٔ سلول که احتمالاً به وسیلهٔ آکسین (IAA) تحریک می‌شود، و دیگری انباشتگی مواد حل شده برای ایجاد پتانسیل اسمزی در درون سلول می‌باشد (شکل ۵).

شکل ۵. طرحی از نقش پتاسیم و دیگر مواد حل شده در بزرگ شدن سلول و تنظیم اسمز (علامت:= نشانهٔ پتاسیم، علامت ۱ نشانهٔ قندهای احیاء کننده و ساکارز و سدیم و علامت ،نشان دهندهٔآنیون‌های اسیدهای آلی).

امروزه به‌خوبی مشخص شده است که بزرگ شدن سلول عمدتاً به علت انباشتگی و تجمع پتاسیم در سلول‌ها صورت می‌گیرد که هم برای پایدار نگه داشتن پ‌هاش سیتوپلاسم و هم برای افزایش پتانسیل اسمزی در درون واکوئل لازم است. به عنوان مثال وجود پتاسیم کافی در لپه‌های خیار میزان بزرگ شدن آن‌ها را در برابر مصرف سیتوکینین حدود چهار برابر افزایش می‌دهد. به همین ترتیب بزرگ شدن سلول‌های برگ، با غلظت پتاسیم آن‌ها پیوند نزدیک دارد. در برگ‌های در حال رشد لوبیا که به کمبود پتاسیم مبتلا بودند، فشار تورژسانس، اندازهٔ سلول و سطح برگ به طور معنی‌داری از برگ‌های در حال رشد که میزان کافی پتاسیم داشتند، کمتر بود (Marschner، ۱۹۹۵).

همان‌طور که در جدول ۶ نشان داده شده است، طویل شدن ساقه به وسیلهٔ اسید جیبرلیک، به میزان مصرف پتاسیم نیز بستگی دارد. پتاسیم و اسید جیبرلیک اثر یکدیگر را تقویت می‌کنند و بیشترین میزان طویل شدن هنگامی به دست می‌آید که اسید جیبرلیک و پتاسیم، باهم مصرف شوند. نشان داده شده در جدول ۶ نشان می‌دهند که پتاسیم و قندهای احیاء کننده، در ایجاد پتانسیل فشاری که برای بزرگ شدن سلول لازم است، به صورت مکمل یکدیگر عمل می‌کنند. این اطلاعات و دیگر اطلاعات حاصل از سایر تحقیقات انجام شده، این نظریه را که پتاسیم اغلب همراه باآنیون‌های اسیدهای آلی، ترکیب عمدهٔ مورد لزوم در واکوئل‌ها برای بزرگ شدن سلول را تشکیل می‌دهند، قویاً تائید می‌کنند. به هر حال از آن پس برای نگهداری فشار تورژسانس، پتاسیم می‌تواند

در واکوئل، به وسیلهٔ دیگر مواد حل شده، مانند قندهای احیاء کننده، جایگزین گردد(شکل ۶).

جدول ٦. اثرات پتاسیم و اسید جیبرلیک(GA) برطول گیاه و غلظت‌های قندها و پتاسیم در بخش‌های هوایی گیاه آفتابگردان

غلظت (میکرومول در گرم وزن تر)			ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	تیمار	
پتاسیم	ساکارز	قندهای احیاء کننده		اسید جیبرلیک (میلی‌گرم در لیتر)	کلرورپتاسیم (میلی‌مول)
۱۰/۲	۵/۰	۱۹/۱	۷/۰	۰	۰/۵
۱۳/۲	۵/۴	۳۸/۵	۱۸/۵	۱۰۰	۰/۵
۸۶/۵	۴/۱	۴/۶	۱۱/۵	۰	۵/۰
۷۷/۸	۲/۵	۸/۴	۲۶/۰	۱۰۰	۵/۰

۷-۴-۲- تقسیم سلولی و رشد: رشد و نمو سریع گیاه نیاز به پتاسیم کافی دارد. وقتی پتاسیم خاک برای رشد و نمو گیاه کافی نباشد این عنصر از برگ‌های پیر به برگ‌های جوان انتقال داده می‌شود و از آنجا به نقاط رویندە یا مریستمی می‌رود. میزان پتاسیم در بافت‌های مریستمی نسبت به سایر نقاط بیشتر است. وقتی جوانه رشد خود را انجام می‌داد، پتاسیم از آن خارج و در جوانهٔ سال بعد جمع می‌شود. در نتیجه کمبود پتاسیم تقسیم سلولی و رشد گیاه متوقف می‌شود. تأثیر پتاسیم در رشد به این دلیل قطعیت دارد که این عنصر در ساخت هیدروکربنها و پروتئین نقش مؤثری دارد و از طرفی در قسمت عمده فعالیت‌های سلولی سهمی به عهده این عنصر است. شکل ۶ میزان رشد ریشه، سنتز پروتئین و تغییر غلظت برخی عناصر در گیاه در نتیجه مصرف پتاسیم را نشان می‌دهد.

شکل ٦. اثرات مصرف پتاسیم بر رشد و تغییرات برخی عناصر و ترکیبات آلی درگیاهان.

۸-۴-۲- باز و بسته شدن روزنه‌ها: در بیشتر گونه‌های گیاهی، پتاسیم نقش عمده‌ای را در تغییرات فشار تورژسانس درون سلول‌های روزنه به‌عهده دارد. افزایش غلظت پتاسیم در سلول‌های روزنه به جذب آب از سلول‌های پیرامون و به همراه آن، افزایش فشار تورژسانس سلول‌های روزنه و در نتیجه به باز شدن روزنه‌ها منجر می‌شود. در جدول ۷ برخی شاخص‌های کمّی برای سلول‌های روزنهٔ

باقلا در ارتباط با غلظت پتاسیم، نشان داده شده است.

جدول ۷. رابطهٔ میان قطر روزنه و ویژگی‌های سلول‌های روزنهٔ گیاه باقلا (Marschner، ۱۹۹۵)

میزان در سلول‌های روزنه				
فشار اسمزی سلول روزنه (بار)	حجم سلول روزنه (۱۲-۱۰ لیتر در سلول‌های روزنه)	(۱۴-۱۰گرم اکی والان گرم)		قطر روزنه (میکرومتر)
		کلر	پتاسیم	
۳۵	۴/۸	۲۲	۴۲۴	روزنه‌های باز ۱۲
۱۹	۲/۶	۰	۲۰	روزنه‌های بسته ۲

بسته شدن روزنه‌ها در تاریکی با خروج پتاسیم و کاهش فشار اسمزی سلول‌های روزنه در ارتباط است. اسید آبسیسیک از باز شدن روزنه‌ها جلوگیری می‌کند و یا بسته شدن سریع روزنه‌ها را تحریک می‌کند. این اثر اسید آبسیسیک، به طور عمده از طریق تسریع خروج پتاسیم از سلول‌های روزنه انجام می‌پذیرد. تجمع پتاسیم در سلول‌های روزنه که به وسیلهٔ نور تحریک می‌شود به کمک یک پمپ خروج پروتون انجام می‌گیرد که به غشاء چسبیده است. انرژی لازم برای پمپ ATPase از طریق انجام فسفوریلاسیون نوری در کلروپلاست‌های سلول‌های روزنه‌فراهم می‌شود. تجمع پتاسیم در سلول‌های روزنه به وسیلهٔآنیون‌ها و به طور عمده توسط مالات و یا کلر بسته به گونهٔ گیاه و میزان فراهم بودن یون کلر در محیط موازنه می‌شود. مالات در درون سلول‌های روزنه از طریق آنزیم PEP کربوکسیلاز ساخته می‌شود (شکل ۷).

شکل ۷. نحوهٔ تجمع پتاسیم در واکوئل سلول‌های روزنه در چرخه اسید مالیک - مالات (Marschner، ۱۹۹۵).

مادهٔ سه کربنی (C_3) که برای ساختن مالات لازم است، از تجزیهٔ نشاستهٔ موجود در درون کلروپلاست‌های سلول‌های روزنه فراهم می‌شود. در گونه‌هایی از گیاهان مانند پیازکه کلروپلاست‌های سلول‌های روزنهٔ آن‌ها بدون نشاسته هستند، ممکن است نقش کلر به عنوان یون همراه پتاسیم برای تنظیم حرکات روزنهای دارای اهمیت اساسی باشد (خلدبرین و اسلام‌زاده، ۱۳۸۰).

۹-۴-۲- حرکت‌های شبانه‌روزی و تماسی برگ‌ها: پتاسیم در کلیه حرکاتی که در سلول و یا اندام‌های گیاه به وسیلهٔ تورژسانس تنظیم می‌شود، دارای نقش کلیدی است. در شمار زیادی

از گونه‌های گیاهی مانند لوبیا و اقاقیا، حرکت‌های شبانه‌روزی در برگ‌ها مشاهده می‌شود. در این گیاهان برگ‌ها هنگام روز باز و در شب بسته می‌شوند. حرکت برگ با تغییرات فشار تورژسانس از طریق ورود و خروج پتاسیم به بافت‌هایی ویژه به نام اندام‌های موتوری (Pulivni) صورت می‌گیرد. حرکت فعال پتاسیم به درون سلول‌های موتور که در سمت پایین جا دارند، باعث باز شدن برگ‌ها و برعکس آن یعنی خروج پتاسیم از سلول‌های موتور باعث بسته شدن برگ‌ها می‌شود. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد نظیر آنچه در سلول‌های روزنه رخ می‌دهد، جریان پتاسیم به درون سلول‌های موتور نیز به وسیله پمپ پروتون انجام می‌گیرد و در این رابطه کلر به عنوان عمده‌ترین آنیون همراه عمل می‌کند. ساکازوکاری مشابه حرکات برگی مسؤول واکنش‌های تماسی در برگ‌های نوعی گیاه حساس به تحریکات مکانیکی (*Mimosa puddica*) است. در این گیاه پاسخ به تحریک‌های مکانیکی از طریق جمع شدن برگچه‌ها در مدت چند ثانیه صورت می‌گیرد و پس از حدود ۳۰ دقیقه برگچه‌ها دوباره باز می‌شوند. این واکنش که به وسیلهٔ تورژسانس تنظیم می‌شود، به علت توزیع دوبارهٔ پتاسیم در درون سلول‌های موتور و دقیقاً مشابه فرآیندی انجام می‌گیرد که مسؤول حرکت‌های شبانه روزی برگ‌ها است. حرکت برگچه‌ها در گیاهان حساس با جابه‌جا شدن و یا تغییر در غلظت کلسیم در سلول‌های موتور نیز مرتبط می‌باشد که این تغییر حالت کلسیم، به احتمال زیاد عاملی است که بر تراوایی غشای سلول‌های موتور نسبت به پتاسیم اثر می‌گذارد.

۱۰-۴-۲- انتقال مواد در آوندهای آبکش: غلظت‌های زیاد پتاسیم در لوله‌های غربالی احتمالاًبه سازوکار ورود ساکارز به درون آوند آبکشی مربوط می‌شود. به هر حال، علاوه بر وجود دیدگاه‌های مربوط به جفت بودن جابه‌جایی ساکارز و پتاسیم به درون لوله‌های غربالی که نقش پتاسیم را در کمک به جابه جایی مواد در آوند آبکشی آشکار می‌سازد. امروزه، کاملاً ثابت شده است که پتاسیم در کل به ایجاد فشار اسمزی در لوله‌های غربالی و در نتیجه به جریان مواد ساخته شده در فتوسنتز از منبع به مخزن کمک زیادی می‌کند. در گیاهان لگوم وقتی که گیاهان دارای مقدار کافی پتاسیم هستند، در مقایسه با گیاهان دچار کمبود پتاسیم گره‌ها میزان زیادی قند دارند که به همراه آن، میزان تثبیت ازت در آن‌ها و نیز خروج ازت تثبیت شده افزایش می‌یابد. افزون براین، در گیاهانی که به میزان کافی پتاسیم دریافت کرده‌اند، بخش بسیار زیادی از مواد آلی ساخته شده در فتوسنتز که به وسیلهٔ کربن ۱۴ نشاندار شده‌اند، از برگ‌ها به اندام‌های ذخیره‌کننده، مانند غده‌های سیب‌زمینی و یا به بافت ذخیره ساقه نظیر نیشکر جا به جا می‌شوند. جدول ۸ اثرات مصرف پتاسیم در گیاه نیشکر بر جابه‌جایی مواد ساخته شده در فتوسنتز پس از مصرف گازکربنیک با کربن نشاندار توسط پهنک برگ را نشان می‌دهد. چنانکه اعداد جدول نشان می‌دهند کمبود پتاسیم خروج مواد آلی ساخته شده را از برگ کاهش می‌دهد.

نحوه تأثیر کمبود پتاسیم در برگ‌ها بر کاهش خروج مواد آلی ساخته شده در فتوسنتز که با کربن ۱۴ نشاندار شده‌اند، ممکن است به چند عامل مربوط شود. این عوامل عبارت از نیاز بیشتر برگ‌ها به قند برای تنظیم اسمز، کمتر بودن میزان ساخت ساکارز، پایین بودن میزان بارگیری (Lading) آوند آبکشی و میزان جریان ساکارز در لوله‌های غربالی و آسیب دیدن سازوکار عبور ساکارز از درون غشای واکوئل سلول‌های ذخیره در بافت مخزن می‌باشد.

جدول ۸. اثر وضعیت غذایی پتاسیم گیاه نیشکر بر جابه‌جائی مواد ساخته شده در فتوسنتز که به وسیلهٔ کربن۱٤ نشاندار شده‌اند(Marschner، ۱۹۹۵)

بخش‌های گیاه	توزیع کربن ۱۴ (درصد)			
	۴ ساعت		۹۰دقیقه	
	-پتاسیم	+پتاسیم	-پتاسیم	+پتاسیم
پهنک دریافت کنندهٔ کربن ۱۴	۳۷/۹	۴۶/۷	۹۵/۴	۵۴/۳
غلاف پهنک دریافت کنندهٔ کربن ۱۴	۸/۰	۶/۸	۳/۹	۱۴/۲
مفصل برگ دریافت‌کنندهٔ کربن ۱۴و برگ‌ها و مفصل‌های بالای برگ دریافت‌کنندهٔ کربن ۱۴	۱۳/۶	۱۷/۰	۰/۷	۱۱/۶
ساقه‌های پائین برگ دریافت‌کنندهٔ کربن ۱۴	۴/۶	۲۹/۵	کمتر از ۰/۱	۲۰/۱

۱۱-۴-۲- موازنه آنیون-کاتیون: از دیدگاه موازنه بارالکتریکی، پتاسیم برای موازنهٔآنیون‌های غیر متحرک در سیتوپلاسم و در موارد دیگر برای موازنهٔآنیون‌های متحرک در درون واکوئل‌ها و نیز در آوند چوبی و آبکشی، کاتیونی عمده و مهم به‌شمار می‌رود. این نظر که «پتاسیم کاتیونی برایآنیون‌هاست»، اگرچه به اندازهٔ کافی نقش فعال پتاسیم را در موازنهٔ کاتیون - آنیون بیان نمی‌کند، اما تا اندازهٔ زیادی صحیح است. نقش پتاسیم در موازنهٔ کاتیون– آنیون در فرآیند سوخت و ساز نیترات نیز مهم است که در آن پتاسیم، اغلب یون عمده‌ای است که همراه نیترات در جابه‌جایی بلند مسافت (Long distance) در آوند چوبی و نیز برای ذخیره در واکوئل‌ها دخالت دارد. پس از احیاء نیترات در برگ‌ها، لازم است پتاسیم موجود از طریق ساخته شدن اسیدهای آلی از نظر بار الکتریکی موازنه شود. بخشی از این پتاسیم-مالات ساخته شده به این منظور، ممکن است دوباره به ریشه‌ها جابه جا شود تا از پتاسیم مجدداً به عنوان یون همراه نیترات در سلول‌های ریشه و برای جابه‌جایی در درون آوند چوبی بهره‌گیری شود. ممکن است این چرخش دوبارهٔ پتاسیم در لگوم‌های گره‌دار(بقولات) نقشی مشابه در جابه جایی اسیدهای آمینه در آوند چوبی داشته باشد (Marschner، ۱۹۹۵).

۱۲-۴-۲- افزایش کارایی مصرف آب: عکس‌العمل گیاه در مقابل پتاسیم می‌تواند مستقیم یا غیر مستقیم باشد. در مورد اثرات مستقیم پتاسیم در افزایش کارایی آب می‌توان از کاهش تعریق، افزایش جذب آب و یا به وجود آوردن شرایط مناسب داخلی گیاه برای مقاومت به خشکی نام برد. اثرات غیر مستقیم وقتی اتفاق می‌افتد که مصرف پتاسیم هیچ‌گونه ارزشی در روابط آب

شکل ۸. نقش پتاسیم در انتقال نیترات از ریشه تا ساقه گیاه (Marschner، ۱۹۹۵).

و گیاه ندارد ولی به واسطه بهبود شرایط رشد گیاه باعث افزایش عملکرد می‌شود. در این صورت مقدار آبی که برای تولید هر واحد ماده خشک لازم است کم می‌شود و بدین ترتیب کارآیی آب افزایش می یابد. سالاردینی (۱۳۷۷) در یک آزمایش درصد رطوبت برگ‌های نیشکر را که در خاک‌هایی با مقادیر مختلف پتاسیم کشت شده بودند، اندازه‌گیری نمود. نتایج حاصل نشان داد که هرچه درصد پتاسیم برگ‌ها کمتر باشد میزان آبی که در خود نگه می‌دارند نیز کمتر می‌شود. آبگیری پرتوپلاسم و افزایش آن در اثر وجود پتاسیم کافی در گیاه در طراوت برگ‌ها نیز مؤثر است. آبگیری پرتوپلاسم به جذب آب توسط کلوئیدهای آب دوست پروتوپلاسم گفته می‌شود. برای آزاد کردن این آب نیاز به مصرف انرژی خارجی زیادی است و بین این آب و آبی که با نیروی اسمز نگهداری می‌شود تفاوت زیادی است.

شکل ۹. اثر درصد پتاسیم برگ در مقدار آب ذخیره شده در برگ تازه نیشکر در دو مرحله متفاوت رشد (سالاردینی، ۱۳۷۱).

سالاردینی (۱۳۷۱) به نقل از منابع مورد بررسی دلیل اثر پتاسیم در صرفه جویی آب را در درجه اول تقلیل ضریب تعرق می‌داند ولی در عین حال این عنصر را مسئول تنظیم فشار اسمزی داخل سلول می‌داند. علاوه بر این پتاسیم می‌تواند شیب اسمزی مناسبی بین خاک و گیاه از یک طرف و بین قسمت‌های مختلف بافت‌های آوندی از طرف دیگر به وجود آورد تا جذب و هدایت آب به خوبی صورت گیرد. Marschner (۱۹۹۵) گزارش نمود هنگامی که میزان آب خاک محدود می‌شود، از دست رفتن فشار تورژسانس و پژمردگی زود هنگام از نشانه‌های آشکار کمبود پتاسیم است. این محقق پایین بودن پایداری در شرایط کم‌آبی را در گیاهان مبتلا به کمبود پتاسیم، به طور عمده به موارد زیر مربوط دانسته است:

- نقش پتاسیم در تنظیم حرکت روزنه‌ها که سازوکاری عمده در مهار و جلوگیری از اتلاف آب در گیاهان عالی است.
- نقش پتاسیم، به‌عنوان مادهٔ اسمزی عمده در واکوئل که حتی در شرایط خشکی نیز آب را به میزان زیاد در بافت نگه می‌دارد.
- بیشتر بودن میزان اسید آمینه پرولین در گیاهانی که به میزان زیاد پتاسیم دریافت کرده‌اند به ویژه در واکنش به کم آبی در مقایسه با گیاهان که به کمبود پتاسیم مبتلا هستند، ممکن است از دیگر جنبه‌های مثبت پتاسیم ایجاد پایداری نسبت به خشکی باشد.

۱۳-۴-۲- افزایش مقاومت به سرمازدگی: گیاهانی که به اندازهٔ کافی پتاسیم دریافت نکرده‌اند، اغلب به سرمازدگی حساس‌تر هستندکه این به کمبود آب در سلول مربوط می‌شود. نمونهای دربارهٔ این اثر، در جدول ۹ نشان داده شده است. دامنهٔ سرمازدگی، دست کم هنگامی که افزایش میزان پتاسیم به خاک با افزایش عملکرد گیاه همبستگی دارد، با میزان پتاسیم برگ‌ها نسبت عکس دارد. بنابراین، کافی نبودن میزان پتاسیم، عاملی است که به افزایش خطر سرمازدگی منجر می‌شود.

جدول ۹. رابطهٔ میان میزان مصرف پتاسیم، عملکرد غده، پتاسیم موجود در برگ‌ها و درصد آسیب‌دیدگی برگ‌ها در اثر سرما در گیاه سیب‌زمینی (Marschner ، ۱۹۹۵)

درصد برگ‌هایی که به وسیلهٔ سرما آسیب‌دیده‌اند	میزان پتاسیم برگ‌ها (میلی‌گرم‌درگرم‌وزن خشک)	عملکرد غده (تن در هکتار)	مصرف پتاسیم (کیلوگرم‌در هکتار)
۳۰	۲۴/۴	۲/۳۹	۰
۱۶	۲۷/۶	۲/۷۲	۴۲
۷	۳۰/۰	۲/۸۷	۸۴

۱۴-۴-۲- افزایش مقاومت به خشکی : آب به عنوان یکی از اساسی‌ترین نیازهای حیاتی گیاهان است به طوری که هنگام الویت‌بندی عوامل مؤثر بر رشد گیاه، هم از نظر کمیت و هم

از نظر کیفیت در درجه اول اهمیت قرار می‌گیرد. آرمانی‌ترین شرایط از نظر رطوبتی برای اکثر گیاهان زراعی حفظ رطوبت خاک در دامنه حد ظرفیت مزرعه (FC) تا حد تخلیه رطوبتی خاک یعنی ۵۰ درصد آب سهل‌الوصول می‌باشد. بدیهی است در رطوبتهای بیش از ظرفیت مزرعه، گیاه با مشکلات تهویه‌ای روبرو خواهد شد و در رطوبتهای کمتر از حد مجاز تخلیه رطوبتی نیز که البته برای گیاهان مختلف تا حدی متفاوت است، گیاه دچار تنش خشکی گردیده و بسته به شدت تنش میزان رشد و عملکرد آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در عرصه مزارع ایجاد تنش خشکی، حداقل در مرحله‌ای از رشد برای گیاهان به‌دلایل مختلفی روی می‌دهد که از آن جمله عدم تناسب سطح زیر کشت با میزان آب در اختیار یا همپوشانی مرحلهٔ پایانی رشد یک گیاه زراعی با مرحلهٔ شروع رشد گیاه دیگر در یک مزرعه که از یک منبع محدود آب مشروب می‌شوند، می‌باشد که در این حالت ایجاد تنش خشکی برای یک یا هر دو گیاه در مرحله‌ای از رشد را امری اجتناب ناپذیری می‌نماید. مثال بارز این امر همزمان بودن مراحل گلدهی به بعد گندم با کشت صیفی‌جات و اختصاص قسمتی از آب مورد نیاز گندم به آن‌ها می‌باشد. در این شرایط بهره‌گیری از عوامل بهنژادی و به زراعی می‌تـواند به عنوان مهمترین راهکارهای مقابله با این تنش‌های اجتناب ناپذیر در گیاه به حساب آید. در بحث مربوط به عوامل بهنژادی معرفی ارقام مقاوم به خشکی از طریق اصلاح نبات به‌گونه‌ای که از نظر فیزیولوژیکی و یا از نظر مرفولوژیکی دارای ژنها و یا صفات مقاوم به خشکی باشند، رویکردی بسیار مهم است که خوشبخانه امروزه با توجه به محدودیت منابع آب در جهان و لزوم افزایش کارآیی مصرف آب این امر مورد توجه متخصصین علم بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات قرار گرفته است. توجه به عوامل به زراعی نیز از جمله روش‌های افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی است که نقش عوامل تغذیه‌ای و بخصوص تغذیه پتاسیمی در این رابطه بسیار مهم است. گیاه به عنوان یک موجود زنده هنگام مواجهه با کم آبی سعی می‌کند با انجام سازوکارهایی خود را با شرایط جدید تطبیق داده و حداقل زیان را تحت شرایط موجود متحمل شود. لکن این حد تحمل به شدت به شرایط داخل گیاه بستگی دارد. از جمله این سازوکارها افزایش فشار اسمزی و کاهش پتانسیل آب از طریق در سلولهای ریشه می‌باشد. که لازمهٔ آن جذب و انباشته نمودن اسیدهای آلی و املاح در سلولهای ریشه بطریق فعال و با مصرف انرژی می‌باشد. پتاسیم یکی از کاتیون‌های مهم در فرآیند افزایش فشار اسمزی و افزایش جذب آب توسط ریشه است. چرا که تجمع پتاسیم بطور نسبی در مقایسه با سایر کاتیون‌ها سمیت کمتری برای سلولهای گیاه بدنبال دارد. از طرف دیگر پتاسیم به عنوان فراوانترین کاتیون در سلولهای محافظ روزنه بوده و عملاً باز وبسته شدن آن‌ها از طریق ورود و خروج پتاسیم به این سلولها صورت می‌گیرد. در شرایط کم آبی، وجود پتاسیم کافی در گیاه، حساسیت روزنه به بسته شدن و کاهش تلفات آب افزایش می‌یابد. بدیهی است در شرایط کمبود پتاسیم روزنه‌ها از حساسیت کافی برخوردار نبوده و ممکن است در بحرانی‌ترین شرایط از نظر کم‌آبی نیز بطور کامل بسته نشوند. از طرف دیگر جذب املاح و

به‌ویژه پتاسیم به منظور افزایش فشار اسمزی سلولهای ریشه فرآیندی انرژی خواه است . منبع این انرژی فتوسنتز می‌باشد که پتاسیم در آن نقش دارد. کمبود پتاسیم در گیاه باعث کاهش فتوسنتز و مواجهه گیاه و سلولهای ریشه با کمبود انرژی گردیده و بنابراین گیاه توانایی افزایش فشاراسمزی به میزان لازم را نداشته و درنتیجهٔ آن مقاومت گیاه به کم آبی کاهش می‌یابد. با عنایت به توضیحات فوق می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که مصرف تجملی پتاسیم و افزایش غلظت پتاسیم قابل جذب در خاک تاحدی که منجر به ایجاد اثرات متقابل منفی (Antagonistic) برای سایر عناصر غذایی نظیر کلسیم و منیزیم در خاک نگردد، وضعیتی مفید به نظر می‌رسد.

۱۵-۴-۲- افزایش مقاومت به شوری: شور شدن تدریجی و کاهش کیفیت منابع خاک و آب به عنوان یکی از چالش‌های اساسی در بخش کشاورزی کشور به شمار می‌رود . استفاده از علم مدیریت پایدار اراضی رویکردی اساسی جهت حفظ کیفیت این منابع پایه یعنی آب و خاک می‌باشد. در هر صورت وجود آب و خاک شور در بخش وسیعی از مناطق کشور یک واقعیت بوده و به عنوان یک محدودیت اجتناب ناپذیر تلقی می‌شود. لازمهٔ استفاده بهینه از اینگونه منابع استفاده از علوم بهنژادی و بهزراعی می‌باشد که در بحث مربوط به عوامل بهنژادی بطور عمده استفاده از ارقام مقاوم به شوری در نظر است و در عوامل بهزراعی نیز انتخاب روش‌های مناسب کشت، مدیریت صحیح آبیاری از نظر دور و مقدار آب و لحاظ نمودن برخهٔ آبشویی جهت حفظ اصل توازن نمک و کنترل شوری خاک در حد تحمل گیاه، انجام تغذیه متعادل از جمله عوامل مهم به‌شمار می‌روند. نقش تغذیه گیاه در شرایط شور از نظر میزان تحمل گیاه به شرایط شور و داشتن رشد مطلوب و عملکرد رضایتبخش، نقشی ویژه است به‌طوری که گفته می‌شود در بسیاری از حالات نیاز کودی گیاهان در شرایط شور نسبت به شرایط غیر شور بیشتر است (درودی و سیادت، ۱۳۷۸) اگر چه نتایج تحقیقات در این زمینه متناقص است. از میان عوامل تغذیه‌ای، پتاسیم می‌تواند نقش مهمی در افزایش مقاومت به شوری در بسیاری از گیاهان ایفا کند. شوری در واقع نوعی خشکی فیزیولوژیکی (Physiologial drought) به حساب می‌آید و از این نظر تمام اثرات مثبت پتاسیم که در مبحث افزایش مقاومت گیاهان به خشکی در اثر وجود پتاسیم کافی و یا حتی مصرف تجملی آن گفته شد در اینجا نیز صادق است به علاوه اینکه در شرایط شور نسبت به شرایط غیر شور غلظت سدیم در محیط ریشه بیشتر است و بالابودن نسبی غلظت سدیم نسبت به پتاسیم سبب می‌شود تا جایگاههای اتصال مربوط به حاملهای غیر اختصاصی پتاسیم عمدتاً توسط سدیم اشغال شده و جذب پتاسیم کاهش یابد و در نهایت گیاه با کمبود پتاسیم مواجه شود. طبیعی است در این شرایط فتوسنتز به عنوان تنها منبع تأمین انرژی لازم برای جذب آب و سایر عناصر غذایی کاهش می‌یابد و به این طریق حساسیت گیاه و کاهش رشد آن در اثر کمبود پتاسیم بیشتر متأثر می‌شود. بنابراین

به نظر می‌رسد در شرایط شور بایستی از طریق مصرف کودهای پتاسیمی، پتاسیم قابل جذب بیشتری را در محیط ریشه نسبت به شرایط غیر شور برای گیاه فراهم نمود.

۱۶-۴-۲- افزایش مقاومت به بیماری: پتاسیم، نه تنها از طریق افزایش فرآیندهای سوخت و سازی و رشد گیاه بر تولید محصول تأثیر می‌گذارد، بلکه در افزایش مقاومت نسبت به بعضی از بیماری‌ها در بسیاری از گونه‌های گیاهی از اهمیت زیادی برخوردار است. در گندم که از پتاسیم بیشتری برخوردار بوده‌اند، موارد کمتری از بروز سفیدک حقیقی دیده شده است. برخی از بیماری‌های مربوط به گیاهان دیگر، در بوته‌هایی که به خوبی از پتاسیم برخوردارند، کمتر بروز می‌کند این بیماری‌ها عبارت‌اند از بیماری لکهٔ قهوه‌ای برنج در اثر اوفیوبولوسمیابئانوس، بیماری زنگ قهوه‌ای در جو در اثر پوکسینیا هوردی و پژمردگی فوزاریوم در موز که در اثر فوزاریوم اوکزیسپوروم بروز می‌کند. طبق بررسیهای انجام شده، درختان جنگلی که به قدر کافی پتاسیم در اختیار دارند به بیماری‌های قارچی نیز مقاومترند. ماهیت عمل پتاسیم در کنترل شدت بیماری‌های گیاهی هنوز بخوبی مشخص نشده است. علت این وضع احتمالاً تا حدودی مربوط به تأثیری است که پتاسیم در به وجود آمدن دیوارهٔ سلولی ضخیم‌تر در سلولهای اپیدرمی داردکه بدین ترتیب از حملهٔ عامل بیماری‌زا جلوگیری می‌کند. به علاوه همان‌طور که پیش از این ذکر شد فعالیتهای سوخت و سازی در گیاه بسیار تحت تأثیر پتاسیم است. بنابراین امکان دارد که تغییرات در متابولیسم و تجمع ترکیبات حد واسط نظیر ترکیبات ازته محلول و نشت آن‌ها به بیرون از گیاه که در نتیجهٔ کمبود پتاسیم در گیاه بوجود می‌آید برای برخی از عوامل بیماریزا و حتی آفات مطلوب باشد.

شکل ۱۰. اثرات مصرف پتاسیم بر عملکرد دانه برنج و میزان بروز بیماری قارچی پوسیدگی ساقه برنج (خلد برین و اسلام‌زاده، ۱۳۸۰).

در تعداد بی‌شماری از بیماری‌های گیاهی مشاهده شده است که افزایش ازت باعث حساسیت بیشتر گیاه به بیماری می‌شود در صورتی که اثر پتاسیم کاملاً برعکس ازت می‌باشد. اثرات مفید پتاسیم در ایجاد مقاومت در گیاهان هیچ گونه ارتباطی با خاصیت قارچ‌کشی و سمیت این عنصر برای عامل بیماری ندارد، چون به هرحال پتاسیم درغلظتی که در گیاه موجود است

هیچ‌گونه خاصیت قارچ کشی ندارد و سمیتی نیز برای گیاه ایجاد نمی‌کند. ولی پتاسیم کافی در گیاه شرایط را برای آلودگی گیاه نامناسب کرده و مانع توسعه بیماری بعد از آلودگی می‌شود. این موضوع در مورد حساسیت غلات، پنبه و بیشتر گیاهان باغبانی صادق است. در سیب‌زمینی افزایش پتاسیم باعث تولید اسید آمینهای به نام آرژنین می‌شود. هرچه میزان این اسید آمینه بیشتر باشد، جوانه زدن اسپور قارچ فیتوفترا که باعث بوته‌میری شدید سیب‌زمینی می‌شود کمتر خواهد شد. تغییراتی که هنگام کمبود پتاسیم در فعالیت آنزیم‌ها و مواد آلی انجام می‌گیرند، بخشی از افزایش میزان حساسیت گیاهان، نسبت به آلودگی قارچی را شامل می‌شود.

جدول ۱۰. اثر افزودن غلظت‌های ازت و پتاسیم در غده‌های سیب‌زمینی بر ترکیب و کیفیت غده‌ها (Marschner، ۱۹۹۵)

نوع بیماری	عامل بیماری	میزان ازت		میزان پتاسیم	
		کم	زیاد	کم	زیاد
ناشی از انگل‌های اجباری					
بیماری‌های زنگ	Puccinia spp.	+	+++	++++	+
سفیدک پودری	Ery siphe graminis	+	+++	++++	+
ناشی از انگل‌های اختیاری					
لکه موجی		+++	+	++++	+
پلاسیدگی و پوسیدگی		+++	+	++++	+

۱۷-۴-۲- افزایش مقاومت به آفات: در گیاهان مبتلا به کمبود پتاسیم، فعالیت‌های سوخت و سازی نظیر ساخت پروتئین و متابولیسم هیدروکربنها دچار اختلال گردیده و در نتیجه هیدروکربنها و برخی ترکیبات حد واسط نظیر ترکیبات ازته محلول در بافت‌های گیاهی تجمع می‌یابد و از طرف دیگر کمبود پتاسیم دیواره سلولی را نسبت به خروج مواد فوق، نشت‌پذیر نموده و بدین ترتیب شرایط مناسب برای حمله آفات به وجود می‌آید. در صورت وجود پتاسیم کافی و عدم وجود ترکیبات حد واسط و عدم نشت آن‌ها به محیط، شدت حمله و خسارت آفات نیز کمتر خواهد بود. اثر غیر مستقیم وجود پتاسیم کافی و کاهش خسارت آفات به این مسئله مربوط می‌شود که در شرایط مناسب از نظر تغذیه پتاسیمی، فتوسنتز و فعالیت‌های متابولیسمی و در نتیجه رشد و عملکرد گیاه بیشتر بوده و حتی در شرایط حمله آفات، گیاه تا حدی قادر خواهد بود علی‌رغم خسارت ناشی از آفت، محصول کافی را تولید کند.

۱۸-۴-۲- افزایش مقاومت به خوابیدگی غلات: یکی از بیماری‌های غیر پارازیتی غلات را که پتاسیم با آن رابطه‌ای مستقیم دارد می‌توان خوابیدن غلات یا ورس دانست. وقتی گیاهی از خانواده غلات در شرایط کمبود پتاسیم کشت شود، میزان بافت اسکلرانشیم که در واقع بافت چوبی و ستون ساقه است، در ساقه آن کم می‌شود و سلول‌های ساقه دارای دیوارهٔ نازک و نرم خواهند بود. این تغییرات باعث می‌شود که مقاومت دیواره گیاه مبتلا به کمبود کاهش یابد.

در یک مطالعه برروی ذرت، کم شدن بافت‌های اسکلرا نشیم زیر اپیدرمی و نازک شدن دیواره آوندهای چوبی را دراز کمبود پتاسیم مشاهده نمودند. این تغییرات قبل از بروز علائم ظاهری کمبود در گیاه یعنی گرسنگی پنهان در برش‌های میکروسکپی قابل رؤیت است.

در ذرت هر گاه خاک از نظر مقدار پتاسیم به نسبت سایر مواد غذایی کمتر باشد به عبارت دیگر تعادل تغذیه‌ای به ویژه از نظر پتاسیم وجود نداشته باشد، پوسیدگی ساقه و خوابیدگی بوته معمولاً شدیدتر است. در برنج مقاومت به خوابیدن در نتیجه افزایش پتاسیم و در اثر تولید مقدار بیشتری سلولز و همی سلولز در ساقه ایجاد می‌شود. ازت معمولاً مقدار نسبی این ترکیبات را کاهش می‌دهد. تأثیر پتاسیم در مقاومت به خوابیدن غلات را نباید فقط تابع مقدار پتاسیم دانست، زیرا وقتی مقدار ازت کم باشد تجمع هیدروکربن در بافت‌های گیاهی بیشتر می شود و مقدار مواد پروتئینی کاهش می‌یابد. وقتی ازت و پتاسیم توأماً به مقدار زیاد مصرف شوند هیدروکربنهای ذخیره شده مصرف شده و بنابراین ساقه‌ها ممکن است سختی قابل انتظار را نداشته باشند.

۱۹-۴-۲- رابطه پتاسیم-سدیم (K/Na): تمام گیاهان از نظر عکس‌العمل در مقابل سدیم یکسان نیستند. یک دسته از گیاهان مانند مرکبات نه تنها از دریافت سدیم هیچگونه بهره‌ای نمی‌برند. بلکه حتی اگر مقدار زیادی از این عنصر نیز در محیط ریشه موجود باشد یا جذب نمی‌شود، یا پس از جذب توسط ریشه به برگ‌ها انتقال پیدا نمی‌کند و یا در صورت انتقال مشکلاتی را برای گیاه به وجود می‌آورد. در مقابل این گیاهان دسته دیگری از گیاهان مانند چغندرقند در غیاب پتاسیم می‌توانند به خوبی از سدیم استفاده کنند ولی وقتی پتاسیم موجود باشد اثر سدیم دراین گیاهان ناچیز است. دسته سوم گیاهان نمک‌دوست (Halophytes) و از جمله سالیکورنیا در غیاب، کمبود و یا حتی حضور پتاسیم، مقدار بیشتری سدیم نسبت به پتاسیم جذب می کنند.

سالاردینی (۱۳۷۱) به نقل از منابع مورد بررسی گیاهان زراعی را از نظر جانشین شدن سدیم به جای پتاسیم و اثر سدیم در رشد و عملکرد آن‌ها طبقه‌بندی نمود. شکل ۱۱ این طبقه بندی را نشان می‌دهد. در این شکل حداقل مجموع پتاسیم و سدیم مورد نیاز برای رشد طبیعی گیاه مشخص شده است. چنانکه از شکل بر می‌آید در گروه اول که تمام گیاهان از خانوادهٔ اسفناجیان هستند قادرند ۷۵ درصد از نیاز به پتاسیم را با سدیم جایگزین کنند و افزایش عملکرد قابل ملاحظه‌ای نیز با دریافت سدیم داشته باشند. در گروه دوم در حدود ۵۰ درصد پتاسیم می‌تواند به وسیله سدیم تعویض شود و اضافه محصولی نیز مشاهده نمی‌شود و بالاخره در دسته چهارم ۱۰ درصد پتاسیم با سدیم تعویض می‌شود و سدیم در رشد محصول بی‌اثر است.

شکل ۱۱. قدرت جانشین کردن سدیم به جای پتاسیم در گیاهان مختلف (سالاردینی، ۱۳۷۱).

(A: خانواده اسفناجیان نظیر چغندرقند و اسفناج، B: کلم، پنبه و سیب‌زمینی، یولاف و شلغم، C: جو، کتان و گندم و D: ذرت، سویا و چاودار).

برخی محققین بر این عقیده‌اند که علت جانشینی پتاسیم و سدیم در بعضی گیاهان این است که پتاسیم در واکوئل‌ها نقش اختصاصی ندارد و تنها برای تنظیم فشار اسمزی به کار می‌رود و بنابراین سدیم می‌تواند به راحتی و بدون هیچگونه هر گونه مشکل خاصی برای گیاه جانشین آن شود. در گیاهان سدیم‌دوست نظیر چغندر قند سدیم تحرک زیادی در آوندهای آبکش دارد و بنابراین قادر است نقش پتاسیم را به عنوان حاملآنیون‌ها ایفاء کند. از آنجا که سدیم قادر است بعضی از آنزیم‌ها را فعال کند در گیاهان خیلی سدیم دوست مقدار کمی از پتاسیم فعال کنندهٔ آنزیم‌ها به وسیله سدیم جابه‌جا می‌شود. به هر حال در بسیاری از موارد و در اغلب گیاهان زراعی به خصوص گیاهان غیر نمکی (Glycophytes) وظایف پتاسیم کاملاً اختصاصی بوده و از این نظر جایگزینی ندارد.

۲۰-۴-۲- پتاسیم و تثبیت ازت در گیاهان لگوم: گیاهان لگوم دارای نیاز ویژه‌ای به پتاسیم هستند تثبیت ازت توسط غده‌های ریشه در نتیجه کاربرد پتاسیم از طریق افزایش تعداد غده‌ها، متوسط اندازه غده‌ها و افزایش فعالیت تثبیت ازت و کارایی بیشتر غده‌ها با تأمین ازت مورد نیاز گیاه در طول فصل رشد سبب افزایش عملکرد می‌گردد. این نکته در مورد سویا در جدول ۱۱ نشان داده شده است. به علاوه اثرات مثبت پتاسیم احتمالاً بخاطر افزایش تأمین و انتقال انرژی غده‌ها با تقویت انتقال هیدروکربورها به ریشه‌ها نیز می باشد. این مسئله جنبه خاصی از اثرات متقابل ازت و پتاسیم می باشد که در اقتصاد مصرف کودهای ازته و استفاده از ازت مولکولی در جهت تأمین ازت مورد نیاز گیاهان لگوم بسیار حائز اهمیت می باشد.

جدول ۱۱.اثرات عناصر غذایی بر رشد، غده‌بندی و فعالیت نیتروژناز (ـ احیاءC۲H۲) در گیاه سویا (Marschner، ۱۹۹۵)

تیمار	وزن بخش هوایی گیاه g/plant	تعداد غده در گیاه	وزن غده در گیاه	فعالیت نیتروژناز (میکرو مولC۲H۲ برگرم غده در ساعت)
-P	۸/۰۵	۳۲/۴	۲/۳	۵۲/۷
+P	۱۳/۵۰	۷۴/۱	۴/۵	۱۴۴/۰
-K	۹/۰۵	۴۵/۷	۳/۰	۸۶/۹
+K	۱۲/۵۰	۶۰/۸	۳/۹	۱۰۹/۹

هنگام کاشت گیاهان لگوم همراه با غیر لگوم(علفها) تأمین پتاسیم خاک بسیار مهم است عمدتاً سیستم ریشه ای گیاهان لگوم در جذب پتاسیم خیلی کارا نیستند در حالیکه اغلب علفها خیلی کارا هستند بنابراین در کشت مخلوط لگوم‌ها و گراسها بین ریشه‌های این گیاهان بر سر جذب پتاسیم رقابت وجود دارد (Munson و همکاران، ۱۹۸۵).

۵-۲- اثر پتاسیم بر کیفیت محصولات زراعی و باغی

پتاسیم بر کیفیت محصولات و فرآوری محصولات تولید شده نیز اثر می‌گذارند. این وضع به ویژه در مورد میوه‌های گوشتی و غده‌هاکه به پتاسیم زیاد نیاز دارند، بسیار آشکار است. برای نمونه بروز بی‌نظمی و تأخیر در رسیدن میوه‌های گوجه‌فرنگی ناشی از کمبود پتاسیم در خاک و گیاه بوده و با افزودن پتاسیم به خاک تا حد زیادی برطرف می شود. در غده‌های سیب‌زمینی، شمار زیادی از معیارهای کیفیت، تحت تأثیر میزان پتاسیم در بافت غده قرار می‌گیرند (جدول ۱۲).

جدول ۱۲. افزایش یا کاهش غلظت پتاسیم در غده‌های سیب‌زمینی بر ترکیب و کیفیت غده‌ها (Marschner، ۱۹۹۵)

فاکتورهای مورد اندازه‌گیری در گیاه	سازوکار مسئول	اثر افزایش یا کاهش پتاسیم بر فاکتور مربوط
میزان آب	تنظیم اسمز	افزایش
قندهای احیاء کننده	تنظیم اسمز	کاهش
اسید سیتریک	موازنهٔ کاتیون- آنیون	افزایش
نشاسته	نامشخص	کاهش
بی‌نظمی مربوط به بیماری لکهٔ سیاه	فعالیت کم آنزیم پلی فنل اکسیداز	کاهش
تیره‌شدن شیرهٔ غده	نسبت‌اسید سیتریک زیاد/ آنزیم پلی‌فنول اکسیداز کم	کاهش
از میان رفتن رنگ پس از پخت	نسبت‌اسید سیتریک زیاد/ اسیدکلروژنیک کم	کاهش
ماندگاری در انبار	آلودگی قارچی کمتر	افزایش

رنگ میوه یکی از مهمترین عوامل تعیین کننده کیفیت و بازار پسندی میوه است در ارقامی از سیب و هلو که رنگ میوه قرمز است افزایش پتاسیم باعث زیاد شدن رنگ قرمز می‌شود و درختانی که

ازت زیاد و پتاسیم کم دریافت دارند رنگ میوهٔ آن‌ها شفافیت لازم را ندارد. در هر حال رنگ قرمز میوه تابع میزان پتاسیم و ازت می‌باشد و وقتی هر دو این عناصر به اندازه کافی در دسترس گیاه نباشد، رنگ میوهٔ آن‌ها شفافیت لازم را ندارد. در مرکبات افزایش پتاسیم باعث نارنجی شدن رنگ میوه می‌شود و کمبود این عنصر باعث تولید رنگ زرد در میوه می‌گردد. البته بایستی در نظر داشت که تأثیر پتاسیم در رنگ میوه‌ها در مقایسه با شرایط محیطی و آب و هوایی نسبتاً ناچیز است.

در درختان میوه‌ای که از لحاظ غذایی در تنگنا باشند میوه‌ها کوچک هستند. با افزایش مواد غذایی از جمله پتاسیم اندازه میوه‌ها بزرگتر می‌شود. در مرکبات این موضوع بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. تأثیر پتاسیم در افزایش محصول مرکبات معمولاً بیشتر به علت بزرگ شدن میوه‌ها است تا افزایش تعداد میوه. اندازه میوه مرکبات تابعی است از مقدار پتاسیم و ازت و این دو عنصر ممکن است اثرات متقابل داشته باشند. در لیمو، پتاسیم در مقدار میوه، نسبت به اندازه میوه موثرتر است. در درختان میوه دیگر میزان متوسطی از پتاسیم که مانع بروز علائم کمبود شود تقریباً حداکثر اندازه میوه را می سازد. افزایش پتاسیم بیش از این حد تأثیری در اندازه میوه‌ها ندارد (به جز در مرکبات). مزهٔ میوه تابع میزان اسیدهای آلی و قند میوه است. در مرکبات در بین سه عنصر اصلی، پتاسیم بیشتر باعث افزایش درصد اسیدهای آلی از جمله اسید سیتریک و اسید آسکوربیک می‌شود. در سیب نیز پتاسیم باعث افزایش اسید میوه می‌شود. ولی تأثیر آن به اندازه‌ای که در مرکبات مشاهده می‌شود. تأثیر عوامل محیطی در میزان اسیدهای آلی میوه در بعضی موارد بیش از اثر پتاسیم است. خاصیت انباری میوه از نظر اقتصادی اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. در مطالعات قدیمی برروی اثر پتاسیم در خاصیت انباری میوه‌ها تأکید زیادی شده است. ولی تحقیقات اخیر نشان می‌دهند که اگر درخت در محدودهٔ کمبود پتاسیم باشد افزایش پتاسیم باعث زیاد شدن خاصیت انباری آن می‌شود. زیادی مصرف پتاسیم ممکن است باعث کمبود منیزیم در گیاه و بروز لکه آب گزیده در میوه شود و می‌تواند خاصیت انباری میوه را تقلیل دهد در زردآلو پوسیدگی انباری میوه در نتیجه افزایش پتاسیم به درختان به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. شهابی (۱۳۸۰) در یک مطالعه برروی اثر پتاسیم بر عملکرد و خواص کیفی میوه سیب قرمز لبنانی گزارش نمود که در شرایطی که پتاسیم قابل جذب خاک در باغهای سیب کمتر از ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. افزایش پتاسیم به خاک سایه‌انداز درختان به همراه مصرف عناصر ریزمغذی به ویژه روی در روش چالکود سبب افزایش شدت سبزی برگ، افزایش سطح برگ، افزایش غلظت پتاسیم در برگ و در نتیجه ایجاد رنگ قرمز خوشرنگ در میوه همراه با افزایش جزئی غلظت پتاسیم در میوه گردید. لیکن در مواردی که پتاسیم قابل جذب خاک از ۳۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بیشتر بود، افزایش پتاسیم به خاک سایه انداز سبب افزایش نسبت پتاسیم به کلسیم (K/Ca) بیش از ۵۰ گردیده و کاهش ماندگاری نسبی آن و کاهش خواص کیفی نظیر کاهش درصد آب و افزایش آردی شدن در پایان مدت انبارداری (نگهداری میوه‌ها به مدت ۱۶۰ روز در سردخانه) را باعث گردید. ضخامت پوست میوهٔ مرکبات نیز تابع میزان

پتاسیم است. در مرکبات مبتلا به کمبود پتاسیم ضخامت پوست بیشتر است. البته ضخامت پوست در مرکبات بیشتر تابع وضع تغذیه‌ای روی و بور در درختان است تا وضعیت پتاسیم.

۶-۲- مصرف تجملی پتاسیم

با افزایش غلظت پتاسیم در محیط ریشهٔ گیاه از طریق مصرف کودهای پتاسیمی می‌توان تا اندازه‌ای میزان پتاسیم اندام‌های گوناگون به‌جز دانه‌ها که میزان پتاسیم خود را به نسبت پایدار و در اندازهٔ حدود ۰/۳ درصد وزن خشک نگهداری می‌کنند را افزایش داد. افزایش غلظت پتاسیم در اندام‌های گیاهی به ویژه برگ به مقدار بیش از حد نرمال که معمولاً با افزایش عملکرد همراه نمی‌باشد، اصطلاحاً مصرف تجملی پتاسیم (Luxary Consumption) گفته می‌شود که هم از دیدگاه اثر آن بر کاهش تنش‌های زنده و غیر زنده و همچنین اثرات مفیدآن بر رشد گیاه و بهبود کیفیت محصول، افزایش کارایی مصرف آب، مقاومت به تنش خشکی، افزایش مقاومت به سرمازدگی، آفات و بیماری‌ها به عنوان جنبه‌های مثبت مصرف تجملی پتاسیم و هم از دیدگاه دخالت احتمالی آن در جذب و یا میزان فراهم بودن فیزیولوژیک منیزیم و کلسیم به عنوان یکی از جنبه‌های منفی مصرف تجملی بر رشد، عملکرد و کیفیت محصول به توجه خاص در رابطه با مدیریت مصرف کودهای پتاسیمی در خاک نیاز دارد.

۷-۲- تحرک دوباره پتاسیم در بین اندام‌های گیاهی

عناصر غذایی از نظر توزیع یا انتقال مجدد (Remobilization) از طریق آوندهای آبکش در بین اندام‌های گوناگون گیاه در طول فصل رشد به سه گروه عناصر متحرک (پویا)، نیمه‌متحرک و غیرمتحرک (ناپویا) تقسیم‌بندی شده‌اند. در جدول ۱۳ این تقسیم‌بندی نشان داده شده است. پتاسیم یکی از پر تحرک‌ترین عناصر غذایی معدنی در گیاه است. به طوری که کاتیونی عمده در ترکیب شیره آوند آبکشی به حساب می‌آید در شرایط کمبود پتاسیم در گیاه این عنصر از اندام‌های پیرتر گیاه (برگ‌های مسن) به برگ‌های جوان و نقاط مریستمی انتقال می‌یابد. به طور کلی وارد شدن و خارج شدن عناصر غذایی معدنی متحرک و نیمه متحرک در اندام‌های گیاه، مانند برگ‌ها می‌تواند به طور هم‌زمان انجام گیرد. بنابراین، جابه‌جایی دوباره، تنها هنگامی باعث کاهش محتوای خالص می‌شود که میزان خروج بیشتر از میزان ورود عنصر غذایی به اندام مورد نظر باشد. اندازه‌گیری‌های این رابطه پویا پیچیده است و به استفاده از ایزوتوپ و یا جمع‌آوری شیره‌های آوند چوبی و آوند آبکشی به طور جداگانه نیاز دارد. بنابراین به طور معمول تغییرات ترکیب عناصر معدنی بخش‌های گیاه به ویژه برگ‌ها، نسبت به زمان تعیین و بررسی می‌شوند. اصطلاحا به کاهش خالص در میزان یا به طور دقیق‌تر، در محتوای عنصر یا عناصر غذایی در

اندام‌های گیاهی، تحرک دوباره (Remobilization) گفته می‌شود. تحرک دوباره عناصر غذایی معدنی نظیر پتاسیم هنگام رشد یک گیاه و به خصوص در مراحل سبز شدن دانه؛ هنگام رشد رویشی شدید که در این حالت مواد غذایی و عناصر معدنی به اندازه کافی به ریشه‌ها نمی‌رسند؛هنگام تولید مثل و در گیاهان چند ساله دوره پیش از ریزش برگ از اهمیت اساسی برخوردار است بطوریکه نیاز به توزیع مجدد عناصر غذایی برای ادامه حیات و مقابله با شرایط تنش کمبود عناصر غذایی با حداقل کاهش در عملکرد گیاه ضرورت دارد.

جدول ۱۳. گروه‌بندی عناصر غذایی معدنی در آوندهای آبکشی (Marschner ،۱۹۹۵)

غیرمتحرک (ناپویا)		حد واسط (نیمه‌محترک)		متحرک (پویا)	
لیتیم	(Li)	آهن	(Fe)	پتاسیم	(K)
کلسیم	(Ca)	منگنز	(Mn)	روبیدیوم	(Rb)
استرانسیم	(Sr)	روی	(Zn)	سدیم	(Na)
باریم	(Ba)	مس	(Cu)	منیزیم	(Mg)
بُور	(B)	مولیبدن	(Mo)	فسفر	(P)
				گوگرد	(S)
				کلر	(Cl)

۱-۷-۲- جوانه زدن دانه: هنگام رویش دانه‌ها یا اندام‌های ذخیره مانند غده‌ها، عناصر غذایی معدنی در بافت دانه (به جز کلسیم) دوباره متحرک می‌شوند و از راه آوند چوبی و یا آبکشی، به ریشه‌ها و ساقه‌های در حال رشد انتقال می‌یابند.

۲-۷-۲- ناکافی بودن و یا قطع مصرف: هنگام رشد رویشی، رسیدن و تأمین مداوم مواد غذایی به ریشه‌ها به خوبی انجام نمی‌پذیرد. وقوع این مسئله می‌تواند یا به دلیل کمبود در میزان قابل جذب آن عنصر در خاک، و یا عدم وجود رطوبت کافی در خاک و یا وجود بیش از حد رطوبت و ایجاد مشکل تهویه‌ای در جذب باشد که جذب را به طور موقت دچار اختلال می‌نماید. در چنین شرایط محیطی، تحرک دوباره مواد غذایی معدنی از برگ‌های بالغ به نواحی رشد تازه، برای تکمیل چرخه زندگی ضروری است. به هر حال در میان مواد غذایی معدنی، دامنه و میزان این تحرک مجدد، متفاوت است که این وضع با پراکندگی نشانه‌های کمبود ظاهری در گیاهان قابل مشاهده است. نشانه‌های اولیه کمبود در برگ‌های پیر بازتابی از میزانهای زیاد تحرک دوباره است، در صورتی که نشانه‌های اولیه کمبود در برگ‌های جوان و مریستم‌های انتهایی، بیانگر ناکافی بودن میزان تحرک دوباره است. در حالت‌های اخیر، تنها بخش کوچکی از مواد غذایی معدی می‌تواند براحتی از برگ‌های کاملاً بالغ دوباره تحرک یابد. بدیهی است در پی عدم تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه برطرف نشدن کمبود، علایم کمبود علاوه بر اندام‌های پیر به اندام‌های جوان و نقاط مریستمی نیز سرایت می‌کند.

جدول ۱۴ اختلاف در ویژگی‌های تحرک دوباره مواد را بر پایه توزیع نشانه‌های کمبود آن‌ها در گیاه به طور خلاصه نشان می‌دهد. آگاهی از این رده‌بندی عمومی، به عنوان نخستین مرحله در تشخیص کمبودهای مواد غذایی در گونه‌های مختلف گیاهان زراعی در شرایط مزرعه، امری سودمند به نظر می‌رسد.

جدول ۱۴.تفاوت‌های ویژه میان توزیع نشانه‌های آشکار کمبود و درجه تحرک دوباره

تحرک دوباره	بخشی از گیاه که نشانه‌های کمبود بیشتر آشکار می‌شوند	ماده غذایی معدنی
بسیار خوب	برگ‌های پیر	نیتروژن، پتاسیم، منیزیم و فسفر
ناکافی	برگ‌های جوان	گوگرد
بسیار پائین	برگ‌های جوان	آهن، روی، مس و مولیبدن
بی‌اندازه پایین یا هیچ	برگ‌های جوان و مریستم‌های انتهایی	بور و کلسیم

۳-۷-۲- مرحله تولید مثل: تحرک دوباره مواد غذایی معدنی، به ویژه هنگام تشکیل دانه‌ها، میوه‌ها و اندام‌های ذخیره‌ای دارای اهمیت است. در این مرحله از رشد، رسیدن مواد قندی به ریشه‌ها و به دنبال آن، فعالیت ریشه و جذب مواد غذایی، معمولاً به سرعت کاهش می‌یابد. بنابراین، میزان عناصر غذایی معدنی بخش‌های رویشی، اغلب هنگام مرحله رشد زایشی، به میزانی قابل ملاحظه کاهش می‌یابد (شکل ۱۲). دامنه این تحرک دوباره، به عوامل گوناگون بستگی دارد که به طور خلاصه این عوامل شامل میزان نیاز اندامها به ویژه دانه‌ها و میوه‌ها، میزان ماده غذایی در بخشهای رویشی، روابط منبع (Source) و مخزن،(Sink) میزان جذب به وسیله ریشه‌ها در هنگام مرحله تولید مثل می‌باشند. برای مثال، دانه‌های غلات دارای ویژگی‌های داشتن میزان زیاد ازت و میزان اندک پتاسیم، منیزیم و کلسیم هستند، در صورتی که میوه‌های گوشتی نظیر گوجه‌فرنگی یا اندام‌های ذخیره‌ای نظیر غده‌های سیب‌زمینی دارای میزان زیاد پتاسیم مقادیر کمتری ازت و فسفر هستند.

شکل ۱۲. نمایش توزیع مواد غذایی معدنی درغلات هنگام نمو گیاه (خلدبرین و اسلام‌زاده، ۱۳۸۰)

نمونه‌ای متداول مربوط به اختلاف در درجه تحرک دوباره این مواد غذایی معدنی از ساقه‌های رویشی، در جدول ۱۵ برای گیاهان نخود در شرایط مزرعه، نشان داده شده است. درجه تحرک دوباره ازت و فسفر بسیار زیاد است، در صورتی که در مورد منیزیم و کلسیم عدم تحرک دوباره وجود دارد و به جای آن افزایش خالص در میزان این مواد غذایی مشاهده می‌گردد. در این حالت ویژه، باید به خاطر داشت که بخشی از نیازهای دانه‌های گیاهان تیره نخود (لگوم‌ها) به ازت، پس از گل‌دهی از طریق تثبیت ازت تأمین می‌شود.

جدول ۱۵.تحرک دوباره عناصر غذایی معدنی در گیاه نخود در فاصله زمان میان گل‌کردن و رسیدن دانه(Marschner ،۱۹۹۵)

زمان برداشت	مواد غذایی معدنی در برگ و ساقه (کیلوگرم در هکتار)				
	N	P	K	Mg	Ca
۸ ژوئن (گل‌دهی)	۶۴	۷	۵۳	۵	۳۱
۲۲ ژوئن	۸۷	۱۰	۶۶	۸	۶۰
۱ ژوئیه	۶۰	۷	۶۱	۸	۶۹
۱۲ ژوئیه (رسیدن)	۳۲	۳	۴۶	۹	۷۶
درصد افزایش یا کاهش پس از ۲۲ ژوئن	-۶۳	-۷۳	-۳۰	+۱۰	+۲۱
درصد نسبی در دانه‌ها نسبت به محتوای کل ساقه	۷۶	۸۲	۲۹	۲۶	۴

تحرک دوباره مواد غذایی معدنی که در درون آوند آبکشی تحرک ریادی دارند، می‌تواند به سرعت به کاهش میزان آن‌ها در بخش‌های رویشی ساقه‌ها منجر شود، به گونه‌ای که باعث بروز نشانه‌های کمبود شدید و حتی ریزش برگ‌ها هنگام مرحله تولید مثل شود. در چنین شرایطی، گیاهان به صورت دستگاههای خود تخریب عمل می‌کنند. نمونهای جالب از این گونه تحرک دوباره پتاسیم در دو رقم زراعی گوجه فرنگی دیده شده است (جدول ۱۶). رقم VF-۱۳L، برای سهولت برداشت به وسیله ماشین‌آلات از طریق بهنژادی به وجود آمده است. ویژگی‌های آن، داشتن بار میوه زیاد و زودرس و یکنواخت بودن رسیدن میوه‌های آن است. در این واریته، حتی اگر گیاهان در خاک‌هایی رشد کنند که در آن‌ها پتاسیم به میزان زیاد فراهم باشد، هنگام رسیدن میوه، کمبود شدید پتاسیم رخ می‌دهد. چرا که در این مرحله با ایجاد رقابت شدید برای مواد قندی میان میوه‌ها و ریشه‌ها و عدم وجود انرژی کافی برای جذب پتاسیم امکان جذب سریع و به میزان بالای این عنصر به وسیله ریشه‌ها وجود نداشته و در نتیجه آن، گیاه دچار کمبود می‌شود. این نمونه مثال بارزی برای محدودیت ویژه در تولید محصول است که به وسیله یک عنصر غذایی معدنی به وجود می‌آید و در ضمن، نشانه برخی محدودیت‌های فیزیولوژیک در اصلاح نبات در گیاهان عالی نیز هست که در مسایل به‌نژادی بایستی مورد توجه خاص قرار گیرد.

جدول ١٦. میزان پتاسیم موجود در دمبرگ‌های دو رقم زراعی گوجه فرنگی در مراحل مختلف رشد

نمونه زراعی	خوشه سوم شکوفایی کامل گل	خوشه نخست میوه‌ها بالغ سبز	خوشه نخست میوه‌ها صورتی	۵۰ درصد میوه‌ها رسیده‌اند
VFN-8	۵/۳۰	۶/۸۳	۳/۴۸	۰/۹۷
VF-13L	۵/۲۴	۵/۸۶	۱/۸۰	۰/۴۰

الف- میزان پتاسیم بر پایه درصد وزن خشک، نشان داده شده است. ب- نشانه‌های کمبود شدید پتاسیم برروی برگ‌ها

تحرک دوباره برای عناصر غذایی معدنی بسیار انتخابی یا گزینشی است. این گزینشی بودن متناسب با نیاز گیاهان به این عناصر و یا به عبارت دیگر میزان ضرورت این عناصر متفاوت است. به عنوان مثال جدول ۱۷ وضعیت گزینش انتخابی عناصر برای گیاهان جو که در محیط‌های شور رشد کرده‌اند، نشان داده شده و بسیار جالب است. در ساقه‌هایی که رشد رویشی دارند، میزان پتاسیم کمتر از میزان سدیم و کلر است. به هر حال، هنگام تحرک دوباره، پتاسیم به میزان بیشتری جابجا می‌شود و نسبت این سه عنصر معدنی در خوشه‌های دارای دانه(سیخکها و گلومها) برعکس می‌شود. مرحله بعدی در انتخاب عناصرغذایی هنگام ورود آن‌ها به درون دانه‌ها رخ می‌دهد.

دوره تولید مثل و رشد زایشی، درجه تحرک دوباره عناصر میکرو و کلسیم، اغلب در مقایسه با دوره رشد رویشی، به گونه‌ای شگفت‌آور زیاد است. به عنوان مثال در (*Lupinus albus*) تا ۵۰ درصد عناصر میکرو و ۱۸ درصد کلسیمی که در آغاز دوره رشد در برگ‌ها انباشته شده بودند، دوباره به میوه‌ها انتقال یافته بودند (Marschner، ۱۹۹۵). دامنه تحرک دوباره عناصر میکرو به شدت به غلظت آن‌ها در برگ‌های کاملاً بالغ بستگی دارد. هنگام نمو دانه در گندم، برگ‌هایی که دارای میزان زیاد مس بودند، بیشتر از ۷۰ درصد مس خود را از دست دادند، در صورتی که گیاهان مبتلا به کمبود مس، کمتر از ۲۰ درصد این عنصر را از دست دادند. این رابطه میان میزان عناصر معدنی در برگ‌ها و درجه تحرک دوباره، برای عناصر نیمه‌متحرک با آنچه در مورد عنصر غذایی معدنی کاملاً متحرک (مانند ازت و پتاسیم) رخ می‌دهد، در تضاد می‌باشد. در مورد این عناصر در گیاهان مبتلا به کمبود درصد بسیار بیشتری از آن‌ها جابه جا می‌شوند (Marschner ،۱۹۹۵).

جدول ۱۷. میزان عناصر معدنی گیاه جو (واریته زراعی پالادیوم) که در محیط شور رشد کرده است*(خلدبرین و اسلام‌زاده، ۱۳۸۰)

قسمت گیاه	میزان (میکرومول بر گرم وزن خشک)		
	K	Na	Cl
ساقه با رشد رویشی	۰/۲۲	۲/۲۷	۱/۵۲
راکیس، گلوم، سیخک	۰/۵۶	۰/۴۲	۰/۴۳
دانه	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۰۴

* محیط رشدحاوی شش میلی‌مول K^+ و ۱۲۵ میلی مول سدیم به صورت NaCl بوده است.

دامنه جابه جا شدن و تحرک دوباره عناصر میکرو، مس و روی به غیر از منگنز دارای ارتباطی بسیار نزدیک با پیر شدن برگ است (شکل ۱۳). سایه انداختن، از طریق افزایش تحرک دوباره عناصر سبب تسریع در پیری برگ می‌شود. کمبود ازت، مانند سایه انداختن، نیز باعث تشدید در تحرک دوباره مس می‌شود. این حالت در مورد روی نیز گویا است.

شکل ۱۳. اثرات مصرف مس و سایه انداختن بر میزان مس و ازت موجود در پیرترین برگ گندم.
○———○، بدون سایه، ●———● سایه دار.

میزان‌های نسبت بالای تحرک دوباره عناصر میکرو هنگام رشد و بلوغ میوه، احتمالاً در نتیجه تحریک پیری برگ‌ها به وسیله میوه است. تحرک دوباره عناصر غذایی معدنی، به چند مرحله نیاز دارد که این مراحل فهرست‌وار به شرح زیر می‌باشند:

- تحرک در درون سلول‌های برگ
- انتقال در مسیر کوتاه از سیتوپلاسم به آوند آبکشی
- بارگیری آوند آبکشی
- انتقال در آوند آبکشی

اختلاف میان تحرک دوباره برخی عناصر به میزان زیاد ویا کم در آوند آبکشی به احتمال زیاد وابسته به تحرک اندک آن عناصر در درون سلول‌های برگ است. بخش زیادی از عناصر میکرو، به ویژه در درون کلروپلاست‌ها جزو ساختمان ترکیبات آلی می‌شوند. تحریک در تجزیه این ترکیبات هنگام پیری، با افزایش مشخص در تحرک دوباره این عناصر غذایی معدنی همراه است. دامنه تحرک دوباره عناصر غذایی معدنی توجه زیاد متخصصین اصلاح نبات را به گزینش و پرورش ژنوتیپ‌هایی جلب کرده است که بازده بیشتری برای مواد غذایی دارند. ژنوتیپ‌هایی که در خاک‌های غیر حاصلخیز و فقیر از نظر عناصر غذایی به طور رضایت‌بخشی رشد می‌کنند، نه

تنها ممکن است دارای توان جذب و انتقال بیشتر مواد غذایی معدنی باشند بلکه ممکن است در درون سلول نیز بازده مصرف ماده غذایی بالاتری و نیز میزانهای بالای تحرک دوباره از برگ‌های جوان به دانه‌ها و اندام‌های ذخیره‌ای را از خود نشان دهند.

۴-۷-۲- دوره پیش از ریزش برگ (گیاهان چندساله): تحرک دوباره مواد غذایی کانی بجز کلسیم از برگ‌ها به بخش‌های چوبی، از ویژگی‌های مشخص گونه‌های چندساله در فصل پاییز و پیش از ریزش برگ است. تغییر رنگ برگ‌ها در پائیز تا حد زیادی به تحرک دوباره عناصر از برگ‌ها به اندام‌های چوبی درختان مربوط می‌شود. در این دوره نشانه‌های کمبود ظاهری مشخصی دیده می‌شوند. گویای این است که ممکن است در طول دوره رشد، کمبود نهانی ماده غذایی معدنی وجود داشته است. گیاهانی که در محیط‌های شور رشد می‌کنند، جابه‌جایی ترجیحی برخی مواد غذایی معدنی در آن‌ها اغلب به نشانه‌های سمیت در حاشیه‌های برگ منجر می‌شود که این بیانگر تغییر بیشتر در جهت ایجاد توازن یونی شدید پیش از ریزش برگ است. پتاسیم به میزان زیاد با سازوکار انتقال فعال توسط ریشه‌های گیاه جذب شده و سریعا به قسمتهای فوقانی گیاه منتقل می گردد. انتقال پتاسیم از بخشهای بالا به پایین نیز بسیار مهم می باشد پتاسیم به آسانی در سراسر گیاه توزیع می گردد. انتقال بلند مسافت پتاسیم بر روی انتقال آب و حرکت مواد فتوسنتزی در آوند آبکش اثر مستقیم دارد. این انتقال بلند مسافت به انتقال پتاسیم از عرض غشاهای سلولی بستگی دارد علاوه بر این انتقال پتاسیم از عرض غشا سلولی برای فرآیندهای مختلف و مهم فیزیولوژیکی ضروری است.

۸-۲- کمبود پتاسیم در گیاهان

کمبود پتاسیم در گیاهان در ابتدا منجر به بروز علائم ظاهری و نشانه‌های قابل دیدن نمی‌شود، بلکه ابتدا فقط کاهشی در میزان رشد و عملکرد وجود دارد که به آن اصطلاحاً گرسنگی پنهان گفته می‌شود و تا زمانی که کمبود پتاسیم شدید نباشد، حتی تا پایان فصل رشد نیز علائم ظاهری همچنان بروز نکرده اما کاهش عملکرد در این شرایط قطعی خواهد بود. در بعضی شرایط کمبود پتاسیم به هر دلیلی شدت پیدا کرده و علائم ظاهری نیز برروی گیاه دیده می‌شود. شروع این علایم به دلیل تحرک زیاد پتاسیم در برگ‌ها و امکان انتقال مجدد آن از برگ‌های پیرتر به برگ‌های جوان‌تر و نقاط مریستمی گیاه ابتدا در برگ‌های پیر ظاهر شده و با شدیدتر شدن کمبود به برگ‌های جوان نیز سرایت می‌کند. نشانه‌های ظاهری کمبود پتاسیم ابتدا بر روی دومین و سومین برگ‌های پیرتر ظاهر می‌شود. در پیرترین برگ‌ها اغلب زردی و سوختگی از نوک و حاشیه برگ‌ها شروع شده و به سمت پهنک توسعه می‌یابد. البته در بعضی گونه‌ها نظیر شبدر نیز ممکن است نقاط سوخته و نکروزه به طور نامنظم در سطح برگ‌ها دیده شود. همانگونه که قبلاً نیز ذکر گردید گیاهانی که به کمبود پتاسیم مبتلا هستند معمولاً از شادابی و طراوت

کمتری برخوردار بوده و در شرایط کم‌آبی به سهولت پژمرده می‌شوند. بنابراین مقاومت به خشکی و شوری در آن‌ها پائین و حساسیت نسبت به آسیب سرما، بیماری‌ها و آفات نیز بیشتر است (سالاردینی و مجتهدی، ۱۳۶۷). مواجهه گیاه با کمبود پتاسیم ممکن است به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم باشد. از اثرات مستقیم کمبود پتاسیم پائین بودن میزان قابلیت جذب پتاسیم برای گیاه در خاک می‌باشد که کفاف نیاز گیاه را نمی‌دهد و بسته به سطح پتاسیم قابل جذب خاک و توانایی خاک برای حفظ غلظت پتاسیم محلول خاک، سرعت و دوره رشد گیاه، توقع گیاه از نظر پتاسیم و کارایی ریشه در جذب پتاسیم غیر تبادلی خاک ممکن است در مراحل مختلف رشد گیاه اتفاق بیفتد.

اثرات غیر مستقیم کمبود پتاسیم در گیاه به این معنی است که علی‌رغم وجود پتاسیم قابل جذب کافی و حتی بالا در خاک به دلیل فیزیولوژیکی جذب پتاسیم توسط ریشه و یا انتقال آن از ریشه به اندام‌های هوایی مختل می‌شود که از آن جمله می‌توان به وجود اثر متقابل منفی مربوط به غلظت‌های بالای کلسیم، منیزیم و سدیم نسبت به پتاسیم در خاک اشاره نمود در این حالت یعنی عدم تعادل غلظت این عناصر در خاک به دلیل مشابهت حامل‌های جذب پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در ریشه جایگاههای اتصال عمدتاً توسط آن‌ها اشغال گردیده و بدین ترتیب پتاسیم کمتری به داخل سلولهای ریشه انتقال می‌یابد.

۹-۲- روش‌های تشخیص کمبود پتاسیم

روش‌های مختلفی برای پی بردن به کمبود عناصر غذایی و به ویژه پتاسیم در خاک و گیاه وجود دارد که هر یک محاسن و معایب خاص خود را دارد. متداول‌ترین این روش‌ها، روش تجزیه خاک، تجزیه گیاه (برگ) و روش علائم ظاهری کمبود است. البته امروزه استفاده از علائم ظاهری کمبود روش به هیچ وجه توصیه نمی‌شود. زیرا اگر در گیاهی کمبود به گونه‌ای شدت یابد که منجر به بروز علایم ظاهری گردد کاهش عملکرد گیاه حتی در صورت درمان فوری آن نیز قطعی خواهد بود. حال آنکه در کشاورزی پیشرفته امروزی، به منظور استفاده بهینه از آب، خاک و سایرنهاده‌ها بایستی به گونه‌ای عمل شود که از بروز گرسنگی پنهان (Hidden hunger sign) نیز در گیاه جلوگیری شود. اینک به طور اختصار درباره هر یک از روش‌های تشخیص کمبود پتاسیم در خاک و گیاه توضیح داده می‌شود.

۱-۹-۲- روش تجزیه خاک: روش تجزیه خاک یکی از ساده‌ترین، رایج ترین و در عین حال مطمئن‌ترین راههای ارزیابی پتاسیم قابل جذب خاک است. به این منظور می‌توان با بکارگیری شیوه‌های رایج آزمایشگاهی در کوتاهترین زمان ممکن غلظت عنصر مورد نظر در خاک را اندازه‌گیری نموده و پس از مقایسه آن با حد بحرانی یا محدوده بحرانی غلظت عنصر مورد نظر در خاک، نسبت به مصرف یا عدم مصرف آن عنصر تصمیم‌گیری نمود. اما آنچه در این ارتباط همواره

بایستی مدنظر قرار گیرد اینکه غلظتهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه همان مقادیری نیستند که به تنهایی و بدون در نظر گرفتن نوع گیاه، طول دوره رشد و توقع آن از نظر عنصر مورد نظر، مدیریت زراعی، عملکرد مورد انتظار و همچنین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، ملاک قضاوت برای توصیه کودی قرار گیرند، بلکه بایستی با آگاهی کامل از شرایط فوق و در یک جمع‌بندی کارشناسانه نسبت به توصیه کودی اقدام گردد. در این روش دقت در نمونه‌برداری خاک به گونه‌ای که بتواند نماینده قطعه زمین مورد نظر باشد و همچنین دقت در مراحل آماده‌سازی و اندازه‌گیری غلظت عنصر یا عناصر مورد نظر در آزمایشگاه از حساسیت خاصی برخوردار است. در صورت رعایت کلیه شرایط فوق و انجام توصیه‌های لازم می‌توان از ایجاد امنیت غذایی برای گیاه در خاک اطمینان حاصل نمود. لازم به یادآوری است که در روش تجزیه خاک بایستی قبلاً طی مراحل آزمون خاک حد یا محدوده بحرانی غلظت عنصر مورد نظر با استفاده از عصاره‌گیر مناسب در گلخانه و سپس واسنجی آن در آزمایش‌های مزرعه‌ای درشرایط متفاوت از نظر نوع گیاه، عملکرد مورد انتظار و حتی‌الامکان رقم مورد نظر و همچنین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک تعیین شده باشد که البته این کار بسیار پرهزینه و دشوار، اما از ضروریات است.

۲-۹-۲- روش تجزیه گیاه: یکی دیگر از روش‌های متداول جهت بررسی توان خاک در تغذیه گیاه اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی در گیاه است. با تجزیه بافت‌های گیاهی به شرطی که گیاه در شرایط کمبود شدید نباشد می‌توان تخمین نسبتاً دقیقی از وضعیت تغذیه‌ای گیاه بدست آورد، چرا که در شرایط کمبود شدید رشد ریشه گیاه متوقف شده و بافت‌های گیاهی غلظت بیشتری از عناصر غذایی نسبت به گیاهان دارای رشد مناسب را از خود نشان می‌دهند. نکته حایز اهمیت در تجزیه گیاه آن است که باید نوع اندام گیاهی، سن گیاه، رقم، زمان نمونه‌برداری و محل نمونه‌برداری دقیقاً مدنظر قرار گیرد چرا که در زمان‌های مختلف رشد گیاه، تغییراتی در غلظت عناصر غذایی در اندام‌های گیاهی و به ویژه برگ به وجود می‌آید. در روش تجزیه گیاه عموماً اندام مورد نمونه‌برداری جهت تجزیه، برگ گیاه و در بعضی موارد برگ به همراه دمبرگ یا دمبرگ به تنهایی می‌باشد و کمتر از سایر اندامها به این منظور نمونه‌برداری می‌شود. بدیهی است ارزش کاربردی تجزیه گیاه به منظور توصیه کودی بستگی به تفسیر صحیح و دقیق آن دارد و به این دلیل در تفسیر داده‌های حاصل از تجزیه گیاه باید به روابط متقابل (Antagonistic) و تعاون (Synergistic) عناصر غذایی توجه کافی به عمل آید. اینک به طور خلاصه روش‌های عمده برای تفسیر نتایج تجزیه گیاهی توضیح داده می‌شود (ملکوتی، ۱۳۷۹).

۲-۹-۲-۱- روش‌های غلظت بحرانی و حد کفایت: غلظت بحرانی (Critical nutrient concentration) محدوده‌ای از غلظت عناصر غذایی در برگ گیاه است که کمتر از آن، عملکرد محصول در مقایسه با غلظت در برگ گیاهانی که سطح عناصر غذایی بالاتری دارند شروع به کاهش می‌کند. تفسیر نتایج برگی بر این فرض استوار است که وقتی غلظت ماده غذایی در بافت‌های

گیاهی پایین‌تر از غلظت بحرانی باشد جذب آن عنصر غذایی از خاک به هر دلیل کافی نبوده است. در روش غلظت بحرانی زمان و محل نمونه‌برداری در تفسیر نتایج حاصل از تجزیه گیاه دارای اهمیت زیادی است به عنوان مثال در ذرت محل نمونه‌برداری، برگ روبروی بلال و مناسب‌ترین زمان نمونه‌برداری زمان تشکیل گل آذین نر می‌باشد. از آنجا که غلظت عناصر غذایی در اندام‌های گیاهی با سن فیزیولوژیکی گیاه تغییر می‌کند، وجود ارقام مقایسه‌ای که در واقع همان جداول استاندارد هستند الزامی است.

یکی دیگر از روش‌های تفسیر نتایج تجزیه برگی استفاده ازحد کفایت (Sufficiency range approach) است. در این روش غلظت تک‌تک عناصر غذایی برگ به صورت کمتر، بیشتر و یا درحد بهینه گزارش می‌شود. اختلاف نظر میان متخصصان تغذیه گیاهی در رابطه با تفسیر هر دو روش مذکور بسیار اندک است. در هر دو روش غلظت عناصر غذایی در گیاه به عنوان مبنای تفسیر از حد کمبود تا حد کفایت مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخی عقیده دارند که استفاده از روش حد بحرانی از دیدگاه اقتصادی و جلوگیری از مصرف بی‌رویه کود، حفظ تعادل عناصر غذایی در خاک و داشتن تولید پایدار به روش حد کفایت برتری دارد. به نظر نگارندگان در راستای نیل به اهداف برنامه چهارم توسعه و همچنین تحقق اهداف برنامه چشم‌انداز ۲۰ ساله توسعه کشور یعنی ایران ۱۴۰۰ که همانا افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی، ارتقاء سلامت جامعه، تأمین امنیت غذایی (Food security) و از همه مهمتر تغییر نگرش جامعه از تأمین کالری تنها به جامع‌نگری در تأمین ویتامین‌ها و عناصر مورد نیاز بدن از طریق غنی‌سازی محصولات کشاورزی در زنجیره غذایی، در عین توجه به حفظ منابع پایه خاک و تولید پایدار می‌باشد. چرخش از حد بحرانی عناصر غذایی در خاک و گیاهان به عنوان مبنای تفسیر نتایج و توصیه کودی به حد مطلوب آن‌ها در راستای غنی‌سازی اندام‌های مورد مصرف نظیر علوفه، دانه و یا میوه تا اندازه‌ای که منجر به آلودگی‌ها مسمومیت خاک و عدم تعادل عناصر غذایی در خاک نگردد، ضروری می‌نماید. بدیهی است در این شرایط، محدود نمودن بررسی مسائل اقتصاد مصرف کود در محدوده نهاده و ستاده از خاک منطقی به نظر نمی‌رسد بلکه بایستی اثرات غنی‌سازی در تأمین سلامت جامعه و سپس نقش و اهمیت سلامت جامعه در ایجاد خلاقیت‌ها و بهینه‌سازی امور نیز به عنوان شاخص‌های دیگر در اقتصاد مصرف کود وارد گردیده و برآن اساس ارزیابی اقتصادی صورت گیرد.

۲-۲-۹-۲- روش تلفیقی تشخیص و توصیه کودی: با عنایت به دشواری‌ها و مشکلات این روش‌ها در تفسیر صحیح نتایج تجزیه برگی به خصوص حساسیت آن‌ها نسبت به زمان و محل نمونه‌برداری در دو دهه گذشته، روش جدیدی به نام روش دریس (Diagnosis and Recommendation Integrated System) یا روش تلفیقی تشخیص و توصیه کودی ابداع گردید و در تفسیر نتایج تجزیه برگ از آن استفاده می‌شود. در این روش برخلاف سایر روش‌های غلظت بحرانی و حد کفایت، تفسیر نتایج تجزیه برگی به سن فیزیولوژیک و محل

نمونه‌برداری بستگی ندارد بلکه از طریق در نظر گرفتن نسبت عناصر غذایی(N/P, P/K, ...) بجای غلظت مطلق هر عنصر غذایی (N, P, K, ...)، تشخیص و توصیه کودی در هر مرحله از رشد در گیاهان یکساله و چند ساله امکان‌پذیر می‌شود. یکی از محاسن استفاده از نسبتهای عناصر غذایی بجای غلظت مطلق هر یک از عناصر در این است که علی‌رغم تغییر غلظت عناصر غذایی در اندام‌های گیاهی در سنین مختلف گیاه در اثر پدپده رقت، (Dilution) این نسبت‌ها تقریباً ثابت می‌مانند بعلاوه اینکه با این انتخاب اثر سن گیاه در تغییر غلظت عناصر غذایی کاهش می‌یابد و به این ترتیب می‌توان در محدوده زمانی زیادی نسبت به نمونه‌برداری از برگ‌های گیاه مورد نظر و ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای آن اقدام نمود. چنانچه قبلاً نیز ذکر گردید در روش‌های حد بحرانی و حد کفایت تنها کمبود یا زیادی یک عنصر غذایی از طریق مقایسه با ارقام مرجع مشخص می‌شود و چنانچه مقادیر عناصر غذایی در نمونه‌های مورد بررسی کمتر از ارقام مرجع باشد، انتظار کاهش عملکرد و یا حداقل افت کیفیت محصول مطرح خواهد بود. در صورتی که در روش دریس علاوه بر بیان کمبود و یا زیادی عناصر غذایی، تعادل نسبی میان عناصر غذایی و همچنین ترتیب نیاز غذایی گیاهان به صورت کمی قابل محاسبه و بیان خواهد بود. کارآیی صحیح روش دریس (DRIS) زمانی تحقق می‌یابد که تمام عناصر غذایی موثر در رشد گیاه مورد توجه قرار گیرند. بطور کلی محاسن روش دریس می‌تواند به صورت زیر خلاصه گردد:

- تشخیص را در هر مرحله از رشد گیاه امکان‌پذیر می سازد.
- عوامل تغذیه‌ای محدود کننده رشد را به ترتیب اهمیت آن‌ها مشخص ساخته و در ردیفی معین قرار می‌دهد که خود معرف وجود عامل و یا عوامل محدود کننده رشد گیاه است. بدیهی است در این شرایط به راحتی می توان ترتیب کوددهی یا نوع عناصر غذایی که در ابتدا بایستی مصرف گردد را مشخص نمود..

یکی از مهمترین اشکالات این روش آن است که تنها در شرایطی که مصرف کود نامتوازن و به دنبال آن غلظت عناصر غذایی در خاک نیز نامتعادل باشد، بهترین روش، تفسیر نتایج برگی و مناسبترین راه برای توصیه کودی محصولات می‌باشد اما در شرایطی که مصرف کود متعادل است جوابگو نمی‌باشد و استفاده از آن توصیه نمی شود. زیرا در این شرایط محاسبه شاخصها و مقایسه آن‌ها با مقادیر مرجع اولویتی را نشان نمی‌دهد. در روش دریس تفسیر نتایج تجزیه برگ با کمک ارقام مرجع (Norm) امکانپذیر است. این ارقام طبق تعریف همان مقادیر عناصر غذایی در نمونه‌های گیاهی با عملکرد بالا هستند. ارقام مرجع در واقع نتایج برآیند تمامی عوامل موثر در رشد و از جمله نوع خاک، شرایط اقلیمی منطقه ومدیریت مزرعه می‌باشد که هر کدام به نحوی در نیل به عملکرد مناسب سهیم هستند. ارقام مرجع از میانگین نتایج تجزیه برگی نمونه‌های زیادی به دست آمده‌اند که بارها در زمانها و مکان‌های مختلف تکرار و محاسبه شده‌اند. بدیهی است زمان و اندام مورد نمونه‌برداری هر یک از گیاهان زراعی با وضعیت تغذیه‌ای مجهول

می‌بایستی مشابه شرایط مربوط جهت به دست آوردن ارقام مرجع در نظر گرفته شوند تا مبنای مقایسه به طور صحیح و اصولی انجام گیرد. پس از آنکه ارقام مرجع برای هر گیاه در شرایط منطقه مشخص شد از طریق مقایسه نتایج تجزیه برگی سایر مزارع یا باغها باارقام مرجع و استفاده از دیاگرام سه محوری دریس یا محاسبه شاخص‌های دریس می‌توان نسبت به وضعیت تغذیه‌ای گیاه اطلاع حاصل نموده و تصمیم لازم اتخاذ کرد. به هر حال روش دریس به اطلاعات وسیعی نیازمند می‌باشد تا بتواند تفسیر صحیحی را ارائه نماید، بنابراین جمع‌آوری این اطلاعات وسیع در عمل هزینه‌بری بالایی داشته و کار پر زحمت و مشکلی است. جهت کسب اطلاعات بیشتر در این زمینه علاقه‌مندان را به مراجعه به کتاب روش جامع تشخیص و ضرورت مصرف بهینه کودهای شیمیایی نوشته محمد جعفر ملکوتی (۱۳۸۰) توصیه می‌نماید.

۳-۲-۹-۲- روش انحراف از درصد بهینه: برخلاف روش دریس که به اطلاعات وسیعی نیازمند بوده تا بتواند تفسیر صحیحی ارایه دهد و به عبارت دیگر استفاده از آن نیاز به تعیین ارقام مرجع از طریق انجام آزمایش‌ها و تجزیه‌های متعدد دارد، روش انحراف از درصد بهینه یا روش DOP (Deviation from Optimum Percentage) در مورد تمامی گیاهان به سادگی قابل استفاده است و به داده‌های وسیع نظیر آنچه که در روش دریس مورد نیاز است، احتیاج ندارد. رابطه مربوط در این روش به صورت زیر است.

$$DOP = \left[\frac{(C \times ۱۰۰)}{C_{ref}} \right] - ۱۰۰$$

در رابطه فوق C غلظت عنصر غذایی در نمونه گیاهی است که بایستی نیاز کودی آن تعیین گردد و C_{ref} غلظت عنصر غذایی در گیاهی است که از لحاظ عملکرد و کیفیت در شرایط مطلوب قرار دارد ولی از لحاظ سایر شرایط مشابه شرایط نمونه مجهول می‌باشد. در تفسیر نتایج حاصل از این روش دو قانون ساده به شرح زیر وجود دارد:

- مقدار قدر مطلق شاخص DOP اهمیت و یا شدت خروج از حالت تعادل را نشان می‌دهد. زیرا عدد صفر بیانگر حالت تعادل و مقادیر بالای قدر مطلق شاخص DOP نشان دهند، انحراف زیاد از حالت تعادل می‌باشد که از این نظر مشابه روش دریس می‌باشد.
- برای هر عنصر مقدار منفی شاخص DOP نشان‌دهنده حالت کمبود و مقدار مثبت نشان‌دهندهٔ حالت بیش بود آن عنصر است.

این روش همانند روش دریس به عدم تعادل عناصر در گیاه رتبه داده و یک ترتیب عدم تعادل را برای عناصر مختلف نشان می‌دهد که می‌تواند از جنبه مدیریت تغذیه‌ای بسیار مهم باشد. جمع قدر مطلق شاخص‌های DOP برای عناصر مختلف نشان‌دهنده خروج از حالت تعادل است. براساس مطالعات انجام شده جمع مقادیر قدر مطلق این شاخص DOPΣهمبستگی مثبت و معنی‌داری (r= ۰/۹۸) با جمع مقادیر قدر مطلق شاخص‌های دریس

داشته است که این همبستگی می‌تواند بسیار مفید باشد زیرا بر طبق نتایج تحقیقات قبلی بین جمع قدر مطلق شاخص‌های دریس و عملکرد رابطه معکوس و معنی‌داری وجود دارد. در روش دریس هنگامیکه که مصرف کود متعادل ولی کم یا زیاد باشد در هر دو حالت شاخص صفر به دست می‌آید و نمی‌تواند تفسیر صحیحی ارایه نماید در حالی که روش DOP در این شرایط نتایج را با شاخص‌های منفی و یا شاخص‌های مثبت به وضوح ارایه می‌کند. اما علی‌رغم محاسن بالا، این روش دارای نقایصی می‌باشد که دانستن آن ضرورت دارد. نخست اینکه در این روش مشابه روش غلظت بحرانی از غلظت مطلق عناصر غذایی و نه نسبت آن‌ها استفاده می‌شود که در این حالت برخلاف روش دریس، زمان، شرایط و محل نمونه‌برداری بسیار اهمیت می‌یابد و باید در مورد هر دو نمونه مرجع و نمونه مجهول این شرایط مشابه باشد. دوم اینکه این روش نیز مانند سایر روش‌هایی که برای تعیین وضعیت تغذیه‌ای گیاه به نتایج تجزیه برگی متکی هستند، این نقص عمده را دارد که ممکن است غلظت عنصر غذایی علی‌رغم بالا بودن، به دلایل فیزیولوژیکی نتواند وظایف خود را به خوبی انجام دهد و در نتیجه در حالی که گیاه از کمبود شدید آن رنج می‌برد این روش قادر به تشخیص صحیح آن نباشد. اینک برای آشنایی بیشتر با روش DOP و چگونگی تفسیر نتایج با استفاده از این روش به ذکر یک مثال پرداخته می‌شود. مثال: در یک باغ پرتقال به منظور تعیین وضعیت تغذیه‌ای درختان، نمونه‌برداری برگ انجام و پس از اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی برگ ارقام زیر بدست آمد.

N =٪۲/۲۵ ،P = ٪۰/۲۵ ،K = ٪۳/٤۰ ،Ca = ٪۲/٤۰ ،Mg =٪۰/۸٤

اگر فرض شود که حد نرمال طبیعی پنج عنصر غذایی در پرتقال به شرح زیر باشد. وضعیت تغذیه‌ای این باغ را مشخص نمائید.

Ca = ٪۲/۰۰ و Mg =٪۰/۸ ،N = ۳/۰۰ ،P = ٪۰/۲۵ ،K = ٪٤/۰۰

حل: با استفاده از فرمول فوق:

DOP N= [(۲/۲۵×۱۰۰)/ ۳/]۰۰ -۱۰۰ = -۲۵

DOP P= [(۰/۲۵×۱۰۰)/ ۰/]۲۵ -۱۰۰ = ۰

DOP K= [(۳/٤۰×۱۰۰)/ ٤/]۰۰ -۱۰۰ = -۱۵

DOP Ca= [(۲/٤۰×۱۰۰)/ ۲/]۰۰ -۱۰۰ = +۲۰

DOP Mg= [(۰/۸٤ ×۱۰۰)/ ۰/]۸۰-۱۰۰ = +۵

به این ترتیب و براساس نتایج به دست آمده در باغ مورد نظر درختان با کمبود ازت و پتاسیم و زیادی نسبی کلسیم و منیزیم مواجه می‌باشند.

۳-۹-۲- روش مشاهده علائم ظاهری کمبود: همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد امروزه استفاده از علائم ظاهری کمبود جهت تشخیص وضعیت عناصر غذایی در خاک و گیاه به هیچ وجه توصیه نمی‌شود چرا که در صورت بروز علایم ظاهری هر گونه تلاش در جهت باز گرداندن گیاه به

وضعیت رشد طبیعی نرمال اگرچه بی‌فایده نیست اما در هرصورت گیاه بخشی از عملکرد خود را از دست می‌دهد. در هر حال اطلاع از علائم اختصاصی کمبود هر یک از عناصر غذایی در گیاهان برای کارشناسان و کلیه افرادی که به نحوی با گیاهان زراعی سروکار دارند مفید به نظر می‌رسد. گرچه علائم کمبود پتاسیم در گونه‌های مختلف گیاهان بسیار متفاوت است ولی در عین حال علائم مشترکی نیز وجود دارد که در غالب گیاهان مشاهده می‌شود. در این قسمت ابتدا به ذکر علایم کمبود پرداخته و سپس برخی تصاویر جهت درک بیشتر مطالب ارائه می‌گردد. مطالب این قسمت مستقیماً با تغییراتی از کتاب حاصلخیزی خاک سالاردینی (۱۳۷۱) گرفته شده است که بدین وسیله تشکر می‌نماید.

در مورد کمبود پتاسیم دو نوع علامت مورد بررسی است: اول، رشد و نمو گیاه و دوم، علائم برگی . گیاهان مبتلا به کمبود پتاسیم معمولاً ضعیف، کوتاه و کوچک هستند. رشد ساقه اصلی و شاخه‌ها متوقف گشته و فاصلهٔ میان‌گره‌ها کوتاه می‌شود. درصورت شدت کمبود شاخه‌ها از انتها شروع به خشک شدن می‌کنند. در غلات با آنکه بوته به تعداد زیاد پنجه می‌اندازد ولی تعداد خوشه‌ها محدود است و این خوشه‌ها نیز کم دانه و لاغر هستند. برگ‌ها در گیاه مبتلا به کمبود پتاسیم به رنگ سبز تیره مایل به خاکستری در می‌آیند و شفافیت و شادابی خود را از دست می‌دهند و ممکن است رنگ پریدگی و زردی بخصوصی در بین رگبرگ‌ها مشاهده شود. در کمبود پتاسیم یک یا چند علامت زیر ابتدا در برگ‌های پیر و سپس در بیشتر برگ‌ها ظاهر می‌شود. قهوه‌ای شدن نوک برگ‌ها (نوک سوختگی)، سوختگی لبه(لب سوختگی)، ظهور سوختگی در داخل پهنه برگ با تراکم بیشتر از حاشیه برگ و لوله شدن پهنه برگ در گیاهان پهن برگ به طرف بالا یا به طرف پائین از جمله علامت‌هایی است که برگ‌های دچار کمبود پتاسیم پیدا می‌کنند و در هر دو مورد لوله شدن در طول رگبرگ اصلی است.

لب سوختگی برگ‌ها در گیاهان پهن برگ غالباً به علت کمبود پتاسیم است، ولی در عین حال بایستی توجه داشت که عوامل دیگری نیز ممکن است همین علایم را به وجود آورند. شور شدن خاک، سمیت برخی عناصر، زیادی مصرف کود، سرمازدگی و بادگرم نیز ممکن است باعث سوختگی لبه برگ‌ها شوند. در غلات ساقه معمولاً کوتاه، گیاه لاغر و مقدار دانه کم، خوشه و دانه‌های آن کوچک است. بوته ممکن است دارای تعداد بسیار زیادی پنجه باشد ولی ساقه گل دهنده بسیار کم باشد. برگ‌ها به رنگ سبز مایل به خاکستری یا کمی رنگ پریده و لبه‌ها و نوک برگ‌ها ممکن است سوخته و قهوه‌ای باشد. در جو که از حساسترین گیاهان به کمبود پتاسیم است بخصوص در کمبود شدید، برگ‌ها رنگ پریده می‌شوند و نقاط سفیدی در روی برگ مشاهده می‌شود ولی این لکه و نقاط پس از آنکه برگ‌ها بیشتر زرد شدند از بین می‌رود. لب سوختگی و نوک سوخت نیز مشاهده می‌شود.

در کلم‌ها ابتدا رنگ برگ‌ها سبز مایل به خاکستری می‌شود و ممکن است بین رگبرگ‌ها رنگ

پریده شود. برگ‌ها لب سوخته شده و به طرف پائین لوله می‌شوند در کلم گل سوختگی ممکن است به طرف داخل پهنک و بین رگبرگ‌ها توسعه یابد. بطور کلی در گیاهان این خانواده نمو برگ‌ها بطئی و جنس برگ‌ها خشبی و سخت و از لحاظ کیفیت نامرغوب می‌شود. در چغندرقند برگ‌ها نسبتاً راست می‌ایستند. برگ‌های پیر لب سوخته شده و به طرف پائین لوله می‌شوند در کلم گل سوختگی ممکن است به طرف داخل پهنه و بین رگبرگ‌ها توسعه یابد.

در چغندر قند برگ‌ها حالت نسبتاً راست پیدا کرده، برگ‌های پیر لب سوخته و پلاسیده می‌شوند و اطراف گیاه می‌ریزند. دمبرگ ممکن است زخم‌های طولی داشته باشد. درسیب‌زمینی که احتیاج زیادی به پتاسیم دارد، کمبود پتاسیم باعث کوتاه و فشرده شدن بوته می‌شود. برگ‌ها به رنگ سبز مایل به خاکستری در می‌آیند، شفافیت خود را از دست می‌دهند و ممکن است سوختگی بین رگبرگ در آن‌ها ظاهر شود. لب و نوک سوختگی برگ‌ها ممکن است ظاهر شود و در زیر پهنه برگ قهوه‌ای برنزی می‌شود. برگ‌ها چروکیده و به طرف پائین لوله می‌شوند. بالاخره برگ‌ها پس از سوخته و قهوه‌ای شدن، پلاسیده شده و می‌ریزند. ساقه‌ها ممکن است بخوابند و شاخ و برگ به صورت توده قهوه‌ای رنگی خاک را بپوشاند. تشکیل غده محدود و عملکرد محصول ناچیز خواهد بود.

در گوجه‌فرنگی کمبود پتاسیم باعث چوبی شدن و کندی رشد می‌شود، برگ‌ها سبز مایل به خاکستری، در برگ‌های پایین بوته، حاشیه برگ‌ها سبز و بین رگبرگ‌ها خاکستری کم رنگ می‌شود. بالاخره این برگ‌ها لب سوخته و به طرف بالا لوله می شوند. برگ‌های بالای بوته نیز به تدریج علایم فوق را نشان می‌دهند. میوه‌ها یکنواخت نمی‌رسند و لکه‌های سبز مایل به زرد در زمینهٔ قرمز یا صورتی برروی میوه‌ها مشاهده می‌شود.

کمبود پتاسیم در درختان میوه فوق العاده اهمیت دارد. در سیب، گلابی و گیلاس، نمو کند می‌شود و خشکیدن سرشاخه‌ها عادی است. برگ‌ها به رنگ سبز خاکستری درمی‌آیند و زردی بین رگبرگ‌ها و لب سوختگی قهوه‌ای یا خاکستری در آن‌ها ظاهر می‌شود. جوانه‌های گل و شکوفه‌ها فراوانند ولی عملکرد میوه کم و میوه نامرغوب می‌شود. رنگ میوه‌ها یا بسیار قرمز می‌شود و یا اصولاً سبز مانده و به نظر نارس می‌رسد و مزهٔ آن‌ها ترش و جنس گوشت میوه خشبی است. در گلابی لب سوختگی ممکن است تقریباً به رنگ سیاه ظاهر شود. در هلو، آلو و زرد آلو پهنه برگ در طول رگبرگ میانی چروک می‌خورد و بدنبال آن زردی و سوختگی بین حاشیه و برگ ظاهر می‌شود. در نتیجه برگ‌ها ترک می‌خورند و پاره می‌شوند. نقاط یا لکه‌های صورتی تا بنفش در برگ مشاهده می‌شود. برگ‌های مرده ممکن است مدت طولانی روی شاخه بمانند و یا در مدت کوتاهی خزان کنند. در مرکبات، پهنه برگ در طول رگبرگ میانی چروک می‌خورد. نقاط کوچک صمغی روی برگ پیدا می‌شود که به تدریج بزرگ می‌شوند و به رنگ قهوه‌ای یا سیاه در می‌آیند. میوه‌ها پوست کلفت، خشن، بدرنگ و کم آب هستند. علایم اختصاصی کمبود پتاسیم در گیاهان مهم زراعی و باغی در جدول ۱۸ آمده است.

جدول ۱۸. راهنمای اختصاصی تشخیص کمبود پتاسیم در گیاهان

علائم اصلی برای تشخیص کمبود	گیاهان
ساقه و میان گره‌کوتاه و نبات لاغر و نحیف می‌باشد. برگ‌ها برنگ سبز تیره مایل به آبی که ممکن است کمی در حاشیه و نوک زرد شده باشند. زردی بعداً به قهوه‌ای، سوختگی ومردن نوک و حاشیه برگ‌ها منتهی می‌شود. سوختگی تمام سطح برگ‌ها را نیز ممکن است فرا گیرد. تعداد ساقه ممکن است زیاد باشد ولی تعداد خوشه در آن‌ها خیلی محدود است و دانه‌ها چروکیده و کوچک هستند. در جو موقع بیماری شدید لکه‌های کوچک و بزرگ سفید یا زرد روشن در روی برگ‌ها ظاهر می‌شود. در یولاف قسمت نوک برگ‌ها به رنگ قهوه‌ای مایل به قرمز در می‌آید.	**الف: غلات** ۱- گندم ۲- جو ۳- جو دو سر ۴- چاودار
گیاه لاغر میان گره کوتاه – برگ‌ها نسبتاً دراز و چروکیده و روی آن‌ها خطوط زرد طولی که در زیر برگ بهتر دیده می‌شوند وجود دارد.حاشیه و نوک برگ ممکن است سوخته یا قهوه‌ای شود. خوشه کوچک بوده و در قسمت انتهایی آن دانه تشکیل نمی‌شود.	۲-ذرت
برگ‌ها رنگ پریده با نقاط نکروزی قهوه‌ای در لبه‌ها و بین رگبرگ‌ها، ممکن است لوله شده یا به‌صورت فنجانی به طرف پایین در آیند.	**ب- حبوبات** ۱- لوبیا
برگ‌ها برنگ قهوه‌ای مایل به آبی، حاشیه برگ‌ها سیاه یا قهوه‌ای و یا سوخته است. برگ‌ها زاویه‌تندی با ساقه تشکیل می‌دهند.	۲- باقلا
برگ‌های پیر دارای لکه‌های زرد نامنظم در تمام سطح که تجمع آن‌ها در حاشیه و نوک برگچه‌ها بیشتر است. بعداً نقاط قهوه‌ای مرده و انساج مرده از محل خود خارج شده و به برگ حالت غربالی می‌دهد. نصف برگ ممکن است به شدت سوخته باشد در صورتی که نیم دیگر آن برنگ سبز تیره باقی بماند، برگ‌ها به طرف پایین فنجانی می‌شوند.	۴- سویا (لوبیای روغنی)
روی برگ‌ها لکه‌های کوچک زرد یا سفید رنگ بخصوص در حاشیه ظاهر می‌شوند تمام حاشیه برنگ زرد در می‌آیند سپس انساج آن می‌میرند. در یونجه این انساج ممکن است بریزند. در شبدر برگچه‌ها فنجانی می‌شوند.	**ج – علوفه**
علائم اصلی برای تشخیص کمبود	**گیاهان**
برگ‌ها سبز تیره با حاشیه زرد یا قهوه‌ای و برگ‌های پیر، زرد که در حاشیه نکروزی و سوخته هستند. برگ‌ها فنجانی و چروکیده و بوته فشرده و توی هم رفته جلوه می‌کند. ساقه و شاخه‌ها لاغر و میان گره‌ها کوتاه می‌باشد. بوته قبل از رشد کامل ممکن است از حالت ایستاده خارج شده و برروی زمین پخش شود و گوشت غده به حالت آبی رنگ در آید.	**د- سبزیجات** ۱- سیب‌زمینی
برگ‌های جوان سبز تیره و برگ‌های پیر در حاشیه خاکستری یا زرد هستند که بعداً سوخته و لبه برگچه‌ها به طرف بالا لوله می‌شود . قسمتهای سوخته قهوه‌ای رنگ می‌شوند. پایین بوته برنزی به نظر می‌آید، ساقه‌ها لاغر میان گره‌ها کوتاه و میوه‌ها به طور غیر یکنواخت می‌رسند.	۲- گوجه‌فرنگی
برگ‌های سبز تیره با حاشیه و میان رگبرگ‌های قهوه‌ای یا سوخته، لبه‌ها به طرف پایین لوله می‌شوند. در کلم پیچ نوک برگ‌ها مرده و رنگ آن‌ها سبز روشن متمایل به آبی می‌باشند. در شلغم برگ‌ها چروکیده بوده و ممکن است خزان کند.	۳- انواع کلم شلغم تربچه
برگ‌ها کمی زرد بوده و از حاشیه و از برگ‌های پیر شروع به قهوه‌ای شدن می‌کند تا بالاخره تمام برگ‌ها قهوه‌ای رنگ می‌شوند. ریشه باریک و لاغر می‌باشد.	۴- هویج
علائم اصلی برای تشخیص کمبود	**گیاهان**
برگ‌های سبز تیره بوده و در حاشیه دمبرگ‌های پیر شروع به قهوه‌ای شدن می‌کنند . دمبرگ‌ها کوچک و لاغر هستند.	۵- کرفس و کاهو
برگ‌های پیر ابتدا کمی زرد بوده و در نوک شروع به خشک شدن و مردن می‌کنند و یا پژمرده شده و روی زمین می‌خوابند. غده کوچک می‌ماند.	۶- پیاز – تره فرنگی
برگ‌های اسفناج کمی زرد و در چغندر لبویی سبز تیره است . حاشیه برگ‌ها قهوه‌ای شده و به طرف پائین لوله می‌شوند. میان رگبرگ‌ها قهوه‌ای شده و چروکیده می‌باشد.روی ساقه و دمبرگ‌های پیر نقاط قهوه‌ای دیده می‌شوند.	۷- اسفناج چغندر لبویی
مانند چغندر لبویی برگ‌ها دارای لکه‌های سفید متمایل به زرد روشن و نقاط قهوه‌ای تیره به تعداد زیاد در حاشیه و بین رگبرگ‌ها می‌باشد. مرکز این لکه می‌میرد برگ‌ها بالاخره برنگ قهوه‌ای مایل به قرمز در آمده سپس خشک شده و قبل از رشد کامل خزان می‌کنند. غوزه‌ها بدشکل و الیاف نامرغوب می‌باشد.	**هـ – گیاهان صنعتی** ۱- چغندر قند ۲- پنبـــــه

گیاه کوچک، فاصله میان‌گره‌ها کوتاه و برگ‌ها در حاشیه و نوک قهوه‌ای هستند و برگ‌ها از پایین بوته خزان می‌کنند.	۳- کتان
اگر کمبود از ابتدا وجود داشته باشد برگ‌های پیر لکه‌های رنگ پریده‌ای بین رگبرگ‌ها و در حاشیه و نوک برگ‌ها ظاهر می‌نمایند. ولی وقتی کمبود بعداً بروز کند این رنگ پریدگی در برگ‌های جوان نیز ممکن است دیده شود. به دنبال زردی نکروز نیز شروع می‌شود که در ابتدا به صورت لکه‌های کوچک است بعداً به هم پیوسته و قسمت عمده برگ‌ها را می‌پوشاند. قسمت‌های مرده ممکن است بریزد و حالت مشبک به برگ‌ها بدهد. قسمتی از برگ که علائم نکروز ندارند به رنگ سبز تیره است. برگ‌ها به طرف پایین فنجانی می‌شوند.	۴- توتون
برگ‌ها به رنگ سبز تیره با حاشیه و بین رگبرگ‌های سوخته در آمده و برگ‌های پیر زودتر خشک شده و می‌ریزند.	۵- چای
برگ‌های جوان سبز تیره هستند و هرچه پیرتر می‌شوند به تدریج زردتر می‌گردند. سطح فوقانی رگبرگ‌ها قرمز رنگ است. برگ‌های پیر از نوک و حاشیه شروع به مردن می‌کند ولی قبل از مرگ کامل رنگ پریدگی و نقاط نکروزی بسیار ریز بین رگبرگ‌ها ظاهر می‌شود.	۶- نیشکر
برگ‌ها برنگ سبز روشن که لکه‌های نکروزی بین رگبرگ‌ها و در حاشیه آن‌ها دیده می‌شود.	۷- بادام زمینی
برگ‌های قسمت وسط شاخه‌ها سبز تیره شده و بین رگبرگ‌ها ممکن است حالت کلروز ایجاد شود. حاشیه برگ‌ها ارغوانی و پس از مدت کوتاهی قهوه‌ای و مرده می‌شوند و برگ‌چین و چروکدار می‌گردد. برگ‌های مرده برای مدت زیادی روی شاخه باقی می‌مانند. رنگ برگ‌ها در گلابی سبز مایل به آبی و حاشیه آن سیاه می‌گردد.	**و- درختان میوه** ۱- سیب گلابی گیلاس
علائم اصلی برای تشخیص کمبود	**گیاهان**
برگ‌ها در طول رگبرگ میانی چروک می‌خورند که به دنبال آن نکروز در حاشیه و بین رگبرگ‌ها ظاهر می‌شود و برگ‌ها ترک خورده و پاره می‌شوند. ذرات رنگی صورتی تا بنفش در برگ پیدا می‌شود. برگ‌های مرده ممکن است گاهی نیز خزان کنند و در مواردی خزان نکنند.	۲- هلو آلو زردآلو
پهنه برگ در طول رگبرگ اصلی چنان چروک خورده و چین داده شده که مثل آن است که رگبرگ میانی خیلی کوتاه شده باشد. نقاط کوچک صمغی روی برگ پیدا شده و به تدریج بزرگ می‌شوند و کم کم به رنگ قهوه‌ای یا سیاه رنگ در می‌آیند. میوه‌ها دارای پوست ضخیم، خشن، بدرنگ و کم آب هستند.	۳- پرتقال
حاشیه برگ‌های پایینی قهوه‌ای می‌شود و برگ‌ها به ندرت ارغوانی می‌گردند. ساقه‌ها لاغر و رنگ گلها گرفته می‌باشد.	**ز- گیاهان زینتی** ۱- گل سرخ
حاشیه برگ‌های پایینی دارای نقاط نکروزی است که بعداً قهوه‌ای رنگ شده و برگ خزان می‌کند.	۲-بگونیا
برگ‌های پایین بوته قهوه‌ای شده و می‌میرند. ساقه‌ها سست و نبات حساسیت زیادی برای بیماری دارد.	۳- میخک
برگ‌ها به رنگ سبز مایل به خاکستری بوده و روی آن‌ها حالت ابلقی خفیفی دیده می‌شود. لب سوختگی و بالاخره خزان در حالت شدت بیماری امری عادی است.	۴- مینا
برگ‌های پیر در بین رگبرگ‌ها و حاشیه دارای لکه‌های زرد مایل به سفید بوده و حالت ابلقی دارند. حاشیه برگ قهوه‌ای شده و خزان می‌کند.	۵- سینه‌رز
برگ‌های جوان رنگ پریده، سبز مایل به‌زرد با رگبرگ‌های سبز تیره – برگ‌های پیر زرد مایل به خاکستری، بخصوص در بین رگبرگ‌ها و حاشیه برگ‌ها می‌باشند. حالت ابلقی، قهوه‌ای و زرد بین رگبرگ‌ها و حلقه مشخص قرمز آجری یا بنفش دور تا دور برگ نیز ممکن است دیده شود.	۶- شمعدانی
برگ‌های جوان سبز مایل به‌زرد با رگبرگ‌های سبز تیره بوده و ته‌رنگ قرمز در حاشیه دارند. نقاط نکروزی در حاشیه و نقاط قهوه‌ای پراکنده برروی سطح برگ دیده می‌شود.	۷- میمون

اشکال زیر کمبود پتاسیم در تعدادی از گیاهان را نشان می‌دهند (Bergmann، ۱۹۹۲):

علائم کمبود پتاسیم در گندم:

علائم کمبود پتاسیم در برنج:

علائم کمبود پتاسیم در ذرت:

علائم کمبود پتاسیم در نیشکر:

علائم کمبود پتاسیم در سیب‌زمینی:

علائم کمبود پتاسیم در پیاز:

علائم کمبود پتاسیم در کلزا:

علائم کمبود پتاسیم در سویا:

Figure 1 Figure 2

علائم کمبود پتاسیم در آفتابگردان:

علائم کمبود پتاسیم در پنبه:

علائم کمبود پتاسیم در سیب:

علائم کمبود پتاسیم در مرکبات:

+K

-K

علائم کمبود پتاسیم در انگور:

علائم کمبود پتاسیم در پسته:

علائم کمبود پتاسیم در گل‌های زینتی:

۱۰-۲- مقابله گیاهان با کمبود پتاسیم

همانگونه که در فصل اول نیز اشاره شد مقدار متوسط پتاسیم کل در خاک‌های زراعی حدود ۱/۳ درصد می‌باشد در حالیکه پتاسیم قابل جذب خاک برای گیاه کمتر از یک تا دو درصد پتاسیم کل خاک را تشکیل می‌دهد . اما این به بدان مفهوم نیست که اشکال دیگر پتاسیم برای گیاه قابل استفاده نمی‌باشند. بلکه بسته به شرایط خاک و نوع کانی‌های پتاسیم‌دار موجود،طول دورهٔ رشد و میزان برداشت گیاه، پتاسیم از فرمهای غیر قابل دسترس به فرم قابل دسترس تبدیل می‌شود. سین‌تیک رهاسازی پتاسیم از بین لایه‌های رسی و کانی‌های خاک عامل مهمی در میزان مواجهه گیاه با کمبود پتاسیم در خاک است. با توجه به کندی سرعت رها سازی پتاسیم در خاک هرچقدر کارآیی گیاه در جذب پتاسیم از منابع غیر تبادلی بیشتر باشد به‌همان اندازه گیاه کمتر دچار کمبود پتاسیم می‌شود و به این ترتیب نیاز به مصرف کود پتاسیمی در خاک نیز کاهش می‌یابد. استفاده از روش‌های بهنژادی می‌تواند گام مؤثری در افزایش کارآیی گیاه در جذب پتاسیم بومی خاک باشد. به عنوان مثال گیاهانی که دارای سیستم ریشه‌ای گسترده و عمیق‌تری هستند بالطبع حجم خاک در اختیار ریشه آن‌ها بیشتر بوده و امکان استفاده از مقدار زیادتری از پتاسیم بومی خاک برای آن‌ها نیز بیشتر است.

گونه‌های گیاهان و حتی ارقام مختلف یک گونه گیاهی از نظرنحوه مواجهه با شرایط کمبود و سطح مقاومت آن‌ها در شرایط کمبود پتاسیم متفاوت می‌باشند. اختلاف ارقام و گونه‌های مختلف در این رابطه به حدی است که می‌توان با روش‌های معین گونه‌های مقاوم و یا حساس به کمبود پتاسیم را شناسایی نمود. تحقیقات متعدد نشان داده است که گیاهان به روش‌های مختلفی می‌توانند با کمبود پتاسیم مقابله نمایند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

ـ **توسعه سیستم ریشه‌ای:** گیاهانی که از گستردگی ریشه‌ای بیشتری برخوردار باشند، قادر خواهند بود سطح بیشتری را در معرض جذب پتاسیم عرضه شده از خاک قرار دهند. از طرف دیگر با توجه به تحرک اندک پتاسیم در خاک، توسعه بیشتر شبکه ریشه‌ای و شکل پخشیده ریشه باعث می‌شود دسترسی ریشه‌ها در طول دوره رشد به نقاطی از خاک که پتاسیم آن‌ها توسط سایر ریشه‌ها تخلیه نگردیده است بیشتر شود و بنابراین کارایی جذب پتاسیم افزایش یابد.

ـ **نسبت سطح ریشه‌ها به اندام هوایی گیاهان:** از این نظر حایز اهمیت می‌باشد که ریشه‌های گیاهان تأمین‌کننده عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد اندام‌های هوایی می‌باشند، لذا بعضی از گونه‌ها و یا ارقام مقاوم به کمبود پتاسیم با کاهش نسبت سطح اندام هوایی به سطح ریشه‌ها در واقع سرعت تأمین پتاسیم را متناسب با تقاضای بخش رویشی تنظیم و بدین‌وسیله با کمبود پتاسیم مقابله می‌کنند.

ـ **کاهش حداقل غلظت پتاسیم در محلول خاک که در آن غلظت جذب پتاسیم امکان‌پذیر**

است: در صورتیکه جذب پتاسیم براساس نظر بسیاری از محققین از معادله میکائیلیس-منتن $Jr = \frac{Imax(C_L \quad Cmin)}{K_m + C_L \quad Cmin}$ پیروی نماید، C_{min} به صورت غلظتی از پتاسیم در محلول خاک تعریف می‌شود که در کمتر از آن جذب پتاسیم از محلول امکان‌پذیر نمی‌باشد. C_{min} از خصوصیات ژنتیکی گیاهان بوده و بنابراین گیاهان با C_{min} کمتر توانایی جذب پتاسیم را در غلظت‌های کمتر آن در محلول دارا می‌باشند.

ـ ترشحات ریشه‌های گیاهان: تحقیقات اخیر محققین نشان داده است که ریشه‌های بعضی از ارقام گیاهان در شرایط کمبود پتاسیم با ترشح موادی به درون خاک قابلیت استفاده پتاسیم خاک را افزایش داده و بنابراین باعث می‌گردند این گیاهان بتوانند با کمبود پتاسیم مواجهه نموده و رشد قابل قبولی داشته باشند. هنوز مشخص نیست که ترشحات ریشه گیاهان با چه مکانیسمی قادر خواهند بود جذب پتاسیم را برای گیاهان تسهیل نمایند و آیا این اثر مستقیم یا غیر مستقیم است (بازرگان، ۱۳۸۲).

۱۱-۲- درمان کمبود پتاسیم

از آنجا که حرکت پتاسیم در خاک عمدتاً تحت تأثیر پخشیدگی می‌باشد هر عاملی که پخشیدگی پتاسیم در خاک را افزایش دهد، قابلیت عرضه پتاسیم را افزایش داده است. با توجه به رابطه :

$$DOP = \left[\frac{(C \times ۱۰۰)}{C_{ref}}\right] - ۱۰۰$$

که در آن D_e، ضریب پخشیدگی موثر یون، D_i، ضریب پخشیدگی یون در آب، θ درصد حجمی رطوبت، f پیچ‌خوردگی مسیر حرکت محلول و b قدرت بافری خاک می‌باشد، می‌توان دریافت که ضریب پخشیدگی پتاسیم در خاک مشخصاً به رطوبت، قدرت بافری خاک و پیچ‌خوردگی مسیر حرکت یون وابسته است، لذا تهویه مناسب خاک، پیوستگی خلل و فرج خاک و ارتقاء ساختمان خاک‌ها، پخشیدگی پتاسیم را فزونی می‌بخشد. از طرف دیگر گیاهان با کاهش بیشتر غلظت پتاسیم در سطح ریشه خود و افزایش اختلاف غلظت بین سطح ریشه و توده محلول خاک، شیب غلظت پتاسیم را که لازمه جریان پخشیدگی است، افزایش می‌دهند. از جمله روش‌های به‌زراعی به منظور پیشگیری از بروز کمبود پتاسیم در گیاهان و استفاده از پتاسیم بومی خاک به شرح زیر می‌باشد:

- استفاده از تناوب زراعی و قراردادن گیاهان پتاسیم دوست و سریع‌الرشد با گیاهان با نیاز پتاسیمی پائین و دورهٔ رشد طولانی در تناوب،
- افزایش مواد آلی خاک و اصلاح ساختمان خاک به‌منظور بهبود شرایط تهویه‌ای ریشه و فراهم نمودن امکان رشد و توسعه بیشتر ریشه در خاک،
- حفظ رطوبت خاک در حد مطلوب و با توجه به اینکه بخش عمدهٔ پتاسیم در خاک توسط

فرآیند پخشیدگی به طرف ریشه حرکت کرده و در این ارتباط رطوبت عامل مهمی به شمار می‌رود.

- تغذیه متعادل و به خصوص مصرف ازت به میزان کافی با توجه به اثر متقابل و مثبت آن بر رشد ریشه و افزایش جذب پتاسیم از خاک.

روش مستقیم درمان کمبود پتاسیم، افزودن مقدار پتاسیم قابل جذب خاک است. این مقدار را می‌توان به دو روش شیمیایی و بیولوژیکی افزایش داد. در روش شیمیایی در واقع کودهای شیمیایی محتوی پتاسیم به خاک افزوده می‌شوند و در روش بیولوژیکی میکروارگانیسم‌های حل‌کننده سیلیکات به خاک افزوده می‌شوند تا با آزادسازی پتاسیم غیر قابل جذب خاک، مقدار پتاسیم قابل جذب را افزایش دهند. اینک به تفصیل به بحث دربارهٔ هر کدام از دو روش فوق پرداخته می‌شود.

۱-۱۱-۲- مصرف کودهای پتاسیمی: روش مصرف کودهای پتاسیمی نسبت به مقدار کود، شرایط خاک و نوع گیاه فرق خواهد کرد. اصولاً اگر میزان پتاسیمی که مصرف می‌شود پائین بوده و از طرفی میزان پتاسیم قابل جذب خاک نیز پایین و ظرفیت تثبیت پتاسیمی خاک نیز بالا باشد در این صورت بهتر است کودپتاسی کمی قبل و یا موقع کشت گیاهان یک ساله و به صورت نواری یا کپه‌ای کنار و نزدیک آن‌ها به کار برده شود، زیرا در غیر این صورت مصرف نسبی کود بیشتر می‌شود. به علاوه مقدار تثبیت این عنصر به وسیله خاک نیز کم می‌شود. در یک مطالعه مربوط به مقایسه روش‌های مختلف مصرف پتاسیم در خاکی که قدرت تثبیت پتاسیم آن زیاد بود، مفید بودن نسبی پتاسیم برای غلات به روش مصرف به صورت نواری ۳/۵ برابر روش پخش سطحی گزارش گردیده است. در صورتی که در همین خاک تفاوت زیادی بین این دو روش برای چغندرقند و سیب‌زمینی مشاهده نگردید (سالاردینی، ۱۳۷۱).

منظور از مصرف کود به صورت جایگذاری آن نیست که این کود مستقیماً در تماس با بذر یا گیاه قرار گیرد. چون در این صورت صدمه در نتیجه شوری زیاد غلظت املاح ممکن است به حدی برسد که مانع جوانه‌زدن بذر و یا باعث خشک شدن گیاه شود. قرار دادن کود در حدود ۵ سانتیمتر کنار و زیر بذر مناسب‌تر است چون در این‌صورت پس از آبیاری پتاسیم حل شده و از طریق جریان توده‌ای محلول خاک و جریان پخشیدگی در محیط پراکنده شده و از این طریق به ریشه گیاه نیز می‌رسد.

برای گیاهانی که درخاک‌های سبک کشت می‌شوند به دلیل آبشویی زیاد پتاسیم و در خاک‌های با ظرفیت تثبیت بالا و حاوی کانی‌های رسی دو به یک (۱:۲) مصرف کود پتاسیمی در دو یا سه نوبت توصیه می‌شود، نوبت اول موقع کاشت یا کمی قبل از آن و نوبت‌های بعدی در حین رشد و به صورت سرک و از منبع کلرورپتاسیم ارجحیت دارد. در مورد درختان جایگذاری کود پتاسیمی به روش چالکود و یا کانالکود در حدود منطقه فعالیت ریشه‌ها روش مناسبی است.

سالاردینی (۱۳۷۱) به نقل از منابع مورد مطالعه گزارش نموده است پتاسیمی که به‌صورت کود به تازگی به خاک افزوده می‌شود، نمی‌تواند به اندازه پتاسیم بومی خاک باعث افزایش عملکرد شود. اگر دو خاک مشابه انتخاب گردیده و یکی از آن‌ها از نظر پتاسیم فقیر نگه داشته شده و دیگری چندین سال تحت برنامهٔ کودپاشی منظم قرار گیرد، حداکثر محصولی که با کودپاشی از خاک فقیر می‌تواند به دست آید کمتر از حداکثر محصول مربوط به خاک غنی‌است. زیرا بخش اعظم پتاسیم کودی معمولاً در بین لایه‌های رسی کانی‌های رسی دو به یک تثبیت می‌شود. در صورتی‌که پتاسیم قدیمی خاک به‌تدریج با سطح کلوئیدهای خاک به حال تعادل درآمده است. بنابراین در یک خاک فقیر و تخلیه شده از نظر پتاسیم، شاید لازم باشد که مقدار کودپتاسی که به خاک داده می‌شود بیش از میزان نیاز سالیانه گیاه باشد تا بدین وسیله خاک از لحاظ پتاسیم غنی شده و سپس از طریق کودپاشی منظم سطح پتاسیم قابل جذب در حد معین و مطلوب ثابت نگه داشته شود.

ساختن کودهای پتاسیمی‌عمدتاً بر مبنای استخراج نمک‌های پتاسیمی‌از رسوباتی که خود از تبخیر دریاچه‌ها و دریاهای بسته تشکیل شده در دورانهای مختلف زمین شناسی و یا از طریق خشکاندن آب دریاچه‌های نمکی به وجود آمده‌اند، قرار دارد. منبع عمدهٔ این ذخایر در کشورهای روسیه، آلمان، کانادا و فرانسه بوده و به مقداری کم نیز در دیگر کشورها یافت می‌شود. به دلیل وجود همین مخازن، ساخت کودهای پتاسیمی کم هزینه‌تر از کودهای فسفاتی است.

در ساخت کودهای پتاسیمی عموماً از کانی‌های پتاسیمی استفاده می‌شود. فرآیند تشکیل نمک‌های پتاسیمی‌عمدتاً بر مبنای اختلاف در حلالیت، یا تفاوت در جرم ویژهٔ نمک‌ها استوار بوده و جداسازی آن از سایر نمک‌های همراه عمدتاً از طریق تبلور مجدد و یا به حالت تعلیق در آوردن نمک‌های پتاسیمی امکان‌پذیر است.

- **کلرورپتاسیم (MOP)**: رایج‌ترین کود پتاسیمی بوده و از کانی‌های محتوی پتاسیم به دست می‌آید. با وجود آن که ساخت این کود طی چند مرحله انجام می‌گیرد، مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید آن به مراتب کمتر از انرژی لازم برای ساختن کودهای ازتی و فسفاتی است. بنابراین، هزینهٔ تولید کودهای پتاسیمی‌کمتر از کودهای ازتی و فسفاتی می‌باشد. کلرورپتاسیم محتوی ۵۰ درصد پتاسیم (۶۰ درصد اکسید پتاسیم) بوده و حلالیت آن در آب حدود ۲۶ درصد و مصرف سرک آن رایج است. با آن که حدود ۹۲ درصد کودهای پتاسیمی مصرفی جهان را کلرورپتاسیم تشکیل می‌دهد، لیکن در برخی شرایط، حضور یون کلر مطلوب نمی‌باشد. این حالت عمدتاً برای گیاهانی نظیر سیب‌زمینی مخصوصاً هنگامی که مصرف سیب‌زمینی به صورت تازه مطرح نبوده و از سیب‌زمینی برای تهیه نشاسته استفاده می‌گردد، صادق است. وجود کلر اضافی در انتقال نشاسته در گیاه وقفه ایجاد کرده و بدین سبب عملکرد سیب‌زمینی کاهش می‌یابد. در گیاه توتون مصرف کلرورپتاسیم باعث کاهش کیفیت سوخت برگ‌های

توتون می‌گردد و همچنین عملکرد الیاف در کنف کاستی می‌پذیرد. برخی از مشاهدات گویای آن است که کلر ناشی از کاربرد کلرورپتاسیم در تاکستانها، سبب کاهش قند انگور می‌گردد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳).

- **سولفات‌پتاسیم (SOP):** در شرایطی که یون کلر برای گیاه نامناسب باشد، بهتر است پتاسیم به صورت سولفات و یا نیترات باشد. این کودها به طور معمول از اثر اسید سولفوریک و یا اسیدنیتریک بر کلرورپتاسیم به دست می‌آید. سولفات‌پتاسیم محتوی ۴۰ درصد پتاسیم (۵۰ درصد اکسید پتاسیم) بوده و در دمای معمولی حدود ۱۲ درصد آن در آب حل می‌شود. درصد حلالیت نیترات پتاسیم نیز بسیار بالا بوده و به سهولت می‌تواند به صورت سرک برای محصولات مختلف و مخصوصاً در سبزی‌ها و گل‌های بریده استفاده شود.
- **نیترات پتاسیم:** دارای ۳۸ درصد پتاسیم و ۱۴ درصد ازت بوده و حلالیت آن در آب در دمای معمولی نزدیک به ۳۵ درصد است. نیترات پتاسیم از اثر اسیدنیتریک بر کلرورپتاسیم حاصل گردیده و در صورت دارا بودن نیتراتهای آمونیوم و یا سدیم، جداسازی آن از طریق واکنش‌های شیمیایی امکان‌پذیر است. مزیت عمدهٔ این کود در مقایسه با کلرورپتاسیم همراه نداشتن کلر، و بالا بودن غلظت مادهٔ غذایی آن است.

۱-۱-۱۱-۲- سرنوشت کودهای پتاسیمی در خاک: کودهای پتاسیمی پس از اضافه شدن به خاک و انجام آبیاری در محلول خاک حل شده و از آن پس بسته به خصوصیات فیزیکو-شیمیایی خاک، نوع گیاه و شرایط مدیریتی آن از نظر زراعی و میزان آب آبیاری مورد استفاده و راندمان آن ممکن است دچار تغییراتی به شرح زیر گردد. پر واضح است که برآیند این تغییرات، راندمان کودهای پتاسیمی در خاک را مشخص می‌کند.

خاک‌هایی که بطور متوالی تحت کشت بوده و بنابه دلایلی نظیر عدم رعایت تناوب کشت و عدم مصرف کودهای پتاسیمی از یک طرف و وجود کانی‌های رسی از نوع دو به یک (۲:۱) در آن‌ها از طرف دیگر، از پتاسیم تخلیه شده‌اند بسته به درجهٔ تخلیهٔ پتاسیمی آن‌ها، بخشی یاحتی تمامی پتاسیم اضافه شده به صورت کود را در بین لایه‌های خود تثبیت می‌کنند.

در خاک‌های شدیداً تخلیه شده از پتاسیم معمولاً اضافه کردن سطوح پتاسیم ممکن است سبب افزایش در سطح پتاسیم قابل جذب خاک نگردد. بدیهی است در این شرایط عدم عکس‌العمل گیاه نسبت به پتاسیم مصرف شده قطعی می‌باشد.

بسته به بافت خاک و میزان رس آن، نوع گیاه و سیستم ریشه‌ای آن و مدیریت آبیاری بخشی از پتاسیم اضافه شده ممکن است به اعماق پایین آبشویی گردیده و به این ترتیب از دسترس ریشه خارج شود. سطح پتاسیم قابل جذب خاک افزایش یافته و به‌این ترتیب جذب پتاسیم توسط ریشه افزایش می‌یابد. بدیهی است میزان افزایش پتاسیم قابل جذب خاک و تأثیر آن در رشد و عملکرد گیاه به دو عامل اول بستگی دارد. بنابراین در مدیریت مصرف کودهای پتاسیمی بایستی

به‌گونه‌ای عمل شود که اولاً تخلیه پتاسیمی خاک اتفاق نیفتد چرا که در شرایط تخلیه شدید و ظهور علایم کمبود پتاسیم بر روی گیاه، در صورت افزودن پتاسیم به خاک، کانی‌های رسی رقیب ریشه برای جذب پتاسیم بوده و برای پر کردن این ظرفیتهای خالی مقدار زیادی کود لازم باشد که ممکن است از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نباشد. بنابراین به منظور جلوگیری از تخلیه پتاسیمی خاک پیشنهاد می‌شود اضافه کردن سالانه ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم یا معادل آن از کلرورپتاسیم در برنامهٔ کوددهی محصولات قرار گیرد. ثانیاً در صورت تخلیه شدید خاک‌ها از نظر پتاسیم و عدم امکان مصرف آن در سطح بالا روش کاربرد به صورت جایگذاری در زیر و ۵ سانتی‌متری کنار بذر باشد. ثالثاً در خاک‌های با بافت سبک و در شرایط پایین بودن راندمان آبیاری مصرف پتاسیم به صورت سرک در چند نوبت واز منبع کلرورپتاسیم به جای مصرف یکباره در زمان کاشت، سودمندتر به نظر می‌رسد. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد کودهای پتاسیمی، به آخر فصل پنجم (بند ۵-۵) مراجعه فرمائید.

۲-۱۱-۲-مصرف کودهای بیولوژیک پتاسیمی (BPF): میکروارگانیسم‌های مختلف شامل برخی از باکتری‌ها، قارچ‌ها، مخمرها، جلبک‌ها و نیز گلسنگ‌ها قادرند سیلیکات‌ها را تجزیه کرده و عناصری چون پتاسیم، فسفر، آهن، روی و سیلیسیم را آزاد کنند که در این میان باکتری‌ها از اهمیت بیشتری برخوردارند. (فلاح نصرت‌آباد و خاوازی، ۱۳۷۹). دانشمندان چینی از سال ۱۹۸۸ تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه جداسازی و بررسی کارآیی این باکتری‌ها آغاز کردند. آن‌ها با استفاده از این باکتری‌ها که باکتری‌های سیلیکاتی Silicate Dissolving Bacteria (SDB) نامیده شده‌اند، کودی تحت عنوان کود بیولوژیک پتاسیمی Biological Potassium Fertilizer (BPF) تهیه کردند که در سال‌های اخیر تولید انبوه آن را آغاز نموده‌اند و هم‌اکنون در بیش از چهار میلیون هکتار از اراضی زراعی چین مصرف می‌شود. کاربرد این کود برای بیش از ۲۰ نوع محصول مانند گندم, برنج، ذرت، ارزن، بادام‌زمینی، سویا، سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی، هندوانه، کلم‌پیچ، فلفل سبز، خیار، لوبیا قرمز، انگور، سیب و درختان میوه نتایج مثبتی را نشان داده است. بطوری که میانگین افزایش محصول در گیاهان دانه‌ای ۱۰ درصد، گیاهان صنعتی ۲۵-۱۰ درصد و در سبزیجات ۳۰-۲۰ درصد گزارش شده است (Rongchang و Fenyting، ۱۹۹۵).

نامگذاری باکتری‌های سیلیکاتی به عنوان مایه تلقیح کود بیولوژیک پتاسیمی به دلیل توان این باکتری‌ها در تجزیه سیلیکات‌ها و آزادسازی عناصری مانند پتاسیم، آلومینیم، آهن، سیلیسیم، روی، مولیبدن و غیره می‌باشد. مهمترین نقش این باکتری‌ها در آزادسازی پتاسیم است ولی گزارش‌هایی در زمینهٔ آزادسازی فسفر نیز وجود دارد (Mishustin و همکاران، ۱۹۸۱). تأثیر این باکتری‌ها در آزادسازی عناصر از کانی‌هایی مانند بیوتیت، مسکویت، کیتوئیت، ارتوکلاز و میکروکلاین گزارش گردیده است (Monib و همکاران، ۱۹۸۴؛ Saber و همکاران، ۱۹۸۱؛ Zahra، و همکاران، ۱۹۸۴).

از مهمترین این باکتری‌ها می‌توان دو گونه باسیلوس سیرکولنس و مگاتریوم و یک گونه آرتروباکتر (*Arthrobacter tumescenc*) را نام برد. فلاح نصرت‌آباد و خاوازی (۱۳۷۹) به نقل از Savostin (۱۹۴۱) باکتری‌های سیلیکاتی را بر اساس کارآیی آن‌ها برای آزادسازی پتاسیم از نوع کانی که روی آن رشد می‌کنند به انواع باکتری‌های ارتوکلازی (Orthoclase Bacteria)، باکتری‌های بیوتیتی (Biotite Bacteria) و باکتری‌های آلبیتی (Albite Bacteria) تقسیم‌بندی نموده‌اند.

در مورد گروه‌بندی باکتری‌های سیلیکاتی از نظر تغذیه‌ای نیز نظرات مختلفی وجود دارد. بسیاری از محققین این باکتری‌ها را از نظر تغذیه‌ای اتوتروف دانسته و معتقدند که این باکتری‌ها انرژی مورد نیاز خود را از تجزیه کریستالهای سیلیکاتی و در اثر تبدیل Si^{4+} به Si^{5+} کسب می‌کنند. برخی نیز معتقد به تغذیه اتوتروفی باکتری‌های سیلیکاتی بوده و باکتری باسیلوس موسیلاژنوز (*Bacillus mucilagenosus*) را اتوتروف دانسته و برای تکثیر از محیط‌های عاری از ازت و مواد آلی استفاده کرده‌اند. این در حالی است که بعضی از محققین دیگر به دلیل فراوانی باکتری‌های سیلیکاتی در اطراف ریشه، معتقد به تغذیه هتروتروفی آن‌ها می‌باشند (فلاح نصرت‌آباد و خاوازی، ۱۳۷۹).

۱-۲-۱۱-۲- تجزیه کانی‌ها و مکانیسم‌های آن: در سال ۱۹۵۰ دو محقق از کشور روسیه در بررسی روی باکتری‌های سیلیکاتی متوجه شدند که این باکتری‌ها می‌توانند پگماتولیت و کیتوئیت، پودر شیشه و غیره را حل کرده و پتاسیم موجود در آن‌ها را برای رفع نیاز پتاسیمی خود آزاد کنند (Rongchang و Fenytiny، ۱۹۹۵).

در تحقیقات مشابهی نیز گزارش گردید که باسیلوس ایکس لرجن (*Bacillus exlorguen*) می‌تواند مواد سیلیکاتی مثل پگماتولیت و کیتوئیت را حل کند. بعضی از میکروارگانیسم‌ها می‌توانند ارتوکلاز را نیز تجزیه کنند که از جمله آن‌ها می‌توان به باسیلوس مگاتریم و باسیلوس موسیلاژنوز اشاره کرد. آزمایش‌ها نشان دادند که در اثر تلقیح گونهٔ اخیر به محیط‌های تجدید نشده در مدت ۱۵ روز تا حدود ۱۲ درصد K_2O از ارتـــــوکلاز آزاد می‌شود ولی در محلول تجدید شونده حدود ۲۷ درصد K_2O، ۲۳ درصد Al_2O_3 و ۵۰/۳ درصد SiO_2 آن آزاد گردیده است.

توانایی ازتوباکترکروکوکوم (*Azotobacter chrococcum*) نیز برای آزادسازی پتاسیم از ارتوکلاز به اثبات رسیده است بطوری که این باکتری توانست در مدت ۲ هفته حدود ۷ درصد پتاسیم موجود در ارتوکلاز را آزاد کند (Rongchang و Fenyting، ۱۹۹۵). بیوتیت نیز از جمله کانی‌هایی است که توسط باکتری‌های سیلیکاتی تجزیه می‌شود. آزمایش‌ها نشان داده است که پس از ۳۰ روز از زمان تلقیح باکتری‌های فوق به محیط کشت مایع حاوی بیتوتیت، ۵۱ درصد K_2O، ۵۷ درصد Al_2O_3 و ۵۰/۳ درصد SiO_2 آن آزاد گردیده است (Mishustin و همکاران، ۱۹۸۱). همچنین تلقیح باکتری‌های سیلیکاتی به محیط کشت مایع حاوی کیتوئیت، فسفریت (Phoshorite) و آپاتیت (Apatite) توانست بالغ بر ۵۰ درصد

از P_2O_5 این کانی‌ها را آزاد نماید.
مکانیسم‌های تجزیه سیلیکات‌ها بر حسب نوع میکروارگانیسم‌های تجزیه‌کننده متفاوت است ولی اساساً این فرآیند در نتیجهٔ تأثیر فرآورده‌های متابولیکی این موجودات روی کانی‌ها انجام می‌گیرد که در زیر مهمترین انواع آن‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد (فلاح نصرت‌آباد و خاوازی، ۱۳۷۹).

- **ترشحات پلی ساکاریدی:** مواد لعابی و لزجی که توسط میکروارگانیسم‌ها ترشح می‌شوند عمدتاً از انواع پلی ساکاریدها شامل اسیدهای اونیک می‌باشند. عوامل کربوکسیل (COOH) و فنل (C_6H_6O) این ترشحات با عناصر موجود در سیلیکات‌ها واکنش داده و تشکیل پیوندهای پیچیده‌ای می‌دهند که منجر به آزاد شدن عناصر از شبکه کریستالی و رهاسازی آن‌ها به محلول خاک می‌شوند.
- **ترشح اسیدهای آلی:** بسیاری از میکروارگانیسم‌ها قادر به ترشح اسیدهای آلی هستند که در اثر واکنش با عناصر موجود در آلومینوسیلیکات‌ها ترکیبات پیچیده‌ای با قدرت حل‌کنندگی قوی تولید می‌کنند. از انواع این اسیدهای آلی می‌توان پلی‌هیدروکسی دی‌کربوکسیلیک اسید و پلی هیدروکسی‌تری کربوکسیلیک اسید، اسید ساکسینیک، اسید مالونیک و اسید لاکتیک را نام برد. هیدروکسی اسیدها قادر به تشکیل کمپلکس با بیش از ۶۰ نوع از عناصر مختلف می‌باشند. تأثیر اسیدهای آلی در آزادسازی پتاسیم به تشکیل کمپلکس با این عناصر و آزاد شدن H^+ نسبت داده می‌شود که از این طریق باعث تسهیل هوادیدگی کانی‌ها می‌شوند (Mishustin و همکاران، ۱۹۸۱؛ Shady و همکاران، ۱۹۸۴). تشکیل کمپلکس اسیدهای آلی با فلزات، به دلیل وجود عوامل هیدوکسیل (OH) و کربوکسیل (COOH) آن‌ها می‌باشد. آزادسازی پتاسیم از کانی‌ها تحت تأثیر اسیدهای آلی به عوامل مختلف شامل نوع اسید آلی، خصوصیات شیمیایی، پیوند بین اتم‌های موجود در کانی، ساختمان بلور و ترتیب تشکیل کانی‌های حاوی پتاسیم دارد. میزان آزادسازی عناصر از کانی‌ها به ترتیب زیر است:

$$Al\ (Mg\ ,\ Fe) > K > Si$$

ترتیب هوادیدگی کانی‌ها و آزادسازی پتاسیم از کانی‌های مختلف، تحت تأثیر اسید سیتریک و اسید اگزالیک به صورت مسکویت < ارتوکلاز ≅ میکروکلاین < بیوتیت می‌باشد در حالیکه این ترتیب توسط تترافنیل بران‌سدیم ($NaBpH_4$) به صورت میکروکلاین ≅ارتوکلاز<مسکویت<بیوتیت درمی‌آید.
بر اساس آزمایش‌های انجام شده، ثابت آزادسازی پتاسیم از بیوتیت توسط اسید سیتریک، ۶۳ برابر مسکویت و توسط اسید اگزالیک، ۱۲۳ برابر آن می‌باشد. علت اینست که اولاً اسید اگزالیک، اسید قویتری است و ثانیاً پتاسیم در مسکویت، با نیروی بیشتری نگهداری می‌شود. در مسکویت اولاً موقعیت هیدروکسیل نسبت به ورقه‌های سیلیکات، مایل بوده و فاصله بین پروتون و پتاسیم زیادتر است و بنابراین کمتر دفع می‌شود. ولی در بیوتیت، این موقعیت نرمال بوده و پروتون نزدیک پتاسیم قرار گرفته و نیروی دافعه بیشتری دارد. ثانیاً

ورقه‌های اکتاهدرال در مسکویت، بزرگتر از بیوتیت هستند.

- **ترشح اسیدهای معدنی:** بعضی از میکروارگانیسم‌ها قادر به ترشح اسیدهای معدنی مانند اسید نیتریک و اسید سولفوریک می‌باشند که قدرت حل‌کنندگی قوی دارند و می‌توانند موجب تجزیه و تخریب آلومینوسیلیکات‌هاشوند.
- **سایر فرآورده‌های متابولیک:** میکروارگانیسم‌ها در ضمن فعالیت‌های حیاتی خود CO_2 تولید می‌کنند که پس از تشکیل اسید کربنیک می‌تواند بعضی از نمک‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم‌دار را حل کند. همچنین گزارش شده است که اثرات متقابل متابولیتهای میکروبی و کانی پگماتولیت نمک پتاسیمی محلولی را تولید می‌کند.

تجزیه کانی‌ها بوسیله فعالیت حیاتی میکروارگانیسم‌ها از طریق واکنش‌های مختلفی صورت می‌گیرد که عبارت از هیدرولیز، حل شدن، هیدراته شدن و ایجاد کمپلکس می‌باشند. بنابراین معرفی انواع کاملاً اختصاصی به عنوان میکروارگانیسم‌های سیلیکاتی مقدور نیست. به علاوه اینکه گیاهان نیز تحت شرایط طبیعی باعث تجزیه سیلیکات‌ها می‌شوند.

کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها که در ضمن تجزیه بقایای گیاهی تولید می‌شوند و pH محیط را افزایش می‌دهند نیز می‌توانند منجر به تجزیه کانی‌ها گردند. بعضی از کانی‌ها بوسیله اسید و بعضی دیگر بوسیله باز تجزیه می‌شوند بعنوان مثال نفلین (Nepheline) و پلاژیوکلازها (Plagioclase)، بوسیله اسیدوکوارتز توسط باز به سختی تجزیه می‌شوند. در تجزیه الومینوسیلیکات‌ها ابتدا عناصر قلیایی، سپس عناصر قلیایی خاکی، بعد سیلیسیم و سپس آلومینیم آزاد می‌شود. اگر تجزیه شیمیایی باشد عناصر آزاد شده به محلول خاک منتقل می‌شوند ولی در تجزیه بوسیله میکروارگانیسم‌ها، ممکن است مقداری از پتاسیم در سلول موجود تجزیه‌کننده به صورت موقت تجمع پیدا کند (Immobilization). بدیهی است پس از مرگ میکروارگانیسم‌ها پتاسیم به خاک اضافه می‌شود.

۲-۲-۱۱-۲-مکانسیم‌های تأثیر کود بیولوژیک پتاسیمی:

آزادسازی پتاسیم و عناصر: آزمایش‌های انجام شده نشان داده‌اند که باکتری‌های سیلیکاتی توانایی حل کردن فلدسپارهای پتاسیم‌دار، ذرات سنگ فسفات و مواد معدنی خاک را دارند. بطوریکه در اثر تلقیح این باکتری‌ها به محیط شنی، بعد از ۴۰ روز مقدار پتاسیم و فسفر قابل دسترس به ترتیب ۱۲-۱۱ درصد و ۱۱۰/۸-۹۰ درصد افزایش نشان داده است. در شرایط مناسب از نظر فعالیت باکتری‌های سیلیکاتی در هر روز از هر ۱۰۰ گرم خاک ۱۸/۷ میلی‌گرم پتاسیم می‌تواند آزاد شود. عناصر دیگری مثل Si، Al، Mg، Cu و Mo نیز می‌توانند در اثر فعالیت باکتری‌های سیلیکاتی آزاد گردند.

استفاده از کود بیولوژیک پتاسیمی (BPF) باعث افزایش ازت، فسفر و پتاسیم گیاهان می‌شود به عنوان مثال آزمایش‌های انجام شده در گیاهانی مثل برنج، تنباکو، پنبه و گندم باعث افزایش بیش از ۱۰ درصد ازت شده است. همچنین در سیب‌زمینی، تنباکو، پنبه و ذرت مقدار فسفر نیز بیش از ۱۰ درصد افزایش داشته است. استفاده از BPF نه تنها مقدار ازت، فسفر و پتاسیم را در گیاهان افزایش می‌دهد بلکه

میزان پتاسیم قابل دسترس در خاک را نیز افزایش می‌دهد. به عنوان مثال در یک آزمایش مربوط به استفاده از BPF در کشت پنبه و ذرت در پایان فصل کشت میزان پتاسیم قابل دسترس در خاک تحت کشت پنبه ۲۳ تا ۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در مورد ذرت ۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافته بوده (Rongchang و Fenyting، ۱۹۹۵).

کاهش تثبیت پتاسیم: فلاح نصرت‌آباد و خاوازی (۱۳۷۹) به نقل از Rongchang و Fenyting (۱۹۹۵) گزارش نمودند که باکتری‌های سیلیکاتی بازدهی یا قابلیت دسترسی کودهای پتاسیمی را برای گیاه افزایش می‌هند به عنوان مثال مصرف سولفات‌پتاسیم در خاک تلقیح شده با باکتری‌های سیلیکاتی باعث می‌شود که میزان تثبیت پتاسیم بعد از سه روز به میزان ۲۱/۱ درصد و بعد از ۱۰ روز ۳۷/۵ درصد از شاهد تلقیح نشده کمتر باشد.

تولید مواد محرک رشد گیاه: باکتری‌های سیلیکاتی در طی فعالیتهای حیاتی خود می‌توانند مواد محرک رشد گیاه تولید کنند بطوری که با استفاده از کروماتوگرافی مایع تحت فشار (HPLC) مشخص شده است که در محیط کشت باکتری مقدار زیادی جیبرلین و سایر مواد فعال‌کننده وجود دارد که محرک رشد گیاه می‌باشند (فلاح نصرت‌آباد و خاوازی ۱۳۷۹).

افزایش مقاومت در برابر بیماری‌ها: آزمایش‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای نشان داده است که بعضی از بیمارها در اثر تلقیح گیاه با باکتری‌های سیلیکاتی از بین می‌روند که از میان آن‌ها می‌توان به لکه سفید ذرت (Cornspotblight)، پژمردگی زرد پنبه (Cottonyellow- wilt)، بلاست برنج (rice blast)، زنگ گندم (Wheat rust) و پوسیدگی ساقه گندم (Stem rot) اشاره کرد. همچنین این باکتری‌ها از پیری زودرس گیاهان جلوگیری کرده و مقاومت آن‌ها را در برابر خشکی، سرما و حمله میکروارگانیسم‌ها افزایش می‌دهند. با کاربرد BPF ابتلا به بیماری‌ها حدود ۶/۱ درصد و شاخص آن‌ها ۱۱/۱ درصد کاهش نشان داده است (Rongchang و Fenyting، ۱۹۹۵).

۳-۲-۱۱-۲- تأثیر BPF در افزایش عملکرد گیاهان مختلف و عوامل مؤثر در کارآیی آن:

آزمایش‌های زیادی از سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۳ با مصرف BPF برای گیاهان مختلف در کشور چین انجام شده است این آزمایش‌ها در سطحی معادل ۴×۱۰^{۵} هکتار با بیش از ۲۰ نوع گیاه مختلف شامل گندم، برنج، ذرت، ارزن، بادام‌زمینی، سویا، سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی، هندوانه، کلم‌پیچ چینی، فلفل سبز، خیار، لوبیا قرمز، انگور، سیب، هلو و غیره انجام شده است (Rongchang و Fenyting، ۱۹۹۵).

این آزمایش‌ها نشان داده‌اند که میانگین افزایش محصول در غلات ۱۰ درصد، در گیاهان صنعتی ۲۵-۱۰ درصد و در سبزیجات ۳۰-۲۰ درصد و سود اقتصادی آن نیز معنی‌دار بوده است. از آنجا که BPF یک کود بیولوژیک حاوی باکتری است بنابراین خصوصیات محیطی که این باکتری‌ها در آن قرار می‌گیرند بطور یقین در میزان فعالیت آن‌ها مؤثر است. مهمترین این عوامل به شرح زیر می‌باشند (فلاح نصرت‌آباد و خاوازی، ۱۳۷۹).

نوع خاک و پتاسیم قابل دسترس: مطالعات انجام شده نشان داده است که استفاده از BPF برای تمام خاک‌ها مخصوصاً خاک‌های لوم شنی بسیار مفید است. میزان تأثیر این کود به مقدار پتاسیم قابل دسترس خاک بستگی دارد. به عنوان مثال با استفاده از BPF در کشت پنبه در صورتی که پتاسیم قابل دسترس

خاک کمتر از ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد عملکرد حدود ۲۰ درصد و زمانی که مقدار پتاسیم بیشتر از ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد حدود ۱۴ درصد افزایش نشان داده است. بنابراین میزان تأثیر BPF با مقدار پتاسیم قابل دسترس رابطه عکس دارد.

آفت‌کش‌ها: معمولاً برای مبارزه با بیماری‌ها و آفات، بذرها را با سموم شیمیایی مخلوط می‌کنند که این کار می‌تواند کارآیی BPF را کاهش دهد. البته این کاهش به مقدار BPF و غلظت سموم استفاده شده بستگی دارد.

نوع گیاه: کارآیی BPF به نوع گیاه نیز بستگی دارد. بطور کلی گیاهانی مثل برنج، تنباکو، ذرت، بادام‌زمینی، سویا، سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی و سیب از جمله گیاهان پتاسیم‌دوست هستند و افزایش محصول آن‌ها در اثر استفاده از BPF معنی‌دار می‌باشد.

۴-۲-۱۱-۲- انواع BPF: در کشورهای تولیدکننده BPF مانند چین دو نوع از این کود یافت می‌شود. نوع جامد که بر پایه تورب (Peat) ساخته شده و به صورت پودر سیاه، مرطوب و نرم بوده و بوی خاصی ندارد و رطوبت آن نیز حدود ۳۰ درصد و تعداد باکتری در آن ۳۰۰ میلیون در هر سانتی‌متر مکعب و pH آن برابر ۶/۵ می‌باشد. نوع مایع که به صورت مایع سفید شیری رنگ با کمی بوی اسیدی است و تعداد باکتری در آن دو میلیون در هر سانتی‌متر مکعب و pH آن برابر ۷/۵ می‌باشد.

۵-۲-۱۱-۲- روش‌های تلقیح:

روش آغشته کردن دانه: برای گیاهانی مانند گندم، برنج، بادام‌زمینی و پنبه می‌توان BPF را با بذر گیاه مخلوط کرد که در این موارد مقدار BPF استفاده شده بین ۰/۵ تا ۰/۷ کیلوگرم در هر مترمربع توصیه شده است. برای این کار ۰/۷ کیلوگرم BPF را با ۲۵۰ سانتی‌متر مکعب آب کاملاً مخلوط می‌کنند و سپس بذر را به آن اضافه کرده و بطور کامل با کود مخلوط می‌نمایند تا به صورت لایه‌ای بر روی بذرها بچسبد. بعد باید بذر را دور از نور (در سایه) خشک کرد. فلاح نصرت‌آباد و خاوازی (۱۳۷۹) به نقل از منابع گزارش نمودند که در فاصله سال‌های ۱۹۵۴ تا ۱۹۷۲ حدود ۴۳۵ آزمایش توسط مؤسسات علمی در مورد تقلیح دانه گیاهان با باکتری‌های سیلیکاتی انجام گرفته که میانگین افزایش محصول ۹/۷ درصد بوده و افزایش ۶ درصد بطور مکرر اعلام شده است. میانگین افزایش محصول در ذرت ۷، چغندرقند ۶/۷، سیب‌زمینی ۱۲، گوجه‌فرنگی ۱۷/۵ و انگور ۱۱/۱ درصد بوده است.

روش آغشته کردن ریشه: برای گیاهانی مثل برنج و سیب‌زمینی می‌توان نشاء آن‌ها را به مایه تلقیح باکتری آغشته نمود برای تهیه مایه تلقیح، یک کیلوگرم BPF را با ۲/۵ کیلوگرم آب مخلوط کرده و ریشه گیاهان به مدت چند دقیقه در آن غوطه‌ور می‌شود (Rongchang و Fenyting، ۱۹۹۵).

فصل سوم

تحقیقات انجام شده در رابطه با اثر پتاسیم بر محصولات کشاورزی در ایران

۱-۳- گندم، برنج، جو و ذرت

گندم (*Triticum aestivum* L.) در اکثر جوامع بشری به عنوان یک محصول راهبردی، منبع اصلی تأمین‌کننده پروتئین و کالری مورد نیاز است. در کشور ایران براساس آمار و اطلاعات موجود، ۴۵ درصد پروتئین و ۵۵ درصد کالری مورد نیاز مردم از این محصول اساسی تأمین می‌شود (کشاورز و همکاران، ۱۳۸۰). در ایران حدود نیمی از سطح زیر کشت محصولات به گندم اختصاص دارد. رشد روز افزون جمعیت از یک سو و محدودیت منابع تولید یعنی خاک و آب در بخش کشاورزی از سوی دیگر سبب گردیده است تا بهره‌برداری بهینه از این منابع در راستای پایداری تولید و حفظ سلامت محیط زیست با گذر از کشاورزی معیشتی و سنتی به کشاورزی مدرن و اقتصادی از طریق توجه به دو عامل به نژادی و به زراعی و بکارگیری علوم و تکنولوژی جدید اجتناب‌ناپذیر گردد. از میان عوامل به زراعی تغذیه گیاه و مدیریت صحیح آن نقش بسزایی در افزایش عملکرد دانه و کیفیت آن دارد. پتاسیم از یک طرف به دلیل وظایف فیزیولوژیکی گسترده‌ای که در گیاه به عهده دارد و از طرف دیگر به دلیل ایجاد استحکام ساقه و مقاومت آن در مقابل خوابیدگی، افزایش کارآیی مصرف آب و جذب ازت و ایجاد مقاومت در برابر آفات و امراض، نقشی کلیدی در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت دانه گندم دارد. جدول ۱ متوسط برداشت تعدادی از عناصر پرنیاز توسط گندم را نشان می‌دهد (سالاردینی و مجتهدی ۱۳۷۲).

جدول ۱. متوسط برداشت تعدادی از عناصر غذایی پر نیاز توسط گندم از خاک

اندام گیاهی	عملکرد (تن درهکتار)	نیتروژن(N)	فسفر (P_2O_5)	پتاسیم (K_2O)	منیزیم (Mg)	گوگرد (S)
		کیلوگرم در هکتار				
دانه	۱۰/۸	۱۶۰	۴۹	۳۰	۱۳	۶
کاه و کلش	۶/۷	۴۷	۱۱	۱۵۱	۱۳	۱۷

همان‌گونه که جدول ۱ نشان می‌دهد اگر چه مقدار برداشت پتاسیم توسط دانه در مقایسه باکاه بسیار کمتر است ولی از آنجا که عموماً کلش گندم بعد از برداشت به منظور مصارف دام و غیره از مزرعه خارج می شود، لذا کشت مداوم گندم و کود پذیری بالای ارقام جدید، عدم رعایت تناوب زراعی، برنگرداندن بقایای گیاهی به خاک و عدم مصرف کودهای پتاسیمی سبب تخلیه خاک از پتاسیم گردیده و این امر سبب بروز کمبود پتاسیم در گیاه و در نهایت کاهش عملکرد آن می‌گردد. در ایران تحقیقات وسیعی درباره اثر پتاسیم بر خواص کمی و کیفی گندم صورت گرفته

است که اینک به طور اختصار به آن‌ها اشاره می‌شود.

وکیل و همکاران (۱۳۸۲) اثر منابع و مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی بر غلظت عناصر غذایی گندم در شرایط شور را مورد بررسی قرار دادند. این آزمایش در یکی از مزارع گندم استان قم و در خاک با بافت لوم رسی وبا شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر و پتاسیم قابل جذب ۲۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم انجام گرفت. تیمارهای بکار رفته در آزمایش شامل چهار سطح پتاسیم ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم (K_2O) در هکتار از دو منبع سولفات و کلرید پتاسیم بود. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش سطح پتاسیم از منبع سولفات‌پتاسیم، غلظت کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر و نیتروژن در برگ پرچم به طور معنی‌داری افزایش یافته است و بیشترین غلظت‌های عناصر فوق مربوط به تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار بود. در تیمارهای مربوط به مصرف کلرورپتاسیم با افزایش سطح پتاسیم، غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و نیتروژن برگ کاهش و غلظت سدیم و کلر افزایش معنی‌داری یافته بودند. این محققین در توجیه این پدیده چنین بیان نمودند که در تیمارهای مربوط به مصرف کلرید پتاسیم افزایش غلظت سدیم و کلر در محیط ریشه سبب اختلال در جذب پتاسیم بوسیله گیاه شده و در نتیجه آن عملکرد گیاه کاهش یافته است. بررسی نسبت‌های پتاسیم به سدیم، کلسیم به سدیم و نیتروژن به کلر در تیمارهای سولفات‌پتاسیم نشان داد که با افزایش سطح پتاسیم نسبت‌های فوق افزایش یافته است در حالیکه در تیمارهای کلرید پتاسیم نسبت‌های فوق کاهش یافته بود. این محققین از آزمایش خود چنین نتیجه‌گیری نمودند که در محیط‌های شور، با افزایش غلظت سدیم در محیط ریشه و کاهش نسبت پتاسیم به سدیم (K/Na) جذب پتاسیم و سایر عناصر غذایی کاهش می‌یابد. بنابراین پتاسیم یک عنصر مهم در شرایط شور بوده و وجود غلظت کافی از آن در محیط ریشه نقش مؤثری در افزایش جذب سایر عناصر غذایی و افزایش عملکرد محصول گندم دارد.

نیرومند حسینی و مفتون (۱۳۸۲) در یک آزمایش گلخانه‌ای تأثیر پتاسیم بر رشد رویشی و زایشی گندم در بعضی از خاک‌های آهکی استان فارس را مورد ارزیابی قرار دادند و چنین گزارش نمودند که مصرف پتاسیم در هیچکدام از خاک‌های مورد آزمایش پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر وزن ماده خشک نداشته ولی با این وجود میانگین وزن خشک اندام هوایی گندم (عملکرد بیولوژیکی) در خاک تیمار شده با پتاسیم بیشتر از شاهد بوده و غلظت و جذب کل پتاسیم به طور معنی‌داری افزایش یافته بود. تأثیر سطوح مختلف پتاسیم در رشد زایشی به صورت افزایش معنی‌دار در وزن هزار دانه، غلظت پتاسیم در مجموع دانه و کاه بوده است.

محققین برهمکنش تنش رطوبتی و پتاسیم خاک بر رشد رویشی دو رقم گندم زمستانه را به صورت گلخانه‌ای و به طریق کشت دو رقم گندم که یکی حساس به تنش خشکی و دیگری مقاوم به تنش خشکی بود، مورد بررسی قرار دادند. در این آزمایش از چهار سطح پتاسیم شامل صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات‌پتاسیم و چهار تیمار تنش رطوبتی

شامل آبیاری زمانی که ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد آب قابل استفاده گیاه به مصرف رسیده بود استفاده گردید. این محققین نتایج حاصل از آزمایش خود را به شرح زیر گزارش نمودند

- تنش خشکی باعث افزایش غلظت کلروفیل در برگ گیاه گردیده که این پدیده احتمالا معلول عدم انتقال مواد حاصله از فتوسنتز از برگ به سایر اندام‌ها بوده است.
- تنش خشکی با کاهش غلظت پتاسیم برگ همراه بود ولی میزان کاهش غلظت درتیمارهایی که پتاسیم بیشتری دریافت کرده بودند کمتر بود.
- تنش خشکی در هر دو رقم گندم حساس و مقاوم به تنش خشکی باعث کاهش سطح برگ گردیده ولی با این وجود میزان تأثیر سوء تنش خشکی بر روی تیمارهایی که پتاسیم بیشتری دریافت کرده بودند نسبت به شاهد کمتر بود.
- تنش خشکی در هر دو رقم باعث کاهش ارتفاع بوته گردید و غلظت پتاسیم در تعدیل اثر تنش خشکی بر کاهش ارتفاع گیاه مؤثر نبود. هرچند در رقم حساس (کراس آزادی) نسبت به رقم مقاوم (کل حیدری) تعدیل جزیی ملاحظه شد.
- کاهش شدید پتانسیل آب برگ در تیمارهایی که با تنش آبی مواجه بودند صورت گرفته بود لیکن این کاهش با مصرف بیشتر پتاسیم محسوس‌تر بود.
- اگرچه تنش خشکی سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی در هر دو رقم گردیده بود ولی کاربرد پتاسیم سبب افزایش تولید ماده خشک اندام هوایی در مقایسه باتیمارهای مشابه از نظر تنش خشکی که در آن‌ها پتاسیم مصرف نشده بود گردید.
- تنش خشکی و افزایش پتاسیم مصرفی باعث افزایش وزن خشک ریشه گردید و این افزایش در رقم کراس آزادی (رقم حساس) بیشتر بود.
- هرچند تنش آبی باعث کاهش تعداد پنجه‌ها گردید ولی این کاهش معنی‌دار نبود از طرفی افزایش سطوح پتاسیم باعث افزایش معنی‌دار تعداد پنجه‌ها گردید. این پدیده در رقم کل حیدری (رقم مقاوم) بیشتر محسوس بود.

درودی و سیادت (۱۳۷۸) در یک آزمایش مزرعه‌ای به منظور بررسی اثر پتاسیم بر عملکرد گندم در شرایط شور گزارش نمودند که علی‌رغم بالا بودن غلظت پتاسیم قابل جذب در خاک و همچنین کافی بودن غلظت پتاسیم برگ، باز هم علائم کمبود پتاسیم در گیاه ظاهر گردیده که با مصرف پتاسیم در خاک این علائم برطرف گردید. این محققین در توجیه این حالت چنین بیان نمودند که به دلیل همبستگی قوی بین غلظت کلر و پتاسیم در برگ پرچم گندم و همبستگی ضعیف بین کلر و سایر کاتیون‌ها در شرایط شور احتمالاً مقداری از پتاسیم جذب شده توسط گیاه برای خنثی کردن بار الکتریکی کلر ذخیره شده در واکوئل‌ها حبس گردیده و کمک به واکنش‌های حیاتی نمی‌نماید، در نتیجه علی‌رغم بالا بودن غلظت پتاسیم در اندام هوایی گندم، علائم کمبود پتاسیم در گندم ظاهر می‌گردد.

محققی گزارش نمود که درشوری آب آبیاری ۵ دسی زیمنس بر متر درمنطقه ورامین، مصرف سولفات‌پتاسیم به میزان چهار برابر توصیه معمول، بیشترین عملکرد دانه و کاه را درگندم ارقام قدس و مهدوی بدنبال داشته است. میرزاپور و همکاران (۱۳۸۳) نشان دادند که مصرف سولفات‌پتاسیم به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به علت افزایش نسبت پتاسیم به سدیم از یک سو و کاهش نسبت کلر به سولفات در محیط ریشه از سوی دیگر، می‌تواند سبب افزایش عملکرد گندم در شرایط شور منطقه قم با شوری آب آبیاری ۱۱/۲ دسی زیمنس بر متر گردد. گیاهان حساس به شوری نسبت به مصرف پتاسیم عکس‌العمل مناسب‌تری نشان می‌دهند. با افزایش نسبت پتاسیم به سدیم (K/Na) در محلول خاک، تحمل گیاه به شوری افزایش می‌یابد.

مجموعه مطالعات انجام شده در زمینه تغذیه گیاهان در شرایط شور در این نکته مشترک هستند که با افزایش شوری خاک، جذب عناصر غذائی بوسیله گیاه کاهش یافته و یا نسبت آن‌ها نامتعادل می‌شود. براین اساس در یک شوری معین، رعایت اصول مصرف بهینه کود به ویژه مصرف کودهای نیتروژنه، سولفات‌پتاسیم و سولفات روی منجر به افزایش عملکرد می‌گردد. به نظر می‌رسد که افزودن کودهای شیمیایی در حد بهینه به خاک‌های شور، با کاهش جذب عناصر سمی سدیم و کلر و تعدیل آن‌ها تا حد زیادی از به هم خوردن تعادل عناصر غذایی در گیاه جلوگیری نموده و به این ترتیب باعث افزایش عملکرد می‌گردد. یادآوری می‌شود که واکنش مثبت گیاه به مصرف کود در خاک‌های شور منحصر به شوری‌های کم تا متوسط بوده و در شوری‌های زیاد به دلیل افزایش تجمعی فشار اسمزی، واکنش گیاه منفی شده و عملکرد کاهش می‌یابد. بنابراین، پیش نیاز هرگونه توصیه کودی در خاک‌های شور اطلاع از مقدار شوری و تغییرات پویای آن طی فصل رشد است.

محققی در یک مطالعه به منظور تعیین حد بحرانی فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک برای گندم در منطقه گنبد و مینودشت، حد بحرانی این عناصر به روش کیت ـ نلسون برای فسفر و پتاسیم در شرایط آزمایش را به ترتیب ۱۲/۵ و ۲۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش گردید. لطف‌الهی و ملکوتی(۱۳۸۳) در یک آزمایش مزرعه‌ای اثر کاربرد مقادیر مختلف پتاسیم و عناصر کم نیاز بر عملکرد و خصوصیات کیفی سه رقم گندم مهدوی، شیراز و پیشتاز را مورد بررسی قرار دادند این آزمایش در یک خاک با درصد رس ۲۵ و پتاسیم قابل جذب ۱۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم صورت گرفت. این محققین گزارش نمودند که تیمارهای آزمایش اثر معنی‌داری بر عملکرد و درصد پروتئین دانه گندم نداشته است، اگر چه مصرف پتاسیم به‌میزان دوبرابر آزمون خاک همراه مصرف عناصر کم نیاز باعث افزایش عملکرد دانه و درصد پروتئین شده بود.

فیضی و مهاجر میلانی (۱۳۸۳) در یک مطالعه مزرعه‌ای به منظور بهینه‌سازی مصرف کودهای نیتروژنی، فسفاتی و پتاسیمی در شرایط شور برای گندم با اعمال تیمارهای ازت، فسفر و پتاسیم و شوری‌های مختلف آب آبیاری ۴/۵، ۶ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در یک خاک با مقدار رس

۳۲ درصد و پتاسیم قابل جذب ۲۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند که اثر اصلی و متقابل پتاسیم بر عملکرد دانه و کاه معنی‌دار نبوده است. رمضان‌پور و همکاران (۱۳۸۳) در یک مطالعه سه ساله در منطقه داراب استان فارس، اثر پتاسیم بر کاهش تنش خشکی در گندم را مورد بررسی قرار دادند. در این آزمایش از چهار تیمار آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی شامل تیمار بدون تنش آبی یا مصرف آب آبیاری براساس توصیه، ۲۰ درصد کاهش در آب مصرفی نسبت به تیمار بدون تنش (تنش ملایم)، ۴۰ درصد کاهش در آب مصرفی به عنوان تنش خشکی متوسط و ۶۰ درصد کاهش در آب مصرفی به عنوان تنش خشکی شدید و سه تیمار مصرف کود پتاسیمی به عنوان فاکتور فرعی شامل سطوح صفر، ۱۰۰ و۲۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم از منبع سولفات‌پتاسیم استفاده گردید. تجزیه و تحلیل نتایج سه ساله این تحقیق نشان داد که در محیط‌های مواجه با تنش خشکی عملکرد کاهش می‌یابد به‌طوری که در تیمار بدون تنش خشکی عملکرد دانه معادل ۵۸۲۱ کیلوگرم در هکتار بود حال آنکه در تیمارهای مربوط به تنش ملایم، متوسط و شدید عملکرد به‌ترتیب به۵۴۰۴، ۳۹۲۷و ۱۹۶۷ کیلوگرم در هکتار کاهش یافته بود. در این آزمایش مصرف سولفات‌پتاسیم در هر تیمار تنش خشکی اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشته است به عبارت دیگر در حضور سولفات‌پتاسیم از کاهش بیشتر عملکرد حتی در تنش‌های شدید خشکی نیز تا حد زیادی ممانعت شده بود. مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار از منبع سولفات‌پتاسیم به طور معنی‌داری عملکرد دانه را نسبت به شاهد به ترتیب ۹/۵ و ۱۶/۳ درصد افزایش داد. این محققین در مجموع از این آزمایش چنین نتیجه‌گیری نمودند که مصرف پتاسیم میزان مقاومت به خشکی و عملکرد دانه در محیط‌های کم آب را افزایش داده و عملاً تأثیر منفی کمبود رطوبت در کاهش عملکرد دانه را تاحدی تعدیل می‌نماید و به این ترتیب می‌تواند به عنوان یک راهکار عملی در زمینه به زراعی برای مقابله با خشکی و جلوگیری از کاهش عملکرد گندم مد نظر باشد.

درودی و سیادت (۱۳۷۸) دریک آزمایش با استفاده از سطوح مختلف ازت و پتاسیم در شوری‌های مختلف آب آبیاری تحت کشت گندم رقم فلات گزارش نمودند چنانچه غلظت املاح در آب آبیاری از محدوده معینی تجاوز کند رشد گندم عمدتاً تحت تأثیر شوری آب قرار می‌گیرد تا مصرف کودهای اوره و سولفات‌پتاسیم و در نهایت چنین نتیجه‌گیری کردند که با مصرف متعادل اوره و سولفات‌پتاسیم می‌توان اثرات سوء ناشی از تنش شوری در گندم را تاحدودی کاهش داد. این محققین همچنین به این نتیجه رسیدند که هنگامی که غلظت پتاسیم در خاک و حتی در برگ‌های گندم در حد طبیعی و کفایت باشد باز هم به دلیل فراوانی و تجمع سدیم و کلر در واکوئل‌های سلول‌ها علائم ظاهری کمبود پتاسیم در برگ‌های گندم ظاهر شده و به این ترتیب نیاز گندم به پتاسیم افزایش می‌یابد. رفیع و ملکوتی(۱۳۷۸)، منتجبی (۱۳۷۸)، بلالی و همکاران (۱۳۷۹) و جواهری و همکاران (۱۳۸۳) در تحقیقات جداگانه مدل

رایانه‌ای توصیه کودی در مزارع گندم مناطق مختلف کشور را مورد ارزیابی قرار دادند که از جمع‌بندی نتایج تحقیقات این محققین می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که استفاده از مدل و برآورد مصرف عناصر غذایی و از جمله پتاسیم براساس آن برای عملکردهای متوسط در خاک‌های بدون مشکل شوری بلامانع است لکن مصرف عناصر به مقدار بیشتر از ۳۰ درصد مقدار برآورد شده براساس مدل برای خاک‌های شور تحت کشت گندم در کشور قابل توصیه است. هرچند که خود مدل جامع توصیه کودی نیز از نظر نوع و تعداد شاخص‌های مورد ارزیابی بایستی مورد بازنگری قرار گیرد.

برنج (*Oriza sativa* L.) یکی از دیگر محصولات راهبردی کشور می‌باشد به‌طوری‌که در مناطق شمالی کشور غذای اصلی و در سایر مناطق بعد از گندم غذای اصلی مردم را شامل می‌شود. برنج حدود دو سوم کالری مورد نیاز بیش از دو میلیارد نفر از جمعیت قاره آسیا را تأمین می‌نماید (ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳) اهمیت و جایگاه برنج در سبد غذایی مردم ایران از یک طرف و رشد روز افزون جمعیت از طرف دیگر ضرورت تغییر نگرش از کشاورزی سنتی و معیشتی به کشاورزی مدرن و اقتصادی و استفاده از علوم بهنژادی و نوین در این عرصه را دو چندان نموده است. از بین عوامل به زراعی، تغذیه متعادل و مطلوب عامل مهمی در افزایش عملکرد هکتاری و بهبود کیفیت برنج به شمار می‌رود که در این میان نقش پتاسیم بعد از ازت بسیار اساسی می‌باشد. جدول ۲ برداشت عناصر غذایی اصلی توسط گیاه برنج از خاک را نشان می‌دهد (ملکوتی و کاوسی ۱۳۸۳).

جدول ۲. متوسط برداشت عناصر غذایی اصلی توسط گیاه برنج به‌ازای تولید هر تن دانه برنج

اندام گیاهی	نیتروژن (N)	فسفر (P_2O_5)	پتاسیم (K_2O)	منیزیم (Mg)	گوگرد (S)
	کیلوگرم در هکتار				
دانه	۱۵/۲	۶	۳/۶	۱/۲	۰/۶
کاه و کلش	۹	۱/۴	۳۳/۶	۱/۶	۰/۴

همان‌گونه از جدول شماره ۲ برمی‌آید و با توجه به اینکه به‌طور معمول و به دلیل عدم امکان پوساندن کلش در کوتاه مدت تمامی کلش از مزرعه بیرون کشیده می‌شود لذا مجموع برداشت پتاسیم توسط این گیاه حتی از نیتروژن نیز بیشتر است. در گذشته و در شرایطی که میزان محصول برنج تولیدی در واحد سطح پایین بود اغلب خاک‌های شالیزاری توانایی تأمین پتاسیم مورد نیاز برنج را دارا بودند و به این جهت در بیشتر آزمایش‌های مربوط، پاسخ گیاهی نسبت به مصرف پتاسیم منفی و یا اندک بود. اما در طی دو دهه گذشته به دلیل بهره‌برداری متراکم و ممتد از اراضی شالیزاری و افزایش تولید در واحد سطح ناشی از بهره‌گیری از ارقام پر محصول و پر توقع از نظر عناصر غذایی استفاده محدود و یا عدم استفاده از کودهای پتاسیمی، استفاده

از آب‌های زیر زمینی به جای آب‌های سطحی که عرضه پتاسیم به مزارع را کاهش می‌دهد و همچنین افزایش میزان مصرف کودهای نیتروژنی که باعث جذب بیشتر پتاسیم از خاک می‌گردد، همگی سبب گردیده‌اند تا به‌طور تدریجی کمبود پتاسیم به‌عنوان عامل محدودکننده تولید درخاک‌هایی که قبلاً کمبودی نداشتند ظاهر شود (بهمنیار و احمدیان، ۱۳۸۳). توفیقی (۱۳۷۷) در یک آزمایش گلدانی بر روی تعدادی از خاک‌های جمع‌آوری شده از مناطق مختلف تحت کشت برنج در شمال کشور سطح بحرانی پتاسیم با استفاده از عصاره‌گیر استات آمونیم یک نرمال و خنثی با روش ترسیمی کیت- نلسون را برای برنج رقم خزر ۱۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمود. این محقق همچنین در نتیجه بررسی آماری روی ۶۶ نمونه مورد بررسی و سپس تعمیم آن به مناطق شالیزاری شمال کشور گزارش نمود که ۵۵ درصد اراضی شالیزاری زیر کشت ارقام پر محصول در شمال کشور از نظر مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیم زیر حد بحرانی ۱۳۵ میلی گرم بر کیلوگرم قرار دارند. ملکوتی و کاوسی (۱۳۸۳) نیز در تحقیقی دیگر بیان داشتند که ۶۳ درصد از مناطق مورد مطالعه در مازندران نسبت به کاربرد کلرورپتاسیم پاسخ مثبت نشان داده‌اند. کاوسی و کلباسی (۱۳۷۸) گزارش نمودند که حد بحرانی پتاسیم برای برنج در روش‌های مختلف عصاره‌گیری متفاوت است. این محققین حد بحرانی پتاسیم برای برنج رقم سپید رود براساس عملکرد نسبی ۹۰ درصد را با روش استات منیزیم، روش مورگان، روش کلووانا، روش تگزاس، روش اسید سولفوریک، روش کلرید کلسیم یکصدم مولار و روش استات آمونیم به ترتیب ۳۸، ۷۴، ۷۲، ۱۶،۱۱۱، ۳۶و ۱۱۲ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. ملکوتی و همکاران (۱۳۸۰) نیز در یک مطالعه مزرعه‌ای حد بحرانی پتاسیم با استفاده از عصاره‌گیر استات آمونیم نرمال و خنثی به روش ترسیمی کیت – نلسون برای ارقام پر محصول برنج را ۱۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آوردند. این محققین همچنین بیان نمودند که در شرایط کمبود پتاسیم قابل جذب در خاک، برگ‌های گیاه برنج به رنگ زرد با نوک و حاشیه سوخته درآمده که این علایم ابتدا در برگ‌های مسن ظاهر شده و با شدت یافتن کمبود به برگ‌های جوان نیز سرایت می‌کند. ساقه‌ها عموماً ضعیف و در برابر عوامل بیماریزا حساس‌تر شده و در نتیجهٔ این عوامل عملکرد گیاه کاهش و کیفیت آن نیز نامطلوب می‌گردد. از جمله راهکارهای جلوگیری از کمبود پتاسیم ناشی از پایین بودن میزان پتاسیم قابل جذب در خاک مصرف کودهای پتاسیمی می‌باشد که مدیریت مصرف آن بایستی با توجه به‌شدت پتاسیم تخلیه شده یا ظرفیت تثبیت پتاسیمی خاک و سایرخصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک، عملکرد مورد انتظار و سایر عوامل زراعی صورت گیرد. کاوسی و ملکوتی (۱۳۸۳) در یک مطالعه با هدف تعیین حد بحرانی پتاسیم برای برنج (رقم خزر) در شالیزارهای گیلان تعداد ۲۱ مزرعه از بین مزارع شالیزاری را که دارای پراکنش مناسبی از نظر پتاسیم قابل دسترس در خاک بودند، انتخاب و در هر یک از آن‌ها تیمارهای مختلف پتاسیم شامل ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰و ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اکسید پتاسیم از منبع

کلرورپتاسیم اعمال نمودند. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که تأثیر مقادیر مختلف کلرورپتاسیم و همچنین اثر نوع خاک بر عملکرد دانه معنی‌دار است. در این آزمایش حد بحرانی پتاسیم برای برنج (رقم خزر) با استفاده از عصاره‌گیر استات آمونیم نرمال و روش ترسیمی کیت ـ نلسون براساس ۹۵ درصد عملکرد نسبی، ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به دست آمد. میانگین افزایش عملکرد شلتوک در مزارعی که نسبت به مصرف کلرورپتاسیم پاسخ مثبت نشان داده بودند به طور متوسط ۹۸۲ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج همچنین نشان داد در شالیزارهایی که پتاسیم قابل استفاده در آن‌ها کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود عکس‌العمل گیاه نسبت به کاربرد کلرورپتاسیم بالا، در شالیزارهایی که پتاسیم قابل جذب آن‌ها بین ۱۰۰ تا ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود عکس‌العمل گیاه نسبت با کاربرد کلرورپتاسیم متوسط و در شالیزارهایی که پتاسیم خاک آن‌ها بیشتر از ۱۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود عکس‌العمل پایین بود. رمضان‌پور و همکاران (۱۳۸۳) در یک آزمایش مزرعه‌ای تأثیر مقادیر و منابع مختلف کودهای پتاسیمی بر عملکرد دو رقم برنج را مورد بررسی قرار دادند. این آزمایش در دو خاک با مقادیر رس ۳۷ و ۳۲ درصد و پتاسیم قابل جذب ۱۶۳ و ۱۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم صورت گرفت. رقم مورد بررسی در خاک با میزان رس ۳۲ درصد و پتاسیم قابل جذب ۱۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شهرستان (آمل) رقم نعمت و رقم دیگر در خاک با ۳۷ درصد رس و پتاسیم قابل جذب ۱۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم (منطقه میانه‌رود و خرابه) رقم طارم محلی بود. نتایج آزمایش نشان داد که تأثیر سطوح کودی پتاسیم بر عملکرد شلتوک رقم طارم معنی‌دار بوده است ولی منابع مختلف کودی پتاسیم بر عملکرد تأثیر معنی‌داری نداشته اما در مورد رقم نعمت در خاک مورد مطالعه سطوح پتاسیم و منابع آن هیچکدام اثر معنی‌داری بر عملکرد شلتوک نداشته‌اند. ملکوتی و همکاران (۱۳۸۳) در مطالعه بر روی نقش پتاسیم در افزایش کارآیی کودهای نیتروژنی گزارش نمودند که مصرف پتاسیم در سطوح بالا و در شرایط تخلیه خاک از پتاسیم سبب افزایش رشد رویشی اندام‌های هوایی و مخصوصاً ریشه گردیده و از طریق تأثیر بر عملکرد گیاه باعث افزایش کارآیی نیتروژن مصرفی می‌گردد. در این آزمایش کارآیی نیتروژن از ۱/۴۷ در تیمار شاهد (بدون مصرف پتاسیم) به ۱/۵۲ در تیمار مربوط به مصرف ۴۰۰ کیلوگرم پتاسیم (K_2O) افزایش یافته بود. این محققین چنین نتیجه‌گیری نمودند که در خاک‌های شالیزاری که تخلیه پتاسیم در آن‌ها اتفاق افتاده و مقدار پتاسیم قابل استفاده آن‌ها به کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کاهش یافته است، در صورت کشت ارقام پرمحصول، مصرف سطوح پائین پتاسیم نظیر ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌پتاسیم با پاسخ گیاهی همراه نبوده و لازم است به منظور اثربخشی این مقادیر پائین مصرف پتاسیم به صورت سرک در چند نوبت همراه با آب آبیاری صورت گیرد. شالیکارانی که به عرف سنتی از ارقام محلی کم بازده و فقط از کودهای نیتروژنی و فسفاتی استفاده می‌کنند و در این شرایط تولید آن‌ها از چهار تن در هکتار تجاوز نمی‌نماید کمبود ازت را مشاهده نمی‌کنند

ولی اگر از ارقام پر محصول استفاده شود و یا عملکرد بالا مورد انتظار باشد با افزایش مصرف کودهای پتاسیمی و روی و به دنبال آن افزایش رشد رویشی نیاز به نیتروژن افزایش می‌یابد و در این شرایط کارایی کود نیتروژنی نیز بهبود می‌یابد.

بهمنیار و احمدیان (۱۳۸۳) در یک مطالعه به منظور بررسی بر همکنش پتاسیم و روی بر رشد و عملکرد برنج (رقم طارم) پنج مزرعه از بین مزارع مختلف قائم شهر را که مقدار رس آن‌ها بین ۲۴ تا ۲۸ درصد و پتاسیم قابل جذب آن‌ها بین ۱۰۹ تا ۱۳۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود انتخاب نموده و در هر مزرعه سطوح پتاسیمی شامل ۰، ۷۵، ۱۵ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار (K_2O) از منبع سولفات‌پتاسیم و سه سطح روی شامل ۰، ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی را به کاربردند. نتایج حاصل نشان داد که پاسخ برنج به کود پتاسیمی بسیار معنی‌دار بوده است به‌طوری که با افزایش مصرف پتاسیم عملکرد، ارتفاع ساقه، تعداد پنجه در هر کپه، تعداد پنجه بارور، طول خوشه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در خوشه افزایش و تعداد دانه پوک در هر خوشه کاهش یافته بود. اثر اصلی مصرف سولفات روی و اثر متقابل پتاسیم و روی نیز مشابه اثر اصلی پتاسیم بر عملکرد و اجزاء عملکرد معنی‌دار بوده است. در این آزمایش مصرف ۲۲۵ کیلوگرم اکسید پتاسیم و ۴۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار بیشترین تأثیر مثبت را داشته است.

شهدی کومله و علی‌نیا (۱۳۸۲) در یک مطالعه مزرعه‌ای اثر پتاسیم و روی در رفع اختلال رشدی موسوم به عارضه کوتولگی برنج درشالیزارهای استان گیلان را بررسی نمودند. این مطالعه در اراضی شالیکاری با میزان روی و پتاسیم قابل استفاده خاک به ترتیب ۰/۲۴ تا ۰/۸۸ و ۶۶ تا ۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم انجام شد. نتایج حاصل نشان داد مصرف توأم ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی از منبع سولفات روی و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم (K_2O) از منبع سولفات‌پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کاه و دانه داشته و عارضه کوتولگی نیز تا حد زیادی برطرف گردیده بود. این محققین چنین توصیه نمودند که به منظور جلوگیری از بروز عارضه کوتولگی برنج ضمن مصرف متعادل سایر عناصر غذایی در مزارع مبتلا به کمبود شدید روی و پتاسیم و همینطور در مواقع پیش‌بینی سرما و بارندگی مداوم در محدوده زمانی پس از مرحلهٔ نشاکاری تا قبل از مرحله پنجه‌زنی مقدار کافی کود پتاسیم به همراه کود محتوی روی در شالیزار مصرف گردد.

شهدی کومله و همکاران (۱۳۸۲) در یک آزمایش گلدانی با کشت برنج رقم خزر بر روی سه نوع خاک جمع‌آوری شده با بافت‌های لومی (L)، سیلتی کلی لوم (SiCL) و سیلت لومی (SiL) از مناطق مختلف با پتاسیم قابل جذب پایین‌تر از ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، اثر آبیاری با چهار منبع مخلتف شامل آب شرب شهری، رودخانه سپیدرود، رودخانه محلی و مخلوطی از آب رودخانه سپیدرود و رودخانه محلی از نظر میزان تأثیرگذاری پتاسیم موجود در هر منبع آب بر میزان جذب پتاسیم و عملکرد دانه برنج را مورد بررسی قرار داده و گزارش نمودند که منبع آب آبیاری و نوع خاک به طور جداگانه تأثیر معنی‌داری بر غلظت پتاسیم در کاه و دانه و

همینطور عملکرد کاه و دانه گیاه برنج داشته است. در هر سه نوع خاک مورد آزمایش مصرف آب رودخانه محلی از نظر تأثیر بر خصوصیات مورد اندازه‌گیری که در بالا نیز به آن‌ها اشاره شد، نسبت به سایر منابع آبی معنی‌دار بوده است که این محققین دلیل احتمالی این وضع را به غنی‌تر بودن رودخانه‌های محلی منطقه از نظر عناصر غذایی موجودکه در واقع به نوعی به عنوان زهکش فاضلاب‌های شهری، خانگی و کشاورزی می‌باشند، مربوط دانستند.

ملکوتی و کاوسی (۱۳۸۳) تأثیر کاربرد پتاسیم بر عملکرد برنج در تعدادی از شالیزارهای استان گیلان را مورد بررسی قرار دادند. به این منظور تعداد ۲۵ مزرعه به نحوی انتخاب گردید که دارای پراکنش مناسبی از نظر جغرافیایی، پتاسیم قابل دسترس، درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی باشند. قبل از نشاکاری عملیات کوددهی پتاسیم در تیمارهای مختلف شامل صفر (شاهد)، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار از منبع کلرید پتاسیم به طور یکجا مصرف گردید. سایر کودها شامل اوره و سوپرفسفات نیز در همین مرحله و به طور یکسان به تمامی تیمارها اضافه و سپس با خاک مخلوط گردید. تجزیه و تحلیل نتایج حاصل نشان داد که اثر کاربرد مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی و نوع خاک بر عملکرد دانه برنج معنی‌دار است. از بین مزارع مورد بررسی در ۵ مزرعه (۲۰ درصد) با کاربرد کود پتاسیمی عملکرد کاهش یافته بود و تعداد ۱۶ مزرعه (۶۴ درصد) نیز نسبت به کاربرد پتاسیم پاسخ مثبت نشان داده بودند. توفیقی (۱۳۷۷) قبلاً در مطالعات خود این عدد را ۵۵ درصد و کاوسی (۱۳۷۸) نیز آن را ۵۲ درصد گزارش نموده‌اند. به گفته این محققین عکس‌العمل منفی نسبت به مصرف پتاسیم در برخی مزارع مورد آزمایش مؤید آن است که هنگامی که کودهای پتاسیمی بر اساس نیاز و به مقدار مناسب مصرف شوند می‌توانند باعث افزایش عملکرد گردند ولی در غیراینصورت با برهم زدن تعادل بین عناصر غذایی (بخصوص نسبت ازت به پتاسیم) حتی می‌توانند کاهش عملکرد را به دنبال داشته باشند. در این آزمایش حد بحرانی پتاسیم قابل دسترس خاک (روش استات آمونیم نرمال و خنثی) برای برنج رقم خزر و بر اساس ۹۵ درصد عملکرد نسبی با روش تصویری کیت ـ نلسون، ۱۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین گردید. این محققین همچنین با بررسی روند تغییرات عملکرد نسبی در مقابل پتاسیم قابل دسترس، خاک‌ها را از نظر پاسخ گیاه برنج به مصرف پتاسیم به سه گروه به شرح زیر تقسیم‌بندی نمودند:

- خاک‌هایی با پتاسیم قابل دسترس کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم که در آن‌ها گیاه برنج نسبت به مصرف کود پتاسیمی شدیداً عکس‌العمل مثبت نشان می‌دهد.
- خاک‌هایی با پتاسیم قابل دسترس بین ۱۰۰ تا ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک که در آن‌ها تأثیر مثبت کودهای پتاسیمی بر عملکرد نسبت به گروه اول کمتر است.
- خاک‌هایی با پتاسیم قابل دسترس بالاتر از ۱۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم که احتمال پاسخ مثبت گیاه نسبت به مصرف کودهای پتاسیمی در آن‌ها بسیار کم است.

در یک جمع‌بندی از این تحقیق چنین نتیجه‌گیری گردیده است که اگر ۹۵ درصد عملکرد نسبی ملاک و مرز پاسخ‌دهی برنج در نظر گرفته شود به طور تقریبی در ۴۸ درصد از اراضی مشابه اراضی مورد بررسی احتمال پاسخ مثبت و افزایش عملکرد در اثر کاربرد کود کلرورپتاسیم وجود دارد.
شکری‌واحد و کاوسی (۱۳۸۰) تأثیر منابع کودی و تقسیط پتاسیم بر روی جذب پتاسیم و عملکرد برنج را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه که به صورت گلدانی و در پنج نوع خاک متفاوت از نظر مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی انجام گرفت تأثیر زمان مصرف پتاسیم و همچنین منبع کودی آن بررسی گردید. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که نوع کود مصرفی (سولفات‌پتاسیم یا کلرورپتاسیم) تأثیر معنی‌داری در عملکرد، ارتفاع بوته، تعداد پنجه، طول خوشه و میزان جذب پتاسیم نداشته است در صورتی که زمان مصرف کودها و نوع خاک در میزان عملکرد و جذب پتاسیم توسط گیاه اثر معنی‌داری داشته است. این محققین چنین نتیجه‌گیری نمودند که در کوتاه مدت عناصر همراه پتاسیم تأثیری در وضعیت رشد نداشته است ولی مصرف طولانی مدت کلرورپتاسیم موجب حذف گوگرد به‌عنوان یکی از عناصر مهم در تغذیه برنج گردیده و این امر مشکلات جدیدی را بوجود خواهد آورد.

جو (*Hordeum vulgare* L.) از گروه غلات بوده و به طور غیر مستقیم نقش مهمی در زنجیرهٔ غذایی انسان به عهده دارد و از آنجا که به عنوان یک گیاه نسبتاً مقاوم به شرایط نامساعد خاک و از جمله شوری به حساب می‌آید، لذا کشت آن در این شرایط نسبت به سایر محصولات زراعی مزیت نسبی داشته و اقتصادی می‌باشد. نظر نیاز غذایی جو تقریباً مشابه گندم و اندکی کمتر از آن است. با این وجود به منظور استفاده بهینه از منابع خاک و آب و افزایش عملکرد در واحد سطح تا حد ممکن، انجام تحقیقات لازم در این زمینه ضرورت دارد که اینک به برخی تحقیقات انجام شده در این رابطه اشاره می‌شود.
دردی پور و همکاران در یک مطالعه گلخانه‌ای نقش پتاسیم و روی در رشد و عملکرد جو آبیاری شده با آب دریای خزر را مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که اثر سطوح پتاسیم مصرفی بر روی عملکرد و برخی اجزای عملکرد و پارامترهای مرفولوژیکی شامل ارتفاع گیاه و طول خوشه معنی‌دار بوده است و مصرف سطوح بالای پتاسیم(۶۰۰ کیلوگرم K_2O در هکتار) سبب کاهش عملکرد، تعداد دانه در خوشه و طول گیاه شده بود این محققین چنین بیان نمودند که اثر منفی مصرف سطوح بالای پتاسیم بر صفات مورد اندازه‌گیری در این آزمایش احتمالاً به‌دلیل افزایش شوری و اثرات سمی آن بوده است.

ذرت (Zea mays L.) از جمله گیاهان پتاسیم‌دوست با دوره رشد کوتاه و عملکرد بالا و در عین حال از محصولات راهبردی کشور است. تغذیه مناسب و کافی با این عنصر باعث افزایش کمیت

و کیفیت آن می‌شود. نیاز ذرت به پتاسیم با ازت برابری می‌کند به‌طوری که گفته شده است ذرت برای تولید ۹ تن دانه در هکتار میزان ۲۷۰ کیلوگرم ازت، ۷۵ کیلوگرم فسفر، ۲۸۰ کیلوگرم پتاسیم، ۳۰کیلوگرم منیزیم و ۳۵ کیلوگرم گوگرد از یک هکتار خاک برداشت می‌کند(ملکوتی و غیبی،۱۳۸۲) . همان‌گونه که قبلاً نیز ذکر گردید علی‌رغم عدم شرکت پتاسیم در ساختمان بافت‌های گیاهی نقش این عنصر در فیزیولوژی گیاهی بسیار مهم و حیاتی است. در بسیاری از موارد به دلیل انجام کشت متراکم، عدم رعایت تناوب زراعی و کوتاهی نسبی دوره رشد گیاه ذرت و توقع بالای آن نسبت به پتاسیم و پایین بودن نسبی حجم خاک دراختیار ریشه علی‌رغم کافی بودن پتاسیم قابل جذب اولیه در خاک این گیاه در اواسط دورهٔ رشد به بعد ممکن است دچار کمبود پتاسیم گردد. در شرایط کمبود پتاسیم برگ‌ها به رنگ سبز کمرنگ متمایل به زرد با حاشیه سوخته در آمده که این علائم ممکن است با علائم ناشی از شوری خاک، سرمازدگی و بادزدگی اشتباه گرفته شود. دراثر کمبود پتاسیم رشد گیاه متوقف، ساقه‌ها عمدتاً ضعیف و در برابر عوامل بیماریزا آسیب‌پذیر می‌باشند و بلال‌های بوجود آمده در قسمت انتهایی فاقد دانه بوده و یا دانه‌ها بسیار ریز و چروکیده به نظر می‌رسند. به‌طور کلی کچلی بلال‌های ذرت براثر عوامل تغذیه‌ای پس از ازت عمدتاً با کمبود پتاسیم، روی و بور در ارتباط است. پتانسیل خاک برای تأمین پتاسیم مورد نیاز ذرت و میزان نیاز به مصرف کودهای پتاسیمی در خاک بسته به شرایط مختلف از جمله عملکرد مورد انتظار، مقدار رس، نوع رس، مقدار ماده آلی، ظرفیت تثبیت و آزادسازی پتاسیم متفاوت است (ضیائیان و ملکوتی، ۱۳۸۲).

غیبی و ملکوتی (۱۳۸۲) در یک آزمایش گلخانه‌ای بر روی خاک‌های آهکی استان فارس حد بحرانی فسفر و پتاسیم برای ذرت را به ترتیب ۲۱/۵ و ۲۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و غلظت مطلوب پتاسیم در برگ‌های ذرت را ۲/۵ تا ۳ درصد گزارش نموده‌اند.

نوابی وملکوتی (۱۳۸۲) اثر تغذیه متعادل بر کمیت و کیفیت ذرت دانه‌ای در داراب را مورد بررسی قرار دادند. این آزمایش که در یک خاک با میزان رس معادل ۲۲ درصد و پتاسیم قابل جذب ۲۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم صورت گرفت، تیمار مربوط به مصرف ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم (K_2O) از منبع سولفات‌پتاسیم به همراه عناصر ریز مغذی شامل سولفات آهن به میزان ۱۰۰ کیلوگرم، سولفات روی به میزان ۸۰ کیلوگرم، سولفات منگنز به میزان ۴۰ کیلوگرم، اسید بوریک به میزان ۵۰ کیلوگرم و سولفات مس به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه معادل ۱۲۷۳۰ کیلوگرم در هکتار را داشته که درصد افزایش عملکرد نسبت به تیمار شاهد (۶۱۷۰ کیلوگرم درهکتار) معادل ۱۰۶ درصد گزارش گردیده است. این محققین همچنین گزارش نمودند که در تیمار مربوط به مصرف مقادیر بالای پتاسیم (۴۵۰ کیلوگرم در هکتار K_2O) طی دو نوبت به میزان ۱۵۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم به صورت مصرف خاکی همزمان با کاشت و ۳۰۰ کیلوگرم کلرورپتاسیم به صورت سرک، عملکرد نسبت به سایر تیمارها (بجز تیمار شاهد) به طور نسبی کاهش یافته بود که دلیل

امر به اثر متقابل منفی پتاسیم در جذب منیزیم و کلسیم نسبت داده شده است. غیبی و ملکوتی (۱۳۷۸) چنین گزارش نمودند که کمبود مشترک پتاسیم، روی و بور سبب بروز کچلی در بلال می‌شود و در این راستا توجه به وضعیت پتاسیم در خاک و استفاده از سولفات روی به میزان ۷۵ کیلوگرم درهکتار و یا محلولپاشی با غلظت سه درهزار سولفات روی در مرحله ۶ تا ۷ برگی و سپس در فواصل زمانی ۱۵ روز طی سه نوبت را توصیه و اثر آن در کاهش میزان درصد کچلی بلال‌ها را بسیار مؤثر دانستند.

فرشاد و ملکوتی (۱۳۸۲) اثر پتاسیم، روی و بور در افزایش عملکرد کمی و خصوصیات کیفی ذرت دانه‌ای در کرج را مورد بررسی قرار دادند این آزمایش در یک خاک با میزان رس معادل۲۰ درصد، پتاسیم قابل جذب ۲۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم، روی قابل جذب ۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بور قابل جذب به میزان ۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم صورت گرفت. این محققین با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌پتاسیم قبل از کاشت و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کلرورپتاسیم به صورت سرک در مرحلهٔ تشکیل گل آذین و مصرف ریز مغذی‌ها همزمان با کشت شامل سولفات روی، سولفات منگنز و سکوسترین آهن ۱۳۸ (Fe- EDDHA) به ترتیب به میزان ۵۰، ۳۰و ۵ کیلوگرم در هکتار، دست‌یابی به عملکرد دانه معادل ۱۱۵۱۷ کیلوگرم در هکتار را گزارش نمودند که در مقایسه با تیمار شاهد۷۰۰ کیلوگرم (۱۵۶ درصد) افزایش نشان داد. در این آزمایش همچنین درصد پروتئین دانه از ۸/۸ درصد به ۲۴ درصد، غلظت روی و آهن از ۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار شاهد به ۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم، غلظت منگنز از ۷ به ۸/۳ و غلظت بور در دانه از ۵ به ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم افزایش یافته بود. در این آزمایش چنین نتیجه‌گیری گردید که با مصرف کودهای پتاسیمی و ریز مغذی‌ها تا حد زیادی می‌توان غلظت عناصر ضروری را در بسیاری از محصولات برای ارتقای سلامت جامعه را داد.

Khademi و همکاران (۱۹۹۹) با اجرای آزمایشی بر روی ذرت در خوزستان به منظور بررسی و مقایسه اثر مقادیر مختلف پتاسیم بر عملکرد ذرت گزارش کردند که با توجه به تخلیه شدید خاک‌های مورد آزمایش تنها با افزودن میزان زیاد کود پتاسیمی امکان افزایش پتاسیم قابل جذب خاک و در نتیجهٔ آن افزایش عملکرد وجود دارد و پتاسیم مصرفی در سطوح پایین سبب افزایش پتاسیم قابل جذب خاک نمی‌گردد. این محققین همچنین گزارش نمودند که بیشترین میزان تجمع پتاسیم در گیاه ذرت تا ۷۷ روز پس از کاشت بوده است. خادمی (۱۳۷۵) در یک مطالعه تأثیر میزان و نحوه مصرف پتاسیم بر ماده خشک، تجمع پتاسیم و عملکرد دانه ذرت در خوزستان را مورد بررسی قرار داد. در این آزمایش از دامنه وسیعی از سطوح پتاسیم شامل تیمارهای ۵۰ تا ۷۰۰ کیلوگرم پتاسیم از منبع سولفات و با دو روش کاربرد به صورت جایگذاری (نواری) و پخش سطحی و مخلوط با خاک استفاده گردید. نتایج حاصل نشان داد که مصرف پتاسیم در سطوح بالا به روش پخش سطحی سبب افزایش عملکرد دانه گردیده است و سطوح پایین پتاسیم (سطوح

۵۰ تا ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) تنها در روش نواری سبب افزایش عملکرد دانه شده بود که دلیل عدم عکس‌العمل گیاه نسبت به مصرف سطوح پایین پتاسیم به روش پخش سطحی به ظرفیت بالای خاک برای تثبیت پتاسیم نسبت داده شد، چراکه سطوح پایین پتاسیم مصرف شده به صورت پخش سطحی نتوانسته بودند پتاسیم قابل جذب خاک را افزایش دهند.

ماجدی (۱۳۷۸) اثر جایگذاری ردیفی کودهای فسفره و پتاسه و مصرف بهینه ازت در افزایش راندمان کودهای اصلی و عملکرد ذرت در ایستگاه تحقیقاتی کرج را مورد بررسی قرار داد و چنین گزارش نمود که مصرف ردیفی کودهای فسفره و پتاسه در خاک مورد آزمایش بالاترین میزان محصول دانه را به دنبال داشته و کاهش مصرف این کودها به میزان ۲۵ و ۵۰ درصد، تأثیر معنی‌داری در کاهش محصول و شاخص‌های رشدی ذرت نداشته است . این وضعیت نشانه افزایش راندمان کودهای مصرفی با روش نواری در مقایسه با روش مرسوم پخش سطحی و مخلوط با خاک می‌باشد. این محقق چنین نتیجه‌گیری نمود که روش جایگذاری کودهای فسفره و پتاسه در زیر و پنج سانتی‌متری کنار بذر به همراه تعیین میزان ازت مورد نیاز از طریق شاخص نیترات پای بوته می‌تواند میزان کودهای مصرفی را تا ۵۰ درصد کاهش داده بدون اینکه تأثیری در عملکرد ذرت داشته باشد.

ضیائیان (۱۳۸۲) نقش پتاسیم و روی بر شاخص‌های رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای را مورد بررسی قرار داد. این آزمایش مزرعه‌ای در خاکی با پتاسیم و روی قابل جذب به ترتیب ۱۷۷ و ۰/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم اجرا گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که کاربرد پتاسیم و روی در شرایط آزمایش موجب افزایش معنی‌دار در عملکرد دانه و سایر شاخص‌های رشد گردیده است. این محقق چنین نتیجه‌گیری نمود که بر اساس منابع مورد مطالعه با توجه به اینکه ذرت در زمان بالاترین نیاز خود روزانه به ۱۲ کیلوگرم در هکتار پتاسیم نیازمند است و از طرفی تأمین این مقدار پتاسیم در هر روز از عهده کمتر خاک زراعی بویژه خاک‌های زراعی تخلیه شده برمی‌آید، بنابراین در چنین شرایطی در صورت عدم مصرف کودهای پتاسیمی عملکرد پایین خواهد بود. در این رابطه بایستی توجه شود که در توصیه‌های کودی تنها در نظر گرفتن مقدار عنصر غذایی موجود در خاک کافی نبوده و فاکتورهای دیگری نظیر نوع گیاه، طول دوره رشد، عملکرد مورد انتظار، درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی نیز بایستی مدنظر قرار گیرد.

الفتی (۱۳۷۱) در تحقیقی سه ساله در ایستگاه تحقیقاتی ماهیدشت کرمانشاه به این نتیجه رسید که مصرف پتاسیم تنها در مواردی که میزان پتاسیم قابل جذب خاک کمتر از ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و عملکرد دانه بیشتر از پنج تن در هکتار مورد انتظار باشد قابل توجیه است ومصرف میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌پتاسیم را برای خاک‌های با پتاسیم قابل جذب کمتر از ۴۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم توصیه نمود.

فتحی و همکاران (۱۳۷۸) اثر متقابل نیتروژن و پتاسیم بر روی عملکرد و روند رشد ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ را مورد بررسی قرار داده و گزارش نمودند که اثرات اصلی و متقابل نیتروژن و

پتاسیم بر روی عملکرد ماده خشک و شاخص سطح برگ معنی‌دار بوده است. به طوریکه مصرف پتاسیم عملکرد ماده خشک را ۲/۲ تن افزایش داده است. همچنین اثر متقابل مصرف نیتروژن و پتاسیم در سطوح تیماری ۳۲۰ کیلوگرم نیتروژن و ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم، تأثیر بسزایی در کاهش کچلی انتهای بلال ذرت و همچنین بر شاخص‌های رشد نظیر سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص داشته است. این محققین چنین نتیجه‌گیری نمودند که برخلاف تصور قبلی مبنی بر عدم نیاز به مصرف پتاسیم، مقدار پتاسیم قابل دسترس در خاک به هیچ وجه تکافوی پتاسیم مورد نیاز و ایجاد رشد بهینه و تولید عملکرد مطلوب را حداقل در مزارعی که مدت زیادی در معرض کشت بوده‌اند، نمی‌کند.

فکری (۱۳۸۲) در یک آزمایش مزرعه‌ای در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کرمان بر روی ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ عدم تفاوت معنی‌دار منابع سولفات و کلورپتاسیم بر عملکرد دانه را گزارش و مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (K_2O) به منظور افزایش عملکرد و پایداری در تولید را توصیه نموده و جایگزینی کلورپتاسیم بجای سولفات‌پتاسیم برای ذرت را بدون مشکل دانست. شریفی (۱۳۸۰) در یک مطالعه گلخانه‌ای از طریق کشت گلدانی گیاه ذرت حد بحرانی پتاسیم را بر اساس رابطه بین مقادیر پتاسیم استخراجی و شاخص‌های گیاهی شامل عملکرد ماده خشک، عملکرد نسبی و جذب نسبی پتاسیم تعیین نمود. این محقق حد بحرانی پتاسیم برای گیاه ذرت در شرایط آزمایش را با استفاده از عصاره‌گیرهای کلرید سدیم دو نرمال، استات سدیم نرمال، استات آمونیم نرمال، بی‌کربنات آمونیم ـ DTPA و مهلیچ سه به ترتیب ۱۲۹/۷، ۹۸/۹، ۱۷۴/۳، ۱۴۳/۲ و ۱۶۵/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین نمود.

ایرانی‌پور (۱۳۷۸) سطح بحرانی فسفر و پتاسیم برای محصول ذرت در منطقه اصفهان را برای عملکرد نسبی معادل ۹۵ درصد با استفاده از روش تصویری کیت ـ نلسون به ترتیب ۱۷ و ۲۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمود.

محققینی (۱۳۸۲) تأثیر پتاسیم و تنش شوری بر میزان تجمع سدیم و پتاسیم در ذرت علوفه‌ای را مورد بررسی قرار دادند. این محققین در توجیه هدف از تحقیق خود به نقل از منابع چنین بیان نمودند که اغلب گیاهان به صورت انتخابی جذب پتاسیم را به جذب سدیم ترجیح می‌دهند ولی در شرایط شوری و در صورت چیرگی غلظت یون سدیم در محلول خاک بروز کمبود پتاسیم در گیاه قطعی است. اگرچه خاک‌های شور معمولاً دارای مقادیر قابل توجهی پتاسیم بوده ولی با این وجود مشاهده می‌گردد گیاهانی که در این خاک‌ها کشت می‌شوند دچار کمبود پتاسیم هستند که این خود ناشی از دو دلیل می‌باشد. نخست از آنجایی که برای حفظ شوری خاک در حد معین (توازن نمک) مقدار بیشتری آب آبیاری مصرف می‌شود لذا بخش زیادی از پتاسیم محلول طی فرآیند آبشویی از دسترس گیاه خارج می‌شود، دوم اینکه اثرات آنتاگونیستی سدیم بر پتاسیم به‌عنوان عاملی مهم در جذب پتاسیم است. بنابراین در غلظت‌های پایین، سدیم ممکن

است جذب پتاسیم را افزایش دهد ولی در غلظت‌های بالا سبب کاهش جذب پتاسیم می‌گردد. ذرت و آفتابگردان از جمله گیاهانی هستند که در شرایط بالا بودن غلظت سدیم در محیط ریشه می‌توانند از جذب و یا انتقال سدیم به ساقه جلوگیری کنند. این سازوکار در شرایط نامناسب تهویه‌ای و در محیط شور در گیاه ذرت مختل گردیده و مقدار بیشتری سدیم به ساقه و اندام‌های هوایی انتقال و همزمان با این امر انتقال پتاسیم کاهش می‌یابد و در نتیجهٔ آن نسبت سدیم به پتاسیم در اندام‌های هوایی (ساقه) ممکن است ۹۰ تا ۲۰۰ برابر افزایش یابد. این محققین در آزمایش گلدانی خود از سه سطح کود پتاسیم شامل صفر (شاهد)، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات‌پتاسیم و چهار سطح شوری صفر، ۳، ۶ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر از منبع کلرید سدیم و چهار سطح پیش تیمار بذور با غلظت‌های ۰/۵، ۱/۳ و ۴/۵ درصد سولفات‌پتاسیم استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که از بین تیمارهای بکار رفته فقط سطوح شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد تأثیر معنی‌داری داشته است به طوریکه با افزایش شوری وزن خشک برگ و ساقه کاهش یافت و در سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر به کمترین مقدار خود رسیده بود. شوری بر میزان تجمع عناصر غذایی تأثیر مثبت و معنی‌داری داشته ولی این تأثیر بر تجمع پتاسیم در برگ معنی‌دار نبوده است. در تمامی تیمارها با افزایش شوری نسبت پتاسیم به سدیم در برگ و ساقه روند کاهشی داشته است به نحوی که در سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر به کمترین مقدار خود رسیده بود. در این آزمایش تأثیر کود پتاسیم به کار رفته فقط بر میزان تجمع پتاسیم در ساقه، برگ و شاخسار معنی‌دار بوده است به طوریکه با افزایش کود پتاسیمی میزان تجمع پتاسیم در اندام‌ها افزایش یافته و در سطح ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم اضافه شده بیشترین میزان تجمع پتاسیم مشاهده گردید. لکن هیچگونه برهمکنش معنی‌داری بین شوری و پتاسیم در ارتباط با صفات اندازه‌گیری شده وجود نداشته است. دانشی و اسماعیلی (۱۳۸۰) تغییرات هدایت الکتریکی خاک و تغییرات غلظت کلر در خاک و گیاه (ذرت علوفه‌ای) را در اثر مصرف منابع مختلف کودهای پتاسیمی مورد بررسی قرار دادند. این آزمایش در خاکی با پتاسیم قابل جذب ۲۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم اجرا گردید. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که مصرف کود پتاسیمی تأثیر معنی‌داری بر افزایش عملکرد علوفه تر نداشته است، در حالیکه حداکثر محصول به میزان ۵۱ تن علوفه تر از تیمار کلرورپتاسیم به دست آمده بود. این محققین در توجیه عدم واکنش گیاه نسبت به کاربرد پتاسیم چنین بیان داشتند که با توجه به حد بحرانی معرفی شده توسط غیبی و ملکوتی (۱۳۷۹) برای ذرت (۲۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، بالاتر بودن پتاسیم قابل جذب خاک مورد آزمایش دلیل احتمالی عدم عکس‌العمل گیاه بوده است. در این آزمایش همچنین گزارش گردید که مصرف کلرورپتاسیم سبب افزایش معنی‌دار شوری خاک (EC) وغلظت کلر در گیاه نگردید و بدین ترتیب می‌توان در صورت نیاز از کلرورپتاسیم بجای سولفات‌پتاسیم در کشت این محصول استفاده نمود.

۲-۳- سیب‌زمینی، پیاز و گوجه‌فرنگی

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L) یکی از محصولات اصلی و اساسی بوده و به دلیل داشتن موادی همچون نشاسته، پروتئین‌های مختلف و ویتامین‌های A و C... از اهمیت غذایی خاصی در جیره غذایی مردم برخوردار است. در راستای افزایش عملکرد هکتاری و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی دو عامل به نژادی و به‌زراعی نقش اساسی به عهده دارند به طوری که این دو عامل کشاورزی مدرن و اقتصادی را به وجود آورده‌اند. در کشور ما نیز برای بهبود کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی توجه و تقویت این دو عامل ضرورت دارد. چنین به نظر می‌رسد که یکی از دلایل اصلی پایین بودن عملکرد متوسط هکتاری سیب‌زمینی در کشور (۲۰ تن در هکتار) عموماً ناشی از عدم توجه به مسائل به‌زراعی این محصول بوده است که در این میان تغذیه عمده‌ترین نقش را به عهده دارد. مشکلات ناشی از عدم تغذیه صحیح در سیب‌زمینی را می‌توان طویل شدن استولون و کاهش غده‌بندی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای ازته، رشد ثانویه و بروز پوسیدگی ژله‌ای انتهایی، بد شکلی و سیاه شدن غده نام برد. از میان عناصر غذایی، پتاسیم به میزان زیاد توسط سیب‌زمینی جذب می‌گردد. در جدول ۳ مقدار برداشت عناصر غذایی توسط سیب‌زمینی توسط سیب‌زمینی نشان داده شده است (سالاردینی و مجتهدی، ۱۳۷۲).

جدول ۳. متوسط مقدار برداشت عناصر غذایی توسط سیب‌زمینی

اندام‌های مختلف گیاه	عملکرد (تن در هکتار)	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	منیزیم	گوگرد
		کیلوگرم در هکتار				
غده	۶۲/۷	۱۷۰	۹۰	۲۹۵	۱۳	۱۳
شاخ و برگ	-	۱۱۵	۳۸	۱۰۰	۲۲	۱۳

در صورت کمبود پتاسیم قابل استفاده در خاک دورهٔ رشد سیب‌زمینی کوتاه و در نتیجه از میزان تولید کاسته می‌شود، برای به دست آوردن رشد بهینه و عملکرد مطلوب مقدار پتاسیم برگ در زمان شروع گلدهی در شرایط کافی بودن ازت نباید از چهار درصد وزن خشک کمتر باشد. کمبود پتاسیم در سیب‌زمینی ابتدا در برگ‌های پائینی و مسن‌تر با شروع سوختگی نوک و حاشیه برگ‌ها شروع و در صورت شدت یافتن کمبود این سوختگی به طرف پهنک ادامه می‌یابد. سیاه شدن غده‌های سیب‌زمینی پوست گرفته شده و کاهش کیفیت آن‌ها که در اثر فراوانی اسید کلروژنیک اتفاق می‌افتد، در شرایط تغذیه متعادل به شدت کاهش می‌یابد. پتاسیم و روی از مقدار اسید کلروژنیک کاسته و در نتیجه مانع سیاه شدن غده‌های پوست گرفته شده سیب‌زمینی می‌شوند. در شرایط تخلیه شدید خاک‌ها از نظر پتاسیم مصرف سولفات‌پتاسیم به همراه ریز مغذی‌ها(درصورت نیاز) در موقع خاکدهی پایه بوته‌ها و به صورت جایگذاری توسط کود کار قابل توصیه است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۲). نوری و ملکوتی

(۱۳۸۲) اثر کودهای پتاسیمی و سولفات روی در افزایش عملکرد و خصوصیات کیفی غده و کاهش غلظت نیترات و کادمیوم در غده سیب‌زمینی در زنجان را مورد بررسی قرار دادند. این آزمایش در یک خاک با میزان رس معادل ۳۸ درصد، پتاسیم قابل جذب ۲۶۰ میلی‌گرم برکیلوگرم و روی قابل جذب ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم صورت گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد تیمار مربوط به کاربرد ۴۰۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم و ۱۰۰کیلوگرم در هکتار سولفات روی به همراه مصرف سایر ریز مغذی‌هاعملکردی معادل ۴۰/۷ تن در هکتار را به دنبال داشته است که در مقایسه با شاهد که در آن تنها ازت و فسفر مصرف گردیده بود، ۲۲/۴ تن افزایش داشته است.

در این آزمایش همچنین غلظت نیترات و کادمیوم کاهش و غلظت پتاسیم و روی در غده نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته بود. رنجبر و ملکوتی(۱۳۸۰) در یک آزمایش مزرعه‌ای اثر منابع و مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی بر کمیت و کیفیت سیب‌زمینی در آذربایجان شرقی را مورد بررسی قرار دادند. این آزمایش در یک خاک با میزان رس معادل ۱۸ درصد و پتاسیم قابل جذب ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم صورت گرفت. این محققین پس از اعمال تیمارهای مختلف پتاسیمی و بررسی نتایج مربوط گزارش نمودند که مصرف ۴۱۵ کیلوگرم در هکتار سولفات‌پتاسیم در زمان کاشت و ۱۷۵ کیلوگرم در هکتار کلرورپتاسیم به صورت سرک به همراه مصرف خاکی ۱۰۰کیلوگرم سولفات روی همزمان با کاشت عملکردی معادل ۵۰ تن در هکتار را بدنبال داشته که در مقایسه باتیمار شاهد (بدون مصرف پتاسیم) ۶ تن افزایش عملکرد داشته است. این محققین همچنین گزارش نمودند که بین دو منبع کلرورپتاسیم و سولفات‌پتاسیم از نظر تأثیر بر عملکرد و خصوصیات کیفی غده تفاوت معنی‌داری وجود نداشته است و چنین نتیجه‌گیری کردند که با توجه به غلظت معادل ۲۵۱ میلی‌گرم در لیتر کلر در آب آبیاری و مصرف حدود ۷۰۰۰ متر مکعب آب در طول فصل زراعی برای این محصول، به طور تقریبی ۱۷۵۰ کیلوگرم در هکتار کلر وارد مزرعه گردیده است که در مقایسه با مقدار کلری که توسط کود کلرورپتاسیم به میزان حداکثر معادل ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار وارد مزرعه گردیده بود قابل توجه است. لذا معایب مصرف کلرورپتاسیم در مزارع سیب‌زمینی را بایستی در روش و نحوهٔ مصرف این کود جستجو نمود.

این محققین از آزمایش خود چنین نتیجه‌گیری نمودند که مصرف کودهای پتاسیمی در مزارع سیب‌زمینی بر مبنای آزمون خاک و در بعضی موارد نظیر خاک‌های با ظرفیت تثبیت بالا مصرف در مقادیر فراتر از آزمون خاک امری ضروری می‌باشد زیرا سیب‌زمینی یکی از گیاهان پرنیاز به پتاسیم بوده و مصرف پتاسیم تأثیر شگرفی بر عملکرد کمی و بهبود کیفی آن دارد. در این ارتباط یعنی مدیریت مصرف پتاسیم همواره بایستی به بافت خاک (درصد رس)، وضعیت تخلیه پتاسیم، مقدار پتاسیم قابل استفاده، شرایط مدیریتی و عملکرد مورد انتظار توجه شود. بای‌بوردی (۱۳۸۲) در یک مطالعه به منظور بررسی اثر مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی و سولفات روی بر عملکرد و کیفیت

سیب‌زمینی مصرف ۶۲۵ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم به همراه مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی در شرایط آزمایش را برای دستیابی به بیشترین عملکرد کمی و خصوصیات کیفی مطلوب غده توصیه نمود. در این تیمار عملکرد غده ۵۹/۴ تن در هکتار، درصد ماده خشک غده و درصد پروتئین به ترتیب ۲۱/۳ و ۱۱ بود. ملکوتی و حسین‌پور (۱۳۷۳) اثرات پتاسیم بر کمّیت و کیفیت سیب‌زمینی در بعضی از مناطق سیب‌زمینی‌کاری ایران شامل مزارعی از مناطق فریدن اصفهان، دماوند، اردبیل و کرج را مورد بررسی قراردادند و گزارش نمودند که رابطه مستقیمی بین درصد رس و مقدار پتاسیم خاک‌ها قبل از کاشت و بعد از برداشت وجود داشته است. تخلیه پتاسیم در تمامی قطعات مربوط به شاهد مخصوصاً در خاک‌های اصفهان شدیدتر بوده و مصرف کودهای پتاسیمی در سطوح بالاتر سبب افزایش معنی‌دار در عملکرد غده شده بود. همچنین خواص کیفی غده‌ها نظیر غلظت پتاسیم در غده، میزان پروتئین و وزن مخصوص غده‌ها تحت تأثیر پتاسیم افزایش یافته بود. پتاسیم به دلیل نقش داشتن نقشی پر اهمیت در فیزیولوژی گیاهی به عنوان شاهرگ حیاتی گیاهان در نواحی خشک و مرطوب دنیا به حساب می‌آید و هرگونه نقصان این عنصر باعث ایجاد اختلالات جبران ناپذیر در روند رشد گیاه و کاهش کمی و کیفی محصولات می‌گردد. (شریفی، ۱۳۸۰).

طی تحقیقی اثر مقادیر مختلف پتاسیم بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی در شهرستان بستان‌آباد مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای مورد استفاده شامل سطوح صفر،۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰ و ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (K_2O) بود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که افزایش عملکرد تا مقادیر ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم اضافه شده به خاک ناچیز بوده و بیشترین عملکرد در تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم با عملکرد ۱۲/۵ تن (افزایش معادل ۲/۵ تن نسبت به شاهد) به دست آمد. آن‌ها نشان دادند که سیب‌زمینی در فاصله روزهای سی و پنجم تا پنجاهم روزانه ۳۵ تا ۵۰ ۱۲ کیلوگرم پتاسیم از هر هکتار خاک برداشت نموده و اگر خاک به هر دلیل نتواند این مقدار پتاسیم را در اختیار سیب‌زمینی قرار دهد، وقوع تولید حداکثر ممکن نخواهد بود.

پیاز (*Allium cepa*) یکی از گیاهان پرتوقع نسبت به پتاسیم بوده و در اثر کمبود آن مقاومت پیاز به تنش آبی کاهش می‌یابد. همچنین وجود پتاسیم برای تولید گلوسیدها و نیز برای تجمع آن در بعضی از اندام‌های ذخیره‌ای گیاه لازم است. با افزایش مصرف کودهای پتاسیمی در شرایط کمبودپتاسیم قابل جذب خاک، عملکرد غده و جذب پتاسیم کل و غلظت پتاسیم در غده‌های پیاز افزایش می‌یابد. میزان برداشت عناصر غذایی پیاز از خاک با تولید ۸۰ تن در هکتار بیش از ۲۵۰ کیلوگرم ازت، ۷۰ کیلوگرم فسفر (P_2O_5)، ۳۰۰ کیلوگرم پتاسیم، ۴۰ کیلوگرم منیزیم و ۸۰ کیلوگرم کلسیم می‌باشد. نتایج مطالعات متعدد نشان داده که مقدار پتاسیم قابل جذب اکثر خاک‌ها با سرعت بیشتری روبه کاهش بوده و توازن پتاسیم در بسیاری از مزارع منفی گزارش شده است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳). چرا که به علت انجام کشت‌های متراکم، مصرف بی‌رویه

کودهای ازتی و فسفاتی و مصرف ناچیز کودهای پتاسیمی،مقدار برداشت پتاسیم از خاک بیشتر از سرعت آزادسازی این عنصر بوده است. پتاسیم قادر است حدود ۴۰ درصد از ازت نیتراتی اضافی گیاه را تبدیل به پروتئین نماید و از این طریق از تجمع نیترات در پیاز جلوگیری به عمل آورد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳).

بای‌بوردی و ملکوتی (۱۳۷۹) در آزمایشی تأثیر مقادیر مختلف پتاسیم در منطقه خسروشهر بر روی محصول پیاز با چهار تیمار K_1 (شاهد)؛ K_2 (توصیه پتاسیم براساس آزمون خاک)؛ K_3 (توصیه پتاسیم ۱/۵ برابر بیشتر از آزمون خاک) و K_4 (دو برابر توصیه براساس آزمون خاک) در سه تکرار در قالب بلوک‌های کامل تصادفی را بررسی گزارش نمودند که بیشترین عملکرد ۷۸/۴ تن در هکتار در تیمار K_3 به دست آمده است. در این آزمایش میزان رس خاک ۳۰ درصد و میزان پتاسیم قابل استفاده ۱۲۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

اثر مقادیر مختلف کود پتاسیمی بر عملکرد پیاز طی چهار تحقیقات در ایستگاه تحقیقات خاک و آب خسروشهر مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه تیمارهای کودی بدون مصرف کود پتاسیمی، K_0 K_1 که در آن ۲۵۰ کیلوگرم کود سولفات‌پتاسیم (مطابق آزمون خاک) قبل از کاشت و ۱۰۰ کیلوگرم کلرورپتاسیم به صورت سرک در یک نوبت همراه با آب آبیاری مصرف گردیده بود، K_2 که در آن علاوه بر ۵۰۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم (قبل از کاشت)، ۲۰۰ کیلوگرم کلرورپتاسیم اضافی(مازاد بر آزمون خاک) به صورت سرک در دو نوبت همراه با آب آبیاری مصرف شد. نتایج حاصله از قطعات تیمار کودی نشان داد در حالی که میانگین عملکرد در قطعه شاهد K_0بالغ بر ۴۴/۳ تن در هکتار گردید. در تیمارهای دوم (بافت سبک)، سوم (بافت سنگین) و چهارم (مصرف فراوان کود پتاسیمی)، عملکرد پیاز به ترتیب ۵۸/۲، ۶۹/۰ و ۸۰/۵ تن در هکتار گردید که بنابراین اثر تیمارها از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار شد. با افزایش غلظت پتاسیم در برگ‌های پیاز درجه تحمل به سرمای آن‌ها نیز افزایش یافت. با توجه به نتایج حاصله مشاهده گردید که تیمار K_1(مصرف پتاسیم بر مبنای آزمون خاک در خاک سبک و خاک سنگین) باعث افزایش عملکرد معنی‌داری در مقایسه باتیمار شاهد (K_0) می‌شد. ولی هر چه بافت خاک سنگین‌تر باشد، درصد افزایش عملکرد بیشتر خواهد بود. به عبارت دیگر در حالی که با مصرف پتاسیم بر مبنای آزمون خاک در خاک سبک ۳۰ درصد افزایش عملکرد حاصل شد، این مقدار افزایش در خاک بافت سنگین بالغ بر ۵۵ درصد (۲۵ درصد افزونتر) گردید. در تیمار K_2که مقدار بیشتری کلرورپتاسیم به عنوان سرک به کار برده شده، افزایش عملکرد چشمگیر و بیش از ۸۰ تن پیاز در هکتار تولید گردید (بیش از ۸۰ درصد اضافه محصول در مقایسه با شاهد و ۲۵ درصد بیش از قطعه‌ای که بر مبنای آزمون خاک پتاسیم داده شده بود، به دست آمد) (بای‌بوردی و ملکوتی، ۱۳۷۹؛ ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳).

بای‌بوردی و ملکوتی (۱۳۷۹) در آزمایش‌هایی تاثیر مقادیر و منابع کودهای پتاسیمی را

در افزایش عملکرد گیاهان پتاسیم‌دوست نظیر پیاز در سطوح فراتر از آزمون خاک را حتی در خاک‌های رسی با ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم قابل استفاده بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در گیاهان پتاسیم‌دوست نظیر پیاز برای نیل به عملکردهای بالا توام با کیفیت بهتر، مصرف تقسیط کلرورپتاسیم ۱/۵ تا ۲ دو برابر توصیه کود موثرتر بوده است (شکل ۱).

شکل ۱. افزایش عملکرد پیاز رقم آذرشهر با منابع و سطوح مختلف پتاسیم

گوجه‌فرنگی (*Lycopersicum esculentum* L) از سبزی‌های مهمی است که به لحاظ داشتن ویتامین‌های A و C و سایر ترکیبات معدنی نقش مهمی در سلامتی جامعه ایفا می‌کند. در گوجه‌فرنگی نیز مانند سایر گیاهان، رشد بهینه و عملکرد مطلوب از نظر کمی و کیفی تحت تأثیر شرایط تغذیه‌ای قرار دارد و نقش پتاسیم از این نظر نقشی ویژه است. جدول ۴ میزان برداشت برخی عناصر غذایی توسط گیاه گوجه‌فرنگی از خاک را نشان می‌دهد (سالاردینی و مجتهدی ۱۳۷۷).

جدول ٤. برداشت متوسط عناصر غذایی توسط گیاه گوجه‌فرنگی از خاک

اندام گیاهی	عملکرد (تن درهکتار)	نیتروژن (N)	فسفر (P_2O_5)	پتاسیم (K_2O)	منیزیم (Mg)	گوگرد (S)
		کیلوگرم در هکتار				
میوه	۸۹/۷	۱۶۰	۷۵	۳۲۳	۱۰	۲۸
شاخ و برگ (اندام هوایی)	۴/۹	۹۸	۲۲	۱۹۶	۲۹	۲۹

کاویانی و ملکوتی (۱۳۸۲) تأثیر منابع و مقادیر پتاسیم بر عملکرد و کیفیت محصول گوجه‌فرنگی در بخشی از اراضی استان بوشهر را مورد بررسی قرار دادند این آزمایش در یک خاک با بافت شنی لومی (SL) با پتاسیم قابل جذب ۱۴۰ میلی گرم در کیلوگرم صورت گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که استفاده از کلرورپتاسیم یا سولفات‌پتاسیم به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (K_2O) به همراه مصرف ریز مغذی‌ها شامل سکوسترین ۱۳۸ آهن به میزان ۲۰ کیلو گرم در هکتار، سولفات روی به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار و سولفات مس و سولفات منگنز به ترتیب به میزان ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد میوه را به طور معنی‌دار و به میزان ۳۸

درصد نسبت به تیمار شاهد که در آن تنها ازت و فسفر به ترتیب به میزان ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره آغشته به گوگرد در سه نوبت و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل همزمان با کشت مصرف گردیده بود، افزایش داد. روحی و کاشی (۱۳۸۰) اثرات ازت و پتاسیم بر روی عملکرد میوه گوجه‌فرنگی رقم اوربانا را مورد بررسی قرار دادند. در این آزمایش شش سطح ازت شامل ۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و چهار سطح پتاسیم شامل ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بکار رفته بود. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که اثر اصلی ازت بر عملکرد کل و عملکرد محصول قابل فروش معنی‌دار است و بهترین تیمار ازته به میزان ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان تیمار برتر ازتی تعیین گردید. تیمارهای مختلف پتاسیمی تأثیر معنی داری بر عملکرد میوه نداشته‌اند.

به منظور بررسی اثرات مقادیر و منابع پتاسیم در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت گوجه‌فرنگی تحقیقی با دو منبع کود پتاسیمی (سولفات و کلرورپتاسیم) با مقادیر ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ کیلوگرم پتاسیم خالص در هکتار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بر روی گوجه‌فرنگی رقم کلجی در مرکز تحقیقات کشاورزی استان بوشهر (برازجان) در سال زراعی ۷۹-۱۳۷۸ اجرا گردید. خاک مورد آزمایش شدیداً آهکی با ۶۰ درصد کربنات کلسیم معادل و پتاسیم قابل جذب کمتر از ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم و همچنین کاملاً فقیر از عناصر کم مصرف و فاقد محدودیت شوری بود. نتایج حاصله بر روی کمیت و کیفیت گوجه‌فرنگی نشان داد که استفاده از کلرور و سولفات‌پتاسیم تا میزان ۲۰۰ کیلوگرم (K_2O) در هکتار به همراه ریزمغذی‌ها عملکرد را به طور معنی داری (۳۸ درصد) افزایش داد (متوسط افزایش وزن هر میوه گوجه‌فرنگی در تیمار مورد اشاره نسبت به شاهد ۴۰ درصد بود). طول و قطر میوه در تیمارهای مختلف تفاوت معنی داری را نشان ندادند. تیمارهای کودی سولفات‌پتاسیم تا میزان ۴۰۰ کیلوگرم K_2O در هکتار نسبت به تیمارهای کلرورپتاسیم از نظر ویتامین ث در میوه گوجه‌فرنگی برتری نشان داد ولی سایر خصوصیات کیفی میوه نظیر pH، کل مواد محلول، سفتی بافت و اسیدیته تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی قرار نگرفتند. مصرف ۶۰۰ کیلوگرم K_2O در هکتار از منبع کلرورپتاسیم باعث افزایش معنی دار غلظت پتاسیم در گیاه و خاک شد. کلر خاک و گیاه در اثر مصرف کلرورپتاسیم افزایش چندانی نداشته و مشکل خاصی را به وجود نیاورد. در جمع بندی می توان چنین استنباط نمود که مصرف متعادل پتاسیم بر مبنای آزمون خاک مناسب‌ترین روش برای نیل به حداکثر مقدار تولید توأم با ارتقاء کیفی گوجه‌فرنگی می باشد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳). عملکرد گوجه‌فرنگی در تیمارهای ۲، ۳ و ۷ به ترتیب با ۴۸/۳۱، ۴۷/۳۶ و ۴۵/۱۷ تن در هکتار، بالاترین عملکرد و همگی در یک کلاس قرار گرفتند. کمترین عملکرد با ۳۰/۹ تن در هکتار مربوط به تیمار شاهد بود که در کلاس C قرار گرفت. هر دو منبع کودی یعنی سولفات‌پتاسیم و کلرورپتاسیم تا میزان ۲۰۰ کیلوگرم K_2O در هکتار موجب افزایش معنی دار عملکرد گردید.

بالاترین عملکرد از تیمار دوم به دست آمد که پتاسیم آن از منبع سولفات به میزان ۲۰۰ کیلوگرم K_2O در هکتار تأمین شده بود و نسبت به تیمار مشابه که پتاسیم آن از منبع کلرورپتاسیم بود تفاوتی معنی دار نداشت و فقط در حد یک تن در هکتار افزایش نشان داد. اما افزایش عملکرد آن نسبت به شاهد معادل ۱۷/۴۱ تن در هکتار یعنی ۳۶ درصد گردید (جدول ۵). متوسط عملکرد تک بوته نیز مشابه عملکرد کل گوجه‌فرنگی تحت تأثیر تیمارهای ۲۰۰ کیلوگرم K_2O در هکتار از منبع سولفات و کلرور قرار گرفت. هر دو تیمار در یک گروه واقع شدند ولی تیمار کودی منبع سولفات‌پتاسیم برای هر بوته ۲۰۰ گرم افزایش محصول نسبت به تیمار کلرورپتاسیم نشان داد. این اختلاف نسبت به شاهد ۷۸۶ گرم یا حدود ۳۸ درصد بود.

جدول ۸. میانگین نتایج عملکرد محصول، طول عمر میوه، وزن میوه، قطر میوه گوجه‌فرنگی

ردیف	تیمار	عملکرد (تن در هکتار)	عملکرد هر بوته (کیلوگرم)	قطر میوه (سانتیمتر)	وزن میوه (گرم)	طول میوه (سانتیمتر)
T۱	شاهد (NP)	۳۰/۹۰ C	۱/۲۰ C	۳/۹۶ A	۵۲ D	۵/۶۳ A
T۲	NPK۲۰۰(SOP)	۴۸/۳۱ A	۲/۰۲ A	۴/۹۰ A	۸۷ A	۶/۶۶ A
T۳	NPK۲۰۰(MOP)	۴۷/۳۶ A	۲/۰۰ A	۵/۰۶ A	۸۳ A	۶/۶۰ A
T۴	NPK۴۰۰(SOP)	۴۱/۷۲ AB	۱/۸۷ AB	۴/۷۰ A	۷۷ AB	۵/۹۳ A
T۵	NPK۴۰۰(MOP)	۳۵/۰۰ BC	۱/۵۵ BC	۴/۳۰ A	۷۴ AB	۵/۷۰ A
T۶	NPK۶۰۰(SOP)	۴۴/۳۰ AB	۱/۸۵ AB	۴/۲۶ A	۶۷ BC	۶/۳۰ A
T۷	NPK۶۰۰(MOP)	۴۵/۱۷ A	۱/۸۴ AB	۳/۹۰ A	۵۹ CD	۶/۲۶ A

اثر تیمارهای آزمایشی بر وزن میوه گوجه‌فرنگی معنی دار بود. تیمار کودی ۲۰۰ کیلوگرم از منبع سولفات‌پتاسیم برتری معادل ۵ درصد نسبت به منبع کلرورپتاسیم و ۴۰ درصد نسبت به شاهد را نشان داد. جالب اینکه با افزایش میزان پتاسیم چه از منبع سولفات و چه از منبع کلرور، وزن متوسط یک میوه کاهش یافت. این کاهش وزن در مورد کلرور بیشتر از سولفات بود. علت این کاهش را می توان به برهم خوردن نسبت عناصر غذایی به ویژه نسبت پتاسیم به کلسیم (K/Ca) و پتاسیم به منیزیم (K/Mg) در خاک مربوط دانست. در حالی که نسبت پتاسیم به کلسیم و پتاسیم به منیزیم در شاهد حدود دو و سه بود، این مقدار با مصرف کودهای پتاسیمی افزایش یافت که خود تأئیدی است بر رعایت اصول مصرف بهینه کود. تفاوت معنی‌داری بین طول میوه گوجه‌فرنگی مشاهده نشد و همگی در یک کلاس قرار داشتند. کمترین طول برابر با ۵/۶۳ سانتیمتر مربوط به شاهد و بیشترین طول برابر با ۶/۶۶ سانتیمتر مربوط به تیمار K۲۰۰ از منبع سولفات‌پتاسیم بود. بیشترین قطر میوه معادل ۵/۰۶ و ۴/۹ سانتیمتر نیز به ترتیب به تیمارهای K۲۰۰ از منبع کلرور و سولفات‌پتاسیم تعلق داشت ولی این دو تیمار نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. اثر تیمارهای مختلف منابع کود پتاسیمی و مقادیر آن‌ها همراه با شاهد بر ویتامین ث گوجه‌فرنگی در سطح یک درصد معنی دار شد. اثرات تیمارهای فوق بر روی

خصوصیات دیگر محصول، نظیر pH، کل مواد جامد محلول، سفتی بافت میوه و اسیدیته اثر معنی‌داری نداشت. میزان ویتامین ث گوجه‌فرنگی بین ۱۰ تا ۶۰ میلی گرم در ۱۰۰ گرم گردید. گوجه‌فرنگی رسیده در مقابل نور خورشید حداقل دارای ۳۰ میلی گرم ویتامین ث می‌باشد (مشار، ۱۳۷۱). بالاترین میزان ویتامین ث به مقدار ۵/۷۵ میلی گرم در ۱۰۰ گرم مربوط به تیمار ۴۰۰ کیلوگرم K۲O در هکتار از منبع سولفات‌پتاسیم و کمترین آن مربوط به تیمار ۶۰۰ کیلوگرم K۲O در هکتار از منبع کلرورپتاسیم و به مقدار ۴۶/۳۷ میلی گرم در ۱۰۰ گرم بود. در مجموع تیمارهای کودی سولفات‌پتاسیم تا میزان ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمارهای کلرورپتاسیم از نظر مقدار ویتامین ث در میوه گوجه‌فرنگی برتری نشان دادند.

جدول ٦. میانگین نتایج اسیدیته (اسید غالب) pH، ویتامین ث، کل مواد جامد محلول و سفتی میوه گوجه‌فرنگی

تیمار	اسیدیته (گرم در ۱۰۰ گرم)	ویتامین ث (میلی گرم در ۱۰۰ گرم)	pH	کل مواد جامد محلول در آب (درصد)	سفتی بافت میوه
شاهد (NP)	۰/۴۸۸ A	۵۳/۳۱ B	۳/۸۴ A	۵/۱۶ A	۱۴۰/۸ A
NPK۲۰۰(SOP)	۰/۴۹۸ A	۵۳/۲۸ AB	۳/۸۷ A	۴/۵۰ A	۱۲۸/۷ A
NPK۲۰۰(MOP)	۰/۴۲۹ A	۵۱/۶۱ B	۳/۸۴ A	۴/۸۳ A	۱۵۴/۹ A
NPK۴۰۰(SOP)	۰/۹۷۹ A	۵۶/۷۵ A	۴/۰۱ A	۵/۱۶ A	۱۴۵/۲ A
NPK۴۰۰(MOP)	۰/۴۹۲ A	۵۱/۲۷ B	۴/۸۵ A	۴/۶۶ A	۱۴۸/۳ A
NPK۶۰۰(SOP)	۰/۴۶۴ A	۵۱/۳ B	۳/۸۷ A	۵/۰۰ A	۱۶۲/۳ A
NPK۶۰۰(MOP)	۰/۴۶۴ A	۴۶/۳۷ C	۳/۸۶ A	۵/۱۶ A	۱۳۴/۰ A

جدول ۱۰. توصیه کود پتاسیم در گوجه‌فرنگی بر اساس آزمون خاک

پتاسیم (میلی گرم در کیلو گرم)	سولفات‌پتاسیم (کیلو گرم در هکتار)
۱۵۰<	۵۰۰
۱۵۰-۲۰۰	۴۰۰
۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰
۳۰۰>	۲۰۰

در آزمایشی مشابه در آذربایجان شرقی تاثیر مقادیر و منابع کود پتاسیمی بر عملکرد گوجه‌فرنگی معنی‌دار گردید. بیشترین عملکرد (۶۲ تن در هکتار) از کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم کلرورپتاسیم که به صورت سرک مصرف شده بود، به دست آمد. کاربرد کود کلرورپتاسیم باعث افزایش عملکردی در حدود ۲۵ درصد نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل ۲).

شکل ۲. نقش تیمارهای مختلف پتاسیم از دو منبع MOP و SOP در افزایش عملکرد گوجه‌فرنگی (بای‌بوردی و ملکوتی، ۱۳۷۹).

۳-۳- چغندرقند و نیشکر

چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) از نباتات صنعتی بوده که کشت در آن در کشور برای تولید شکر به‌عنوان یکی از نیازهای ضروری مردم همواره مورد توجه بوده است. لازمه استفاده بهینه از منابع خاک و آب در کشاورزی، توجه به عوامل به‌نژادی و به‌زراعی جهت تولید حداکثر عملکرد در شرایط منطقه و کیفیت مطلوب می‌باشد. در این راستا توجه به عامل تغذیه گیاهی به عنوان یکی از فاکتورهای مؤثر در رشد و عملکرد چغندرقند از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. جدول ۱۱ متوسط برداشت عناصر غذایی توسط چغندر قند با عملکرد ۱۰ تن غده را نشان می‌دهد(خادمی و همکاران،۱۳۸۰).

جدول ۱۱. متوسط برداشت عناصر غذایی توسط چغندر قند با عملکرد ۱۰ تن غده در هکتار

ازت (N)	فسفر (P_2O_5)	پتاسیم (K_2O)	منیزیم(MgO)
کیلوگرم در هکتار			
۴۰	۱۴	۶۳	۱۴

همان‌گونه که جدول فوق نشان می‌دهد نیاز پتاسیمی چغندرقند به‌مراتب از ازت نیز بیشتر است بعلاوه اینکه پتاسیم در کیفیت چغندر قندو شکر استحصالی عنصری مهم به‌شمار می‌رود به‌طوری‌که برای چغندرقند می‌توان از آن به‌عنوان عنصر کیفیت نام برد، نظر به اهمیت این عنصر تحقیقاتی در این زمینه در کشور صورت گرفته است که اینک به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. کلارستاقی و قلاوند (۱۳۷۸) در یک مطالعه پنج ساله و در مجموع با انجام ۵۴ آزمایش مزرعه‌ای در مزارع چغندرکاری استان خراسان حد بحرانی پتاسیم قابل جذب و ضرایب معادله میچرلیخ- بری را تعیین نمودند. این محققین حد بحرانی پتاسیم قابل جذب خاک در شرایط آزمایش برای

چغندرقند را ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ضرایب معادله میچرلیخ شامل C و C_1 را به ترتیب ۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۲۵ گزارش نمودند.

شایسته و همکاران (۱۳۸۲) در یک مطالعه به منظور بررسی تأثیر منابع و مقادیر مختلف پتاسیم بر جذب پتاسیم و عملکرد کمی و کیفی چغندرقند گزارش نمودند که تفاوت معنی‌داری بین سولفات‌پتاسیم و کلرورپتاسیم از نظر تأثیر بر خواص مورد اندازه‌گیری وجود نداشته است. در این آزمایش مصرف کود کلرورپتاسیم به مقدار بیشتر از آزمون خاک (سه برابر مقدار توصیه شده در سطح آزمون خاک) با دو تقسیط به صورت سرک به همراه مصرف ریزمغذی‌هابیشترین عملکرد غده به میزان ۷۴/۵ تن در هکتار را به دنبال داشته است.

رشیدی و جواهری (۱۳۸۲) در یک مطالعه در استان کرمان به منظور بررسی اثر کودهای دامی، سولفات‌پتاسیم و اسید بوریک بر عملکرد کمی و کیفی محصول چغندرقند، مصرف ۱۵۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم به همراه ۲۰ تن در هکتار کود دامی خشک جهت دستیابی به عملکرد حدود ۵۳ تن با بیشترین مقدار شکر استحصالی را توصیه نمودند

نیشکر (*Saccharum officinarum* L.): رعایت تعادل بین عناصر غذائی یکی از عوامل مؤثر در افزایش تولید محصول می‌باشد؛ به طوریکه کاهش هریک از این عناصر برطبق قانون حداقل لیبیگ، کاهش عملکرد محصول را سبب خواهد شد. نیشکر مانند هر گیاه قندی دیگر نیاز بالایی به پتاسیم دارد به طوریکه با تولید ۱۰۰ تن نی حدود ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (K_2O) از خاک توسط ساقه‌ها برداشت می‌شود که مقدار کود پتاسیمی توصیه شده برای جبران این مقدار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار (K_2O) خواهد بود (جعفرنژادی، ۱۳۷۶).

جدول ۸. مقدار مواد غذایی اصلی برداشت شده بوسیله ۱۰۰ تن نی در هکتار (جعفرنژادی، ۱۳۷۶)

ازت (N)	فسفر (P_2O_5)	پتاسیم (K_2O)	کلسیم (Ca)	منیزیم (Mg)	گوگرد (S)	سیلیسیم (SiO_2)
(کیلوگرم در هکتار)						
۷۰	۴۰	۱۵۰	۲۵	۲۵	۲۵	۱۵۰-۲۰۰
آهن (Fe)	**روی (Zn)**	**منگنز (Mn)**	**مس (Cu)**	**بور (B)**		**مولیبدن (Mo)**
(گرم در هکتار)						
۴۰۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۲۰۰		۱۰۰<

در یک مقایسه بین گیاه کشت (Plant) و بازرو (Ratoon) در ارتباط با ازت و پتاسیم مشخص شد که رابطه نزدیکی بین افزایش تولید ساقه و تجمع ازت و پتاسیم در گیاه وجود دارد که بیانگر این نکته است که دوعنصر ازت و پتاسیم در تغذیه نیشکر نقش بسیار مهمی ایفاء می‌کنند. در تحقیقی دیگر نشان داده شده که گیاه نیشکر در مرحله کشت و در دورهٔ رشد حداکثر، روزانه ۷۱۰ گرم

پتاسیم در هکتار و در مرحلهٔ بازروئی اول ۹۵۰ گرم پتاسیم را جذب می‌کند درحالیکه مقدارازت مورد نیاز گیاه در این دو مرحله به ترتیب ۵۹۰ و ۷۳۰ گرم در هکتار در روز می‌باشد (Malavolta، ۱۹۹۴). براساس گزارش‌های متعدد نیشکرهائی که کمبود پتاسیم دارند از رشد کمتر و ساقه‌های نازک‌تری برخوردار بوده و سیستم ریشه‌ای این گیاهان نسبت به قسمت‌های هوائی کمتر تحت تأثیر این کمبود قرار گرفته‌اند، به طوریکه نسبت ریشه به اندام‌های هوائی در این گیاهان نسبت به گیاهان نرمال بیشتر است. گیاهان دارای کمبود پتاسیم، از مقدار شکر کمتری برخوردار بودند که می‌تواند به دلیل کاهش فتوسنتز و کاهش انتقال پتاسیم از برگ‌ها به ساقه‌ها باشد.

Orlando (۱۹۵۹) گزارش نمود که کمبود پتاسیم در غلظت‌های بالائی از ازت، فسفر، کلسیم، منیزیم، گوگرد و آهن رخ می‌دهد. از سویی دیگر، رابطه مستقیمی بین پاسخ نیشکر و مقدار کودهای پتاسیمی یافت شد، به طوریکه با مصرف ۸۳ کیلوگرم پتاسیم (K_2O) در خاک‌های شنی عملکرد محصول بیش از ۱۰تن در هکتار افزایش یافته است. بهترین عملکرد نیشکر زمانی حاصل می‌شود که نسبت ازت به پتاسیم یک به یک باشد (DuToit، ۱۹۵۹). جعفرنژادی (۱۳۷۶) و ملکوتی و همکاران (۱۳۸۴) گزارش نمودند برای گیاهانی که مدتی در خاک هستند مصرف کودهای پتاسیمی در دو یا سه نوبت بهتر خواهد بود، موقع اول در زمان کاشت یا کمی قبل از آن و نوبت‌های بعدی در زمان رشد و به صورت سرک باشد. در تحقیقی در شرکت کشت وصنعت کارون بر روی مصرف دو عنصر پتاسیم (K) و روی (Zn) نشان داده شد که از بین تیمارهای اعمال شده، تیمار سولفات‌پتاسیم و روی (توام) بالاترین عملکرد نی و درصدشکر را به خود اختصاص داده است(۱۳۳تن نیشکرو۱۴/۶تن شکر درهکتار) (شکل ۳).

شکل ۳. نقش مصرف سولفات‌پتاسیم و سولفات روی در افزایش شکر تولیدی (ملکوتی و جعفرنژادی، ۱۳۷۷).

درتحقیقی دیگری که در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۲ در شرکت‌های کشت وصنعت کارون و هفت تپه تحت عنوان بررسی پاسخ گیاه نیشکر به پتاسیم از منابع مختلف با شش تیمار به شرح تیمار اول (K_1) = شاهد (کوددهی عرف منطقه)؛ تیمار دوم (K_2)= مصرف ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم از منبع سولفات‌پتاسیم به صورت پایه؛ تیمار سوم (K_3)= مصرف ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم از منبع نیترات

پتاسیم به صورت پایه؛ تیمار چهارم ($K_۴$)= مصرف ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم از منبع کلرورپتاسیم به صورت پایه؛ تیمار پنجم($K_۵$)= مصرف ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم از منبع نیترات پتاسیم به صورت تقسیط و تیمار ششم ($K_۶$)= مصرف ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم از منبع کلرورپتاسیم به صورت تقسیطی اجرا شد نتایج نشان داد که مصرف پتاسیم بر عملکرد نی در منطقه کارون اثر معنی‌دار داشته است همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با مصرف پتاسیم از منبع کلرورپتاسیم و به صورت تقسیط تیمار ششم ($K_۵$) بالاترین عملکرد به میزان ۱۴۷/۵ تن در هکتار به دست آمد، درحالیکه پائین‌ترین مقدار عملکرد به میزان ۱۲۳/۲ تن در هکتار مربوط به تیمار تیمار چهارم ($K_۴$) مصرف پتاسیم از منبع کلرور به صورت پایه به دست آمد. کود کلرورپتاسیم، کودی است که حدود ۶۰ درصد پتاسیم دارد و غنی‌ترین کود در میان سه منبع ازنظر پتاسیم است و مشکل این کود دارا بودن کلر می‌باشد که باعث اثر سوء بر عملکرد نیشکر به دلیل جایگزینی کلر در واکوئل‌های ذخیره‌ای می‌باشد. نتایج نشان داد که مصرف تقسیط این کود به دلیل حلالیت بالا اثر معنی‌دار بر عملکرد نیشکر دارد ولی مصرف پایه آن اثر سوء بر عملکرد دارد، که شاید به دلیل بالا بودن کلر کود مصرفی در اوایل دوره رشد بوده باشد. مصرف نیترات پتاسیم به صورت پایه (تیمار سوم) نسبت به تیمار پنجم در درجه بعدی قرار داشت. به طوریکه عملکردی به میزان ۱۴۱/۷ تن در هکتار به دست آمد، درحالیکه عملکرد تیمار تقسیط نیترات پتاسیم (تیمار پنجم) ۱۳۶/۷ تن در هکتار حاصل شد، که از لحاظ آماری با تیمار ششم در یک گروه قرار گرفت.

اثر مصرف پتاسیم بر درصد شکر، در منطقه کارون مثبت بود. جدول مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین مقدار شکر از (تیمار پنجم) (مصرف تقسیط نیترات پتاسیم) و (تیمار دوم) به میزان ۱۲/۹۵ تن در هکتار و کمترین مقدار مربوط به تیمار دوم (سولفات‌پتاسیم) به میزان ۱۱/۳ تن در هکتار به دست آمد. براثر مصرف پتاسیم درصد شیره قابل استحصال معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بالاترین درصد شیره مربوط به تیمار پنجم (تقسیط نیترات) به میزان ۳۲/۱ و کمترین مقدار مربوط به تیمار شاهد به میزان ۲۷/۶ درصد بود، سایر تیمارها از این نظر در یک گروه آماری با تیمار چهارم قرار گرفتند.

نتایج نشان داد که درمنطقه کارون درجه خلوص بر اثر مصرف پتاسیم تفاوت معنی‌داری بین تیمارها نداشته است. اما بالاترین مقدار درجه خلوص مربوط به تیمار پنجم (تقسیط نیترات) به میزان حدود ۹۰ درصد و کمترین مقدار مربوط به تیمار شاهد به میزان ۸۷ درصد به دست آمده است. اندازه‌گیری میزان نیترات در ساقه‌های هوائی نیشکر نشان داد که کمترین مقدار نیترات مربوط به تیمار پنجم (تقسیط کلرورپتاسیم) در منطقه کارون به میزان ۱۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و در منطقه هفت تپه کمترین مقدار مربوط به تیمار سولفات‌پتاسیم به میزان ۱۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به دست آمد. (جعفرنژادی و ملکوتی، ۱۳۷۸).

جدول ۹. میانگین فاکتورهای کمی و کیفی اندازه‌گیری شده در نیشکر رقم CP -۴۸ در منطقه کارون

تیمار	عملکرد نی (تن در هکتار)	شکر (٪)	درصد شیره (٪)	درجه‌خلوص (٪)	نیترات (میلی‌گرم در کیلوگرم)
تیمار اول (K_0)	۱۳۴/۰ AB	۱۲/۳ AB	۲۷/۶ B	۸۷/۳ A	A۱۳۴
تیمار دوم (K_1)	۱۳۸/۱ AB	۱۱/۳ B	۳۲/۰ A	۸۷/۴ A	۱۴۱ A
تیمار سوم (K_2)	۱۴۱/۷ AB	۱۱/۶ AB	۳۱/۶ A	۸۷/۴ A	۱۳۲ A
تیمار چهارم (K_3)	۱۲۳/۰ B	۱۲/۴ AB	۳۱/۹ A	۸۹ A	۱۳۳ A
تیمار پنجم(K_4)	۱۳۷/۶ AB	۱۲/۹ A	۳۲/۱ A	۸۹/۷ A	۱۳۹ A
تیمار ششم (K_6)	۱۴۷/۵ B	۱۲/۲ AB	۲۹/۵ AB	۸۸/۱ A	۱۲۸ A

در یک جمع‌بندی، نتایج این تحقیق نشان داد که وضعیت خاک از نظر عناصر مختلف، خصوصاً ازنظر میزان پتاسیم نامطلوب می‌باشد. به طوریکه برطبق نتایج تجزیه خاک‌های منطقه، میزان این عنصر در منطقه کارون حدود ۱۰۰ و در منطقه هفت تپه به میزان ۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. در هردو منطقه کارون و هفت تپه علیرغم اعمال تیمارهای کودی پتاسیم کمبود این عنصر مشاهده شد که از تمام تیمارهای کودی نمونه‌برداری و تجزیه شد. در هر دو منطقه نتایج نشان داد که، اعمال تیمارهای پتاسیمی و روش مصرف آن تأثیر زیادی بر روی عملکرد کمی و کیفی نیشکر نداشته است، و این نتایج تائید کننده تحقیقات گذشته در این زمینه می‌باشد. چون در سال‌های گذشته باتوجه به کشت گسترده این محصول و عدم مصرف کودهای پتاسیمی و همچنین نیاز بالای این گیاه به عنصر پتاسیم، خاک‌های تحت کشت به شدت تخلیه شده است، به طوریکه با مصرف کود درحد عرف منطقه تأثیری در افزایش سطح پتاسیم قابل جذب خاک و در نتیجه عملکرد مشاهده نشد، حتی روش تقسیط پتاسیم برای مقابله با این مشکل چندان مؤثر نبود، اما در یک تحقیق که بر روی محصول نیشکر انجام شد، مشخص گردید که اگر باتوجه به میزان تثبیت پتاسیم در خاک، کوددهی اعمال شود، مصرف پتاسیم تأثیر بسیار مثبتی بر نیشکر خواهد داشت.

۴-۳- پنبه

پنبه (*Gossypium hirsutum*) که به پنبه آپلند مشهور است ۹۰ درصد پنبه تولیدی جهان را شامل می‌شود. وجود و یا تأمین به موقع عناصر غذایی مورد نیاز پنبه یکی از عوامل مهم و مؤثر جهت دستیابی به عملکرد بالا و کیفیت مطلوب است از میان عناصر غذایی مورد نیاز پنبه پتاسیم بعد از ازت مهمترین عنصر می‌باشد بخصوص که در کیفیت الیاف تولیدی نیز عنصری

حیاتی به شمار می‌رود. پنبه برای تولید ۱۶۸۰ کیلوگرم الیاف و ۲۵۲۰ کیلوگرم دانه، مقدار ۱۹۹ کیلوگرم ازت، ۸۱ کیلوگرم فسفر (P_2O_5)، ۱۳۱ کیلوگرم پتاسیم (K_2O)، ۳۹ کیلوگرم منیزیم و ۳۴ کیلوگرم گوگرد از خاک برداشت می‌کند (سالاردینی و مجتهدی،۱۳۷۷). در اثر کمبود پتاسیم تولید هیدروکربن‌ها کاهش یافته و در نتیجه مقدار الیاف پنبه که از سلولز تشکیل شده است کاهش می‌یابد. نخستین علایم کمبود پتاسیم در این گیاه برنزه شدن حاشیه برگ‌های پائینی است . این علایم بتدریج گسترش یافته و با شدت یافتن کمبود، کل برگ را فرا گرفته و در نهایت منجر به ریزش برگ می‌شود. Cassman و همکاران (۱۹۹۰) گزارش نمودند که گیاه پنبه نسبت به کمبود پتاسیم در مقایسه با بسیاری از گیاهان دیگر حساس‌تر است و غالباً علایم کمبود در خاک‌هایی که کمبود پتاسیم ندارند هم دیده می‌شود.Cope و همکاران (۱۹۸۱) در یک مطالعه دراز مدت ۲۱ ساله صحرایی بر روی پنج گیاه زراعی شامل پنبه، ذرت، گندم، سویا و ماش چنین گزارش نمودند که در بین گیاهان مورد اشاره، پنبه حساسترین گیاه نسبت به کمبود پتاسیم بوده است و به این جهت بیشترین پاسخ مثبت را نسبت به مصرف پتاسیم در خاک از خود نشان داده است. Gerik و همکاران (۱۹۸۷) و Brouder و همکاران (۱۹۹۰) در تحقیقات خود به طور جداگانه گزارش نمودند که میزان جذب پتاسیم توسط گیاه به تراکم ریشه و طول آن و به طور کلی حجم خاک در اختیار ریشه بستگی زیادی دارد و از آنجا که سیستم ریشه‌ای پنبه به طور قابل ملاحظه‌ای دارای تراکم پایین است لذا دلیل حساسیت نسبی بیشتر پنبه به پتاسیم خاک می‌تواند به تراکم کم سیستم ریشه‌ای گیاه پنبه و پائین بودن نسبی حجم خاک در اختیار ریشه باشد. Oosterhuis (۱۹۹۸) گزارش نمود که فعالیت ریشه در پنبه بعد از زمان گلدهی کاهش می‌یابد به اضافه اینکه غوزه محل پر مصرفی برای کربوهیدرات‌های تولید شده است و به این سبب استفاده از محلولپاشی پتاسیم به عنوان یک روش تکمیلی در این مرحله بسیار سودمند است. با این حال هر عامل دیگری نظیر بیماری، حمله آفات و فشردگی خاک که باعث محدود شدن رشد ریشه شود سبب تشدید کمبود پتاسیم در گیاه می‌گردد. رمضانپور و ملکوتی (۱۳۸۲) اثر کودهای پتاسیمی بر خصوصیات کمی و کیفی پنبه در منطقه داراب استان فارس را مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که مصرف سولفات‌پتاسیم به صورت خاکی به میزان ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار به همراه محلولپاشی نیترات پتاسیم در دو مرحلهٔ گلدهی و غوزه‌دهی و مصرف بهینه سایر عناصر مورد نیاز و ریزمغذی‌هابراساس آزمون خاک در شرایطی که پتاسیم قابل جذب خاک ۲۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، سبب افزایش عملکرد وش گردید اما مصرف پتاسیم و ریزمغذی‌هادر شرایط آزمایش اثر معنی‌داری بر خصوصیات کیفی مورد اندازه‌گیری نداشته است.

افضلی (۱۳۷۸) در یک مطالعه به منظور تعیین سطح بحرانی فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک در مزارع تحت کشت پنبه شامل ۳۱ قطعه از اراضی پنبه‌کاری در شهرستان‌های بهشهر، نکا و ساری در استان مازندران طی دو سال حد بحرانی پتاسیم برای پنبه را ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین

نموده است. این محقق همچنین گزارش نمود که در ۱۶ درصد اراضی مورد مطالعه مقدار پتاسیم قابل جذب بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۲۶ درصد نیز دارای پتاسیم قابل جذب کمتر از ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده‌اند. کشاورز و مهدوی (۱۳۸۲)در یک مطالعه به منظور تعیین حد بحرانی پتاسیم با استفاده از معادلهٔ میچرلیخ ـ بری و روش ترسیمی کیت – نلسون برای پنبه در خاک‌های شور و غیر شور استان خراسان آزمایشی طراحی و اجرا نمودند. در این آزمایش ابتدا ضرایب C_1 مربوط به معادلهٔ میچرلیخ ـ بری در خاک شور و غیرشور به ترتیب ۰/۰۰۳۳۷۰ و ۰/۰۰۳۸۶۳ محاسبه گردید. سپس با استفاده از ضرایب مذکور حد بحرانی پتاسیم در شرایط شور برای ۸۵ درصد عملکرد نسبی برای خاک‌های شور و غیر شور تحت کشت پنبه به ترتیب ۳۴۴/۵ و ۲۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد گردید. همچنین با استفاده از روش تصویری کیت – نلسون حد بحرانی پتاسیم برای ۸۵ درصد عملکرد نسبی برای خاک شور و غیر شور به ترتیب ۲۴۰ و ۲۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین گردید. این محققین براساس مشاهدات و نتایج آزمایش محدودهٔ غلظت بهینه پتاسیم قابل استفاده خاک برای پنبه در استان خراسان را به صورت جدول زیر ارایه نمودند.

جدول ۱۰. گروه‌بندی پتاسیم قابل استفاده خاک برای پنبه در خاک‌های شور و غیر شور استان خراسان

نوع خاک	کم	کفایت	زیاد
خاک شور	۲۴۰>	۲۴۰–۴۴۰	۴۴۰<
خاک غیر شور	۲۱۰>	۲۱۰–۴۸۰	۴۸۰<

۵-۳- دانه‌های روغنی

آفتابگردان (*Hilianthus annuus* L.) از گیاهان روغنی است و نقش مهمی را در تولید روغن خوراکی ایفا می‌کند. روغن آفتابگردان حاوی مقدار زیادی اسیدلینولئیک بوده و به لحاظ این ویژگی خاص درصنعت چربی‌های غیر اشباع کارآیی فراوانی دارد. توسعه کشت دانه‌های روغنی و افزایش عملکرد در واحد سطح و در نتیجه افزایش تولید روغن در کشور ایران به عنوان کشوری که تنها ۱۰ درصد روغن خوراکی مورد نیاز را درداخل کشور تولید می‌کند، از جمله برنامه‌های اولویت‌دار وزارت جهاد کشاورزی می‌باشد. به این منظور استفاده از دو عامل بهنژادی و بهزارعی به عنوان تنها راهکار جهت گذر از کشاورزی معیشی و سنتی به کشاورزی مدرن و اقتصادی می‌باشد. از میان عوامل به‌زراعی تغذیه گیاه نقشی اساسی به عهده دارد. آفتابگردان با عملکرد سه تن در هکتار به میزان ۱۲۰ کیلوگرم ازت خالص، ۶۰ کیلوگرم فسفر (P_2O_5) و ۲۴۰ کیلوگرم پتاسیم (K_2O) از خاک برداشت می‌کند. مقایسهٔ میزان برداشت سه عنصر غذایی اصلی توسط آفتابگردان از خاک نشان می‌دهد که از بین عوامل تغذیه‌ای، پتاسیم از اهمیت خاص برخوردار است. به این جهت در کشور نیز تحقیقات وسیعی در این زمینه صورت گرفته است که

اینک به اهم آن‌ها اشاره می‌شود. تکاسی و همکاران (۱۳۸۲) تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و میزان روغن آفتابگردان و وضعیت ازت نیتراتی در یک خاک با مقدار رس معادل ۳۶ درصد، کربن آلی ۰/۶۶ درصد و پتاسیم قابل جذب ۴۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم را مورد بررسی قرار داده وگزارش نمودند که مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار ازت به صورت تقسیط، نصف در زمان کاشت و نصف دیگر به صورت سرک در هنگام شروع گلدهی با کارآیی ۴/۴ بیشترین عملکرد معادل ۳۹۸۶ کیلوگرم در هکتار، بیشترین وزن هزاردانه و میزان روغن به ترتیب ۷۰/۷ گرم و ۴۷/۵ درصد و کمترین میزان ازت نیتراتی باقیمانده در خاک معادل ۲۰/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم را به دنبال داشته و مصرف پتاسیم تأثیری بر عملکرد و میزان روغن دانه نداشته است. فیضی اصل (۱۳۷۸) در یک آزمایش به منظور تعیین نیاز غذایی آفتابگردان دیم در منطقه آذربایجان‌شرقی (مراغه) گزارش نمود که در شرایط آزمایش و با عملکرد دانه حدود دو تن در هکتار مصرف کود پتاسیمی هیچگونه تأثیری در افزایش عملکرد دانه و یا درصد روغن آفتابگردان نداشته و بنابراین در منطقه مورد آزمایش در شرایط حاضر نیازی به مصرف پتاسیم نمی‌باشد. منتظری و علیزاده (۱۳۷۸) اثر مصرف دو نوع کود پتاسه در عملکرد آفتابگردان و تغییرات کلر در خاک و گیاه را مورد بررسی قرار دادند، تجزیه و تحلیل نتایج سه ساله آزمایش نشانگر تأثیر مثبت مصرف کود پتاسه از هر دو منبع سولفات‌پتاسیم و کلورپتاسیم بر افزایش عملکرد دانه، وزن هزار دانه و اندازهٔ قطر طبق بوده است و از این نظر اختلاف معنی‌داری بین منابع کود پتاسیمی وجود نداشته است. اندازه‌گیری‌های مربوط به غلظت کلر در خاک و گیاه نیز حاکی از عدم تفاوت معنی‌دار بین دو نوع کود پتاسیمی بود. محققین فوق در یک جمع‌بندی چنین نتیجه گیری نمودند که می‌توان از کود کلرورپتاسیم بجای سولفات‌پتاسیم برای گیاهان زراعی به غیر از سیب‌زمینی در شرایطی که آب‌آبیاری مورد استفاده و یا خاک از لحاظ میزان کلر در حد قابل قبول باشد استفاده نمود. سپهر (۱۳۷۷) در بررسی اثرات پتاسیم و ریز مغذی‌هادر افزایش عملکرد کمی و کیفی آفتابگردان در خوی گزارش نمود هنگامی که کود پتاسیم بر مبنای آزمون خاک مصرف شده بود در مقایسه بازمانی که مصرف پتاسیم به مقدار فراتر از آزمون خاک به همراه ریز مغذی‌هامصرف گردیده بود عملکرد به‌طور معنی‌داری متفاوت بوده است. این محقق همچنین گزارش نمود که اگر چه با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم درهکتار سولفات‌پتاسیم در شرایط آزمایش عملکرد کمی و کیفی دانه آفتابگردان افزایش یافته است ولی بیشترین افزایش معنی‌دار در عملکرد و درصد روغن دانه با مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌پتاسیم به همراه کاربرد کودهای حاوی عناصر میکرو به دست آمده است. سپهر و ملکوتی(۱۳۷۸) در یک مطالعه اثرات پتاسیم، منیزیم، گوگرد و عناصر کم مصرف در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت آفتابگردان را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که کاربرد پتاسیم در شرایط استفاده از سایر عناصر پر مصرف و ریز مغذی‌ها، عملکرد دانه و درصد روغن را به طور معنی‌داری به‌میزان

به‌ترتیب ۲۸ درصد و ۶/۵ درصد افزایش داده است. اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۲) در یک مطالعه تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و کیفیت دانه آفتابگردان در ایستگاه خیرآباد زنجان را مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که پتاسیم اضافه شده به خاک در تمامی سطوح اگر چه باعث افزایش سطح پتاسیم قابل جذب خاک گردید لکن اثری بر عملکرد و اجزاء عملکرد دانه این گیاه نداشته است و چنین نتیجه‌گیری نمودند که با توجه به بالا بودن سطح پتاسیم قابل جذب در خاک مورد آزمایش (بیش از ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) نیازی به مصرف پتاسیم دراینگونه خاک‌ها نمی‌باشد. میرزاپور و همکاران(۱۳۸۲) اثرات متقابل منیزیم و پتاسیم بر رشد و عملکرد آفتابگردان در یک خاک شور با پتاسیم قابل جذب ۲۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان قم را مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که با مصرف پتاسیم عملکرد و درصد روغن دانه به طور معنی‌دار افزایش یافته است به‌طوری که بالاترین عملکرد دانه به میزان ۳۶۳۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار مصرف ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (K_2O) بوده است. همچنین منیزیم و پتاسیم اثر متقابل مثبت و معنی‌داری بر نسبت‌های پتاسیم به سدیم، منیزیم و کلسیم به سدیم در برگ داشته اند. این محققین از آزمایش خود چنین نتیجه‌گیری نمودند که مصرف پتاسیم با کاهش جذب سدیم و افزایش میزان تحمل به شوری گیاه همراه است. Sepaskhah و Mafton (۱۹۸۸) چنین بیان نموده‌اند که از نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه می‌توان به عنوان شاخصی جهت تعیین تحمل به شوری در گیاهان عالی استفاده نمود. ملکوتی و سپهر (۱۳۸۲) در یک تحقیق مربوط به بررسی و مقایسه اثر سولفات‌پتاسیم و کلرورپتاسیم بر عملکرد آفتابگردان با توجه به میانگین سه سال آزمایش، نظر به اینکه اختلاف معنی‌داری بین منابع کود پتاسیمی مشاهده نگردید و از طرفی تجمع کلر در خاک سطحی با مصرف کلرورپ‌تاسیم نیز بسیار ناچیز بود، لذا توصیه نمودند که در کشت آفتابگردان به سهولت می‌توان از کلرورپ‌تاسیم حتی به صورت سرک استفاده نمود (جدول ۱۱ و شکل ۴).

جدول ۱۱. میانگین سه ساله عملکرد دانه و اجزای عملکرد (ملکوتی و سپهر، ۱۳۸۲)

تیمار	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	پروتئین (درصد)	وزن هزار دانه (گرم)	قطر طبق (سانتیمتر)
KO	b۳۴۷۳	۳/a۵۲	۶۲/b۷۲	۲۲/a۵۶
MOP	a۴۱۵۸	۳/a۶۲	۶۸/a۴۲	۲۳/a۲۰
SOP	a۳۹۰۹	۳/a۶۱	۶۷/a۷۰	۲۲/a۸۱
CV(٪)	۱۳/۹۸	۷/۷۶	۵/۴	۴/۵۱
LSD(۰.۰۵)	۰/۴۰۵	۰/۲۱	۲/۶۹	۰/۷۷۶

شکل ٤. مقایسه اثر بخشی دو نوع کود پتاسیمی در عملکرد آفتابگردان (ملکوتی و سپهر، ۱۳۸۲).

سپهر و همکاران (۱۳۸۲) اثر متقابل پتاسیم و منیزیم در خاک و جذب آن‌ها توسط ریشه گیاه آفتابگردان را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که پتاسیم انتقال منیزیم را به ساقه بیشتر از جذب آن توسط ریشه تحت تأثیر قرار می‌دهد. این محققین همچنین در بررسی اثر سطوح مختلف پتاسیم و منیزیم بر عملکرد کمی و کیفی آفتابگردان چنین گزارش نمودند که هم مصرف پتاسیم و هم مصرف منیزیم عملکرد دانه را افزایش دادند و با توجه به اثرات متقابل این دو عنصر مصرف ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌پتاسیم و ۲۰۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم سولفات منیزیم برای دستیابی به بیشترین عملکرد کمی دانه در شرایط آزمایش را توصیه نمودند. این محققین همچنین نسبت مصرف کودهای پتاسیمی به کودهای منیزیمی را برای خاک‌های منطقه خوی حدود سه و نسبت بهینه پتاسیم به منیزیم در دانه و برگ آفتابگردان را به ترتیب ۲/۶ –۱/۲ و ۴-۲/۵ پیشنهاد نمودند.

جدول ۱۲. تاثیر سطوح مختلف پتاسیم و منیزیم روی عملکرد و اجزای آن

تیمارکودی	وزن هزار دانه (گرم)	قطر طبق (سانتیمتر)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
K_0Mg_0	۶۸/۶	۱۹/۷	۳۵۰۸
K_0Mg_1	۶۷/۶	۲۰/۳	۳۴۰۵
K_0Mg_2	۷۰/۶	۲۰/۱	۳۵۴۹
K_0Mg_3	۷۰/۳	۱۹/۶	۳۲۰۶
K_1Mg_0	۶۸/۸	۲۰/۲	۳۳۹۷
K_1Mg_1	۷۱/۳	۱۹/۸	۴۲۰۸
K_1Mg_2	۷۰/۱	۲۰/۴	۳۹۷۷
K_2Mg_0	۷۰/۶	۱۸/۷	۳۵۶۹
K_2Mg_1	۷۴/۳	۲۰/۵	۴۴۶۵
K_2Mg_2	۷۲/۰	۲۱/۱	۳۸۶۵
K_2Mg_3	۷۴/۰	۱۹/۹	۳۵۷۸
K_3Mg_0	۷۱/۳	۲۰/۰	۳۵۲۷
K_3Mg_1	۷۱/۳	۲۰/۲	۳۷۱۴
K_3Mg_2	۷۴/۶	۲۲/۰	۴۳۲۲
K_3Mg_3	۷۴/۰	۲۱/۶	۴۱۹۴

شکل ۵. تاثیر سطوح مختلف پتاسیم و منیزیم بر عملکرد دانه آفتابگردان.

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از گیاهان روغنی است که کشت آن در سال‌های اخیر در ایران مطرح شده است . توسعه زراعت کلزا نقطهٔ امیدی برای تأمین بخش عمده‌ای از روغن مورد نیاز کشور می‌باشد. همگام با توسعهٔ سطح زیرکشت، افزایش عملکرد در واحد سطح و با کیفیت مطلوب جهت بهره‌برداری بهینه از منابع آب و خاک از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. در این میان توجه به نقش تغذیه به‌عنوان یکی از عوامل مهم به‌زارعی ضروری می‌نماید. کلزا برای تولید هر تن دانه حدود ۴۰ کیلوگرم ازت، ۲۵ کیلوگرم فسفر (P_2O_5) و ۵۰ کیلوگرم پتاسیم (K_2O) از خاک برداشت می‌کند. در طول دورهٔ رشد کلزا، پتاسیم به سرعت از خاک جذب شده و مقدار آن در طول دورهٔ گلدهی به بیشترین مقدار می‌رسد. حداکثر مقدار پتاسیم موجود در ماده خشک گیاهی در هنگام گلدهی برای عملکرد مطلوب ۲/۵ درصد است. نظر به اهمیت تغذیهٔ پتاسیمی کلزا تحقیقاتی در این زمینه در کشور صورت گرفته است که اینک به اهم آن‌ها اشاره می‌شود. مرشدی و نقیبی (۱۳۸۲) تأثیر سطوح مختلف محلول‌پاشی پتاسیم و بور در دو نوبت بر عملکرد دانه و روغن کلزا در منطقه بردسیر کرمان را مورد مطالعه قرار دادند و گزارش نمودند که محلول‌پاشی پتاسیم به میزان ۸ کیلوگرم در هکتار از منبع نیترات پتاسیم اثر معنی‌داری بر افزایش عملکرد دانه و روغن کلزا داشته است لکن محلول‌پاشی بور به تنهایی اثری بر عملکرد دانه و سایر خصوصیات رشدی نداشته است که این محققین در توجیه عدم تأثیر بور چنین بیان داشتند که میزان بور در آب آبیاری ۰/۸ گرم در لیتر بوده که آبیاری به دفعات توسط این آب باعث عدم عکس‌العمل گیاه به محلول‌پاشی بور گردیده است. قرایی و رضایی (۱۳۸۲) در یک مطالعه مزرعه‌ای به منظور بررسی اثرات متقابل کودهای اوره، فسفات آمونیم و سولفات‌پتاسیم بر عملکرد و درصد روغن کلزا در استان فارس با به کار بردن تیمارهای مختلف ازت، فسفر و پتاسیم بر گیاه کلزا عدم تأثیر سطوح مختلف فسفر و پتاسیم بر عملکرد و سایر خصوصیات کیفی را گزارش نمودند و مصرف ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در سه تقسیط مساوی یکی همزمان با کاشت، یکی در شروع رشد مجدد بهاره و دیگری قبل از گلدهی را توصیه نمودند. این محققین در گزارش خود اشاره‌ای به نوع بافت خاک یا میزان رس آن و میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب ننموده‌اند.

کیانی و میرزاشاهی (۱۳۸۲) اثرات منابع و مقادیر مختلف پتاسیم بر کلزا در شمال خوزستان را مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه در یکی از مزارع ایستگاه تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول و بر روی

خاک با میزان پتاسیم قابل جذب ۱۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم انجام گرفت. نتایج حاصله نشان داد که اثر کود پتاسیم بر عملکرد دانه معنی‌دار بوده است به طوریکه با مصرف ۲۳۴ کیلوگرم پتاسیم (K_2O) در هکتار افزایش عملکرد معادل ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد به علاوه اینکه تفاوت معنی‌داری بین منابع کودی سولفات و کلرورپتاسیم بر محصول مشاهده نگردید. این محققین چنین نتیجه‌گیری نمودند که به دلیل تخلیه شدید خاک‌های زراعی منطقه صفی‌آباد دزفول از پتاسیم و نیز درصد نسبی رس بالا، خاک‌ها شدیداً به کودهای پتاسیمی نیازمند می‌باشند و در این شرایط بایستی هنگام مصرف پتاسیم میزان تثبیت هم در نظر گرفته شود.

خادم حمزه و کشاورز شیرازی (۱۳۸۰) تأثیر بور و روی در سطوح مختلف پتاسیم بر عملکرد و اجزاء عملکرد دو رقم کلزا را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه از دوسطح پتاسیم به صورت مصرف در زمان کاشت به میزان ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم از منبع سولفات و تیمارهای روی و بور به صورت محلول‌پاشی در مرحله ساقه‌دهی استفاده گردید. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد در بین تیمارهای کودی مصرف پتاسیم نسبت به عدم مصرف آن تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشته ولی بین دو تیمار ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار این اختلاف معنی‌دار نبوده است. همچنین مصرف پتاسیم جذب بور و بخصوص روی توسط گیاه را افزایش داده بود و بدین طریق سبب افزایش عملکرد در تیمار مربوط به کاربرد توأم این عناصر شده بود. میرزا شاهی و همکاران(۱۳۸۲) در یک مطالعه اثرات کاربرد مقادیر مختلف و زمان مصرف کودهای پتاسیمی بر عملکرد کلزا را مورد بررسی قرار داده و گزارش نمودند که مصرف سولفات‌پتاسیم در ابتدای فصل رشد به صورت پایه و کلرورپتاسیم به صورت سرک به ترتیب به میزان ۱۵۰و۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش عملکرد دانه کلزا گردیده است. این محققین چنین نتیجه‌گیری نمودند که به دلیل تخلیه شدید خاک‌های زراعی منطقه صفی‌آباد دزفول از پتاسیم و بالا بودن درصد نسبی رس در آن‌ها، مصرف کودهای پتاسیمی در سطوح بالا ضرورت دارد.

جدول ۱۳. عملکرد دانه کلزا در تیمارهای مختلف کود پتاسیم با و بدون کود سرک پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) مزرعه مرکز تحقیقات صفی‌آباد

سولفات پتاسیم کلرور پتاسیم	۷۵		۱۵۰		۲۲۵		۴۵۰		میانگین	
با سرک	c	۲۲۱۸	a	۲۸۰۵	a	۲۷۲۳	c	۲۰۱۱	A	۲۴۳۹
بدون سرک	b	۲۰۳۸	b	۲۵۲۵	b	۲۴۳۳	d	۲۰۰۵	B	۲۲۵۰
میانگین	B	۲۱۲۸	A	۲۶۶۵	A	۲۵۷۸	C	۲۰۰۸		-

جدول ١٤. عملکرد دانه کلزا در تیمارهای مختلف کود پتاسیم با و بدون کود سرک پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) در مجتمع کشت و صنعت شهید رجایی

سولفات پتاسیم کلرور پتاسیم	۷۵		۱۵۰		۲۲۵		٤٥٠		میانگین	
با سرک	c	۱۸۱۹	a	۲۹۶۴	ab	۲۸۸۰	c	۱۹۹۲	A	۲۴۱۴
بدون سرک	c	۱۸۷۶	b	۲۷۱۲	b	۲۶۷۴	C	۱۹۱۶	A	۲۲۹۴
میانگین	B	۱۸۴۸	A	۲۸۳۸	A	۲۷۷۷	B	۱۹۵۴		–

جلیلی و همکاران (۱۳۸۲) در یک مطالعه نقش تغذیه متعادل در عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در خوی را مورد بررسی قرار دادند. این آزمایش در یک خاک نسبتاً سبک با میزان رس معادل ۲۱ درصد و پتاسیم قابل جذب ۱۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم صورت گرفت. این محققین پس از اعمال تیمارهای مختلف آزمایش و تجزیه و تحلیل نتایج مربوطه چنین نتیجه‌گیری نمودند که مصرف سولفات‌پتاسیم به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و مصرف سولفات منیزیم معادل ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به همراه مصرف ریز مغذی‌ها علاوه بر مصرف ازت و فسفر (تیمار شاهد) اثر معنی‌دار در افزایش عملکرد و خواص کیفی کلزا داشته است.

۶-۳- سویا و بادام زمینی

سماوات (۱۳۷۸) در یک مطالعه اثر سولفات‌پتاسیم، پرمنگنات پتاسیم و دو نوع کود نیتروژنی اوره و سولفات آمونیم بر جذب منگنز و نسبت آهن به منگنز (Fe/Mn) در گیاه سویا را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفت که اثر اصلی سطوح پتاسیم، نوع خاک و کود ازته بر غلظت و جذب منگنز در اندام هوایی سویا از نظر آماری معنی‌دار بوده است به طوریکه سولفات‌پتاسیم جذب منگنز را کاهش ولی پرمنگنات پتاسیم آن را نسبت به شاهد در هر دو خاک افزایش داده بود. در تیمار شاهد و تیمار پتاسیمی مربوط به هر دو خاک هنگامی که کود ازته از منبع اوره مصرف گردیده بود غلظت منگنز نسبت به تیمار سولفات آمونیم حدود ۲۰ درصد کاهش یافته بود. نتیجه‌گیری کلی برای آزمایش این بود که اگرچه سولفات‌پتاسیم و اوره، غلظت منگنز در گیاه را کاهش و غلظت آهن را افزایش داد ولی با توجه به فقیر بودن خاک‌های مورد آزمایش از نظر آهن قابل جذب، مصرف کودهای فوق تنها تأثیر اندکی در رفع کلروز آهن داشته‌اند با این حال سولفات‌پتاسیم و اوره به طور نسبی تأثیر بیشتری نسبت به سولفات آمونیم و پرمنگنات پتاسیم در رفع کلروز آهن از خود نشان دادند.

دانشیان و جعفری (۱۳۸۰) در یک مطالعه اثرات اصلی و متقابل تنش آبی و پتاسیم بر عملکرد دانه سویا را مورد بررسی قرار دادند. در این آزمایش عامل تنش به صورت زمان آبیاری در سه سطح رطوبتی خاک شامل شرایط بدون تنش یعنی آبیاری در تمام طول دوره رشد و هنگامی که ۴۰ درصد تخلیهٔ رطوبتی تا عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک صورت گرفته بود، شرایط تنش متوسط

یعنی آبیاری تا زمان گلدهی در شرایط ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی و سپس آبیاری تا زمانی که رطوبت قابل دسترس خاک در دو عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری به ۴۰ درصد یعنی ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی رسیده بود و تنش شدید یعنی آبیاری تا زمان گلدهی بر اساس تخلیه رطوبتی ۴۰ درصد و سپس از زمان گلدهی به بعد انجام آبیاری بر اساس رسیدن خاک به ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی تا عمق ۶۰ سانتی‌متری انتخاب گردید. سطوح پتاسیم شامل صفر، ۵ و ۱۰ گرم اکسید پتاسیم در مترمربع بود. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که با افزایش شدت تنش تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در گیاه کاهش یافته است که این امر منجر به کاهش تعداد دانه در گیاه گردید. همچنین با افزایش پتاسیم به میزان ۵ گرم در مترمربع تعداد غلاف در گیاه افزایش و بدین طریق عملکرد افزایش یافته بود، لکن افزایش از ۵ به ۱۰ گرم در مترمربع پتاسیم تأثیری بر افزایش عملکرد دانه نداشته است. در رابطه با اثر متقابل تنش آبی و پتاسیم نیز اگرچه اختلاف معنی‌داری در عملکرد و اجزاء عملکرد وجود نداشت اما با افزایش پتاسیم در هر سطح تنش رطوبتی تعداد غلاف و دانه در گیاه افزایش یافت. این محققین از آزمایش خود چنین نتیجه‌گیری نمودند که با افزایش شدت تنش پتاسیم نقش مؤثرتری در جلوگیری از کاهش بیشتر در تعداد دانه در غلاف و وزن هزاردانه و در نهایت عملکرد داشته است.

۷-۳- مرکبات

درختان مرکبات در صورت مساعد بودن شرایط اقلیمی در محدودهٔ وسیعی از انواع خاک‌ها رشد می‌کنند. در اکثر مناطق برای دستیابی به محصول تجارتی و اقتصادی نیاز به استفاده از کودهای حاوی عناصر غذایی مختلف است.که میزان و انواع این کودها بستگی به خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک بویژه سطح حاصلخیزی آن، مدیریت باغ در سطوح مختلف و امکان بهینه‌سازی کلیه عوامل مؤثر بر رشد و میزان محصول مورد انتظار دارد. در اکثر خاک‌های مناسب برای کشت مرکبات در ابتدا باید نیاز درخت از نظر ازت و پتاسیم برآورده شود. یک باغ مرکبات با تولید ۵۰ تن در هکتار محصول به طور متوسط ۶۶ کیلوگرم ازت، ۹/۵ کیلوگرم فسفر و ۹۰ کیلوگرم پتاسیم از طریق میوه از خاک برداشت می‌نماید که این مقدار جدای از مقداری است که از طریق آبشویی از دسترس ریشه خارج می‌شود و یا مقداری که مورد استفاده در رشد رویشی درخت قرار می‌گیرد(ملکوتی و شهابیان، ۱۳۷۷). با توجه نقش پتاسیم به عنوان یک عنصر اصلی و اساسی در رشد بهینه و تولید عملکرد بالا و با کیفیت مطلوب در درختان مرکبات تحقیقاتی در این زمینه در کشور انجام گرفته است که اینک به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. اسدی و امیری (۱۳۸۲) در تحقیقات خود نشان دادند که کمبود پتاسیم و منیزیم از عوامل تغذیه‌ای محدودکننده تولید برای مرکبات مازندران می‌باشند. به طوری که میزان پتاسیم و منیزیم برگ اکثر باغ‌های مرکبات پائین‌تر از حد مطلوب قرار دارد. در تحقیقاتی که آن‌ها به عمل آوردند نشان دادند که با مصرف پتاسیم و منیزیم قطر و وزن متوسط میوه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بهبود خاصیت

انبارداری میوه مرکبات و نیز افزایش استحکام پوست مرکبات از اثرات مثبت مصرف توام پتاسیم و منیزیم بود. پیشنهاد می‌گردد به هنگام مدیریت بهینه کودی این نسبت در حد ۳ حفظ گردد. اسدی و اخلاقی (۱۳۸۲) گزارش نمودند که کمبود پتاسیم در مازندران از فاکتورهای تغذیه‌ای محدود کننده رشد و تولید مرکبات است و پتاسیم برگ زیر حد کفایت قرار دارد. نامبردگان بیان داشتند که بررسی روند مصرف کودهای شیمیائی در استان مازندران در دهه گذشته حاکی از آن است که به طور متوسط ۹۶ درصد کودهای مصرفی در طول این دهه به کودهای نیتروژن و فسفر و تنها ۴ درصد به کودهای پتاسیم اختصاص یافته است.

جدول ۱۵. اثر تیمار پتاسیم بر عملکرد و کیفیت میوه درختان پرتقال تامسون ناول شمال

تیمار	عملکرد (کیلوگرم در درخت)	متوسط وزن میوه(گرم)	کل املاح محلول(٪)	پ-هاش
شاهد	A۴۷	A۲۶۲	۹/۲	۳/۲
سولفات‌پتاسیم	B۶۱	B۳۱۱	۹/۵	۳/۱

توجه به کیفیت در محصول مرکبات شمال از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار می‌باشد، چرا که به سبب نزدیکی این منطقه به بازارهای خارج از کشور،در امر صادرات مرکبات با کیفیت خوب و عالی و قابل رقابت با دیگر تولیدکنندگان، می‌توان سرمایه‌گذاری نمود. پتاسیم به‌عنوان عنصر کیفیت شناخته شده است. شیخ اشکوری و همکاران (۱۳۸۲) در تحقیقی روی درختان پانزده ساله نارنگی پیج با پایه پونسیروس،نشان دادند که تیمارهای پتاسیم موجب افزایش معنی‌دار عملکرد و درشتی میوه شده و بیشترین مقدار عملکرد میوه(۵۱/۲ کیلوگرم در درخت) در تیمار ۱۵۰۰گرم سولفات‌پتاسیم در هر درخت به دست آمد.تیمار مذکور سبب ۳۱ درصد افزایش عملکرد و ۱۱/۵ درصد افزایش قطر میوه نسبت به شاهد گردید.

اسدی و اخلاقی (۱۳۸۲) گزارش نمودند که تیمار دو کیلوگرم پتاسیم به ازای هر اصله درخت متوسط، وزن هر میوه را از ۱۵۲ گرم شاهد به ۲۳۰ گرم افزایش داد (۲۵درصد افزایش). تیمار پتاسیم همچنین سبب بالا رفتن درصد عصاره، درصد آب، نسبت پوست وافزایش استحکام پوست و خصوصیات انبارداری میوه گردید. نهایتا مصرف ۲ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم به ازای هر درخت پرتقال سانگین با پایه نارنج توصیه گردید. مرادی و همکاران (۱۳۸۲) نتیجه‌گیری نمودند که در باغ‌های مرکبات مازندران کوددهی پتاسیم بایستی بر مبنای نتایج آزمون خاک صورت گیرد و استاندارد پتاسیم خاک،با توجه به گنجایش تبادل کاتیونی خاک در نظر گرفته شود.

در تحقیقاتی که در جنوب کشور برروی باغ‌های مرکبات انجام گرفت، نقش مثبت کودهای پتاسیمی بر افزایش عملکرد کمی و کیفی مرکبات محرز گردید. گندمکار (۱۳۸۳) گزارش نمود که تیمارهای سولفات‌پتاسیم و سولوپتاس سبب افزایش معنی دار عملکرد و تعداد میوه

در سطح پنج درصد آزمون دانکن شدند. بیشترین افزایش عملکرد(۳۶/۸ درصد)مربوط به تیمار یک کیلوگرم سولوپتاس به ازای هر درخت به صورت سه بار تقسیط می‌باشد. مابین تیمارهای سولفات‌پتاسیم،کاربرد یک کیلوگرم سولفات‌پتاسیم به شکل چالکود عملکرد بیشتری را حاصل کرده است. تنها تیمارهای سولوپتاس موجب افزایش معنی دار تعداد میوه (افزایش تبدیل گل به میوه و کاهش ریزش آن‌ها) در درختان گردیدند.

جدول ۱۶. اثر تیمار پتاسیم بر عملکرد و تعداد میوه درختان پرتقال جنوب

تیمار	عملکرد (کیلوگرم در درخت)	عملکرد (تن درهکتار)	تعداد میوه در هر درخت	درصد افزایش عملکرد
شاهد	۷۶/A۰	۲۱/A۴	۷۵۳/A۷	–
سولفات‌پتاسیم	۱۰۴/B۰	۲۹/B۳	B۷۴۳	۳۷

همچنین بیشترین افزایش عملکرد درختان نارنگی(۲۹/۴ درصد افزایش)مربوط با تیمار یک و نیم کیلوگرم سولوپتاس به ازای هر درخت به صورت سه بار تقسیط به دست آمد. در درختان نارنگی هم حداکثر تعداد میوه (افزایش تبدیل گل به میوه و کاهش ریزش آن‌ها) از کاربرد تیمارهای سولوپتاس به دست آمد. اثر بهتر سولوپتاس در افزایش عملکرد درختان نارنگی و پرتقال می‌تواند بدلیل حلالیت بالا و کاربرد آن به صورت سه سرک، در نتیجه قرارگرفتن پتاسیم در اختیار گیاه و عدم تثبیت آن توسط کانی‌های خاک باشد.

جدول ۱۷. اثر تیمار پتاسیم بر عملکرد و تعداد میوه درختان نارنگی جنوب

تیمار	عملکرد (کیلوگرم در درخت)	عملکرد (تن درهکتار)	تعداد میوه در هر درخت	درصد افزایش عملکرد
شاهد	۶۷/A۸	۱۹/A۱	۶۷۱/A۳	–
سولفات‌پتاسیم	۹۰/B۳	۲۵/B۵	۸۷۰/B۵	۲۹/۴

کیانی و ملکوتی (۱۳۸۲) افزایش عملکرد درختان پرتقال رقم مارس را در نتیجه مصرف کودهای پتاسیم به همراه عناصر ریزمغذی گزارش نمودند و بیان داشتند با توجه به عدم وجود تفاوت معنی دار بین سولفات‌پتاسیم و کلورپتاسیم، می‌توان در جاهایی که دارای خاک و آب غیر شور هستند از کلورپتاسیم بجای سولفات‌پتاسیم استفاده نمود. ملکوتی و همایی (۱۳۸۳) به نقل از دانش نیا گزارش نمودند که در درختان پرتقال، تیمار ۸۳ کیلوگرم در هکتارK_2O موجب افزایش قطر قسمت سفید پوست میوه، درصد عصاره، درصد سیتریک اسید و اندکی کاهش نسبت قند به اسید شد.

نقش اصلی پتاسیم که بیشتر پتاسیم موجود در گیاه درگیر آن است، تنظیم فشار اسمزی و حفظ تورژسانس سلول‌ها جهت رشد و نمو است. از این رو تامین پتاسیم مورد نیاز گیاه، سبب

افزایش راندمان آبیاری وبالا رفتن مقاومت درختان مرکبات در برابر تنش‌های خشکی و گرمائی می‌شود. دانش نیا گزارش نمود که در درختان پرتقال درخاکی دارای بافت متوسط در منطقه جهرم (جنوب ایران)، کاربرد پتاسیم سبب افزایش راندمان آبیاری گردید و تیمار ۸۳ کیلو گرم در هکتارK_2O آب مصرفی را به ۳۰۰۰ متر مکعب در هکتار کاهش داد.

شکل ٦ . اثر سولفات‌پتاسیم در افزایش کارآیی مصرف آب در پرتقال (دانش نیا و رستگار، ۱۳۷۷)

کاوسی و مرادی (۱۳۸۲) وضعیت پتاسیم خاک در باغ‌های مرکبات غرب مازندران را مورد بررسی قرار دادند. باغ‌ها به گونه‌ای انتخاب گردیدند که توزیع مناسبی از نظر قرار گرفتن در محل کوهپایه، دامنه و دشت‌ها را داشته باشند. سپس نمونه‌های خاک مرکب سطحی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک تهیه و همزمان نمونه‌برداری برگ جهت اندازه‌گیری عناصر ازت، فسفر و پتاسیم نیز صورت گرفت. نتایج به دست آمده نشان دادکه پتاسیم قابل دسترس خاک‌های مورد مطالعه به‌طور وسیعی از ۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم تا ۹۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است. مقادیر بالای پتاسیم قابل دسترس در این خاک‌ها به دلیل کوددهی سنگین و مستمر پتاسیم در مناطق مربوط بوده است. میانگین تثبیت پتاسیم در خاک‌های مورد بررسی حدود ۲۱/۸ درصد بود که نشان داد میزان تثبیت پتاسیم در این اراضی به حدی نیست که نیاز به کوددهی سنگین باشد. نتایج تجزیه برگ نیز نشان داد که علی‌رغم وجود پتاسیم قابل دسترس بالای خاک در اکثر باغ‌های مورد مطالعه، غلظت پتاسیم در برگ در حد مورد انتظار نبود که دلیل احتمالی آن به عواملی چون عدم تعادل عناصر غذایی در خاک و عدم آبیاری باغ‌ها و سایر عوامل نسبت داده شده است. در این مطالعه همچنین میزان همبستگی سه عصاره‌گیر پتاسیم خاک شامل کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، اسید نیتریک مولار جوشان و استات آمونیم یک مولار و خنثی با شاخص غلظت پتاسیم در برگ درختان پرتقال (تامسون) مورد بررسی قرار گرفت و چنین گزارش گردید که عصاره‌گیر کلرید کلسیم یکصد مولار و عصاره‌گیر استات آمونیم یک مولار خنثی به ترتیب رتبه اول و دوم را داشته‌اند و عصاره‌گیر اسید نیتریک مولار فاقد همبستگی لازم بود. در این مطالعه همبستگی مثبت و معنی‌داری بین درصد اشباع پتاسیم در خاک و غلظت پتاسیم در

برگ درختان مشاهده گردید که شدت این همبستگی نسبت به همبستگی هریک از سه روش عصاره‌گیری مورد بررسی با غلظت پتاسیم در برگ بیشتر بود. کیانی و میرزاشاهی (۱۳۸۲) اثرات مقادیر و منابع مختلف پتاسیم بر عملکرد کمی و کیفی درختان پرتقال در شمال خوزستان را مورد بررسی قرار دادند. این تحقیق در باغ مرکبات مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول بر روی درختان ۸ ساله رقم مارس اجرا گردید. بافت خاک مورد آزمایش نسبتاً سنگین و میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک به ترتیب ۱۴/۷ و ۱۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است. نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد تیمارهای مختلف پتاسیمی اثر معنی‌داری بر عملکرد و سایر خصوصیات مورد اندازه‌گیری نظیر میزان ویتامین C، اسید سیتریک، درصد بریکس و غلظت عناصر غذایی در برگ نداشته است. این محققین چنین نتیجه‌گیری نمودند که عدم واکنش درختان نسبت به مقادیر مختلف پتاسیم بکار رفته احتمالاً به دلیل کافی بودن پتاسیم قابل جذب خاک جهت تأمین پتاسیم مورد نیاز درختان بوده است.

۸-۳- انگور و سیب درختی

انگور (*Vitis vinifera* L.) یکی از مهمترین میوه‌هایی است که از زمان‌های بسیار قدیم مورد مصرف تغذیه‌ای بشر قرار گرفته است . انگور منبع عمدهٔ مواد ضد اکسیده‌ای به نام فلاونوید می‌باشد که این ماده عموماً از اثرات سوء مصرف سیگار و چربی زیاد می‌کاهد. به علاوه گفته شده است این ماده اثر محافظت کننده روی قلب و عروق می‌باشد. با عنایت به توضیحات فوق در ارتباط با اهمیت انگور در زنجیرهٔ غذایی و سلامت جامعه، کمیت و بخصوص کیفیت انگور تولید شده بشدت وابسته به نحوهٔ تغذیه آن دارد. انگور به ازای هر ۲۰ تن عملکرد مقدار ۱۷۰ کیلوگرم ازت ریا، ۲۵ کیلوگرم فسفر و ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم از خاک برداشت می‌کند که دراین میان نقش پتاسیم نقشی ویژه است. مخصوصاً که این عنصر بر کیفیت محصول تأثیر چشمگیری دارد. در صورت کمبود پتاسیم حبه‌های انگور بدشکل، سفت، ریز و بدمزه می‌باشند. در انگور بیدانه قسمت پایین خوشه در اواسط تابستان متلاشی و حبه‌ها مانند کشمش خشک می‌گردند(ملکوتی و شهابیان، ۱۳۷۷).

مطلبی‌فرد (۱۳۸۲) اثرات مقادیر و منابع مختلف کود پتاسه و عناصر کم مصرف بر خصوصیات کمی و کیفی انگور در دشت جوزان ملایر را مورد بررسی قرار داد و گزارش نمود که مصرف پتاسیم به طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد میوه انگور گردیده است. به طوریکه در تیمار مربوط به مصرف پتاسیم عملکرد معادل ۵۸/۹ تن به دست آمد در حالیکه در تیمار شاهد (بدون مصرف پتاسیم) عملکرد میوه ۳۹/۶ تن در هکتار بود. به عبارت دیگر عملکرد میوه به میزان ۵۰ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته بود. این محقق در شرایط آزمایش مصرف پتاسیم به میزان دو برابر توصیه شده در سطح آزمون خاک به همراه مصرف ریزمغذی‌هارا توصیه نمود با

این توضیح که ۵۰ درصد آن به صورت سرک از منبع کلرورپتاسیم باشد چرا که مصرف سرک پتاسیم در خاک مورد مطالعه به دلیل سبک بودن بافت می‌تواند به منطقه فعال ریشه حرکت کرده و مورد استفاده گیاه قرار گیرد.

سیب (*Malus domestica*) از گروه میوه‌های دانه دار و درختی است خزان‌کننده که در مناطق سردسیر و معتدله رشد می‌کند.سیب در بین محصولات باغی و از نظر وزنی بیشترین سهم صادرات را به خود اختصاص داده است. هم‌اکنون کشور ایران مقام ششم جهان در زمینه صادرات سیب را دارد و این درحالی است که عملکرد متوسط هکتاری آن در کشور حدود ۱۵ تن در هکتار گزارش گردیده و در مقایسه با تولید متوسط جهانی ۴۰ تن در هکتار بسیار پایین است. بنابراین با توجه به اهمیت این محصول به عنوان یک محصول صادراتی و ضروت خروج از اقتصاد متکی بر صادرات تک محصولی نفت، ضرورت تغییر نگرش از باغداری سنتی به باغداری مدرن و اقتصادی امری ضروری می‌باشد که در این راستا توجه به مسائل به نژادی و استفاده از ارقام پا کوتاه و پر محصول و مقاوم به شرایط نامساعد خاک و رعایت مسائل به زراعی از اهمیت خاصی برخوردار است. عامل تغذیه گیاهی از عوامل مهم و مؤثر در کمیت و کیفیت میوه می‌باشد به‌طوری که قابلیت انباری این محصول و میزان بروز عوارض فیزیولوژیکی بعد از برداشت نظیر پوک شدن، آردی شدن، قهوه‌ای شدن، لهیدگی و لکه تلخی میوه ارتباط تنگاتنگی با عوامل مدیریتی در طول دورهٔ داشت و بخصوص نحوهٔ تغذیه و تعادل تغذیه‌ای درختان دارد . از میان عوامل تغذیه‌ای پتاسیم نقش ویژه‌ای در عملکرد و خصوصیات کیفی میوه نظیر رنگ پذیری، اسیدیته و درصد مواد جامد محلول میوه دارد. نسبت پتاسیم به کلسیم از شاخص‌های مهم کیفی این محصول است به گونه‌ای که بالا بودن این نسبت (بالاتر از ۲۵) سبب بروز عوارض فیزیولوژیکی اشاره شده در بالا در طول مدت انبارداری گردیده و به این ترتیب خواص انباری میوه را بشدت پایین می‌آورد (شهابی، ۱۳۸۰).

جعفرپور و همکاران (۱۳۸۰) در یک مطالعه تأثیر منابع و مقادیر مختلف پتاسیم برشاخص‌های رشد رویشی و کیفیت میوه سیب در سمیرم (پادنا) را مورد بررسی قرار دادند.این آزمایش در یک خاک با مقدار رس معادل۳۲ درصد و پتاسیم قابل جذب ۵۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم انجام گرفت. این محققین با مصرف مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی از منابع کلرور و سولفات‌پتاسیم چنین نتیجه گرفتند که اثر تیمارهای اعمال شده بر شاخص‌های رشد رویشی و عملکرد معنی‌دار نبوده ولی مقدار مواد جامد محلول، پ‌هاش آب میوه و درصد آب میوه به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارها قرار گرفته است، به‌طوری که مصرف پتاسیم باعث افزایش غلظت آن در برگ و میوه و افزایش درصد مواد جامد محلول (TSS) و کاهش درصد آب میوه گردید. این محققین همچنین عدم تفاوت معنی‌دار بین دو منبع کلرورپتاسیم و سولفات‌پتاسیم از نظر تأثیر بر شاخص‌های رویشی، عملکرد و خواص کیفی میوه را گزارش نمودند.

منوچهری و ملکوتی (۱۳۸۰) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که با مصرف پتاسیم غلظت پتاسیم در میوه سیب افزایش یافت اما اختلاف معنی داری بین نوع کود مصرفی و مقادیر مختلف مصرف به دست نیامد. اثر این افزایش نیزدر خصوصیات آب میوه مشاهده شد. غلظت کلسیم در تیمارهایی که پتاسیم استفاده شده بود کاهش یافت. با توجه به رقابت پتاسیم و کلسیم، افزایش غلظت پتاسیم در میوه باعث کاهش غلظت کلسیم در میوه‌های سیب می‌گردد. مصرف بیش از نیاز (توصیه کودی) پتاسیم اثر منفی در خصوصیات کیفی سیب دارد. زیرا با افزایش بیش از نیاز پتاسیم، به دلیل برهمکنش منفی آن با کلسیم و منیزیم، از غلظت کلسیم در میوه‌ها کاسته شده و در نتیجه از خاصیت انباری سیب به‌شدت کاسته می‌شود. با توجه به اینکه آزمایش‌ها تفاوت معنی داری بین دو نوع کود پتاسیمی(سولفات‌پ‌تاسیم و کلرید پتاسیم) را نشان نمی‌دهد، منطقی است که باغداران بر اساس توصیه‌های کودی و به صورت متعادل از کود کلرید پتاسیم نیز استفاده نمایند. زیرا به دلیل بالا بودن درصد پتاسیم در این کود و ارزان بودن، استفاده از آن اقتصادی است. ضرورت محلول‌پاشی کلرید کلسیم با غلظت‌ها و دفعات ذکر شده از طرف کارشناسان جهت افزایش کیفیت سیب نیز لازم می‌باشد. مصرف کودها در باغ‌های میوه بخصوص سیب باید بر اساس آزمون خاک و تجزیه برگ و میوه صورت گیرد و به شکل چالکود باشد.

به منظور مطالعه اثر نسبت پتاسیم به کلسیم(K/Ca) میوه بر سفتی بافت و دوره انباری میوه‌ها آزمایشی در نقده در سال زراعی۸۰- ۱۳۷۹ برروی سیب گلدن دلیشز (Golden Delicious) انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از T۱ = شاهد (مصرف نیتروژن، فسفر و کودهای حیوانی به صورت پخش سطحی)، T۲ = تیمار اول + عناصر کم‌مصرف به صورت چالکود، T۳ = تیماردوم + کلرید پتاسیم بر اساس آزمون خاک، T۴= تیمار سوم + محلول پاشی کلرید کلسیم نیم درصد در چهار مرحله، T۵= تیمار سوم + محلول پاشی کلرید کلسیم نیم درصد در هشت مرحله، T۶= تیمار دوم + کلرید پتاسیم ۵۰ درصد بالای آزمون خاک، T۷= تیمار ششم + محلولپاشی کلرید کلسیم نیم درصد در چهار مرحله، T۸= تیمار ششم + محلول پاشی کلرید کلسیم نیم درصد در هشت مرحله، T۹= تیمار دوم + سولفات‌پتاسیم ۵۰ درصد بالای آزمون خاک + محلول پاشی کلرید کلسیم نیم درصد در هشت مرحله. نتایج این بررسی نشان داد که عملکرد در تیمارهای اعمال شده بیشتر از شاهد بود. مصرف برگی کلرید کلسیم، سفتی بافت میوه سیب را در مقایسه با تیمارهایی که در آن‌ها پتاسیم مصرف و کلرید کلسیم محلول‌پاشی نشده بودند، افزایش داد. بیشترین سفتی مربوط به تیمار ۸ با هشت مرحله محلول پاشی کلرید کلسیم بود. در حالیکه تیمار ششم با ۵۰٪ بالای آزمون خاک مصرف پتاسیم و بدون محلول پاشی کلرید کلسیم از پایین ترین میزان سفتی میوه برخوردار بود. سایر صفات کیفی میوه نظیر pH، اسیدیته مواد جامد محلول، اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت. نسبت پتاسیم به کلسیم(K/Ca) میوه در تیمار شاهد ۴۴ بود که در تیمار ششم به حدود ۵۸ افزایش یافت،

اما در تیمار هشتم با مصرف متعادل کود وهشت مرحله محلول پاشی کلرید کلسیم نیم درصد این نسبت به محدوده ۲۰ کاهش یافت. در مورد منابع کودی پتاسیم در بین تیمارها اختلاف معنی دار نبود در ۹۰ روز بعد از انبارداری تیمارها روی سفتی بافت میوه هیچگونه اثری نداشتند. بنابراین، برای افزایش کلسیم میوه ها و کاهش نسبت(K/Ca)در نتیجه بهبود سفتی بافت میوه سیب هشت مرحله محلول پاشی کلرید کلسیم نیم درصد به فواصل دو هفته از هم توصیه می شود. در زمان برداشت میوه غلظت پتاسیم در تیمار شاهد ۰/۹۵ درصد بود که این مقدار در تیمار ششم با ۵۰ درصد بیش از آزمون خاک پتاسیم به حدود ۱/۱۰ درصد افزایش یافت. نسبت پتاسیم به کلسیم (K/Ca) در تیمار شاهد در حدود ۴۳ بود که این نسبت در تیمار ششم با ۵۰ درصد بیش از آزمون خاک پتاسیم به حدود ۶۰ افزایش یافت. در صورتی که در تیمار هشتم با هشت مرحله محلول پاشی کلرید کلسیم نیم درصد، این نسبت به حدود ۲۳ کاهش یافت (شکل‌های ۷ و ۸). نسبت پتاسیم به کلسیم (K/Ca) در هر دو تیمار شاهد و مصرف بهینه کود کمتر از ۳۰ است. برای تولید میوه سیب با کیفیت مناسب، نسبت پتاسیم به کلسیم باید کمتر از ۲۵ باشد (Dilmaghani و همکاران، ۲۰۰۴).

شکل ۷. اثر تیمارهای اعمال شده برروی سفتی بافت میوه سیب

شکل ۸. اثر تیمارهای اعمال شده در نسبت پتاسیم به کلسیم (K/Ca) در زمان برداشت

با توجه به نتایج به دست آمده از تحقیقات اجرا شده در مناطق تحت کشت سیب‌درختی در کشور و با توجه به اهمیت نسبت عناصر غذایی در خواص انباری و بروز عوارض فیزیولوژیکی بعد از برداشت، لازم است در مصرف کودهای پتاسیمی در باغ‌های سیب نهایت دقت به عمل آید. در این رابطه انجام تجزیه برگی و حتی تجزیه میوه و تعیین حد مطلوب پتاسیم و کلسیم همراه با سایر خصوصیات کیفی میوه، به انجام توصیه صحیح کودی کمک خواهد نمود (جدول‌های ۱۸ و ۱۹).

جدول ۱۸. حد مطلوب عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف در برگ سیب*

عناصر پرنیاز (درصد)	نیتروژن (N)	فسفر (P)	پتاسیم (K)	کلسیم (Ca)	منیزیم (Mg)	گوگرد (S)
	۲/۲۰–۲/۳۰	۰/۱۵	۱/۸۰–۲/۰۰	۱/۸۰–۲/۲۰	۰/۴۰	۰/۳۵
عناصر کم‌نیاز (میلی‌گرم در کیلوگرم)	آهن (Fe)	منگنز (Mn)	روی (Zn)	مس (Cu)	بور (B)	مولیبدن (Mo)
	۱۰۰–۱۵۰	۷۰–۱۰۰	۴۰–۶۰	۱۰–۱۵	۳۰–۷۰	۱–۲

* ارقام حد مطلوب بر اساس آخرین یافته‌های تحقیقات حاضر بوده و قابل تجدیدنظر می‌باشد.

*ارقام فوق با توجه به رقم، شرایط اقلیمی، نحوه مدیریت زراعی، عملیات به‌زراعی و نحوه تغذیه متغیر می‌باشد.

جدول ۱۹. حد مطلوب غلظت عناصر غذایی در میوه سیب رقم Golden Delicious

نیتروژن (N)	**فسفر (P)**	**پتاسیم (K)**	**کلسیم (Ca)**	**منیزیم (Mg)**	**آهن (Fe)**	**منگنز (Mn)**	**روی (Zn)**	**مس (Cu)**	**بور (B)**
(میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خوراکی)									
۴۰	۱۰	۱۵۰	۷	۵	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰</۱۰	۰/۵۰
ماده خشک (درصد)	**سفتی میوه (kg/cm^2)**	**قند کل**	**اسیدیته کل (اسیدمالیک)**		**Brix**	**pH**			
		(گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه)							
۱۷/۵	> ۶	۱۵	۰/۳۰		۱۴	۴/۵			
N/Ca	**K/Ca**	**Ca/Mg**	**نیترات (NO_3)**		**کادمیوم (Cd)**				
			(mg/kg FW)		**(mg/kg DW)**				
۸<	۲۰	۱/۴	۵۰<		۰</۱۰				

۹-۳- سایر محصولات

فکری و همکاران (۱۳۷۸) در یک آزمایش اثرات تیمارهای ازت و پتاسیم بر غلظت عناصر در برگ، عملکرد، درصد دانه‌های پسته خندان، تعداد دانه‌های خندان، درصد مغز دانه‌های ناخندان و ریزش جوانه‌های میوه درختان پسته در منطقه بیاض استان کرمان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش سطوح مصرفی ازت غلظت این عنصر در برگ افزایش و غلظت پتاسیم کاهش و با افزایش سطوح مصرفی پتاسیم غلظت ازت در برگ افزایش و غلظت پتاسیم کاهش یافته بود. عملکرد دانه با افزایش سطوح مصرفی پتاسیم افزایش یافته بود لکن اثر تیمار ازت بر عملکرد به سطوح پتاسیمی مصرف شده وابسته بود. با افزایش سطوح پتاسیم درصد دانه‌های خندان و درصد مغز دانه‌های ناخندان افزایش و درصد ریزش جوانه‌های میوه در تابستان کاهش یافت. این محققین چنین نتیجه‌گیری نمودند که به منظور افزایش عملکرد، درصد دانه‌های پسته خندان، درصد مغز دانه‌های ناخندان و درشتی دانه‌های خندان و کاهش

ریزش جوانه‌های میوه در تابستان و کاهش سال‌آوری کاربرد سالانه مقدار ۶۰۰ گرم ازت از منبع سولفات آمونیم و ۷۵۰ گرم پتاسیم از منبع سولفات‌پتاسیم برای هر درخت در شرایط آزمایش قابل توصیه است.

خیر و نوربخش (۱۳۷۸) روند زمانی تغییرات غلظت کلسیم، پتاسیم و منیزیم در درختان چنار و کاج واقع در دانشگاه صنعتی اصفهان را مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که تفاوت بین غلظت عناصر کلسیم، پتاسیم و منیزیم در درخت چنار به عنوان یک درخت خزان‌کننده و درخت کاج به عنوان یک درخت همیشه سبز معنی‌دار بوده و در هر کدام نیز تغییرات غلظت کلسیم و پتاسیم در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری معنی‌دار است ولی برای منیزیم تغییرات معنی‌دار مشاهده نگردید. مطالعه روابط همبستگی خطی بین دو عنصر پتاسیم و کلسیم در هر درخت نشان داد که بین غلظت این دو عنصر در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری رابطه معکوس و معنی‌دار وجود دارد به طوریکه با افزایش غلظت یکی، غلظت دیگری کاهش می‌یابد. طالب نژاد و همکاران (۱۳۷۳) طی تحقیقی اثرات مصرف کودهای حاوی ازت، فسفر و پتاسیم در زمان گل‌انگیزی بر عوامل تولید در توت فرنگی رقم آرمور را مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند مصرف متعادل ازت نسبت به فسفر و پتاسیم در شرایط آزمایش سبب افزایش ویتامین ث در توت فرنگی گردید و پتاسیم با ازت از این نظر مؤثرتر بوده‌اند.

فصل چهارم

مباحث نوین و نیازهای تحقیقاتی

۱-۴- مدل‌های شبیه‌سازی جذب پتاسیم به وسیله ریشه گیاهان

ارایه یک مدل مکانیسمی صحیح نیازمند فهم درست از فرآیند جذب عناصر غذایی و بنابراین در نظر گرفتن دقیق کلیه پدیده‌هایی است که در فرآیند جذب عناصر غذایی مشارکت می‌نمایند. یک مدل مکانیسمی از مدل رگرسیونی متفاوت است. چرا که در مدل رگرسیونی، ضرائب به‌طور آماری و بدون داشتن شناخت کافی از فرآیندها و علت ها تبیین می گردد و یا به عبارت دیگر به صورت یک جعبه سیاه عمل می‌نمایند. اما در یک مدل مکانیسمی، معادلاتی برای بیان فرآیندهای مختلف جریان عنصر به درون گیاه و نیز فرآیندهای رشد و نمو گیاه طراحی شده و با یکدیگر ترکیب می‌گردند تا پدیده جذب را توصیف نمایند. هنگامی که یک مدل مکانیسمی ارایه و ارزیابی شد، می‌توان از آن برای پیش بینی پیامدهای ناشی از تغییر عوامل مختلف خاکی و گیاهی در جذب عناصر غذایی به وسیله گیاهان استفاده نمود (Barber، ۱۹۹۵).

هنگامی که عناصر غذایی به وسیله ریشه ها برداشت می‌شوند، غلظت آن‌ها در محلول خاک به طور پیوسته تغییر می‌کند. مدل های زودپا (Transient models) تلاش می‌نمایند تا این فرآیند پویای جذب عناصر غذایی و تغییرات پیامد آن در غلظت یون‌ها و توزیع آن‌ها در ریزوسفر را توضیح دهند. این مدل ها اغلب مدل های مکانیسمی نامیده می‌شوند زیرا آن‌ها بر اساس مکانیسم‌های مؤثر بر انتقال یون به سطح ریشه به وسیله جریان توده‌ای و پخشیدگی و پس از آن جذب به درون ریشه بر اساس سینتیک مکائیلیس - منتن، طراحی شده‌اند. آن‌ها همچنین مدل‌های تعیینی (Deterministic models) خوانده می شوند چون هنگامی که خصوصیات خاک و گیاه در درون مدل قرار داده شوند، جذب عناصر غذایی محاسبه شده توسط مدل تعیین شده است. این یعنی اینکه مقدار محاسبه شده مستقل از جذب عملی است.

بر اساس روش فوق یعنی انتقال به وسیله جریان توده‌ای و پخشیدگی و جذب تابع سنتتیک مکائیلیس-منتن، Nye و Marriott (۱۹۶۹) مدلی را ارایه نمودند که بعداً به روش‌های متفاوتی توسط افراد ذیل به کار برده و تعدیل شد: Claassen و Barber (۱۹۷۶)، Cushman (۱۹۸۰، ۱۹۷۹)، Barber و Cushman(۱۹۸۱)، Iton و Barber (۱۹۸۳)، Claassen و همکاران (۱۹۸۶)، Claassen (aو b ۱۹۹۰). این مدل‌ها بر اساس معادله انتقال ارایه شده توسط Nye و Marriot (۱۹۶۹)، پایه‌گذاری شده‌اند. بر این اساس عرضه عناصر غذایی از خاک به ریشه‌ها به کمک دو فرآیند جریان توده‌ای و پخشیدگی انجام می‌پذیرد در رابطه با جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاهان نیز فرض شده است که این فرآیند از معادله میکائیلیس-منتن پیروی

کند. وقتی پخشیدگی و جریان توده‌ای عرضه عنصر غذایی به سطح ریشه‌هارا کنترل کنند می توان نوشت: (۱)

$$J_r = D_e \frac{\delta C_s}{\delta_r} + V_0 C_L$$

که در آن J_r کل جریان به طرف ریشه، D_e، ضریب پخشیدگی مؤثر یون در محیط خاک، r، فاصله شعاعی از سطح ریشه، C_s غلظت یون در بخش جامد خاک که قابل پخشیدگی بوده و غلظت در محلول خاک (C_L) در تعادل است و V_0 سرعت جریان آب به طرف ریشه می‌باشند. بر اساس بقاء یون و به دلیل تغییر شعاع تخلیه عنصر با زمان می‌توان نوشت:

$$\frac{\delta 2\pi r J_r}{\delta r} = \frac{2\pi r \delta C_s}{\delta t} \qquad (۲)$$

از ترکیب دو معادله بالا می‌توان نوشت:

$$\frac{\delta(r De \delta C_s / \delta r + r V_0 C_L}{\delta r} = \frac{r \delta C_s}{\delta t} \qquad (۳)$$

با استفاده از رابطه $\delta C_S = \delta C_L b$ یا به عبات دیگر: $b = \delta C_S / \delta C_L$ برای تبدیل C_S به C_L و نیز $r_0 V_0 = rV$ در r_0 (در سطح ریشه) می‌توان رابطه بالا را چنین نوشت:

$$\frac{1}{r}\frac{\delta}{\delta r}\left(\frac{r D \delta C_L b}{\delta r} + r_0 V_0 C_L\right) = \frac{\delta C_L b}{\delta t} \qquad (۴)$$

با حل معادله بالا در شرایط مرزی شیب تغییر غلظت به‌طور پیوسته و شعاعی از سطح ریشه با زمان قابل محاسبه خواهد بود. همچنین غلظت محلول خاک در سطح ریشه نیز با تغییر زمان قابل محاسبه خواهد بود. توسعه مدل با استفاده از معادله پیوستگی بالا به کمک فرضیات زیر محقق گردیده است:

- خاک یکنواخت و همسان است.
- رطوبت خاک نزدیک حد ظرفیت مزرعه ثابت نگه داشته شده است. بنابراین هیچ شیب رطوبتی در خاک به طرف ریشه‌ها وجود نداشته و بنابراین تأثیری بر جریان عنصر غذایی به ریشه نداشته است.
- عناصر غذایی تنها از بخش موجود در محلول خاک نزدیک سطح ریشه جذب می‌شوند. ترشحات ریشه‌ها یا فعالیت میکروب‌ها در سطح ریشه تأثیری بر جریان عناصر غذایی به ریشه ندارند.
- عناصر غذایی به کمک دو فرایند جریان توده‌ای و پخشیدگی به طرف ریشه‌ها حرکت می‌کنند.
- رابطه بین خالص جریان هر عنصر غذایی به درون ریشه و غلظت آن در اطراف ریشه از معادله سینتیک میکائیلیس- منتن پیروی می‌کند.
- ریشه ها به عنوان استوانه‌های صاف و بدون ریشه‌های موئین یا میکوریزا در نظر گرفته شده‌اند.
- De، ضریب پخشیدگی مؤثر و b، ظرفیت بافری، غیروابسته به غلظت فرض شده‌اند. خصوصیات جذب تحت تأثیر سن ریشه‌ها یا سن گیاه در نمی‌گیرند.

- جذب عناصر غذایی وابسته به سرعت جذب آب نیست.

معادله ۴ پیش از اینکه برای تشریح شیب غلظت در اطراف ریشه استفاده شود نیازمند شرایط آغازین و مرزی است.

شرط آغازین: $C_{Li} = C_{L.}$ ،$t = ۰$

این بیانگر آن است که در آغاز، توزیع عنصر غذایی در اطراف ریشه‌ها یکنواخت است. شرط مرزی داخلی در سطح ریشه، که در آن $r=r_.$ است، بیانگر آن است که کل جریان به درون ریشه به مقداری خواهد بود که توسط معادله میکائیلیس– منتن پیش‌بینی می‌شود.

$$Jr = \frac{\mathrm{Im}ax(C_L - C\min)}{K_m + C_L - C\min} \quad \text{و} \quad r = r_. \quad \text{و} \quad t > ۰ \qquad (۵)$$

اکنون اگر فرض کنیم بین ریشه‌ها رقابتی برای جذب عناصر غذایی اتفاق نمی‌افتد، مرز بیرونی $r_۱$ ثابت باقی می‌ماند که همان نصف فاصله بین دو ریشه می‌باشد و در آنجا:

$$C_L = C_{Li} \qquad r = r_۱ \qquad t > ۰ \qquad (۶)$$

و اگر شیب غلظت در اطراف دو ریشه مجاور با یکدیگر همپوشانی یا به عبارت دیگر ریشه‌های مجاور برای جذب عناصر غذایی با یکدیگر رقابت نمایند به جای معادله ۶ می‌توان نوشت:

$$J_r = ۰ \qquad r = r_۱ \qquad t > ۰ \qquad (۷)$$

پارامترهای مدل Barber-Cushman (Barber، ۱۹۹۵)

Imax: حداکثر جذب که در بالاترین غلظت (غلظت بینهایت) عنصر غذایی اتفاق می‌افتد بر حسب $\mu mol.m^{-2}.S^{-1}$

Km: ثابت میکائیلس– منتن، غلظت در محلول خاک هنگامی که جذب برابر با نصف حداکثر جذب باشد $\mu mol.L^{-1}$

Cmin: حداقل غلظت عنصر در محلول خاک به نحوی که کمتر از این غلظت جذب امکان‌پذیر نیست $\mu mol.L^{-1}$

$L_.$: طول اولیه ریشه‌ها (cm)

K: سرعت رشد ریشه‌ها ($cm.S^{-۱}$)

$r_.$: متوسط شعاع ریشه (cm)

$V_.$: متوسط سرعت جذب آب ($cm.S^{-۱}$)

$r_۱$: نصف فاصله بین محور دو ریشه مجاور (cm)

De: ضریب پخشیدگی مؤثر برای عنصر غذایی در خاک ($cm^۲.S^{-۱}$)

b: قدرت بافری خاک

Cli: غلظت آغازین عنصر غذایی در محلول خاک $\mu mol.L^{-1}$

آزمایش‌های متعددی به منظور ارزیابی کارآیی مدل و پیش‌بینی جذب عناصر غذای مختلف انجام

گرفته و از آن‌ها به منظور واقعی تر کردن پیش فرضهای مدل استفاده شده است. Claassen و Barber (۱۹۷۶)، با کشت ذرت در ۴ خاک مختلف و در پنج سطح مختلف غلظت پتاسیم نشان دادند که به طور کلی و بر اساس ضریب رگرسیونی پیش بینی مدل، بیش از مقدار جذب پتاسیم مشاهده شده بود. Li و Barber (۱۹۹۱) با کشت ذرت و سه گیاه از گروه بقولات تحت غلظت‌های مختلف پتاسیم در یک خاک سیلت – لوم نشان دادند که تطابق خوبی بین مقادیر محاسبه شده توسط مدل و مقادیر جذب مشاهده شده در این گیاهان وجود دارد. تحقیقات بعدی محققین نشان داد که برخی فرضیات گفته شده در بالا با واقعیت تطابق نداشته و لذا مدل مکانیسمی پیش بینی جذب باید بر اساس واقعیات تعدیل شود تا بتواند پیش‌بینی واقعی تری ازجذب در شرایط مختلف را ارایه نمایند. در این ارتباط تأثیر ریشه‌های موئین (Itoh و Barber، b و a ۱۹۸۳؛ Claassen، ۱۹۹۰)، رقابت بین ریشه‌های مجاور (Cushman، ۱۹۷۹). خصوصیات وابسته به سن ریشه‌ها (Cushman، b ۱۹۸۴)، وابستگی غیرخطی ظرفیت بافری به غلظت (Steirgrobe و همکاران، ۲۰۰۰) مورد ارزیابی قرار گرفتند. به نحوی که نسخه جدید مدل فوق تأثیر ریشه‌های موئین و رقابت بین ریشه‌ها را در نظر گرفته و توانایی در نظر گرفتن ظرفیت بافری را بر اساس معادله فرندلیچ با داشتن شیب خط و عرض از مبدأ دارد.

تحقیقات اخیر در رابطه با ارزیابی توانایی مدل مکانیسمی در پیش بینی قابلیت جذب پتاسیم توسط گیاهان مختلف نشان داده است که توانایی مدل مذکور در پیش‌بینی جذب پتاسیم متفاوت بوده به‌نحوی که در شرایط کمبود و یا کفایت پتاسیم و در گیاهان مختلف پیش‌بینی می‌تواند تطابق خوبی با واقعیت مشاهده شده داشته باشد و یا برعکس، تطابق خوبی نداشته باشد. در این رابطه پیش‌بینی می‌شود ریشه‌های گیاهان با خاک اطراف خود اثر متقابل داشته و بسته به نوع و رقم گیاه و شرایط خاک اطراف، از خود واکنش‌های متفاوتی نظیر ترشح مواد مختلف نشان دهند که این امر باعث می‌گردد تا فرآیند جذب تغییر یافته و از مسیر پیش‌بینی مدل خارج شود (El Dessougi، ۲۰۰۱). محققین امیدوارند با شناسایی بهتر این پدیده بتوانند این اثر را نیز در مدل مکانیسمی جذب وارد نموده و پیش بینی جذب را به واقعیت نزدیک‌تر نمایند.

۲-۴- نحوه تخلیه پتاسیم در ریزوسفر گیاه

ریشه‌ها عناصر غذایی را از ناحیه اطراف خود و بلافاصله چسبیده به ریشه استخراج می‌نمایند. اگر جریان توده‌ای مقدار کافی از عنصر غذایی مورد نظر را به ریشه‌ها عرضه ننماید، غلظت عنصر غذایی در سطح ریشه کاهش خواهد یافت. شیب غلظت حاصله، یون‌های موجود در فاصله دورتر را مجبور به حرکت به طرف ریشه به کمک جریان پخشیدگی می‌کند و بدین وسیله ناحیه تخلیه یون در اطراف ریشه افزایش می‌یابد. با پیشرفت زمان این ناحیه، بسته به قابلیت حرکت عنصر غذایی در خاک بیشتر توسعه می‌یابد. یون‌هایی که بطور قوی به فاز جامد خاک پیوند دارند مانند

فسفر، کم تحرک‌ترند و ریشه‌ها این یون‌ها را فقط از محیط خیلی نزدیک به خود استخراج و جذب می‌نمایند. در مقابل، یون‌هایی که با فاز جامد خاک پیوند ضعیف دارند، مانند NO_3^- به میزان زیادی متحرک بوده و قادر به پیمودن فاصله نسبتاً زیادی در خاک برای رسیدن به ریشه می‌باشند. میزان آب خاک نیز تحرک عناصر غذایی در خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همه این عوامل در ضریب پخشیدگی مؤثر یون نهفته‌اند که شاخص تحرک یون در خاک است. توسعه ناحیه تخلیه یا منطقه تهیه شده از عنصر مورد نظر توسط ریشه، xÄ از معادله ۸ قابل محاسبه می‌باشد (Syring و Claassen، ۱۹۹۵).

$$\Delta x = \sqrt{\pi D_e t} \qquad (۸)$$

که در آن Δx، فاصله از سطح ریشه تا ناحیه‌ای است که در آنجا کاهش غلظت معادل ۲۰ درصد نسبت به حداکثر کاهش غلظت در سطح ریشه می‌باشد (شکل ۱).

شکل ۱. تخلیه نیترات در ریزوسفر گیاه چاودار در یک خاک شنی، بعد از ۱۰ روز (Claassen و Steingrobe، ۱۹۹۹).

از نظر تئوری تخلیه تا بی‌نهایت ادامه خواهد یافت و برای بدست آوردن فاصله قابل اندازه‌گیری باید حد معینی از تخلیه تعریف شود، که برای معادله ۹ حد ۲۰ درصد تعریف شده است. شکل یک پروفیل غلظت نیترات در خاک نزدیک شبکه ریشه که نمونه شبیه‌سازی شده‌ای از یک صفحه ریشه‌ای مسطح است (Kochenbouch و Jungk، ۱۹۸۲)، فاصله تخلیه ظاهری نیترات (NO۳-) تا حدود ۸ سانتی‌متری از سطح ریشه را نشان می‌دهد. فاصله‌ای که در آن ۸۰ درصد تخلیه اتفاق می‌افتد حدود ۳/۵ سانتی‌متر است که به مقدار ۳/۶ محاسبه شده توسط معادله ۸ خیلی نزدیک می‌باشد.

اگرچه معادله ۸ عمدتاً برای شرایط مسطح فاصله از صفحه مشبک ریشه‌ها کاربرد دارد اما مقادیر برای هندسه استوان‌های نیز خیلی متفاوت نیستند (SyringوClaassen، ۱۹۹۵). بنابراین

نتایج نشان می‌دهد که با یک مدل خیلی ساده، توسعه ناحیه تخلیه عناصر غذایی در اطراف ریشه قابل تخمین بوده و بنابراین وقوع رقابت بین ریشه‌ای را می‌توان پیش‌بینی کرد. توسعه تخلیه $NO^-_۳$، P و K در شرایط معمول با استفاده از معادله ۸ محاسبه شده و در جدول یک آمده است. مقایسه این داده‌ها با نصف فاصله بین دو ریشه در خاک ($r_۱$) نشان داده شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که برای نیترات، فاصله تخلیه خیلی بیشتر از $r_۱$ توسعه می‌یابد. بنابراین نواحی تخلیه همپوشانی وسیعی با یکدیگر پیدا کرده و می‌توان گفت تمامی حجم خاک از نیترات تخلیه می‌شود. حتی در لایه‌های عمیق خاک که تنها تعداد اندکی از ریشه‌ها حضور دارند. این پایه تئوری روش N_{min} برای تعیین میزان تقاضای کود ازته است (Wehrmann و Scharpf،۱۹۸۶)، که ازت معدنی در کل ناحیه ریشه، برای اکثر گیاهان تا یک متر، تعیین شده و به عنوان بخش کاملاً قابل استفاده برای گیاه تعیین می‌گردد.

در طرف مقابل فسفر به عنوان عنصر غذایی غیرمتحرک قرار دارد. فاصله تخلیه معمولاً کمتر از ۰/۱ سانتی‌متر است و بنابراین حتی در بزرگ‌ترین تراکم طول ریشه گندم در لایه خاک سطحی، هیچ رقابت بین ریشه‌ای وجود نخواهد داشت. بعلاوه می‌تواند اینگونه تشخیص داده شود که تنها بخش کوچکی از فسفری که بطور شیمیایی قابل استفاده است، بطور اختصاصی هم قابل استفاده خواهد بود و می‌تواند مورد استفاده گیاه قرار گیرد. همچنین مشاهدات معمول مبنی بر اینکه استفاده از کود فسفره در سال کاربرد فقط ۱۰ تا حداکثر ۲۰ درصد از مقدار استفاده را به ما خواهد داد، بدین‌وسیله قابل توضیح خواهد بود. چنانکه در شکل ۲ نشان داده شده است، پتاسیم یک موقعیت میانی بین نیترات ($NO^-_۳$) و فسفر (P) دارد (Claassen و Steingrobe، ۱۹۹۹؛ Syring و Claassen، ۱۹۹۵).

جدول ۱. توسعه ناحیه تخلیه (xÄ) محاسبه شده برای $NO^-_۳$، P و K برای محدوده‌ای از ضریب پخشیدگی مؤثر (De) بعد از ۲۰ روز جذب (Claassen و Steingrobe، ۱۹۹۹)

xÄ (cm)	De $*۱۰^{-۹}cm^۲S^{-۱}$	b
	$NO_۳^-$	
۴/۸	۴۲۷۵	۰/۲۵
	K	
۱/۴	۳۷۱	۳
۰/۸	۱۱۱	۱۰
۰/۴	۳۷	۳۰
۰/۲	۱۱	۱۰۰
	P	
۰/۲۳۳	۱۰	۵۰
۰/۰۷۳	۱	۵۰۰
۰/۰۵۲	۰/۵	۱۰۰۰
۰/۰۳۷	۰/۲۵	۲۰۰۰

توجه: $De= D_L\ \theta\ f/b$؛ مقادیر D_L برای $NO_۳^-$ $۱/۹*۱۰^{-۵}$ و برای K $۱/۹۸*۱۰^{-۵}$ و برای P $۰/۸۹*۱۰^{-۵}$ سانتی‌متر مربع بر ثانیه بوده است، θ = ۰/۲۵ و f=۱/θ۵۸-۰/۱۷=۰/۲۲۵ و $\Delta x = \sqrt{\pi D_e t}$.

شکل ۲. توسعه ناحیه تخلیه r Δ، اطراف یک ریشه گیاه (شعاع ریشه ۰/۰۱۵= R_0 سانتی‌متر) بعد از ۳۰ روز جذب عناصر غذایی به عنوان تابعی از ضریب پخشیدگی مؤثر عنصر، محور y ثانویه دانسیته طول ریشه، Lv را نشان می‌دهد، که برای حالتی که متوسط نصف فاصله بین دو ریشه مجاور برابر با r Δ باشد، می‌تواند از معادله $L_v = \frac{1}{n \Delta r^2}$ محاسبه شود (Syring و Claassen، ۱۹۹۵).

۳-۴- اثر متقابل خاک و ریشه در جذب پتاسیم

جدا از نقش ریشه گیاهان به عنوان اندامی برای جذب عناصر غذایی، ریشه‌ها همچنین قادرند محدوده وسیعی از اسیدهای آلی را به درون محیط اطراف ریشه آزاد نمایند. تغییرات شیمیایی خاک به واسطه حضور این ترکیبات و تجزیه‌های میکروبی این ترکیبات عوامل مهمی هستند که جمعیت میکروبی، قابلیت استفاده عناصر غذایی و حلالیت عناصر سمی را در ریزوسفر تحت تأثیر قرار داده و بدین‌وسیله گیاه را در مقابله با شرایط شیمیایی سخت خاک یاری می‌دهند. مواد منتجه از ریشه‌ها شامل دو گروه اصلی است: ۱) مواد حاصل از تجزیه سلول‌ها و بافت‌های مرده و ۲) ترشحات ریشه که به صورت فعال و یا غیرفعال از سلول‌های سالم ریشه ترشح می‌شوند. در گیاهان یکساله، ۳۰ تا ۶۰٪ کربن تثبیت شده فتوسنتزی به ریشه‌ها انتقال یافته و بخش قابل توجهی از این کربن (بیش از ۷۰٪) قابل آزاد شدن به محیط ریزوسفر است. ترشحات ریشه به وسیله عوامل مختلفی مانند شدت نور، دما، وضعیت تغذیه‌ای گیاه، فعالیت مکانیسم‌های بازیابی، عوامل مختلف تنش، تراکم مکانیکی خاک، خصوصیات جذبی محیط رشد و فعالیت میکروبی در محیط ریزوسفر تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Neumenn و Romheld، ۲۰۰۰).

۴-۴- تأثیر وضعیت تغذیه پتاسیمی بر ترشحات ریشه

اطلاعات اندکی در رابطه با اثرات عرضه پتاسیم بر ترشحات ریشه در دست است. افزایش ترشح قندها، اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه به محیط در گیاه ذرت به عنوان پاسخی به کمبود پتاسیم دیده شده است (Kruffczyk، Trolldenier و Beringer، ۱۹۸۴). این وضع می‌تواند به

ترجیح تجمع ترکیبات با وزن مولکولی کم (LMW) ازت و کربن نسبت به ترکیبات درشت مولکول آن‌ها در شرایط کمبود پتاسیم ربط داده شود (Marschner، ۱۹۹۵). در مقابل Gerke (۱۹۹۵) افزایش خروج پروتون‌ها و کاهش ترشح ترکیبات کربوکسیلات را در اثر کمبود پتاسیم در گندم، چغندرقند و کلزا گزارش نمودند. آزمایش‌های عصاره‌گیری خاک با کربوکسیلات‌ها، اسیدهای آمینه و قندها نشان داد که تنها کاربرد سیترات در غلظت‌های خیلی بیشتر از معمول (۶ میلی‌مول بر گرم خاک) در رهاسازی پتاسیم خاک مؤثر بود. بنابراین تأثیر ترشحات ریشه در تحرک پتاسیم به عنوان عاملی کم اهمیت شناخته شد (Gerke، ۱۹۹۵).

Song و Huang (۱۹۸۸)، سرعت آزادسازی پتاسیم از کانی بیوتیت توسط محلول اکسالیک اسید را سه برابر بیشتر از سرعت آزادسازی توسط محلول سیتریک اسید گزارش نمودند. تفاوت در قدرت آزادسازی پتاسیم بین این اسیدهای آلی به اختلاف در لیگاندهای آلی آن‌ها، یوهای H^+ تولید شده توسط این اسیدهای آلی و به قدرت کمپلکس‌کنندگی لیگاندهای آن‌ها ربط داده شده است. Meyer و Jungk (۱۹۹۳) تفاوت‌های قابل توجهی در کارآیی اسیدهای آلی مختلف از نظر آزادسازی پتاسیم گزارش نمودند. El Dessougi (۲۰۰۱) مطالعه‌ای را به منظور ارزیابی اثر بعضی از اسیدهای آلی یافت شده در ترشحات ریشه گیاهان دچار کمبود پتاسیم، بر آزادسازی پتاسیم از کانی‌های رسی یک خاک لوم-رسی- شنی انجام داد. در این مطالعه ثابت شد که سیتریک اسید می‌تواند آزادسازی پتاسیم از رس‌ها را تسریع نماید. شبیه این نتیجه توسط Steffens و Zarhoul (۱۹۹۷)، Meyer و Jungk (۱۹۹۳) از خاک لسی و Song و Huang (۱۹۸۸) از کانی‌های رسی مختلف گزارش شده است. اما از طرف دیگر مالیک اسید اثر معنی‌داری بر آزادسازی پتاسیم نداشت.

بازرگان (۱۳۸۲) نشان داد که ترشحات ریشه‌های گندم و چغندرقند به روشنی تحت تأثیر غلظت پتاسیم در اطراف ریشه‌ها قرار گرفت. این اثر در هر دو گیاه یکسان نبود و باعث گردید تا هم سرعت ترشح انواع ترشحات محلول در آب به ازاء هر سانتیمتر ریشه و هم ترکیب اسیدهای آلی مترشحه از ریشه‌های این گیاهان تحت تأثیر غلظت پتاسیم در اطراف ریشه‌ها قرار گیرد. ایشان همچنین ثابت نمود که ترشحات ریشه این دو گیاه در مجاورت با خاک توانستند پتاسیم بیشتری در مقایسه با آب مقطر به درون محلول استخراج نمایند.

۵-۴- لزوم تدوین شاخص جدید برای ارزیابی قابلیت استفاده پتاسیم در خاک

تاکنون تحقیقات متعددی به منظور ارزیابی کارآیی عصاره‌گیرهای مختلف خاک و روش‌های مختلف عصاره‌گیری مانند کلرید سدیم ۲ نرمال، استات سدیم نرمال و خنثی، استات آمونیوم، بیکربنات آمونیوم-DTPA، اسیدنیتریک یک نرمال، اسید سولفوریک نرمال، آب مقطر، اولسن، مورگان، سدیم‌تترافنیل‌بران، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، مهلیچ ۱ و ۳، به منظور استخراج بخشی از پتاسیم خاک که با پتاسیم جذب شده توسط گیاه رابطه همبستگی بسیار معنی‌داری داشته

باشد، انجام پذیرفته است (شریفی و کلباسی، ۱۳۷۸، نیرومند حسینی و مفتون، ۱۳۸۲، کاوسی و کلباسی ۱۳۷۸) مروری بر مجموعه این تحقیقات که در فصل اول به طور کامل به آن‌ها اشاره شد، مؤید آن است که بیشتر محققین پتاسیم قابل استخراج با محلول استات آمونیوم یک مولار در pH=۷ را نزدیکترین مقدار یا محتمل‌ترین ارزیابی صحیح از وضعیت پتاسیم قابل استفاده موجود در خاک برای گیاه می‌دانند. بر این اساس تلاش‌هایی به منظور تعیین حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک برای گیاهان مختلف خصوصاً در دهه اخیر توسط محققین انجام پذیرفته است. جمع‌بندی این تلاش‌ها که بر روی گیاهان مختلف انجام پذیرفته است نشان می‌دهند که بطور کلی شاید بتوان وضعیت پتاسیم قابل استفاده خاک را از نظر پاسخ گیاهان به مصرف کود پتاسیم به سه دسته تقسیم نمود:

- در صورتی‌که مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم نرمال و خنثی، کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک باشد می توان با اطمینان گفت که اکثر گیاهان در خاک مذکور نسبت به مصرف کودهای پتاسیمی پاسخ مثبت نشان خواهند داد.
- در صورتی که مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم نرمال و خنثی، بیشتر از ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک باشد می‌توان با اطمینان گفت که اکثر گیاهان در خاک مذکور نسبت به مصرف کودهای پتاسیمی پاسخ مثبتی از خود نشان نمی‌دهند.
- اما در صورتی‌که مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم نرمال و خنثی، بین ۱۰۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک باشد با توجه به سایر خصوصیات خاک مانند CEC و نوع رس خاک که بر ظرفیت تثبیت، وضعیت سایر شکل‌های پتاسیم در خاک و سرعت آزادسازی پتاسیم در خاک و به طور کلی پویایی پتاسیم در خاک تأثیرگذار می‌باشند کشت گیاهان در خاک مذکور ممکن است نسبت به مصرف کود پتاسیم پاسخ مثبت داده و یا پاسخی ندهند لذا اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری مقدار پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک مولار در این شرایط مبنای قابل اعتمادی نخواهد بود. (هاشمی‌مجد و ملکوتی ۱۳۷۶؛ الفتی و همکاران ۱۳۷۸؛ ایرانی‌پور ۱۳۷۸؛ غیبی و ملکوتی ۱۳۷۸؛ افضلی ۱۳۷۸؛ شریفی و کلباسی ۱۳۸۰؛ ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۰؛ کاوسی و ملکوتی ۱۳۸۲؛ کشاورز و مهدوی ۱۳۸۲؛ بیابانکی و حسین‌پور ۱۳۸۲؛ بازرگان و همکاران ۱۳۸۳).

نتایج تعدادی از بررسی‌ها تأثیر CEC خاک را بر قابلیت استفاده پتاسیم خاک از طریق تأثیر بر سایر خصوصیات خاک مانند PBCK ثابت نموده‌اند (بلالی ۱۳۷۶؛ بیابانکی و حسین‌پور ۱۳۸۲؛ بازرگان ۱۳۸۳؛ قنواتی ۱۳۸۳) برخی از منابع معتبر جهانی نیز برای بیان کفایت یا عدم کفایت پتاسیم علاوه بر مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده، CEC خاک را نیز در نظر می‌گیرند. به‌عنوان مثال Tisdale و Nelson (۱۹۹۰) و Mc Clean و Watson (۱۹۸۵) حد کفایت پتاسیم تبادلی خاک را بر حسب پوند بر ایکر معادل (CEC*۵) +

۲۲۰ بیان نمودند و یا منبعی دیگر حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک را برابر با (۲/۵*CEC) + ۷۵ بیان نموده است (بی‌نام، ۲۰۰۱). بدین ترتیب به نظر می‌رسد ضروری است با تحقیقات بیشتر و عمیق‌تر نقش سایر خصوصیات خاک در دقیق‌تر کردن برآورد وضعیت قابلیت استفاده پتاسیم خاک و معرفی شاخص جدیدی بدین منظور اقدام گردد.

۶-۴- نقش پتاسیم در سلامت انسان

صرف نظر از نقش پتاسیم در افزایش تولید، افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی نظیر خشکی، سرما، شوری و نیز کاهش بیماری‌ها و آفات، پتاسیم باعث بهبود کیفیت محصول و افزایش خاصیت انبارداری آن می‌گردد. در شرایط تغذیه مطلوب، غده سیب‌زمینی پس از پوست کندن حتی تا ۲۰ ساعت تیره نمی‌گردد. علت سیاه شدن غده سیب‌زمینی پس از کنده شدن پوست را می‌توان چنین بیان نمود که وقتی در غده، پتاسیم پایین باشد، مقدار کلروژنیک اسید افزایش و در مقابل اسید نیتریک که یک ماده آنتی‌اکسیدانت است، کاهش می‌یابد. ولی در صورت مصرف سولفات‌پتاسیم و سولفات روی در چنین مزرعه‌ای مقدار کلروژنتیک اسید کاهش یافته و در مقابل به مقدار اسید سیتریک افزوده می‌شود. بدین‌ترتیب اسید سیتریک از اکسیده شدن سیب‌زمینی پوست کنده شده جلوگیری می‌نماید. دوام حیات سلولی هر موجود زنده بستگی به وجود پتاسیم دارد. پتاسیم، فلزی بسیار واکنش‌پذیری است، آن چنان واکنش‌پذیر که شدیداً با آب ترکیب می‌شود. به هرحال، در غذا یا در بدن به صورت نمک (کلرورپتاسیم) وجود دارد.

اهمیت پتاسیم در تغذیه انسان از برنامه فضایی ایالات متحده آمریکا مشخص شد. معلوم شد که فضانوردان در طول مسافرت‌های فضایی خود به رژیم غذایی دارای میزان زیادی پتاسیم نیاز دارند تا دچار بعضی ناراحتی‌های قلبی نشوند. در نتیجه، رژیم غذایی این فضانوردان طوری تنظیم گردید که علاوه بر سایر موارد، جذب روزانه پتاسیم به حدی باشد که از هر یک از چند نارسایی فیزیولوژیکی ناشی از کمبود پتاسیم در سیستم بدن جلوگیری شود. نقش پتاسیم در انتقال ضربان‌های عصبی و اهمیت آن در جیره غذایی دام و انسان انکارناپذیر است. در بدن یون پتاسیم که دارای بار مثبت است با تعداد برابری از آنیون‌ها یعنی یون‌های دارای بار منفی همراه می‌باشد، تا بار الکتریکی خنثی را بوجود بیاورد. آنیون‌ها را عمدتاً یون‌های کلرور و فسفات تشکیل می‌دهند اما آنیون‌های دیگر (مانند یون‌های کربنات و بی‌کربنات) ممکن است در غذا یافت شوند و آن‌ها نیز در فرآیندهای بدن نقش مهمی را ایفا نمایند. تقریباً همه پتاسیم بدن در بافت‌های نرم و مایعات بدن یافت می‌شود. سدیم عمدتاً در مایعات بافت خارج سلولی و پلاسمای خون وجود دارند، در حالیکه یون‌های پتاسیم عمدتاً در درون سلول‌ها یافت می‌شوند. تقریباً حدود ۲۵۰ گرم کلرورپتاسیم در بدن وجود دارد. حجم و فشار اسمزی خون و مایعات بافتی ارتباط نزدیک با

غلظت‌های یون‌های سدیم و پتاسیم دارند که توسط مکانیسم‌های تنظیم‌کننده بدن دقیقاً کنترل می‌شوند (زهرایی، ۱۳۷۲؛ کوهی کمالی، ۱۳۷۶ و Anderson و Young، ۲۰۰۵).

یون پتاسیم مهمترین کاتیون موجود در سلول‌های زنده می‌باشد. غلظت زیاد پتاسیم در داخل سلول به وسیله غشاء سلولی از طریق پمپ سدیم- پتاسیم تنظیم می‌شود. قسمت عمدهٔ پتاسیم بدن را می‌توان در بافت ماهیچه‌ای بدن پیدا کرد بطوری که میزان کل پتاسیم بدن را برای محاسبه وزن ماهیچه‌ها و یا دقیق‌تر برای محاسبه وزن سلول‌های بدن بکار می‌برند. از این نظر که پتاسیم در قسمت‌هایی از بدن که با عمل متابولیسم و مصرف اکسیژن مربوط می‌شوند، یافت می‌شود. معمولاً با کاهش وزن بدن (رعایت رژیم لاغری) از غلظت پتاسیم بدن کاسته می‌شود. رژیم غذایی روزانه که از نظر پتاسیم غنی باشد به آسانی توسط بدن جذب می‌شود. هر گونه مازادی توسط کلیه‌ها گرفته شده و در ادرار دفع می‌گردد. مقداری هم به صورت عرق از بین می‌رود. وقتی پتاسیم از بدن گرفته می‌شود، آب هم از بین می‌رود. به همین علت است که پس از خوردن غذای نمکی، تشنگی حادث می‌شود، سدیم و پتاسیم در انتقال تحریکات عصبی و انقباض ماهیچه‌ای، از جمله زدن قلب دخالت قطعی دارند (زهرایی، ۱۳۷۲؛ کوهی کمالی، ۱۳۷۶ و Anderson و Young، ۲۰۰۵).

۱-۶-۴- کمبود پتاسیم: به غیر از مواردی که بدن از گرسنگی تحلیل رفته است، وضعیت کمبود یا رو به کمبود پتاسیم در بدن نتیجه کمبود این عنصر در رژیم غذایی نبوده بلکه در اثر مراحل متابولیکی که با وضعیت از دست رفتن پروتئین و وزن کلی بدن همراه است، پیش می‌آید. کمبود پتاسیم در سرم خون در اثر از دست رفتن بیش از حد پتاسیم بدن از طریق ادرار بیش از حد که با مصرف مواد مدری که برای مداوای فشار خون پیش می‌آید، اتفاق می‌افتد. این عارضه ممکن است حتی باعث سکته قلبی نیز بشود (Anderson و Young، ۲۰۰۵).

پتاسیم همراه با سدیم در تنظیم مقدار آب بدن عمل می‌کند. شاید دلیل اینکه پتاسیم عامل جلوگیری فشار خون می‌باشد این است که زیادی پتاسیم در بدن باعث افزایش در دفع سدیم از بدن می‌شود. کلیه‌ها غلظت پتاسیم خون را کنترل می‌کنند. کمبود پتاسیم معمولاً دیده نمی‌شود مگر مواردی که مقدار زیادی پتاسیم همراه با اسهال، عدم کنترل مرض دیابت، رژیم‌های غذایی کم کالری (کمتر از ۸۰۰ کالری در روز)، اعتیاد به الکل، ورزش سنگین و یا در اثر مصرف مواد مدر و یا مسهل از بدن دفع شود. اگر چه هدف از مصرف مواد مدر افزایش دفع سدیم می‌باشد ولی بعضی از این مواد به دفع پتاسیم نیز کمک می‌کند، در حالیکه بعضی دیگر باعث نگهداری آن در بدن می‌شوند. بنابراین بستگی به نوع مواد مدری که مصرف می‌گردد، به بیش از حد معمول به پتاسیم نیاز خواهد بود. تحقیقات تازه نشان می‌دهد که غذاهای غنی از پتاسیم به کاهش فشار خون کمک می‌کنند. پتاسیم در فیزیولوژی و عمل سلول‌های عصبی و نظم و کنترل عمل ماهیچه و تنظیم فشار خون نقش دارد. تحقیقات نشان می‌دهد که نسبت سدیم به پتاسیم (Na/K) در

رژیم غذایی شاید مهمتر از مقدار معین از هر یک از عناصر باشد. انجمن طبی قلب آمریکا خوردن مقادیر مساوی سدیم و پتاسیم را توصیه می‌کند. رژیم‌های غذایی غنی از سدیم ولی فقیر از نظر پتاسیم منجر به فشار خون می‌شود. افزایش مقدار پتاسیم در رژیم غذایی ممکن است از بروز فشار خون در افرادی که به سدیم زیاد موجود در غذاها حساسند، جلوگیری کند. ولی خوردن افزودنی‌های پتاسیمی برای افراد مبتلا به فشار خون توصیه نمی‌شود ولی در مقابل بهتر است این افراد هر روز از غذاهای سرشار از پتاسیم نظیر موز استفاده کنند. ورزشکاران ممکن است بیشتر از سایرین به پتاسیم نیاز داشته باشند. زیرا هنگام تمرین‌های سنگین و همراه با عرق، مقدار زیادی پتاسیم از دست می‌دهند. کمی پتاسیم باعث درد ماهیچه‌ها و بی‌نظمی‌های عمل قلب می‌شود. خوردن غذاهای سرشار از پتاسیم از بروز چنین عوارضی جلوگیری می‌کند. برای جبران پتاسیم از دست رفته در حین یک یا دو ساعت ورزش سنگین تنها یک فنجان آب پرتقال یا یک دانه موز و یا یک سیب‌زمینی کفایت می‌کند.

۲-۶-۴- توصیه‌های رژیمی: نیاز نوجوانان و افراد مسن به پتاسیم در حدود ۲۰۰۰ میلی‌گرم یا ۵۰ میلی‌اکی‌والان در روز می‌باشد. معمولاً در حدود ۱۰۰ میلی‌اکی‌والانت پتاسیم در رژیم غذایی روزانه افراد بالغ یافت می‌شود. افرادی که به علت فشار خون از داروهای مدر استفاده می‌کنند باید آب پرتقال، موز و سبزی‌ها را که همه دارای پتاسیم فراوان می‌باشند، در رژیم غذایی خود قرار دهند. زیادی پتاسیم در رژیم غذایی غلظت پتاسیم پلاسما را تنظیم کرده و به صورت نرمال درمی‌آورد. در عین حال غلظت پتاسیم در خون به شدت که به رژیم غذایی حساس می‌باشد، نشان دهنده مقدار کل پتاسیم بدن که شاخص وزن ماهیچه‌ها و سلول‌ها باشد نیست (Anderson و Young، ۲۰۰۵).

۳-۶-۴- منابع غذایی پتاسیم: اکثر مواد غذایی دارای پتاسیم می‌باشند. بهترین منابع غذایی پتاسیم شامل میوه به ویژه موز، سبزی‌ها و آب میوه می‌باشد. پتاسیم در گوشت و غلات نیز یافت می‌شود.

هیچگونه ماده افزودنی که برای رفع کمبود پتاسیم در رژیم غذایی کاربرد داشته باشد، درست نشده است که بتواند مقدار کل پتاسیم بدن را افزایش دهد. منابع گیاهی مرکبات، شاهی، تمام سبزی‌هایی که برگ پهن و سبز دارند، برگ‌های نعناع، تخمه آفتابگردان، موز و سیب‌زمینی نیز دارای پتاسیم هستند (زهرایی، ۱۳۷۲؛ کوهی کمالی، ۱۳۷۶ و Anderson و Young، ۲۰۰۵). پتاسیم تقریباً در همه مواد غذایی مخصوصاً غذاهای با منشاء گیاهی موجود است، منابع اصلی در رژیم غذایی عبارتند از سبزی‌ها، گوشت، شیر و میوه به ویژه موز و آب میوه‌ها که حاوی پتاسیم بیشتری هستند.

جدول ۱. منابع غذایی محتوی پتاسیم (Anderson و Young، ۲۰۰۵)

منابع فقیر پتاسیم (کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم)		منابع متوسط پتاسیم (۳۰۰-۲۰۰ میلی‌گرم)		منابع غذایی سرشار پتاسیم (۳۰۰ میلی‌گرم پتاسیم یا بیشتر)	
مقدار مصرف	**منبع غذایی**	**مقدار مصرف**	**منبع غذایی**	**مقدار مصرف**	**منبع غذایی**
نان و غلات دیگر					
به اندازه کف دست یا یک برش نیم فنجان ۳/۴ فنجان	نان غلات مصرف صبحانه پاستا(ماکارونی)	ندارد		ندارد	
لبنیات					
۳۰ گرم ۳۰ گرم ۱ عدد	پنیر آمریکائی پنیر معمولی تخم‌مرغ	یک فنجان	بستنی	یک فنجان یک فنجان یک فنجان	دوغ* شیر ماست
میوه‌جات					
نیم فنجان نیم فنجان ۱۰ عدد متوسط	سس سیب زغال اخته انگور	یک عدد بزرگ نیم فنجان ۱ عدد متوسط نیم فنجان ۱ عدد متوسط ۱ فنجان	سیب آب گریب‌فرو پرتغال آب پرتغال هلو توت‌فرنگی	۳ ۱/۴ ۱ عدد متوسط ۱ فنجان ۱۰ عدد متوسط ۱ فنجان ۱ عدد بزرگ ۱۰ عدد متوسط ۱/۴ فنجان	زردآلو آوو کادو موز طالبی خرما خربوزه شفتالو آلو کشمش
گوشت					
۳ برش یک برش ۱۰۰ گرم	گوشت بولونی کنسرو گوشت گوساله	۱۰۰ گرم ۱۰۰ گرم ۱۰۰ گرم ۱۰۰ گرم	گوشت گوساله گوشت خوک گوشت گوسفند گوشت خوک تازه	۱۰۰ گرم ۱۰۰ گرم ۱۰۰ گرم ۱۰۰ گرم	گوشت مرغ ماهی تن ماهی یا ماهی سالمن گوشت بوقلمون
سبزی‌ها **					
۱/۲ فنجان ۱۰	ذرت زیتون	۱/۲ فنجان ۱/۲ فنجان ۱/۲ فنجان	کلم بروکولی چغندر نخود سبز	یک عدد بزرگ یک ساقه ۱/۲ فنجان ۱/۲ فنجان ۱ عدد متوسط ۱/۲ فنجان ۱/۲ فنجان ۱ عدد بزرگ ۱ عدد بزرگ ۱ فنجان	هویج کرفس لوبیا پخته سبزی‌های پخته سیب‌زمینی تنوری اسفناج کدو سیب‌زمینی شیرین گوجه‌فرنگی آب گوجه‌فرنگی*
منابع غذایی دیگر					
۱ قاشق غذاخوری ۱ قاشق غذاخوری	کره سوس سالاد	۱ عدد ۲ قاشق غذاخوری	خیارشور کره بادام زمینی	۲ قاشق غذاخوری ۱/۲ فنجان	ملاس مغز خشکبار بدون نمک

* غذایی که بیش از ۳۰۰ میلی‌گرم سدیم در هر وعده مصرف، دارا هستند پر سدیم حساب می‌شوند.
** سبزی‌های کنسرو شده خیلی بیشتر از سبزیجات تازه و یخزده سدیم دارند.

۴-۶-۴ - سلامتی انسان: خوردن سدیم زیاد باعث فشار خون می‌شود. تقریباً ۱۰ درصد آن‌هایی که مبتلا به فشار خون می‌باشند نسبت به نمک موجود در رژیم‌های غذایی حساسیت نشان می‌دهند. کاهش سدیم در رژیم غذایی باعث پایین آمدن فشار خون در همه افراد مبتلا به این عارضه می‌شود. مقدار پتاسیم مورد نیاز بطور دقیق معلوم نشده است. ولی بین ۱۶۰۰ و ۳۵۰۰ میلی‌گرم پتاسیم در روز توصیه می‌شود. ورزشکارانی که ساعات طولانی به ورزش‌های سنگین مبادرت می‌کنند به حدود ۶۰۰۰ میلی‌گرم پتاسیم در روز نیاز دارند. در حالیکه سدیم به بیشتر غذاهای کنسرو شده اضافه می‌شود، پتاسیم به کنسروها اضافه نمی‌شود. این امر باعث می‌شود افرادیکه از غذاهای کنسرو شده تغذیه می‌کنند از مقدار مساوی پتاسیم و سدیم در رژیم غذایی خود بهره‌مند نشوند. مصرف غذاهای تازه که معمولاً سدیم زیادی ندارند مفیدتر خواهد بود. پتاسیم برای سلامتی و تغذیه مناسب لازم می‌باشد. تخمین حداقل پتاسیم مورد نیاز با مصرف غذاهای متنوع آسان‌تر است. ولی ثابت نگه داشتن نسبت توصیه شده پتاسیم به سدیم ممکن است به این آسانی میسر نشود. در هر حال بهتر است هر چه بیشتر از میوه به ویژه موز و سبزی‌ها و هر چه کمتر از غذاهای کنسرو شده استفاده شود. افزایش پتاسیم به رژیم غذایی، علاوه بر کاهش مقدار سدیم خوراکی‌ها، می‌تواند مفید باشد بخصوص برای افرادیکه در معرض خطر فشار خون قرار دارند.

پتاسیم در انواع غذاها وجود دارد و آنقدر به راحتی جذب و دفع می‌گردد که مشخص کردن مقدار مصرف روزانه ضروری به نظر می‌رسد. رژیم غذایی متوسط روزانه حاوی تقریباً ۳ گرم پتاسیم است. پتاسیم با سدیم در تنظیم تعادل آب بدن و طبیعی کردن ضربان قلب همکاری می‌کند (پتاسیم در داخل و سدیم خارج سلول‌ها عمل می‌کنند). اگر تعادل سدیم و پتاسیم حفظ نشود، کارکرد صحیح اعصاب و عضلات دچار اختلال می‌شود. کمی قند خون، گرسنگی طولانی و اسهال شدید سبب از دست دادن پتاسیم می‌شود. مقدار مصرف روزانه برای پتاسیم تعیین نشده است، ولی تقریباً ۹۰۰ میلی‌گرم در روز برای یک رژیم سالم کافی به نظر می‌رسد. فشارهای روحی و بدنی می‌تواند به کمبود پتاسیم منجر شود. پتاسیم از طریق کمک به رساندن اکسیژن به مغز نقش حیاتی خود را ایفا می‌نماید. پتاسیم در دفع مواد زائد بدن مؤثر است. به پایین آوردن فشار خون کمک می‌کند. در معالجه آلرژی (حساسیت) مؤثر است. کمبود پتاسیم سبب ورم و کمی قند خون می‌گردد (زهرایی، ۱۳۷۲). پتاسیم در اغلب قرص‌های مولتی ویتأمین و مواد معدنی موجود است. مثلاً مولتی مینرال سنتروم (From A to Zinc) علاوه بر انواع ویتأمین‌ها، غلظت عناصر معدنی را به شرح کلسیم ۱۶۲، فسفر ۱۲۵، منیزیم ۱۰۰، پتاسیم ۴۰، کلر ۳۶، آهن ۱۸، روی ۱۵، منگنز ۲/۵ و مس ۲ میلی‌گرم و ید ۱۵۰، کروم ۲۵، مولیبدن ۲۵، سلنیم ۲۵، تیتان ۱۰، سیلیسیم ۱۰، وانادیوم ۱۰ و نیکل ۵، میکروگرم اعلام نموده است.

۵-۶-۴- مسمومیت با پتاسیم: پتاسیمی که در فضاهای بین سلولی وجود دارد نقش‌های فعال و مهمی را در گسترش و تبادل جریان‌ها و نوسانات الکتریکی بین سلول‌های عصبی و در

انجام وظیفه ماهیچه‌های اسکلتی و در تنظیم فشار خون بازی می‌کند. دفع پتاسیم همراه ادرار از تجمع بیش از حد این عنصر جلوگیری می‌کند. در عین حال وضعیت حاد می‌تواند سبب سکته قلبی شود (Anderson و Young، ۲۰۰۵). پتاسیم به صورت نمک‌های معدنی سولفات، کلرور، اکسید و کربنات هستند. پتاسیم آلی به گلوکونات و سیترات آن اطلاق می‌شود. گلوکونات پتاسیم تا ۶۰۰ میلی‌گرم هم به بازار عرضه می‌شود. مصرف ۲۵ گرم کلرورپتاسیم در روز می‌تواند سبب مسمومیت شود. الکل، قهوه، چای، قند و مواد مُدّر از جذب پتاسیم ممانعت می‌کنند. اگر چای و قهوه زیاد می‌نوشید، احتمالاً آن خستگی که به وسیله کافئین علیه آن مبارزه می‌کنید، مربوط به پتاسیمی است که در اثر مصرف زیاد کافئین از دست می‌دهید. معتادان به الکل و کسانی که زیاده از حد مشتاق شیرینی هستند، باید آگاه باشند که احتمالاً میزان پتاسیم آن‌ها پایین است. اگر قند خون شما کمتر از حدود طبیعی است، احتمال دارد در ضمن اینکه آب را در بدن نگاه می‌دارید، پتاسیم هم دفع می‌کنید. اگر مواد مُدّر مصرف می‌کنید باز هم پتاسیم بیشتری دفع می‌کنید! مواظب رژیم غذایی خود باشید، مصرف سبزی‌ها را افزایش دهید و منیزیم به اندازه کافی مصرف کنید، تا تعادل مواد معدنی بدن خود را بدست آورید. در رژیم لاغری که مواد کربوهیدرات کم مصرف می‌کنید، ممکن است تنها وزن خود را پایین نیاورده، بلکه میزان پتاسیم بدن خود را هم پایین بیاورید. مواظب ضعف و عکس‌العمل‌های غیر ارادی ضعیف خود باشید که ممکن است در اثر کمبود پتاسیم بوده باشد (زهرائی، ۱۳۷۲).

به طور کلی می‌توان بیان نمود رژیم‌های غذایی که از نظر سدیم غنی ولی از نظر پتاسیم فقیر باشند، باعث فشار خون می‌شوند. خوردن پتاسیم و سدیم به مقدار مساوی مورد نظر و توصیه می‌باشد. ورزشکارانی که تمرین‌های سنگین انجام می‌دهند بیشتر از سایرین به رژیم غذایی غنی از پتاسیم نیاز دارند و منابع غذایی پتاسیم عبارتند از گوشت، شیر، میوه به ویژه موز و سبزی‌ها. بیشتر تحقیقات جدید مربوط به همبستگی و اهمیت مقدار کل پتاسیم به صورت شاخص وزن سلول‌های بدن بوده است. اندازه‌گیری سرعت از دست رفتن و کاهش یافتن مقدار کل پتاسیم بدن در افراد مبتلا به بیماری ایدز را می توان برای پیش‌بینی طول باقیمانده عمر آن‌ها بکار برد. میزان کل پتاسیم بدن با پیشرفت سن کاهش پیدا می‌کند (زهرایی، ۱۳۷۲؛ کوهی کمالی، ۱۳۷۶ و Anderson و Young، ۲۰۰۵).

۷-۴- خط مشی آتی در راستای تأمین هدف‌های چشم‌انداز ۲۰ ساله کشور (چالشی پیش‌روی متخصصان حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاهی کشور)

مرور تحقیقات انجام گرفته درباره پتاسیم، از نظر وضعیت کانی‌شناسی خاک‌ها، رفتار متفاوت در تثبیت و رهاسازی پتاسیم در خاک‌های مختلف و نیز تنوع وسیع پاسخ یا عدم پاسخ به کودهای پتاسیمی، پیچیدگی ارزیابی وضعیت تغذیه پتاسیمی خاک را نشان می‌دهد. اگرچه حجم عظیمی از اطلاعات در رابطه با مقادیر پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک مولار خنثی وجود

دارد و بسیاری از محققین شایستگی نسبی آن را تأیید نموده‌اند اما بررسی‌ها نشان می‌دهد ارزیابی کمبود یا کفایت پتاسیم قابل جذب خاک به کمک عصاره‌گیری با استات آمونیوم تنها در مواردی که مقادیر پتاسیم خیلی کم یا خیلی زیاد باشد، شاخصی مطمئن خواهد بود. در غیر این صورت و در محدوده‌های میانی، تفسیر کمبود یا کفایت تنها با کمک این مقدار بسیار مشکل و بعضاً غیر ممکن بوده و لذا تأثیر سایر عوامل مانند ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) و ظرفیت بافری خاک (PBC)، نوع رس و در صورت امکان عوامل گیاهی نظیرطول دوره رشد و توقع پتاسیمی آن در رابطه با سینتیک پتاسیم در خاک و نقش غلظت‌های بالاتر از حد نرمال فعلی در خاک و گیاه و رابطه آن‌ها با کیفیت محصولات باید در این شاخص دیده شوند.

یکی از اشکالات توصیه کودی بر مبنای آزمون خاک، نداشتن نقشه منابع و استعداد خاک‌های زراعی کشور بر مبنای مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰ می‌باشد. بنابراین لازم است با تهیه نقشه‌های تفصیلی خاک‌های ایران پتانسیل تولید برای هر محصول مشخص و سپس بر مبنای سری‌های مشخص خاک (به شرط آنکه اطلاعات حاصلخیزی خاک نیز ثبت شده باشد) نسبت به انجام توصیه‌های کودی اقدام نمود. از طرف دیگر بر مبنای تقاضای گیاه نمی‌توان مصرف کودها را تا حدی افزایش داد که کشاورزی پایدار را تهدید نماید. بلکه باید اثر درازمدت مصرف کودها بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک‌ها، برهمکنش مثبت و منفی عناصر غذایی بر خاک، گیاه و محیط زیست در نظر گرفته شده و با تمهیداتی، علاوه بر حفظ کارآیی کودها، به گونه‌ای عمل گردد که غلظت عناصر غذایی چه در خاک و چه در گیاه به حد مسمومیت نرسد (شکل‌های ۳ و ۴).

شکل۳.رابطه غلظت عناصر غذایی در اندام‌های گیاهی باعملکرد(مشخص کردن ناحیه گرسنگی پنهانی).

شکل ٤. طرح شماتیک توزیع مطلوب (B) و غیر مطلوب (A) عناصر غذایی در اندام‌های گیاهی.

آزمون خاک یکی از راه‌های اجرایی مطلوب برای علمی کردن مصرف بهینه کود می‌باشد. ولی عکس‌العمل گیاهان نسبت به مصرف کودهای شیمیایی و بیولوژیکی بسیار متفاوت می‌باشد. در آزمایش‌های متعددی، مخصوصاً در گیاهان پرتوقع نظیر پیاز، سیب‌زمینی، پنبه و حتی گندم و برنج مشاهده شده است که در صورت رعایت اصول مصرف بهینه کود، با مصرف کودهای پتاسیمی مخصوصاً به صورت سرک، عملکرد بازهم افزایش می‌یابد. بررسی کاربرد مقادیر و منابع

مختلف پتاسیم به همراه عناصر کم‌مصرف در خاک‌ها و اقلیم‌های مختلف برای محصولات مختلف نشان داد که عکس‌العمل گیاهان مختلف زراعی و باغی بسیار متفاوت و حتی در برخی از مواقع غیر قابل تصور بود. در شکل‌های ۵ تا ۱۴ این تفاوت‌ها در محصولات مختلف زراعی و باغی نشان داده شده است (بای‌بوردی و ملکوتی، ۱۳۷۹؛ Malakouti و همکاران ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳؛ ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳؛ لطف‌اللهی و ملکوتی، ۱۳۸۴) (شکل‌های ۵ الی ۱۴).

شکل ۵. نقش مصرف مقادیر و منابع مختلف پتاسیم در افزایش تولید گندم در استان فارس (Malakouti و همکاران، ۲۰۰۳).

شکل ٦. نقش مصرف مقادیر و منابع مختلف پتاسیم در افزایش تولید گندم در کرمانشاه (سمت راست تصویر) و بافت سبک کرج (سمت چپ تصویر) (Malakouti و همکاران، ۲۰۰۳ و لطف‌اللهی و ملکوتی، ۱۳۸٤).

شکل ۷. نقش مصرف مقادیر و منابع مختلف پتاسیم در افزایش تولید برنج مازندران (Malakouti و همکاران، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳).

شکل ۸. نقش مصرف مقادیر و منابع مختلف پتاسیم در افزایش تولید ذرت در فارس و نیشکر در خوزستان (Malakouti و همکاران، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳).

شکل ۹. نقش مصرف مقادیر و منابع مختلف پتاسیم در افزایش تولید سیب‌زمینی در آذربایجان شرقی (تصویر سمت راست) و همدان (تصویر سمت چپ) (Malakouti و همکاران، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳).

شکل ۱۰. نقش مصرف مقادیر و منابع مختلف پتاسیم در افزایش تولید پیاز در آذربایجان شرقی (Malakouti و همکاران، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳).

شکل ۱۱ . نقش مصرف مقادیر و منابع مختلف پتاسیم در افزایش تولید گوجه‌فرنگی در آذربایجان شرقی (تصویر سمت راست) و برازجان بوشهر (تصویر سمت چپ) (Malakouti و همکاران، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳).

شکل ۱۲. نقش مصرف مقادیر و منابع مختلف پتاسیم در افزایش تولید سویا (Malakouti و همکاران، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳).

شکل ۱۳. نقش مصرف مقادیر و منابع مختلف پتاسیم در افزایش تولید کلزا (تصویر سمت راست) و وش پنبه (تصویر سمت چپ) (Malakouti و همکاران، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳).

شکل ۱٤. نقش مصرف مقادیر و منابع مختلف پتاسیم و کلسیم در کاهش کیفیت میوه سیب (Dilmaghani و همکاران، ۲۰۰٤).

شکل ١٤ . نقش مصرف مقادیر و منابع مختلف پتاسیم در افزایش تولید مرکبات در مازندران (تصویر سمت راست) و انگور در دشت جوزان ملایر (تصویر سمت چپ) (Malakouti و همکاران، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳).

ملکوتی و همکاران (۱۳۸۳) و ملکوتی و کاوسی (۱۳۸۳) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که برهمکنش مثبت بین پتاسیم (K) با روی (Zn) و برهمکنش منفی بین روی و پتاسیم با کادمیوم (Cd) در خاک‌هایی که به دلایل متعدد از جمله مصرف کودهای فسفاته محتوی کادمیوم بالا می‌باشند، وجود دارد، تحت چنین شرایطی، مصرف سرک پتاسیم (فراتر از آزمون خاک) سبب افزایش عملکرد هکتاری گندم و برنج گردید .عکس‌العمل گیاهان مختلف نسبت به مصرف مقادیر و منابع مختلف پتاسیم با رعایت اصول مصرف بهینه کودی (مصرف کم‌مصرف) و یا عدم رعایت اصول مصرف بهینه کودی بسیار متفاوت بوده و در اکثر موارد با عنایت به خصوصیات اقلیم، خاک، درصد و نوع رس غیر قابل پیش‌بینی می‌باشد. ولی از ارقام به دست آمده می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در گیاهان پتاسیم‌دوست، مصرف پتاسیم بایستی حتماً فراتر از مقدار توصیه کودی بر مبنای آزمون خاک بوده باشد.

در راستای نیل به هدف‌های برنامه چهارم توسعه که اهم آن‌ها عبارتند از افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی، ارتقاء سطح سلامت جامعه، تأمین امنیت غذایی، حفظ منابع پایه خاک و آب و حفظ محیط زیست و از همه مهمتر تغییر نگرش جامعه از تأمین کالری به سیری سلول‌ها در سبدغذایی جامعه و از طرف دیگر با عنایت به اینکه در چشم‌انداز ۲۰ ساله، ایران کشوری خواهد بود توسعه یافته با جایگاه اول اقتصادی، علمی و فناوری در سطح منطقه که تأمین و برآورده نمودن این هدف‌های متعالی، وظایف و مسئولیت ما را بسیار سنگین‌تر نموده است و ضروری است برای دستیابی به این چشم‌انداز با آمادگی لازم تلاش‌های خود را افزایش دهیم. در این راستا یکی از ابزارهای افزایش عملکرد هکتاری در واحد سطح، رعایت اصول مصرف بهینه کود می‌باشد که عمدتاً از طریق آزمون خاک و یا تجزیه برگی عملی می‌گردد. کوددهی بر مبنای تجزیه خاک، یکی از ابزارهای مهم در نیل به هدف‌های افزایش عملکرد در واحد سطح و بهبود کیفیت می‌باشد که در حال حاضر تفسیر نتایج تجزیه خاک بر مبنای حد بحرانی است که خود این حد بحرانی تحت تأثیر بیش از ۱۵ عامل اقلیمی، خاکی، گیاهی و عملکرد مورد انتظار

می‌باشد. به نظر می‌رسد انجام توصیه کودی بر مبنای حد بحرانی پاسخ‌گوی هدف‌های مشخص شده در چشم‌انداز ۲۰ ساله یعنی ۱۴۰۰ نمی‌باشد. چون در این روش توصیه ممکن است ناحیه گرسنگی پنهانی چه در خاک و چه در گیاه از نظر دور بماند. یعنی به عبارت دیگر با انجام توصیه کودی برمبنای تجزیه خاک و تفسیر بر اساس حد بحرانی نه تنها به شعار پیشگیری بهتر از درمان عمل نمی‌گردد بلکه همیشه گیاهان در یک حالت تنش پنهان نگه داشته می‌شوند که علاوه بر کاهش عملکرد در این شرایط، محصولات تولیدی از لحاظ کیفیت نیز از استانداردهای لازم برخوردار نمی‌باشند.

از طرف دیگر در راستای تغییر نیاز غذایی جامعه از تأمین کالری به حل مشکل گرسنگی و براساس مصوبات شورای عالی سلامت، غنی‌سازی محصولات کشاورزی برای ارتقاء سطح سلامت جامعه بایستی همگانی گردد. مدیریت بیماری دیابت ایران عامل افزایش بیماری قند در جامعه را عمدتاً در سوء تغذیه، بی‌تحرکی و مصرف سیگار می‌داند. محقق دیگری اعلام نمود که بیش از ۸۶ درصد جامعه ما کالری مورد نیاز خود را با مصرف مواد غذایی رایج (نان بی‌سبوس، شکر، برنج و روغن) تأمین می‌نمایند در حالیکه مصرف سرانه مواد لبنی و پروتئینی در کشور بسیار پایین‌تر از حد مطلوب می‌باشد ولی مصرف سرانه مواد غذایی مضر نظیر شکر، روغن، نان، و برنج بدون سبوس بسیار بیشتر از نیاز می‌باشد. نیاز روزانه یک انسان بالغ به کلسیم ۱۲۰۰ میلی‌گرم است که معادل ۵ لیوان شیر در روز می‌باشد. در حالی که مصرف سرانه شیر در کشور کمتر از ۱۰۰ لیتر در سال می‌باشد (کمتر از ۲۵۰ میلی‌گرم کلسیم در روز) و مصرف روزانه منیزیم نیز حدود ۴۰۰ میلی‌گرم یعنی یک سوم میزان کلسیم می‌باشد. به همین دلیل بیش از ۵۵ درصد سلول‌های بدن مردم جامعه گرسنه می‌باشد. این گرسنگی عمدتاً ناشی از کمبود عناصر معدنی و مفید برای سلامت جامعه در مواد غذایی است.

بنابراین، با عنایت به مطالب فوق چالش و رسالت سنگینی پیش روی متخصصان تغذیه گیاهی مطرح می‌شود تا رویکردها و شاخص‌های جدیدی جایگزین مبانی تفسیر و توصیه کودی برای محصولات کشاورزی تدوین و ارایه گردد. پیشنهاد نویسندگان کتاب حاضر این است که در مقطع فعلی تا حصول نتایج تحقیقات آتی، به جای حد بحرانی (Critical level) از شاخص حد مطلوب (Optimum level) در انجام توصیه‌های کودی استفاده گردد. این موضوع قابل بحث است چرا که ابتدا باید حد بحرانی و حد مطلوب دقیقاً تعریف شود سپس با ارایه شواهد کمی تصمیم‌گیری گردد که کدام یک مبنای تفسیر نتایج تجزیه خاک و گیاه قرار گیرد. انتظار ما از اساتید محترم دانشگاه‌ها، محققین گرانسنگ کشور، اعضاء محترم کمیته‌های تخصصی انجمن علوم خاک ایران این است که راه حل عاجلی را برای حل این معضل مهم ارایه نمایند. ان‌شاءالله.

۵ فصل پنجم

اثربخشی کودهای پرمصرف و روی(Zn) در میزان افزایش عملکرد هکتاری و تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم

کودهای پتاسیمی و روی

K & Zn-Fertilizers

Stewart و همکاران (۲۰۰۵) براساس گردآوری نتایج ۳۶۲ آزمایش مزرعه‌ای، نقش کودهای شیمیایی در افزایش عملکرد برخی از محصولات زراعی از جمله گندم، ذرت، سویا و برنج را بررسی و به این نتیجه رسیدند که ۴۰ تا ۶۰ درصد تولیدات کشاورزی در آمریکا و انگلستان مرهون مصرف کودهای شیمیایی بوده و این مقدار درصد افزایش در مناطق استوایی از ۶۰ درصد نیز بیشتر بوده است. دیوف مدیر کل اسبق FAO در پیامی به مناسبت روز جهانی غذا (۲۰۰۱) اعلام نمود که از کمبود عناصر ریزمغذی سالانه در کشورهای در حال توسعه، بیش از ۱۲۸ میلیارد دلار خسارت به محصولات کشاورزی وارد می‌گردد و اگر نقش ریزمغذی‌ها در شرایط امروزی از بعد اقتصادی و ارتقای سطح سلامت جامعه مدنظر قرارداده شود، این رقم بسیار بیشتر و غیرقابل شمارش خواهد بود. از طرف دیگر، با عنایت به نتایج حاصله از تحقیقات متعدد میدانی در طول سه دهه اخیر که در خاک‌های زراعی ایران انجام گرفته، به مقایسه اثربخشی کودهای پرمصرف و روی در میزان افزایش عملکرد هکتاری و سهم هر یک از این‌ها در تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم، اشاره می‌شود.

۱-۵-اثربخشی کودهای نیتروژنی در افزایش عملکرد و تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم:

نیتروژن (N) یکی از مهمترین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و عامل کلیدی در دستیابی به عملکرد مطلوب در محصولات زراعی و باغی می‌باشد. نیتروژن در گیاهان بالاترین غلظت را داشته و گلوگاه رشد است. غلظت نیتروژن در اندام‌های گیاهی بسیار متفاوت بوده ولی میانگین آن در مادهٔ خشک گیاهی حدود دو تا سه درصد است. میزان نیتروژنی که به وسیله گیاهان مختلف جذب می‌شود، بسته به عملکرد آن‌ها، متفاوت می‌باشد. بنابراین، نیتروژن نقش مهمی در افزایش عملکرد کمی و کیفی دارد، به‌طوری که:

الف) کمبود آن بیش از سایر عناصر غذایی، عملکرد را کاهش می‌دهد (ملکوتی، ۱۳۷۵). نیتروژن نخستین عنصر غذایی است که کمبود آن در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح می‌شود. زیرا، در این مناطق مقدار مواد آلی که عمده‌ترین منبع ذخیرهٔ نیتروژن به شمار می‌آیند، به دلایلی پرشمار اندک است. از جملهٔ این عوامل می‌توان به بارندگی اندک، نبود تناوب زراعی مناسب، دمای زیاد، رطوبت نسبی پایین، پوشش گیاهی ناچیز و مصرف کم کودهای حیوانی و کود سبز اشاره کرد. بررسی‌ها در ایران (استان خراسان رضوی، بالغ بر ۹۰ درصد خاک‌ها کمتر یک درصد کربن آلی دارند) نشان می دهد به طور میانگین به ازای افزایش هر گرم کربن آلی

در کیلوگرم خاک، عملکرد دانه گندم به طور میانگین ۲۸۶ کیلوگرم در هکتار (بین ۱۲۱ تا ۳۰۵ کیلوگرم در هکتار) افزایش می یابد (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۲).

ب) از دیگرسو، پیامد مصرف بیش از حد نیتروژن:

- افزایش رشد رویشی گیاه، رنگ سبز تیره برگ‌ها و خوابیدگی بوته‌ها (ورس) است.
- زیادی نیتروژن، در صورتی که مقدار سایر عناصرغذایی کم باشد، دورهٔ رشد گیاه را طولانی‌تر کرده و رسیدن محصولات را به تأخیر می‌اندازد.
- چنانچه نیتروژن اضافی به گیاه برسد و شرایط رشد نیز مناسب باشد، کربوهیدرات‌ها صرف ساختن پروتئین می‌شوند. به همین‌خاطر، آب بیشتر جذب پروتوپلاسم گیاه شده و در نتیجه گیاه ترد و شکننده می‌شود.
- زیادی نیتروژن سبب خوابیدگی بوته‌ها در گندم، کاهش کیفیت غده‌های سیب‌زمینی، پیاز و کاهش درصد قند در چغندرقند می‌شود.
- به دلیل آبدارکردن پروتوپلاسم، گیاه را در برابر بیماری‌ها و حملهٔ حشرات حساس‌تر می‌کند. همچنین، مصرف زیاد نیتروژن، سبب افزایش بیماری‌ها می‌شود.
- در اثر مصرف بی رویه کودهای نیتروژنی، بیماری زنگ و سفیدک پودری تشدید می‌یابد. مصرف نیتروژن زیاد رشد گیاه را تحریک کرده و افزایش نسبت بافت جوان به بافت بالغ سبب حساسیت بیشتر گیاه می‌شود.
- با مصرف زیاد نیتروژن، فعالیت برخی آنزیم‌های کلیدی سوخت‌وسازی کاهش می‌یابد. میزان لیگنین در گیاهانی که نیتروژن کمی دریافت داشته‌اند، حدود ۱۱۰۰ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک است، در صورتی که این میزان با مصرف نیتروژن زیادتر، کاهش می‌یابد.
- به طور کلی مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنی همبستگی نزدیکی با حساسیت گیاه به بیماری‌ها از جمله آتشک گلابی دارد (خلدبرین و اسلام‌زاده، ۱۳۸۴).
- از طرف دیگر، زیاده‌روی در مصرف کودهای نیتروژنی سبب آب‌شویی و تصعید آن می‌شود (در شالیزارهای شمال کشور، بیش از ۵۰ در صد اوره مصرفی به صورت تصعید از دسترس گیاه برنج خارج می‌گردد- میرنیا و همکاران، ۱۳۷۷). بدیهی است، مناسب‌ترین روش برای کاهش آب‌شویی و افزایش بازیافت کودهای نیتروژنی، مصرف آن‌ها به دفعات (سرک) می‌باشد.
- استفاده بیش از نیاز و نابهنگام از کودهای نیتروژنی علاوه بر آبشویی و تصعید، سبب افزایش نیترات (NO_3) در خاک می‌گردد. زیادی نیترات در خاک، جذب نیترات توسط گیاهان را تحریک و سبب تجمع نیترات در اندام‌های خوراکی گیاهان می‌گردد. به عبارت دیگر، مصرف نامتعادل و نابهنگام کودهای نیتروژنی (عدم رعایت اصول مصرف بهینه کودی)، تجمع نیترات را در فرآورده‌های کشاورزی تسریع می‌کند و استمرار مصرف آن‌ها برای سلامتی دام و انسان

بسیار زیان‌آور می‌باشد (Malakouti و همکاران، ۲۰۱۳).

پ) در مقابل، مصرف بهینه، بهنگام و به دفعات کودهای نیتروژنی، سبب افزایش بیش از ۵۰ درصدی در عملکرد هکتاری محصولات زراعی از جمله گندم می‌شود. در شکل‌های یک و دو، نقش منابع مختلف کودهای نیتروژنی و کربن آلی بومی خاک در افزایش عملکرد هکتاری دانه گندم نشان داده شده است (Malakouti و همکاران، ۲۰۰۸ و کشاورز و همکاران، ۱۳۹۲).

شکل ۱- نقش منابع مختلف کودهای نیتروژنی در افزایش عملکرد دانه گندم (Malakouti و همکاران، ۲۰۰۸)

شکل ۲- رابطه بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه گندم در استان خراسان رضوی (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۲)

۲-۵- اثربخشی کودهای فسفاتی در افزایش عملکرد و تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم:

فسفر(P) یکی دیگر از مهمترین عناصر غذایی مورد نیاز در تولید محصول به شمار می‌آید. فسفر در کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی، ترکیبات انرژی‌زا، سازوکار انتقال انرژی و اسیدهای نوکلئیک نقشی ویژه دارد، به طوری که **الف)** کمبود آن، عملکرد را کاهش می‌دهد (ملکوتی، ۱۳۷۵). **ب)** مضرات زیاده‌روی در مصرف کودهای فسفاتی به شرح زیر می‌باشد:

- مقدار زیادی فسفر مورد استفاده به‌عنوان کود از طریق واکنش رسوب و تثبیت تبدیل به فرم‌های نامحلول می‌شود. این موضوع و تحرک پائین فسفر در خاک، موجب تجمع فسفر در افق سطحی خاک‌های زراعی شده و باعث بروز معضلات و مشکلات متعددی از جمله مسمومیت فسفری، کاهش عملکرد، تأثیر منفی بر جذب عناصر کم‌مصرف می‌گردد،
- آب تباهی یا غنی شدن منابع آب از عناصر غذایی (فرایندی است که بر اثر اضافه شدن عناصر غذایی همچون نیتروژن و فسفر در مرداب‌ها و تالاب‌ها، موجب رشد بیش از اندازه جلبک آزولا شده و مسائل زیست محیطی نظیر کاهش اکسیژن آب و حتی تلف شدن ماهی‌ها را به وجود می‌آورد)،
- آلودگی خاک، گیاه و انسان به کادمیوم، اثرات زیست‌محیطی، خروج ارز از کشور به خاطر واردات سوپرفسفات‌تریپل می‌گردد،
- هنگامی‌که مقدار فسفرکل خاک قابل توجه و فسفر قابل استفاده خاک زراعی از پنج میلی‌گرم برکیلوگرم بیشتر می‌شود، استفاده بیش از نیاز از کودهای فسفاتی سبب تجمع

فسفر به صورت رسوب فسفات‌کلسیم در خاک می‌شود،

- با مصرف بیش از نیاز کودهای فسفاتی محتوی کادمیوم، علاوه بر اثرهای آنتاگونیسمی با روی (Zn)، درصد ماده خشک غده‌های سیب‌زمینی کاهش (افت کیفیت)، جذب روی دچار مشکل شده و غلظت آلاینده‌هایی نظیر کادمیوم (Cd) در فرآورده‌های کشاورزی افزایش می‌یابد و
- کاهش شاخص نامطلوب تغذیه‌ایی به دلیل نقش آنتاگونیسمی فسفر با روی و کاهش درصد ماده خشک در غده‌های سیب‌زمینی. بدیهی است که استمرار در مصرف کودهای فسفاتی محتوی کادمیوم، برای سلامتی دام و انسان بسیار زیان‌آور می‌باشد. **ت)** در مقابل، مصرف بهینه کودهای فسفاتی با مدیریت مطلوب سایر عوامل موثر در تولید، به هنگامی که مقدار فسفر قابل استفاده خاک زراعی حدود پنج میلی‌گرم برکیلوگرم است، از ۲۰ درصد تجاوز نمی‌نماید. زیرا، نیاز گیاهان به فسفر کم و در حدود یک دهم نیتروژن و پتاسیم است. در شکل‌های سه و چهار، انباشتگی فسفر به صورت رسوب فسفات‌کلسیم در برخی از خاک‌های زراعی در استان‌های مختلف کشور، اثر آنتاگونیسمی فسفر با روی (Zn) گنجانده شده است. همچنین، در شکل پنج نقش مصرف منابع مختلف کودهای فسفاتی در افزایش عملکرد هکتاری سیب‌زمینی گنجانده شده است. به طوری‌که ملاحظه می‌شود در حالی که با مصرف بهینه و بهنگام منابع مختلف کودهای نیتروژنی، عملکرد هکتاری گندم بیش از ۴۶ درصد افزایش می‌یابد، لیکن، این مقدار افزایش با مصرف بهینه منابع مختلف کودهای فسفاتی در سیب‌زمینی، از ۱۲ درصد تجاوز ننمود. به‌عبارت دیگر، مصرف همه ساله کودهای فسفاتی با توجه به تجمع فسفر به صورت رسوب فسفات‌کلسیم در خاک‌های زراعی، نقش کودهای فسفاتی در افزایش عملکرد هکتاری محصولات کشاورزی بسیار محدود می‌باشد. در شکل شش، نقش منابع مختلف کودهای فسفاتی (سوپرفسفات وارداتی و خاک‌فسفات تولید داخل) در افزایش غلظت کادمیوم در غده‌های سیب‌زمینی نشان داده شده است (کریمی، ۱۳۹۴؛ ملکوتی، ۱۳۹۴).

شکل ۳- انباشتگی فسفر به‌صورت رسوب فسفات کلسیم در برخی از خاک‌های زراعی کشور (ملکوتی، ۱۳۹٤)

شکل ۴- اثر آنتاگونیستی فسفر(P) با روی (Zn)(Zhu و همکاران، ۲۰۰۱)

شکل ۵- نقش منابع مختلف کودهای فسفاتی در افزایش عملکرد سیب‌زمینی (کریمی، ۱۳۹۴)*

شکل۶-نقش منابع مختلف کودهای فسفاتی در میزان تجمع کادمیوم در غده‌های سیب‌زمینی(کریمی،۱۳۹۴)

* سوپرفسفات ساده مصرفی تولید داخل نمی‌باشد، زیرا در خاک‌فسفات اسفوردی تولید داخل، غلظت کادمیوم کمتر از سه میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. به نظر اینجانب خاک‌فسفات مصرفی، وارداتی با کادمیوم بالا و یا .... است.؟؟

۳-۵-اثربخشی کودهای پتاسیمی و روی در افزایش عملکرد و تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم:

پتاسیم (**K**) فراوان‌ترین کاتیون موجود در سیتوپلاسم گیاهی است و نقش آن در گیاه بسیار متنوع بوده و برخلاف نیتروژن، فسفر، گوگرد و ....، جزئی از ساختمان گیاه نبوده و در داخل سلول‌های گیاهی به شکل یون می‌باشد. لذا بسیار پویا (متحرک) بوده و در بسیاری از فعل و انفعالات گیاهی حضور فعال دارد. پتاسیم در اعمال فیزیولوژیکی متعددی از جمله سوخت و ساز کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، کنترل و تنظیم فعالیت‌های گوناگون، خنثی کردن اسیدهای آلی، مقابله با تنش‌های زنده و غیر زنده، تنظیم روزنه‌ها و آب، نقش اساسی دارد. پتاسیم در کاهش تنش‌های زنده و غیرزنده بسیار اثربخش بوده و اثرات مفید آن بر بهبود کیفیت محصول (با افزایش غلظت عناصر غذایی به ویژه پتاسیم و کاهش در صد آب در درون سلول‌های میوه به ویژه مرکبات در شمال کشور، می‌توان مقاومت میوه‌ها را نسبت به سرما به طور نسبی افزایش داد)، افزایش کارآیی آب و نیتروژن، مقاومت به تنش خشکی، افزایش مقاومت به سرمازدگی، آفات و بیماری‌ها ثابت شده است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۹۵)، به طوری که الف) کمبود آن، عملکرد کمی و کیفی را در محصولات زراعی و باغی کاهش می‌دهد (ملکوتی، ۱۳۷۵). ب) استفاده بیش از نیاز از کودهای پتاسیمی برعکس سایر عناصر غذایی، چندان زیان‌آور نبوده (ایجاد اشکال و دشواری در جذب کلسیم و منیزیم)، بلکه جذب لوکس گیاه شده و گیاه را در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده سرحال نگه می‌دارد (Marschner، ۱۹۹۵؛ Armstrong، ۱۹۹۸؛ Ball، ۲۰۰۴؛ ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷؛ Wakeel و همکاران، ۲۰۱۶). پ) در مقابل، مصرف بهینه، بهنگام و به دفعات کودهای پتاسیمی و روی، سبب افزایش بیش از ۵۰ درصدی در عملکرد هکتاری محصولات زراعی از جمله سیب‌زمینی می‌شود. در شکل هفت، نقش مصرف تلفیقی کودهای پتاسیمی + روی در افزایش ۶۲ در صدی عملکرد هکتاری سیب‌زمینی نشان داده شده است. بنابراین،

برعکس کودهای نیتروژنی و فسفاتی، مصرف بیش از نیاز کودهای پتاسیمی نه تنها عمکرد کمی و کیفی را کاهش نمی‌دهد، بلکه علاوه بر افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده، عملکرد کمی-کیفی در محصولات زراعی و باغی را بطور معنی‌داری بهبود می‌بخشد. همچنین، در شکل هشت، نقش مصرف تلفیقی کودهای سولفات پتاسیم و سولفات‌روی در کاهش غلظت کادمیوم در غده‌های سیب‌زمینی نشان داده شده است. با توجه به این نتایج، چنین استنباط می‌گردد که با مصرف بهینه کودی، علاوه بر تأمین حداکثری عملکرد کمی-کیفی هکتاری سیب‌زمینی، تولید غذای سالم حتی در مزارع آلوده به کادمیوم نیز امکان‌پذیر می‌باشد.

شکل ۷- نقش مصرف تلفیقی کودهای پتاسیمی و روی در افزایش عملکرد سیب‌زمینی در یک خاک آلوده به کادمیوم (کادمیوم خاک برابر ۳/۵٤ میلی گرم بر کیلوگرم بود)(حسینی، ۱۳۹٤)

شکل ۸- نقش مصرف تلفیقی کودهای پتاسیمی و روی در کاهش کادمیوم در غده‌های سیب‌زمینی در یک خاک آلوده به کادمیوم (حسینی، ۱۳۹٤)

*حد مجاز کادمیوم در غده‌های سیب زمینی برابر ۰/۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر مبنای وزن ماده خشک می باشد (صلحی و همکاران، ۱۳۸۴؛ FAO، و WHO، ۲۰۱۱)

۴-۵- روش‌های تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم در کشور

بر پایهٔ گزارش سازمان بهداشت جهانی (WHO)، رتبه بهداشت سلامت جامعه ما از میان ۱۹۲ کشور، ۱۲۳ است. متأسفانه این رتبه بسیار پایین بوده و علت اصلی آن سوء تغذیه می‌باشد. بر اساس گزارش‌های مستند موجود، علی‌رغم اینکه بیش از ۸۶ درصد جامعه ۸۰ میلیون نفری ایران سیر می‌باشند، لیکن بیش از ۹۰ درصد جامعه به نوعی از گرسنگی سلولی رنج می‌برند. به عبارت دیگر، هر یک از اعضای جامعه به نحوی از کمبود عناصر غذایی به ویژه ریزمغذی‌ها، کلسیم و منیزیم در تنگنا هستند. زیرا در عمل، توجهی به مفهوم امنیت غذایی نمی‌شود (شهریاری، ۱۳۸۷). تحقیقات ما ثابت کرده است که رابطه تنگاتنگی بین خاک، گیاه و انسان سالم وجود داشته و منشأ اکثر کمبودها و بیماری‌های انسانی به سوء تغذیه برمی‌گردد. تغذیه نامتعادل گیاهی منجر به بروز علائمی نظیر ریزش مو، بداخلاقی، سرماخوردگی‌های مزمن، کم حوصلگی، خستگی مفرط، پوکی استخوان، پوسیدگی دندان، کوتاهی قد، افسردگی، کم خونی، ایمنی پایین بدن و سرطان گوارشی می‌شود. از طرف دیگر، یکی از اصول اولیه پایدار تولیدات کشاورزی، ارتقاء کیفی خاک از بعد حاصلخیزی و برگرداندن مجدد عناصر غذایی جذب شده توسط گیاهان به

خاک می‌باشد که متأسفانه در برنامه کودی کشور نادیده گرفته شده است. همچنین، پرداخت یارانه به کودهای نیتروژنی و فسفاتی، باعث شده در مزارع و باغ‌های کشور بیش از ۹۰ درصد کودهای مصرفی به این دو نوع کود اختصاص یابد. نسبت جذب عناصر غذایی از خاک توسط گیاهان حدوداً به صورت ۱۰۰۱۵(N)-(S)۳۰-(K)۸۰(P)–۳۰(Ca)-۱۵(Mg)-۰/۵۰(Fe)-۰/۳۰(Mn)-۰/۲۰(Zn)-۰/۱۰(Cu)-۰/۰۵(B) می‌باشدو بااین‌مقدار جذب،نسبت کودمصرفی آرمانی برای خاک‌های آهکی درمقطع کنونی که‌می‌بایستی به‌صورت (کودهای آلی)٪۲۵ - (ریزمغذی) ٪۴- (گوگرد) ۳۰- (پتاسیم) ۲۵-(فسفر) ۳۰-(ازت)۱۰۰اجرایی می‌شد، این نسبت در اوایل دهه ۹۰، علاوه بر کاهش ۵۰ درصدی در میزان مصرف کودها در کشور، به صورت ۰۹- ۲۶- ۱۰۰ افت پیدا نمود.

بنابه گزارش سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، حداقل ۳۳ درصد افزایش تولیدات کشاورزی در جهان طی چهار دهه گذشته مرهون مصرف کودهای شیمیایی بوده است (Hamdoallah، ۲۰۰۰).در کشورهایی که مصرف کود در آن‌ها بهینه است، این افزایش با مدیریت مطلوب سایر عوامل موثر در تولید، بیش از ۶۰ درصد می‌باشد(ملکوتی، ۱۳۷۵). Stewart و همکاران (۲۰۰۵) براساس گردآوری نتایج ۳۶۲ آزمایش مزرعه‌ای، نقش کودهای شیمیایی در افزایش عملکرد برخی از محصولات زراعی از جمله گندم، ذرت، سویا و برنج را بررسی و به این نتیجه رسیدند که ۴۰ تا ۶۰ درصد تولیدات کشاورزی در آمریکا و انگلستان مرهون مصرف کودهای شیمیایی بوده و این مقدار درصد افزایش در مناطق استوایی از ۶۰ درصد نیز بیشتر بوده است. دیوف مدیر کل اسبق FAO در پیامی به مناسبت روز جهانی غذا (۲۰۰۱) اعلام نمود که از کمبود عناصر ریزمغذی سالانه در کشورهای در حال توسعه، بیش از ۱۲۸ میلیارد دلار خسارت به محصولات کشاورزی وارد می‌گردد و اگر نقش ریزمغذی‌ها در شرایط امروزی از بعد اقتصادی و ارتقای سطح سلامت جامعه مدنظر قرارداده شود، این رقم بسیار بیشتر و غیرقابل شمارش خواهد بود (ملکوتی،۱۳۹۴).

با بهبود تغذیه گیاه که عمدتاً با مصرف بهینه کودها مخصوصاً کودهای ریزمغذی، زیستی و آلی در مزرعه تحقق می‌یابد، علاوه بر افزایش کمّی و کیفی محصولات کشاورزی، کمبودها برطرف شده، وضعیت تغذیه‌ای مردم اصلاح و به دلیل افزایش ایمنی بدن، نیاز به انواع داروها در کشور بطور چشمگیری کاهش می‌یابد. علاوه براین، اگر فرآیند غنی‌سازی محصولات کشاورزی در مزارع و باغ‌ها انجام و مصرف نان سبوس‌دار غنی‌شده بین عموم جامعه رایج گردد، نه تنها رتبه بهداشتی ما تا حد ۵۰ درصد اصلاح خواهد شد، بلکه به شادابی جامعه نیز از طریق سیرشدگی سلولی افزوده شده و در نهایت موجب خشنودی تولیدکنندگان بخش کشاورزی، مصرف‌کنندگان و رضایت خداوند متعال خواهد گردید(ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷).

هم اکنون یارانه عمدتاً به کودهای نیتروژنی و فسفاتی پرداخت می‌شود. در حالی‌که باید توجه داشت که اولاً کارآیی این دو کود به دلایل مختلف از جمله سوء مدیریت در مصرف کودها، پایین

است و ثانیاً مصرف نامتعادل و بیش از نیاز این کودها به دلیل اینکه باعث تجمع نیترات (NO_3) و کادمیوم (Cd) در محصولات کشاورزی می‌شوند، نقش چندان مثبتی در تولید پایدار و سلامت جامعه ندارند. پرداخت یارانه تنها به این دو کود باعث شده که کشاورزان علاوه بر مصرف بی‌رویه و هدر دادن این دو کود در کشور، چندان رغبتی به استفاده از دیگر کودها، به ویژه کودهای زیستی، آلی و ریزمغذی نداشته باشند. حال آنکه مصرف کودهای اخیر افزون بر سازگار بودن با محیط زیست، نقش بسیار مثبتی بر سلامتی انسان دارند. نتایج تحقیقات نشان داد که با مصرف نامتعادل کودها به‌ویژه زیاده‌روی در مصرف کودهای نیتروژنی و فسفاتی در انواع سبزی و صیفی، علاوه بر افزایش تجمع NO_3 و Cd در آن‌ها، از غلظت ویتامین C تا حد ۲۶ درصد کاسته می‌شود. لیکن، با رعایت اصول مصرف بهینه کود به ویژه مصرف سولفات پتاسیم و سولفات روی، علاوه بر بهبود کیفیت و خوش خوراکی، به غلظت ویتامین C تا حد ۲۰ درصد افزوده می‌گردد (Welch، ۲۰۰۳ و ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳).بنابراین، در مقطع کنونی مدیریت علمی تولید و مصرف انواع کودها امری اجتناب‌ناپذیر است، تا به‌توان از طریق اصلاح ساختار تولید- مصرف بهینه کود و تولید محصولات کشاورزی سالم، سطح سلامت جامعه را ارتقاء داد.از طرف دیگر وجود رابطه مثبت بین مصرف بهینه کود و تولید محصولات کشاورزی سالم وجود دارد. لذا، مسئولین وزارت جهاد کشاورزی باید این اصل مهم را در تامین مقدار، زمان استفاده و نوع مناسب کودها در تولید محصولات کشاورزی در عمل رعایت و نسبت به جلوگیری از سوزاندن بقایای گیاهی،رعایت اصول مصرف بهینهٔ کودی، غنی سازی محصولات کشاورزی در مزرعه، مدیریت علمی تولید و مصرف انواع کودها، جلوگیری از ورود کودهای فسفاتی دارای بیش از ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم، حذف یارانه از کودهای نیتروژنی و فسفاتی و اختصاص آن به کودهای زیستی، آلی، ریزمغذی و گوگردی و یا به تولید محصولات کشاورزی اساسی نظیر گندم به منظور افزایش عملکرد، بهبود کیفیت و تولید محصولات کشاورزی سالم، اقدام نمایند (ملکوتی،۱۳۹۴).

۱-۴-۵- پی‌آمدهای ناگوار استمرار مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنی و فسفاتی وارداتی بر سلامت جامعه: در حال حاضر در برخی از محصولات کشاورزی تجمعNO_3 و Cd به دلیل استمرار مصرف نامتعادل کودها به ویژه زیاده‌روی در مصرف کودهای نیتروژنی و فسفاتی یارانه‌ای، بیشتر از حد مجاز است. همچنین، در جایی که امکان تولید و مصرف کودهای فسفاتی تولید داخل نظیر کود میکروبی فسفاتی و سوپر فسفات ساده با استفاده از خاک فسفات تولید داخل که عاری از Cd می‌باشد و به سهولت توسط بخش خصوصی در داخل کشور وجود دارد، دلیلی برای مسئولین وجود ندارد تا نسبت به واردات سوپرفسفات‌تریپل محتوی ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم اقدام نماید. از طرف دیگر، زیادی مصرف اوره یارانه‌ای ارزان قیمت، سبب کاهش عملکرد هکتاری، هدررفت سرمایه، تجمع نیترات، آلودگی‌های زیست محیطی می‌گردد. حال این سوال مطرح است چرا تجمع آلاینده‌های NO_3 و Cd در محصولات کشاورزی در دهه اخیر رو به

افزایش گذاشته است؟ با مروری به منابع موجود، نقش مصرف نامتعادل کودها در تجمع این آلاینده‌ها مشخص می‌گردد. به عبارت دیگر منشاء آلاینده‌های NO_3 و Cd را می‌توان مصرف بی‌رویه و بیش از نیاز کودهای نیتروژنی و فسفاتی دانست (Malakouti و همکاران، ۲۰۱۳).

۲-۴-۵-آلودگی‌های نیترات ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنی: تجمع نیترات در سبزی‌ها غالباً در اندام‌های مصرفی (ریشه، غده، ساقه و برگ) صورت می‌گیرد، ولی برخلاف تصور اغلب محققین مشاهده گردید در سبزی‌های میوه‌ای نظیر گوجه‌فرنگی و خیار نیز نیترات یافت می‌شود. به دلیل انجام فعل و انفعالات فتوسنتزی در برگ‌ها و عدم حرکت نیترات از برگ به میوه نبایستی مسئله تجمع نیترات در میوه مطرح باشد، ولی گزارش‌ها حاکی از وجود نیترات در مقادیر قابل توجهی در سبزی‌های میوه‌ای است که عمدتاً ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنی می‌باشد. تجمع نیترات با میزان فتوسنتز رابطه معکوس دارد. هر عاملی میزان فتوسنتز در گیاه را کاهش دهد، سبب افزایش غلظت نیترات در گیاه خواهد شد. با توجه به اینکه فرایند آمین‌سازی (تبدیل نیترات به عامل آمینی برای سنتز پروتئین) در گیاه، انرژی خواه است (به ATP احتیاج دارد)، بنابراین هر عاملی نظیر تنش‌های محیطی که باعث تضعیف گیاه شود، به تجمع نیترات کمک می‌کند.

- **اثرات سوء نیترات در محصولات کشاورزی:** با مصرف بیش از نیاز کودهای نیتروژنی، علاوه بر صدمات متعددی که قبلاً بدان اشاره شد، شیوع بیماری‌ها و آفات در مزارع، برهم خوردن رابطه بین عناصر غذایی و افت کیفیت محصولات زراعی و باغی مطرح می‌باشد. در آزمایش‌هایی که بر روی گوجه‌فرنگی انجام شده، معلوم شده که بین مقدار نیترات در میوه گوجه‌فرنگی با میزان کودهای نیتروژنی مصرف شده رابطه مستقیم وجود دارد. مهم‌ترین عامل محیطی مؤثر در تجمع نیترات در گیاه، مقدار نیترات موجود در اطراف ریشه و خود گیاه است. کاربرد بیش از حد کودهای نیتراتی، به ویژه در یک نوبت باعث افزایش میزان نیترات قابل جذب شده و در نهایت باعث تجمع نیترات در بافت‌های گیاه می‌شود. به‌طورکلی میزان نیترات بافت‌های گیاهانی که تحت تنش‌های محیطی دچار توقف رشد شده‌اند، نسبت به گیاهانی که در شرایط مساعد رشد کرده‌اند بیشتر است. تنش خشکی، دمای بالا، یخبندان، شدت نور کم و کلیه عواملی که محدودکننده فتوسنتز و رشد در گیاه هستند، در افزایش میزان نیترات موجود در گیاه مؤثرند. طبق گزارش مشترک سازمان‌های بهداشت جهانی و خواربار و کشاورزی، حد قابل قبول مصرف روزانه NO_3 تا ۳/۷ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن می‌باشد (با مصرف روزانه ۳۷۰ میلی‌گرم نیترات در روز، در درازمدت، اثر سویی در سلامت مصرف‌کنندگان مشاهده نگردید). در سال ۱۹۹۷، کمیسیون اروپا حداکثر مقادیر مجاز آلاینده‌ها را در محصولات کشاورزی مشخص نمود. این کمیسیون در گزارش خود حد مجاز نیترات برای اسفناج و کاهو را ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بر مبنای وزن تازه اعلام

نمود. بدیهی است این مقدار نیترات در جوامعی نظیر جامعه ایرانی که مصرف روزانه سبزی در آن‌ها بسیار بالاتر است، خطرناک و مسئله ساز می‌باشد (Malakouti و همکاران، ۲۰۱۳).

- **اثرات سوء نیترات در سلامت انسان و دام:** وجود NO_3 در مواد غذایی از نظر کارشناسان تغذیهٔ انسان و حیوان موضوعی حیاتی است. تبدیل نیترات به نیتریت در دستگاه گوارش، و سمیّت نیتریت حاصل، مخصوصاً در حیوانات نشخوارکننده (گاو) و نوزادان، باعث ایجاد بیماری نظیر مت‌هموگلوبینمیا می‌گردد که در آن هموگلوبین به مت‌هموگلوبین تبدیل می‌شود. در این پدیده، آهن دوظرفیتی به آهن سه ظرفیتی تبدیل و در نتیجه انتقال اکسیژن در بدن مختل شده و حالت خفگی مخصوصاً در نوزادان بروز می‌نماید و ممکن است منجر به مرگ انسان شود. همچنین در اثر تداوم مصرف سبزیجات و یا آب آشامیدنی محتوی NO_3 زیاد، در داخل معده با ترکیبات آمینی تولید نیتروزآمین می‌نماید که یک ماده سمی و سرطان‌زا است. حد مجاز NO_3 برای علوفه خشک ۰/۰۸ درصد تعیین گردیده است. عامل خفگی انسان و دام در نتیجهٔ گازهای تخمیری NO_3 در علوفه است، زیرا وقتی علوفه حاوی مقدار زیادی NO_3 را انبار کنند، NO_3، احیاءشده و تولید گازهای متعدد نیتروژنی می‌نماید. غلظت این گازها در یک سیلوی معمولی بدون تهویه، ممکن است تا مسمومیت هم برسد، درصورتی‌که غلظت مجاز آن، ۱۵ و غلظت کشندهٔ آن ۷۰۰ میکروگرم در گرم می‌باشد؛ گازهای مذکور یا سبب مرگ آنی شده و یا صدمات ریوی حاصله از آن به قدری شدید است که ریه شخص به‌کلی از کار می‌افتد (Malakouti و همکاران، ۲۰۱۳).
- **میزان تجمع نیترات در محصولات کشاورزی:** تجمع نیترات در گیاهان یک پدیده طبیعی بوده و هنگامی رخ می‌دهد که میزان تجمع نیترات در گیاه بیشتر از میزان لازم آن بر اثر جذب باشد. ظرفیت تجمع نیترات به وسیلهٔ توان توارثی گیاه تنظیم گردیده و توسط عوامل محیطی، مدیریت، کوددهی و عملیات زراعی تغییر می‌کند. اگر نیترات به مقدار زیاد به وسیلهٔ گیاه جذب شود، احیای آن به علت مصرف انرژی و مواد قندی زیاد، از رشد گیاه می‌کاهد. این یون از ریشه به طرف برگ‌ها فرستاده شده و در آنجا تجمع می‌یابد. اگر فردی ۲۵۰ گرم گوجه‌فرنگی در روز مصرف نماید، و غلظت نیترات در میوه گوجه‌فرنگی ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم برحسب وزن تازه باشد، تحت چنین شرایطی روزانه ۶۲ میلی‌گرم نیترات تنها از این طریق وارد بدن این فرد می‌گردد، ولی اگر همین فرد به جای ۲۵۰ گرم گوجه‌فرنگی، همین مقدار کاهو و یا اسفناج محتوی ۳ هزار میلی‌گرم درکیلوگرم نیترات برحسب وزن تازه مصرف نماید، در چنین حالتی غلظت نیترات وارد شده به بدن این فرد، روزانه بیش از دو برابر حد مجاز خواهد بود، که مسأله‌ساز است (Malakouti و همکاران، ۲۰۱۳).
- **عوامل موثر در تجمع نیترات:** به‌طورکلی، عوامل زیادی بر تجمع NO_3 اثر می‌گذارند که مهمترین آن‌ها عبارتند از مقدار کودهای نیتروژنی مصرفی(مقدار کود، نوع کود، سرعت آزاد

شدن و روش استعمال کود) ، گیاه (تجمع نیترات در گیاه بستگی به گونه، رقم، قسمت‌های مختلف گیاه و نیز سن آن دارد)،عوامل محیطی (عوامل محیطی زیادی بر غلظت نیترات گیاه از طریق تأثیر بر فعالیت آنزیم کاهش‌دهندهٔ نیترات و همچنین جذب نیترات، اثر می‌گذارند). عموماً نور کم، دمای زیاد و تنش‌های رطوبتی منجر به کاهش فعالیت آنزیم کاهش‌دهندهٔ نیترات و افزایش تجمع آن می‌گردند. موقعی که گیاه در معرض شدت نور کم یا «روز» کوتاه قرار گیرد، غلظت نیترات افزایش می‌یابد. غلظت نیترات در سبزی‌ها بین ساعت ۴ تا ۸ صبح در بالاترین میزان و در ۴ بعد بعدازظهر در کمترین مقدار می‌باشد. بنابراین، زمان برداشت سبزیجات در میزان نیترات آن‌ها اثر قابل توجهی دارد که باید مورد توجه قرار گیرد. از عوامل محیطی دیگر می‌توان دما را نام برد که اثر آن بر روی تجمع نیترات کاملاً مشخص نمی‌باشد، اما ثابت شده است که افزایش حرارت، مخصوصاً زمانی که همراه با شدت نور کم باشد، منجر به تجمع نیترات می‌گردد. تنش رطوبتی نیز در تجمع نیترات مؤثر است، حالت‌های زیادی از تجمع نیترات در علوفه و سمیّت آن‌ها برای دام‌ها با خشکی متناسب است. چنین تجمعی از نیترات شاید در نتیجهٔ تنش رطوبتی باشد که موجب کاهش فعالیت آنزیم کاهش‌دهندهٔ نیترات و سوخت و ساز نوری می‌شود(Malakouti و همکاران، ۲۰۱۳).

- **حد مجاز نیترات در محصولات کشاورزی:** در جدول یک، حد مجاز غلظت NO_3 در تعدادی از محصولات سبزی و صیفی (اسفناج، کاهو، کلم، کرفس، سیب‌زمینی، پیاز و برخی سبزی‌های میوه‌ای نظیر خیار، گوجه‌فرنگی و غیره)نشان داده شده است. بدیهی است این مقادیر بر حسب میزان مصرف در روز قابل تغییر می‌باشد. به عنوان مثال مصرف سرانه سیب‌زمینی در ایران روزانه ۱۰۰ گرم و در آلمان ۳۰۰ گرم می‌باشد؛لذا حد مجاز نیترات در سیب‌زمینیهای تولیدی در آلمان بایستی به مراتب کمتر از سیب‌زمینی‌تولیدی در ایران باشد (Malakouti و همکاران، ۲۰۱۳).
- **روش‌های کاهش نیترات:** یکی از روش‌های کاهش NO_3، استفاده از ارقامی است که NO_3 را کمتر در خود تجمع می‌دهند. به‌طور کلی، نباید اعمالی انجام داد که مانع از رسیدن نور به گیاه در روز شود. برای مثال، کشت عمودی گیاهان می‌تواند، به تجمع NO_3 کمک می‌کند. همچنین می‌توان در طول شب قبل از برداشت با استفاده از نور مصنوعی، از تجمع NO_3 در گیاهان کاست و یا از کودهای کندرها و آمونیومی استفاده کرد و کود به مقداری در اختیار گیاه قرار گیرد که به آن نیاز داشته باشد و از اعمال تنش‌های رطوبتی هم باید خودداری شود. از کشت‌های پاییزه تا حد امکان، خودداری کرده، گیاهان را با فاصله مناسب کاشته و برداشت محصولات هنگام عصر انجام شود. تجمع NO_3 در یک دوره تاریکی با شدت نور پایین انجام می‌گیرد. اگر برداشت سبزی و صیفی بعدازظهر انجام گیرد، غلظت NO_3 نسبت به صبح خیلی پایین‌تر است. یکی دیگر از روش‌های کاهش غلظت NO_3در اندام‌های مصرفی سبزی و صیفی، رعایت مصرف متعادل کودها بر مبنای نتایج تجزیه خاک می‌باشد (Malakouti و همکاران،

۲۰۱۳) .برای کاهش NO_3باید به استفاده از مواد آلی و کودهایزیستی، افزایش کارایی کودها، تقسیط کودهای نیتروژنی در طی دوره رشد گیاه اولویت داد. به این ترتیب علاوه بر جلوگیری از آلودگی منابع خاک و آب، از دسترسی ناگهانی گیاه به مقدار بیش از حد کودهای نیتروژنی ممانعت به عمل می‌آید. از دیگر راه‌کارهای کاهش تجمع NO_3، استفاده از کودهای نیتروژنی کُندرها نظیر SCU و مصرف کودهای نیتروژنی بر اساس اندازه‌گیریNO_3 پای‌بوته (PSNT) و استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج می‌باشد.نتایج تحقیقات متعدد در مزارع سبزی و صیفی کشور نشان داده با صرفه‌جویی در مصرف کودهای نیتروژنی و همگانی کردن مصرف کودهای پتاسیمی و ریزمغذی‌ها به‌ویژه سولفات پتاسیم، سولفات روی و سولفات منگنز و اسید بوریک، ضمن نیل به افزایش عملکرد هکتاری، بهبود کیفیت، افزایش خاصیت انباری و خوش طعمی محصول، تجمع NO_3 نیز در اندام‌های مصرفی انواع سبزی و صیفی کاهش خواهد یافت (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳).

۳-۴-۵- آلودگی‌های کادمیوم ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای فسفاتی: انباشت Cd در اراضی زراعی و محصولات کشاورزی کشور به یک مشکل زیست محیطی و امنیتی تبدیل شده است. افزایش غلظت Cd در خاک باعث افزایش جذب آن بوسیله گیاه می‌گردد. گیاهان مهم‌ترین مسیر انتقال Cd به زنجیرهٔ غذایی انسان بوده و تجمع آن در محصولات کشاورزی موجب سمیت شده و بیماری‌های حاد و مزمن را ایجاد می‌نماید. در حال حاضر غلظت این عنصر، به دلیل مصرف بیش از حد کودهای فسفاتی و عدم مصرف کودهای پتاسیمی و روی،در خاک‌های زراعی و باغی کشور افزایش یافته است (ملکوتی، ۱۳۸۹).

- **اثرات سوء کادمیوم در محصولات کشاورزی:** از علائم عمومی ناشی از جذب مقادیر اضافی Cd در گیاه می‌توان به کاهش و توقف رشد ریشه، چوب پنبه‌ای شدن، صدمه به ساختمان ریشه، کاهش هدایت هیدرولیکی آب در ریشه، تداخل با جذب و انتقال طبیعی عناصر غذایی، کاهش میزان کلروفیل؛ کلروز برگ و اختلال در فعالیت‌های آنزیمی به ویژه آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز اشاره نمود. زیاده‌روی در مصرف کودهای فسفاتی کادمیوم‌دار باعث تجمع آن در گندم، سیب‌زمینی، پیاز و در نهایت سبب افت کیفیت انواع سبزی‌ها گردیده است. (ملکوتی، ۱۳۸۹).
- **اثرات سوء کادمیوم در سلامت انسان:** کادمیوم آلاینده خطرناکی است که در بدن انسان تجمع یافته و از سیستم گوارشی بدن دفع نمی‌گردد. از نظر بیولوژیکی نیمه عمر آن در بدن انسان ۲۰ سال است. حد مجاز جذب Cd برای انسان ۰/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز است. این عنصر که از طریق مواد غذائی به بدن می‌رسد، جزء مواد سرطان‌زا گروه‌بندی شده و زیادی آن در انسان موجب بیماری‌های تهوع، استفراغ، انقباض شکم، سردرد، فشار خون، پوکی استخوان، آماس شش‌ها، نارسائی کلیه و کبد، بیماری‌های قلبی و زیادی فشار خون می‌شود (تراکم این عنصر در بدن انسان نخست باعث آسیب به کلیه‌ها و کبد می‌شود لیکن به سایر اندام‌های بدن نیز صدمه می‌زند). این عنصر در جفت نگهداری شده و از انتقال روی

و مس به جنین جلوگیری می‌کند. عنصر اخیر برای کارکرد مغز و رشد قوای عقلی لازم است. در مسمومیت حاد بواسطه اختلال در موازنه فسفر و کلسیم در مجاری ادراری، بیماری ایتای ـ ایتای که با درد در ناحیه شکم و پشت و مفاصل و استخوان‌ها، کوتاهی قد، سرطان‌زائی و ناباروری در انسان را نام برد (Lin و Schorr، ۱۹۹۷).

- **میزان تجمع کادمیوم در محصولات کشاورزی:** برخی گزارش‌ها حاکی از انباشت Cd در بذر گندم به‌ویژه در رقم دروم به مقدار بیش از حد مجاز می‌باشد. طبق گزارش‌های مستند موجود، غلظت Cd تجمع یافته در دانه‌های گندم رقم دروم در استان خوزستان بالغ بر ۰/۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (بیش از ۴ برابر حد استاندارد- جعفرنژادی، ۱۳۸۹) بوده و بدیهی است مصرف این نوع گندم‌ها سلامت جامعه را با خطر جدی مواجه می‌نماید. زیادی Cd در پیاز و سیب‌زمینی تا حد ۰/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم، برنج تا حد ۰/۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در سبزی‌ها از جمله اسفناج تا حد ۰/۸۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (ملکوتی، ۱۳۸۹).
- **عوامل موثر در تجمع کادمیوم در محصولات کشاورزی:** در حال حاضر در اکثر محصولات کشاورزی تجمع Cd به دلیل استمرار مصرف نامتعادل کودها به ویژه زیاده‌روی در مصرف کودهای فسفاتی یارانه‌ای که از دید مصرف‌کنندگان به دور مانده، بسیار بیشتر از حد مجاز است.
- **حدمجاز کادمیوم در برخی فرآورده‌های کشاورزی:** به منظور جلوگیری از ورود Cd به مواد غذایی، موسسات بین‌المللی، قوانین و استانداردهایی برای حد مجاز انباشت Cd در مواد غذایی تعیین کرده‌اند. برای غلات دانه ریز، غلظت ۰/۱۰ و برای سیب‌زمینی و پیاز ۰/۲۰ میلی‌گرم Cd در کیلوگرم برمبنای وزن خشک به عنوان حد مجاز پذیرفته شده است. حد مجاز کادمیوم در سبزی‌های برگی، سویا، قارچ‌های خوراکی، سبزی‌های ریشه‌ای و ساقه‌ای ۰/۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک می‌باشد. سازمان بهداشت جهانی اعلام نموده کادمیوم نبایستی در هفته بیش از ۰/۴۰ الی ۰/۵۰ میلی‌گرم مصرف گردد. این سازمان حد مجاز Cd در محصولات کشاورزی را ۰/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم اعلام کرده‌است (کدکس FAO و WHO، ۲۰۱۱).
- **روش‌های کاهش تجمع کادمیوم در محصولات کشاورزی:** روش‌های متعددی برای کاهش تجمع کادمیم وجود دارد که اهم آن‌ها عبارتند از اصلاح ژنتیکی گیاهان، مصرف بهینه کود (منظور از مصرف بهینه کودی این است که در گیاهان زراعی و دارویی مصرف انواع کودها براساس نتایج تجزیه خاک و در گیاهان باغی و گل‌های زینتی براساس نتایج تجزیه برگ و آب آبیاری استوار باشد)و زیست پالایی (یکی از راه‌های اساسی برای کاهش غلظت آلاینده‌ها در محصولات کشاورزی رعایت اصول مصرف بهینه کودی می‌باشد. با اعمال روش‌های زیر می‌توان از تجمع Cd در دانه گندم و سایر محصولات کشاورزی حتی‌الامکان ممانعت نمود: **الف)** از ورود کودهای فسفاتی و یا خاک‌فسفات محتوی بیش از ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم Cd و یا سرب اکیداً جلوگیری شود، **ب)** مصرف بهنیه کودی به ویژه استفاده از کودهای سوپر فسفات

ساده، میکروبی فسفاتی و بیوگوگرد آلی که تماماً تولید داخل بوده و عاری از Cd نیز می‌باشند، رعایت شود، **پ)** در راستای هدفمند کردن یارانه‌ها، یارانه از کودهای نیتروژنی و فسفاتی حذف و به کودهای موثر بر افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی اختصاص یابد، **ت)** رعایت اصول مصرف بهینه کودی، **ث)** عدم استفاده از پساب‌های شهری، **ج)** خرید گندم و سایر محصولات کشاورزی بر مبنای کمیت و کیفیت، انجام گیرد و **چ)** استفاده از ارقامی که نسبت به جذب کادمیوم (Cd) کارآ نبوده ولی نسبت به روی (Zn) کارآ هستند، رایج گردد.

۴-۴-۵- چالش‌های پیش‌رو و ارائه راه حل‌های عملی برای تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم: یکی از اصول اولیه پایداری تولیدات کشاورزی، ارتقاء کیفی خاک از بعد حاصلخیزی و برگرداندن مجدد عناصر غذایی جذب شده توسط گیاهان به خاک می‌باشد که متأسفانه در برنامه کودی کشور نادیده گرفته شده است. همچنین، پرداخت یارانه به کودهای نیتروژنی و فسفاتی، باعث شده در مزارع و باغ‌های کشور بیش از ۹۰ درصد کودهای مصرفی به این دو نوع کود اختصاص یابد. خاک‌های زراعی ایران بیش از ۷۰۰۰ سال زیر کشت بوده و با استمرار مصرف نامتعادل کودها، علاوه بر تخلیه شدید برخی از عناصر غذایی، مواد آلی خاک‌های زراعی کشور (طبق آخرین گزارش موجود، درصد کربن آلی در بیش از ۳۸ درصد خاک‌های زراعی کشور به کمتر از ۰/۵۰ درصد کاهش یافته است و این درصد کاهش در برخی از استان‌ها نظیر استان خراسان رضوی از ۸۰ درصد نیز فراتر رفته است که توجه جدی مسئولین امر را طلب می‌نماید) نیز به شدت افت پیدا نموده است (ملکوتی، ۱۳۹۴). بنابراین، چالش عمده مصرف نامتعادل کود در کشور بوده و راه حل برای تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم ، رعایت اصول مصرف بهینه کودی (منظور از مصرف بهینه کودی این است که در گیاهان زراعی و دارویی مصرف انواع کودها براساس نتایج تجزیه خاک و در گیاهان باغی و گل‌های زینتی براساس نتایج تجزیه برگ و آب آبیاری استوار باشد) است. راهکارهای مهم برای تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم عبارتند از **الف)** افزایش سطح مواد آلی خاک‌های زراعی کشور؛ **ب)** رعایت مصرف بهینه کود و اصلاح تناسب کودی کشور به طرق مختلف از جمله توصیه کودی بر مبنای نتایج تجزیه خاک برای محصولات زراعی و تجزیه برگ برای درختان میوه و تولید کودهای اختصاصی کامل برای تک تک محصولات کشاورزی استراتژیک کشور. بنابراین، در راستای نیل به تولید پایدار و با توجه به کمبود آب، مواد آلی، تنش شوری و افت کیفیت آب‌های آبیاری در کشور، لازم است ۲۵ درصد از کودهای مصرفی کشور (حدود ۸ تن در هکتار) را کودهای آلی (مصرف به صورت عمقی قبل از کاشت) تشکیل و نسبت کودی آرمانی پیشنهادی برای خاک‌های آهکی در مقطع کنونی به صورت (کودهای آلی)٪۲۵-(ریزمغذی)٪۴-(گوگرد)۳۰-(پتاسیم)۲۵-(فسفر) ۳۰-(ازت) ۱۰۰ باشد. لذا با توجه به نتایج تحقیقات میدانی دو دهه گذشته، مصرف کود در کشور، باید مطابق جدول چهار باشد.

زیرا مصرف بهینه کود مؤثرترین، سریع ترین، سهل الوصول‌ترین و اقتصادی‌ترین راه تحقق افزایش عملکرد هکتاری، غنی سازی و تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم می‌باشد (ملکوتی، ۱۳۹۴).

۵-۴-۵- لزوم تغییر نگرش از تأمین کالری روزانه به حل مشکل گرسنگی سلولی :طبق گزارش‌های مستند موجود، علی‌رغم اینکه بیش از ۸۶ درصد جامعه ۸۰ میلیون نفری ایران از نظر تامین حداقل کالری موردنیاز سیر می‌باشند، لیکن بیش از ۹۰ درصد جامعه به نوعی از گرسنگی سلولی رنج می‌برند. آیا تأمین کالری روزانه، شاهدی بر تغذیهٔ اصولی و کامل سازه‌های بدن انسان است؟ مسلماً خیر. طبق آخرین آمار موجود که رسانه‌های عمومی در اوایل تابستان ۱۳۸۳ اعلان کردند، از جمعیت کشور، ۳۰ درصد تغذیهٔ متعادل، ۲۰ درصد پرخوری، ۲۰ درصد کم‌خوری و ۳۰ درصد بدخوری دارند. این آمار فقط از دیدگاه تأمین کالری است. بدیهی است در صورت طرح سیرشدن سلول‌های گرسنه بدن در جامعه، این درصدها بسیار متفاوت بوده و ارقام به دست آمده کیفیت نامطلوب شرایط تغذیه عمومی را تایید خواهد نمود. این امر بدان معنی است که هزینه‌های سرانه برای غذا در کشور، درحدی است که می‌توان با آگاه‌سازی عمومی شرایط تغذیه‌ای کشور را بهبود بخشید و این خواستهٔ مهم با توجه به همکاری مطلوب وزارتخانه‌های بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و جهاد کشاورزی و عنایت رسانه‌های عمومی در کوتاه مدت عملی خواهد بود. باید توجه کرد که در هزارهٔ سوم افزایش کیفیت محصولات کشاورزی برای حفظ منافع مصرف‌کنندگان و جلوگیری از نارسایی‌های فراوان تغذیه‌ای، کم اهمیت‌تر از افزایش کمی کشاورزی نمی‌باشد.

طبق گزارش‌های مستند موجود، علی‌رغم اینکه بیش از ۸۶ درصد جامعه ۸۰ میلیون نفری ایران سیر می‌باشند، لیکن بیش از ۹۰ درصد جامعه به نوعی از گرسنگی سلولی رنج می‌برند. به عبارت دیگر هر یک از اعضای جامعه به نحوی از کمبود عناصر غذایی به ویژه ریزمغذی‌ها، کلسیم و منیزیم در تنگنا هستند. لذا ضرورت دارد در برنامه چشم‌انداز ۲۰ ساله کشور، به جای تأمین کالری روزانه مورد نیاز که در حال حاضر رقمی در حدود ۳۰۰۰ کیلو کالری در روز است، سیر کردن سلول‌های گرسنه جامعه از طرق خرید محصولات کشاورزی به ویژه گندم بر منبای کمیت-کیفیت، هدفمند نمودن یارانه کودها و غنی سازی محصولات کشاورزی مد نظر قرار داده شود. در برنامه چشم‌انداز ۲۰ ساله کشور، به جای تأمین کالری روزانه مورد نیازکه درحال حاضر رقمی در حدود ۳۰۰۰ کیلوکالری در روز است، بایستی سیرکردن سلول‌های گرسنه جامعه از روش‌های مختلف مانند خرید محصولات کشاورزی به ویژه گندم برمبنای کمیت-کیفیت، هدفمند نمودن یارانه کودها و غنی‌سازی محصولات کشاورزی مد نظر قرار گیرد. غنی‌سازی محصولات کشاورزی می‌تواند از روش‌های متعددی از جمله روش اگرونومیکی در مزرعه که عمدتاً از طریق رعایت اصول مصرف بهینه کود (Enrichment) صورت گیرد. در این روش با رعایت اصول مصرف بهینه کودی در مزارع، باغ‌ها و مراتع، ضمن افزایش عملکرد و بهبود کیفیت، غلظت عناصر غذایی نیز در محصولات کشاورزی افزایش می‌یابد؛ یا اضافه کردن عناصر معدنی در محل فرآوری محصولات غذایی (Fortification) باشد. در این روش طی

فرآیند تهیه مواد غذایی نظیر آرد، شیر، ماکارونی و بیسکویت، مواد معدنی مورد نیاز و ویتامین‌ها با نسبت‌هایی مشخص و معلوم به مواد غذایی مصرفی افزوده می‌گردد و یا از طریق تولید ارقام کارآ با استفاده از علم اصلاح نژاد و یا استفاده از روش‌های نوین بخصوص مهندسی ژنتیکی (Bio-fortification) امکان‌پذیر است. از تحقیقات انجام شده در مزارع گندم در ۱۰ استان کشور چنین استنباط گردید که با مصرف سولفات روی، علاوه بر افزایش ۱۹ درصدی در عملکرد گندم، غلظت Zn در دانه گندم در استان‌های مختلف کشور به طور میانگین ۲۵ درصد افزایش یافت ولی این افزایش عمدتاً در سبوس بوده است، در حالی که غلظت Zn در آرد نمونه‌های شاهد و کودخورده، پائین بود (۱۰و ۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم). غلظت Zn در سبوس گندم شاهد و کود داده شده به ترتیب ۴۴ و۵۴ میلی‌گرم در کیلوگرم (تقریبا بیش از چهار برابر غلظت عنصر در آرد) بود (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷ و ملکوتی، ۱۳۹۰). با اجرایی کردن طرح غنی‌سازی محصولات کشاورزی علاوه بر الف) افزایش عملکرد و بهبود کیفیت؛ ب) ارتقای وضع معیشتی مولدین کشاورزی؛ پ) کاهش بخشی از بیماری‌ها، نارسایی‌های بهداشتی جامعه و ارتقاء سلامتی جامعه عاید جامعه خواهد شد، در مدت زمان پنج سال، موقعیت و رتبه بهداشتی ناشی از سوء تغذیه مردم ایران بهبود خواهد یافت. انجام این امر مهم که از طریق اصلاح نظام تأمین و عرضه کودها با هزینه‌های مناسب قابل تحقق می‌باشد، افزون بر صرفه‌جویی ارزی، باعث ایجاد اشتغال گسترده در کشور از طریق راه‌اندازی مجدد کارخانه‌های کودهای شیمیایی، زیستی و آلی خواهد شد.

۵-۵- نقش پتاسیم در کاهش اثرات شوری و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی[۱]

وجود مقادیر کافی پتاسیم برای حفظ حیات گیاه در شرایط شور ضروری است. خوشبختانه غشاهای پلاسمایی سلول‌های کورتکس ریشه، قدرت جذب بالایی برای پتاسیم (K^+) در مقابل سدیم (Na^+) دارند. هر چند که این انتخاب پذیری بین گونه‌های گیاهی کاملاً متفاوت است. این موضوع در جایی که غلظت سدیم محلول خاک بیش از پتاسیم است بسیار مهم است. انتخاب‌پذیری بالای K^+/Na^+ در گیاهان در شرایطی حفظ می‌شود که اولاً وضعیت کلسیم ریشه در حد کفایت بوده و ثانیاً به ریشه‌ها مقدار کافی اکسیژن برسد. البته درجه انتخاب پذیری K^+/Na^+ علاوه بر گونه‌های گیاهی حتی در درون ارقام یک گونه نیز متفاوت است. ریشه‌های گونه‌های مقاوم به شوری نسبت به‌گونه‌های حساس قدرت جذب بیشتری برای پتاسیم در مقابل سدیم دارند. شوری غلظت پتاسیم برگ ارقام پنبه حساس به شوری را بیش از ارقام مقاوم کاهش می‌دهد. شواهد نشان می‌دهد که در اکثر گونه‌های گیاهان گلیکوفیت سدیم می‌تواند تا حدودی جانشین پتاسیم شده بدون آنکه اثر منفی بر روی رشد داشته باشد (کشاورز، ۱۳۸۳).

---

۱. نوشتار این بند و آزمایش‌ها در سطح مزارع استان خراسان رضوی توسط همکار گرامی جناب آقای دکتر پیمان کشاورز دانشیار محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی انجام گرفته که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌نماید.

Marschner (۱۹۹۵) اکثر گونه‌های زراعی را در چهار گروه اصلی بسته به آنکه تا چه اندازه سدیم می‌تواند جایگزین پتاسیم شود، طبقه‌بندی نمود. در گونه‌های زراعی گروه اول بخش زیادی از پتاسیم می‌تواند به وسیله سدیم جایگزین شود (مثل چغندرقند، شلغم) در حالیکه در گونه‌های زراعی گروه چهارم (ذرت، لوبیا و کاهو) هیچگونه جایگزینی بین سدیم و پتاسیم اتفاق نمی‌افتد. برنج در گروه زراعی سوم طبقه بندی شده است. به طوریکه فقط جایگزینی اندکی بین پتاسیم و سدیم امکان داشته و سدیم اثر ویژه‌ای در رشد ندارد. با این وجود، در برنج نشان داده شده است که افزودن ۱۷ میلی مول NaCl به محلول کشت با پتاسیم پایین، رشد رویشی و عملکرد خوشه را افزایش می‌دهد. از این رو احتمالاً محتوی نسبتاً زیاد سدیم برای جبران تغذیه پتاسیم برنج در شرایط شور مفید خواهد بود.

۱-۵-۵- اثر پتاسیم بر کاهش تنش شوری: در شرایط غیر شور، نیترات جذب شده در ریشه‌ها بوسیله حرکت رفت و برگشتی پتاسیم(شاتل) به اندام هوایی منتقل شده و در آنجا احیاء و در نهایت تبدیل به پروتئین می‌گردد. بدنبال آن بواسطه فعالیت‌های متابولیسمی در اندام هوایی، مالات تولید می شود که بخشی از آن توسط پتاسیم به صورت مالات پتاسیم به ریشه‌ها منتقل تا با اکسید شدن برای ریشه‌ها تولید انرژی نماید. با اکسید شدن مالات، و تولید آنیون‌بی‌کربنات این آنیون از ریشه‌ها خارج شده و بجای آن نیترات داخل می‌گردد و این چرخه همچنان ادامه می‌یابد. تحت شرایط شور (زیادی کلر) و کمبود نسبی نیترات در محلول خاک، جذب کلر بر نیترات برتری یافته و با استفاده از پتاسیم از ریشه‌ها به اندام هوایی منتقل و در برگ‌ها تجمع پیدا می‌کند. در این وضعیت کلر بر خلاف نیترات نمی‌تواند وارد متابولیسم شده و در نتیجه علائم مسمومیت با تجمع کلر در برگ‌ها آغاز می‌شود. افزون بر این تولید پروتئین گیاه نیز کاهش می‌یابد. هنگامی که سدیم در محلول خاک زیاد است، سدیم بجای پتاسیم به صورت شاتل عمل کرده و نیترات را به اندام هوایی منتقل می‌کند، ولی سدیم بر خلاف پتاسیم قابلیت انتقال مجدد را در سیستم گیاهی نداشته و در نتیجه در برگ‌ها تجمع یافته و ایجاد مسمومیت می‌کند. همچنین در این شرایط مالات تولید شده در اندام هوایی نمی‌تواند به ریشه‌ها منتقل شود (چون پتاسیم اندک است) و در نتیجه ریشه‌ها رشد کافی نخواهند داشت (شکل ۷).

شکل ۷. چرخه غذایی در گیاهان تحت تاثیر شوری

باوجود قدرت جذب بیشتر پتاسیم نسبت به سدیم توسط گیاه، وضعیت پتاسیم گیاه بستگی به نسبت سدیم به پتاسیم در عصاره اشباع خاک دارد. اگر فرض شود که ترکیب محلول خاک در تعادل با فاز تبادلی است در این صورت با افزایش درصد سدیم تبادلی، جذب پتاسیم توسط ریشه گیاه کاهش می‌یابد. این اثر در لوبیا و چغندرقند مشاهده شده است. بررسی‌های دیگر نشان می دهد وقتی سدیم به صورت نمک و یا افزایش نسبت سدیم به کلسیم در محیط ریشه گیاه زیاد گردد، غلظت پتاسیم در بافت‌های گیاهی کاهش می‌یابد. کاهش جذب پتاسیم در نتیجه سدیم یک فرایند رقابتی است و ربطی به نوع نمک محلول غالب خاک ندارد (کلریدی یا سولفاتی).کمبود پتاسیم ناشی از سدیم و اثر آن بر روی کاهش رشد و عملکرد محصولات مختلف مثل گوجه‌فرنگی، اسفناج، رازیانه و ذرت گزارش شده است. با توجه به اینکه جذب و انتقال پتاسیم توسط گیاهان در محیط غنی از سدیم کاهش می‌یابد، اطلاعات زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد، افزودن پتاسیم به خاک‌های غنی از سدیم رشد و عملکرد گیاه را بهبود می‌دهد. محققین دریافتند که رشد اندام هوایی و ریشه برنج که در ۱۰۰ میلی‌مول در لیترنمک کلرید سدیم رشد کرده با افزایش مصرف پتاسیم از ۱ به ۷ میلی مول در لیتر(در محیط کشت محلول) افزایش یافته است. کشاورز و همکاران نشان دادند که بطور میانگین مصرف ۵۱۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم در هکتار سبب افزایش معنی‌داری (سطح ۵ درصد) عملکرد وش پنبه در شرایط شور و غیرشور گردید (شکل ۸). آن‌ها همچنین نشان دادند که بطور میانگین، عملکرد در شرایط شور (۳۱ درصد) و در شرایط غیرشور (۶ درصد) افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد پتاسیم با حذف اثر رقابتی سدیم در جذب، توانسته است عملکرد را در شرایط شور بهبود دهد (کشاورز، ۱۳۸۳).

شکل ۸. اثر مصرف پتاسیم بر عملکرد وش پنبه در شرایط شور و غیر شور (اعداد به ترتیب میانگین ۱۰، ۱۵ و ۲۵ نمونه خاک است)

محققین (۱۹۹۷) نشان دادند که شوری رشد اندام هوایی ذرت را هنگامی که غلظت پتاسیم در محلول غذایی کم باشد، بطور معنی‌داری کاهش می دهد،آنان همچنین یادآور شدند که شوری (NaCl) جذب خالص پتاسیم (K) و انتقال آن از ریشه به اندام هوایی را کاهش می‌دهد. همچنین گزارش نمودند که عملکرد ذرت به واسطه مصرف پتاسیم در شرایط شور افزایش می‌یابد ولی این افزایش در تمام سطوح شوری نسبی است. از طرف دیگر، وقتی پتاسیم به سطوح بالای شوری (۲۵۰ میلی مول در لیترکلرید سدیم) اضافه گردد، اثر شوری کاهش می‌یابد و رشد گیاه همچنین در سطوح پایین شوری وقتی پتاسیم محلول از ۰/۰۱ به ۱۰ میلی مول در لیتر برسد دو برابر می‌گردد. گزارش شده که افزودن پتاسیم در شرایط شور پارامترهای رشد را در گوجه‌فرنگی بهبود داده و اثرات منفی نمک کلرید سدیم را حذف می‌نماید. وی اثر بازدارندگی شوری بر انتقال پتاسیم از ریشه‌ها به اندام هوایی در مقادیر پایین پتاسیم بیشتر بوده و افزودن پتاسیم علاوه بر کاهش جذب سدیم مقاومت به شوری را در گوجه‌فرنگی افزایش می‌دهد. محققین اعلام نمودند که در نیشکر ژنوتیپ‌هایی که پتاسیم بیشتری را جمع می‌کنند احتمالاً نسبت به ژنوتیپ‌هایی که پتاسیم کمتری را ذخیره می‌کنند به شوری مقاوم‌ترند. کشاورز و همکاران (۲۰۰۴) حد بحرانی پتاسیم را درخاک‌های تحت کشت پنبه در شرایط شور ۲۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تعیین نمودند که حدود ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از شرایط غیرشور بیشتر بود (کشاورز، ۱۳۸۳).

از آنجاکه در شرایط مزرعه‌ای پتاسیم محلول خاک به طور نسبی پایین است بنابراین حتی بعد از افزایش کود پتاسیمی، تصور اینکه در اکثر حالات پتاسیم اضافه شده به خاک می‌تواند به طور کامل کمبود پتاسیم ناشی از سدیم را در گیاهان صدمه دیده تصحیح نماید مشکل است. گیاهان حساس به شوری نسبت به کاربرد پتاسیم در شرایط شورعکس‌العمل مناسب‌تری نشان می‌دهند. در یک آزمایش اثر پتاسیم بردو رقم برنج مقاوم و حساس به شوری که در خاک شور کشت شده بودند مورد بررسی قرار گرفت. محققین نشان دادند پتاسیم عملکرد، فعالیت فتوسنتزی، درصد دانه‌های پر شده و غلظت پتاسیم موجود در کاه را به طور معنی داری افزایش داد. افزون بر این رقم حساس به شوری عکس‌العمل معنی‌دارتری نسبت به افزایش پتاسیم نشان داد.بر اساس تحقیق میلانی و همکاران (۱۳۷۸) هنگامی‌که پتاسیم قابل جذب خاک ۲۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود، در شرایط متوسط و زیاد شوری با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم بیشترین عملکرد گندم حاصل شد ولی این افزایش عملکرد از نظر آماری معنی‌دار نبود.درودی و سیادت (۱۳۷۸) نیز گزارش کردند که مصرف پتاسیم درخاک باعث افزایش غلظت نیتروژن در برگ پرچم می‌شود. علاوه بر این عدم پاسخ محصول به مصرف پتاسیم درشوری بالا، می‌تواند بدلیل بالا بودن میزان پتاسیم در آب آبیاری باشد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که علی‌رغم بالا بودن غلظت پتاسیم در برگ گندم در برخی از تیمارها علائم کمبود پتاسیم بویژه در برگ‌های مسن ظاهر گردید و عکس‌العمل مثبت نسبت به مصرف پتاسیم مشاهده شد که با توجه به همبستگی شدید بین غلظت پتاسیم و کلر در برگ پرچم

می‌توان گفت که مقداری از پتاسیم جذب شده برای خنثی کردن بار الکتریکی کلر ذخیره شده در واکوئل‌ها حبس گردیده و کمکی به واکنش‌های حیاتی نمی‌نمایند. در این شرایط مصرف پتاسیم باعث افزایش غلظت پتاسیم در برگ و افزایش عملکرد خواهد شد.از طرفی نتایج بررسی‌های آنجام شده توسط کشاورز (۱۳۸۸) نشان داده است با افزایش مصرف پتاسیم آستانه تحمل گندم رقم فلات به شوری افزایش می‌یابد. مصرف مقادیر متفاوت پتاسیم موجب گردید تا آستانه تحمل به شوری گندم بین ۱/۹ تا ۳/۴ دسی زیمنس بر متر متفاوت گردد. در حالی که در تیمار بدون مصرف پتاسیم آستانه تحمل به شوری گندم ۲/۸ دسی زیمنس بر متر برآورد گردید این شاخص در غلظت‌های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مصرف پتاسیم به ترتیب به ۲/۹، ۳/۴ و ۱/۹ بود. بر اساس نتایج این آزمایش، صرف نظر از اینکه غلظت بالاتر پتاسیم (۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تمام محدوده‌های شوری خاک موجب کاهش وزن دانه گردید، اما تاثیر مصرف سایر مقادیر پتاسیم در عملکرد گندم بسته به تغییرات شوری خاک متفاوت بود. در دامنه شوری خاک کمتر از ۶ دسی زیمنس بر متر بالاترین عملکرد دانه گندم از مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم بدست آمده است. با توجه به پایین بودن میزان پتاسیم قابل استفاده خاک (۱۴۸ mg/kg) مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم (K_2O) در این شرایط برای بدست آوردن بیشترین وزن دانه کافی بوده و غلظت‌های بیشتر احتمالا با بهم زدن تعادل عناصر غذایی درخاک سبب کاهش وزن دانه شده اند. در حالی که در دامنه شوری خاک $۶ < EC_e \leq ۱۳$، به دلیل فزونی سدیم در محلول خاک، افزایش مصرف پتاسیم به ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم توانسته در یک فرایند رقابتی با سدیم، اثر سوء شوری را بر رشد گیاه کاهش داده تا بیشترین عملکرد دانه گندم بدست آید. مجموع این عوامل سبب شده که گندم با مصرف بالاتر پتاسیم تحمل بیشتری نسبت به شوری داشته باشد (شکل ۹).

شکل ۹. رابطه عملکرد دانه گندم(رقم فلات) و شوری خاک در مقادیر متفاوت مصرف پتاسیم (K_2O)

۲-۵-۵- اثر مصرف پتاسیم بر افزایش عملکرد هکتاری گندم و کلزا

به منظور بررسی پاسخ گندم به مصرف پتاسیم آزمایش مزرعه ای در جلگه رخ تربت حیدریه- مزرعه آقای هادی‌زاده در سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ اجرا شد (شکل زیر). نتایج نشان داد که مصرف ۲۵۰ کیلوگرم کود سولفات‌پتاسیم در شرایطی که میزان پتاسیم قابل استفاده کمتر از ۱۹۵ میلی گرم در کیلوگرم بود، عملکرد دانه گندم را ۵۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۱۰).

شکل ۱۰. اثر مصرف پتاسیم در افزایش طول دوره رشد گندم (سمت راست تصویر) در مقایسه با عدم مصرف آن (تصویر سمت چپ) در منطقه جلگه رخ استان خراسان رضوی (کمبود پتاسیم موجب کوتاه شدن دوره رشد و وزن کم دانه گندم شده است).

همچنین، اثر مصرف پتاسیم بر روی عملکرد دو رقم کلزا در جدول ذیل نشان داده شده است. پتاسیم اثر معنی‌داری بر روی عملکرد کلزا داشته است. نتایج نشان می‌دهدکه در هر دو رقم بیشترین عملکرد از مصرف ۶۰ کیلوگرم K_2O در هکتار بدست آمده است.

اثر مصرف پتاسیم بر عملکرد (کیلوگرم درهکتار) دو رقم‌کلزا (کشاورز، ۱۳۸٤)

رقم	۰	۶۰	۱۲۰	۱۸۰
	(K_2O kg/ha)			
گلوبال	c۲۰۷۳	a۲۵۷۶	a۲۲۹۲	b۲۲۵۳
سرز	c۱۹۹۰	a۲۵۵۸	a۲۲۵۲	b۲۲۰۰
میانگین	c۲۰۳۱	a۲۵۶۷	a۲۲۷۲	b۲۲۲۶

*حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده معنی دار بودن مقایسه میانگین در سطح (۵٪) به روش دانکن است.

۶-۵- نقش پتاسیم در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش آلاینده‌ها[1]

پتاسیم نقشی حیاتی در تنظیم عملکرد کمی و کیفی محصول بازی می‌کند. به طوریکه کمبود پتاسیم و روی از بروز پتانسیل محصول‌دهی گیاه و همچنین کیفیت محصول جلوگیری می‌کنند مخصوصا در سیب‌زمینی و پیاز. با توجه به نقش پتاسیم و روی در تقویت دیواره سلولی و انتقال کربوهیدرات‌ها از برگ به دیگر نقاط گیاه و همچنین عمل آن‌ها به عنوان ضد یون‌ها، احتمال کاهش آلودگی در قسمت‌های خوراکی سبزیجات نظیر سیب‌زمینی و پیاز وجود دارد. پتاسیم به عنوان یک عنصر ضروری برای تمام ارگانیسم‌های زنده می‌باشد. این از جمله کاتیون‌های فراوان که در بافت‌های گیاهی حضور دارد به علاوه عملکرد های فیزیولوژیکی و بیوشیمایی فراوانی دارد. واکنش‌های متابولیک روی بر اساس تمایل شدید آن برای تشکیل ترکیبات تتراهدرال با با باندهای نیتروژن، اکسیژن و خصوصا گوگرد پایه‌گذاری شده است و آن شاید نقش دوگانه ساختاری و عملکردی در واکنش‌های آنزیمی بازی کند. اگر چه بیش از ۷۰ متالوآنزیم که شامل روی هستند شناسایی شدند و اینها فقط قسمت کوچکی از نقش‌های روی در گیاهان بشمار می‌آید. برای بررسی تاثیر منابع کودی پتاسیمی و روی، زمان مصرف و میزان آن‌ها روی کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی، چند آزمایش مزرعه‌ای در پنج سال گذشته در سطح استان توسط دکتر احمد بای‌بوردی استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی آذربایجان شرقی مورد بررسی قرار گرفت.

۱-۶-۵- تاثیر زمان‌های مختلف مصرف پتاسیم بر کمیت و کیفیت گندم در آذربایجان شرقی:

به منظور تعیین زمان‌های مختلف مصرف پتاسیم برای گندم آزمایش‌هایی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تیمار و در ۳ تکرار در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ در چهار مزرعه شهرستان مرند توسط بای بوردی (۱۳۸۶) در چهار مزرعه با میانگین پتاسیم ۱۲۹ میلیگرم در کیلوگرم به اجراء درآمد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از تیمار اول= کل مصرف پتاسیم هنگام کشت؛ نیمار دوم=کل مصرف پتاسیم به صورت سرک ؛ و تیمار سوم= نصف پتاسیم هنگام کشت ونصف سرک.به منظور ارزیابی حاصلخیزی خاک از محل مورد آزمایش نمونه خاک تهیه و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی تعیین گردید. عرض کرتها در آزمایش ۴ متر و طول آن‌ها ۷ متر در نظر گرفته شد که شامل ۲۱ ردیف به فواصل ۱۷/۵ سانتی‌متر بود. کودهای مربوط به هر کرت آزمایشی در پائیز به‌طور یکنواخت در سطح کرت‌ها پخش و به کمک دیسک با خاک سطحی در جهت عمود بر تکرارها مخلوط گردید. رقم گندم الوند و به میزان ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار پس از ضدعفونی با قارچ‌کش ویتاواکس به نسبت دو در هزار کشت شد. تمامی کودهای فسفاتی و

۱.نوشتار این بند و آزمایش‌ها در سطح مزارع استان آذربایجان شرقی توسط همکار گرامی جناب آقای دکتر احمد بای‌بوردی استادیار محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی انجام گرفته که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌نماید.

ریزمغذی‌ها بر مبنای آزمون خاک و کودهای ازته هنگام کشت و بقیه کود ازته در انتهای پنچه‌زنی و حوالی ساقه‌رفتن و ظهور سنبله مورد استفاده قرار گرفت. مصرف پتاسیم براساس آزمون خاک در تیمارهای سه گانه اعمال شد. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد و درصد پروتئین هنگامی بدست آمدکه مصرف پتاسیم نصف سرک و نصف هنگام کشت صورت گرفت. بنظر می رسد محلول خاک در اوایل کاشت تا پنجه زنی که نیاز نسبتا کمی به پتاسیم دارد با مصرف هنگام کشت تأمین شده وسپس در مراحل حساس فنولوژیکی ساقه رفتن و ظهور سنبله مصرف سرک پتاسیم در کنار ازت توانسته نقش مهمی در افزایش عملکرد وبهبود کیفیت محصول داشته باشد (شکل ۱۱).

شکل ۱۱. تأثیر تیمارهای مختلف بر عملکرد (تصویر سمت راست) و درصد پروتئین دانه گندم (تصویر سمت چپ) در ٤ منطقهٔ مورد آزمایش (درصد رس ۳۰ و میزان پتاسیم قابل استفاده ۱۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بود)

۲-۶-۵- محلول‌پاشی پتاسیم و سیلیسیم بر تحمل به شوری در سه رقم گندم: این آزمایش در سه مرحله جوانه‌زنی، گلدانی و مزرعه‌ای اجرا شد. ابتدا میزان تحمل به شوری سه رقم میهن، اوروم و الوند مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به تحمل مطلوب رقم اروم برای ارزیابی مزرعه‌ای در کنار رقم الوند بعنوان شاهد انتخاب شدند. به منظور بررسی اثر کاربرد خارجی سیلسیوم و پتاسیم بر برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم (اروم و الوند) تحت شرایط تنش شوری، آزمایشی در مزرعه مرکز تحقیقات منابع طبیعی و کشاورزی آذربایجان شرقی طی سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ اجرا گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در هر سال به اجرا در آمد. بذور ارقام گندم در خاک شور (۱۰ دسی زیمنس بر متر) مزرعه تحقیقاتی کشت گردیدند و با آب شور منطقه (۴ دسی زیمنس بر متر) آبیاری شدند. تیمارهای سیلسیوم و پتاسیم به صورت محلول‌پاشی با غلظت‌های ۰، ۲ و ۴ میلی مولار سیلسیوم و ۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی مولار پتاسیم به کار گرفته شدند. نتایج نشان داد که کاربرد سیلسیوم و پتاسیم سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، محتوی کلروفیل، نرخ فتوسنتز، جذب پتاسیم، عملکرد و اجزای عملکرد در هر دو رقم مورد بررسی می‌گردد. اگرچه سیلسیوم و پتاسیم اثر معنی‌داری بر تمامی صفات مورد بررسی داشتند، اما اثر متقابل قابل توجهی

بین آن‌ها نیز مشاهده شد. زمانی‌که هر دو عنصر به طور همزمان روی گیاهان اعمال شدند، اثر مثبت آن‌ها بر صفات مورد مطالعه بیشتر مشهود بود. از بین تمامی تیمارها، موثرترین تیمار، تیمار ۴ میلی مولار سیلسیوم و ۳۰۰ میلی مولار پتاسیم بود چرا که این تیمار بالاترین میزان فعالیت آنزیمی، محتوی کلروفیل، فتوسنتز، جذب پتاسیم، عملکرد دانه و اجزای عملکرد و همپنین کمترین تجمع پرولین، مالون دی آلدهید و سدیم را به خود اختصاص داده بود. بررسی اقتصادی نشان داد که نتایج بدون مصرف پتاسیم و سیلسیوم به‌طور متوسط عملکرد گندم ۳۳۴۰ کیلوگرم در هکتار بوده که این مقدار در رقم اروم ۱۴۲ کیلوگرم بیشتر می‌باشد و انتظار می‌رود با افزایش مصرف پتاسیم به ازای هر کیلوگرم افزایشی معادل ۱/۷۷ کیلوگرم در عملکرد داشته باشیم. این افزایش به ازای هر دو میلی مول سیلیسیوم ۳۹۸ کیلوگرم است. بر اساس یافته‌های پژوهش در سال دوم عملکرد به‌طور متوسط و بدون توجه به تیمار و رقم ۴۶۷ کیلوگرم کاهش داشته کاربرد سیلیسیوم باعث افزایش بیشتری در عملکرد گندم در رقم اروم به میزان ۱/۴۴ کیلوگرم در هکتار می‌شود. در مورد مصرف پتاسیم نیز نتیجه مشابهی ایجادشده است. به‌گونه‌ای که در رقم اروم نسبت به الوند افزایش بیشتری در عملکرد به میزان ۱/۴۴ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد.

۳-۶-۵- تاثیر مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی در عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی در آذربایجان شرقی: به منظور بررسی اثر مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی بر کمیت و کیفیت سیب‌زمینی این آزمایش با ۵ تیمار کودی در ۴ تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۸۶ در۷ مزرعه شهرستان مرندآذربایجان‌شرقی اجراء گردید. تیمارهای کودی عبارتند از تیمار اول= شاهد (۵۰۰کیلوگرم در هکتار کود اوره (بر اساس آزمون خاک + ۵۰ کیلوگرم در هکتار هر کدام از کودهای سولفات آهن، سولفات منگنزو سولفات روی ۲۵ کیلوگرم، سولفات مس و اسید بوریک)، تیمار دوم=$K_{۷۵}$ (مقدار توصیه شده سایر عناصر براساس آزمون خاک)، تیمار سوم=$K_{۱۵۰}$، قبل از اجرای آزمایش یک نمونه مرکب خاک (۳۰-۰ سانتیمتری) به همراه یک نمونه آب آبیاری برای انجام آزمایش‌های فیزیکوشیمیائی برداشته و براساس روش‌های متداول مورد تجزیهٔ آزمایشگاهی قرار گرفتند. یک چهارم کود ازته وپتاسه بهمراه تمامی کود سوپرفسفات تریپل و کودهای ریزمغذی براساس آزمون خاک و با در نظر گرفتن تیمارهای کودی به صورت نواری موقع کاشت مصرف گردید. مقایسهٔ میانگین‌ها براساس روش دانکن انجام گرفت.

تاثیر تیمارهای مختلف کودی بر درصد ماده خشک و درصد پروتئین غده در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت. تاثیر تیمارهای کودی بر عملکرد غده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده و حداکثر عملکرد مربوط به تیمار سوم با عملکرد ۵۶/۹۵ تن در هکتار بود. عملکرد غده در سطح پائین، مصرف کودی نسبت به عملکرد در سطوح بالای مصرف کود سولفات‌پتاسیم اختلاف معنی‌داری داشت.بین تیمارهای سولفات‌پتاسیم نیز از نظر عملکرد در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت و عملکرد غده در سطوح بالای مصرف سولفات‌پتاسیم بطور معنی‌داری

با عملکرد غده در شاهد اختلاف داشت. افزایش درصد ماده خشک غده در تمامی تیمارها نسبت به شاهد در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بوده و مصرف سطوح مختلف سولفات‌پتاسیم درصد ماده خشک غده را بطور معنی‌دار افزایش داد. درصد ماده خشک در تیمارهائی که در آن‌ها سولفات‌پتاسیم مصرف شده بود، بالا بوده و این تیمارها از لحاظ درصد ماده خشک نسبت به شاهد در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری داشتند. همچنین، نتایج حاکی از معنی‌دار بودن تفاوت تعداد غده در بوته تحت تاثیر تیمارهای کودی در سطح یک درصد بود. تفاوت کلیهٔ تیمارها نسبت به شاهد از لحاظ تعداد غده در بوته در سطح یک درصد معنی‌دار گردید و تیمارسوم بیشترین تعداد غده در بوته را داشت. بنظر می‌رسد مصرف پتاسیم به صورت سرک در مقادیر کم در کنارکاربرد ازت تاثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد واجزا عملکرد داشته است و چنین میتوان نتیجه‌گیری کرد که مصرف همزمان سرک ازت و پتاسیم در مراحل حساس فنولوژیک، تاثیر محسوسی در افزایش عملکرد وکیفیت سیب زمینی داشته است.

۴-۶-۵- تاثیر زمان مصرف کودهای پتاسیمی در عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی در آذربایجان شرقی: به منظور بررسی اثرات زمان‌های مختلف مصرف کودهای پتاسیمی بر کمیت و کیفیت سیب‌زمینی این آزمایش با ۴ تیمار کودی در ۳ تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۱۳۸۵ در۲ مزرعه شهرستان سراب آذربایجان‌شرقی اجراء گردید. تیمارهای کودی عبارتند از تیمار اول= شاهد، تیمار دوم=مصرف کل پتاسیم هنگام کشت، تیمارسوم=مصرف کل پتاسیم به صورت سرک وتیمارچهارم=نصف مصرف پتاسیم هنگام کشت ونصف سرک، قبل از اجرای آزمایش یک نمونه مرکب خاک (۳۰-۰ سانتیمتری) به همراه یک نمونه آب آبیاری برای انجام آزمایش‌های فیزیکوشیمیائی برداشته و براساس روش‌های متداول مورد تجزیهٔ آزمایشگاهی قرار گرفتند. یک چهارم کود ازته به همراه تمامی کود سولفات‌پتاسیم و کودهای ریزمغذی براساس آزمون خاک و با در نظر گرفتن تیمارهای کودی به صورت نواری موقع کاشت مصرف گردید. مقایسهٔ میانگین‌ها براساس روش دانکن انجام گرفت. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای مختلف کودی بر درصد ماده خشک و درصد پروتئین غده در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت. تاثیر تیمارهای کودی بر عملکرد غده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده و حداکثر عملکرد مربوط به تیمار سوم با عملکرد ۵۷ تن در هکتار بود. بیشترین میزان عملکرد و اجزا عملکرد موقعی بدست آمد که نصف پتاسیم به کار رفته بر اساس نتایج تجزیه خاک در هر منطقه هنگام کشت مصرف شده و نصف آن به صورت سرک بکار رفته بود. بنظر می‌رسد مصرف سرک هماهنگ با مراحل حساس فنولوژیک سیب‌زمینی موقعی که کیفیت کود تولیدی مطلوب باشد تاثیر محسوس تری بر عملکرد و اجزا عملکرد خواهد داشت این امر در مزارعی که پتاسیم قابل جذب آن‌ها کمتر از حد بحرانی و میزان رس بالایی داشته باشند بیشتر دیده می‌شود (شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴).

شکل ۱۲. تاثیر زمان مصرف کودهای پتاسیمی در عملکرد سیب‌زمینی

شکل ۱۳. تاثیر زمان مصرف کودهای پتاسیمی در درصد ماده خشک سیب‌زمینی

شکل ۱۴. تاثیر زمان مصرف کودهای پتاسیمی در غلظت نیترات غده سیب‌زمینی

شکل ۱۵. تاثیر زمان مصرف مقادیر مختلف سولفات روی در عملکرد سیب‌زمینی

شکل ۱۶. تاثیرمصرف مقادیر مختلف سولفات روی در درصد ماده خشک سیب‌زمینی

شکل ۱۷. تاثیر مصرف مقادیرمختلف سولفات روی در کاهش غلظت نیترات غده‌های سیب‌زمینی

شکل ۱۸. تاثیر مصرف مقادیر مختلف سولفات روی در کاهش غلظت کادمیوم غده‌های سیب‌زمینی

۵-۶-۵- تاثیر مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی وروی در عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی در آذربایجان‌شرقی: بـه‌منظور بررسی اثر مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی بر کمیـت و کیفیت سیب‌زمینی، در بهار سال ۱۳۹۱ طرح آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۵ تیمار و ۴ تکرار در ایستگاه ایستگاه تیکمه‌داش با مقدار پتاسیم ۱۱۵ و روی ۰/۳۵ میلی گرم در کیلوگرم پیاده گردید. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از تیمار اول = شاهد، تیمار دوم= $K_{۷۵}$، تیمار سوم= $K_{۱۵۰}$،تیمارچهارم= $K_{۲۲۵}$، تیمار پنجم= $K_{۳۰۰}$، نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد عملکرد غده و تعداد غده در بوته در سطح یک درصد، درصد ماده خشک و درصد پروتئین غده در سطح پنج درصد تحت تاثیر تیمارهای کودی قرار گرفتند. حداکثر عملکرد مربوط به تیمار چهارم با عملکرد ۵۹۹۷۰ کیلوگرم در هکتار بود. کلیهٔ تیمارها با تیمار شاهد از لحاظ عملکرد و درصد ماده خشک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشتند. مقایسه‌های اورتوگونال بین دو منبع کودی نشان داد عملکرد غده و تعداد غده اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد و درصد ماده خشک و درصد پروتئین اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشتند. با افزایش سطوح پتاسیم از میزان نیترات غده سیب‌زمینی بطور معنی‌داری کاسته شد. نتایج بدست آمده (افزایش درصد ماده خشک و درصد پروتئین با یافته‌های حسین‌پور، ۱۳۷۲؛ ملکوتی، ۱۳۷۸ و نوری ۱۳۸۰ مطابقت داشت. مصرف فراوان و بیشتر از حد آزمون خاک کودهای پتاسیمی با عنایت به تخلیه شدن خاک‌های زراعی از پتاسیم (در اثر استمرار کشت سیب‌زمینی) یک امر ضروری به نظر می‌رسد. زیرا سیب‌زمینی یکی از گیاهان پرنیاز به پتاسیم بوده و مصرف پتاسیم تاثیر زیادی بر افزایش عملکرد کمی و بهبود کیفی آن دارد. منتها بایستی به درصد رس، وضعیت تخلیهٔ پتاسیم، مقدار پتاسیم قابل استفاده، شرایط اقلیمی، نوع رس و عملکرد مورد انتظار توجه نمود. با افزایش سطوح پتاسیم میزان نیترات اندازه‌گیری شده در غده سیب‌زمینی نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند، که احتمالاً به نقش این عنصر در احیای نیترات مربوط باشد.

۶-۶-۵-نقش پتاسیم وروی بر کاهش آلایندگی نیترات و کادمیوم در پیاز و سیب‌زمینی: برای بررسی تاثیر منابع کودی روی و پتاسیم و میزان آن‌ها روی کمیت و کیفیت محصول مخصوصا سطوح آلوده کننده نیترات و کادمیوم در پیاز و سیب زمینی در سه آزمایش مزرعه‌ای مختلف در پنج سال گذشته طرح‌ریزی شد:

آزمایش اول، طرح بلوک‌های کاملا تصادفی با ۱۰ تیمار و ۴ تکرار در مزرعه بناب آذربایجان شرقی. برای

بررسی تاثیر میزان و منابع کودی پتاسیم روی کمیت و کیفیت محصول سیب زمینی پیاده شد. تیمار ها شامل : ۱) شاهد ۲) پتاسیم کلرید، میزان بر اساس آزمایش خاک، تیمار سوم و چهارم پتاسیم کلرید ۵۰ و ۱۵۰ درصد بیشتر از آزمایش خاک، تیمار پنجم شامل تیمار ۴ به علاوه سولفات روی، تیمار ششم شامل سولفات پتاسیم بر اساس آزمایش خاک، تیمار هفتم و هشتم شامل سولفات پتاسیم در غلظت های ۵۰ و ۱۵۰ درصد بیشتر از آزمایش خاک، تیمار۹ شامل تیمار ۸ به علاوه سولفات روی و تیمار ۱۰ شامل هرسه پتاسیم کلرید، پتاسیم سولفات و سولفات روی می باشد.

آزمایش دوم، طرح بلوک‌های کاملا تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی زنجان پایه‌ریزی شده بود. تیمار ها شامل T_1) کوددهی به روش سنتی کشاورزی (NP)؛ T_2) کود های ماکرو به علاوه میکروالمنت (بر اساس آزمایش خاک)؛ T_3 و T_4) تیمار دوم به علاوه ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات پتاسیم؛ T_5 و T_6) تیمار دوم به علاوه ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار پتاسیم کلرید؛ T_7 و T_8) تیمار دوم به علاوه ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات پتاسیم قبل از کاشت +۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار پتاسیم کلرید در؛ T_9 و T_{10}) تیمار چهارم به علاوه ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی؛ T_{11}) تیمار ۱۰ به علاوه ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات منیزیوم؛ T_{12}) تیمار هشتم به علاوه ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی.

آزمایش سوم، طرح بلوک های کاملا تصادفی با ۶ تیمار و سه تکرار در خسروشهر آذربایجان شرقی پیاده شد. تیمار ها شامل ۶ سطح سولفات روی (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، و ۵۰ کیلوگرم بر هکتار).

در **آزمایش اول** تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت معنی داری در سطح ۱ درصد در محصول سیب زمینی، اندازه غده‌ها، محتوای نشاسته، سطوح پتاسیم و روی در غده‌ها و سطح کلرین در برگ ها مشاهده شد. بیشترین میزان محصول در تیمار دهم به میزان ۵۰ تن در هکتار مشاهده شد. همه تیمارها به جز تیمار چهارم محصول بیشتری دادند و برای غده‌ها مواد خشک بالاتری تولید کردند که در سطح ۵ درصد تفاوت معنی داری با تیمار شاهد داشتند (۴۴ تن محصول در هکتار). در حالی که در تیمار های شاهد غلظت نیترات و کادمیوم به ترتیب به میزان ۷۴ میلی گرم بر کیلوگرم وزن تر و ۰/۴۸ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک بود (شکل ۱۵).

در **آزمایش دوم** نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد در بین تیمارها نشان داد. در حالی که میانگین محصول برای کرت های شاهد ۱۸/۳ تن در هکتار می باشد. تیمار سوم و چهارم با عملکرد ۳۴/۶ و ۳۷/۹ و برای تیمار دهم ۴۰/۷ تن در هکتار محصول تولید کردند. محصول تولیدی تیمار هفتم به میزان ۳۴ تن که تفاوت معنی‌داری با تیمار سوم نداشتند. تفاوت معنی داری در سطح یک درصد در محتوای نیترات و کادمیوم غده‌ها و درصد محتوای ماده خشک در تیمارهای مختلف مشاهده شد. کمترین سطوح نیترات و کادمیوم و بالاترین درصد ماده خشک در تیمار دهم مشاهده شد. در حالی که در کرت های شاهد غلظت نیترات و کادمیوم ۱۵۸ میلی گرم بر کیلوگرم وزن تر و ۰/۲۹ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک بود که این مقادیر به ترتیب به ۷۵ میلی گرم بر کیلوگرم وزن تر و کمتر ۰/۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک کاهش یافت (شکل‌های فوق).

در **آزمایش سوم** نیز نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد در بین تیمارها نشان داد. بالاترین میزان محصول (۴۹ تن در هکتار) با ۵۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی بدست آمد.

همانطور برای کیفیت، کاربرد خاکی در پیاز با محتوای اسید آسکوربیک (۱۴ میلی گرم بر کیلوگرم) و اسیدیته قابل تیتراسیون با ۴۰ کیلو گرم در هکتار سولفات روی بدست آمد. بالاترین محتوای نیترات (۲۶۹ میلی گرم بر کیلوگرم) در غده‌های پیاز در کرت های شاهد بدست آمد. پایین ترین غلظت کادمیوم (کمتر از ۰/۰۵ میلی گرم بر کیلوگرم) در تیمار با ۵۰ کیلوگرم سولفات روی بدست آمد. در روش کوددهی سنتی، عمر پس از برداشت سیب زمینی و پیاز به علت پایین بودن درصد ماده خشک پیاز ها و غده‌ها کاهش می یابد. بالاترین میزان آلودگی نیترات و کادمیوم در پیاز و سیب زمینی در مصرف نامتعادل کودها بدست امد. افزایش کوددهی پتاسیمی و روی همبستگی بالایی با میزان محصول بالا و کیفیت بهتر دارد. ماده خشک پیاز و سیب زمینی با کاربرد کودهای پتاسیمی و روی افزایش می یابد. بنابراین، با افزایش کاربرد آن‌ها درصد ماده خشک، عمر پس از برداشت، افزایش و در مقابل، کاربرد کودهای پتاسیمی و روی غلظت نیترات و کادمیوم در غده‌های سیب زمینی و پیاز بطور معنی‌داری کاهش می‌یابد.

شکل ۱۹. خصوصیات کمی و کیفی غده‌های سیب‌زمینی در دومنطقهٔ موردآزمایش

با عنایت به نتایج فوق، بای‌بوردی در تحقیقات متعدد خود به این نتیجه رسید که مصرف سرک ۳۰ تا ۵۰ درصد نیاز پتاسیمی گندم همزمان با مصرف اوره بهاره، بهترین تیمار کودی پتاسیمی در گندم بوده است. لیکن در سیب‌زمینی اختلاف چندان معنی‌داری در تقسیط کلروپتاسیم مشاهده نشد. شاید دلیل این امر طول زمان رشد سیب‌زمینی در مقایسه با گندم که بسیار کوتاهتر است، بوده باشد. همچنین ایشان در رابطه با نقش کودهای پتاسیمی و روی در کاهش آلاینده‌ها در سیب‌زمینی و پیاز، به نتیجه رسید که مصرف تلفیقی کودهای پتاسیمی و روی ضمن افزایش کمی و کیفی سیب‌زمینی و پیاز، از غلظت نیترات و کادمیوم نیز به طور معنی‌داری در غده‌های سیب‌زمینی و پیاز کاسته می‌شود (شکل ۱۹).

ایشان در آزمایش‌های متعدد خود نشان داد که این میزان کاهش در زمانی که ۳۰ تا ۵۰ درصد کودهای پتاسیمی به صورت قبل از کاشت و بقیه به صورت سرک مصرف شده بود، بیشتر مشهود بود. بدیهی است ایشان در آزمایش‌های خود از سولفات پتاسیم قبل از کاشت و از کلرورپتاسیم به صورت سرک استفاده کرده است. به نظر نگارنده اول اگر به جای کلرورپتاسیم سرک، از سولوپتاس استفاده می‌نمود، این مقدار درصد کاهش آلاینده‌ها باز هم بیشتر مشهود می‌شود. این موضوع تحت بررسی بوده و امید است در چاپ بعدی کتاب، نتایج این بررسی درج گردد تا روش بهتری (استفاده از سولوپتاس به جای کلرور پتاسیم) برای کنترل آلاینده‌های نیترات و کادمیوم و افزایش کارایی کودهای پتاسیمی ارائه گردد.

۷-۵- بررسی وظایف پتاسیم و روی در گیاهان وانواع، زمان و روش مصرف آن‌ها

۱-۷-۵- پتاسیم (K): پتاسیم جزء عناصر مورد نیاز گیاه می‌باشد. مقدار پتاسیم موجود در پوستهٔ زمین، حدود ۱/۹ تا ۲/۳ درصد است (مقدار پتاسیم کل در خاک‌های زراعی بین ۰/۵ تا ۲/۵ درصد می‌باشد). این مقدار در مقایسه با دیگر عناصر پرنیاز قابل توجه می‌باشد. مقدار این ماده در خاک‌های مختلف متفاوت است، اما آن قسمت از کل پتاسیم موجود در خاک که به صورت قابل تبادل یا قابل استفادهٔ گیاه باشد، ناچیز است. مقدار پتاسیمی که جذب گیاه می‌شود، با مقدار مورد استفاده گیاه در اکثر مواقع برابری می‌نماید. گیاهان همانند نیتروژن، نیاز فراوانی به پتاسیم دارند. پتاسیم فراوان‌ترین عنصر غذایی در ۱۵ سانتیمتری بخش بالایی خاک است. اما این شرایط، لزوماً بدان معنا نیست که پتاسیم قابل دسترس‌ترین عنصر برای گیاه است. زیرا، مقدار پتاسیم قابل دسترس برای گیاه به میزان پتاسیم موجود در بخش قابل دسترس (محلول و تبادلی) بستگی دارد. پتاسیم فراوان‌ترین کاتیون موجود در سیتوپلاسم است. جذب آن بسیار انتخابی و به فعالیت‌های سوخت‌وسازی بستگی دارد و در همه سطوح گیاه، تحرک زیاد دارد. بر خلاف نیتروژن، گوگرد، و چند عنصر دیگر، ظاهراً پتاسیم بخش الزامی از اجزایی مانند پروتوپلاسم، چربیها و سلولز نیست و عمل آن در طبیعت بیشتر کاتالیزوری است. علی‌رغم این حقیقت، پتاسیم در اعمال فیزیولوژیکی سوخت‌وساز کربوهیدرات یا تشکیل و تجزیه و انتقال نشاسته، سوخت‌وساز ترکیب پروتئین‌ها، کنترل و تنظیم فعالیت‌های عناصر کانی اساسی گوناگون، خنثی کردن اسیدهای آلی از نظر فیزیولوژیکی مهم، فعال سازی آنزیم‌های مختلف، تسریع رشد بافت‌های مریستمی و تنظیم روابط حرکات روزنه‌ها و آب نقشی اساسی دارد. ظهور علایم کمبود عنصر غذایی نظیر پتاسیم (عنصری پویاست)، ابتدا به‌صورت نکروزه شدن برگ‌های پیر به‌صورت لکه‌هایی در امتداد طولی برگ خودنمایی می‌نماید. افزایش غلظت پتاسیم در اندام‌های گیاهی به ویژه برگ بیش از حد طبیعی، مصرف تجملی پتاسیم گفته می‌شود. جنبه‌های مثبت مصرف تجملی با اثر آن بر کاهش تنش‌های زنده و غیرزنده و همچنین اثرات مفید آن بر بهبود کیفیت محصول، افزایش کارایی آب، مقاومت به تنش خشکی، افزایش مقاومت به سرمازدگی، آفات و بیماری‌ها و جنبه‌های منفی آن با دخالت احتمالی آن در جذب و یا میزان فراهمی فیزیولوژیکی منیزیم و کلسیم شناخته می‌شود. بنابراین مصرف کودهای پتاسیمی می‌بایست همیشه در حد بهینه باشد (Marschner، ۱۹۹۵ و ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷).

۲-۷-۵- نوع و زمان مصرف کودهای پتاسیمی: مقدار پتاسیم (K) مصرفی بسته به نوع گیاه، عملکرد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک زیر کاشت متفاوت است. اگر مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک با روش استات آمونیوم یک نرمال، بیش از ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک باشد، نیاز به مصرف سولفات‌پتاسیم قبل از کاشت نخواهد بود، ولی به هر حال مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار کلرورپتاسیم ویا سولوپتاس همراه با سرک بهاره اوره، توصیه می‌شود. سولفات‌پتاسیم قبل از کاشت مصرف و با شخم زیر خاک قرار داده شود. در صورتی که پتاسیم موجود در خاک برای رفع نیاز گیاه کافی نباشد و کود پتاسیمی نیز قبل از کاشت مصرف نشده باشد، مصرف سرک کلرورپتاسیم در دو الی سه نوبت همزمان با مصرف سرک کودهای نیتروژنی در مراحل مختلف رشد محصولات زراعی توصیه می‌شود. برای محصولات زراعی، مصرف سولفات‌پتاسیم یا کلرورپتاسیم از نظر نوع کود تفاوت چندانی نداشته و حتی در خاک‌های کم شور نیز بدون خطر، قابل مصرف می‌باشند. با این وجود در صورت امکان، مصرف سولفات پتاسیم در خاک‌های شور (با شوری بیش از ۴ دسی زیمنس بر

متر) ارجحیت دارد. در شرایط شور، اختصاص پتاسیم بیشتر، سبب افزایش تحمل به شوری می‌شود. از طرفی پتاسیم مقاومت به تنش خشکی غلات را افزایش می‌دهد. در صورتی که میزان رس خاک بیشتر از ۳۰ درصد باشد، میزان ۵۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم به مقادیر بالا اضافه شود.

کودهای پتاسیمی عمدتاً به‌وسیله استخراج نمک‌های پتاسیمی از رسوباتی که خود از تبخیر دریاچه‌ها و دریاهای بسته تشکیل شده در دوران‌های مختلف زمین‌شناسی و یا از طریق خشکاندن آب دریاچه‌های نمکی به‌وجود آمده‌اند، ساخته شده‌اند. منبع عمدهٔ این ذخایر در کشورهای فدراتیو روسیه، آلمان، کانادا و اردن بوده و به مقدار کمی نیز در دیگر کشورها یافت می‌شود. به دلیل وجود همین مخازن، ساخت کودهای پتاسیمی کم هزینه‌تر از کودهای فسفاتی است. نمک‌های پتاسیمی از آب نمک بحرالمیت (اردن) و خور و بیابانک (استان اصفهان) ویا از معادن زیرزمینی (فدراتیو روسیه و آلمان) استخراج می گردند. این نوع نمک‌ها همیشه با کلرور سدیم همراه می‌باشند. در ساخت کودهای پتاسیمی عموماً از کانی‌های پتاسیمی استفاده می‌شود. فرآیند تشکیل نمک‌های پتاسیمی عمدتاً بر مبنای اختلاف در حلالیت، یا تفاوت در جرم ویژهٔ نمک‌ها استوار بوده و جداسازی آن از سایر نمک‌های همراه عمدتاً از طریق بلوری کردن مجدد و یا به حالت تعلیق در آوردن نمک‌های پتاسیمی امکان‌پذیر است. از مهمترین کودهای پتاسیمی می‌توان به چهار نوع آن اشاره کرد:

- **کلرورپتاسیم:** رایج‌ترین کود پتاسیمی بوده و از کانی‌های محتوی پتاسیم به دست می‌آید. با وجود آنکه ساخت این کود در چند مرحله انجام می گیرد، مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید آن به مراتب کمتر از انرژی لازم برای ساختن کودهای ازتی و فسفاتی است. بنابراین، هزینهٔ تولید کودهای پتاسیمی کمتر از کودهای ازتی و فسفاتی می‌باشد. کلرورپتاسیم محتوی ۵۰ درصد پتاسیم (۶۰ درصد اکسید پتاسیم) بوده و حلالیت آن در آب حدود ۳۵ درصد و مصرف سرک آن رایج است. با آن که حدود ۹۰ درصد کودهای پتاسیمی مصرفی جهان را کلرورپتاسیم تشکیل می‌دهد (در حال حاضر سالانه حدود ۶۰ میلیون تن کودهای پتاسیمی در بازار جهانی عرضه می گردد)، اما در برخی شرایط، حضور یون کلر مطلوب نمی‌باشد. این حالت عمدتاً برای گیاهانی نظیر سیب‌زمینی، مخصوصاً هنگامی که مصرف تازه‌خوری سیب‌زمینی مطرح نبوده و از آن برای تهیه نشاسته استفاده می‌شود، صادق است. وجود کلر اضافی در انتقال نشاسته در گیاه وقفه ایجاد کرده و بدین سبب تولید سیب‌زمینی نقصان می‌یابد. همچنین، کیفیت سوخت برگ‌های توتون کاهش یافته و در صورت استفاده از کلرورپتاسیم، عملکرد الیاف در کنف کاستی می‌پذیرد. برخی از مشاهدات گویای آن است که کلر اضافی، به دنبال کاربرد کلرورپتاسیم در تاکستان‌ها، سبب کاهش قند انگور می‌شود.

خوشبختانه در حال حاضر این کود با ارزش پس از سال‌ها تلاش مستمر توسط وزارتین صنعت، معدن و تجارت و جهاد کشاورزی با استفاده از املاح پلایای خور و بیابانک (شکل ۲۰) در مجتمع پتاس خور و بیابانک با ظرفیت ۲۰ هزار تن در سال تولید می‌شود. پلایای خور و بیابانک در کویر مرکزی ایران در فاصله ۴۰ کیلومتری شرق خور و بیابانک در شمال جاده خور- طبس به وسعت ۲۰۰۰ کیلومتر مربع واقع شده است. این ذخایر به صورت شورابه‌های غنی از مواد معدنی از جمله کلرور پتاسیم بوده و پس از فرآوری، املاح مختلف از جمله کلرور پتاسیم تولید می شود. فرآیند تولید به این صورت است که در ابتدا شورابه‌های استخراج شده از معدن (پلایا) به حوضچه‌های تبخیر خورشیدی که مساحت آن‌ها ۱۳ کیلومتر مربع است، انتقال می‌یابد. با گذشت زمان در اثر عمل تبخیر شورابه تبخیر شده وبه صورت نمک اشباع (بلورهای کارنالیت) رسوب می کند.

کارنالیت تولیدشده خوراک کارخانه فرآوری تولید کلرور پتاسیم را تشکیل می‌دهد (شکل ۲۱). با توجه به اینکه کشور ما با شرایط خشکی و شوری مواجه است، کاربرد مستقیم کلرور پتاسیم (۲۵۰ دلار به ازای هر تن) توسط کشاورزان با استقبال خوبی برخوردار نمی‌شود. لذا برای حل مسئله، شرکت مروارید ارس باران با سرمایه‌گذاری اساسی و با استفاده از سیستم مانهایم در شهر صنعتی گرمسار، کلرور پتاسیم ۲۵۰ دلاری را تبدیل به سولفات پتاسیم ۵۰۰ دلاری می‌نماید. امید است در آینده نزدیک با تلاش بخش خصوصی و حمایت عملی بیشتر دولت تدبیر و امید، ظرفیت تولید هم کلرور پتاسیم و هم سولفات پتاسیم (به غیر از شرکت مروارید ارس باران، چهار شرکت دیگر نیز سولفات پتاسیم در سطح محدود تولید می‌نمایند) افزایش یابد. در جدول زیر مشخصات کلرورپتاسیم‌های وارداتی و تولید داخل درج شده است.

شکل ۲۰. تصویری از املاح پلایای خور و بیابانک (اهدایی مجتمع پتاس خور وبیابانک)

شکل ۲۱. تولید کلرورپتاسیم از نمک‌های اشباع شدهٔ خور و بیابانک (اهدایی مجتمع پتاس خور وبیابانک)

مشخصات کلرورپتاسیم‌های وارداتی و تولید داخل*

مشخصات	کلرور پتاسیم (MOP) فدرال روسیه	کلرور پتاسیم (MOP) ازبکستان	کلرور پتاسیم (MOP) آلمان	کلرور پتاسیم (MOP) تولید داخل
درصد پتاسیم (K_2O)	۶۲	۵۸	۶۲	۶۰
درصد سدیم (Na)	کمتر از یک درصد	کمتر از سه درصد	کمتر از یک درصد	کمتر از سه درصد
درصد کلر (Cl)	کمتر از دو درصد	کمتر از سه درصد	کمتر از دو درصد	کمتر از سه درصد
درصد رطوبت آزاد	کمتر از یک درصد	کمتر از یک درصد	کمتر از یک درصد	کمتر از یک درصد

* برای جلوگیری از کلوخ‌های شدن کلرورپتاسیم، بهتر است به هنگام تهیه این کود، از آنتی کیک با منشاء پتاسیم (فروسیانید پتاسیم) با غلظت ۰/۰۰۴ درصد استفاده شود. درجه حلالیت کلرور پتاسیم در آب ۲۵ درجه سانتیگراد برابر ۲۶۵ گرم بر لیتر است

- **سولفات‌پتاسیم:** در شرایطی که یون کلر برای گیاه زیان‌بار باشد، بهتر است پتاسیم به صورت سولفات و یا نیترات باشد. این کودها از اثر اسید سولفوریک و یا اسید نیتریک بر کلرورپتاسیم به دست می‌آید. در ساختن این کودها می‌توان فرآیندهای متفاوت به کار گرفت. سولفات‌پتاسیم محتوی ۴۰ درصد پتاسیم (۵۰ درصد اکسید پتاسیم) و حدود ۵۰ در صد سولفات (SO_4) بوده و در دمای معمولی حدود ۱۲۰ گرم بر لیتر آن در آب حل می‌شود. خوشبختانه این کود با ارزش در حال حاضر در داخل کشور با استفاده از سیستم مانهایم تولید می‌شود و بزودی (در آینده نزدیک) با تلاش بخش خصوصی و حمایت عملی بیشتر دولت تدبیر و امید، نیاز داخل کشور تامین می‌شود. در جدول زیر مشخصات سولفات پتاسیم وارداتی و تولید داخل درج شده است.

مشخصات سولفات پتاسیم‌های وارداتی و تولید داخل

مشخصات	سولفات پتاسیم (SOP) - بلژیک	سولفات پتاسیم (SOP)– آلمان	سولفات پتاسیم (SOP)– تولید داخل
درصد پتاسیم (K_2O)	۵۰	۵۰	۵۰
درصد سولفات (SO_4)	۵۲	۵۲	۵۲
درصد سدیم (Na)	کمتر از یک درصد	کمتر از یک درصد	کمتر از دو درصد
درصد کلر (Cl)	کمتر از دو درصد	کمتر از دو درصد	کمتر از سه درصد
درصد رطوبت آزاد	کمتر از دو درصد	کمتر از دو درصد	کمتر از دودرصد

* درجه حلالیت سولفات پتاسیم در آب ۲۵ درجه سانتیگراد برابر ۱۲۰ گرم بر لیتر است.

- **نیترات پتاسیم:** نیترات پتاسیم دارای ۳۸ درصد پتاسیم و ۱۴ درصد نیتروژن بوده و حلالیت آن در آب در دمای معمولی نزدیک به ۳۵ درصد است. نیترات پتاسیم از اثر اسیدنیتریک بر کلرورپتاسیم حاصل شده و در صورت دارا بودن نیترات‌های آمونیوم و یا سدیم، جداسازی آن از طریق واکنش‌های شیمیایی امکان‌پذیر است. مزیت عمدهٔ این کود در مقایسه با کلرورپتاسیم، همراه نداشتن کلر و بالا بودن غلظت مادهٔ غذایی آن است. به دلیل ایجاد اختلاف در نسبت پتاسیم به ازت، بهتر است هنگام مصرف این کود مقداری نیتروژن به صورت مکمل به نیترات پتاسیم اضافه کرد. درصد حلالیت نیترات پتاسیم نیز بسیار بالا بوده و به سهولت می‌توان از آن به صورت سرک مخصوصاً در سبزی‌ها و گل‌های بریده استفاده نمود. خوشبختانه این کود در حال حاضر در داخل کشور تولید می‌شود و در آینده نزدیک با تلاش بخش خصوصی و حمایت عملی بیشتر دولت تدبیر و امید، نیاز داخل کشور تأمین شود.
- **سولوپتاس (سولفات پتاسیم محلول)**: سولوپتاس محتوی ۵۱ درصد پتاسیم و ۵۶ درصد سولفات بوده و حلالیت آن در آب در دمای معمولی نزدیک به ۱۰۰ درصد است. سولوپتاس با مقادیر بهینه از عناصر پتاس و گوگرد ترکیب شده که به سهولت قابل جذب در ریشه گیاهان است. از آنجا که سولوپتاس از ۵۱ درصد K_2O و ۵۶ درصد SO_4 تشکیل شده است، از نظر غلظت عناصر غذایی بسیار غنی می‌باشد. سولوپتاس تقریباً فاقد کلر است. کود سولوپتاس به صورت پودر نرم سفید رنگ وجود داشته و محلول آن اسیدی است. بدیهی است این pH پایین سبب افزایش درجه حلالیت فسفر، آهن و اکثر ریزمغذی‌های دیگر شده و نهایتاً بهتر در دسترس ریشه قرار گرفته و همچنین احتمال گرفتگی لوله‌ها در آبیاری قطره‌ای در محلول اسیدی کمتر است. محاسن مصرف سرک سولوپتاس را می‌توان بطور در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی؛ شاخص‌های آبشویی کم و ضریب شوری پایین؛ افزایش مقاومت گیاهان به بیماری‌ها و آفت‌ها؛ محتوی گوگرد به صورت سولفات قابل جذب گیاه؛ خاصیت اصلاح‌کنندگی موضعی pH ریزوسفر و نهایت افزایش کارایی پتاسیم خلاصه نمود. سولوپتاس را در غلظت‌های معمولی آن می‌توان با محلول‌های اکثر کودها مخلوط کرد، به‌جز اینکه اگر با ترکیبات کلسیم مخلوط شود، تشکیل رسوب سولفات کلسیم می‌دهد. به‌علاوه، محلول سولوپتاس را می‌توان با اکثر سموم حشره‌کش و ضد قارچ به منظور برگ‌پاشی مخلوط نمود. سولوپتاس سریعاً حل شده

و محلولی شفاف بدون رسوب می‌دهد. بنابراین، به سهولت می‌توان از این کود به میزان ۱۵ تا ۵۰ کیلوگرم بر هکتار با روش کود آبیاری (به صورت تقسیط) و یا به میزان ۵ تا ۱۰ کیلوگرم بر هکتار به صورت محلول‌پاشی استفاده نمود.

ماهیت و خواص سولوپتاس: از موقعی که در اواسطه دهه ۱۹۹۰ سولوپتاس عرضه شد، طولی نکشید تا به صورت بهترین کود پتاسیمی در بیش از ۶۰ کشور شناخته شد. این کود کشاورزان را قادر می‌کند تا محصولات کشاورزی پرارزش با حداکثر کیفیت و سودآوری را تولید کنند، در عین حال که اثر سویی در محیط ایجاد نمی‌کند. مصرف این کود در اراضی تخلیه شده و شور مخصوصاً برای محصولاتی پرتوقع نظیر انواع سبزی و صیفی نسبت به سایر کودهای پتاسیمی ارجحیت دارد. مطالعات نشان داده که نیترات بیش از حد در موقع تشکیل میوه باعث افت کیفیت میوه می‌شود. سولوپتاس به کشاورزان آزادی کامل می‌دهد تا برنامه‌های کوددهی را مطلقاً به منظور تأمین نیاز به موقع محصول با نیترات پایین تنظیم کنند. یون کلر از اجزاء قابل ملاحظه موجود در خاک‌های شور است و زیادی آن باعث افت کیفیت بسیاری از محصولات کشاورزی که بدان حساس هستند، می‌شود. این کود دارای شاخص‌های آبشویی کم و ضریب شوری کم است. از سه کود عمده پتاسیمی، شاخص نمک سولوپتاس بسیار از شاخص‌های دو کود دیگر کوچک‌تر بوده و از این جهت برای مناطقی که در معرض ریسک شوری قرار دارند، به صورت سرک، بهترین منبع پتاسیمی می‌باشد. همچنین این کود دارای درجه آبشویی پائین‌تری نسبت به کودهای دیگر پتاسیمی است (شکل‌های ۲۲ و۲۳).

شکل ۲۲. مقایسه آبشویی کود سولوپتاس با نیترات پتاسیم و کلرور پتاسیم

شکل ۲۳. مقایسه درجه شوری پایین کود سولوپتاس بانیترات پتاسیم و کلرور پتاسیم

سولوپتاس باعث تولید محصولات با کیفیت مطلوب و طعم و مزه بهتر می‌شود. در بسیاری از موارد اندازه محصولات با اندازه‌های مناسب‌تر و یکنواخت‌تر و با عملکرد بیشتر بدست می‌آید. رنگ و ظاهر میوه‌ها و سبزی‌ها نیز در اثر تشکیل رنگدانه‌های بیشتر مطلوب‌تر می‌شود. این کود غلظت بیشتر قندها و اسیدها تولید طعم و مزه بهتر می‌کند. سولوپتاس اثر مثبت در تولید انواع ویتامین‌ها، نشاسته و قندها داشته که همه ارزش غذایی میوه‌ها و سبزی‌ها را بالا می‌برد. میوه‌ها و سبزیجاتی که سولوپتاس دریافت می‌کنند، بهتر به خراش و آسیب‌ها مقاومند. به علاوه این محصولات قابلیت بیشتری برای کنسرو شدن یا تبدیل شدن خواهند داشت. سولوپتاس pH سطح ریشه‌ها در خاک‌های قلیایی و شور را کاهش می‌دهد و در نتیجه حلالیت و جذب فسفر، آهن و بیشتر ریزمغذی‌ها بوسیله ریشه گیاهان تسهیل می‌شود. سولوپتاس آبشویی کاتیون‌ها در خاک‌های سبک را کاهش داده و در مقایسه با سایر کودهای پتاسیمی کمتر در معرض آبشویی قرار می‌گیرد. در سولوپتاس گوگرد به صورت سولفات وجود دارد که به سهولت بوسیله گیاهان جذب

می‌شود و برای ساختمان ترکیبات مهمی مثل آمینواسیدها و پروتئین‌ها بکار می‌رود و در واکنش‌های فتوسنتز نیز دخالت دارد.

برای بدست آوردن بهترین نتیجه از کاربرد سولوپتاس، در زمان کوددهی، دستورات زیر را بکار ببرید: تانکر آب را تا دو سوم حجم پر کنید. در صورتیکه pH آب قلیایی باشد (pH>۸)، بهتر است اول آن را اسیدی نموده و سپس سولوپتاس را در آن حل کنید. مقدار سولوپتاس را با دقت به میزان ۱۰ کیلوگرم در صد لیتر آب و یا (۱۰۰g/l) اندازه‌گیری و به آب اضافه کنید. آب را دائماً بهم بزنید تا کود کاملاً حل شود. سپس تانکر آب را با آب اضافی پر کنید. وقتی مطمئن شدید که تمام کود سولوپتاس حل شده است، محلول را به سیستم آبیاری تزریق کنید. همانطور که معمول است مثل بیشتر کودهای جامد، برای کاربرد محلول سولوپتاس همراه با آب آبیاری باید سیستم آبیاری را به فیلتر مجهز کرد. سولوپتاس اختصاصاً برای کاربرد به صورت کود آبیاری تولید می‌شود. این کود از هر نظر برای چنین روش کوددهی مناسب است. به عنوان مثال، برای تهیه محلول استاندارد ۸۰ میلی‌گرم پتاسیم (K) در لیتر آب آبیاری، باید محلول استاک (محلول مادر یا محلول منبع)، سولوپتاس با غلظت ۳/۷۸ کیلوگرم در ۱۰۰ لیتر آب تهیه و آن را به میزان ۰/۵ درصد به آب آبیاری تزریق نمایید. خوشبختانه این کود با ارزش در حال حاضر عمدتاً توسط شرکت مروارید ارس باران و یک شرکت دیگر در داخل کشور نیز تولید می‌شود و امید است با تلاش بخش خصوصی و ترویج مصرف آن، تولید این کود با ارزش در داخل کشور افزایش یابد. در جدول قیمت جهانی، قیمت خرید و فروش کودهای شیمیایی توسط شرکت خدمات حمایتی کشاورزی-وزارت جهاد کشاورزی، درج شده است.

قیمت جهانی کودهای شیمیایی (FOB)، قیمت خرید و فروش آن‌ها در مهرماه ۱۳۹۵

نام کود	قیمت خرید هر تن (FOB) - دلار	قیمت تمام شده هر تن (دلار)	شرکت خدمات حمایتی کشاورزی	
			قیمت خرید هر کیلوگرم (ریال)	قیمت فروش هر کیلوگرم (ریال)
اوره	۱۹۲	۲۶۰	۷۷۰۰	۷۷۰۰
دی آمونیوم فسفات *	۳۱۲	۴۲۰	۱۹۸۵۰	۱۹۸۵۰
سوپر فسفات تریپل	۲۷۵	۳۷۰	۱۷۶۵۰	۱۱۰۰۰
سوپر فسفات ساده	-	-	۴۸۹۰	۴۴۰۰
کلورپتاسیم گرانوله (روسیه)	-	۳۴۰	۷۰۰۰	۶۰۰۰
کلورپتاسیم پودری (ازبکستان)	-	۲۴۰	۶۰۰۰	۴۴۰۰
سولفات پتاسیم پودری	۴۸۰	۵۵۵	۲۲۹۱۰	۱۲۵۰۰
سولفات پتاسیم گرانوله	۵۲۰	۷۰۰	۲۴۹۱۰	۱۵۰۰۰
سولوپتاس	۵۹۰	۸۰۰	آزاد	آزاد

* اخیراً یارانه از کودهای دی آمونیوم فسفات و سولفات آمونیوم حذف شده و یارانه اوره نیز محدود و منحصر به هزینه حمل شده است.

** به قیمت های FOB حدود ۳۵ درصد بابت هزینه حمل، کیسه‌گیری، گمرک و... اضافه شده است.

*** قیمت های تمام شده سولفات پتاسیم گرانوله تولید داخل و خرید خارجی طبق آخرین قرارداد منعقده در سال جاری به ازای هر کیلوگرم تولید داخل ۲۴،۹۱۹ ریال و خارجی (بلژیک) ۲۳،۸۰۳ ریال می باشد و به عبارت دیگر، ۴/۶ درصد قیمت تولید داخل گرانتر از قیمت خرید خارجی است که در راستای تحقق اقتصاد مقاومتی، ایجاد اشتغال مولد و ضرورت حمایت از تولید داخل، قابل توجیه می‌باشد.

۳-۷-۵- روی (Zn): کمبود روی در خاک‌های آهکی عمومیت دارد. نتایج تجزیهٔ خاک‌های ایران و همچنین گیاهان موید آن است که کمبود روی در این خاک‌ها و گیاهان به دلایل متعددی از جمله آهکی بودن خاک‌ها، pH بالا، حضور بی‌کربنات فراوان در آب‌های آبیاری، پایین بودن مواد آلی خاک، مصرف فراوان و بیش از نیاز کودهای فسفاتی و نهایتاً عدم رواج مصرف کودهای محتوی روی شایع است. متوسط وزن روی در سنگ کره ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و میانگین غلظت روی در خاک نیز در همین حدود است. روی به صورت ترکیبات غیرمحلول و کم‌محلول کربنات روی ($ZnCO_3$) و سولفور روی (ZnS) در خاک‌ها یافت می‌شود. روی به صورت یون دو ظرفیتی به وسیلهٔ ریشه‌های گیاه جذب می‌گردد. اگر مقدار روی در برگ‌ها از ۲۵ میکروگرم در گرم مادهٔ خشک کمتر باشد، بروز علایم کمبود محتمل خواهد بود.

روی تشکیل دهنده و فعال‌کنندهٔ شماری از سیستم‌های آنزیمی می‌باشد. کمبود روی در خاک‌های ایران عمدتاً به صورت کچلی شاخه‌ها رایج است. روی به‌طور عمده به‌صورت کاتیون دو ظرفیتی (Zn^{+2}) و در pH بالا احتمال دارد به‌صورت کاتیون یک ظرفیتی ($ZnOH^{+}$) نیز توسط گیاه جذب شود. جابه‌جائی آن در مسافت دور، به‌طور عمده در درون آوند چوبی انجام می‌گیرد. یکی از وظایف عمده روی در گیاه، سنتز پروتئین است و کمبود آن پروتئین را کاهش و آمینواسیدهای آزاد و آمیدها را افزایش می‌دهد. روی در تولید پروتئین، ساخته شدن هورمون اکسین (Auxin) و آنزیم‌های مسئول تولید نشاسته موثر است.

روی درفتوسنتز، سوخت‌وساز، فعال‌سازی آنزیم نیترات رداکتاز و آنزیم‌های انتقال دهنده فسفات (هگزوکیناز) موثر است. با افزایش روی، تولید تریپتوفان و هورمون‌های رشد اکسین (IAA) افزایش می‌یابد. اکسین در فتوسنتز و رشد و توسعه برگ و ساقه گیاه نقش دارد. برای ساخته شدن IAA، وجود تریپتوفان الزامی است. با افزایش روی، غلظت IAA افزایش یافته و کلروفیل بیشتری ساخته شده، پیری به تأخیر افتاده و میزان فتوسنتز افزایش می‌یابد.با افزایش کلروفیل، بازدهی کلروپلاست‌ها در جذب انرژی خورشیدی نیز افزایش می‌یابد. روی درکاهش نفوذپذیری دیواره سلولی نقش داشته و بدین‌ترتیب مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های زنده (آفات و بیماری‌ها) و غیر زنده (خشکی و درجه حرارت) افزایش می‌دهد. عنصر روی، دست‌کم به چهار آنزیم گیاهی چسبیده است. این چهار آنزیم عبارتند از آنزیم الکل دی‌هیدروژناز، سوپراکسید دسموتاز (Cu-Zn-SOD)، کربنیک آنهیدراز (CA) و RNA پلی‌مراز. روی در سوخت‌وساز DNA و RNA مؤثر بوده و در تولید اسیدهای نوکلئیک نقش دارد. وجود اسیدهای نوکلئیک برای رشد و تکثیر سلول‌ها الزامی است. میزان روی در برگ‌ها حدود ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک است (Marschner، ۱۹۹۵ و ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۹).

- **اهمیت روی (Zn) در بهداشت و سلامتی جامعه:** رتبه ایران در تأمین سلامت مردم در بین ۱۹۲ کشور جهان، جایگاه ۱۲۳ می‌باشد؛ مهمترین دلیل این جایگاه پایین، سوءتغذیه (کمبود مواد معدنی و ویتامین‌ها در رژیم غذایی) است. از علائم سوء تغذیه می‌توان به ریزش مو، بداخلاقی، سرماخوردگی‌های مزمن، کم حوصلگی، خستگی مفرط، پوکی استخوان، کوتاهی قد، افسردگی، کم خونی، سرطان گوارشی و ایمنی پایین بدن اشاره کرد. نتیجه تحقیقات نشانگر آن است که روی، آهن، کلسیم، منیزیم و ویتامین‌ها شایع‌ترین عوامل موجد سوءتغذیه هستند. روی (Zn) در بدن انسان نقش‌های برجسته و مهمی دارد، به گونه‌ای که می‌توان از آن به عنوان پلیس راهنمایی بدن نام برد. روی (Zn) در فعالیت حدود ۳۰۰ آنزیم مختلف نقش دارد که از جمله می‌توان به نقش فعال‌کننده آنزیم سوپر اکسید دسموتاز اشاره کرد،

این آنزیم سلول‌های بدن را در برابر رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کند. از سوئی، روی (Zn) در تشکیل و تبدیل پروتئین‌ها نقش اساسی دارد، برای عملکرد طبیعی سیستم ایمنی بدن مورد نیاز بوده و در التیام سریع‌تر زخم‌های درونی و بیرونی بدن بسیار مؤثر است. روی (Zn) همچنین ظرفیت جذب آهن را افزایش و رسوب کلسترول در رگ‌های خونی را کاهش می‌دهد. نقش دیگر روی (Zn) در سلامت پوست بدن است. مصرف روی (Zn) در بهبود آکنه (جوش جوانی)، خارش پوست، آلزایمر، درد دوران قاعدگی، عفونت مثانه، ناتوانی جنسی، عوارض پروستات و دیابت نوع دو نیز مفید می‌باشد. روی (Zn)[1] از عرق کردن بیش از حد و همچنین از بوی بد عرق و دهان جلوگیری می‌کند و همچنین روی اسیدیته معده را کنترل می‌کند. اخیراً مسئولین وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی نیز حضور فعال روی (Zn) و ویتامین D_3 را در جلوگیری از انواع سرطان‌ها تایید نموده‌اند. به نظر نگارنده، یکی از علل شیوع انواع سرطان، کمبود روی (Zn) در مواد غذایی مصرفی در کشورمان می‌باشد. زیرا از ویتامین‌ها A ، C، E و از فلزات روی (Zn) و سلنیم (Se) جزو آنتی‌اکسیدان‌های مهم بدن بوده و ایمنی بدن را در برابر انواع بیماری‌ها از جمله سرطان افزایش می‌دهند. با مصرف ویتامین‌ها در جیره غذایی انسان، جذب روی (Zn) افزایش و تجمع آلاینده‌ها به ویژه کادمیوم (Cd) که در خون افراد سیگاری و الکلی به دلیل تشدید کمبود روی (Zn)، بالا می‌باشد، کاهش می‌یابد (۸). اخیراً وزیر محترم بهداشت اعلام نمود که سالانه بیش از ۹۰ هزار نفر در کشور به سرطان مبتلا می‌شوند. این در حالی است که ۱۵ سال قبل این رقم فقط ۳۴ هزار نفر بود. روی (Zn) در سلامت لثه و دندان‌ها نیز بسیار موثر است. در بعضی موارد کم رنگ شدن مخاط دهان و لثه و تورم لثه ناشی از کم خونی و کمبود روی (Zn) و بوی بد دهان با ترکیبات و یا آدامس‌های حاوی روی و همین‌طور دهان شویه‌های حاوی کلرید روی بهبود می‌یابد. این دارو از قدیم همراه با اسانس نعناع و گلاب به عنوان دهان‌شوی برای رفع بوی بد دهان تجویز می‌شد. تورم لثه که گاهی با خونریزی لثه همراه است که علت آن پلاکت باکتریال روی لبه دندان‌ها و لثه می‌باشد، با مصرف قرص روی (Zn) و دهان‌شوی بهتر می‌شود. دهان شوی حاوی سیترات روی، سبب کاهش پلاک دندانی و بهبود تورم لثه و دهان شوی حاوی سولفات روی، موجب کاهش التهاب مخاط دهان و گلو می‌شود. بیماری‌های پریودنتال نیز علاوه بر درمان‌های تخصصی، با ترکیبات روی (Zn) بهتر می‌شوند. نکته قابل توجه این که وجود سیترات روی در دهان شوی‌ها و بعضی خمیردندان‌ها، سبب کاهش جزیی و غیر خطرناک مینای دندان‌ها می‌شود. برای حل این مشکل می‌توان همراه با دهان شوی‌های حاوی روی (Zn)، از دهان شوی‌های دارای فلوراید هم استفاده نمود. روی (Zn) مورد نیاز بدن انسان از مواد غذایی تأمین می‌شود. کمبود روی (Zn) در مواد غذایی ناشی از تغذیه نامطلوب گیاهان و آن نیز ناشی از قابلیت دسترسی کم روی (Zn) در خاک است. بنابراین، رابطه بسیار نزدیکی بین خاک سالم، گیاه سالم و انسان سالم وجود دارد. حمایت از مصرف کودهای نیتروژنیو فسفاتی و عدم حمایت از کودهای دارای عناصر ریزمغذی در طول دهه‌های گذشته در کنار آهکی بودن اغلب خاک‌های زراعی و بی‌کربناته بودن آب آبیاری کشور، از مهمترین عواملی هستند که موجب سوءتغذیه گسترده به ویژه کمبود روی (Zn) در مردم شده است.

- **وضعیت روی (Zn) در خاک:** مقدار متوسط روی (Zn) در پوسته زمین در حدود ۷۸ و در خاک‌ها با مواد آلی مناسب و رس کافی ۵۵ و در خاک‌های آهکی کمتر از ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. روی

در خاک بیشتر به شکل ترکیبات بسیار کم‌محلول هیدروکسید و یا کربنات روی وجود دارد که بخش عمده آن‌ها به شکل غیر قابل استفاده برای گیاهان می‌باشند. به‌دلیل آهکی بودن و پایین بودن مواد آلی درخاک، بی‌کربناته بودن آب آبیاری، زیاده روی در مصرف کودهای فسفاتی و عدم رواج مصرف کودهای ریزمغذی، قابلیت دسترسی ریزمغذی‌هادر خاک‌های زراعی کشور بسیار کم است. به‌گونه‌ای که قابلیت دسترسی روی (Zn) برای گیاهان در اکثر خاک‌های کشور بسیار کمتر از یک میلی‌گرم بر کیلوگرم تخمین زده می‌شود. بنابراین، گیاهان یا نمی‌توانند ریزمغذی‌ها را جذب کنند و یا در صورت جذب، به‌دلیل رسوب در آوندها، امکان استفاده از آن‌ها را ندارند و در این شرایط حرکت این مواد به برگ، دانه و میوه گیاه نیز بسیار کم است. لذا غلظت ریزمغذی‌ها از جمله روی (Zn) در اندام‌های مورد مصرف انسان و دام بسیار کم است. بر این اساس، استفاده از کودهای شیمیایی دارای روی (نظیر سولفات روی و کلات روی)، استفاده از ارقام گیاهی روی کارا نظیر گیاه کدو و استفاده از ریزجاندارانی با توانایی افزایش قابلیت دسترسی روی برای گیاه (این ریزجانداران اغلب با ترشح اسیدهای آلی و سیدروفور موجب افزایش حلالیت ترکیبات کم‌محلول روی می‌شوند) برای تأمین روی مورد نیاز گیاه ضروری می‌باشد. از نکات جالب توجه دیگر در باره جذب روی بوسیله گیاهان، تشابه الکترونی یون کادمیوم (Cd) با یون روی (Zn) است. این تشابه موجب می‌شود کادمیوم به جای روی جذب گیاه شود. لذا در خاک‌هایی که قابلیت استفاده روی پایین است، جذب کادمیوم توسط ریشه گیاه افزایش می‌یابد. بنابراین، کمبود روی قابل جذب در خاک و آلودگی خاک به‌وسیله کادمیوم (که منشا اصلی آن در خاک‌های زراعی مصرف زیاد و طولانی مدت کودهای فسفاتی محتوی کادمیوم است) هر دو موجب تشدید جذب کادمیوم و آلودگی محصولات کشاورزی به آن می‌شود. حد مطلوب غلظت روی (Zn) قابل دسترس برای گیاهان در خاک‌های زراعی ۲، در برگ گیاهان ۴۰ و در دانه گندم ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خون انسان ۸۰ میکروگرم بر لیتر است .

- **اهمیت روی (Zn) در افزایش کمی وکیفی محصولات کشاورزی:** یکی از وظایف مهم روی (Zn) در گیاه، ساخت پروتئین است؛ بنابراین کمبود روی (Zn) موجب کاهش مقدار پروتئین و افزایش مقدار آمینواسیدهای آزاد و آمیدها می‌شود. علاوه بر این، روی (Zn) در تولید هورمون رشد اکسین، آنزیم‌های مسئول تولید نشاسته، فتوسنتز، سوخت و ساز نیتروژن (فعال‌سازی آنزیم نیترات رداکتاز)، آنزیم‌های انتقال‌دهنده فسفات (هگزوکیناز) و نیز در تولید تریپتوفان و هورمون رشد (اسید ایندول استیک) نقش مؤثری دارد. در حضور اسید ایندول استیک، کلروفیل بیشتری ساخته شده، پیری به تأخیر افتاده و میزان فتوسنتز و در نهایت تولید افزایش می‌یابد. همچنین، روی (Zn) در افزایش نفوذپذیری دیواره سلولی نقش داشته و بدین‌ترتیب مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده افزایش می‌دهد.

- **نقش روی (Zn) در بهبود کیفیت نان:** سازمان بهداشت جهانی (WHO) در سال ۱۹۹۶ شاخصی را به نام شاخص سلامت (شاخص نامطلوب تغذیه‌ای) مطرح کرد. این شاخص می گوید: اگر می خواهید مواد معدنی موجود در هر ماده غذایی در سیستم گوارشی بدن شما قابل جذب باشد، بایستی شاخص سلامت و یا نسبت مولی اسید فیتیک به روی (PA/Zn) در آن ماده غذایی کمتر از ۲۵ باشد. اگر این نسبت در ماده غذایی از ۲۵ بزرگتر باشد، عناصر معدنی آن قابل جذب نخواهد بود. به عبارت دیگر، برای افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی در بدن انسان، باید مقدار شاخص سلامت از ۲۵ کوچکتر باشد. متأسفانه مقدار این شاخص در گندم‌های تولیدی کشور از ۶۰ بیشتر است.

شاخص سلامت (شاخص نامطلوب تغذیه‌ای)، از دو بنیان فسفر (P) و روی (Zn) تشکیل شده است. هر چه غلظت فسفر (اسید فیتیک) بالاتر و غلظت روی (Zn) در ماده غذایی از جمله دانه گندم پایین‌تر باشد، این نسبت افزایش می یابد و نامطلوب خواهد بود و برعکس هر چه غلظت فسفر (اسید فیتیک) کاهش و غلظت روی (Zn) در ماده غذایی از جمله دانه گندم افزایش یابد، این شاخص مطلوب‌تر خواهد بود. مصرف بیش از حد کودهای فسفاتی، عدم مصرف کودهای دارای روی (Zn) و قابلیت جذب اندک روی بومی خاک (به‌دلیل آهکی بودن خاک و بی‌کربناته بودن آب آبیاری) موجب افزایش غلظت اسید فیتیک ($C_6H_{18}O_{24}P_6$) در دانه گندم می‌شود. متأسفانه این نسبت در گندم‌های تولیدی در خاک‌های آهکی ایران به دلیل استمرار مصرف نامتعادل کودها به ویژه زیاده‌روی در مصرف کودهای فسفاتی و عدم مصرف کودهای محتوی روی (Zn)، از ۶۰ بیشتر می‌باشد. چون قسمت عمده (حدود ۸۰ درصد) اسید فیتیک (شکل ذخیره‌ای فسفر)، عناصر معدنی و ویتامینها در سبوس گندم تجمع می‌یابد، بنابراین، متولیان بهداشت و سلامت مردم، بجای حل علمی مشکل زیادی اسید فیتیک در دانه گندم، ساده‌ترین راه یعنی جداسازی و دورریزی سبوس از آرد مصرفی مردم را اجرا می کنند که خود یک اشتباه تغذیه‌ای فاحش است و سبب افت جایگاه سلامت جامعه در کشور شده و می‌شود. به عبارت دیگر، علت حذف سبوس را زیادی اسید فیتیک در آن ذکر کرده‌اند. اسید فیتیک در سیستم گوارشی بدن انسان از طریق ترکیب با کاتیون‌های فلزی (کلسیم، منیزیم، آهن، روی و.....) تشکیل نمک فیتات داده و از سیستم گوارشی بدن، طبق واکنش زیر دفع می گردد:

اسید فیتیک ($C_6H_{18}O_{24}P_6$) + کاتیون‌ها (Ca, Mg, Zn, Cu, Fe)→ نمک فیتات (Phytates)

بنابراین، اگرچه این روش) جداسازی سبوس از آرد(، شاخص سلامت (نسبت مولی اسید فیتیک به روی) را بهبود می‌بخشد، اما از آن‌جا که بخش بزرگی از عناصر معدنی و ویتامین‌ها نیز در سبوس گندم قرار دارد، این روش موجب کاهش شدید مقدار عناصر معدنی و ویتامین‌ها و در نتیجه سبب افت ارزش غذایی گندم و نان تولیدی از آن می گردد. برای جلوگیری از حذف و یا کاهش درصد حذف سبوس، باید غلظت اسید فیتیک در گندم‌های تولیدی را کاهش و در مقابل غلظت روی (Zn) را افزایش داد. این امر تنها از طریق غنی‌سازی گندم در مزرعه امکان‌پذیر است. بدین منظور باید مصرف کودها بهینه شود تا شاخص سلامت به کمتر از ۲۵ کاهش یابد. در این صورت عناصر معدنی موجود در آرد سبوس‌دار، قابل جذب شده و سطح

بهداشتی جامعه نیز ارتقاء می‌یابد.

- **مقدار و نحوه مصرف روی (Zn):** اگرچه علائم ظاهری نشان‌دهنده کمبود روی (Zn) در بسیاری از افراد جامعه است، اما اندازه‌گیری روی (Zn) در آزمایشگاه‌های تشخیص طبی معیار قضاوت و تشخیص واقعی است. از این رو، به افرادی که دارای کمبود روی (Zn) هستند، توصیه می‌شود هر هفته ۲ الی ۳ کپسول سولفات روی ۲۲۰ میلی‌گرمی (محتوی ۵۰ میلی‌گرم روی) مصرف کنند افرادی که دارای مشکل پروستات دارند و یا یکی از علایم کمبود روی را دارند، هر دو روز یک کپسول مصرف کنند. بهتر است سولفات روی همراه با ناهار (حتماً وسط غذا) مصرف شود. لیکن، برای افرادی که زخم معده دارند و یا نسبت به مصرف کپسول سولفات روی حساس هستند، لازم است محتویات کپسول روی را در آب پرتقال و یا در آب معمولی همراه با قرص ویتامین C جوشان (جذب روی در جوار ویتامین C تسهیل می‌یابد) حل نموده و سپس حجم آن را با آب به حدود یک لیتر رسانده و سپس به‌تدریج مصرف نمایند. امروزه علاوه بر سولفات روی، انواع دیگری از ترکیبات روی (Zn) نظیر انواع مولتی‌مینرال‌ها (سنتروم)، سیترات روی، گلوکونات روی و شربت روی (مخصوص کودکان) نیز در داروخانه‌ها با قیمت بالاتری قابل تهیه می‌باشد.

توجه ۱: استفاده از کپسول سولفات روی برای اولین بار، ممکن است در افرادی که دارای کمبود روی (Zn) شدید هستند، باعث ایجاد حالت تهوع گردد که با مصرف یک قاشق چای‌خوری عسل و یا با مصرف یک عدد پرتقال و یا نارنگی برطرف خواهد گردید.

توجه ۲: نیاز روزانه روی (Zn) برای هر فرد از ۱۵ الی ۴۰ میلی‌گرم متفاوت می‌باشد. با افزایش سن، نیاز به آن بیشتر می‌شود.

توجه ۳: لازم به ذکر است که نباید در استفاده از مکمل‌های روی (Zn) زیاده روی کرد، زیرا ممکن است موجب بهم زدن تعادل سایر عناصر معدنی در بدن و خشک شدن پوست گردد. بنابراین، مصرف بیش از دو الی سه کپسول در هفته تحت هیچ شرایطی (مگر با تجویز پزشک متخصص) توصیه نمی‌گردد.

- **راه‌حل واقعی:** هر چند می‌توان با تهیه و مصرف مکمل‌ها و قرص‌های حاوی عناصر ریزمغذی مشکل کمبود این عناصر را تا حدی برطرف کرد، ولی به‌دلیل عدم آگاهی عموم مردم، هزینه‌بر بودن و عدم دسترسی همگانی، این روش راه‌حل دائمی نیست. راه حل اساسی، غنی‌سازی محصولات کشاورزی در محل تولید (به‌ویژه گندم و برنج که مصرف فراگیر و همگانی دارند) از طریق بهبود سلامت خاک (افزایش مواد آلی) و رعایت اصول مصرف بهینه کودی در مزارع و باغ‌ها (کوددهی بر پایه نتایج تجزیه خاک های تحت کشت فرآورده‌های زراعی، دارویی، زینتی و درختان جدیدالاحداث و نیز کودهی در درختان مثمر و زینتی بر پایه نتایج تجزیه برگی) است. با این روش، زمینهٔ بروز و شیوع بیماری‌های ناشی از کمبود عناصر غذایی به‌ویژه روی (Zn) به شدت کنترل و رتبه بهداشتی جامعه نیز ارتقاء می‌یابد.

- **نتیجه‌گیری:** به‌رغم آن‌که اکثر مردم کشور ما، مقدار کالری روزانه خود را دریافت می‌کنند، رژیم غذایی بیشتر آن‌ها، فاقد مقدار کافی عناصر معدنی (کلسیم، منیزیم، آهن و روی) است. به‌عبارت دیگر

به‌رغم سیری شکم، سلول‌های بدن مردم گرسنه است. بهترین روش برای حل گرسنگی سلولی بدن، در اولویت اول، غنی‌سازی محصولات کشاورزی در مزرعه (Enrichment) و در اولویت بعدی، افزودن عناصر مورد نیاز به مواد غذایی در فرآیند فرآوری آن‌ها (Fortification) می‌باشد. در کوتاه مدت و بنا به دلیل فقر مواد غذایی در تامین عناصر معدنی بدن، استفاده از مکمل‌ها توصیه می‌شود. از جمله برای رفع کمبود روی(.) توصیه می‌شود که افراد بزرگسال حداکثر سه عدد کپسول سولفات روی در هفته و در بین غذا مصرف کنند. برای کسب اطلاعات علمی بیشتر در مورد روی (Zn)، علاوه بر منابع ذیل، به تارنمای www.zinc.org (www.iza.com) و یا تارنماهای www.zinc.org/health، انجمن تغذیه ایران www.ata-nut.org، دفتر بهبود تغذیه جامعه nut.behdasht.gov.ir، www.nutrition.org.uk و روناس طب www.ronasmed.com مراجعه فرمایید.

۴-۷-۵- نوع و زمان مصرف کودهای محتوی روی

- کودهای حاوی روی: از کودهای مهم روی می‌توان سولفات روی معمولی با هفت مولکول آب که محتوی ۲۴ درصد روی می‌باشد، سولفات روی خشکبا دو مولکول آب محتوی ۳۳ درصد روی است که به صورت پودری و گرانوله در کشور توسط بخش خصوصی تولید و مصرف می‌شود، کلات روی Zn-EDTA محتوی ۱۵-۱۲ درصد روی بوده و عمدتاً برای محلول‌پاشی و در شرایطی با آب آبیاری قابل مصرف است. *سولفات روی:* روی برای فعالیت‌های آنزیمی، تولید هورمون‌های رشد، تلقیح، باروری و تشکیل میوه ضروری بوده و کمبود آن باعث ریزبرگی، تاخیر در باز شدن برگ و گل‌ها، ریزش میوه، سرخشکیدگی و محدودیت رشد می‌شود. این عنصر فعال‌کننده بیش از ۳۰۰ نوع آنزیم در انسان، دام و گیاه است و در مجموعه مکانیسم‌های حفاظتی بدن نقش کلیدی دارد. آهکی بودن خاک‌ها، pH بالا، ماده آلی کم و مصرف زیاد کودهای فسفاتی از عواملی هستند که قابلیت استفاده این عنصر را برای گیاهان محدود کرده و خسارات جبران‌ناپذیری را بر میزان تولید و کیفیت محصولات وارد می‌نماید. استفاده از کودهای شیمیایی حاوی این عنصر به خصوص به همراه ماده آلی، گوگرد و باکتری‌های مربوطه باعث بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاهان شده و بسیاری از نارسائی‌های تغذیه‌ای را برطرف می‌سازد.
- کلات روی (Zn-EDTA) محتوی ۱۵-۱۲ درصد روی بوده و عمدتاً برای محلول‌پاشی و در شرایطی با آب آبیاری قابل مصرف می‌باشد.
- روش، زمان و مقدار مصرف: این کود از طریق جایگذاری عمقی (موضعی،چالکود و نواری) و محلول‌پاشی قابل مصرف است. درخاک‌های سبک با آب آبیاری نیز قابل مصرف است اما تحت این شرایط بازیافت آن کمتر خواهد بود. محلول‌پاشی پنج در هزار آن به همراه اوره و اسید بوریک در پاییز و یا اوایل بهار قبل از باز شدن شکوفه‌ها در افزایش تشکیل میوه بسیار مفید است.

- **نباتات زراعی:** هنگام تهیه بستر بذر همراه با سایر کودهای زمستانه به میزان ۳۰ تا ۵۰ کیلو گرم در هکتار زیر خاک مصرف می‌شود. در ضمن در شالیزارها ۵۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی قابل مصرف می‌باشد.
- **درختان میوه:** در زمستان در قسمت میانی سایه‌انداز به همراه کود حیوانی و گوگرد به صورت چالکود یا کانال کود به میزان ۲۰۰ تا ۳۰۰ گرم به ازاء هر درخت بارور مصرف می‌شود.

- **محلول‌پاشی:** در درختان میوه به نسبت ۳ تا ۵ در هزار و در محصولات زراعی به نسبت ۳ تا ۴ در هزار محلول پاشی می‌شود.
- **گیاهان و مناطق مورد مصرف:** کمبود روی در خاک‌های آهکی با pH بالا در ایران شایع و علائم و عوارض ناشی از کمبود این عنصر در اکثر نقاط ایران و اغلب محصولات به فراوانی به چشم می‌خورد. مصرف کودهای حاوی روی در این اراضی برای اکثر محصولات مفید است، مصرف این کود به تدریج عوارض ناشی از کمبود روی را برطرف و گلدهی، تشکیل میوه و میزان عملکرد را افزایش خواهد داد.

۸-۵-ارجحیت سوپرفسفات‌ساده بر سوپرفسفات‌تریپل وارداتی از نظر تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم:

نظر به اینکه در کشور ما همه ساله کودهای فسفاتی مصرف می‌گردد، لذا انباشتگی فسفر به صورت رسوب فسفات‌کلسیم در خاک‌های زراعی کشور یک امر طبیعی است. از طرف دیگر، آزاد شدن فسفر در خاک‌های آهکی به مراتب آسان تر از خاک‌های اسیدی (انرژی اتصال فسفات به کلسیم پنج مرتبه کمتر از انرژی اتصال فسفات به آهن و آلومینیم می‌باشد) است (Havlin و همکاران، ۲۰۰۴؛ ملکوتی، ۱۳۹۴). بنابراین، چنانچه در مزارعی که مقدار فسفر قابل استفاده با روش اولسن کمتر از حدبحرانی (۷ تا ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) باشد، بهتر است از سوپرفسفات‌ساده تولید داخل بجای سوپرفسفات تریپل وارداتی استفاده شود تا افزون بر افزایش عملکرد هکتاری و صرفه‌جویی ارزی، از غلظت آلاینده کادمیوم که به همراه کود سوپرفسفات تریپل وارداتی وارد خاک‌های زراعی می‌گردد، نیز کاسته شود تا سلامت جامعه با مصرف محصولات کشاورزی سالم ارتقاء یابد (ملکوتی، ۱۳۹۴). بعبارت دیگر، در خاک‌هایی که غلظت فسفر قابل استفاده در آن‌ها بیشتر از پنج میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد، با عنایت به تجمع فسفر به شکل فسفات‌کلسیم در خاک‌های زراعی کشور، دیگر نیازی به مصرف همه ساله سوپرفسفات تریپل وارداتی نخواهد بود.

متأسفانه در عرف زارعین کشور، همپا دانستن فسفر با نیتروژن و پتاسیم، فرهنگ اشتباهی است که باید آن را از طرق مختلف از جمله ترویج، اصلاح نمود تا از مصرف همه ساله کودهای سوپرفسفات تریپل به دلیل انباشتگی فسفر در خاک‌های آهکی ممانعت شود. بنابراین، برای تامین فسفر مورد نیاز گیاهان زراعی و باغی به منظور کسب عملکرد مطلوب، به مقدار کمتری فسفر نیاز است که آن هم به سهولت از سوپرفسفات ساده و حتی از خاک فسفات پودری که همراه با گوگردآلی به‌صورت نواری مصرف می‌گردد، قابل تأمین خواهد بود. در اینجا بهتر است بین خصوصیات کمی-کیفی سوپرفسفات ساده تولید داخل با سوپرفسفات تریپل وارداتی مقایسه‌ای علمی به عمل آید (رجبی، ۱۳۹۵)[۱].

---

۱. نامه مدیر عامل محترم شرکت گلبن بهار به مدیر محترم بازرگانی شرکت خدمات حمایتی کشاورزی در رابطه با ارجحیت سوپرفسفات ساده تولید داخل در مقایسه با سوپرفسفات تریپل وارداتی.

مقایسه خصوصیات سوپرفسفات ساده تولید داخل با سوپرفسفات تریپل وارداتی

خصوصیات کود / نام کود	سوپرفسفات ساده تولید داخل (SSP)	سوپرفسفات تریپل وارداتی (TSP)
قیمت به ازاء هر کیلوگرم (ریال)	۴،۸۹۰	۱۷،۶۹۰
میزان فسفر کل (P_2O_5) (درصد)	۲۲	۴۶
میزان فسفر محلول در آب (درصد)	۱۶	۳۹
میزان گوگرد سولفاته (درصد)	۳۶	۴
میزان سولفات کلسیم (درصد)	۲۰	۴
اسید آزاد (درصد)	۵	۳
مقدار عناصر ریزمغذی	قابل توجه	ناچیز
میزان کادمیوم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	<۲	۲۵
میزان سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	<۱۰	۵۰

با عنایت به مطالب مندرج در جدول فوق، چنین استنباط می‌گردد که:

- با یک مقایسه ساده بین سوپرفسفات تریپل با قیمت هر کیلوگرم ۱۷،۶۹۰ ریال با سوپرفسفات ساده با قیمت هر کیلوگرم ۴،۸۹۰ ریال (قیمت‌ها برگرفته از قراردادهای خرید شرکت خدمات حمایتی کشاورزی در سال جاری می‌باشد)، می‌توان با بهای یک کیلوگرم سوپرفسفات تریپل وارداتی، ۳/۶۱ کیلوگرم سوپرفسفات ساده تولید داخل خریداری نمود.
- با خرید هر کیلوگرم سوپرفسفات تریپل، ۳۹۰ گرم فسفر محلول و ۴۶۰ گرم فسفر کل تحویل کشاورز می‌گردد. در حالی که با خرید ۳/۶۱ کیلوگرم سوپرفسفات ساده، ۵۷۸ گرم فسفر محلول، ۷۹۴ گرم فسفر کل (۴۸ درصد فسفر محلول و ۷۳ درصد فسفر کل بیشتر) در طول زمان در حضور گوگرد سولفاته و اسیدیته آزاد، تمامی فسفر جذب گیاه می‌گردد. در واقع، مقدار فسفر تحویلی به کشاورز ۷۹۴ گرم در برابر ۳۹۰ گرم می باشد. علاوه بر این، با مصرف سوپرفسفات ساده، مقدار ۴۳۳ گرم گوگرد عنصری، ۱۸۰ گرم اسیدیته آزاد و مقادیر قابل توجهی از انواع ریزمغذی‌ها در اختیار گیاه قرار می‌گیرد.
- در کشورهایی نظیر استرالیا، برزیل و هندوستان، کود سوپرفسفات ساده توسط کشاورزان در سطح وسیع، مصرف می‌گردد (طبق آمار منتشره توسط اتحادیه بین‌المللی کود- IFA -۲۰۱۳، در حالی که در استرالیا ۵۸ در صد فسفر (P_2O_5) مصرفی را سوپرفسفات ساده و فقط ۴ در صد فسفر (P_2O_5) مصرفی را سوپرفسفات تریپل تشکیل می‌دهد، این ارقام در برزیل به ترتیب ۲۹ و ۱۶ درصد و در هندوستان ۱۰ و صفر درصد می‌باشد).
- از طرف دیگر، در حالی است که میزان کادمیوم و سرب وارده به خاک زراعی با مصرف ۳/۶۱ کیلوگرم سوپرفسفات ساده بسیار ناچیز است، لیکن با مصرف یک کیلوگرم سوپرفسفات تریپل وارداتی، میزان کادمیوم و سرب وارده به خاک به ترتیب ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خواهد بود.

- با توجه به خصوصیات منحصر به فرد سوپرفسفات ساده در تأمین فسفر مورد نیاز بخش کشاورزی و این‌که این کود می‌تواند به عنوان کود ملی مطرح گردد، پیشنهاد می‌شود به جای سوپرفسفات تریپل وارداتی، از سوپرفسفات ساده استفاده شود، زیرا صددرصد مواد اولیه آن در داخل کشور موجود بوده و امکان تولید آن تا سقف ۲۰۰ هزار تن در سال در کشور فراهم است و مورد تأیید مؤسسه تحقیقات خاک و آب و دیگر مراجع علمی نیز می‌باشد و به مراتب سالم‌تر از سوپرفسفات تریپل وارداتی است. این کود ملی، توسط شرکت خدمات حمایتی کشاورزی خریداری و در سبد مصرف کشاورزان قرار داده شود که مصرف آن با عنایت به آهکی بودن خاک‌های زراعی کشور، علمی‌تر، ارزان‌تر و سالم‌تر از سوپرفسفات تریپل وارداتی خواهد بود.

۹-۵- ارجحیت مصرف سرک سولوپتاس تولید داخل بر دیگر کودهای پتاسیمی

سولوپتاس (سولفات پتاسیم محلول ویژه کود آبیاری) محتوی ۵۱ درصد پتاسیم و ۵۶ درصد سولفات بوده و حلالیت آن در آب در دمای معمولی نزدیک به ۱۰۰ در صد است. سولوپتاس با مقادیر بهینه از عناصر پتاسیم و گوگرد ترکیب شده که به سهولت قابل جذب در ریشه گیاهان است. این کود تقریباً فاقد کلر است. کود سولفات پتاسیم ویژه آبیاری به صورت پودر نرم سفید رنگ وجود داشته و محلول آن اسیدی است. بدیهی است pH پایین آن، سبب افزایش درجه حلالیت فسفر، آهن و اکثر ریزمغذی‌های دیگر شده ودر نهایت بهتر در دسترس ریشه قرار گرفته و همچنین، احتمال گرفتگی لوله‌ها در آبیاری قطره‌ای در محلول اسیدی کمتر است. محاسن مصرف سرک این کود را می توان در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی؛ شاخص‌های آبشویی کم و ضریب شوری پایین؛ افزایش مقاومت گیاهان به بیماری‌ها و آفت‌ها؛ محتوی گوگرد به صورت سولفات قابل جذب گیاه؛ خاصیت اصلاح کنندگی موضعی pH ریزوسفر و در نهایت افزایش کارایی پتاسیم خلاصه نمود. این کود را می‌توان در غلظت‌های معمولی با اکثر کودها به‌جز ترکیبات کلسیمی (تشکیل رسوب سولفات کلسیم) مخلوط کرد. به‌علاوه، محلول آن را می‌توان با اکثر سموم حشره‌کش و ضد قارچ به منظور برگ‌پاشی مخلوط و به سهولت به میزان ۱۵ تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار با روش کودآبیاری (به صورت تقسیط) و یا به میزان ۵ تا ۱۰ کیلوگرم بر هکتار به صورت محلول‌پاشی استفاده نمود.

مصرف این کود در خاک های تخلیه شده از پتاسیم و شور به ویژه برای محصولات پرتوقع نظیر انواع سبزی و صیفی نسبت به سایر کودهای پتاسیمی ارجحیت دارد. مطالعات نشان داده که نیترات بیش از حد در موقع تشکیل میوه، باعث افت کیفیت میوه می‌شود. یون کلر از اجزاء قابل ملاحظه موجود در خاک‌های شور است و زیادی آن باعث افت کیفیت بسیاری از محصولات کشاورزی که بدان حساس هستند، می‌شود. این کود دارای شاخص‌های آبشویی کم و ضریب شوری کم است. خصوصیات شیمیایی و فیزیکی سولو پتاس‌های وارداتی و تولید داخل در جدول زیر درج شده است.

مشخصات سولوپتاس‌های (سولفات پتاسیم ویژه کود آبیاری) وارداتی و تولید داخل

مشخصات	سولوپتاس (بلژیک)	سولوپتاس (تولید داخل)
درصد پتاسیم (K_2O)	۵۲	۵۲
درصد سولفات (SO_4)	۵۲	۵۲
درصد سدیم (Na)	کمتر از نیم درصد	کمتر از نیم درصد
درصد کلر (Cl)	کمتر از نیم درصد	کمتر از نیم درصد
درصد رطوبت آزاد	کمتر از نیم درصد	کمتر از نیم درصد
قیمت فروش (تومان به ازای هر کیلوگرم)	۴۵,۰۰۰	۳۰,۰۰۰

* درجه حلالیت این کود در آب ۲۵ درجه سانتیگراد، برابر ۱۰۰ درصد است.

در پاسخ به پرسشی که چرا در خاک‌های رسی با سطوح بالای پتاسیم که زیرکشت گیاهان پرتوقع پتاسیم دوست نظیر ذرت می‌باشند، حتی به مصرف قبل از کاشت سولفات‌پتاسیم نیز عکس‌العمل مناسب نشان نمی‌دهند، باید گفت که در مرحله گلدهی، ذرت نیاز پتاسیمی بالایی دارد. یعنی مقدار پتاسیمی که روزانه ذرت از خاک می‌گیرد، بالا بوده و خاک توانایی تأمین این مقدار زیاد پتاسیم را به‌رغم پتاسیم قابل استفاده بالا ندارد [ذرت دانه‌ای در طول زمان خوشه‌دهی خود، روزانه حدود هشت کیلوگرم نیتروژن (N)، دو کیلوگرم فسفر (P_2O_5)، شش کیلوگرم پتاسیم (K_2O)، ۶۰۰ گرم گوگرد (S)، ۲۳۰ گرم روی (Zn) و ۵۵ گرم بور(B) از خاک زیرکشت خود برداشت می‌نماید (Bender و همکاران، ۲۰۱۳)]، لذا ذرت به مصرف سولفات‌پتاسیم قبل از کاشت نیز به دلیل تثبیت، عکس‌العمل مناسب نشان نمی‌دهد. راه حل در چنین مواقع، استفاده از کودهای محلول پتاسیمی به ویژه سولوپتاس با روش کودآبیاری بطور تقسیط می‌باشد. با این روش می‌توان به سهولت ضمن نیل به افزایش عملکرد هکتاری، کارآیی پتاسیم را نیز بطور معنی‌داری بهبود بخشید. بنابراین، در این مرحله لازم است از این نوع کودهای پتاسیمی به ویژه سولفات پتاسیم محلول ویژه کود آبیاری به صورت سرک استفاده شود.

۶ فصل ششم

چکیده چند پایان نامه، جمع بندی، پیشنهادها، چند پرسش کاربردی و پاسخ آن‌ها

کودهای پتاسیمی و روی

K & Zn-Fertilizers

۱-۶- چکیده چند پایان‌نامه

۱-۱-۶- بررسی اثر مصرف بهینه کود بر عملکرد و ترکیبات شیمیایی اسانس گیاه دارویی به لیمو

زارع (۱۳۹۱) در یک پروژه تحقیقاتی، به منظور بررسی نقش مصرف بهینه کود در افزایش عملکرد و کیفیت اسانس گیاه دارویی به‌لیمو (*Lippia citriodora*)، آزمایشی در بستر خاکی گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۹۰، اجرا نمود. در این آزمایش تیمارها شامل: تیمار اول = شاهد (بدون مصرف کود)؛ تیمار دوم= کوددهی براساس عرف زارع (NP)؛ تیمار سوم= مصرف بهینه کود و تیمار چهارم= مصرف بهینه کود همراه با کود زیستی بودند. نتایج نشان داد در حالی که عملکرد (وزن خشک) و میزان اسانس در برداشت اول در تیمار دوم (کوددهی سنتی براساس عرف زارع) ۸۱۰ و ۱۰/۶، تیمار سوم (مصرف بهینه کود) ۱۳۰۰و ۱۹/۲ و تیمار چهارم (تیمارسوم + کود زیستی) برابر ۱۳۲۰و ۲۰/۵ کیلوگرم بر هکتار گردید. در برداشت دوم نیز عملکرد و اسانس در تیمار دوم (کوددهی سنتی براساس عرف زارع) ۸۰۶، ۱۰/۱۲، تیمار سوم (مصرف بهینه کود) ۱۰۹۶، ۱۸/۹۶و تیمار چهارم (تیمارسوم + کود زیستی) برابر ۱۲۰۳، ۱۹/۴۷ کیلوگرم بر هکتار گردید. همچنین نتایج تجزیه اسانس نشان داد که درصد سیترال (نرال+ ژانیال) دراسانس برداشت اول در تیمار دوم ۴۱/۲ بود، این ارقام در تیمارهای سوم ۴۹/۹و ششم ۵۲/۲ بدست آمد. نتایج این تحقیقات نشان داد که عملکرد و میزان اسانس در تیمار مصرف بهینه کود در مقایسه با کوددهی براساس عرف زارع به ترتیب ۴۱ و ۹۳ در صد افزایش یافت- شکل‌های زیر. ایشان چنین نتیجه‌گیری نمود که مصرف بهینه کود سبب افزایش معنی دار عملکرد، میزان اسانس تولیدی، درصد ماده مؤثره و همچنین افزایش درآمد تولیدکنندگان گیاهان دارویی می شود. لذا پیشنهاد می‌شود اصول مصرف بهینه کودی از این به بعد در کلیه طرح‌های تحقیقاتی و همچنین در مزارع، باغ‌های میوه و گیاهان دارویی رعایت گردد (زارع، ۱۳۹۱).

اثر تیمارهای مختلف کود بر مجموع عملکرد برگ خشک در گیاه دارویی به‌لیمو در دو برداشت (زارع، ۱۳۹۱)

اثر تیمارهای مختلف کودی بر مجموع عملکرد اسانس در برگ گیاه دارویی به‌لیمو در دو برداشت (زارع، ۱۳۹۱)

۲-۱-۶- بررسی اثرات کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و دامی بر ویژگی‌های زراعی و افزایش عملکرد دو رقم کلزا در آذربایجان شرقی: الطافی(۱۳۹۲) در این آزمایش تاثیر هفت تیمار کودی شامل تیمار شاهد= بدون مصرف کود (T_1)؛تیمار دوم= ۱۰۰ درصد کود دامی (۲۰تن در هکتار) (T_2)؛ تیمار سوم=۱۰۰ درصد کود شیمیایی (T_3)؛ تیمار چهارم= ۷۵ درصد کود دامی + ۲۵ درصد کود شیمیایی (T_4)؛ تیمار پنجم= ۵۰ درصد کود دامی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T_5)؛ تیمار ششم= ۲۵ درصد کود دامی + ۷۵ درصد کود شیمیایی (T_6) و تیمار هفتم= کوددهی مطابق با عرف زارعین (کودهای نیتروژنی و فسفاتی) (T_7) به عنوان فاکتور اصلی بر صفات زراعی دو رقم کلزا شامل اکاپی و لیکورد به عنوان فاکتور فرعی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار بررسی شد. نتایج نشان داد که منابع مختلف کودی تاثیر معنی داری برعملکرد دانه و روغن داشتند. در حالی که عملکرد دانه و روغن در قطعه شاهد (تیمار اول) و در قطعه کود دهی بر اساس عرف زارعین (تیمار هفتم) به ترتیب ۱۵۹۲، ۶۳۰ و ۲۰۹۱، ۹۲۴ کیلوگرم بر هکتار گردید، بیشترین عملکرد دانه و روغن مربوط به تیمارهای پنجم در رقم لیکورد بود. استفاده تلفیقی کودهای دامی و شیمیایی (تیمار پنجم) در رقم لیکورد، موجب تولید ۲۸۱۶ کیلوگرم بر هکتار کلزا شد که نسبت به شاهد ۷۳ درصد و نسبت به عرف زارعین ۴۰ درصد افزایش عملکرد داشت. همچنین بیشترین عملکرد روغن نیز در رقم لیکورد (تیمار پنجم) با عملکرد ۱۳۲۶ کیلوگرم بر هکتار روغن بود که نسبت به تیمار شاهد ۱۰۲ درصد و نسبت به تیمار عرف زارع ۴۹ درصد افزایش روغن بدست آمد. لذا پیشنهاد می‌شود اصول مصرف بهینه کودی از این به بعد در کلیه طرح‌های تحقیقاتی و همچنین در سطح مزارع، باغ‌های میوه و گیاهان دارویی رعایت گردد.

اثر سطوح مختلف کودی بر عملکرد دانه کلزا (الطافی، ۱۳۹۲)

اثر سطوح مختلف کودی بر عملکرد روغن در کلزا (الطافی، ۱۳۹۲)

۳-۱-۶- تاثیر سطوح مختلف روی و بور بر عملکرد و ماده خشک در سیب‌زمینی: سیب‌زمینی بعنوان چهارمین محصول غذایی بعد از گندم، برنج و ذرت بشمار می‌رود. به دلیل بالا بودن عملکرد و خصوصیات تغذیه‌ای مطلوب این محصول، سطح زیر کشت آن نسبت به سایر محصولات در حال افزایش می‌باشد. یکی از دلایل گسترش کشت سیب‌زمینی، وجود مقدار زیاد فیبر، نشاسته، پتاسیم، پروتئین، ویتامین‌ها به ویژه ویتامین C و همچنین دیگر مواد

معدنی می‌باشد. کمبود روی (Zn) و بور (B) در خاک‌های آهکی کشور شایع است و از علل آن می‌توان به ماهیت آهکی بودن خاک‌های تحت کشت، پایین بودن مواد آلی، بالا بودن pH، تداوم خشکسالی و بی کربنات زیاد در آب آبیاری اشاره نمود. به منظور بررسی نقش این عناصر (روی و بور) در افزایش عملکرد، بهبود کیفیت و افزایش درصد ماده خشک سیب‌زمینی، آزمایشی به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در قالب فاکتوریل با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات جلگه رخ واقع در ۴۵ کیلومتری تربت حیدریه (خراسان رضوی) در سال ۱۳۹۱ انجام شد. در این آزمایش روی در سه سطح (۰، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات روی) و بور در چهار سطح (۰، ۲/۵، ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اسید بوریک) مورد آزمون قرار گرفت. تیمارهای این آزمایش شامل تیمار اول: مصرف تمامی عناصر غذایی براساس آزمون خاک بجز روی و بور؛ تیمار دوم: تیمار اول + ۲/۵ کیلوگرم بر هکتار اسید بوریک؛ تیمار سوم: تیمار اول + ۵ کیلوگرم بر هکتار اسید بوریک؛ تیمار چهارم: تیمار اول + ۱۰ کیلوگرم بر هکتار اسید بوریک؛ تیمار پنجم: تیمار اول + ۴۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی؛ تیمار ششم: تیمار پنجم + ۲/۵ کیلوگرم بر هکتار اسید بوریک؛ تیمار هفتم: تیمار پنجم + ۵ کیلوگرم بر هکتار اسید بوریک؛ تیمار هشتم: تیمار پنجم + ۱۰ کیلوگرم بر هکتار اسید بوریک؛ تیمار نهم: تیمار اول + ۸۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی؛ تیمار دهم: تیمار نهم + ۲/۵ کیلوگرم بر هکتار اسید بوریک؛ تیمار یازدهم: تیمار نهم + ۵ کیلوگرم بر هکتار اسید بوریک؛ تیمار دوازدهم: تیمار نهم + ۱۰ کیلوگرم بر هکتار اسید بوریک بود. مقادیر عملکرد و درصد ماده خشک ۱۲ تیمار آزمایشی به ترتیب شامل: تیمار اول: ۲۸/۳ و ۱۹/۶؛ تیمار دوم: ۳۸/۳۵ و ۱۹/۸؛ تیمار سوم: ۳۴/۱۷ و ۱۹/۷۹؛ تیمار چهارم: ۳۳/۳ و ۱۹/۶۸؛ تیمار پنجم: ۴۲/۴۵ و ۲۰/۶۲؛ تیمار ششم: ۴۵/۷ و ۲۰/۸۴؛ تیمار هفتم: ۳۴/۶۴ و ۲۰/۲۱؛ تیمار هشتم: ۳۶/۰۸ و ۱۹/۹۷؛ تیمار نهم: ۳۸/۱۲ و ۲۰/۹۲؛ تیمار دهم: ۴۱/۵۳ و ۲۲/۶۵؛ تیمار یازدهم: ۴۰/۴۵ و ۲۰/۹۶؛ تیمار دوازدهم: ۳۴/۲۵ و ۲۰/۸۴ تن در هکتار بود. نتایج این آزمایش نشان داد در حالی که در قطعات شاهد، عملکرد و ماده خشک ۲۸/۳ تن در هکتار و ۱۹/۸ درصد بود. این مقادیر برای عملکرد در بهترین تیمار آزمایشی (تیمار ششم) ۴۵/۷ تن در هکتار و برای درصد ماده خشک بهترین تیمار آزمایشی (تیمار دهم) ۲۲/۶۵ افزایش یافت که نشان از افزایش ۳۸ درصدی عملکرد و ۱۳/۵درصدی ماده خشک نسبت به شاهد داشت. لذا پیشنهاد می‌شود اصول مصرف بهینه کودی از این به بعد در کلیه طرح‌های تحقیقاتی و همچنین در سطح مزارع، باغ‌های میوه و گیاهان دارویی رعایت گردد (دادخواه، ۱۳۹۱).

۴-۱-۶- بررسی مصرف بهینه کودی در افزایش عملکرد و کاهش نسبت مولی اسیدفیتیک به روی در دانه برنج: به منظور بررسی نقش مصرف بهینه کودی در افزایش عملکرد و کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی (PA/Zn) در برنج رقم شیرودی، آزمایشی به صورت مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۶ تیمار در ۴ تکرار در سال زراعی

۹۱-۱۳۹۰ در یکی از شالیزارهای شهرستان بابل اجرا شد. در این آزمایش تیمار اول = شاهد (بدون مصرف کود)؛ تیمار دوم = کوددهی براساس عرف زارع(NP)؛ تیمار سوم = مصرف بهینه کود (براساس آزمون خاک)؛ تیمار چهارم = تیمار سوم + پتاسیم اضافی؛ تیمار پنجم = تیمار چهارم + روی اضافی؛ تیمار ششم = تیمار سوم + روی اضافی + فسفر اضافی بودند. پس از نمونه‌برداری مرکب از خاک مزرعه، تجزیه فیزیکی- شیمیایی براساس روش‌های متداول موسسه تحقیقات خاک و آب صورت گرفت. پس از کشت برنج، کوددهی براساس تیمارهای موردنظر اعمالو کلیه عملیات داشت شامل مبارزه با آفات و بیماری‌ها، وجین و آبیاری مطابق عرف شالیکاران منطقه انجام شد. در اوایل شهریور ماه ۱۳۹۱،برداشت محصول برای اندازه‌گیری عملکرد شالی و برنج صورت گرفت. پس از تبدیل شلتوک به برنج قهوه‌ای و سفید، میزان فسفر و روی در شلتوک و دانه‌های قهوه‌ای و سفید اندازه‌گیری و PA/Zn در دانه‌ها محاسبه و نتایج با استفاده از نرم افزارSPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. عملکرد دانه در تیمار شاهد ۴۳۹۴ کیلوگرم بر هکتار بود، این ارقام در تیمارهای دوم به ترتیب ۶۳۸۴؛ سوم ۶۱۴۰؛ چهارم ۶۱۵۱؛ پنجم ۶۳۷۷؛ ششم ۶۳۴۶کیلوگرم بر هکتار گردید. حداقل عملکرد دانه در تیمار شاهد و حداکثر عملکرد دانه در تیمار دوم بودکه در سطح یک درصد معنی دار گردید. نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف بر وزن صددانه، تعداد کل دانه و تعداد دانه‌های پوک در هر خوشه تاثیر معنی‌داری نداشتند. در حالی که PA/Zn در شلتوک، برنج قهوه ای و سفید در تیمار اول به ترتیب ۴۱/۷ و ۳۵/۱ و۱۹/۶ بود، این ارقام در تیمار دوم به ترتیب ۴۴/۲ و ۳۳/۸و۲۶/۴؛ تیمار سوم ۴۰/۹ و۳۵/۸ و ۲۲/۶؛ تیمار چهارم ۳۵/۵ و۳۲/۱ و ۲۵/۳؛ تیمار پنجم ۳۹/۸۱ و۳۳/۳ و ۲۳/۸؛ تیمار ششم ۴۸/۰ و ۴۲/۱ و ۳۰/۷ گردید.نسبت مولی اسید فیتیک به روی در شلتوک و برنج سفید از نظر آماری معنی دار نگردید، ولی در برنج قهوه‌ای حداقل PA/Zn مربوط به تیمار چهارم و حداکثر آن در تیمار ششم بود که در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. با توجه به خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک‌های شالیزاری تحت بررسی و با عنایت به نتایج بدست آمده چنین استنباط گردید که برای ارتقاء سطح سلامت جامعه،تیمار چهارم مناسب‌ترین بود. لذا پیشنهاد می‌شود اصول مصرف بهینه کودی از این به بعد در کلیه طرح‌های تحقیقاتی و همچنین در مزارع، باغ‌های میوه و گیاهان دارویی رعایت گردد. (رهبرشیراز، ۱۳۹۱).

۵-۱-۶- عملکرد گل و کلاله زعفران تحت تاثیر مصرف پتاسیم و روی در غرب استان خراسان رضوی: زعفران (*Crocus sativus* L.) یکی از گرانترین چاشنی‌های غذایی دنیا می‌باشد. با وجود اینکه ایران بیشترین میزان تولید زعفران جهان را به خود اختصاص داده است، لیکن میزان عملکرد در واحد سطح کمتری نسبت به سایر کشورهای تولیدکننده این محصول را دارد. این تحقیق به منظور ارزیابی اثر بخشی مصرف پتاسیم و روی برعملکرد گل و کلاله زعفران در جنوب شهرستان سبزوار در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ براساس نتایج تجزیه خاک اجرا گردید. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی شامل ۹ تیمار سه سطح پتاسیم

(۰، ۱۰۰و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار) و سه سطح روی (۰، ۲۵ و ۵۰ کیلو گرم بر هکتار) در سه بلوک به ابعاد ۱۲×۲ متر اجرا گردید. صفات مورد اندازه‌گیری شامل تعداد گل، وزن گل و وزن کلاله در هر کرت بود که بعد از اندازه‌گیری، داده‌ها با نرمافزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج بدست آمده نشان داد که مصرف پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر صفات اندازه‌گیری شده نداشته، لیکن با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، تعداد گل ۵/۵ درصد، وزن گل ۵/۶ درصد و وزن خشک کلاله ۸/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. علت عدم واکنش زعفران به مصرف قبل از زمان گلدهی ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات پتاسیم به رغم مقدار ۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم پتاسیم قابل استفاده در خاک را می‌توان به شرایط نامناسب جوی و عملکرد پایین زعفران در سال جاری مربوط دانست. اما تأثیر سطوح مختلف روی بر صفات اندازه‌گیری شده در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید، به طوری که مصرف ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی باعث افزایش ۶۵ درصد تعداد گل و ۸۴ درصد وزن گل، و سبب ۱/۵ برابر شدن وزن خشک کلاله نسبت به شاهدگردید. با مصرف ۵۰ کیلوگرم سولفات روی نه تنها صفات مورد اندازه‌گیری افزایش نیافت، بلکه میزان عملکرد زعفران به کمتر از شاهد رسید. با عنایت به نتایج بدست آمده پیشنهاد می‌گردد این آزمایش در دوره‌ها، مناطق دیگر و همچنین نسبت به سایر عناصر غذایی تکرار شود تا بتوان یک فرمول کودی مناسب برای زعفران برمبنای نتایج تجزیه خاک ارائه نمود. لذا پیشنهاد می‌شود اصول مصرف بهینه کودی از این به بعد در کلیه طرح‌های تحقیقاتی و همچنین در سطح مزارع، باغ‌های میوه و گیاهان دارویی رعایت گردد (اکرمی، ۱۳۹۲).

تأثیر کودهای پتاسیمی و روی بر تعداد گل زعفران

۶-۱-۶- بررسی اثربخشی اشعه گاما در شرایط مصرف بهینه کودی بر افزایش طول عمر انباری سیب‌زمینی و پیاز در ایران: سیب زمینی و پیاز از محصولات ارزشمندی هستند که نقش مهمی در تغذیه مردم جهان دارند. اما متأسفانه این محصولات دارای ضایعات انباری بالایی بوده و هر ساله مقادیر قابل توجهی از آن‌ها از بین می‌رود. چنین به نظر می‌رسد که یکی از علل بالا بودن درصد ضایعات دراین نوع محصولات، پایین بودن درصد ماده خشک و بالا بودن غلظت

آلاینده هایی نظیر نیترات و کادمیوم در آن‌ها باشد که عمدتاً ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنی، فسفاته و عدم رعایت اصول مصرف بهینه کودی است. در حال حاضر یکی از روش‌های کاهش ضایعات محصولات کشاورزی، استفاده از اشعه گاما می‌باشد. برای بررسی نقش مصرف بهینه کود و کشاورزی ارگانیک در افزایش اثربخشی اشعه گاما،آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو گیاه سیب‌زمینی و پیاز در سال ۹۲-۱۳۹۱ انجام شد.در هر دو آزمایش سه فاکتور شامل نوع کوددهی (در سیب‌زمینی مصرف کود بر اساس عرف زارعین و مصرف بهینه کود بر اساس آزمون خاک و در پیاز مصرف کود بر اساس عرف زارعین و کوددهی ارگانیک)، پرتودهی با اشعه گاما (شاهد و پرتودیده) و زمان اندازه‌گیری فاکتورهای مورد نظر (قبل از انبارداری و ۶ ماه پس از انبارداری) مورد استفاده قرار گرفت. در ابتدا درصد ماده خشک، غلظت نیترات و کادمیوم در تمام نمونه‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد و سپس نمونه‌ها با دز ۰/۱۵ کیلوگری پرتودهی شده و نمونه‌های شاهد و پرتودیده به مدت ۶ ماه تحت دمای ۱۵ الی ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۰ الی ۶۰ درصد انبار شدند و پس از ۶ ماه ذخیره‌سازی، درصد ماده خشک و غلظت نیترات و کادمیوم در آن‌ها مجدداً اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مصرف بهینه کود و استفاده از کودهای آلی باعث کاهش معنی‌دار غلظت آلاینده‌های نیترات و کادمیوم و افزایش درصد ماده خشک در سیب‌زمینی و پیاز و به تبع آن افزایش ماندگاری آن‌ها شد. اشعه گاما نیز با ممانعت از جوانه‌زنی و کاهش انقباض و هدررفت آب در غده‌های سیب‌زمینی و پیاز بر افزایش ماندگاری آن‌ها تأثیر معنی‌دار داشت. به طورکلی در سیب‌زمینی بهترین ترکیب تیماری متعلق به تیمار مصرف بهینه پرتودیده بود. با عنایت به نتایج به دست آمده نظر به اینکه میزان کاهش وزن سیب‌زمینی‌های حاصل از تیمار مصرف بهینه کود و پیازهای حاصل از کوددهی ارگانیک در دوره انبارداری حداقل بود، لذا ارجحیت پرتودهی اشعه گاما در شرایط مصرف بهینه کودی بر افزایش ماندگاری سیب‌زمینی و پیاز به اثبات رسید. بنابراین، توصیه می‌گردد که این آزمایش در مورد سایر محصولات کشاورزی نیز مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد (عباسی، ۱۳۹۲).

۷-۱-۶- نقش مصرف بهینه کود بر عملکرد کمی و کیفی سیر در استان مازندران: سیر (*Allium sativum*) دومین محصول پیازی از نظر وسعت کشت و اولین محصول پیازی از نظر ارزش غذایی و مقدار ماده خشک محسوب می‌شود. به منظور بررسی نقش مصرف بهینه کود در عملکرد کمی و کیفی سیر، تحقیقی در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در قالب طرح بلوک کاملا تصادفی با شش تیمار و چهار تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی قراخیل در استان مازندران انجام شد. در این آزمایش تیمار اول= شاهد (بدون مصرف کود)؛ تیمار دوم= کوددهی براساس عرف زارع (NP)؛ تیمار سوم= مصرف متعادل کود (کوددهی براساس نتایج تجزیه خاک)؛ تیمار چهارم= تیمار سوم + پتاسیم اضافی؛ تیمار پنجم= تیمار سوم + روی اضافی؛ تیمار ششم= تیمارسوم +

پتاسیم اضافی + روی اضافی بودند. پس از نمونه برداری مرکب از خاک و تجزیه فیزیکوشیمایی آن براساس روش‌های متداول، کوددهی و سپس کشت و عملیات داشت انجام گرفت. صفات مورد اندازه‌گیری شامل عملکرد پیاز سیر، درصد ماده خشک، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی و گوگرد در پیاز سیر بودند که با استفاده از نرم‌افزار MSTATC مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد مقادیر عملکرد شش تیمار آزمایشی به ترتیب شامل: تیمار اول: ۸/۱۵؛ تیمار دوم: ۸/۲۵؛ تیمار سوم: ۱۰/۳۵؛ تیمار چهارم: ۱۱/۸؛ تیمار پنجم: ۱۰/۷۰ و تیمار ششم: ۱۰/۸۵تن در هکتار بودند. بیشترین عملکرد با ۱۱/۸ تن در هکتار، مربوط به تیمار چهارم بود. کاربرد سولفات روی تاثیر قابل توجهی در افزایش غلظت روی برگ و پیاز سیر داشت. بیشترین غلظت روی در برگ و پیاز سیر، مربوط به تیمار پنجم با ۵۷ و ۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. همچنین کاربرد کلرور و سولفات پتاسیم تاثیر قابل توجهی در افزایش پتاسیم برگ و پیاز سیر داشت به طوری که بیشترین مقدار پتاسیم در برگ و پیاز سیر، مربوط به تیمار ششم با میزان ۲/۴۷ و ۱/۸۳ درصد بود. بیشترین مقدار فسفر در برگ و پیاز سیر، مربوط به تیمار عرف زارع با میزان۰/۵۱ و ۰/۲۸ درصد بود اما در هیچکدام معنی‌دار نشد. بیشترین مقدار نیتروژن در برگ و پیاز سیر مربوط به تیمار عرف زارع با میزان ۲/۵۸ و ۲/۴۳ درصد بود. بیشترین مقدار گوگرد، مربوط به تیمار ششم با میزان ۰/۹۲ و ۰/۵۷ درصد بود که در برگ سیر معنی‌دار شد اما در پیاز سیر معنی‌دار نشد. بیشترین درصد ماده خشک، مربوط به تیمارم چهارم با میزان ۴۷/۹۷ درصد و بیشترین درصد رطوبت، مربوط به تیمار شاهد با میزان۶۶/۸۱ درصد بود. با عنایت به نتایج حاصله چنین استنباط گردید که مصرف متعادل کود (کوددهی براساس نتایج تجزیه خاک) سبب افزایش معنی‌دار عملکرد، بهبود خصوصیات کمی و کیفی برگ و پیاز سیر و همچنین افزایش درآمد تولیدکنندگان سیر گردید. لذا پیشنهاد می‌شود اصول مصرف بهینه کودی از این به بعد در کلیه طرح‌های تحقیقاتی و همچنین در سطح مزارع، باغ‌های میوه و گیاهان دارویی رعایت گردد (قربانی، ۱۳۹۳).

۸-۱-۶- بررسی تأثیر پتاسیم و روی بر افزایش عملکرد و کاهش کادمیوم در غده‌های سیب‌زمینی: تأمین مواد غذایی سالم و عاری از آلودگی برای جمعیت در حال رشد کشور الزامی است. سیب‌زمینی از محصولات غدهای می‌باشد که نقش مهمی در سبد غذایی مردم ایران دارد. سرانه مصرف سیب‌زمینی در ایران و جهان به ترتیب برابر ۴۳ و ۸۰ کیلوگرم در سال به ازاء هر نفر می‌باشد. پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر پتاسیم (K) و روی (Zn) بر تجمع کادمیوم (Cd) در غده‌های سیب‌زمینی، در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در یکی از مزارع شهرستان فریدن اصفهان آزمایشی در مزرعه‌ای آلوده به کادمیوم با نه تیمار و چهار تکرار به اجرا درآمد. پس از برداشت نمونه به صورت تصادفی از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری خاک، تجزیه خاک انجام و سپس اقدام به توصیه کودی گردید. میزان فسفر، کادمیوم، پتاسیم و روی قابل جذب خاک به ترتیب برابر با ۴۶، ۳/۵۴، ۱۱۵ و ۰/۹۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در این آزمایش، پتاسیم در سه سطح

(۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار) از منبع سولفات‌پتاسیم و روی در سه سطح (۰، ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم بر هکتار) از منبع سولفات‌روی مورد استفاده قرار گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل تیمار اول (شاهد)= کوددهی بر مبنای نتایج تجزیه خاک به استثنای مصرف پتاسیم و روی؛ تیمار دوم= ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار پتاسیم+ بدون مصرف روی؛ تیمار سوم=۳۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم+ بدون مصرف روی؛ تیمار چهارم= بدون مصرف پتاسیم+ ۲۰ کیلوگرم بر هکتار روی؛ تیمار پنجم= ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار پتاسیم+ ۲۰ کیلوگرم بر هکتار روی؛ تیمارششم= ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار پتاسیم+ ۲۰ کیلوگرم بر هکتار روی؛ تیمار هفتم= بدون مصرف پتاسیم + ۴۰ کیلوگرم بر هکتار روی؛ تیمار هشتم= ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار پتاسیم+ ۴۰ کیلوگرم بر هکتار روی و تیمار نهم= ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار پتاسیم+ ۴۰ کیلوگرم بر هکتار روی بود. صفات مورد اندازه‌گیری در غده‌ها شامل عملکرد، درصد ماده خشک، مقدار عناصر غذایی و در خاک شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز، مس و کادمیوم بود. نتایج این آزمایش نشان داد که الف) بیشترین عملکرد هکتاری در تیمار چهارم برابر با ۳۸/۵ و کمترین آن در تیمار شاهد برابر با ۲۴/۰ تن در هکتار بود؛ ب) بیشترین غلظت پتاسیم در غده‌ها در تیمار ششم برابر با ۳۷۸ و کمترین آن در تیمار شاهد برابر ۲۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک بدست آمد؛ پ) بیشترین غلظت روی در غده‌ها در تیمار هفتم برابر با ۴۶ و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد برابر با ۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و ت) در حالی که در تیمار شاهد، مقدار غلظت کادمیوم غده‌ها حدود چهار برابر حد مجاز (۰/۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) یعنی ۰/۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، در سایر تیمارها این غلظت به طور معنی‌داری کاهش یافت و بیشترین مقدار کاهش کادمیوم در غده‌ها در تیمارهای پنجم و ششم حدود ۰/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید. با توجه به نتایج فوق، چنین استنباط گردید که با مصرف بهینه کودی، علاوه بر تأمین حداکثری عملکرد کمی-کیفی هکتاری سیب‌زمینی، تولید غذای سالم حتی در مزارع آلوده به کادمیوم نیز امکان‌پذیر می‌باشد. لذا پیشنهاد می‌شود اصول مصرف بهینه کودی از این به بعد در کلیه طرح‌های تحقیقاتی و همچنین در سطح مزارع، باغ‌های میوه و گیاهان دارویی رعایت گردد (حسینی، ۱۳۹۴).

۹-۱-۶- نقش پتاسیم (K) و روی (Zn) در کاهش اثرات تنش شوری: گیاهان حساس به شوری نسبت به مصرف پتاسیم (K) عکس‌العمل مناسب‌تری نشان می‌دهند. با افزایش نسبت پتاسیم به سدیم (Na/K) در محلول خاک، تحمل گیاه به شوری افزایش می‌یابد. شواهد نشان می‌دهد که تحت شرایط شور، علائم کمبود پتاسیم با وجود بالا بودن غلظت آن در برگ‌های گندم، همچنان وجود دارد. چه مقداری از پتاسیم جذب شده برای خنثی کردن بار الکتریکی کلر (Cl) ذخیره شده در واکوئل تجمع یافته و کمکی به واکنش‌های حیاتی نمی‌نماید. لذا در این شرایط با افزایش مصرف سولفات‌پتاسیم می‌توان علاوه بر رفع علائم کمبود، اثرات مسمومیت شوری را کاهش و عملکرد را افزایش داد.

با افزایش غلظت پتاسیم در محلول خاک، تحمل گیاهان به تنش شوری زیاد می‌گردد. این در حالی است که وقتی میزان آب قابل دسترس گیاه کم باشد، افزایش پتاسیم حتی در شوری‌های بالا (۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) باعث بیشتر شدن تحمل گیاه می‌گردد. مصرف سولفات‌پتاسیم در شرایط شور موجب کاهش اثرات سوء تجمع سدیم (Na) و کلر (Cl) در برگ‌های گندم شده و در نهایت عملکرد را افزایش می‌دهد. همچنین حد بحرانی پتاسیم برای محصولات زراعی مقاوم به شوری نظیر پنبه در شرایط شور (۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیش از شرایط غیر شور (۲۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) است و برای گیاهان نیمه محتمل و یا حساس به شوری این اختلاف بیشتر خواهد بود.

با افزایش غلظت پتاسیم و روی در شرایط شور، پراکنش و طول ریشه‌ها زیاد شده که در نتیجه آن سطح جذب عناصر غذایی افزایش می‌یابد. همچنین مصرف سولفات روی در این شرایط تشکیل آوندهای چوبی را در گیاهان تحت تنش شوری در مقایسه با گیاهان بدون مصرف آن بهبود داده و از تخریب آن جلوگیری می‌نماید.

از آنجایی که کلر (Cl) در رقابت با نیترات خاک، جذب ازت را مختل می‌نماید و از طرفی با مصرف پتاسیم، بازیافت ازت افزایش می‌یابد، میزان نیاز گندم به ازت، پتاسیم و روی با شورتر شدن آب آبیاری افزایش می‌یابد. به طوری که به ازاء افزایش هر واحد شوری (بیش از آستانه کاهش گندم) حدود ۲۵ کیلوگرم اوره و ۲۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم و ۵ کیلوگرم سولفات روی در هر هکتار بیش از مقدار کود توصیه شده در شرایط غیر شور پیشنهاد می‌گردد.

۲-۶- چند پرسش کاربردی و پاسخ‌آن‌ها

پرسش ۱- پنج نسبت مهم (حدبحرانی یک عنصر غذایی در خاک، غلظت بحرانی یک عنصر غذایی در برگ، نسبت عناصر غذایی جذب شده توسط گیاهان، نسبت مطلوب مصرف کود در کشور و نسبت‌های توصیه کودی عناصر غذایی پرمصرف برای محصولات مختلف کشاورزی) که بایستی ملکه ذهن بوده وآن‌ها را همیشه در رابطه با توصیه بهینه کودی بایستی به خاطر داشته باشید، نام ببرید.

پاسخ ۱-

الف) حدبحرانی (Critical level) یک عنصر غذایی در خاک شاخصی است که در کمتر از آن مقدار، پاسخ گیاه به مصرف کود همان عنصر- بهشرط رعایت اصول تغذیه بهینه گیاهی و مدیریت مطلوب سایر عوامل موثر در تولید- مثبت و اقتصادی (میزان درآمد کشاورز بیش از دو برابر قیمت خرید کود) است. مقدار حد بحرانی عناصر غذایی قابل استفاده در خاک به ترتیب درصد کربن آلی بیش از ۱/۵۰ درصد، فسفر ۱۲، پتاسیم ۲۵۰، گوگرد ۱۵، منیزیم ۵۰۰، آهن ۱۰، منگنز ۷، روی ۲، مس ۱ و بور ۱ میلی گرم در کیلوگرم است.

ب) غلظت بحرانی (Critical concentration) یک عنصر غذایی در برگ، غلظتی است که در کمتر از آن مقدار، پاسخ گیاه به مصرف کود همان عنصر- به شرط رعایت اصول تغذیه بهینه گیاهی و مدیریت مطلوب سایر عوامل موثر در تولید- مثبت و اقتصادی باشد. مقدار غلظت

بحرانی غلظت عناصر غذایی در برگ‌های سیب به ترتیب نیتروژن ۲۵/۲، فسفر۱۲/۰، پتاسیم ۹۰/۱، کلسیم ۸۰/۱، گوگرد ۴۰/۰، منیزیم ۳۰/۰ درصد و آهن ۱۰۰، منگنز ۷۰، روی ۵۰، مس ۱۵ و بور ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

پ) نسبت عناصر غذایی جذب شده توسط محصولات مختلف زراعی و دارویی چنین است:

میزان عناصر غذایی برداشتی توسط محصولات مختلف به‌صورت:

۱۰۰ (N)-(P)۱۵-(K)۸۰-(S)۳۰-(Ca)۳۰-(Mg)۱۵+۰/(Fe)۵۰+۰/(Mn)۳۰+۰/(Zn)۲۰+۰/(Cu)۱۰+۰/۱۰ (B)

می‌باشد که با لحاظ کردن شرایط اقلیم، قابلیت خاک برای آزادسازی عناصر غذایی و میزان تثبیت عناصر غذایی در خاک‌های زراعی، کوددهی باید با همین نسبت به‌طور تقریبی انجام گیرد.

ت) نسبت مطلوب (آرمانی) مصرف کود در کشور باید چنین باشد: در راستای نیل به تولید پایدار و با توجه به کمبود آب، مواد آلی، تنش شوری و افت کیفیت آبهای آبیاری در کشور، لازم است ۲۵ درصد از کودهای مصرفی کشور (حدود ۸ تن در هکتار) را کودهای آلی (مصرف به صورت عمقی قبل از کاشت) تشکیل و نسبت کودی آرمانی پیشنهادی برای خاک‌های آهکی در مقطع کنونی به صورت (کودهای آلی) ٪۲۵ + (ریزمغذی) ٪۴ + (گوگرد) ۳۰+ (پتاسیم)۲۰-(فسفر) ۳۰- (ازت) ۱۰۰ می‌باشد.

ج) نسبت‌های توصیه کودی عناصر غذایی پرمصرف برای محصولات مختلف زراعی کم‌توقع، غده‌ای، پرتوقع و حبوبات می بایستی چنین باشد:

- در گیاهان زراعی کم توقع نظیر گندم، برنج، کلزا و گیاهان دارویی نسبت کودهای پرمصرف ۲- ۱- ۳؛
- در گیاهان زراعی پرتوقع نظیر ذرت و دانه‌های روغنی نسبت کودهای پرمصرف ۳- ۱- ۴؛
- در گیاهان زراعی پرتوقع غده‌ای نظیر پیاز، سیب‌زمینی و چغندرقند نسبت کودهای پرمصرف ۴- ۱- ۳ و
- در گیاهان خانواده بقولات و حبوبات نظیر یونجه، لوبیا و نخود نسبت کودهای پرمصرف ۲- ۱- ۰/۵ مناسب‌تر است. بدیهی است، افزون بر کودهای پرمصرف فوق، مصرف ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار گوگرد آلی به همراه باکتری‌های تیوباسیلوس (در خاک‌های آهکی)، ۵۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات منیزیم (به صورت سرک) برای مزارع گندم و دانه‌های روغنی در شمال و غرب کشور، ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات آهن، ۵۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات منگنز، ۵۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی (پیش از کاشت هر دو تا سه سال یک بار) و در خاک‌های غیرشور ۱۵ کیلوگرم بر هکتار اسید بوریک (به صورت دو بار سرک) با مقدار کافی مواد آلی پیش از کاشت به طور عمقی همزمان با کودهای فسفاتی، گوگرد آلی و ریزمغذی‌ها مصرف خواهند گردید، الزامی می‌باشد.

پرسش ۲- حدبحرانی (Critical level) یک عنصر غذایی در خاک چیست؟ در یک مقاله علمی، حد بحرانی پتاسیم را در شالیزارهای اندونزی ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نموده‌اند،

آیا می‌توان این حد بحرانی را برای خاک‌های شالیزاری شمال کشور نیز اعمال نمود؟ و چرا؟

پاسخ ۲- حدبحرانی (Critical level) یک عنصر غذایی در خاک، شاخصی است که در کمتر از آن مقدار، پاسخ گیاه به مصرف کود همان عنصر به شرط رعایت اصول تغذیه بهینه گیاهی و مدیریت مطلوب سایر عوامل موثر در تولید، مثبت و اقتصادی (میزان درآمد کشاورز بیش از دو برابر قیمت خرید کود باشد) است. لیکن، اگر غلظت یک عنصر غذایی در خاک بیشتر از حدبحرانی باشد، پاسخ گیاه نسبت به مصرف کود همان عنصر، کمتر، غیراقتصادی و ناسازگار با مسائل زیست‌محیطی خواهد بود. این تعریف هنگامی صادق است که دیگر نهاده‌های موثر برعملکرد گیاه در حد بهینه باشند. به عبارت دیگر، مقدار کود مصرفی بایستی در حد بهینه بوده و منجر به مسمومیت و تخریب منابع پایه خاک و آب و محیط زیست نگردد (ملکوتی، ۱۳۹۴). خیر، میزان حد بحرانی پتاسیم به دلیل تثبیت پتاسیم در خاک به فاکتورهای متعددی از جمله بافت خاک، نوع و میزان رس‌های موجود مخصوصاً ترکیب مینرالوژیکی خاک‌های تحت کشت بستگی دارد. بنابراین، از آن جایی که کشور اندونزی دارای آب و هوای حاره بوده و رس‌های شالیزارهایش عمدتاً ۱:۱ و یا اکسیدهای آهن و آمونیوم است (این گروه دارای ظرفیت تبادل کاتیونی پایینی می‌باشند) و خاک‌های شالیزاری شمال کشور دارای رس های ۲:۱ گروه مونتموریلونیت و ایلیت هستند (این گروه دارای قدرت تثبیت کنندگی پتاسیم بالایی هستند)، لذا نمی‌توان حد بحرانی پتاسیم در شالیزارهای اندونزی را برای شالیزارهای شمال کشور استفاده کرد. حد بحرانی پتاسیم برای خاک‌های شالیزاری شمال کشور برای تولید یک عملکرد مطلوب بایستی بیشتر از ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد.

پرسش ۳- دو مزرعه در هفت تپه خوزستان در کنار یکدیگر قرار دارند. در اولی بیش از ۵۰ سال است که نیشکر کاشته می‌شود. ولی مزرعه دومی بکر بوده و اخیر زیر کشت نیشکر رفته است. حد بحرانی فسفر و یا پتاسیم را در این دو مزرعه برای برداشت ۱۲۰ تن نیشکر در هکتار، چگونه تعیین می‌نمایید؟ توضیح دهید.

پاسخ ۳- چنانچه خصوصیات فیزیکوشیمیایی و مینرالوژیکی دو خاک (مخصوصاً ترکیب مینرالوژیکی خاک‌های تحت کشت) مشابه بوده و تنها سابقه کشت متفاوت باشد، تحت چنین شرایطی، عرضه عناصر غذایی در خاک بکر به مراتب، بیشتر خواهد بود. با افزایش درجه حاصلخیزی خاک (اضافه نمودن کود)، احتمال بازده اقتصادی تولیدات کشاورزی به ازای مصرف کود ناشی از افزایش تولید، کاهش می‌یابد. درصورت وجود کمبود، با کاهش غلظت یک عنصر غذایی در خاک، احتمال بازده اقتصادی تولیدات کشاورزی نسبت به مصرف کود افزایش می‌یابد. بنابراین، حد بحرانی در خاک کشت شده کمتر و در خاک بکر بیشتر خواهد بود (حد بحرانی پتاسیم به دلیل تثبیت پتاسیم در خاک به فاکتورهای متعددی از جمله بافت خاک، نوع و میزان رس‌های موجود مخصوصاً ترکیب مینرالوژیکی خاک‌های تحت کشت بستگی دارد). به عنوان مثال اگر حد بحرانی پتاسیم در خاک کشت شده ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد، در خاک بکر این رقم حدود ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خواهد بود. به عبارتی دیگر، با کاهش حد بحرانی غلظت عناصرغذایی

در خاک، پاسخ تولید به مصرف کود افزایش خواهد یافت (Havlin و همکاران، ۲۰۰۴).

با کاهش غلظت قابل استفاده یک عنصر غذایی در خاک، احتمال عکس‌العمل تولید سودآور با اضافه کردن کود افزایش می‌یابد

پرسش ۴- در نمونه‌برداری از دو مزرعه سیب‌زمینی که در اولی مصرف کود غیرمتعادل (NP) و در دومی متعادل بود، مقدار نیتروژن (N) در غده‌های سیب‌زمینی در تیمار شاهد ۱۵۰ و در تیمار مصرف بهینه کود ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. درصد ماده خشک در غده‌های سیب‌زمینی مزرعه اول ۱۸ و در مزرعه دوم ۲۲ تعیین گردید. با عنایت به این‌که حد مجاز نیترات حدود ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بر مبنای وزن‌تر می‌باشد، ضمن محاسبه غلظت نیترات در غده‌های دو نمونه سیب‌زمینی، در کدام یک، غلظت نیترات پایین‌تر از حد مجاز می‌باشد؟ با اعمال چه قسمتی می‌توان غلظت نیترات را پایین‌تر از حد مجاز نگه‌داشت؟

پاسخ ۴- با توجه به اینکه درصد ماده خشک در غده‌های سیب‌زمینی مزرعه اول ۱۸ و در غده‌های سیب‌زمینی مزرعه دوم ۲۲ می‌باشد. بنابراین میزان نیترات موجود در هر کیلوگرم سیب‌زمینی در دو حالت کوددهی مزارع سیب‌زمینی مطابق عرف زارعین (NP) و کوددهی بر اساس نتایج تجزیه خاک، به‌شرح زیر خواهد بود:

الف) در حالت اول کوددهی مزارع سیب‌زمینی مطابق عرف زارعین(NP)

- میزان نیترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم بر مبنای وزن خشک) ۶۶۴= ۱۴/ (۶۲ × ۱۵۰)
- میزان نیترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم بر مبنای وزن تازه) ۱۲۰= ۱۰۰/ (۱۸ × ۶۶۴)

ب) در حالت دوم (کوددهی بر اساس نتایج تجزیه خاک)

- میزان نیترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم بر مبنای وزن خشک) ۲۲۲= ۱۴/ (۶۲ × ۵۰)
- میزان نیترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم بر مبنای وزن تازه) ۴۹= ۱۰۰/ (۲۲ × ۲۱۸)

به‌طوری‌که مشاهده می‌گردد، غلظت نیترات در تیمار کود بهینه داده شده کمتر از حد مجاز

می‌باشد. با صرفه‌جویی در مصرف کودهای نیتروژنی، رعایت اصول مصرف بهینه کودی بالاخص مصرف سولفات پتاسیم، سولفات روی و نیز انتخاب ارقام مناسب، می‌توان غلظت نیترات را کاهش داد.

پرسش ۵- برای تولید یک کیلوگرم چیپس، ۴ کیلوگرم سیب‌زمینی با درصد ماده خشک ۱۷ درصد نیاز می‌باشد، تحت شرایط مصرف بهینه کودی با ۲۲ درصد ماده خشک، میزان صرفه‌جویی را محاسبه نمایید.

پاسخ ۵- در صورتی‌که برای تولید یک کیلوگرم چیپس، به ۴ کیلوگرم سیب‌زمینی با درصد ماده خشک ۱۷ درصد نیاز باشد، تحت شرایط مصرف بهینه کودی که درصد ماده خشک سیب‌زمینی ۲۲ درصد می‌باشد، میزان سیب‌زمینی مصرفی برای تولید همین مقدار چیپس تحت این شرایط بجای ۴ کیلوگرم، ۳/۱ کیلوگرم خواهد بود. یعنی به عبارت دیگر در مصرف سیب‌زمینی ۲۹ درصد صرفه‌جویی خواهد شد.

الف) در حالت اول (مصرف نامتعادل کود)

ماده خشک موجود در یک کیلوگرم سیب‌زمینی $\frac{۱۷ \times ۱۰۰۰}{۱۰۰} = ۱۷۰$

ماده خشک مورد نیاز برای تولید یک کیلوگرم چیپس $۱۷۰ \times ۴ = ۶۸۰$

ب) در حالت دوم (مصرف متعادل کود)

ماده خشک موجود در یک کیلوگرم سیب‌زمینی $\frac{۲۲ \times ۱۰۰۰}{۱۰۰} = ۲۲۰$

$\frac{۶۸۰}{۲۲۰} = ۳/۱$

$۴/۰ - ۳/۱ = ۰/۹$

میزان صرفه‌جویی در سیب‌زمینی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم چیپس $\frac{۰/۹ \times ۱۰۰}{۳/۱} = ۲۹ \%$

پرسش ۶- تفاوت بین کارآیی و درصد بازیافت کودها را با ذکر مثالی بیان کنید. آیا با مدیریت بهینه کودی کارآیی آب تغییر می‌کند یا خیر؟

پاسخ ۶- کارآیی کود-آب عبارتست از میزان ماده خشک تولیدی به ازای هر کیلوگرم کود مصرفی و یا هرمترمکعب آب مصرفی و واحد آن کیلوگرم در کیلوگرم و کیلوگرم در مترمکعب می‌باشد. لیکن، درصد بازیافت، آن مقدار درصدی از کود است که در تولید ماده خشک محصول به کار رفته و واحد آن بر حسب درصد بیان می‌شود. به‌طور مثال، در مزرعه ده هکتاری در آذربایجان شرقی که خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و بذر یکسان بود، مزرعه به سه قسمت تقسیم شد و میزان آب مصرفی در مزرعه گندم برابر ۴۵۰۰ مترمکعب در هکتار بود. میزان کودهای مصرفی در قطعه شاهد (قطعه اول) صفر، در قطعه دوم (کوددهی بر اساس عرف زارعین-NP) برابر ۴۵۰ کیلوگرم بر هکتار و در قطعه سوم (کوددهی براساس نتایج تجزیه خاک) نیز ۴۵۰ کیلوگرم از مجموعه کودهای مورد نیاز در مزرعه گندم مصرف گردید. کلیه عملیات کشت، داشت و برداشت در هر سه قطعه مشابه بود. پس از برداشت گندم، عملکرد هکتاری در قطعه اول ۲۲۵۰ کیلوگرم بر هکتار با درصد نیتروژن ۱/۲۵، در قطعه دوم ۴۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار با درصد نیتروژن ۱/۷۵ و در قطعه سوم ۶۷۵۰ کیلوگرم بر هکتار با درصد

نیتروژن ۲/۲۵ بود. کارآیی آب، کود و درصد بازیافت کودها را محاسبه نمایید.

کیلوگرم دانه گندم به ازاء هر مترمکعب آب مصرفی ۰/۵۰ = (۴۵۰۰)/(۲۲۵۰) = کارآیی آب در قطعه اول (شاهد)

کیلوگرم دانه گندم به ازاء هر مترمکعب آب مصرفی ۱/۰۰ = (۴۵۰۰)/(۴۵۰۰) = کارآیی آب در قطعه دوم (کوددهی براساس عرف زارعین)

کیلوگرم دانه گندم به ازاء هر مترمکعب آب مصرفی ۱/۵۰ = (۴۵۰۰)/(۶۷۵۰) = کارآیی آب در قطعه سوم (کوددهی براساس نتایج تجزیه خاک)

بطوری که ملاحظه می‌شود با مصرف کود حتی در شرایط کوددهی سنتی (عرف زارعین) کارآیی آب افزایش یافته، لیکن با مصرف بهینه کود این افزایش به ۵۰ درصد نیز می‌رسد. پس بلی با تغییر مدیریت بهینه کودها، کارآیی آب افزایش می‌یابد.

کیلوگرم دانه گندم به ازاء هر کیلوگرم کود مصرفی۵= (۴۵۰)/(۴۵۰۰-۲۲۵۰)= کارآیی کود در قطعه دوم (کوددهی براساس عرف زارعین)

کیلوگرم دانه گندم به ازاء هر کیلوگرم کود مصرفی ۱۰= (۴۵۰)/(۶۷۵۰-۲۲۵۰)= کارآیی کود در قطعه سوم (کوددهی براساس نتایج تجزیه خاک)

درصد بازیافت کودها ۱۱= (۴۵۰)/۱۰۰× [(۲۲۵۰ ×۱/۲۵)-(۴۵۰۰ ×۱/۷۵)]= درصد بازیافت کودها در قطعه دوم (کوددهی براساس عرف زارعین)

درصد بازیافت کودها ۲۸= (۴۵۰)/۱۰۰× [(۲۲۵۰ ×۱/۲۵)- (۶۷۵۰ ×۲/۲۵)]= درصد بازیافت کودها در قطعه سوم (کوددهی براساس نتایج تجزیه خاک)

بطوری که ملاحظه می‌شود با مصرف بهینه کود (مصرف کودها براساس نتایج تجزیه خاک) به رغم مدیریت یکسان در سایر عوامل موثر در تولید، درصد بازیافت کودها، به بیش از دو برابر افزایش یافته است.

پرسش ۷- راهکارهای عملی برای افزایش کارآیی کود و آب را بنویسید؟

پاسخ ۷- ضمن بهبود سایر عوامل موثر در تولید از جمله انتخاب بذور غنی‌شده، عملیات کشت، داشت و برداشت، با اعمال روش‌های ذیل میتوان نسبت به افزایش کارآیی کود و آب اقدام نمود: الف)مصرف آب به میزان نیاز گیاه، ب) اصلاح روش آبیاری (حذف روش غرقابی و جایگزینی آن با روش‌های نوین آبیاری نظیر قطره‌ای)، پ) مصرف بهینه کودها (کوددهی براساس نتایج تجزیه خاک در مزارع و نتایج تجزیه برگ در درختان میوه)، ت) جایگزینی اوره قبل از کاشت با کود کامل ماکرو و یا با اوره با پوشش گوگردی محتوی روی(Zn)، ث) تقسیط هر چه بیشتر کودهای پویا و ج)جایگذاری صحیح کودهای غیرپویا در مزارع و باغ‌ها.

پرسش ۸- نقش پتاسیم در نحوه (روش‌های) مقابله با شوری خاک را بنویسید؟

پاسخ ۸-گیاهان در خصوص با کمبود روی به سه گروه تقسیم میشوند: از گروه گیاهان حساس عبارتند از برنج، لوبیا، ذرت، پیاز و انگور؛ از گیاهان نیمه حساس عبارتند از سیبزمینی، سویا، پنبه، جو، چغندرقند و گوجهفرنگی و از گیاهان غیرحساس (مقاوم) عبارتند از یونجه، چاودار، هویج، شبدر و چمن.

پرسش ۹- زارعی در استان قم در مزارع گندم خود علی‌رغم مصرف بهینه هر ساله کودهای اوره، سولفات‌پتاسیم و سوپرفسفات تریپل، علائم کمبود پتاسیم (سوختگی حاشیه برگ) در برگ‌های گندم مشاهده نموده است. علت را چگونه توجیه می‌کنید؟ راهکارهای مناسب را ارائه کنید.

پاسخ ۹- از آنجاکه قم منطقه‌ای با آب و خاک شور است پس با توجه به ویژگی‌های خاک شور (زیادی املاح محلول)، وجود مقادیر قابل توجه کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، کلر (Cl) و احتمالاً بور (B) که سبب کاهش رشد گیاهان می‌گردد، مصرف برخی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، پتاسیم و روی، فراتر از نیاز باشد تا بتوان اثرات سوء برخی از کاتیون‌ها نظیر سدیم (Na) و آنیونی نظیر کلر (Cl) در سلول‌های گیاهی را کاهش دهد. نتایج نشان داد در خاک‌های شور، به ازاء هر یک درجه‌ای که به شوری خاک افزوده می‌گردد، علاوه‌بر مقدار توصیه کودی توسط تجزیه خاک، حدود ۲۰ کیلوگرم کود نیتروژنی و ۱۵ کیلوگرم کود پتاسیمی اضافه، مصرف گردد. در شرایط شوری کم، برهمکنش نیتروژن و پتاسیم در عملکرد، مثبت بود. در خاک‌های شور، چنانچه غلظت املاح در آب آبیاری، از محدوده ۱۲ دسی زیمنس بر متر تجاوز نماید، رشد گندم عمدتاً تابع شوری است و نه مصرف کودهای نیتروژنی و پتاسیمی. با مصرف اوره و سولفات‌پتاسیم، ضمن کاهش غلظت کلر در برگ‌های گندم، تنش شوری را می‌توان کاهش داد. شواهد نشان می دهد که تحت شرایط شوری، علائم کمبود پتاسیم با وجود بالا بودن غلظت آن در برگ‌های گندم، همچنان وجود دارد، مقداری از پتاسیم جذب شده برای خنثی کردن بار الکتریکی کلر (Cl) ذخیره شده در واکوئل تجمع یافته و کمکی به واکنش‌های حیاتی نمی‌نماید. لذا در این شرایط با افزایش مصرف سولفات‌پتاسیم می‌توان علاوه‌بر رفع علائم کمبود، اثرات مسمومیت شوری را کاهش و عملکرد را افزایش داد. با افزایش غلظت پتاسیم در محلول خاک، تحمل گیاهان به تنش شوری زیاد می‌گردد. این در حالی است که وقتی میزان آب قابل دسترس گیاه کم باشد، افزایش پتاسیم در شوری‌های بالا (۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) باعث بیشتر شدن تحمل گیاه می‌گردد. مصرف سولفات‌پتاسیم در شرایط شور موجب کاهش اثرات سوء تجمع سدیم و کلر در برگ‌های گندم شده و در نهایت عملکرد را افزایش می‌دهد. حد بحرانی پتاسیم برای محصولات زراعی مقاوم به شوری نظیر پنبه در شرایط شور (۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیش از شرایط غیر شور (۲۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است و برای گیاهان نیمه متحمل و یا حساس به شوری این اختلاف بیشتر می‌باشد. با افزایش غلظت پتاسیم و روی (Zn) در شرایط شور، پراکنش و طول ریشه‌ها زیاد شده و در نتیجه سطح جذب عناصر غذایی افزایش می‌یابد. همچنین مصرف سولفات‌روی در این شرایط تشکیل آوندهای چوبی را در گیاهان تحت تنش شوری در مقایسه با گیاهان بدون مصرف آن بهبود داده و از تخریب آوندها جلوگیری می‌نماید. از آنجایی که کلر در رقابت با نیترات خاک، جذب نیتروژن را مختل می‌نماید و از طرفی با مصرف پتاسیم بازیافت نیتروژن افزایش می‌یابد. بنابراین، میزان نیاز گندم به نیتروژن، پتاسیم و روی با شورتر شدن آب آبیاری و یا خاک زراعی افزایش می‌یابد. با عنایت به نتایج به‌دست آمده به‌ازای افزایش هر واحد شوری حدود ۲۵ کیلوگرم اوره و ۲۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم و ۵ کیلوگرم سولفات‌روی در هر هکتار بیش از مقدار کود توصیه شده در شرایط غیر شور پیشنهاد می‌گردد.

پرسش ۱۰– نقش نسبت پتاسیم به سدیم (K/Na) را در مقابله با شوری خاک بنویسید؟
پاسخ ۱۰– شوری موجب تغییرات ساختمانی در ساقه، ریشه و برگ گیاهان می‌شود. به طوری که گیاهان تحت تنش شوری، دستجات آوندی کمتر و با قطر کوچکتری دارند، ولی در مقابل دارای سلول‌های پارانشیمی بیشتری هستند. در غیاب روی (Zn)، شوری اثر بازدارندهای بر رشد ساقه دارد. علاوه بر این، مصرف سولفات روی در غلظت‌های بالا میتواند رشد ریشه را در شرایط شور بهبود داده و تشکیل آوند چوبی را در مقایسه با گیاهان بدون مصرف روی زیاد نماید. غلظت‌های بالاتر روی (Zn) نقش مهمی در افزایش سطح جذب ریشه به واسطه طویل نمودن آن و همچنین تسهیل انتقال آب و عناصر غذایی در گیاه به دلیل افزایش قطر و تعداد آوندها خواهد داشت.
پرسش ۱۱ – نقش روی (Zn) بر کاهش تنش شوری چیست؟
پاسخ ۱۱– شوری محلول خاک به دو طریق افزایش فشار اسمزی (با بالا رفتن غلظت عناصر در محلول خاک، فشار اسمزی افزایش می‌یابد) فراهمی آب کاهش یافته و توازن عناصر غذایی در خاک به هم می‌خورد که بر روی جذب سایر عناصر غذایی نیز اثر سوء می‌گذارد. سمیت ویژه یونی (مثلاً زیادی سدیم مانع جذب سایر عناصر غذایی نظیر پتاسیم می‌گردد). سدیم (Na) زیادی، جایگزین Ca در دیواره سلولی شده و بدین ترتیب ساختار دیواره سلولی و تراوایی آن را خراب می‌کند. غشاء سلولی خاصیت انتخابی خود را از دست داده و در Na زیادی، توازن بین یون‌ها Ca و K و Na بر هم خورده، فرآیند فتوسنتز مختل و متابولسیم ازت دچار اخلال می‌گردد.
صدمه زدن به غشاء پلاسمایی به علت حضور یون سدیم و جایگزین آن با کلسیم و بدین ترتیب به غشاء سلولی لطمه وارد می‌آید (فتوسنتز نیاز به غشای پلاسمایی سالم کلروپلاست دارد)، بنابراین فتوسنتز نیز مختل می‌گردد. چرا که در غشاء کلروپلاست، رنگدانه‌ها (سیستم انتقال الکترون) و آنزیم ATPase قرار دارد و شوری باعث کاهش فتوسنتز، کاهش انرژی و عدم انتقال e- و همچنین عدم انتقال قندها خواهد شد. جلوگیری از سنتز پروتئین (شوری فعالیت‌های آنزیم‌های سازنده پروتئین را مختل می‌نماید). تجمع پلی‌آمین‌ها نظیر پوترسین و آگماتین به علت کاهش پتاسیم. شوری همچنین باعث کاهش نسبت ساقه به ریشه، توقف طویل شدن ساقه، نکروزه شدن ریشه، برگ و جوانه‌های جانبی و کوچک ماندن برگ‌ها و کاهش جوانه‌زنی می‌گردد که این‌ها شبیه به علائم کمبود فسفر نیز می‌باشند. هنگامی که شوری خاک افزایش یابد، در حقیقت غلظت املاح محلول در خاک افزایش یافته و باعث می‌شود انرژی مولکول‌های آب (پتانسیل آب) کاهش یابد. در نتیجه گیاه بایستی مکش بیشتری اعمال نماید تا بتواند آب را جذب نماید. در این حالت گیاه با جذب برخی از عناصر مانند پتاسیم (K)، فشار اسمزی سلول‌های ریشه را افزایش داده تا آب بیشتری جذب نماید. هنگامی که سمیت یونی نظیر سدیم (Na) پیش می‌آید، این سدیم جذب گیاه شده و در سلول‌های گیاهی روی سایت‌های اکتیوآنزیمی که باید پتاسیم قرار گیرد، می‌نشیند و در نتیجه آنزیم قادر نخواهد بود کار خود را انجام دهد.

شوری همچنین باعث ایجاد اختلال در توازن یونی در گیاه می‌شود. شوری در متابولیسم آنزیم‌ها، پروتئین و غشاء سلولی اثر می‌گذارد. انرژی تولیدی در فرآیندهای فسفوریلاسیون فتوسنتزی و اکسیداتیو نیز کاهش می‌یابد. در شوری، متابولیسم ازت دچار اختلال شده و پروتئین نیز به شدت کاهش می‌یابد. در حضور زیادی نمک، قندها در برگ‌ها تجمع یافته و به ریشه انتقال نمی‌یابد چون برای حرکت مواد غذایی از بالا به پایین در آوندهای آبکش، نیاز به فشار خواهد بود. در شرایط شوری به علت تجمع مواد قندی حاصل از فتوسنتز در برگ به علت حفظ تورژسانس برگ و نیاز به انرژی و کاهش انرژی در اثر شوری، انتقال قند از برگ به آوند آبکش انجام نمی‌گیرد و در نتیجه رشد ریشه کاهش و گیاه کوتاه (Dewarfism) می‌ماند. در شرایط شور، گیاه نسبت به شدت نور حساستر شده و چون غشاء داخلی کلروپلاست‌ها آسیب می‌بیند و انرژی تولید شده در فتوسنتز مصرف نمی‌گردد، موجب تولید سوپراکسید می‌شود. در شوری خاک، مکانیسم انتقال قند از برگ به سلول‌های غربالی (آبکش) مختل می‌شود و در نتیجه مواد قندی از برگ (Source) به ریشه (Sink) نمی‌روند و ریشه ضعیف می‌ماند. کوتاهی قد گیاه، ریز بودن برگ‌ها، کوچک ماندن ساقه‌ها، کاهش رشد گیاه، بافت مردگی سلول‌ها و خشک شدن حاشیه برگ‌ها و کمبود فسفر، از اثرات شوری می‌باشد. علت چنین مواردی هم کاهش تولید سیتوکنین است و افزایش مواد بازدارنده نظیر اتیلن و **ABA** (هورمون اسید آبسزیک) که منجر به پیری زودرس در گیاه می‌شود. (Marschner، ۱۹۹۵)

پرسش ۱۲- اثرات مثبت مصرف کودهای پتاسیمی در مقابله با گرمای بهاره در مزارع گندم استان گلستان را بنویسید.

پاسخ ۱۲- طبق اظهار آقای دکتر مختار مهاجر (۱۳۹۴)، در اوایل بهار سال ۱۳۹۴ پس از گرمای شدید در چند روز اردیبهشت ماه، در یک قسمت از مزرعه گندم مصرف سرک ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار کلرورپتاسیم انجام و قسمت دیگر به‌عنوان شاهد نگاه داشته شد. عملکرد گندم در قطعه‌ای که در آن همراه با آب آبیاری کلرور پتاسیم مصرف شده بود،به طور معنی‌داری افزایش نشان داد.

پرسش ۱۳- بهترین روش برای مقابله با شوری خاک چیست؟

پاسخ ۱۳- ابتدا از شالیکار درباره سابقه کشت، نوع و مقدار کودهای مصرفی و نیز عملکرد هکتاری اراضی شالیزاری وی پرسیده و سپس بر اساس این داده‌ها تصمیم‌گیری می‌شود. در هر حال، برای برداشت ۶ تن در هکتار شلتوک، ۱۰۰ کیلوگرم اوره، ۵۰ کیلوگرم سولفات روی و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم قبل از کاشت و بقیه (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کلرور پتاسیم) به صورت سرک در دو بار قبل از ساقه رفتن و خوشه رفتن به صورت سرک پیشنهاد می‌گردد. تفاوت در میزان کوددهی در شالیزارهای گیلان و مازندران به دلیل تفاوت در مقدار بارندگی این دو منطقه است. از آنجا که در استان گیلان بارندگی به مراتب بیشتر از استان مازندران می‌باشد، مقدار کودهای نیتروژنی و پتاسیمی مصرفی بایستی تا حد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشتر پیشنهاد گردد.

پرســش ۱۴- علـت ورس در بوته‌هـای غـلات چیسـت؟ یـک بـاد ناگهانـی باعـث ورس شـدن بوته‌هـای مزرعـه گنـدم یک کشـاورز شـد. در حالیکـه مزرعه مجاور دچار چنین مشـکلی نشـد. علـت را چـه می‌دانید؟

خوابیدگی بوته‌های گندم بر اثر زیاده‌روی در مصرف کودهای نیتروژنی و عدم مصرف کودهای پتاسیمی (Laegried و همکاران، ۱۹۹۹)

پاسخ ۱۴- علت ورس در بوته های غلات را به زیادی نیتروژن و کمبود پتاسیم مربوط می‌دانند. خوابیدگی بوته‌های گندم بر اثر زیاده‌روی در مصرف کودهای نیتروژنی و عدم مصرف کودهای پتاسیمی (Laegried و همکاران، ۱۹۹۹)

به دلیل عدم رعایت اصول مصرف بهینه کودی در مزرعه اول، ریشه‌های گندم توسعه کافی و عمیق در خاک پیدا نکرده و به دلیل عدم تعادل بین نیتروژن و پتاسیم، ساقه‌های گندم از استحکام کافی برخوردار نمی‌باشند و بدین ترتیب، ساقه‌ها نسبت به عوامل تنش‌زا از جمله وزش باد حساستر شده و مقاومت لازم را نداشته‌اند. لیکن در مزرعه دیگر که در آن اصول مصرف بهینه کودی رعایت شده بود، سیستم ریشه‌ها تقویت و در نهایت مقاومت خوشه‌های گندم در برابر وزش بادهای شدید را سبب شده‌است.

پرسش۱۵- نقش تغذیه بهینه در کاهش اثرات زیانبار تنش‌های محیطی(خشکی و یخبندان) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم قاملو- کردستان را توضیح دهید.

پاسخ ۱۵- طبق گزارش ارسالی روحی (۱۳۹۴)، در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳، ریزش نزولات جوی و دمای مناسب در پاییز، شرایط بسیار مناسبی را برای شروع رشد و نمو گیاهان زراعی پاییزه (غلات دیم)، در منطقه فراهم نمود به گونه‌ای که حداقل تلفات جوانه زنی را در استان شاهد و گندم از لحاظ تراکم در واحد سطح در وضعیت بسیار مناسبی قرار داشت. اما متاسفانه، طی زمستان و بهار، میزان ریزش‌ها کاهش چشمگیری داشته و به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از حد نرمال سالانه بود (نسبت به میانگین بلندمدت، ۱۲۱ میلیمترکاهش نشان داد). علاوه بر خشکی مفرط، وقوع یخبندان در دهه اول اردیبهشت همزمان با مرحله ساقه‌دهی، خسارت بسیار سنگینی را بر مزارع گندم استان کردستان و از جمله مزارع غلات دیم وارد کرد. استفاده از روش محلول‌پاشی با کودهای میکرو و اوره (بلافاصله پس از بروز یخبندان) سبب شد تا سطح سبز تخریب شده مجدداً بازسازی شده و گندم در بهترین شرایط خود نسبت به مزارع دیگر زارعین قرار گیرد. شاهد این ادعا هم مزرعه مجاور ایستگاه و همچنین یک قطعه از مزرعه داخل ایستگاه بود که چنین اقدامی در آن انجام نشده بود. در شرایطی که میانگین تولید

گندم و جو در منطقه کمتر از ۷۰۰ کیلوگرم بر هکتار است، میزان تولید جو دیم رقم آبیدر در ایستگاه به بیش از ۱۷۰۰ کیلو گرم در هکتار رسید (در شرایط کاملاً دیم و بدون آبیاری تکمیلی). همچنین، میزان عملکرد گندم آذر-۲ در مزرعه شاهد داخل ایستگاه که هیچ نوع عملیات تغذیه‌ای بعد از بروز تنش یخبندان روی آن انجام نشده بود ۷۶۹ کیلوگرم بر هکتار شد، لیکن، میانگین عملکرد این رقم در پنج آزمایش جداگانه در آزمایش‌های به نژادی که محلول‌پاشی آن‌ها با کودهای میکرو و اوره انجام شده بود، معادل ۲۱۱۴ کیلوگرم بر هکتار شد (روحی، ۱۳۹۴).*

خسارت سرما درقطعهای از مزرعه شاهدکه در آن محلولپاشی با کودها انجام نشده است (روحی، ۱۳۹٤)

بهبود و ترمیم رشد گندم پس از انجام محلول پاشی با استفاده از کودهای میکرو و اوره (روحی، ۱۳۹٤)

*بدینوسیله از مساعدت جناب آقای مهندس سدری رئیس مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان که گزارش فوق را ارسال نموده‌اند، تشکر و سپاسگزاری می نماید.

پرسش ۱۶- در شالیزاری واقع در ایستگاه تحقیقات برنج آمل به رغم آنکه اوره مورد نیاز (۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار) به صورت تقسیط مصرف شده بود در قسمتی از شالیزار که پتاسیم مصرف نشده بود، رشد بوته‌های برنج طبیعی بوده و علائم رنگ پریدگی در آن‌ها مشاهده نمی‌گردید، ولی در قسمت دیگر همین شالیزار که پتاسیم مصرف شده بود، علائم کمبود نیتروژن در بوته‌های برنج مشاهده می‌گردید. دلیل یا دلایل آن را بیان نمایید.

پاسخ ۱۶- کودهای پتاسیمی سبب افزایش کارایی نیتروژن می‌گردند (شکل زیر). بدین ترتیب، چون نیتروژن در فعل و انفعالات تولید بکار می‌رود، است لذا مصرف کودهای پتاسیمی، کارآیی نیتروژن و در نهایت، نیاز به کودهای نیتروژنی را افزایش می‌دهد.

پرسش ۱۷- به نظر شما در مناطق ذرت کاری مانند استان کرمانشاه، اردبیل (مغان) و یا استان

فارس، چرا علیرغم بالابودن مقدار پتاسیم قابل جذب خاک، علائم کمبود پتاسیم در برگ و حتی در بلال‌های ذرت مشاهده می‌شود؟ راه‌حل واقعی چیست؟

پاسخ ۱۷- در این مناطق به علت آهکی بودن خاکها، بالابودن پهاش خاک، اثر متقابل کلسیم و منیزیم با پتاسیم و تثبیت این عنصر در بین لایه های رس‌های۲:۱، گیاه توانایی لازم برای جذب این عنصر را نداشته و برنده واقعی خاک خواهد بود. علت بروز این مشکل این است که در مرحله گلدهی، ذرت نیاز پتاسیمی بالایی دارد. یعنی مقدار پتاسیمی که روزانه ذرت ازخاک می‌گیرد بالا می‌باشد و خاک توانایی تأمین این مقدار زیاد پتاسیم را ندارد. ذرت‌دانه‌ای در طول زمان خوشه‌دهی خود، روزانه حدود هشت کیلوگرم نیتروژن (N)، دو کیلوگرم فسفر (P_2O_5)، شش کیلوگرم پتاسیم (K_2O)، ۶۰۰ گرم گوگرد (S)، ۲۳۰ گرم روی (Zn) و ۵۵ گرم بور(B) از خاک زیرکشت خود برداشت می نماید (Bender و همکاران، ۲۰۱۳) بنابراین، در این مرحله لازم است از کودهای پتاسیمی محلول به صورت سرک استفاده شود.

راه حل : مصرف بهینه کودهای شیمیایی بر اساس نتایج تجزیه خاک می‌باشد. با توجه به اینکه ذرت یک محصول پتاسیم دوست بوده و نیاز غذایی به این عنصر خیلی بالا است، پیشنهاد می‌شود حتماً علی‌رغم بالابودن مقدار پتاسیم خاک، حداقل ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار کلرورپتاسیم (در مناطق غیرشور) و یا ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار سولوپتاس تولید داخل (در مناطق شور) حداقل در دو تقسیط به همراه کود اوره همراه با آب آبیاری به صورت سرک مصرف گردد.

پرسش ۱۸- کشاورزی در سال ۱۳۸۹ در مزرعه ذرت خود در حومه جیرفت که با کم‌آبی نیز مواجه بود، بجای کودسولفات پتاسیم قبل از کاشت از خاکستر استفاده نمود. در طول دوره رشد مشاهده شد در قطعاتی که خاکستر اضافه شده، نسبت به قطعاتی که این نهاده را دریافت نکرده بودند، شدت علایم تنش همچون سبزینگی برگ، رشد گیاه، پژمردگی و زاویه تماس برگ به ساقه طبق تصویر زیر، کمتر بود. با عنایت بهیکنواخت بودن مزرعه از نظر درجه حاصلخیزی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی، دلیل این تفاوت دو مزرعه را در چه می‌دانید؟

نقش مصرف خاکستر (پتاسیم) در افزایش مقاومت بوته‌های ذرت نسبت به کم‌آبی. در تصویر سمت راست خاکستر همراه با آب آبیاری مصرف نشده لیکن در تصاویر وسطی و سمت چپ، خاکستر مصرف شده است (اهدایی جناب آقای دکتر بهرامی، ۱۳۹۰)

پاسخ ۱۸- با توجه به این‌که تنش خشکی در هر دو مزرعه حاکم بود، گیاه این خطر را با ترشح ABA به اندام‌های مختلف از جمله برگ و ریشه اطلاع داده تا سازگاری لازم به عمل آید. ریشه با افزایش کانال‌های آکوپورین سعی کرده ورود آب به گیاه را تسریع سازد. برگ نیز با بسته نگه‌داشتن روزنه‌های آبی که معمولا در زیر برگ‌ها قرار دارند، سعی می‌کند از تلفات آب گیاه به شکل تعرق جلوگیری نماید(Marschner، ۱۹۹۵). این مکانیسم (بازو بسته‌شدن روزنه‌ها) در ارتباط مستقیم با وضعیت تغذیه‌ای گیاه از نظر عنصر غذایی پتاسیم بوده، لیکن در قطعاتی که خاکستر دریافت کرده‌اند، گیاه به دلیل فراهمی پتاسیم توانسته با تنش خشکی سازگار شده و علایم تنش با شدت کمتری مشاهده شود. به عبارت دیگر، پتاسیم بر کاهش تنش‌های زنده و غیرزنده بسیار اثربخش بوده و اثرات مفید آن بر بهبود کیفیت محصول، افزایش کارآیی آب، مقاومت به تنش خشکی، افزایش مقاومت به سرمازدگی، آفات و بیماری‌ها ثابت شده است. نظر به این‌که در خاکستر گیاهان مقدار قابل توجهی پتاسیم وجود دارد (در زمانی‌که آمریکا تحت استعمار انگلستان بود، دولت انگلیس برای تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاهان زراعی و باغی، درختان جنگل‌های آمریکا را می‌سوزانید و سپس خاکستر آن‌ها را با کشتی به انگلستان حمل و در مزارع و باغ‌ها برای تأمین نیاز پتاسیمی گیاهان زراعی و باغی مصرف می‌نمود) ارسال نموده‌اند، تشکر و سپاسگزاری می‌نماید.

پرسش ۱۹- مناسب‌ترین مراحل مصرف کودهای نیتروژنی و پتاسیمی را در گندم نام ببرید؟

پاسخ ۱۹- در مزارع گندم بهتر است کودهای نیتروژنی در چهار مرحله مصرف گردند (۲۵ درصد قبل از کاشت (Pre-plant)؛ ۲۵ درصد در مرحله پنجه‌دهی (Tillering)؛ ۲۵درصد در مرحله ساقه‌دهی (Stem elongation) و ۲۵ درصد بقیه در زمان ظهور خوشه (Heading). لیکن، در مورد کودهای پتاسیمی، بهتر است در سه مرحله مصرف گردند (۵۰ درصد قبل از کاشت (Pre-plant) از منبع سولفات‌پتاسیم؛ ۲۵ درصد در مرحله پنجه‌دهی (Tillering) و ۲۵ درصد بقیه در حد فاصل بین مراحل ظهور خوشه (Heading) و گلدهی (Flowering) از منبع کلرورپتاسیم).

پرسش ۲۰- در برخی از محصولات کشاورزی، چرا تجمع آلاینده‌های کادمیوم (Cd) و نیترات (NO_3) رو به افزایش است؟ حد مجاز این آلاینده‌ها را در محصولات کشاورزی بیان نمایید. روش‌های کاهش این آلاینده‌ها را در محصولات کشاورزی علی‌الخصوص سبزی و صیفی ذکر کنید.

پاسخ ۲۰- علت زیادی کادمیوم در برخی از محصولات کشاورزی را می‌توان در مصرف بیش از نیاز کودهای فسفاتی محتوی کادمیوم بالا، کمبود شدید روی و انباشتگی بیش از حد کودهای فسفاتی در خاک‌های زراعی کشور دانست. موسسات بین‌المللی، قوانین و استانداردهایی برای حد مجاز انباشت کادمیوم در مواد غذایی تعیین کرده‌اند. برای غلات دانه ریز، غلظت ۰/۱۰ و برای سیب‌زمینی و پیاز ۰/۲۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم به عنوان حدمجاز پذیرفته شده است. برای کاهش تجمع کادمیوم در دانه گندم و سایر محصولات کشاورزی این موارد زیر پیشنهاد می‌شود: **الف)** اصلاح ژنتیکی گیاهان و یا استفاده از ارقامی که نسبت به جذب کادمیوم کارا نیستند؛ **ب)** مصرف بهینه کود (در آزمایشی، برهمکنش سولفات‌های پتاسیم، روی و منگنز در کاهش غلظت کادمیوم در سیب‌زمینی و پیاز بررسی گردید؛ نتایج حاصله نشان داد که با افزایش توأم سطوح پتاسیم، روی و منگنز، ضمن افزایش عملکرد و بهبود کیفیت، غلظت کادمیوم و نیترات در غده‌های سیب‌زمینی و پیاز کاهش یافت؛ همین روند نزولی با مصرف سولفات‌های پتاسیم و روی نیز مشاهده گردید). **پ)** از ورود کودهای فسفاتی و یا خاک فسفات محتوی بیش از ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم و یا سرب اکیداً جلوگیری شود؛ **ت)** استفاده از کودهای سوپر فسفات ساده، میکروبی فسفاتی، بیوفسفات طلایی محتوی روی و بیوگوگرد آلی که تماماً تولید داخل بوده و عاری از کادمیوم نیز می‌باشند، رایج شود؛ **ث)** در راستای هدفمندکردن یارانه‌ها، یارانه از کودهای نیتروژنی و فسفاتی حذف و به کودهای مؤثر بر افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی اختصاص یابد؛ **ج)** عدم استفاده بیش از حد از پساب‌های شهری و صنعتی و **چ)** خرید گندم و سایر محصولات کشاورزی (در حد امکان) بر مبنای کمیت و کیفیت، انجام گیرد.

پرسش ۲۱- حدمجاز کادمیوم در برخی ازفرآورده‌های کشاورزی چقدر است؟

پاسخ ۲۱- به منظور جلوگیری از ورود Cd به مواد غذایی، موسسات بین‌المللی، قوانین و استانداردهایی برای حد مجاز انباشت Cd در مواد غذایی تعیین کرده‌اند. برای غلات دانه ریز، غلظت ۰/۱۰ و برای سیب‌زمینی و پیاز ۰/۲۰ میلی‌گرم Cd در کیلوگرم برمبنای وزن خشک به عنوان حد مجاز پذیرفته شده است. حد مجاز کادمیوم در سبزی‌های برگی، سویا، قارچ‌های خوراکی، سبزی‌های ریشه‌ای و ساقه‌ای ۰/۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک می‌باشد. سازمان بهداشت جهانی اعلام نموده کادمیوم نبایستی در هفته بیش از ۰/۴۰ الی ۰/۵۰ میلی‌گرم مصرف گردد. این سازمان حد مجاز Cd در محصولات کشاورزی را ۰/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم اعلام کرده‌است (ملکوتی، ۱۳۸۹و کدکس FAO و WHO، ۲۰۱۱).

پرسش ۲۲- تأثیر مصرف کودهای سولفات‌پتاسیم و سولفات روی بر تجمع کادمیوم در غده‌های

سیب زمینی را در مزرعه‌ای آلوده به کادمیوم چگونه ارزیابی می‌نمایید؟

پاسخ ۲۲- در آزمایشی‌که میزان فسفر، کادمیوم، پتاسیم و روی قابل جذب خاک آن به ترتیب برابر با ۴۶، ۳/۵۴، ۱۱۵ و ۰/۹۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، پتاسیم در سه سطح (۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار) از منبع سولفات‌پتاسیم و روی در سه سطح (۰، ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم بر هکتار) از منبع سولفات‌روی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این آزمایش نشان داد که **الف)** بیشترین عملکرد هکتاری در تیمار چهارم برابر با ۳۸/۵ و کمترین آن در تیمار شاهد برابر با ۲۴/۰ تن در هکتار بود؛ **ب)** بیشترین غلظت پتاسیم در غده‌ها در تیمار ششم برابر با ۳۷۸ و کمترین آن در تیمار شاهد برابر ۲۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک بدست آمد؛ **پ)** بیشترین غلظت روی در غده‌ها در تیمار هفتم برابر با ۴۶ و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد برابر با ۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و **ت)** در حالی که در تیمار شاهد، مقدار غلظت کادمیوم غده‌ها حدود چهار برابر حد مجاز (۰/۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) یعنی ۰/۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، در سایر تیمارها این غلظت به طور معنی‌داری کاهش یافت و بیشترین مقدار کاهش کادمیوم در غده‌ها در تیمارهای پنجم و ششم حدود ۰/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (حسینی، ۱۳۹۴).

با توجه به نتایج فوق، چنین استنباط گردید که با مصرف بهینه کودی، علاوه بر تأمین حداکثری عملکرد کمی-کیفی هکتاری سیب‌زمینی، تولید غذای سالم حتی در مزارع آلوده به کادمیوم نیز امکان‌پذیر می‌باشد. این نتایج با یافته‌های تحقیقاتی McLaughlin و همکاران (۱۹۹۵)، Malakouti و Bybordi (۲۰۰۶)، ملکوتی و همکاران (۱۳۸۳)، دادخواه (۱۳۹۱) و ملکوتی (۱۳۹۴) مطابقت دارد.

پرسش ۲۳- چرا در آذرماه ۱۳۹۴، حدود ۱۴۰۰ تن سیب‌زمینی در استان فارس امحاء (زیرخاک) شد؟ با اعمال چه روش‌هایی می توان از بروز این گونه هدررفت‌ها، ممانعت نمود؟

پاسخ ۲۳- نظر به این که عمده تولیدکنندگان سیب‌زمینی در کشور از جمله سیب‌زمینی‌کاران استان فارس به طریقه سنتی (اوره و سوپر فسفات)، کود مصرف می‌نمایند، صرفنظر از غلظت نیترات و کادمیوم (مقادیر آن‌ها گزارش نشده است)، معمولاً درصد ماده خشک در سیب‌زمینی‌های تولیدی با روش کوددهی سنتی، کمتر از ۱۸ درصد است و به‌عبارت دیگر، درصد رطوبت در غده‌های سیب‌زمینی بیش از ۸۰ درصد می‌باشد. تحت چنین شرایطی، ماندگاری غده‌های سیب‌زمینی بسیار پایین خواهد بود. بدیهی است درجه حرارت بالای انبارهای نگهداری سیب‌زمینی نیز خود می‌تواند عامل دیگری برای جوانه‌زدن و خراب شدن غده‌های سیب‌زمینی بوده باشد. در تصاویر پخش‌شده در شبکه‌های اجتماعی از جمله صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران، غده‌های سیب‌زمینی اکثراً جوانه‌زده بودند. با اعمال روش‌های زیر می‌توان از بروز این قبیل ضایعات و هدررفت بیت‌المال ممانعت نمود: **الف)** کوددهی در مزارع بر اساس نتایج تجزیه خاک انجام شود و **ب)** در مصرف کودهای نیتروژنی و آب‌آبیاری تا حدامکان صرف‌جویی شود تا بتوان با مصرف بهینه کودی، غده‌های سیب‌زمینی زرد رنگ که هر چهار تا پنج تای آن‌ها طبق تصاویر سمت راستی، یک کیلوگرم وزن داشته و درصد رطوبت آن‌ها از ۸۰ درصد کمتر

باشد، با کیفیت برتر و ماندگاری بیشتر تولید نمود. برای کسب اطلاعات علمی بیشتر دراین خصوص، به مطالب مندرج در فصل اول این کتاب مراجعه فرمایید.

پرسش ۲۴- در اینترنت، چگونه علائم کمبود و یا بیش‌بود (سمیت) عناصر غذایی را در گیاه دام و انسان پیدا می‌کنید؟

پاسخ ۲۴- ابتدا در کامپیوتر، شبکه اینترنت متصل، سپس تارنمای WWW.google.com را باز نموده، در مرحله بعدی با کلیک بالای صفحه تارنمای WWW.google.com، Images را فعال نموده تا تارنمای Google (Images) در صفحه کامپیوتر ظاهر شده و سپس با تایپ علائم کمبود و یا بیش‌بود عنصر غذایی مربوط مورد نظر (به هر دو زبان فارسی ویا انگلیسی، تصاویر مربوطه ظاهر می‌شود. ضمناً برای اطلاع از آخرین اخبار کشاورزی در کشور و جهان می‌توانید به تارنمای (سایت) وزارت جهاد کشاورزی WWW.maj.ir و یا از طریق search google پاسخ لازم را دریافت دارید.

۳-۶- جمع‌بندی و پیشنهادها

در جمع‌بندی می‌توان چنین بیان نمود که رابطه تنگاتنگ و مثبتی بین مصرف بهینه کود و تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم وجود دارد و لذا بر ما فرض است که این اصل مهم را در تامین مقدار، زمان استفاده و نوع مناسب کودها در تولید محصولات کشاورزی به جد در عمل در کوتاه مدت و طولانی مدت به شرح زیر مصرف بهینه کودی را (منظور از مصرف بهینه کودی این است که در گیاهان زراعی و دارویی مصرف انواع کودها براساس نتایج تجزیه خاک و در گیاهان باغی و گل‌های زینتی براساس نتایج تجزیه برگ و آب آبیاری استوار باشد) رعایت نماییم:

۱- هر چند می‌توان با تهیه و مصرف مکمل‌ها و قرص‌های حاوی عناصر ریزمغذی مشکل کمبود این عناصر را تا حدی برطـرف کرد، ولی بـه‌دلیل عدم آگاهی عموم مردم، هزینه‌بر بـودن و عدم دسترسی همگانی، این روش راه‌حل دائمی نیست. راه حل اساسی، غنی‌سازی محصولات کشاورزی در محل تولید (به‌ویژه گندم و برنج که مصرف فراگیر و همگانی دارند) از طریق بهبود سلامت خاک (افزایش مواد آلی) و رعایت اصول مصرف بهینه کودی در مزارع و باغ‌ها (کوددهی بر پایه نتایج تجزیه خاک‌های تحت کشت فرآورده‌های زراعی، دارویی، زینتی و درختان جدیدالاحداث و نیز کودهی در درختان مثمر و زینتی بر پایه نتایج تجزیه برگی) است. با این روش، زمینهٔ بروز و شیوع بیماری‌های ناشی از کمبود عناصر غذایی به‌ویژه روی (Zn) به شدت کنترل و رتبه بهداشتی جامعه نیز ارتقاء می‌یابد.

۲- سلامت خاک که منبع تولید غذا می‌باشد، مورد توجه جدی قرار گیرد. افزایش کیفیت خاک از روش‌های مختلف مخصوصاً افزایش میزان مواد آلی، مصرف کمپوست و کودهای زیستی، غیر قانونی نمودن سوزاندن بقایای گیاهی، اعطاء یارانه به طور اصولی و علمی (هدفمند) برای نهاده کود اعمال گردد تا مصرف بهینه کود در کشور در راستای نیل به خودکفایی، بهبود کیفیت محصولات کشاورزی و ارتقاء سطح سلامت جامعه همگانی شود. در حال حاضر، یارانه بایستی به تولید محصولات با کیفیت

برتر، نسوزاندن بقایای گیاهی، آزمون خاک، رعایت اصول صحیح تناوب زراعی، کودهای مؤثرتر در افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی نظیر کودهای زیستی، آلی، گوگردی و ریزمغذی داده شود.

۳- تلاش عمده مراکز علمی جهان بر این است که با تحقیقات علمی، بتوانند محصولات کشاورزی را هم از نظر کیفیت و هم از نظر کمیت در سطح قابل قبولی افزایش دهند که موفق هم شده‌اند. با عنایت به میزان عناصر معدنی برداشتی به ازای ۲۰ تن میوه سیب که حدود نیتروژن (N) ۱۰۰، فسفر (P_2O_5) ۲۵، پتاسیم (K_2O) ۱۳، کلسیم (Ca) ۶۰، منیزیم (Mg) ۴۰، گوگرد (S) ۳۰ کیلوگرم و ریزمغذی ها سه کیلوگرم می‌باشد، تغذیه درختان میوه فقط با اوره و سوپرفسفات تفکر باطلی است و می‌بایست این تفکر به زباله‌دان تاریخ سپرده شده و در مقابل مصرف بهینه کود بر مبنای تجزیه آب، برگ و میوه جایگزین آن شود.

۴- مصرف بهینهٔ کود و نقش عناصر کم مصرف (ریزمغذی‌ها) طی سال‌های اخیر، همگام با دیدگاه‌های جدید در علوم خاک از جمله خاک و سلامتی انسان، به طور جدی مطرح و با تغییر نگرش به مدیریت عناصر غذایی که تنها به افزایش محصول توجه داشت به تأثیر آن بر سلامت انسان می‌پردازد، تا آنجا که غنی‌سازی محصولات کشاورزی به عنوان یکی از اولویت‌ها جهانی مطرح شده و همگام با افزایش عملکرد هکتاری، به دنبال کاهش سوء تغذیه جوامع انسانی و از همه مهمتر بر نقش عناصر معدنی در رفع گرسنگی سلولی تأکید فراوان می‌کند. استمرار در مصرف نامتعادل کود علاوه بر اینکه که تهدیدی جدی برای سلامت خاک می‌باشد، سبب کاهش عملکرد هکتاری و افت کیفیت محصولات کشاورزی بخصوص در سبزی و صیفی‌ها شده‌است.

۵- نقش مصرف بهینه کود در افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی را می‌توان چنین جمع‌بندی نمود که با رعایت اصول مصرف بهینه کودی می‌توان به افزایش عملکرد در واحد سطح در کاشت‌های آبی و دیم، بهبود کیفیت، غنی‌سازی (افزایش غلظت عناصر غذایی مانند کلسیم، آهن، روی و منیزیم)، تولید بذرهای قوی از نظر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاه، افزایش استحکام و در نتیجه کاهش مصرف سموم شیمیایی، افزایش مقاومت محصولات کشاورزی در برابر آفات و بیماری‌ها، کنترل شیوع بیماری‌های گیاهی نظیر پاخوره، افزایش مقاومت محصولات کشاورزی به تنش‌های محیطی از قبیل شوری، سرمازدگی، گرما، افزایش فعالیت‌های زیستی در خاک و تجدید حیات خاک، بهبود همزیستی‌های مفید بین میکروارگانیسم‌های خاک و محصولات کشاورزی، زودرسی، کاهش غلظت آلاینده‌هایی نظیر کادمیوم در دانه محصولات کشاورزی ، کاهش سمیت بور در اثر مصرف کودهایی نظیر سولفات پتاسیم، سولفات روی، کاهش مقدار بذر مصرفی در هر هکتار، صرفه‌جویی در میزان آب و کود مصرفی {افزایش کارآیی آب و بازیافت کود دست یافت، و در نهایت با کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی (PA/Zn) در دانه گندم، همگانی شدن مصرف نان سبوس‌دار غنی‌شده سطح جامعه را می‌توان ارتقاء داد.

۶- برای اثربخشی و افزایش کارآیی هر چه بیشتر کودها، لازم است در مزارع، مصرف کودها بر مبنای نتایج

تجزیه خاک و در باغ‌ها و درختان زینتی بر مبنای نتایج تجزیه برگ انجام گیرد. در غیر این‌صورت، برای محصولات راهبردی کشور، مناسب هر منطقه، کود کامل مخصوص تهیه شود. استفاده از کود کامل آبیاری برای رفع سریع نیاز غذایی گیاهان و سولوپتاس برای رفع نیاز سریع پتاسیمی گیاهان به‌ویژه در شرایطی که گیاه دچار تنش شوری بوده و یا پتاسیم خاک شدیداً تخلیه شده باشد، به صورت سرک همراه با آب آبیاری سبب افزایش عملکرد و غنی‌سازی محصولات کشاورزی می‌گردند. با توجه به کمبود آب و مواد آلی، تنش شوری و افت کیفیت آب‌های آبیاری در سطح کشور، لازم است ۲۵ درصد از کودهای مصرفی کشور (حدود ۸ تن در هکتار) را کودهای آلی تشکیل دهند (مصرف به صورت عمقی قبل از کاشت) و نسبت کودی بهینه (آرمانی) در مقطع کنونی (کودهای آلی) ۲۵٪- (ریزمغذی) ۴٪ - (گوگرد) ۳۰-(پتاسیم) ۲۵ -(فسفر) ۳۰- (ازت) ۱۰۰ پیشنهاد می‌شود.

۷- در حال حاضر، پس از تامین آب مورد نیاز گیاهان، مصرف بهینهٔ کود مؤثرترین، سریع‌ترین، سهل‌الوصول‌ترین و از نظر اقتصادی قابل توجیه‌ترین راه تحقق افزایش عملکرد هکتاری (کمّی-کیفی) محصولات کشاورزی، و ارتقاء سطح بهداشت تغذیهٔ جامعه می‌باشد. تغذیه بهینهٔ گیاهی عمدتاً با مصرف بهینه کودها مخصوصاً کودهای ریزمغذی، زیستی و آلی در مزرعه تحقق می‌یابد. درصورت رعایت نکات فنی در مصرف کودها، از هدر رفت عناصر مغذی خاک جلوگیری شده و به ایجاد توازن مورد نیاز بین عناصر مزبور در خاک منجر می‌شود. با تغذیه بهینه گیاهان، می‌توان بسیاری از ترکیبات و عناصری را که هم‌اکنون به صورت انواع قرص‌ها و مکمل‌های غذایی مصرف می‌شوند، از طریق غنی‌سازی طبیعی محصولات کشاورزی در محصولات غذایی افزایش و کیفیت آن‌ها را بهبود بخشید. چالش بزرگی که متأسفانه از سال‌های گذشته و تا حد بیشتری امروزه، اصول کشاورزی پایدار در کشور ما با آن روبرو بوده، اعطاء یارانه فقط به کودهای نیتروژنی و فسفاتی است که این عامل، باعث کاهش عملکرد و کیفیت محصولات زراعی و باغی، کاهش کیفیت خاک و تجمع آلاینده‌هایی مانند نیترات و کادمیوم در خاک و در محصولاتی نظیر سیب‌زمینی، پیاز، و... می‌شود. بنابراین، درتولید محصول سالم، هدفمند کردن یارانه‌ها موضوعی مهم است که باید به آن توجهی ویژه شود. یعنی می‌توان یارانه را به کودهای آلی، زیستی، گوگرد آلی، ریزمغذی‌ها و آزمون خاک اختصاص داد تا بتوان براساس نتایج تجزیه‌های خاک و برگ، کودهای مناسب را به کشاورزان توصیه نمود.

۸- پتاسیم فراوان‌ترین عنصر غذایی در ۱۵ سانتیمتری بخش بالایی خاک است. اما این شرایط، لزوماً بدان معنا نیست که پتاسیم قابل دسترس‌ترین عنصر برای گیاه است. زیرا، مقدار پتاسیم قابل دسترس برای گیاه به میزان پتاسیم موجود در بخش قابل دسترس (محلول و تبادلی) بستگی دارد. به رغم آن‌که پتاسیم جزو عناصر مؤثر در ساختمان گیاهی نبوده و عمدتاً نقش کاتالیزوری دارد، نیاز پتاسیمی بعضی از گیاهان حتی از نیتروژن نیز بیشتر است (نیاز پتاسیمی آفتابگردان به پتاسیم دو برابر نیتروژن است). برخلاف نیاز فراوان محصولات زراعی به پتاسیم که گاهی بیشتر از مقدار نیتروژن نیز می‌باشد، ولی

کودهای پتاسیمی مصرف نمی‌شود. این وضع در حالی است که در کشورهای پیشرفته، نسبت نیتروژن به پتاسیم مصرفی تقریباً نزدیک به یک است؛ ولی متاسفانه این نسبت در کشور ما از ۱۵ نیز بیشتر است.

۹- پتاسیم فراوان‌ترین کاتیون موجود در سیتوپلاسم است. پتاسیم کاتیونی ظرفیتی با شعاع آبدار ۰/۳۳۱ نانومتری و انرژی آبدار شدن ۳۱۴ ژول در مول است. بر خلاف نیتروژن، گوگرد و چند عنصر دیگر، پتاسیم بخش الزامی از اجزایی مانند پروتوپلاسم، چربی‌ها و سلولز نیست و عمل آن در طبیعت بیشتر کاتالیزوری است. علی‌رغم این حقیقت، پتاسیم در اعمال فیزیولوژیکی زیر نقشی اساسی دارد: سوخت‌وساز کربوهیدرات یا تشکیل و تجزیه و انتقال نشاسته؛ سوخت‌وساز ترکیب پروتئین‌ها؛ کنترل و تنظیم فعالیت‌های عناصر کانی اساسی گوناگون؛ خنثی کردن اسیدهای آلی از نظر فیزیولوژیکی مهم؛ فعال‌سازی آنزیم‌های مختلف؛ تسریع رشد بافت‌های مریستمی و تنظیم روابط حرکات روزنه‌ها و آب.

۱۰- پتاسیم عنصر غذایی ضروری برای تمام گیاهان و در مورد بعضی از محصولات مثل سیب‌زمینی حتی از نیتروژن نیز با اهمیت‌تر است. در عین حال که پتاسیم مستقیماً جزء بافت گیاه نمی‌باشد، حضور آن در بسیاری از واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی حیاتی است. پتاسیم برای تشکیل پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و ویتامین‌ها و همچنین برای مراحل فتوسنتز، ضروری است. این عنصر نقش کلیدی را در نقل و انتقال‌های گیاهی به عهده دارد. پتاسیم تعرق گیاهی را کنترل کرده و کارآیی مصرف آب و حتی کودها را بالا برده و در نتیجه تنش خشکی را کاهش می‌دهد. علاوه بر این‌ها پتاسیم در بسیاری از واکنش‌های مهم متابولیکی دخالت دارد.

۱۱- واکنش پتاسیم افزوده شده به خاک همانند دیگر مواد غذایی به قابلیت استفادهٔ آن‌ها در خاک بستگی دارد. هرگاه مقدار پتاسیم محلول، یا پتاسیم باقیمانده در خاک، فراوان باشد گیاه نسبت به پتاسیم اضافه شده عکس‌العمل نشان نخواهد داد. برعکس هنگامی که نیاز پتاسیمی گیاه بیش از اندازه‌ای باشد که در خاک موجود است، واکنش آن نسبت به کودهای پتاسیمی مثبت خواهد بود. گرچه این موضوع در مورد کلیهٔ گیاهان صادق است، با این وجود گاهی دقت نظرهای ویژه‌ای برای بعضی از گیاهان زراعی ضرورت دارد.

۱۲- معمولاً گیاهان مرتعی یا علوفه‌ای چند ساله که دارای شبکهٔ ریشه‌ای عمیق و گسترده هستند، به دلیل در اختیار داشتن حجم زیادی از خاک، به راحتی می‌توانند پتاسیم مورد نیاز خود را تأمین کنند. برعکس دیگر فرآورده‌های زراعی، پخش سطحی کود پتاسیمی‌در این قبیل گیاهان، اضافه محصولی را به همراه ندارد. با این وجود، معمولاً نیاز پتاسیمی گیاهان علوفه‌ای چند ساله با اضافه کردن کود ازتی افزایش می‌یابد. از آن‌جا که رشد رویشی گیاه در صورت مصرف زیاد کودهای ازتی بیش از اندازهٔ معمول بوده، این پدیده سبب کاهش کیفیت

محصول می‌گردد، از این رو برای برداشت فرآورده‌های خوش کیفیت، مصرف کود پتاسیمی الزامی خواهد بود. واکنش فوق در مورد گندم نیز می‌تواند صادق باشد. معمولاً گندم دیم در مناطق نیمه خشک نسبت به افزایش کود پتاسیمی‌عکس‌العملی نشان نمی‌دهد. شاید علت آن، علاوه بر دلایل فوق، کمی‌آب قابل استفاده باشد که خود دراکثر مواقع عامل محدود کنندهٔ رشد به شمار می‌رود. در پاره ای از آزمایشها در هندوستان، برگ‌پاشی پتاسیم مقاومت گندم را در برابر خشکسالی افزایش داده، در نتیجه عملکرد را افزوده است. همچنین، آغشتن بذرها به محلول ۲/۵ درصد کلرورپتاسیم پیش از کاشت، پایداری گندم را در برابر خشکی افزایش می‌دهد.

۱۳- اثر دیگر پتاسیم در گیاهان استحکام بافت‌های آن‌هاست؛ بدین ترتیب، پخش مقدار کافی پتاسیم قابل استفاده در مزرعه، عملکرد گندم را از طریق جلوگیری از بروز ورس می‌افزاید. اثر مثبت کود پتاسیمی‌در ذرت، جلوگیری از ورس و کاهش بیماری‌ها است. پخش کود پتاسیمی در مزرعهٔ پنبه، مقاومت گیاه را در برابر پژمردگی ناشی از قارچ فوزاریوم افزایش داده است. یونجه همانند سایر بقولات علوفه‌ای، نظیر شبدر برسیم و ماش، نیاز پتاسیمی بالایی دارد. با برداشت محصول زیاد، مقدار قابل توجهی پتاسیم نیز همراه با دیگر مواد غذایی از مزرعه خارج می‌شود، زیرا قسمت عمدهٔ پتاسیم در اندام‌های رویشی گیاه متمرکز است. چنین برداشت‌های ممتدی می‌تواند ذخایر غذایی خاک را به شدت کاهش دهد.

۱۴- در گیاهان مبتلا به کمبود پتاسیم، برخی تغییرات شیمیایی رخ می‌دهد که شامل انباشتگی قندهای محلول، کاهش نشاسته و انباشتگی ترکیبات محلول است. این امکان وجود دارد که تغییرات سوخت‌وساز قند در پیوند با نیاز برخی آنزیم‌های تنظیم‌کننده، به میزان زیاد (به) پتاسیم (وابسته) باشد؛ به ویژه، پیروات کیناز و ۶- فسفوفروکتوکیناز. فعالیت آنزیم سنتتاز نشاسته نیز به کاتیون‌های یک ظرفیتی وابسته است که در میان آن‌ها پتاسیم از همه مؤثرتر است. به همین صورت، پتاسیم، آنزیم سنتتاز نشاسته را که از گونه‌ها و اندام‌های دیگر گیاهان (برای مثال برگ‌ها، دانه‌ها و غده‌ها) جداشده است، فعال می‌کند. بیشترین میزان پتاسیم که در این مورد نیاز است، میان ۵۰ تا ۱۰۰ میلی مولار است. غلظت‌های بالاتر ممکن است اثر باز دارنده داشته باشند و منجر به کاهش میزان نشاسته در غده‌های سیب‌زمینی شوند. نقش کلیدی دیگر پتاسیم، فعال‌کردن آنزیم‌های ATPase چسبیده به غشاست که به منیزیم نیاز دارند و به وسیله پتاسیم و در مواردی به همان اندازه توسط سدیم فعال می‌شوند. فعال شدن آنزیم‌های ATPase از طریق پتاسیم نه تنها باعث آسانی جابه‌جایی خود پتاسیم از محلول بیرون از غشای سیتوپلاسم به درون سلول‌های ریشه می‌شود، بلکه پتاسیم را نیز به مهم‌ترین عنصر کانی در بزرگ شدن سلول و تنظیم اسمزی تبدیل می‌کند. بررسی‌های محققین نشان می‌دهد که پتاسیم نه تنها آنزیم نیترات ردوکتاز را فعال می‌کند، بلکه احتمال

بسیار دارد که برای ساختن آن نیز لازم باشد. پتاسیم در فتوسنتز، تنظیم اسمزی، بزرگ شدن سلول، حرکت روزنه‌ها و موازنه آنیون و کاتیون نقشی کلیدی را بازی می‌کند. گیاهانی که به اندازه کافی پتاسیم دریافت نکرده‌اند، اغلب به سرمازدگی حساس‌تر هستند که این به کمبود آب به سلول مربوط می‌شود. پتاسیم بر کیفیت فراورده‌های برداشت شده نیز اثر می‌گذارد. تغییراتی که هنگام کمبود پتاسیم در فعالیت آنزیم و مواد آلی رخ می‌دهد، بخشی از مسؤولیت حساسیت گیاهان را نسبت به حمله قارچ‌ها بر عهده دارد. کمبود پتاسیم با کاهش مقاومت گیاه به بعضی از بیماری‌های گیاهی ارتباط دارد. کمبود پتاسیم بیماری سفیدک حقیقی گندم و در بعضی موارد خسارت سن ساقه‌خوار گندم را افزایش می‌دهد. پوسیدگی ریشه و مرگ زمستانی یونجه با ناکافی بودن پتاسیم بیشتر اتفاق می‌افتد.

۱۵- به منظور برداشت حداکثر محصول، محل جایگذاری کودهای پتاسیمی بایستی دقیقا مشخص گردد. زیرا، پتاسیم در اکثر خاک‌های رسی چندان حرکتی ندارد. در محصولات ردیفی جایگذاری عمیق پتاسیم مؤثرتر از روش پخش سطحی کود است. صحت این امر در انگور و زردآلو در خاک‌های شنی به ثبوت رسیده است. با این وجود باید به خاطر داشت که اثر جایگذاری صحیح کود، با افزایش پتاسیم قابل استفادهٔ خاک، کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، برای محصولاتی که دارای شبکهٔ ریشهٔ فعال و کم عمق هستند، پخش مستقیم کود پتاسیمی و زیر خاک کردن آن در لایه‌های سطحی مؤثرترین روش پخش بوده است. آزمایش‌هایی که در خاک‌های ایران پیرامون واکنش محصولات مختلف نسبت به پتاسیم، انجام گرفته، نشان داده که نتایج از محصولی به محصول دیگر و با توجه به سقف عملکرد و نوع رس متفاوت بود.

۱۶- دست‌آوردهای پژوهش‌های انجام شده در خاک‌های آهکی ایران بیانگر آن است که برای دستیابی به عملکردهای خوب در محصولات کشاورزی از جمله گندم، پنبه و لوبیا چشم بلبلی، مصرف کودهای پتاسیمی‌ضروری است (۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار). در شالیزارهای گیلان که میزان پتاسیم آن‌ها کمتر از خاک‌های شالیزاری مازندران است، واکنش برنج نسبت به مصرف کودهای پتاسیمی بیش از عکس‌العمل برنج در مازندران در برابر عنصر مزبور بود. عکس‌العمل چای نیز نسبت به کودهای پتاسیمی قابل توجه بود و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار توصیه می‌گردد. مصرف کودهای پتاسیمی‌سبب سفتی و خوش‌رنگی دانه‌های ذرت شده، از باتلاقی شدن برنج‌زارها نیز ممانعت می‌نماید و مصرف سرک آن در مزارع گندم سبب درشتی وزن هزار دانه می‌گردد و نیز در سیب‌زمینی، کیفیت ارتقاء یافته و سیب‌زمینی پوست کنده شده اکسیده (تیره) نمی‌گردد.

۱۷- مصرف پتاسیم در محصولات باغی (سیب)، موجب افزایش عملکرد، افزایش اندازه میوه و تأثیر مثبت در خصوصیات کیفی میوه از جمله افزایش غلظت پتاسیم گردید. در مرکبات نیز

در کوتاه‌مدت افزایش عملکرد حتی در مقادیر بیشتر پتاسیم و همچنین تأثیر مثبت عناصر ریزمغذی را نشان داد. مصرف پتاسیم بیش از نیاز برای باغ‌های میوه مخصوصاً در باغ‌های سیب به دلیل افزایش نسبت پتاسیم به کلسیم (K/Ca) که کاهش خاصیت انباری سیب را به دنبال دارد، بصلاح نمی‌باشد، زیرا با مصرف پتاسیم اضافی در باغ‌های سیب، این نسبت از حد مجاز (۱۵) فراتر رفته و در نهایت سبب افت خاصیت انباری میوه سیب می گردد. در تمام آزمایش‌های باغی در کوتاه مدت اختلاف معنی‌داری بین دو منبع کودی MOP و SOP دیده نشد. نتایج بدست آمده از اجرای آزمایش‌ها روی گیاهان زینتی، مصرف پتاسیم بیش از نیاز را تایید نمود در این آزمایش‌ها نیز تفاوت معنی داری بین منابع کودی پتاسیم مشاهده نگردید.

۱۸- از نتایج بدست آمده چنین استنباط گردید که در محصولات زراعی کم توقع نظیر گندم، کلزا، گوجه‌فرنگی و پنبه و در محصولات باغی (در صورت نبود نتایج تجزیه برگی و میوه) مصرف کودهای پتاسیمی بر مبنای نتایج تجزیه خاک قابل توصیه است. ولی در محصولات زراعی پتاسیم دوست نظیر ذرت، سیب‌زمینی، پیاز و گل های زینتی حداقل در کوتاه مدت برای تأمین پتاسیم مورد نیاز این نوع گیاهان در زمان حداکثر نیاز و نیز جبران پتاسیم تخلیه شده رس‌ها، مصرف مازاد بر نتایج تجزیه خاک توصیه می‌گردد. به‌رغم عدم تفاوت در منابع پتاسیم از نظر عملکرد در کوتاه مدت، پیشنهاد می‌شود در دراز مدت برای باغ‌ها و سیب‌زمینی از سولفات‌پتاسیم ولی برای مزارع و گل‌های زینتی کلرورپتاسیم , و سولوپتاس به صورت سرک استفاده شود.

۱۹- با توجه به نقش مثبت پتاسیم در افزایش مقاومت گیاهان در برابر کم‌آبی و سرمازدگی، شوری و خشکی و آفات و بیماری‌ها، افزایش غلظت کلروفیل و کربن‌گیری، افزایش جذب آهن و راندمان کودهای نیتروژنی، افزایش مصرف کودهای حاوی این عنصر بایستی مد نظر قرار گیرد. در فلسطین اشتغالی برای گیاهان زینتی تا ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار K_2O مصرف می‌شود. مصرف لوکس کودهای پتاسیم برای گیاهان حائز اهمیت است فراوان است زیرا مطالعات نشان داده زمانی‌که غلظت پتاسیم در برگ میخک بالای ۴ درصد بود، بر اثر سرمای ناگهانی خسارت شکسته شدن ساقه‌ها ۱۴ درصد کمتر از گل‌هایی بود که غلظت پتاسیم آن‌ها زیر ۲ درصد قرار داشت با توجه به این موارد مصرف کودهای حاوی پتاسیم برای گل‌ها و گیاهان زینتی تا حد بحرانی ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم توصیه می‌شود.

۲۰- حد بحرانی پتاسیم برای خاک‌های زراعی کشور با توجه به درصد رس، درصد مواد آلی، درصد آهک، نوع رس، ظرفیت تبادلی کاتیونی، تنش‌های خشکی، عملکرد مورد انتظار و کیفیت محصول (به کودهای پتاسیمی کودهای کیفیت نیز می‌گویند) تعیین می‌شود. پیشنهاد می‌شود حد بحرانی پتاسیم برای محصولات کشاورزی حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم

بر کیلوگرم در نظر گرفته شود. بدیهی است چنانچه درصد رس خاک های زراعی بالا بوده یا عملکرد مورد انتظار بیش از هشت تن در هکتار باشد حتی در خاک‌هایی که مقدار پتاسیم قابل استفاده آن‌ها بالاتر می‌باشد و نیز در شرایط خشکسالی به دلیل کاهش تحرک پتاسیم و نیز برهمکنش مثبت پتاسیم با روی، مصرف کودهای پتاسیمی به صورت سرک (کلرور پتاسیم) توصیه می‌شود، در این مورد تحقیقات تکمیلی ادامه یابد.

۲۱- حد بحرانی پتاسیم برای محصولات زراعی مقاوم به شوری نظیر پنبه در شرایط شور (۳۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیش از شرایط غیر شور (۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است و برای گیاهان نیمه متحمل و یا حساس به شوری این اختلاف بیشتر می‌باشد. با افزایش غلظت پتاسیم و روی (Zn) در شرایط شور، پراکنش و طول ریشه‌ها زیاد شده و در نتیجه سطح جذب عناصر غذایی افزایش می‌یابد. همچنین مصرف سولفات روی در این شرایط تشکیل آوندهای چوبی را در گیاهان تحت تنش شوری در مقایسه با گیاهان بدون مصرف آن بهبود داده و از تخریب آوندها جلوگیری می‌نماید.

۲۲- در خاک‌های شور، برای افزایش عملکرد محصولات کشاورزی ، مصرف کودهای نیتروژنی و پتاسیمی بیشتر از حد طبیعی باید باشد. نتایج نشان داد در خاک‌های شور، به ازاء هر یک درجه‌ای که به شوری افزوده می‌شود، علاوه بر مقدار توصیه کودی توسط تجزیه خاک، حدود ۲۰ کیلوگرم کود نیتروژنی و ۱۵ کیلوگرم کود پتاسیمی مصرف شود: در شرایط شوری کم برهمکنش نیتروژن و پتاسیم در عملکرد مثبت بود. در خاک‌های شور، چنانچه غلظت املاح در آب آبیاری از محدوده ۱۲ دسی زیمنس بر متر تجاوز نماید، رشد محصولات کشاورزی عمدتاً تابع شوری است و نه مصرف کودهای نیتروژنی و پتاسیمی. با مصرف اوره و سولفات پتاسیم، ضمن کاهش غلظت کلر در برگ‌های گندم، تنش شوری را می‌توان کاهش داد. گیاهان حساس به شوری ازجمله گندم نسبت به مصرف پتاسیم (K) عکس‌العمل مناسب‌تری نشان می‌دهند. با افزایش نسبت پتاسیم به سدیم (K/Na) در محلول خاک، تحمل گیاه به شوری افزایش می‌یابد. شواهد نشان می دهد که تحت شرایط شوری علائم کمبود پتاسیم با وجود بالا بودن غلظت آن در برگ‌های گندم، همچنان وجود دارد، مقداری از پتاسیم جذب شده برای خنثی کردن بار الکتریکی کلر (Cl) ذخیره شده در واکوئل تجمع یافته، و کمکی به واکنش‌های حیاتی نمی‌نماید. لذا در این شرایط با افزایش مصرف سولفات پتاسیم می‌توان علاوه بر رفع علائم کمبود، اثرات مسمومیت شوری راکاهش، و عملکرد را افزایش داد. با افزایش غلظت پتاسیم در محلول خاک تحمل گیاهان به تنش شوری زیاد می‌شود. این در حالی است که وقتی میزان آب قابل دسترس گیاه کم باشد، افزایش پتاسیم در شوری‌های بالا (۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) باعث بیشتر شدن تحمل گیاه می‌شود. مصرف سولفات پتاسیم در شرایط شور موجب کاهش اثرات سوء تجمع سدیم و کلر در برگ‌های گندم شده و در

نهایت عملکرد را افزایش می‌دهد.

۲۳-ایجاد شرایط اقتصادی یکسان برای عرضه و فروش انواع کودهای آلی، زیستی و شیمیایی توسط شرکت خدمات حمایتی کشاورزی و فزایش تعداد دفعات سرک کودهای محلول نظیر اوره؛ سولوپتاس (سولفات‌پتاسیم محلول)؛ کلرورپتاسیم و ترجیحاً مصرف آن‌ها همراه با آب آبیاری (Fertigation) تا کارآیی کودها و آب افزایش یابد؛

۲۴- پس از بهینه‌سازی کودهای اصلی، مصرف عناصر کم نیاز یا کم مصرف (ریزمغذی) در افزایش عملکرد بسیار مؤثر می‌باشند. با افزایش تک‌تک این عناصر طبق قانون «بازده نزولی»، عملکرد افزایش می‌یابد، برای مقابله با برهمکنش منفی بین روی با آهن و منگنز در دانه گندم (به دلیل اختلاف در حرکت آن‌ها در ریشه، ساقه، برگ و دانه که معمولاً به این صورت Zn>Fe>Mn می‌باشد) پیشنهاد می‌شود مقدار مصرف کودهای محتوی آهن و منگنز در مقایسه با سولفات روی افزایش داده و یا از محلول‌پاشی مکررآن‌ها در بهار استفاده شود. حد بحرانی آهن (Fe)، منگنز (Mn)، روی (Zn)، مس (Cu) و بور (B) در خاک‌های آهکی برای برداشت حداکثر عملکرد توام با غنی‌سازی به ترتیب ۱۰، ۸، ۲، ۱ و ۱ میلی گرم در کیلوگرم با روش DTPA پیشنهاد گردید که بایستی در مورد توصیه‌های کودی در هر منطقه، براساس پارامترهایی مانند قیمت نهاده‌ها، قیمت فروش و مدیریت اعمالی و شاخص‌های متفاوت عمل شود. بنابراین حد بحرانی به دست آمده در آزمایش های متعدد، یکی از شاخص‌های مصرف کود به شمار می‌رود. از طرف دیگر نظر به اینکه، یکی از علل بروز بیماری‌هایی نظیر پاخوره در غلات، نماتد خاک و کمبود عناصر غذایی ریزمغذی به ویژه روی (Zn) و منگنز (Mn) می‌باشد، لذا برای حل مشکل این نوع بیماری‌ها نیز مصرف کودهای محتوی این عناصر راهگشا خواهد بود.

۲۵-نتایج تحقیقات نشان داد که با مصرف نامتعادل کودها به‌ویژه زیاده‌روی در مصرف کودهای نیتروژنی و فسفاتی در انواع سبزی و صیفی، علاوه بر افزایش تجمع NO_3 و Cd در آن‌ها، از غلظت ویتامین C تا حد ۲۶ درصد کاسته می‌شود. لیکن، با رعایت اصول مصرف بهینه کود به ویژه مصرف سولفات پتاسیم و سولفات روی، علاوه بر بهبود کیفیت و خوش خوراکی، به غلظت ویتامین C تا حد ۲۰ درصد افزوده می‌گردد. همچنین، Sanchez و Swamanathan (۲۰۰۵) در مقاله‌ای با تحت عنوان گرسنگی در آفریقا، رابطه مردم بیمار با خاک‌های بیمار که در سال ۲۰۰۵ در مجله معروف پزشکی Lancet به چاپ رسیده، بیان داشتند که همبستگی تنگاتنگی بین ناباوری خاک‌های زراعی و کمبود غذا در آفریقا وجود دارد و آن‌ها در این مقاله بحران بیماری خاک را فاجعه‌ای بی‌سر و صدا خواندند که سبب تشدید سوء تغذیه در این قاره شده است. از طرف دیگر، در دو دهه اخیر، محققین متعددی از جمله ملکوتی و مشایخی، ۱۳۷۵؛ Oliver، ۱۹۹۷؛ Grusak و Della Penna، ۱۹۹۹؛

Graham و همکاران، ۲۰۰۰؛ Welch، ۲۰۰۳؛ Cakmak، ۲۰۰۲؛ ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳؛ McLaughlin و همکاران،۱۹۹۵؛ Malakouti وBybordi، ۲۰۰۶؛ Malakouti، ۲۰۰۷؛ Cakmak، ۲۰۰۸؛ Malakouti، ۲۰۰۸؛ دادخواه، ۱۳۹۱؛ Malakouti و همکاران، ۲۰۱۳؛ ملکوتی و همکاران، ۱۳۹۴و ملکوتی، ۱۳۹۴ به وجود رابطه مثبت بین درجه حاصلخیزی خاک، تولید غذای سالم و بهبود سلامت جامعه اشاره نمودند. به‌طورکلی با استناد به نتایج دست آمده از بیش از ۱۰۰ طرح تحقیقاتی، چنین جمع‌بندی می‌شود که با مصرف بهینهٔ کود (اصلاح ساختاری نسبت کودهای مصرفی کشور)، عملکرد هکتاری و کیفیت محصولات کشاورزی افزایش می‌یابد و این نتایج نیز با یافته‌های تحقیقاتی محققین فوق مطابقت دارد.

۲۶- یکی دیگر از موضوعات مرتبط با ارتقای سطح سلامت جامعه، قیمت‌گذاری و خرید محصولات کشاورزی از تولیدکنندگان، متناسب با کیفیت مورد نظر نظیر درصد پروتئین در گندم، درصد قند در چغندرقند، درصد روغن در دانه‌های روغنی، خرید سبزی و صیفی‌جات براساس رعایت حد مجاز عناصر سنگین، نیترات و کادمیوم در آن‌ها و غلظت عناصرغذایی مفید در تولیدات کشاورزی می‌باشد که باید آن را مدنظر جدی قرار داد.

۲۷- با عنایت به نتایج درج شده در این کتاب، با توجه به تخلیه و قدرت تثبیت بالای پتاسیم توسط خاک‌های رسی در خاک‌های آهکی ایران، برای تحقق افزایش عملکرد (کمی و کیفی) هکتاری محصولات کشاورزی، بهتر است مصرف کودهای پتاسیمی نیز مشابه کودهای نیتروژنی در سه نوبت یعنی یک سوم قبل از کاشت با استفاده از سولفات پتاسیم، یک سوم زمان پنجهزنی و یک سوم باقیمانده قبل از زمان گلدهی با استفاده از کلرورپتاسیم (برای شالیزارها و سایر محصولات زراعی در شمال کشور) و یا با استفاده از سولوپتاس (سولفات پتاسیم محلول) به صورت دو بار سرک همراه با آب آبیاری انجام گیرد. با انجام این امر، در صورت مدیریت بهینه سایر عوامل موثر در تولید، ضمن آنکه عملکرد هکتاری و کیفیت محصولات کشاورزی افزایش خواهد یافت،کارآیی پتاسیم بهبود و غلظت آلاینده‌های کادمیوم و نیترات نیز بطور معنی‌داری کاهش خواهد یافت (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳؛ ملکوتی، ۱۳۹۴).

۲۸-باتوجه به آهکی بودن خاک‌های کشاورزی کشور، در مقطع فعلی، بهتر است نوع کودهای فسفاتی مصرفی حتی الامکان تغییر نموده و در راستای نیل به تولید پایدار و تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم، به جای سوپرفسفات‌تریپل وارداتی محتوی کادمیوم بالا، از کود سوپرفسفات ساده ویا کود میکروبی‌فسفاتی همراه با کودهای زیستی تولید داخل استفاده شود. بنابراین، برای تحقق اهداف فوق، ترتیبی اتخاذ شود تا:

- حال که قیمت سوپر فسفات ساده، بطور نسبی تعدیل شده است، در راستای تشویق کشاورزان برای تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم، شرکت خدمات حمایتی کشاورزی نسبت به عقد

قرار داد برای تولید انواع کودهای فسفاتی تولید داخل از جمله سوپرفسفات ساده و کود میکروبی فسفاتی عاری از کادمیوم (Cd) به هنگام تدارک، اولویت را به تهیه و توزیع این کودهای با ارزش تولید داخل اختصاص دهد. اضافه می‌نماید که مجتمع صنعتی و معدنی فسفات اسفوردی تنها تولیدکننده خاک‌فسفات مرغوب و تقریباً عاری از کادمیوم بوده و دارنده گواهینامه ISO9001:2000 است و هم اکنون بیش از ۷۰ هزار تن خاک فسفات مرغوب با ۳۵ در صد فسفر (P_2O_5) انبار نموده و به دلیل نداشتن مشتری در داخل کشور، این کارخانه دولتی وابسته به وزارت صنعت، معدن و تجارت با بیش از ۲۰۰ نفر کادر فنی و عملیاتی، در شرف تعطیلی است.

- با توجه به این‌که دانش فنی تولید کودهای زیستی ازجمله فلاویت، مایکوروت، تیوباسیلوس و کود میکروبی‌فسفاتی از طرف موسسه تحقیقات خاک و آب برای تولید انبوه به بخش خصوصی واگذار شده است. لذا می‌توان با مصرف این نوع کودهای زیستی حداقل ۱۰ در صد افزایش عملکرد هکتاری عاید کشاورزان نمود.
- برای کنترل و کاهش هرچه بیشتر غلظت آلاینده‌ها از جمله نیترات (NO_3) و کادمیوم (Cd) در محصولات کشاورزی، افزایش عملکرد هکتاری و کارآیی کودها، بهتراست ضمن رعایت اصول مصرف بهینه کودی، از کودهای پتاسیمی به ویژه سولوپتاس (سولفات‌پتاسیم محلول ویژه کودآبیاری) به صورت سرک (در دو نوبت همراه با مصرف سرک اوره) استفاده شود.
- تولید و مصرف قبل از کاشت و سرک انواع کودهای پتاسیمی و روی از جمله سولفات پتاسیم، کلرورپتاسیم، سولوپتاس (سولفات پتاسیم محلول تولید داخل) و سولفات روی، در سبد خرید و توزیع شرکت خدمات حمایتی کشاورزی قرار داده شود.

۲۹- در پاسخ به پرسشی که چرا در خاک‌های رسی با سطوح بالای پتاسیم که زیرکشت گیاهان پرتوقع پتاسیم‌دوست نظیر ذرت، سیب‌زمینی و ... می‌باشند، حتی به مصرف قبل از کاشت سولفات‌پتاسیم نیز عکس‌العمل مناسب نشان نمی‌دهند، باید گفت که در مرحله گلدهی، این گیاهی نیاز پتاسیمی بالایی دارند. لذا این گیاهان به مصرف سولفات‌پتاسیم قبل از کاشت نیز به دلیل تثبیت، عکس‌العمل مناسب نشان نمی‌دهد. راه حل در چنین مواقع، استفاده از کودهای محلول پتاسیمی به ویژه سولوپتاس با روش کودآبیاری بطور تقسیط می‌باشد. با این روش می‌توان به سهولت ضمن نیل به افزایش عملکرد هکتاری، کارآیی پتاسیم را نیز بطور معنی‌داری بهبود بخشید. بنابراین، در این مرحله لازم است از این نوع کودهای پتاسیمی به ویژه سولفات پتاسیم محلول ویژه کود آبیاری به صورت سرک استفاده شود

فصل هفتم

منابع و چکیده کتاب به زبان انگلیسی

۱-۷- منابع مورد استفاده در چاپ اول

۱-اردکانی، سبحان. ۱۳۸۲. بررسی یک روش جدید برای برداشت پتاسیم بوسیله ذرت. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.

۲- اسکندری، احمدرضا و سیدعلی‌اکبر موسوی. ۱۳۸۰. برهمکنش تنش رطوبتی و پتاسیم خاک بر رشد رویشی دو رقم گندم زمستانه. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۳- اسماعیلی، محمد ، نکاسی، محمد و ابراهیم سپهر. ۱۳۸۲ . تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و کیفیت دانه آفتابگردان رقم گلشید. تغذیه بهینه دانه‌های روغنی (مجموعه مقالات) انتشارات فالیزان ، چاپ اول، مؤسسه تحقیقات خاک و آب ، تهران، ایران.

۴- افضلی، مهران. ۱۳۷۸. تعیین سطح بحرانی فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک در مزارع تحت کشت پنبه در استان مازندران. ششمین کنگره علوم خاک ایران (چکیده مقالات). دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۵- الفتی، منصور. ۱۳۷۱. تأثیر مقادیر مختلف ازت، فسفر و پتاسیم در تولید ذرت دانه‌ای. مجله علمی پژوهشی خاک و آب، جلد ۷، شماره ۱. انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آ، تهران، ایران.

۶- امیری ، رمضان، م. س. درودی، و ولی محمد فلاح. ۱۳۷۴. بررسی رابطه کمیت و به شدت پتاسیم در بعضی از خاک‌های خراسان. مجموعه مقالات خاک و آب ، نشریه فنی و تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات آب و خاک جلد ۹، شماره ۱، ص ۷۴تا ۸۶.

۷- امیری ، رمضان، م. س. درودی، و ولی محمد فلاح. ۱۳۷۳. گزارش نهایی طرح بررسی پتانسیل تثبیت اشکال مختلف پتاسیم در اراضی شالیکاری شرق گیلان. نشریه فنی شماره ۹۳۳، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

۸- امیری، رمضان و محمدسعید درودی. ۱۳۷۳. بررسی روابط مقدار به شدت پتاسیم (Q/I) در ایستگاه‌های تحقیقاتی چغندرقند استان خراسان. چهارمین کنگره علوم خاک ایران (خلاصه مقالات)، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۹- امیری، رمضان و ولی‌محمد فلاح. ۱۳۷۵. بررسی پتانسیل تثبیت و اشکال مختلف پتاسیم در اراضی شالیکاری شرق گیلان. پنجمین کنگره علوم خاک ایران (خلاصه مقالات)، آموزشکده کشاورزی کرج، کرج، ایران.

۱۰-اوستان . شاهین. ۱۳۷۳. بررسی تخلیه پتاسیم از خاک‌های شالیزاری شمال کشور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه تهران. تهران، ایران.

۱۱-اوستان، شاهین و حسن توفیقی. ۱۳۷۵. بررسی اثر کشت برنج به فرم‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های شالیزاری شمال کشور، پنجمین کنگره علوم خاک ایران (خلاصه مقالات)، آموزشکده کشاورزی کرج، کرج، ایران.
۱۲-ایرانی‌پور، رامین. ۱۳۷۸. تعیین سطح بحرانی فسفر و پتاسیم برای محصول ذرت در منطقه اصفهان. ششمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۱۳-بارانی مطلق، مجتبی و غلامرضا ثواقبی. ۱۳۸۲. بررسی شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های زیرکشت نیشکر خوزستان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۱۴-بارانی مطلق، مجتبی، ثواقبی، غلامرضا، کریمیان، نجف‌علی و شهلا محمودی. ۱۳۸۲. بررسی تخلیه پتاسیم از خاک‌های زیرکشت نیشکر در خوزستان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۱۵-بازرگان، کامبیز، ملکوتی، محمدجعفر، اسدی، حسین و مهناز فیض‌اله‌زاده اردبیلی. ۱۳۸۰. بررسی تأثیر عوامل مختلف بر حرکت پتاسیم در ستون‌های خاک. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۱۶-بازرگان، کامبیز. ۱۳۸۲. تأثیر خصوصیات خاک بر پویایی و عرضه پتاسیم در چند خاک آهکی انتخابی ایران. پایان نامه دکتری خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۱۷-بای‌بوردی ، احمد و محمد جعفر ملکوتی. ۱۳۷۹. اثر بخشی منابع و مقادیر فراتر از حد بحرانی کودهای پتاسیمی در بهبود عملکرد پیاز، گوجه‌فرنگی و پنبه در آذربایجان شرقی، نشریه ترویجی، انتشارات فنی معاونت ترویج کشاورزی، معاونت تات، وزارت جهاد کشاورزی ، کرج ، ایران.
۱۸-بای‌بوردی، احمد. ۱۳۸۲. تأثیر مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی و سولفات روی در عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی در سراب. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۱۹-بستانی، عبدالامیر و غلامرضا ثواقبی. ۱۳۸۲. بررسی تثبیت پتاسیم در تعدادی از خاک‌های تحت کشت نیشکر در خوزستان، مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۲۰-بلالی، محمدرضا. ۱۳۷۷. بررسی ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم (PBCK) در خاک‌های شالیزاری شمال ایران. رساله کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲۱-بلالی، محمدرضا، ملکوتی، محمدجعفر و حمید حسین مشایخی. ۱۳۷۸. اثر عناصر ریز مغذی در افزایش عملکرد و تعیین حد بحرانی آن‌ها در خاک‌های تحت کشت گندم آبی ایران. مجله علمی پژوهشی خاک و آب (ویژه‌نامه گندم) جلد ۱۲، شماره ۶، مؤسسه تحقیقات خاک و آب ، تهران ، ایران.

۲۲-بلالی ، محمدرضا، مهاجر میلانی ، پرویز، خادمی، زهرا، درودی، محمد سعید، مشایخی، حمید حسین، ملکوتی، محمدجعفر . ۱۳۷۹. مدل جامع کامپیوتری توصیه کودهای شیمیایی در راستای تولیدات کشاورزی پایدار (گندم)، نشر آموزش کشاورزی ، سازمان تات ، وزارت جهاد کشاورزی، کرج، ایران.

۲۳-بهمنیار ، محمد علی و سید حسن احمدیان . ۱۳۸۳. برهمکنش پتاسیم و روی بر رشد و عملکرد برنج طارم. در تغذیه متعادل برنج(محمد جعفر ملکوتی و مسعود کاوسی) ، انتشارات سنا، چاپ اول، معاونت زراعت ، وزارت جهاد کشاورزی ، تهران ، ایران.

۲۴-بیابانکی، فرزانه‌السادات و علیرضا حسین‌پور. ۱۳۸۲. همبستگی پارامترهای نسبت کمیت ـ شدت پتاسیم با پتاسیم قابل استفاده و شاخص‌های گیاهی. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.

۲۵-بی‌نام. ۱۳۷۲. خلاصه مقالات، سمپوزیوم بین المللی وضعیت و دورنمای پتاسیم در خاک‌های مناطق غرب آسیا و شمال آفریقا. تهران، ایران.

۲۶-بی‌نام. ۱۳۷۴. مقالاتی درباره پتاسیم در خاک و گیاه. نشریه فنی شماره ۹۴۱. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

۲۷-تکاسی، محمد، اسماعیلی، محمد، گلچین، احمد و حسام مجللی. ۱۳۸۲. بررسی تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و میزان روغن آفتابگردان و تجمع ازت نیتراتی در خاک. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.

۲۸-توفیقی، حسن و محمدرضا بلالی. ۱۳۷۸. بررسی ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم در خاک‌های شالیزاری شمال ایران، ششمین کنگره علوم خاک ایران (چکیده مقالات). دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲۹-توفیقی، حسن. ۱۳۷۷. بررسی پاسخ برنج به کود پتاسیم در خاک‌های شالیزاری شمال ایران. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۲۹، شماره ۴، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳۰-توفیقی، حسن. ۱۳۷۸. مقایسه چهار عصاره‌گیر شیمیایی پتاسیم برای برآورد پتاسیم قابل استفاده در خاک‌های شالیزاری شمال ایران. مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۳۰، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳۱-ثواقبی، غلامرضا. ۱۳۷۹. بررسی اثرات اصلی و برهمکنش پتاسیم و روی و کادمیوم در تغذیه گندم. پایان نامه دکتری گروه خاکشناسی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳۲-ثواقبی، غلامرضا. ۱۳۸۲. ضرورت توجه به تغذیه پتاسیمی گیاه نیشکر در کشور. خلاصه مقالات سومین همایش ملی توسعه کاربرد مواد بیولوژیک و استفاده بهینه از کود و سم در کشاورزی، وزارت

جهاد کشاورزی، کرج، ایران.
۳۳- جعفرنژادی، علیرضا و محمد جعفر ملکوتی. ۱۳۷۶. بررسی اثرات پتاسیم و ریزمغذی‌هابر عملکرد کمی و کیفی نیشکر در خوزستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
۳۴- جعفرنژادی، علیرضا. ۱۳۷۶. اثرات پتاسیم و ریزمغذی‌هادر افزایش کمی و کیفی نیشکر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۳۵- جلالی و راول. ۱۳۷۸. بررسی و پیش روند آبشویی پتاسیم خاک با استفاده از مدل‌های ریاضی. ششمین کنگره علوم خاک ایران (چکیده مقالات). دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳۶- جلالی، محسن و زهرا کلاه‌چی. ۱۳۸۲. سینتیک رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در برخی از خاک‌های همدان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۳۷- جلالی، محسن. ۱۳۸۰. روابط کمیت به شدت پتاسیم در خاک‌های همدان. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۳۸- حسین‌پور، علیرضا و محمود کلباسی. ۱۳۷۹. نسبت کمیت شدت پتاسیم و همبستگی پارامترهای آن با خصوصیات خاک در تعدادی از خاک‌های ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۴، شماره ۱، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۳۹- خادمی ، زهرا، مهاجر میلانی، پرویز درودی، محمد سعید، شهبازی ، کریم و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۸۰. مدل جامع کامپیوتری توصیه کودهای شیمیایی و آلی در راستای تولیدات کشاورزی پایدار (چغندرقند). نشر آموزش کشاورزی وابسته به معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی سازمان تات ، وزارت کشاورزی، کرج، ایران.
۴۰- حسین‌پور، علیرضا و محمود کلباسی. ۱۳۸۰. سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی از خاک و اجزاء آن در تعدادی از خاک‌های منطقه مرکزی ایران. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۴۱- حسین‌پور، علیرضا. ۱۳۸۲. ارزیابی چند عصاره‌گیر جهت تعیین پتاسیم قابل استفاده سیر در شماری از خاک‌های همدان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۴۲- حسین‌پور، علیرضا، کلباسی، محمود و حسین خادمی. ۱۳۷۹. سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی از خاک و اجزاء آن در تعدادی از خاک‌های گیلان، مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۴۴، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
۴۳- حسین‌پور، کاوس. ۱۳۷۲. اثر پتاسیم روی کمیت و کیفیت سیب‌زمینی در چهار منطقه ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۴۴-خادم حمزه، حمیدرضا و هادی کشاورز شیرازی. ۱۳۸۲. بررسی تأثیر پتاسیم، روی و بـُر بر عملکرد و اجزاء عملکرد و شاخص برداشت دو رقم کلزا. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۴۵-خادمی، زهرا. ۱۳۷۵. بررسی تأثیر میزان و نحوه مصرف پتاسیم بر ماده خشک، تجمع پتاسیم و عملکرد دانه ذرت. پنجمین کنگره علوم خاک ایران (خلاصه مقالات)، آموزشکده کشاورزی کرج، کرج، ایران.
۴۶-خراسانی، رضا. ۱۳۷۴. بررسی روابط کمیت-شدت (Q/I) پتاسیم در خاک‌های شالیزاری شمال کشور. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۴۷-خراسانی، رضا و حسن توفیقی. ۱۳۷۵. بررسی روابط کمیت ـ شدت (Q/I) پتاسیم در خاک‌های شالیزاری شمال کشور. پنجمین کنگره علوم خاک ایران (خلاصه مقالات)، آموزشکده کشاورزی کرج، کرج، ایران.
۴۸-خراسانی، رضا و غلامحسین حق‌نیا. ۱۳۸۰. تعادل و معادله گاپون در تبادل پتاسیم ـ کلسیم در خاک‌های آهکی. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۴۹-خراسانی، رضا. ۱۳۷۴. بررسی روابط کمیت و شدت (Q/I) پتاسیم در خاک‌های شالیزاری شمال کشور. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی ، دانشگاه تربیت مدرس، تهران ، ایران.
۵۰-خوگر، زهرا ، ارشد، کامران و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۷۹. اثرات مصرف بهینه کود در افزایش عملکرد گوجه‌فرنگی ، نشریه فنی شماره ۶۵، نشر آموزش کشاورزی، سازمان تات ، زارت کشاورزی، کرج ، ایران.
۵۱-خیر، حمیده و فرشید نوربخش. ۱۳۷۸. بررسی روند زمانی تغییرات غلظت کلسیم، پتاسیم و منیزیم در درختان چنار (خزان‌دار) و کاج (همیشه سبز)، ششمین کنگره علوم خاک ایران (چکیده مقالات). دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۵۲-دانش‌نیا، سید عبدالعظیم و حمید رستگار (۱۳۷۷). بررسی نقش پتاسیم در کاهش آب مصرفی و تأثیر متقابل آب و پتاسیم بر کمـّیت و کیفیت محصول پرتقال محلی با روش آبیاری قطره‌ای. نشریه علمی پژوهشی مؤسسه تحقیقات خاک و آب، جلد ۱۲ شماره ۵، تهران، ایران.
۵۳-دانشی، نایب و محمد اسماعیلی. ۱۳۸۰. بررسی تغییرات کلر و هدایت الکتریکی در اثر مصرف منابع مختلف کودهای پتاسیمی در خاک و ذرت علوفه‌ای. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۵۴-دانشیان، جهانفر و پریسا جعفری. ۱۳۸۰ بررسی تأثیر تنش خشکی و پتاسیم بر عملکرد دانه. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۵۵-داودی، محمدحسین، خادمی، زهرا و منصور الفتی. ۱۳۸۰. تأثیر عناصر غذایی پرمصرف، کم مصرف

و مواد آلی بر عملکرد گندم و ذرت در کرت‌های دائم. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۵۶- دردی‌پور، اسماعیل، محمد بای‌بوردی، محمدجعفر ملکوتی و حمید سیادت. ۱۳۸۰. بررسی نقش پتاسیم و روی در کاهش اثرات سوء ناشی از آبیاری با آب دریای خزر برروی رشد و عملکرد جو. مجله خاک و آب، ویژه‌نامه مصرف بهینه کود، جلد ۱۲ شماره ۱۴، صفحات ۲۵۱ الی ۲۶۰. مجله خاک و آب، تهران، ایران.

۵۷- درودی، محمدسعید. ۱۳۷۲. بررسی روابط مقدار – شدت پتاسیم (Q/I) در خاک‌های آهکی دشت کرج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی. دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۵۸- درودی، محمدسعید و حمید سیادت، ۱۳۷۸. تأثیر شوری آب آبیاری، کودهای سولفات‌پتاسیم و اوره بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی در گندم. مجله علوم خاک و آب (ویژه‌نامه گندم)، جلد ۱۲، شماره ۶، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

۵۹- دواتگر، ناصر. ۱۳۸۲. گزارش نهایی بررسی وضعیت پتاسیم در شالیزارهای گیلان. نشریه فنی شماره ۸۲/۱۱۲۴. سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، تهران، ایران.

۶۰- دواتگر، ناصر، کاوسی، مسعود، علی‌نیا، محمدحسن و مریم پیکان. ۱۳۸۲. بررسی وضعیت پتاسیم شالیزارهای استان گیلان و تأثیر خواص فیزیکوشیمیایی خاک بر آن. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.

۶۱- رشیدی، ناصر و محمدعلی جواهری. ۱۳۸۲. بررسی اثر منابع کودهای دامی، سولفات‌پتاسیم و اسید بوریک بر عملکرد کیفی و کمی محصول چغندرقند. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.

۶۲- رضوی، مازیار و پیروز عزیزی. ۱۳۸۰. تأثیر کودهای ازت، فسفر و پتاسیم بر جنگل‌کاری‌های دشت کاشت کاج بادامی منطقه جفرود انزلی. نشریه فنی شماره ۵۶۷. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

۶۳- رمضان‌پور ، محمود رضا و محمد جعفر ملکوتی. اثر کودهای پتاسیمی بر خصوصیات کمی و کیفی پنبه در داراب . تغذیه بهینه دانه‌های روغنی (مجموعه مقالات)، انتشارات فالیزان، چاپ اول، مؤسسه تحقیقات خاک و آب ، تهران ، ایران.

۶۴- رمضان‌پور ، محمود، مجتبی محمودی و محمد جعفر ملکوتی. ۱۳۸۳. تأثیر سطوح و منابع مختلف کودهای پتاسیمی بر عملکرد برنج در تغذیه متعادل برنج، (محمدجعفر ملکوتی و مسعود کاووسی)، انتشارات سنا، چاپ اول ، معاونت زراعت وزارت جهاد کشاورزی ، تهران، ایران.

۶۵- رمضان‌پور، محمدرضا، دستفال، منوچهر و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۸۳. در تغذیه نوین گندم (مجموعه مقالات) توسط ملکوتی، محمد جعفر ، خوگر ، زهرا و زهرا خادمی ، انتشارات سنا به سفارش دفتر طرح خودکفایی گندم، وزارت جهادکشاورزی، تهران ، ایران.

۶۶- رنجبر، رحمت ا..و محمد جعفر ملکوتی. ۱۳۸۰. تأثیر منابع و مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی و سلفات روی بر سیب‌زمینی در بناب. مجله خاک و آب ، ویژه نامه مصرف بهینه کود، جلد ۱۲ ، شماره ۱۴، مؤسسه تحقیقات خاک و آب ، تهران ، ایران.
۶۷- رنجبر، رحمت‌اله و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۸۲. بررسی تأثیر منابع و مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی و سولفات روی بر عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی در بناب. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۶۸- روحی، وحید و عبدالکریم کاشی. ۱۳۸۰. اثرات ازت و پتاسیم بر روی کمیت میوه گوجه‌فرنگی رقم روربانا. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۶۹- رهبر، غلامرضا و آهنگ کوثر. ۱۳۷۵. تأثیر پخش سیلاب بر برخی عناصر کم مصرف و پتاسیم در خاک شنی گربایگان فسا. پنجمین کنگره علوم خاک ایران (خلاصه مقالات)، آموزشکده کشاورزی کرج، کرج، ایران.
۷۰- رفیع، محمدرضا و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۷۸. مقایسه اثر بخشی روش‌های مختلف توصیه کودی بر عملکرد کمی و کیفی گندم. مجله علمی پژوهشی خاک و آب (ویژه نامه گندم)، جلد ۱۶، شماره ۶، مؤسسه تحقیقات خاک و آب ، تهران ، ایران.
۷۱- زارع فیض‌آبادی، احمد و عوض کوچکی. ۱۳۷۸. بررسی تغییرات ازت، فسفر و پتاس خاک در واکنش به تناوب و نظام‌های زراعی متداول و اکولوژیک. ششمین کنگره علوم خاک ایران (چکیده مقالات). دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۷۲- سالار دینی، علی اکبر. ۱۳۶۴. روابط خاک و گیاه (بررسی مسائل شیمیایی و تغذیه ای). انتشارات دانشگاه تهران. شماره ۱۷۱۲. تهران، ایران.
۷۳- سالاردینی، علی اکبر. ۱۳۵۸. حاصلخیزی خاک . انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۷۴- سالاردینی، علی اکبر و مسعود مجتهدی . ۱۳۷۲. اصول تغذیه گیاه، جلد ۲ (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۷۵- سپهر ، ابراهیم، و محمد جعفر ملکوتی. ۱۳۸۲. تأثیر سطوح مختلف مصرف پتاسیم و منیزیوم بر کیفیت و کمیت آفتابگردان. تغذیه بهینه دانه‌های روغنی(مجموعه مقالات). انتشارات فالیزان ، چاپ اول، مؤسسه تحقیقات خاک و آب ، تهران ، ایران.
۷۶- سپهر، ابراهیم. ۱۳۷۷. بررسی اثرات پتاسیم، منیزیم، گوگرد و عناصر ریزمغذی روی افزایش عملکرد و بهبود کیفیت آفتابگردان. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی. دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران .
۷۷- سپهر، ابراهیم و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۷۸. بررسی اثرهای پتاسیم، منیزیم، گوگرد و عناصر کم مصرف در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت آفتابگردان. ششمین کنگره علوم خاک ایران (چکیده

مقالات). دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۷۸- سپهر، ابراهیم و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۸۲. بررسی اثرات اصلی و متقابل پتاسیم و منیزیم بر خصوصیات کمی و کیفی آفتابگردان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۷۹- سماوات، سعید. ۱۳۷۸. بررسی اثر پتاسیم سولفات، پتاسیم پرمنگنات و دو نوع کود نیتروژنی در جذب منگنز و نسبت Fe/Mn در سویا. ششمین کنگره علوم خاک ایران (چکیده مقالات). دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۸۰- سجادی، اشرف‌لسادات. ۱۳۷۵. نقش مصرف بهینه کود ریزوبیوم تجارتی در افزایش تولید سویا در ایران، نشریه فنی شماره ۳، نشر آموزش کشاورزی وابسته به معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی سازمان تات ، وزارت کشاورزی، کرج، ایران.
۸۱- شایسته، فرخ غنی، تابیه‌زاد، حسین و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۸۲. بررسی تأثیر منابع و مقادیر مختلف پتاسیم بر روی جذب پتاسیم و عملکرد کمی و کیفی چغندرقند. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۸۲- شایسته، فرخ غنی، مجیدی، عزیز و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۷۸. بررسی توازن پتاسیم در خاک‌های زیرکشت گندم در آذربایجان‌غربی. ششمین کنگره علوم خاک ایران (چکیده مقالات). دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۸۳- شریفی، مهدی . ۱۳۷۷. انتخاب عصاره‌گیر مناسب جهت استخراج پتاسیم قابل جذب برای گیاه ذرت در خاک‌های منطقه مرکزی استان اصفهان ، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته خاکشناسی ، دانشگاه صنعتی اصفهان ، اصفهان، ایران.
۸۴- شریفی، مهدی و محمود کلباسی. ۱۳۷۹. مطالعه وضعیت پتاسیم در خاک‌های استان اصفهان ۱ـ ارزیابی عصاره‌گیرهای رایج پتاسیم. دومین همایش ملی استفاده بهینه از کود و سم در کشاورزی، کرج، ایران.
۸۵- شریفی، مهدی. ۱۳۸۰. مطالعه وضعیت پتاسیم در خاک‌های استان اصفهان، ۲ـ تعیین حد بحرانی پتاسیم برای گیاه ذرت. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۸۶- شکری‌واحد، حسن. ۱۳۸۱. گزارش نهایی بررسی تاثیر منابع کودی و تقسیط پتاسیم بر روی جذب پتاسیم و عملکرد برنج. نشریه شماره ۸۲/۲۰۸، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، تهران، ایران.
۸۷- شکری‌واحد، حسن و مسعود کاوسی. ۱۳۸۰. بررسی تأثیر منابع کودی و تقسیط پتاسیم بر روی جذب پتاسیم و عملکرد برنج. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۸۸-شکری‌واحد، حسن، کاوسی، مسعود و حسام مجللی. ۱۳۸۲. ارزیابی چند عصاره‌گیر جهت تعیین پتاسیم قابل استفاده گیاه برنج در برخی خاک‌های شالیزاری استان گیلان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۸۹-شهابی، علی‌اصغر و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۷۹. ضرورت افزودن پتاسیم به خاک‌های کشور، قسمت دوم: پتاسیم عنصر کیفیت. نشریه فنی شماره ۱۱۱، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
۹۰-شهابی، علی‌اصغر. ۱۳۷۸. بررسی تاثیر منابع و مقادیر مختلف پتاسیم بر عملکرد پیاز. گزارش پژوهشی سال ۱۳۷۸. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، اصفهان، ایران.
۹۱-شهابی، علی‌اصغر. ۱۳۷۹. بررسی تاثیر منابع و مقادیر مختلف پتاسیم بر عملکرد خصوصیات کیفی چغندرقند. گزارش پژوهشی سال ۱۳۷۹. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، اصفهان، ایران.
۹۲-شهابی، علی‌اصغر. ۱۳۸۰. بررسی تاثیر منابع و مقادیر مختلف پتاسیم بر عملکرد خصوصیات کیفی سیب قرمز سمیرم. گزارش پژوهشی سال ۱۳۸۰. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، اصفهان، ایران.
۹۳- شهابی، علی اصغر و محمد جعفر ملکوتی. ۱۳۷۸. ضرورت افزودن پتاسیم به خاک‌های زراعی کشور (قسمت اول). نشریه فنی شماره ۶۹، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
۹۴- شهابی، علی‌اصغر و محمدجعفر ملکوتی. تعیین معادل کودی فسفر در خاک‌های آهکی، پنجمین کنگره علوم خاک ایران (خلاصه مقالات)، آموزشکده کشاورزی کرج، کرج، ایران.
۹۵- شهابی، علی‌اصغر. ۱۳۸۰. تثبیت پتاسیم در زمان‌های نخست پس از کوددهی در خاک‌ها با مقادیر متفاوت رس در استان اصفهان. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۹۶- شهدی کومله، عباس و محمدحسن علی‌نیا. ۱۳۸۲. بررسی اثر پتاسیم و روی در رفع اختلال رشد موسوم به کوتولگی برنج شالیزارهای گیلان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۹۷- شهدی کومله، عباس، مسعود کاوسی و محمدرضا یزدانی. ۱۳۸۲. تأثیر میزان پتاسیم منابع آبی مختلف بر میزان جذب پتاسیم و عملکرد گیاه برنج. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۹۸- صفاری، حسین و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۸۲. بررسی توازن پتاسیم در تعدادی از مزارع گندم‌خیز استان فارس. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۹۹- ضیائیان ، عبدالحسین و محمد جعفر ملکوتی. ۱۳۸۲. نقش مدیریت بهینهٔ کود در

افزایش عملکرد و بهبود کیفیت ذرت . مصرف بهینه کود راهی برای پایدار در تولیدات کشاورزی(مجموعه مقالات). نشر آموزش کشاورزی ، معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.

۱۰۰-ضیائیان ، عبدالحسین و محمد جعفر ملکوتی . ۱۳۷۷. بررسی اثر کودهای محتوی عناصر ریز مغذی زمان مصرف آن‌ها در افزایش تولید ذرت. نشریه علمی پژوهشی مؤسسه تحقیقات خاک و آب . ویژه نامه مصرف بهینه کود، جلد ۱۲، شماره ۱، مؤسسه تحقیقات خاک و آب ، تهران، ایران.

۱۰۱-ضیائیان، عبدالحسین. ۱۳۸۲. نقش پتاسیم و روی بر تولید و پارامترهای رشد ذرت دانه‌ای. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.

۱۰۲-طباطبائی، سید جلال . ۱۳۷۵. اثر مقادیر مختلف اوره و تأثیر متفابل آن با فسفر و پتاسیم بر عملکرد و تجمع نیترات در غده‌های سیب‌زمینی ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس ، تهران ، ایران.

۱۰۳-علی احیایی، مریم و علی بهبهانی‌زاده. ۱۳۷۲. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. نشریه شماره ۸۹۳.. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

۱۰۴-غیبی ، محمد نبی و محمد جعفر ملکوتی . ۱۳۷۸. ضرورت مصرف بهینه کود برای افزایش عملکرد و بهبود کیفی ذرت دانه‌ای . نشریه فنی ۴۴، نشر آموزش کشاورزی ، سازمان تات، وزارت کشاورزی، کرج ، ایران.

۱۰۵-فتحی، قدرت‌اله، عبدالرحمن، برزگر، منوچهر یعقوبی و سعید خلیل عالمی. ۱۳۷۸. اثر متقابل نیتروژن و پتاسیم بر روی عملکرد و روند رشد ذرت. ششمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۱۰۶-فرشاد، رضا و محمد جعفر ملکوتی. ۱۳۸۲. اثر پتاسیم ، روی و بـُر در افزایش کمی و کیفی ذرت دانه‌ای در داراب . نشر آموزش کشاورزی ، معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی ، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.

۱۰۷-فرقانی، اکبر. ۱۳۸۱. انتخاب عصاره‌گیر مناسب جهت استخراج فسفر قابل جذب و تعیین حد بحرانی فسفر برای گیاه ذرت در خاک‌های آهکی منطقه اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۱۰۸-فکری، مجید. ۱۳۸۲. اثرات کاربرد کودهای سولفات و کلرورپتاسیم روی عملکرد ذرت. ۱۳۸۲. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.

۱۰۹-فکری، مجید، کلباسی، محمود و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۷۸. بررسی اثرات تیمارهای

ازت و پتاسیم بر وضعیت این عناصر غذایی در برگ، کیفیت، عملکرد و ریزش جوانه‌های درختان پسته. ششمین کنگره علوم خاک ایران (چکیده مقالات). دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۱۱۰-فلاح، ولی محمد. ۱۳۷۳. چگونگی استفاده از کودهای شیمیایی در افزایش تولید برنج در ایران. نشریه شماره ۲، نشر آموزش کشاورزی ، معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی ، سازمان تات ، وزارت کشاورزی، کرج ، ایران.

۱۱۱-فلاح، ولی محمد و رمضان امیری. ۱۳۷۰. بررسی اثر مقادیر مختلف کود پتاسیمی در افزایش محصول برنج در مازندران . نشریه فنی شماره ۸۲۱، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

۱۱۲-فلاح، ولی‌محمد. ۱۳۷۵. بررسی ظرفیت ترمیم عناصر غذایی ضروری در شالیزار و پایداری تولید برنج در مازندران. پنجمین کنگره علوم خاک ایران (خلاصه مقالات)، آموزشکده کشاورزی کرج، کرج، ایران.

۱۱۳-فیضی اصل، ولی. ۱۳۷۸. تعیین نیاز غذایی آفتابگردان در شرایط دیم. ششمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۱۱۴-فیضی، محمد و پرویز مهاجر میلانی . ۱۳۸۳ . بهینه سازی مصرف کودهای نیتروژنه ، فسفاتی و پتاسیمی در شرایط شور برای گندم. در کتاب تغذیه نوین گندم(مجموعه مقالات) توسط ملکوتی، محمد جعفر، خوگر، زهرا و زهرا خادمی ، انتشارات سنا به سفارش دفتر طرح خودکفایی گندم، وزارت جهاد کشاورزی، تهران ، ایران.

۱۱۵-قرایی، حسینعلی و علیرضا رضایی. ۱۳۸۲. اثرات متقابل کودهای اوره، فسفات آمونیوم و سولفات‌پتاسیم بر عملکرد و درصد روغن کلزا. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.

۱۱۶-کاوسی، مسعود. ۱۳۷۸. مطالعه عوامل موثر در جذب پتاسیم از خاک توسط گیاه برنج و تعیین عصاره‌گیر مناسب برای پتاسیم در برخی از شالیزارهای گیلان. رساله دکتری خاکشناسی،دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۱۱۷-کاوسی، مسعود. ۱۳۸۰. گزارش نهایی بررسی وضعیت تثبیت پتاسیم در شالیزارهای گیلان. نشریه فنی شماره ۲۷۷/۸۰. سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، تهران، ایران.

۱۱۸-کاوسی، مسعود و بیژن مرادی. ۱۳۸۲. بررسی وضعیت پتاسیم در باغ‌های مرکبات غرب مازندران. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.

۱۱۹-کاوسی، مسعود و سیدعلی‌اکبر رحیمی‌مقدم. ۱۳۸۲. تأثیر کاربرد پتاسیم و سطوح مختلف ازت بر عملکرد هر تون گیاه برنج. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران،

دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۱۲۰-کاوسی، مسعود و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۸۲. تأثیر کاربرد پتاسیم بر عملکرد برنج در تعدادی از شالیزارهای گیلان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۱۲۱-کاوسی، مسعود و محمود کلباسی. ۱۳۸۰. بررسی تأثیر غلظت پتاسیم اضافه شده به خاک بر درصد تثبیت پتاسیم. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۱۲۲-کاوسی، مسعود، احمدی‌پور، مسعود و عباس شهدی. ۱۳۸۰. ظرفیت تثبیت پتاسیم در شالیزارهای استان گیلان و مطالعه عوامل فیزیکوشیمیایی مؤثر در آن. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۱۲۳-کاویانی، اسدالله و محمد جعفر ملکوتی. ۱۳۸۲. تإثیر منابع و مقادیر پتاسیم بر کمیت و کیفیت محصول گوجه‌فرنگی. نشر آموزش کشاورزی ، معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی ، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
۱۲۴-کشاورز، عباس، کمال جلالی، محمدرضا، دهقانی ، علی بخش، حمید نژاد، محمود، صدری ، بهروز ، حیدری ،احمد و محسن محسنین. ۱۳۸۱. طرح افزایش عملکرد و تولید گندم آبی و دیم کشور، وزارت جهاد کشاورزی ،تهران، ایران.
۱۲۵-کشاورز، پیمان و مهدی مهدوی. ۱۳۸۲. تخمین حد بحرانی پتاسیم با استفاده از معادله میچرلیخ بری و روش ترسیمی کیت نلسون برای پنبه در خاک‌های شور و غیرشور استان خراسان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۱۲۶-کلباسی، محمود. ۱۳۷۴. آزمون خاک. چهارمین گنگره علوم ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۱۲۷-کیانی، شهرام و کامران میرزاشاهی. ۱۳۸۲. بررسی اثرات مقادیر و منابع مختلف پتاسیم بر کلزا در شمال خوزستان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۱۲۸-کیانی، شهرام و کامران میرزاشاهی. ۱۳۸۲. بررسی اثرات مقادیر و منابع مختلف پتاسیم بر عملکرد کمی و کیفی درختان پرتقال در شمال خوزستان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۱۲۹-گلستانی‌فرد، علی. ۱۳۷۵. بررسی تثبیت پتاسیم در شالیزارهای شمال ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران. تهران، ایران.
۱۳۰-لطف‌الهی، محمد و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۸۳. بررسی تأثیر سطوح مختلف پتاسیم و

عناصر کم نیاز بر روی عملکرد ارقام پیشرفته گندم نان، در کتاب تغذیه نوین گندم (مجموعه مقالات) توسط ملکوتی، محمد جعفر ، خوگر ، زهرا و زهرا خادمی ، انتشارات سنا به سفارش دفتر طرح خودکفایی گندم، وزارت جهاد کشاورزی، تهران ، ایران.

۱۳۱-ماجدی، محمدرضا. ۱۳۷۸. اثر جایگذاری ردیفی کودهای فسفره و پتاسه و مصرف بهینه ازت در افزایش راندمان کودهای اصلی و عملکرد ذرت. ششمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۱۳۲-محبی، عبدالحمید. ۱۳۸۰. بررسی توازن پتاسیم در خاک‌های زیرکشت گندم در استان هرمزگان. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۱۳۳-مرشدی، آذر و حسین نقیبی. ۱۳۸۲. تأثیر سطوح مختلف محلول‌پاشی پتاسیم و بُر بر عملکرد دانه و روغن کلزا در منطقه بردسیر کرمان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.

۱۳۴-مستشاری، مهرزاد. ۱۳۸۲. اثر عناصر پرمصرف فسفر و پتاسیم و مقادیر مختلف بُر در عدس دیم. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.

۱۳۵-مشایخی، حمیدحسین و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۷۳. بررسی کینتیک تبادل پتاسیم در خاک با استفاده از دستگاه الکترواولترافیلتریشن (EUF). چهارمین کنگره علوم خاک ایران (خلاصه مقالات)، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۱۳۶-مطلبی فرد، رحیم . ۱۳۷۹ . تأثیر نوع و مقادیر کود پتاسه و آبیاری اسیدی بر خصوصیات کمی و کیفی گل بریدهٔ میخک ، پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران ، ایران.

۱۳۷-مطلبی‌فرد، رحیم. ۱۳۸۲. بررسی اثرات مقادیر و منابع مختلف کود پتاسه و عنصر کم مصرف بر خصوصیات کمی و کیفی انگور. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.

۱۳۸-ملکوتی، محمد جعفر. ۱۳۷۷. تخلیه پتاسیم اراضی کشاورزی تهدیدی جدی برای امنیت غذایی کشور. نشریه علمی پژوهشی خاک و آب. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، جلد ۱۲، شماره ۵، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

۱۳۹-ملکوتی ، محمد جعفر. ۱۳۷۸. ضرورت مصرف بهینه کود برای افزایش عملکرد ارقام برنج پر محصول، قسمت دوم). نشر آموزش کشاورزی ، معاونت تات ، وزارت کشاورزی . کرج، ایران.

۱۴۰-ملکوتی، محمد جعفر. ۱۳۷۸.کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه سازی مصرف کود در ایران(چاپ دوم با بازنگری کامل)، نشر آموزش کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش

کشاورزی، کرج ، ایران.
۱۴۱-ملکوتی، محمد جعفر. ۱۳۷۹. تغذیه متعادل گندم راهی به سوی خود کفایی در کشور و تأمین سلامت جامعه (مجموعه مقالات). نشر آموزش کشاورزی ، معاونت تات، وزارت کشاورزی ، کرج ، ایران.
۱۴۲-ملکوتی، محمد جعفر. ۱۳۷۹. کمبود پتاسیم در محصولات زراعی استراتژیک به روایت تصویر و روش‌های درمان آن ، نشریه فنی شماره ۸۱، نشر آموزش کشاورزی، کرج ، ایران.
۱۴۳-ملکوتی، محمد جعفر. ۱۳۷۹. کمبود پتاسیم در تعدادی از درختان میوه به روایت تصویر و روش‌های درمان آن. نشریه فنی شماره ۸۲، نشر آموزش کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
۱۴۴-ملکوتی، محمد جعفر. ۱۳۷۹. روش جامع تشخیص و ضرورت مصرف بهینه کودهای شیمیایی، چاپ پنجم. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. تهران، ایران.
۱۴۵-ملکوتی، محمدجعفر و مهدی نفیسی. ۱۳۶۷. مصرف کود در اراضی فاریاب و دیم (ترجمه). انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۱۴۶-ملکوتی، محمدجعفر و سید غلامحسین ریاضی همدانی. ۱۳۷۰. کودها و حاصلخیزی خاک (ترجمه). مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ایران.
۱۴۷-ملکوتی، محمدجعفر و مهدی نفیسی. ۱۳۷۱. ضرورت مصرف کلرورپتاسیم برای تأمین پتاسیم مورد نیاز در مزارع کشور. نشر آموزش کشاورزی، وابسته به سازمان تات، وزارت کشاورزی، تهران، ایران.
۱۴۸-ملکوتی، محمدجعفر و مهدی همایی . ۱۳۷۳. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک «مشکلات و راه حلها» انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۱۴۹-ملکوتی محمدجعفر و حمیدحسین مشایخی. ۱۳۷۵. ضرورت مصرف سولفات روی برای افزایش کمی، کیفی و غنی‌سازی تولیدات کشاورزی در کشور. نشریه فنی. شماره ۲۵. نشر آموزش کشاورزی سازمان تات، وزارت جهاد کشاورزی. کرج، ایران.
۱۵۰-ملکوتی، محمد جعفر و مهدی نفیسی . ۱۳۷۶. ضرورت مصرف کلرورپتاسیم برای تامین پتاسیم مورد نیاز در مزارع غیر شور کشور ، چاپ اول ، نشر آموزش کشاورزی، کرج ، ایران.
۱۵۱-ملکوتی، محمدجعفر و محمدنبی غیبی. ۱۳۷۶. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی موثر در خاک، گیاه و میوه در راستای افزایش‌عملکرد کمی و کیفی محصولات استراتژیک کشور. نشر آموزش کشاورزی، معاونت تات وزارت کشاورزی. کرج، ایران.
۱۵۲-ملکوتی ، محمد جعفر و مهرداد شهابیان .۱۳۷۷. ضرورت مصرف بهینه کود برای افزایش عملکرد و ارتقاء کیفی انگور در کشور .نشریه فنی شماره ۳۵ ، نشر آموزش کشاورزی وابسته به معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی سازمان تات، وزارت کشاورزی ، کرج، ایران.

۱۵۳-ملکوتی ، محمد جعفر و مهرداد شهابیان .۱۳۷۷. مصرف بهینه کود برای افزایش عملکرد و بهبود کیفی مرکبات . نشریه فنی شماره ۳۹، نشر آموزش کشاورزی وابسته به معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی سازمان تات، وزارت کشاورزی ، کرج ، ایران.
۱۵۴-ملکوتی ، محمد جعفر و مهرداد افخمی . ۱۳۷۸. ضرورت جلوگیری از تخلیه پتاسیم خاک‌های اراضی شالیزارهای شمال کشور . نشریه فنی شماره ۶۲. نشر آموزش کشاورزی ، معاونت تات ، وزارت کشاورزی، کرج، ایران.
۱۵۵-ملکوتی، محمد جعفر و سید جلال طباطبایی. ۱۳۷۸. تغذیه صحیح درختان میوه برای نیل به افزایش عملکرد و بهبود کیفی محصولات باغی در خاک‌های آهکی ایران. نشر آموزش کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
۱۵۶-ملکوتی، محمد جعفر و محمد آقا لطف‌الهی. ۱۳۷۸. افزایش کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای با استفاده از کلرورپتاسیم اضافی در مناطق سردسیر (کشت دوم) ، نشریه فنی شماره ۱۰۷، نشر آموزش کشاورزی، سازمان تات، کرج ، ایران.
۱۵۷-ملکوتی، محمد جعفر و محمد نبی غیبی. ۱۳۷۹. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی در خاک، گیاه و میوه در راستای افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات استراتژیک کشور، (چاپ دوم با بازنگری کامل).نشر آموزش کشاورزی، معاونت تات ، وزارت کشاورزی، کرج، ایران.
۱۵۸-ملکوتی، محمد جعفر ، محمد حسین داودی، ناصر سعادتی، مریم ولی نژاد، محمودرضا رمضانپور، مجتبی محمودی و محمد محمدیان. ۱۳۸۰. تعیین حد بحرانی پتاسیم برای برنج و بررسی پاسخ آن به کلرورپتاسیم در اراضی شالیزاری مازندران. مجلهٔ خاک و آب ، ویژه نامه مصرف بهینه کود ، جلد ۱۲، شماره ۱۴. مؤسسه تحقیقات خاک و آب ، تهران، ایران.
۱۵۹-ملکوتی، محمدجعفر و محمدحسین داودی. ۱۳۸۱. روی در کشاورزی «عنصری فراموش شده در چرخه حیات گیاه، دام و انسان». انتشارات معاونت باغبانی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران.
۱۶۰-ملکوتی، محمدجعفر، پیمان کشاورز؛ سعید سعادت و بهمن خلدبرین. ۱۳۸۱. تغذیه گیاهان در شرایط شور. انتشارات معاونت باغبانی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران.
۱۶۱-ملکوتی، محمد جعفر، و ابراهیم سپهر . ۱۳۸۲. تغذیه بهینه دانه‌های روغنی ، گامی مؤثر در نیل به خود کفایی روغن در کشاورزی ((مجموعه مقالات)) .انتشارات فالیزان ، چاپ اول، مؤسسه تحقیقات خاک و آب ، تهران ، ایران.
۱۶۲-ملکوتی، محمد جعفر، و محمد رضا بلالی . ۱۳۸۲. مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی ((مجموعه مقالات)) . نشر آموزش کشاورزی ، معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی ، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
۱۶۳-ملکوتی، محمدجعفر و محمدنبی غیبی.۱۳۸۲. اصول تغذیه ذرت (مجموعه مقالات). انتشارات

سنا، چاپ اول، دفتر نباتات علوفه و طرح ذرت، وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران.
۱۶۴-ملکوتی، محمدجعفر و مهدی همایی. ۱۳۸۳. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک «مشکلات و راه‌حلها»، چاپ دوم با بازنگری کامل، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. تهران، ایران.
۱۶۵-ملکوتی، محمدجعفر و زهرا خوگر و زهرا خادمی. ۱۳۸۳. روش‌های نوین تغذیه گندم (مجموعه مقالات)، انتشارات سنا، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
۱۶۶-ملکوتی، محمدجعفر ، احمد بای‌بوردی و سید جلال طباطبایی. ۱۳۸۳. مصرف بهینه کود گامی موثر در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت و کاهش آلاینده‌ها در محصولات سبزی و صیفی و ارتقاء سطح سلامت جامعه. نشر علوم کشاورزی کاربرد. دفتر سبزی و صیفی معاونت زراعت. وزارت جهاد کشاورزی، ۳۳۸ صفحه. تهران، ایران.
۱۶۷-ملکوتی، محمدجعفر و محمدنبی غیبی، ابراهیم سپهر و شهرام کیانی. ۱۳۸۳. روش‌های تشخیص کمبود عناصر غذایی، انجام توصیه کودی و برآورد نیازکودی کشور (چاپ ششم). انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۱۶۸-ملکوتی، محمد جعفر ، مجتبی محمودی ، محمود رضا رمضان پور, ناصر سعادتی، محمد محمدیان و مسعود کاوسی. ۱۳۸۳. نقش پتاسیم در افزایش کارآیی کودهای نیتروژنی. در تغذیه متعادل برنج(محمد جعفر ملکوتی و مسعود کاوسی) ، انتشاران سنا، چاپ اول ، معاونت زراعت، وزارت جهاد کشاورزی، تهران ، ایران.
۱۶۹-منتجبی، نصرت‌الله. ۱۳۷۸.ارزیابی مدل کامپیوتری توصیه کودی برای گندم در منطقه گلپایگان. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس ، تهران ، ایران.
۱۷۰-منتظری ، عفت‌الزمان و محمد جعفر ملکوتی. ۱۳۸۲.اثرات سه ساله کودهای پتاسیمی در عملکرد آفتابگردان و تغییرات کلر در خاک زراعی ارومیه . تغذیه بهینه دانه‌های روغنی (مجموعه مقالات) . انتشارات فالیزان ، چاپ اول، مؤسسه تحقیقات خاک و آب ، تهران ، ایران.
۱۷۱-منوچهری ، ساسان . ۱۳۷۹. مطالعه اثرات مقادیر و منابع مختلف پتاسیم بر روی کمیت و کیفیت درختان سیب ، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات ، تهران ، ایران.
۱۷۲-مهاجر میلانی، پرویز، سعید سعادت و رضا وکیل. ۱۳۷۹. گزارش نهایی تأثیر شوری آب و خاک بر نیاز ازت و پتاسیم در گندم، نشریه فنی شماره ۱۰۴۷، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
۱۷۳-میرزا شاهی، کامران ، سعید سلیم پور ، عبدالمحمد دریاشناس، محمد جعفر ملکوتی و حامد رضایی. ۱۳۸۲.بررسی اثرات کاربرد مقادیر مختلف و زمان مصرف کودهای پتاسیمی بر عملکرد کلزا در دزفول، تغذیه بهینه دانه‌های روغنی (مجموعه مقالات) ، انتشارات فالیزان ، چاپ اول، مؤسسه تحقیقات خاک و آب ، تهران ، ایران.

۱۷۴-مؤسسه تحقیقات خاک و آب. ۱۳۸۴. نقش پتاسیم در بهبود کمی و کیفی محصولات زراعی و باغی و گیاهان زینتی. نشریه‌های فنی از شماره ۴۲۸ الی ۴۴۳. انتشارات سنا، تهران، ایران.
۱۷۵-میرزاپور ، محمد هادی ، امیر حسین خوش گفتار منش، سید خلاق سرمدنیا، حسینعلی بهرامی و محمدرضا نائینی. ۱۳۸۲. اثرهای متقابل پتاسیم و منیزیوم بر رشد و عملکرد آفتابگردان در یک خاک شور. تغذیه بهینه دانه‌های روغنی (مجموعه مقالات) ، انتشارات فالیزان ، چاپ اول، مؤسسه تحقیقات خاک و آب ، تهران ، ایران.
۱۷۶-نوابی ، فرشید و محمد جعفر ملکوتی. ۱۳۸۲. بررسی اثر تغذیه متعادل بر کمیت و کیفیت ذرت‌دانه‌ای در داراب. نشر آموزش کشاورزی ، معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
۱۷۷-نوربخش، فرشید و مهدی کریمیان اقبال. ۱۳۷۶. حاصلخیزی خاک (ترجمه) . انتشارات عدل، اصفهان، ایران.
۱۷۸-نوربخش، فرشید، کلباسی، محمود و فرید رفیعی. ۱۳۷۸. بررسی همدماهای جذب پتاسیم در خاک. ششمین کنگره علوم خاک ایران (چکیده مقالات). دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۱۷۹-نوری، امین علی و محمد جعفر ملکوتی. ۱۳۸۲. اثر کودهای پتاسیمی و سولفات روی در افزایش کمی و کیفی عملکرد و کاهش غلظت نیترات در سیب‌زمینی در زنجان . نشر آموزش کشاورزی وابسته به معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
۱۸۰-نیرومند حسینی، نگار و منوچهر مفتون. ۱۳۸۲. ارزیابی آزمایشگاهی عصاره‌گیرهای شیمیایی جهت تعیین پتاسیم در بعضی از خاک‌های آهکی استان فارس. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۱۸۱-واسع مصلی، صغری. ۱۳۸۲. تأثیر محلول غذایی ازته، فسفره و پتاسیمی بر خواص زراعی و ترکیب معدنی واریته ایرانی هورتانسیا. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۱۸۲-وکیل، رضا، میرزاپور، هادی، خوشگفتار، امیرحسین، کوچه‌باغی، امیرحسین، نایینی، محمدرضا و سعید سعادت. ۱۳۸۲. تأثیر مقادیر و منابع مختلف کودهای پتاسیمی بر غلظت عناصر غذایی در گندم در شرایط شور. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۱۸۳-ولی نژاد، مریم. ۱۳۸۰. تعیین حد بحرانی پتاسیم و روی در برخی از شالیزارهای استان مازندران . پایان نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد

اسلامی واحد تهران، تهران ، ایران.
۱۸۴-هاشمیان، ندا و علیرضا حسین‌پور. ۱۳۸۲. مطالعه ارتباط ضرایب سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی با خصوصیات خاک در شماری از خاک‌های همدان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
۱۸۵-یزدانی، م. ۱۳۷۹. گزارش نهایی تعیین مقدار عرضه پتاسیم توسط آب آبیاری به شالیزارهای استان گیلان. موسسه تحقیقات برنج کشور. رشت، گیلان، ایران.
186-Afifi, A. M. 1996. Potassium potential and potential buffering capacity of a Torripssameny in the United Arab Emirates. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 27:27-36.
187-Aighewi, I. T. and M.P. Russelle. 1993. Development and validation of equation to predict indexes of subsoil potassium supply capability. Soil Sci. 155:349-356.
188-Ajay, O., D.N. Maynard and A. V. Barker. 1970. The effects of potassium on ammoinum nutrition of tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) . Agron. J. 62: 818-321.
189-Akhtar, M. and A Ali.I994.” Mcaceous mineral transfonnation and potassium availability under rice-wheat rotation.” ,Proc. 10th Int. Clay Conf.
190-Akhtar,S. 1993.” Potassium availability as affected by soil mineralogy.” ,P. 139-155
191-Ak-Kanani, T., A. F. Mackenzi., and G. J. Ross. 1984. Potassium status of some Quebec soils: K release by nitric acid and sodium tetraphenylboron as related to particle size and mineralogyh. Can. J. Soil Sci. 64:99-106.
192-Alias, B. H., A T. B. Black, and A. G. Caldwell. 1986.” Plant response to potassium’ related to soil tests for potassium tractions in 30 soils for Louisiana.” , Plant Soil. 96: 5 7
193- Al-kanani, T., N. N. Bartacur., and A. J. Hussien. 1991. Evaluation of potassium quantity-intensity relationships in calcareous soils. Soil Sci. 151: 165-173.
194-Ano, A. O, So. Ajayi, and E. J. Udo. 1992. Potassium fixation characteristics of eastern Nigeria soils developed from diverse parent materials. Journal of potassium research. 8 (3): 177-186.
195-Archer, J. 1993. Crop nutrition and fertilizdrf use. Farming.
196-Avellandeda, M. O. and M. A. Jauregui. 1995. Comparing potash soil tests with a flexable function and a modeifier variable. Soil Sci. Soc . Am . J. 59:1081-1085.

197-Ayers, A.s, M. Takahashi., and Y. Kanechiro. 1974. Conversion of non0 exchangeable potassium to exchangeable froms in a Hawaii soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 11: 175-181.

198-Baden, W. 1965. Adequate potash and phosphate application to organic soils. Kali –Briete, Fachgeb. 7,1.Folge.

199-Badroui, G. R. 1989. The effect of wetting and drying cycles, temperature and extracting solution on measured potasium fixation in soils of two region of Morocco. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 20:1353-1375.

200-Badroui, M., and P. R. Bloom. 1989. The effect of wetting and drying cycles, temperature and extracting solution on measured potasium fixation in soils of two region of Morocco. Commun. Soil SCi., Plant Anal. 20:1353-1375.

201-Bajwa, M. J. 1986. Differential response of flooded rice to potassium chloride on two clay mineralogical different soils. Rice Abs. 9 :(3) : 114.

202-Bansal, K.N., and M. Singh. 1993. K activity in soils as affected by Q/I relationships. Pp. 23 In: Abstract of Region. Symp. On K availability of soil in West Asia and North Africa: Status and Prospectives. Tehran, Iran

203-Barber, S. A. 1995. Soil Nutrient Bioavailability-A Mechanistic Approach. 2nd ed. Wiley, New York.

204-Barber, S. A. and J. H. Cushman. 1981. Nitrogen uptake model for agronomic crops. In: Iskandar. I. Ed. Modeling Waste Water Renovation-Land Treatment, ed. I. Iskandar. John Wiley. New York-Inter science, pp. 382-409.

205-Beckett, P. H. T. 1964. Studies on soil potassium. II. The immediate Q/I relations of labile potassium in the soil. J. Soil Sci. 15:9-23.

206-Bender, R .R, J.W. Haegele, M.L. Ruffo and F.E. Below. 2013. Modern corn hybrids' nutrient uptake patterns. Better Crops, 97: 7-10.

207-Black, C. A. 1993." Soil fertility evaluation and control." , Lewis. Pub.

208-Bergmann, W. 1992. Color atlas: Nutritional disorders of plants. Phosyn Gustau-Fischer, Stutgart, Germany.

209-Bohn, H.L., B.L. McNeal, G.A. O'connor. 1979. Soil Chemistry. John Wiley and Sons.

210-Bouabid, R., M. Badraoui, and R. P. Bloom. 1991. Potassium fixation and charge characteristics of soil clays. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:1493-1498.

211-Brady, H. 1972. The influence of potassium on the transpiration rate and stomatal opening in Triicum asstivum and pisum sativum. Physiol. Plant.

26:250-257.
212-Cassman, K.G., B. A. Roberts, D.C . Gryant, and S.L. Higashi. 1990. Pottassium nutrition effects on lint yield and fiber quality of Acalacotton. Crop Science, 360-677.
213-Chain, C.C, F.T. Turner, and lB. Dixon. 1989. " Ammonium fixation by high-charge method. Soil Sci. Soc. Am. J. 60:114-120.
214-Claassen, N. 1990a. Die Aufnahme Von Nahrstoffen aus dem Boden durch die hohere pflanze als. Ergebnis vermogen. Habilitations Schrift. Severin verlag. Gottingen, Germany.
215-Claassen, N. 1990b. Fundamentals of soil-plant interactions as derived from nutrient diffusion in soil, uptake kinetics and morphology of roots. 14th Int. Congress of Soil Science, Kyoto, Japan, II: 118-123.
216-Claassen, N. 1994. Nahrstoffaufnahme hoherer pflanzen aus dem Boden: Ergebnis von verfugbarkeit und aneignungs vermogen. Zweite Unveranderte Auflage. Severin Verlag. Gottingen. (Cited by El Dessougi, 2001).
217-Claassen, N. and B. Steingrobe. 1999. Mechanistic simulation models for a better understanding of nutrient uptake from soil, In: Rengel, Z. ed., Mineral nutrition of crops. Fundamental mechanisms and implications, food products press. pp. 327-367.
218-Claassen, N. and B. Steingrobe. 1999. Mechanistic simulation models for a better understanding of nutrient uptake from soil, In: Rengel, Z. ed., Mineral nutrition of crops. Fundamental mechanisms and implications, food products press. pp. 327-367.
219-Claassen, N. and S. A. Barber. 1976. Simulation model for nutrient uptake from soil by a growing plant root system. Agronomy Journal 68: 961-964.
220-Cox, A. B., B. C. Joern. 1996. Nonexchangeable ammonium and potassium determination in soils withy a modified sodium tetraphenyiboron method . Soil Sci . Soc. Am. J. 60:114-120.
221-Cushman, J. H. 1979. An analytical solution to solute transport near root surfaces for low initial concentration. I. Equation development. Soil Science Society of America Journal 43: 1087-1090.
222-Cushman, J. H. 1980. Analytical study of the effect of ion depletion (replenishment) caused by microbial activity near a root. Soil Science 129: 69-87.
223-Dangler, J. M., and S. J. Locascio. 1990. Yield of trickle irrigation tomatoes as

affected by time of N and K application. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115: 585-589.
224-Deligianni, Ch., A. Lonannou., A. Dimirkou., and Ch. Paschalidis. 1994. Potassium Sorption by Entisols of Greece as described by commonly used isotherms. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25: 1431-1445.
225-Dobermann, A., T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient disorders and nutrient management. International Rice Research Institute (IRRI) Handbook Series. Los Banos, Philippines.
226-El Dessougi, H. I. 2001. Potassium efficiency of crop species as related to K dynamics in the rhizosphere simulated by mathematical modeling, Dissertation for the Doctorate Degree, George-August-University of Geottingen, Goettingen, Germany.
227-Epstein, E. 1972. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. John Willey and Sons, New York.
228-Evangelou, V. P., J. Wang, and R. E. Phillips. 1994. New developments and perspectives in soil potassium quantity-intensity relationships. Adv. Agron. 52: 173-227.
229-Fairhurst, T. and C. Witt. 2002. Rice: A practical Guide to nutrient management. International Rice Research Institute (IRRI) Handbook Series. Los Banos, Philippines.
230-Fanning , D.S, V.Z. Keramidas., and M. A. A. El. DosKey. 1989. Micas. P:552-634. In J,B. Dixon, and S.B. Weed. (eds). Minerals in soil Environment. 2nd . ed. SSA, Madison. Wl.
231-Follett. R. H, L. Murphy, and R. L. Donahue. 1981. Fertilizers and Soil amencdments. Prentice – Hall New Jersey. 551 Pp.
232-Foth, H. D. 1984. Fundamentals of soil science. 7th ed. John Wiley and Sons. New York, 435 Pp.
233- Gerke, J. 1995. Chemische Prozesse der Nahrstoffmobili sierung in der rhizosphare und ihre bedeutung fur den ubergang vom boden in die pflanze. Cuvillier verlag, Gottingen, Germany. (Cited by Neumann and Romheld, 2000).
234-Haby, V. A., M. D. Russelle, and E. O. Skogley. 1990. Testing soils for potassium, Calcium and magnesium, PP. (181-227). In. S. H. Mickeison (ed). Soil Testing and Plant Analysis. Madison. Wl.
235-Haby, V. A., M. P. Russelle and E. O. Skogley. 1990. Testing soil for potassium, Clacium , and magnesium . p. 181-227. In R. L. Westerman(ed.) Soil Testing and Plant Analysis . 3rd ed. SSSA. Madison. WI.

236-Hagin, J. and B. Tucker. 1982. Fertilization of dryland and irrigated soils. Adv. Series in Agr. Sci. No. 12. Springer – Veriag, New York, 188 p.

237-Hamdallah G. 2000. Soil fertility management: the need for new concepts in the region. A Paper presented at Regional Workshop on Soil Fertility Management through Farmer Field Schools in the Near East. Amman, Jordan.

238-Havlin, J. L. and D. G. Weslfall. 1985. Potassium release Kinetics and plant response in calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:366-370.

239-Havlin, J. L., and D. G. Westfall. 1985. Potassium release kinetics and plant response in calcareous soils. Soil .Sci. Soc. Am. J. 46;366-370.

240- Havlin, J. L., D. G. Westfall., and S. R.. Olsen. 1985. Mathematical model for potassium release kinetics in calcareous soils. ~ Soil Sci. Soc. Am. J. 49:371-376.

241-Hillel, D., J.L. Hatfield, D. S. Powlson, C. Rosenzweig, K. M. Scow, M. J. Singer, and D. Sparks (eds.). 2005. Encyclopedia of soils in the environment. Volumes 1-4. Elsevier Academic Press, Oxford, UK.

242-Hochmuch, G., and K. Cordasco. 1999. A summary of N and K research with strawberry in florida. http://edis.ifas.ufl.edu/Body-CV229.

243-Honnou, A. A. dimirkou, M. Doula., and Ch. Paschalidis. 1994. Kinetics of Potassium desorption by Alfisol of Greecd. Commun. Soil Sci. Plant . anal. 25: 1355-1372.

244-Houba, NJ.G., L. Novazamsky, and J.1. Vander Lee. 1986. " Comparison of soil extractions by 0.01 M CaCb, by EUF and by some conventional extraction procedures. ", Plant Soil. 96: 433-437.

245- Huang, P. M., and S. K. song. 1988. Dynamic of potassium release from potassium- bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. Soil . Sci. Soc. of Am. journal, 52: 383-390.

246-Husin, A.B., A. T. B. Bachik and A.G.Caldwell. 1986. Plant response potassium release kinetics in calcareous soils. Soil Sci. Am. J.49:371-376.

247-Hvlin, J. L. and P. N. Soltanpout. 1981. Evaluation of the NH_4HCO_3- DTPA Soil Sci Sci. Soc. Am. J. 54:70-75.

248-Itoh, S. and S. A. Barber. 1983. A numerical solution of whole plant nutrient uptake for soil-root systems with root hairs. Plant and Soil 70: 403-413.

249-Jackson, B. L. J. 1985. A modified sodium tetraphenylboron method for the routine determination of reserve potassium status of soil. N. Z. J. Exp. Agric~ 13:253-262.

250- Jackson, M.L. and J.X.Luo. 1986. Potassium release mechanism on drying soils.,

nonexchangeable potassium by protonation of micaes. Soil Sci. 141: 225-229.

251-Jaszberenyi, I. And J. Loch. 1994. Experiences with o.01 M Calcium chloride as an extraction reagent for use as a soil testing procedure in Hungary commun. Soil Sci. Plant Anal. 25(9-10):1771-1777.

252-Johnston, A.E. 2003. Feed the soil to feed the people: The role of potash in sustainable agriculture. Proceedings of the IPI Golden Jubilee Congress. International Potash Institute. Basel, Switzerland.

253-Johnston, A.E., and A.Krauss.1998. Is exchangeable K a sufficient guide for K recommendations? Proceeding 16 World Soil Sci. Congress, French.

254-Johnston, A.E., and W. Maibaum. 1999. Balanced fertilization and crop response to potassium. Proceedings of the International Symposium on Balanced Fertilization. Soil and Water Research Institute in cooperation with the International Potash Institute, Tehran, Iran.

255-Johnston, AE., and AKrauss.1998." Is exchangeable K a sufficient guide for K recommendations?" , Proc. The 18 World Soil Sci. Cong.Paris, France.

256-Kavoosi, M., A.R. Aliakbar and M. Kalbasi.1999. Kinetics of K absorption by resin capsules in some paddy fields of Guilan. Pp. 113-123 In: Johnston, A.E., and W. Maibaum (eds.) Proceedings of the International Symposium on Balanced Fertilization. Soil and Water Research Institute in cooperation with the International Potash Institute, Tehran, Iran.

257-Khademi, Z., M. R. Balali, and M. J. Malakouti. 1999. Potassium accumulation and crop response to potassium. 15-18 May, Tehran, Iran.

258-Khademi, Z., M.R. Bvalali , and M.J. Malakouti. 1999. Potassium accumulation and corn yield related to potassium . Intyeynational symposium on Balanced fertilization and Grop response to potassium . SWHI- IPI, TEHRAN, IRAN.

259-Khajehpour, M.R., F. Raisei, and A. Jalalian. 1989. The effect of N,P, and K fertilizer on the concentration of these elements in petial and tuber of potato. Iran Agr. Research J., 8(2) : 93-115, Shiraz university, Shiraz, Iran.

260-Kheoruenromne, I. 2002. Soil Science: Confronting new realities in the 21th Century. 17th World Congress of Soil Science. Bangkok, Thailand.

261-Khoei, S., S. A. Asadi, and M. Mahmoudi 1999. The effect of K on the yield quality of citrus in Mazandaran. Symposium on Balanced Fertilization and Crop Response to Potassium. SWRI-IPI. Tehran. Iran.

262-Knudsen, D. G. A. Peterson. and P.F. Pratt 1982. Lithium, Sodium and

potassium. Pp. 224-246. In: A. L. Page et al., (eds.). Methods of Soil Analysis, Part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI.

263-Kraffczyk, I., G. Trolldenier and H. Beringer. 1984. Soluble root exudates of maize: Influence of potassium supply and rhizosphere microorganisms. Soil Biol. Biochem. 16: 315.

264-Krishnakumari, M., M.S. Khera and A. B. Ghosh. 1984. Studies on potassium release in an inceptisol soil (Holambi series) at the minimum level of exchangeable potassium . Plant and Soil . 79: 3-10.

265-Kuchenbouch, R. and A. Jungk. 1982. A method for determining concentration profiles at the soil-root interface by thin slicing rhizospheric soil. Plant and Soil 68: 391-394.

266-Lindsay, W. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley and Sons. New York.

267-Liu, L. and T. E. Bates. 1990. Evaluation of soil extractants for the prediction of plant available potassium in Ontario soils. Can . J. Soil. Sci. 70:607-615.

268-Lopez, P., and A. G. Navaro. 1997. Potassium release kinetics and availability in unfertilized vertisois of southwestern Spain . Soil Sci. 162: 912-918.

269-Lumbaranja. J., and V. P. Evangelou. 1992. Potassium quanitity- intensity relationships I the presence and absence of NH4 for three Kentucky soils. Soil Sci. 154:366-376.

270-Maas, E. V. 1969. Calcium uptake by exicsed maize roots and intractions with alkali cations. Plant Physiol. 44:985-989.

271-Maclean, A. J. 1961. Potassium – supplying power of some canadian soils can . J. Soil Sci. 41:196-206.

272-Magdoff, F.R., D. R.Ross and J. Amadon, 1984. A soil test for nitrogen availability to corn. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:1031-1304.

273-Mahapatra, I. C. and R. Prasad. 1970. Response of rice to potassium in relation to its transformation and availability under waterlogged condition. Fert. News, 15(2):34-41.

274-Malakouti, M. J., A. Ziaeyan, Z. Khademi, M. R. Balali, M. Shahabian, M. Basirat, H. Rezaee, M. H. Davoudi, S. Samavat, S. Manouchehri, and M. Cafi 2002. Effects of Rates and Sources of Potassium on Field and Horticultural Crops in Iran. Cooperative Research Project of Soil and Water Research Institute With International Potash Institute (Kali und Salz & SCPA).

275-Malakouti, M. J., M. M. Tehrani, M. R. Balali, Z. Khademi, H. Rezaie, M.

H. Davoudi, A. Bybordi, A. A. Shahabi, S. Manouchehri, M. Afkhami, M. Shahabian, M. Basirat, S. Samavat, A. Ziaeyan, M. A. Lotfollahi, E. Sepehr, M. N. Gheibi, F. Dehghani, M. Shariatmadari, K. Azari, M. Frouhar. K. Mirzashahi, S. Kiani, M. Mahmoudi, M. Mostashri, R. Motalebifard, J. Ghaderi, A. Kaviani, F. Jalili, M. Selsepour, M. Taheri, M. Sarchemehpour, and S. H. Banijamali 2003. Effects of Rates and Sources of Potassium on Field and Horticultural Crops in Iran. Cooperative Research Project of Soil and Water Research Institute With International Potash Institute (Kali und Salz & SCPA).

276- Malakouti, M. J., Z. Khademi, M. R. Balali, M. Afkhami, S. Samavat, M. H. Davoudi, S. Saadat, K. Bazarghan, A. Bybordi, M. Faizei and A. Golchin 2003. Effects of Potassium Fertilizers Application on the Yield and Quality of Different Crops Grown on Calcareous Soil of Iran. Cooperative Research Project of Soil and Water Research Institute with Arab Potash Company (APC).

277- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second Ddition, Academic press , London.

278- Martin , H. W., and D. L. Sparks. 1983. Kintics of non–exchangeable potassium release from two coastal plain soils. Soil Sci. Soc. Am .J. 47:883-887.

279- Martin, W. H., and D. L. Sparks. 1985. On the behavior of nonexchangeable potassium in soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 16: 133-162.

280- McLaughlin, MJ, Maier N, Freeman AK, Tiller KG, Williams CMJ and Smart MK. 1995. Effect of potassic and phosphatic fertilizer type, fertilizer Cd concentration and zinc rate on cadmium uptake by potatoes. Fertilizer Research 40: 63-70.

281- Mc Lean, E. O., and M. E. Watson. 1985. Soil Measurements of plant available potassium. p. 277-308. In: R. D. Munson (ed). Potassium in agriculture. SSSA.

282- Mehlich, A. 1982. Comprehensive methods in soil testing North Carolina Dep. Of Agric. Mimeo. P.1-82.

283- Mengel , K. and Rahmatullah. 1994. Exploiaion of potassium by various crop species from primary minerals in soils ric in mica. Biol. Fertil . Soils. 17:75-79.

284- Mengel, K. 1983. Potassium status of soil assesment andutilization, Regional symposium on K availability in soils of west Asia and north Africa. Tehran.

Iran.
285-Mengel, K. 1985. Dynamic and avaliability of major nutrient in soils. Adv. Soil Sci. 1:65-131.
286-Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1980. Potassium in crop production . Adv. Agron. 33:59-110.
287-Mengel, K., and Rahmatullah. 1994. Exploitation of potassium by various crop species from primary minerals in soils rich in mica. BioI. Fertil. Soils. 17:75-79.
288-Mengel, K., Rahmatullah., and H. Dou.1998. Release of potassium from the
289-Mengel, K.,and E.A Kirkby. 1980." Potassium in crop productiion." ,Adv. Agronj3: 59-110.
290-Mengel, K.,and K. Uhlenbecker. 1993. Determination of availabile interlayer potassium and its uptake by ryegrass. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:761-766.
291-Mengel, Kl, and K. Uhlenbecker. 1993. Determination of avaliabile interlayer potassium and its uptake by reyegrass. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:761-766.
292-Mengel, Kl, and Rahmatullah. 1994. Exploitation of potassium by various crop species from primary minerals in soils rich in mica. Biol . Fertil. Soils. 17:75-79.
293-Mengle, K., and E. A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. 4th edition. Internationa potash InStitue. Bern, Switzerland.
294-Meyer, D. and A. Jungk. 1993. A new approach to quantify the utilization of non-exchangeable soil potassium by plants. Plant and Soil 149, 235-243.
295-Meyer, D. and A. Jungk. 1993. Plant availability of non- exchangeable potassium a new approach. Plant and Soil . 149:235-243.
296-Meyer, D., and A. Jungk. 1993." A new approach to quantify the utilization ofilOn exchangeable soil potassium by plants." , Plant Soil. 149 : 235-243.
297-Mishustin, E. N., G. A. Smirnova, and R. A., Lokhmacheva. 1981. The decomposition of silicates by microorganisms and the use of silicate bacteria fertilizers. Biology of Bulletion of Academic science. 8: 400-409.
298-Mondal. S.S. 1982. Potassium nutrition at high level of nitrogen fertilization on rice. Potash Rev. Subj. 9.No.8.
299-Monib, M., M. K. Zahra, E. H. Abdel and A. Heggo. 1984. The decomposition of silicates by microorganisms and the use of silicate bacteria fertilizers. Biology Bulletin of Academic science. 8: 400-405.
300-Munson, R. D. 1985. Potassium in agriculture, American Society of

Agronomy Madison, WI. USA. 1223 Pp.
301-Mustscher, H.1995.” Measurement and assessment of soil potassium.” , Int. potash lnst. Res. Topic.4”
302-Navabzadeh, M. and M. J. Malakouti. 1993. Determining of DRIS norms for potato in the calcareous soils of Iran. Journal of Plant Nutrition 16: 1409-1417.
303-Navarro, A. A. and S. K. De Datta. 1989. Rice yields increase with potassium application on zinc deficient soils. Better Crops International, 5:10-11.
304-Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon. Organic carbon and organic matter. P. 574-577. In A.L. Page (ed.) Methods of Soil Analysis Part2. Agron. Monogr. 9.ASA.Madison, WI.
305-Ningapa, N., and N. Vasuki. 1989. Potassium fixation in acid soils of Karnataka. J. indian Soc. Soil Sci. 37: 391- 392.
306-Noor, S., S. Z. K. Shamsad, and M. S. Islam. 1993. Q/I Parameters of potassium in three main soils of Bangladesh. Bangladesh Agricultural Research Institute, Joydebpur. Gazipur, Bangladesh.
307-Nye, P. H. and F. C. H. Marriott. 1969. A theoretical study of the distribution of substances around roots resulting from simultaneous diffusion and mass flow. Plant and Soil 30: 459-472.
308-Olk, D. C., K.G. Cassman., and R. M. Carlson. 1995. Kinetics of Potassium fixation in vermiculitic soils under different moisture regimes. Soil Sci. Soc Am. J. 59: 423-429.
309-Olsen , S. R. and F. E. Khasawneh. 1980. Use and limitations of physical chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. P. 361-410- In the Role of Phosphorus in Agriculture. ASA. Madison. WI.
310-Oue, D.C., K.G. Cassman, and R.M. Carlson. 1995. Kinetics of potassium fixation in vermicu1itic soils under different moisture regimes. Soil Sci. Soc. Am.J. 59:423-429.
311- Page , A. L, R.H. Miller., and D. R. Keeney. 1982. Methods of soil Analysis. Part I. Cemical and microbiological properties. ASA. SSSA. Maison. Wi.
312-Parra, M. A. and J. Torrent. 1983. Rapid determination of the potassium quantity intensity relationships using a K- selective ion elecrtode, Soil Sci Soc. Am. J. 47: 335-337.
313-Qian, P., J. J. Schoenau, K. J. Greer and Zl Liu. 1996. Assessing plant – available potassium in soil using cation exchange membrane burial. Can. J. Soil Sci. 76(2): 191-194.

314- Rajani,H.G.1966." Recovery of potassium added to soil acidoids of Black, Red, .- Laterite and Allu'.ia1 soils of western India." , Indian J.Agric. Sci.36:40-46.
315- Ramanthan, K. M. 1978. An evaluation of potassium availability indices of some soil of south india. J. India . Soc. Soil .Scil. 26: 198-202.
316- Richard, J. W., E. Farrel, and A.D. Scott. 1990. Comparison of ion selective eiectrode for determinatio of potassium Q/I relationships. Can. J. Soil Sci. 70:693-704.
317- Richards, J. E. and T. E. Bates. 1989. Studies on the potassium – supplying capacities of southern Ontario soils. III. Measurment of available K. CanL J. Soil. Soil. Sci. 69:597-610.
318- Richards, J. E., T. E. Bates and S.C. Sheppard. 1988. Studies on potassium supplying capacities of southern Ontario Soils. I. Field and green house experiments. Can . J. Soil. Sci. 68:183-197.
319- Rongchang, L., and L. Fenyting. 1995. International training course on biological fertilizer. Bodenk, Boading, China. PP. 11-68.
320- Russel, E.W. 1961 . Soil Conditions and Plant Growth , Longman. London.
321- Russel; E. W. 1961. Soil Conditions and Plant Growth, Longman. London.
322- Russell, M. Pl, L.L. Meyers and R.L. McGraw. 1989. Birdsfoot Trefol seedling to soil phosphorous and potassium availability index. Soil Sci. Soc. Am.J. 53: 828-836.
323- Saber , M. S. M., and M. R. Zanati. 1981. Effectiveness of inoculation with silicate bacteria in relation to the potassium content of plants using the intensive cropping technique. Agricultural- research review. 59(4): 280-289.
324- Saggar, S., MJ. Hedley, and R.E. White. 1990." A simplified resin membrane technique for extracting phosphorous from soils." ,Fert. Res. 24:173-180.
325- Sahney, J. S., and J. L. Sehgal. 1992. Clay mineral composition of rice and associated alluvium derived soils of Panjab. J. indian. Soc. Soil Sci. 40:223-226.
326- Sardi, K., and . Fulop. 1994. Relationship between soil potassium level and potassium uptake of corn as affected by soil moisture. Commun. Soil Sci. Plan Anal. 25: 1735-1746.
327- Savostin, P. 1941. Microbial transformation of silicates, pflanzenermahr-Bodenk, 132: 37-45.
328- Serfass, R.E., and M.W. Manatt.1990. Potassium in human nutrition. P. 577-618 In: Munson, R.D. (ed.). Potassium in agriculture. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.

329-Shady, M. A., I. Ibrahim, and A. H. Afify. 1984. Mobilization of elements and Their effects on certain plant growth characteristics as influenced by some silicate bacteria. Egyptian Journal of Botany. 27 (1-7): 17-30.

330- Sharma, B. D., and B. Mishra. 1987. Release of nonexchangeable potassium in texturally different soils of western uttar pradesh. J. Potassium Reaserch. 3: 89-97.

331- Sharma, K. D., M. S. Kuhad, and A. S. Nanadwal. 1992. Possible role of potassium in drought tolerant in brassica-J. of Potassium Research. 8: 4, 320-327.

332- Sharma, P.K., and A. Sethi. 1985. Factors affecting potassium fixing capacity in some hill acid soils of norghwest india . Indian J. Agr. Res 19: 209-214.

333- Sharpley, A. N. 1987. The kinetics of soil potassium adsorption. Soil Sci. Soc.

334-Sharpley,AN.1990." Reaction of fertilizer potassium in soils of different mineralogy." , Soil Sci. 149(1) : 45-51.

335-Shaviv, A., M. Mohsin, P. F. Pratt., and S. V. Matigod. 1985. Potassium fixation characteristics of five southern California soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:1105-1109.

336-Shaviv, A., M. Mohsin, P. F. Pratt., and S.V. Matgod. 1985. Potassium fixation characteristics of five southern California soils. Soil Sci. Soc . Am. J. 49: 1105-1109.

337-Sheldrick. W. F. 1985. World potassium reserves. P. 3-29. In R. D. Munson(ed.) Potassium in Agriculture. ASA. CSSA. SSSA. Madison, WI.

338-Siadat, H; M. J. Malakouti, M. R. Balali. G. Aetesam, M. Kazemi, E. Mir-rasouli. M. Mahnoodi; A. Asadi, A. Kaviani, A. MoheBBI, N. Alizadeh, W. Belson, M. Esmailzadeh, M. H. Taherzadeh. 1990. "Potassium Contents of Soils in Iran: Status and Trends." In Balanced Fertilization and crop Response to Potassium. SWRI and IPI, Tehtan. Iran.

339-Simard, R. sS., C. R. Dekimpe., and J. Zizka. 1992 . Release of Potassium and magnesium from soil fractions and its kinetics. Soil Sci. Soc . Am. J. 56:1421-1428.

340-Simonis , A. D. and H. B. Setatou. 1996. Assesment of available phosphorus and potassium in soils by the Calcium Coloride extraction method. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 27(3-4): 685-694.

341-Singh, K. D. N., B. K. Jha, and A. Samad. 1992. Effect of potassium on yield and quality of sugarcane on calciorthent under drought condition. J. Indian Soc. Soil Sci. 40: 105-110.

342-Singh, R. P., and A. Kumar. 1981. Effect of levels of times of potassium

application on upland rice. Indian Potash J., 6:12-15.
343-Singh, S., and P.n Ram. 1972. Some soil characters and potash fixing power of paddy soils . J. Indian Soc . Soil Scil 23:123-124.
344-Sivasubramaniam, S., and O. Talibudeen. 1972. Potassium –aluminium exchange in acid soils. I. Kinetics. J. Soil . Sci. 23: 163-176.
345-Smith, T. A. and C. Sinclair . 1967. The effect of acid feeding and amine formation in barley . Ann. Bot. 31:103-111.
346-Soltanpour, P. M. and S. M. Workman. 1981. Soil testing methods useed at coloradeo state university testing laboratory for evaluatio offertility, salinity, sodicity and traceelementtoxicity. CSU experiment station fortcollinstech. Bull. 142.
347-Song, S. K. and P. M. Huang. 1988. Dynamics of potassium release from potassium bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. Soil Sci. Soc. Am. J. 52, 383-390.
348-Song, S. K., and P. M. Huang. 1988. Dynamics of potassium release from potassium bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. Soil Sci. Soc . Am. J. 52:383-390.
349-Spark, D. L. and W. O. Liebhardt. 1981. Effect of long term lime and potassium applications on quantity- intensity (Q/I) relationships in sandy soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:786-790.
350-Sparks, D. H., and P. M. Huang. 1985. Physical chemistry of soil potassium . In: Potassium in Agriculture. Ed : Munson, R. D., PP (201-276). SSSA. CSSSA. Madison, WI.
351-Sparks, D. L, and P. M. Jardine. 1984. Compaeison of kinetics equations to describe potassium – calcium exchange in pure and in mixed systems. Soil Sci. 138:115-122.
352-Sparks, D. L., L. W. Zelanzy, and D. C. Martens. 1980. Kinetics of potassium desorption in soil using mascible displacement. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 1205-1208.
353-Sparks, D.L. 1987. Potassium dynamics in soils. Advance in Soil Scince. Bull. No. 6. Springer Verlag.
354-Steffens, D and Zarhoul, K. 1997. Exploitation potential for non exchangeable potassium of lupinus albus L. and Triticum aestivum L. In: Ando, T., et al. eds. Plant Nutrition for Sustainable Food Production and Environment. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 511-512.

355-Steffens, D. L. 1986. Root system and potassium exploitation, In Nutrient Balances and the Need for potassium . edited by int. Potash Inst.

356-Steingrobe, B., N. Claassen, K. M. Syring. 2000. The effect of the function type for describing the soil buffer power on calculated ion transport to roots and nutrient uptake from the soil. Jour. Plant Nutr. Soil Sci. 163: 459-465.

357-Stewart, J.A. 1990. Potassium sources, use, and potential. Pp. 83-98 In: Munson, R.D. (ed.) Potassium in agriculture. Second printing. ASA, CSSA, SSSA. Madison, WI.

358- Stewart, WM., DW Dibb, AE Johnston and TJ Smyth. 2005. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. Agronomy J., 97: 1-6.

359-Stino, G. R., A. E. Aziz, A. A. Elezaby, and E. A. Abd Elmoneim. 2000. Response of Valencia orange tree to the foliar application of different potassium salts: Their effects on the vegetative growth, leaf miner infestation and leaf mineral contents. Hort Science Vol. 35(3). P. 421.

360-Syring, K. M. and N. Claassen. 1995. Estimation of the influx and the radious of the depletion zone developing around a root during nutrient uptake. Plant and Soil 175: 115-123.

361-Talel. P.E., G.K. Zende, Y. M. Patil.,and K.R. Sonar. 1992. Potassium fixation capacity of soils representing nine agoclimatic zones of Maharashtrs. Journal of potassium Research. Vol 8.. no 4:300-310.

362-Talele, P. E., G. K. Zende, Y. M. Patil, K. R. Songar, and B. D. Tamboli. 1993. Effect of added and incubation time on transformation of available in different soils of maharashta Journal of the Indian Society of Soil Science. 41 (2): 238-242.

363-Tandon, H. L. S. and G. S. Sekhon. 1988. Potassium research and agricultural production in India, Fertilizer Development and Consulation Organization, New Delhi, India, 144 Pp.

364-Thompson, L. M. and F. R. Troeh. 1978. Soil and soil fertility, 4th ed. McGraw – Hill Company. New York, 516 Pp.

365- Tisdale, S. L., W. L. Nelson, J. D. Beaton, and J. L. Havlin. 2004. Soil fertility and fertilizers, 5th eds. Prentice-Hall of India Limited. New Delhi, India. 634pp.

366- Uribe, E., and F. R. Cox. 1988. Soil properties affecting availability of potassium in highly weathered soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:148-152

367-Uribe, E., and F.R. Cox. 1988. Soil properties affecting availability of potassium in highly weathered soils. Soil Sci. Soc. Am .J. 52:148-152.

368- Vanbladel, R., and H. R. Cheyi. 1980. Thermodynamic study of calciu – Sodium and calcium – magnesium exchange in calcareous soils . Soil Soc. Am. Proc.44: 935-989.

369- Welch, RM. 2003. Farming for nutritious foods: Agricultural technologies for improved human health. IFA-FAO Agricultural Conference on Global Food Security and the Role of Sustainable Fertilization. Rome, Italy.

370- Wojcik, P. 2004. Uptake of mineral nutrients from foliar fertilization (Review). Orchard Management in Sustainable Fruit Production, 12: 201-220.

371- Zahra, M. K., M. Monib, S. H., Abdel-Al, and A. Heggo. 1984.Significance of soil inoculation with silicate bacteria. Microbiologia. 139: 39-57.

۲-۷- منابع مورد استفاده در چاپ دوم

۱. اردکانی، م س، ملکوتی مج.۱۳۸۴. معرفی کود سولوپتاس : کود پتاسیمی مناسب برای کود آبیاری و محلول پاشی. موسسه تحقیقات خاک وآب، نشریه فنی شماره ۴۶۱، انتشارات سنا، تهران، ایران.

۲. الطافی، ا. ۱۳۹۲. بررسی اثرات کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و دامی بر ویژگی‌های زراعی و افزایش عملکرد دو رقم کلزا در آذربایجان شرقی. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳. اکرمی، م ر.۱۳۹۱ . عملکرد گل و کلاله زعفران تحت تاثیر مصرف پتاسیم و روی در غرب استان خراسان رضوی. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۴. دادخواه، ح. ۱۳۹۱. تأثیر سطوح مختلف روی و بور بر عملکرد و ماده خشک در سیب‌زمینی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس- تهران، ایران.

۵. رهبرشیراز، ز. ۱۳۹۱. بررسی مصرف بهینه کودی در افزایش عملکرد و کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی (PA/Zn) در برنج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۶. زارع، ع ا. ۱۳۹۱. بررسی اثر مصرف بهینه کود و پلیمر سوپر جاذب بر عملکرد و ترکیبات شیمیایی اسانس گیاه دارویی به لیمو. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۷. حسینی ، س ع. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر پتاسیم و روی بر جذب و تجمع کادمیوم در غده‌های سیب زمینی. پایاننامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی- دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. تهران- ایران.

۱. صلحی، م، ملکوتی م ج و سماوات س. ۱۳۸۴. پراکنش و حد مجاز غلظت عناصر سنگین در چرخه حیات (خاک، آب، گیاه و انسان). نشریه فنی شماره ۴۷۰، موسسه تحقیقات خاک و آب، انتشارات سنا، تهران، ایران.
۲. قربانی، م. ۱۳۹۳. بررسی اثر مصرف بهینه کود بر عملکرد کمی و کیفی سیر در استان مازندران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۳. خلدبرین، ب و ط اسلام‌زاده. ۱۳۸۴. تغذیه معدنی گیاهان عالی (ترجمه از کتاب Marschner، ۱۹۹۵). جلد اول (چاپ دوم). انتشارات دانشگاه شیراز، شماره ۸۲۳. ۵۹۴ صفحه. شیراز، ایران.
۴. خلدبرین، ب و ط اسلام‌زاده. ۱۳۸۰. تغذیه معدنی گیاهان عالی (ترجمه از کتاب Marschner، ۱۹۹۵). جلددوم (چاپ اول). انتشارات دانشگاه شیراز، شماره ۸۲۳. ۶۰۴ صفحه. شیراز، ایران.
۵. شهریاری ح ع. ۱۳۸۷. ایران رتبه ۱۲۳ جهانی را در بین ۱۹۲ کشور دنیا در تامین سلامت مردم دارد. مصاحبه با خبرگزاری فارس در روز چهارشنبه مورخ ۲۲ آبان ۱۳۸۷. تهران، ایران.
۶. کشاورز، پ و ملکوتی م ج. ۱۳۸۴. اثر روی و شوری بر رشد، ترکیب شیمیایی و بافت آوندی گندم. مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۹، صفحات ۱۱۵ الی ۱۲۳.
۷. کشاورز، پ، مهدی زنگی‌آبادی و مهدی عباس‌زاده. ۱۳۹۲. تأثیر میزان رس و شوری خاک بر رابطه کربن آلی خاک با عملکرد گندم. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). الف /جلد / ۲۷ شماره۳ . از صفحه ۲۵۹ تا ۲۷۱.
۸. کشاورز، پ، ملکوتی م ج و همایی م. ۱۳۸۳. مدیریت حاصلخیزی خاک‌های شور. صفحات ۳۴۵ الی ۳۷۱، از کتاب بنایی و همکاران. خاکهای ایران: تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره‌برداری. انتشارات سنا، تهران، ایران.
۹. ملکوتی، م ج. ۱۳۸۹. رابطه مصرف بهینه کود و تولید محصولات کشاورزی سالم (مقاله مروری). مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علفهای هرز، شماره ۶۱، صفحات ۳۳۱ الی ۱۵۱.
۱۰. ملکوتی، م ج. ۱۳۹۴. توصیه بهینه مصرف کود برای محصولات کشاورزی در ایران: تعیین مقدار، نوع و زمان مصرف کودها برای دستیابی به خودکفایی نسبی، تولید غذای سالم و افزایش درآمد کشاورزان. چاپ سوم با بازنگری کامل. خانه کشاورز، شماره ۱۰۳، ۴۲۰ صفحه. انتشارات مبلغان، ایران.
۱۱. ملکوتی م ج و مشایخی ح ح. ۱۳۷۵. ضرورت مصرف سولفات روی برای افزایش کمی، کیفی و غنی‌سازی تولیدات کشاورزی در کشور. نشریه فنی. شماره ۲۵. نشر آموزش کشاورزی سازمان تات، وزارت جهاد کشاورزی. کرج، ایران.

۱۲. ملکوتی م ج و کاوسی م. ۱۳۸۳. تغذیه متعادل برنج. معاونت زراعت وزرات جهاد کشاورزی، انتشارات سنا. ۶۱۱ صفحه تهران، ایران.
۱۳. ملکوتی، م ج و پسندیده م. ۱۳۹۵. بررسی علل زیادی غلظت آلاینده کادمیوم در برخی از محصولات کشاورزی. مجله اقتصاد. شماره ۷۱، از صفحه ۶ تا ۸. تهران، ایران.
۱۴. ملکوتی، م ج و پسندیده م. ۱۳۹۵. روشهای عملی برای کاهش غلظت آلاینده کادمیوم در برخی از محصولات کشاورزی. مجله صدای کشاورز. شماره ۵۲، از صفحه ۲۰ تا ۲۳. تهران، ایران.
۱۵. ملکوتی، م ج ، ا بای‌بوردی و س ج طباطبایی. ۱۳۸۳. مصرف بهینه کود گامی موثر در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت و کاهش آلاینده‌ها در محصولات سبزی و صیفی و ارتقاء سطح سلامت جامعه. نشر علوم کشاورزی کاربرد. دفتر سبزی و صیفی معاونت زراعت. وزارت جهاد کشاورزی، ۳۳۸ صفحه. تهران، ایران.
۱۶. ملکوتی م ج ، پ کشاورز و ن کریمیان. ۱۳۸۷. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار «چاپ هفتم با بازنگری کامل». انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. شماره ۱۰۲، ۷۵۵ صفحه. ایران.
۱۷. ملکوتی م ج ، ا ملکوتی، ع بای‌بوردی و ع خامسی. ۱۳۸۹. روی عنصری فراموش‌شده در چرخه حیات گیاه، دام و انسان «چاپ دهم با بازنگری کامل». نشریه فنی شماره ۷، ۱۴ صفحه، انتشارات سنا. تهران، ایران.
۱۸. ملکوتی، م ج ، کشاورز پ، سعادت س و خلدبرین ب. ۱۳۸۱. تغذیه گیاهان در شرایط شور. انتشارات معاونت باغبانی وزارت جهاد کشاورزی، ۲۲۰ صفحه، تهران، ایران.
۱۹. ملکوتی، م ج، پسندیده م، کریمی ه و حسینی س ع. ۱۳۹۴. مقایسه اثربخشی کودهای پرمصرف در میزان افزایش عملکرد هکتاری و تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم. مجله صدای کشاورز. شماره ۴۹، از صفحه ۲۷ تا ۲۹. تهران، ایران.
۲۰. میرنیا، س خ، ملکوتی م ج، کشاورز ع و میراب‌زاده م. ۷۷۳۱ تخمین مقدار تصعید ازت از اوره در شالیزارهای شمال ایران. مجله علوم خاک و آب. جلد۲۱، شماره ۴. از صفحه ۵۲ تا ۴۳.

21. Armstrong, DL (Ed). 1998. Functions of potassium in plants. Better Crops. 82 (3): 3-40.
22. Ball, J. 2004. Don't overlook role of potassium. Soils and Crops. The Samuel Roberts Nobel Foundation. http://www.noble.org/ag/soils/roleofpotassium/
23. Bender, RR, Haegele JW, Ruffo ML and Below FE . 2013. Modern corn hybrids' nutrient uptake patterns. Better Crops, 97: 7-10.
24. Cakmak, I. 2002. Plant nutrition research priorities to meet human needs

for food in sustainable ways. Plant and Soil, 247: 3-24.
25. FAO-WHO. 2011. Working document for information and use in discussions related to contaminants and toxins in the GSCTFF. Food and Agriculture Organization–World Health Organization. Fifth Session. CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. The Hague, the Netherlands. 88 p.
26. Gadallah MAA and Ramadan T. 1997. Effects of zinc and salinity on growth and anatomical structure of Carthamus tinctorius L. Biologia Plantarum, 39: 411-418.
27. Graham RD, Welch RM, and Bouis HE. 2000. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: Principles, perspectives and knowledge gaps. Advances in Agron., 70:77-161.
28. Grusak, MA and DellaPenna D. 1999. Improving the nutrient composition of plants to enhance human nutrition and health. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 50:133-61.
29. Hamdallah, G. 2000. Soil fertility management: the need for new concepts in the region. A Paper presented at Regional Workshop on Soil Fertility Management through Farmer Field Schools in the Near East. Amman, Jordan.
30. He, FJ and MacGregor GA. 2008. Beneficial effects of potassium on human health. Plant Physiol., 133:725-735.
31. Heffer, P. 2013. Short-term prospects for world agriculture and fertilizer demand 2012-2013. 39th IFA Enlarged Council Meeting. International Fertilizer Industry Association. rue Marbeuf, Paris, France. WWW. fertilizer.org. 33 p.
32. Jafarnejadi, A, Homaee M, Sayad GH and Bybordi M. 2011. Large scale special variability of accumulated cadmium in the wheat farm grains. Soil and Sediment Contamination: An International J.: 20: 98–113.
33. Lin, J and Schorr M. 1997. Challenge for the phosphate industry: Cd removal. Phosphorus and Potassium, 208: 27-31.
34. Keshavarz, P. and Saadat S. 2016. Assessment of salinity tolerance threshold for two wheat genotypes in response to zinc. Archives of Agronomy and Soil Science. 62: 247-259.
35. Keshavarz, P, Malakouti MJ, Karimian N and Fotovat A. 2006. The effects of salinity on extractability and chemical fractions of zinc in selected calcareous soils. J. Agricultural Science and Technology, 8:181-190.

36. Malakouti MJ. 2007. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants: A review. Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology, 1: 1-12.
37. Malakouti MJ. 2008. Effect of micronutrients in ensuring efficient use of macronutrients. Turk J Agric For, 32:215-220.
38. Malakouti, MJ and Bybordi A. 2006. Interaction between potassium (K) and zinc (Zn) on the yield and quality of tuber vegetables. International Symposium on Balanced Fertilization for Sustainability of Crop Productivity. Ludhiana, India.
39. Malakouti MJ, Ladan Sh and Tabatabaee SJ. 2013. Nitrate content in the edible parts of vegetables: Origin, safety, toxicity limits and the prevalence of cancer in Iran. 93-122 p. In: Sh. Umar, NA Anjum and NA Khan (Eds.). Nitrate in leafy vegetables: Toxicity and safety measures. IK International Publishing House Pvt. Ltd. New Delhi, India. 208 p.
40. McLaughlin, MJ, Maier N, Freeman AK, Tiller KG, Williams CMJ and Smart MK. 1995. Effect of potassic and phosphatic fertilizer type, fertilizer Cd concentration and zinc rate on cadmium uptake by potatoes. Fertilizer Research 40: 63-70.
41. Munson, RD. 1985. Potassium in agriculture (Ed.). American Society of Agronomy. Madison, WI., USA. 1223 Pp.
42. Oliver, MA. 1997. Soil and human health: a review. Eur. J. Soil Sci., 48: 573-92.
43. Sanchez, PA and Swaminathan MS. 2005. Hunger in Africa: The link between unhealthy people and unhealthy soils. Lancet, 365: 442-444.
44. Stewart, WM, Dibb DW, Johnston AE and Smyth TJ. 2005. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. Agronomy J., 97: 1-6.
45. Wakeel A, Gul M and Zorb Ch. 2016. Potassium for sustainable agriculture. Pp: 159-192. Hakeem et al. (Eds). Soil Science: Agricultural and Environmental Prospective. Springer International Publishing. Switzerland. 432pp.
46. Weaver, CM. 2013. Potassium and health. Adv. Nutr., 4: 368S-377S.
47. Welch, RM. 2003. Farming for nutritious foods: Agricultural technologies for improved human health. IFA-FAO Agricultural Conference on Global Food Security and the Role of Sustainable Fertilization. Rome, Italy.

- There was not a definite correlation between leaf- K and potassium applications for some fruit trees. The highest yields were obtained with potassium levels applied based on soil tests for most of the crops tested in this investigation.
- In the case of high potassium demanding crops, such as onion, potato and cotton, rates of potassium application should definitely excced levels determined by the soil test. More experiments are needed to evaluate factors which are responsible for the differences in plant yield in different locations other than the potassium content of the soil.

Efforts so far in findings, correlations between soil potassium charactersistics like ammonium acetate extractable forms, CEC, PBC_K and yield have not been as ideally and as universally satisfactory as to make us stop searching for new indices. We recommed that the distribution of soil potassium concentrations be studied in correlation to yields of different crops because potassium concentration distribution in soils could provide an index for the extent of surface contact between soil particle surfaces and plant roots which should determine the kinetics of absorption of most cations by roots.

Finally, the present book, which is the compilation of a decade of research efforts of scientists from across the country and the help of most sceintific members, Soil and Water Research Institute (SWRI), Ph.D. and M.Sc. students, Soil Science Department of Tarbiat Modarres University, could not have been written without their cooperation. Special acknowledgement is due to International Potash Institute (IPI), Kali und Salz Tesenderlo Companies for facilities provided for the publication of this book.

Particular acknowledgement and great appreciation are due to late Dr. W. Maibaum, Dr. von. Braunschweig, Dr. M. Marchand, Dr. A. Grancee, Dr. N. White, Dr. G. Ebert and all those who helped financially in covering a sizeable part of the cost of this book. The sincere endeavors of all experts and technicians at SWRI and Sh. Asadzadeh in the implementation of the various research schemes involved in this book in different parts across the country are greatly appreciated and well due for acknowledgement. Acknowledgement is due to Mr. H. Amirmokri, Dr. S. Ardakani, and Dr. M. Bybordi, for their contribution to the completion of this book. Let us hope that the benefits acquired from the results of this book will constitute a great step toward balanced fertilization in Iran and elsewhere in the world.

Authors, Spring 2005

Fig 14. The role of sources and rates of K and Ca-fertilizers on the apple fruit firmness (Dilmaghani et al., 2004).

Fig 16. The role of sources and rates of K-fertilizers on the grape and citrus yield in different locations (Malakouti et al., 2002, 2003 and 2004).

As a whole, the following conclusions were made from the experimental results:

- The research results prove that many of the agronomic as well as the horticultural crops tested here respond to potassium applications with improved yields and quality aspects. The plants that grew in soils with low levels of exchangeable potassium responded more favorably to the treatments even though a positive kind of response was not always the case for some of the crops. Therefore, it seems factors other than the level of soil exchangeable potassium should be involved and must be researched; in other words, we should try to find a more widely applicable index than soil exchangeable potassium to relate to various crops' yields and qualities.
- There were no significant differences observed between MOP and SOP for most of the agronomic crops. However, we recommend that SOP be applied to quality crops such as vegetables and used before planting and with high potassium demanding crops in light textured soils MOP be used as a sidedress.

Fig 13. The role of sources and rates of K-fertilizers on the tomato yield in different locations (Malakouti et al., 2003 and 2004).

Fig 14. The role of sources and rates of K-fertilizers on the soybean yield (Malakouti et al., 2003).

Fig 15. The role of sources and rates of K-fertilizers on the cotton, soybean and canola yield in different locations (Malakouti et al., 2002 and 2003).

Fig 10. The role of sources and rates of K-fertilizers on the corn yield in different locations (Malakouti et al., 2002, 2003 and 2004).

Fig 11. The role of sources and rates of K-fertilizers on the potato yield in different locations (Malakouti et al., 2002, 2003 and 2004).

Fig 12. The role of sources and rates of K-fertilizers on the onion yield in East Azarbyjan (Malakouti et al., 2002).

the rates determined by soil tests.

Fig 7. The role of sources and rates of K-fertilizers on the wheat grain yield in Kermanshah (Left) and light textured soils in Karaj (Right) (Malakouti et al., 2003 and Lotfollahi and Malakouti, 2005).

Fig 8. The role of sources and rates of K-fertilizers on the wheat grain yield in Fars (Malakouti et al., 2003).

Fig 9. The role of sources and rates of K-fertilizers on the rice yield in Mazandaran province (Malakouti et al., 2002, 2003 and 2004).

(d)

Fig 4. Synergistic intraction between K and Zn on the yield increase of rice – (Malakouti et al., 2004).

To apply potassium critical values for calculating fertilizer rates detailed soil maps (1:25,000) which are currently unavailable is needed. The response of different crops to a given level of soil available potassium varies as was seen in the case of wheat, rice corn etc. Plant analysis could also provide a basis for correcting potassium deficiencies. Figuers 5 & 4 show the relationship between nutrient concentration in plant tissues and plant yields and yield losses will result due to "hidden hunger" that can only be detected with chemical analysis.

Fig 6. Schematic diagam of A) undesirable, and B) desirable patterns of nutrient distribution in plant tissues.

Fig 5. Relationship between nutrient concentration in plant tissues and yield, also showing "hidden hunger".

Methods of application as well as potassium sources have their effects on the yield and quality of crops, and thus must be considered in formulating potassium rates. Side dressing of potassium, especially in the case of depleted soils, has been shown to be superior to pre-plant applications, particularly with respect to high K-demanding crops like corn, onion, potato, cotton, etc. Various investigations show that the yield response of agronomic as well as horticultural crops to K-fertilizers even under different soil and climatic regimes is determined by the availability of micronutrient fertilziers to a great extent. Figures 7 to 16 show yield improvements for different crops that were only obtainable with K-split application and at rates that were 1.5 to 2 times

younger tissues, and functions in producing a stable pH which is necessary for vital cellular enzymatic activities. Potassium fertilizers, particularly potassium sulfate, is considered to be a quality fertilizer since it improves the color, skin quality, taste, sugar and vitamin C content of citrus fruits. Potassium sulfate also improves plants' tolerance against water and salt stresses. The yield and quality of many vegetables such as tomato, spinach, lettuce and celery depends to a large extent on potassium supplies.

In this book, chapters one, two, and three deal with the status of soil potassium, its role in plants, and contain some key facts and reviews on the effects of K-fertilizers in improving the yield and quality of agricultural products along with other information on the role of potassium in increasing the efficiency of N-fertilizers under growing conditions in Iran. Chapter four deals with some new research findings, especially with regard to potassium movement in the rhizosphere; and with the advantages of using **Optimum level** instead of **Critical level** as an index with regard to the yield objectives of the 4th Development Plan and for the next twenty years. Additional information on the physiological roles of potassium in humans, especially in relation to regulating the ratio of K/Na and with regard to controlling blood pressure, are also presented in this chapter. In practical terms recommendations for potassium rates are commonly based on comparing the value of ammonium acetate extractable-K of a given soil with critical values which are experimentally determined. However, this approach is reliable only with soil potassium levels that are too high or too low but not for intermediate levels. In the case of intermediate soil-K levels, consideration of CEC, PBC, type of clay, and plant factors will improve the accuracy of recommendations.

NP **NPK** **NPKZn**

Fig 3. Synergistic intraction between K and Zn on the yield increase of wheat (Malakouti et al., 2004).

“Health comes from the farm”

Potassium in Agriculture

«The role of potassium in the production of healthy agricultural» products (2ndedition, Revised)

Mohammad J. Malakouti (Professor)

Ali A. Shahabi (PhD) Assistant Professor

Kambiz Bazargan (PhD) Assistant Professor

Fall, 2016- Tehran, Iran

Highlights *(For Non Persian Readers)*

Today the question of food quality is of greatest interest with research objectives everywhere especially with respect to the type and rates of chemical fertilizers. Potassium is ranked only second to nitrogen and is highly required by every plant because it activates some 60 plant enzymes which determine the yield and quality of agricultural crops. Potassium is involved in the synthesis of starch and protein, also in photosynthetic process, in regulating osmotic pressure, cellular growth, operations of stomata cells, and of plants water regime; it participates in the translocation of carbohydrates from leaves to other plant parts, and acts as a counter ion. Potassium along with zinc also reduces the concentrations of pollutants such as nitrate (NO_3) and cadmium (Cd) in the edible parts of the plants (Figures 1 and 2).

Fig 1. Effect of balanced fertilization in the reduction of nitrate (NO_3) in potato (Malakouti et al., 2002, 2003 and 2004).

Fig 2. Effect of balanced fertilization in the reduction of cadmium (Cd) in potato (Malakouti et al., 2002, 2003 and 2004).

Potassium is very mobile within plants, often translocating from old to