

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





وزارت جهاد کشاورزی  
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی  
معاونت ترویج

# بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

سرشناسه	: کیانی، علیرضا، ۱۳۴۲ -
عنوان و نام پدیدآور	: بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن / نویسنده علیرضا کیانی، امیر صداقت دوست؛ تهیه شده در معاونت ترویج - موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
مشخصات نشر	: کرج: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	: ۶۷ ص.: مصور (رنگی)، جدول.
شابک	: 978-964-520-293-2
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۶۶ - ۶۷.
موضوع	: بهره‌وری آب
موضوع	: آب در کشاورزی
موضوع	: بهره‌وری آب -- ایران
موضوع	: آب در کشاورزی -- ایران
شناسه افزوده	: صداقت دوست امیر ۱۳۶۹ -
شناسه افزوده	: موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
شناسه افزوده	: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۴ ک ۹ب ۹/۹ BB۶۶۵
رده بندی دیویی	: ۵۵۱/۴۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۱۴۲۴۶۰

ISBN:978-964-520-293-2

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۵۲۰-۲۹۳-۲



## عنوان نشریه: بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

نویسندگان: علیرضا کیانی - امیر صداقت دوست  
 ویراستار ترویجی: علیمراد سرافرازی  
 ویراستار ادبی: وجیهه سادات فاطمی  
 صفحه آرا: نادیا اکبری  
 تهیه شده در: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی - دفتر شبکه ملی تلویزیونی کشاورزی و مدیریت دانش  
 ناشر: نشر آموزش کشاورزی  
 شمارگان: ۱۵۰۰ جلد  
 نوبت چاپ: اول / ۱۳۹۵  
 قیمت: رایگان  
 مسئولیت صحت مطالب با نویسندگان است.

شماره ثبت در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی ۴۹۷۵۷ به تاریخ ۹۵/۴/۲۰ است.

نشانی: تهران - بزرگراه شهید چمران - خیابان یمن - پلاک ۱ و ۲ - معاونت ترویج -  
 ص. پ. ۱۱۱۳-۱۹۳۹۵ تلفکس: ۰۲۱-۲۲۴۱۳۹۲۳

## مخاطبان نشریه

کارشناسان و مروجان مسئول پهنه

## اهداف آموزشی

آشنایی با روش‌های مدیریت بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

## فهرست

صفحه	عناوین
۱	۱ - مقدمه .....
۲	۲ - تعاریف .....
۶	۳ - ضرورت و اهمیت افزایش بهره‌وری آب .....
۱۰	۴ - روش‌های افزایش بهره‌وری آب .....
۱۰	۴-۱- کاهش مصرف آب یا حفظ تولید قبلی .....
۴۷	۴-۲- افزایش تولید در واحد آب مصرفی .....
۶۴	۵ - جمع بندی .....
۶۶	۶ - منابع مورد استفاده .....

## ۱- مقدمه

تاکنون عمده سیاست‌گذاری‌ها در حوزه آب محدود به استحصال و مدیریت آبهای جاری (جریان‌های سطحی رودخانه‌ها یا منابع زیرزمینی) متمرکز بوده است. اکنون در تمام قاره‌ها پیوسته نیاز شهرها و صنایع به آب چند برابر می‌شود و در نتیجه اختصاص آب آبیاری به مصارف غیرکشاورزی فراگیرتر شده است. بسیاری از دولت‌ها با پرداخت یارانه برای آب آبیاری آن را به قیمت ارزان و غیر واقعی در اختیار کشاورزان قرار می‌دهند و این مسئله منجر به استفاده بی‌رویه از آب می‌شود. یکی از راه‌حل‌های مهم برای کاهش و تعدیل آثار زیانبار فقر و ثابت نگه‌داشتن سطح قبلی تولید، افزایش بهره‌وری آب به میزان افزایش تقاضا برای غذاست. با افزایش بهره‌وری آب ضمن حفظ تولید پایدار و کاهش مصرف آب، احداث منابع ذخیره آب و سرمایه‌گذاری در این زمینه که مسایل زیست محیطی دربرخواهد داشت، ضرورت پیدا نخواهد کرد. در زمینه مدیریت آبیاری و برنامه‌ریزی آن جهت ارتقاء راندمان آبیاری در داخل مزرعه پتانسیل فراوانی برای کار

## بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

وجود دارد. تمامی رویکردهای گذشته برای کاهش آثار خشکسالی و کم‌آبی مزارع در جهت تأمین منابع آب معطوف بود. امکانات، منابع و زمان‌های متعددی در حوزه‌های مختلف تصمیم‌گیری، تصمیم‌سازی و کارشناسی مصروف این مورد شد، ولی کمتر به نوع بهره‌وری از آب تأمین شده پرداخته شده است. شاید اولین و البته ساده‌ترین راه حل برای رفع مشکل کم‌آبی و تنش‌های ناشی از آن، تأمین آب به نظر برسد، اما مشکل کم‌آبی در شرایط کشور یک راه حل ندارد، اگرچه تأمین آب به عنوان اولین قدم قابل قبول است، البته ساده‌انگاری است که تصور شود همه راه حل است. مهمترین قسمت این چرخه پیچیده همان مدیریت آب در داخل مزرعه (هدف نهایی تأمین آب) است. به عبارت دیگر بهبود بهره‌وری آب در شرایط کنونی که عمده منابع آبی در کشور در حال مصرف است کلیدی‌ترین شاخص برای رفع تنگناهای خشکسالی و کم‌آبی و مسائل متأثر از آنها (فقر، گرسنگی، ناامنی غذایی) است. در دراز مدت، افزایش بهره‌وری آب برای گسترش زمین‌های آبی و افزایش بهره‌وری بارش جهت تولید بیشتر غذا عامل کلیدی برای مبارزه با گرسنگی و کاهش فقر است.

## ۲- تعاریف

در مقایسه سیستم‌های آبیاری با یکدیگر و ارزیابی‌های مربوط به تأثیر مقدار آبیاری بر افزایش محصول بیشتر از واژه‌هایی مانند راندمان آبیاری، کارایی مصرف آب، بهره‌وری آب و یا امثال آن استفاده می‌شود که در این قسمت به تعریف هر کدام از این واژه‌ها پرداخته می‌شود.



### بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

۳

به‌طور کلی هر گیاه را می‌توان به یک رآکتور تشبیه کرد که انرژی خورشیدی را دریافت و آن را به ماده یا محصول تبدیل می‌کند. در این فرایند مقداری آب مصرف می‌شود که بخش زیادی از آن از ریشه وارد شده و پس از انجام وظایف خود که از جمله خنک کردن این رآکتور است از برگ‌ها خارج می‌شود. بخشی از آب نیز که نسبت به کل آب مصرفی بسیار اندک است، در داخل اندام‌های گیاهی و از جمله محصول تولیدی باقی می‌ماند. از دیدگاه یک متخصص آبیاری سوال این است که در سیستمی که ورودی آن آب و خروجی آن محصول است چگونه درجه موثر بودن آب را ارزیابی کند. راندمان یا کارائی، زمانی معنی پیدا می‌کند که نوع ورودی به یک سیستم و خروجی آن از یک جنس باشند. در واقع در راندمان، مساله جابجایی یا انتقال یک ماده و تلفات آن طی انتقال مطرح است. به عنوان مثال آب ورودی به یک کانال در ابتدا و انتها اندازه‌گیری شود و در نهایت با تقسیم مقدار آب خروجی از کانال بر مقدار آب ورودی به کانال، راندمان یا بازده آن سیستم در انتقال آب ارزیابی می‌شود. بنابراین راندمان به زبان ساده نسبت خروجی به ورودی سیستم تعریف می‌شود. خروجی همواره کمتر از ورودی و یا حداکثر مساوی آن خواهد بود و در نتیجه نسبت فوق کوچکتر از یک است. اما این امکان وجود دارد که خروجی و ورودی به یک سیستم از یک جنس نباشند، مانند گیاه که ورودی آن آب و خروجی آن محصول است. اگر انرژی خورشید در نظر گرفته نشود، آب مصرفی توسط گیاه به عنوان ورودی سیستم و محصول به عنوان خروجی سیستم است (گیاه آب را به محصول تبدیل می‌کند) که این دو از یک جنس نیستند.

### بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

از طرف دیگر زارع آب را مستقیماً به گیاه نمی‌دهد بلکه آن را از محلی برداشت کرده و پس از انتقال به مزرعه زمین را آبیاری می‌کند و گیاه پس از دریافت آب از خاک، آن را به محصول تبدیل می‌کند. لذا در آبیاری و تبدیل آب به محصول هم بحث انتقال آب مطرح است و هم بحث تبدیل آب به یک ماده دیگر و در نتیجه در توصیف درجه مؤثر بودن آب برای افزایش محصول باید این دو به صورت توأم در نظر گرفته شوند. در تلفیق فرآیندهای انتقال آب و تبدیل آن به محصول یک سیستم، آبیاری و زراعت را می‌توان به سه زیرسیستم تقسیم کرد که عبارتند از:

- زیرسیستم هیدرولیکی، سطح حوضه

- زیرسیستم خاک-گیاه، سطح مزرعه

- زیرسیستم فیزیولوژیک گیاه، سطح گیاه

همگی این زیرسیستم‌ها در تولید محصول دخالت دارند. در زیر سیستم هیدرولیکی تنها بحث انتقال و جابجایی آب مطرح است که می‌توان آن را با راندمان توصیف کرد. زیر سیستم هیدرولیکی به همین جا خاتمه پیدا می‌کند و از این به بعد زیر سیستم خاک-گیاه مطرح می‌شود. از آب ذخیره شده در منطقه ریشه‌ها بخشی صرف تبخیر و تعرق شده که منجر به تولید محصول می‌شود. برای توصیف درجه کارایی این زیرسیستم از واژه کارایی مصرف آب توسط گیاه استفاده می‌شود. بنابراین کارایی مصرف آب به صورت نسبت مقدار آب تعرق شده به مقدار آب ذخیره شده در منطقه ریشه تعریف می‌شود و دامنه آن بین ۰/۵ تا ۰/۹ است. بعد از این فرآیند، سومین زیرسیستم که مرتبط با فیزیولوژی گیاه است وارد کار می‌شود. بخشی از آب مصرفی که به صورت تعرق در می‌آید فرآیند جذب و ساخت را شکل می‌دهد که طی آن آب به ماده تبدیل می‌شود. از آنجا که این دو (آب و

## بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

۵

تولید) از یک جنس نیستند، به جای واژه راندمان از واژه بهره‌وری استفاده می‌شود. بنابراین در مرحله بهره‌وری فتوسنتز تعریف می‌شود، نه راندمان فتوسنتز. در نتیجه بهره‌وری فتوسنتزی به صورت نسبت مقدار کیلوگرم ماده‌ای که توسط گیاه جذب و ساخته می‌شود، به آب تعرق شده بر حسب مترمکعب، تعریف می‌شود. مسلم است که تمام آنچه در گیاه جذب و ساخته می‌شود، به تولیدات گیاهی یا زیست توده (بیوماس) منجر نمی‌شود و این بستگی به کارایی تنفس گیاه دارد. از آنجا که، هم مقدار جذب و ساخت وهم تولید گیاهی از یک جنس هستند می‌توان راندمان تنفس را مطرح کرد. بنابراین راندمان تنفس عبارت است از نسبت زیست توده به مقدار ماده تثبیت شده در گیاه در مرحله جذب و ساخت. میزان راندمان تنفس در گیاهان زراعی بین ۰/۵ تا ۰/۶۵ است. به عبارت دیگر حدود نیمی از مقدار جذب و ساخت به تولیدات گیاهی (بیوماس) منجر می‌شود.

البته تمام تولیدات گیاهی ممکن است قابل استفاده نباشند. مثلاً در گندم ممکن است میزان تولید دانه آن در هر هکتار ۵ تن باشد در حالی که مجموع تولیدات گندم اعم از دانه، ساقه و برگ به ۸ تن در هکتار برسد. نمایه‌ای که برای بخش قابل استفاده محصول به کار می‌رود شاخص برداشت نامیده می‌شود. شاخص برداشت عبارت است از نسبت مقدار محصول قابل استفاده به مقدار زیست توده گیاه. میزان شاخص برداشت در گیاهان زراعی حدوداً ۰/۳ تا ۰/۵ است. در تعیین بهره‌وری گیاه از آب، که نسبت مقدار محصول قابل استفاده به مقدار آب تعرق شده توسط گیاه تعریف می‌شود از حاصل ضرب سه شاخص بهره‌وری فتوسنتز، راندمان تنفس و شاخص برداشت به دست می‌آید و واحد آن بر حسب کیلوگرم در مترمکعب است.

### جمع‌بندی تعاریف

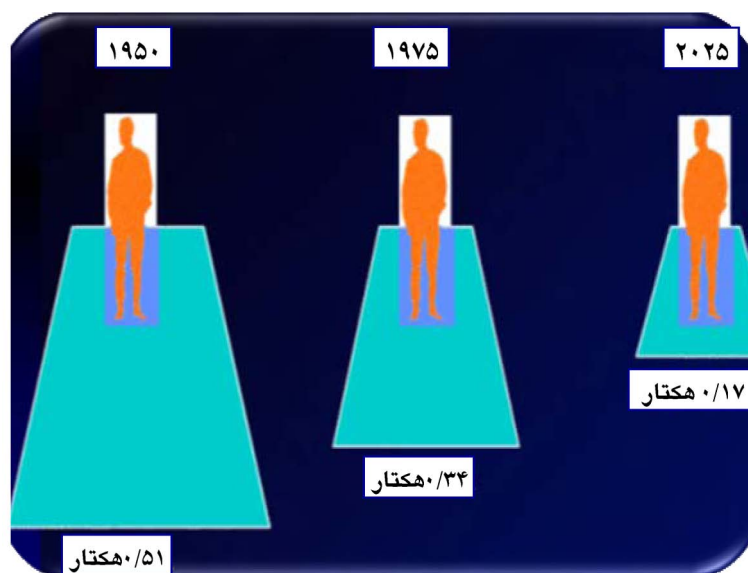
براساس تعاریف فوق کارایی مصرف آب از حاصل ضرب کارایی مصرف آب توسط گیاه در شاخص برداشت به دست می‌آید. به عبارت دیگر کارایی مصرف آب عبارت است از نسبت مقدار آب تعرق یافته توسط گیاه به مقدار آبی که از منبع اصلی برداشت می‌شود و بدون واحد و به صورت درصد یا اعشاری بیان شود.

بهره‌وری آب، عملکرد هر سه زیر سیستم (هیدرولیکی، خاک - گیاه و فیزیولوژی) را در نظر می‌گیرد که در نتیجه از حاصل ضرب کارایی مصرف آب توسط گیاه بر حسب درصد، شاخص برداشت به صورت اعشاری و بهره‌وری آب توسط گیاه (کیلوگرم به مترمکعب) به دست می‌آید. به عبارتی حاصل ضرب دو شاخص کارایی مصرف آب (درصد) و بهره‌وری آب توسط گیاه (کیلوگرم بر مترمکعب) همان بهره‌وری آب است. در نتیجه تعریف خلاصه شده بهره‌وری آب نسبت عملکرد به مقدار آب به کار برده شده برای گیاه است.

### ۳- ضرورت و اهمیت افزایش بهره‌وری آب

کاهش منابع آبی، تغییر تدریجی سهم مصارف آب در بخش کشاورزی به دیگر بخش‌های مصرف و جایگزینی کشت گیاهان با ارزش بالاتر نسبت به گیاهان راهبردی، شرایط را به سمت ناامنی غذایی سوق می‌دهد. عدم بهره‌وری مناسب از آب و افزایش سرانه آب برای هر نفر به مرور زمان منجر به خشک شدن رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و همچنین افت سطح آب زیرزمینی شده است. در حال حاضر بسیاری از کشورهای جهان برای تولید غذا از منابع آب محدود با چالش بزرگی روبرو هستند. کمبود آب همراه با بهره‌برداری

نادرست از منابع با ارزش آب جوابگوی تقاضای رو به رشد جمعیت کنونی برای غذا نیست (شکل ۱). گرچه استحصال آب‌های زیرزمینی در کوتاه مدت در تولید غذا مؤثر واقع می‌شود، اما ادامه آن در دراز مدت پایدار نخواهد بود. امروزه افت سفره‌های آب زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان، کشت آبی را غیر اقتصادی کرده است. به طور کلی مساحت زمین قابل کشت و افزایش بهره‌وری اراضی از منابع کلیدی برای تأمین غذا محسوب می‌شوند. بر اساس مستندات تاریخی، به دلیل روند کاهش سطح زیر کشت، افزایش تولید غذا از طریق افزایش سطح زیر کشت میسر نخواهد بود.



شکل ۱ - روند تغییرات سهم اراضی کشاورزی برای هر نفر از ۱۹۵۰ تا ۲۰۲۵

استفاده از روش‌های مختلف برای افزایش عملکرد در واحد سطح توانسته است بخش عمده‌ای از منابع غذایی را تأمین و خسارات ناشی از عدم افزایش سطح زیر کشت را جبران کند. برخلاف بهره‌وری نامناسب در بخش کشاورزی، بهره‌وری آب از سال ۱۹۶۱

## بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

الی ۲۰۰۱ به میزان صد در صد افزایش داشته است. عامل اصلی این افزایش، بهبود عملکرد گیاهان بدون افزایش مقدار مصرف آب در آنها بود. به طور مثال افزایش جهانی برای دو گیاه مهم برنج (پرمصرف‌ترین گیاه آبی) و گندم (بیشترین کشت دیم) به ترتیب در حدود ۱۰۰ و ۱۶۰ درصد بود.

در کشور ما تنها ۴۰٪ اراضی زیر کشت، آبیاری می‌شود و ایران پنجمین کشور دنیا از نظر اراضی فاریاب است. با این وجود قسمت عمده تولیدات کشاورزی از اراضی فوق استحصال می‌شود، زیرا بجز گندم و گیاهان مشابه که نیاز آبی آنها تا اندازه‌ای منطبق بر الگوی توزیع بارندگی در کشور است، امکان کشت دیم برای سایر محصولات زراعی وجود ندارد. بنابراین برای تغذیه جمعیت کنونی و رو به تزاید، کشور متکی به تولید در این اراضی و زمین‌هایی خواهد بود که از این به بعد به صورت آبی زیر کشت قرار خواهند گرفت. با محدودیت منابع آبی، امنیت غذایی برای نسل‌های آینده نیز به خطر می‌افتد. بر اساس برنامه تدوین شده در سند چشم‌انداز در افق ۱۴۰۴، ایران باید در حدود ۱۹۰ میلیون تن مواد غذایی تولید کند. برای رسیدن به این هدف باید دو برابر آب استحصالی کنونی و یا ۱/۵ برابر پتانسیل آبی کشور آب تولید شود. در کشور اگرچه زمین کشاورزی برای افزایش تولید وجود دارد ولی منابع آبی برای این افزایش تولید کفایت نمی‌کند. بنابراین در شرایط حاضر مهمترین چالش بخش کشاورزی برای رفع فقر و گرسنگی، راهبرد استفاده کاراتر از آب‌های موجود است. در دراز مدت افزایش بهره‌وری آب برای گسترش زمین‌های آبی و افزایش بهره‌وری بارش جهت تولید بیشتر غذا، عامل کلیدی برای مبارزه با گرسنگی و کاهش فقر است. بسیاری از دولت‌ها با پرداخت یارانه برای آب آبیاری آن را به قیمت ارزان و غیر واقعی در اختیار کشاورزان قرار می‌دهند و این مسئله

## بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

۹

منجر به استفاده بی‌رویه از آب می‌شود. هدر رفت آب باعث کاهش منابع آبی شده است و از طرف دیگر افزایش تقاضا برای آب مشکل کمبود آن را بسیار جدی کرده است (شکل ۲). یکی از راه‌حل‌های مهم برای کاهش و تعدیل آثار زیان بار فقر و گرسنگی ثابت نگه داشتن سطح قبلی تولید، افزایش بهره‌وری آب به میزان افزایش تقاضا برای غذاست. با افزایش بهره‌وری آب، ضمن حفظ تولید پایدار و کاهش مصرف آب، احداث منابع ذخیره آب و سرمایه‌گذاری در این زمینه که تبعات زیست محیطی را نیز در بر خواهد داشت، ضرورت پیدا نخواهد کرد. عمده سیاست‌گذاری‌های مربوط به آب در بخش کشاورزی، تمرکز روی استخراج بیشتر، تخصیص و مدیریت آب‌های جاری مانند جریان آب رودخانه‌ها و جریان آب زیرزمینی (آب آبی) است و بحران جهانی آب نیز در این دامنه قرار دارد و کمتر به مدیریت ذخایر موجود آب در نیم‌رخ خاک (آب سبز) پرداخته شده است. تحقیقات کاربردی در زمینه استفاده از آب خاکستری که عمدتاً آب‌های دارای کیفیت پایین هستند نیز به صورت جدی صورت نمی‌گیرد.



شکل ۲- نمایی از کمبود منابع آبی و افزایش تقاضا برای آب

**۴- روش‌های افزایش بهره‌وری آب**

یکی از عوامل کلیدی برای افزایش تولید و تأمین امنیت غذایی ارتقاء بهره‌وری آب است. افزایش بهره‌وری آب به دو روش اصلاح ارقام یا انتخاب رقمی که بتواند در مقابل کم‌آبی متحمل‌تر باشد و هم با مدیریت آبیاری در مزرعه به منظور افزایش راندمان آبیاری قابل حصول است. اصول کلیدی برای بهبود بهره‌وری آب باید در سه سطح حوضه، مزرعه و گیاه صرفنظر از کشت آبی یا دیم مورد کنکاش قرار گیرد. افزایش عملکرد (مقدار و ارزش) در واحد آب تعرق شده، کاهش همه آب‌های غیرمفید (خروجی از مزرعه، تبخیر یا فرونشست)، افزایش اثربخشی باران با حفظ و جمع‌آوری آب باران و استفاده از منابع آب‌های جایگزین (آب‌های نامتعارف) عوامل کلی هستند که منجر به افزایش بهره‌وری آب خواهند شد. در نتیجه به صورت جمع‌بندی شده دو روش عمده برای افزایش بهره‌وری عبارتند از: کاهش مصرف آب با حفظ تولید قبلی و افزایش تولید در واحد آب مصرفی که با بهبود مدیریت تولید قابل حصول است.

**۴-۱- کاهش مصرف آب با حفظ تولید قبلی**

این شیوه همه فعالیت‌هایی را شامل می‌شود که منجر به بهبود مدیریت آبیاری شوند. به طور کلی روش‌های افزایش بهره‌وری آب از دیدگاه ارتقاء مدیریت آبیاری را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- افزایش بازده آبیاری
- تخصیص بهینه منابع آبی
- استفاده از مدیریت کم‌آبیاری



- بهینه‌سازی مصرف آب با تعیین روابط آب - گیاه (توابع تولید)
- استفاده از آبهای نامتعارف
- کاهش تبخیر و مدیریت آب سبز
- کشت در محیط‌های کنترل شده (کشت‌های گلخانه‌ای)

#### ۴-۱-۱- افزایش بازده آبیاری

از کل آبی که برای آبیاری منتقل می‌شود، فقط قسمتی مورد استفاده گیاهان قرار می‌گیرد. تلفات آب به طور کلی در سه بخش انتقال، توزیع و در سطح مزرعه اتفاق می‌افتد. انتقال آب از یک نقطه به نقطه دیگر همواره تلفاتی به همراه دارد، میزان این تلفات به عواملی چون نفوذ عمقی و تبخیر بستگی دارد. چون نهرهای آبیاری به نوبت مورد استفاده قرار می‌گیرند و در زمانهایی که استفاده نمی‌شوند خشک شده (به خصوص کانال‌های خاکی و سنگین)، شکاف برمی‌دارند و تلفات در آنها زیاد می‌شوند. این دو بازده (نفوذ عمقی و تبخیر) در کشور بسادگی قابل افزایش است. در مزارعی که از چاه برای آبیاری استفاده می‌شوند، به دلیل نزدیکی منبع آب با زمین‌های تحت آبیاری، تلفات آب کم و در مزارعی که از آب رودخانه‌ها و سدها استفاده می‌کنند، با پوشش انهار یا استفاده از لوله‌های انتقال آب می‌توان سهم تلفات ناشی از نشت و تبخیر را کاهش داد. مهمترین بخش تلفات آب، در سطح مزرعه به صورت رواناب، تلفات نفوذ عمقی، تبخیر از سطح مزرعه و عدم یکنواختی توزیع اتفاق می‌افتد. مقدار این تلفات تابع روش آبیاری و مدیریت آبیاری مزرعه است و در صورتی که روش و مدیریت آبیاری بخوبی اجرا نشود مقادیر آن بسیار پایین خواهد بود. یکی از گامهای مهم و عملی برای افزایش بهره‌وری

آب، افزایش راندمان آبیاری با کاهش تلفات آب در مسیرهای انتقال، توزیع و در داخل مزرعه است. گزارش‌ها نشان می‌دهند که راندمان آبیاری در کشور در حدود ۴۰ درصد است. تدوین قوانین، حجمی کردن آب چاه‌ها و کانال‌های آبیاری، تجهیز و نوسازی اراضی به خصوص در اراضی که با روش‌های سنتی آبیاری می‌شوند، توسعه روش‌های مدرن آبیاری، آموزش علمی، اجتماعی و فرهنگی کاربرد آب در آبیاری گام‌های عملیاتی اثربخش در افزایش راندمان آبیاری محسوب می‌شوند. بعد از تدوین چندین برنامه برای توسعه اراضی تحت پوشش آبیاری تحت فشار و عدم تحقق برنامه‌ها به دلایل مختلف، در حال حاضر بیش از ۹۰ درصد اراضی تحت آبیاری با استفاده از شیوه‌های سنتی آبیاری می‌شود. به طوری که در برنامه‌های توسعه‌ی اول (۷۳-۶۹)، دوم (۷۸-۷۴)، سوم (۸۳-۷۹) و چهارم (۸۸-۸۴) از کل برنامه‌های پیش‌بینی شده برای اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار به ترتیب ۲۴، ۲۵، ۲۷ و ۳۸ درصد اجرا شده است. بیشترین ناکامی در توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار مربوط به دهه اول برنامه‌های توسعه بود. بنابراین در شرایط کنونی نه تنها برای افزایش سطوح تحت کشت آبیاری تحت فشار در برنامه‌های میان و بلند مدت باید برنامه‌ریزی کرد، بلکه اصلاح روش‌های موجود آبیاری که سطح قابل توجهی از اراضی آبی را به خود اختصاص داده است، اولویت بالاتری دارد. به منظور جلوگیری از بروز بحران کم آبی و افزایش بهره‌وری آب در کشور افزایش راندمان آبیاری یکی از راه‌حل‌های موثر محسوب می‌شود. جهت نیل به این هدف نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

### ایجاد انگیزه اقتصادی در مصرف آب

از آنجا که آب نقش بسیار مؤثری در تولید ایفا می‌کند ولی ارزش اقتصادی ناچیزی دارد. در حال حاضر کشاورز در حفظ و نگهداری از سم و کود خریداری شده، خطای کمتری مرتکب می‌شود ولی آب چون هزینه کمی برای کشاورز دارد، کوشش در جهت حفظ آن نیز کمتر است (شکل ۳). بنابراین تا زمانی که تمهیدات لازم تحقق نپذیرد برنامه‌های افزایش راندمان آبیاری تحت الشعاع آن قرار خواهد داشت.



شکل ۳ - آبیاری بدون برنامه‌ریزی به دلیل ارزش اقتصادی پایین آب

**اصلاح روش‌های موجود آبیاری (برنامه ریزی کوتاه مدت)**

روش کنونی آبیاری از هیچ‌الگوی خاص فنی پیروی نمی‌کند و آبیاری مطابق سلیقه شخصی انجام می‌شود. بنابراین اصلاح روش‌های آبیاری سطحی بر اساس معیارها و ضوابط فنی کمک‌شایانی در جهت افزایش آبیاری است؛ بدون اینکه سرمایه اولیه زیادی مصرف شود. در این خصوص به مواردی چون استفاده از روش‌های جوی پشته‌ای، استفاده از لوله‌های درپچه‌دار می‌توان اشاره کرد. (شکل ۴).



شکل ۴- اصلاح روش‌های موجود آبیاری، گامی موثر در افزایش بازده آبیاری

از آنجا که در حال حاضر در کشور بیش از ۹۰ درصد از آبیاری‌ها (به فرض تحقق برنامه‌های مدون دولت در خصوص جایگزینی آبیاری‌های تحت فشار) با روش سطحی و آن هم به شیوه سنتی انجام می‌گیرد؛ در این مرحله پتانسیل بسیار بالایی برای تحقق استفاده بهینه از آب وجود دارد و باید در برنامه‌ریزی‌ها در اولویت خاص قرار گیرد.

### تغییر سیستم‌های آبیاری (برنامه ریزی بلند مدت)

راندمان آبیاری در سیستم‌های آبیاری تحت فشار از شرایط مناسبی برخوردار است، به طوری که با روش بارانی، راندمان ۷۵ درصد (شکل ۵) و با روش قطره‌ای، راندمان ۹۰ تا ۹۵ درصد قابل حصول است (شکل ۶). همچنین اثر کمبود بی‌چون و چرای آب در کشور در لزوم استفاده از سیستم‌های آبیاری فوق برکسی پوشیده نیست و حجم عظیمی از امکانات سازمانهای ذیربط در این خصوص سرمایه گذاری شده است. به استناد نتایج اخذ شده باید تمهیداتی در خصوص کیفیت اجرا و بهره برداری صحیح از آن نیز مد نظر قرار گیرد تا صرف افزایش کمی آن باعث نشود که بهای گرانتری پرداخته شود. از طرف دیگر، به دلیل نبود فناوری فراگیر در استفاده وسیع از روشهای آبیاری تحت فشار، جایگزینی و گذر از روش سنتی به روش تحت فشار تدریجی خواهد بود و به همین دلیل به یک برنامه درازمدت نیاز دارد.



شکل ۵- نمایی از روش آبیاری نحت فشار بارانی از نوع عقربه‌ای



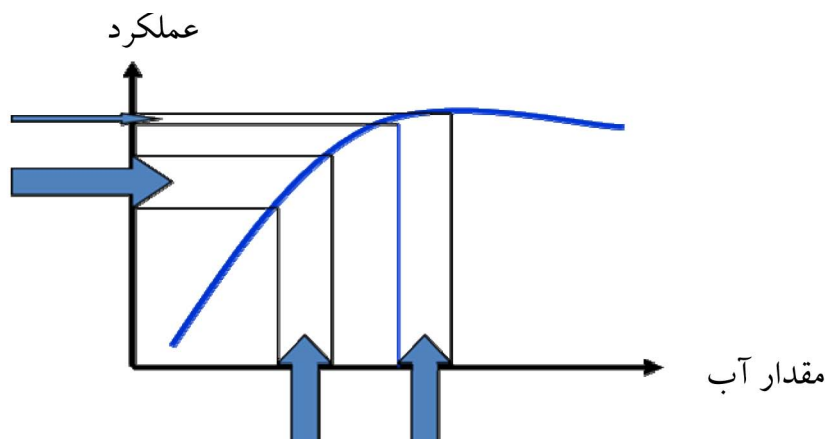
شکل ۶- نمایی از مقایسه دو نوع روش آبیاری (الف) قطره‌ای نواری و (ب) شیاری  
از نظر مصرف آب

۴-۱-۲- تخصیص بهینه منابع آبی

به‌طور طبیعی ارزش آب متناسب با زمان، مکان، نوع گیاه و کیفیت متفاوت است. به عبارت ساده‌تر یک مقدار مشخصی از آب از نظر زمانی (زمستان، تابستان، شب، روز)، از نظر مکانی (سردسیر، گرمسیر، خشک، مرطوب، قطبین، استوا) و از نظر کیفیت (شور، لب‌شور، آلوده، پسماند کارخانجات صنعتی، کشاورزی) دارای ارزش یکسانی نیستند. به همین دلیل بسته به شرایط تعریف شده، اثربخشی متفاوتی در تولید و بخش کشاورزی به جای می‌گذارند. در واقع بهره‌وری آب بیان می‌کند که ارزش یک واحد آب در چه زمانی، در کدام مکان، برای چه نوع گیاهی و با چه کیفیتی بالاترین است. بنابراین افزایش بهره‌وری آب معرف تولید بیشتر، درآمد بالاتر، بهبود رفاه اجتماعی با حداقل مصرف آب است. مطالعات نشان داده است که هرگاه دو گیاه در دو شرایط مختلف از نظر بارندگی و اقلیم، یکی در اقلیم مرطوب و دومی در اقلیم خشک و کم‌آب قرار داشته باشند، مصرف مقدار مشخصی از آب در دو منطقه، در تولید نقش یکسانی ندارد. در منطقه مرطوب با افزایش مقدار آب اگر یک واحد به عملکرد اضافه شود، در منطقه خشک همان مقدار آب ممکن است مثلاً سه واحد به عملکرد اضافه شود (۷). برآیند این تحلیل به لحاظ کاربردی برای افزایش بهره‌وری آب این است که تخصیص و توزیع آب در هر منطقه باید با اولویت دشت‌های کم‌آب صورت پذیرد. با توجه به تفاوت مزیت نسبی آب در شرایط مختلف، ضروری است تا توزیع آب بر مبنای کسب بالاترین بهره‌وری آب صورت پذیرد. در حال حاضر در مناطق مرطوب‌تر از منابع آب زیرزمینی با آهنگ سریع برداشت شده است ولی بهره‌وری لازم را ندارد. به دلیل اینکه صاحب زمین مالک آب زیرزمین

### بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

خود است. اگر این روند تداوم داشته باشد در آینده بخش کشاورزی نسبت به بخش‌های دیگر مصرف، از سهم اندکی آب برخوردار خواهد بود.



شکل ۷- تغییرات عملکرد به صورت تابعی از تغییرات آب

#### ۴-۱-۳- استفاده از روش کم‌آبیاری

کم‌آبیاری نوعی گزینه مدیریتی است که در شرایط عدم موازنه مقدار آب و زمین برای افزایش بهره‌وری آب و افزایش درآمد خالص از طریق کاهش هزینه‌های تولید استفاده می‌شود. به طور طبیعی در کم‌آبیاری بخشی از آب با روش‌های مختلف صرفه‌جویی می‌شود، به طوری که در عملکرد صدمات قابل توجهی ندارد. راهبرد استفاده از آب صرفه‌جویی شده می‌تواند متفاوت باشد. آب صرفه‌جویی شده در شرایط کم‌آبیاری را هم می‌توان برای افزایش تولید با افزایش سطح زیر کشت استفاده کرد به خصوص در شرایطی که تولید مواد غذایی و امنیت آن هدف اصلی است و هم می‌توان به عنوان روشی برای کاهش برداشت از منابع آبی تلقی کرد. به ویژه در شرایطی که وضعیت منابع آبی بحرانی است. نتایج راهبرد اول برای برنامه‌های کوتاه مدت و نتایج راهبرد دوم برای



برنامه‌های طولانی مدت موثر خواهند بود. آن چیزی که مبتنی بر واقعیت‌های کنونی است، این نکته است که مصرف‌کننده‌ها تمایلی برای راهبرد دوم ندارند و همچنان از منابع آبی به همان شکل قبلی استفاده می‌کنند. بنابراین متقاعد کردن آنها به صورتی که حاصل نتایج کم آبیاری منجر به تولید و درآمد بیشتر با همان منابع آبی قدیم می‌شود یک گام به جلو است. برای رسیدن به هدف و راهبرد دوم که پایداری منابع آبی را حفظ خواهد کرد، نیاز است تا سیاستگذاران بخش آب، به ازای مقادیر آب صرفه‌جویی شده به کشاورزان حداقل در آمد ناشی از افزایش زمین را پرداخت کنند. به‌طور طبیعی برای کشاورزان در مناطقی که مواجه با کمبود آب هستند ولی زمین زراعی در اختیار دارند، دو گزینه قابل انتخاب است. در حالت اول ممکن است، تمام آب در اختیار را برای آبیاری بخشی از مزرعه به صورت آبیاری کامل در نظر بگیرند و بقیه زمین را یا کشت نکنند یا تحت شرایط دیم قرار دهند. در حالت دوم ممکن است با استفاده از مدیریت کم آبیاری و کاربرد آب صرفه‌جویی شده برای زمین‌های دیگر مساحت تحت آبیاری را افزایش دهند. اگرچه روش‌های اعمال کم آبیاری متعدد هستند، ولی همگی هدف مشخصی را دنبال می‌کنند. هدف در کم آبیاری که یک نوع گزینه مدیریتی است، کاهش آگاهانه آب مصرفی گیاه است، به طوری که در عملکرد تأثیر قابل توجهی نداشته باشد و فرصت جدیدی برای آب صرفه‌جویی شده ایجاد شود تا مساحت تحت آبیاری را افزایش داده و در نتیجه موجب افزایش تولید کل شود.

### ملاحظات کلی کاربرد روش‌های کم آبیاری

- آب به اندازه کافی برای زمین‌های زراعی وجود نداشته باشد.

### بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

- میزان آب آبیاری بر اساس رابطه تولید، درآمد و هزینه تعیین شود.
- ترجیحاً برای گیاهانی که نسبت به خشکی مقاومتر و دوره رشد کوتاهتری دارند، استفاده شود.
- زمین زراعی برای توسعه وجود داشته باشد.
- هزینه‌های آب زیاد باشد.
- سفره‌ها از ناحیه شوری یا افت سطح ایستابی در معرض تهدید قرار داشته باشد.
- مصارف غیر مفید آب زیاد باشد.

### روش‌های کاربرد کم آبیاری

- محدود کردن یا حذف آبیاری در بخشی از دوره غیر حساس گیاه به آب
- افزایش فواصل آبیاری
- کاهش بخشی از آب مورد نیاز گیاه به صورت منظم در هر بار آبیاری
- آبیاری یک‌درمیان شیارها

### چند استناد پژوهشی

#### - گندم

اوایل و یا انتهای رشد حساسیت گندم حساسیت کمتری به آب وجود دارد و در نتیجه کاهش آب در این دوران اگرچه در عملکرد اثرگذار است ولی ارزش آب صرفه‌جویی شده به مراتب از مقدار جزئی کاهش عملکرد، بالاتر است. جمع‌بندی نتایج بررسی محققان نشان داده است که گزینه کم آبیاری سودمندی بالاتری نسبت به آبیاری کامل

دارد. نتایج یکی از فعالیت‌های پژوهشی که دو راهبرد کم آبیاری و آبیاری کامل را برای شش رقم گندم (TAJAN، N-80-6، N-80-7، N-80-19، N-81-18 و Desconcido) در شرایط آبیاری تکمیلی با هم مقایسه می‌کند (شکل ۸) در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۸- نمایی از یک طرح پژوهشی برای بررسی کم آبیاری بر روی گندم

در این جدول عملکرد گندم دیم (عملکرد ارقام گفته شده در شرایط بدون آبیاری) حدود دو تن بوده است. ملاحظه می‌شود که برای تمام ارقام روش کم آبیاری اگرچه منجر به حصول حداکثر عملکرد در واحد سطح نمی‌شود، ولی برای مناطقی که کم آبی عامل اصلی محدود کننده تولید است، این شیوه قادر است تولید کل را افزایش دهد. به‌طور مثال حتی در رقم TAJAN که در بین ارقام مورد بررسی نسبت به آب واکنش نامناسب‌تری داشته، توانسته است در راهبرد کم آبیاری گامی موثر در افزایش تولید کل بردارد. ملاحظه می‌شود که در این رقم به جای آبیاری کامل برای زمینی به مساحت یک هکتار، بهتر است مساحت زمین تحت آبیاری به ۲/۵۴ هکتار افزایش یابد. در این شرایط مقدار آب مصرفی

## بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

از ۹۹۰ متر مکعب در هکتار در آبیاری کامل به ۳۹۰ متر مکعب در هکتار در روش کم آبیاری کاهش می‌یابد و تولید کل از ۷/۲۷ تن در روش آبیاری کامل (مجموع تولید یک هکتار تحت مدیریت آبیاری کامل و ۱/۵۴ هکتار دیم) به ۹/۰۲ تن در روش کم آبیاری (۲۴ درصد افزایش) در سطح جدید (۲/۵۴ هکتار تحت مدیریت کم آبیاری) افزایش می‌یابد.

## جدول ۱- مقایسه دو راهبرد کم آبیاری و آبیاری کامل برای تولید کل در

## ارقام مختلف گندم

رقم*	تیمار آبیاری	عمق آب (میلی‌متر)	عملکرد (تن در هکتار)	مساحت (هکتار)		عملکرد (تن)		تولید کل (تن)	افزایش تولید کم آبیاری (%)
				آبیاری شده	کل	آبیاری شده	آبیاری نشده		
TAJAN	کامل	۹۹	۴/۱۹	۱	۱/۵۴	۲/۵۴	۴/۱۹	۷/۲۷	
	کم آبیاری	۳۹	۳/۵۵	۲/۵۴	۰	۲/۵۴	۹/۰۲	۲۴	
N-80-6	کامل	۱۰۹	۴/۷۴	۱	۲/۱۱	۳/۱۱	۴/۷۴	۸/۹۵	
	کم آبیاری	۳۵	۴/۰۲	۳/۱۱	۰	۳/۱۱	۱۲/۵	۴۰	
N-80-7	کامل	۱۱۱	۴/۵۱	۱	۲/۲۶	۳/۲۶	۴/۵۱	۹/۰۳	
	کم آبیاری	۳۴	۴/۰۶	۳/۲۶	۰	۳/۲۶	۱۳/۲	۴۷	
N-80-19	کامل	۱۰۰	۴/۲۶	۱	۱/۷	۲/۷	۴/۲۶	۷/۶۶	
	کم آبیاری	۳۷	۳/۹۸	۲/۷	۰	۲/۷	۱۰/۸	۴۰	
N-80-18	کامل	۱۰۱	۴/۵۲	۱	۲/۳۷	۳/۳۷	۴/۵۲	۹/۲۶	
	کم آبیاری	۳۰	۴/۰۷	۳/۳۷	۰	۳/۳۷	۱۳/۷	۴۸	
Desconcido	کامل	۱۰۰	۴/۵	۱	۱/۷	۲/۷	۴/۵	۷/۹	
	کم آبیاری	۳۷	۳/۸۶	۲/۷	۰	۲/۷	۱۰/۴	۳۲	

\*- انواع ارقام گندم است که در پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است.

– سویا

جدول دو به استناد دو سال کار پژوهشی، دو راهبرد کم‌آبیاری و آبیاری کامل را در چند رقم سویا به صورت کمی مورد مقایسه قرار می‌دهد. بر اساس جدول ۲ روش کم‌آبیاری باعث افزایش تولید کل در همه ارقام شده است. به طور مثال در رقم سحر که نسبت به بقیه ارقام واکنش نامطلوب‌تری نسبت به آب داشت، به جای آبیاری کامل (کاربرد ۳۴۵۰ متر مکعب) برای آبیاری زمینی به مساحت یک هکتار، بهتر است مساحت زمین تحت آبیاری را به ۴/۸۵ هکتار افزایش داده ولی در هر هکتار ۷۱۰ متر مکعب آب مصرف شود. در شرایط اول تولید کل در مساحت ۴/۸۵ هکتار معادل ۴/۵۰۸ تن و در شرایط دوم تولید کل در همان مساحت به ۵/۸۲ تن افزایش یافت. این روند با نتایج مطلوب‌تری برای ارقام گرگان ۳ و کتول وجود دارد (جدول ۲).

جدول ۲ – مقایسه دو راهبرد کم‌آبیاری و آبیاری کامل برای تولید کل در ارقام

مختلف سویا

رقم	تیمار آبیاری	مقدار آب (میلی‌متر)	عملکرد (تن در هکتار)	مساحت (هکتار)			عملکرد (تن)	
				آبیاری شده	آبیاری نشده	کل	آبیاری شده	آبیاری نشده
سحر	کامل	۳۴۵	۲/۵۸۵	۱	۳/۸۵	۴/۸۵	۲/۵۸۵	۱/۹۲۳
	کم‌آبیاری	۷۱	۱/۲	۴/۸۵	۰	۴/۸۵	۵/۸۲	۰
گرگان	کامل	۳۴۲	۳/۳۴۹	۱	۳/۲۲	۴/۲۲	۳/۳۴۹	۱/۶۱
۳	کم‌آبیاری	۸۱	۱/۳۸۹	۴/۲۲	۰	۴/۲۲	۵/۸۶	۰
کتول	کامل	۳۶۷	۳/۹۸۴	۱	۳/۰۸	۴/۰۸	۳/۹۸۴	۱/۵۴
	کم‌آبیاری	۹۰	۱/۶۴۸	۴/۰۸	۰	۴/۰۸	۶/۷۲۴	۰

**- ذرت**

روش‌های اعمال کم‌آبیاری متفاوت است. در این بخش برای گیاه تابستانه مانند ذرت دو روش دیگر کم‌آبیاری یعنی افزایش فاصله آبیاری و یا آبیاری یک‌درمیان شیارها با آبیاری کامل مقایسه می‌شود (شکل ۹). جدول ۳ نتایج بررسی دو دور آبیاری شش و ده روزه به همراه سه روش آبیاری کامل شیارها، آبیاری یک‌درمیان به صورت ثابت و متناوب را از نظر عملکرد و بهره‌وری آب در گیاه ذرت ارائه می‌کند. یک‌درمیان متناوب یعنی شیارهای آبیاری شده در هر نوبت آبیاری عوض می‌شوند و در آبیاری یک‌درمیان ثابت در تمام دوره رشد، شیارهای ثابت آبیاری می‌شوند. به‌طور کلی عملکرد در تیمار شش روزه حدود ۲۴ درصد بیشتر از عملکرد تیمار با دور ده روزه بود. مقایسه بهره‌وری مصرف آب نشان داده است که آبیاری کامل شیارها برای ذرت سودمندی بالاتری نسبت به آبیاری یک‌درمیان شیارها ندارد. برای گیاه ذرت به‌خصوص در تابستان‌هایی که مقدار بارندگی کم باشد، افزایش فواصل آبیاری (در این مورد از شش به ده روز) و کاهش ۵۰ درصد از آب مورد نیاز گیاه با آبیاری یک‌درمیان شیارها در کاهش عملکرد ذرت (ذرت نسبت به سویا که هر دو گیاه تابستانه هستند، در مقابل کم‌آبی حساس‌تر است) آنچنان تأثیرگذار است که منجر به کاهش بهره‌وری آب می‌شود. برای گیاهان زمستانه مانند گندم به دلیل سهم قابل توجه بارش در میزان آب مورد نیاز گیاه، کم‌آبیاری بسادگی منجر به افزایش بهره‌وری آب شد (جدول ۱).



شکل ۹- نمایی از یک طرح پژوهشی برای بررسی کم‌آبیاری بر روی ذرت  
(آبیاری یکدرمیان)

جدول ۳- مقایسه کمی دو روش کم‌آبیاری ذرت با آبیاری کامل از نظر بهره‌وری آب

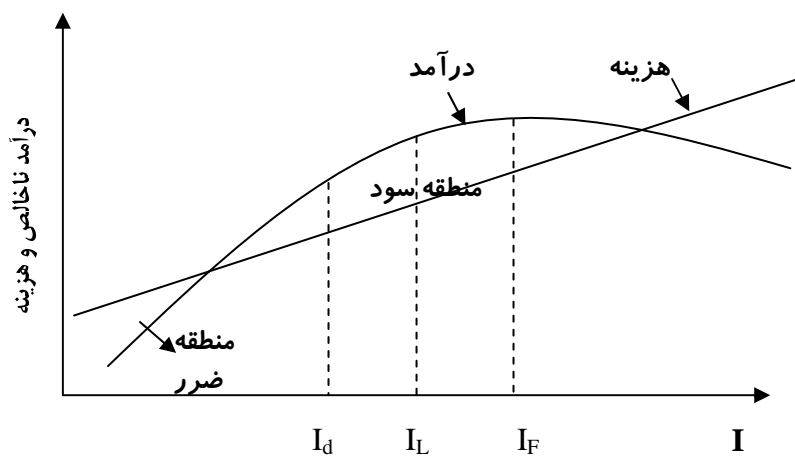
تیمارها	تبخیر- تعرق مترمکعب بر هکتار	عملکرد دانه کیلوگرم بر هکتار	بهره‌وری آب کیلوگرم بر مترمکعب
دور شش روزه	۲۰۱۰	۲۲۴۲	۱/۱
دور ده روزه	۱۸۶۰	۱۷۰۴	۰/۹۲
آبیاری تمام شیار	۲۴۲۰	۲۴۲۵	۱
کم آبیاری متناوب	۱۶۲۰	۱۷۲۱	۱/۱
کم آبیاری ثابت	۱۷۵۰	۱۶۹۷	۰/۹۷

#### ۴-۱-۴- بهینه‌سازی مصرف آب

بهینه‌سازی مصرف آب نوعی گزینه مدیریتی است که می‌تواند راهبردهای مختلف در زمینه ارتباط آب - گیاه را بسته به نوع محدودیت‌های آب و زمین طوری تعیین کند که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه و از نظر فنی امکان پذیر باشد. شکل ۱۰ رابطه کلی بین آب

## بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

آبیاری (I) به صورت تابعی از درآمد ناخالص و هزینه تولید را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که رابطه بین مقدار آب با درآمد ناخالص، غیرخطی و با هزینه، خطی است. در حقیقت درآمد ناخالص با مقدار آب به صورت غیرخطی و با شیب کاهشی، افزایش می‌یابد تا به حداکثر درآمد می‌رسد و از آن نقطه به بعد با افزایش مقدار آب به دلیل افزایش هزینه آب تولیدی و کاهش تولید، درآمد ناخالص کاهش، ولی مقدار هزینه با افزایش مقدار آب همواره افزایش می‌یابد. درآمد خالص در هر مقدار آب برابر با فاصله بین منحنی درآمد ناخالص و منحنی هزینه در شکل ۱۰ است. در نقاطی که درآمد ناخالص پایین‌تر از منحنی هزینه قرار دارد به مفهوم ضرر و در نقاطی که درآمد ناخالص بالاتر از منحنی هزینه قرار دارد، یعنی در اثر آبیاری سود حاصل می‌شود. انتخاب راهبرد مدیریتی مناسب بستگی به وجود یا عدم وجود محدودیت‌هایی مانند آب و زمین دارد.



شکل ۱۰ - تغییرات درآمد و هزینه به صورت تابعی از آب آبیاری (I)



اگر زمین عامل محدودکننده باشد، مقدار آبی که سود خالص در واحد زمین را بیشتر کند، گزینه مطلوب به شمار می‌رود (IL). اگر چه از این نقطه به بعد با افزایش مقدار آب و با آبیاری کامل، درآمد ناخالص به حداکثر می‌رسد (IF)، ولی سود خالص کمتر از سود خالص دریافتی از مقدار آب قبلی (IL) می‌شود. کاهش مقدار آب از حد IL و با حرکت به سمت چپ خودش، مقدار سود خالص به تدریج کاهش می‌یابد (فاصله بین دو منحنی کم می‌شود) به طوری که در نقطه Id مقدار سود خالص در واحد زمین معادل سود خالص در اثر آبیاری کامل (IF) می‌شود. بنابراین واضح است که برای رسیدن به عملکرد حداکثر، نیاز به آبیاری کامل است، ولی برای رسیدن به سود خالص نیازی به آبیاری کامل نیست.

اگر زمین عامل محدودکننده باشد، هزینه‌های استحصال، انتقال و توزیع آب نیز یک چالش جدی در بخش کشاورزی و تولید است. در این شرایط سطح وسیعی از اراضی به دلیل کمبود آب یا کشت نمی‌شوند و یا به صورت دیم کاشته می‌شوند. در تحلیل اشاره شده مشخص شد که عمق آب آبیاری وجود دارد (Id) که سود خالص از آن برابر با سود خالص آبیاری کامل است. نتیجه بدیهی این تحلیل این است که از آب ذخیره شده که دارای سود همسان با آبیاری کامل است، فرصت جدیدی برای افزایش سطح زیرکشت به وجود می‌آید که در نهایت منجر به افزایش تولید و درآمد کشاورزان می‌شود. بنابراین در مناطق کم آب، آبیاری کامل یعنی انتخاب گزینه آب بیشتر - عملکرد بیشتر راهبرد مناسبی نیست و در این مناطق باید راهبرد آب کمتر - تولید بیشتر یعنی حداکثر بهره‌وری آب را انتخاب کرد. سوال اساسی در بین برنامه‌ریزان جهت تدوین این استراتژی این است که چقدر باید آب را کم کرد تا به هدف نزدیک شد. برای پاسخ به این سوال و دستیابی به

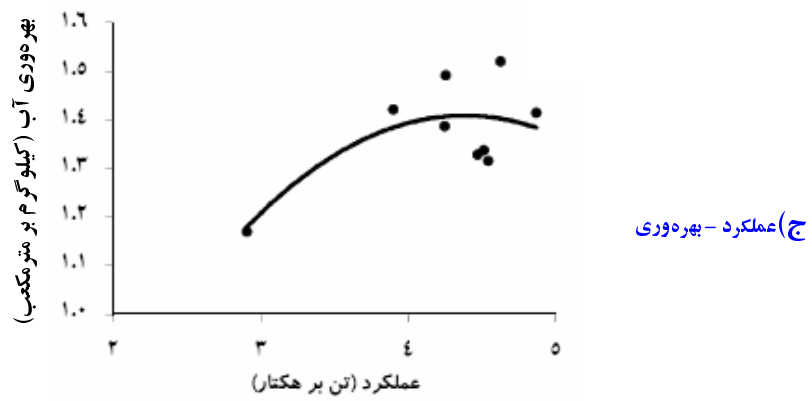
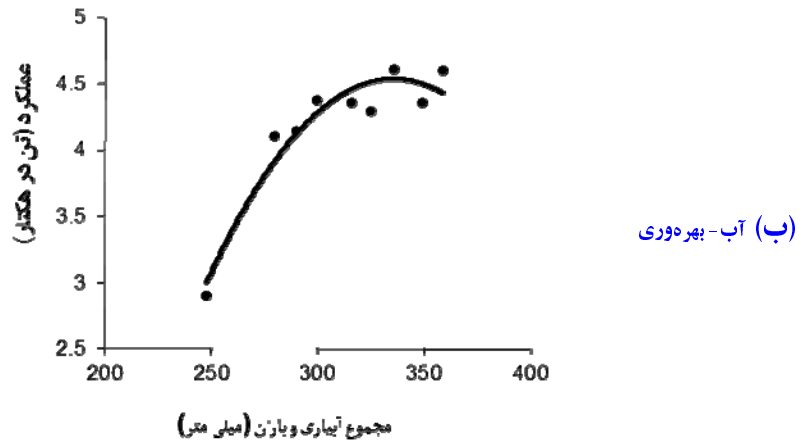
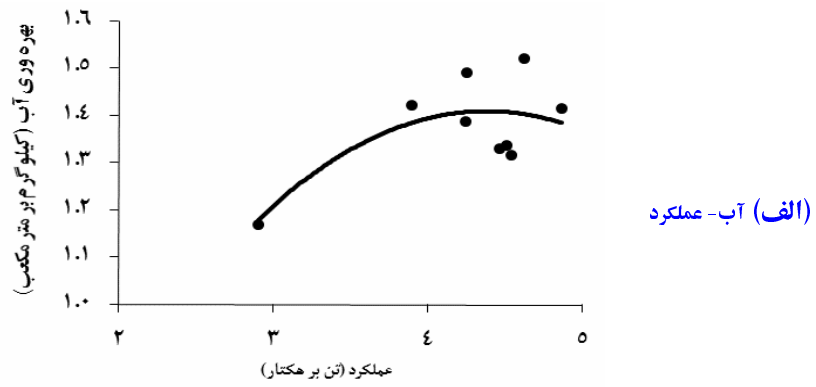
### بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

مقادیر بهینه و انتخاب گزینه مناسب نیاز به برآورد مقادیر آستانه‌ای که در شکل ۴ نشان داده شده با استفاده از روابط آب - عملکرد؛ آب - بهره‌وری آب و عملکرد - بهره‌وری آب برای گیاهان راهبردی هر منطقه است. با داشتن این روابط می‌توان تشخیص داد که در چه عمقی از آب آبیاری عملکرد حداکثر (آبیاری کامل) و در چه عمقی از آب آبیاری (بهترین بهره‌وری آب) و همچنین بهترین عملکرد مطابق با بهترین بهره‌وری آب قابل دریافت است. برای شرح بیشتر موضوع نتایج چند کار پژوهشی به عنوان مثال آورده می‌شود.

#### - مثالی از گندم

شکل ۱۰ سه رابطه ذکر شده برای گندم یعنی رابطه آب-عملکرد، آب-بهره‌وری و عملکرد-بهره‌وری را نشان می‌دهد. نتایج بیان می‌کند که تا چه حدی از مصرف آب، بهره‌وری می‌تواند افزایش یابد. در نتیجه از کاربرد بیشتر آب، اگرچه ممکن است به عملکرد بیشتر هم منجر شود، باید اجتناب کرد و در نتیجه از این آب اضافی برای زمین‌های زراعی دیگر استفاده کرد تا تولید کل در منطقه افزایش یابد. واضح است که کشاورزان به طور طبیعی گزینه آبیاری بیشتر - عملکرد بیشتر را می‌پسندند، ولی در شرایط کم‌آبی تخصیص منابع آبی و همچنین برنامه‌ریزی آبیاری باید بر اساس آبیاری کمتر - بهره‌وری بیشتر مدیریت شود. به طور مثال عملکرد گندم در مقابل مقدار آب معادل ۳۴۰ میلی‌متر حداکثر است (حدود ۴/۵ تن). ولی رابطه بین آب - بهره‌وری نشان می‌دهد که بالاترین بهره‌وری در مقابل ۳۰۰ میلی‌متر آب حاصل شده است. به عبارت دیگر اگر گندم ۳۴۰ میلی‌متر آب دریافت کند بهره‌وری آب از حداکثر که ۱/۴۷ بود به ۱/۳۵ کیلوگرم در هر متر مکعب آب کاهش می‌یابد.

بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن



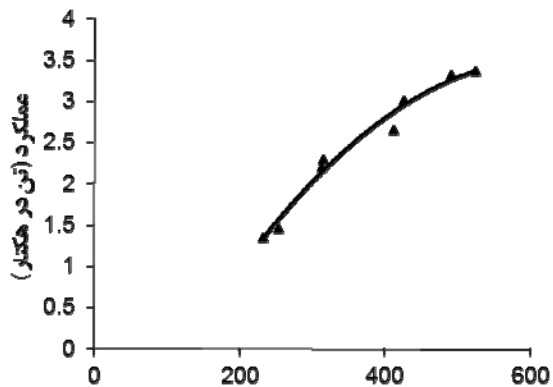
شکل ۱۱- (الف) رابطه آب-عملکرد، (ب) آب- بهره‌وری (ج) عملکرد- بهره‌وری (مثالی از گندم)

### بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

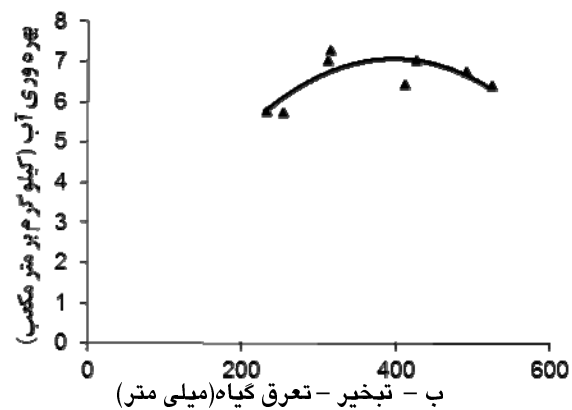
ملاحظه می‌شود که در مقابل ۳۰۰ میلی‌متر آب عملکرد گندم در حدود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌یابد (در شکل ۱۱ عملکرد گندم در مقابل ۳۰۰ میلی‌متر آب معادل ۴/۳ تن در هکتار است). در همین شکل رابطه بین عملکرد - بهره‌وری آب نشان می‌دهد که بهترین عملکرد در مقابل بالاترین بهره‌وری آب در حدود ۴/۱ تن در هکتار است.

### - مثالی از سویا

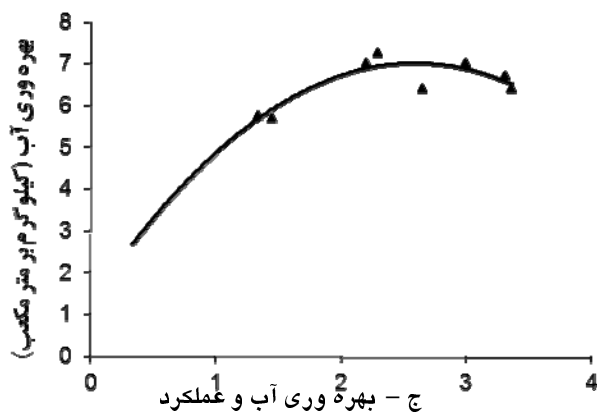
نمونه‌ای دیگر از بهینه‌سازی مقادیر آب با عملکرد برای یک گیاه تابستانه مانند سویا در شکل ۱۲ نشان داده شده است. به‌طور کلی مناطقی که آب به اندازه کافی ندارند، نباید به دنبال تولید بیشتر با مصرف هر مقدار آب بود. نتایج برای گیاه سویا نیز حکایت از این مطلب دارد که حداکثر عملکرد با حداکثر کارایی مصرف آب مطابقت ندارد. به‌طور مثال سویا با مصرف در حدود ۵۵۰ میلی‌متر آب به بالاترین عملکرد یعنی ۳/۵ تن در هکتار ولی با مقدار مصرف حدود ۴۰۰ میلی‌متر به بالاترین کارایی مصرف آب می‌رسد. به دلیل کمبود منابع آبی بهترین عملکرد سویا برای دستیابی به بالاترین بهره‌وری مصرف آب در حدود ۲/۵ تن در هکتار است. به عبارت دیگر به جای مصرف ۵۵۰ میلی‌متر آب و دریافت ۳/۵ تن سویا در هر هکتار بهتر است مصرف آب را به ۴۰۰ میلی‌متر کاهش یابد و در این شرایط عملکرد هم به جای ۳/۵ تن به ۲/۵ تن کاهش می‌یابد. این گونه نتایج گامی در جهت پایداری تولید است و از افزایش تولید به هر قیمتی که با شیب تند به سمت ناپایداری حرکت خواهد کرد، پرهیز می‌کند.



الف - تبخیر - تعرق گیاه (میلی متر)



ب - تبخیر - تعرق گیاه (میلی متر)



ج - بهره‌وری آب و عملکرد

شکل ۱۲- رابطه تبخیر و تعرق - عملکرد، تبخیر و تعرق - بهره‌وری آب و عملکرد - بهره‌وری (مثالی از سویا)

**۴-۱-۵- استفاده از آب‌های شور**

یکی از راهکارهای عملی برای افزایش بهره‌وری آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک در سطح حوضه، بازچرخانی آب در داخل حوضه و استفاده مجدد از آب‌های برگشتی است. شناسایی واکنش گیاهان نسبت به شوری‌های ایجاد شده در خاک کمک شایانی در مدیریت پایدار استفاده از آب شور در کشاورزی است.

**پتانسیل‌های استفاده از آب شور**

هم اکنون تجارب زیادی در استفاده موفقیت آمیز از آب‌های شور در کشاورزی وجود دارد. فرصت‌های مهمی که در کشور برای استفاده از منابع آب شور به عنوان یک منبع آب آبیاری وجود دارد عبارتند از: زهکش‌ها، پساب‌های کشاورزی و صنعتی، آب‌های زیرزمینی عمیق شور، دریا، بارش‌های پاییزه و زمستانه.

مصرف آب‌های شور زهکش‌ها که از نظر معیارهای کیفی جزء آب‌های غیر قابل مصرف در کشاورزی محسوب می‌شوند، تأثیر مثبت و تعیین کننده‌ای در افزایش تولید دارد. بنابراین با کاربرد این نوع آب‌ها به خصوص برای گیاهان زمستانه از فشار بر منابع آب شیرین کاسته شده و با کاربرد آب صرفه‌جویی شده در اراضی جدید و افزایش سطح زیر کشت، امکان افزایش تولید به وجود خواهد آمد.

شوری آب آبیاری یک مشکل لاینحل نیست. به طور طبیعی شوری آب، بیشتر محصولات تابستانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ در حالیکه، گیاهان زمستانی بسته به میزان بارندگی و سطح شوری اولیه خاک در فصل پاییز واکنش مناسبتری نسبت به شوری آب آبیاری دارند. شرایط فوق در بسیاری از مناطق ایران حاکم است. مراحل اولیه رشد

(حساس به شوری) گیاهانی نظیر گندم، جو و کلزا عموماً مطابق با ریزش‌های جوی بوده و نیاز آبی با باران مرتفع می‌شود. آبیاری تکمیلی در مراحل از رشد صورت می‌گیرد که گیاهان فوق به شوری مقاومتر می‌شوند. در نتیجه این امکان وجود خواهد داشت که از مرحله خوشه‌دهی به بعد (مقاوم به شوری) از آبهای با شوری بالاتر از آستانه‌های مورد پذیرش گیاهان فوق استفاده مفید برده شود. ضمن اینکه معیارهای کیفی موجود برای آبیاری گندم در شرایط اقلیمی کشور غیرکاربردی و مورد تردید است.

### ضرورت بازتعریف معیارهای موجود شوری

یکی از نکات ضروری بازنگری تعریف شوری آب و خاک برای محصولات مختلف در اقلیم‌های مختلف کشور است تا بتوان از آب‌های شور در برنامه‌ریزی آبیاری به نحو مطلوبی استفاده کرد. به عنوان نمونه جدول (۴) بر اساس تجربیات استفاده از آب شور در تولید گندم که راهنمای مناسبی برای کاربرد آب شور در اقلیم‌های مختلف و مراحل رشد گندم است، ارائه شده است. گندم در مراحل رشد نسبت به شوری واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهد، به این صورت که در ابتدای رشد نسبت به شوری حساس‌تر و با افزایش دوره رشد نسبت به شوری مقاومتر می‌شود. در نتیجه برای حصول به تولید پایدار، بهتر است در اوایل رشد از آب غیرشور استفاده شود و به تدریج در طول دوره رشد گندم می‌توان شوری آب را نیز افزایش داد.

جدول ۴- حد شوری آب (دسی‌زیمنس بر متر) برای آبیاری گندم در مراحل مختلف رشد و

اقلیم‌های مختلف کشور

بافت خاک	مرحله رشد	میزان بارندگی سالانه (میلی‌متر)		
		>۵۰۰	۳۰۰-۵۰۰	۱۰۰-۳۰۰
سبک	جوانه زنی	۳	۳	۳
	خوشه‌دهی	۱۲	۱۰	۸
	گلدهی	۱۵	۱۳	۱۱
متوسط	جوانه زنی	۳	۳	۳
	خوشه‌دهی	۱۱	۹	۷
	گلدهی	۱۴	۱۲	۱۰
سنگین	جوانه زنی	۳	۳	۳
	خوشه‌دهی	۱۰	۸	۶
	گلدهی	۱۱	۱۰	۸

### روش‌های عملی استفاده از آب شور

تجربیات بشری در مواجهه با مسائل شوری منابع آب و خاک دستاوردهایی ارزشمند را ایجاد کرده است. اقداماتی همانند زهکشی سطحی و زیرزمینی اراضی، اختلاط منابع آب شیرین و شور، کاربرد متناوب آب شور-شیرین، کم‌آبیاری و بهبود کارایی مصرف آب، تغییر نظام کشت و روشهای آبیاری، آگاهی بخشی به زارعان در رابطه با تبعات اقتصادی، زیست محیطی شوری، ترویج یافته‌های نوین علمی به ویژه ارقام مقاوم و سازگار



با شوری، پرداخت یارانه به زارعان برای جلب مشارکت آنها در طرح‌های عمرانی زیربنایی نمونه‌هایی عملی از این راهکارها به شمار می‌روند. به طور کلی عملیات مدیریتی برای استفاده صحیح از آب شور برای آبیاری عبارتند از:

- اختلاط آب‌های شور - غیرشور و کاربرد تناوبی آب شور-غیرشور
- انتخاب گیاهان یا وارته‌های گیاهی که بتوانند عملکرد رضایت بخشی تحت شرایط شوری یا قلیایی موجود یا شرایطی که در آینده به آن منتهی می‌شود تولید کنند.
- روش‌های مخصوص کاشت، که تجمع نمک را در مجاورت بذر، کمینه کند.
- آبتشویی متناوب خاک جهت حفظ مناسب رطوبت خاک انجام و آبیاری شود.
- زمین جهت افزایش یکنواختی توزیع آب و نفوذپذیری، آبتشویی و انتقال شوری آماده شود.

- آب به مقدار صحیح و در زمان لازم به مزرعه تحویل داده شود.
  - روش‌های مخصوص (خاک ورزی و اصلاحات شیمیایی خاک، مواد آلی و رشد گیاهان به عنوان کود سبز) برای حفظ نفوذ پذیری خاک تحت کشت اجرا شود.
- آنچه در مدیریت شوری آب و خاک مهم است، اقتصادی بودن و پایداری راهکارهاست. غالب بهره‌برداران اراضی شور از توانایی پس انداز و سرمایه‌گذاری برخوردار نیستند. لذا اعمال سیاست‌های حمایتی به ویژه اعطاء یارانه در پروژه‌های عمرانی و زیربنایی و فراهم‌سازی بسترهای مناسب فرهنگی و اجتماعی برای جلب مشارکت و همیاری بهره‌برداران ضرورتی اساسی است. استفاده مجدد از زه آب یک روش مهم و طبیعی در مدیریت زه آب است. استفاده مجدد از زه آب باید هم از لحاظ اثرات محیطی و هم غیرمحیطی برای کوتاه مدت و دراز مدت مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. در مناطق

### بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

با منابع آبیاری محدود، از زه‌آب می‌توان به عنوان مکمل استفاده کرد. در هر حال کیفیت آب زه‌کشی است که تعیین می‌کند چه محصولاتی را می‌توان آبیاری کرد. از زه‌آب‌های به شدت شور نمی‌توان برای آبیاری محصولات حساس به شوری استفاده کرد اما برای آبیاری شوریست‌ها و درختان مقاوم در برابر شوری می‌تواند استفاده شود. استفاده مجدد از آب برای محصولات کشاورزی، انگیزه‌های اقتصادی بارزی را دارد و محصولات شناخته شده بسیاری وجود دارند که در برابر نمک مقاومند. با این حال با افزایش شوری آب آبیاری، نظارت و مدیریت آبیاری و انجام آزمایش‌های مربوط به زه‌آب و بررسی پایداری سیستم از ضروریات است. اگر خصوصیات آب، خاک و گیاهان مورد نظر شناسایی و از لحاظ اقتصادی مدیریت شده باشند با اطمینان خاطر امکان استفاده دوباره از زه‌آبهای کشاورزی وجود دارد. در مورد آبهای با کیفیت پائین، لازم است فرآورده‌های کشاورزی مقاوم در برابر نمک انتخاب شوند و اصلاحاتی در سیستم مدیریت آب و حفظ ساختمان و نفوذپذیری خاک به وجود آید. راهکارهای تناوبی برای استفاده از آبهایی با شوری‌های مختلف پیشنهاد شده است و نشان داده شده که آبیاری تناوبی را می‌توان به طور موفقیت‌آمیزی برای محصولات در طی مراحل مختلف رشد به کاربرد و یا این که می‌توان با تناوب بین محصول مقاوم و حساس از آن استفاده کرد. مخلوط کردن با صرفه‌ترین و قابل قبولترین روش زیست محیطی دفع زه‌آب است. این راهکار با گذشت زمان می‌تواند بالقوه باعث افزایش شوری آب زیرزمینی شود. اغلب بهترین راهکار، جدا کردن آبهای با کیفیت مختلف است.

کاربرد روشهای فیزیکی و سازه‌ای برای تأمین آب و حل مشکلات شوری و زهکشی، با روش‌هایی که تاکنون متداول بوده است در آینده با محدودیت روبرو خواهد بود.

ملاحظات زیست محیطی امکان اجرای پروژه‌های تأمین آب را در بعضی مناطق محدود می‌سازد و فراتر از آن، امکان تخلیه زهاب‌های کشاورزی را کاهش می‌دهد. تنگناهای مالی نیز قابلیت‌ها و امکانات اجرای پروژه‌های جدید برای تأمین منابع آب را محدود می‌سازد. افزون بر آن رقابت فزاینده برای استفاده از منابع کمیاب آب شیرین برای مصارف شهری و صنعتی، انگیزه بهره‌برداران کشاورزی را برای استفاده از آب‌های شور تقویت می‌کند. یکی از منابع نامحدود آبی در جهان آب دریاها و اقیانوس‌هاست. امروزه فناوری تولید آب شیرین از آب شور دریا وجود دارد و در دنیا از جمله در ایران این فناوری در حال استفاده است. هزینه تولید آب شیرین از آب دریا با فناوری‌های موجود به‌طور متوسط معادل ۱۷۰۰۰ ریال به ازای هر مترمکعب آب است که برای تولید در بخش کشاورزی غیراقتصادی است. اگرچه بررسی روند تاریخی هزینه‌های شیرین کردن آب شور دریا نسبت به ۲۰ سال گذشته در حدود ۱۰ درصد کاهش یافته است و آینده نویدبخشی در این فن‌آوری پیش روی بشر است، ولی در حال حاضر تنها برای آب شرب قابلیت استفاده دارد.

### **مثال کاربردی از سودمندی استفاده از آب شور**

در مزرعه‌ای به دلیل کمبود آب غیر شور، کشاورز قصد دارد از آب شور زهکش منطقه با شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر برای برنامه‌ریزی آبیاری گندم به منظور ذخیره آب غیر شور و افزایش سطح اراضی فاریاب و تولید کل استفاده کند. شوری آب کانال حدود یک دسی‌زیمنس بر متر است. عملکرد در سالهای قبل با آب کانال حدود ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. زارع بر اساس یافته‌های محققان دریافته است که آب آبیاری تا شوری هفت دسی‌زیمنس بر متر بر عملکرد بی‌تأثیر و شوری ۸/۵، ۱۰/۵ و ۱۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر به

## بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

ترتیب ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد نسبت به پتانسیل کاهش عملکرد دارد. بر اساس یافته فوق جدول ۵ را تنظیم کرده و با توجه به اینکه در اکثر نقاط کم‌آب ایران، زمین زراعی برای کشت وجود دارد اما محدودیت آب مانع افزایش سطح زیر کشت می‌شود. در این جدول میزان مساحت قابل افزایش و همچنین عملکرد هر یک به تفکیک محاسبه شده است. اگرچه امکان استفاده از آبهای شور در برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان بسادگی وجود دارد، ولی برای حفظ پایداری تولید نیاز، پس از چند سال استفاده مداوم از آب شور با بررسی تجمع شوری در نیمرخ خاک برنامه‌ریزی لازم برای اعمال آبتوی به خصوص در اوایل رشد گیاهان ضروری است. در نتیجه در برنامه‌ریزی طولانی مدت احداث سیستم زهکشی به منظور خروج املاح از نیمرخ خاک ضروری است. با توجه به اهمیت مسائل شوری و زهکشی ارائه راهکارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی برای مقابله با آثار نامطلوب پدیده مذکور باید مد نظر برنامه‌ریزان و سیاستگذاران بخش کشاورزی قرار گیرد.

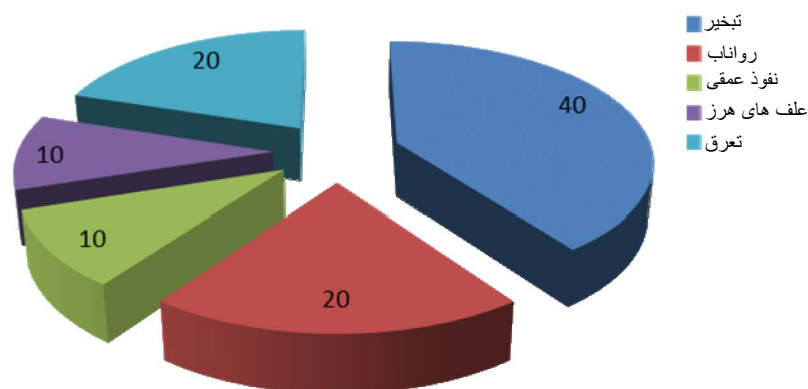
## جدول ۵- مزیت نسبت‌های مختلف اختلاط آب کانال (غیرشور) و آب زهکش

(دسی‌زیمنس بر متر)

درصد استفاده از آب کانال زهکش	شوری آب مخلوط (دسی‌زیمنس بر متر)	درصد ذخیره شده آب کانال	درصد افزایش زمین تحت آبیاری	ضریب افزایش عملکرد	تولید (کیلوگرم)	یک هکتار مساحت جدید
۰	۱	۰	۰	۰	۴۰۰۰	۴۰۰۰
۲۰	۴/۸	۲۰	۵	۱/۰۵	۴۲۰۰	۴۰۰۰
۳۰	۶/۷	۳۰	۱۳	۱/۱۳	۴۵۲۰	۴۰۰۰
۴۰	۸/۶	۴۰	۶۷	۱/۶۷	۶۳۴۶	۳۸۰۰
۵۰	۱۰/۵	۵۰	۱۰۰	۲	۷۲۰۰	۳۶۰۰
۶۰	۱۲/۴	۶۰	۱۵۰	۲/۵	۸۵۰۰	۳۴۰۰

## ۴-۱-۶- کاهش تبخیر و مدیریت آب سبز

به طور کلی برای تأمین آب مورد نیاز گیاه که از طریق آبیاری صورت می‌گیرد، آب در مسیرهای مختلفی از جمله، تبخیر، رواناب، تلفات نفوذ عمقی، مصرف علف‌های هرز و تعرق مصرف می‌شود. از مجموع آب کاربردی تنها حدود ۲۰ درصد آن در اثر تعرق گیاهی مصرف می‌شود و بقیه مصارف جزء، مصرف غیرمفید برای گیاه محسوب می‌شوند (شکل ۱۳). بنابراین ملاحظه می‌شود که بخش قابل توجهی از آب از سطح خاک تبخیر شده که اصلاً در تولید نقشی ندارد و بخشی کمی از آن به وسیله گیاه از طریق تعرق مصرف شده که نقش اساسی در تولید گیاه بازی می‌کند.



شکل ۱۳- سهم مصرف آب، در مسیرهای مختلف از مجموع آب کاربردی برای گیاه

کاهش سهم تبخیر از مجموع تبخیر- تعرق گیاه منجر به بالارفتن نقطه پژمردگی می‌شود. مقدار تبخیر بسته به اقلیم، خاک، آسمان گیاه و درصد سایه‌اندازی روی خاک و عملیات خاک‌ورزی متفاوت است. به طوری که از ۴ تا ۲۰ درصد در روش آبیاری بارانی و تا ۴۰ درصد و بیشتر از آن در کشاورزی دیم در نوسان است. تبخیر در اراضی دیم در

### بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

صورتی که گیاه پوشش کافی را نداشته باشد، ممکن است سهم زیادی از مجموع تبخیر و تعرق را به خود اختصاص دهد. میزان تبخیر در روش‌های آبیاری تحت فشار (بارانی و قطره‌ای) لزوماً نسبت به روش‌های آبیاری سطحی که خوب اجرا شده باشند، کمتر نیست. باید تلاش شود که از مجموع تبخیر و تعرق، سهم تعرق را افزایش و سهم تبخیر را کاهش داد. به عنوان مثال کم‌خاک‌ورزی، حفظ بقایای گیاهی در زمان کاشت شکل ۱۴، مالچ‌پاشی و یا اصلاح نبات با هدف توسعه سریع برگ برای پوشش سطح خاک عوامل کاهش تبخیر و در نتیجه افزایش بهره‌وری آب هستند.

استفاده از آب زیرزمینی در مقایسه با آب سطحی که از سدها و دیگر منابع ذخیره‌ای روباز استفاده می‌کنند، تبخیر کمتری دارد. مثلاً در یک حوضه در کشور مکزیک سالانه به طور میانگین  $1/8$  کیلومتر مکعب آب از سطح زمین تبخیر می‌شود و این مقدار آب معادل ۵۴ درصد آبی است که برای آبیاری استفاده می‌شود و برابر ۳۸ درصد از رواناب حوضه را تشکیل می‌دهد. در مناطق خشک تا ۹۰ درصد بارندگی تبخیر می‌شود و تنها ۱۰ درصد در تعرق نقش دارند. در ایران نیز ۷۰ درصد نزولات تبخیر می‌شوند و از دسترس گیاه خارج می‌شوند. با روش‌های حفظ و استحصال آب می‌توان از این حجم زیاد نزولات برای استفاده گیاهان و حیوانات قبل از تبخیر به منظور افزایش دسترسی به آب باران و افزایش تعرق تا حد ۲۰ تا ۵۰ درصد استفاده مفید برد.



شکل ۱۴- حفظ بقایای گیاهی مانع از تبخیر آب از سطح خاک می‌شود.

انواع آب به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند:

۱- آب آبی (آب رودخانه‌ها، پشت سدها، داخل لوله‌ها)

۲- آب سبز (رطوبت موجود در خاک‌ها)

۳- آب خاکستری (پساب‌ها، آب شور)

آب آبی تأمین کننده حدود ۱۵ درصد تولید، ولی آب سبز تأمین کننده حدود ۸۵ تولیدات کشاورزی در جهان است. بنابراین مدیریت اراضی دیم که آب سبز در آن نهفته است، بسیار اهمیت دارد. دو راه اصلی برای افزایش بهره‌وری آب در اراضی دیم یا مدیریت آب سبز عبارتند از:

۱- افزایش ظرفیت جذب آب توسط گیاه

۲- افزایش قابلیت دسترسی به آب توسط گیاه.

اگرچه راهبردهای اشاره شده روی آب تمرکز دارند، ولی روش‌ها و عملیات دستیابی به آنها لزوماً به مدیریت آب اختصاص ندارد. ظرفیت جذب آب توسط گیاه در مقیاس

### بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

وسیع می‌تواند با استفاده از بهبود مدیریت گیاهی و خاک حاصل شود. مثلاً عملیات مربوط به مدیریت خاک شامل خاک‌ورزی، تناوب، خاکپوش مواد آلی و معدنی، عملیات مربوط به مدیریت گیاهی شامل انتخاب نوع گیاه، کشت مخلوط، تناوب، زمان‌بندی عملیات اصلاح ژنتیکی گیاه و مدیریت آفات است. در نهایت هدف از این راهبرد (افزایش ظرفیت جذب آب توسط گیاه) افزایش عمق و توسعه ریشه گیاه و بهبود آسمانه گیاه و عملکرد است. عملیاتی مانند خاک‌ورزی، تناوب، مالچ و استفاده از کودهای آلی موجب بهبود ساختمان خاک و در نتیجه رشد ریشه می‌شوند. دو عامل مهم در افزایش قابلیت دسترسی به آب توسط گیاه مدیریت خاک و مدیریت آب است. مدیریت خاک شامل مدیریت حاصلخیزی خاک (کودهای آلی و معدنی) که لازمه رشد گیاه است، خاک‌ورزی که باعث افزایش ظرفیت نفوذ آب و بهبود ساختمان خاک می‌شود و عملیات حفاظت آب و خاک است که توانایی نفوذ باران را در خاک افزایش می‌دهد. این عملیات همراه با تناوب، خاکپوش و مدیریت مواد آلی عامل افزایش قابلیت دسترسی به آب توسط گیاه می‌شوند. مدیریت آب مانند حفظ و نگهداری آب قادر است شرایط خشکی را تعدیل کند.

گندم زمستانه در فصل سرد سال رشد کرده و عمده دوران رشد آن منطبق با ریزش‌های جوی در کشور است. گندم علاوه بر اینکه یک گیاه راهبردی بسیار مهم برای کشور است، جزء مهمترین گیاهانی است که از آب سبز (رطوبت موجود در خاک) بیشترین استفاده را می‌کند. از آنجا که گندم در کشور مساحت زیادی را به خود اختصاص داده است، حجم قابل توجهی از منابع آبی را نیز مصرف می‌کند و پتانسیل زیادی برای صرفه‌جویی در مصرف آب و در نتیجه افزایش بهره‌وری آب دارد.



**مثالی از مقایسه بهره‌وری بارش و آب آبیاری در گندم**

در اکثر نقاط کشور آبیاری گندم به صورت آبیاری تکمیلی صورت می‌گیرد. ولی با توجه به اختلاف اقلیمی مناطق مختلف، سهم بارش در تأمین نیاز آبی گیاه نیز متفاوت است. غیر قابل کنترل بودن عوامل اقلیمی، مدیریت آبیاری گندم را به خصوص در مناطق مرطوب‌تر با مشکل جدی مواجه کرده‌است. به همین دلیل در این مناطق ضمن اینکه عملکرد گندم، در اکثر موارد به بیشینه مقدار خود نمی‌رسد، تولید نیز از پایداری لازم برخوردار نیست. به عنوان نمونه بررسی عملکردهای گندم در شرایط گرم و مرطوب استان گلستان طی چهار سال نشان داده است که امکان تولید اقتصادی بدون آبیاری وجود دارد ولی مقدار تولید نوسان داشته و در اثر تغییرات اقلیمی دستخوش حوادث متفاوتی خواهد شد. در این پژوهش ارقام آبی گندم در مجاورت هم کاشته شده و برخی از آنها به صورت تکمیلی آبیاری شدند تا آب مورد نیاز آنها تأمین شود و برخی به صورت دیم در نظر گرفته شدند و آبیاری نشدند. جدول ۶ برنامه آبیاری و تغییرات عملکرد گندم آبی و دیم را در طی چهار سال مورد بررسی قراردادده و در شرایط متفاوت سهم باران در میزان آب مصرفی گیاه را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که اگرچه آبیاری تکمیلی منجر به افزایش عملکرد شده است، ولی اثر بخشی لازم در ارتقاء بهره‌وری آب را در تمام سال‌ها نداشته است. در سه سال متوالی بهره‌وری بارش بیش از بهره‌وری آب آبیاری بوده و تنها در سال چهارم آبیاری تکمیلی منجر به افزایش بهره‌وری آب شده‌است. در واقع در شرایط مشابه که بخش قابل توجهی از نیاز آبی گیاهان زمستانه توسط باران تأمین می‌شود (جدول ۴)، آبیاری این گیاهان اگرچه باعث افزایش عملکرد در واحد سطح می‌شود، ولی منجر به افزایش بهره‌وری آب نمی‌شود، به دلیل اینکه افزایش تولید به ازای افزایش مصرف آب در

### بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

حدی نیست که منجر به افزایش بهره‌وری آب شود. به عبارت دیگر از نظر بهره‌وری آب، بهتر است آبیاری تنها در شرایط بحرانی کمبود آب (دوران رشد زایشی) صورت گیرد و مقدار آب صرفه‌جویی شده را یا در مناطق کم‌آب یا برای کشت تابستانه جهت افزایش تولید کل، استفاده کرد.

#### جدول ۶- برنامه آبیاری و مقایسه عملکرد گندم آبی در طی چهار سال مطالعه در شرایط

##### متفاوت ریزش باران

سال	زمان‌های آبیاری	عمق آب (میلی‌متر)	عمق بارش فصلی (میلی‌متر)	درصد باران	درصد آبیاری	عملکرد آبی (کیلوگرم بر هکتار)	عملکرد دیم (کیلوگرم بر هکتار)	درصد افزایش عملکرد آبی نسبت به دیم
۸۶-۸۷	۸۷/۱/۷	۴۵						
	۸۷/۱/۲۴	۵۵	۱۸۰	۴۰	۶۰	۵۱۲۷	۳۰۲۸	۶۹
	۸۷/۲/۷	۹۰						
	۸۷/۲/۲۱	۹۰						
۸۷-۸۸	۸۸/۲/۱	۳۰	۲۲۰	۷۵	۲۵	۴۱۸۷	۲۹۲۴	۶
	۸۸/۲/۲۱	۴۰						
۸۸-۸۹	۸۹/۱/۲۸	۴۰	۲۵۵	۷۴	۲۶	۴۲۴۹	۳۵۲۴	۲۱
	۸۹/۲/۱۵	۵۰						
۸۹-۹۰	۹۰/۱/۱۸	۳۰						
	۹۰/۲/۱	۴۰	۲۷۵	۶۹	۳۱	۵۷۲۲	۳۰۴۴	۸۸
	۹۰/۲/۱۸	۵۰						

به طور مثال در سال اول، اگرچه انجام آبیاری در بعضی از شرایط رشد گیاه منجر به افزایش قابل توجه در عملکرد شد، به طوریکه نتایج حکایت از افزایش ۶۹ درصد عملکرد

گندم آبی به گندم دیم دارد، ولی ملاحظه شد بهره‌وری آب در شرایط آبی نسبت به دیم کاهش یافت. طبیعی است در مناطقی که بارندگی مناسب باشد، نسبت به مناطق خشک‌تر اثر آبیاری در افزایش بهره‌وری آب نقش موثری ندارد. ولی آبیاری تکمیلی برای مناطقی که خشک باشد، هم در عملکرد و هم در بهره‌وری آب نقش برجسته‌ای دارد. این نکته قابل پذیرش است که با انجام آبیاری به طور کلی می‌توان عملکرد را در سطح مزرعه (مقیاس مزرعه‌ای) افزایش داد و به مقادیر پتانسیل نزدیک کرد، اما این راهبرد مدیریتی مناطق کم‌آب نیست. به دلیل اینکه ارزش افزوده مقدار آب مصرف شده برای رساندن عملکرد به پتانسیل در مناطق مرطوب‌تر بسیار پایین‌تر از ارزش افزوده همان مقدار آب در مناطق خشک‌تر است. به عبارت دیگر ایده افزایش عملکرد در مناطق مرطوب با تامین کامل نیاز آبی گیاه ممکن است در مقیاس مزرعه‌ای درست باشد، ولی به طور یقین در مقیاس منطقه‌ای راهبرد ناموفقی است.

#### ۴-۱-۷- توسعه کشت‌های گلخانه‌ای

کاهش سهم زمین‌های زراعی و به خصوص کمبود منابع آبی، توسعه افقی برای تولید نیازهای غذایی بشر کنونی را مواجه با چالش جدی کرده‌است. به همین دلیل کشاورزی در محیط‌های کنترل شده مانند گلخانه‌ها امروزه در دنیا با هدف افزایش بهره‌وری آب به سرعت در حال توسعه است (شکل ۱۵). به طور کلی می‌توان مزایای استفاده از کشت‌های گلخانه‌ای را به شرح زیر خلاصه کرد:

- افزایش بهره‌وری آب، با افزایش عملکرد در واحد سطح و کاهش تلفات آب

- استفاده از حداقل زمین و کاهش رشد فیزیکی و افقی اراضی

### بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

- افزایش ارزش تجاری محصولات با تولید آنها در خارج از فصل
  - قابلیت کنترل دقیق فضای گلخانه و کاهش خطرپذیری تولید در اثر عوامل غیرقابل کنترل اقلیمی
  - افزایش سلامت محیط زیست با کاهش مصرف مواد شیمیایی و سموم
  - قابلیت کشت در محیط بدون خاک
  - ایجاد اشتغال به خصوص برای حجم عظیمی از فارغ‌التحصیلان بخش کشاورزی
  - شیرین کردن آب شور دریا
- کشت در محیط گلخانه‌ها هم باعث افزایش عملکرد در واحد زراعی شده و هم به مقدار قابل توجهی از تلفات آب را کم می‌کند. در نتیجه، تغییرات ایجاد شده در دو عامل اصلی بهره‌وری آب (افزایش تولید و کاهش مقدار آب) در جهتی است که منجر به ارتقاء این شاخص می‌شود. بنابراین اگر آب یک عامل کلیدی در تولید محسوب می‌شود (که البته چنین است) و مقدار آن به دلایل مختلف از جمله (عدم بهره‌وری مناسب در بخش کشاورزی و مهمتر از آن تغییرات اقلیمی)، کفایت زمین‌های زراعی را نمی‌کند و هر روز هم بر وسعت بحران کم‌آبی اضافه می‌شود بنابراین کشت‌های گلخانه‌ای و سرمایه‌گذاری در این صنعت گزینه بسیار مناسب برای افزایش تولید و تعدیل شرایط خشکسالی است.



شکل ۱۵ - نمایی از تولید محصول در گلخانه

#### ۴-۲- افزایش تولید در واحد آب مصرفی (مدیریت تولید)

مدیریت تولید به همه فعالیت‌های زراعی اطلاق می‌شود که منجر به افزایش تولید شوند. در محیط‌هایی که با مشکل کمبود آب مواجه هستند، بخشی از بهبود تولید محصول به دلیل بهبود ویژگی‌های گیاهان و بخشی دیگر به دلیل بهبود شرایط مدیریتی و زراعی است. در حقیقت در این شرایط این دو فرایند باعث تکمیل همدیگر می‌شوند. بخشی از این فعالیت‌های زراعی عبارتند از:

- اصلاح ارقام مقاوم به خشکی
- کاهش دوره رشد گیاه
- افزایش شاخص برداشت
- تناوب زراعی
- افزایش عمق و تراکم ریشه با قابلیت نفوذ در خاکهای سخت
- کاربرد روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به منظور استفاده کاراتر از رطوبت موجود در خاک، آب آبیاری و باران
- تغییر و اصلاح الگوی کشت بر مبنای بالاترین بهره‌وری
- کنترل آفات و بیماریها
- بهبود حاصلخیزی خاک

#### ۴-۲-۱- تولید ارقام مقاوم به خشکی

یکی از راه‌ها با هدف صرفه‌جویی آب، افزایش تحمل گیاهان زراعی به تنش‌های محیطی از قبیل گرما، سرما و به ویژه خشکی از طریق به‌نژادی و فناوری زیستی است. در شرایط بحرانی آب، تحمل به خشکی باید یک ویژگی اصلی وارپته‌های جدید باشد. اصلاح گیاهانی با نیاز آبی کمتر، گیاه را قادر خواهد کرد که با آب کمتر، عملکرد بیشتری بدهد (شکل ۱۶). از دهه ۱۹۶۰ تاکنون اصلاح گیاهان که باعث توسعه چشمگیر عملکرد محصولات کشاورزی شده است که از آن به عنوان انقلاب سبز یاد می‌کنند. آمار سازمان خواربار کشاورزی نشان می‌دهد که ۲۱ درصد از افزایش عملکرد در قرن اخیر مربوط به اقدامات اصلاح ارقام گیاهان بوده است. اصلاح ژنتیکی مداوم که هدف آن

تولید نسل‌های جدیدتری از رقم‌هاست، در تداوم منافع حاصل از عملکرد نقش مهمی داشته است. انتخاب رقم پرمحصول و مقاوم به تنش با بیشترین بهره‌وری آب، از مهمترین ابزارهای مدیریتی آب در مزرعه در مناطق خشک و نیمه خشک است. در اصلاح ارقام گیاهان سعی می‌شود که خصوصیات گیاه به گونه‌ای تغییر داده شود که نسبت به کمبود آب و عوامل محیطی مقاوم شده و کاهش محصولی از خود نشان ندهند.



شکل ۱۶- مقایسه بین رشد گیاه با رقم اصلاح شده (سمت چپ) نسبت به ارقام بومی

از دوران انقلاب سبز تاکنون ارقام چند محصول مهم در جهان نسبت به خشکی اصلاح شده‌اند. به استناد آمار بانک جهانی در حدود ۹۰ درصد غذای مردم جهان تنها از تعدادی گیاه اصلی حاصل می‌شود. این گیاهان ۷۵ درصد سطح زیر کشت اراضی کل جهان را شامل می‌شوند (جدول ۷). محصولات گندم، جو، برنج، ذرت، سورگوم، ارزن و چاودار گیاهانی هستند که عمده انرژی غذایی و پروتئین انسان را فراهم می‌کنند. همچنین این غلات به عنوان غذای غالب کشورهای توسعه یافته به شمار می‌رود و دو سوم کل کالری آنان را تأمین می‌کند. واضح است که بهبود ارقام این محصولات و اصلاح ژنتیک

## بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

آنان باعث افزایش محصول، افزایش کارایی مصرف آب، مواد غذایی و در نتیجه افزایش بهره‌وری آب می‌شود.

## جدول ۷- سطح زیر کشت و تولید گیاهان عمده تأمین کننده مواد غذایی انسان

(فائو، ۲۰۱۵)

نوع محصول	سطح زیر کشت (میلیون هکتار)	میزان تولید (میلیون تن)	درصد زیر کشت نسبت به غلات
گندم	۲۱۰	۵۷۰	۳۲
برنج	۱۴۷	۵۷۰	۲۲
ذرت	۱۳۹	۶۰۰	۲۱
جو	۵۲	۱۳۰	۸
سایر غلات	۱۱۰	۱۴۵	۱۷
جمع	۶۵۸	۲۰۱۵	۱۰۰

## ۴-۲-۲- کاهش دوره رشد گیاه

دوره رشد برخی از گیاهان به گونه‌ای است که بخشی از آن در فصل گرم سال رخ می‌دهد که در آن شدت تبخیر بسیار زیاد است. به طور مثال گندم زمستانه در استان گلستان در حدود آذر ماه کشت شده و در خرداد ماه برداشت می‌شود. از آنجایی که مقدار تبخیر در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد زیاد است تلفات تبخیر در این ماهها نیز قابل توجه است. در نتیجه استفاده از بذره‌ای اصلاح شده و دستیابی به رقم‌هایی که باعث می‌شوند، دوره رشد گندم به جای خرداد ماه به اردیبهشت یا فروردین محدود شود، باعث کاهش تلفات تبخیر و در نتیجه افزایش بهره‌وری آب می‌شود. از طرف دیگر کاهش دوره رشد گیاه باعث می‌شود که سطح سایه گستر گیاه سریعتر به مرحله کامل خود دست



پیدا کند و باعث کاهش تلفات تبخیر از سطح خاک مزرعه شود. زمانی که سطح سایه‌انداز گیاه کامل شود، سبب می‌شود که گیاه روی سطح خاک را پوشانده و بیشتر آب آبیاری صرف تعرق گیاه شود و سهم تبخیر از سطح خاک کاهش یابد. افزایش نسبت تعرق گیاه نسبت به تبخیر از سطح خاک باعث افزایش عملکرد گیاه و کاهش تلفات و در نتیجه افزایش بهره‌وری آب در مزرعه می‌شود.

#### ۴-۲-۳- افزایش شاخص برداشت

شاخص برداشت، قسمتی از تولیدات گیاهی را بیان می‌کند که به عنوان عملکرد مفید گیاه شناخته می‌شود. به طور مثال در تولید محصول گندم، شاخص برداشت، مقدار تولید دانه گندم را نسبت به کل تولیدات گیاه از جمله کاه و کلش نشان می‌دهد. متخصصان علوم زراعی با اصلاح بذر، دنبال یافتن رقمی هستند که بیشتر تولیدات گیاهی آن از قسمت‌هایی که مصرف مفید دارند حاصل شود (مثلا دانه گندم در مقابل کاه). با این کار شاخص برداشت افزایش پیدا می‌کند. افزایش شاخص برداشت باعث می‌شود که آب مورد استفاده بیشتر صرف تولید عملکرد مفید گیاه شود و در نتیجه بهره‌وری آب افزایش پیدا کند. عامل اصلی از این که کم آبیاری منجر به افزایش بهره‌وری آب در مقیاس مزرعه‌ای می‌شود، افزایش شاخص سطح برگ در شرایط کم آبیاری است. در شرایط کم آبیاری ضمن اینکه تبخیر از سطح خاک کاهش می‌یابد (کاهش آب کاربردی)، با کاهش بیوماس گیاه مربوط به قسمت سبزینه‌ای و افزایش سهم قسمت زایشی گیاه منجر به افزایش شاخص برداشت می‌شود.

## ۴-۲-۴- تناوب زراعی

یکی از گزینه‌های مؤثر در حفظ پایداری کشاورزی، انتخاب تناوب مناسب زراعی در یک منطقه است. اصلاح و حفظ حاصلخیزی خاک، جلوگیری از تخلیه عناصر غذایی و رطوبت از نیم‌رخ خاک، کنترل طغیان آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، تعدیل اثرات تنش‌های ناشی از شوری و کم‌آبی، تخصیص بهینه منابع آبی و تولید اقتصادی در اثر انتخاب مطلوب تناوب زراعی قابل حصول هستند. رعایت تناوب و تدوین الگوی بهینه کشت بر اساس منابع محدود (خصوصاً آب) مهمترین عملیاتی است که کشاورزان می‌توانند شرایط موجود را به نفع حفظ پایداری تولید تغییر دهند. بعضی از گیاهان پاییزه مانند ماش، عدس، کلزا ... دوره رشد کوتاهی دارند و زودتر از گندم برداشت می‌شوند و در نتیجه مقداری از رطوبت را برای کشت بعدی در خاک باقی می‌گذارند. نتایج بررسی نه ساله در منطقه تل‌هادیای سوریه نشان داده است که کشت نخود و عدس نسبت به شرایط آیش رطوبت بیشتری در خاک برای گیاهان بعدی ذخیره کرده است. حداکثر عملکرد گندم مربوط به تناوب با هندوانه و آیش و معادل ۲۳۹۰ کیلوگرم در هکتار و حداقل عملکرد گندم مربوط به تناوب گندم بعد از گندم و برابر با ۱۰۸۹ کیلوگرم در هکتار بود.

از تناوب، برای مدیریت مشکلات ناشی از آفاتی نظیر نماتدها، قارچ‌ها و حشرات خاکزی استفاده می‌شود. برای از بین بردن آفات و بیماری‌ها، گیاهان را طوری در تناوب هم قرار می‌دهند که آفات با میزبان مقاوم برخورد کرده و به تدریج به دلیل عدم توانایی استفاده از شرایط سخت ایجاد شده، از بین خواهند رفت و در نتیجه امکان انتقال به کشت بعدی نیز وجود نخواهد داشت. به طور کلی آفات برای ادامه و تکمیل حیات خود دارای چند مرحله زندگی به صورت پیوسته هستند. بنابراین آفات نیاز به میزبان دارند تا به صورت

حلقه‌های به هم پیوسته غذای مورد نیاز آنها را جهت تکمیل فرآیند زندگی تکمیل کنند. گیاهان زراعی و یا علف‌های هرز دارای نقش تعیین کننده‌ای به عنوان اتصال دهنده حلقه زندگی آنها هستند. تناوب باعث می شود تا عامل جدا کننده‌ای بین مراحل پیوسته زندگی آفات در طی مراحل رشد فراهم آید. مناسب‌ترین تناوب برای مدیریت آفات چند میزبان، تناوبی است که تنوع بین گیاهان زراعی در آن بیشتر باشد. رعایت اصول تناوب زراعی یکی از فناوری‌های مهم حفاظت کننده منابع به شمار می‌رود. نکاتی که در اعمال تناوب زراعی باید مورد توجه قرار گیرد عبارت است از:

- ارزش گیاه به عنوان محصول زراعی یا علوفه
- نوع خاک و اقلیم منطقه
- تأثیر گیاهان موجود در تناوب بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک
- حفاظت از عناصر غذایی
- کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها.

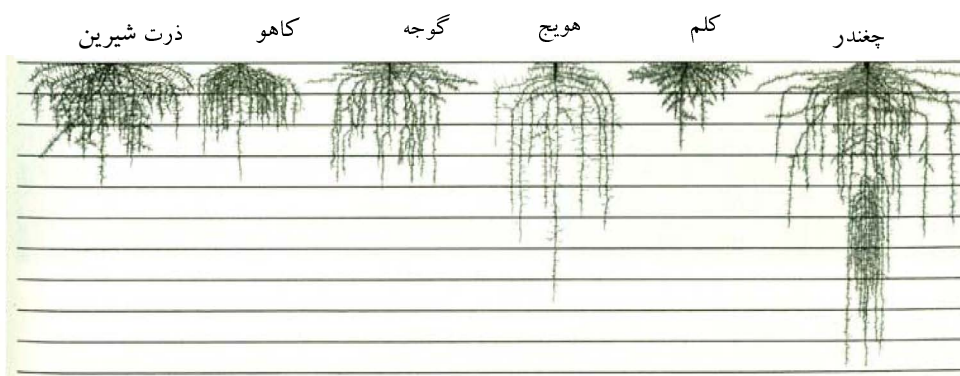
اگر یکی از گیاهان کشت شده در یک تناوب زراعی از نوع بقولات باشد می‌تواند برای دستیابی به عملکرد مطلوب در گیاهی که پس از آن در تناوب وارد می‌شود، نیتروژن کافی تولید کند و همچنین به عنوان یک علوفه با کیفیت بالا برای دام استفاده شود. مهمترین منفعتی که از کشت بقولات در یک تناوب زراعی حاصل می‌شود تثبیت زیستی نیتروژن و در نتیجه کاهش نیاز به کودهای شیمیایی است. تثبیت نیتروژن توسط بقولات در سیستم زراعی باعث افزایش عملکرد محصولات و در نتیجه بهره‌وری بیشتر آب در مزرعه می‌شود. به طور مثال آمار فائو نشان می‌دهد که در ۶۰ سال گذشته بیشتر افزایش عملکرد غلات در استرالیا مرهون نظام‌های تناوب زراعی دارای بقولات است. همچنین این گیاهان

### بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

موجب بهبود حاصلخیزی خاک، تثبیت مواد آلی خاک، نفوذ بهتر آب در خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب شده‌اند. سایر منافع آنان شامل کاهش فرسایش خاک و تولید چوب به عنوان سوخت و تأمین علوفه دام است.

#### ۴-۲-۵- افزایش عمق و تراکم ریشه

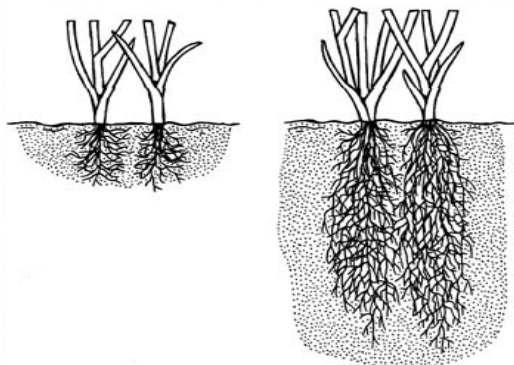
گیاهان و ارقام مختلف به دلیل تفاوت ژنتیکی، عمق ریشه دوانی متفاوتی دارند (شکل ۱۷). گیاهانی که ریشه عمیق دارند قادر هستند که آب و مواد غذایی را از عمق‌های بیشتر خاک جذب کنند. در نتیجه با افزایش عمق ریشه دوانی، گیاهان می‌توانند رطوبت و مواد غذایی موجود در اعماق خاک را جذب کرده و به مصرف برسانند.



شکل ۱۷- سیستم ریشه‌ای چند گیاه مختلف

از طرف دیگر این گیاهان با جذب آب آبیاری که نفوذ عمقی پیدا کرده است، مانع از تلفات آب آبیاری می‌شوند. افزایش عمق ریشه باعث کاهش تلفات آب آبیاری و افزایش عملکرد و در نتیجه افزایش بهره‌وری گیاهان می‌شود (شکل ۱۸). به طور کلی زهکشی

نامناسب، سفتی خاک در عمق مشخص در اثر شخم‌های بی‌رویه، سطح ایستابی بالا، شوری و تجمع نمک در عمق مشخص عوامل محدود کننده رشد ریشه هستند.



شکل ۱۸- تفاوت بین عمق ریشه دوانی در دو رقم مختلف یک گیاه

#### ۴-۲-۶- کاربرد کشاورزی حفاظتی

کشاورزی حفاظتی به مجموعه‌ای از روش‌ها که با هدف حفظ بقایای گیاهی در مزرعه، رعایت تناوب زراعی مناسب، افزایش مواد آلی خاک، جلوگیری از تردد بیش از حد ادوات کشاورزی، کاهش به هم خوردن خاک، کاهش دما، تبخیر و پایداری رطوبت خاک نامیده می‌شود. اهداف بالا در کشاورزی حفاظتی در نهایت منجر حفظ منابع آب و خاک، کاهش مصرف انرژی و پایداری تولید می‌شوند. به طور خلاصه کشاورزی حفاظتی دارای سه رکن اساسی مدیریت بقایای گیاهی، رعایت تناوب زراعی و انجام خاک‌ورزی حفاظتی است. منظور از مدیریت بقایای گیاهی، حفظ بقایای گیاهی به اندازه ۳۰ درصد کل بقایا در مزرعه و پوشش سطح خاک است. همچنین خاک‌ورزی حفاظتی یعنی کاهش به هم زدن خاک با استفاده از ادواتی که زمین را به صورت کم‌خاک‌ورزی و یا بی‌خاک‌ورزی کشت کنند. نتایج بررسی محققان در شرایط اقلیمی کشور نشان داد که

### بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

کاربرد روش خاک‌ورزی حفاظتی مانند استفاده از گاوآهن قلمی در عمق کمتر از روش‌های مرسوم و یا استفاده از دیسک در عمق کم، علاوه بر کاهش مصرف سوخت و زمان انجام عملیات، دارای عملکرد محصول مشابه با گاوآهن برگردان‌دار بود. در خاک‌ورزی حفاظتی تلاش می‌شود که برای حفظ رطوبت خاک و حفاظت از خاک در مقابل فرسایش جدول ۸، شخم و عملیات مکانیکی را به حداقل رسانده و بقایای گیاهی به عنوان پوشش سطح زمین مورد استفاده قرار گیرد. این عوامل باعث می‌شود، مقدار بیشتری آب در خاک ذخیره شده و همچنین کارایی مصرف کود نیز افزایش یابد (جدول ۹).

#### جدول ۸- ارتباط بین پوشش ناشی از بقایا و فرسایش سطحی ناشی از جریان آب

درصد پوشش سطح خاک با بقایای گیاهی	درصد کاهش فرسایش
۱۰	۳۰
۳۰	۶۵
۵۰	۸۳
۷۰	۹۱

خاک‌ورزی حفاظتی اگرچه مزایای زیادی نسبت به خاک‌ورزی متعارف دارد، ولی این نوع خاک‌ورزی کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها را پیچیده‌تر کرده و تا حدی نیازمند استفاده از علف‌کش‌هاست. از آنجایی که با استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی مقدار هدر رفت رطوبت خاک در اثر به هم خوردگی کاهش می‌یابد، در نتیجه بهره‌وری آب در مزرعه افزایش پیدا می‌کند. آمار سازمان فائو (۲۰۱۵) نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، عملکرد گندم را افزایش داده و هزینه‌های تولید را به میزان ۱۰ درصد کاهش یافته است. در این رهیافت همچنین سبب کاهش

مصرف آب در حدود هزار متر مکعب در هر هکتار (صرفه‌جویی ۳۵-۲۰ درصدی) شده و ساختار حاصلخیزی خاک را بهبود داده است.

جدول ۹- اثرات سامانه‌های مختلف شخم بر فرسایش و آلودگی خاک (هالند، ۲۰۰۴)

شاخص	شخم رایج	شخم حفاظتی	افزایش شخم حفاظتی (درصد)
رواناب (مترمکعب در هکتار)	۲۱۳	۱۱۰	۴۸
تلفات رسوبات (کیلوگرم در هکتار)	۲۰۴۵	۶۴۹	۶۸
تلفات کل فسفر (کیلوگرم در هکتار)	۲/۲	۰/۴	۸۱
تلفات فسفر قابل دسترس گیاه (کیلوگرم در هکتار)	۰/۰۳	۰/۰۰۸	۷۳

از انواع ماشین‌آلاتی که در خاک‌ورزی حفاظتی استفاده می‌شود می‌توان به بذرکار بدون شخم اشاره کرد که در انواع بذرکارها جهت برش بقایا در سطح مزرعه، به صورت توام با عملیات کاشت یا مجزا با آن نصب می‌شود (شکل ۱۹).



شکل ۱۹- بذر کار کشت مستقیم در بقایای گیاهی و شیار باز کن بشقابی کنگره دار

وسیله دیگری که در این روش استفاده می شود دستگاه کمینات است که جهت انجام آماده‌سازی بستر کشت و خرد کردن کلوخه‌ها به عنوان یک ماشین مرکب خاک و رز کاشت کاربرد دارد (شکل ۲۰).





شکل ۲۰- دستگاه کمپینات

#### ۴-۲-۷- تغییر و اصلاح الگوی کشت بر مبنای بالاترین بهره‌وری آب

الگوی بهینه کشت، یک نوع نظام کشت است که با توجه به فرصت‌ها و محدودیت‌های عوامل تولید، مسایل اقتصادی، مسایل زیست محیطی، مسایل فرهنگی و اجتماعی، تحقق سیاست های کلان کشور تدوین می‌شود.

بنابراین سه شاخصه مهم الگوی کشت عبارتند از :

- ۱- اقتصادی بودن با در نظر گرفتن مزیت نسبی (افزایش تولید با استفاده از حداقل منابع)
- ۲- حفظ سیاستهای کلان کشور با کشت محصولات استراتژیک، برای تامین امنیت غذایی و قطع وابستگی

۳- پایداری تولید با حفظ محیط زیست، منابع پایه

بنابراین الگوی کشت تاکید بر این دارد که: چه محصولی، در چه سطحی، در چه مکانی و در کدام دوره زمانی کاشته شود. اهدافی که در الگوی مناسب کشت متصور است عبارتند از :

### بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

- کشت گیاهانی که از نظر اقلیمی با منطقه سازگاری و از نظر اقتصادی دارای مزیت نسبی بالاتری هستند.
- تعدیل خطرپذیری تولید در اثر بحران‌ها (خشکسالی، سیل، طغیان آفات و بیماری‌ها...)
- افزایش بهره‌وری عوامل تولید (خصوصاً آب)
- حفظ محیط زیست
- افزایش توان مالی کشاورزان و کاهش فقر
- کاهش وابستگی با تامین امنیت غذایی
- حفظ سلامت جامعه با تولید غذای سالم

در مناطق کم‌آب ایران مبنای انتخاب الگوی مناسب کشت باید با هدف افزایش بهره‌وری آب تعریف شود. در این الگو از کشت گیاهان آب‌بر و پر مصرف از منظر آب (مانند برنج) جلوگیری کرده و گیاهان با ارزش و کم‌آب‌بر جایگزین می‌شوند. بنابراین در چینش گیاهان زراعی در منطقه، مساحت هر گیاه طوری برنامه‌ریزی می‌شود که از منابع محدود آب، بالاترین بهره‌وری اقتصادی آب حاصل شود، ضمن اینکه به لحاظ تأمین امنیت کشور گیاهان راهبردی مانند گندم باید در سطح معین کشت شوند.

### ۴-۲-۸- کنترل آفات و بیماری‌ها

آفت در کشاورزی به هر موجود زنده‌ای گفته می‌شود که با آسیب به گیاه زراعی موجب کاهش عملکرد یا کیفیت آن می‌شود. وجود آفات و عوامل بیماری‌زا در مزارع کشاورزی باعث می‌شود عملکرد محصولات زراعی کاهش یابد شکل ۲۱ و به ازای مقدار آب مصرفی، عملکرد مورد انتظار حاصل نشود. با کنترل این عوامل می‌توان به ازای هر

هر واحد آب مصرفی، عملکرد محصولات را افزایش داد و در نتیجه بهره‌وری آب را بیشتر کرد.



شکل ۲۱- نمایی از اثر منفی آفات و بیماری‌ها در رشد گیاه

برای کنترل علف‌های هرز در مزارع می‌توان از روش‌های کنترل فیزیکی، زراعی، کنترل زیستی و شیمیایی استفاده کرد. در کنترل فیزیکی، با استفاده از خاک‌ورزی ثانویه مبادرت به از بین بردن علف‌های هرز می‌کنند. در کنترل زراعی، عملیات مدیریت مزرعه مانند رعایت تاریخ کاشت و برداشت گیاه است. مثلاً کاشت زود هنگام به طوری که رشد آن مانع رشد علف‌های هرز شود و یا کشت دیرهنگام با این هدف که رشد علف‌های هرز کامل شده و با خاک‌ورزی ثانویه به‌طور موثر علف‌های هرز کنترل شوند. مثلاً در یونجه

### بهره‌وری آب و روش‌های بهبود آن

با برداشت زود هنگام با آفت سرخرطومی یونجه مبارزه می‌شود. منظور از کنترل زیستی، استفاده از برخی شکارچیان طبیعی برای کنترل آفات است. در طبیعت موجودات زیادی وجود دارند که از آفات و علف‌های هرز تغذیه می‌کنند. این روش ضمن هماهنگی با توسعه پایدار و محیط زیست، می‌تواند با آفات و علف‌های هرز نیز مبارزه کند. در کنترل شیمیایی با استفاده از مواد شیمیایی علیه آفات و علف‌های هرز مبارزه می‌شود. اگرچه این روش می‌تواند اثربخشی زیادی در کنترل آفات و علف‌های هرز داشته باشد و در زمان کمتر و با نیروی کمی به نتایج دلخواه دست پیدا کنیم؛ ولی همگام با محیط زیست نیست و باعث آلودگی خاک، سفره‌های آب زیرزمینی شده و خطر از بین رفتن گونه‌های زیستی را در بردارد.

### ۴-۲-۹- بهبود حاصلخیزی خاک

در کشورهای خشک و نیمه خشک به طور کلی کمبود تغذیه‌ای خاک در مقابل آب قابل دسترس خاک، اثر بیشتری روی کاهش تولید دارد. در بیشتر مناطق آفریقا مقدار کمی از کود (۹ کیلوگرم در هکتار) برای تقویت خاک نسبت به آمریکای لاتین (۷۳ کیلوگرم در هکتار)، جنوب آسیا (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و شرق آسیا (۱۳۵ کیلوگرم در هکتار) استفاده می‌کنند که یک محدودیت برای افزایش بهره‌وری آب است. این یک فرصت برای تقویت خاک و افزایش عملکرد در مناطق آفریقایی است. در اراضی دیم، به دلیل محدودیت دسترسی خاک و گیاه به مواد غذایی، می‌توان همراه با کاهش تبخیر و هدایت مقدار بارش به سمت تعرق، عملکرد را دو تا چهار برابر افزایش داد. حاصلخیزی خاک و عملیات زراعی مناسب مانند، تغذیه گیاهی و خاک، می‌توانند در افزایش بهره‌وری آب

نقش قابل توجهی بازی کنند. کلیه عملیات باید با فن آوری‌های نوین (خاک‌ورزی حفاظتی) طوری مدیریت شوند که باعث بهبود جذب آب و مواد غذایی توسط گیاه شوند و سهم تبخیر از مجموع تبخیر - تعرق گیاه به نفع تعرق کاهش یابد. مثلاً استفاده از کود نیتروژن برای افزایش بهره‌وری آب در شرایط آبی و دیم باید بهینه شود. نتایج بررسی در شمال سوریه نشان داد که مقدار بهینه مصرف نیتروژن در شرایط گندم دیم برای رسیدن به بالاترین بهره‌وری آب (در حدود ۰/۹ کیلوگرم در هر مترمکعب آب) معادل ۵۰ کیلوگرم در هر هکتار بود و با افزایش مقدار نیتروژن به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار مقدار بهره‌وری آب تغییری نداشت. در شرایط آبیاری مقدار بهینه مصرف نیتروژن برای رسیدن به بالاترین بهره‌وری آب (۲/۲ کیلوگرم در متر مکعب) برابر ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد و با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن مقدار بهره‌وری آب به ۱/۴ کیلوگرم در هر مترمکعب آب کاهش داشت.

امروزه در اثر کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی در اراضی کشاورزی که منجر به آلودگی منابع آب و خاک شده است، چالش‌های زیست محیطی فراوانی در حال وقوع است. به همین دلیل برای حفظ پایداری کشاورزی، عناصر غذایی مورد نیاز خاک و گیاه در وهله اول توسط نهاده‌های آلی که شامل کود دامی و کمپوست، کود سبز، بقایای گیاهی و تثبیت زیستی نیتروژن به کمک همزیستی با ریزموجودات خاکزی و در درجه دوم با کاربرد کودهای شیمیایی به عنوان مکمل کودهای آلی تأمین می‌شود. کشت بقولات نیز در بسیاری از شرایط می‌تواند تضمین کننده تأمین نیتروژن مورد نیاز برای کشت‌های بعدی باشد (جدول ۱۰)

جدول ۱۰- مقدار نیتروژن حاصل از جو و تثبیت زیستی در بقولات مختلف (کلی، ۲۰۰۶)

گیاه	درصد نیتروژن گیاهی حاصل از اتمسفر	تثبیت همزیستی نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)
یونجه	۸۰	۳۰۰
شبدر	۹۰	۲۵۰
باقلا	۹۰	۳۰۰
نخود فرنگی	۸۰	۲۰۰
عدس	۸۰	۱۵۰
سویا	۵۰	۱۵۰
لوبیا	۵۰	۷۰

### ۵- جمع‌بندی

هم اکنون بخش کشاورزی برای تولید و تأمین امنیت غذایی در کشور مواجه با چالش‌های جدی مانند تغییر اقلیم، کاهش منابع آبی (کمی و کیفی) و افزایش بیابان‌زایی روبرو است. کاهش منابع آبی نه تنها در کشور بلکه در دنیا نیز مشاهده می‌شود. و هر روز بر شدت آن افزوده می‌شود. تجربیات تلخ گذشته و ادامه روند قبلی با هدف افزایش تولید به هر قیمتی، سرعت ناپایداری را دوچندان کرده‌است. در برنامه‌ریزی دراز مدت برای تأمین امنیت غذایی بر اساس سند چشم‌انداز، نیاز به منابع آبی است که به لحاظ پتانسیل پایین در کشور، تولید این منبع حیاتی مطابق با جمعیت کشور امکان‌پذیر نیست. در شرایط کنونی راه حل منطقی که قادر است این چالش را تعدیل و رفع کند، افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی است. با افزایش هر میزان تقاضا برای غذا، در صورتی که به همان میزان شاخص بهره‌وری آب افزایش یابد، جامعه مواجه با فقر و گرسنگی نخواهد شد. افزایش

بهره‌وری آب منحصر به یک راه حل نیست، بلکه علاوه بر سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی، مدیریت جامع آب و نگرش فرابخشی به آن نیز از ضروریات است. به‌طور کلی برای افزایش بهره‌وری آب از یک طرف نیاز است در مقیاس گیاه و مزرعه (مدیریت زراعی) تولید را افزایش داد و از طرف دیگر همه تلفات آب در مقیاس حوضه (مدیریت منابع آبی) را کاهش داد. این نشریه راه‌حل‌های ممکن برای افزایش بهره‌وری آب را مورد کنکاش قرار داده است.

**۶- منابع مورد استفاده**

- بی‌نام. ۱۳۹۳. دستورالعمل فنی کشاورزی حفاظتی برای اراضی آبی. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۲۹ صفحه.
- حجاری، م.ع. و گرجی، ع. ۱۳۸۶. ضرورت توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار و بررسی روند اجرایی طرح. سمینار علمی طرح ملی آبیاری تحت فشار و توسعه پایدار. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. کرج. صفحات ۴۱ تا ۵۲.
- عباسی، ف. سهراب، ف. زارعی، ق. آراستی، ع.ر. و نی‌ریزی، س. ۱۳۸۸. تحلیلی بر بازده‌های آبیاری در ایران. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران. IRDI-85084. ۱۰۰ صفحه.
- کامکار، ب. دامغانی، ع. ۱۳۸۷. *مبانی کشاورزی پایدار*. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۳۰۷ صفحه.
- کیانی، ع. ر. ۱۳۹۲. بررسی کارایی مصرف آب چند رقم سویا تحت مقادیر مختلف آب آبیاری. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*. ۲۰(۵): ۱۷۹-۱۹۲.
- کیانی، ع. ر. ۱۳۸۹. برنامه‌ریزی بهینه آبیاری بر اساس رابطه آب-عملکرد در چند رقم سویا. *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*. ۱۱(۱): ۸۵-۱۰۲.
- کیانی، ع. ر. و صابری، ع. ر. ۱۳۹۳. بررسی عملکرد و مصرف آب در ذرت شیرین تحت تأثیر شیوه‌های مختلف کم‌آبیاری در دو الگوی کاشت. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*. ۲۱(۶): ۱۷۱-۱۵۵.
- کیانی، ع. ر. و عباسی، ف. ۱۳۸۹. *شوری در کشاورزی (چالش‌ها و راهکارها)*. انتشارات نشر علم کشاورزی ایران. ۱۸۸ صفحه.
- کیانی، ع. ر. و کلاته، م. ۱۳۸۸ الف. تحلیل رابطه آب - عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی چند رقم گندم. *مجله آبیاری و زهکشی ایران*. ۴(۲): ۱۱۲-۱۲۲.
- کیانی، ع. ر. و کلاته، م. ۱۳۸۸ ب. اثر مقادیر مختلف آب آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب در ارقام مختلف گندم. *مجله پژوهش‌های تولید گیاهی دانشگاه گرگان*. ۱۶(۳): ۸۵-۱۰۲.