وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

اصول مدیریت آب در مزرعه

مولفان
نیازعلی ابراهیمی پاک
آرش تافته

شادمان ویسی، اصلان اگدرنژاد، محمد عبدالهی پورحقیقی، میثم رضایی،
مهدی سرائی تبریزی، آزاده صداقت، سید مجید موسوی

1402

عنوان و نام پدیدآور	: اصول مدیریت آب در مزرعه/مولفان نیازعلی ابراهیمی‌پاک...[و دیگران] ؛ ویراستار علمی ناصر دواتگر ؛ ویراستار ادبی زهرا محمدی.
مشخصات نشر	: کرج: موسسه تحقیقات خاک و آب، 1402.
مشخصات ظاهری	: 628 ص.: مصور،جدول.
شابک	:978-622-6705-34-9
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: مولفان نیازعلی ابراهیمی‌پاک، آرش تافته، شادمان ویسی، اصلان اگدرنژاد، محمد عبداللهی‌پورحقیقی، میثم رضایی، مهدی سرائی‌تبریزی، آزاده صداقت، سیدمجید موسوی.
یادداشت	: کتابنامه.
یادداشت	: واژه‌نامه.
موضوع	: آبیاری -- مدیریت Irrigation -- Management آبیاری -- مهندسی Irrigation engineering کشاورزی -- تامین آب Water-supply, Agricultural طرح‌های آبیاری Irrigation projects بهره‌وری آب *Water productivity
شناسه افزوده	: ابراهیمی پاک، نیازعلی، 1344 -
شناسه افزوده	: دواتگر، ناصر، 1339- ، ویراستار
شناسه افزوده	:Davatgar , Naser
شناسه افزوده	: موسسه تحقیقات خاک و آب
شناسه افزوده	:Soil & water research institute
رده بندی کنگره	: 812TC
رده بندی دیویی	: 631/587
شماره کتابشناسی ملی	:9510987
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیپا

عنوان: اصول مدیریت آب در مزرعه

نگارندگان: نیازعلی ابراهیمی پاک و آرش تافته، شادمان ویسی، اصلان اگدرنژاد، محمد عبدالهی پورحقیقی، میثم رضایی، مهدی سرائی تبریزی، آزاده صداقت، سید مجید موسوی

ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

کارشناس انتشارات: سمانه پورمنصور

ویراستار علمی: ناصر دواتگر

ویراستار ادبی: زهرا محمدی

طراح جلد: سید هرمز سجادی

شابک: 978-622-6705-34-9

سال انتشار: 1402

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این اثر با شماره 3140242 در تاریخ 1402/12/2 در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

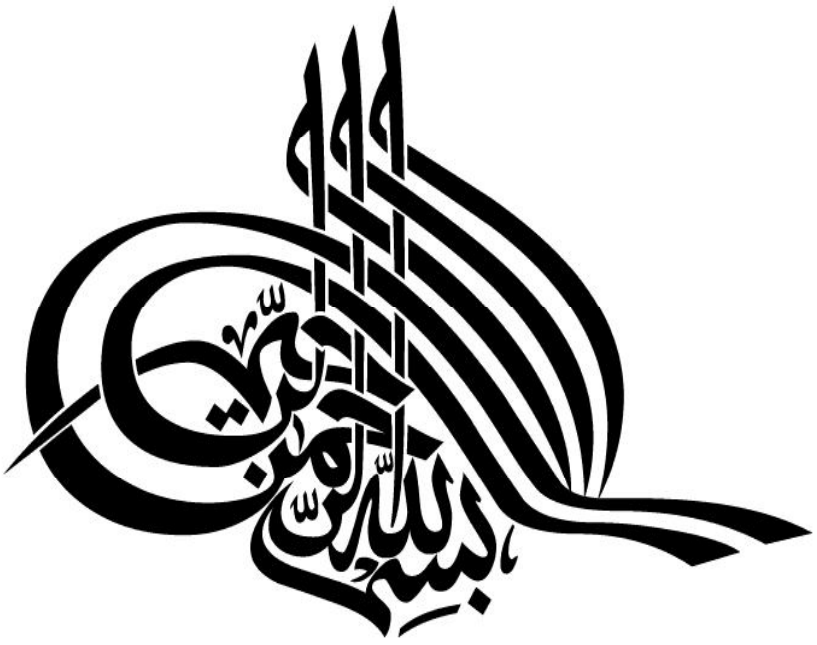
نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین‌دشت، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

کد پستی: 3177993545 **صندوق پستی:** 31785-311

نمابر : 02636210121 **تلفن:** 026 -36201900

وب‌سایت: http://www.swri.ir **پست الکترونیکی:** info@swri.ir

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.


بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار

جمعیّت جهان تا سال 2054 کم و بیش به 10 میلیارد نفر خواهد رسید و صنعت هم پا به پای رشد جمعیت توسعه پیدا می‌کند و با رشد جمعیت، نیاز جامعه به تقاضای آب شرب و صنعت، موجب کاهش سهم بری آب کشاورزی خواهد شد. از سوی دیگر دورنمای تغییرات اقلیمی و عوامل آب و هوایی نشان از تاثیر مهم در منابع آب دارد. با وجود این شرایط، مسئله امنیت غذایی بشر با تردید جدی روبرو است و این مهم به معنای توجه به مدیریت استفاده بهینه از منابع پایه آب و خاک کشاورزی برای تولید پایدار محصولات کشاورزی است. مطالعات موسسه بین‌المللی مدیریت آب[1] بیانگر آن است که با ادامه افزایش جمعیت، توسعه شهرها و مراکز صنعتی میزان آب قابل تخصیص به بخش کشاورزی در کل جهان محدودتر خواهد شد. محدودیت‌های بوجود آمده ایجاب می‌کند تا اعمال مدیریت مناسب و بهینه از منابع آب به ویژه در کشورهای خشک و نیمه‌خشک مانند ایران انجام پذیرد. در این راستا مدیریت آب آبیاری کشاورزی، به ویژه مدیریت آب در مزرعه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در برنامه‌ریزی استفاده بهینه از آب آبیاری در مزارع کشاورزی، ضرورت دارد تا واکنش گیاهان به مقدار آب مصرفی گیاه بررسی شود.

آب تخصیص یافته برای مصرف کشاورزی، هنگام انتقال و مصرف در مزرعه تلفاتی داشته و از مقدار خالص آن کاسته می‌شود و در نتیجه احتیاج به ابداع شیوه‌های جدید افزایش راندمان آبیاری احساس می‌شود. از این رو استفاده اقتصادی و بهینه از آب مصرفی در مزرعه باید به یک راهبرد مهم زیربنایی برای برنامه‌ریزان مبدل شود. استفاده

[1]- IWMI (International Water Management Institute)

بهینه و اقتصادی از آب مصرفی در کشاورزی دارای شاخص‌های فراوان است کـه در ایـن کتاب تلاش بر آن شد که شاخص‌های اصلی بررسی شوند.

برنامه‌ریزی آبیاری بـه مفهـوم اسـتفاده معقـول و منطقـی از آب در مزرعـه، یکـی از شاخص‌های نرم‌افزاری است که به مدیر مزرعه اجازه می‌دهد که در استفاده از منـابع آب موجود، بهره اقتصادی آن را در نظر بگیرد. بـه عبـارتی بـا توجـه بـه کمبـود منـابع آب، برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان براساس نیاز آبی گیاه به گونـه‌ای تنظـیم مـی‌شـود کـه سـود اقتصادی بهینه شده و کمترین ضرر متوجه کشاورز شود. در این حالـت مقـدار آب بـرای گیاهان به صورت بهینه تخصیص داده می‌شود، به این منظور برنامه‌ریزان بـه ارائـه تفکـر نو و روش‌های جامع و پیچیده برای استفاده بهینـه از آب مصـرفی در کشـاورزی ترغیـب می شوند و بیشتر این روش‌ها و راه‌حل‌ها برای افزایش کارایی آب در سطح مزرعه است.

آبیاری بهینه در مزرعه با هدف اصـلی افـزایش بهـره‌وری آب سـودمند بـوده، لـیکن اعمال فن‌آوری آبیاری بهینه در مزرعه کاری آسانی نیست، ولـی بـه عنـوان یـک راهبـرد سودمند اقتصادی با هدف حداکثر استفاده از واحد آب مطرح است. برای مـدیریت بهینـه آب آبیاری در مزرعه و دسترسی به سود بیشتر، نیاز به دانسـتن تعـداد زیـادی از عوامـل فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و اقتصادی مؤثر در تولید یک محصول است که هـم زمـان تاثیرگذار هستند و نادیده گرفتن یک یـا چنـد عامـل تـاثیر جبـران ناپـذیری بـر تولیـد محصول دارد. در ایـن رابطـه، در چنـد سـال گذشـته بـه منظـور در نظرگـرفتن عوامـل تاثیرگزار بر مدیریت آب گیاهان پیشرفت قابل توجهی در مدل‌هـای رشـد گیـاهی بـرای مدیریت آبیاری در مزرعـه انجـام شـده اسـت و بسـیاری از ایـن مـدل‌هـا بـرای شـرایط محدودیت منابع آب توسعه داده شده‌اند.

افزایش تقاضای آب و کمبود کمی و کیفی منابع آب و توزیع نامناسب زمانی و مکانی آن، ساست گذران و برنامه‌ریزان را به ارائه روش‌های جامع و پیچیده برای استفاده از منابع آب برانگیخته است. این روش‌ها بیشتر برای بهره‌برداری بهینه از منابع آب و افزایش کارایی آب در سطح مزرعه و با حفظ ارزش کمی و کیفی آب انجام می‌پذیرد. ولی پرسش اینجاست که کدام یک از این گزینه‌های بسیار متنوع در منابع آب بایستی به کار گرفته شود؟ به منظور انتخاب گزینه مناسب باید سیستم تحلیل‌گری تعریف شود تا بتواند تحلیل مناسبی ارائه نماید. تحلیل‌گران سیستم منابع آب سعی می‌کنند با کمک اقتصاددانان و ذینفعان آب به ویژه کشاورزان بتوانند یک گزینه مناسب انتخاب نمایند. در تحلیل ساختار منابع آب از مدل‌های ریاضی بهینه‌سازی استفاده زیادی شده است. کاربرد روش‌های سیستمی مانند بهینه‌سازی و شبیه‌سازی ریاضی در ارزیابی و انتخاب روش‌های استفاده بهینه از آب به شکل قابل ملاحظه‌ای مفید هستند. در برنامه‌ریزی یکپارچه منابع آب، استفاده چندگانه و اهداف چندگانه و چند منظوره هر روش و دست‌یابی به بیشترین سود اقتصادی بدون توجه به جوانب فنی در نظر گرفته می‌شود. اغلب روش‌های یکپارچه در برنامه‌ریزی استفاده بهینه از منابع آب به مدل‌سازی ریاضی منتهی می‌شوند و مدل‌های ریاضی توانایی قابل توجهی در مرتب‌سازی و سازماندهی درونی و اثرات متقابل اجزاء را برای استفاده‌کننده فراهم می‌سازد. مدل‌ها ارزیابی مناسبی از پیامدهای اقتصادی و فیزیکی یک سیستم را با عملکردهای متنوع و فرض‌های متفاوت ارائه می‌دهند. روش برنامه‌ریزی آبیاری بهینه در مزرعه نوعی روش سامان یافته است که برای دوره ویژه یا کل دوره‌های رشد گیاه ارائه می‌شود و انتظار می‌رود که عملکرد محصول متناسب با سود حاصل و میزان آب مصرفی باشد.

این کتاب در واقع جلد نخست مدیریت آب آبیاری بوده که توسط موسسه تحقیقات خاک و آب منتشر شده و در آن به عوامل مربوط به مدیریت آب آبیاری کشاورزی توجه شده است.

در فصل نخست کتاب به کلیات آب آبیاری در ایران، تعاریفی از روش‌های آبیاری و تاریخچه سازمان‌های آبیاری و شروع روش‌های آبیاری تحت فشار در ایران، روش‌های آبیاری کامل و کم آبیاری پرداخته می‌شود و بیشتر مطالب این فصل به مواردی مربوط است که هنوز به طور گسترده در جهان استفاده می‌شود. **فصل دوم** کتاب به چالش‌های مهم مدیریت آب کشاورزی ایران از جمله تغییر اقلیم، الگوی کشت، مشارکت ذینفعان به ویژه کشاورزان، قیمت آب آبیاری، محیط‌زیست، فن‌آوری نوین و نبودن هماهنگی بین متولیان آب کشور و سرانجام به چالش آمار و اطلاعات پرداخته است. در **فصل سوم** تاثیر آب و هوا و تغییر اقلیم بر مدیریت آب آبیاری از جمله روابط اقلیم و نیاز آبی گیاهان، تاثیر تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات، تاثیر تغییر اقلیم بر تولید محصول در ایران و اقلیم و آب مصرفی گیاهان در ایران تحلیل شده‌اند. در **فصل چهارم** تاثیر گیاه بر مدیریت آب آبیاری، اثر رقابت گیاهان مختلف در آب مصرفی، تاثیر خصوصیات ریشه گیاه بر بهره‌وری آب، اثر مقاومت گیاه به تنش آبی و شوری بررسی شده‌اند. **فصل پنجم** به تاثیر ویژگی‌ها و روابط پیوسته خاک، هوا، آب در گیاه، کاربرد روابط و معادلات فیزیک خاک در مهندسی آب، توابع انتقالی، معادلات نفوذ آب در خاک، توابع فراکتالی و کاربرد آن در تعیین مشخصه های فیزیک خاک و توابع آب مصرفی- عملکرد اشاره می‌شود. **فصل ششم** کتاب به نیاز آبی گیاهان با مرور سابقه مطالعات نیاز آبی گیاهان در ایران، روش‌های اندازه‌گیری تبخیرتعرق مرجع، روابط و معادلات تخمین تبخیر تعرق مرجع، نیاز آبی استاندارد، ضریب گیاهی استاندارد، تعیین

دوره‌های رشد چهارگانه با استفاده از شاخص GDD، تعدیل نیاز آبی گیاهان بر اساس سن و درصد پوشش گیاهی پرداخته می‌شود. در **فصل هفتم** برنامه‌ریزی آبیاری، معیارهای برنامه‌ریزی، زمان آبیاری، تاثیر آبیاری بر رشد گیاهان، برنامه‌ریزی آبیاری بر پایه نمای اقلیمی، برآورد شاخص های اولیه تعیین نیاز آبی گیاه برنامه‌ریزی آبیاری بر پایه نمای خاک، مشخصه‌های خاکی مؤثر بر برنامه‌ریزی آبیاری، نمایه‌های گیاهی در برنامه‌ریزی آبیاری و برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده ازتشت تبخیر معرفی می‌شود. در **فصل هشتم** روش‌های اندازه‌گیری آب آبیاری، روش‌های اندازه‌گیری به روش‌های مستقیم یا حجمی، روش‌های ردیابی با استفاده از مواد شیمیایی، روش‌های نوین، اندازه‌گیری با استفاده از ابزار و سازه‌ها، روش منحنی‌های هم سرعت، روش‌های اندازه‌گیری سرعت میانگین، انواع اندازه‌گیری‌های سرعت‌سنج شرح داده می‌شوند. **فصل نهم** کتاب به مدل رشد گیاه، بنیان مدل‌سازی، طبقه‌بندی مدل‌ها، مدل‌های شبیه‌سازی آبیاری گیاهان، فن‌های شبیه‌سازی، سطوح مختلف مدل رشد گیاه، ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی و واسنجی مدل‌های رشد، بررسی سابقه استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در آب آبیاری و مدل‌های بهینه‌یابی گیاهان اختصاص دارد. در **فصل دهم** کتاب به تابع تولید محصول، طبقه‌بندی توابع تولید، روابط تولید بین محصولات، توابع تولید چند کشتی، رابطه تابع تولید در الگوی کشت، تابع آب مصرفی- عملکرد محصول، تابع ریاضی"آب مصرفی- عملکرد محصول"گیاهان عمده زراعی شامل گندم، سیب‌زمینی، چغندرقند، گوجه فرنگی و کلزا شرح داده شده است. **فصل یازدهم** کتاب به بهینه‌سازی آب مصرفی گیاهان در رابطه با بهینه‌سازی "آب مصرفی- عملکرد محصول" در شرایط تک کشت، تعیین اعماق آب آبیاری در شرایط محدودیت آب و یا زمین، مدل چند گزینه‌ای (MGA)، بهینه‌سازی اقتصادی آب آبیاری گیاهان، مدل MGA برای

بیشینه‌سازی بهره‌وری مصرف آب، بهینه‌سازی ریاضی آبیاری گیاهان، بهینه‌یابی آب آبیاری گیاهان در شرایط چند کشتی شرح داده می‌شود. در **فصل دوازدهم** الگوی کشت گیاهان در رابطه با آب مصرفی، بانک اطلاعات الگوی کشت، عکس‌های هوایی، لایه کاداستر، لایه خاکشناسی، تناسب اراضی، اقلیم، آب مصرفی، منابع آب، گیاهان، سیاست گذاری، اقتصادی، اجتماعی و بهینه‌سازی آب آبیاری ماهانه الگوی کشت در شرایط مختلف کمبود منابع آب با استفاده از روش برنامه‌ریزی MGA و تعیین برنامه آبیاری و الگوی کشت نسبتاً بهینه در شرایط مختلف کمبود آب شرح داده شده است. در **فصل سیزدهم** مدیریت مصرف کود به همراه آب آبیاری، عوامل موثر بر افزایش کارایی مصرف آب آبیاری و کود مصرفی بررسی و پرکاربردترین مدل‌ها در مطالعه‌ی وضعیت و رفتار آب و عناصر غذایی در خاک و گیاه معرفی شدند. در **فصل چهاردهم** مسائل مهم و کاربردی در مدیریت آب (آبیاری، آبشویی، اصلاح و زه‌کشی) خاک‌های متاثر از نمک بیان و هم چنین مدل‌های هیدرولوژیکی، کاربرد آن‌ها و نمونه‌هایی در ارزیابی و مدیریت آبیاری نیز برای استفاده خوانندگان ارائه شده است.

در پایان لازم است تا از مؤلفان این اثر که از اعضای محترم بخش مدیریت آب در مزرعه موسسه تحقیقات خاک و برخی از اساتید علوم آبیاری هستند تشکر ویژه داشته باشیم.

نیاز علی ابراهیمی پاک

نویسندگان:

دکتر نیاز علی ابراهیمی پاک
دانشیار، دکتری، عضو هیئت علمی، بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

دکتر شادمان وبسی
استادیار، دکتری، عضو هیئت علمی، بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

دکتر اصلان اگدرنژاد
استادیار گروه مهندسی علوم آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

دکتر میثم رضایی
استادیار، دکتری، عضو هیئت علمی، بخش اصلاح خاک و مدیریت پایداری اراضی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

مهندس آزاده صداقت
محقق، دکتری، بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

دکتر آرش تافته
استادیار، دکتری، عضو هیئت علمی، بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

دکتر محمد عبداللهی‌پور
استادیار گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

دکتر سیدمجید موسوی
استادیار، دکتری، عضو هیئت علمی، بخش تحقیقات حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

دکتر مهدی سرایی تبریزی
استادیار گروه آبیاری واحد علوم و تحقیقات تهران دانشگاه آزاد اسلامی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: آب و آبیاری 1

1-1- کلیات 1
2-1- کشاورزی و مصرف آب در ایران 2
3-1- ضرورت آبیاری در ایران 3
4-1- آبیاری 5
1-4-1- آبیاری سنتی در ایران 5
1-1-4-1- آبیاری کرتی 7
2-1-4-1- آبیاری نواری 7
3-1-4-1- آبیاری جویچه‌ای 8
5-1- آبیاری نوین 9
1-5-1- آبیاری کم‌فشار 10
2-5-1- آبیاری بارانی 11
1-2-5-1- کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک 12
2-2-5-1- ماشین آبیاری دوار (عقربه‌ای) 12
3-5-1- آبیاری موضعی 13
4-5-1- آبیاری قطره‌ای زیرسطحی 14
5-5-1- عوامل مؤثر در تعیین نوع روش آبیاری به‌منظور مدیریت آب در مزرعه .. 15

1-5-6- هوشمند سازی آبیاری.....18
1-5-6-1- انواع کنترل‌کننده‌های آبیاری هوشمند 19
1-5-6-2- سنجش‌ازدور و مدیریت آبیاری 19
1-6- مدیریت‌های مختلف آبیاری 20
1-6-1- آبیاری کامل 21
1-6-2- کم‌آبیاری 22
1-6-3- کم‌آبیاری تنظیم‌شده 24
1-6-4- کم‌آبیاری ناقص ریشه 24
1-6-5- کم‌آبیاری مقطعی 25
1-6-6- کم‌آبیاری اضطراری 26
1-6-7- آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان.....26
1-6-8- آبیاری تکمیلی 27
1-6- 9- آبیاری موجی 28
منابع 30

فصل دوم: چالش‌های مدیریت آبیاری در کشور 33

2-1- کلیات 33
2-2- اقلیم کشور.....34
2-3- الگوی کشت 36
2-4- مشارکت نداشتن کشاورزان در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زه کشی 37
2-5- چالش‌های اجتماعی، اقتصادی در اجرای طرح‌های آبیاری و زه کشی 41
2-5-1- مشخص نبودن قیمت واقعی آب آبیاری 42
2-5-2- ناهماهنگی بین وزارتخانه‌ها 43

2-5-3- چالش محیط‌زیست و تصفیه 43
2-5-4- چالش مدیریت فناوری و استفاده از دست‌آوردهای سخت‌افزاری 44
2-5-5- چالش مدیریت آمار و اطلاعات 44
منابع 46

فصل سوم: تأثیر هوا و اقلیم بر مدیریت آب آبیاری 49

3-1- مقدمه 49
3-2- تغییر اقلیم و نیاز آبی گیاهان 53
3-3- تغییر اقلیم و عملکرد محصولات 57
3-4- اثرات تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی ایران 62
3-5- تاثیر عوامل اقلیمی بر آب مصرفی گیاه 64
3-6- تغییر اقلیم و افزایش آب مصرفی 66
3-7- نتیجه‌گیری 70
منابع 71

فصل چهارم: تأثیر گیاه بر مدیریت آب آبیاری 79

4-1- مقدمه 79
4-2- اثر نوع گیاه بر مدیریت آب آبیاری 80
4-3- اثر ارقام مختلف بر بهره‌وری مصرف آب 86
4-4- تراکم کشت و بهره‌وری آب 90
4-5- تأثیر ویژگی‌های ریشه بر بهره‌وری آب 96
4-6- اثر مقاومت گیاه گندم به تنش آبی و شوری 100
4-7- نتیجه‌گیری 105
منابع 106

فصل پنجم: رابطه آب، خاک، گیاه و اتمسفر 113

5-1- مقدمه 113
5-1-1- عوامل خاک 114
5-1-2- عوامل گیاه 114
5-1-3- عوامل هوا 115
5-2- فاز جامد خاک 115
5-3- معادلات پایه فیزیک خاک در آب آبیاری 118
5-4- کاربرد معادلات فیزیک خاک در برنامه‌ریزی آبیاری 121
5-5- تابع انتقالی SAXTON و RAWLS (2006) 134
5-6- معادلات نفوذ آب به خاک 137
5-7- توابع فراکتالی و کاربرد آن در تعیین پارامترهای فیزیک خاک 140
5-8- توابع تولید آب مصرفی–عملکرد 147
5-9- نتیجه‌گیری 156
منابع 157

فصل ششم: تبخیرتعرق گیاهان 165

6-1- مقدمه 165
6-2- سابقه مطالعات نیاز آبی 167
6-3- روش‌های اندازه‌گیری تبخیرتعرق مرجع (ET_o) 169
6-4- روابط و معادلات حاکم بر روش‌های برآورد و تخمین تبخیرتعرق مرجع (ET0) 177
6-4-1- روش محاسبه تبخیرتعرق مرجع از لایسیمتر 177
6-4-2- روش محاسبه تبخیرتعرق مرجع از تشت تبخیر 177
6-4-3- روش Makkink (1957) 178

6-4-4- روش Turk (1961) 179
6-4-5- روش Priestley و Taylor (1972) 180
6-4-6- روش Hargreaves و Samani (1985) 181
6-4-7- روش Blaney و Criddle (1950) اصلاح شده FAO 182
6-4-8- روش Penman (1948) اصلاح شده FAO 183
6-4-9- روش فائو- پنمن- مانتیث (FAO 56-Penman-Monteith) 187
6-5- تعیین نیاز آبی استاندارد 194
6-5-1- ضریب گیاهی (Kc) 195
6-6- تعیین دوره‌های رشد چهارگانه با استفاده از شاخص درجه روزرشد 200
6-7- تعدیل نیاز آبی گیاهان باغی بر اساس سن و درصد پوشش گیاهی 205
6-8- نتیجه‌گیری 206
منابع 207

فصل هفتم: برنامه‌ریزی آبیاری 213

7-1- مقدمه 213
7-2- برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان 214
7-3- مزایای برنامه‌ریزی آبیاری 215
7-4- معیارهای برنامه‌ریزی آبیاری 216
7-5- زمان آبیاری 217
7-6- تأثیر آبیاری بر رشد گیاهان 218
7-7- برنامه‌ریزی آبیاری بر مبنای نمای اقلیمی 219
7-7-1- نیاز آبی گیاه 219
7-7-1-1- برآورد پارامترهای اولیه تعیین نیاز آبی گیاه 219

7-8- برنامه‌ریزی آبیاری بر مبنای نمای خاک 223
7-8-1- پارامترهای خاکی مؤثر در برنامه‌ریزی آبیاری 223
7-9- نمایه‌های گیاهی در برنامه‌ریزی آبیاری 236
7-10- برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از تشت تبخیر 239
7-11- نتیجه‌گیری 239
منابع 242

فصل هشتم: روش‌های اندازه‌گیری آب آبیاری و شاخص‌های مدیریت آب در مزرعه . 245

8-1- مقدمه 245
8-2- روش‌های مختلف اندازه‌گیری دبی آب 248
8-2-1- ملاحظات انتخاب وسایل اندازه‌گیری دبی آب 248
8-3- روش‌های اندازه‌گیری دبی آب 252
8-3-1- اندازه‌گیری به روش‌های مستقیم 253
8-3-1-1- استفاده از ظرف 253
8-3-1-2- استفاده از کنتور آب 253
8-3-1-3- دستگاه انحراف آب 253
8-3-1-4- استفاده از نوسانات آب مخزن 254
8-3-2- روش‌های شیب- سطح مقطع 254
8-3-2-1- روش اشل و منحنی سنجه 255
8-3-2-2- استفاده از لیمنوگراف 256
8-3-3- روش‌های ردیابی با استفاده از مواد شیمیایی 256
8-3-3-1- تزریق با دبی ثابت 257
8-3-3-2- تزریق به‌صورت ناگهانی 257

8-3-3-2-1- روش سرعت نمک 258
8-3-4- روش‌های نوین 258
8-3-4-1- سرعت سنج‌های صوتی کانال‌های باز 261
8-3-4-2- روش رادیو ایزوتوپ 263
8-3-5- اندازه‌گیری با استفاده از ابزار و سازه‌ها 264
8-3-5-1- فلوم‌ها 264
8-3-5-1-1- انواع فلوم‌ها 265
8-3-5-2- روزنه‌ها 269
8-3-5-3- دریچه‌ها 272
8-3-5-5- سرریزها 273
8-3-5-5-1- سرریزهای لبه تیز 274
8-3-5-5-2- سرریزهای لبه پهن 276
8-3-6- اندازه‌گیری آب با روش سرعت- سطح مقطع 278
8-3-6-1- روش مقطع متوسط (روش ریاضی) 279
8-3-6-2- روش مقطع میانی (میان مقطع) 279
8-3-6-3- روش منحنی‌های هم سرعت 280
8-3-6-4- روش‌های اندازه‌گیری سرعت میانگین 280
8-3-6-4-1- استفاده از جسم شناور یا مواد رنگی 283
8-3-6-4-2- استفاده از مولینه یا سرعت‌سنج 283
8-3-6-4-2-1- سرعت‌سنج الکترومغناطیس 285
8-3-6-4-2-2- سرعت‌سنج نوع دوپلر 286
8-3-6-4-2-3- محافظت از سرعت‌سنج 286
8-3-6-5- وسایل اندازه‌گیری سرعت آب در مجاری بسته 287

8-3-6-5-1- ونتوری متر 287
8-3-6-5-2- نازل 288
8-3-6-5-3- لوله‌های پیتوت 289
8-3-6-5-4- سیفون‌ها و لوله‌های کوتاه 290
8-4- پروفیل توزیع سرعت 291
8-5 - مفهوم راندمان آبیاری 294
8-5-1-انواع راندمان‌های آبیاری 295
8-5-1-1- راندمان ذخیره آب در مخزن 295
8-5-1-2- راندمان انتقال 295
8-5-1-3- راندمان توزیع 296
8-5-1-4- راندمان کاربرد آب در مزرعه 296
8-5-1-5- راندمان ذخیره آب در مزرعه 298
8-5-2- راندمان کلی روش آبیاری 298
8-5-3- راندمان‌های ویژه 299
8-6- یکنواختی آبیاری 300
8-7-کفایت آبیاری 301
8-8- نتیجه‌گیری 302
منابع 303

فصل نهم: مدل رشد گیاهان 307

9-1- مقدمه 307
9-2- بنیان مدل‌سازی 308
9-3- طبقه‌بندی مدل‌ها 309

9-3-1- مدل‌های تجربی 309
9-3-2- مدل تحلیلی 310
9-3-3- مدل‌های تحلیلی عمومی (ریاضی) 310
9-3-3-1- مدل درجه‌یک خطی 311
9-3-3-2- مدل درجه دوم 312
9-3-3-3- مدل تابع تولید کاب داگلاس 312
9-3-3-4- مدل تابع C. E. S 313
9-3-3-5- مدل ترانزیندنتال 314
9-3-3-6- مدل ترانس لوگ 314
9-3-3-7-مدل ریشه مربعات 315
9-3-3-8- مدل تابع توانی یک و نیم 315
9-3-3-9- مدل تابع کسری عملکرد 315
9-3-3-10- مدل تیلائو 316
9-3-3-11- مدل تابع لجستیک 316
9-3-3-12- مدل میچرلیچ ـ اسپلیمن 316
9-4- مدل‌های شبیه‌سازی آب آبیاری گیاهان 317
9-4-1- مفاهیم شبیه‌سازی مراحل رشد گیاه 318
9-4-1-1- مدل‌های مکانستیک 318
9-4-1-1-1- مدل تابعی 318
9-4-1-1-2- مدل شبیه‌سازی توصیفی 319
9-4-1-1-3- مدل‌های شبیه‌سازی تشریحی 319
9-4-2- شیوه‌های شبیه‌سازی 320
9-4-2-1- طول دوره انتگرال‌گیری 321

9-4-2- شبیه‌سازی پیوسته 321
9-4-3- شبیه‌سازی گسسته 321
9-4-3- سطوح مختلف یک مدل رشد گیاهی 322
9-4-3-1- سطح اول 322
9-4-3-2- سطح دوم 322
9-4-3-3- سطح سوم 323
9-4-3-4- سطح چهارم 323
9-4-4- مدیریت داده‌های مدل‌های شبیه‌سازی 323
9-4-4-1- ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی 324
9-4-4-2- محدودیت‌ها و مزایای مدل‌های رشد 324
9-4-5- محدودیت‌های ورودی‌های مدل 326
9-4-6- واسنجی و ارزیابی مدل 327
9-4-7- سابقه استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در مدیریت آب آبیاری در گیاهان .. 328
9-5- مدل‌های بهینه‌یابی آبیاری گیاهان 332
9-5-1- مدل تخصیص بهینه آب ترکیب کشت گیاهان 333
نتیجه‌گیری 339
منابع 340

فصل دهم: توابع تولید 345

10-1- مقدمه 345
10-2- تابع تولید محصول کشاورزی 346
10-3- طبقه‌بندی توابع تولید 347
10-3-1- تابع تولید یک متغیر 347

10-3-2- تابع تولید دو متغیر 347
10-3-3- تابع تولید چند متغیر 348
10-4- انتخاب نوع مدل تابع تولیدی 348
10-5- روابط بین محصول گیاهان 349
10-5-1- محصولات باهم یا توأمان 349
10-5-2- محصولات متمم یا کمکی 350
10-5-3- محصولات مکمل 350
10-5-4- محصولات رقیب 350
10-6- روابط تولید ترکیب کشت 352
10-6-1- استفاده از جعبه اج ورث 352
10-7- توابع تولیدی ترکیب دو کشت 353
10-8- حالات خاص منحنی ترکیب کشت 354
10-8-1- وقتی‌که ترکیب دو گیاه کاملاً جانشین هم هستند 355
10-8-2- وقتی‌که دو گیاه مکمل یکدیگرند 355
10-8-3- وقتی‌که دو گیاه متمم یکدیگرند 356
10-8-4- وقتی‌که دو گیاه توأمان باشند 357
10-8-4-1- حالت خاص 357
10-9- رابطه تابع تولید الگوی کشت گیاهان 358
10-10- کشش یا حساسیت تابع تولید 360
10-11- توابع آب مصرفی- عملکرد محصول 361
10-11-1- مدل Dewitt (1985) 364
10-11-3- مدل Hall و Butche (1968) 365
10-11-4- مدل Jensen (1968) 365

10-11-5-مدل Hanks (1974) 366
10-11-6- مدل Hanks (1974) 367
10-11-7- مدل Minhas و همکاران (1974) 368
10-11-8- مدل Hanks و Rasmussen (1982) 369
10-11-9- مدل Stewart و همکاران (1977) 369
10-11-10- مدل (Nairizi and Rydzeweski 1977 370
10-11-11- مدل Rao و همکاران (1988) 370
10-11-12- مدل Doorenbos and Kassam، (1979) 371
10-11-13- مدل توانی تبخیر تعرق 372
10-11-14- مدل آلن (Allen, 1998) 372
10-11-15- مدل (Raes, 2004) 373
10-11-16- مدل Tafteh و همکاران (2013) 373
10-11-17- مدل Ortega و همکاران (2004) 374
10-11-18- مدل Tafteh و همکاران (2013) به روش میانگین‌گیری 374
10-12- نتیجه‌گیری 375
منابع 376

فصل یازدهم: بهینه‌سازی آب مصرفی گیاهان 383

11-1- مقدمه 383
11-2- بهینه‌سازی «آب مصرفی- عملکرد محصول» در شرایط تک کشت 384
11-3- مدل ENGLISH و ORLOB (1978) 387
11-3-1- عمق آب آبیاری کامل (W_m) 390
11-3-2- عمق آب آبیاری در حالت محدودیت زمین (w_l) 391

11-3-3- عمق آب مصرفی در حالت محدودیت آب (W_w) 391
11-3-4- عمق معادل آب آبیاری کامل در حالت محدودیت زمین 392
11-3-5- عمق معادل آب آبیاری در حالت محدودیت منابع آب (W_{ew})..... 393
11-3-6- عمق آب آبیاری در شرایط سربه‌سر (W_K) 394
11-4- توابع درجه دوم «عملکرد محصول- عمق آب آبیاری» و «هزینه تولید–عمق آب آبیاری» 395
11-4-1- عمق آب آبیاری کامل (W_m) 395
11-4-2- عمق آب آبیاری در حالت محدودیت زمین (W_l) 396
11-4-3- عمق آب مصرفی در حالت محدودیت آب (W_w) 396
11-4-4- عمق معادل آب آبیاری کامل در حالت محدودیت زمین 397
11-4-5- عمق معادل آب آبیاری در حالت محدودیت منابع آب (W_{ew})..... 399
11-5- تعیین ضرایب ثابت در توابع تولید و هزینه 400
11-6- مدل‌های چندگزینه‌ای 405
11-7- مدل بهینه‌سازی اقتصادی آب آبیاری گیاهان 411
11-8- مدل MGA جهت بیشینه‌سازی بهره‌وری مصرف آب 415
11-9- بهینه‌سازی ریاضی آبیاری گیاهان 416
11-9-1- تابع ریاضی «عملکرد محصول- آب مصرفی» برای تولید محصول گندم 417
11-9-2- تابع ریاضی «مصرف آب- هزینه تولید»، محصول کل گندم 417
11-9-3- تابع ریاضی «آب مصرفی- درآمد ناخالص» در تولید محصول گندم .. 418
11-9-4- تابع ریاضی «آب مصرفی- درآمد خالص» از تولید محصول کل گندم 419
11-10- تعیین اعماق آستانه کم‌آبیاری برای تولید گندم در دوره‌های مختلف رشد .. 419
11-10-1- عمق آب مصرفی در شرایط آبیاری کامل 420
11-10-2- عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت زمین 422

11-10-3- عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت منابع آب 424
11-10-4- عمق معادل آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین 426
11-10-5- عمق معادل آب آبیاری در شرایط محدودیت منابع آب 428
11-10-6- عمق آب آبیاری در حالت سربه‌سر 430
11-11- مقایسه بین نتایج حاصل از توابع درجه دوم هزینه و عملکرد تولید با نتایج حاصل از توابع درجه اول هزینه تولید و درجه دوم عملکرد محصول 432
11-12- بهینه‌سازی ریاضی آب آبیاری گیاهان زراعی 435
11-13- بهینه‌سازی آب آبیاری گیاهان در شرایط چند کشتی 435
11-13-1- مدل تخصیص بهینه آب آبیاری به گیاهان گندم، سیب‌زمینی و چغندرقند 436
11-14- نتیجه‌گیری 445
منابع 446

فصل دوازدهم: الگوی کشت گیاهان 451

12-1- مقدمه 451
12-2- آب آبیاری الگوی کشت گیاهان 452
12-3- الگوی کشت گیاهان زراعی 453
12-4- بانک اطلاعاتی الگوی کشت گیاهان 453
12-4-1- تهیه عکس‌های هوایی منطقه 454
12-4-2- لایه حدنگاری منطقه (لایه کاداستری) 455
12-4-3- لایه نقشه مدیریت‌پذیر خاک اراضی منطقه 456
12-4-4- لایه تناسب اراضی 457
12-4-5- اقلیم 458

12-4-6- منابع آب 460
12-4-7- لایه گیاه یا ترکیب کشت گیاهان 461
12-4-8- لایه سیاست‌گذاری کشت 462
12-4-9- اجتماعی و اقتصادی 463
12-4-9-1- مزیت نسبی تولید محصول 463
12-4-9-2- جامعه‌شناسی کشاورزی 464
12-4-9-3- سیاست‌های تعدیل اقتصادی 464
12-4-10- مشارکت کشاورزان 464
12-5- ساختار کلی اجرای الگوی کشت منطقه 465
12-6- عوامل تأثیرگذار بر الگوی کشت گیاهان مناطق 466
12-7- چرایی بهینه‌سازی الگوی کشت 467
12-8- بهینه‌سازی آب آبیاری ماهانه الگوی کشت در شرایط مختلف کمبود منابع آب با استفاده از روش برنامه‌ریزی MGA 467
12-9- نتایج حاصل از اجرای مدل در منطقه 473
12-9-1- ضریب واکنش عملکرد محصولات مختلف به آب مصرفی 473
12-9-2- تعیین برنامه آبیاری و الگوی کشت بهینه در شرایط مختلف کمبود آب . 478
12-9-3- تعیین برنامه آبیاری و الگوی کشت نسبتاً بهینه در شرایط مختلف کمبود آب 482
12-10- نتیجه‌گیری 484
منابع 486

فصل سیزدهم: ارتباط مدیریت آب آبیاری با کارایی مصرف کود و وضعیت حاصلخیزی خاک 491

13-1- مقدمه 491
13-2-کودآبیاری 494
13-2-1- تأثیر همزمان کود و آب در مدیریت آب آبیاری..... 496
13-2-2- تأثیر هم‌زمان آب و کود شیمیایی بر عملکرد گیاه 499
13-2-3- تأثیر هم‌زمان آب و کود آلی بر عملکرد گیاه 502
13-2-4- بهینه‌سازی مصرف آب و کود در مدیریت آب آبیاری..... 503
13-3- مدلسازی و کاربرد آن در کشاورزی 506
13-3-2- ویژگی‌های مدل‌های رایج جذب آب توسط ریشه گیاهان 514
13-3-3- مدل‌های پرکاربرد در جذب عناصر ضروری و غیرضروری (فلزات سنگین) توسط گیاه مبتنی بر روابط آب خاک 518
13-3-3-1- مدلسازی بر پایه مدل‌های ماکروسکوپی تعرق 519
13-3-3-2- انواع مدل‌های پایه‌ای کاهش تعرق..... 522
13- 3-3-3- مدل‌های جذب آب توسط ریشه گیاه 524
13-4- نتیجه‌گیری 542

فصل چهاردهم: مدیریت آب در خاک‌های متأثر از نمک 559

14-1- مقدمه 559
14-2- خاک‌های متأثر از نمک 560
14-3- منابع خاک و آب‌شور 561
14-4- معیارهای متداول در ارزیابی و مدیریت آب در خاک‌های متأثر از نمک 562
14-5- تجمع نمک در خاک در نتیجه آبیاری 564
14-6- تأثیر کیفیت آب آبیاری بر خصوصیات خاک‌های متأثر از نمک 566
14-7- معیارهای کیفیت و ارزیابی مناسب بودن آب آبیاری 567

14-8- سازگاری و کنترل شور شدن منابع آب و خاک 571
14-9- مدیریت آب در خاک‌های متأثر از نمک 573
14-9-1- اصلاح کیفیت آب آبیاری پیش از آبیاری 573
14-9-2- اصلاح کیفیت خاک‌های متأثر از نمک 576
14-9-3- آبشویی و زمان مناسب انجام آن 576
14-9-4- نیاز آبشویی و کسر آبشویی 577
14-9-4-1- نیاز آبشویی در آبیاری سطحی و قطره‌ای 578
14-10- کنترل شوری و روش های آبیاری در خاک‌های متأثر از نمک 581
14-10-1- آبیاری سطحی 582
14-10-1-1- آبیاری کرتی 584
14-10-1-2- آبیاری جویچه‌ای 585
14-10-1-3- آبیاری نواری 587
14-10-2- آبیاری بارانی 587
14-10-3- آبیاری قطره‌ای 589
14-11- شوری خاک و کاهش عملکرد نسبی گیاهان زراعی 591
14-12- ارزیابی، پیش‌بینی و مدیریت شور شدن خاک و آب 595
14-13- مدل‌ها و روش‌هایی برای ارزیابی مقدار آب خاک و رژیم‌های نمک 596
14-13-1- مدل هیدرولوژیکی و ارزیابی مدیریت آب و نمک 600
14-13-1-1- مدل هیدرولوژیکی HYDRUS 601
14-13-2- مفهوم مدل‌سازی و داده‌های ورودی مدل در مطالعات حرکت آب و نمک 602
14-13-2-1- مدل‌سازی تک‌بعدی 602
14-13-2-2- مدل‌سازی سه‌بعدی 604

14-13-2-3- مثالی از ارزیابی حرکت آب و املاح در یک نیم‌رخ خاک توسط مدل 605
14-14- نتیجه‌گیری 610
منابع 611
واژه‌نامه 621

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل 1-3- نمایی از آبیاری ناقص ریشه 26
شکل 1-4- آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان 27
شکل 3-1- تغییرات دمای جهانی از سال 1880 تا سال 2020 از سایت NASA 49
شکل 3-2- تغییرات دمای کشور از سال 1347 تا سال 1395 از سایت پژوهشکده 50
اقلیم شناسی 50
شکل 4-1- نقش تراکم کشت بر درصد پوشش گیاهی 93
شکل 5-1- تابع جذب آب توسط ریشه 123
شکل 5-2- تابع جذب آب توسط ریشه 124
شکل 5-3- مثلث بافت خاک ارائه‌شده توسط SHIRAZI و BOERSMA 130
شکل 5-4- مثلث بافت خاک USDA 131
شکل 5-5- رابطه بین لگاریتم نسبت وزنی ذرات خاک و لگاریتم شعاع ذرات آن‌ها 144
شکل 6-1- تغییر ضرایب گیاهان زراعی در طول فصل رشد گیاه 195
شکل 6-2- تغییر ضرایب گیاهان باغی در طول فصل رشد گیاه 196
شکل 7- 1- تغییرات پارامترهای برنامه‌ریزی آبیاری در مزرعه 229
شکل 7-2- ظرفیت تقریبی نگهداری آب در خاک‌های مختلف به‌عنوان تابعی از درصد رس
خاک 233
شکل 7-3- تغییرات آب قابل‌دسترس در طول دوره رشد گیاه سیب‌زمینی 234
شکل 8-1- مسیر قطری 260
شکل 8-2- مسیر وتری 260

شکل 8-3- پارشال فلوم 266
شکل 8-4- تأثیر ساختار روزنه‌های مختلف بر ضرایب آن‌ها..... 271
شکل 8-5- ضریب دبی برای ونتوری متر 288
شکل 8-6- نمونه‌هایی از لوله‌های پیتوت 290
شکل 8-7- توزیع سرعت برای شکل‌های مختلف مقطع کانال‌ها 292
شکل 8-8- منحنی عمودی توزیع سرعت استاندارد برای جریان 293
شکل 10-1- منحنی ترکیب کشت دو گیاه..... 354
شکل 10-2- منحنی امکانات تولید در حالت جانشینی کامل..... 355
شکل 10-3- منحنی امکانات تولید در حالت مکمل بودن گیاهان..... 356
شکل 10-4- منحنی امکانات تولید در حالت متمم بودن گیاه..... 357
شکل 10-5- منحنی امکانات تولید برای زارعین فقیر 358
شکل 11-1- رابطه بین عمق آب مصرفی و درآمد کل و هزینه تولید 403
شکل 12-1- عکس هوایی برداشت از منطقه 454
شکل 12-2- نمونه‌ای از نقشه حدنگاری منطقه 456
شکل 12-3- نقشه تناسب اراضی 458
شکل 12-4- اجزای تقاضای اقلیمی آب 459
شکل 12-5- لایه‌های تعیین الگوی کشت گیاهان 465
شکل 13-1- شبیه‌سازی عملکرد محصول بهصورت تابعی از آب و کود مصرفی..... 505
شکل 13-2- شکل کلی جذب آب به‌عنوان تابعی از مقدار آب- خاک 512
شکل 13-4- نمایی از تابع کاهش جذب آب 526
شکل 13-5- مقادیر اندازه‌گیری و تخمینی رطوبت خاک از یک مدل نمایی از منطقه‌ای با خاک لومی رسی با پوشش سویا 534

شکل 13-6- مقادیر اندازهگیری و تخمینی رطوبت خاک از یک مدل نمایی از منطقهای با خاک لومی شنی با پوشش ذرت 535
شکل 13-7- مقادیر رطوبت خاک اندازهگیری شده و تخمینی در پروفیل خاک با مدل‌های مختلف جذب آب توسط ریشه در خاک لوم رس تحت پوشش سویا 537
شکل 14-1- آبیاری سطحی (غرقابی) در خاک‌های شور دشت سیستان (راست) و استان خوزستان (چپ) 584
شکل 14-2- آبیاری جویچه‌ای در خاک‌های متأثر از نمک و تجمع نمک متأثر از آب و یا خاک با شوری‌های کم، متوسط و زیاد. 586
شکل 14-3- نمایی از آبیاری قطره‌ای (تیپ) در سیب‌زمینی و گندم تصویر چپ، تجمع نمک و کاهش رطوبت مابین لوله‌ها و اطراف قطره‌چکان‌ها مشهود است. 589
شکل 14-4- نمای شماتیک نیم‌رخ خاک و مدل مفهومی 604
شکل 14-5- نمای شماتیک نیم‌رخ و مدل مفهومی سه‌بعدی 605
شکل 14-6- تغییرات شوری و قلیائیت خاک برای 10 سال پروفیل بسیار شور در شهرستان نیمروز در دشت سیستان 606
شکل 14-7- شبیه‌سازی دوبعدی هدایت الکتریکی خاک برای 50-0 سانتی‌متر از سطح نیم‌رخ خاک در نیمروز در دشت سیستان (روز صفر زمان ابتدایی و اول مهر می‌باشد). 609

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول 4-1- پارامترهای گیاهی مؤثر در شرایط شور 104
جدول 5-1- خصوصیات فیزیکی ذرات تشکیل‌دهنده بافت خاک 116
جدول 5-2- برخی از خواص کانی‌های سیلیکاتی 117
جدول 5-3- طبقه‌بندی نفوذپذیری آب در خاک 137
جدول 5-4- طبقه‌بندی نفوذپذیری بر اساس بافت خاک 138
جدول 5-5- اطلاعات تبخیرتعرق گیاه گندم در یک‌فصل زراعی (میلی‌متر) با توجه به ضریب تجربی 151
جدول 5-6- اطلاعات تعرق گیاه گندم در یک‌فصل زراعی (میلی‌متر) با توجه به ضریب تجربی . 152
جدول 5-7- اطلاعات تبخیرتعرق گیاه گندم در یک‌فصل زراعی (میلی‌متر) با توجه به بازه زمانی 153
جدول 5-8- اطلاعات تبخیرتعرق گیاه گندم در یک‌فصل زراعی (میلی‌متر) با توجه به ضریب حساسیت گیاه 155
جدول 6-1- گروه‌بندی زمانی- مکانی تناسب روش‌های اندازه‌گیری تبخیرتعرق مرجع 172
جدول 6-2- مزایا و معایب روش‌های مستقیم اندازه‌گیری ET 173
جدول 6-3- بررسی مقیاس زمانی استفاده از مدل‌های برآورد تبخیرتعرق مرجع 175
جدول 6-4- ضریب اصلاحی روش PENMAN (1948) اصلاح شده توسط FAO 184
جدول 6-5- دمای میانگین در 7 روز متوالی 203
جدول 6-6- ضریب تعدیل نیاز آبی خالص 205
جدول 7-1- مقادیر آب قابل‌دسترس برای بافت‌های خاک مختلف برحسب متر بر متر 236
جدول 7-2- مقایسه روش‌های مختلف اندازه‌گیری ویژگی‌های مرتبط با برنامه‌ریزی آبیاری .. 240

جدول 9-1- فهرست برخی از مدل‌های رشد گیاهی که در برآورد تولید محصول در شرایط محدودیت منابع آب استفاده شدند 331
جدول 11-1- عمق آب مصرفی در آبیاری کامل برای تولید، درآمد کل و خالص حاصل از تولید کل گندم با استفاده از روابط درجه یکم هزینه تولید 421
جدول 11-2- عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت زمین برای تولید کل، درآمد کل و خالص از تولید 422
جدول 11-3- عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت منابع آب برای تولید، درآمد کل و خالص حاصل از تولید محصول کل گندم 424
جدول 11-4- عمق معادل آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین برای تولید کل گندم و درآمد کل و درآمد خالص ناشی از تولید کل 426
جدول 11-5- عمق معادل آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین برای تولید، درآمد کل و درآمد خالص از تولید کل گندم 428
جدول 11-6- عمق آب آبیاری در حالت سربه‌سر برای تولید، درآمد کل و خالص از تولید کل گندم 430
جدول 11-7- اعماق آستانه آب مصرفی معادله درجه اول و دوم هزینه تولید در دوره‌های رشد گندم 433
جدول 11-8- بردار اولویت گزینه‌های مختلف نسبت به هر یک از معیارها و وزن نهایی هر یک از گزینه‌ها 443
جدول 12-1- اطلاعات اقتصادی پایه در منطقه قزوین برحسب دلار در سال 2012 471
جدول 12-2- مقایسه ضرایب واکنش عملکرد گیاه گندم و توابع تولید مختلف 474
جدول 12-3- مقایسه ضرایب واکنش عملکرد گیاه جو و توابع تولید مختلف 474
جدول 12-4- مقایسه ضرایب واکنش عملکرد گیاه کلزا و توابع تولید مختلف 475
جدول 12-5- مقایسه ضرایب واکنش عملکرد گیاه چغندرقند و توابع تولید مختلف 475

جدول 12-6- مقایسه ضرایب واکنش عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی حاصل از توابع تولید 476
جدول 12- 7- مقایسه ضرایب واکنش عملکرد گیاه یونجه حاصل از توابع تولید 476
جدول 12-8- مقایسه ضرایب واکنش عملکرد گیاه ذرت دانه‌ای و توابع تولید مختلف..... 477
جدول 12-9- مقایسه ضرایب واکنش عملکرد گیاه ذرت علوفه‌ای و توابع تولید مختلف..... 477
جدول 12-10- مقدار آب تخصیص داد شده توسط مدل در شرایط مختلف کمبود آب برای گیاهان مختلف (میلی‌متر) 478
جدول 12-11 برنامه آبیاری پیشنهادی مدل در شرایط کمبود آب 20 درصد و محصول تخمینی حاصل از آن. 480
جدول 12-12- الگوی کشت در شرایط مختلف کمبود آب (درصد سطح) 481
جدول 12-13- متوسط بهره‌وری خالص مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) توسط مدل در شرایط مختلف کمبود آب برای گیاهان مختلف..... 482
جدول 12-14- متوسط بهره‌وری ناخالص آب (کیلوگرم بر مترمکعب) در شرایط مختلف کمبود آب..... 483
جدول 12-15-متوسط بهره‌وری اقتصادی آب (دلار بر مترمکعب) در شرایط مختلف کمبود آب. 484
جدول 13-1- میانگین خطای نسبی (ARE)، میانگین خطا (ME) و ضریب تغییرات (CV) برای مقایسه مقدار آب خاک اندازه‌گیری شده و تخمینی..... 536
جدول 13-2- مدلهای مختلف جذب آب توسط ریشه گیاه..... 539
جدول 14-1- خطر شوری آب بر اساس میزان غلظت املاح و هدایت الکتریکی.. 568
جدول 14-2- کلاس‌های کیفیت آب آبیاری برای ارزیابی خطر سمیت آن برای گیاهان..... 570
جدول 14-3- تحمل گیاهان زراعی مهم به شوری 593

فصل اول:

آب و آبیاری

شادمان ویسی، نیازعلی ابراهیمی پاک

1-1- کلیات

آب یکی از مهم‌ترین عوامل رشد و توسعه جوامع بشری محسوب می‌شود. مقایسه کشورهای مختلف نشان می‌دهد که کمبود آب به‌ویژه آب باکیفیت خوب، یکی از عوامل مهم بازدارنده توسعه کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی در بیشتر کشورهای درحال‌توسعه است. در تمام دنیا بیشترین مصرف آب در بخش کشاورزی است و بخش کشاورزی یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی است که در تأمین امنیت غذایی کشور نقش مهمی ایفاد می کند. با وجود اینکه سه چهارم سطح زمین را آب فراگرفته لیکن تنها 0/49 درصد این آب شیرین بوده و برای استفاده در دسترس بشر قرار دارد. از این رو کمبود منابع آب به‌عنوان بزرگ‌ترین بحران، پیش روی جامعه بشری قرار دارد. مطالعات منابع آب کشور نشان می‌دهد که در شرایط عادی، منابع آب تجدیدپذیر کل کشور 130 میلیارد مترمکعب است و در حال حاضر از کل منابع آب تجدیدشونده کشور، حدود 103 میلیارد مترمکعب برداشت می شود و از این مقدار حدود 82 میلیارد مترمکعب آن (80 درصد) به بخش کشاورزی و باقیمانده به بخش صنعت، خدمات، شرب و نیازهای متفرقه دیگر اختصاص دارد. بر اساس گزارش مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، کشور ایران برای حفظ وضع موجود تا سال 2025 باید بتواند 112 درصد به منابع آب قابل