



طراحی سیستم‌های آبیاری

(رشته مهندسی آب و خاک)

دکتر حسین انصاری دکتر کامران داوری دکتر حسین شریفان

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار ناشر

کتاب‌های دانشگاه پیام نور حسب مورد و با توجه به شرایط مختلف یک درس در یک یا چند رشته دانشگاهی، به صورت کتاب درسی، متن آزمایشگاهی، فرادرسی، و کمک درسی چاپ می‌شوند.

کتاب درسی ثمره کوشش‌های علمی صاحب اثر است که براساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصل‌های مصوب تهیه و پس از داوری علمی، طراحی آموزشی، و ویرایش علمی در گروه‌های علمی و آموزشی، به چاپ می‌رسد. پس از چاپ ویرایش اول اثر، با نظرخواهی‌ها و داوری علمی مجدد و با دریافت نظرهای اصلاحی و متناسب با پیشرفت علوم و فناوری، صاحب اثر در کتاب تجدیدنظر می‌کند و ویرایش جدید کتاب با اعمال ویرایش زبانی و صوری جدید چاپ می‌شود.

متن آزمایشگاهی (م) راهنمایی است که دانشجویان با استفاده از آن و کمک استاد، کارهای عملی و آزمایشگاهی را انجام می‌دهند.

کتاب‌های فرادرسی (ف) و **کمک درسی** (ک) به منظور غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی تهیه و بر روی لوح فشرده تکثیر می‌شوند و یا در وبگاه دانشگاه قرار می‌گیرند.

مدیریت تولید محتوا و تجهیزات آموزشی

فهرست

سیزده

پیشگفتار

فصل اول: مبانی تعیین نیاز آبی گیاهان

- ۱-۱. نیاز آبی گیاهان
- ۲-۱. محاسبه تبخیر و تعرق مرجع
- ۱-۲-۱. روش تشتک تبخیر
- ۲-۲-۱. روش بلینی - کریدل
- ۳-۲-۱. روش بلینی - کریدل اصلاح شده
- ۳-۱. تبخیر و تعرق پتانسیل
- ۱-۳-۱. تعیین ضریب گیاهی، K_c
- ۴-۱. نیاز آبیاری
- ۵-۱. راندمان‌های آبیاری
- ۱-۵-۱. راندمان انتقال آب
- ۲-۵-۱. راندمان کاربرد آب آبیاری
- ۳-۵-۱. راندمان ذخیره آب (راندمان نیاز آبی)
- ۴-۵-۱. راندمان کلی سیستم آبیاری
- ۶-۱. نیاز ناخالص آبیاری
- ۱-۶-۱. نیاز آبخویی
- ۲-۶-۱. باران مؤثر

۲۵

فصل دوم: مبانی برنامه‌ریزی آبیاری

- ۱-۲. روابط آب، خاک و گیاه
- ۱-۱-۲. خاک و اجزای آن
- ۲-۱-۲. شناخت اجزاء خاک
- ۲-۲. رطوبت در خاک

- ۳-۲. پتانسیل آب در خاک
 ۴-۲. نقاط مهم پتانسیلی آب در خاک
 ۱-۴-۲. ظرفیت زراعی Field Capacity
 ۲-۴-۲. نقطه پژمردگی دائم Permanent Wilting Point
 ۳-۴-۲. رطوبت قابل وصول توسط گیاه
 ۴-۴-۲. رطوبت سهل الوصول قابل استفاده توسط گیاه
 ۵-۲. برنامه ریزی آبیاری

۴۳ فصل سوم: سیستم‌های آبیاری

- ۱-۳. آبیاری سطحی
 ۱-۱-۳. انواع سیستم‌های آبیاری سطحی
 ۲-۱-۳. آبیاری غرقابی کنترل نشده یا سیلابی
 ۲-۳. آبیاری زیرسطحی
 ۱-۲-۳. آبیاری زیرسطحی طبیعی
 ۲-۲-۳. آبیاری زیرسطحی مصنوعی
 ۳-۳. آبیاری تحت فشار

۵۱ فصل چهارم: مبانی طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی

- ۱-۴. اهداف طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی
 ۲-۴. اطلاعات و متغیرهای طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی
 ۳-۴. نفوذ
 ۱-۳-۴. معادله کوستیاکوف (kostiakov)
 ۲-۳-۴. معادله نفوذ ارائه شده توسط SCS
 ۴-۴. آماده سازی و تسطیح زمین
 ۱-۴-۴. عوامل مؤثر در آماده سازی زمین

۶۷ فصل پنجم: طراحی سیستم‌های آبیاری کرتی

- ۱-۵. آبیاری کرتی برای چه شرایطی مناسب است؟
 ۱-۱-۵. گیاهان مناسب
 ۲-۱-۵. شیب‌های مناسب
 ۳-۱-۵. خاک‌های مناسب
 ۴-۱-۵. مزیت‌ها
 ۵-۱-۵. محدودیت‌ها
 ۲-۵. طرح کرت
 ۱-۲-۵. شکل و اندازه کرت
 ۲-۲-۵. شکل و ابعاد مرزها
 ۳-۵. نگهداری کرت‌ها
 ۴-۵. آبیاری کرت‌ها

۷۵	۵-۴-۱. روش مستقیم
۷۶	۵-۴-۲. روش آبخاوری
۷۷	۵-۵. الگوهای مرطوب شدن
۷۸	۵-۵-۱. الگوی مرطوب شدن ایده‌آل
۷۸	۵-۵-۲. الگوی مرطوب شدن ضعیف
۸۲	۵-۶. سایر ملاحظات در طراحی کرت
۸۳	۵-۶-۱. محدودیت‌های طراحی
۸۴	۵-۶-۲. روش طراحی سرویس حفاظت خاک آمریکا (USDA, 1974)
۸۸	۵-۶-۳. روش تجربی بوهر (۱۹۷۴)
۸۹	۵-۷. انتخاب تجهیزات سراب
۸۹	۵-۷-۱. نهرهای توزیع
۹۰	۵-۷-۲. خروجی‌های نهرهای توزیع
۹۰	۵-۷-۳. خروجی‌های لوله‌ای
۹۱	۵-۷-۴. فرسایش
۹۱	۵-۷-۵. محل خروجی

۹۳	فصل ششم: طراحی سیستم‌های آبیاری نواری
۹۳	۶-۱. آبیاری نواری برای چه شرایطی مناسب است؟
۹۵	۶-۱-۱. گیاهان مناسب
۹۵	۶-۱-۲. شیب‌های مناسب
۹۶	۶-۱-۳. خاک‌های مناسب
۹۶	۶-۱-۴. مزیت‌ها
۹۷	۶-۱-۵. محدودیت‌ها
۹۷	۶-۲. طرح نوار
۹۸	۶-۳. نگهداری نوارها
۹۸	۶-۴. آبیاری نوارها
۹۹	۶-۵. الگوهای مرطوب شدن
۹۹	۶-۵-۱. شیب‌بندی نامناسب و ضعیف اراضی
۱۰۰	۶-۵-۲. انتخاب نادرست شدت جریان آب ورودی
۱۰۱	۶-۵-۳. انتخاب نادرست زمان قطع جریان ورودی
۱۰۱	۶-۶. سایر ملاحظات در طراحی نوارها
۱۰۲	۶-۶-۱. خصوصیات نفوذ خاک
۱۰۲	۶-۶-۲. ضریب زبری مانینگ
۱۰۲	۶-۶-۳. معادلات طراحی
۱۱۷	۶-۶-۴. روش تجربی بوهر (۱۹۷۴)
۱۱۸	۶-۷ انتخاب تجهیزات سراب

۱۱۹	فصل هفتم: طراحی سیستم‌های آبیاری شیاری
۱۱۹	۷-۱. آبیاری شیاری برای چه شرایطی مناسب است؟

- ۱۲۱ ۱-۱-۷. گیاهان مناسب
- ۱۲۱ ۲-۱-۷. شیب‌های مناسب
- ۱۲۲ ۳-۱-۷. خاک‌های مناسب
- ۱۲۳ ۲-۷. مزایای سیستم آبیاری شیاری
- ۱۲۴ ۳-۷. محدودیت‌های استفاده از سیستم آبیاری شیاری
- ۱۲۴ ۴-۷. طرح شیار (پلان شیار)
- ۱۲۴ ۱-۴-۷. طول شیار
- ۱۲۷ ۲-۴-۷. شکل شیار
- ۱۲۷ ۳-۴-۷. فاصله شیارها
- ۱۲۹ ۵-۷. آبیاری شیارها
- ۱۲۹ ۶-۷. الگوهای مرطوب شدن
- ۱۳۰ ۱-۶-۷. الگوی مرطوب شدن ایده‌آل
- ۱۳۰ ۲-۶-۷. الگوهای مرطوب شدن ضعیف
- ۱۳۲ ۷-۷. سایر ملاحظات طراحی در شیارها
- ۱۳۲ ۱-۷-۷. فرضیات طراحی سیستم‌های آبیاری شیاری
- ۱۳۲ ۲-۷-۷. محدودیت‌های طراحی سیستم‌های آبیاری شیاری
- ۱۳۴ ۳-۷-۷. معادلات طراحی سیستم‌های آبیاری شیاری
- ۱۴۶ ۸-۷. انتخاب تجهیزات سراب
- ۱۴۶ ۱-۸-۷. نهرهای توزیع
- ۱۴۶ ۲-۸-۷. خطوط لوله توزیع
- ۱۴۷ ۳-۸-۷. خروجی‌های توزیع
- ۱۴۷ ۴-۸-۷. لوله‌های دریچه‌دار

- ۱۴۹ فصل هشتم: سیستم‌های آبیاری بارانی**
- ۱۴۹ ۱-۸. آبیاری بارانی برای چه شرایطی مناسب است؟
 - ۱۵۰ ۱-۱-۸. گیاهان مناسب
 - ۱۵۰ ۲-۱-۸. شیب‌های مناسب
 - ۱۵۰ ۳-۱-۸. خاک‌های مناسب
 - ۱۵۱ ۴-۱-۸. آب آبیاری مناسب
 - ۱۵۱ ۵-۱-۸. مزیت‌ها و محدودیت‌های استفاده از سیستم آبیاری بارانی
 - ۱۵۴ ۲-۸. اجزای سیستم‌های آبیاری بارانی
 - ۱۵۵ ۱-۲-۸. اجزای تأمین فشار (ایستگاه پمپاژ)
 - ۱۵۵ ۲-۲-۸. شبکه لوله‌های اصلی و نیمه اصلی Main Line
 - ۱۵۵ ۳-۲-۸. لوله‌های فرعی Lateral
 - ۱۵۵ ۴-۲-۸. آبپاش‌ها
 - ۱۵۶ ۵-۲-۸. قسمت‌های جانبی
 - ۱۵۷ ۳-۸. انواع سیستم‌های آبیاری بارانی
 - ۱۵۸ ۱-۳-۸. سیستم‌های ثابت
 - ۱۶۶ ۲-۳-۸. سیستم آبیاری بارانی با جابجایی مداوم

۱۷۱	فصل نهم: مبانی طراحی سیستم‌های آبیاری بارانی
۱۷۱	۹-۱. اطلاعات مورد نیاز برای طراحی سیستم‌های آبیاری بارانی
۱۷۳	۹-۲. راندمان در آبیاری بارانی
۱۷۴	۹-۲-۱. یکنواختی پخش آب در آبیاری بارانی
۱۸۱	۹-۲-۲. تلفات تبخیر و بادبردگی (تلفات پاشش)
۱۸۵	۹-۲-۳. هدررفت ناشی از نشست و زهکشی
۱۸۵	۹-۴. راندمان کاربرد آب
۱۸۷	۹-۴. برنامه‌ریزی آبیاری در سیستم‌های آبیاری بارانی
۱۸۷	۹-۴-۱. نیاز خالص آبیاری
۱۸۸	۹-۴-۲. نیاز ناخالص آبیاری
۱۸۸	۹-۴-۳. دور آبیاری
۱۹۱	۹-۴-۴. ظرفیت سیستم آبیاری بارانی

۱۹۵	فصل دهم: آبیاش‌ها و نحوه کارکرد آن‌ها در سیستم آبیاری بارانی
۱۹۵	۱۰-۱. انواع آبیاش‌ها
۱۹۶	۱۰-۱-۱. تقسیم‌بندی آبیاش‌ها از نظر نحوه چرخش
۱۹۷	۱۰-۱-۲. تقسیم‌بندی آبیاش‌ها از نظر فشار کاری
۱۹۸	۱۰-۲. الگوی مرطوب شدن خاک توسط آبیاش
۲۰۰	۱۰-۲-۱. دبی و شعاع پاشش آبیاش‌ها
۲۰۱	۱۰-۲-۲. شدت پخش (Application Rate) آب در آبیاش‌ها
۲۰۴	۱۰-۳. پارامترهای مؤثر بر طرز کار آبیاش‌ها و کارائی آن‌ها
۲۰۵	۱۰-۳-۱. قطر نازل آبیاش
۲۰۵	۱۰-۳-۲. فشار پشت آبیاش
۲۰۷	۱۰-۳-۳. زاویه پراکنش آب
۲۰۷	۱۰-۳-۴. چرخش آبیاش‌ها
۲۰۷	۱۰-۳-۵. تداخل آب از آبیاش‌های مجاور
۲۰۷	۱۰-۳-۶. ارتفاع و زاویه پایه آبیاش (رایزر)
۲۰۷	۱۰-۳-۷. سرعت و جهت باد
۲۰۷	۱۰-۴. انتخاب نوع آبیاش‌ها

۲۱۳	فصل یازدهم: آرایش لوله‌ها و آبیاش‌ها در سیستم آبیاری بارانی
۲۱۳	۱۱-۱. آرایش آبیاش‌ها
۲۱۴	۱۱-۱-۱. انتخاب فاصله آبیاش‌ها
۲۱۷	۱۱-۲. آرایش لوله‌ها در سیستم‌های آبیاری بارانی
۲۱۸	۱۱-۲-۱. اندازه مزرعه
۲۱۸	۱۱-۲-۲. شکل مزرعه
۲۱۸	۱۱-۲-۳. باد
۲۱۸	۱۱-۲-۴. عوارض موجود در مزرعه

۲۲۰ ۵-۲-۱۱. شیب‌های مزرعه، جهت و تغییرات آن‌ها

فصل دوازدهم: طراحی هیدرولیکی سیستم آبیاری بارانی

- ۲۲۵ ۱-۱۲. روابط هد و فشار
- ۲۲۶ ۲-۱۲. تعیین هد اصطکاکی یا افت فشار در لوله‌ها
- ۲۳۰ ۳-۱۲. محاسبه افت اصطکاکی در لوله‌های با خروجی‌های زیاد (لاترال)
- ۲۳۴ ۴-۱۲. افت‌های موضعی یا افت‌های جزئی (افت در اتصالات و ضمایم)
- ۲۳۴ ۵-۱۲. طراحی هیدرولیکی خطوط لوله در سیستم آبیاری بارانی
- ۲۳۶ ۱-۵-۱۲. انتخاب قطر مناسب لوله و بررسی عوامل مؤثر بر انتخاب آن
- ۲۳۹ ۶-۱۲. طراحی لوله‌های فرعی (لاترال‌ها) در سیستم‌های آبیاری بارانی
- ۲۳۹ ۱-۶-۱۲. تعیین افت اصطکاکی در لوله‌های فرعی آبیاری بارانی
- ۲۴۲ ۲-۶-۱۲. تعیین قطر و خط طول لوله فرعی
- ۲۴۳ ۳-۶-۱۲. محاسبه فشار ورودی و دیگر پارامترهای فشاری در خط لوله فرعی
- ۲۵۰ ۴-۶-۱۲. گرادیان افت هد فشاری مجاز در خط فرعی سیستم آبیاری بارانی
- ۲۵۰ ۵-۶-۱۲. طراحی لوله فرعی در زمین هموار
- ۲۵۱ ۶-۶-۱۲. طراحی لوله‌های فرعی شیب‌دار
- ۲۵۹ ۷-۱۲. طراحی خطوط اصلی و نیمه اصلی
- ۲۶۳ ۱-۷-۱۲. روش پارامتر افت هد یا فشار واحد
- ۲۶۳ ۲-۷-۱۲. روش پارامتر سرعت آب
- ۲۶۳ ۳-۷-۱۲. روش پارامتر درصد افت هد مجاز
- ۲۶۳ ۴-۷-۱۲. روش اقتصادی

فصل سیزدهم: سیستم‌های آبیاری قطره‌ای

- ۲۶۷ ۱-۱۳. نحوه توزیع آب در سیستم آبیاری قطره‌ای
- ۲۶۸ ۲-۱۳. تاریخچه آبیاری قطره‌ای
- ۲۶۹ ۳-۱۳. مزایای سیستم آبیاری قطره‌ای
- ۲۷۴ ۴-۱۳. محدودیت‌های سیستم آبیاری قطره‌ای
- ۲۷۸ ۵-۱۳. اجزای سیستم آبیاری قطره‌ای
- ۲۸۰ ۱-۵-۱۳. ایستگاه کنترل مرکزی
- ۲۸۱ ۱-۱-۵-۱۳. فیلترهای مناسب جهت مقابله با رسوبات فیزیکی و بیولوژیکی
- ۲۸۳ ۲-۱-۵-۱۳. تزریق مواد شیمیایی و اسید در ایستگاه کنترل مرکزی

فصل چهاردهم: معیارهای طراحی و انتخاب قطره‌چکان‌ها

- ۲۸۸ ۱-۱۴. انتخاب قطره‌چکان‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای
- ۲۹۱ ۲-۱۴. حساسیت قطره‌چکان‌ها به گرفتگی
- ۲۹۲ ۳-۱۴. تئوری جریان آب در قطره‌چکان‌ها
- ۲۹۳ ۱-۳-۱۴. محاسبه نمای دبی قطره‌چکان‌ها
- ۲۹۴ ۲-۳-۱۴. رابطه بین دبی و فشار در قطره‌چکان

- ۲۹۵ ۴-۱۴. ضریب تغییرات ساخت قطره‌چکان
- ۲۹۷ ۵-۱۴. نحوه اتصال قطره‌چکان‌ها به خط لوله فرعی
- ۲۹۸ ۶-۱۴. انتخاب دبی قطره‌چکان
- ۲۹۹ ۷-۱۴. متوسط بار فشار در قطره‌چکان، H_a
- ۲۹۹ ۸-۱۴. یکنواختی توزیع آب در سیستم آبیاری قطره‌ای، EU
- ۳۰۲ ۹-۱۴. تغییرات مجاز بار فشار در زیر واحد آبیاری قطره‌ای ΔH_s
- ۳۰۳ ۱۰-۱۴. شدت خالص پخش In

۳۰۵ فصل پانزدهم: پارامترهای طراحی در سیستم آبیاری قطره‌ای

- ۳۰۵ ۱-۱۵. مساحت مرطوب و مرطوب شدن موضعی خاک
- ۳۰۶ ۱-۱-۱۵. تخمین مساحت مرطوب
- ۳۰۷ ۲-۱-۱۵. تعیین مساحت مرطوب برای آرایش‌های مختلف خط لوله فرعی
- ۳۱۵ ۲-۱۵. نیاز خالص آبی در سیستم‌های قطره‌ای
- ۳۱۵ ۱-۲-۱۵. شدت مصرف روزانه
- ۳۱۶ ۲-۲-۱۵. عمق خالص آب آبیاری در سیستم قطره‌ای
- ۳۱۶ ۳-۱۵. دور آبیاری در سیستم آبیاری قطره‌ای
- ۳۱۷ ۴-۱۵. عمق ناخالص آب آبیاری در سیستم قطره‌ای
- ۳۱۷ ۱-۴-۱۵. راندمان آبیاری
- ۳۲۰ ۲-۴-۱۵. عمق ناخالص آبیاری (d)
- ۳۲۲ ۳-۴-۱۵. مقاومت گیاه به شوری در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای
- ۳۲۳ ۴-۴-۱۵. نیاز آبتی در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای
- ۳۲۴ ۵-۴-۱۵. حجم ناخالص آب مورد نیاز هر درخت در هر روز G
- ۳۲۵ ۵-۱۵. مدت زمان آبیاری در هر روز T_a
- ۳۲۷ ۶-۱۵. ظرفیت کل سیستم Q_s

۳۲۹ فصل شانزدهم: هیدرولیک سیستم‌های آبیاری قطره‌ای

- ۳۳۰ ۱-۱۶. افت فشار ناشی از اتصال قطره‌چکان‌ها به خط لوله فرعی
- ۳۳۱ ۲-۱۶. طراحی لوله‌های فرعی آبیاری قطره‌ای
- ۳۳۳ ۳-۱۶. محاسبات هیدرولیکی لوله‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای
- ۳۳۴ ۴-۱۶. افت بار در لوله‌های با چند خروجی
- ۳۳۵ ۵-۱۶. طراحی خط لوله فرعی
- ۳۳۵ ۱-۵-۱۶. طراحی نحوه کارگذاری خطوط لوله فرعی
- ۳۳۶ ۲-۵-۱۶. دبی خط لوله فرعی
- ۳۳۶ ۳-۵-۱۶. فشار ابتدا و انتهای خط لوله فرعی
- ۳۳۷ ۶-۱۶. طراحی لوله مانیفولد (لوله رابط) در سیستم قطره‌ای
- ۳۳۷ ۱-۶-۱۶. مشخصات مانیفولدها
- ۳۳۸ ۲-۶-۱۶. فشار در ابتدای مانیفولد
- ۳۳۸ ۷-۱۶. طراحی لوله اصلی در سیستم قطره‌ای

۳۳۹

فصل هفدهم: پمپ‌ها

۳۴۲

۱-۱۷. پمپ‌های گریز از مرکز

۳۴۵

۱-۱۷. اصول عملکرد پمپ‌های گریز از مرکز

۳۴۵

۱-۱۷. ۲. عیب‌یابی در پمپ‌های گریز از مرکز

۳۴۹

فصل هجدهم: کیفیت آب آبیاری

۳۵۱

۱-۱۸. مشخصات کیفی آب آبیاری

۳۵۲

۱-۱۸. ۱. شوری یا غلظت کل نمک‌های محلول

۳۵۳

۱-۱۸. ۲. سدیمی بودن آب آبیاری

۳۵۳

۱-۱۸. ۳. طبقه‌بندی کیفی آب آبیاری

۳۵۷

منابع و مأخذ

پیشگفتار مؤلفین کتاب

خداوند را از اینکه تدوین این کتب را به ما عنایت کرد، قدردان و سپاسگزاریم.

سیستم‌های آبیاری از دیرباز در جهان به‌عنوان روش تأمین آب مورد نیاز گیاهان در کشاورزی فاریاب و برای آبیاری تکمیلی کشاورزی دیم، معرفی شده است. استفاده از این سیستم‌ها برای تأمین آب مصرفی محصولات و افزایش تولید محصول در ایران نیز به جهت شرایط خاص اقلیمی و جغرافیایی و رشد روزافزون جمعیت در صدها سال پیش مدنظر کشاورزان این منطقه بوده است. در شرایط کنونی که یکی از چالش‌های مهم در مقیاس ملی و حتی بین‌المللی، امنیت غذایی و تولید غذای کافی و مناسب برای افراد بشر بوده، اهمیت به‌کارگیری این سیستم‌های برای تولید محصول بیشتر مورد توجه همگان قرار گرفته است. در این راستا توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار و ارتقای عملکرد سیستم‌های آبیاری سطحی برای مصرف درست و بهینه آب اهمیتی روزافزون یافته است. مسلماً ادامه این فعالیت‌ها و اقدامات مهم جز با فراگیری دانش کشاورزی به‌ویژه دانش مرتبط با سیستم‌های آبیاری و همت همه دانش‌آموختگان این بخش محقق نخواهد شد.

کتاب حاضر که به‌عنوان تلاش مؤلفین آن در راستای هدف فوق است، به‌صورت علمی به جنبه‌های آموزش کلاسی مسائل مرتبط با سیستم‌های آبیاری و طراحی آنها پرداخته و نشان می‌دهد که میدان عمل این فن در کشاورزی بسیار وسیع است. به همین جهت موضوعات ارائه شده در این کتاب از مباحث آبیاری پایدار و نیاز آبی گیاهان شروع شده و تا معرفی سیستم‌های آبیاری تحت فشار و حتی انتخاب و تعیین تجهیزات ایستگاه پمپاژ سیستم‌های آبیاری تحت فشار گسترده شده است. در این

کتاب، مطالبی پایه در خصوص کلیات آبیاری، نیاز آبی گیاهان و برنامه‌ریزی آبیاری، روابط آب و خاک و گیاه، سیستم‌های آبیاری، مبانی طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی، انواع سیستم‌های آبیاری سطحی، مشخصات این سیستم‌ها و طراحی آنها، انواع سیستم‌های آبیاری تحت فشار، مشخصات آنها و محاسبات هیدرولیکی و طراحی آنها ارائه شده است. همچنین مفاهیمی در خصوص راندمان‌های آبیاری، پمپ‌های آبیاری و نیز کیفیت آب آبیاری به رشته تحریر درآمده است.

این کتاب که شامل موارد حائز اهمیتی در خصوص اصول و عملیات آبیاری است، به‌گونه‌ای تالیف شده که در عین تحت پوشش قرار دادن سرفصل دروس نظری و عملی آبیاری عمومی و اصول آبیاری رشته‌های کشاورزی با ارائه مثال‌ها، سؤالات و مسائل پایان هر فصل، موضوعات به‌صورت روشن و صریح تشریح شوند، تا علاوه بر دانشجویان، برای کلیه استفاده‌کنندگان کتاب مثمرتر واقع گردد.

اصل این کتاب مشابه هر تألیفی دیگر، خالی از پاره‌ای نارسایی‌ها و اشکالات نیست، لذا از تمامی افراد و صاحب‌نظرانی که نظرات اصلاحی و یا مطالب خود را در قالب شکل و یا متن برایمان ارسال دارند، صمیمانه قدردانی می‌نماییم و بر این اعتقاد هستیم که این نظرات می‌توانند بر غنای علمی و ارزش آموزشی کتاب در چاپ‌های بعدی بیفزاید.

در خاتمه، مؤلفین بر خود لازم می‌دانند تا از تشویق‌های همکاران دانشگاهی و نیز مساعدت و همکاری مدیریت تولید مواد و تجهیزات آموزشی دانشگاه پیام نور که پیشنهاد تدوین کتاب و چاپ کتاب را تقبل نموده، سپاسگزاری نمایند. همچنین از سرکار خانم فرخنده آجری که زحمت ویراستاری و تطبیق متن کتاب با شیوه‌نامه «تهیه و تدوین کتاب مرکز نشر دانشگاهی پیام‌نور» را عهده‌دار بوده و این اقدام را به نحو شایسته‌ای به انجام رسانیده‌اند، تشکر می‌گردد.

دکتر حسین انصاری

عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر کامران داوری

عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر حسین شریفان

عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

زمستان ۱۳۸۸

فصل اول

مبانی تعیین نیاز آبی گیاهان

یکی از موضوعات مهم در توسعه بخش کشاورزی، تأمین آب مورد نیاز از منابع مختلف سطحی یا زیرزمینی است. در کنار بخش کشاورزی، تأمین آب برای بخش‌های دیگر مصرف آب مثل شرب و صنعت هم در رقابت با بخش کشاورزی مطرح است. تخصیص منابع آب به هریک از این بخش‌ها به موارد بسیار زیادی از جمله اولویت‌های اقتصادی، فنی، سیاسی و اجتماعی و نیز میزان آب مورد نیاز هریک از بخش‌ها وابسته است. مسلماً این تخصیص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که اولاً محدودیت شدید منابع وجود دارد و ثانیاً نیاز آب هریک از بخش‌ها به تناسب مناطق مرطوب بیشتر بوده، از حساسیت بسیار بالایی برخوردار است، لذا در تعیین دقیق نیاز آبی هر بخش به‌ویژه بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگترین مصرف‌کننده آب در حوزه‌های آبریز، باید نهایت دقت را به‌کار برد.

۱-۱. نیاز آبی گیاهان

نیاز آبی گیاه یا همان آب مصرفی گیاه برای اهداف عملی با مقدار تبخیر و تعرق واقعی برابر فرض می‌شود که البته اشکال زیادی هم ایجاد نمی‌کند. اختلاف دو واژه نیاز آبی گیاه و تبخیر و تعرق واقعی در این است که نیاز آبی گیاه علاوه بر تبخیر و تعرق شامل آبی که در ساختمان بافت‌های گیاهی مصرف می‌شود، نیز هست. البته اختلاف به قدری کم است (حدود یک درصد تبخیر و تعرق) که در عمل می‌توان بدون خطای زیاد این دو واژه را معادل هم فرض کرد. گیاهان بسیار بیشتر از نیاز فیزیولوژیک خود، از خاک

آب را برای مصرف در پدیده تبخیر و تعرق جذب می‌کند. مجموع دو پارامتر تعرق و آبی که از سطح خاک به صورت بخار به اتمسفر وارد می‌شود اگر برای مزرعه تحت کاشت تعیین شود، تبخیر و تعرق واقعی گیاه را به دست خواهد داد. عوامل بسیار زیادی تبخیر و تعرق واقعی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، لذا با اندازه‌گیری مستقیم تبخیر و تعرق، می‌توان دقیق‌ترین مقادیر را برای این پارامتر تعیین کرد. اما از آنجائی که اندازه‌گیری مستقیم تبخیر و تعرق واقعی با اشکالات زیادی مواجه بوده و نسبتاً دشوار و وقت‌گیر می‌باشد، لذا در برنامه‌ریزی پروژه‌های آبیاری فرصت این کار نیست و در اغلب موارد مقدار این پارامتر را با استفاده از تبخیر و تعرق بالقوه (پتانسیل) برآورد می‌کنند. تبخیر و تعرق بالقوه (پتانسیل) که یک مقدار تخمینی است با استفاده از روش‌ها و فرمول‌های تجربی متعددی پیشنهاد شده که همگی بر اساس آمار پارامترهای مختلف هواشناسی است، قابل محاسبه است. تبخیر و تعرق پتانسیل به صورت زیر تعریف می‌شود:

«اگر یک گیاه زراعتی در سطح وسیعی کشت شده باشد و این گیاه در شرایطی رشد نماید که خاک از نظر مواد غذایی و رطوبت محدودیتی نداشته باشد و نیز عاری از هر گونه آفت یا بیماری باشد برای آنکه احتیاجات تبخیر و تعرق آن در طول دوره رویش برآورد شود نیاز به مقداری آب خواهد بود، این مقدار آب که معمولاً بر حسب ارتفاع توصیف می‌شود، آب مورد نیاز گیاه یا تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه گفته و با علامت اختصار ET_C نشان داده می‌شود».

بر اساس دستورالعمل سازمان جهانی خوار و بار و کشاورزی (FAO) برای محاسبه ET_C سلسله عملیات زیر را باید انجام داد:

۱. ابتدا با داشتن آمار هواشناسی یکی از روشهای تجربی آب مورد نیاز گیاه مرجع، ET_0 ، محاسبه می‌شود.

۲. پس از محاسبه ET_0 قدم دوم تعیین ضریب گیاهی یا همان K_c است. با ضرب ET_0 در ضریب گیاهی مقدار تبخیر و تعرق مربوط به گیاه مورد نظر، ET_{crop} ، یا نیاز آبی محاسبه می‌شود.

۳. پس از محاسبه ET_{crop} ، تصحیحات لازم نسبت به شرایط اقلیمی و زراعی حاکم بر منطقه صورت می‌گیرد.

لازم به ذکر است که برای تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه معمولاً از محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع استفاده می‌شود، که بنا به تعریف مقدار آب تبخیر و تعرق شده از یک مساحت معینی از چمن (یا یونجه) است که به‌طور کامل آبیاری شده و هیچ‌گونه محدودیت آبی برای گیاه وجود نداشته است. مقدار آبی که این مساحت از چمن از دست می‌دهد حداکثر تبخیر و تعرق یک پوشش سبز چمنی در منطقه بوده که آن را تبخیر و تعرق بالقوه گیاه مرجع می‌نامند. این پارامتر خود نیز به عوامل زیادی وابسته است که باید در محاسبه آن همه عوامل مؤثر مدنظر قرار گیرد، که این امر عملاً ممکن نبوده و یا بسیار پیچیده است. به هر صورت با تعیین این پارامتر و ضرب آن در یک ضریب مصرف متناسب با نوع گیاه، تبخیر و تعرق پتانسیل مزرعه برای گیاه کاشت شده که تخمینی از حداکثر تبخیر و تعرق واقعی است، به‌دست خواهد آمد که البته تعیین مقدار عددی این ضریب نیز مشکل است. باید توجه داشت که تبخیر و تعرق واقعی برای گیاهان مختلف از مقدار تبخیر و تعرق بالقوه کمتر و یا حداکثر با آن برابر است. چون تبخیر و تعرق بالقوه برای گیاهی با پوشش گیاهی کامل و کوتاه تعریف می‌شود.

۲-۱. محاسبه تبخیر و تعرق مرجع

همانطور که قبلاً بیان شد تأثیر اقلیم بر روی نیازهای آبی گیاهان با تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) تعیین می‌شود. تبخیر و تعرق مرجع معمولاً به‌صورت میلی‌متر بر واحد زمان، یعنی میلی‌متر بر روز، میلی‌متر بر ماه یا میلی‌متر بر فصل بیان می‌شود.

تعریف تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0)

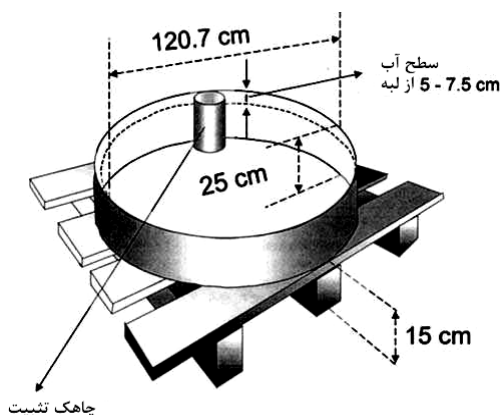
تبخیر و تعرق مرجع معادل شدت تبخیر و تعرقی است که از یک سطح بزرگ، پوشیده شده با چمن سبز به ارتفاع ۸ تا ۱۵ سانتی‌متر که به‌طور فعال در حال رشد بوده، سطح زمین را به‌صورت کامل پوشانده و هیچ کمبود رطوبتی ندارد، اتفاق می‌افتد.

چندین روش برای تعیین ET_0 وجود دارد. این روش‌ها عبارتند از:

- تجربی، با استفاده از تشتک تبخیر، یا
- تئوریک، با استفاده از داده‌های اقلیمی، مثل روش بلینی کریدل.

۱-۲-۱. روش تشتک تبخیر

تشتک‌های تبخیر با ترکیب اثر درجه حرارت، رطوبت، سرعت باد و تابش خورشیدی بر روی تبخیر و تعرق گیاه مرجع، یک اندازه معینی را از این پارامتر به دست می‌دهد. انواع زیادی از تشتک‌های تبخیر تاکنون نمود استفاده قرار گرفته‌اند. بهترین نوع تشتک شناخته شده، تشتک کلاس A (تشتک دایره‌ای) بوده که در شکل ۱-۱ ارائه شده است.



شکل ۱-۱ تشتک تبخیر کلاس A

نحوه کاربرد تشتک تبخیر بر اصول زیر استوار است:

- تشتک در مزرعه نصب شده است.
- تشتک با یک مقدار معینی از آب پر شده است (سطح آب در تشتک مشخص است و عمق آب مرتباً اندازه‌گیری می‌شود).
- به آب اجازه داده می‌شود تا در طول یک دوره معین تبخیر شود (معمولاً ۲۴ ساعت). برای مثال، هر روز ساعت ۷ صبح اندازه‌گیری انجام می‌شود. میزان بارش هم اگر اتفاق بیافتد باید ثبت شود.
- بعد از ۲۴ ساعت، مقدار آب باقیمانده (یعنی عمق آب) باید اندازه‌گیری شود.
- مقدار تبخیر بر واحد زمان (تفاوت بین دو عمق آب اندازه‌گیری شده) محاسبه شده است؛ این مقدار تبخیر از تشتک را نشان می‌دهد: E تشتک (به میلی‌متر بر ۲۴ ساعت).
- E تشتک با ضرب در ضریب تشتک، K تشتک، مقدار ET_0 را به دست

می‌دهد.

$$ET_0 = K_{pan} * E_{pan} \quad (1-1)$$

که در آن، E_{pan} : تبخیر از تشتک (میلی‌متر در روز) و K_{pan} : ضریب تشتک تبخیر کلاس A آمریکائی است.

اگر عمق آب در تشتک به مقدار زیادی پائین بیافتد (ناشی از کمبود بارندگی)، آب باید به تشتک اضافه شود و عمق آب قبل و بعد از اضافه کردن آب باید اندازه‌گیری شده باشد. اگر سطح آب خیلی زیاد بالا بیاید (ناشی از بارندگی)، آب خارج شده از تشتک و عمق آب قبل و بعد باید اندازه‌گیری شود.

تعیین ضریب تشتک

در هنگام استفاده از تشتک برای تخمین ET_0 ، در حقیقت مقایسه‌ای بین تبخیر از سطح آب در تشتک و تبخیر و تعرق از سطح چمن استاندارد انجام می‌گیرد. البته آب در تشتک و سطح چمن نباید واکنش دقیقاً مشابه‌ای را نسبت به اقلیم از خود نشان دهند. بنابراین یک ضریب تشتک ویژه‌ای برای ارتباط بین این دو پارامتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ضریب تشتک به پارامترهای زیر وابسته است:

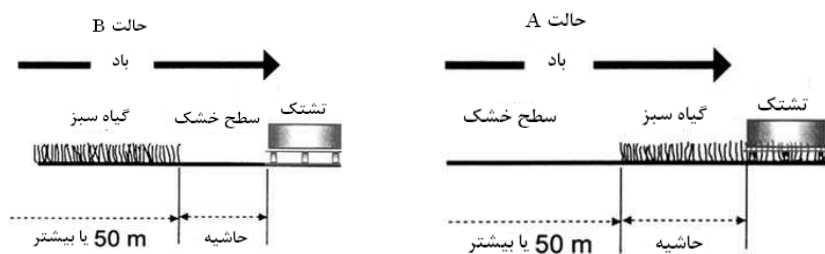
- نوع تشتک مورد استفاده.
- محیط تشتک: فضای کارگذاری تشتک چگونه است، در زمین‌های آیش یا در یک فضای کاشت شده.
- اقلیم: رطوبت و سرعت باد.

برای تشتک تبخیر کلاس A، ضریب تشتک بین ۰/۳۵ تا ۰/۸۵ تغییر می‌کند که ضریب متوسط برابر ۰/۷۰ است.

جزئیات ضرایب تشتک معمولاً به وسیله سازندگان و فروشندگان آنها ارائه می‌شود. اگر ضریب تشتک مشخص نباشد باید مقدار متوسط استفاده شود. مقادیر ارائه شده تنها به ضریب تشتک کلاس A اشاره دارند.

بسته به نوع تشتک، سایز و وضعیت بالادست محل قرارگیری تشتک مقدار ضریب تشتک متفاوت خواهد بود. بزرگ بودن منطقه بالادست تشک با پوشش خاص (شکل ۱-۲)، باعث خواهد شد تا باد به حرکت درآمده بر روی تشتک تناسب بیشتری

با مشخصات این منطقه داشته باشد. در وضعیت تعادل برای یک شرایط بالادست بزرگ، مقدار بخار آب بیشتری و گرمای کمتری در وضعیت A نسبت به وضعیت B مشاهده خواهد شد. ضریب برای تشنگ کلاس A برای شرایط مختلف پوشش سطح زمین، شرایط اقلیمی متفاوت و مقادیر مختلف محدودۀ بالادست تشنگ در جدول ۱-۱ ارائه شده است.



شکل ۱-۲ وضعیت قرارگیری تشنگ

جدول ۱-۱ ضریب تشنگ (K_{pan}) برای تشنگ کلاس A برای شرایط مختلف پوشش و اقلیم

تشنگ کلاس A				حالت A: تشنگ در پائین دست یک حاشیه سبز قرار گرفته است				حالت B*: تشنگ در پائین دست یک حاشیه آیش قرار گرفته است			
رطوبت نسبی متوسط (%)				رطوبت نسبی متوسط (%)				رطوبت نسبی متوسط (%)			
باد				کم				کم			
حاشیه بالادست				متوسط				متوسط			
سبز (متر)				۴۰ - ۷۰				۴۰ - ۷۰			
(km/day)				زیاد				زیاد			
ملازم				۰/۵۵				۰/۷			
۱				۰/۷۵				۱			
۱۰				۰/۸۵				۱۰			
<۱۷۵				۰/۷				۱۰۰			
متوسط				۰/۷۵				۱۰۰۰			
۱				۰/۵				۱			
۱۰				۰/۷				۱۰			
۱۷۵ - ۴۲۵				۰/۵۵				۱۰۰			
۱۰۰				۰/۸				۱۰۰۰			
شدید				۰/۷				۱			
۱				۰/۴۵				۱۰			
۱۰				۰/۵۵				۱۰			
۴۲۵ - ۷۰۰				۰/۵				۱۰۰			
۱۰۰				۰/۷				۱۰۰۰			
خیلی شدید				۰/۵				۱			
۱				۰/۴۵				۱۰			
۱۰				۰/۵۵				۱۰۰			
>۷۰۰				۰/۵				۱۰۰			
۱۰۰				۰/۵				۱۰۰۰			
۰/۴۵				۰/۵				۰/۳۵			

۱-۲-۲. روش بلینی - کریدل

اگر داده‌های مربوط به تشتک تبخیر در محل موجود نباشد، یک روش تئوریک (مثل روش بلینی کریدل، یا روش بلینی کریدل اصلاح شده) برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع قابل استفاده است. تعداد بی‌شماری از روش‌های تئوریک برای تعیین ET_0 ارائه شده است. بیشتر این روش‌ها به صورت محلی تعیین و تست شده‌اند. اگر فرمول‌های محلی موجودند، باید از این فرمول‌ها استفاده کرد. اگر این چنین فرمول‌هایی موجود نباشند، می‌توان یکی از روش‌های تئوریک عمومی را مورد استفاده قرار داد.

در روش بلانی و کریدل با استفاده از دما و ساعات روز در نواحی خشک نواحی غرب آمریکا فرمول ساده‌ای ابداع کرده‌اند. سازمان حفاظت خاک وزارت کشاورزی آمریکا (S.C.S) از فرمول مزبور به شکلی گسترده استفاده کرده است. در این مرکز به منظور تعیین مقادیر ضریب مورد استفاده برای گیاهان مختلف، داده‌های قابل توجهی گردآوری شده است. مفهوم گیاه مورد نظر با آنچه در معادله مزبور ارائه شده است، مطابقت ندارد. در گزارش فائو، دورنبوس و پروت فرمولی پیشنهاد کرده‌اند که در واقع شکل اصلاح شده فرمول بلانی - کریدل است و براساس این فرمول ضرایب گیاهی مربوط ظاهراً به وضع آب و هوا بستگی کمتری دارند.

در روش بلینی کریدل از معادله‌ای به شرح زیر برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده می‌شود:

$$ET_0 = p (0.46 T_{mean} + 8.13) \quad (2-1)$$

که در آن، ET_0 : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی متر در روز) به صورت متوسط برای یک دوره یک ماهه، T_{mean} : درجه حرارت متوسط روزانه (سانتی گراد) و p : درصد متوسط روزانه تعداد کل ساعات روشنایی سالانه.

در تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع برای دوره‌های کوتاه مدت، کمتر از یک ماه، معمولاً فرمول بلانی - کریدل نارسایی‌هایی دارد، زیرا تنها متغیر اقلیمی در این فرمول، دمای هوا می‌باشد. با وجود این مشکل، تاکنون از فرمول مزبور به شکل گسترده استفاده شده است. مراحل محاسباتی این روش به شرح ذیل است:

گام اول: روش بلینی کریدل همیشه به مقادیر متوسط ماهانه برای دو پارامتر درجه حرارت و ET_0 اشاره دارد. اگر برای مثال، مقدار T_{mean} در ماه مارس ۲۸ درجه

سانتی‌گراد باشد، یعنی این که در طی کل ماه مارس درجه حرارت روزانه معادل ۲۸ درجه سانتی‌گراد است.

اگر در یک ایستگاه هواشناسی محلی درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل اندازه‌گیری شده، متوسط روزانه درجه حرارت به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$T_{\text{mean}} = \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{2} \quad (3-1)$$

گام دوم: تعیین درصد متوسط روزانه تعداد کل ساعات آفتابی سالانه، P : برای تعیین مقدار P از جدول ۱-۲ استفاده می‌شود. برای تعیین مقدار P در این جدول نیاز به دانستن عرض جغرافیایی تقریبی منطقه بوده، یعنی درجه شمالی یا جنوبی خط استوا.

جدول ۱-۲ درصد متوسط روزانه ساعات آفتابی^۱ سالانه (P) برای عرض‌های جغرافیایی مختلف

عرض جغرافیایی	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
عرض جغرافیایی	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
۶۰°	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۳۸	۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۳۴	۰/۲۸	۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۱۳
۵۵°	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۱۵
۵۰°	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۲۰	۰/۱۸
۴۵°	۰/۲۰	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۳۰	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۲۰
۴۰°	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۲۱
۳۵°	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۲۲
۳۰°	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۳
۲۵°	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۴
۲۰°	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۴
۱۵°	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۴
۱۰°	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۵
۵°	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷
۰°	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷

گام سوم: محاسبه ET_0 ، با استفاده از فرمول $ET_0 = P (0.46 T_{\text{mean}} + 8.13)$ برای مثال، وقتی $P = 0.29$ و $T_{\text{mean}} = 21.5^\circ\text{C}$ باشد، مقدار ET_0 به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$ET_0 = 0.29(0.46 \times 21.5 + 8.13) = 0.29(9.89 + 8.13) = 0.29 \times 18.02 = 5.2 \text{ mm/day}$$

۱-۲-۳. روش بلینی - کریدل اصلاح شده

با عنایت به پارامترهای مؤثر بر تبخیر و تعرق گیاه و این که معادله بلینی کریدل در برخی مواقع تخمین‌های غیرواقعی را به دست می‌دهد، درنبوس و پروت (۱۹۷۷) معادله بلینی کریدل اصلاح شده را به شرح زیر پیشنهاد کردند:

$$ET_0 = N \left[a + bP \left(\frac{T_{mean}}{2.19} + 8.13 \right) \right] \quad (4-1)$$

که در آن، N : تعداد روز در دوره زمانی موردنظر (N نباید کمتر از ۱۰ روز و بیشتر از ۱ ماه باشد)، b : پارامتر اصلاحی (به جهت مدنظر قراردادن اثرات باد، رطوبت نسبی و نسبت ساعات آفتابی به حداکثر ساعات آفتابی ممکن می‌باشد)، P : درصد متوسط روزانه تعداد کل ساعات روشنایی سالانه در دوره موردنظر، T_{mean} : درجه حرارت متوسط روزانه در دوره موردنظر به درجه سانتی‌گراد، و a و b عبارتند از:

$$\begin{aligned} a &= 0.0043(RH_{min}) - n / N - 1.41 \\ b &= 0.81917 - 0.0040922(RH_{min}) + 1.0705(n / N) \\ &\quad + 0.065649(U_{day}) - 0.0059684(RH_{min})(n / N) \\ &\quad - 0.0005967 (RH_{min})(U_{day}) \quad \text{frevert et al(1983)} \end{aligned} \quad (5-1)$$

که در آن، a و b : فاکتورهایی که به رطوبت نسبی مینیموم متوسط طولانی مدت، سرعت باد روزانه و نسبت ساعات آفتابی واقعی ممکن وابسته است، RH_{min} : رطوبت نسبی مینیموم (درصد)، U_{day} : سرعت باد روزانه در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)، و n/N : نسبت ساعات آفتابی واقعی به حداکثر ساعات آفتابی (اعشار) می‌باشد، که مقدار N از جدول ۱-۳ به دست می‌آید.

سرعت باد مورد استفاده در معادله ۱-۶، سرعت باد در ارتفاع دو متری است، که اگر سرعت باد در ارتفاع دیگری ارائه شود، با استفاده از فرمول زیر می‌توان سرعت با در ارتفاع دو متری را به دست آورد:

$$U_2 = U_z \left(\frac{2}{Z} \right)^{0.2} \quad (6-1)$$

که در آن، U_2 : سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، Z : ارتفاع اندازه‌گیری سرعت باد (متر)، و U_z : سرعت باد در ارتفاع Z (متر بر ثانیه) می‌باشد.

جدول ۳-۱ حداکثر ساعات آفتابی ممکن روزانه (N) در عرض‌های جغرافیایی متفاوت برای ماه‌های مختلف سال

عرض جغرافیایی	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
۵۰° شمالی	۰/۵	۱۰/۱	۱۱/۸	۱۳/۸	۱۵/۴	۱۵/۳	۱۵/۹	۱۴/۵	۱۲/۷	۱۰/۸	۹/۱	۸/۱
۴۸°	۸/۸	۱۰/۲	۱۱/۸	۱۳/۵	۱۵/۲	۱۵/۰	۱۵/۵	۱۴/۳	۱۲/۵	۱۰/۵	۹/۳	۸/۳
۴۵°	۹/۱	۱۰/۴	۱۱/۹	۱۳/۵	۱۴/۹	۱۵/۷	۱۵/۴	۱۴/۲	۱۲/۵	۱۰/۹	۹/۵	۸/۷
۴۴°	۹/۳	۱۰/۵	۱۱/۹	۱۳/۴	۱۴/۷	۱۵/۴	۱۵/۲	۱۴/۰	۱۲/۵	۱۱/۰	۹/۷	۸/۹
۴۲°	۹/۴	۱۰/۵	۱۱/۹	۱۳/۴	۱۴/۵	۱۵/۲	۱۴/۹	۱۳/۹	۱۲/۵	۱۱/۱	۹/۸	۹/۱
۴۰°	۹/۵	۱۰/۷	۱۱/۹	۱۳/۳	۱۴/۴	۱۵/۰	۱۴/۷	۱۳/۷	۱۲/۵	۱۱/۲	۱۰/۰	۹/۳
۳۵°	۱۰/۱	۱۱/۰	۱۱/۹	۱۳/۱	۱۴/۰	۱۴/۵	۱۴/۳	۱۳/۵	۱۲/۴	۱۱/۳	۱۰/۳	۹/۸
۳۰°	۱۰/۴	۱۱/۱	۱۲/۰	۱۲/۹	۱۳/۵	۱۴/۰	۱۳/۹	۱۳/۲	۱۲/۴	۱۱/۵	۱۰/۵	۱۰/۲
۲۵°	۱۰/۷	۱۱/۳	۱۲/۰	۱۲/۷	۱۳/۳	۱۳/۷	۱۳/۵	۱۳/۰	۱۲/۳	۱۱/۵	۱۰/۹	۱۰/۵
۲۰°	۱۱/۰	۱۱/۵	۱۲/۰	۱۲/۵	۱۳/۱	۱۳/۳	۱۳/۲	۱۲/۸	۱۲/۳	۱۱/۷	۱۱/۲	۱۰/۹
۱۵°	۱۱/۳	۱۱/۵	۱۲/۰	۱۲/۵	۱۲/۸	۱۳/۰	۱۲/۹	۱۲/۵	۱۲/۲	۱۱/۸	۱۱/۴	۱۱/۲
۱۰°	۱۱/۵	۱۱/۸	۱۲/۰	۱۲/۲	۱۲/۳	۱۲/۴	۱۲/۳	۱۲/۳	۱۲/۱	۱۲/۰	۱۱/۹	۱۱/۵
۵°	۱۱/۸	۱۱/۹	۱۲/۰	۱۲/۲	۱۲/۳	۱۲/۴	۱۲/۳	۱۲/۳	۱۲/۱	۱۲/۱	۱۱/۹	۱۱/۸
۰°	۱۲/۱	۱۲/۱	۱۲/۱	۱۲/۱	۱۲/۱	۱۲/۱	۱۲/۱	۱۲/۱	۱۲/۱	۱۲/۱	۱۲/۱	۱۲/۱

۳-۱. تبخیر و تعرق پتانسیل

همان‌طور که قبلاً عنوان شد نوع گیاه و مرحله رشد بر تعرق و در نتیجه بر میزان آب مصرفی تأثیر می‌گذارد، این امر در کنار تغییرات پارامترهای هواشناسی باعث می‌شود که میزان آب مصرفی گیاه در هر روز تغییر کند. بنابراین تغییرات مصرف آب در گیاه تابع دو پارامتر آب و هوا (اقلیم) و فیزیولوژی گیاه می‌باشد و جهت برآورد آب مورد نیاز گیاه باید دو پارامتر اقلیم و نوع گیاه را مدنظر قرار داد. تأثیر اقلیم در تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع (گیاه چمن)، ET_0 ، مدنظر قرار گرفته است و تأثیر نوع گیاه و مرحله رشد گیاه بر نیازهای آبی گیاهان با ضریب گیاهی (KC) تعیین شود. به عبارت دیگر ضریب گیاهی رابطه بین تبخیر و تعرق گیاه مرجع و گیاه مورد نظر در مزرعه را به دست می‌دهد. از بین این دو عامل فوق، ضریب گیاهی از اهمیت و پیچیدگی خاصی برخوردار است زیرا از یک سو تحت تأثیر خصوصیات فیزیولوژی گیاه و مراحل رشد آن و از سوی دیگر تحت تأثیر شرایط عملی از قبیل تاریخ کاشت، نوع کاشت، و... قرار دارد. در نتیجه دستیابی به مقدار دقیق KC، ضمن این که نیاز به توجه به عوامل اصلی دارد، توجه به شرایط عملی و نیز در نظر گرفتن کلیه عوامل مؤثر جزئی را نیز

طلب می‌کند. بدیهی است برای محاسبه دقیق نیاز آبی ضروری است که مقدار K_c در شرایط خاص هر محل تجزیه و تعیین گردد.

چنانچه مطالعه‌ای در خصوص تعیین ضریب گیاهی در محل مورد نظر صورت نگرفته باشد، ناچاراً بایستی از مقادیر تجربی که در شرایط حتی المقدور مشابه به دست آمده و در مستندات مربوط به آبیاری به صورت جداول مشخص تنظیم گردیده است، استفاده نمود. بعد از تعیین ضریب گیاهی می‌توان تبخیر و تعرق پتانسیل را با استفاده از فرمول زیر به دست آورد:

$$ET_O \times K_c = ET_{crop} \quad (V-1)$$

که در آن، ET_{crop} : تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه یا نیاز آبی گیاه (میلی‌متر در روز)، K_c : ضریب گیاهی و ET_O : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز) است. هر دو پارامتر ET_O و ET_{crop} با واحدهای مشابه بیان می‌شوند. معمولاً میلی‌متر در روز (به صورت متوسط برای یک دوره ماهانه) یا میلی‌متر در ماه.

ضریب گیاهی، K_c ، به طور کلی به سه پارامتر زیر وابسته است:

- تنوع گیاه
- مرحله رشد گیاه
- اقلیم

جایی که ممکن است رطوبت خاک آنقدر کم شود که گیاه با کمبود آب مواجه گردد و متعاقب آن آب مصرفی کاهش یابد، لازم است مقدار ET به دست آمده با وضعیت مزرعه تطابق داده شود.

۱-۳-۱. تعیین ضریب گیاهی، K_c

تعیین مقادیر K_c برای مراحل مختلف رشد گیاهان با انجام گام‌های زیر میسر است:

گام یک: تعیین دوره کامل رشد هر گیاه

گام دو: تعیین مراحل مختلف رشد هر گیاه

گام سه: تعیین مقادیر K_c برای هریک از مراحل رشد گیاه

گام اول: تعیین دوره کامل رشد. دوره کامل رشد (به روز) شامل دوره زمانی

بین کاشت یا انتقال نشا تا آخرین روز برداشت محصول است. این پارامتر به عوامل

اصلی زیر وابسته است:

- نوع گیاه و واریته

- اقلیم

- تاریخ کاشت

گام دوم: تعیین مراحل رشد گیاه. دوام (به روز) مراحل مختلف رشد گیاه نیز

باید تعیین شود.

دوره رشد به ۴ دوره مجزا تقسیم شده است:

دوره رشد اولیه: این دوره مدت زمانی بین زمان کاشت یا انتقال نشاء تا زمانی

که گیاه در حدود ۱۰٪ سطح زمین را پوشانده، را شامل می‌شود.

دوره توسعه گیاه: این دوره از انتهای دوره رشد اولیه تا زمانی که گیاه به‌طور

کامل سطح زمین را بپوشاند، طول می‌کشد (سطح زمین ۷۰ تا ۸۰٪ پوشیده شده)؛ این ضرورتاً ارتفاع حداکثر در گیاه را تبیین نمی‌کند.

دوره رشد میانی: این دوره رشد از انتهای دوره توسعه گیاه تا زمان بلوغ گیاه

طول می‌کشد؛ این مرحله گلدهی و خوشه‌دهی را شامل می‌شود.

دوره رشد نهایی: این دوره رشد از انتهای دوره رشد میانی تا آخرین روز

برداشت محصول را شامل می‌شود؛ این مرحله دوره رسیدن محصول را شامل می‌شود.

تداوم دوره‌های مختلف رشد گیاه برای برخی از محصولات عمده در جدول ۱-۴

ارائه شده است.

مثال: با توجه به جدول دوره رشد محصول هویچ فرنگی و تداوم مراحل

مختلف رشد را تعیین کنید، ضمناً اگر تحت شرایط محلی دوره رشد هویچ فرنگی ۱۲۰

روز باشد، تداوم مراحل مختلف رشد چگونه خواهد بود؟

حل: برای محصول هویچ فرنگی با حداقل دوره رشد ۱۰۰ روز، تداوم مراحل

رشد به‌صورت زیر است:

مرحله اولیه رشد: ۲۰ روز

مرحله توسعه: ۳۰ روز

مرحله میانی: ۳۰ روز

مرحله نهایی رشد: ۲۰ روز

جدول ۱-۴ تداوم تقریبی مراحل رشد برای گیاهان مختلف مزرعه‌ای

گیاه	مرحله اولیه	مرحله توسعه گیاه	مرحله میانی رشد	مرحله نهایی رشد	کل
جو/یولاف/گندم	۱۵	۲۵	۵۰	۳۰	۱۲۰
	۱۵	۳۰	۵۵	۴۰	۱۵۰
لوبیا سبز	۱۵	۲۵	۲۵	۱۰	۷۵
	۲۰	۳۰	۳۰	۱۰	۹۰
لوبیا خشک	۱۵	۲۵	۳۵	۲۰	۹۵
	۲۰	۳۰	۴۰	۲۰	۱۱۰
کلم	۲۰	۲۵	۵۰	۱۵	۱۲۰
	۲۵	۳۰	۵۵	۲۰	۱۴۰
هویج	۲۰	۳۰	۳۰	۲۰	۱۰۰
	۲۵	۳۵	۷۰	۲۰	۱۵۰
پنبه/کتان	۳۰	۵۰	۵۵	۴۵	۱۸۰
	۳۰	۵۰	۵۵	۵۰	۱۹۵
خیار	۲۰	۳۰	۴۰	۱۵	۱۰۵
	۲۵	۳۵	۵۰	۲۰	۱۳۰
بادنجان	۳۰	۴۰	۴۰	۲۰	۱۳۰
	۳۰	۴۰	۴۵	۲۵	۱۴۰
حبوبات	۲۰	۳۰	۵۰	۴۰	۱۵۰
	۲۵	۳۵	۵۵	۴۰	۱۵۵
عدس	۲۰	۳۰	۵۰	۴۰	۱۵۰
	۲۵	۳۵	۷۰	۴۰	۱۷۰
کاهو/اسفناج	۲۰	۳۰	۱۵	۱۰	۷۵
	۳۵	۵۰	۴۵	۱۰	۱۴۰
ذرت شیرین	۲۰	۲۵	۲۵	۱۰	۸۰
	۲۰	۳۰	۵۰	۱۰	۱۱۰
ذرت دانه‌ای	۲۰	۳۵	۴۰	۳۰	۱۲۵
	۳	۵۰	۵۰	۴۰	۱۸۰
خریزه/هندوانه	۲۵	۳۵	۴۰	۲۰	۱۲۰
	۳۰	۴۵	۵۵	۲۰	۱۵۰
ارزن	۱۵	۲۵	۴۰	۲۵	۱۰۵
	۲۰	۳۰	۵۵	۳۵	۱۴۰
پیاز سبز	۲۵	۳۰	۱۰	۵	۷۰
	۲۵	۴۰	۲۰	۱۰	۹۵
پیاز خشک	۱۵	۲۵	۷۰	۴۰	۱۵۰
	۲۰	۳۵	۱۱۰	۴۵	۲۱۰
بادام زمینی	۲۵	۳۵	۴۵	۲۵	۱۳۰
	۳۰	۴۰	۴۵	۲۵	۱۴۰