فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

طراحی سیستم‌های آبیاری

(جلد اول)

طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی

امین علیزاده
استاد دانشگاه فردوسی "مشهد"

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

سرشناسه : علیزاده، امین، ۱۳۲۱.
عنوان و پدیدآور : طراحی سیستم‌های آبیاری / امین علیزاده.
مشخصات نشر : مشهد، دانشگاه امام رضا(ع) ۱۳۸۵،۱۳
مشخصات ظاهری : ۲ ج .
شابک : (ج.۱) 964-6582-73-7
شابک : (ج.۲) 964-6582-72-9
یادداشت : فیپا
یادداشت : فهرستنویسی بر اساس جلد دوم
مندرجات : ج.۱. طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی
مندرجات : ج.۲. طراحی سیستم‌های آبیاری تحت فشار
موضوع : آبیاری -- مهندسی.
موضوع : آبیاری بارانی.
شناسه افزوده : دانشگاه امام رضا (ع)
رده‌بندی کنگره : TC۸۰۵/ع۸ط۴
رده‌بندی دیویی : ۶۳۷/۵۲
شماره کتابخانه ملی : ۸۵-۳۵۶۳۴ م

فهرستنویسی پیش از انتشار: کتابخانه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد

نام کتاب: طراحی سیستم‌های آبیاری (جلد اول) طراحی سیستم‌های آبیاری
مولف : دکتر امین علیزاده، استاد دانشگاه فردوسی مشهد
ناشر: دانشگاه امام رضا(ع) - مشهد، صندوق پستی ۵۵۳-۹۱۷۳۵
تیراژ: ۲۰۰۰ نسخه
قطع: وزیری
تاریخ انتشار: چاپ اول ۱۳۸۵ - چاپ پنجم ۱۳۹۰
صفحات: ۴۵۲
حروفچینی و صفحه‌آرایی: جم کامپیوتر - ۰۵۱۱-۸۴۴۶۱۲۹
امور فنی وچاپ: مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی
شابک: ۹۶۴-۶۵۸۲-۷۳-۷

حق چاپ محفوظ است

انتشارات آستان قدس رضوی (شرکت به‌نشر)
دفتر مرکزی: مشهد، ص ، پ ۹۱۳۷۵/۴۹۶۹، تلفن‌دفتر بازرگانی مشهد: ۸۵۱۴۸۴۰، توزیع: ۸۵۱۱۱۷۰ ، ۷-۸۵۱۱۱۳۶
دفتر تهران: ۸۸۹۵۱۷۳۹-۸۸۹۶۰۶۲۰ -گرگان: ۲۲۶۶۰۶۱ - تربت حیدریه: ۲۲۴۰۵۷۰ - اصفهان: ۲۲۱۶۰۴۰

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

فهرست مطالب

فصل اوّل - کلیات و اهداف آبیاری

۱-۱ مقدمه ۱۳
۱-۲ اهداف آبیاری ۱۴
۱-۳ وضعیت آبیاری در جهان و ایران ۱۷
۱-۴ منابع آب برای آبیاری ۲۰
۱-۵ اجزاء سیستم‌های آبیاری ۲۲
۱-۶ طراحی سیستم‌های آبیاری ۲۴
۱-۷ مفاهیم طراحی سیستم‌های آبیاری ۲۷
۱-۸ ملاحظات زیست محیطی ۲۹
۱-۹ نقش مهندسان آبیاری ۳۲
مسائل ۳۳

فصل دوم - نقش آبیاری در افزایش محصول

۲-۱ آبیاری و تولید محصول ۳۵
۲-۲ توابع تولید محصول نسبت به آب ۳۷
۲-۳ سایر عوامل مؤثر در افزایش محصول ۵۷
مسائل ۶۰

فصل سوم - تحلیل‌های اقتصادی در آبیاری

۳-۱ کلیات ۶۵
۳-۲ بهینه سازی اقتصادی ۶۶
۳-۳ بهینه‌سازی در مقیاس مزرعه ۶۷
۳-۴ ریاضیات تحلیل‌های اقتصادی ۷۰
۳-۴-۱ نمودار جریان نقدینگی ۷۰
۳-۴-۲ ضریبهای پرداخت یکبار ۷۲
۳-۴-۳ ضرایب سری‌های یکنواخت سالانه ۷۴
۳-۴-۴ ضرایب سری‌های متغیر یکنواخت ۷۷
۳-۴-۵ ضریب ارزش کنونی در سری‌های متغیر ۷۸
۳-۴-۶ معادل سری‌های سالانه ۷۸

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

۳-۴-۷ سری‌های متغیر یکنواخت نزولی ۷۹
۳-۵ هزینه‌های سیستم آبیاری ۸۲
برنامه کامپیوتری ۸۷
مسائل ۸۹

فصل چهارم - اصول فیزیکی خاک در طراحی سیستم‌های آبیاری

۴-۱ کلّیات ۹۷
۴-۲ مشخصه‌های عمومی خاک ۹۷
۴-۲-۱ افق خاک ۹۷
۴-۲-۲ بافت خاک ۹۸
۴-۲-۳ ساختمان خاک ۱۰۱
۴-۳ مهیّابودن آب در خاک ۱۰۲
۴-۳-۱ پتانسیل آب در خاک ۱۰۲
۴-۳-۲ انواع پتانسیل‌ها ۱۰۳
۴-۳-۳ نقاط پتانسیلی مهم ۱۰۵
۴-۳-۴ تعیین دور آبیاری ۱۱۴
۴-۳-۴ اندازه‌گیری پتانسیل آب در خاک ۱۱۸
۴-۴ نفوذ ۱۲۴
۴-۴-۱ معادله‌های نفوذ ۱۲۷
۴-۴-۲ اندازه‌گیری نفوذ ۱۳۵
۴-۵ هدایت آب در خاک ۱۳۹
۴-۵-۱ هدایت هیدرولیکی ۱۳۹
۴-۵-۲ هدایت موئینگی ۱۴۰
۴-۵-۳ اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی ۱۴۲
مسائل ۱۴۴

فصل پنجم - اصول شیمیائی خاک در طراحی سیستم‌های آبیاری

۵-۱ مقدّمه ۱۶۱
۵-۲ کلیّات ۱۶۱
۵-۳ خصوصیات شیمیایی خاک ۱۶۵
۵-۴ تأثیر نمک بر مقدار محصول ۱۷۳
۵-۵ کیفیت آب آبیاری ۱۷۹
۵-۶ کنترل نمک‌ها ۱۸۳

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

۵-۶-۱ کنترل شوری ۱۸۳
۵-۶-۲ کنترل سدیم ۱۸۸
۵-۷ مدیریت آب و خاک شور ۱۹۵
مسائل ۱۹۸

فصل ششم - تبخیر-تعرق و نیاز آبیاری

۶-۱ رابطه آب- خاک- گیاه- اتمسفر ۲۰۹
۶-۲ تبخیر-تعرق ۲۱۲
۶-۳ روشهای مستقیم تعیین تبخیر-تعرق ۲۱۴
۶-۴ روشهای غیر مستقیم تعیین تبخیر-تعرق ۲۱۶
۶-۵ معادلات تبخیر-تعرق ۲۱۸
۶-۵-۱ معادله هارگریوز ۲۱۹
۶-۵-۲ معادله فائو پنمن - مونتیت ۲۲۲
۶-۵-۳ معادله پنمن-فائو-۲۴ ۲۲۸
۶-۵-۴ معادله پنمن - رایت ۲۲۹
۶-۶ ضریب گیاهی ۲۳۸
۶-۶-۱ محاسبه ضریب گیاهی ۲۳۸
۶-۶-۲ محاسبه ضریب گیاهی برای روش هارگریوز ۲۴۲
۶-۶-۳ محاسبه ضریب گیاهی برای روش پنمن - رایت ۲۴۴
۶-۷ برنامه‌ریزی پروژه‌های آبیاری ۲۴۸
۶-۸ باران موثر ۲۵۱
۶-۹ حداکثر نیاز روزانه آبیاری طرح ۲۵۲
۶-۱۰ برنامه‌ریزی آبیاری ۲۶۰
۶-۱۱ تعیین زمان آبیاری ۲۶۱
۶-۱۱-۱ نمایه‌های گیاهی ۲۶۱
۶-۱۱-۲ نمایه‌های خاک ۲۶۳
۶-۱۱-۳ روشهای بیلان آبی ۲۶۴
مسائل ۲۶۵

فصل هفتم - نمایه‌های عملکرد سیستم‌های آبیاری

۷-۱ مقدمه ۲۷۵
۷-۲ راندمان آبیاری ۲۷۹
۷-۲-۱ راندمان انتقال ۲۸۴

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

۷-۲-۲ راندمان ذخیره آب در مخزن ۲۸۵
۷-۲-۳ راندمان کاربرد آب ۲۸۷
۷-۲-۴ راندمان ذخیره آب در خاک ۲۸۹
۷-۲-۵ راندمان پروژه ۲۸۹
۷-۲-۶ راندمان توزیع ۲۸۹
۷-۲-۷ راندمان کاربرد آب در چارک پائین ۲۹۳
۷-۲-۸ راندمان کاربرد آب در نیمه پائین ۲۹۵
۷-۳ کفایت آبیاری ۲۹۶
۷-۴ موثر بودن آبیاری ۲۹۹
مسائل ۳۰۱

فصل هشتم - کلیات طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی

۸-۱ روش‌های آبیاری ۳۰۳
۸-۲ طبقه‌بندی روش‌های آبیاری ۳۰۴
۸-۳ انواع سیستم‌های آبیاری سطحی ۳۰۵
۸-۳-۱ آبیاری به روش جویچه‌ای ۳۰۷
۸-۳-۲ آبیاری به روش کرتی ۳۰۹
۸-۳-۳ آبیاری به روش نواری ۳۱۰
۸-۳-۴ آبیاری سطحی با جریان موجی ۳۱۱
۸-۳-۵ آبیاری با روش کابلی ۳۱۱
۸-۴ اطلاعات مورد نیاز ۳۱۳

فصل نهم - طراحی سیستم‌های آبیاری جویچه‌ای

۹-۱ مقدمه ۳۱۷
۹-۱-۱ شکل جویچه‌ها ۳۱۷
۹-۱-۲ طول جویچه‌ها ۳۱۹
۹-۱-۳ شیب جویچه‌ها ۳۲۱
۹-۱-۴ آبیاری جویچه‌ها ۳۲۳
۹-۱-۵ خطاهای رایج در آبیاری جویچه‌ای ۳۲۷
۹-۱-۶ راندمان آبیاری جویچه‌ای ۳۲۸
۹-۲ الگوی توزیع آب روی زمین ۳۲۹
۹-۳ روابط فیزیکی بین زمان پیشروی، مقدار نفوذ و نفوذ عمقی ۳۳۰
۹-۴ روابط تجربی ۳۳۵

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

۹-۵ روابط هیدرولیکی ۳۳۷
۹-۶ طراحی با روش کاهش جریان ورودی به فارو ۳۴۸
۹-۷ آزمایشهای صحرائی برای تعیین درستی پارامترهای طراحی ۳۵۰
۹-۸ برنامه کامپیوتری ۳۵۳
مسائل ۳۵۸

فصل دهم - طراحی سیستم‌های آبیاری در کرت‌های مسطح

۱۰-۱ مقدمه ۳۶۳
۱۰-۱-۱ اندازه کرت ۳۶۳
۱۰-۱-۲ پشته‌های خاکی ۳۷۰
۱۰-۱-۳ نحوه آبیاری کرتها ۳۷۳
۱۰-۱-۴ فرسایش خاک در آبیاری کرتی ۳۷۵
۱۰-۱-۵ خطاهای رایج در آبیاری کرتی ۳۷۵
۱۰-۱-۶ راندمان در آبیاری کرتی ۳۷۷
۱۰-۲ طراحی با روش‌های تجربی ۳۷۷
۱۰-۳ طراحی با روش هیدرولیکی ۳۷۸
مسائل ۳۸۴

فصل یازدهم - طراحی سیستم‌های آبیاری نواری

۱۱-۱ مقدمه ۳۸۵
۱۱-۲ روابط تجربی ۳۸۶
۱۱-۲-۱ اندازه و شکل نوار ۳۸۹
۱۱-۲-۲ اندازه و شکل مزرعه ۳۹۱
۱۱-۲-۳ شیب نوار ۳۹۲
۱۱-۲-۵ خطاهای رایج ۳۹۴
۱۱-۲-۶ راندمان آبیاری در نوارها ۳۹۶
۱۱-۳ روابط هیدرولیکی در طراحی سیستم آبیاری نواری ۳۹۷
۱۱-۴ محدودیت‌های طراحی ۴۰۰
۱۱-۵ مسدود نمودن انتهای نوار ۴۰۳
مسائل ۴۰۶

فصل دوازدهم - سیستم‌های آبیاری سطحی مکانیزه

۱۲-۱ مقدمه ۴۰۷

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

۱۲-۲ آبیاری به روش موجی ۴۰۸
۱۲-۲-۱ کاهش نفوذ در آبیاری موجی ۴۰۸
۱۲-۳ تجهیزات و سیستم‌های آبیاری موجی ۴۱۰
۱۲-۳-۱ سیستم‌های لوله‌ای دریچه‌دار مجزا ۴۱۱
۱۲-۳-۲ سیستم‌های تک لوله‌ای (سیستم لوله‌ای منفرد) ۴۱۱
۱۲-۳-۳ سیستم‌های آبیاری موجی در کانال‌های روباز ۴۱۲
۱۲-۴ آبیاری کابلی ۴۱۲
۱۲-۴-۱ مفاهیم کلی ۴۱۲
۱۲-۴-۲ اندازه‌ی لوله و شیب زمین ۴۱۴
۱۲-۴-۳ ویژگی تجهیزات آبیاری کابلی ۴۱۴

فصل سیزدهم - ارزیابی سیستم‌های آبیاری سطحی

۱۳-۱ مقدمه ۴۱۷
۱۳-۲ ارزیابی آبیاری سطحی ۴۱۸
۱۳-۳ نرم‌افزارهای ارزیابی ۴۳۰
مسائل ۴۳۱

فصل چهاردهم - کاربرد مدل‌های ریاضی در آبیاری سطحی

۱۴-۱ کلیات ۴۳۳
۱۴-۲ انواع مدل‌های ریاضی ۴۳۳
۱۴-۳ مدل‌های توازن حجمی ۴۳۵
منابع ۴۴۵
فهرست اعلام ۴۵۱

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

پیشگفتار

طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری از وظایف اصلی مهندسان کشاورزی در رشته آب می‌باشد. در واقع حداقل انتظاری که از یک نفر مهندس آبیاری می‌رود این است که قادر باشد سیستم‌های آبیاری را در سطح مزرعه برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت نماید. دانشجویان رشته آبیاری که امروزه دامنه عمل آنها گسترده‌تر شده و با نام مهندسی کشاورزی - آب فارغ التحصیل می‌شوند در دوره تحصیل خود دروس متعددی از جمله ریاضیات، مکانیک سیالات، هیدرولیک، نقشه‌برداری، خاکشناسی و روابط آب و خاک و گیاه را می‌گذرانند و اطلاعات نسبتاً زیادی در این زمینه‌ها کسب می‌کنند، اما کمتر قادرند این اطلاعات را تلفیق کرده و در کارهای عملی مهندسی آبیاری از آنها استفاده کنند. طراحی سیستم‌های آبیاری یک کار علمی - هنری - تجربی است. بدون داشتن زمینه‌های تجربی نباید انتظار داشت که ابتدا به ساکن بتوان یک طرح آبیاری و بدون نقص را طراحی و اجرا کرد. هم‌چنین انتخاب یکی از راه‌حل‌های مختلف برای آرایش سیستم، جایگذاری اجزاء طرح و مقایسه گزیدارها تا حد زیادی به زمینه‌های هنری مرتبط است. اما بدون داشتن پشتوانه‌های علمی هیچ طرح آبیاری قابل دفاع نخواهد بود. لذا مهندسان آبیاری باید ابتدا با قواعد و جنبه‌های علمی طراحی سیستم‌های آبیاری آشنائی پیدا کنند. متاسفانه در حال حاضر برای دانشجویان و مهندسان آبیاری امکان دسترسی و استفاده از منابع خارجی به آسانی مهیا نمی‌باشد و تعداد کتابهای منتشر شده به زبان فارسی نیز اندک می‌باشد، حال آنکه برای کشوری مانند ایران که بیش از ۸ میلیون هکتار زمین تحت آبیاری داشته و حدود ۹۰ درصد تولیدات کشاورزی و باغی آن از طریق آبیاری عاید می‌شود خود باید تولید کننده و ناشر علوم آبیاری باشد. در این ارتباط، هدف از تدوین کتاب **طراحی سیستم‌های آبیاری** کوششی در جهت تأمین برخی نیازهای علاقمندان به دانش آبیاری واختصاصاً تدوین مطالب درسی مورد نیاز دانشجویان این رشته بوده است.

کتاب حاضر که با تغییرات کلی اینک ویرایش ششم آن ارائه شده است منطبق بر نیازهای درسی دانشجویان رشته کارشناسی مهندسی آب در دروس **طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی و تحت فشار** تدوین شده است. اما مطالب به نحوی است که برای مهندسان آبیاری و دانشجویان

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

دوره‌های کارشناسی ارشد نیزقابل استفاده باشد. از آنجائی که مطالب "طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی" و "طراحی سیستم‌های آبیاری تحت فشار" در دو درس و با واحدهای جداگانه آموزش داده می‌شوند، این کتاب نیز بر اساس سرفصل دروس فوق در دو جلد تدوین شده است. در جلد اول کلیات و طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی مورد بحث قرار گرفته و جلد دوم به آبیاری‌های تحت فشار اختصاص داده شده است. برای تدوین این مجموعه از کتاب‌ها و نوشته‌های زیادی استفاده شده است، اما سه عنوان کتاب : (۱) "طراحی سیستم‌های آبیاری با دیدگاه مهندسی" نوشته R. Cuenca (۲) "اصول طراحی سیستم‌های آبیاری در مزرعه" نوشته L. James و (۳) "آبیاری بارانی و قطره‌ای" نوشته J. Keller and R.D. Blienser بیشترین سهم را در استفاده برای تدوین مطالب کتاب حاضر داشته‌اند.

در این کتاب تا حد امکان سعی شده موضوعات بصورت روشن توضیح داده شده و ارائه آنها همراه با ذکر مثال‌های عددی باشد تا در تفهیم مطالب به دانشجویان موثر باشد. در انتهای هر فصل نیز تعدادی مسأله ارائه شده است که بعضاً راه‌حل آنها نیز داده شده است. سعی شود ابتدا آنها را حل کرده و جواب خود را با جواب ارائه شده مقایسه نمائید و فقط در صورت اشکال به راه‌حل مراجعه شود. با این وجود کاستی‌های زیادی در آن به چشم خواهد خورد که در این مرحله از کار ممکن است از دید مولف به دور مانده باشد و بسیار موجب تشکر خواهد بود اگر خوانندگان محترم با تذکر آنها اینجانب را در اصلاح ویرایش‌های بعد کمک فرمایند.

در خاتمه لازم می‌دانم از همکاری‌های بی‌دریغ مسئولان محترم دانشگاه امام رضا(ع) که چاپ کتاب را تقبل فرموده‌اند سپاسگزاری کنم. همچنین از پرسنل محترم موسسه تایپ و حروفچینی "جم" که امور مربوط به حروفچینی و صفحه‌آرائی کتاب را بر عهده داشته‌اند قدردانی می‌شود. از خانم مهندس محمدیان که مطالب کتاب را قبل از چاپ بازخوانی نموده و اشتباهات متعدد تایپی آن را برطرف نمودند نیز صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

امین علیزاده
استاد دانشگاه فردوسی
۱۳۸۵

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

فصل اوّل

کلیات و اهداف آبیاری

۱-۱ مقدمه

در یک کشور خشک مانند ایران، آبیاری به‌قدری از عملیات بدیهی و ضروری کشاورزی به شمار می‌رود که ارائه یک تعریف متعارف برای آن بسیار مشکل است. عموم مردم آبیاری را وارد کردن آب به زمین برای استفاده گیاه و تولید محصول می‌دانند، اما اگر بخواهیم آبیاری را به لحاظ علمی تعریف کنیم می‌توان گفت که **آبیاری کوششی است که انسان به‌عمل می‌آورد تا چرخه هیدرولوژی را در مزرعه تغییر داده و شرایط را از نظر رطوبت خاک به گونه‌ای فراهم سازد که رشد مطلوب گیاه و در نتیجه تولید بیشتر محصولات کشاورزی امکان‌پذیر گردد.**

آبیاری را می‌توان یکی از قدیمی‌ترین فنّاوری‌های کشاورزی دانست که از حدود ۶۰۰۰ سال پیش وجود داشته و تاکنون نیز ادامه دارد. سوابق تاریخی آبیاری در بین‌النهرین به ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد و در هندوستان و پاکستان به ۲۵۰۰ سال قبل از میلاد مسیح می‌رسد. طی این مدت، فنون آبیاری تکامل پیدا کرده و در آینده نیز به دلیل رقابت شدید بر سر آب این فناوری‌ها بیشتر خواهد شد.

غالباً تصوّر می‌شود که قدمت آبیاری تنها مربوط به آفریقا و آسیا و بخصوص خاورمیانه است، حال آنکه همزمان در سایر نقاط دنیا و بخصوص در چین و آمریکای لاتین نیز فعالیت‌های آبیاری وجود داشته است، به‌طوری‌که قدمت سازه‌های آبیاری در چین مربوط به ۲۶۰۰ سال قبل از میلاد و در آمریکای لاتین به بیش از ۱۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح می‌رسد. اما نوع فناوری‌ها در هر یک از این مناطق بسته به شرایط محیطی متفاوت بوده است. مثلاً اگر در مصر سیستم‌های آبرسانی و توزیع آب با کانال پیشرفت داشته است، بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و حفر قنات و چاه از فناوری ایرانیان بوده و یا روش‌های استفاده از چاههای کم‌عمق از ابداعات مردم هندوستان و پاکستان می‌باشد.

هر چند در قدیم از آبیاری به‌عنوان عاملی جهت اسکان و یکجانشینی قبایل و عشایر استفاده گردید که در نهایت به شکوفایی تمدن‌ها انجامید، اما امروزه هدف از آبیاری عمدتاً تأمین مواد غذائی برای جمعیت رو به افزایش دنیاست.

در دنیا فقط ۱۷ درصد اراضی کشاورزی آبیاری می‌شوند و بقیه هنوز به‌صورت دیم مورد

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

استفاده قرار می‌گیرند، ولی بیش از ۴۰ درصد کل تولیدات کشاورزی جهان که ۵/۳ میلیارد تن می‌باشد و بخصوص محصولات ارزشمند غذائی از همین اراضی تحت آبیاری حاصل می‌شود. بنابراین شاید بتوان گفت که بدون آبیاری تأمین غذای کافی برای جمعیّت کنونی جهان امکان‌پذیر نمی‌باشد.

تا بحال دو عامل در گسترش وسعت اراضی تحت آبیاری در دنیا مؤثر بوده‌اند که یکی اقلیم و کمبود آب برای رشد طبیعی زراعت‌ها و دیگری بالا بودن جمعیت و نیاز فراوان به غذا می‌باشد. به‌همین دلیل وضعیت خاص کشورهای آسیایی در جهان چه از نظر جمعیت و چه از نظر آب و هوایی باعث شده است که بالاترین درصد اراضی آبی (نسبت به اراضی تحت کشت) در این قاره وجود داشته باشد. مثلاً در حالی‌که در اروپا فقط ۸/۵ درصد، در آمریکای جنوبی ۸ درصد، در روسیه ۵ درصد و در آمریکا ۱۰ درصد اراضی کشاورزی به‌صورت آبی زیر کشت قرار دارد، در آسیا ۳۶ درصد زمین‌های کشاورزی با آبیاری زراعت می‌شوند که این نشان دهندهٔ نقش آبیاری و اهمیت آن در تولیدات غذایی این کشورها می‌باشد. در ایران زراعت‌های آبی رکن اساسی کشاورزی کشور را تشکیل می‌دهند. بر اساس آمارهای موجود وسعت اراضی تحت آبیاری ایران حدود ۸ میلیون هکتار می‌باشد که این رقم کشور را در ردیف پنجم کشورهای جهان از نظر وسعت اراضی آبی قرار می‌دهد. تقریباً ۹۰ درصد محصولات غذائی تولید شده در ایران از اراضی آبی به‌دست می‌آید. علاوه بر این ۲۳ درصد مشاغل و ۱۲ درصد تولید ناخالص ملی مربوط به بخش کشاورزی است. در بسیاری از نقاط کشور تقریباً تمام آب مورد نیاز زراعت‌ها با آبیاری تأمین می‌شود و همین امرْ سبب شده است که منابع آبی کشور و بخصوص آب‌های زیرزمینی به سرعت تخلیه و به مرحله بحرانی رسیده باشد و با توجه به اینکه به دلیل محدودیت منابع، تأمین آب بیشتر برای کشاورزی معمولاً مشکل یا امکان‌پذیر نمی‌باشد، مناسب‌ترین راه آن است که با فنّاوری‌های مناسب در زمینه آبیاری حداکثر استفاده از منابع آب موجود برده شود و این امر میسر نخواهد شد مگر با اجرای شیوه‌های کارآمد و مؤثّر در توزیع آب و آبیاری.

۱-۲ اهداف آبیاری

همان‌طور که اشاره شد امروزه آبیاری به‌قدری از عملیّات عادی کشاورزی به حساب می‌آید که حتی برای متخصّصان نیز مجال طرح این سؤال که اصولاً با اجرای طرح‌های آبیاری چه اهدافی را می‌توان برآورده ساخت پیش نمی‌آید. زیرا ممکن است اجرای یک طرح آبیاری صرفاً به منظور تولید موادغذایی نبوده و در مقیاس کلان اهداف دیگری دنبال گردد. مثلاً اولین طرح‌های آبیاری که در غرب آمریکا به کمک دولت فدرال اجرا می‌شد، بیشتر برای انتقال

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

جمعیت از شرق امریکا و اسکان آنها در نواحی غربی آن کشور بود تا تولید مواد غذائی. حتی ممکن است اهداف سیاسی و نظامی نیز در اجرای طرح‌های آبیاری مدّنظر باشد. به‌طور کلّی اهداف مهمی راکه با اجرای طرح‌های آبیاری می‌توان دنبال کرد به شرح زیر است :

آبیاری به منظور تولید محصول مهمترین وظیفه آبیاری کمک به تولید بیشتر مواد غذائی است. در حال حاضر در سطح دنیا حدود ۲۷۵ میلیون هکتار زمین به صورت آبی کشت می‌شود. گرچه این مقدار نسبت به کل اراضی تحت کشت که بیش از ۱/۶ میلیارد هکتار می‌باشد نسبتاً ناچیز است اما همان‌طور که گفته شد حدود ۴۰ درصد از کل تولیدات زراعی دنیا از اراضی آبی حاصل می‌شود. عواملی که موجب کاهش محصول شده و باعث می‌شوند تا ما نتوانیم به‌طور کامل از پتانسیل گیاهان استفاده کنیم، بسیار زیاد می‌باشد، اما عمده‌ترین آنها آب است. مثلاً بر اساس مطالعات انجام شده در آمریکا پتانسیل تولید گندم در آن کشور حدود ۱۴ تن در هکتار است ولی عملاً متوسط مقدار محصول تولیدی بیش از ۳/۵ تن در هکتار نمی‌باشد و عواملی مانند کم آبی، سیلاب، آفات و بیماری‌ها، علف‌های هرز، خشکی، سرما، تگرگ و غیره باعث کاهش محصول می‌شوند. اما بیشترین سهم در کاهش تولیدات کشاورزی مربوط به آب می‌باشد. به‌طوری‌که ۴۰ درصد کاهش توان تولید در گیاهان زراعی مربوط به آب است. حتّی اعمال روش‌های مناسب کشاورزی مانند تهیه زمین و کاشت و یا استفاده از کود و سم و بذور اصلاح شده نیز در گرو آبیاری و استفاده بیشتر از آب است. زیرا اگر همین روش‌ها و یا نهاده‌ها را در دیم‌کاری‌ها به‌کار ببریم افزایش محصول همانند زراعت های آبی نخواهد بود.

آبیاری به منظور اصلاح زمین تبخیر آب از سطح خاک باعث تجمّع نمک در لایه بالایی خاک شده و ممکن است مقدار نمک در این لایه به‌حدّی افزایش یابد که امکان رشد برای گیاه وجود نداشته باشد. در چنین وضعیتی باید نمک‌ها را از منطقه توسعه ریشه‌ها خارج ساخت. ساده‌ترین و عملی‌ترین روش برای خارج کردن نمک‌ها این است که زمین را آبیاری کنیم تا نمک در آب حل شده و به اعماق زمین که خارج از دسترس گیاه می‌باشد، انتقال پیدا کند و یا اینکه از طریق زهکشی از زمین خارج شود. به‌عبارت دیگر از آب به‌عنوان عاملی برای حمل و خارج کردن نمک استفاده نماییم. به مجموعه این عملیات، **زهکشی و اصلاح اراضی** گفته می‌شود. بنابراین شستشو واصلاح اراضی نیز خود نوعی آبیاری به شمار می‌رود. در حال حاضر در طرح‌های آبیاری که در جنوب کشور برای کشت نیشکر در دست اجرا می‌باشد به دلیل شور بودن اراضی لازم است، ابتدا شستشوی خاک چندین ماه قبل از کشت صورت گیرد تا غلظت نمک در خاک تقلیل پیدا کرده و محیط برای رشد ریشه گیاه آماده شود که این کار از طریق آبیاری و زهکشی خاک صورت می‌گیرد. اگر بخواهیم از شورشدن تدریجی خاک در اثر آبیاری جلوگیری شود لازم است همواره در هنگام آبیاری علاوه بر نیاز آبی گیاه مقداری آب اضافی به زمین داده

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

شود تا نمک‌ها را شسته و از محیط رشد ریشه خارج سازد. این مقدار آب که مازاد بر احتیاج آبی گیاه است **نیاز آبشویی** نام دارد و مقدار آن بستگی به شوری آب و خاک و نوع گیاه دارد.

آبیاری به منظور اصلاح محیط در بعضی موارد، از آبیاری به منظور تغییر محیط رشد گیاه نیز استفاده می‌شود. مثلاً در هنگامی که خطر سرمازدگی برای گیاه وجود دارد با انجام آبیاری بارانی و پاشیدن آب روی شاخ و برگ می‌توان گیاه را از خطر یخ‌زدگی نجات داد. زیرا با این عمل سرما باعث می‌شود که آب روی شاخ و برگ گیاه یخ زده و ادامه سرما فقط قطر لایه یخ روی گیاه را افزایش دهد بدون آنکه دمای شاخ و برگ از صفر درجه پائین‌تر رود. آنچه در این مورد اهمیت دارد این است که تا زمانی که دمای هوا کمتر از صفر است باید آبیاری و پاشیدن آب روی گیاه ادامه داشته باشد و فقط زمانی آبیاری قطع شود که دمای هوا از صفر بالاتر شده و تمام یخ‌های روی گیاه ذوب شده باشد. آبیاری در اکثر موارد باعث بالا رفتن رطوبت در محیط اطراف گیاه شده و همین امر ممکن است برای برخی محصولات به بهبود کیفیت آنها کمک نماید. از جمله می‌توان به برخی ارقام انگور اشاره کرد که در آن با انجام عملیات آبیاری بارانی و مرطوب نمودن محیط بر کیفیّت میوه‌های تولیدی افزوده می‌شود.

آبیاری به منظور ایجاد شغل توسعه شبکه‌های آبیاری باعث ایجاد شغل در زمینه‌های مختلف می‌گردد. این امر حتی در بسیاری از کشورها به‌عنوان وسیله‌ای برای جلوگیری از مهاجرت و یا تعدیل و جابجایی جمعیت از یک نقطه به نقطه دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آبیاری به منظور تأمین امنیّت ملّی بسیاری از کشورهایی که به دلیل توسعه شبکه‌های آبیاری بر تولیدات کشاورزی خود افزوده‌اند از نظر غذا به کشورهای ثروتمند و یا همسایگان خود متّکی نبوده و لذا در صحنه بین‌المللی از قدرت عمل بیشتری برخوردارند. تحریم غذایی کشورها امروزه به عنوان وسیله‌ای در اختیار برخی کشورها قرار گرفته و تجربه نشان داده است که از این وسیله به دفعات استفاده نموده‌اند. لذا آبیاری از این جهت که بر تولیدات موادغذایی می‌افزاید در تأمین امنیّت ملّی و خودکفایی غذایی کشورها نقش اساسی دارد.

آبیاری به منظور مقابله با خشکسالی‌ها خشکسالی‌هایی که در سال‌های دهه ۱۹۸۰ میلادی در آفریقا اتّفاق افتاد ثابت نمود که کشورهایی قادر به سپری کردن چنین بلایایی هستند که از شبکه‌های آبیاری وسیع برخوردارند. حتی در کشورهایی که بارندگی زیاد بوده و آبیاری چندان اهمیتی ندارد ممکن است کمبود بارندگی در یک سال خسارات زیادی به‌بار آورد. زیرا در چنین وضعی اکثر گیاهان یک‌ساله و حتی گیاهان چند ساله مانند درختان میوه صدمه خواهند دید. حال آنکه با یک آبیاری ممکن است درختان در آن سال زنده بمانند. در این کشورها وجود شبکه‌های آبیاری می‌تواند در مواقع ضروری برای آبیاری تکمیلی وارد عمل شده و محصول را

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

از خطر نابودی برهاند.

سایر کاربردهای آبیاری علاوه بر مواردی که اشاره شد آبیاری برای اهداف دیگری نیز ممکن است صورت گیرد. مثلاً در هنگام جنگ غالباً اراضی را آبیاری می‌کنند تا ماشین آلات و تانک‌های دشمن تحرک لازم را از دست بدهند و یا آبیاری و یخ-آب‌های زمستانه به منظور کنترل آفات و بیماری‌های گیاهی یکی از عملیاتی است که زارعین به‌طور مرسوم انجام می‌دهند. حتی برای کنترل جوندگان مانند موش نیز یکی از روش‌های مبارزه آبیاری غرقابی زمین می‌باشد. روش آبیاری غرقابی در شالیزارهای شمال کشور عمدتاً برای کنترل علف‌های هرز می‌باشد. آبیاری به منظور جلوگیری از هدر رفتن آب نیز ممکن است انجام گیرد. مثلاً در زمانی که آب مازاد بر نیاز وجود داشته باشد، زارعین اراضی بایر خود را آبیاری می‌کنند تا هم رطوبت در خاک ذخیره شود و هم با نرم شدن خاک عملیات خاک‌ورزی به آسانی صورت گیرد.

به‌طوری که ملاحظه می‌شود آبیاری ممکن است با اهداف مختلف صورت گیرد اما آنچه از نظر ما حائز اهمیت است نقش آبیاری در افزایش محصول است. در واقع سیستم‌های آبیاری برای این طراحی و اجرا می‌شوند که محصول تولیدی افزایش پیدا کند در غیر این صورت انگیزه‌ای جهت انجام این عملیات توسط زارع وجود نخواهد داشت.

۱-۳ وضعیت آبیاری در جهان و ایران

وسعت زمین‌هائی که در حال حاضر در جهان هر سال زیر کشت محصولات کشاورزی قرار می‌گیرند، حدود ۱/۶ میلیارد هکتار می‌باشد که ۲۷۰ میلیون هکتار آن را (۱۷ درصد) اراضی آبی تشکیل می‌دهد. این مقدار ۰/۵ درصد کل سطح کره زمین و حدود ۲ درصد وسعت خشکی‌های سطح زمین می‌باشد. توزیع اراضی تحت آبیاری در سطح جهان یکنواخت نمی‌باشد. اگر به ارقام جدول ۱-۱ مراجعه شود ملاحظه می‌گردد که آسیا با ۱۸۱ میلیون هکتار بالاترین وسعت اراضی تحت آبیاری جهان (۶۷ درصد) را دارا می‌باشد. بعد از آن آمریکای شمالی و اروپا به ترتیب با ۱۳ و ۱۱ درصد در ردیف‌های دوم و سوم قرار دارند.

از آنجائی که تولیدات حاصله از اراضی تحت آبیاری در تامین غذای مردم جهان نقش اساسی دارند تا چند سال قبل برای تولید بیشتر مواد غذائی به توسعه اراضی تحت آبیاری پرداخته می‌شد. اما در حال حاضر برای توسعه اراضی کشاورزی در دنیا نه آب کافی وجود دارد، نه خاک حاصلخیز و نه پول بی‌حساب. به این دلیل تقریباً از ۵۰ سال پیش به این طرف (از ۱۹۵۰ میلادی) سرانه وسعت اراضی تحت آبیاری در دنیا در رقم ۰/۰۴۵ هکتار به ازاء هر نفر ثابت باقی مانده است و اگر هم وسعت اراضی آبی افزایش داشته، این افزایش متناسب با افزایش جمعیت بوده است. اما ادامه این روند ممکن نخواهد بود، زیرا مقدار سرانه آب و

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

جدول ۱-۱ توزیع اراضی تحت آبیاری در مناطق مختلف جهان

منطقه	وسعت کل		وسعت اراضی تحت آبیاری	
	میلیون کیلومترمربع	درصد نسبت به کل	میلیون هکتار	درصد نسبت به کل
قطب شمال	13	9	-	-
اروپا	7	10	30	11
استرالیا	5	7	2.5	1
آسیا	30	44	181	67
آفریقا	21	30	13.5	5
آمریکای شمالی	16	22	35	13
آمریکای جنوبی	12	17	8	3
جمع	143	100	270	100

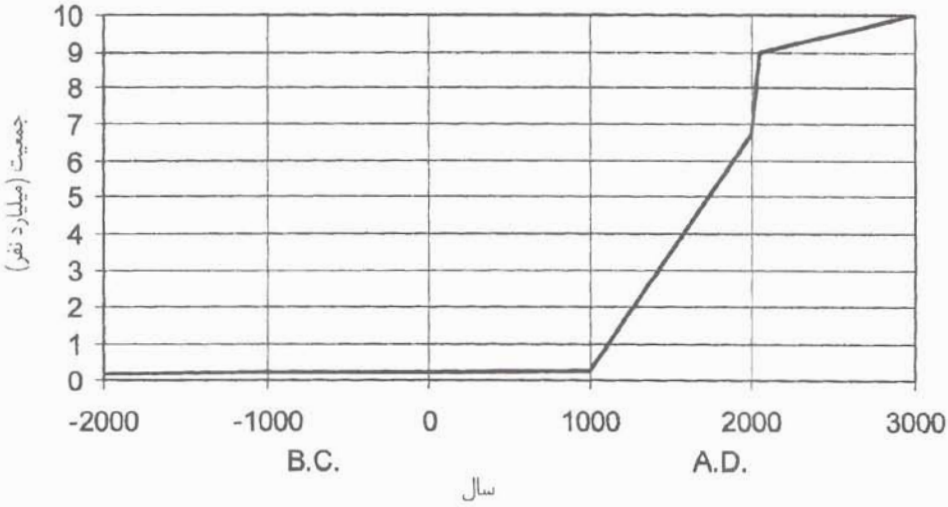
وسعت زمین‌های مناسب برای کشاورزی به شدت در حال کاهش است. مثلاً در سال ۱۹۵۰ میلادی برای هر نفر در دنیا ۰/۶ هکتار زمین مناسب برای آبیاری وجود داشت که این رقم در سال ۲۰۰۰ به ۰/۲۵ هکتار به ازاء هر نفر کاهش پیدا کرده است و از آن به بعد نیز به دلیل بالا رفتن جمعیت در حال کاهش است.

هر چند جمعیت جهان به سرعت در حال افزایش بوده و مطابق آنچه در شکل ۱-۱ نشان داده شده است پیش‌بینی می‌شود این جمعیت در سال ۲۰۳۰ به ۹ میلیارد و در سال ۳۰۰۰ میلادی به ۱۰ میلیارد برسد، اما وسعت اراضی تحت آبیاری دنیا که در سال ۱۹۰۰ میلادی ۴۰ میلیون هکتار و در سال ۲۰۰۰ به حدود ۲۵۰ میلیون هکتار رسید، نمی‌تواند با همان روند افزایش ۲۱۰ میلیون هکتاری در هر ۱۰۰ سال رشد کند (شکل ۱-۲). لذا، پیش‌بینی می‌شود در آینده فقط ۲۰ درصد مواد غذائی مورد نیاز برای جمعیت افزوده شده به جهان را بتوان از طریق افزایش سطح زیر کشت زراعت‌های آبی تامین کرد. در مورد آب هم وضعیت به همین صورت است، به‌طوری‌که در ۲۵ سال آینده برای طرح‌های جدیدی که بخواهد اجرا شود، تنها ۵۰ آب مورد نیاز آنها قابل تامین خواهد بود و اگر در حال حاضر هر ۲۲ نفر از جمعیت جهان وابسته به یک هکتار اراضی تحت آبیاری می‌باشند، در آینده نزدیک هر ۳۰ نفر وابسته به یک هکتار زمین آبی خواهند بود. بنابراین فقط با مدیریت آبیاری و استفاده بهینه از آب و بالا بردن بهره‌وری آب در اراضی تحت آبیاری می‌توان انتظار داشت که جهان به امنیت غذائی برسد. این مشکل در کشورهای آسیائی که بیشترین جمعیت جهان را در خود جای داده و بالاترین وسعت اراضی آبی را دارا می‌باشد، بیشتر مشهود است و اگر مدیریت آبیاری در این منطقه به نحو مطلوبی صورت نگیرد امکان تامین غذا برای جمعیت این قاره امری بسیار مشکل می‌باشد.

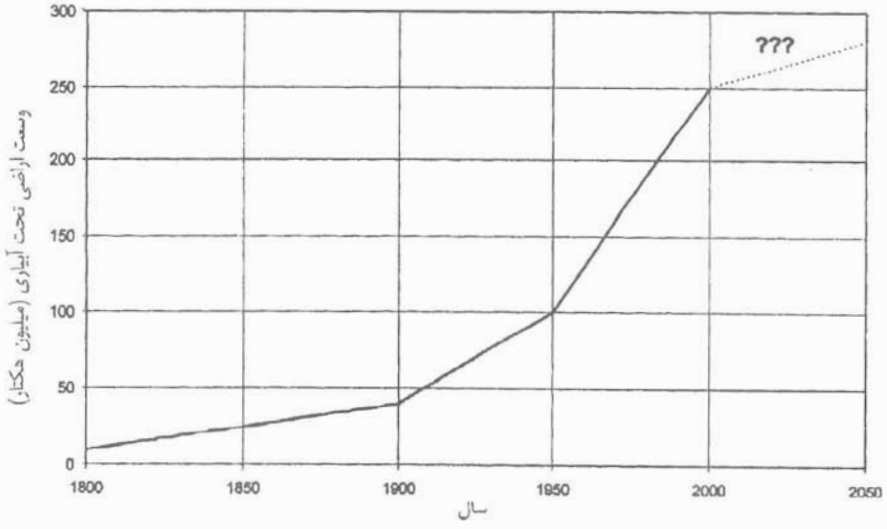
همان‌طور که گفته شد ایران با حدود ۸ میلیون هکتار اراضی آبی که به انواع محصولات زراعی و باغات اختصاص دارد پس از کشورهای هند (با ۵۶ میلیون هکتار وسعت اراضی تحت

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

آبیاری)، چین (۵۴ میلیون هکتار)، امریکا (۲۲ میلیون هکتار) و پاکستان (۱۸ میلیون هکتار) پنجمین کشور جهان از لحاظ وسعت اراضی تحت آبیاری است. با این تفاوت که در ایران تقریباً تمام زراعت‌ها به آبیاری احتیاج داشته و دیم‌کاری عمدتاً به زراعت گندم و جو و مناطق شمال و غرب کشور محدود می‌باشد، به‌طوری‌که می‌توان گفت کشاورزی و باغداری در ایران بدون آبیاری مفهوم نخواهد داشت و لذا آب و آبیاری را باید جزء لاینفک کشاورزی در ایران دانست.



شکل ۱-۱ روند افزایش جمعیت جهان طی ۵۰۰۰ سال گذشته



شکل ۱-۲ روند افزایش سطح اراضی تحت آبیاری جهان طی ۲۰۰ سال گذشته

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

۱-۴ منابع آب برای آبیاری

عمده‌ترین منابع آب برای آبیاری در دنیا جریان آب رودخانه‌ها و منابع آب‌های زیرزمینی قابل تجدید می‌باشد. در پاره‌ای از نقاط دنیا مانند لیبی و عربستان سعودی از منابع آب زیرزمینی فسیلی که غیرقابل تجدید می‌باشند نیز برای تامین آب آبیاری استفاده می‌شود که البته برای آنها نمی‌توان عمری بیش از ۵۰ سال پیش‌بینی کرد.

از مجموع ۸۶۵ میلی‌متر بارندگی که به‌طور متوسط هر سال روی خشکی‌های کره زمین ریزش می‌کند ۵۵۸ میلی‌متر آن (۶۵ درصد) به‌صورت تبخیر مجدداً به اتمسفر بر می‌گردد. از مقدار بقیه ۱۹۵ میلی‌متر به‌صورت رواناب در رودخانه‌ها جاری می‌گردد و ۱۱۲ میلی‌متر در خاک نفوذ کرده و آب‌های زیرزمینی را تشکیل می‌دهند. هر چند رودخانه‌ها منبع اصلی آب‌های شیرین می‌باشند، اما ۹۶ درصد آب آنها بدون استفاده و غیرقابل کنترل به دریاها می‌ریزند. مثلاً متوسط دبی روخانه آمازون در برزیل که حجم عظیمی از آب‌های شیرین را وارد دریا می‌سازد ۱۸۰۰۰۰ متر مکعب در ثانیه می‌باشد. با وجودی که برزیل پنجمین کشور بزرگ دنیا بوده و حدود ۸ درصد تمام آب‌های شیرین جهان در این کشور تمرکز یافته است، اما از نظر توسعه اراضی تحت آبیاری جزء ده کشور اول جهان نمی‌باشد.

رودخانه‌های بزرگ دیگر جهان مانند یانگ تسه (Yangtze) در چین، رودخانه کنگو (Congo) در زئیر، نیل (Nile) در مصر و می‌سی‌سی‌پی (Mississippi) در امریکا نیز وضعیتی مشابه دارند. آب‌های زیرزمینی نیز بعضاً شور و غیرقابل استفاده در کشاورزی می‌باشند. لذا منابع اصلی آب برای آبیاری جریان قابل کنترل برخی از رودخانه‌ها و بخش محدودی از آب‌های زیرزمینی است. برای آنکه آب رودخانه‌ها و یا منابع زیرزمینی جهت آبیاری در اختیار قرار گیرد، لازم است فناوری مناسب برای بالا آوردن آب و قرار دادن آن در محلی که بتواند مورد استفاده قرار گیرد، در اختیار باشد. انتقال آب برای آبیاری از یک حوضه به حوضه دیگر و یا در داخل یک حوضه آبریز به مسافت‌های دور دست نه تنها به لحاظ فنی و اقتصادی مشکل می‌باشد بلکه تبعات و پیامدهای زیست محیطی نیز در بردارد و لذا توصیه می‌شود آب را در همان محلی که موجود است مورد استفاده قرار داد. مقدار سرانه آب قابل تجدید در جهان ۶۵۰۰ متر مکعب در سال می‌باشد که گرچه رقم بالائی به نظر می‌رسد اما محدودیت‌های فیزیکی و فنی برای استفاده از این آب باعث شده است که اکثر نقاط تحت آبیاری جهان با کمبود آب مواجه باشند.

البته در قدیم آبیاری تنها از طریق انحراف آب از بالادست رودخانه‌ها و پخش آن روی زمین صورت می‌گرفت. بالا آوردن آب از چاه یا رودخانه‌ها به کمک نیروی انسانی یا حیوان و یا ابزارهائی مانند چرخ که در آن از نیروی جریان آب استفاده می‌شد، مرسوم بود. مثلاً با استفاده از چرخ‌هائی که قطر بسیار زیاد داشتند و در محیط آن سطل‌هائی تعبیه شده بود آب را تا ارتفاع

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

بیش از ۱۰ متر بالا می‌آوردند. این چرخ‌ها که به نام **چرخ ایرانی** (Persian wheel) نامیده می‌شدند هنوز هم در بعضی نقاط دنیا کاربرد دارند. در آبیاری‌های قدیمی پخش آب روی زمین تنها به کمک نیروی ثقل انجام می‌شد، اما امروزه فنون آبیاری به‌قدری توسعه پیدا کرده است که توزیع آب روی زمین با انواع روش‌ها و فناوری‌های خاص صورت می‌گیرد، همان‌طور که با استفاده از انرژی‌های مختلف، آب نه تنها از اعماق مختلف استخراج و به ارتفاعات بسیار بالا رسانده می‌شود بلکه با فناوری‌هائی مانند بارورسازی ابرها و شیرین کردن آب‌های شور به تامین آب نیز اقدام می‌گردد.

در ایران متوسط بارندگی روی پهنه کشور حدود ۲۵۰ میلی‌متر در سال می‌باشد که به دلیل موقعیت آب و هوائی ۷۲ درصد آن پس از ریزش، تبخیر و مجدداً وارد اتمسفر می‌شود. بخش زیادی از بارندگی‌ها (۷۸ درصد) در مناطق کوهستانی بوده و میزان بارش روی دشت‌ها نسبتاً اندک می‌باشد. به‌طور کلی بدون در نظر گرفتن آب‌های مرزی حجم آب‌های قابل تجدید کشور سالانه حدود ۱۱۷ میلیارد متر مکعب می‌باشد که ۹۲ میلیارد متر مکعب به‌صورت سطحی جاری شده و ۲۵ میلیارد متر مکعب مستقیماً به داخل زمین نفوذ می‌کند. از جریان رودخانه‌های سطحی ۱۲ میلیارد متر مکعب از طریق رودخانه‌های مرزی از کشور خارج می‌شود. بنابراین عملاً ۱۰۵ میلیارد متر مکعب آب حاصله از نزولات جوی در دسترس می‌باشد. بخشی از آب‌های سطحی طی جریان (حدود ۱۳ میلیارد متر مکعب) و در مسیر خود وارد منابع آب زیرزمینی می‌شود. در هنگام مصرف آب‌های سطحی نیز بخشی دیگر از آن (حدود ۱۸ میلیارد متر مکعب) طی مصرف به اعماق نفوذ می‌کند، بنابراین حجم آب‌های زیرزمینی قابل تجدید کشور سالانه ۵۶ میلیارد متر مکعب می‌باشد (۵۶=۱۸+۱۳+۲۵). اما مهیا بودن و سادگی استخراج این منابع باعث شده است که برداشت از آب‌های زیرزمینی برای آبیاری و شرب در هر سال بیش از ۶۴ میلیارد متر مکعب باشد. به‌عبارت دیگر سالانه حدود ۸ میلیارد متر مکعب از منابع غیر قابل تجدید آب‌های زیرزمینی کشور بیشتر برداشت می‌شود که اگر این روند ادامه پیدا کند پیامدهای جبران ناپذیری را ببار خواهد آورد. بنابراین بخش مصرف و بخصوص آبیاری کشور باید به تدریج از مصرف آب‌های غیرقابل تجدید زیرزمینی بکاهد و با مقدار محدود آب موجود و اجرای سیستم‌های آبیاری کارآمد حداکثر بهره‌وری از آب را حاصل نماید. اگر متوسط مصرف سالانه آب در بخش کشاورزی را ۸۵ میلیارد متر مکعب و متوسط تولیدات خام کشاورزی را ۷۰ میلیون تن در نظر بگیریم، بهره‌وری آب در بخش کشاورزی حدود ۸۰۰ گرم به ازاء مصرف هر متر مکعب آب می‌باشد، حال آنکه در یک سیستم آبیاری و کشاورزی خوب این رقم در کشورهای دیگر ۲ کیلوگرم به ازاء مصرف هر متر مکعب آب می‌باشد. لذا با همین مقدار آب موجود می‌توانیم بهره‌وری آب در بخش کشاورزی را حداقل تا ۲ برابر افزایش دهیم.

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

۱-۵ اجزاء سیستم‌های آبیاری

یک سیستم آبیاری از اجزاء مختلفی تشکیل شده است که باید به صورت هماهنگ کار کنند تا هدف از اجرای سیستم را تأمین نمایند. در کارهای کشاورزی سیستم‌های آبیاری برای این طراحی و اجرا می‌شوند که آب مورد نیاز زراعت را در زمان معین در اختیار گیاه قرار دهند. بنابراین یک سیستم آبیاری باید از خصوصیات زیر برخوردار باشد:

(۱)- به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد.

(۲)- در زمان موردنظر مقدار آب مورد لزوم را به مزرعه برساند.

(۳)- آب را به‌صورت یکنواخت در سطح مزرعه پخش نماید.

(۴)- از پیچیدگی کمتری برخوردار بوده و حتی‌الامکان کار کردن با آن ساده باشد.

(۵)- سیستم باید طوری طراحی و اجرا شود که در آن از مصالح و فنّاوری‌های مناسب استفاده شده باشد و نگهداری آن نیز به سادگی صورت گیرد.

(۶)- با شرایط آب و هوائی، محیطی، اجتماعی و فرهنگی هماهنگی داشته باشد.

(۷)- در تعارض با مسائل زیست محیطی نباشد.

در صورتی که یک سیستم آبیاری از ویژگی‌های فوق برخوردار باشد می‌توان به کارآیی و پایداری آن امیدوار بود، در غیر این صورت همان‌گونه که شاهد شکست بسیاری از طرح‌های آبیاری بوده‌ایم، موفقیتی از آن کسب نخواهد شد.

صرف‌نظر از نوع روشی که برای آبیاری در مزارع به‌کار گرفته می‌شود. هر سیستم یا شبکه آبیاری از ۴ قسمت عمده تشکیل شده است که عبارتند از:

(۱)- منبع تأمین آب (water source)

(۲)- سیستم انتقال آب به ابتدای مزرعه (delivery system to field)

(۳)- سیستم توزیع آب در داخل مزرعه (distribution system in the field)

(۴)- سیستم کاربرد آب در زمین (application system)

منبع آب ممکن است قنات یا چاه باشد. در قنات آب بادبی ثابت در تمام‌ایام سال از آن خارج می‌شود ولی در چاه هر چند دبی ثابت است اما زمان استخراج در اختیار زارع می‌باشد. در چنین شرایطی حداکثر ظرفیت سیستم آبیاری از نظر مصرف آب نباید از دبی قنات یا چاه بیشتر باشد. در پاره‌ای موارد منبع آب ممکن است رودخانه‌ای باشد که آب از آن منحرف و وارد کانال‌های انتقال می‌گردد. در این مورد دبی جریان در ایام مختلف سال متغیر بوده و لازم است تغییرات فصلی دبی نیز در نظر گرفته شود تا کمبود آب در برخی مواقع سال باعث کاهش و یا از بین رفتن محصول نشود. در جاهایی که سد احداث شده باشد و آب مورد نیاز سیستم آبیاری از مخازن سدها تأمین می‌شود ممکن است بنا به **تقاضای زارع** (demand) هر مقدار آب و در هر زمان که

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

بخواهد در اختیار وی قرار گیرد. در این وضعیت ایده‌آل سیستم آبیاری از قابلیت انعطاف زیادی برخوردار خواهد بود. برخی شبکه‌های آبیاری **جریان ثابتی** (contineous) از آب را متناسب با حقابه زارع در اختیار وی قرار می‌دهند. در برخی موارد نیز آب به‌صورت **دوره‌ای** (rotation) و به مقدار ثابت به زارع تحویل می‌شود. بنابراین سیستم آبیاری بر اساس اینکه آب چگونه در اختیار زارع قرار می‌گیرد متفاوت بوده و لذا طراحی چنین سیستم‌هائی نیز متفاوت خواهد بود.

در پاره‌ای موارد ممکن است آب به‌طور موقت در مخازنی ذخیره و سپس مورد استفاده قرار گیرد. مخازن کوچک داخل مزرعه نقش مهمی را در طرح‌های آبیاری ایفا می‌کنند. بعضی از این مخازن برای ذخیره آب برگشتی از مزارع ساخته می‌شوند تا در اراضی پایین دست مورد استفاده قرار گیرند. در وضعیتی که شرایط طبیعی ایجاب کند آب رودخانه در هنگام پرآبی در مخازن **داخل رودخانه‌ای** (on-stream reservoirs) و یا با انحراف آب در مخازن **خارج رودخانه‌ای** (off-stream reservoirs) ذخیره شده و سپس در هنگام کم‌آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بررسی مقدار آب، زمان جریان آب و حجم مفید مخازن از اقداماتی است که باید در طراحی سیستم آبیاری در نظر گرفته شود.

سیستم انتقال آب از منابع مختلف به مزرعه ممکن است به وسیله کانال رو باز و یا لوله باشد. **کانال به آبراهه‌ای گفته می‌شود که مصنوعاً برای انتقال آب ساخته شده باشد.** کانال‌ها ممکن است با مصالح ساختمانی پوشش شده و یا آنکه بدون پوشش باشند. علاوه براین جریان آب در کانال ممکن است **تنظیم شده** (regulated) یا **تنظیم نشده**(un-regulated) باشد. مزیت لوله‌ها نسبت به آبراهه‌های روباز در این است که علاوه بر جلوگیری از تلفات نشت و تبخیر در صورتی که اختلاف فشار بین منبع تا مزرعه کافی باشد این امکان وجود دارد که از اختلاف پتانسیل ثقلی استفاده نموده و سیستم‌های آبیاری **تحت فشار** را در مزرعه پیاده کرد. سیستم انتقال چه از نوع لوله و چه از نوع آبراهه‌های روباز باید از چنان ظرفیتی برخوردار باشد تا در مواقعی که به حداکثر آب نیاز است آن را به مزرعه منتقل نماید. در اکثر سیستم‌های آبیاری که در آنها از چاه استفاده می‌شود چون چاه‌ها غالباً در مزرعه و در کنار اراضی حفر می‌شوند آب مستقیماً و بدون نیاز به انتقال مورد استفاده قرار می‌گیرد و لذا به سیستم‌های انتقال نیاز نمی‌باشد.

سیستم توزیع آب در مزرعه شامل کانال‌های کوچکتر درجه ۳ و ۴ و سازه‌های تقسیم آب و انهاری است که در بالای قطعات اراضی قرار می‌گیرند. این سیستم‌ها نیز ممکن است لوله‌های تحت فشار باشند که آب را تا بالای هر قطعه زمین انتقال می‌دهند. ابعاد کانال‌های درجه ۳ و ۴ معمولاً کوچک است اما با توجه به تناوب زراعی و تغییر نوع کشت در قسمت‌های مختلف مزرعه باید ظرفیت لازم را داشته باشند تا بر حسب الگوی کشت آب مورد نیاز قطعات را در زمان حداکثر نیاز تأمین نمایند.

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

سیستم پخش یا کاربرد آب در داخل زمین که در واقع موضوع اصلی این کتاب می‌باشد به مجموعه روش‌ها و فنّاوری‌هائی گفته می‌شود که آب را برای استفاده گیاه در سطح زمین پخش می‌کند. از نظر کلی سیستم‌های کاربرد آب در مزرعه که به سیستم‌های آبیاری معروفند به‌سه گروه تقسیم می‌شوند:

(۱)- سیستم‌های آبیاری سطحی

(۲)- سیستم‌های آبیاری تحت فشار

(۳)- سیستم‌های آبیاری زیرزمینی

روش‌های سطحی شامل انواع آبیاری‌هایی است که در آنها برای پخش آب در مزرعه از نیروی طبیعی ثقل استفاده می‌شود مانند روش‌های آبیاری جوی پشته‌ای، نواری، کرتی، سیلابی و غیره. حال آنکه در روش‌های آبیاری تحت فشار عامل توزیع آب در مزرعه نیروی خارجی است که به آب وارد می‌شود. از این روش‌ها می‌توان انواع آبیاری‌های **بارانی** و **قطره‌ای** را نام برد. روش‌های آبیاری زیرزمینی شامل عملیاتی است که در آن سطح ایستابی (سطح آب زیرزمینی) در عمق معینی نسبت به سطح زمین نگهداشته می‌شود تا صعود مویینه‌ای آب بتواند نیاز آبی گیاه را تأمین نماید. این نوع روش‌ها در مناطقی کاربرد دارند که لایه‌های غیر قابل نفوذ در مجاورت سطح زمین وجود داشته و یا اصولاً سطح ایستابی بالا باشد. **آبیاری زیرزمینی** را نباید با **آبیاری زیرسطحی** که برای جلوگیری از تبخیر، آب مستقیماً وارد منطقه توسعه ریشه‌ها می‌شود اشتباه کرد.

از مجموع اجزاء یک شبکه آبیاری در این کتاب فقط به سیستم‌ها یا روش‌های کاربرد آب در داخل مزرعه و عملیاتی که در طراحی این روش‌ها به‌کار گرفته می‌شود، پرداخته خواهد شد. در این رابطه روش‌های آبیاری سطحی و تحت فشار در دو بخش جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و از بحث پیرامون آبیاری زیرزمینی به دلیل کاربرد بسیار محدود آن در شرایط آب و هوایی ایران خودداری شده است.

۱-۶ طراحی سیستم‌های آبیاری

طراحی یک سیستم آبیاری به **مجموعه عملیاتی گفته می‌شود که در سطح مزرعه انجام می‌شود تا آب به‌صورت مؤثر توزیع و در اختیار گیاه قرار گیرد.** هر مهندس آبیاری در هنگام طراحی سیستم آبیاری باید مراحل مشخصی را دنبال و به نکات زیر توجه داشته باشد.

شرح مسأله اولین موضوعی که برای مهندس باید روشن شود توصیف مسأله است. یک نفر مهندس آبیاری خود باید بداند طراحی برای چه منظوری صورت می‌گیرد و با احداث سیستم

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

آبیاری چه مرادی حاصل خواهد شد؟ هدف‌های فیزیکی که قرار است سیستم به آن برسد کدام‌است ؟ با احداث سیستم چه منافع اقتصادی باید کسب شود؟ و یا هدف‌های اجتماعی سیستم کدامند؟ و سرانجام این که با چه معیاری باید مشخص کرد که سیستم به‌طور فیزیکی به اهداف خود رسیده است یا نه. تنها زمانی که جواب این سؤالات برای مهندس روشن باشد باید قدم بعدی برداشته شود.

جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها برای یک مهندس با تجربه وقت‌گیرترین قسمت طراحی سیستم آبیاری جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات است. دلیل این موضوع آن است که سیستم آبیاری در هنگام کاربری، شرایط محیطی را تغییر می‌دهد و لذا برای آنکه طراحی به نحو صحیحی انجام شود می‌بایست در مورد خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، خصوصیات کیفی آب، پارامترهای آب و هوایی، عکس‌العمل زراعت نسبت به آبیاری، هزینه‌ها و درآمدهای اقتصادی بخش‌های مختلف سیستم آبیاری، مسائل اجتماعی و موانعی که در راه اجرای طرح آبیاری وجود خواهد داشت اطلاعات کافی در اختیار باشد. باید توجه داشت که هیچ‌وقت دو طرح آبیاری مشابه همدیگر نیستند، بلکه حداقل از نظر خاک و شرایط آب و هوایی و پستی و بلندی متفاوتند. بنابراین نمی‌توان طرح‌ها را از روی یکدیگر اقتباس کرد و لذا در هر مورد باید مطالعات جداگانه‌ای انجام شود. بعضی داده‌ها قبلاً اندازه‌گیری، جمع‌آوری و ثبت شده‌اند (مانند داده‌های هواشناسی) اما برای برخی نیاز به اندازه‌گیری‌های صحرایی است (مانند نفوذپذیری) و بعضی‌دیگر می‌بایست در آزمایشگاه سنجیده شوند. توصیه می‌شود مهندس طراح حتی‌الامکان شخصاً داده‌های مورد نیاز را جمع‌آوری یا اندازه‌گیری نماید تا اولاً خصوصیات فیزیکی طرح را لمس کرده باشد و ثانیاً به درجه صحت آن‌ها پی‌برده و در کاربرد آن‌ها از نظر دقت بعضاً وسواس نشان ندهد.

انتخاب سیستم پس از آنکه داده‌های هواشناسی، خاک، آب، شرایط فیزیکی و غیره جمع‌آوری شد می‌بایست یک سیستم مناسب برای طرح انتخاب شود. گاهی اوقات شرایط به نحوی است که باید فقط یک سیستم خاص را انتخاب کرد. مثلاً مهیا بودن وسایل و ابزار کار ممکن است باعث شود که فقط نوع خاص سیستم آبیاری مطرح باشد. اما غالباً چند سیستم آبیاری را می‌توان در مقایسه با یکدیگر تحلیل و سرانجام سیستمی را انتخاب نمود که بالاترین سوددهی را داشته باشد. توجه داشته باشید که هیچ سیستم آبیاری را نمی‌توان یافت که تمام شرایط موجود منطبق بر آن باشد لذا سیستمی را باید انتخاب نمود که از روش‌های دیگر مناسب‌تر باشد. در انتخاب سیستم آبیاری شرایط اجتماعی و اقتصادی و بخصوص درجه پذیرش یا آشنایی زارعین با آن را در نظر بگیرید و سیستمی را انتخاب نکنید که فقط برای مدت کوتاهی قابل دوام باشد. مثلاً سیستم **آبیاری موجی یا سرج** (surge) که در آن جریان ورودی به

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

داخل شیارها طبق برنامه زمانی مشخصی‌قطع و وصل می‌شود اگر چه از نظر راندمان و صرفه‌جویی در آب و یکنواختی توزیع رطوبت روش مفیدی است اما نیاز به تجهیزات و سیستم‌های کنترل خاصی دارد که فراهم کردن آن برای اکثر زارعین میسر نمی‌باشد. بنابراین به‌جز در بعضی کشورها امکان پیاده کردن آن در تمام نقاط وجود ندارد.باید توجه داشت که انتخاب یک سیستم آبیاری از بین گزینه‌های مختلف به‌صورت مطلق نبوده و در واقع سیستمی که نسبت به سایر گزینه‌ها ارجحیت دارد انتخاب می‌گردد.

خلّاقیّت خلاقیت و هنر طراحی موضوعی است سوای آنچه درکتاب‌های درسی به مهندسان آموخته می‌شود. دو نفر مهندس با سطح معلومات مساوی طرح‌های متفاوتی را طراحی خواهند نمود که یکی از آنها بیشتر مقبول واقع می‌شود زیرا خلاقیت بیشتری در آن به‌کار برده شده است. خلاقیت را نمی‌توان با آموزش کسب کرد بلکه علاوه بر استعداد ذاتی، تجربه، دیدن سایر طرح‌ها، گفتگو با مدیران طرح‌های قبل یا زارعین و صاحبان صنایع و امثال آن موضوعاتی را به مهندس القا می‌کند که کاربرد آنها در طرح‌های آبیاری راه‌گشای بسیاری از مسائل است. با این وجود مهندس طراح باید از خلاقیت کافی برخوردار باشد.

درجه اعتماد امروزه با در اختیار داشتن ماشین‌های محاسب سریع و به‌کارگیری آنها در طراحی می‌توان به راه‌حل‌های دقیق، البته نه الزاماً صحیح، دست یافت. دستیابی به هر راه حل می‌بایست با دو معیار سنجیده شود: ۱- دقت داده‌های مورد استفاده در طرح چقدر بوده است؟ و ۲- نتایج به‌دست آمده تا چه اندازه قابل قبول است. در مورد اول، دقت امری نسبی است و نباید آن را با وسواس یکی دانست. مثلاً اگر تعیین مدت آبیاری در هر نوبت را در نظر بگیرید، چنانچه فرضاً نیاز آبی گیاه راکه ترکیبی از داده‌های خاک و گیاه و اقلیم است با ۱۰ درصد تقریب تخمین زده باشید لازم نیست مدت مثلاً ۱۲ ساعته آبیاری را تا دقت ۱۵ دقیقه محاسبه کنید، زیرا داده‌های مورد استفاده خود با تقریب به‌دست آمده‌اند. مهندسان در محاسبات خود که با عدد و رقم سروکار دارند، بسیار دقیق بوده و تا اعشار محاسبه می‌کنند، اما باید توجه شود که در طراحی سیستم‌های آبیاری با داده‌های تصادفی و احتمالاتی و غیر دقیق مواجه هستید لذا دقت بی‌مورد در محاسبات دلیل بر این نخواهد بود که نتیجه به‌دست آمده حتماً صحیح خواهد بود. هر پارامتری که در طراحی به‌کار می‌برید درجه دقت مخصوص به خود را دارد. مثلاً ممکن است بتوانید افت اصطکاک را در لوله دقیق محاسبه کنید اما سطح پمپاژ راکه دارای تغییرات فصلی و ماهیانه است نمی‌توانید دقیق حساب نمایید در صورتی که هر دوی این داده‌ها در محاسبه قدرت پمپ مورد نیاز می‌باشند.

در مورد این که نتایج به‌دست آمده از طراحی یک سیستم آبیاری تا چقدر قابل قبول است فقط تجربه و اطلاعات مهندس است که تشخیص می‌دهد پیشنهاد یا راه حل به‌دست آمده قابل

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

قبول خواهد بود یا نه. مثلاً اگر زمان تعویض لوله‌های سیستم بارانی برای ساعت ۲ بعد از نیمه شب طراحی شده باشد، هر چند این زمان بهترین زمان هم تشخیص داده شده باشد اما از نظر عملی عاقلانه و قابل قبول نخواهد بود که از کارگران بخواهیم در آن ساعت شب از خواب بیدار شده و این کار را انجام دهند و یا اگر استفاده از سیستم کامپیوتری برای راه‌اندازی دستگاه آبیاری بارانی عقربه‌ای (سنترپیوت) بهترین روش هم باشد برای زارعینی که سطح اطلاعات آنها اندک است، این روش مقبول نخواهد بود. در این موارد در نظر گرفتن عرف و عادات و سنت‌های اجتماعی و فرهنگی و حتی اعتقادات فرهنگی-مذهبی زارعین نیز باید در نظر گرفته شود. زارعین هر منطقه برای آبیاری زراعت‌ها عقاید و سنت‌های خود را دارند که ممکن است ظاهراً خرافاتی و غیر عقلانی به‌نظر برسد ولی اگر به‌خوبی دقت کنید ممکن است در ضمیر آن دلایل علمی وجود داشته باشد که در این صورت در مدیریت سیستم می‌توانید از آنها استفاده کنید.

۱-۷ مفاهیم طراحی سیستم‌های آبیاری

طراحی یک سیستم آبیاری را می‌توان به درست کردن یک **مربع تنگرام** تشبیه کرد، که دارای اجزاء مختلفی است. این اجزاء که هرکدام شکل و اندازه خاصی دارند عبارتند از:

(۱)- وضعیت آب و خاک

(۲)- مواد و مصالح موجود

(۳)- اقلیم

(۴)- طراحی سیستم

(۵)- اجرای سیستم

(۶)- سرمایه

(۷)- مدیریت

تنها در صورتی که این اجزاء مانند مربع تنگرام هرکدام در جایگاه خود و به نحو مطلوب استفاده شوند، شکل مورد نظر به‌دست خواهد آمد. با اجزاء مربع تنگرام می‌توان انواع و اقسام شکل‌ها را ایجاد کرد اما اگر فقط شکل خاصی موردنظر باشد باید از این اجزاء فقط در جای خود استفاده کنیم در غیر این صورت شکل یا طرح موردنظر حاصل نخواهد شد.

از نظر مفهومی در طراحی سیستم‌های آبیاری دو جزء کلی وجود دارد که عبارتند از:

(۱)- بخش سخت‌افزاری مانند کانال‌ها، لوله‌ها، ماشین‌آلات، موتور و پمپ و غیره.

(۲)- بخش نرم‌افزاری مانند روش‌ها، فرایندها و ایده‌ها.

هنر طراح سیستم آبیاری این است که از این اجزاء استفاده نموده و مناسب‌ترین طرحی را که

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

بتواند با شرایط آب و هوایی و اجتماعی و اقتصادی زارع منطبق باشد پیاده نماید. به همین دلیل است که عده‌ای طراحی سیستم آبیاری را یک کار هنری می‌دانند که در آن از قواعد علمی استفاده می‌شود. با این وجود بدون دسترسی به ابزار طراحی نمی‌توان از یک مهندس آبیاری انتظار داشت که بهترین طرح ممکن را ارائه کند.

طراحی سیستم‌های آبیاری بر پایه اطلاعاتی استوار است که از وضعیت موردنظر جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل می‌شود. همواره توجه داشته باشید که طرح شما زمانی کارآیی خواهد داشت که داده‌های جمع‌آوری شده صحیح باشد. نداشتن آمار و اطلاعات از یک منطقه به مراتب بهتر از آن است که داده‌های نادرست در اختیار مهندس طراح قرار گیرد. زیرا در صورت عدم وجود آمار می‌توان از اطلاعات مشابه استفاده کرد اما سیستمی که براساس داده‌های نادرست طراحی شده باشد تحت هیچ شرایطی کارآیی نخواهد داشت. اطلاعات مورد نیاز در طراحی سیستم‌های آبیاری نیز دوگونه‌اند: **الف)** داده‌های فیزیکی و **ب)** داده‌های غیرفیزیکی.

اطلاعات فیزیکی را می‌توان در پنج دسته طبقه‌بندی کرد که عبارتند از:

- اطلاعات مربوط به خاک
- اطلاعات مربوط به گیاهان زراعتی
- اطلاعات مربوط به اقلیم
- اطلاعات مربوط به آب
- اطلاعات مربوط به سیستم آبیاری

در مورد خاک می‌بایست پارامترهائی مانند ظرفیت نگهداری آب در خاک، ضرایب نفوذپذیری، هدایت هیدرولیکی، بافت، ساختمان، پستی و بلندی، نوع لایه‌بندی و تغییرات خصوصیات فیزیکی خاک در نقاط مختلف مزرعه اندازه‌گیری شوند.

اطلاعات مربوط به گیاه مشتمل بر خصوصیات فنولوژی گیاهانی است که قرار است در مزرعه کشت شوند. طول دوره‌های رویش، مقدار واحد حرارتی لازم برای کامل شدن دوره رشد، تعداد روزهایی که طول می‌کشد تا گیاه جوانه بزند، زمان گل‌دهی، زمان رسیدن گیاه، عمق مؤثر ریشه، حداکثر توان تولید محصول، تبخیر-تعرق و تغییرات آن در طول دوره رویش از جمله پارامترهایی هستند که در طراحی سیستم‌های آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

داده‌های هواشناسی مورد نیاز عبارتند از مقدار تابش خورشید یا تعداد ساعات آفتابی در روز، درجه حرارت هوا، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد، بارندگی مؤثر و از همه مهمتر پارامترهای محدود کننده از قبیل حداکثر و حداقل دمای هوا، تعداد روزهای یخبندان، حداکثر سرعت باد و غیره.

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

خصوصیات آبی که در طرح مورد استفاده قرار می‌گیرد نیز از عوامل مهمی است که می‌بایست داده‌های مربوط به آن در اختیار باشد. از جمله می‌توان، مقدار آب موجود، تغییرات مقدار آب در روزها و ماه‌های مختلف سال، کیفیت آب و تغییرات آن در طول دوره بهره‌برداری را نام برد.

اطلاعات مربوط به سیستم آبیاری که از نظر مقایسه روش‌های مختلف آبیاری مورد نیاز می‌باشد عبارتند از هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه برای سیستم، هزینه‌های راهبری، هزینه‌های نگهداری سالیانه، میزان کاربری سیستم و قابلیت قبول آن توسط زارع.

داده‌های غیرفیزیکی مشتمل بر اطلاعاتی در مورد وضعیت اجتماعی-اقتصادی منطقه، بازار فروش، سیستم مدیریت، علایق زارعین و موارد مشابه است که اگر اهمیت آنها بیشتر از عوامل فیزیکی نباشد، کمتر از آن نیست.

۱-۸ ملاحظات زیست محیطی

همان‌طور که اشاره شد انجام عملیات آبیاری باعث می‌شود که چرخه هیدرولوژی به‌صورت موضعی در حوضه آبریز تغییر پیدا کرده و بعضاً در تعارض با ذینفعان از حوضه و یا محیط زیست قرار گیرد. این امر علاوه بر مشکلات زیست محیطی باعث بروز اختلافات محلی، منطقه‌ای و بین‌المللی می‌گردد. جنگ بر سر آب و یا مسائلی راکه آبیاری به‌بار می‌آورد سابقه‌ای بسیار طولانی داشته و هنوز هم به‌کرات مشاهده می‌شود. سرتاسر تاریخ کشورهای خاورمیانه و آفریقا مملو از حوادثی است که در اثر آب بوجود آمده بود. به‌طوری‌که اگر تاریخ آبیاری را در این کشورها بررسی کنیم حتی بسیاری از سازه‌هاو بناهای تاریخی و نوآوری‌ها ریشه در آب و آبیاری دارند. امروزه بر هیچکس پوشیده نیست که مهمترین موضوع مناقشه بین اکثر دولت‌ها بر سر منابع آب است و عده زیادی پیش‌بینی می‌کنند جنگ‌های آینده در خاورمیانه بر سر آب صورت خواهد گرفت و نه خاک یا منابع دیگر.

به لحاظ محیطی نیز باید توجه داشته‌باشیم که‌بر اساس قانون بقای جرم، آب هیچ‌وقت از بین نمی‌رود. مازاد آبی که به‌مصرف گیاه می‌رسد با کیفیت بدتر به‌صورت رواناب و یا نفوذ عمقی به‌عنوان **آب برگشتی** (return flow) وارد مناطق پست‌تر شده و مورد استفاده زارعین دیگر قرار می‌گیرد. بنابراین نباید به‌گونه‌ای رفتار شود که این امکان از زارعین اراضی پائین دست گرفته شود. به‌همین دلیل است که رعایت **قوانین تملک آب** (water rights) در طرح‌های آبیاری الزامی است. منظور از تملک آب این نیست که یک نفر بتواند بدون محدودیت و به هر مقدار که بخواهد از منابع آب استفاده نموده و یا کیفیت آن را تغییر دهد. این تملک شامل سه جزء است:

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

(۱) – طول مدت بهره‌برداری.

(۲) – حداکثر مجاز برداشت.

(۳) – حداکثر مساحتی که می‌تواند با مقدار آب برداشتی زیر کشت قرار گیرد.

متأسفانه زارعین هنگامی که به منبع آب دسترسی پیدا می‌کنند حاضر نیستند هیچکدام از اجزاء فوق را رعایت کنند و همین امر زوال بسیاری از منابع آب زیرزمینی و سطحی را در دشت‌های کشاورزی موجب شده است. رعایت این محدودیت‌ها باعث می‌شود تا از تخریب منابع آب جلوگیری به‌عمل آید. مثلاً در حال حاضر در برخی از مناطق غربی آمریکا در کالیفرنیا حتی به زارعین اجازه داده نمی‌شود که با بهبود سیستم آبیاری خود باعث بالا رفتن راندمان آبیاری شده و از آب حداکثر استفاده به‌عمل آورند. مگر آنکه برای آن دلایل علمی داشته باشند. زیرا چنین تصور می‌شود که انجام این عمل باعث می‌شود تا آب برگشتی از مزرعه کاهش یافته و مقدار کمتری آب برگشتی به مزارع پایین دست ولو مثلاً در ۱۰۰۰ کیلومتری برسد. در ایران نیز این موضوع بین کارشناسان مطرح است که اگر بخشی از پایین بودن راندمان آبیاری به دلیل نفوذ عمقی آب باشد این آب یا به‌صورت برگشتی به مزارع دیگر می‌رسد و یا وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود که سرانجام باعث تغذیه و استفاده مجدد می‌گردد و لذا ممکن است بالا رفتن راندمان آبیاری و افزایش سطح زیر کشت منجر به تخریب زودتر منابع آب گردد. معمولاً برآورد می‌شود که در آبیاری‌های سنتی از آب آبیاری حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد آن به‌صورت نفوذ عمقی واردآب‌های زیرزمینی شده و نباید آن را تلف شده به حساب آورد. بنابراین نباید در تمام شرایط راندمان آبیاری را در سطح مزرعه تحلیل کرد، زیرا اگر در سطح حوضه و یا منطقه و حتی کشور به مسأله نگاه کنیم در آن صورت راندمان آبیاری مفهوم دیگری پیدا خواهد کرد و مقدار آن بسیار بالا خواهد بود. یعنی ممکن است با توجه به پائین بودن راندمان آبیاری، آب در یک مزرعه تلف شده به حساب آید ولی در سطح حوضه یا منطقه این آب تلف نخواهد شد و در جای دیگر و توسط شخص دیگری به مصرف خواهد رسید.

اثرات محیطی طرح‌های آبیاری امروزه یکی از مسائل مورد بحث متخصصان است. شور شدن اراضی در اثر آبیاری‌های بی‌رویه یکی از مشکلات به شمار می‌رود. تخمین زده‌می‌شود که ۱۵ میلیون هکتار از اراضی چین، هندوستان، ایران، عراق و پاکستان به دلیل تجمع نمک در اثر آبیاری توان تولید را از دست داده‌اند. در ایران وسعت اراضی مبتلابه مسائل زه‌کشی در اثر آبیاری بی‌رویه از ۱۶۰۰۰ هکتار در سال ۱۳۵۶ به ۷۰۰۰۰۰ هکتار در سال ۱۳۸۰ رسیده است. این رقم برای کل جهان ۲۵ میلیون هکتار است. مشکلات ناشی از تخریب محیط زیست در اثر اجرای طرح‌های آبیاری به‌قدری زیاد است که امروزه بانک جهانی از دادن وام به این طرح‌ها خودداری

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

می‌کند، مگر آنکه دلایل روشنی برای عدم تعارض با مسائل زیست محیطی وجود داشته باشد. بنابراین پرداختن به رعایت قوانین آب و حقابه‌ها و در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی از ملزومات عمده در هنگام طراحی پروژه‌های آبیاری می‌باشد.

در مورد راندمان آبیاری و تلفات آب در کشاورزی نظرات گوناگونی اظهار می‌شود. عده زیادی کشاورزی را بزرگترین مصرف کننده آب و در عین حال بزرگترین تلف کننده آب می‌دانند. اگر به ارقام جدول ۱-۲ که توسط فائو (FAO) منتشر شده است و در آن مصارف آب در کشاورزی را برای نقاط جهان مطرح می‌سازد توجه شود ملاحظه می‌گردد در کشورهای در حال توسعه راندمان آبیاری ۳۸ درصد می‌باشد. فائو نیاز آبیاری را برای ایران ۲۱ و مصارف آب در کشاورزی را ۶۶ میلیارد متر مکعب و راندمان آبیاری را ۳۲ درصد ذکر کرده است. حال آنکه عملاً با ۸ میلیون هکتار وسعت اراضی آبی و متوسط ۶۵۰۰ متر مکعب نیاز آبی هر هکتار نیاز کل بخش کشاورزی به آب ۵۲ میلیارد متر مکعب می‌باشد که اگر عملاً ۸۲ میلیارد متر مکعب آب در اختیار بخش کشاورزی باشد، راندمان آبیاری در مقیاس کشوری بیش از ۶۰ درصد می‌باشد. البته همان‌طور که گفته شد راندمان آبیاری در سطح مزرعه مقوله دیگری است که باید جداگانه به آن پرداخته شود. آنچه در این کتاب مورد بررسی قرار گرفته است، طراحی سیستم آبیاری به منظور افزایش راندمان و کاهش تلفات آب در سطح مزرعه می‌باشد و به مسائل مصرف و تلفات آب در مقیاس حوضه و کشور پرداخته نشده است.

جدول ۱-۲ منابع آب موجود، نیاز کشاورزی به آب، مصارف آب در کشاورزی و نسبت مصرف آب در آبیاری در برخی مناطق جهان

منطقه	کل آب قابل تجدید (Km^3)	نیاز آبیاری Km^3	برداشت آب برای آبیاری Km^3	راندمان آبیاری (%)
آمریکای لاتین	13409	45	187	24
خاور نزدیک و شمال آفریقا	541	109	274	40
آفریقای مرکزی و صحرا	3518	31	97	32
شرق آسیا	8609	232	693	34
آسیای جنوبی	2469	397	895	44
کشورهای در حال توسعه	28545	814	2147	38

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

۱-۹ نقش مهندسان آبیاری

غالباً این سوال برای دانشجویان رشته آبیاری و فارغ التحصیلان این رشته مطرح است که یک نفر مهندس آبیاری اصولاً چه کاری باید انجام دهد و در آینده چه وظایفی بر عهده او خواهد بود و آیا با توجه به انتظاراتی که جامعه از او دارد به اندازه کافی آموزش لازم را می‌بینند یا خیر. حداقل وظایفی راکه یک مهندس آبیاری باید بتواند بر عهده گیرد، می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد که عبارتند از:

۱- طراحی سیستم‌های آبیاری در یک زمین (field) یا در یک مزرعه (farm) که از مجموعه زمین‌های مختلف تشکیل شده است.

۲- طراحی سیستم‌های انتقال و توزیع آب آبیاری و سیستم‌های زهکشی در مقیاس پروژه (project - level)

۳- مدیریت، نگهداری و راهبری سیستم‌های آبیاری

۴- نوشتن راهنما و دستورالعمل‌ها برای کسانی که بخواهند در سیستم‌های آبیاری کار کرده و یا این سیستم‌ها را ارزیابی کنند.

۵- ارزیابی و تحلیل عملکرد سیستم‌های آبیاری و شبکه‌های انتقال آب .

۶- اجرا و یا نظارت بر اجرای سیستم‌های آبیاری .

۷- طراحی و اجرای سیستم‌های آبیاری ماشینی مانند سنترپیوت (center pivot) و یا لینیر (linear move) .

۸- وارد شدن به تجارت سیستم‌های آبیاری بخصوص لوازم و تجهیزات آبیاری‌های تحت فشار.

۹- توسعه و ابداع و استفاده از سیستم‌ها و وسایل اندازه‌گیری آب .

۱۰- توسعه و ابداع و استفاده از وسایل و سیستم‌های خودکار آبیاری .

۱۱- استفاده از مدل‌های ریاضی برای بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های مختلف آبیاری و زهکشی .

۱۲- استفاده از تکنولوژی روش‌های سنجش از دور در مسائل آبیاری و زهکشی .

۱۳- وارد شدن به مقوله انتقال مدیریت و تکنولوژی‌های آبیاری به سطح مزرعه .

۱۴- آموزش موضوعات مختلف آبیاری به زارعین، تکنسین‌ها، مهندسین و دیگران .

۱۵- آموزش و اداره کردن دوره‌های بازآموزی برای مهندسین آبیاری .

۱۶- انجام تحقیقات در موضوعات مختلف علوم و مهندسی آبیاری .

۱۷- انجام عملیات ترویجی کشاورزی و کمک به زارعین در حل مسائل مربوط به آبیاری.

۱۸- مدیریت منابع آب در مناطقی که با کمبود آب مواجه می‌باشند.

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

۱۹- توسعه سیاست‌های آبیاری در سطح منطقه‌ای و ملی .
۲۰- وارد شدن به پروژه‌های بین المللی و توانائی کار در این طرح‌ها .
۲۱ - وارد شدن به فعالیت‌های بورس آب.
۲۲- انجام وظیفه در فعالیت‌های مربوط به کارشناسی رسمی دادگستری در زمینه‌های آب و آبیاری .
۲۳- فعالیت در مدیریت و بهره‌برداری و نظارت بر حفاری، شستشو و توسعه چاه‌های آب.
۲۴- طراحی و اجرای سیستم‌های پمپاژ آب در مزارع.
۲۵- طراحی و مدیریت سیستم‌های تأمین و توزیع آب شرب در روستاها.
۲۶- انجام امور هیدرولوژیکی در عملیات آبخیزداری و تغذیه مصنوعی.
۲۷- سایر مواردی که به نحوی در ارتباط با امور آب در روستاها باشد.

برای آنکه یک مهندس آبیاری بتواند در موضوعات فوق موفقیت حاصل نماید علاوه بر دروس دانشگاهی باید دوره‌های تکمیلی حرفه‌ای را در زمینه‌های مختلف مهندسی عمومی و آبیاری بگذراند. به‌همین جهت در اکثر کشورهای پیشرفته مهندسین آبیاری پس از طی دوران دانشگاه ملزم به اخذ گواهینامه‌های حرفه‌ای مهندسی (Professional Engineers, PE) می‌باشند تا بتوانند وارد این حرفه شوند.

باید توجه داشت که آبیاری و طراحی سیستم‌های آبیاری یک کار هنری - علمی است. فعالیت‌های هنری - علمی نیاز به علاقه، خلاقیت و توانائی‌های علمی دارد. آنچه در دانشگاه‌ها آموزش داده می‌شود، در جهت بالا بردن توان علمی دانشجویان است. خلاقیت و علاقه را نمی‌توان آموزش داد و لازم است دانشجویان این موضوعات را در خود به وجود آورند. هم چنین باید دانشجویان جنبه‌های عمومی مهندسی را که مستقل از رشته آبیاری می‌باشد، بیاموزند. در بسیاری از کشورهای پیشرو در زمینه آبیاری دانشجویان رشته آبیاری ملزم به گذراندن آزمون‌های FE یا اصول مهندسی (Fundamentals of Engineering) می‌باشند، زیرا برخورد و وارد شدن به یک موضوع با دیدگاه مهندسی متفاوت از برخورد علمی با آن موضوع می‌باشد.

مسائل

۱-۱ با مراجعه به با سایت اینترنتی کمیسیون بین‌المللی آبیاری (www.ICID.org) اطلاعات مربوط به آبیاری در کشورهای مختلف جهان را استخراج کنید.

۱-۲ لیست مجلات و نشریات علمی در زمینه آبیاری را که توسط سازمان فائو انتشار یافته

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

است، از سایت اینترنتی این سازمان (www.fao.org) استخراج کنید.

۱-۳ در مورد منابع آب کشاورزی و روش تقسیم آب کشاورزی و توزیع آن بین زارعین در محل زندگی خود تحقیق کرده و گزارش مختصری بنویسید.

۱-۴ توضیح دهید که چرا آبیاری در نهایت باعث از بین رفتن تمدن‌ها شده است؟

۱-۵ آیا در ایران آبیاری علم است یا هنر و چه ارتباطی می‌تواند بین آنها وجود داشته باشد؟

۱-۶ کدام استان در ایران بیشترین مقدار آب را در کشاورزی مصرف می‌کند و دلیل آن چیست؟

۱-۷ عناوین چند کتاب فارسی راکه در زمینه تاریخ آبیاری در ایران و مقوله‌های اجتماعی آن نوشت شده است، نام ببرید؟

۱-۸ بیلان آب در ایران چگونه است؟ آن را به‌صورت کمی توضیح دهید.

۱-۹ وظایف اخلاقی و ارزشی یک مهندس آبیاری را توضیح دهید.

فصل دوم

نقش آبیاری در افزایش محصول

۲-۱ آبیاری و تولید محصول

در زراعت دیم تولید محصول به‌طور کامل بستگی به مقدار و شدت و زمانی دارد که نزولات جوی رخ می‌دهند. با توجه به این که بارندگی پدیده‌ای است تصادفی، که هیچ وقت به‌طور قطع نمی‌توان مقدار و زمان آن را پیش‌بینی کرد، بنابراین برنامه‌ریزی روی زراعت‌های دیم برای تولید مواد غذائی نیز جنبه احتمالاتی خواهد داشت. از طرف دیگر زراعت‌های آبی علاوه بر اینکه از مزایای بارش‌های طبیعی استفاده می‌کنند، این مزیت را دارا می‌باشند که با استفاده از آب در مواقعی که گیاه شدیداً به آن نیاز دارد علاوه بر تامین رشد گیاه می‌توان کارائی سایر عملیات و نهاده‌های کشاورزی را افزایش داد. مثلاً تاثیر کودهای شیمیائی بر رشد گیاه در زراعت‌های آبی به‌مراتب بیشتر از زراعت‌های دیم است.

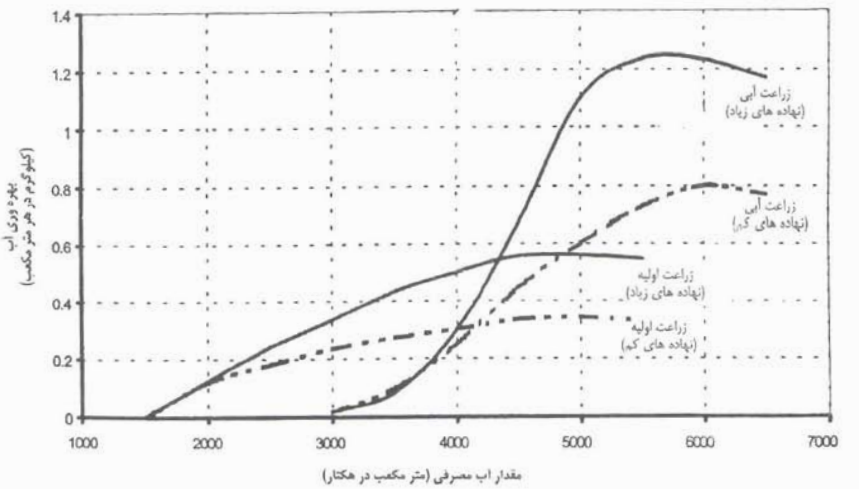
اگر به شکل ۲-۱ مراجعه شود نقش آب در زراعت‌های آبی و دیم در متوسط تولید محصول و یا بهره‌وری آب تصویر شده است. در این شکل چهار نوع سیستم زراعت در نظر گرفته شده‌اند. این زراعت‌ها عبارتند از:

- زراعت‌های آبی با نهاده‌های (کود و سم‌پاشی و...) زیاد
- زراعت‌های آبی با نهاده‌های کم
- زراعت‌های دیم با نهاده‌های زیاد
- زراعت‌های دیم با نهاده‌های کم

ملاحظه می‌شود که بالاترین مقدار تولید را می‌توان از زراعت‌های آبی با استفاده از نهاده‌های زیاد کسب کرد. به‌طوری‌که با مصرف مثلاً ۵۵۰۰ متر مکعب در هکتار می‌توان به متوسط ۱/۲۵ کیلوگرم محصول به ازاء مصرف هر متر مکعب آب رسید. حال آنکه در زراعت دیم ولو مقدار زیادی نهاده‌های کشاورزی مصرف شود کارائی مصرف آب کمتر از ۰/۶ کیلوگرم در هر متر مکعب آب خواهد بود. به‌عبارت دیگر در بهترین شرایط محصول تولیدی در زراعت‌های دیم کمتر از نصف مقدار محصول در زراعت‌های آبی خواهد بود.

با توجه به شکل ۲-۱ در شرایطی مانند ایران که بارندگی در اغلب نقاط کشور به لحاظ مقدار بسیار اندک بوده و اکثر ریزش‌های جوی در فصول غیر زراعی و یا در مناطقی است که در

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com



شکل ۲-۱ کارآئی مصرف آب در انواع زراعت‌های آبی و دیم

آنها کشت و کار صورت نمی‌گیرد، آبیاری نه تنها از نظر تولید محصول حائز اهمیت است بلکه باید سعی شود آبیاری اراضی با افزایش نهاده‌های کشاورزی نیز همراه باشد، تا حداکثر بهره‌وری از آب حاصل گردد. آبیاری زمانی مفید خواهد بود که با آن عملیات زیر نیز صورت گیرد:

- زمین به خوبی تسطیح و آماده شده باشد
- از بذور اصلاح شده و مرغوب استفاده شود.
- از کودهای آلی و شیمیائی به مقدار کافی و در زمان مناسب استفاده شود.
- آب به موقع و به اندازه به زمین داده شود (نه کم و نه زیاد).
- عملیات خاک ورزی به‌منظور ذخیره رطوبت در خاک به‌خوبی انجام شود.
- سعی شود با انجام عملیات مناسب زراعی ساختمان خاک و قابلیت نفوذ آب در خاک حفظ شده و آبیاری باعث فرسایش خاک نشود.
- از سطح زمین حداکثر استفاده به‌عمل آمده و سعی شود تعداد بوته در هکتار در حد ماکزیمم باشد تا از آبیاری بخش‌هائی از زمین که فاقد بوته است خودداری شود.

بدون توجه به موارد فوق نمی‌توان از آبیاری انتظار معجزه داشت. در غیر این صورت اگر قرار باشد از اراضی آبی نیز به همان اندازه اراضی دیم محصول برداشت شده و یا از آب برای اهداف دیگری مانند نرم کردن زمین به‌منظور تسهیل در برداشت محصولاتی مانند چغندر و سیب‌زمینی و غیره و یا دفع علف‌های هرز در زراعت‌هائی مانند برنج استفاده شود جز تلف شدن

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

آب سودی در برنخواهد بود.

با این وجود باید توجه داشت که افزایش محصول در اثر آبیاری قانونمند بوده و برای هر گیاه در هر شرایط آب و هوائی متفاوت است. استفاده از توابع تولید محصول نسبت به آب که نشان دهنده افزایش یا کاهش مقدار محصول به ازاء مقدار آب مصرفی (یا تبخیر - تعرق) گیاه می‌باشد می‌تواند برای تصمیم‌گیری در مورد اینکه به زراعت چه مقدار و در چه زمانی آب داده شود مفید می‌باشد.

۲-۲ توابع تولید محصول نسبت به آب

برای آنکه منافع حاصله از آبیاری را در زراعت تحلیل کنیم ابتدا باید افزایش محصول را که در اثر آبیاری به‌دست می‌آید به‌صورت کمّی ارزیابی کنیم. به عبارت دیگر رابطه بین مقدار آبی که به زراعت داده می‌شود و مقدار محصول تولیدی مورد بررسی قرار می‌گیرد. چنین رابطه‌هایی که معمولاً با فرمول‌های ریاضی و یا منحنی توصیف می‌شوند **توابع تولید نسبت به آب** (water production function) نامیده می‌شوند.

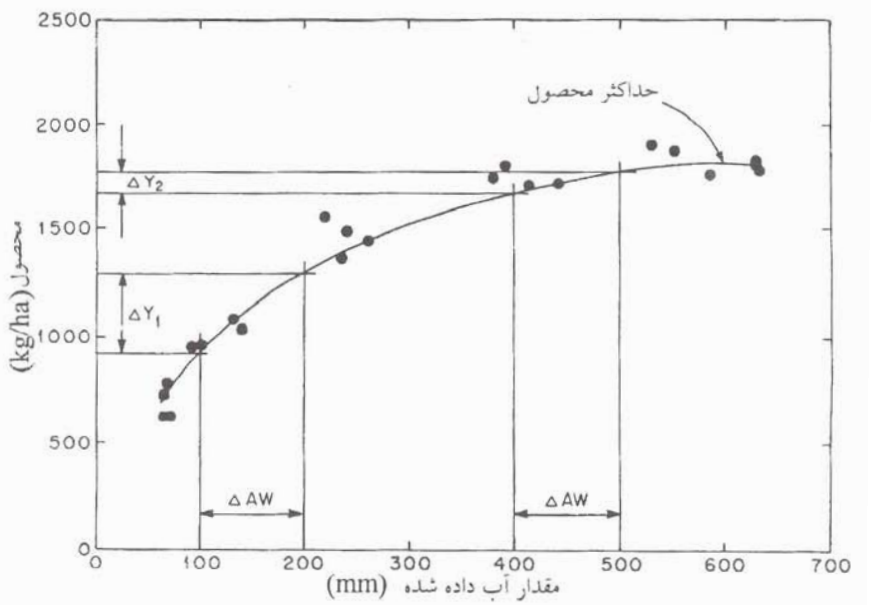
فرض کنید گیاهی داشته باشیم که از نظر کود و مواد غذایی در محدودیّت نباشد و آفت و بیماری نیز نداشته باشد. چنانچه شرایط آب و هوایی مساعد باشد این گیاه نسبت به آبیاری یا مقدار آبی که به زمین داده می‌شود از خود عکس‌العمل نشان می‌دهد و در اثر آبیاری، محصول آن افزایش می‌یابد. اگر مقدار محصول را با Y (علامت اختصاری Yield) و مقدار آبی را به زمین داده می‌شود با AW (علامت اختصاری Available Water) نشان دهیم تجربه نشان داده است که به ازاء مقادیر مختلف آبی که به زمین داده می‌شود مقادیر متفاوت محصول برداشت می‌شود. چنانچه داده‌های حاصله از چنین آزمایشی را در یک دستگاه محور مختصات (Y و AW) تصویر کرده و از بین نقاط حاصله یک منحنی را برازش دهیم نموداری مشابه شکل ۲-۲ به‌دست خواهد آمد. در شکل ۲-۲ رابطه بین مقدار آبی که به زراعت پنبه داده شده است (برحسب میلی‌متر) و مقدار محصول تولیدی (برحسب کیلوگرم وش پنبه در هکتار) نشان داده شده است. هر چند شکل ۲-۲ مربوط به پنبه و آن هم یک رقم بخصوص می‌باشد (رقم SJ2) اما این شکل می‌تواند به عنوان تیپ کلی منحنی‌های توابع تولید نسبت به آب مورد بررسی قرار گیرد.

اگر شکل ۲-۲ با دقت مورد توجه قرار گیرد در آن چند ویژگی به‌چشم می‌خورد که تقریباً درتمام منحنی‌های توابع تولید صادق است. **اولاً شیب این منحنی‌ها در ابتدا زیاد بوده و سپس به‌تدریج کاهش پیدا می‌کند.** این بدان معنی است که کارآیی آب در کم‌آبیاری‌هابسیار زیادتر است. به همین دلیل است که مثلاً اختلاف محصول دیم در سالی که فرضاً بارندگی ۳۰۰ میلی‌متر باشد با سالی که مقدار بارندگی ۳۵۰ میلی‌متر باشد زیاد است، اما اگر بارندگی سالانه مثلاً ۷۰۰

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

میلی‌متر باشد تفاوت محصول تولیدی با سالی که مقدار بارندگی ۷۵۰ میلی‌متر است چندان فاحش نخواهد بود. حال آنکه اختلاف بارندگی در هر دو حالت همان ۵۰ میلی‌متر بوده است. در شکل ۲-۲ مشاهده می‌شود که اگر آبیاری از ۱۰۰ به ۲۰۰ و یا از ۴۰۰ به ۵۰۰ میلی‌متر تغییر کند هر چند تفاوت آنها یکسان و برابر ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد [$\Delta(AW) = 100$] اما اختلاف محصول در حالت اول (ΔY_1) بیشتر از حالت دوم (ΔY_2) می‌باشد. **ثانیاً با افزایش مقدار آبیاری سرانجام منحنی به یک نقطه اوج می‌رسد و از آن به بعد اگر باز هم به زمین آب داده شود، مقدار محصول نه تنها تغییر نمی‌کند بلکه ممکن است تقلیل نیز پیدا نماید.** زیرا آبیاری فراوان باعث شسته شدن کودها و مواد غذایی خاک و کاهش اکسیژن در منطقه توسعه ریشه‌ها می‌شود که هر دو عامل باعث کاهش محصول می‌شوند. **ثالثاً منحنی‌های توابع تولید نسبت به آب غالباً از مبدأ مختصات شروع نمی‌شوند** زیرا معمولاً مقداری آب صرف جوانه زدن و رشد اولیه گیاه می‌شود که اگر آبیاری در این مرحله قطع گردد با وجودی که مقداری آب به‌مصرف رسیده است ولی محصولی تولید نخواهد شد.

از دیگر روش‌های توصیف توابع تولید رسم منحنی تغییرات مقدار محصول نسبت به تبخیر- تعرق است، یعنی به جای اینکه تولید را نسبت به مقدار آب داده شده به زمین (مقدار آبیاری) رسم کنیم، آن را نسبت به مقدار تبخیر- تعرق در نظر بگیریم. در این وضعیت نیز اگر از همان داده‌هایی که به وسیله آنها شکل ۲-۲ رسم شده است استفاده شده و تغییرات مقدار



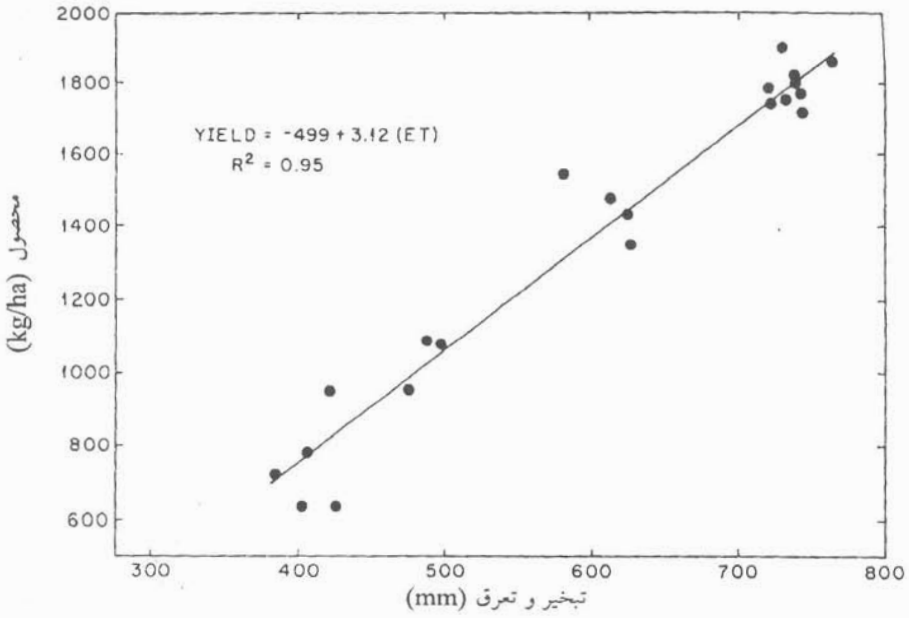
شکل ۲-۲ مقدار محصول به عنوان تابعی از مقدار آبیاری در زراعت پنبه (رقم SJ2)

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

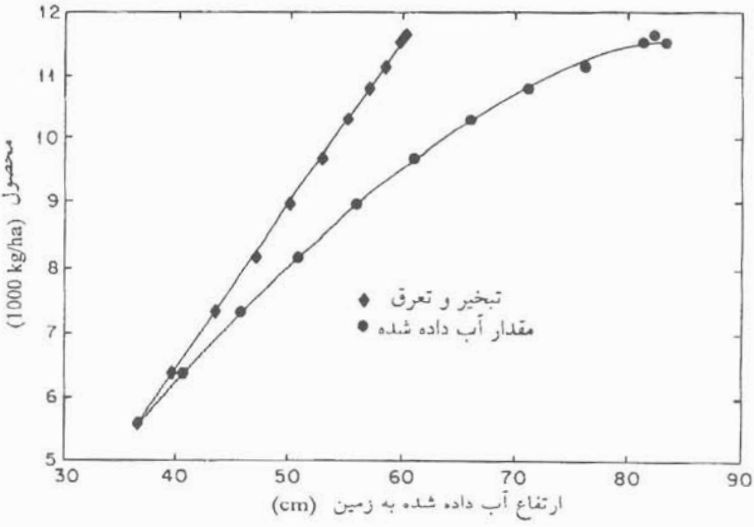
محصول نسبت به تبخیر - تعرق را رسم کنیم مشاهده خواهد شد که تابع تولید نسبت به تبخیر- تعرق به یک خط مستقیم تبدیل می‌شود (به شکل ۲-۳ مراجعه کنید). البته این که چرا تابع تولید در این جا یک خط مستقیم شده است خود موضوع دیگری است. اما واقعیت این است که از داده‌های آزمایش چنین نتایجی به‌دست آمده است و در حال حاضر نیز در مطالعات و برنامه‌ریزی‌های آبیاری از همین روابط خطی استفاده می‌شود. البته باید توجه داشت که این خط نمی‌تواند تا بی‌نهایت ادامه داشته باشد و عملاً فقط در یک بازه مشخص برای هر گیاه صادق می‌باشد. نقطه ماکزیمم محصول یا انتهای خط که در آن بیشترین مقدار محصول عاید می‌شود و همچنین شیب خط از خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه بوده و برای هر نوع گیاه و هر رقم گیاهی متفاوت است.از این نقطه به‌بعد ممکن است‌مقدار محصول‌ثابت مانده و یا حتی اینکه کاهش پیدا نماید.

حال اگر برای مقایسه، شکل‌های ۲-۲ و ۲-۳ را روی یک دستگاه مختصات واحد رسم کنیم، مشاهده می‌شود که خط و منحنی هر دو از یک نقطه شروع و در ابتدا تا اندازه‌ای بر هم منطبق هستند اما به‌تدریج که بر مقدار آب و یا تبخیر-تعرق اضافه می‌شود تلفات آب نیز زیاد شده و دو منحنی از یکدیگر فاصله می‌گیرند. دلیل این امر آن است که در کم‌آبیاری قسمت عمده آب صرف تبخیر- تعرق می‌شود و تقریباً هیچ گونه تلفات عمقی وجود ندارد اما هر چه مقدار آب اضافه شود بخشی از آن صرف نفوذ عمقی می‌شود (شکل ۲-۴) و لذا بین دو منحنی فاصله ایجاد می‌شود. به ازاء هر مقدار از آب آبیاری فاصله افقی بین دو منحنی نشان دهنده مقدار تلفات آبیاری است. مثلاً در شکل ۲-۴ مشاهده می‌شود که اگر ۵۰ سانتی متر آب به زمین داده شده باشد، عملاً ۴۵ سانتی‌متر آن صرف تبخیر - تعرق شده و ۵ سانتی‌متر نیز تلفات ناشی از نفوذ عمقی بوده است. این موضوع نکته جالبی را روشن می‌سازد و آن این است که راندمان آبیاری یک عدد ثابت نیست بلکه به ازاء مقادیر مختلف آب متغیر است، به‌طوری‌که هرچه مقدار آبیاری کم باشد راندمان آبیاری افزایش می‌یابد. مثلاً در ایران که معمولاً زارعین بیش از مقدار آبی که در دسترس دارند زراعت کشت می‌کنند به دلیل نداشتن آب کافی زراعت‌ها به‌طور کامل آبیاری نمی‌شوند، لذا راندمان آبیاری در این شرایط بالاست. به‌همین دلیل است که عده‌ای از متخصّصان عقیده دارند راندمان کاربرد آب در ایران بیشتر از مقداری است که غالباً در گزارشات مختلف عنوان می‌شود. اینکه ما در طرح‌های آبیاری راندمان را یک عدد ثابت در نظر می‌گیریم در واقع صحیح نبوده و این کار فقط از نظر سادگی عملیات طراحی انجام می‌شود زیرا وارد کردن تغییرات راندمان نسبت به مقدار آب غیرخطی است و اعمال آن محاسبات طراحی، برنامه ریزی و مدیریت آبیاری را بسیار پیچیده می‌سازد.

فروشگاه اینترنتی پادیاب
padiab.com



شکل ۲-۳ مقدار محصول به عنوان تابعی از میزان تبخیر-تعرق برای پنبه رقم SJ2



شکل ۲-۴ منحنی‌های ایده‌آل توابع تولید محصول نسبت به مقدار آبیاری و تبخیر - تعرق

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

● **مثال ۲-۱**

شکل ریاضی منحنی تابع تولید پنبه نسبت به مقدار آب آبیاری که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است به صورت زیر می‌باشد:

$$Y = -4941 + 35.83(AW) - 0.0195(AW)^2 \qquad (۱-۲)$$

که در آن:

Y = مقدار محصول وش پنبه (کیلوگرم در هکتار)

AW = مقدار آب داده شده به زمین (میلی‌متر)

و همین تابع که در شکل ۲-۳ بر حسب تبخیر-تعرق رسم شده است به‌صورت خطی بوده و معادله زیر را دارا می‌باشد:

$$Y = -3783 + 25.65(ET) \qquad (۲-۲)$$

که در آن ET تبخیر - تعرق بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

الف) حساب کنید نسبت تغییرات مقدار محصول به تغییرات مقدار آب داده شده به زمین $[\Delta Y / \Delta(AW)]$ را چنانچه مقدار آبیاری اولاً از ۴۰۰ به ۵۰۰ میلی‌متر و ثانیاً از ۷۰۰ به ۸۰۰ افزایش پیدا کند.

ب) راندمان استفاده از آب را برحسب مقدارتبخیر - تعرق انجام شده به ازاء مقدار آبی که به زمین داده می‌شود به‌صورت درصد به‌دست آورید. در صورتی که مقدار آبیاری از ۴۵۰ به ۷۵۰ میلی‌متر افزایش یابد، این راندمان چقدر خواهد بود؟

حل

به ازاء $AW = 400\ mm$

$$Y = -4941 + 35.83(400) - 0.0195(400)^2$$

$$Y = 6271\ kg/ha$$

به ازاء $AW = 500\ mm$

$$Y = -4941 + 35.83(500) - 0.0195(500)^2$$

$$Y = 8099\ kg/ha$$

$$\frac{\Delta Y}{\Delta(AW)} = \frac{8099 - 6271}{500 - 400} = 18.3\ \frac{kg/ha}{mm}$$

به ازاء $AW = 700\ mm$

$$Y = -4941 + 35.83(700) - 0.0195(700)^2$$

$$Y = 10585\ kg/ha$$

به ازاء $AW = 800\ mm$

$$Y = -4941 + 35.83(800) - 0.0195(800)^2$$

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

$$Y = 11243 \text{ kg/ha}$$

$$\frac{\Delta Y}{\Delta(AW)} = \frac{11243 - 10585}{800 - 700}$$

$$\frac{\Delta Y}{\Delta(AW)} = = 6.6 \frac{\text{kg/ha}}{\text{mm}}$$

به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود دربازه ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر کارآیی مصرف آب ۱۸/۳ کیلوگرم در هکتار به ازاء هر میلی متر آب است ولی در بازه ۷۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر کارآئی مصرف آب کاهش یافته و به ۶/۶ کیلوگرم در هکتار می‌رسد که نشان دهنده بالا بودن کارآئی مصرف آب در کم آبیاری‌ها می‌باشد.

با توجه به معادله تغییرات مقدار محصول نسبت به تبخیر-تعرق قسمت دوم مسأله به‌صورت زیر حل می‌شود:

به ازاء $AW = 450 \text{ mm}$

$$Y = -4941 + 35.83(450) - 0.0195(450)^2$$

$$Y = 7234 \text{ kg/ha}$$

$$Y = -3783 + 25.65 \text{ (ET)}$$

$$ET = \frac{Y + 3783}{25.65}$$

$$ET = \frac{7234 + 3783}{25.65}$$

$$ET = 430 \text{ mm}$$

$$\text{(راندمان) } E_{ef} = \frac{ET}{AW} \times 100 = \frac{430 \text{ mm}}{450 \text{ mm}} \times 100 = 95.6\%$$

به ازاء $AW = 750 \text{ mm}$

$$Y = -4941 + 35.83(750) - 0.0195(750)^2$$

$$Y = 10963 \text{ kg/ha}$$

$$ET = \frac{10963 + 3783}{25.65}$$

$$ET = 575 \text{ mm}$$

$$E_{ef} = \frac{575 \text{ mm}}{750 \text{ mm}} \times 100$$

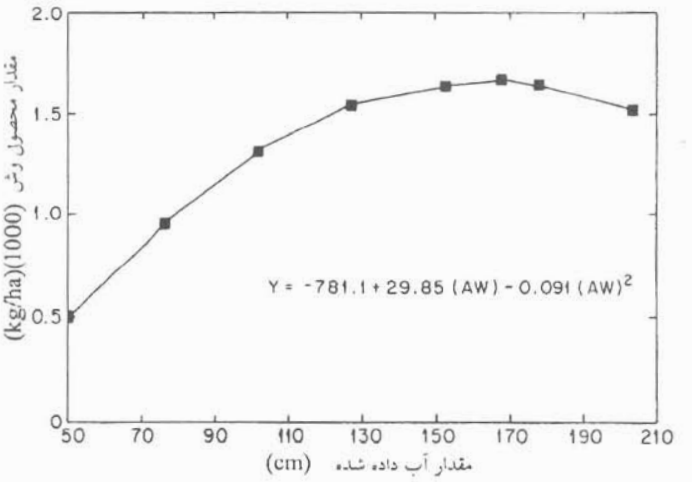
$$E_{ef} = 76.7\%$$

مشاهده می‌شود با افزایش مقدار آب داده شده به زمین راندمان استفاده از آب کاهش پیدا کرده و از ۹۵/۶ به ۷۶/۷ می‌رسد.

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

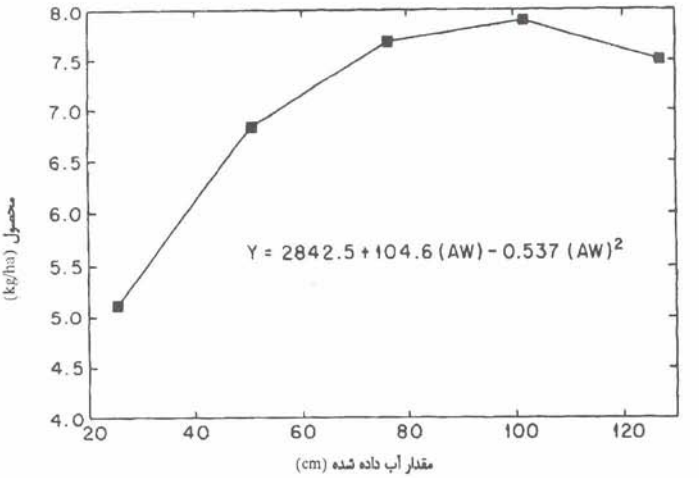
تیپ منحنی‌هائی که در شکل ۲-۲ نشان داده شد به خوبی تأثیر آبیاری را بر مقدار محصول روشن می‌سازد، ولی باید به این نکته توجه داشت که این منحنی‌ها از روی تجارب حاصله در مزارع آزمایشی به‌دست آمده و برای یک گیاه خاص و در یک شرایط ویژه می‌باشد. از طرف دیگر در این منحنی‌ها بیشتر خصوصیات گیاه لحاظ شده‌است و تأثیر نحوه آبیاری در نظر گرفته نشده است. لذا در توابع تولید اصولاً اشکالات ذاتی وجود دارد که باید رعایت احتیاط به‌عمل آید.

حال برای آنکه چگونگی تأثیر آبیاری را در زراعت‌های مختلف مورد بررسی قرار دهیم علاوه بر پنبه دو گیاه دیگر را نیز در نظر می‌گیریم که به لحاظ شکل ظاهری و نیاز به آب با یکدیگر متفاوت باشند. اگر به شکل‌های ۲-۵ تا ۲-۷ توجه کنید سه منحنی تابع تولید به ترتیب برای پنبه، گندم و یونجه نشان داده شده است. این سه منحنی علی‌الاصول مشابه همدیگرند، یعنی مشابه منحنی شکل ۲-۲، اما آنچه اهمیت دارد نقطه حداکثر محصول و کاهش شیب منحنی در هنگام نزدیک شدن به نقطه ماکزیمم است که برای هر کدام از آنها متفاوت می‌باشد. در هر یک از این شکل‌ها معادله ریاضی تابع تولید نیز نوشته شده است. این معادله‌ها بر اساس برازش بهترین تابع ریاضی بر نقاط تجربی به‌دست آمده‌اند و می‌توانند مانند مثال ۲-۲ در کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند. باید توجه داشت که گرچه این معادله‌ها مربوط به کل دوره رویش گیاه است ولی معادله‌های خاصی که در آنها دوره رویش نیز لحاظ شده باشد نیز توسط کارشناسان تهیه شده است که از دقت بیشتری برخوردارند. حال با ذکر یک مثال به چگونگی استفاده از توابع تولید در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی می‌پردازیم.

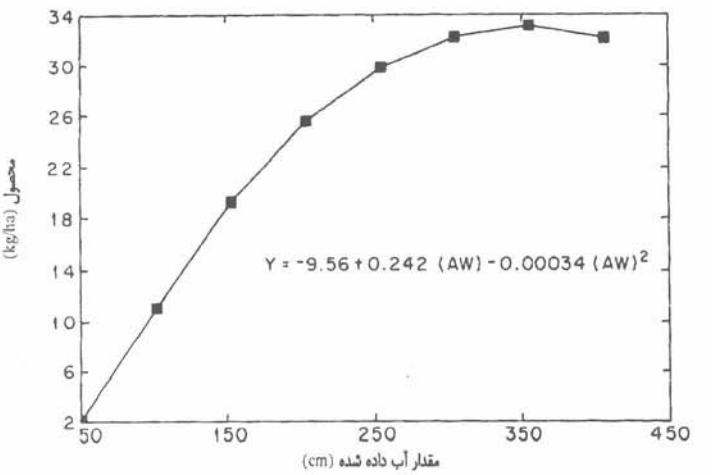


شکل ۲-۵ تابع تولید پنبه نسبت به آبیاری

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com



شکل ۲-۶ تابع تولید گندم نسبت به آبیاری



شکل ۲-۷ تابع تولید یونجه نسبت به آبیاری

● مثال ۲-۲

فرض کنید برای یک زارع این امکان وجود دارد که هر یک از زراعت‌هایی را که توابع تولید آنها نسبت به آب در شکل‌های ۲-۵ تا ۲-۷ داده شده است، کشت نماید. دفعات آبیاری و سیستم آبیاری که این زارع عمل خواهد نمود، مشابه همان وضعیتی است که منحنی‌ها براساس آن تهیه شده است. هم‌چنین فرض می‌شود که شرایط اقلیمی، نوع خاک و حاصلخیزی نیز مشابه

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

وضعیتی باشد که این منحنی‌ها در آنجا به‌دست آمده‌اند. اگر زارع در طول دوره رشد فقط ۱۰۰ سانتی‌متر آب در اختیار داشته باشد و این آب در فصل رشد به‌طور یکنواخت وجود داشته باشد با فرض ثابت بودن هزینه‌های آبیاری:

الف) کشت کدام زراعت به لحاظ حداکثر درآمد اقتصادی به نفع زارع است. ارزش فرضی محصولات بدون توجه به قیمت کنونی آنها به شرح زیر است؛

قیمت پنبه = ۴۳۰ تومان در کیلو.

قیمت گندم = ۲۳۰ تومان در کیلو.

قیمت یونجه = ۲۹۵۰۰ تومان در تن (۱۰۰۰ کیلوگرم).

ب) محصولی که در مکان دوم اهمّیت قرار می‌گیرد باید چقدر قیمت داشته باشد تا بتوان آن را برای کشت انتخاب نمود؟

حل

الف) اگر ۱۰۰ سانتی‌متر آب به هر یک از زراعت‌ها داده شود از روی شکل‌های ۲-۵ تا ۲-۷ مقدار محصول تولیدی به ترتیب عبارت خواهد بود از:

برای پنبه $Y_c = 1294\ kg/ha$

برای گندم $Y_w = 7933\ kg/ha$

برای یونجه $Y_a = 11.24\ t/ha$

درآمد اقتصادی در هر زراعت (R_i) عبارت خواهد بود از:

$$R_i = P_i\ (Y_i)$$

که Y_i مقدار محصول و P_i قیمت واحد آن است. در این صورت برای هر یک از زراعت‌ها مقدار درآمد بر حسب تومان در هر هکتار عبارت خواهد بود از:

برای پنبه $R_c = 430 \times 1294 = 556420$

برای گندم $R_w = 230 \times 7933 = 1824590$

برای یونجه $R_a = 29500 \times 11.24 = 331580$

بنابراین مشاهده می‌شود که درآمد اقتصادی گندم بالاترین است.

ب) محصولی که در ردیف دوم اهمیت قرار دارد پنبه است و اگر بخواهیم در ردیف اول قرار گیرد باید قیمت آن بیشتر از ۷۹۷ تومان در هر کیلو باشد زیرا:

$$P_c \geq \frac{1824590}{556420} \times 430$$

$$P_c \geq 1410$$

لذا پنبه باید به قیمت ۱۴۱۰ تومان در کیلو خریدار داشته باشد تا کشت آن نسبت به گندم مقرون

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

به صرفه باشد. توجه داشته باشید که این مثال فقط از نظر مقایسه محصولات ارائه شد و گرنه چون فصل کشت پنبه و گندم متفاوت است معمولاً چنین مقایسه‌ای توسط زارع صورت نمی‌گیرد و زارع هر دو محصول را می‌تواند در برنامه کشت قرار دهد.

از دیگر روش‌های توصیف توابع تولید نسبت به آب، تفسیر آنها برحسب نسبت کاهش مقدار محصول (Yield Reduction Ratio) است که با علامت اختصاری YRR نشان داده می‌شود. مثلاً اگر در مورد یک گیاه زراعی، حداکثر توان تبخیر- تعرق، ETMAX باشد(علامت اختصاری Maximum Evapotranspiration) ولی آن گیاه عملاً فقط به اندازه ETACT (علامت اختصاری Actual Evapotranspiration) تبخیر- تعرق کرده باشد در این‌صورت کمبود تبخیر- تعرق (Deficit Evapotranspiration) یا ETDEF برابر خواهد بود با:

$$ETDEF = ETMAX - ETACT \qquad (۳-۲)$$

که متناسب با آن، محصول نیز در اثر کاهش تبخیر-تعرق کاهش پیدا کرده و کمبود محصول نسبت به مقدار پتانسیل عبارت خواهد بود از:

$$YLDDEF = YLDMAX - YLDACT \qquad (۴-۲)$$

در این فرمول:

YLDDEF = کاهش محصول

YLDMAX = ماکزیمم محصول قابل انتظار

YLDACT = محصول واقعی

حال می‌توانیم هم کمبود محصول و هم کمبود تبخیر-تعرق را بین صفر و یک نرمالیزه یا بی‌بعد نماییم. به‌این ترتیب که آنها را به‌صورت اعشار یا درصد حداکثر محصول و درصد حداکثر تبخیر-تعرق توصیف کنیم. لذا **نسبت کمبود محصول** (YRR) برابر خواهد بود با:

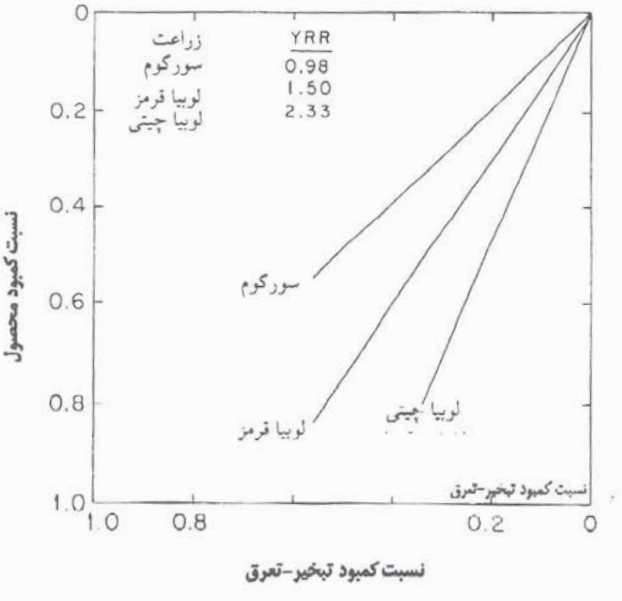
$$YRR = \frac{YLDDEF/YLDMAX}{ETDEF/ETMAX} \qquad (۵-۲)$$

در شکل ۲-۸ این موضوع به صورت نمودار توصیف شده است. بدین ترتیب که نسبت کاهش محصول و نسبت کاهش تبخیر - تعرق برای سه نوع زراعت سورگوم، لوبیا قرمز و لوبیا چیتی مورد مقایسه قرار گرفته است. به‌طوری که ملاحظه می‌شود در این شکل نسبت کاهش تبخیر-تعرق از صفر تا یک تغییر نموده است. نقطه به مختصات ۰ و ۰ به معنی وضعیت حداکثر تبخیر-تعرق و حداکثر محصول است. نقطه به مختصات ۱ و ۱ نیز نقطه‌ای است که در آن کمبود تبخیر - تعرق صددرصد و لذاکاهش محصول هم صددرصد می‌باشد. با این نمودارها می‌توان درجه مقاومت زراعت به کم آبی را مورد مقایسه قرار داد. مثلاً در شکل مشاهده می‌شود که به ازاء هر مقدار کاهش تبخیر-تعرق، تاثیر آن بر کاهش محصول در لوبیا قرمز کمتر از لوبیا

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

چیتی است. زیرا شیب منحنی کاهش محصول در لوبیا چیتی بیشتر از لوبیا قرمز است. هم‌چنین مشاهده می‌شود که سورگوم از هر دو رقم لوبیا بیشتر در مقابل کمبود آب مقاوم است. بر اساس شکل ۲-۸ به ازاء یک درصد کاهش تبخیر - تعرق، کاهش محصول در لوبیا چیتی ۲/۳۳ درصد، در لوبیا قرمز ۱/۵ درصد و در سورگوم حدود ۰/۹۸ درصد است.

موضوعی که غالباً مهندسان طراح و یا دست‌اندرکاران طرح‌های آبیاری با آن مواجه هستند این است که برای اختصاص آب به زراعت‌های مختلف چه نوع توابع تولید را به‌کار برند. بخصوص آنکه تعداد عوامل مؤثر بر توابع تولید نسبت به آب بسیار زیاد است و اگر بخواهیم آنها را بر شماریم حداقل ۱۲ عامل زیر نقش دارند که عبارتند از: مقدار و دور آبیاری، زمان آبیاری در رابطه با مرحله رشد گیاه، بافت خاک، حاصلخیزی خاک، کیفیت آب، روش آبیاری، یکنواختی توزیع آب، تراکم بوته‌های گیاه، آب و هوا، حفاظت گیاه، زمان کشت و زمان برداشت. حتی اگر فرض کنیم که غیر از این ۱۲ عامل پارامتر دیگری در تولید دخالت نداشته باشد برای هر گیاه 2^{12} یا ۴۰۹۶ نوع معادله تابع تولید وجود خواهد داشت که حل همزمان این معادلات بسیار مشکل بوده و این خود باعث پیچیدگی بیشتر موضوع می‌شود. البته راه‌هایی وجود دارد که می‌توان بدون آنکه از دقت عمل کاسته شود به معادله‌های ساده‌تری دست یافت. برای این منظور ابتدا پارامترهایی راکه دخالت آنها کمتر است، حذف می‌نمائیم. مثلاً اگر همان شرایطی را برای کشت فراهم آوریم که توسط تهیه‌کنندگان بذر توصیه شده است تعدادی از عوامل مانند



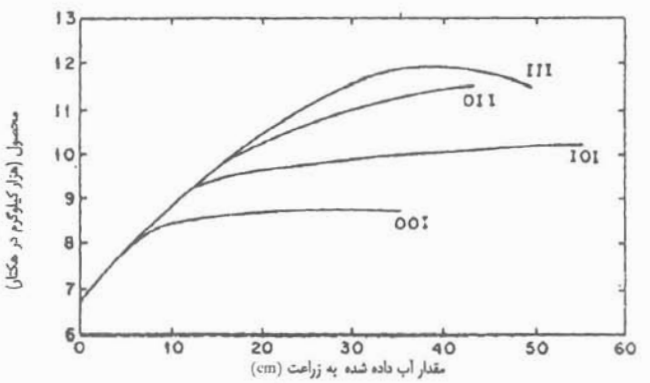
شکل ۲-۸ نسبت کاهش محصول برای سه نوع گیاه زراعتی. توجه داشته باشید که کمبود محصول و تبخیر - تعرق به ترتیب بر YLDMAX و ETMAX تقسیم شده‌اند.

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

تراکم بوته‌ها و حفاظت گیاه را می‌توان یکسان فرض نموده و اثر آنها را از تابع تولید حذف کرد.

یکی دیگر از سؤالات مهم در توابع تولید رابطه آنها با زمان و تعداد دفعات آبیاری است. برای روشن شدن مطلب به شکل ۲-۹ توجه کنید. این شکل مربوط به عکس‌العمل ذرت نسبت به مقدار آب می‌باشد که در آن گیاه در برخی مراحل سه گانه رشد تحت تنش آب بوده است. مراحل رشد عبارت بوده‌اند از **مرحله رویش، مرحله گل‌دهی و مرحله رسیدن دانه‌ها**. دوره‌ای از رشد که در آن آبیاری انجام شده است با I و مرحله‌ای را که درآن آبیاری انجام نشده و در واقع تنش اعمال شده است با علامت O نشان داده‌ایم. مثلاً IOI نشانگر این است که آبیاری فقط در مراحل اول و سوم یعنی دوره رویشی و رسیدن دانه‌ها انجام شده است و در مرحله دوم به گیاه آب داده نشده است. یعنی مقدار آبی را که در اختیار داشته‌ایم فقط در مراحل ۱ و ۳ به گیاه داده‌ایم و حالت III وضعیتی را نشان می‌دهد که در آن مقدار آب بین دوره‌های رشد یکسان توزیع گردد. یعنی کم آبیاری به‌صورت مساوی در تمام دوره‌ها اعمال شده است. این شکل نشان می‌دهد با داشتن یک حجم ثابت آب که اگر آب به‌طور مساوی در تمام مراحل رشد تقسیم شود (منحنی III) گیاه بالاترین محصول را خواهد داشت و اگر تنش آب را در دو مرحله رویشی و گل‌دهی اعمال کرده (OOI) و فقط در مرحله آخر گیاه آبیاری شده باشد محصول تولیدی به حداقل خواهد رسید.

گیاهان مختلف در مراحل گوناگون رشد خود حساسیت‌های متفاوتی نسبت به آب نشان می‌دهند. به‌طوری که اگر گیاه در مرحله رویشی و رشد شاخ و برگی با کمبود آب مواجه شود قسمت هوایی آن کوچک باقی می‌ماند ولی گسترش ریشه نسبت به گیاهی که آبیاری کامل شده بیشتر خواهد بود زیرا ریشه گیاه برای دریافت آب نیاز به منطقه وسیع‌تری دارد. کوچک شدن قسمت‌هوائی و بخصوص سطح برگ‌هاو گسترش زیادتر منطقه ریشه‌هاراصطلاحاً **سخت شدن** گیاه (hardning) گویند که خود نوعی مقابله باکم‌آبی است. بنابراین اگر باکم آبی مواجه باشیم در وضعیتی مانند شکل ۲-۸ باید کمبود آب به‌طور مساوی در مراحل رشد گیاه تقسیم شود.



شکل ۲-۹ منحنی‌های توابع تولید در ذرت که در آن گیاه در مراحل مختلف رشد تحت تنش قرار گرفته است (I = آبیاری شده، O = آبیاری نشده).

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

● **مثال ۲-۳**

با توجه به شکل ۲-۹ یک زارع برای آبیاری ذرت طی دوره رشد تنها ۲۵ سانتی‌متر آب در اختیار دارد. در صورتی که حداکثر تولید ذرت در وضعیت بدون تنش آبی $۱۱/۹ \times ۱۰^۳$ کیلوگرم در هکتار باشد، حساب کنید در صد کمبود محصول را نسبت به حد اکثر توان تولید در شرایطی که:

الف) تمام کمبود آبیاری در مرحله گل‌دهی اعمال شود.

ب) کمبود آبیاری در طول دوره رشد به‌طور یکنواخت اعمال گردد.

حل

الف) با مراجعه به شکل ۲-۹ چنانچه تنش در مرحله گل‌دهی اعمال شود از منحنی IOI استفاده می‌شود. در این منحنی به ازاء مقدار آبیاری ۲۵ سانتی‌متر میزان محصول $۹/۸ \times ۱۰^۳$ کیلوگرم در هکتار است لذا:

$$YLDACT = 9.8 \times 10^3 \text{ kg/ha}$$

$$YLDDEF = YLDMAX - YLDACT$$

$$YLDDEF = 11.9 \times 10^3 - 9.8 \times 10^3$$

$$YLDDEF = 2.1 \times 10^3$$

این مقدار ۱۷/۶ درصد حداکثر تولید در شرایط بدون تنش می‌باشد زیرا:

$$\%YLDDEF = \frac{YLDMAX - YLDACT}{YLDMAX}(100)$$

$$\%YLDDEF = [(2.1 \times 10^3)/(11.9 \times 10^3)](100)$$

$$\%YLDDEF = 17.6$$

بنابراین با اعمال تنش در مرحله گل‌دهی میزان محصول نسبت به پتانسیل تولید ۱۷/۶ درصد کاهش پیدا خواهد کرد.

ب) در صورتی که کمبود آب در تمام مراحل یکنواخت تقسیم شود می‌بایست از منحنی III استفاده نمود که در آن به ازاء ۲۵ سانتی‌متر آب مقدار محصول $۱۱/۲ \times ۱۰^۳$ کیلوگرم در هکتار و کمبود محصول ۵/۹ درصد خواهد بود زیرا:

$$YLDACT = 11.2 \times 10^3 \text{ kg/ha}$$

$$YLDDEF = 11.9 \times 10^3 - 11.2 \times 10^3$$

$$YLDDEF = 0.7 \times 10^3$$

$$(0.7 \times 10^3)/(11.9 \times 10^3) = 5.9\%$$

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

● مثال ۲-۴

توان تولید برای یک رقم گوجه‌فرنگی یا حداکثر مقدار محصول در یک منطقه ۱۹/۱ تن در هکتار اندازه‌گیری شده است. این تولید زمانی به‌دست می‌آید که حداکثر تبخیر - تعرق برای گیاه در فصل رشد به مقدار ۷۷/۵ سانتی‌متر تأمین شود. نسبت کاهش محصول نسبت به آب برای این رقم ۱/۲۷ است. تجزیه و تحلیل آزمایشات ۱۰ ساله که روی این رقم گوجه‌فرنگی در یک منطقه دیگر انجام شده است نشان می‌دهد که بالاترین مقدار محصول تولیدی منطقه جدید با توجه به تامین حداکثر تبخیر - تعرق ۱۳/۸ تن در هکتار می‌باشد که به نظر می‌رسد این کاهش به دلیل شرایط اقلیمی و خنک بودن هوا در منطقه جدید باشد.

الف) حساب کنید اگر در منطقه جدید تبخیر - تعرق واقعی گیاه نسبت به مقدار ماکزیمم آن در همین منطقه ۱۵ درصد تقلیل داشته باشد و کمبود آب به‌طور یکنواخت در طول دوره رویش اعمال گردد، مقدار محصول تولیدی چقدر خواهد بود؟

ب) تبخیر - تعرق فصلی گیاه با توجه به این کمبود چقدر است؟

حل

الف) فرض کنید رابطه کاهش نسبی محصول و کاهش نسبی تبخیر - تعرق برای گوجه فرنگی خطی باشد. لذا با استفاده از معادله زیر خواهیم داشت:

$$YRR = \frac{YLDDEF/YLDMAX}{ETDEF/ETMAX}$$

برای منطقه جدید که با نمایه 2 مشخص شده است، خواهیم داشت:

$$ETDEF_2/ETMAX_2 = 0.15$$

در نتیجه می‌توان نوشت:

$$YLDDEF_2 / YLDMAX_2 = YRR(ETDEF_2 / ETMAX_2)$$

$$YLDDEF_2 / YLDMAX_2 = 1.27(0.15)$$

$$YLDDEF_2 / YLDMAX_2 = 0.19$$

لذا کاهش محصول عبارت است از:

$$YLDDEF_2 = 0.19(YLDMAX_2)$$

$$= 0.19(13.8)$$

$$= 2.6 \text{ t/ha}$$

مقدار محصول واقعی در وضعیت جدید تفاوت کمبود محصول و محصول ماکزیمم است. لذا:

$$YLDACT_2 = 13.8 \text{ t/ha} - 2.6 \text{ t/ha}$$

$$= 11.2 \text{ t/ha}$$

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

ب) از روی تخمین مقدار محصول در منطقه جدید کمبود محصول را براساس حداکثر محصول به‌دست می‌آوریم:

$$YLDDEF = YLDMAX - YLDACT$$

$$YLDDEF = 19.1\ t/ha - 11.2\ t/ha$$

$$YLDDEF = 7.9\ t/ha$$

$$(ETDEF)/(ETMAX) = \frac{1}{YRR}\left(\frac{YLDDEF}{YLDMAX}\right)$$

$$ETDEF = \left(\frac{ETMAX}{YRR}\right)\left(\frac{YLDDEF}{YLDMAX}\right) = \left(\frac{77.5}{1.27}\right)\left(\frac{7.9}{19.1}\right) = 25.2\ cm$$

لذا تبخیر - تعرق واقعی در منطقه جدید برابر است با:

$$ETACT_2 = 77.5\ cm - 25.2\ cm$$

$$ETACT_2 = 52.3\ cm$$

با توجه به این که اثرات تنش آبی در مراحل مختلف رشد متفاوت است غالباً توابع تولید طوری نوشته می‌شوند که در آن‌ها حساسیت گیاه به کم آبی در هر یک از مراحل رشد لحاظ شده باشد. نمونه‌ای از این توابع مدل‌هائی هستند که بر اساس تبخیر - تعرق استوارند مانند مدل موسوم به هیل (Hill) که به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$Y_{rel} = 100 \prod_{i=1}^{n} \left(\frac{T_a}{T_{max}}\right)_i^{\lambda_i} \qquad (۶-۲)$$

که در آن:

Y_{rel} = مقدار نسبی تولید محصول (%)

T_a = تعرق واقعی (میلی‌متر در روز)

T_{max} = حداکثر تعرق پتانسیل (میلی‌متر در روز)

λ = ضریب حساسیت به کم آبی

i = مرحله رشد

n = تعداد مراحل رشد (که معمولاً ۴ تا ۵ مرحله در نظر گرفته می‌شود)

ضریب ۱۰۰ برای آن است که مقدار محصول بر حسب درصد توان تولید به‌دست آید. علامت Π برای نشان دادن حاصل ضرب‌های (T_a/T_{max}) در هر مرحله می‌باشد. ملاحظه می‌شود که اگر در تمام مراحل $T_a=T_{max}$ باشد درصد محصول ۱۰۰ خواهد بود.

در مدل موسوم به جنسن (Jensen) به جای تعرق از مقادیر تبخیر-تعرق استفاده شده است که شکل کلی این توابع به‌صورت زیر می‌باشد:

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

$$\frac{Y}{Y_m} = \left(\frac{ET_1}{ET_{m1}}\right)^{\lambda 1} \cdot \left(\frac{ET_2}{ET_{m2}}\right)^{\lambda 2} \cdot \left(\frac{ET_3}{ET_{m3}}\right)^{\lambda 3} \cdots \left(\frac{ET_i}{ET_{mi}}\right)^{\lambda i} \qquad (۷-۲)$$

در این معادله:

Y_m = حداکثر توان تولید در وضعیت آبیاری کامل (بدون تنش).

Y = مقدار محصول واقعی در حالتی که تنش آبی وجود داشته باشد.

ET_1 ، ET_2 ،...، ET_i = تبخیر-تعرق واقعی در مراحل رشد که با نمایه‌های 1 ,2 ,... ,i مشخص شده‌اند.

ET_{m1} ، ET_{m2} ،...، ET_{mi} = تبخیر-تعرق پتانسیل در مراحل مختلف رشد که با علائم 1 ,2 ,... ,i مشخص شده‌اند.

λ_1 ,λ_2 ,... λ_i = ضرایب حساسیت گیاه به کم آبی در مراحل 1 ,2 ,... ,i

i = مرحله رشد

n = تعداد مراحل رشد

مثلاً تحقیقات انجام شده نشان داده است که در گیاهی مثل سورگوم می‌توان سه مرحله رشد را در نظر گرفت که عبارتند از:

مرحله ۱ - از جوانه‌زنی تا شروع خوشه‌دهی

مرحله ۲ - از خوشه‌دهی تا شیره بستن دانه‌ها

مرحله ۳ - از شیره بستن دانه‌ها تا برداشت

و ضرایب حساسیت به کم آبی در این مراحل به ترتیب ۰/۵، ۱/۵ و ۰/۵ می‌باشد. لذا تابع تولید سورگوم نسبت به آب به صورت معادله ۲-۸ خواهد بود (به مثال ۲-۵ مراجعه کنید).

$$\frac{Y}{Y_m} = \left(\frac{ET_1}{ET_{m1}}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{ET_2}{ET_{m2}}\right)^{1.5} \cdot \left(\frac{ET_3}{ET_{m3}}\right)^{0.5} \qquad (۸-۲)$$

● مثال ۲-۵

حداکثر نیاز آبی سورگوم در مراحل سه گانه رشد به ترتیب ۲۲، ۲۶ و ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد که به ازاء این مقادیر آب ۱۸ تن در هکتار محصول تولید می‌شود. چنانچه در این مراحل به ترتیب ۱۵، ۲۰ و ۱۸ سانتی‌متر آب به زراعت داده شود، مقدار واقعی محصول چقدر خواهد بود؟

حل

$Y_m = 18$ ton

$ET_{m1} = 22$ cm

$ET_1 = 15$ cm

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

$ET_{m2} = 26$ cm

$ET_2 = 20$ cm

$ET_{m3} = 20$ cm

$ET_3 = 18$ cm

$$\frac{Y}{Y_m} = \left(\frac{ET_1}{ET_{m1}}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{ET_2}{ET_{m2}}\right)^{1.5} \cdot \left(\frac{ET_3}{ET_{m3}}\right)^{0.5}$$

$$\frac{Y}{18} = \left(\frac{15}{22}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{20}{26}\right)^{1.5} \cdot \left(\frac{18}{20}\right)^{0.5}$$

$$\frac{Y}{18} = (0.82)(0.67)(0.94)$$

$$\frac{Y}{18} = 0.52$$

$Y = 9.36$ tons/ha

با این وجود عده‌ای سعی کرده‌اند برای توابع تولید نسبت به آب معادلات ساده‌تری ارائه دهند تا در عمل به سادگی بتوان از آنها استفاده نمود. اکثر این معادلات از نوع درجه دوم و یا درجه اول است. مثلاً برای گندم معادلات ساده زیر پیشنهاد شده است:

$$Y = 0.00648(ET) - 1.96 \qquad (۹-۲)$$

$$Y = 0.0169(ET) - 5 \qquad (۱۰-۲)$$

که معادله اول برای تولید دانه گندم و معادله دوم برای کل ماده خشک تولیدی در گندم است. در هر دو معادله Y بر حسب تن در هکتارو ET بر حسب میلی‌متر است. به عنوان مثال چنانچه آب مصرفی گندم از نظر تبخیر-تعرق واقعی ۶۵۰ میلی‌متر باشد، تولید دانه و ماده خشک آن به ترتیب ۲/۲۵ و ۵/۹۸ تن در هکتار خواهد بود زیرا:

$Y = 0.00648(650) - 1.96 = 2.25$ tons/ha

$Y = 0.0169(650) - 5 = 5.98$ tons/ha

و یا معادله خطی دیگری که برای پنبه به‌دست آمده است به صورت زیر می‌باشد:

$$y = -499 + 3.12(ET) \qquad (۱۱-۲)$$

که در آن ET بر حسب میلی‌متر و y بر حسب کیلوگرم وش در هکتار می‌باشد.

رسم منحنی‌های توابع تولید نسبت به آب به صورت خطی و به‌طور مطلق نمی‌تواند به خوبی گویای چگونگی تأثیر آب بر مقدار محصول باشد. زیرا علاوه بر آب عوامل دیگری نیز در کاهش محصول دخالت دارند. مثلاً در شکل ۲-۲ مشاهده گردید که به ازای ۵۰۰ میلی‌متر آب ۱۷۵۰ کیلوگرم پنبه تولید خواهد شد. حال اگر در مکان دیگری همین مقدار آب به زمین داده

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

شود ممکن است مقدار تولید کمتر و یا بیشتر از ۱۷۵۰ کیلوگرم باشد زیرا در منطقه جدید برخی عوامل محدود کننده ممکن است حذف شده باشند و یا برعکس عوامل محدود کننده دیگری وارد عمل شده باشند. برای رفع این مشکل همان‌طور که قبلاً گفته شد توصیه شده است که در توابع خطی نیز به‌جای به‌کار بردن مقدار مطلق تولید، مقدار تولید نسبی که **نسبت تولید واقعی** (actual yield) **به توان تولید** (potential yield) می‌باشد به‌کار برده شود و به‌طریق مشابه به‌جای تبخیر-تعرق از نسبت تبخیر-تعرق واقعی به تبخیر-تعرق پتانسیل استفاده شود. در این صورت توابع تولید **بدون بعد** (dimentionless) شده و تفسیر آنها ساده‌تر خواهد بود. به‌همین منظور در بسیاری موارد توابع تولید نسبت به آب به‌صورت زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

$$1 - \frac{Y_a}{Y_p} = K_y\left(1 - \frac{ET_a}{ET_p}\right) \qquad (۱۲-۲)$$

$$\frac{Y_a}{Y_p} = 1 - K_y + K_y\left(\frac{ET_a}{ET_p}\right) = 1 - K_y\left(1 - \frac{ET_a}{ET_p}\right) \qquad (۱۳-۲)$$

در این معادله‌ها:

ET_a و ET_p = به ترتیب تبخیر- تعرق واقعی و پتانسیل گیاه در منطقه مورد نظر.

Y_a و Y_p = به ترتیب مقدار واقعی و پتانسیل محصول تولیدی.

K_y = ضریب کلی حساسیت گیاه نسبت به آب.

در معادلات فوق که به‌نام **مدل استوارت** (Stewart model) معروف است اگر تبخیر-تعرق واقعی برابر تبخیر-تعرق پتانسیل باشد ($ET_a=ET_p$) در نتیجه $ET_a/ET_p = 1$ بوده و لذا Y_a/Y_p نیز برابر یک خواهد شد($Y_a/Y_p = 1$). اما اگر تبخیر-تعرق واقعی کمتر از تبخیر-تعرق پتانسیل گردد ($ET_a / ET_p < 1$) در این صورت $Y_a / Y_p < 1$ شده و مقدار آن نسبت به ET_a / ET_p به صورت خطی (که شیب آن متناسب با K_y است) تغییر می‌کند.

در معادله‌های فوق ضریب K_y به‌نام **عامل پاسخ گیاه به تنش** (کم آبی) یا **عامل کاهش محصول** (yield response factor) نامیده می‌شود که باید بر اساس آزمایشات و تحقیقات صحرائی برای هر گیاه مشخص شود. در جدول ۲-۱ مقادیر K_y برای برخی از گیاهان داده شده است (مطالعات فائو). در این جدول ملاحظه می‌شود که مرحله گلدهی برای اکثر گیاهان، حساس‌ترین مرحله نسبت به کم آبی می‌باشد. بالا بودن ضریب K_y در این مرحله نشان دهنده آن است که اگر گیاه با تنش آبی مواجه شود کاهش محصول زیاد خواهد بود. به‌عنوان مثال K_y برای ذرت در این مرحله ۱/۵ است. این مقدار بیان کننده آن است که بر اساس معادله ۲-۱۱ اگر در این مرحله مثلاً ۱۰ درصد کمتر از نیاز به گیاه آب داده شود ($\frac{ET_a}{ET_p} = 0.9$) مقدار محصول ۱۵ درصد از حد پتانسیل خود کاهش پیدا خواهد کرد، زیرا:

$$K_y\left(1 - \frac{ET_a}{ET_p}\right) = 1.5\ (1 - 0.9) = 0.15$$

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

$$1 - \frac{Y_a}{Y_p} = 0.15$$

$$\frac{Y_a}{Y_p} = 1 - 0.15 = 0.85$$

$$Y_a = 0.85\ Y_p$$

ستون آخر جدول ۲-۱ برای حالتی است که کم آبیاری در تمام مراحل رشد گیاه به‌صورت یکسان اعمال شود. مثلاً در مورد ذرت که این ضریب ۱/۲۵ می‌باشد، بیانگر آن است که اگر از ابتدا تا انتهای رشد ذرت در هر نوبت آبیاری ۱۰ درصد کمتر از نیاز پتانسیلی گیاه آب داده شود کاهش محصول با اعمال این ضریب ۱۲/۵ درصد خواهد بود، زیرا:

$$1 - \frac{Y_a}{Y_p} = K_y\ (1 - \frac{ET_a}{ET_p}) = 1.25\ (1 - \frac{0.9}{1}) = 0.125$$

$$\frac{Y_a}{Y_p} = 1 - 0.125 = 0.875$$

$$Y_a = 0.875\ (Y_p)$$

که نشان دهنده ۱۲/۵ درصد کاهش محصول است.

جدول ۲-۱ عامل کاهش محصول (K_y) نسبت به کم آبیاری

گیاه	مرحله رشد اولیه (شاخ‌وبرگی)			مرحله گلدهی	مرحله تولید میوه	مرحله رسیدن	کل دوره رشد
	اول	انتها	کل				
یونجه			0.7-1.1				0.7-1.1
لوبیا			0.2	1.1	0.75	0.2	1.5
کلم	0.2				0.45	0.6	0.95
مرکبات							0.8-1.1
پنبه			0.2	0.5			0.85
انگور						0.25	0.85
ذرت			0.4	1.5	0.5	0.2	1.25
پیاز			0.45		0.8	0.3	1.1
نخود فرنگی	0.2			0.9	0.7	0.2	1.15
فلفل سبز							1.1
سیب‌زمینی	0.45	0.8			0.7	0.2	1.1
سورگوم			0.2	0.55	0.45	0.2	0.9
سویا			0.2	0.8	1.0		0.85
چغندرقند							0.6-1.1
نیشکر			0.75		0.5	0.1	1.2
آفتاب گردان	0.25	0.5		1.0	0.8		0.95
توتون	0.2	1.0					0.9
گوجه‌فرنگی			0.4	1.1	0.8	0.4	1.05
هندوانه	0.45	0.7		0.8	0.8	0.3	1.1
گندم (زمستانه)			0.2	0.6	0.5		1.0
گندم (بهاره)			0.2	0.65	0.55		1.15

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

ارقام این جدول نشان دهنده یک نکته مهم دیگر نیز می‌باشد. مثلاً مشاهده می‌شود که در مورد ذرت مقادیر K_y برای چهار مرحله رشد (اولیه، گلدهی، دانه‌بندی و سفت شدن دانه‌ها) به ترتیب ۰/۴، ۱/۵، ۰/۵ و ۰/۲ است که اگر در هر مرحله ۱۰ درصد کم آبیاری داشته باشیم قاعدتاً مقدار تجمعی کاهش محصول باید ۲۶ درصد (۰/۲۶=۰/۰۴+۰/۱۵+۰/۰۵+۰/۰۲) باشد حال آنکه با توجه به ضریبی که در ستون آخر جدول نوشته شده است کاهش محصول ۱۲/۵ درصد محاسبه شد. دلیل این امر آن است که کم آبیاری در یک مرحله از رشد گیاه باعث می‌شود که تاثیر کم آبی در مرحله بعد کمرنگ‌تر یا کمتر موثر باشد.

ساده‌ترین معادله‌ای که بتوان آن را به‌صورت سرانگشتی برای تمام گیاهان به‌کار برده و اثر کم آبیاری را برآورد کرد معادله‌ای است که در دانشگاه یوتای امریکا توسط **هارگریوز** (Hargreaves) ارائه شده است و آن به‌صورت زیر می‌باشد.

$$Y = 0.8\ X + 1.3\ X^2 - 1.1\ X^3 \qquad (۱۴-۲)$$

در این معادله که به‌صورت نرمالیزه ارائه شده است (به‌طوری‌که اگر $X = 1$ باشد $Y = 1$ خواهد بود):

X = مقدار آب داده شده به زراعت و Y = مقدار محصول قابل انتظار می‌باشد. مثلاً اگر $X = 0.9$ باشد (۱۰ درصد کم آبیاری) مقدار Y برابر خواهد بود با:

$$Y = 0.8\ (0.9) + 1.3\ (0.9)^2 - 1.1\ (0.9)^3$$

$$Y = 0.72 + 1.05 - 0.802$$

$$Y = 0.97$$

که نشان دهنده ۳ درصد کاهش محصول است و یا مثلاً ۵۰ درصد کم آبیاری مقدار محصول را ۴۲ درصد کاهش خواهد داد. باید توجه داشت که این معادله بسیار کلی و برای تمام محصولات ارائه شده و لذا از دقت زیادی برخوردار نمی‌باشد. معادله فوق برای مقادیر X بین ۰/۳ (۷۰ درصد کم آبیاری) تا ۱/۲ (۲۰ درصد پر آبیاری) می‌تواند به‌کار برده شود. در این معادله مشاهده می‌شود که با ۲۰ درصد پر آبیاری ($X = 1.2$) مقدار محصول ۹ درصد و با ۲۰ درصد کم آبیاری ($X = 0.8$) مقدار محصول ۷ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین نباید انتظار داشت که هر چه بیشتر آب به زمین داده شود مقدار محصول به‌طور مرتب افزایش یابد.

با توجه به مطالب فوق، هرچند آبیاری را به‌عنوان عامل اصلی افزایش محصول معرفی کردیم اما باید به خاطر داشت که آبیاری بدون دیگر نهاده‌های کشاورزی و یا در نظر نگرفتن عوامل دیگر مفید نخواهد بود و تنها زمانی می‌توان از آبیاری بهره گرفت که سایر عوامل نیز به خدمت گرفته شوند. از جمله این عوامل می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کاربرد کودهای آلی و شیمیایی.
- استفاده از ارقام و بذور اصلاح شده.

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

- استفاده از متخصصان و کارگرهای ماهر کشاورزی .
- دسترسی به بازار مناسب و مطمئن برای عرضه و فروش محصولات تولیدی.
- انجام روش‌های کارآمد و عملیات مفید مبارزه با آفات و بیماری‌های گیاهی.
- کاربرد وسایل مناسب برای انجام عملیات خاک‌ورزی یا داشت و برداشت محصول.
- وجود منابع تأمین کننده نیازهای مالی مانند تسهیلات بانکی و دسترسی به آنها.
- وجود امکانات رفاهی مانند آموزش، بهداشت، جاده، برنامه‌های تفریحی و اجتماعی.
- انجام عملیات زهکشی و اصلاح اراضی.
- برخورداری از برنامه‌های ترویجی و دسترسی به یافته‌های جدید و علمی .

بنابراین مشاهده می‌شود که طرح‌های آبیاری بخشی از یک سامانه مرتبط به هم کشاورزی و محیطی - اجتماعی است که برای بهره‌گیری از آن باید همگی به خدمت گرفته شوند.

۲-۳ سایر عوامل مؤثر در افزایش محصول

همان‌طور که اشاره شد آب تنها یکی از عوامل موثر بر افزایش تولید در محصولات زراعی و باغی می‌باشد. حتی اگر آفات و بیماری‌های گیاهی که معمولاً محصول را به مقدار زیاد کاهش می‌دهند در نظر نگیریم، ۶ عامل عمده دیگر در اراضی تحت آبیاری اهمیت دارند که عبارتند از:

- انرژی (دمای هوا و تابش آفتاب)
- حاصلخیزی خاک و استفاده از کودهای شیمیائی و آلی
- مهیائی آب به‌مقدار کافی و در زمان مناسب
- تهویه خاک و زهکشی
- تراکم بوته (فاصله و شاخص سطح برگ)
- واریته و ارقام گیاهی

رشد گیاه و تولید محصول به شدت تحت تاثیر دمای هوا، تابش خورشید، قابلیت تبخیر و دامنه تغییرات درجه حرارت می‌باشد. هر گیاه زراعی برای آنکه رشد خود را تکمیل کرده و به محصول برسد در دوره رشد به مقدار مشخصی واحد حرارتی یا درجه-روز، گرما نیاز دارد (Growing Degree Days, GDD) . یک گیاه زراعی در محدوده‌ای از تغییرات دما که به آنها **دماهای کاردینال** (Cardinal) گفته می‌شود به‌خوبی رشد می‌کند. مثلاً دماهای کاردینال برای ذرت به ترتیب ۱۰ و ۳۰ درجه سانتی گراد است. مقدار GDD برای هر گیاه عبارت است از متوسط دمای روزانه منهای دمای حداقل کاردینال. GDD نمی‌تواند برای یک روز کمتر از صفر بوده و یا بیشتر از تفاوت دماهای کاردینال باشد. مثلاً اگر در یک روز حداقل دما ۴ و حداکثر آن ۲۲ درجه باشد (متوسط ۱۳) برای ذرت مقدار GDD در آن روز ۱۳ می‌باشد. به‌عبارت دیگر در

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

آن روز ۳ واحد حرارتی (heat unit) برای رشد ذرت وجود خواهد داشت:

$$GDD = \frac{22 + 4}{2} - 10 = 3$$

و یا اگر در یک روز دیگر حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۲ و ۱۴ باشد متوسط دمای هوا ۸ درجه خواهد بود و لذا در آن روز هیچگونه واحد حرارتی برای رشد ذرت مهیا نیست.

$$GDD = \frac{2 + 14}{2} - 10 = -2$$

همان‌طور که اگر متوسط دمای هوا در یک روز ۴۵ درجه باشد نمی‌توان گفت که ۳۵ واحد حرارتی برای ذرت در اختیار است بلکه حداکثر ۳۰ واحد را می‌توان در نظر گرفت.

زراعت‌های آبی از نظر دماهای کاردینال به ۵ گروه تقسیم‌بندی می‌شوند که در جدول ۲-۲ ذکر شده‌اند. بنابراین با توجه به مقدار کل نیاز حرارتی هر گیاه در طول دوره رشد که یک خاصیت فنولوژیکی برای هر زراعت می‌باشد باید با توجه به دماهای کاردینال نیاز حرارتی در دوره رشد تامین گردد. در صورتی که شرایط از نظر دمائی مناسب باشد، عملاً می‌توان از یک زمین تحت آبیاری ۲ تا ۳ نوبت محصول برداشت کرد.

کودهای شیمیایی معمول در کشاورزی ازت (N)، فسفر (P) و پتاس (K) می‌باشند که کارآئی آنها بستگی به مقدار آب آبیاری دارد. رابطه بین مقدار آب، محصول و کود برای هر گیاه و هر یک از انواع کودها بسیار پیچیده بوده و باید از روی آزمایشات صحرائی به‌دست آید. مثلاً شکل ۲-۱۰ مربوط به توابع تولید آب، محصول و کود ازت برای ذرت می‌باشد. به‌طوری‌که مشاهده می‌شود اولاً مقدار بهینه مصرف کود ازت برابر است با حاصلضرب تبخیر - تعرق (ET_c) در ضریبی (K) که برای هر گیاه و هر محل باید از روی تجربه به‌دست آید.

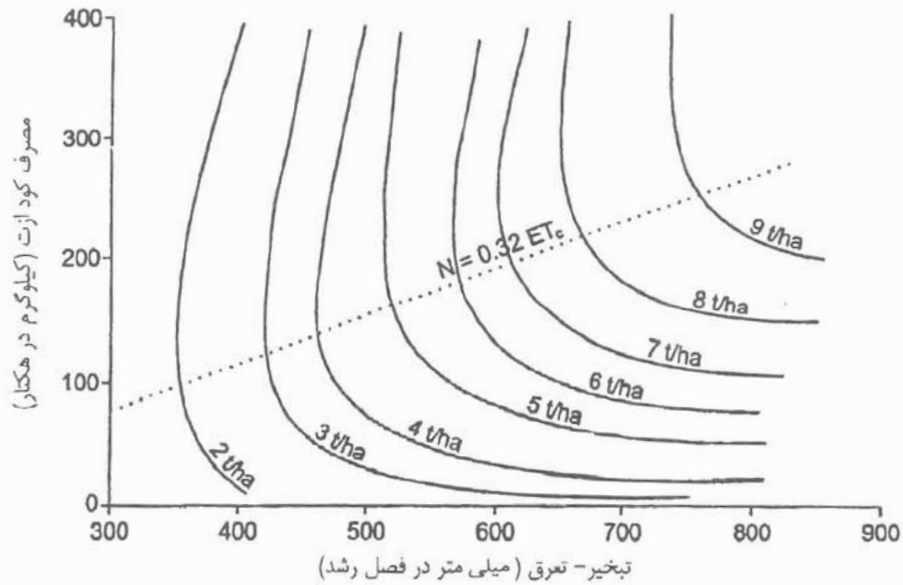
جدول ۲-۲ دماهای کاردینال برای گیاهان مختلف

گروه	دماهای کاردینال	گیاه
I	15-20 (عملاً 5-30)	جو، چغندرقند، خیار، کاهو، کدو، پیاز زیتون، سیب‌زمینی، نخود، اسفناج، گندم توت فرنگی، ذرت‌شیرین،گوجه‌فرنگی
II	25-30 (عملاً 10-35)	موز، پنبه، بادمجان، انجیر، انگور، انبه برنج، آفتاب‌گردان، توتون، برخی‌ارقام گوجه‌فرنگی، هندوانه
III	30-35 (عملاً 15-45)	ذرت، برنج (برخی‌ارقام)، سورگوم، نیشکر
IV	20-30 (عملاً 10-35)	برخی ارقام ذرت و سورگوم
V	25-35 (عملاً 10-45)	آناناس

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

در این شکل $K = 0.32$ بوده و لذا این رابطه به‌صورت $N = 0.32\ ET_c$ خواهد بود، یعنی اگر مقدار نیاز آبی ۷۵۰ میلی‌متر در فصل زراعی باشد بهترین مقدار مصرف ازت ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار خواهد بود. از طرف دیگر منحنی‌های شکل ۲-۱۰ نشان می‌دهند که اگر بخواهیم مثلاً ۸ تن در هکتار محصول برداشت کنیم لازم است که ۶۸۰ میلی‌متر آب و حدود ۲۱۷ کیلوگرم در هکتار ازت به زمین داده شود. منحنی مربوط به ۸ تن در هکتار نشان می‌دهد که برای تولید این مقدار محصول هر چه بیشتر از ۲۱۷ کیلوگرم کود به زمین بدهیم تاثیری نخواهد داشت ولی با مصرف آب بیشتر حتی با مقدار ۱۵۰ کیلوگرم ازت نیز به ۸ تن محصول خواهیم رسید. در هر حال تحلیل روابط آب و کود و محصول یک بحث اقتصادی است که باید با توجه به هزینه‌های آبیاری و کود صورت گیرد.

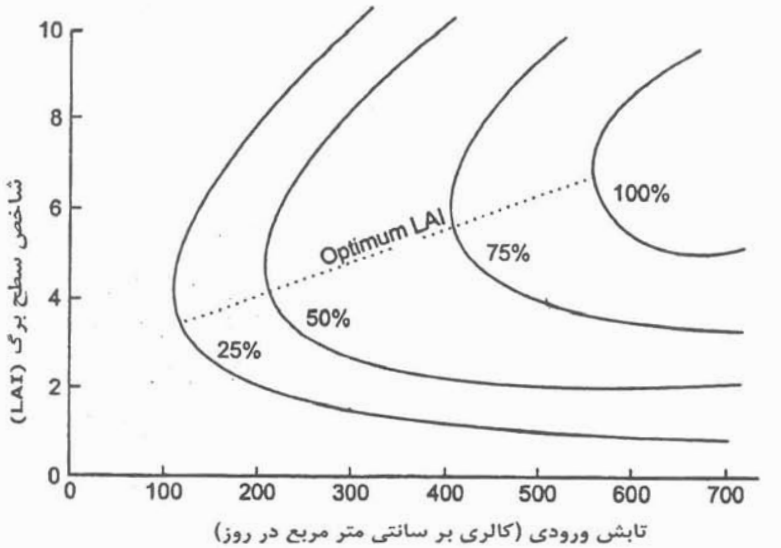
تراکم بوته در هکتار و استقرار آنها در زمین نیز از عوامل دیگری است که در میزان تولید در اراضی آبی موثر است. مقدار محصول تولیدی از هر واحد زمین با افزایش تراکم بوته‌ها تا حدی افزایش پیدا کرده و سپس هر چه تراکم بوته‌ها زیاد شود محصول ثابت مانده و یا اینکه ممکن است کاهش پیدا کند. با افزایش تراکم بوته، شاخص سطح برگ (Leaf Area Index, LAI) افزایش یافته و امکان استفاده از انرژی خورشید برای فتوسنتز و افزایش محصول زیاد می‌شود. شکل ۲-۱۱ تیپ توابع تولید را در ارتباط با تراکم بوته (شاخص سطح برگ) و تابش خورشیدی نشان می‌دهد. خطی که به‌صورت نقطه‌چین رسم شده است، مقدار اپتیمم شاخص سطح برگ



شکل ۲-۱۰ منحنی‌های هم مقدار محصول برای ذرت (تن در هکتار) به‌عنوان تابعی از مصرف کود ازت

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

را بـه‌ازاء مـقادیر مـختلف تـابش خـورشید نشـان مـی‌دهد. مـعادله ایـن خـط بـه‌صورت $LAI = 2.6 + 0.007\ R_s$ می‌باشد که در آن R_s تابش ورودی به سطح زمین برحسب کالری بر سانتی‌متر مربع در روز است. به‌عنوان مثال چنانچه در یک منطقه در دوره رشد مقدار انـرژی خورشیدی ۴۰۰ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز باشد، اپتیمم شاخص سطح برگ ۵ خواهد بود و در این وضعیت نباید بیشتر از ۷۵ درصد توان تولید انتظار محصول بیشتری را داشت. به‌طور معمول تراکم بوته در اراضی آبی باید ۲ تا ۴ برابر اراضی دیم باشد.



شکل ۲-۱۱ رابطه شاخص سطح برگ و تابش ورودی و مـقادیر نسـبی مـحصول در زراعت‌های آبی

مسائل

۲-۱ رابطه بین محصول و مقدار آبیاری برای یک رقم پنبه به‌صورت زیر می‌باشد:

$$Y=392.6+5.65\ (AW) - 0.0055\ (AW)^2$$

که در آن Y مقدار محصول تولیدی (kg/ha) و AW مقدار آبیاری (mm) است. یک نفر زارع علاقمند است از این رقم پنبه کشت کند. ایـن زارع مـی‌توانـد مـقدار آبـیاری را از صفر شروع کرده و با افزایش ۵۰ میلی‌متری آن را به‌صورت پله‌ای تغییر دهدبه‌طوری‌که مقدار آبیاری به ترتیب ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و الخ باشد. اگر برای هر ۵۰ مـیلی‌متر آب در هکتار ۵ هزار تومان پرداخت نـماید و درآمـد هـر کـیلوگرم پـنبه بـدون هـزینه آب

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

۲۷ در هر کیلوگرم باشد از صفر شروع کرده و به ازاء هر افزایش ۵۰ میلی‌متر مقدار درآمد خالص در هکتار را محاسبه کنید. به ازاء چه مقدار آبیاری درآمد خالص حداکثر خواهد بود؟

حل

مقدار آبیاری (mm/ha)	محصول (kg/ha)	هزینه آب ($/ha)	درآمدخالص(بدون آب) ($/ha)	جمع درآمدخالص ($/ha)
0	392.6	0	10.6	10.6
50	661.4	5	17.9	12.9
100	902.6	10	24.4	14.4
150	1116.4	15	30.1	15.1
200	1302.6	20	35.2	15.2
250	1461.4	25	39.5	14.5
300	1592.6	30	43.0	13.0
350	1696.4	35	45.8	10.8
400	1772.6	40	47.9	7.9
450	1821.4	45	49.2	4.2
500	1842.6	50	49.8	-0.2
550	1836.4	55	49.6	-5.4
600	1802.6	60	48.7	-11.3

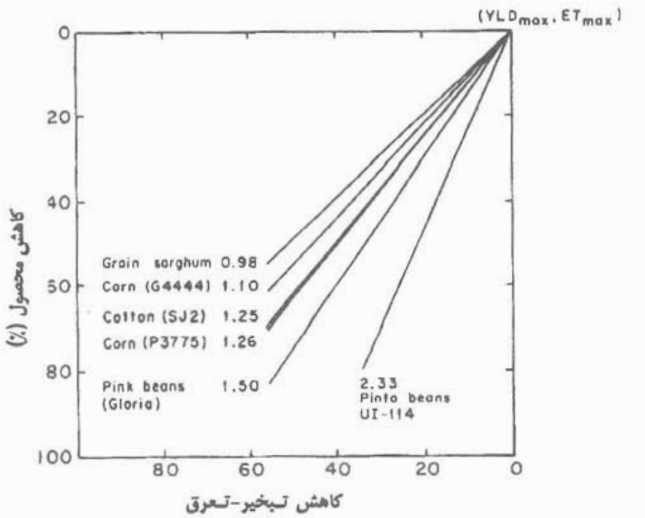
به‌طوری که مشاهده می‌شود به ازاء مقدار آبیاری ۲۰۰ میلی متر بالاترین مقدار درآمد خالص (۱۵/۲) حاصل می‌شود.

۲-۳ شکل زیر در مورد توابع کاهش محصول نسبت به تبخیر-تعرق برای تعدادی از گیاهان زراعی (سورگوم، ذرت رقم G4444، پنبه رقم SJ2، ذرت رقم P3775، لوبیا قرمز و لوبیا چیتی) در اختیار می‌باشد. شما به عنوان مشاور انتخاب شده‌اید تا از بین این محصولات برای منطقه‌ای که خطر بروز خشکسالی در آن زیاد است گیاهان مناسبی را انتخاب کنید. هدف از کشاورزی در منطقه تامین نیاز غذائی مردم و نه درآمد اقتصادی است. ارجحیت مردم از نظر علاقه در ابتدا به لوبیا و سپس ذرت می‌باشد.

الف) اگر هیچ‌گونه اطلاعات دیگری در اختیار نباشد کدام گیاه را برای کشت توصیه می‌کردید؟

ب) اگر بخواهید دقیق‌تر گیاه موردنظر را انتخاب کنید چه اطلاعات دیگری مورد نیاز است؟

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com



حل

الف) محصولی برای زراعت انتخاب می‌شود که دارای حداقل نسبت کاهش محصول (YRR) باشد زیرا در این صورت بالاترین مقاومت را به خشکی خواهد داشت. لذا گیاه انتخاب شده ذرت رقم G4444 بانسبت کاهش محصول YRR=1.1 خواهد بود.

ب) در انتخاب محصول علاوه بر درجه مقاومت به خشکی باید موارد زیر نیز در نظر گرفته شود:

– هدف از تولید محصول چیست. اگر هدف بالا بردن منابع غذائی جمعیت باشد در این صورت باید معیارهای زیر مورد مقایسه قرار گیرند:

۱– ارزش پروتئینی محصولات چقدر است؟

۲– ارزش کربوهیدراتی محصولات چقدر است؟

۳– سطح تأمین منابع غذائی جمعیت کدام است؟

در پاسخ به این سوالات ممکن است محصولی انتخاب شود که با آنچه از نظر مقاومت به خشکی به‌دست آمده است، متفاوت باشد. چنانچه هدف از انتخاب محصول بالا بردن درآمد اقتصادی زارع باشد در این صورت سؤالاتی مانند:

۱– قیمت هر کدام از محصولات تولیدی در بازار چقدر است؟

۲– شرایط اقتصادی بازار از نظر کمبود یا اشباع بودن محصول چگونه است؟

پاسخ به این سؤالات نیز برانتخاب نوع محصول موثر خواهد بود.

۲–۳ رابطه مقدار محصول (Y برحسب کیلوگرم در هکتار) نسبت به مقدار آبیاری (AW

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

برحسب میلی‌متر) به‌صورت زیر می‌باشد.

$$Y = -8520 + 61.8(AW) - 0.0336(AW)^2$$

برای همین محصول رابطه تولید نسبت به تبخیر-تعرق (ET برحسب میلی‌متر) نیز به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$Y = -6525 + 46.0\ (ET)$$

اگر راندمان استفاده از آب بر حسب مقدار ET به ازاء سطح مشخصی از AW تعریف شده باشد، حساب کنید چنانچه مقدار آبیاری 650 mm باشد راندمان استفاده از آب چقدر است؟

حل

$$AW = 650\ mm$$

$$Y = -8520 + 61.8\ (AW) - 0.0336\ (AW)^2$$

$$Y = -8520 + 61.8\ (650) - 0.0336\ (650)^2$$

$$Y = 17454\ kg/ha$$

ET مورد نیاز را محاسبه کنید.

$$Y = -6525 + 46.0\ (ET)$$

$$17454 = -6525 + 46.0\ (ET)$$

$$ET = 521\ mm$$

راندمان را محاسبه کنید.

$$IRR_{eff} = \frac{ET}{AW}\ (100) = \frac{521}{650}\ (100)$$

$$IRR_{eff} = 80\%$$

۴-۲ حداکثر محصول تولیدی در یک منطقه از یک رقم گوجه‌فرنگی ۲۹ تن در هکتار به‌دست آمده است. این حداکثر محصول به ازاء تامین حداکثر ET گیاه که در طول فصل ۷۷۵ میلی‌متر بوده است حاصل شده است در همین منطقه تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن‌در طول فصل رشد گوجه‌فرنگی ۸۸۹ میلی‌متر و نسبت کاهش محصول (YRR) برای این رقم گوجه‌فرنگی ۰/۸۶۵ می‌باشد. در یک منطقه دیگر تحلیل داده‌های هواشناسی نشان داده است که تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن در طول فصل رشد گوجه‌فرنگی ۸۲۵ میلی‌متر است. با توجه به ضریب گیاهی گوجه‌فرنگی که از اطلاعات قبل به‌دست می‌آورید:

الف) در منطقه جدید حداکثر محصول قابل انتظار از گوجه‌فرنگی چقدر خواهد بود؟ (جواب: 27.2 ton/ha)

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

ب) چنانچه مقدار ET را در منطقه جدید به اندازه ۱۵ درصد کاهش دهیم، مقدار محصول تولیدی چقدر خواهد بود؟ (جواب : 23.7 ton/ha)

۲-۵ شیب منحنی‌های تابع تولید نسبت به آب در ابتدا زیاد بوده و سپس به‌تدریج کاهش پیدا می‌کند. این بدان معنی است که....

الف) کارآئی آب در آبیاری کامل بسیار زیادتر است.

ب) کارائی آب در کم آبیاری‌ها بسیار زیادتر است.

ج) کارآئی آب در آبیاری کامل بسیار کم است.

د) کارآئی آب در کم آبیاری‌ها بسیار کم است.

۲-۶ منحنی‌های توابع تولید نسبت به آب غالباً از مبدأ مختصات شروع نمی‌شوند علت چیست؟

۲-۷ هر چقدر مقدار آبیاری کم باشد راندمان آبیاری....

الف) کاهش می‌یابد.

ب) افزایش می‌یابد.

ج) تفاوت نمی‌کند.

د) ممکن است افزایش یا کاهش یابد.

۲-۸ راندمان آبیاری یک عدد....

الف) ثابت است.

ب) متغیر است .

ج) بسته به نوع گیاه می‌تواند ثابت یا متغیر باشد.

د) بسته به نوع خاک می‌تواند ثابت یا متغیر باشد.

۲-۹ سخت شدن گیاه (hardening) اصطلاحاً به چه حالتی در گیاه گفته می‌شود؟

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

فصل سوم

تحلیل‌های اقتصادی در آبیاری

۳-۱ کلیات

توسعه اراضی آبیاری یکی از مشکل‌ترین و پرهزینه‌ترین فعالیت‌های اقتصادی است. بارها شاهد بوده‌اید که یک سدّ ممکن است در مدت نسبتاً کوتاهی مثلاً ۳ الی ۴ سال احداث و تکمیل می‌شود، اما شبکه آبیاری آن برای استفاده از آب تامین شده توسط سدّ دهها سال بعد هم تکمیل نمی‌شود. مواردی وجود دارد که حتی تا پایان عمر سد شبکه‌های آبیاری به بهره‌برداری نمی‌رسد. تکمیل شبکه‌های آبیاری در مورد سدها چه به لحاظ مالی و اعتباری و چه به لحاظ زمان اجرا ۳ تا ۵ برابر احداث سد و تاسیسات اصلی به هزینه‌های مالی و زمان نیاز دارد. به‌عنوان مثال تنها برای تسطیح اراضی که از ملزومات اساسی روش‌های آبیاری سطحی می‌باشد برای جابجائی هر متر مکعب خاک در مقیاس بین‌المللی باید ۰/۵ دلار (حدود ۵۰۰۰ ریال) هزینه کرد. بر اساس مطالعات بانک جهانی که معمولاً وام لازم را برای توسعه اراضی تحت آبیاری در اختیار کشورهای جهان قرار می‌دهد آماده کردن هر هکتار زمین جهت آبیاری نیاز به ۴۸۰۰ دلار هزینه دارد. در جدول ۳-۱ متوسط هزینه توسعه اراضی تحت آبیاری در مناطق مختلف جهان داده شده است. به‌طوریکه مشاهده می‌شود کشورهای جنوب آسیا با ۱۳۷۰ دلار در هکتار کمترین و کشورهای افریقائی در منطقه صحرا با ۱۸۳۰۰ دلار بالاترین هزینه را برای توسعه اراضی تحت آبیاری پرداخت می‌کنند. علاوه بر این باید هزینه‌های سیستم زهکشی را نیز که حدود ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ دلار در هکتار می‌باشد به مبالغ فوق اضافه نمود. بدین ترتیب بنظر می‌رسد که هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای هر هکتار آبیاری حداقل ۶۵۰۰ دلار (حدود ۶ میلیون تومان) باشد. در جدول ۳-۲ هزینه‌های توسعه پروژه‌های آبیاری بر اساس آنچه سازمان فائو برای طرح‌های کوچک و بزرگ پیش‌بینی کرده نشان داده شده است. با توجه به ارقام نسبتاً بالا و هزینه‌های سنگین لازم است که در انتخاب سیستم آبیاری و هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثانویه و تجهیزاتی که برای آبیاری به‌کار برده می‌شود دقت بیشتری بعمل آید تا سیستم مقرون به صرفه باشد. در این فصل به برخی اصول تحلیل‌های اقتصادی که در طراحی سیستم آبیاری و انتخاب گزینه‌ها به آن نیاز می‌باشد پرداخته می‌شود.

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

جدول ۳-۱ هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای توسعه شبکه‌های آبیاری در مناطق مختلف جهان

منطقه	هزینه سرمایه‌گذاری (دلاربه ازاء هر هکتار)
کشورهای جنوبی آسیا	1370
کشورهای آمریکای لاتین	3900
مناطق شرق آسیا	4300
آمریکای شمالی	4900
کشورهای اروپائی	4750
کشورهای خاورمیانه	5100
کشورهای منطقه صحرا (افریقا)	18300

جدول ۳-۲ هزینه‌های توسعه پروژه‌های آبیاری بر اساس گزارشات فائو (ارقام برحسب دلار به ازاء هر هکتار می‌باشد)

وسعت پروژه	هزینه‌ها	
	دامنه	متوسط
کوچک	1000-6500	4000
متوسط	4000-15000	9000
بزرگ	5000-50000	16000

۳-۲ بهینه سازی اقتصادی

در طراحی سیستم‌های آبیاری مهندس طراح علاوه بر مسائل فنی باید به تحلیل‌های اقتصادی نیز بپردازد. بدین ترتیب که در هر گزینه هزینه‌های ثابت (استهلاک، بهره وام، بیمه و مالیات) و متغیر (سوخت، تعمیر و نگهداری و کارگر) را متناسب با نوع طرح در نظر گرفته و درآمدهای اقتصادی آن را مورد مقایسه قرار دهد تا بتوان نسبت به انجام یا عدم انجام سیستم آبیاری و یا انتخاب نوع سیستم تصمیم‌گیری نمود. در این بخش جهت آشنائی طراحان سیستم‌های آبیاری برخی از معیارهای تحلیل اقتصادی در انتخاب گزینه‌های آبیاری شرح داده شده است.

اصولاً یک سیستم آبیاری به این منظور احداث می‌شود تا ضمن استفاده از منابع طبیعی سودآور نیز باشد. یعنی درآمدهای حاصله از آن از هزینه‌هائی که صرف سیستم می‌شود بیشتر باشد. هر چند برخی طرح‌ها ممکن است به دلایل اجتماعی، سیاسی و یا اهداف غیراقتصادی به اجرا درآیند اما اگر در دراز مدت به آنها بنگریم این طرح‌ها نیز به‌طور غیرمستقیم باید به لحاظ

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

اقتصادی مقرون به صرفه باشند. بنابراین تحلیل‌های اقتصادی بخش مهمی از طراحی سیستم‌های آبیاری را شامل می‌گردد. زیرا انتخاب گزینه‌های مختلف آبیاری (variants) بر اساس تحلیل‌های اقتصادی است.

تحلیل اقتصادی در دو مقیاس می‌تواند انجام شود: یکی تحلیل در مقیاس مزرعه و دیگری تحلیل در مقیاس منطقه‌ای یا ملی. در مقیاس مزرعه که سرمایه‌گذاری توسط خود زارع انجام می‌شود از معیارها و قیمت‌های محلی (local price) استفاده می‌شود. مثلاً مزدکارگرها بر اساس دستمزدهای مرسوم و قیمت محصولات نیز بر اساس قیمت‌هائی که زارع شخصاً خرید و فروش می‌کند، محاسبه می‌شود. حال آنکه تحلیل در مقیاس ملی و منطقه‌ای خاص پروژه‌های بسیار بزرگ است که سرمایه‌گذاری توسط دولت انجام می‌شود و در محاسبات اقتصادی می‌بایست از قیمت‌های بین‌المللی (border price) استفاده شود. به‌عنوان مثال اگر سیمان مصرفی در محل به قیمت هر پاکت ۲۰۰۰۰ ریال خرید و فروش می‌شود اما همان سیمان در بازار بین‌المللی می‌تواند به قیمت کیسه‌ای ۱۵۰۰۰ ریال در مرز تحویل شود، بنابراین می‌بایست در محاسبات قیمت ۱۵۰۰۰ ریال برای آن در نظر گرفته شود. هم‌چنین اگر گندم تولیدی در محل به قیمت هر کیلو ۲۳۰۰ ریال خرید و فروش می‌شود اما قیمت آن در بازارهای بین‌المللی به قیمت هر کیلو ۲۰۰۰ ریال می‌باشد، باید در محاسبات برای گندم قیمت ۲۰۰۰ ریال را در نظر گرفت. تحلیل اقتصادی در هر دو مقیاس از نظر روش یکسان است، تنها تفاوت در این است که در مقیاس مزرعه هدف بالا بردن سطح درآمد زارع است اما در مقیاس ملی ممکن است جنبه‌های اجتماعی ارجح باشد.

۳-۳ بهینه‌سازی در مقیاس مزرعه

ظاهراً مسأله بهینه‌سازی در مقیاس مزرعه ساده‌تر از تحلیل اقتصادی در مقیاس ملی یا منطقه‌ای بوده و تنها کافی است که مهندس طراح هزینه‌ها و درآمدهای سیستم آبیاری را در نظر بگیرد. برای این منظور ابتدا هزینه‌ها و درآمد کل سیستم به عنوان توابعی از مقدار آبیاری سنجیده می‌شوند. مقدار آبیاری می‌تواند سطح زمین‌های آبیاری و یا ارتفاع آبی باشد که در فصل رشد به زراعت داده می‌شود.

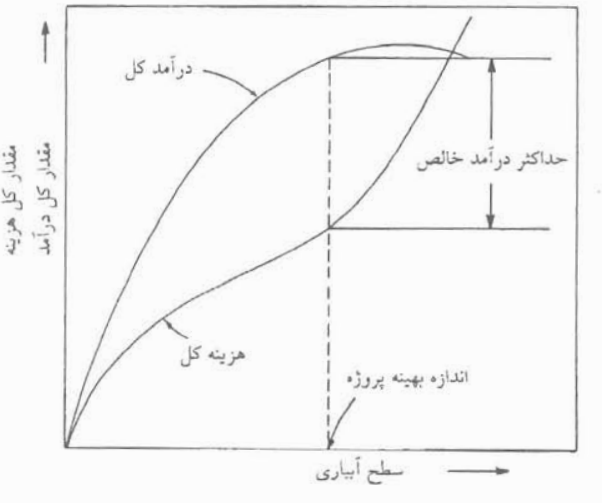
ساده‌ترین راه این است که منحنی تغییرات درآمد نسبت به سطح اراضی تحت آبیاری و نیز منحنی تغییرات هزینه‌ها نسبت به آبیاری این سطح در یک دستگاه محور مختصات رسم و مورد تحلیل قرار گیرد. نمونه‌ای از توابع یا منحنی‌های هزینه و درآمد کل طرح نسبت به سطح آبیاری در شکل ۳-۱ نشان داده شده است. اگر منحنی هزینه‌های کل را در نظر بگیریم مشاهده می‌شود که شیب منحنی در ابتدا زیاد است. این بدان معنی است که در هر طرح آبیاری هزینه‌های

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

سرمایه‌گذاری اولیه زیاد می‌باشد. این هزینه‌ها شامل تأسیساتی مانند حفر و تجهیز چاه‌های آب، خطوط آبرسانی و غیره است. با افزایش سطح آبیاری از شیب این منحنی کاسته می‌شود. زیرا با داشتن تاسیسات اولیه افزایش دادن سطح آبیاری هزینه کمتری دربردارد و فقط کافی است مثلاً هزینه‌های راهبری ایستگاه‌های پمپاژ پرداخت شود. با افزودن سطح آبیاری به نقطه‌ای می‌رسیم که از آن به بعد شیب منحنی هزینه دوباره تندتر می‌شود و این نشانه آن است که اگر باز هم بخواهیم سطح آبیاری افزایش یابد لازم است هزینه‌های زیادتری را جهت مدیریت، کارگر و یا خرید ماشین‌آلات بپردازیم و حتی ممکن است به جائی برسیم که مثلاً یک پمپ جوابگو نبوده و نیاز به خرید پمپ‌های جدید باشد. این قسمت از منحنی ممکن است اصولاً غیراقتصادی نیز باشد.

منحنی دیگری که در شکل ۳-۱ رسم شده است منحنی درآمدهای کل طرح به ازاء همان سطح آبیاری است. درآمد علی الاصول با افزایش سطح آبیاری افزایش می‌یابد. قسمت اول این منحنی نیز دارای شیب تند بوده و سپس درآمد به نقطه اوج خود می‌رسد که از آن به بعد اگر سطح آبیاری افزایش یابد درآمد کل حتی ممکن است تقلیل پیدا کند.

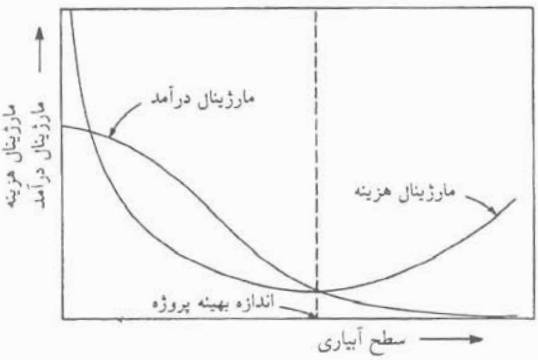
چنانچه دو منحنی درآمد و هزینه را با هم مقایسه کنیم ملاحظه می‌شود که فاصله دو منحنی از یکدیگر، که در واقع تفاوت درآمد و هزینه است، به‌تدریج افزایش یافته و در جای مشخصی به حداکثر خود رسیده و سپس دوباره این فاصله کاهش پیدا می‌کند. نقطه‌ای که این فاصله به حداکثر خود می‌رسد، نقطه‌ای است که طرح از نظر اندازه یا مقدار سطحی که آبیاری می‌شود، در حد بهینه خواهد بود. این نقطه در شکل ۳-۱ نیز نشان داده شده است. روش رسیدن



شکل ۳-۱ تیپ منحنی‌های هزینه و درآمد کل در یک طرح آبیاری

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

به نقطه بهینه در شکل ۳-۲ به‌صورت نموداری نشان داده شده است. اگر به ازاء مقادیر مختلف سطوح آبیاری در هر نقطه از منحنی درآمد یا هزینه مشتق تابع و یا شیب منحنی را به‌دست آوریم اصطلاحاً نقاط مارژینال درآمد یا هزینه به‌دست می‌آید. حال چنانچه مارژینال‌های درآمد و هزینه نسبت به سطح آبیاری در یک دستگاه مختصات رسم شود شکل شماره ۳-۲ حاصل می‌شود. نقطه‌ای که در آن مارژینال درآمد و مارژینال هزینه با یکدیگر برابر باشند اندازه بهینه پروژه خواهد بود. این نقطه همان نقطه‌ای است که در شکل ۳-۱ بالاترین درآمد را به‌دست می‌دهد. طرز استفاده از منحنی‌های درآمد و هزینه و مارژینال‌ها در مثال ۳-۱ روشن شده است.



شکل ۳-۲ مشخص کردن نقطه‌بهینه طرح با استفاده از رسم منحنی‌های مارژینال درآمد و هزینه

● مثال ۳-۱

در یک طرح آبیاری، مهندس طراح توابع درآمد و هزینه را به صورت زیر ارائه داده است:

$$B = 8.2 + 16.4\,(I) - 0.4(I)^2$$

$$C = -5.2 + 19.5\,(I) - 1.2\,(I)^2 + 0.03\,(I)^3$$

$$I \geq 3$$

در این فرمول‌ها I مقدار آب داده شده به هر هکتار بر حسب ۱۰۰۰ متر مکعب، B درآمد و C هزینه‌ها به واحد پول رایج که در اینجا مثلاً ۱۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است، می‌باشد.

الف) حساب‌کنیدنقطه‌بهینه‌آبیاری‌رابافرض این که آب و زمین محدودیت نداشته باشند.

ب) حداکثر درآمد را.

ج) درآمد خالص را.

padiab.com فروشگاه اینترنتی پادیاب

حل

ابتدا مارژینال درآمد و هزینه راکه مشتق توابع فوق هستند حساب می‌کنیم:

$$\frac{dB}{dI} = 16.4 - 0.8\,(I)$$

$$\frac{dC}{dI} = 19.5 - 2.4\,(I) + 0.09\,(I)^2$$

در نقطه بهینه، مارژینال درآمد و هزینه برابر است:

$$\frac{dB}{dI} = \frac{dC}{dI}$$

$$16.4 - 0.8\,(I) = 19.5 - 2.4\,(I) + 0.09\,(I)^2$$

$$0 = 3.1 - 1.6\,(I) + 0.09\,(I)^2$$

از این معادله I به‌دست می‌آید:

$$I = \frac{1.6 \pm \sqrt{(-1.6)^2 - 4(0.09)\,(3.1)}}{2(0.09)}$$

$$I = 15.6 \times 10^3\ m^3/ha$$

که تنها جواب مسئله به ازاء $I \geq 3$ می‌باشد. یعنی اگر برای هر هکتار زمین ۱۵/۶ هزار متر مکعب آب در نظر گرفته شود بالاترین مقدار درآمد حاصل خواهد شد. برای به‌دست آوردن حداکثر درآمد خواهیم داشت :

$$I = 15.6 \times 10^3\ m^3/ha$$

$$B = 8.2 + 16.4\,(15.6) - 0.4\,(15.6)^2 = 167$$

$$C = -5.2 + 19.5\,(15.6) - 1.2\,(15.6)^2 + 0.03(15.6)^3 = 121$$

درآمد خالص = B - C

درآمد خالص = 167 - 121 = 46

بنابراین درآمد خالص طرح از هر هکتار ۴۶۰۰۰ ریال خواهد بود.

۳-۴ ریاضیات تحلیل‌های اقتصادی

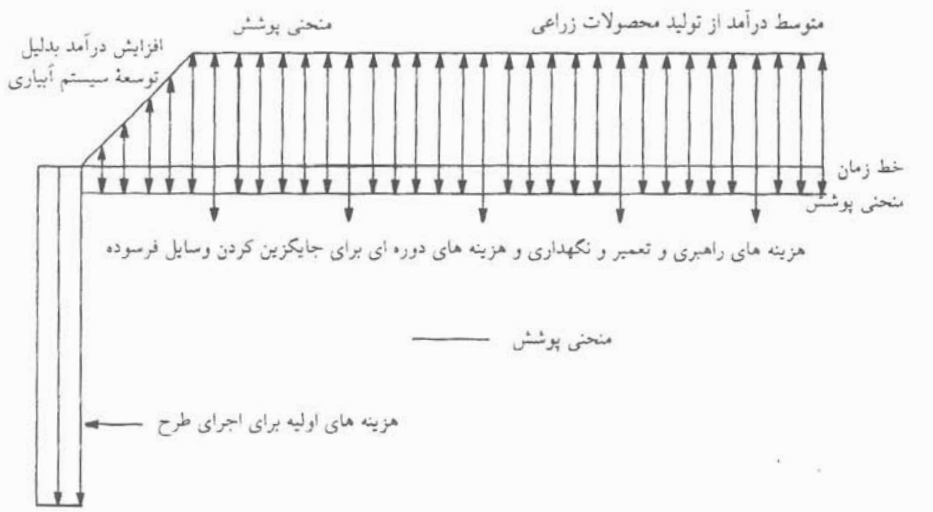
۳-۴-۱ نمودار جریان نقدینگی

برای آنکه بتوان گزینه‌های یک طرح آبیاری را با هم مقایسه نمود می‌بایست از یک سری فرمول‌ها و روابط ریاضی که بر اساس آنها نتایج گزینه‌ها به کمیت درآورده می‌شود استفاده کرد. این تحلیل ریاضی که معمولاً در طرح‌های آبیاری به‌کار برده می‌شود به نام نمودار **جریان نقدینگی** (cashflow diagram) معروف است که به روش‌های مختلف توصیف می‌شود.

در شکل ۳-۳ الگوی یک نمودار جریان نقدینگی نشان داده شده است. در نمودار جریان

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

نقدینگی واحد زمان، سال در نظر گرفته می‌شود که از شروع طرح مرتب افزایش می‌یابد و در شکل از چپ به راست امتداد داده شده است. درآمدها برای هر سال به‌صورت پیکان‌های رو به بالا و مخارج به‌صورت پیکان‌هائی که جهت آنها رو به پائین است نشان داده می‌شود. اندازه پیکان‌ها متناسب با مقادیر درآمد یا هزینه می‌باشد. مثلاً در شکل مشاهده می‌شود که ابتدا برای مدت ۲ سال بدون این که طرح درآمدی داشته باشد هزینه‌های زیادی خرج می‌شود این هزینه‌ها به‌صورت دو پیکان بلند رو به پایین مشخص شده‌اند. از سال سوم طرح اندکی درآمد دارد و این درآمد در سال‌های بعد افزایش می‌یابد. به‌طوری که تغییرات درآمد از انتهای سال سوم تا انتهای سال هفتم به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. افزایش درآمد در مدت این پنج سال به دلیل ایجاد سیستم آبیاری و زیر کشت رفتن تدریجی زراعت‌ها است. در همین مدت مخارج به‌طور ثابت و برابر هزینه‌ای است که هر سال برای راهبری سیستم به‌کار می‌رود. پیکانهای کوچک رو به پایین که از محور مربوط به زمان اخراج شده‌اند در مدت ۵ سال (سال سوم تا هفتم) نشان دهنده مخارج سالانه است. در این مثال فرض شده است که درآمد سالانه طرح از سال هفتم به بعد تثبیت شده و در سال‌های بعد یکنواخت است. اما در قسمت مخارج مشاهده می‌شود که در سال هشتم مخارج از هزینه‌های راهبری و تعمیر و نگهداری که در ۵ سال قبل معمول بود، زیادتر است. این هزینه به دلیل جایگزین کردن وسایل و ماشین آلات فرسوده است که از این به بعد هر ۶ سال یکبار تکرار شده است. **کل زمانی که تحلیل اقتصادی برای طرح انجام می‌شود عمر اقتصادی طرح نام دارد.**



شکل ۳-۳ تیپ نمودارهای جریان نقدینگی در یک طرح آبیاری

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

سؤالی که مطرح می‌شود این است که گزینه‌های مختلف یک طرح که هر کدام با یک دیاگرام جریان نقدینگی مشخص می‌شوند چگونه با همدیگر مقایسه شوند تا بتوان یکی از آنها را انتخاب کرد. مسلماً از طریق مشاهده عینی این مقایسه عملی نیست لذا باید فاکتورها یا ضرایب اقتصادی خاصی را ملاک قرار داد تا این مقایسه صورت پذیرد. برخی از این ضرایب عبارتند از:

۳-۴-۲ ضریب‌های پرداخت یکبار

همان‌طور که گفته شد با مشاهده نمودار جریان نقدینگی نمی‌توان هزینه‌ها را مقایسه کرد. برای این منظور فاکتورهای مختلفی را می‌بایست اعمال کرد که از جمله آنها ضرایب پرداخت یکبار است. این ضرایب برای مواردی به‌کار می‌رود که بخواهیم ارزش آتی یک مبلغ را که در حال حاضر خرج یا سرمایه‌گذاری می‌کنیم محاسبه نمائیم.

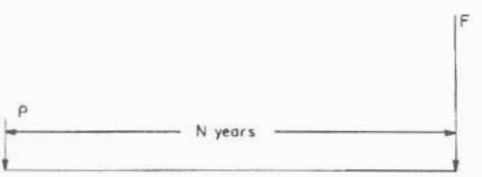
فرض کنید مبلغ P ریال برای مدت یک سال با نرخ بهره i سرمایه‌گذاری شود. در پایان سال مبلغ اولیه به اضافه بهره سالانه آن برابر خواهد بود با $P + iP$ که اگر از P فاکتور گرفته شود حاصل آن در پایان یک سال $P(1 + i)$ می‌باشد. حال اگر به‌جای برداشت پول، تمام این مبلغ دوباره سرمایه‌گذاری شود در پایان سال دوم مجموع اصل سرمایه یعنی $P(1 + i)$ و بهره آن که $P(1 + i)i$ می‌باشد برابر است با $[P(1 + i) + P(1 + i)i]$ که اگر از $P(1 + i)$ فاکتور بگیریم برابر خواهد بود با $P(1 + i)^2$، چنانچه این کار به مدت N سال ادامه یابد در آخر سال N ام اصل سرمایه و سود حاصله که به F نشان می‌دهیم، برابر $P(1 + i)^N$ می‌باشد. یعنی:

$$F = P(1 + i)^N \qquad (۱-۳)$$

در این فرمول N تعداد سال‌های سرمایه‌گذاری، i نرخ بهره، P مبلغ کنونی و F ارزش آینده می‌باشد. در فرمول فوق $(1 + i)^N$ را **ضریب تبدیل** می‌نامند که با ضرب کردن آن در مبلغ اولیه P که در ابتدای سال اول یا سال صفر پرداخت شده است، **ارزش آینده** آن در سال N ام به‌دست می‌آید و آن را با علامت $\left[\frac{F}{p}, i, N\right]$ نشان می‌دهند. یعنی:

$$\left[\frac{F}{p}, i, N\right] = (1 + i)^N = \frac{F}{p} \qquad (۲-۳)$$

بدین ترتیب با داشتن تعداد سال‌های سرمایه‌گذاری و نرخ بهره می‌توانیم ارزش آتی مبلغی را که در حال حاضر هزینه می‌کنیم به‌دست آوریم (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴ پرداخت یکباره وفاکتورهای ارزش کنونی

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

● مثال ۳-۲

چنانچه در حال حاضر مبلغ ۵ میلیون تومان در بانک سرمایه‌گذاری کنیم و نرخ بهره ۴ درصد باشد، پس از سه سال این مبلغ چقدر باید ارزش داشته باشد؟

حل

$$F = P \times (1 + i)^N$$

$$F = 5000000(1 + 0.04)^3$$

$$F = 5624320$$

حال اگر بخواهیم ارزش آینده مبلغ F را به زمان حال تبدیل کنیم، عکس حالت قبل خواهد بود. یعنی $F = P\ (1 + i)^N$ خواهد بود:

$$P = \frac{F}{(1 + i)^N} \qquad (۳-۳)$$

که در این فرمول $\frac{1}{(1 + i)^N}$ **ضریب تبدیل ارزش آینده به ارزش کنونی** است و به‌طور قراردادی به صورت $(\frac{P}{F}, i, N)$ نشان داده می‌شود. یعنی:

$$\left[\frac{P}{F}, i, N\right] = \frac{1}{(1 + i)^N} = \frac{P}{F} \qquad (۴-۳)$$

● مثال ۳-۳

اگر بخواهیم در چهار سال آینده (پایان سال چهارم)، مبلغ ۸۰۰۰ تومان در حساب پس انداز خود داشته باشیم با نرخ بهره سالانه ۵٪ امروز چه مبلغی را باید به حساب خود واریز کنیم؟

حل

$$P = F\left[\frac{1}{(1 + i)^N}\right]$$

$$P = 8000\left[\frac{1}{(1 + 0.05)^4}\right]$$

$$P = 6581 \text{ تومان}$$

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

۳-۴-۳ ضرایب سری‌های یکنواخت سالانه

گاهی اوقات با مواردی روبرو می‌شویم که پرداخت و دریافت به‌جای یکبار به صورت اقساط یکسان انجام می‌گیرد. مثلاً هزینه بهره‌برداری و نگهداری سالانه طرح‌ها ممکن است به صورت درصدی از سرمایه‌گذاری اولیه آنها در نظر گرفته شود و یا پرداخت وام‌ها به صورت اقساط برابر ماهانه یا سالانه انجام می‌شود. فرض کنید ۴ سال پیاپی در پایان هر سال مبلغ A ریال سرمایه‌گذاری کنیم و نرخ بهره i درصد باشد. بدین ترتیب ۴ مبلغ مساوی در پایان هر سال داریم ولی جمع سرمایه و سود در پایان سال چهارم برابر است با مجموع سود و سرمایه حاصله از هر سال:

$$F = A(1+i)^3 + A(1+i)^2 + A(1+i) + A \qquad (۵-۳)$$

اگر این کار را برای مدت N سال انجام دهیم فرمول کلی به‌صورت زیر خواهد بود:

$$F = A(1+i)^{N-1} + \ldots + A(1+i)^3 + A(1+i)^2 + A(1+i) + A \qquad (۶-۳)$$

$$F = A(1+i)^{N-1} + \ldots + A(1+i)^3 + A(1+i)^2 + A(1+i) + A(1+i)^0 \qquad (۷-۳)$$

چنانچه طرفین این معادله را در $(1+i)$ ضرب کنیم:

$$F(1+i) = A(1+i)^N + \ldots + A(1+i)^4 + A(1+i)^3 + A(1+i)^2 + A(1+i) \qquad (۸-۳)$$

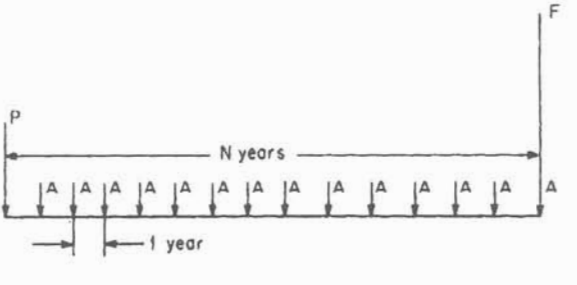
و اگر در طرف راست معادله از A فاکتور بگیریم، خواهیم داشت:

$$F(1+i) = A[(1+i)^N + \ldots + (1+i)^4 + (1+i)^3 + (1+i)^2 + (1+i)] \qquad (۹-۳)$$

چنانچه طرفین معادله‌های ۳-۶ و ۳-۹ را از همدیگر کسر کنیم، خواهیم داشت:

$$F = A\left\{\frac{[(1+i)^N - 1]}{i}\right\} \qquad (۱۰-۳)$$

فرمول فوق را فرمول **ضریب مرکب سری یکنواخت** گویند و به‌صورت $[\frac{F}{A}, i, N]$ نشان می‌دهند. بنابراین اگر مبلغ پرداخت سالانه را بدانیم این مبلغ در پایان N سال از فرمول بالا به‌دست می‌آید. با توجه به شکل ۳-۵ می‌توان چند نوع پرداخت را در نظر گرفت که عبارتند از:



شکل ۳-۵ پرداخت با اقساط مساوی

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

(الف) ضریب پرداخت منظم سالانه (sinking - fund factor) ضریب پرداخت منظم سالانه هنگامی به‌کار برده می‌شود که بخواهیم مقدار سرمایه‌گذاری سالانه لازم (A) را برای این که در N سال آینده مجموعاً F ریال داشته باشیم، به‌دست آوریم. در صورتی که نرخ بهره سالانه i درصد باشد براساس فرمول‌های فوق این ضریب به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$[\frac{A}{F}, i, N] = \frac{i}{(1 + i)^N - 1} = \frac{A}{F} \qquad (۱۱-۳)$$

● **مثال ۳-۴**

شخصی در قسط‌های مساوی در پایان هر سال ۵ هزار تومان به حساب پس‌انداز خود واریز می‌کندونرخ‌بهره‌سالانه۹درصد است. در پایان ۵ سال چه مبلغ در حساب پس انداز او باید باشد؟

حل

$$F = A[\frac{(1 + i)^N - 1}{i}]$$

$$F = 5000[\frac{(1 + 0.09)^5 - 1}{0.09}]$$

$$F = 29924 \text{ تومان}$$

● **مثال ۳-۵**

یک زارع می‌خواهد قطعه زمینی که قیمت آن در پایان سال ۱۰۰ هزار تومان است بخرد. اگر نرخ بهره ماهانه ۵ در هزار باشد که ماهانه مرکب شود، در پایان سال برای این هدف زارع هر ماه چند تومان باید پس‌انداز کند؟

حل

در این مسأله $F = 100000$ ، $N = 12$ ، $i = 0.005$ و A مجموع سرمایه و سود در آخر سال است:

$$\frac{A}{F} = \frac{i}{(1 + i)^N - 1}$$

$$A = 100{,}000\ [\frac{0.005}{(1 + 0.005)^{12} - 1}] = 8106$$

یعنی زارع باید هر ماه ۸۱۰۶ تومان پس‌انداز کند تا در آخر سال بتواند بهاء این قطعه زمین راکه ۱۰۰,۰۰۰ تومان است، پرداخت نماید.

چنانچه در فرمول ۳-۱۱ به جای F مقدار آن را از فرمول ۳-۱ یعنی عبارت $P(1 + i)^N$ را قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$\frac{A}{P(1 + i)^N} = \frac{i}{(1 + i)^N - 1} \qquad (۱۲-۳)$$

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

$$\frac{A}{P} = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \qquad (۱۳-۳)$$

که به‌صورت زیر نیز نمایش داه می‌شود:

$$[\frac{A}{P}, i, N] = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} = \frac{A}{P} \qquad (۱۴-۳)$$

با استفاده از این فرمول می‌توان ارزش کنونی یا مبلغی را که در زمان حال سرمایه‌گذاری می‌کنیم به پرداخت‌ها یا اقساط یکنواخت تبدیل کرد. عبارت $\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$ **ضریب برگشت سرمایه** نام دارد که باید سالانه پرداخت گردد تا معادل مبلغ یک تومان کنونی شود.

● **مثال ۳- ۶**

زارعی معادل ۵۰ هزار تومان برای مدت ۵ سال در بانک سرمایه‌گذاری می‌کند و نرخ بهره‌سالانه ۹ درصد است از پایان سال اول، سالانه چه مبلغ می‌تواند از حساب خود بردارد؟

حل

$P = 50000 , N= 5 , i = 0.09 , A = ?$

$$A = P[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}]$$

$$A = 50000[\frac{0.09\ (1+0.09)^5}{(1+0.09)^5 - 1}]$$

$A = 12854$ تومان

(ب) مبلغ مرکب سری یکنواخت چنانچه پرداخت منظم سالانه را عکس کنیم در واقع مبلغی (F) را که در N سال آینده موجود خواهد بود، (پس از آنکه سالانه به اندازه A با بهره i درصد سرمایه‌گذاری شود) به‌دست می‌دهد که فرمول آن به‌صورت زیر است:

$$[\frac{F}{A}, i, N] = \frac{(1+i)^N - 1}{i} = \frac{F}{A} \qquad (۱۵-۳)$$

ارزش کنونی اقساط سالانه اگر فرمول برگشت سرمایه $A = P\ [\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}]$ را برای P حل کنیم، ارزش کنونی اقساط سالانه به‌دست می‌آید:

$$[\frac{P}{A}, i, N] = \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} = \frac{P}{A} \qquad (۱۶-۳)$$

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

● مثال ۳-۷

یک شرکت کشاورزی قراردادی برای خرید یک دستگاه ماشین در اختیار دارد که شامل پرداخت ۱۴۰۰ تومان در پایان هر ماه به مدت ۵۰ ماه می‌باشد و پرداخت قسط اول از یک ماه دیگر آغاز می‌شود. این شرکت پیشنهاد فروش این قرارداد را به مبلغ ۶۸ هزار تومان نقد به شما می‌دهد، اگر نرخ بهره ماهانه یک درصد باشد آیا این پیشنهاد را خواهید پذیرفت؟

حل

پیشنهاد عبارت است از پرداخت ماهانه ۱۴۰۰ تومان به مدت ۵۰ ماه. می‌خواهیم بدانیم اگر نرخ بهره ماهانه ۱ درصد باشد آیا خرید آن به مبلغ ۶۸ هزار تومان ارزشمند است یا نه؟ از فرمول ارزش کنونی اقساط سالانه استفاده می‌کنیم:

$$\frac{P}{A} = \frac{(1 + i)^N - 1}{i(1 + i)^N}$$

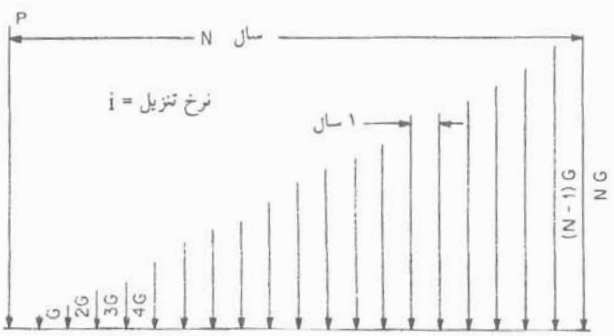
$$P = A\frac{(1 + i)^N - 1}{i\,(1 + i)^N}$$

$$P = 1400\left[\frac{(1 + 0.01)^{50} - 1}{0.01\,(1 + 0.01)^{50}}\right] = 54874$$

بنابراین روشن است که اگر مبلغ پیشنهادی ۶۸ هزار تومان را بپذیریم دریافتی ما کمتر از نرخ ماهانه ۱ درصد خواهد بود و به همین دلیل باید پیشنهاد را رد کنیم.

۳-۴-۴ ضرایب سری‌های متغیر یکنواخت

در بعضی موارد اقساط سالانه در مسائل جریان نقدینگی مساوی نیستند و به‌تدریج تغییر می‌کنند. چنانچه به شکل ۳-۶ توجه نمائید مقادیری که هر سال باید با نرخ بهره i سرمایه‌گذاری شود تا پس از N سال به اندازه F گردد، نشان داده شده است.



شکل ۳-۶ نمایش گرافیکی مفهوم سری‌های متغیر یکنواخت

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

مبلغ سرمایه‌گذاری شده در سال اول G، در سال دوم 2G و در سال Nام به‌مقدار NG می‌باشد. با توجه به این شکل اگر ضریب پرداخت یکبار را برای هر یک از سرمایه‌گذاری‌های سالانه به‌طور جداگانه حساب نموده و با هم جمع کنیم مقدار تجمعی مبلغ سرمایه‌گذاری شده پس از آخرین پرداخت به شرح زیر به‌دست می‌آید:

$$F = GN + G(N - 1)(1 + i)+...+ 2G (1 +i)^{N-2}+G(1 +i)^{N-1} \qquad (۱۷-۳)$$

$$F = G[N+ (N -1)(1 +i)+... + 2(1 +i)^{N-2} +(1 + i)^{n-1}] \qquad (۱۸-۳)$$

طرفین این معادله را در 1 + i ضرب می‌کنیم:

$$F(1 + i) = G [N(1 + i) + (N - 1)(1 + i)^2+ ... + 2(1 + i)^{N-1}+(1 + i)^N] \qquad (۱۹-۳)$$

طرفین دو معادله ۳-۱۹ و ۳-۱۸ را از یکدیگر کسر می‌کنیم، نتیجه عبارت خواهد بود از:

$$iF = G[-N +(1 + i)+... + (1 +i)^{N-1}+ (1 + i)^N] \qquad (۲۰-۳)$$

بار دیگر طرفین این معادله را در (1 + i) ضرب می‌کنیم:

$$(1 + i)\, iF = G[-N(1 + i) + (1 + i)^2+... + (1 + i)^N + (1 + i)^{N+1}] \qquad (۲۱-۳)$$

دو معادله بالا را جزء به جزء از همدیگر کسر می‌کنیم که نتیجه آن عبارت است از:

$$i^2F = G[N - N(1 + i) - (1 + i) + (1 + i)^{N+1}] \qquad (۲۲-۳)$$

از مرتب کردن این معادله فرمول زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{F}{G} = \frac{1}{i^2}[(1 + i)^{N+1}-(1 + Ni + i)] \qquad (۲۳-۳)$$

معادله فوق فرمول سری **پرداخت متغیر یکنواخت** است که با عبارت زیر نشان داده می‌شود:

$$[\frac{F}{G}, i, N] = \frac{(1 + i)^{N+1}- (1 + Ni + i)}{i^2} = \frac{F}{G} \qquad (۲۴-۳)$$

۳-۴-۵ ضریب ارزش کنونی در سری‌های متغیر

این ضریب در هنگامی به‌کار برده می‌شود که بخواهیم بدانیم چقدر با نرخ بهره i باید سرمایه‌گذاری کرد (P) تا بتوان هر سال مقدار متغیر یکنواخت G را برداشت نمود. با در نظر گرفتن فرمول سری پرداخت متغیر یکنواخت این ضریب برابر است با:

$$\frac{P}{G} = \frac{P}{F} \times \frac{F}{G} \qquad (۲۵-۳)$$

$$[\frac{P}{G}, i, N] = \frac{(1 +i)^{N+1}- (1 +Ni + i)}{i^2(1 + i)^N} = \frac{P}{G} \qquad (۲۶-۳)$$

۳-۴-۶ معادل سری‌های سالانه

تبدیل سری‌های متغیر به معادل سری‌های سالانه از ترکیب معادله ارزش کنونی سری متغیر

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

یکنواخت و ضریب برگشت سرمایه به‌دست می‌آید یعنی:

$$\frac{A}{G} = \frac{A}{P} \times \frac{P}{G} \qquad (۲۷-۳)$$

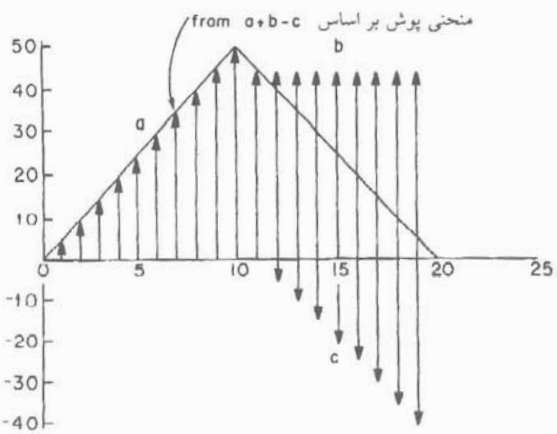
$$[\frac{A}{G}, i, N] = \frac{[i(1 + i)^N][(1 + i)^{N+1} - (1 + Ni + i)]}{[(1 + i)^N - 1][i^2(1 + i)^N]} = \frac{A}{G} \qquad (۲۸-۳)$$

۳-۴-۷ سری‌های متغیر یکنواخت نزولی

آنچه تا به حال گفته‌شد سری‌های متغیر یکنواخت صعودی بودند. سری‌های متغیر یکنواخت نزولی از کسر کردن سری‌متغیر صعودی از سری سالانه یکنواخت به‌دست می‌آید. در شکل ۳-۷ نمودار جریان نقدینگی برای چنین حالتی نشان داده شده است. در این شکل یک سری متغیر یکنواخت افزایشی برای مدت ۱۰ سال اول وجود دارد که با حرف a نشان داده شده است و سپس یک سری یکنواخت نزولی برای ۱۰ سال بعدی نشان داده شده است. این سری نزولی از کسرنمودن سری متغیر c از سری یکنواخت سالانه b به‌دست آمده است که نتیجه آن مثلث نمودار جریان‌نقدینگی است که محصور بین منحنی‌های پوش است که تمام مقادیر آن مثبت می‌باشند.

● **مثال ۳-۸**

یک پمپ ۲۵ اسب بخاری به ارزش ۱۶۰۰۰۰ تومان دارای عمر اقتصادی ۱۵ سال است و فرض می‌شود که پس از اسقاط شدن هیچ گونه ارزشی نداشته باشد. هزینه سالانه این پمپ با بهره ۱۴ درصد چقدر است؟



شکل ۳-۷ دیاگرام جریان نقدینگی با سری متغیر نزولی

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

حل

$$[\frac{A}{P}, 14\%, 15 \text{ year}] = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

$$\frac{A}{P} = \frac{0.14(1+0.14)^{15}}{(1+0.14)^{15} - 1}$$

$$\frac{A}{P} = 0.1628$$

$$A = 0.1628 \times 160000 = 26049$$

● مثال ۳-۹

فرض کنید در سؤال قبل ارزش اسقاطی پمپ در آخر ۱۵ سال معادل ۳۰ درصد قیمت خرید باشد. در این وضعیت هزینه سالانه چقدر است؟

حل

$$F = 0.3 \times 160000 = 48000 \text{ تومان}$$

$$A = [\frac{A}{P}, 14\%, 15\text{year}]160000 - [\frac{A}{F}, 14\%, 15\text{year}]48000$$

$$A = 0.1628(160000) - \frac{0.14}{(1+0.14)^{15} - 1}(48000)$$

$$A = 26049 - 0.0228\ (48000) = 24954$$

● مثال ۳-۱۰

همراه با پمپ مورد بحث در مثال قبل لوله‌های ۱۲۷ میلی متری (۵ اینچی) آلومینیومی نیز به قیمت ۳۰۰۰۰۰ تومان خریداری شده است که عمر اقتصادی آن‌ها ۳۰ سال و ارزش اسقاطی آن‌ها ۲۰ درصد قیمت خرید است. با توجه به نرخ بهره ۱۴ درصد برای ۱۵ سال اول هزینه سالانه چقدر است؟

حل

برای لوله:

$$F = 0.2 \times 300000 = 60000$$

$$A = [\frac{A}{P}, 14\%, 30 \text{ year}]\ 300000 - [\frac{A}{F}, 14\%, 30 \text{ year}]\ 60000$$

$$A = 0.1428(300000) - 0.0028(60000)$$

$$A = 42841 - 168 = 42673$$

برای کل سیستم در ۱۵ سال اول:

$$A = 24954 + 42673 = 67627$$

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

● مثال ۳-۱۱

در مثال قبل برای راهبری سیستم پس از ۱۵ سال یک پمپ جدید باید خریداری شود. قیمت پمپ جدید در ۱۵ سال بعد ۱۹۰۰۰۰ تومان و ارزش اسقاطی آن پس از ۱۵ سال کار ۳۰ درصد قیمت خرید است. با این وضعیت برای ۳۰ سال هزینه جدید سالانه چقدر است؟

حل

در ابتدا ارزش کنونی قیمت خرید و ارزش اسقاطی دو پمپ را حساب می‌کنیم. سپس از ضریب برگشت سرمایه استفاده کرده و معادل سالانه ارزش خالص کنونی را در ۳۰ سال حساب می‌کنیم. ارزش خالص کنونی اولین پمپ عبارت است از:

$$P_1 = 160000 - [\frac{P}{F}, 14\%, 15year][0.30(160000)]$$

$$[\frac{P}{F}, 14\%, 15year] = \frac{1}{(1 + 0.14)^{15}} = 0.1401$$

$$P_1 = 160000 - 0.14(48000) = 153280$$

و ارزش کنونی برای پمپ دوم عبارت است از:

$$F = 0.3(190000) = 57000$$

$$P_2 = 190000\ [\frac{P}{F}, 14\%, 15\ year] - 57000\ [\frac{P}{F}, 14\%, 30\ year]$$

$$[\frac{P}{F}, 14\%, 30\ year] = \frac{1}{(1 + 0.14)^{30}} = 0.0196$$

$$P_2 = 190000(0.1401) - 57000(0.0196) = 25500$$

$$P_T = P_1 + P_2$$

$$P_T = 153280 + 25500$$

$$P_T = 178780$$

هزینه معادل سالانه پمپ‌ها در ۳۰ سال برابر است با:

$$A = 178780\ [\frac{A}{P}, 14\%, 30\ year]$$

$$[\frac{A}{P}, 14\%, 30\ year] = \frac{0.14(1 + 0.14)^{30}}{(1 + 0.14)^{30} - 1} = 0.1428$$

$$A = 178780\ (0.1428) = 25529$$

هزینه سالانه پمپ و خط لوله در ۳۰ سال (با استفاده از نتایج مثال قبل) عبارت است از:

$$A_T = 25529 + 42673 = 68202$$

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

۳-۵ هزینه‌های سیستم آبیاری

یکی از پارامترهای مهم در تحلیل‌های اقتصادی سیستم آبیاری تعیین هزینه‌ها در گزینه‌های مختلف است. این داده‌ها باید در گزارش مهندس طراح وجود داشته باشد تا کارفرما ازآن اطلاع پیدا نماید. در طرح‌هائی که برای اخذ وام به بانک‌ها ارائه می‌شود نیز لازم است هزینه‌های سیستم آبیاری قید شود. هزینه‌های یک سیستم آبیاری شامل **هزینه‌های ثابت** (fixed cost) و **هزینه‌های غیر ثابت یا راهبری** (operating cost) است.

هزینه‌های ثابت معمولاً مستقل از وسعت سیستم آبیاری است، مانند هزینه‌های استهلاک و بهره سالانه و بیمه و مالیات. استهلاک یعنی کاهش ارزش اجزاء سیستم در اثر گذشت زمان و از بین رفتن آنها. برخی اجزاء سیستم که عمر مشخصی ندارند (مانند حقابه‌ها یا زمین) فاقد استهلاک هستند اما برای اجزائی که عمر معین دارند بین قیمت اولیه و اسقاطی آنها تفاوت وجود دارد. قیمت اولیه اجزاء از روی قیمت‌های بازار و یا قیمت اجزاء مشابه قابل تخمین است اما قیمت اسقاطی که در انتهای طرح برای اجزاء سیستم خواهیم داشت ممکن است مثبت، صفر و یا منفی باشد، یعنی حتی خارج کردن آن‌ها از محل نیز مستلزم صرف هزینه می‌باشد که در این‌صورت منفی در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۳-۳ طول عمر مفید برخی اجزاء سیستم آبیاری و هزینه‌های سالانه راهبری و تعمیر آنها بر حسب درصدی از قیمت اولیه ارائه شده است.

جدول ۳-۳ طول عمر اقتصادی و هزینه‌های سالانه راهبری و تعیین آنها

اجزاء سیستم آبیاری	طول عمر (سال)	هزینه‌های سالانه راهبری و تعمیرات (٪نسبت‌به‌قیمت اولیه)
لوله جدار چاه	20-30	0.5-1.5
الکتروموتور	25-35	1.5-2.5
پمپ	16-25	5-7
موتوردیزلی	14	5-8
کانال روباز خاکی	20-25	1-2
کانال روباز بتونی	20-40	0.5-1.0
لوله آزبست	40	0.25-0.75
لوله آلومینیومی	10-12	1.5-2.5
لوله‌فولادی(زیرزمین)	20-25	0.5-0.75
لوله‌آلومینیومی آبیاری‌بارانی	15	1.5-2.5
لوله پلاستیک ویلی‌اتیلنی	10	1.5-2.4
آبپاش‌های آبیاری بارانی	8	5-8
قطره چکان‌ها	8	5-8
فیلترهای آبیاری قطره‌ای	12-15	6-9
لوله‌های‌چرخدارآبیاری‌بارانی (دستگاه‌های متحرک دستی‌آبیاری‌بارانی)	10-15	5-6

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

هزینه بهره مربوط به مبلغی است که اگر به‌جای سرمایه‌گذاری در طرح آبیاری در بانک پس‌انداز می‌شد به‌عنوان سود به آن تعلق می‌گرفت. این هزینه‌ها بستگی به مقررات ارزی و پولی کشور داشته و نرخ آن از بانک‌ها قابل دریافت است. برای محاسبه هزینه‌های سالانه استهلاک و بهره می‌توان از فرمول زیر استفاده کرد:

$$ADIC = (CRF) \sum_{J=1}^{NC} (PW)_j \qquad (۲۹-۳)$$

$$CRF = \frac{(i)\ (1 + i)^{AP}}{(1 + i)^{AP} - 1} \qquad (۳۰-۳)$$

که در آن:

ADIC = هزینه‌های سالانه استهلاک و بهره.

CRF = ضریب برگشت سرمایه

NC = تعداد اجزاء سیستم آبیاری که برای آنها محاسبات انجام می‌شود.

PW_j = ارزش کنونی هر کدام از اجزاء سیستم

i =نرخ بهره (اعشار)

AP = تعداد سال‌هائی که تحلیل اقتصادی برای آن صورت می‌گیرد.

تحلیل‌های اقتصادی سیستم‌های آبیاری در طرح‌های کوچک برای مدت ۲۰ تا ۲۵ سال و در طرح‌های بزرگ برای مدت ۵۰ سال محاسبه می‌گردد. ارزش کنونی (PW) برای حالتی که عمر طرح مساوی عمر جزء مورد مطالعه می‌باشد، از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$PW = IC - SV \left(\frac{1 + r}{1 + i}\right)^{AP} \qquad (۳۱-۳)$$

که در آن:

PW = ارزش کنونی جزء مورد نظر (ریال)

IC = ارزش اولیه جزء مورد نظر (ریال)

SV = ارزش اسقاطی جزء مورد نظر (ریال)

r = نرخ تورم (اعشار)

i = نرخ بهره (اعشار)

AP = تعداد سال‌هائی که تحلیل اقتصادی برای آن صورت می‌گیرد (سال)

قسمت دوم معادله فوق ارزش کنونی جزء اسقاط شده در انتهای عمر پروژه با در نظر گرفتن نرخ تورم است. اگر مدت تحلیل اقتصادی کوتاهتر از عمر اقتصادی اجزاء طرح باشد در این صورت جزء مورد نظر در انتهای طرح کاملاً اسقاط نشده است لذا در این وضعیت ارزش اسقاطی (SV_f) برابر است با مجموع ارزش جزء اسقاط نشده به اضافه ارزش اسقاطی آن. برای محاسبه SV_f از فرمول ذیل استفاده می‌شود:

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

$$SV_f = IC - (IC - SV)\frac{AP}{UL} \qquad (۳۲-۳)$$

که UL عمر مفید جزء مورد نظر است. در صورتی AP کوچکتر از UL باشد در این صورت PW از معادله ۳-۳۱ محاسبه می‌شود که در آن SV و SV_f برابر در نظر گرفته می‌شوند ($SV = SV_f$). در وضعیتی که AP بزرگتر از UL باشد لازم خواهد بود که در طول دوره طرح جزء مورد نظر یک یا چند بار تعویض شود. در این صورت از معادله زیر استفاده خواهد شد:

$$PW = IC + (IC - SV)\left[\sum_{J=1}^{N}\left(\frac{1+r}{1+i}\right)^{(J)(UL)}\right] - Z\left(\frac{1+r}{1+i}\right)^{AP} \qquad (۳۳-۳)$$

$$N = \text{intger}\ \frac{AP - 1}{UL} \qquad (۳۴-۳)$$

$$Z = IC - (IC - SV)\left[\frac{AP - (N)(UL)}{UL}\right] \qquad (۳۵-۳)$$

در فرمول فوق N جزء صحیح عدد حاصله از نسبت (AP - 1)/UL می‌باشد. قسمت‌های دوم و سوم به ترتیب ارزش کنونی جزء تعویض شده و ارزش اسقاطی نهائی (مشتمل بر ارزش اسقاط نشده آن) می‌باشد. در مثال زیر طرز محاسبه هزینه استهلاک و بهره نشان داده شده است.

● **مثال ۳-۱۲**

در یک طرح آبیاری قیمت اولیه و اسقاطی پمپ و موتور و لوله‌ها به شرح زیر است (ارقام بر حسب واحد پولی مورد نظر نوشته شده‌اند).

اقلام	قیمت‌اولیه (واحدپولی)	قیمت اسقاطی (واحدپولی)
پمپ	۲۰۰۰	۲۰۰
موتور	۱۰۰۰	۱۵۰
لوله	۶۵۰۰	۶۵۰

می‌خواهیم هزینه‌های سالانه استهلاک و بهره را به ازاء بهره ۱۰ درصد، و نرخ تورم ۵ درصد برای عمر ۳۰ ساله طرح به‌دست آوریم.

حل

با توجه به ارقام جدول ۳-۳:

عمر پمپ = ۲۰ سال و عمر طرح ۳۰ سال (UL<AP)

عمر موتور = ۳۰ سال و عمر طرح ۳۰ سال (UL = AP)

عمر لوله = ۴۰ سال و عمر طرح ۳۰ سال (UL>AP)

ارزش کنونی پمپ عبارت است از:

AP = 30

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

$$UL = 20$$

$$AP > UL$$

$$N = \text{integer}\ \frac{AP - 1}{UL} = \frac{30 - 1}{20} = 1$$

$$Z = IC - (IC - SV)\left(\frac{AP - (N)(UL)}{UL}\right)$$

$$Z = 2000 - (2000 - 200)\left(\frac{30 - (1)(20)}{20}\right) = 1100$$

$$PW = IC + (IC - SV)\left[\sum_{J=1}^{N}\left(\frac{1 + r}{1 + i}\right)^{(J)(UL)}\right] - Z\left(\frac{1 + r}{1 + i}\right)^{AP}$$

$$PW = 2000 + (2000 - 200)\left(\frac{1 + 0.05}{1 + 0.10}\right)^{20} - 1100\left(\frac{1 + 0.05}{1 + 0.10}\right)^{30}$$

$$PW = 2437$$

ارزش کنونی موتور:

$$AP = UL = 30$$

$$PW = IC - SV\left(\frac{1 + r}{1 + i}\right)^{AP}$$

$$PW = 1000 - 150\left(\frac{1 + 0.05}{1 + 0.10}\right)^{30} = 963$$

ارزش کنونی لوله:

$$AP < UL$$

$$SV_f = IC - (IC - SV)\frac{AP}{UL}$$

$$SV_f = 6500 - (6500 - 650)\frac{30}{40} = 2113$$

$$PW = IC - SV\left(\frac{1 + r}{1 + i}\right)^{AP}$$

$$PW = 6500 - 2113\left(\frac{1 + 0.05}{1 + 0.10}\right)^{30} = 5977$$

حال هزینه سالانه استهلاک و بهره را به‌دست می‌آوریم:

$$ADIC = CRF \sum_{J=1}^{N} PW_j$$

$$CRF = \frac{(i)(1 + i)^{AP}}{(1 + i)^{AP} - 1}$$

$$ADIC = \left[\frac{(0.10)(1 + 0.10)^{30}}{(1 + 0.10)^{30} - 1}\right](2437 + 963 + 5977) = 995$$

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

یعنی در این طرح باید هر سال مبلغ ۹۹۵ ریال به‌عنوان هزینه سرمایه‌گذاری، استهلاک و بهره سرمایه را در نظر بگیریم.

علاوه بر هزینه بهره و استهلاک مبلغی به‌عنوان هزینه‌های بیمه و مالیات سالیانه نیز در نظر گرفته می‌شود که با توجه به متغیر بودن در سال‌های مختلف معمولاً مقدار آن ۱/۵ تا ۲/۵ درصد قیمت اولیه سیستم آبیاری در نظر گرفته می‌شود. مثلاً در مثال فوق که جمع قیمت اولیه پمپ و موتور و لوله‌ها ۹۵۰۰ می‌باشد، اگر ۲ درصد آن را هزینه سالیانه بیمه و مالیات در نظر بگیریم مقدار آن ۱۹۰ خواهد بود که در این صورت جمع هزینه‌های سالیانه بهره و استهلاک و بیمه و مالیات ۱۱۸۵=۱۹۰+۹۹۵ خواهد بود.

هزینه‌های راهبری سیستم شامل قیمت آب (اگر در طرح لازم باشد که آب با پرداخت آب بهاء تامین شود)، سوخت و انرژی، نگهداری، تعمیرات و کارگر می‌باشد. در این مورد نیز قیمت هزینه‌های راهبری را در سال اول در نظر گرفته و سپس با اعمال ضریب معادل هزینه‌های سالانه (Equivalent Annual Cost Factor, EACF) اثر تورم در آن لحاظ می‌شود. ضریب EACF عبارت است از:

$$EACF = [\frac{(1 + r)^{AP} - (1 + i)^{AP}}{(r - i)}][\frac{i}{(1 + i)^{AP} - 1}] \qquad (۳۶-۳)$$

قیمت سالانه سوخت و انرژی باید بر اساس مقدار انرژی که در سیستم صرف استخراج و انتقال آب با پمپ می‌شود و یا در سیستم‌های آبیاری تحت فشار به مصرف می‌رسد، محاسبه گردد. هزینه‌های نگهداری و تعمیرات وسایل نیز به‌عنوان درصدی از قیمت اولیه جزء مورد نظر که در جدول ۳-۳ نوشته شده است در نظر گرفته می‌شود. از نظر هزینه‌های کارگری باید سیستم‌های مشابه را در نظر گرفته و دستمزد کارگران ساده و ماهر را متناسب با کاری که انجام می‌دهند محاسبه کرده و با اعمال ضریب اصلاحی اثر تورم و بهره را نیز لحاظ نمود.

● **مثال ۳-۱۳**

باتوجه‌به‌مثال‌قبل اگر قیمت‌سوخت ۰/۰۵ واحدپولی(S)به‌ازاءهرکیلووات‌ساعت (kwh)بوده و نرخ تورم در طول دوره عمر طرح سالانه ۱۲ درصد باشد و جمع مقدار انرژی مصرفی در طول سال ۱۷۵۰۰ کیلو وات ساعت محاسبه شده باشد بدون توجه به قیمت آب و دستمزد کارگرها هزینه‌های راهبری سیستم را محاسبه کنید. (نرخ بهره را ۱۰ درصد در نظر بگیرید).

حل

- هزینه‌های سالانه استهلاک و بهره(از مثال ۳-۱۲) = 995

padiab.com فروشگاه اینترنتی پادیاب

- هزینه‌های بیمه و مالیات بر اساس ۲ درصد قیمت اولیه = 190 زیرا:

$(0.02)(\$2000 + \$1000 + \$6500) = 190$

- قیمت انرژی مصرفی $(\$0.05/kWh)\ (17500\ kWh)\ (EACF)$

$$EACF = \left[\frac{(1 + 0.12)^{30} - (1 + 0.10)^{30}}{0.12 - 0.10}\right]\left[\frac{0.10}{(1 + 0.10)^{30} - 1}\right]$$

$EACF = 3.8$

- هزینه انرژی مصرفی $(\$0.05/kWh)\ (17500\ kWh)\ (3.8) = 3325$

نگهداری و تعمیرات

- هزینه‌تعمیرات‌ونگهداری سالانه پمپ بر اساس ۶ درصد قیمت اولیه $(0.06)(\$2000) = 120$
- هزینه‌تعمیرات‌ونگهداری‌سالیانه‌موتوربراساس۲درصد قیمت اولیه $(0.02)(\$1000)=20$
- هزینه تعمیرات و نگهداری لوله‌ها بر اساس ۰/۵ درصد قیمت اولیه $(0.005)(\$6500)=33$

جمع کل هزینه‌های سالیانه راهبری و تعمیرات 4683

بنابراین جمع کل هزینه‌های بهره و استهلاک و راهبری و تعمیرات این سیستم $4683 می‌باشد (۴۶۸۳ = ۳۳ + ۲۰ + ۱۲۰ + ۳۳۲۵ + ۱۹۰ + ۹۹۵) . به‌عبارت دیگر از درآمدهای آتی مزرعه باید این مبلغ راکسر نمود تا سود حاصل از سیستم محاسبه گردد.

برنامه کامپیوتری

عملیات تحلیل‌های اقتصادی را در پروژه‌های آبیاری می‌توان کامپیوتری نمود. به‌عنوان مثال در زیر برنامه‌ای را مشاهده می‌کنید که با آن محاسبات عملیات پرداخت‌های یکبار و ارزش کنونی قابل محاسبه است.

الف) این برنامه را تایپ و مسائل ۳-۲ و ۳-۳ را با آن حل کنید سپس برنامه اصلی را اصلاح نموده و زیر روالی بر آن بنویسید که بتواند محاسبات مبلغ مرکب سری یکنواخت و برگشت سرمایه را انجام دهد.

ب) برنامه اصلی را اصلاح نموده و زیر روالی بر آن بنویسید که محاسبات سری‌های متغیر یکنواخت و ارزش کنونی در این سری‌ها را انجام دهد.

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب


```
10 REM ##########################################################################
20 REM #####                                                                ####
30 REM #####            ECONOMIC ANALYSIS - MAIN PROGRAM                    ####
40 REM #####                                                                ####
50 REM ##########################################################################
60 REM
70 CLS
80 PRINT
90 PRINT
100 PRINT "SELECT ECONOMIC ANALYSIS OPTION: "
110 PRINT
120 PRINT "      1 = SINGLE PAYMENT COMPOUND-AMOUNT FACTOR (F/P)"
130 PRINT
140 PRINT "      2 = SINGLE PAYMENT PRESENT-WORTH FACTOR (P/F)"
150 PRINT
160 INPUT "ENTER NUMBER OF OPTION REQUIRED = ", OPTID
170 PRINT
180 INPUT "TIME HORIZON OF ANALYSIS (YEARS) = ", NYEAR
190 PRINT
200 INPUT "INTEREST RATE (PERCENT) = ", INTER
210 IF OPTID = 1 THEN GOSUB 1000
220 IF OPTID = 2 THEN GOSUB 2000
230 PRINT
240 INPUT "DO YOU WANT TO PERFORM ADDITIONAL ANALYSIS (Y/N) = ", ANAL$
250 IF ANAL$ = "Y" OR ANAL$ = "y" GOTO 70
260 END
1000 REM
1010 REM ##########################################################################
1020 REM #####                                                                ####
1030 REM #####      SINGLE PAYMENT COMPOUND-AMOUNT FACTOR SUBROUTINE          ####
1040 REM #####                                                                ####
1050 REM ##########################################################################
1060 PRINT
1070 INPUT "INPUT PRESENT PAYMENT (P) = ", P
1080 FACTOR = (1! + INTER/100!)^NYEAR
1090 F = FACTOR * P
1100 CLS
1110 PRINT
1120 PRINT "SINGLE PAYMENT COMPOUND-AMOUNT ANALYSIS"
1130 PRINT
1140 PRINT USING "      N = ### YEARS"; NYEAR
1150 PRINT
1160 PRINT USING "      I = ###.## PERCENT"; INTER
1170 PRINT
1180 PRINT USING "      P = ######"; P
1190 PRINT
1200 PRINT USING "      F/P FACTOR = ######.######"; FACTOR
1210 PRINT
1220 PRINT USING "      FUTURE VALUE (F) = ##########"; F
1230 RETURN
2000 REM
2010 REM ##########################################################################
2020 REM #####                                                                ####
2030 REM #####      SINGLE PAYMENT PRESENT-WORTH FACTOR SUBROUTINE            ####
2040 REM #####                                                                ####
2050 REM ##########################################################################
2060 PRINT
2070 INPUT "INPUT FUTURE AMOUNT (F) = ", F
2080 FACTOR = 1!/(1! + INTER/100!)^NYEAR
2090 P = FACTOR * F
2100 CLS
2110 PRINT
2120 PRINT "SINGLE PAYMENT PRESENT-WORTH ANALYSIS"
2130 PRINT
2140 PRINT USING "      N = ### YEARS"; NYEAR
2150 PRINT
2160 PRINT USING "      I = ###.## PERCENT"; INTER
2170 PRINT
2180 PRINT USING "      F = ######"; F
2190 PRINT
2200 PRINT USING "      P/F FACTOR = ######.######"; FACTOR
2210 PRINT
2220 PRINT USING "      PRESENT AMOUNT (P) = ##########"; P
2230 RETURN
```

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

مسائل

۳-۱ ارقام‌جداول زیر مربوط به هزینه و درآمد دو محصول چغندرقند و لوبیا می‌باشد. مقدار آبی که در اختیار زارع قرار می‌گیرد در صورت انتخاب هر کدام از زراعت‌ها یکسان است.

الف) رابطه بین مقدار آب و محصول را برای هر کدام از گیاهان فوق رسم کرده و از بین نقاط بهترین منحنی را برازش دهید.

ب) اگر رابطه درآمد با عوامل موثر بر آن برای هر کدام از زراعت‌ها به‌صورت زیر باشد:

$P = CP(Y) - FPC - WC(WU) - VHC(Y)$

میزان‌درآمدرا به ازاء مقدار مختلف مصرف آب محاسبه کرده و نتایج را به‌صورت جدول ارائه کنید.

در معادله فوق:

P = مقدار درآمد ($/ha)

CP = قیمت محصول ($/unit weight)

Y = مقدار محصول (unit weight/ha)

FPC = هزینه‌های ثابت اولیه ($/ha)

WC = قیمت آب ($/$m^3$)

WU = مقدار آب مصرفی (m^3/ha)

VHC = هزینه‌های متغیر ($/unit Weight)

ج) رابطه بین درآمد و آب مصرفی را برای هر کدام از زراعت‌ها رسم کرده و از بین نقاط بهترین منحنی را رسم کنید.

د) اگر مقدار آب محدود نباشد چنانچه زارع بخواهد تمام مزرعه را لوبیا به‌کارد بهترین مقدار آب مصرفی کدام است، اگر بخواهد تمام زمین را چغندر به‌کارد بهترین مقدار آبیاری کدام خواهد بود؟

(جواب: ۶۶ و ۷۱ سانتی‌متر)

ه) چنانچه قیمت محصولات در هر سال متغیر بوده و زارع در یک سال با خشکسالی مواجه گردد و تنها ۴۰/۶ سانتی‌متر آب برای آبیاری در اختیار داشته باشد کشت کدام زراعت به نفع او خواهد بود؟ حساب کنید قبل از آنکه زارع گیاه دیگر را برای کشت انتخاب نماید قیمت محصول چقدر باید کاهش یابد؟

(جواب: لوبیا ($0.062/kg))

و) اگر مقدار آب برای آبیاری به ۶۱ سانتی‌متر برسد کشت کدام زراعت به صرفه خواهد بود. حساب کنید قیمت محصول چقدر باید افزایش یابد تا زارع آن گیاه را برای کشت انتخاب کند. (جواب : $2/kg)

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

هزینه‌ها

هزینه و قیمت محصول	چغندرقند	لوبیا
هزینه‌های ثابت ($/ha)	581	467
شامل هزینه‌های کاشت و داشت		
هزینه‌های متغیر ($/ha)		
آب ($/$m^3$)	0.0146	0.0146
هزینه برداشت $(unit Weight)	5.90/t	0.027/kg
قیمت محصول ($/unit Weight)	27.40/t	0.465/kg

آب مصرفی و محصول تولیدی

چغندرقند		لوبیا	
آب مصرفی (cm)	محصول t/ha	آب مصرفی (cm)	محصول (kg/ha)
25.4	25.9	15.2	1202
30.5	28.1	20.3	1272
35.6	30.5	30.5	1403
40.6	31.4	40.6	1494
45.7	32.5	45.7	1530
50.8	33.5	50.8	1560
55.9	34.3	55.9	1586
61.0	34.8	61.0	1607
66.0	35.4	66.0	1622
71.1	35.8	71.1	1641
76.2	36.6	76.2	1654
81.3	36.2	81.3	1662
86.4	36.3	86.4	1672
91.4	36.4	91.4	1679
96.5	36.5		
101.6	36.5		
106.7	36.5		
111.8	36.5		
116.8	36.5		
121.9	36.5		

حل

الف) چغندرقند

هزینه‌های ثابت 581 $/ha

هزینه‌های متغیر

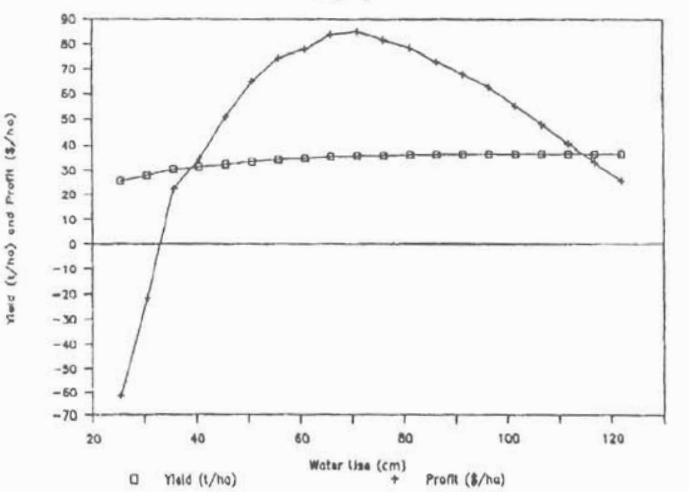
فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

- آب $0.0146 \$/m^3$
- برداشت $5.90 \$/t$

قیمت محصول $27.40 \$/t$

مقدارآب مصرفی (cm)	محصول تولیدی (t/ha)	منافع ($/ha)
25.4	25.9	-61.2
30.5	28.1	-21.4
35.6	30.5	22.8
40.6	31.4	34.8
45.7	32.5	51.0
50.8	33.5	65.1
55.9	34.3	74.8
61.0	34.8	78.1
66.0	35.4	83.7
71.1	35.8	84.9
76.2	36.0	94.6
81.3	36.2	78.6
86.4	36.3	73.3
91.4	36.4	68.2
96.5	36.5	62.9
101.6	36.5	55.4
106.7	36.5	48.0
111.8	36.5	36.2
116.8	36.5	33.2
121.9	36.5	25.8

چغندر قند

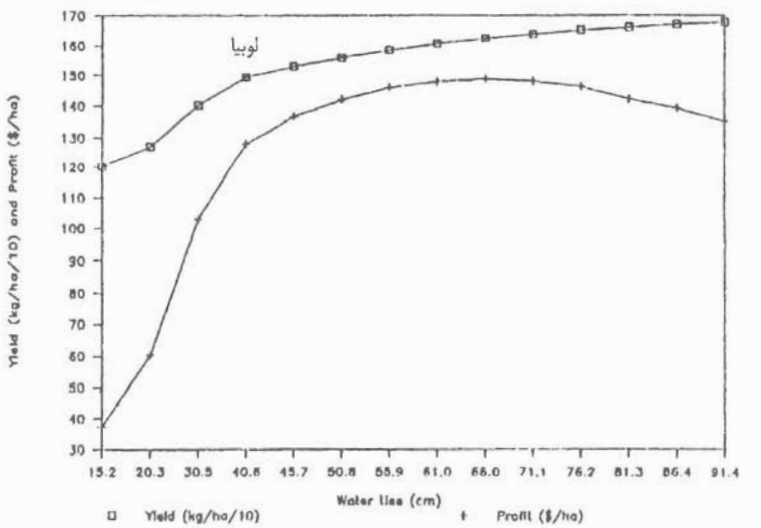


padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

ب) لوبیا

هزینه‌های ثابت	467 $/ha
هزینه‌های متغیر	
- آب	0.0146 $/m^3
- برداشت	0.027 $/kg
قیمت محصول	0.465 $/kg

مقدارآب مصرفی (cm)	محصول تولیدی (t/ha)	منافع ($/ha)
15.2	1202	37.3
20.3	1272	60.5
30.5	1403	103.0
40.6	1494	128.1
45.7	1530	136.4
50.8	1560	142.1
55.9	1586	146.1
61.0	1607	147.8
66.0	1626	147.1
71.1	1641	148.0
76.2	1654	146.2
81.3	1662	142.3
86.4	1672	139.2
91.4	1679	135.0



در شکل‌های فوق مشاهده می‌شود که برای چغندر بالاترین درآمد در مقدار آبیاری ۶۶ و در مورد لوبیا در مقدار آبیاری ۷۱ سانتی‌متر حاصل می‌شود.

padiab.com فروشگاه اینترنتی پادیاب

۲-۳ یک زارع برای خرید تجهیزات پمپ جهت توسعه سیستم آبیاری خود در ۱۵ سال آینده دو انتخاب پیش رو دارد:

الف) یک پمپ را امروز به قیمت $3000 بخرد و سپس در ۱۵ سال آینده پمپ دیگری را به قیمت $5500 خریداری و جایگزین آن کند.

ب) یک پمپ را امروز به قیمت $2400 بخرد و ۱۰ سال بعد آن را با پمپ دیگری به قیمت $3200 جایگزین نماید و در سال ۱۵ یک پمپ اضافی به قیمت $4100 بخرد. فرض کنید هزینه‌های راهبری سیستم برای گزینه الف و ب مساوی است، قیمت اسقاطی پمپ‌ها قابل صرف‌نظرکردن است، عمر پروژه ۳۰ سال و نرخ بهره سرمایه ۱۱ درصد می‌باشد. برای آنکه هزینه‌های سالانه در پروژه حداقل باشد کدام گزینه را پیشنهاد خواهید کرد؟(جواب الف $477/y و جواب ب $504/y : لذا گزینه اول)

حل

$N = 30 \text{ years}, \quad i = 11\%, \quad \text{Salvage} = 0$

a) $P_{1a} = 3000 \qquad P_{2a} = (\frac{P}{F}, 15\text{year}, 11\%)(5500)$

$$P_{2a} = \frac{1}{(1+0.11)^{15}} = (5500)$$

$$P_{2a} = (0.20900)\ (5500) \quad = 1150$$

$$P_{Ta} = 3000 + 1150 = 4150$$

$$A_a = (\frac{A}{p}, 30\text{ year}, 11\%)P_{Ta}$$

$$A_a = \frac{0.11(1 + 0.11)^{30}}{(1 + 0.11)^{30} - 1}\ (4150) = 0.11502\ (4150) = 477/\text{year}$$

b) $P_{1b} = 2400 \qquad P_{2b} = (\frac{P}{F}, 10\text{ year}, 11\%)\ (3200)$

$$P_{2b} = \frac{1}{(1+0.11)^{10}}\ (3200)$$

$$P_{2b} = 0.35218\ (3200) = 1127$$

$$P_{3b} = (\frac{P}{F}, 15\text{ year}, 11\%)(4100) = (0.20900)\ (4100) = 857$$

$$P_{Tb} = 2400 + 1127 + 857 = 4384$$

$$A_b = (0.11502)\ (4384) = 504/\text{year}$$

۳-۳ درآمد مورد انتظار از یک گیاه زراعی به‌صورت زیر می‌باشد.

$$B = 200 + 610\ (I) - 6(I)^2$$

که در آن B مقدار درآمد ($) و I عمق آبیاری (cm) است. هزینه کل آب آبیاری $200 به ازاء هر سانتی‌متر آب می‌باشد. عمق آبیاری قابل توصیه برای اینکه حداکثر محصول

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

عاید شود چقدر است.(جواب: ۳۴/۱ سانتی‌متر)

۴-۳ در یک سیستم آبیاری شیب منحنی هزینه نسبت به مقدار آبیاری در سطوح مختلف آبیاری تغییر می‌کند به اختصار سه دلیل عمده برای این موضوع را بیان کنید.

۵-۳ دو گزینه از پمپ و لوله برای انتقال آب به یک سیستم آبیاری پیش روست و در هر دو گزینه مقدار محصول یکسان است. هزینه راهبری، هزینه اولیه و قیمت اسقاطی در انتهای سال ۲۰ در جدول زیر ارائه شده است. اگر نرخ بهره ۱۲ درصد و عمر پروژه ۲۰ سال باشد کدام گزینه را انتخاب خواهید کرد.(جواب گزینه B)

پارامتر	گزینه A		گزینه B	
	هزینه	درصد قیمت اسقاطی (%)	هزینه	درصد قیمت اسقاطی (%)
پمپ	$2500	50	$1900	40
لوله	$8500	40	$10800	30
راهبری	$2200/year		$1800/year	

حل

راه حل بر اساس حداقل هزینه سالانه

$i = 12\%$ $N = 20$ year

$P'_{1A} = 2500$ $F_{1A} = 0.50\ (2500) = 1250$

$$P''_{1A} = \left(\frac{P}{F}, 20 \text{ year}, 12\%\right) 1256$$

$$P''_{1A} = \frac{1}{(1 + 0.12)^{20}}\ (1250)$$

$$P''_{1A} = (0.10367)(1250) = 130$$

$P'_{2A} = 8500$ $F_{2A} = 0.40\ (8500) = 3400$

$$P''_{2A} = (0.10367)(3400) = 352$$

بر اساس هزینه خواهیم داشت:

$$P_{TA} = P'_{1A} - P''_{2A} + P'_{2A} - P''_{2A}$$

$$P_{TA} = 2500 - 130 + 8500 - 352 = 10518$$

$$A'_A = \left(\frac{A}{P}, 20 \text{ year}, 12\%\right) P_{TA} = \frac{0.12\ (1 + 0.12)^{20}}{(1 + 0.12)^{20} - 1}\ (10518)$$

$$A'_A = 0.13388\ (10518) = 1408/\text{year}$$

padiab.com
فروشگاه اینترنتی پادیاب

$A_{TA} = A'_A + 2200/year = 1408 + 2200 = 3608/year$

$P'_{1B} = 1906 \qquad F_{1B} = 0.40\ (1900) = 760$

$P''_{1B} = (0.10367)(760) = 79$

$P'_{2B} = 10800 \qquad F_{2B} = 0.30(10800) = 3240$

$P''_{2B} = (0.10367)(3240) = 336$

بر اساس مقدار هزینه

$P_{TB} = 1900 - 79 + 10800 - 336 = 12285$

$A'_B = 0.13388\ (12285) = 1645/year$

$A_{TB} = 1645/year + 1800/year = 3445/year$

بنابراین گزینه B حداقل هزینه سالانه را خواهد داشت.

ب) راه حل بر اساس حداقل ارزش کنونی

$$P_{op\text{-}A} = (\frac{P}{A}, 20\ year, 12\%)A_{op\text{-}A} = \frac{(1+i)^N}{i(1+i)^N}$$

$$P_{op\text{-}A} = \frac{(1.12)^{20} - 1}{0.12\ (1.12)^{20}}\ (2200/year) = 7.46944\ (2200/year) = 16433$$

بر اساس هزینه‌ها:

$P'_{TA} = P_{TA} + P_{op\text{-}A} = 10518 + 16433 = 26951$

بر اساس هزینه‌ها:

$P_{op\text{-}B} = (\frac{P}{A}, 20\ year, 12\%)A_{op\text{-}B} = 7.46944\ (1800/year)$

$P_{op\text{-}B} = 13445$

$P'_{TB} = P_{TB} + P_{op\text{-}B} = 12285 + 13445 = 25730$

لذا گزینه B حداقل هزینه را در بردارد.

۶-۳ یک مهندس آبیاری درآمد (B) و مخارج (C) مربوط به یک زراعت را نسبت به مقدار آبیاری (I) بررسی نموده و توابع درآمد و هزینه را به‌صورت زیر به‌دست آورده است:

$B = 5(I) - (I)^{1.5}$, $C = 5(I) - 2(I)^2 + (I)^{2.2I}$

که در آن B و C به ترتیب درآمد و هزینه و I مقدار آبی است که مصرف خواهد کرد.

الف) درآمد و هزینه‌های زارع را به ازاء مقادیر آبیاری ۲، ۵، ۸، ۱۱ و ۱۵ به‌دست آورید.

ب) مقدار بهینه آبیاری را با روش‌های آزمون و خطا مانند روش نیوتن محاسبه کنید.

ج) حداکثر درآمد زارع با استفاده از مقدار بهینه آبیاری چقدر خواهد بود؟

فروشگاه اینترنتی پادیاب padiab.com

حل

مقدار آبیاری	درآمد کل (B)	هزینه‌های کل (C)	درآمد خالص (NB)
2	7.17	6.63	0.54
5	13.82	10.05	3.77
8	17.37	11.04	6.33
11	18.52	13.21	5.31
15	16.91	22.34	-5.43

به ازاء مقدار آبیاری I=8 بالاترین درآمد خالص حاصل می‌شود.

ب)

$$\frac{dB}{dI} = 5 - 1.5\,(I)^{0.5}$$

$$\frac{dC}{dI} = 5 - 4(I) + 2.21\,(I)^{1.21}$$

$$\frac{dB}{dI} = \frac{dC}{dI}$$

$$5 - 1.5\,(I)^{0.5} = 5 - 4\,(I) + 2.21\,(I)^{1.21}$$

$$0 = 2.21\,(I)^{1.21} - 4\,I + 1.5\,(I)^{0.5}$$

با استفاده از روش نیوتن

$$f(t) = 0 = 2.21(I)^{1.21} - 4(I) + 1.5\,(I)^{0.5}$$

$$f'(I) = 2.674\,(I)^{0.21} - 4 + 0.75\,(I)^{-0.5}$$

در روش نیوتن آزمون ها با استفاده از فرمول زیر می‌باشد.

$$I_{n+1} = I_n - \frac{f(I_n)}{f'(I_n)}$$

آزمون اول $I_n = 7$

I_n	I_{n+1}
7	9.448
9.448	8.918
8.918	8.894
8.864	8.893

بنابراین I=8.9 جواب مسأله خواهد بود.

ج) درآمد خالص (NB) به ازاء I=8.9 عبارت است از:

$$NB = B - C$$

$$NB = 5I - (I)^{1.5} - [5I - 2(I)^2 + (I)^{2.21}]$$

$$NB = 2(I)^2 - (I)^{1.5} - (I)^{2.21}$$

$$NB_{max} = 6.51$$