م

دستورالعملهای کم آبیاری

گروه کار آب مورد نیاز گیاهان

خرداد ماه ۱۳۷۵

بسمه تعالی

دستورالعملهای کم آبیاری

گروه کار آب مورد نیاز گیاهان
و مدیریت محصولات زراعی
کمیته ملی آبیاری و زهکشی

نشریه شماره ۲۵

جمع آوری، ترجمه و تدوین
توسط:

دکتر جمشید خیرابی — مهندس علیرضا توکلی

مهندس محمدرضا انتصاری — مهندس علیرضا سلامت

خرداد ماه ۱۳۷۵

نام کتاب : دستورالعملهای کم‌آبیاری
(نشریه شماره ۲ گروه کار آب موردنیاز گیاهان و مدیریت محصولات زراعی کمیته ملی آبیاری و زهکشی)
جمع‌آوری ، ترجمه و تدوین : اعضاء گروه کار
ناشر : کمیته ملی آبیاری و زهکشی
تیراژ : ۱۰۰۰ نسخه
چاپ اول : ۱۳۷۵
چاپ : سازمان چاپ رشدیه
حروفچینی : دفتر فنی آب وزارت نیرو
لیتوگرافی : سازمان چاپ رشدیه

حق چاپ برای دفتر فنی آب وزارت نیرو محفوظ است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
سخن رئیس شورایعالی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران	۱
مقدمه سرپرست گروه آب مورد نیاز گیاهان ومدیریت محصولات زراعی	۳
۱- اصول برنامه‌ریزی آبیاری	
۱۰۱- مقدمه	۱۳
۱۰۲- بیلان آب خاک	۱۶
۱۰۲۰۱- ظرفیت ذخیره آب درمحوطه ریشه‌ها	۱۱
۱۰۲۰۲- عمق توسعه ریشه‌ها	۱۸
۱۰۲۰۳- تبخیر تعرق کشت	۲۶
۱۰۲۰۴- جریان آب بسمت بالا (خیزآب)	۳۵
۱۰۲۰۵- سایر مولفه‌های بیلان آب خاک	۳۸
۱۰۲۰۶- برنامه‌ریزی براساس بیلان آب خاک	۴۱
۱۰۲۰۷- برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط بارندگیهای متغیر	۴۸
۱۰۲۰۸- ضریب عدم اطمینان بیلان آب خاک	۵۵
۱۰۳- پیش‌بینی موقع آبیاری (گاه آبیاری)	۵۸

عنوان	صفحه

۱۰۳۰۱- مدیریت تخلیه مجاز رطوبت خاک MAD ۵۹

۱۰۳۰۲- پتانسیل آب خاک ۵۹

۱۰۳۰۳- پتانسیل آب برگ ۶۲

۱۰۳۰۴- آبیاری با تواتر بالا ۶۵

۱۰۳۰۵- شاخص استرس ۶۷

۱۰۳۰۶- کاربرد مدل زمان واقعی رشد محصول ۷۱

۱۰۴- اثر شوری در برنامه ریزی آبیاری ۷۳

۱۰۴۰۱- نیاز به آبشوئی جهت کنترل شوری خاک ۷۳

۱۰۴۰۲- توصیه‌های برنامه ریزی برای کنترل شوری ۷۵

۱۰۵- روشهای برنامه ریزی ۷۹

۱۰۵۰۱- روشهای مشاهده و کنترل (Monitoring Methods) ۷۹

۱۰۵۰۲- روش‌های "تکمیل فرم بیلان آب خاک" ۸۲

۱۰۵۰۳- برنامه ریزی کامپیوتری ۸۳

۱۰۵۰۴- برنامه ریزی بلندمدت برای طراحی ۸۸

۱۰۵۰۵- پیش‌بینی آخرین آبیاری ۹۰

۱۰۶- مشکلات برنامه ریزی آبیاری (Scheduling Problems) ۹۱

۱۰۶۰۱- سیستم آبیاری باجیره سنگین ۹۱

عنوان	صفحه

۱۰۶۰۲- بارندگیهای بیموقع و یا پراکنده (غیر یکنواخت) ۹۳

۱۰۶۰۳- ناهمگنی واحدهای زراعی ۹۵

۱۰۶۰۴- مدیریت سیستمهای آبیاری در شرایط برق غیردائم (برق نوبتی) ۹۷

۱۰۶۰۵- برنامه ریزی تامین و تحویل آب ۹۸

۱۰۶۰۶- محدودیت ظرفیت سیستم آبیاری ۱۰۰

۱۰۷- نیازمندیهای تحقیقاتی ۱۰۲

۱۰۸- خلاصه و نتیجه ۱۰۵

فهرست منابع و مآخذ ۱۰۶

۲- کم آبیاری ۱۱۱

۲۰۱- تعاریف و مفاهیم ۱۱۱

۲۰۱۰۱ - تولید محصول تحت شرایط کم آبیاری ۱۱۲

۲۰۱۰۲ - تحلیل اقتصادی کم آبیاری ۱۱۳

۲۰۱۰۳- عدم اطمینان ۱۱۹

۲۰۲ تجربه باکم‌آبیاری ۱۲۱

۲۰۳ بهینه‌سازی آبیاری بااستفاده از روابط ریاضی ۱۲۵

عنوان	صفحه

۲۰۴	خاکها، محصولات و عملیات زراعی	۱۲۹
	۲۰۴۰۱- انتخاب محصولات	۱۲۹
	۲۰۴۰۲- خاکهای مناسب	۱۳۰
	۲۰۴۰۳- عملیات زراعی	۱۳۲
۲۰۵-	طراحی استفاده از آب	۱۳۴
	۲۰۵۰۱- ظرفیت سیستم آبیاری	۱۳۴
	۲۰۵۰۲- زمان کم آبیاری	۱۳۶
۲۰۶	برنامه ریزی آبیاری	۱۴۳
	۲۰۶۰۱- استفاده از میزان آب خاک در برنامه‌ریزی کم‌آبیاری	۱۴۵
	۲۰۶۰۲- شاخصهای تنش برای تشخیص زمان آبیاری	۱۴۷
	۲۰۶۰۳- الگوریتمهای مورد استفاده در برنامه ریزی آبیاری	۱۵۰
۲۰۷	تکنیکهای آبیاری	۱۵۴
	۲۰۷۰۱ -کاهش میزان آبیاری	۱۵۵
	۲۰۷۰۲ - ظرفیت نگهداری آب	۱۵۹
	۲۰۷۰۳ - آبیاری زودتر از موعد	۱۶۰
	۲۰۷۰۴ - تناوب آبیاری: (فرکانس = تواتر = تعدد و تعداد دفعات آبیاری)	۱۶۰
۲۰۸	آبیاری سطحی	۱۶۳

عنوان	صفحه

۲۰۸۰۱- آبیاری یک در میان فاروها ۱۶۳

۲۰۸۰۲-کاهش یا حذف رواناب مزرعه ۱۶۸

۲۰۸۰۳- درجات مختلف آبیاری از دیم کاری تا کم آبیاری (LID)و آبیاری کامل ۱۶۹

۲۰۸۰۴-کم آبیاری با سیستم آبیاری قطره‌ای و آبیاری زیرزمینی پاریزی ۱۷۱

فهرست منابع و مآخذ ۱۷۳

۳- توابع "مصرف آب - عملکرد" و بهینه سازی کم آبیاری ۱۸۱

۳۰۱ - مقدمه ۱۸۱

۳۰۲ - روشهای تعیین تبخیر تعرق ۱۸۶

۳۰۳- مدل های ریاضی ۱۸۸

۳۰۳۰۱ - مدل پیشنهادی FAO - 33 ۱۸۸

۳۰۳۰۲ -مدل توانی تبخیر تعرق ۱۹۴

۳۰۳۰۳ - مدل جنسن (Jensen, 1967) ۱۹۵

۳۰۳۰۴ - مدل مین‌هاس و همکاران(Minhas. et,al,1974) ۱۹۶

۳۰۳۰۵ - مدل انگلیش وهمکاران (English, et,al, 1990) ۱۹۶

۳۰۳۰۶ - مدل کامپیوتری هانکس (Hanks, 1974) ۲۱۲

منابع و مآخذ ۲۱۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱۰۱- آب قابل استفاده برای بافت‌های مختلف خاک(میلیمترآب دریک متر عمق خاک) ۲۰

جدول ۱۰۲- عمق موثر ریشه برای گیاهان درمرحله رشد کامل ۲۳

جدول ۱۰۳- قسمتی از سطح خاک که در هر سیستم و روش آبیاری مرطوب می‌گردد. ۳۱

جدول ۱۰۴- عامل کاهش تبخیر از سطح خاک مرطوب $F(t)$ ، زمان خشک شدن (t_d)،
و فاکتور پایداری و مقاومت(P_f) برای خاکهائی بابافتهای مختلف ۳۳

جدول ۱۰۵- حدود راندمان کاربرد برای روشها و سیستم‌های مختلف آبیاری ۴۰

جدول ۱۰۶- نمونه محاسبه زودترین و دیرترین تاریخ آبیاری ۵۰

جدول ۱۰۷- تخمین تخلیه مجاز آب قابل دسترس درمنطقه توسعه ریشه‌ها ۶۱

جدول ۱۰۸- مقدار تقریبی آستانه پتانسیل آب برگ، که در آن تبخیر تعرق،
فتوسنتز خالص و عملکرد کشت محدود می‌گردد. ۶۴

جدول ۱۰۹- نمونه " فرم کار" (Worksheet) جهت تعیین آب موردنیاز
برای باقیمانده فصل آبیاری ۹۳

جدول ۲۰۱- مراحل بحرانی و دوره‌های فعال گیاهی (مقاطع ممنوعه برای کم آبیاری) ۱۳۶

جدول ۲۰۲- شاخصهائی از فاکتور "تنش -روز" ۱۵۲

جدول ۲۰۳- راندمانهای کاربرد شبیه سازی شده و مفروض ۱۵۸

عنوان	صفحه

جدول ۲۰۴- نتایج آزمایشات مربوط به کم آبیاری با درجات مختلف

(از دیم تا آبیاری کامل) ۱۷۰

جدول ۳۰۱- میزان تبخیر تعرق و عملکرد درتیمارهای مختلف آرایش لوله‌های آبده ۱۹۰

جدول ۳۰۲ - هزینه های ثابت و متغیر تولید در هکتار (برحسب دلارآمریکا) ۲۰۵

جدول ۳۰۳- رابطه بین عملکرد ، هزینه و سود خالص با آب مصرفی ۲۱۱

فهرست شکلها

عنوان **صفحه**

شکل ۱۰۱- دیاگرام بیلان آب خاک درمنطقه توسعه ریشه‌ها ۱۶

شکل ۱۰۲- روش‌های متداول برای مشخص نمودن عمق توسعه ریشه‌ها برای گیاهان یک ساله ۲۴

شکل ۱۰۳- نمونه‌ای از منحنی ضریب گیاهی برای یک کشت یکساله ۲۸

شکل ۱۰۴- نمونه‌ای از توابع بمنظور کاهش میزان آب مصرفی گیاه بر اساس تنش آبی ۲۹

شکل ۱۰۵- انحراف معیار تبخیر تعرق (ET) متوسط، برای متوسط فواصل زمانی ۳۶

شکل ۱۰۶- میزان خیزموئینه‌ای از یک سفره آب تحت شرایط ماندگار ۳۷

شکل ۱۰۷- نمایش زمان قابل قبول (و فاصله مناسب) آبیاری براساس وضعیت آب خاک ۴۲

شکل۱۰۸- نمایش دورآبیاری واثرآن روی‌تخلیه‌رطوبت‌خاک‌درنقطه شروع و خاتمه دور آبیاری ۴۷

شکل ۱۰۹- نمایش زودترین و دیرترین تاریخ آبیاری برای یک سیستم باجیره آبیاری ۲۵ میلیمتر
و باتخلیه مجاز ۷۵ میلیمتر، دور آبیاری دراین مثال سه روز فرض شده است. ۴۸

شکل ۱۰۱۰- تعیین زودترین و دیرترین تاریخ برای چند آبیاری متوالی ۵۱

شکل ۱۰۱۱- برنامه تیپ برای سیستم‌های سنترپیوت ۵۲

شکل ۱۰۱۲- مثالی از استفاده از بارندگی برای به حداقل رساندن آبشوئی ۵۳

شکل ۱۰۱۳- تخلیه مورد انتظار (موردنظر) رطوبت خاک و فواصل آبیاری با
ضریب اطمینان ۹۵٪ همراه‌بابرنامه‌ریزی ودرشرایط انجام‌مشاهده (Monitornig) در ۳۰ ژوئن ۵۷

عنوان	صفحه

شکل ۱۰۱۴ - منحنی نگهداری آب (مقادیر متوسط) برای بافتهای مختلف خاک ۶۰

شکل ۱۰۱۵ - رژیم رطوبت خاک، نشانگر آبیاری باتواتر زیاد و با روش " جبران بخشی از تبخیر تعرق "که ازیک برنامه تخلیه رطوبت خاک بدست آمده است. ۶۶

شکل ۱۰۱۶ - استفاده از اندازه‌گیریهای قبلی رطوبت خاک جهت برنامه ریزی آبیاری ۸۰

شکل ۱۰۱۷ - نمونه‌ای از "فرم کنترل بیلان آب" در یک برنامه ریزی آبیاری ۸۴

شکل ۱۰۱۸ - نمونه‌ای از برنامه ریزی آبیاری با روش آبیاری بارانی و با دستگاه دوار مرکزی (سنترپیوت) ۸۶

شکل ۱۰۱۹ - نمونه‌ای از برنامه‌ریزی روشهای آبیاری سطحی ۸۷

شکل ۲۰۱: فرم کلی تابع تولید ۱۱۴

شکل ۲۰۲: توابع هزینه و درآمد ۱۱۵

شکل ۲۰۳: کاهش ظرفیت سیستم ۱۱۷

شکل ۲۰۴: رابطه آب مصرفی با هزینه‌ها ۱۱۹

شکل ۲۰۵: رابطه آب مصرفی با عملکرد گندم ۱۲۳

شکل ۲۰۶a: توزیع مکانی آب مصرفی: یکنواختی ۸۵ درصد، راندمان کفایت آبیاری ۸۷/۵ درصد و نیاز آبی خالص برابر با ۱۰ سانتیمتر ۱۵۶

شکل ۲۰۶b: توزیع مکانی آب مصرفی: یکنواختی ۸۵ درصد، راندمان کفایت آبیاری ۵۰ درصد و نیاز آبی خالص برابر با ۱۰ سانتیمتر ۱۵۷

عنوان	صفحه

شکل ۲۰۷- متوسط توزیع آب در خاک ۱۶۶

شکل ۳۰۱- رابطه آب مصرفی - عملکرد ۱۸۱

شکل ۳۰۲- رابطه عملکرد باتبخیر تعرق ۱۸۳

شکل ۳۰۳- رابطه آب مصرفی و تبخیر تعرق با عملکرد ۱۸۴

شکل ۳۰۴- رابطه بین تبخیر تعرق نسبی و عملکرد نسبی ۱۸۵

شکل ۳۰۵- رابطه بین $(1 - \frac{Y}{Y_{max}})$ و $(1 - \frac{ET}{ET_{max}})$ برای محاسبه K_y ۱۹۱

شکل ۳۰۶- رابطه بین عمق آب مصرفی با عملکرد (درآمدناخالص) ۲۰۸

شکل ۳۰۷- رابطه بین عمق آب مصرفی وهزینه‌ها ۲۰۹

شکل ۳۰۸- رابطه بین عمق آب مصرفی با هزینه و عملکرد ۲۱۰

بسمه تعالی

نشریه شماره ۲ «گروه‌کار آب مورد نیاز گیاهان و مدیریت محصولات زراعی »، موضوع «دستورالعملهای کم‌آبیاری » با خرسندی ملاحظه گردید.

بدینوسیله از هیئت محترم اجرائی ، و دبیر کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران و گروه‌کار آب مورد نیاز گیاهان ، بخاطر کار و کنکاش در زمینه «کم‌آبیاری »، و طرح این تفکر جدید در ایران ، تهیه و تصویب نشریه‌های مفید و کاربردی در این عرصه ، تشکر می‌نمایم .

آقای دکتر خیرابی سرپرست گروه در مقدمه این نشریه ، باین مطلب اشاره کرده‌اند که «کم آبیاری » در ایران ، بلحاظ کمبود آب و فزونی اراضی امری ضروری است ، و محتوای اصلی آنهم «استفاده حداکثر از واحد حجم آب» است که بصورت بیشترین عملکرد ، و یا بصورت بیشترین سود،نمود پیدا می‌کند.

این چنین است که بین باب جدید «کم آبیاری » که کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران آنرا باز کرده‌است، و تفکر تازه‌ای که متولیان صنعت آب کشور، بویژه وزارتخانه‌های نیرو و کشاورزی ، در سالهای اخیر، در رابطه با استفاده بهینه از آب عنوان می‌کنند ، تفاهم و تطابق کامل برقراراست .

بدین‌گونه می‌توان امیدوار بود که این دو جریان ، جریانی که از طرف مسؤلان اجرائی ، و دیگر جریانی که از طرف کارشناسان و کمیته ملی آبیاری و زهکشی شروع شده‌است بهم بپیوندند ، و از تلاقی آنها نتایج عملی مفید ، بویژه در زمینه طراحی پروژه‌های آبیاری در سطح کشور ، ببار آید .

در رابطه با جریان اول در وزارت خانه‌های مرتبط ، تمهیداتی در مورد تحویل حجمی آب به بهره‌وران کشاورز ، اعمال کنترلهای لازم در رابطه با میزان تولید به ازای حجم آب تحویلی ، تجدید نظرهای اصولی و فنی لازم در قیمت آب و غیره بکار بسته می‌شود، که همه ، حول محور «استفاده حداکثر از واحد حجم آب » دور می‌زند.

حال که خوشبختانه این دو جریان ، یعنی مسیر فکر مسئولان در قالب استفاده حداکثر از واحد حجم آب ،بـا مسـیر فکـر کـارشناسان و کـمیته مـلی آبـیاری و زهکشـی در قـالب «کـم‌آبیاری » گـره خورده‌است،نشریه حاضر و تداوم کار و تحقیق در این عرصه ، بیشتر می‌تواند مقبول باشد و مورد تأئید قرار بگیرد .

از این دیدگاه اینگونه تتبعات را بدرستی می توان آثاری معرفی کرد که در سطح ملی قابل طرح است ، و بجا است که از گروههای محترم کار ، که با وجود کمبودهای آغاز راه ، نظر کارشناسی خود را در مقیاس ملی تدوین و ارائه می‌نمایند تشکر شود.

اینجانب ضمن تشکر مجدد ، فرصت را غنیمت شمرده همه خبرگان محترم آبیاری و زهکشی کشور را دعوت به همکاری می‌کنم و برای همه دست‌اندرکاران امور آب کشور، هیئت محترم اجرائی ، دبیر محترم کمیته ملی آبیاری و زهکشی ، و گروه کار آب مورد نیاز گیاهان و مدیریت محصولات زراعی توفیقات بیشتری را از درگاه ایزد منان مسئلت دارم .

علی وکیلی

رئیس شورایعالی کمیته ملی آبیاری وزهکشی‌ایران

بسمه تعالی

«کم آبیاری ضرورتی فراموش شده»

«مقدمه‌ای بر دستورالعملهای کم آبیاری»

نشریه شماره ۲-گروه کار آب مورد نیاز گیاهان و مدیریت محصولات زراعی

توسط : دکتر جمشید خیرابی سرپرست گروه

مقدمه بر مقدمه :

در نشریه شماره یک گروه کار آب مورد نیاز گیاهان، موضوع "خلاصه مقالات کم آبیاری " ، «کم آبیاری» تعریف و تحلیل شده و انواع آن تبیین و طبقه‌بندی گردیده است، که خوانندگان محترم را به آن ارجاع می‌دهد.

آبیاری درمفهوم علمی و مهندسی دارای دو هدف اصلی ، بعنوان دورکن اساسی‌است ، که در دو راستای مستقل از هم، و بادو جهت گیری متفاوت ، و بتمام مغایر بایکدیگر،دنبال می‌شود، و بسته به شرایط، یکی از دو هدف زیرانتخاب و پیگیری می‌گردد:

حالت اول: درمناطقی که محدودیت اراضی عامل غالب بحساب می‌آید با هدف «استفاده حداکثر از واحد اراضی ».

حالت دوم:در شرایطی که آب عامل محدودکننده است، با هدف «استفاده حداکثر از واحد حجم آب».

میزان اهمیت هریک ازاین اهداف دوگانه،برای برنامه ریز، همیشه و همه جا، یکسان نیست، و بسته به

موقعیت زمانی و مکانی دارای درجاتی است و به شرایط طرح بستگی دارد.

مهمترین مولفه تشدید، درحالت اول، مربوط به مناطقی است که محدودیت زمین توام بافراوانی آب باشد، و درحالت ثانی مربوط به شرایطی است که محدودیت آب با زیادت زمین همراه باشد.

بطوریکه اعتلاء درجات اهمیت هریک ازاهداف و شدت آن مربوط به دامنه حدهای فراوانی "آب" و "خاک" - و درجه واگرائی، و فاصله موجود بین این حدهااست.

دریک منطقه اگر نسبت آب به اراضی را «ضریب فراوانی $\frac{\text{آب}}{\text{زمین}}$» بنامیم، این ضریب درحالت اول بزرگتر از واحد و در حالت دوم کوچکتر از واحد خواهدبود.

درهر یک از حالتهای دوگانه فوق هر چه این ضریب از واحدفاصله بگیرد و دوری گزیند شدت اهمیت هدف مربوطه بیشتر خواهد بود.

لذا، سیاستگزاریها، برنامه ریزیهای آب و آبیاری ، تعیین یکی از دو هدف مزبور و تاکید بر شدت آن، تعیین اولویتها، مدیریت آب، و به تبع آن انتخاب روشها، مدلها و سیستم‌ها، محاسبه ، مشاهده و کنترل (Monitoring) و غیره ، در شرایطی که کمبود اراضی وجود دارد (حالت اول) با شرایط کمبود آب (حالت دوم) به تمام متفاوت ، و چه بسا مغایر است.

نتیجه اینکه در برنامه‌ریزیهای آبیاری ، اعم از سطح ملی ، استانی ، منطقه‌ای و محلی، لازم است به این جهت گیری ، متناسب با درجات شدت هدف مربوطه، و تناسب کمبودیا فراوانی هر عامل نسبت بدیگری، و«ضریب فراوانی آب به زمین » ($\frac{\text{آب}}{\text{زمین}}$)، وزن و بهائی درخور داده شود، که در « تعریف علمی ومهندسی آبیاری » به آن اشارت رفته است (ماهنامه آب ، خاک وماشین ج - خیرابی و الف -اسدالهی - بهمن ۱۳۷۳) ، و دراینجا ، بنا به ضرورت این موارد ذیلاً بیشتر تشریح می‌گردد:

۱- ضریب فراوانی آب به زمین > ۱:

در مناطق مرطوب «ضریب فراوانی $\frac{\text{آب}}{\text{زمین}}$» بزرگتر از واحد است (و مقدار آن از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت می باشد). هرچه این ضریب بزرگتر باشد هدف اول در راستای " استفاده حداکثر از واحد اراضی " تشدید می‌گردد و برجسته می‌شود.

۲- ضریب فراوانی آب به زمین < ۱:

بعکس درمناطق خشک و نیمه خشک این ضریب بسیار کمتر از واحد است. در چنین شرایطی هدف دوم در استای «استفاده حداکثر از واحد حجم آب» دنبال می‌شود.

در شرایط ایران ، اهمیت این موضوع با توجه به اولویت کشاورزی و بالابودن ضریب رشد جمعیت ، و بسیاری مولفه‌های دیگر بازهم بیشتر تشدید می‌گردد.

تحقق هدف دوم جز با «کم آبیاری» (Deficit Irrigation)، «وکم‌آبیاری تنظیم شده» مقدور نیست، و نسخه پیچی نظری آن نیز حدود چهاردهه پیش توسط زنده یاد مهندس روح ا... فرزانه بنیانگذار آبیاری و آبادانی در آموزش عالی کشور و استاد ومدیر سابق این گروه در دانشگاه تهران، در قالب «راندمان ذخیره» صورت پذیرفت و از آن پس نیز توسط شاگردان ایشان مورد تدریس و تحقیق قرار گرفت، و در دو دهه اخیر به بسیاری ازبرنامه‌های تحقیقاتی دانشگاهها و پاره‌ای مراکز تحقیقی تسری پیدا کرد. ولی دربخش اجرا اینک، تنهاپس از گذشت قریب نیم قرن، این مفهوم ، یعنی «استفاده حداکثر از واحد حجم آب » بتدریج دراندیشه‌های مقامات اجرائی طراز بالا و مسئولان آب کشور

جوانه می‌زند، و امیداینکه این تفکرمتعالی هر چه بیشترجا بیفتد و تصمیم گیریها، برنامه‌ریزیها و سیاستگزاریهای آب و آبیاری را بتمام متاثر سازد، و در این میان، بر کارشناسان و مراجع علمی ، تحقیقاتی، آموزشی، ازجمله کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران است که به این « جاافتادن» ، از طریق تبلیغی واقناعی کمک رسانند.

۳- «آبیاری کامل» ضرورت ؟ و یاعادت ؟ :

درایران از اوایل سده چهاردهم (ه.ش) که عصر آبیاری نوین آغاز شد، تاکنون، پروژه‌های بزرگ و کوچک آبی همواره و همه جا بر اساس انجام «آبیاری کامل»، مبتنی بر مفاهیم و معیارهای تبخیر تعرق پتانسیل ماگزیمم (ET_o یا ET_{pmax} یا ET_r)، ضرائب گیاهی (K_c) و تبخیر تعرق پتانسیل محصول (ET_c یا E_{tp}) طراحی و اجرا شده است، که به دو دلیل عمده زیر صلاح کار نبوده است:

۱- «آبیاری کامل» در شرایطی انجام می‌شود که هدف «استفاده حداکثر از واحد اراضی» باشد، و آن، همانگونه که گفته شد، شامل مناطقی است که در آنها «ضریب فراوانی $\frac{\text{آب}}{\text{زمین}}$» بیشتر از واحد است.

۲- «آبیاری کامل» باهدف «استفاده حداکثر از واحد اراضی»، در هر حالت ، موقعی موجه و معقول است، که همراه با «آبیاری کامل» سایر عوامل تولید، علل و اسباب کشت و کار (در تمام مراحل کاشت، داشت و برداشت) نیز، جهت نیل به مقصود، درحد کمال باشد، والا «آبیاری کامل» جز هدردادن آب، حاصلی نخواهد داشت.

این هر دو شرط دراکثر نقاط ایران برقرار نیست، چراکه در مورد شرط نخست «ضریب فراوانی $\frac{\text{آب}}{\text{زمین}}$» بسیار کمتر از واحد است، و در مورد شرط ثانی نیز، جز آبیاری که بطور کامل انجام گرفته است بقیه

شرایط زراعی و عوامل موثر درعملکرد، دراکثر موارد، درحد کمال نبوده است، بطوریکه طی اینهمه سال عملکرد کشتهای آبی ایران نسبت به استانداردهای بین المللی بسیار پائین بوده است.

با وجود این، درایران اعمال «آبیاری کامل»، طی نیم قرن اخیر بصورت عادت در آمده و تکرار شده است. در گذشته عامل کمی جمعیت، درآمدهای کلان نفتی، امکان تهیه سهل و ساده موادغذائی از منابع خارجی به این غفلت مسئولان و سهل انگاری کارشناسان طراح دامن زده است.

۴- ضرورت «کم آبیاری» در ایران (و زمزمه های استفاده حداکثر از واحد حجم آب):

امروزه بحران آب، و انفجار جمعیت در دنیا و ایران ، و هشدارهای جدی کارشناسان در مقیاس وسیعتر ، مسئولان اجرائی را بیش از پیش به تفکر وا داشته است، بطوریکه در سخنان این بزرگان عرصه صنعت آب کشور اخیراً ، و اندک اندک، زمزمه‌های خوش آوائی درمورد « استفاده حداکثر از واحد حجم آب » بگوش می‌رسد، که بهجت اثر است، ولی هنوز این اعتقاد به حد و درجه ایمان نرسیده است، لذا مخاطب این مختصر، علاوه بر کارشناسان و طراحان (بویژه درمهندسان مشاور)، این بزرگواران نیزهستند، لذا بر صاحبنظران است که این سخن را مکرر بگویند، و ترجیع بند «کم آبیاری» راتکرار نمایند.

با توجه به مراتب فوق، امروزه طراحی ، اجرا و مدیریت پروژه‌های آبیاری، از سطح بهره‌وران کشاورز تاسطوح بالا، مهندسان مشاور ، سازمانهای دولتی ، بر اساس معیارهای "کم آبیاری " که محتوای اصلی و تفسیر واقعی آن، «استفاده حداکثر از واحد آبست»، امر ضروری است و ضرورتی است که طی نیم قرن اخیر به بوته نسیان و فراموشی سپرده شده است، اینک پس از اینهمه تعلل و تاخیر، زمان اقتداء به "کم آبیاری " و کاربرد بدون وقفه و وسیع آن فرا رسیده است. دراین رابطه موارد زیر را توصیه می‌نماید:

۱- کاهش آب موردنیاز محصولات (برمبنای آبیاری کامل) ، به میزان حدود ۲۰٪ ، بعنوان فتوای کارشناسی ، نظری است که می‌توان آنرا از هم اکنون و در طراحی‌ها اعمال نمود.

۲- در ایران اعمال «کم آبیاری » ، بطور عمده و ترجیحاً باید مبتنی بر گسترش سطح کشت باشد، ونه ذخیره سازی آب.

۳- در سطح بهره‌وران کشاورز، درایران ، آنان با توجه به خودکاربودن و قابلیت انعطاف سیستم‌های آبیاری تحت فشار، و باشّم و تجربه‌ای که دارند، و متناسب با شرایط واحد بهره‌برداری خود، دست به کم آبیاری می‌زنند که بشارت میمونی است و بسیار حائز اهمیت است. این شیوه آبیاری که جزو آبیاریهای نیمه کلاسیک طبقه بندی شده است(مقاله تحت عنوان «تبیین وتعریف واژه شناختی آبیاریهای کلاسیک -غیرکلاسیک و نیمه کلاسیک» نشریه سالانه کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران ج - خیرابی و الف - اسدالهی ، - سال ۱۳۷۳) که لازم است توجه ویژه‌ای بدان معطوف شود و این روش حسنه تبلیغ و ترغیب گردد.

۴- لازم است پروژه‌های آبیاری در دفاتر فنی ، و درشرکتهای مهندسان مشاور براساس «کم آبیاری تنظیم شده» طراحی شود (در مقاله فوق الذکر «کم آبیاری تنظیم شده» جزو روشهای آبیاری کلاسیک طبقه بندی گردیده است).

شرایط فنی و ضوابط مهندسی اعمال «کم آبیاری تنظیم شده » درنشریه شماره یک این گروه و درماهنامه آب ، خاک وماشین (تحلیلی بر «کم آبیاری » تعریف و تبیین انواع آن ج - خیرابی - شماره ۱۳ - دیماه ۱۳۷۴) ، و همچنین دراین مجموعه آمده است.

۵- همانگونه که گفته شد برای طراحی پروژه بر اساس «کم آبیاری تنظیم شده » و «بهینه سازی » آن متناسب باشرایط پروژه (چه برای شرایط روز، و چه برای شرایط آتی ، و زمان پیاده شده طرح) علاوه بر معیارهای علمی و مهندسی ، روابط "تجربی- ریاضی" و روشهای متداول (که در طراحی «آبیاری کامل» نیز از آنها استفاده می‌شود)، لازم است افت عملکرد محصول به ازای درجات مختلف کم آبیاری ، براساس تحقیقات محلی معلوم گردد، سپس لازم است

مشخص گردد که با آب صرفه جوئی شده چه مقدار اراضی می‌تواند تحت کشت برود؟ و حساب دخل و خرج آنها، هزینه‌ها و درآمدها و محاسبات اقتصادی مربوطه چگونه است؟ تا براساس آن بتوان محاسبات «بهینه سازی»را، چه از نظر میزان عملکرد، و چه از نظر سوددهی، و چه‌ازنظر اقتصاد ملی، وگسترش سطح کشت و یا ذخیره سازی آب انجام داد، و سطح بهینه رامشخص کرد.

۶- درشرایط ایران برای بهینه سازی پروژه‌های «کم آبیاری تنظیم شده » و بدست آوردن توابع «مصرف آب-عملکرد» لازم است تحقیقات محلی در اقالیم و مناطق مختلف، و روی محصولات مختلف، با سطوح متفاوت «کم آبیاری » (از «آبیاری‌کامل » تادیمکاری) انجام پذیرد که درمرحله اول و درکوتاه مدت می‌توان کار بررسی را از محصولات استراتژیک آغاز کرد و سپس، درمیان مدت، به همه محصولات ، و همه شرایط متنوع، تسری داد.

نتیجه:

برنامه ریزی ، مدیریت آبیاری که دربخش نخست این نشریه آمده است درامر صرفه جوئی درآب، بالا بردن راندمان کاربرد آب و استفاده حداکثر از واحد حجم آب سهم بسزائی دارد، وخود بطور ضمنی شرایط «کم آبیاری تنظیم شده » را نیز دیکته می‌کند.

درسالهای اخیر در بسیاری از متون علمی وگزارشات فنی روی اهمیت برنامه ریزی ومدیریت صحیح آبیاری تاکید می‌شود، ولی آنچه که دراین نشریه (نشریه شماره ۲) در رابطه با برنامه‌ریزی و مدیریت آب وآبیاری آمده است درجه اهمیت آنرا بطور مبسوط‌تر و بگونه‌ای

ملموس‌تر، و بصورت بسیار دقیق و داهیانه نشان می‌دهد، و راه حلهای عملی ، مبتنی بر آخرین تحقیقات دودهه اخیر را در پیش پای کارشناسان قرار می‌دهد.

اطمینان دارد، در صورتیکه بهینه سازی براساس دستورالعملهای «کم آبیاری »، مندرج دربخش دوم و سوم این نشریه - وبر اساس داده‌های تحقیقات محلی و با در دست داشتن توابع « مصرف آب- عملکرد» انجام پذیرد در بسیاری موارد سطوح بهینه، از «آبیاری کامل » بسیار فاصله خواهدگرفت و چه بسا در حول و حوش ۳۰ تا ۵۰ ٪ «کم آبیاری کامل» (۳۰ تا ۵۰٪ کاهش مصرف آب درمقایسه با«آبیاری کامل ») مستقر خواهد شد، و راندمان کارآئی آب بالا خواهدرفت و از واحد حجم‌آب حداکثر استفاده بعمل خواهد آمد.

درمجموع در نشریه حاضر به ظرائف و لطایفی برمی‌خوریم که بحق می‌توانیم دستورالعملهای برنامه ریزی ، مدیریت «کم آبیاری » و «بهینه سازی » آنرا همراه با برداشتهای نیاکان خود درعهد باستان، در حیطه و حوزه هنر قراردهیم و هنر آبیاری را هنر هشتم بنامیم!

نشریه شماره ۲ ، «دستورالعملهای کم آبیاری » بر اساس متون کلاسیک وزین، و آخرین یافته‌های اساتید اعلم علوم آبیاری جمع آوری ، ترجمه و تدوین گردیده است.

اصل امانت رعایت شده، و پاره‌ای مطالب بازیرنویسی و یا بانوشته‌هائی در بین الهلالین تکمیل و تصریح گردیده است.

تشکر و قدردانی

درخاتمه از طرف خود واعضاء گروه کار آب موردنیاز گیاهان و مدیریت محصولات زراعی از

کمیته‌ملی آبیاری و زهکشی و شورایعالی و ریاست عالیه آن که فرصت غور و تامل و تفحص در احوال با بی چنین مهم را به این گروه ارزانی داشته است تشکر می‌نماید.

از هیئت محترم اجرائی بخاطر تذکر لغزشهای این گروه، و هدایت و حمایتشان تشکر می‌نماید. ازبرادر عزیز جناب آقای مهندس اسدالهی دبیر محترم کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران بخاطر اعمال مدیریت متعالی همراه بادرایت وتدبیر تشکر می‌نماید.

ازآقای مهندس مولائی نمایندمحترم دبیر کمیته که از نزدیک و باعلاقمندی کار این گروه راپیگیری و به آن یاری می‌رسانند تشکر می‌نماید.

ازگروه تایپ، بویژه خواهران محترمه خانم حاجی‌زمان و خانم محسنی که کارهای محوله را باحوصله و دقت سامان می‌دهند تشکر می‌نماید و توفیقات عالیات همه خدمتگزاران ، بویژه دست اندرکاران آب و آبیاری کشور را از درگاه ایزدی مسئلت دارد، و از اساتید بزرگوار استدعا دارد کاستی‌های این اثر را چنانچه قابل اغماض نباشد، تذکر دهند.

«به پایان آمد این دفتر حکایت همچنان باقی است»

۱- اصول برنامه ریزی آبیاری :

۱۰۱ مقدمه

برنامه ریزی آبیاری عموماً به تصمیم گیری درمورد اینکه چه زمانی آبیاری صورت بگیرد (موقع آبیاری) و همچنین چه مقدار آب باید داده شود (جیره آبیاری) اطلاق می‌گردد و همچنین تصمیم‌گیری در مورد زمان شروع و قطع آبیاری (مدت زمان آبیاری) در داخل این تعریف جای می‌گیرد. لازمه یک آبیاری موفق، درک صحیح از مبانی برنامه‌ریزی آبیاری و همچنین استفاده از آن به منظور توسعه مدیریت پروژه و همچنین بکارگیری موثراین اصول و مبانی می‌باشد.

برنامه ریزی آبیاری دربرگیرنده اطلاعات موثربرای مدیران بمنظور توسعه استراتژیهای آبیاری در واحد زراعی می‌باشد. این قبیل استراتژیها ممکن است مبتنی بر آمارهای بلندمدت باشد که می‌تواند شرایط نرمال را نمایانگر سازد و یا اینکه می‌تواند در هر فصل براساس آمارهای روزانه، ماهانه یا فصلی آن فصل، برای پیش بینی‌های کوتاه مدت تنظیم شده باشد.[1] در هر دو حالت لازم است اطلاعات و داده‌ها در رابطه با نوع کشت ، خاک، شرایط جوی ، روش آبیاری ، روش انتقال و توزیع آب ، نحوه مدیریت ، در نظر گرفته شودتاقضاوت و تصمیم‌گیری نهائی در شرایط مشخص اعمال گردد.

اهداف مدیریت پروژه باید در ابتدا بمنظور بسط سیاستهای برنامه‌ریزی آبیاری درنظر گرفته شود. به حداکثر رساندن میزان بازگشت سرمایه، یک هدف کلی می‌باشد اماسایر موارد مانند به حداقل رساندن

۱- منظور اینست که می‌توان براساس آمارهای بلند مدت شرایط متوسطی را پیدا نمود و براساس آن برنامه ریزی کرد و یا اینکه براساس آمارهای روزانه، هفتگی، ده روزه و ماهانه برنامه‌ریزی آبیاری را انجام داد، که البته هر کدام هدف خاصی را دنبال می‌نماید.

هزینه آبیاری ، به ماکزیمم رساندن راندمان ، بهینه سازی توزیع آب موجود، به حداقل رسانیدن آلودگی آبهای زیرزمینی ، بهینه نمودن میزان تولیدات درچهار چوب ظرفیت معین یک سیستم آبیاری[۱] نیز مدنظر می‌باشد.

معمولاً میزان آب قابل استحصال و همچنین هزینه‌های آبیاری از فاکتورهای بسیار مهم در تصمیم گیری جهت تعیین اهداف مدیریت پروژه می‌باشد. درصورتیکه آب فراهم آمده ، هزینه های آبیاری، همچنین سطح زیر کشت که با آب موجود قابل آبیاری می‌باشد به حالتی برسد که از واحد سطح حداکثر تولید بدست بیاید، این حالت «ماکزیمم استفاده از اراضی تحت پوشش» نامیده می‌شود، که دراین حالت یک استراتژی بمنظور برنامه ریزی، که درآن گیاه نیز در استرس آبی قرار نخواهد گرفت (آبیاری کامل)، اتخاذ می‌گردد. این روش بعنوان روش معمولی برنامه‌ریزی آبیاری بکار گرفته می‌شود.

در شرایط دیگر در صورتیکه آب کافی بمنظور دستیابی به حداکثر تولید درتمامی مزرعه در اختیار نباشد ، در اینصورت سطح زیرکشت کم می‌شود و یا اینکه جیره آبیاری کاهش می‌یابد و یاهر دو طریق اعمال می‌گردد . مدیریت همچنین باید در مورد توزیع مقدار آب محدود در طول فصل رشد تصمیم گیری نماید. برنامه‌ریزی آبیاری تحت تاثیر فصل و همچنین پدیده‌های غیرقابل پیش بینی ناشی از نوسانات شرایط جوی و قیمت قرار می‌گیرد. برنامه ریزی آبیاری بطریقه متداول کنونی که تنها به فراهم آوردن « آبیاری کامل » می‌اندیشد کم بها دادن به اثرات ارزشمند « کم آبیاری » است. روش‌های مدیریتی برنامه‌ریزی « کم آبیاری » بصورت واضح دراین نشریه بحث شده است.

برنامه ریزی کمی آبیاری[۲] (Quantitative irrigation scheduling)براساس دو فاکتور:

۱- منظور این است که پتانسیل یک سیستم آبیاری، تاحدامکان ، جهت بالابردن میزان محصول بکارگرفته شود.

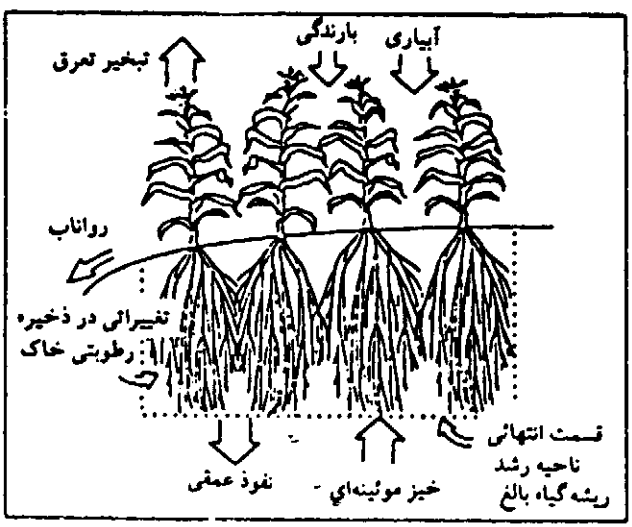
۲- منظور برنامه ریزی بر اساس کنترل مستقیم و غیرمستقیم تخلیه رطوبت خاک است. آبیاری، هنگامیکه رطوبت در عمق توسعه ریشه‌ها به حدمجاز (معمولاً حدپائین رطوبت سهل الوصل - و یا حدهای بالاتر ، بسته به روش آبیاری و نوع برنامه ریزی) رسید آبیاری تجدید می‌شود. این کنترل مستقیماً از طریق خاک - و یا بطور غیرمستقیم از طریق گیاه انجام می‌گیرد، دراین نوع برنامه ریزی عوامل جوی، مستقیماً درمحاسبات و ملاحظات وارد نمی‌شوند.

الف) استفاده از عوامل اخطاری خاک، و یاگیاه ، ب) محاسبات بالانس آب خاک انجام می پذیرد، بدینصورت که در روش اخطاری خاک، پتانسیل ماتریک و یا به عبارت دیگر آب موجود درخاک ، در چند نقطه اندازه‌گیری می‌گردد و براساس آن درمورد زمان آبیاری تصمیم‌گیری می‌شود . روش‌های اندازه‌گیری گیاهی براساس پتانسیل آب برگ و یا درجه حرارت سایه انداز انجام می‌پذیرد. محاسبه بیلان آب خاک بمنظور برنامه ریزی آبیاری نیازمند تخمین ظرفیت ذخیره خاک، عمق ریشه، میزان تخلیه مجاز و همچنین محاسبه تبخیر تعرق کشت می‌باشد. روشهای متعددی بمنظور اندازه‌گیری بیلان آب خاک از ساده تا بسیار کامل ارائه شده است.

۱.۲ بیلان آب خاک

آبیاری بمنظور تامین آب خاک انجام می‌گیرد که نه تنها رشد گیاه بلکه راندمان تولید نیز از اهداف آن بشمار می‌آید. تمامی جنبه‌های مدیریت آبیاری ، بخصوص برنامه ریزی آبیاری، نیازمند درک صحیح ازبیلان آب خاک می‌باشد. استفاده از بیلان‌آب خاک بمنظور کنترل آبیاری در گروتخمین میزان آب درمنطقه ریشه‌ها در هرمرحله از رشد می‌باشد. عوامل موثر در بیلان آب خاک در شکل شماره (۱۰۱) نمایش داده شده است.بمنظور تعیین میزان تغییرات رطوبت در محوطه ریشه‌ها، دریک دوره ، از معادله بیلان آب خاک استفاده می‌شود:

$$S_e - S_b = d_n + P_e + U_f - ET - D_r \qquad (۱.۱)$$



شکل ۱.۱ - دیاگرام بیلان آب خاک درمنطقه توسعه ریشه‌ها

درمعادله فوق S_e و S_b مقدار آب در محوطه ریشه‌ها درابتدا و انتهای یک دوره (وفصل) برحسب میلیمتر می‌باشند. علاوه براین بیلان آب خاک شامل آب خالص آبیاری (d_n) به میلیمتر، باران موثر (P_e) به میلیمتر ، آب ناشی از خیز موئینه‌ای (صعود کاپیلاریته) از سفره کم عمق (U_f) به میلیمتر، آب خارج شده از خاک و محوطه ریشه‌ها تحت‌تاثیر تبخیر تعرق (ET) به میلیمتر و زه آب عمقی، پائین تر از منطقه ریشه‌ها (D_r) به میلیمتر،می‌باشد. باران موثرمیزان بارندگی است که در منطقه توسعه ریشه‌ها باقی می‌ماند و یا عبارت است از اختلاف بین کل نزولات و رواناب سطحی و زه آب عمقی (ناشی از بارندگی). دربسیاری موارد کاربردی ،محاسبه آب مصرف شده درمنطقه توسعه ریشه‌ها عملی‌تراز محاسبه آب باقی مانده در این منطقه است. حدبالای ظرفیت نگهداری آب درخاک (ظرفیت نگهداری[۱] = Field capacity) بعنوان مبنائی برای میزان اپتیمم آب در خاک مورد استفاده قرارمی‌گیرد. اصطلاحاتی که معمولاً برای میزان استفاده از آب خاک، پائینتر از ظرفیت نگهداری، بکار می‌رود، «میزان رطوبت تخلیه شده» ، «تخلیه» و یا «میزان کسری آب در خاک» می‌باشد. میزان تخلیه و یا کسری آب، درهر مقطع زمانی ، مقدار آبی است که عمق توسعه ریشه‌ها را به حد ظرفیت نگهداری برساند. میزان تخلیه و همچنین بیلان آب خاک از طریق معادله زیر بیان می‌گردد:

$$D_e = D_b + ET + D_r - d_n - P_e - U_f \qquad (۱.۲)$$

---

۱ - بجای " ظرفیت نگهداری " اصطلاح " ظرفیت مزرعه " نیز بکار برده می‌شود، ولی بهتر است " ظرفیت مزرعه " در شرایطی مورد استفاده قرار بگیرد که این ضریب از طریق اندازه‌گیری مستقیم در مزرعه بدست آمده باشد. معادل این دو اصطلاح در زبان فرانسه هم وجود دارد، ولی در زبان انگلیسی فقط اصطلاح "ظرفیت مزرعه" بکار برده می‌شود.

که درمعادله فوق D_e و D_b میزان تخلیه رطوبتی درمنطقه توسعه ریشه‌ها در ابتدا و انتهای دوره اندازه‌گیری بر حسب میلیمتر می‌باشد. بیلان آب خاک، زمانیکه بقیه پارامترهای فوق الذکر مشخص و یا تخمین زده شده باشند می‌تواند بمنظور پیش بینی زمان آبیاری و همچنین محاسبه مقدار آب آبیاری مورد استفاده قرارگیرد.

دراین قسمت روش‌های معمول برای تخمین بیلان آب خاک، بمنظور برنامه ریزی آب شرح داده می‌شود.

۱۰۲۰۱ ظرفیت ذخیره آب درمحوطه ریشه‌ها:

جهت استفاده از بیلان آب خاک در برنامه ریزی آبیاری لازم است ظرفیت ذخیره آب در منطقه ریشه‌ها محاسبه گردد. هدف از برنامه ریزی این است که از تخلیه آب در محوطه ریشه ها، پائین تراز حد بحرانی ، در فصل رشد جلوگیری بعمل آید. آب قابل استفاده برای گیاه معمولاً بااستفاده از ظرفیت نگهداری و نقطه پژمردگی دائم و تفاضل آنهاتعریف و تعیین می‌گردد.

ظرفیت نگهداری عبارتست از مقدار آب موجود درخاک زمانیکه آب اشباعی خارج شده باشد. نقطه پژمردگی دائم معمولاً به حدی از رطوبت گفته می شود که پتانسیل ماتریک خاک [۱] ۱/۵ MPa- (نیروی مکش ۱۵ اتمسفر) باشد، و آن نمایانگر حدبالای مکش است که در آن گیاه قادر به جذب آب‌از خاک نمی‌باشد.

اگر چه نقطه پژمردگی دائم و ظرفیت نگهداری بطور دقیق قابل‌اندازه‌گیری نیستند، ولی از این ضرایب، بعنوان شاخص جهت تعیین حد بالا و پائین "آب قابل‌استفاده"، بطور معمول در

۱- یک اتمسفر معادل یکصد هزار پاسکال (معادل ۱۰۰ کیلوپاسکال و یکدهم مگاپاسکال) می‌باشد.

برنامه‌ریزی‌ها استفاده می‌شود. مقدار آب ذخیره شده درخاک بین "ظرفیت نگهداری" و "نقطه پژمردگی دائم " بنام "آب قابل استفاده" نامیده می‌شود. بمنظور بدست آوردن آب قابل استفاده خاک مزرعه لازم است ظرفیت نگهداری و نقطه پژمردگی دائم مشخص گردد. اندازه‌گیری حدهای رطوبتی آب خاک می‌تواند گران باشد چرا که نیاز به زمان وادوات تخصصی دارد. برای برنامه‌ریزی آبیاری ، آب قابل استفاده می‌تواند برای انواع مختلف خاکهاتخمین زده شود. آب قابل استفاده خاک (Hc) معمولاً باارتفاع آب برحسب میلیمتر برای هر متر عمق خاک بیان می‌گردد. نمونه‌هائی از آب قابل استفاده برای خاکهای تیپ درجدول ۱.۱ خلاصه شده است.

آب قابل استفاده که در جدول ۱.۱ نشان داده شده است بعنوان یک راهنمای ابتدائی برای برنامه ریزی آبیاری برای خاکهای عمیق و یکنواخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. غیر یکنواختی پروفیل خاک روی ظرفیت نگهداری تاثیر میگذارد. درصورتیکه در پروفیل لایه‌های مختلف با بافتهای متفاوت موجود باشد ظرفیت نگهداری بیش از مقادیری خواهد بود که درجدول شماره ۱.۱ ارائه شده است. لایه‌های فشرده ، وجود سطح ایستابی کم عمق و همچنین سایر عواملی که جریان آب را در داخل خاک تحت تاثیر قرار دهد روی ظرفیت نگهداری اثر می‌گذارد . بنابراین ارقامی که درجدول ۱.۱ ارائه شده است فقط رقم‌های تقریبی می‌باشند و لازم است با مطالعات صحرائی تایید وتدقیق گردند.

پتانسیل ماتریک خاک در ظرفیت نگهداری با بافت خاک تغییر پیدا می‌کند که برای خاکهای شنی مقدار آن بین ۱۰- تا ۱۵-کیلو پاسکال (Kpa ۱۵-)می‌باشد. هر چه بافت خاک ریزدانه‌تر باشد پتانسیل ماتریک (دراین حداز رطوبت) تا حد ۳۰KPa- کاهش می‌یابد. ساختمان خاک می‌تواند میزان رطوبت را در یک پتانسیل ماتریک خاص بمقدار زیاد تغییر دهد برای اندازه‌گیری دقیق ظرفیت مزرعه می‌توان دو الی سه روز پس از آبیاری کامل و یا بارندگی سنگین و در شرایطی که مصرف آب گیاه اندک باشد (و یا ترجیحاً مزرعه عاری از کشت باشد) از خاک مزرعه نمونه‌برداری نمود واین ظرفیت را مشخص کرد.

نقطه پژمردگی‌دائم یک خاک بستگی به کشت و شرایط جوی دارد. میزان آب موجود درپتانسیل ماتریک ۱/۵MPa - معمولاً مبین نقطه پژمردگی دائم می‌باشد. نقطه پژمردگی دائم اغلب می‌تواند بانمونه‌برداری از خاک تخمین زده شود بد ینصورت که در نقطه‌ای نزدیک مزرعه زمانیکه کشت در حالت کم آبی حاد باشد نمونه‌برداری شده و رطوبت خاک اندازه‌گیری می‌شود، کشت قبل از اینکه به نقطه پژمردگی دائم برسد تحت تاثیر کم آبی شدید قرار می‌گیرد. بنابراین لازم است قبل از آنکه تمامی آب قابل استفاده خاک درعمق توسعه ریشه‌ها تخلیه گردیده و به نقطه پژمردگی دائم برسد آبیاری تجدید گردد. مقدار تخلیه مجاز(MAD) معمولاً ماکزیمم تخلیه آب خاک است بطوریکه گیاه دچار کاهش عملکرد نگردد.

جدول ۱.۱ آب قابل استفاده برای بافتهای مختلف خاک (میلیمتر آب در یک متر عمق خاک)

تیپ خاک	حدود تغییرات	متوسط
شن درشت	۵۰-۷۰	۶۰
شن نرم	۷۵-۹۵	۸۵
شنی لومی	۹۰-۱۱۰	۱۰۰
لومی شنی	۱۰۵-۱۲۵	۱۱۵
لومی شنی ریز	۱۲۰-۱۴۰	۱۳۰
لومی شنی خیلی ریز	۱۳۰-۱۵۰	۱۴۰
لومی رسی	۱۲۰-۱۸۰	۱۵۰
رسی لومی	۱۴۰-۱۸۰	۱۶۰
رسی	۱۶۰-۲۱۰	۱۸۵
ماک و پیت	۱۶۰-۲۵۰	۲۱۰

مقدار تخلیه مجاز بستگی به نوع خاک، عمق ریشه ، حساسیت گیاه به کم آبی، مقطع زمانی دوره رشد، خصوصیات سیستم آبیاری و سایر فاکتورها دارد. مقدار تخلیه مجاز در قسمت ۱.۳.۱ ارائه شده است.

مقدار آبی که گیاه بصورت واقعی جذب می‌نماید، با آب قابل دسترس تفاوت دارد. گیاه ترجیحاً آب را از قسمتهای بالائی پروفیل خاک جذب می‌نماید. گاردنر (Gardner, 1983)، راتلیف (Ratliff) در سال ۱۹۸۳ رابطه‌ای رابراساس خصوصیات مختلف خاک با در نظر گرفتن حدبالا و حد پائین آب قابل استفاده گیاه بسط دادند. بررسی‌های این محققان نشان داد که مفهوم آب قابل استفاده با برنامه ریزی آبیاری هماهنگی دارد. آب قابل دسترس (آب قابل استفاده) دربرنامه‌ریزی آبیاری ، بدلیل اینکه عمق توسعه ریشه‌ها معمولاً کمتر از نفوذ واقعی آنها درنظر گرفته می‌شود، و تخلیه مجاز بطور تجربی براساس مفهوم آب قابل دسترس تعیین می‌شود، با موفقیت بکاربرده می‌شود.

۱.۲.۲ عمق توسعه ریشه‌ها

مقدار آبی که گیاه مصرف می‌نماید بستگی به خصوصیات نگهداری آب در خاک و عمق توسعه ریشه‌ها دارد. ماکزیمم عمق موثر ریشه‌ها بستگی به چندین عامل محیطی ، نوع محصول و خاک دارد. ماکزیمم عمق موثر ریشه‌ها برای چندین کشت در جدول ۱.۲ خلاصه شده است. از این عمق برای برنامه‌ریزی آبیاری استفاده می‌گردد. عمق موثر همیشه کمتر از ماکزیمم عمق ریشه دوانی است. عمق موثر نمایانگر عمقی از پروفیل خاک است که قسمت اعظم ریشه‌ها در آن مستقر شده است و می تواند از آب قابل دسترس استفاده نماید. توصیه می‌شود که ارقام جدول ۱.۲ برای شرایط محیط، خاک ، آب وهوا با احتیاط بسیار تعدیل گردد.

گیاهان چندساله دارای عمق ریشه نسبتاً ثابت می‌باشند در حالیکه درگیاهان یکساله عمق ریشه ها در مراحل مختلف رشد بتدریج افزایش می‌یابد. افزایش عمق ریشه در مرحله رشد گیاه مفید است و در بیلان آب خاک انعکاس پیدا می‌نماید.

تخلیه مجاز (A_d) از محوطه ریشه‌ها به طریق ذیل محاسبه می‌گردد:

$$A_d = R_d \times MAD \times Hc \qquad (۱.۳)$$

که دراین رابطه :

R_d : عمق موثر ریشه‌هااست. (A_d) جیره آبیاری برحسب سانتیمتر و R_d نیز بر حسب سانتیمتر بیان می‌شود)

MAD : ضریب تخلیه مجاز یا قسمتی از آب قابل استفاده که بصورت مطمئن در دسترس گیاه قرار می‌گیرد (رطوبت سهل الوصول).

Hc : آب قابل استفاده (برحسب درصد حجمی رطوبت بخش برصد).

عمق ریشه بایکی از روش هائی که درشکل ۱.۲ نشان داده شده‌است محاسبه می‌گردد. این مدلها از ماکزیمم عمق موثر استفاده می‌نماید تاعمق ریشه در حالت سایه اندازه کامل (مراحل آخر فصل) را مشخص نماید و عمق ریشه قبل ازآنکه ماکزیمم عمق موثر حاصل گردد بطریق زیر قابل بیان می‌باشد:

$$R_d = R_{dmin} + (R_{dmax} - R_{dmin})\, R_f \qquad (۱.۴)$$

که دراین رابطه:

R_{dmin} : می‌نیمم عمق ریشه برای مرحله اولیه کشت (گیاه جوان)

R_{dmax} : ماکزیمم عمق موثر ریشه

R_f : فاکتور رشد ریشه

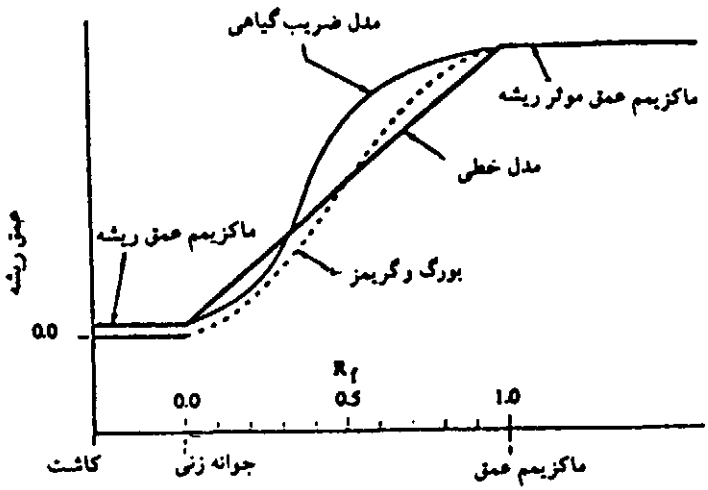
جدول ۱.۲ - عمق موثر ریشه‌ها برای گیاهان در مرحله رشد کامل *

نوع گیاه	عمق موثر** (متر)	نوع گیاه	عمق موثر (متر)
پیاز	۰/۸-۲	یونجه	۱-۳
سایر محلات دانه ریز	۱-۱/۵	موز	۰/۴-۰/۸
نخلیات	۰/۷-۱/۱	جو	۱-۱/۳
نخود	۰/۶-۱	لوبیا	۰/۴-۰/۸
فلفل	۰/۵-۱	کلم	۰/۶-۱
آناناس	۰/۳-۰/۶	هویج	۰/۵-۱
سیب زمینی	۰/۴-۰/۸	کرفس	۰/۳-۰/۵
گلرنگ	۱-۲	مرکبات	۱-۱/۸
sisal	۰/۵-۱	شبدر	۰/۶-۰/۹
سورگوم	۱-۲	پنبه	۱-۲
سویا	۰/۸-۱/۵	خیار	۰/۷-۱/۲
اسفناج	۰/۳-۰/۵	خرما	۱/۵-۲/۵
توت فرنگی	۰/۲-۰/۳	سیب پائیزه	۱-۳
نیشکر	۰/۸-۲	کتان	۱-۱/۵
چغندر قند	۱/۲-۲	انگور	۱-۲
آفتاب گردان	۱-۲/۵	علف - چمن	۰/۵-۱/۵
سیب زمینی شیرین	۱-۱/۵	بادام زمینی	۰/۵-۱
تنباکو	۰/۵-۱	کاهو	۰/۳-۰/۵
گوجه فرنگی	۰/۷-۱/۵	ذرت	۱-۲
سبزیجات	۰/۳-۰/۶	خربزه -(Melons)	۱-۱/۵
گندم	۱-۱/۵	زیتون	۰/۸-۲

* این جدول توسط دوربنوس و پرویت (Doorenbos & pruitt) در سال ۱۹۷۷ مورد تجدید نظر قرار گرفته است.

** مقادیر حداکثر عمق توسعه ریشه‌ها مربوط به انواع گیاهان اصلاح شده است که در خاکهای یکنواخت و حاصلخیز، و با کمترین مقاومت درمقابل نفوذ ریشه مورد کشت قرار می‌گیرند.

(در شرایط ایران توصیه می‌شود از ارقام حداقل جدول (در بهترین شرایط و در شرایط پر آبی) با قید احتیاط ، و به ندرت استفاده شود و در اکثر حالات لازم است ارقام پائین درضرآئب کاهش‌دهنده تا ۰/۵ ضرب شود)



شکل ۱.۲ - روش‌های متداول برای مشخص نمودن عمق ریشه برای گیاهان یک ساله

عمق می‌نیمم ریشه پس ازبذرکاری معمولاً ۰/۱ تا ۰/۱۵[۱] متر در نظر گرفته می‌شود. عمق واقعی در مرحله ابتدائی ممکن است کمی بااین اعداد متفاوت باشد اما خطا در مورد عمق ریشه پس از بذر کاری تاثیر کمی برروی بیلان آب خاک بمنظور برنامه ریزی آبیاری دارد.

فاکتور رشد ریشه (R_f)، میزان رشد ریشه در طول فصل است. در سیستم خطی مقدار R_f از رابطه زیر دست می‌آید:

$$R_f = [\frac{D_{ag}}{D_{tm}}] \text{ یا } [\frac{G_{ag}}{G_{tm}}] \qquad (۱.۵)$$

۱ - این عمق در شرایط ایران برای آبیاری سطحی ۳۰ سانتیمتر و برای آبیاری بارانی ۲۰ سانتیمتر درنظر گرفته شود.

که دراین رابطه :

D_{ag} : روزهای پس از سبز شدن بذر (جوانه‌زنی) است.

D_{tm} : مدت زمان پس از سبز شدن بذر تا رسیدن ریشه به عمق ماکزیمم (برحسب روز)است.

G_{ag} : میزان رشد روزانه پس از سبز شدن بذراست.

G_{tm} : میزان رشد روزانه از سبز شدن بذر تارسیدن به مرحله ماکزیمم عمق موثراست.

زمان لازم ، برای اینکه ریشه به عمق موثر ماکزیمم برسد برای اقلیم‌های گوناگون، کشت‌ها و واریته‌های مختلف گیاهی متفاوت می‌باشد.

برای بدست آوردن اعداد قابل اتکا باید از ارقام حاصل از مطالعات صحرائی و تحقیقات بر روی کشتها استفاده کرد. ضرایب گیاهی (که در قسمت ۱.۲.۳ بحث خواهد شد) می تواند در تبیین R_f مورد استفاده قرار گیرد:

$$R_f = \frac{K_{cb} - K_{cbg}}{K_{cbmax} - K_{cbg}} \qquad (۱.۶)$$

که دراین رابطه :

K_{cb} : ضریب گیاهی پایه در روز مورد نظراست.

K_{cbg} : ضریب گیاهی پایه در زمان سبز شدن بذر (جوانه زنی)است.

K_{cbmax} : ماکزیمم مقدار ضریب گیاهی پایه است.

ضریب گیاهی پایه برای کشت های مختلف توسط محققان:

(Kincaid & Heermann(1974), Doorenbos & Pruitt (1977),Wright(1982) & Stegman(1989)

ارائه شده است. در سال ۱۹۸۶، بورگ و گریمز (Borg & Grimes) یک فرمول تجربی بدست آوردند که بر اساس آن می‌توان برای کشتهای مختلف، ضریب گیاهی را محاسبه نمود.

رابطه به قرار زیر است:

$$R_d = R_{dmax} [۰/۵ + ۰/۵\sin (۳/۰۳ \frac{D_{ag}}{D_{tm}} - ۱/۴۷)] \qquad (۱.۷)$$

این رابطه به صورت گرافیکی در شکل ۱۰۲ نشان داده شده است.

۱.۲.۳ تبخیر تعرق کشت:

برنامه ریزی آبیاری بستگی به محاسبه و یا اندازه‌گیری تبخیر تعرق (ET) بمنظور بهنگام نمودن مقدار بیلان آب خاک و پیش بینی مقدار مصرف آب در روزهای آتی دارد تابتوان پیش بینی نمود که چه موقع مقدار تخلیه مجاز حاصل شده است. بهر حال از آنجائیکه تخمین مقدار تبخیرتعرق ET قسمتی از برنامه ریزی آبیاری می‌باشد دراینجا روش‌های متداول محاسبه ET ارائه می‌شود.

مقدار ETکشت (ET_c) معمولاً بااستفاده از مقدار، تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_r) ضریب گیاهی که تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع را به آب مصرفی گیاه مورد نظر، ET_c مربوط می‌کند، تعیین می‌گردد.

تلفیق عوامل موثر در تبخیر تعرق در رابطه ذیل ارائه شده است:

$$ET_c = (K_{cb} . K_s + K_w) ET_r \qquad (۱.۸)$$

که دررابطه فوق :

ET_c : مقدار آب مصرفی گیاه‌وکشت مورد نظر

K_{cb} : ضریب تبخیر تعرق گیاه پایه

K_s : فاکتور تنش آبی بمنظور تقلیل آب مصرفی برای کشتهای تحت «کم آبیاری »

K_w : فاکتوری که میزان افزایش تبخیر از سطح خاک مرطوب را پس از آبیاری و یا بارندگی درنظرمی‌گیرد.

ET_r : مقدار تبخیر تعرق پتانسیل برای یک گیاه مرجع می‌باشد (معمولاً یونجه و گیاه چمنی در نظرگرفته می‌شود) روش‌های زیادی بمنظور تخمین مقدار ETr برای یونجه و گیاهان چمنی وجود دارد.

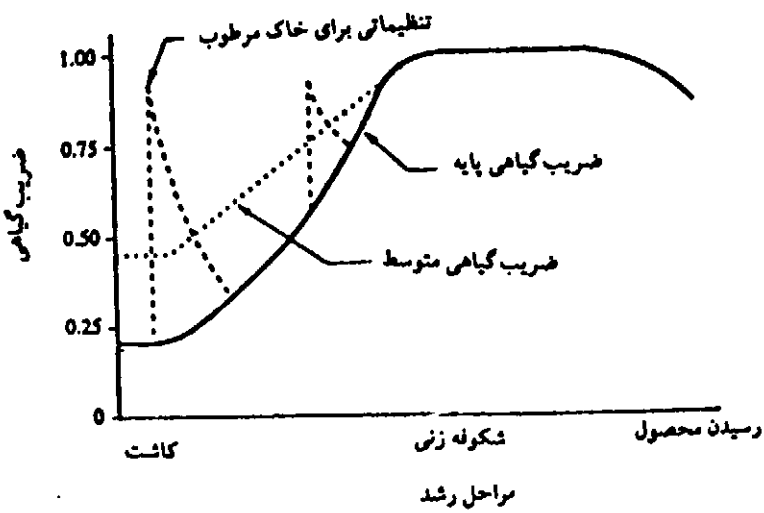
جنسن (Jensen) و همکارانش در سالهای اخیر (۱۹۹۰) ، ۲۴ روش را بمنظور پیش‌بینی تبخیرتعرق گیاه مرجع، ET_r برای مناطق خشک و مرطوب ارزشیابی نموده‌اند. بطورکلی معادلات کامل و پیچیده (تجربی - ریاضی) جهت محاسبه تبخیر تعرق، بمنظور برنامه ریزی آبیاری برای دوره‌های کوتاه مدت دقیقتر است. ولی لازمه استفاده از این روابط دسترسی به آمارهای اقلیمی از قبیل درجه حرارت هوا، فشار بخار، سرعت باد و تشعشعات خورشیدی است. این آمار برای بعضی مناطق ممکن است دردسترس نباشد بنابراین از روش‌های ساده جهت محاسبه ET_r و آب مصرفی کشت استفاده می‌شود. لندستروم و استگمان (Lundstrom & Stegman, 1977) فرمول جنسن- هیز را تعدیل نمودند تا براساس ماکزیمم درجه حرارت روزانه و متوسط میزان تشعشعات خورشیدی دریافتی بتوان تبخیر تعرق را بسادگی محاسبه کرد.

تخمین مقدار ET تنها در رابطه با میزان ماکزیمم درجه حرارت که درمقام مقایسه با آمار تشعشعات بیشتر قابل دسترس است، می‌تواند برای نقاط مزبور تعیین شود.

ضریب گیاهی پایه نمایانگر تعرق گیاهی است که درحالت تنش آبی نبوده ودرخاکی قرار گرفته باشد

که سطح آن خشک باشد. لازم است تصمیمات لازم جهت نشان دادن اثرات تنش آبی و یاافزایش تبخیر در حالتی که خاک مرطوب است درمحاسبات وارد شود.

مقدار ضریب گیاهی پایه برای گیاهان یکساله در اوایل فصل کاشت بسیار کم است، دراین مقطع قسمت اعظم تبخیر تعرق را تبخیر تشکیل می‌دهد. (به شکل ۱.۳ مراجعه شود) زمانیکه سایه انداز کشت توسعه می‌یابد مقدار تعرق سهم بیشتری از مقدار آب مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد. لذا ضریب گیاهی افزایش می‌یابد. درمراحل آخر فصل ضریب گیاهی همزمان با بلوغ کشت کاهش می‌یابد. تحقیقات نشان داده‌اند که ضریب گیاهی درمحل‌های متفاوت با آب وهوای مختلف بویژه در رابطه با روش محاسبه تغییر می‌یابد. لذا لازم است برنامه ریز آبیاری ضریب گیاهی مناسبی را برای شرایط مزرعه خود در نظر بگیرد.

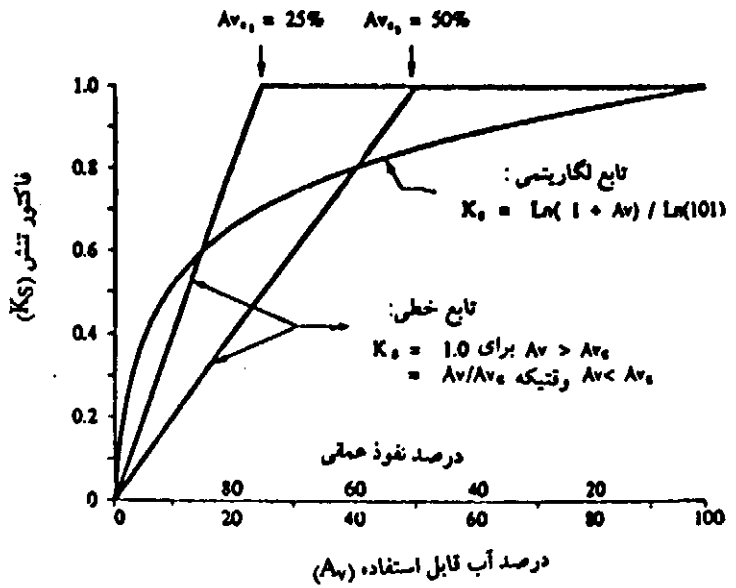


شکل ۱۰۳ - نمونه‌ای از منحنی ضریب گیاهی برای یک کشت یکساله

پارامترهای متفاوتی بمنظور نمایش منحنی ضریب گیاهی جهت نشان دادن درجه رشد گیاه مورد استفاده قرار گرفته است. تعدادی از آنها که در همه گیاهان مشترک است شامل زمان کشت ، درصد مدت زمانی که کشت به پوشش موثر می رسد، میزان رشد روزانه و مرحله رشد کشت از نظردوره‌های بحرانی می‌باشد. برنامه ریزی صحیح نیازمند بدست آوردن تغییرات دقیق ضریب گیاهی در طول مرحله رشداست.

برای هر کشت می‌توان یک منحنی ضریب گیاهی در فصل رشد با استفاده از منحنی نمونه واضافه و کم‌نمودن مراحل مختلف و اصلاح آن بدست آورد.

بعنوان مثال دربهار چنانچه هوا سرد باشد، ممکن است طول مرحله اولیه رشد بیشتر باشد وکمی تاخیر در رشد حاصل گردد. بمنظور انعکاس این تاخیر درروی منحنی باید مدت زمانی راکه پوشش کامل می‌شود طولانی تر در نظر گرفت تانمایانگر شرایط واقعی باشد. این کار به تجربه شخصی نیازمند است چرا که در اینمورد استانداردی وجود ندارد. معمولاً اثر کم آبیاری برتبخیر تعرق، دربرنامه ریزی آبیاری، بااستفاده از فاکتورتنش مشخص می‌گردد که مبتنی بر میزان آب موجود درخاک است. دو روش متداول که براساس سیستم خطی تدوین شده توسط هانکس (Hanks 1974) و ریتچی (Ritchie 1973) مورد استفاده قرار گرفته است. از سیستم لگاریتمی نیز توسط جنسن و همکارانش (Jensen 1971) استفاده شده است. (به شکل ۱.۴ مراجعه شود)



شکل ۱.۴ - نمونه‌ای از توابع بمنظور کاهش میزان آب مصرفی گیاه براساس تنش آبی

زمانیکه برنامه ریزی آبیاری برای دستیابی به حداکثر راندمان تولید صورت می‌پذیرد آبیاری کامل انجام می‌گیرد و لذا کم آبیاری اضطراری وموقتی (مثلاً ناشی از عدم کارکرد مناسب و خرابی سیستم) و فاکتور تنش تاثیر بسیار کمی برروی مقدار تبخیر تعرق دارد، بنابراین هر فرم معادله‌ای برای فاکتور تنش قابل قبول است. در صورتیکه تحت شرایط کم آبیاری اثر تنش ناشی از حوادث اتفاقی برروی مقدار تبخیر تعرق حالت بسیار جدی و بحرانی به خود می‌گیرد.

افزایش تبخیر از سطح خاک مرطوب، تحت تاثیر گسترش پوشش گیاهی، انرژی قابل دسترس برای تبخیر، وخصوصیات آبی خاک قرار دارد.

روش شبیه سازی این پروسه که توسط ریتچی (Ritchie,1972) پیشنهاد شده است اکثراً با شاخص هوای برگ و یا پارامترهای ویژه خاک مرتبط است این عوامل بسهولت برای برنامه ریزان قابل دسترس نیست بنابراین روشهای ساده، و مبتنی بر تبخیر از سطح خاک مرطوب گسترش پیدا می‌کند و بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

معمولاً ضریب اصلاح خاک مرطوب سطحی، هنگامی مورد استفاده قرار می‌گیرد که پوشش گیاهی توسعه پیدا کند .

رایت (Wright) درسال ۱۹۸۲ روش ساده‌ای را برای محاسبه تبخیر از سطح خاک مرطوب ، در حالتی که ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) کمتر از یک است، ارائه داد:

$$K_w = F_w [1 - K_{cb}] F(t) \qquad (۱.۹)$$

$$F(t) = \left(1 - \sqrt{t/t_d}\right)$$

که در آن :

F_w : ضریب سطح خاک مرطوب است.

$F(t)$: عامل تقلیل تبخیر از سطح خاک مرطوب است.

t : مدت زمان پس از مرطوب شدن برحسب روز است.

t_d : روزهای مورد نیاز بمنظور خشک شدن سطح خاک مرطوب است.

بخشی از سطح خاک که توسط سیستم آبیاری مرطوب می‌شود بستگی به مقدار و روش آبیاری دارد (جدول ۱.۳)، همچنین مقدار F_w از طریق مشاهده شرایط خاک قابل تخمین می‌باشد. مدت زمان مورد نیاز برای خشک شدن سطح خاک بستگی به بافت خاک و همچنین عوامل جوی موثر در تبخیر دارد. مقدار تقریبی زمان‌خشک شدن و همچنین فاکتور کاهش سطح خاک مرطوب در جدول ۱.۴ برای ۶ نوع بافت خاک ارائه شده است.

جدول ۱.۳- قسمتی از سطح خاک که در هر سیستم و روش آبیاری مرطوب می‌گردد.

روش آبیاری	F_w
۱- بارندگی	۱/۰
۲- آبیاری بارانی	۱/۰
۳- آبیاری نواری وکرتی	۱/۰
۴- آبیاری نشتی :	
عمیق	۱/۰
کم عمق	۰/۵
سایر روشها	۰/۵
۵- آبیاری قطره‌ای	۰/۲۵
۶- آبیاریهای کم فشار و میکروجتها	۰/۵

مقدار کل تبخیر از سطح خاک مرطوب پس از یک آبیاری و یا بارندگی بستگی به مقدار آب جذب شده دارد.

مقدار تبخیر روزانه از خاک مرطوب بستگی به K_w و ET_r دارد. در پاره‌ای شرایط و روزها، ممکن است تبخیر روزانه از خاک مرطوب، در دوره خشک، از مقدار آبیاری یاباران بیشتر گردد. هیل و همکارانش (Hill) در سال ۱۹۸۳، اصطلاحی تحت عنوان "فاکتور مقاومت خاک مرطوب" (P_f) را ارائه دادند، که امکان فوق را به حساب می‌آورد. فاکتور پایداری و مقاومت (Persistence) نمایانگر درجه تاثیر سطح خاک مرطوب در تبخیر کل می‌باشد. کل مقدار آب تبخیر شده از سطح خاک مرطوب تحت تاثیر یک پروسه مرطوب سازی،(E_{ws}) از رابطه زیر بدست‌می‌آید:

$$E_{ws} = P_f.F_w\,[1-\overline{K_{cb}}]\,\overline{ET_r} \qquad (۱.۱۰)$$

که در رابطه فوق:

K_{cb} : متوسط ضریب گیاهی پایه در دوره خشک است.

ET_r : متوسط ET روزانه گیاه مرجع در دوره خشک است.

ماکزیمم مقدارE_{ws}، مقدار آب دریافتی از آبیاری و یا بارندگی می‌باشد.

زمانیکه محاسبه اثر تنش و همچنین تبخیر خاک مرطوب بصورت روزانه امکان پذیر نباشد، از متوسط ضریب گیاهی (K_{cm}) استفاده می‌شود که نمایانگر نسبت میزان آب مصرفی واقعی کشت

جدول ۱.۴ - عامل کاهش تبخیر از سطح خاک مرطوب $F(t)$ ، زمان خشک شدن (t_d) و فاکتور پایداری و مقاومت (P_f) برای خاکهائی با بافتهای مختلف

زمان پس از مرطوب شدن خاک(t) برحسب روز	شنی	شنی لومی	لومی‌شنی	لومی‌سیلتی	لومی‌رسی	رسی
۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
۱	۰/۲۹	۰/۴۲	۰/۵۰	۰/۴۴	۰/۶۲	۰/۶۸
۲	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۲۹	۰/۳۷	۰/۴۶	۰/۵۵
۳		۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۳۵	۰/۴۵
۴			۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۲۴	۰/۳۷
۵				۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۲۹
۶					۰/۰۷	۰/۲۳
۷					۰/۰۰	۰/۱۶
۸						۰/۱۱
۹						۰/۰۵
۱۰						۰/۰۰
(t_d)زمان خشک شدن خاک‌بر حسب(روز)	2	3	4	5	7	10
(P_f)فاکتورپایداری	1.29	1.60	1.92	2.26	2.90	3.89

* براساس کارهای هیل و همکاران (Hill , et,al,1983)

نسبت به گیاه مرجع می‌باشد. متوسط ضریب گیاهی، تحت شرایط هر منطقه قابل تخمین می‌باشد که از روش آقایان دورنبوس و پروت (Doorenbos & Pruitt) براساس دوره بارندگی ویا آبیاری و متوسط ET کشت در مرحله اوائل رشد بدست می‌آید. همچنین متوسط مقدار ضریب گیاهی با مساوی قراردادن K_{cm} بامتوسط مقدار ضریب مرکب گیاهی (درمعادله ۱۰۸) قابل تخمین می‌باشد.

$$K_{cm} = \overline{[K_{cb} \cdot K_s + K_w]} \qquad (۱.۱۱)$$

مقادیر داخل کروشه متوسط ضریب گیاهی برای دوره مورد نظر می‌باشد. بمنظور محاسبه آب مصرفی‌گیاه، متوسط ضریب گیاهی , K_{cm}, جایگزین مقدار داخل کروشه در معادله ۱.۸ می‌شود. بمنظور استفاده از معادله (۱.۱۱)، لازم است تواتر آبیاری و یا بارندگی دردوره مورد نظر تخمین زده شود. فاکتور متوسط تبخیر از سطح خاک مرطوب بااستفاده از ضریب گیاهی پایه برای دوره مورد نظر قابل محاسبه می‌باشد.

متوسط کاهش رطوبت خاک از طریق محاسبه مقدار F(t) ازجدول ۱.۴ برای فواصل آبیاری مورد نظر قابل برآورد می‌باشد. لازم است درجه دقت، و تغییرات تبخیر تعرق محاسبه شده در بهنگام نمودن بیلان رطوبتی درنظرگرفته شود. براساس مطالعاتی که بمنظور بدست آوردن تغییرات ET_r انجام پذیرفت معلوم گردید حدود تغییرات نرمال ET_r برای نواحی جنوب‌غربی در دوره حداکثر مصرف (تابستان) کمتر از ۱۰٪ ، و برای نواحی مرکزی غرب میانه درتابستان ، ونواحی جنوب غربی در پایان فصل ۳۰ الی ۵۰٪ است. جنسن ورایت (Jensen & Wright, 1978) نشان دادند که تغییرات متوسط ET بامتوسط طول دوره کاهش می‌یابد(شکل ۱۰۵). خطای استاندارد ET روزانه که براساس روش ترکیبی برآورد می‌شود یک میلیمتر در روز می‌باشد.

خطا در تخمین ET بااستفاده از روش ترکیبی تقریباً نزدیک تغییرات طبیعی ET , بامقیاس تغییرات روزانه است. بااینحال کاربرد مدل ترکیبی بااستفاده از داده‌های هواشناسی واقعی (Actual) برای دوره طولانی، دامنه تغییرات ET پیش‌بینی شده را خیلی بهتراز روشهای متداول (که برای برآورد ET بکار می‌رود) ، دریک دوره مشابه کاهش می‌دهد. بنابراین استفاده از مدل ET می‌تواند تخمین مقدار آب مصرفی را درمقایسه با روش استفاده از متوسط ET روزانه، که به منظور بهنگام نمودن بیلان رطوبتی خاک از آن استفاده می‌شود، دقت بخشد. خطای استاندارد در تخمین ET بااستفاده از معادلات ترکیبی در کیمبرلی (Kimberly) حدود ۰/۴ میلیمتر در روز برای دوره‌های هفتگی (دوره‌هائی بامقیاس‌هفته) بوده است. در مورد این تغییرات، در ۹۵٪ از حالات می‌توان انتظار داشت

که آب مصرفی هفتگی کشت بین ۶ ±میلیمتر مقدار محاسبه شده باشد. درصورتیکه بسیار محتمل است که متوسط ET یعنی ۶ میلیمتر در روز فقط برای تخمین ET یک روز مصرف صحیح باشد. یک دوره بلند مدت در برنامه ریزی می‌تواند امکانات یک تخمین دقیق مقدار آب خاک را فراهم آورد، در صورتیکه بارندگی و یا آبیاری صورت نگیرد.

پیش‌بینی مقادیر ET برای دوره‌های آتی بستگی به اطلاعات و آمارهای جوی درازمدت دارد. یک روش ، مبتنی بر استفاده از متوسط آمارهای بلند مدت برای محاسبه ET_r برای دوره‌های آتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش دیگر مبتنی براین است که اطلاعات گذشته نزدیک، به آینده (دوره‌های آتی) تعمیم داده شود، بافرض اینکه متوسط ET طی چند روز گذشته معرف متوسط ET روزهای آینده باشد.

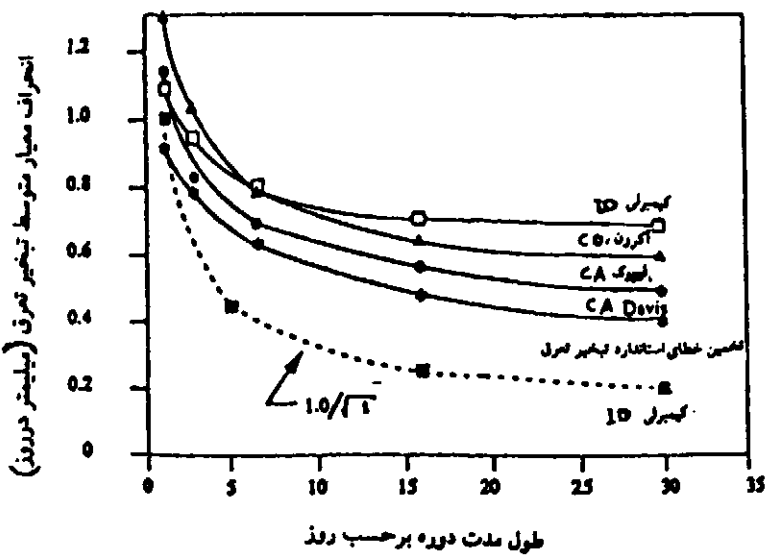
هیرمن و جنسن (Heermann & Jensen , 1970) این روشها را مقایسه نمودند و دریافتند هرگاه که آب مصرفی در طی فصل افزایش و یاکاهش می‌یابد، اطلاعات بدست آمده از گذشته نزدیک اغلب نمی‌تواند نمایانگر مقدار واقعی نیاز آبی باشد، ولی روش متوسط گیری از دوره‌های طولانی، بیشتر مورد اعتماد خواهد بود.

تمامی مدلهای ET باید متناسب با شرایط هر محل کالیبره شود تادقت لازم را داشته باشد (Pruitt & Doorenbos , 1977). بنابراین اندازه گیریهای متعدد و مکرر رطوبت خاک، جهت اطمینان از صحت پیش‌بینی‌های مربوط به بیلان رطوبت خاک توصیه می‌شود.

۱۰۲۰۴ جریان آب به سمت بالا (خیز آب):

در شرایطی که سطح ایستابی به اندازه کافی نزدیک منطقه ریشه‌ها قرار داشته باشد گیاه آب را از «ناحیه خیز موئینه‌ای» دریافت می‌کند. آب موئینه‌ای درمناطقی که نیاز به آبیاری بدلیل وجود بارندگی

و یا شرایط جوی مناسب کمتر است، می‌تواند بسیار مفید وحتی تعیین کننده باشد. درمناطقی که از آب « لب شور» برای آبیاری استفاده می‌شود، آبشوئی جهت انتقال نمک از ناحیه ریشه‌ها ضروری می‌باشد، ولی این آب جزو آب مصرفی گیاه بحساب نمی‌آید.



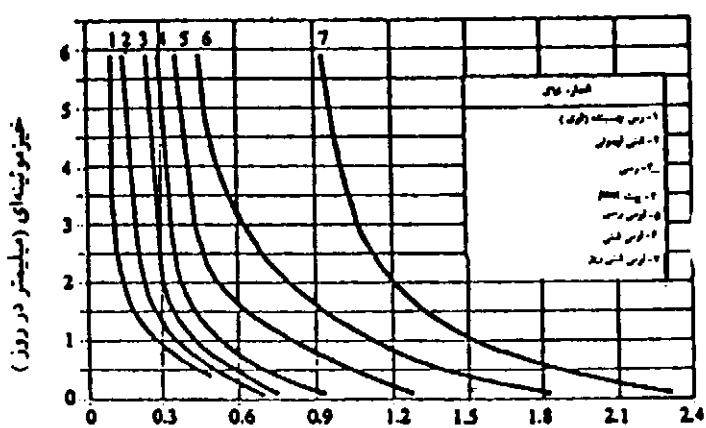
شکل ۱۰۵ - انحراف معیار تبخیر تعرق (ET) متوسط ، برای متوسط فواصل زمانی طی دوره‌های حداکثر مصرف آب، برای چهار منطقه مختلف، خط نقطه چین نمایانگر خطای استاندارد در تخمین ET در کیمبرلی می‌باشد.

(براساس کارهای جنسن Jensen و رایت Wright، ۱۹۷۸)

سفره های آب زیرزمینی که درعمق یک متری ، و پائین تر ازعمق توسعه ریشه‌ها قرار دارند می‌توانند بخش مهمی از نیازهای تبخیر تعرق (ET) گیاه را (حتی در شرایطی هم که کیفیت آب در مرز نامناسب قرار داشته باشد) تامین کنند. میزان جریان آب به سمت بالا (خیر موئینه‌ای و یا صعود شعریه) وابسته به عمق سطح ایستابی ونوع خاک می‌باشد. آبهائی که درعمق کمتری قرار دارند، سریعتر از سفره‌های عمیقتر می‌توانند آب را تامین کنند و در دسترس قرار دهند. در این مورد نوع

خاک دو اثر متفاوت دارد: اول اینکه خاصیت موئینگی خاک انرژی و یا پتانسیل حرکت انتقالی آب را بسمت بالا تامین می‌کند. دوم آنکه ضریب هدایت آبی خاک تعیین کننده میزان جریان آب به طرف بالا می‌باشد. خاکهای شنی در رطوبت نزدیک به اشباع دارای ضریب هدایت آبی بالائی می‌باشند. ولی این ضریب با فاصله گرفتن از سفره آب زیرزمینی به همان نسبت که خاک از حالت اشباع دورتر می‌شود، به سرعت افت می‌کند. درخاکهای شنی بعلت کم بودن ارتفاع صعود شعریه، در مقایسه با خاکهای سنگین، اصولاً ، نیاز به آبیاری (در شرایطی که گیاه از سفره تغذیه می‌کند) بیشتر است. خاکهای رسی مولد پتانسیلهای بالائی برای حرکت صعودی آب می‌باشند. دراین خاکها پائین بودن هدایت آبی عامل محدوده‌کننده‌ای از نظر مقدار جریان موئینه ای می‌باشد. در خاکهائی با بافت متوسط ارتفاع صعود شعریه (جهت تغذیه گیاه)، بعلت متعادل بودن میزان پتانسیل آب خاک (از نظر سرعت صعود) و هدایت آبی آن (از نظر مقدار جریان) کلاً موثرتر و کاراتر می‌باشد.

یک روش ساده، بر اساس کارهای دورنبوس و پروت (۱۹۷۷)، جهت تخمین میزان جریان آب بسمت بالا، درشکل ۱۰۶ نشان داده شده است. توسط اسکاگزوهمکارانش (Skaggs , et , al , 1981) جزئیات بیشتری جهت استفاده در سیستم‌های مختلط آبیاری و زهکشی (که درآنها آبیاری زیرزمینی و زهکشی تواماً بوسیله لوله های زیرزمینی صورت می‌پذیرد) معرفی شده است.



شکل ۱۰۶ - میزان خیزموئینه‌ای از یک سفره آب تحت شرایط ماندگار

(مأخوذ از کارهای دورنبوس و پروت، (Doorcnbos & Pruitt , 1977)

۱۰۲۰۵ سایر مولفه‌های بیلان آب خاک:

سایر مولفه‌های بیلان آب خاک (از قبیل بارندگی ، زهکشی ، عمق خالص آبیاری) دارای تاثیرات متقابل بوده و وسیعاً از نحوه مدیریت تاثیر می‌پذیرند.

زهکشی ازمنطقه توسعه ریشه‌ها (و جریان آب اشباعی با عماق) زمانی اتفاق می‌افتد که بارندگی و یا آبیاری موجب شود که رطوبت خاک به حدی فراتر از ظرفیت مزرعه (ظرفیت نگهداری) برسد.
در شرایطی که بیلان آب خاک براساس نیاز روزانه محاسبه و برنامه ریزی می‌شود معمولاً یک روز پس از آبیاری آبهای زاید خارج شده و میزان تخلیه به صفر می رسد و بیلان آب خاک براین مبنا محاسبه می‌شود.
میزان آب زهکشی شده، براحتی، حتی در شرایطی هم که بافت خاک سنگین بوده و مدت زمان زهکشی بیش از یکروز بطول می‌انجامد، قابل برآورد می‌باشد. درطول دوره زهکشی (و حرکت آب اشباعی) گیاه می‌تواند از این آب استفاده نماید، لذا فرضیه زهکشی لحظه‌ای (زهکشی سریع) که در بسیاری از برنامه‌ریزیها مورد استفاده قرار می‌گیرد میزان آب قابل دسترس خاک، در محیط توسعه ریشه‌ها را ، پس از یک آبیاری سنگین و یا بارندگی زیاد (بیش از ظرفیت نگهداری خاک) کمتر از میزان واقعی پیش‌بینی می‌کند (زیرا استفاده گیاه از آب زهکشی طی یک الی سه روز درنظر گرفته نمی‌شود).
معمولاً فرضیه زهکشی لحظه‌ای دربرنامه ریزی آبیاری خاکهای شنی (خیلی سبک و بانفوذپذیری بالا) مسئله خاصی ایجاد نمی‌کند . در صورتیکه میزان و سرعت جریان آب اشباعی در خاکهای بافت سنگین و یا متوسط کاملاً مشخص نیست و لذا لازم است چندروز پس از آبیاری ، بامشاهدات (صحرائی) و اندازه‌گیریهای مستقیم موضوع روشن گردد. در هر صورت بعلت اینکه اکثراً از مقدار

آب مصرفی و رواناب (سطحی) اطمینان کافی وجود ندارد لذا در چنین شرایطی لازم است پس از آبیاری سنگین اندازه‌گیریهائی صورت پذیرد. تااز میزان تخلیه آب خاک اطلاعات لازم بدست بیاید و متعاقب آن موقع آبیاری تعیین شود. این اندازه‌گیریها، بلافاصله پس از آبیاری ضروری نیست چراکه آبیاری، نیاز آبی گیاه را برای مدت نسبتاً طولانی تامین می‌کند.

باران موثرمقدار بارانی است که درخاک نفوذ کرده ومورداستفاده گیاه قرارمی‌گیرد. تخمین‌میزان باران‌موثرمشکل است.

چراکه نفوذپذیری خاک با زمان، و همچنین با شرایط محیط تغییر می‌کند، و نیز بارندگی در زمان و مکان متغیر است. محاسبه باران موثر از نظر دشواری پیش‌بینی شرایط جوی و بدلیل عدم اطمینان از وقوع بارندگی و میزان آن نیزمشکل است با اینحال روشهائی برای منظور کردن بارندگی درمراحل مختلف برنامه ریزی آبیاری پیشنهاد گردیده است. آب آبیاری خالص (جیره نظری آبیاری) مقدار آبی است که در منطقه توسعه ریشه‌ها برای مصرف گیاه ذخیره می‌گردد. قسمتی از آب ناخالص آبیاری (d_g) که بطور عمده به مصرف گیاه می‌رسد به فاکتورهای چند وابسته است . برای برنامه ریزی آبیاری میزان آب خالص (d_n) با استفاده از راندمان کاربرد(E_a) برآورد می‌شود:

$$d_n = \frac{E_a d_g}{100} \qquad (۱۰۱۲)$$

که در آن :

E_a : راندمان کاربرد آبیاری برحسب درصد است .

d_g : عمق ناخالص آب آبیاری (جیره آبیاری) برحسب میلیمتر است .

جدول ۱.۵ - حدود راندمان کاربرد برای روشها و سیستمهای مختلف آبیاری

نوع سیستم و روش آبیاری	راندمان‌کاربردبرحسب ٪	نوع سیستم‌و روش آبیاری	راندمان کاربرد بر حسب ٪
- آبیاری‌نشتی - بدون استفاده مجدداز رواناب (بالوله‌های‌دریچه‌دار)	۴۰ الی ۷۵	بارانی سیستم قرقره‌ای (گان)	۵۵ الی ۷۵
آبیاری نشتی- بااستفاده مجدداز رواناب (بالوله‌های‌دریچه‌دار)	۶۰ الی ۸۵	بارانی - سیستم‌شیلنگی یاسیستم شیلنگ کش	۵۵ الی ۷۵
- آبیاری نواری	۵۰ الی ۸۵	بارانی - سیستم دوارمرکزی همراه با سیستم آبیاری گوشه‌ها (Corner Pivot)	۷۰ الی ۹۰
آبیاری حوضچه‌ای (کرتهای بزرگ)	۶۰ الی ۸۵	بارانی - سیستم دوارمرکزی (سنترپیوت)	۷۵ الی ۹۰
- بارانی-(سیستم‌متحرک و ثابت)	۶۰الی ۸۵	قطره‌ای - Trickle (Point source)	۶۵الی ۹۰
- بارانی‌سیستم چرخان (ویل موو)Wheel Move	۶۰ الی ۸۰	قطره‌ای - با لوله‌های مضاعف (Lateral source)	۶۰ الی ۸۵
- بارانی - با سیستم خطی Linear Move	۷۰ الی ۹۰	میکرو جت ها Micro sprinkler	۶۰ الی ۸۵

راندمان کاربرد را می‌توان از جدول ۱۰۵ برای انواع روشهای آبیاری تخمین زد این مقادیر فقط بعنوان راهنما بوده ، و لازم است نسبت به شرایط محلی و براساس تجربه کارشناسی تصحیح گردد.

۱۰۲۰۶ برنامه‌ریزی بر اساس بیلان آب خاک

برنامه ریزی آبیاری به میزان تخلیه مجاز آب خاک (قبل از رسیدن به حداسترس و تا حد شروع استرس) و عمق آب مصرفی درهر آبیاری (جیره نظری آبیاری) و راندمان (جیره آبیاری) و ظرفیت سیستم آبیاری بستگی دارد.

چند روش برای استفاده از آب موجوددر خاک جهت برنامه ریزی آبیاری وجود دارد. اگر هزینه های دستمزد آبیاری ، همانند آبیاری سطحی و سیستم‌های آبیاری بارانی متحرک، باتعداد آن مرتبط و متناسب باشد مدیریت باید تاحدامکان تعداد آبیاریها راکاهش دهد. درچنین حالاتی آب خاک باید تاآخرین درجه مجاز تخلیه گردد و آبیاری برای پرکردن مجدد پروفیل خاک بکار گرفته شود.

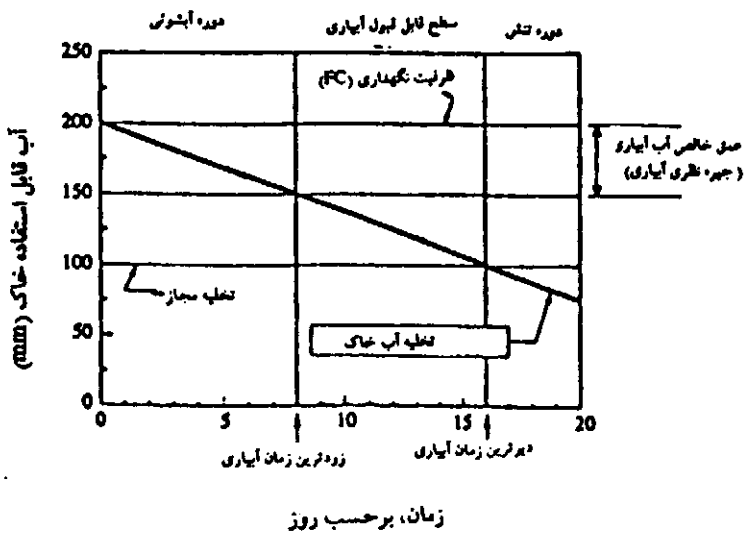
در صورتیکه هزینه‌آبیاری ، مثل سیستم قطره‌ای و یا بارانی مکانیزه ، کم باشد مدیر، جهت تصمیم گیری ، حق انتخاب بیشتری خواهد داشت و برنامه از انعطاف پذیریی بیشتری برخوردار خواهد بود، لذا، در اینصورت تعداد آبیاری در درجه دوم اهمیت قرار خواهد گرفت.

استفاده از بیلان آب خاک بمنظور برنامه ریزی آبیاری در شکل ۱۰۷ نشان داده شده است. خاکی را در نظر می‌گیریم که درآن ، آب قابل استفاده (در عمق توسعه ریشه‌ها) بعد از یک آبیاری کامل و یا بارندگی کافی ۲۰۰ میلیمتر و تخلیه مجاز ۵۰٪ آب قابل استفاده باشد. اگر میزان متوسط آب مصرفی مزرعه معادل ۶/۲۵ میلیمتر در روز باشد، مزرعه پس از ۱۶ روز به حد تخلیه مجاز خواهد رسید. در چنین شرایطی لازم است مزرعه قبل از روز شانزدهم، برای جلوگیری از تنش، آبیاری شود. این تاریخ بنام « دیرترین تاریخ آبیاری » (دیرترین گاه آبیاری) نامیده می‌شود.

بهمان نسبت که آب آبیاری از نظر کیفیت در وضعیت بهتری قرارمی گیرد لازم است آبشوئی (حرکت آب با عماق پائینتر از عمق توسعه ریشه‌ها)، بویژه در شرایطی که مواد شیمیائی مغذی وکود در محیط گسترش ریشه‌ها موجود باشد، به حداقل خود برسد.

با برنامه ریزی صحیح آبیاری می‌توان با تعیین «زودترین تاریخ آبیاری» آبشوئی را به حداقل ممکن رسانید.

زودترین تاریخی که یک مزرعه می‌تواند تحت آبیاری قرار بگیرد در رابطه باعمق خالص آبیاری (جیره نظری) تعیین می‌گردد. توضیح اینکه اگر تخلیه رطوبت خاک بیشتر از جیره نظری (و یا معادل آن) باشد در اینصورت آب در خاک و درعمق توسعه ریشه‌ها ذخیره می‌شود و زهکشی عمقی صورت نمی‌پذیرد. اگر عمق خالص آبیاری (طبق‌معیارها و ضرورت‌های طراحی) معادل ۵۰میلیمتر باشد، زودترین تاریخ آبیاری ۸ روز خواهد بود (شکل ۱۰۷) در صورتیکه مزرعه زودتر از این مدت آبیاری گردد زهکشی عمقی صورت خواهد پذیرفت.



شکل ۱۰۷ - نمایش زمان قابل قبول (و فاصله مناسب) آبیاری بر اساس وضعیت آب خاک

(آب قابل استفاده - حد تخلیه مجاز-جیره نظری آبیاری)

براساس زودترین ، و دیرترین تاریخ آبیاری (گاه آبیاری) ، فاصله زمانی مناسب جهت شروع آبیاری (مهلت شروع آبیاری) بدست می‌آید (شکل ۱۰۷). انجام آبیاری در این فاصله زمانی (بین زودترین ودیرترین تاریخ)موجب می‌شود که از استرس جلوگیری بعمل آید، درضمن، آبشوئی ، وجریان عمقی (زهکشی وحرکت آب اشباعی به اعماق) به حداقل برسد. در سیستم‌های آبیاری که قادر باشند آب موردنیاز گیاه، وجیره آبیاری را درشرایط حداکثر،و حداقل تخلیه رطوبت خاک دراختیار مزرعه قراردهندمی‌توان بیشترین فاصله زمانی جهت شروع آبیاری را درنظر گرفت.

درمورد سیستم‌های آبیاری (روشهای آبیاری) که قادر باشند جیره آبیاری (عمق آبیاری) بیشتری را برای مزرعه تامین نمایند جیره نظری آبیاری (عمق خالص آبیاری) تقریباً معادل حداکثر تخلیه مجاز (رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه‌ها) می‌باشد. بعکس در سیستم‌های آبیاری که جیره آبیاری کمتری را تامین می‌کنند فواصل آبیاری، (وهمچنین‌مهلت برای شروع آبیاری) در آنها اندک بوده ، و به تبع آن ، قابلیت انعطاف مدیریتی آنها نیز کمتر خواهد بود. پاره‌ای از سیستم های آبیاری سطحی، و سیستم‌های آبیاری بارانی متحرک نمونه‌هائی از اینگونه سیستم‌ها، با فاصله آبیاری کم می‌باشند. خاکهائی که دارای ظرفیت نگهداری و آب قابل استفاده (آب قابل دسترس) کمتری می‌باشند، نیز، دارای فواصل آبیاری قابل قبول (و مهلت شروع آبیاری) کوتاهتری می‌باشند.

ظرفیت سیستم‌آبیاری (حجم آب - مساحت مزرعه ومدت زمان آبیاری) روی فاصله آبیاری اثر می‌گذارد.

معمولاً آبیاری تمام مزرعه بطور همزمان، یک جا و دریک نوبت عملی نیست، و لذا چندین روز لازم است تا آبیاری مزرعه انجام شود (مگر آنکه سیستم، مثل روش آبیاری بارانی ثابت، و یا آبیاری قطره‌ای کل مزرعه را پوشش دهد، با اینحال دراین دو سیستم‌نیز ، بااینکه آبیاری تمام مزرعه دریک نوبت عملی است، ولی بجهات کاربردی این کار بااین شیوه انجام نمی‌گیرد)، بعنوان مثال دستگاه آبیاری بارانی دوار مرکزی (سنترپیوت) که درشکل ۱۰۸ نشان داده شده است ، جهت تامین جیره

آبیاری بمیزان ۲۵ میلیمتر، و یک دور آبیاری مزرعه ، به سه روز وقت نیاز دارد.

جهت تعیین ظرفیت سیستم آبیاری بهتراست فاصله زمانی بین استقرار، و شروع بکار سیستم در ایستگاه آبپاشی اول (بعنوان زمان شروع آبیاری مزرعه) تا پایان کار سیستم در آخرین ایستگاه (بعنوان خاتمه آبیاری مزرعه) در نظر گرفته شود. برای پرهیز از استرس احتمالی درآخرین ایستگاه آبپاشی ، آبیاری باید قبل از آنکه به حد تخلیه مجاز رسیده باشد در ایستگاه اول شروع گردد. فاصله زمانی بین شروع و خاتمه آبیاری بنام « دوره آبیاری » نامیده می‌شود. دور آبیاری یک سیستم برای تامین جیره آبیاری لازم از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$t_c = ۰/۱۱۶ \frac{A_i\, d_g}{Q} \qquad (۱۰۱۳)$$

که در آن:

t_c: « دور آبیاری » برحسب روز است .

A_i: مساحت مزرعه بر حسب هکتار است.

d_g: جیره نظری آبیاری (عمق خالص آبیاری) برحسب میلیمتر است.

Q : بده جریان سیستم برحسب لیتر بر ثانیه است

در شرایطی که جیره آبیاری کمتر، و آبیاری با دفعات بیشتر بکارگرفته می‌شود لازم است برنامه ریزی بر همین مبنا، یعنی سازماندهی تعداد بیشتر آبیاری صورت بگیرد.

در شکل ۱۰۹ زودترین و دیرترین تاریخ آبیاری برای دو نوبت آبیاری نشان داده شده است. این تاریخها مربوط به زمانی است که تخلیه رطوبت خاک، طبق برنامه پیش‌بینی شده، بمیزان ۱۰ میلیمتر (درعمق توسعه ریشه‌ها) صورت گرفته باشد (به جدول ۱۰۶ مراجعه شود). این مثال نشان می دهد که زودترین تاریخ آبیاری سه روز قبل از تاریخ آبیاری (گاه آبیاری) برنامه‌ریزی شده و (محاسبه شده)

و دیرترین تاریخ آبیاری هفت روز پس از این تاریخ در نظر گرفته شده است. بطور کلی تخلیه رطوبت درنقطه آغازین (Start position) و پایانی (Stop position) دور آبیاری، یکسان نمی‌باشد. رطوبت خاک نیز در نقطه آغازین اکثراً بیشتر از نقطه پایانی است. شدت تغییرات تخلیه این رطوبت علاوه براینکه تابع مقاطع مختلف زمانی بین دو آبیاری است، به عوامل دیگری نیز، مثل بارندگی، نوع محصول و نوع خاک مربوط می‌شود. دراین رابطه روش آبیاری نیز می‌تواند عامل موثری باشد. با در دست داشتن زمان شروع و یا پایان دور آبیاری می‌توان زودترین و یا دیرترین تاریخ آبیاری را مشخص کرد. زمان بین خاتمه دوره آبیاری تاشروع دور بعدی " زمان توقف (وتعطیل)" ، (Idle Time) نامیده می‌شود (شکل ۱۰۹). ماکزیمم زمان توقف سیستم بین دو دور آبیاری بستگی به عمق آبیاری، ظرفیت سیستم و متوسط تبخیر تعرق ET دارد، به طوریکه: t_i ,

$$t_i = [\frac{d_n}{ET}] - ۰/۱۱۶ [\frac{A_i d_n}{QE_a}] \qquad (۱۰۱۴)$$

در شرایطی که جیره آب آبیاری بمقدار زیاد بکاربرده شود منظورکردن مدتی برای توقف آبیاری (بین دو دور آبیاری) عملی‌تر، و امکان پذیرتر خواهد بود. در برنامه ریزیهای آبیاری محاسبه و تعیین مدت توقف سیستم (مهلت شروع آبیاری دور بعد) فرصت مناسبی برای پرداختن کشاورزان به امور متفرقه دیگر مثل برقراری ارتباطات بین خود، نگهداری سیستم و انجام تعمیرات لازم بحساب می‌آید. کشاورزان وآبیارانی که اکثراً جیره آبیاری کمتری را مورد استفاده قرار می‌دهند ممکن است، در صورت کار مداوم سیستم، نخواسته باشند آبیاری تعطیل شود. در صورتیکه یک سیستم بتواند جیره آبیاری کمتری را در دفعات متعدد تامین نماید دراین حالت شناخت تبخیر تعرق (ET) جهت پرهیز از انباشت ویا تخلیه زیاده ازحد آب در مخزن خاکی دارای حساسیت بیشتری می‌باشد. درشرایطی که هیچ نقطه‌ای از مزرعه، قبل از آبیاری به حدتخلیه مجاز نرسیده باشد، مقدار رطوبت خاک به هنگام آبیاری (و به تبع آن مقدار جیره) به هر مقدارکه باشد اهمیت کمتری پیدا می‌کند مشروط به اینکه عمق

آبیاری آنقدر زیاد نباشد که زهکشی عمقی (و حرکت آب اشباعی به اعماق) صورت بگیرد.

برنامه ریزی آبیاری بر اساس بیلان آب خاک می‌تواند برای تعیین مدت توقف سیستم و زمان شروع مجدد دور آبیاری (پس از یک سری آبیاریهای متوالی ، با فواصل اندک و با جیره‌ای کمتر از تخلیه رطوبت خاک) ، همچنانکه در شکل ۱۰۱۰ نشان داده شده است، مورد استفاده قرار بگیرد.

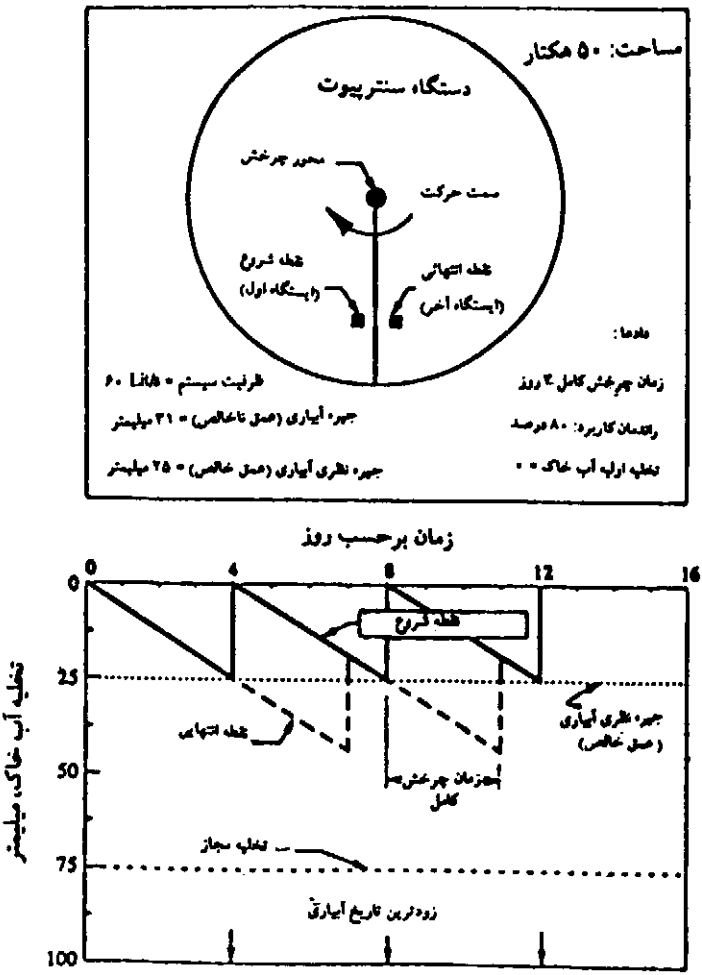
آبیارانی که در آغاز فصل، آبیاری را برمبنای عمق توسعه گیاه بالغ انجام می‌دهند بامشکل (مصرف آب بیشتر از نیاز) مواجه خواهند شد.

برنامه‌ریز آبیاری باید احتمال وقوع باران و ظرفیت سیستم آبیاری، هردو را ، برای تامین آب مورد نیاز آتی گیاه درنظر بگیرد و یاممکن است از نظر استراتژی مدیریتی لازم باشد عمق توسعه ریشه‌ها، با آبیاری پیش از فصل (خاکاب) و یا باآبیاری کامل اوایل فصل به رطوبت مطلوب رسانده شود. درصورتیکه‌این آبیاریها بدرستی برنامه‌ریزی وتنظیم نشود به شستشوی مواد مغذی خاک منجر خواهد شد. بیلان آب خاک و پیش بینی بارندگیها در اوایل فصل رویش به برنامه ریز کمک می‌کند تابتواند بهترین و مناسبترین تصمیم را اتخاذ نماید.

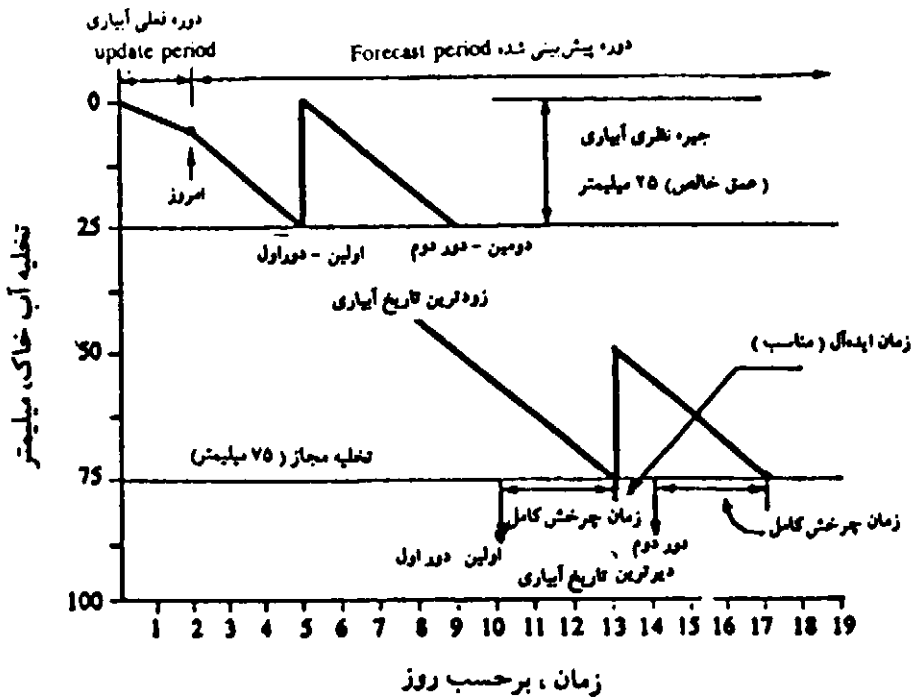
این مثالها بیانگر این واقعیت است که برنامه‌ریزی یک پروسه انعطاف پذیر، جهت استفاده از اطلاعات مربوط به بیلان آب خاک است تا بتوان طیف قابل قبولی از تاریخهای آبیاری را برای یک سیستم، متناسب با شرایط ویژه آن، تعیین نمود. برنامه ریزی ابزاری است که می‌تواند با بسیاری از شرایط تطبیق نماید تابه تصمیم‌گیریهای صحیح کمک‌کند.

نهایتاً مدیر باید برنامه پیش‌بینی شده را براساس بیلان آب خاک ارزشیابی نموده، وتصمیم بگیرد که چه زمانی، و با چه مقدار آب ، آبیاری کند.

برنامه ریز باید بیلان آب خاک، هدف مدیریت، محدودیتها و موانع موجود را بدرستی درک کند.



شکل ۱۰۸: نمایش دور آبیاری و اثر آن روی تخلیه رطوبت خاک درنقطه شروع و خاتمه دورآبیاری



شکل ۱۰۹- نمایش زودترین و دیرترین تاریخ آبیاری برای یک سیستم باجیره آبیاری ۲۵ میلیمتر و با تخلیه مجاز ۷۵ میلیمتر، دورآبیاری در این مثال سه روز فرض شده است .

۱۰۲۰۷ برنامه ریزی آبیاری در شرایط بارندگیهای متغیر

راههای متعددی برای تنظیم‌برنامه‌های آبیاری، وبرنامه ریزی در رابطه با استفاده از بارندگی وجوددارد. هنگامیکه باران درطول فصل آبیاری قابل ملاحظه باشد، و از سالی به سال دیگر بسیار تغییر کند، در این صورت برنامه‌ریزیهای آبیاری معمولاً و ترجیحاً بر اساس درنظرگرفتن بارندگیهای واقعی (که اتفاق می‌افتد) صورت می‌پذیرد، و نه بارندگیهای پیش‌بینی شده، و احتمالی که ممکن است درآینده اتفاق بیفتد. مثالی که بارندگی را در برنامه‌ریزیهای آبیاری ملحوظ می‌دارد در شکل ۱۰۱۱ نشان داده شده است. دراین مثال بافرض اینکه بارندگی صورت نمی‌گیرد، تاریخ زودترین آبیاری نهم مرداد ماه (۳۰ ژوئیه)، تاریخ دیرترین آبیاری ۱۴ مردادماه (۱۴ اوت) درنظرگرفته شده است. ولی با فرض اینکه قبل از نهم مردادماه (۳۰ ژوئیه) ۱۲ میلیمتر باران نازل شود، و متوسط تبخیر تعرق ۶میلیمتر در روز باشد در اینصورت می‌توان آبیاری را تادو روز به تاخیر انداخت . بااین روش مدیر به آسانی می‌تواند تاریخ آبیاری بعدی را که براساس بارندگی هائی که درفاصله دو آبیاری اتفاق می‌افتد، تنظیم‌کند. راه حل دوم اینست که از بارندگی‌های احتمالی آتی برای ذخیره آب درمنطقه توسعه ریشه‌ها استفاده شود. با این روش زودترین تاریخ آبیاری به تعویق می‌افتد و برنامه بگونه‌ای تنظیم می‌شود که جیره نظری آبیاری (عمق خالص آب)، منطقه توسعه ریشه‌ها را تا سر حد ظرفیت نگهداری پر نکند (شکل ۱۰۱۲). این عمل اجازه می‌دهد تا بخشی از ظرفیت خاک جهت دریافت بارانهای محتمل باقی بماند. بطور کلی بارندگی در طول فصل متغیرمی‌باشد. در اول فصل آبیاری،

جدول ۱۰۶- نمونه محاسبه زودترین و دیرترین تاریخ آبیاری برای مزرعه‌ایکه در شکل ۱۰۸ نشان داده شده است، با فرض اینکه تخلیه مجاز برنامه‌ریزی شده ۱۰ میلیمتر باشد.

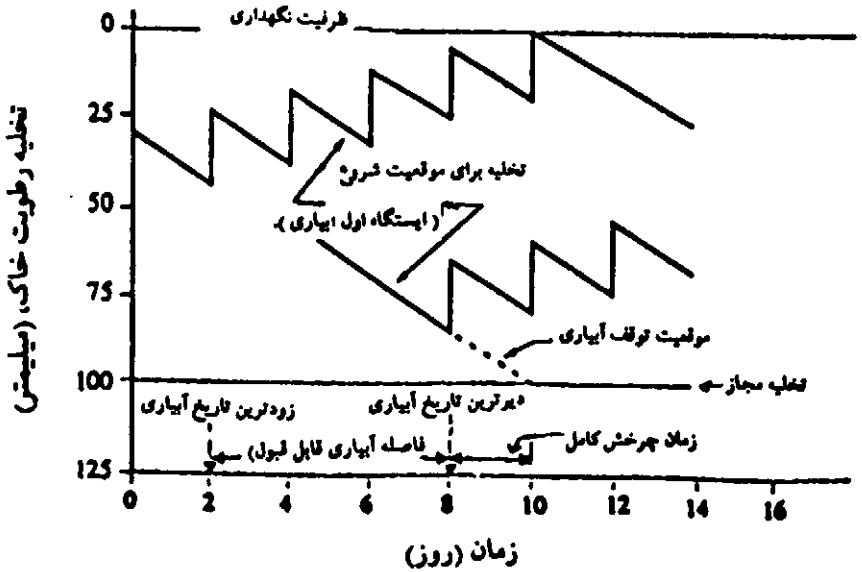
	شرایط نقطه شروع	شرایط نقطه پایانی
زودترین تاریخ آبیاری:		
عمق خالص آبیاری (جیره‌نظری به میلیمتر)	۲۵	۲۵
- تخلیه برنامه‌ریزی شده رطوبت خاک (میلیمتر)	۱۰	۱۰
باقیمانده آب قابل استفاده(در هنگام آبیاری به میلیمتر)	۱۵	۱۵
+ میزان تبخیرتعرق (میلیمتردر روز)	۶/۵	۶/۵
تعداد روزها، تاتجدید بموقع آبیاری* (روزهای توقف)	۳	۳
زمان لازم جهت رسیدن به موقعیت**:	۰	۳
- زودترین تاریخ آبیاری (مقدار ماکزیمم انتخاب می‌شود)	۳	۰
دیرترین تاریخ آبیاری:		
تخلیه مجاز بر حسب میلیمتر	۷۵	۷۵
- تخلیه برنامه ریزی شده بر حسب میلیمتر	۱۰	۱۰
باقیمانده آب قابل استفاده برحسب میلیمتر	۶۵	۶۵
+ میزان تبخیر تعرق برحسب میلیمتر در روز	۶/۵	۶/۵
تعداد روزهاتا آستانه بوجودآمدن استرس***	۱۰	۱۰
زمان لازم جهت رسیدن به موقعیت**	۰	۳
- دیرترین تاریخ آبیاری (حداقل مقدار انتخاب می‌شود)	۱۰	۷

(زیرنویسهای جدول):

* : آبیاری بایدموقعی صورت بگیرد که رطوبت خاک پائین‌تر از ظرفیت نگهداری باشد و جیره نظری آبیاری (عمق خالص) کمتر از سطح تخلیه رطوبت خاک (و حداکثر برابر آن) باشد (تااینکه زهکشی عمقی صورت نگیرد)، از طرفی تخلیه رطوبت خاک پائینتر از تخلیهٔ مجاز نباشد (تاگیاه دچار استرس نشود).

** : زمان لازم جهت انتقال سیستم آبیاری به موقعیت بعدی بافرض اینکه سیستم در نقطه شروع (نقطه بعدی) مستقر شود و بتواند بلافاصله آبیاری را شروع کند.

*** : آبیاری باید قبل از اینکه رطوبت خاک به پائینتر از حدتخلیه مجاز برسد صورت بگیرد.



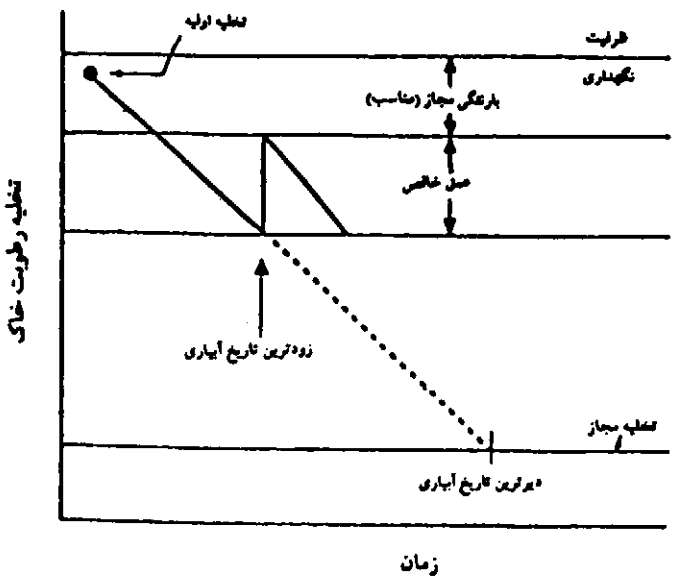
شکل ۱۰۱۰ - تعیین زودترین و دیرترین تاریخ برای چند آبیاری متوالی

شکل ۱۰.۱۱ - برنامه تیپ برای سیستم‌های سنترپیوت (آبیاری بارانی با دستگاه دوار مرکزی)

برنامه آبیاری برای سیستمهای سنترپیوت:		
تاریخ امروز: ۶ مرداد (۲۷ ژوئیه)		
مزرعه: شماره A1 ، محصول: ذرت		
راندمان کاربرد: ۸۰٪		
ظرفیت نگهداری خاک در منطقه توسعه ریشه‌ها: ۱۵۰ میلیمتر		
تخلیه مجاز: ۵۰٪		
عمق آب ناخالص در شرایط نرمال : ۳۰ میلیمتر		
دور آبیاری (زمان و چرخش سیستم درشرایط نرمال): ۷۲ ساعت		
مقدار باران (mm)	زودترین تاریخ آبیاری	دیرترین تاریخ آبیاری
۰	۳۰ ژوئیه (۹ مرداد)	۴ اوت (۱۴ مرداد)
۶	۳۱ ژوئیه	۵ اوت
۱۲	۱ اوت	۶ اوت
۱۹	۲ اوت	۷ اوت
۲۵	۳ اوت	۸ اوت
مقدار باران برحسب mm	بافرض اینکه سیستم کارخود را از ۳۰ ژوئیه شروع کرده باشد، زمانهای شروع اولین‌آبیاری عبارت خواهند بود از:	
	زودترین تاریخ آبیاری	دیرترین تاریخ آبیاری
۰	۳ اوت	۸ اوت
۶	۴ اوت	۹ اوت
۱۲	۵ اوت	۱۰ اوت
۱۹	۶ اوت	۱۱ اوت
۲۵	۷ اوت	۱۲ اوت

تبخیر تعرق پایین است (و لذا امکان ذخیره آب بارندگیها در خاک نیز کاهش می‌یابد). ولی، بعکس طی دوره حداکثر تبخیر تعرق معمولاً بارندگی (برای تامین ماکزیمم ایمنی محصول از نظر استرس، و یا در صورت خرابی سیستم) کم‌می‌باشد.

روش بارندگی احتمالی برای محصولاتی که درخاکهائی باظرفیت نگهداری متوسط تا بالا کاشته می‌شوند و دارای ریشه‌های عمیق می‌باشند بهترین نتیجه و جواب را می‌دهد. بعکس هنگامیکه ظرفیت ذخیره منطقه توسعه ریشه‌ها، و یا ظرفیت سیستم آبیاری اندک باشد استفاده از این روش با



شکل ۱۰۱۲ : مثالی از استفاده از بارندگی برای به حداقل رساندن آبشوئی .

همچنین روشهائی در برنامه‌ریزی آبیاری برای پیش‌بینی با رندگیهای احتمالی (آتی)، توسعه یافته است در این روشها برای بدست آوردن بارندگیهای روزانه از آمار چندین ساله و یا کوتاه مدت هواشناسی استفاده می‌شود. این روشها در مناطق مرطوب، که احتمال وقوع بارندگی زیاد بوده، و تنها مقدار آن نامشخص است، موفقیت آمیز می‌باشد.

در مناطق نیمه خشک، در فصل آبیاری رگبارهای پراکنده اتفاق می‌افتد که مقدار، و نیز احتمال وقوع آن بسیار متغیر است. درچنین شرایطی آبیاران نمی‌توانند روی این بارندگیها حساب کنند، و فقط از بارندگیهای واقعی که نازل می‌شود، با استفاده از روشهای فوق الذکر، بهره می‌برند.

اصولاً ریسک استرس در مدتی که کشاورز بانتظار باران می‌نشیند، با توجه به هزینه‌های جاری آبیاری از یکسو، و پتانسیل کاهش محصول از سوی دیگر، قابل توجیه نمی‌باشد. ولی در صورتیکه فاکتورهای دیگری همانند آبشوئی مواد غذایی و آلودگی آبهای زیرزمینی در نظر گرفته شود در اینصورت شاید ریسک، بیشتر بتواند قابل قبول باشد.

دربرنامه ریزی آبیاری لازم است مقادیر بارندگی درمحل مورد اندازه‌گیری قراربگیرد و درهمان محل نیز از آن استفاده شود. تغییرات مکانی با رندگی‌ها بسیار زیاد است، و لذا نمی‌توان از اندازه‌گیریهای محدود و موضعی در یک منطقه وسیع استفاده کرد.

وسایل اندازه‌گیری نزولات آسمانی - و باران سنجها باید دارای کیفیت بالا بوده و بطور صحیح نصب شده باشند. در صورت امکان بهتر است باران سنج به تعداد هر چه بیشتر در حول وحوش منطقه تحت آبیاری، جهت اندازه‌گیری دقیقتر تغییرات بارندگیها نصب گردد.

۱۰۲۰۸ ضریب عدم اطمینان بیلان آب خاک:

رطوبت خاک، بارندگی ، عمق آبیاری ، تبخیر تعرق (E_T) ودیگر مولفه‌های بیلان آب خاک بطور مطمئن و کامل شناخته شده نیست.

جنسن ورایت (Jensen & Wright, 1978) عدم اطمینان در اندازه‌گیری رطوبت خاک،برآورد تبخیر تعرق محصول، و جیره آبیاری (عمق آبیاری) را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج این بررسیهای نشان می‌دهد که بزرگترین ریشه و منشاء نامطمئنی در اینمورد، همانا جیره نظری آبیاری (عمق خالص) است که توسط سیستم (و روش) آبیاری برای گیاه تامین می‌شود. آنها نشان دادند که ضریب عدم اطمینان آب خاک را می‌توان بااین معیار تخمین زد که آیا این ضریب در جابجائی تاریخ پیش‌بینی شده آبیاری بعدی بطور معنی‌دار موثر است یانه؟ شکل (۱۰۱۳).

براساس نتایجی که این محققان بدست آوردند اولین تاریخ آبیاری در ۱۱ ژوئیه (برابر با ۲۱ تیرماه) ، بدنبال اندازه‌گیری (و مشاهده و ملاحظه) آب خاک درتاریخ ۳۰ ژوئن (دهم تیرماه) دارای تقریب (و دقت) ۱ ± روز بوده است. ولی عمق نامطمئن آبیاری موجب گردید تا تاریخ دومین آبیاری با تقریب ۵ ± روز بدست آید. دومین تقریب (۵ ± روز) برای برنامه‌ریزی بیش از حد زیاد (و غیر قابل قبول)است ، و لازم است میزان آب خاک بعد از اولین آبیاری مورد اندازه‌گیری (و آزمایش) قرار بگیرد. همچنین تغییرات مکانی آب خاک ضریب نامطمئنی تخمین آنرا افزایش می‌دهد.

انتخاب مزارع شاهد (درمنطقه تحت آبیاری) اندازه‌گیری و کنترل مرتب این مزارع، سبب کاهش ضریب عدم اطمینان می‌گردد.

اندازه‌گیری رطوبت خاک پس از آبیاری ، باید پس از زهکشی عمقی (حرکت آب اشباعی به اعماق پائین‌تر از عمق توسعه ریشه‌ها) صورت پذیرد، و آبیاری نیز باید قبل از شروع استرس انجام بگیرد.

اگر دور آبیاری (مثلاً زمان چرخش کامل سنترپیوت) ۶ روز باشد و زهکشی عمقی تا سه روز پس از آبیاری بطول بیانجامد فاصله زمانی قابل قبول جهت اندازه‌گیری رطوبت خاک مزرعه درمثال مشروح و مصور در شکل ۱۰۱۳ بین ۱۴ تا ۲۵ ژوئیه (۲۴ تیر ماه تا ۴ مرداد ماه) خواهد بود.

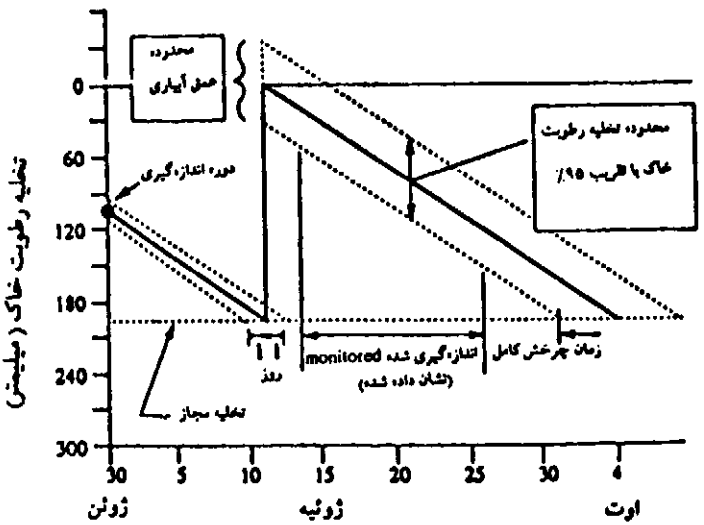
مهلت مجاز (فاصله زمانی قابل قبول) برای اندازه‌گیری رطوبت خاک بستگی به یکنواختی کار سیستم آبیاری و توزیع یکنواخت جیره آبیاری و صحت کنترل مقدار آب رسیده به نقاط مختلف مزرعه (و غیره)، دارد. در شرایطی که سیستم، آب را بطور یکنواخت توزیع می‌کند آب رسیده به نقاط مختلف انحراف کمتری از متوسط عمق آبیاری خواهد داشت. درصورتیکه یکنواختی توزیع آب کم باشد تغییرات آب رسیده به نقاط مختلف مزرعه زیاد بوده، و از آنجا می‌توان به آب رسیده به هریک از نقاط مزرعه بطور جدی شک کرد. بنابراین در صورتیکه یکنواختی توزیع آب کم باشد تقریب قابل اطمینان تاریخ آبیاری زیاد بوده و تاریخ آبیاری بعدی (گاه آبیاری) از دقت کمتری برخوردار خواهدبود.

علاوه براین، بدلیل غیر دقیق بودن سیستم در کنترل جیره آبیاری ضریب عدم اطمینان باز هم پائین‌تر خواهد آمد. در صورتیکه عمق متوسط آب رسیده به مزرعه با عمق طراحی شده متفاوت باشدتقریب (و عدم دقت) تخلیه آب خاک باز هم بیشتر می‌شود.

تغییرات عمق آبیاری ممکن است نتیجه اشتباهات شخص (و عامل) کنترل کننده، در رابطه با اندازه‌گیری رطوبت خاک، و برآورد جیره آبیاری - و یا عدم دقت سیستم‌آبیاری از نظر جریان دادن بده لازم و غیره باشد.

در صورتیکه تقریب اطمینان از تخلیه آب خاک کم باشد (یعنی ضریب اطمینان زیاد باشد) برنامه‌ریزی می‌تواند برای دوره‌های طولانی‌تر صورت بپذیرد. ولی اگر این تقریب زیاد باشد (و نتوان

با تقریب کم ودقت قابل قبول تاریخ آبیاری را پیش‌بینی کرد) برای بهنگام کردن بیلان آب خاک باید رطوبت در عمق توسعه ریشه‌ها اندازه‌گیری شود.



شکل ۱۰۱۳ - تخلیه مورد انتظار (موردنظر) رطوبت خاک و فواصل آبیاری باضریب اطمینان ۹۵٪ همراه با برنامه‌ریزی و در شرایط انجام مشاهده (Monitoring) در ۳۰ ژوئن

۱۰۳ پیش‌بینی موقع (گاه) آبیاری:

موقع آبیاری روی عملکرد محصول ، مقدار آبیاری فصلی (مقدار آب آبیاری در دوران رشد)، راندمان ذخیره آب آبیاری ، راندمان ذخیره آب بارندگیهای فصلی و تا حدودی خارج از فصل اثر می‌گذارد. آبیاری زیاده از حد موجب آبشوئی املاح از منطقه توسعه ریشه‌ها می‌شود، ولی در عین حال ممکن است موجب انتقال آلودگیها به آبهای زیرزمینی شده و نشت و جریان این آبها موجب گسترش آلودگی گردد.

اعمال کم آبیاری در مورد پاره‌ای از محصولات، مثل گیاهان دولپه‌ای ، درفاصله بین گلدهی تا گرده افشانی و اوایل پرشدن دانه‌ها موجب کاهش شدید عملکرد می‌شود. ولی در دوره گسترش شاخ و برگ اثر استرس برروی عملکرد ارگانهای زایشی گیاه کمتر است. انتقال مواد مغذی قابل جذب از ساقه و برگ بطرف دانه‌ها اثر استرس را در آخر دوره دانه بستن کاهش می‌دهد. پاره‌ای از گیاهان می‌توانند اثر استرس در دوره اول رشد را با توسل به گلدهی دوباره و توسعه مجدد دانه‌ها در گرههای بالای گیاه جبران کنند.

درگیاهان علوفه‌ای معمولاً استرس سبب کاهش ماده خشک می‌شود، و درصورتیکه استرس از بین برود این گیاهان رشد طبیعی خود را تقریباً از سر می‌گیرند. بهر حال میزان کل ماده خشک فصلی نسبت به پتانسیل تولید کاهش می‌یابد.

روشها و معیارهای تعیین موقع آبیاری اغلب به مقادیر حد که بعنوان پارامترها و شاخص‌های آب موردنیاز انتخاب می‌شود، بستگی پیدا می‌کند. مقادیر و پارامترهای حد برای تعیین موقع آبیاری معمولاً بر اساس خاک-و یا گیاه در نظر گرفته می‌شوند. مقادیر حد انتخاب شده ممکن است با مرحله رشد محصول، نیاز تبخیر (پتانسیل تبخیر)، محدودیت منابع آب ، توانائیهای سیستم آبیاری ، عامل فرهنگی ، ارزش اقتصادی محصول، و پیش‌بینی‌های هواشناسی تغییر کند.

۱۰۳۰۱ مدیریت تخلیه مجاز رطوبت خاک[1] MAD:

مدیریت تخلیه مجاز رطوبت خاک متداول‌ترین معیار برای تعیین موقع آبیاری، بویژه برای استفاده از روشهای بیلان آب در برنامه ریزیهای آبیاری است. این معیارها بیانگر بخشی ، و یا در صدی از ظرفیت ذخیره آب قابل دسترس، یا قابل استخراج توسط گیاه درناحیه توسعه ریشه‌ها است بطوریکه این ذخیره، بتواند در فاصله دو آبیاری جهت نگهداری محیط زیست نباتی در حالت بدون استرس،و یا با استرس اندک برای رشد گیاه ، تخلیه گردد.

درجه واقعی استرس تحت تاثیر نیاز تبخیر (Evaporative Demand) (پتانسیل تبخیر) و مقاومت در مقابل جریان آب در مسیر سیستم « خاک و گیاه» قرار می‌گیرد، بنابراین معیار تخلیه مجاز بطور کاملاً دقیق قابل تعریف نمی‌باشد. حدود تخلیه مجاز (تقریبی) که درجه پتانسیل تبخیر و ریشه‌دوانی گیاه، و یا حساسیت گیاه به استرس را درنظر می‌گیرد بوسیله دورنبوس و کاسام (Doorenbos & Kassam,1979) ارائه شده است (جدول ۱۰۷)

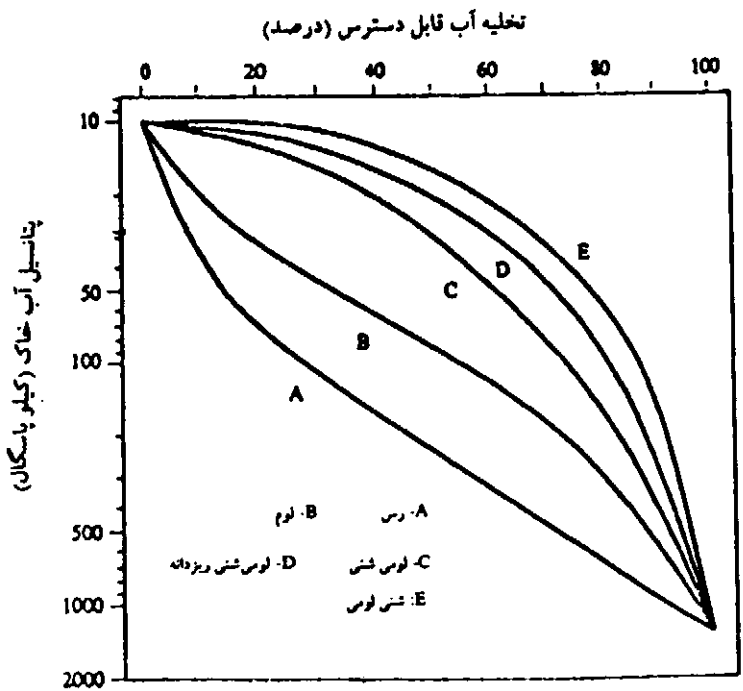
۱۰۳۰۲ پتانسیل آب خاک

پتانسیل ماتریک خاک بوسیله تانسیومتر اندازه‌گیری می‌شود. محدوده (طیف) کارآئی تانسیومتر بین صفر تا ۸۰ -کیلو پاسکال می‌باشد.

1- Management allowed depletion

بیشترین کاربرد تا نسیومتر در انواع خاکها و بافت‌هائی است که تقریباً ۵۰٪ ، و یا بیشتر آب قابل دسترس گیاه در طیف کارآئی تانسیومتر قرار گرفته باشد. رابطه تقریبی بین پتانسیل ماتریک خاک و تخلیه آب قابل دسترس در شکل ۱۰۱۴ برای چندنوع بافت خاک داده شده است.

تیلر (Tylor, 1965)، هگن و استوارت (Hagan & Stewart, 1972) جدول مفصلی را ارائه داده‌اند که در آن پتانسیل آب خاک برای کشتهای آبی مختلف ارائه داده شده است.



شکل ۱۰۱۴ - منحنی نگهداری آب (مقادیر متوسط) برای بافتهای مختلف خاک

جدول ۱۰۷ - تخمین تخلیه مجاز آب قابل دسترس درمنطقه توسعه ریشه‌ها جهت نگهداری میزان تبخیر تعرق درحد ماکزیمم (ETmax) ، برای محصولات مختلف که براساس حساسیت نسبت به استرس گروه بندی شده‌اند:

شماره گروه محصولات	نوع محصولات
۱-	پیاز - فلفل - سیب زمینی
۲-	موز - کلم - نخود - گوجه فرنگی
۳-	یونجه - لوبیا - مرکبات - بادام زمینی - آناناس - آفتابگردان - هندوانه و گندم
۴-	پنبه - سورگوم - زیتون - انگور - ذرت - سویا - چغندر قند - توتون و گلرنگ Safflower.

تخلیه مجاز (برحسب صدم، کسراعشاری) برای نگهداری تبخیر تعرق درحد ماکزیمم

شماره گروه محصولات	تبخیر ماکزیمم برحسب میلیمتر در روز :								
	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱	۰/۵۰	۰/۴۳	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۱۸
۲	۰/۶۸	۰/۵۸	۰/۴۸	۰/۴۰	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۳
۳	۰/۸۰	۰/۷۰	۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۳۸	۰/۳۵	۰/۳۰
۴	۰/۸۸	۰/۸۰	۰/۷۰	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۴۰

برای تعیین موقع آبیاری و پایان آن از تانسیومتر استفاده می‌شود که درنقاط مختلف مزرعه، بشکل خاص و بصورت دوتائی نصب می‌شود . در هر نقطه اولین تانسیومتر در عمقی که بیشترین تراکم ریشه در آن قرار دارد (معمولاً عمق ۳۰ الی ۵۰ سانتیمتر) جهت تعیین موقع آبیاری کار گذاشته می‌شود.

تانسیومتر دوم معمولاً در عمق حدود دو برابر تانسیومتر اول (جهت تعیین پایان آبیاری) نصب می‌شود. این تانسیومتر، در موقع آبیاری، هنگامی که آب به این عمق می‌رسد آنرا نشان می‌دهد، و از آنجا می‌توان کفایت آبیاری و زمان پایان آنرا تخمین زد (و آبیاری را با تمام رساند).

تغییرات رطوبت خاک از نقطه‌ای به نقطه دیگر ایجاب می‌کند که چندین تانسیومتر در مزرعه نصب گردد تا اندازه‌گیری رطوبت خاک بطور معنی‌دار (و با دقت کافی) صورت بگیرد.

تدارک و آماده کردن تانسیومتر برای نصب - یادداشت مشاهدات انجام شده - سرویس و جابجائی آن در آخر دوره اندازه‌گیری در مزرعه به وقت (و دقت) زیادی نیاز دارد.

تفسیر وضعیت پتانسل ماتریک با استفاده از داده‌های تانسیومتر ممکن است به علل مختلف، مثل تماس ناقص خاک با تانسیومتر ، نشت آب (و ورود هوا به داخل سیستم) و محدود بودن دامنه اندازه‌گیری مکش و غیره مخدوش (ومشکل) باشد.

۱۰۳۰۳ پتانسیل آب برگ

پتانسیل آب برگ (Ψ_l) بوسیله ادوات ویژه ایکه در بازار عرضه می‌شود، بنام " اطاقک فشاری " (Pressure Chamber) قابل اندازه‌گیری می‌باشد. بررسی‌های گسترده‌ای در مورد کاربرد و طرز کار با این روش، توسط ریتچی و هینک لی (Ritchie & Hinckley, 1975) به انجام رسیده است.

جهت فائق آمدن به تبخیرگیاه، پتانسیل آب برگ عکس العمل فعالی از خود نشان می‌دهد. از اول شب تا نزدیک طلوع آفتاب مقدار پتانسیل آب برگ (Ψ_l) افزایش می‌یابد تا به سطحی برسد که بتواند به پتانسیل آب خاک در منطقه توسعه ریشه‌ها غلبه نماید. وقتیکه تبخیر افزایش می‌یابد، از دست دادن آب سلول، پتانسیل آب برگ (Ψ_l) را کاهش می‌دهد. مقدار این پتانسیل، مشخصاً ، بعد از ظهر به حد

می‌نیمم روزانه خود می‌رسد و سپس بهنگام غروب، وقتی که تبخیر (Evaporative Demand) کاهش می‌یابد به حد طبیعی خود بر می‌گردد.

از دست دادن آب باعث بسته شدن قسمتی و یا تمامی استوماتها، زمانیکه تبخیر بالااست، می‌شود که همین امر موجب کاهش تعرق و افت جریان co_2 بداخل برگ می‌شود، و نتیجه اینکه در دوره‌های استرس، این امر باعث کاهش فتوسنتز می‌گردد. رفتار روزانه پتانسیل آب برگ و استفاده از حد آستانه‌ای آن می‌تواند معیار و الگوئی برای تعیین موقع آبیاری باشد. آستانه بحرانی همچنین می‌تواندتحت تاثیر استرس‌هائی که قبلاً طی دوران رشد عارض شده است، و در پاره‌ای گونه‌ها تحت تاثیر افزایش قابل ملاحظه مقاومت گیاه در مقابل جریان آب ، متناسب با پیشرفت فصل رویش، قرار گیرد. در رابطه با تنظیم اسمزی آستانه ، از آغاز تا پایان فصل، (Ψ_l) جهت بسته شدن استوماتها، می‌تواند چند کیلو پاسکال (Kp_a) کاهش یابد. مقدار تقریبی آستانه پتانسیل آب برگ (Ψ_l) ، می‌نیمم روزانه، برای چند نوع محصول در جدول ۱۰۸ ارائه شده است.

از آنجائیکه موقع نمونه برداری روزانه در این روش بسیار مهم می‌باشد لذا اندازه‌گیری پتانسیل آب برگ برای تعیین موقع آبیاری (گاه آبیاری) موضوع تحقیقات کاربردی قابل توجهی است.

کاربرد روش آستانه پتانسیل آب برگ کاملاً عملی است مشروط به اینکه میزان پتانسیل آب برگ بر پایه مدلهای فیزیکی قرار بگیرد، بگونه‌ایکه در آنهاجمع آوری داده‌های ورودی بآسانی قابل دسترس باشد.

جدول ۱۰۸ - مقدار تقریبی آستانه پتانسیل آب برگ، که در آن تبخیرتعرق، فتوسنتز خالص و عملکرد کشت محدود می‌گردد.

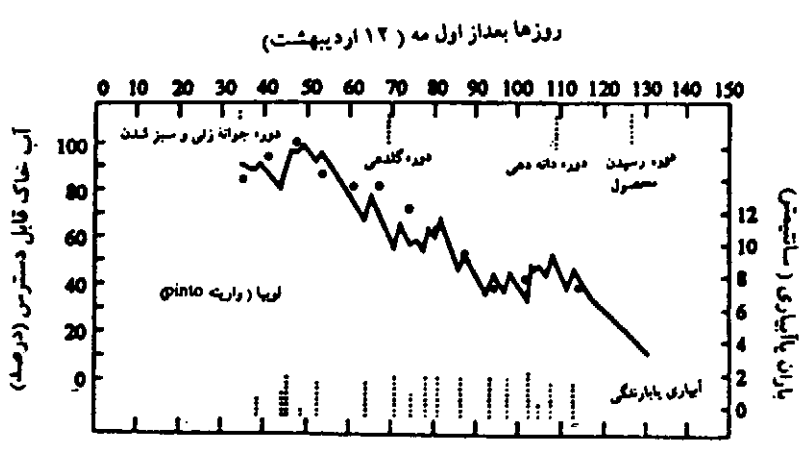
کشت	آستانه پتانسیل آب برگ مگاپاسکال MPa	مرجع
یونجه	۱/۰۰ - الی ۱/۳۰ -	Aparicio-Tejo et al.(1980)
پنبه	۱/۲۰ - الی ۱/۵۰ -	Ackerson et al.(1977b)
ذرت	۱/۲۰ - الی ۱/۳۰ -	Stegman et al.(1976)
		Barlow et al.(1977)
		Stegman (1983)
سیب زمینی	۰/۸ - الی ۱ -	Stegman and Nelson (1973)
		Ackerson et al (1977)
سورگوم	۱/۳۰ - الی ۱/۵۰ -	Teare and Kanemasu (1972)
سویا	۱/۱۰ - الی ۱/۵۰ -	Boyer (1970)
		Musick (1976)
		Brady et al.(1975)
		Stegman (1989)
آفتابگردان	۱ - الی ۱/۴۰ -	Stegman (1983)
چغندرقند	۱/۲۰ - الی ۱/۴۰ -	Lawlor and Milford (1975)
		Stegman and Bauer (1977)
گندم	۱/۴۰ - الی ۱/۹۰ -	Miller and Denmead (1976)

۱۰۳۰۴ آبیاری باتواتربالا (جایگزینی قسمتی ، و یا تمامی تبخیرتعرق):

آبیاری باتواتر بالا (معمولاً با فواصل کمتر از ۷ روز)، با استفاده از سیستم‌های کاملاً مکانیزه (مثل آبیاری بارانی با دستگاه سنترپیوت، آبیاری میکرو ، آبیاری بارانی با سیستم ثابت) قابل اجرا می‌باشد. چنین سیستم‌هائی قابلیت انجام آبیاری با یکنواختی بالا و با کنترل مقدار آب کاربردی را دارا می‌باشند. در شرایط آبیاری باتواتر بالامدیریت تخلیه مجاز، و یا آستانه استرس گیاه، درتعیین موقع آبیاری از اهمیت کمتری برخوردار است. با استفاده ازتغییر تواتر آبیاری و مقدار آب مصرفی (جیره آبیاری) می‌توان نقطه نظرهای مدیریتی را اعمال کرد. در مناطقی با آب و هوای خشک، درصورتیکه آب و ظرفیت پمپاژ در حد کفایت باشد، آبیاری اکثراً جهت جبران تبخیر تعرق بطورکامل و براساس مدلهای ET ، همانگونه که در پروژه پیش‌بینی شده است، و با فواصل طراحی شده (معمولاً ۷ روز) انجام می‌شود.کمبود آب در منطقه توسعه ریشه‌ها در زمان شروع آبیاری دارای نوساناتی است. با اندازه‌گیری دوره‌ای (ومنظم) کمبود واقعی آب می‌توان مقدار آب آبیاری را تنظیم کرد. در صورتیکه منابع آب موجودبرای جبران و جایگزینی تبخیرتعرق‌کافی نباشداستوارت وهمکاران در سال۱۹۷۷ (Stewart,et, al ,1977) نشان دادند که معمولاً، ماکزیمم عملکرد محصول برای تبخیر تعرق موجود، در صورتیکه آب استحصالی به مقادیر مساوی و بطور کاملاً یکنواخت در فاصله دو آبیاری (یک هفته) تقسیم گردد، بدست می‌آید. این احتمال اغلب ازطریق تحقیقات با روش Line Source Experiment که به توابع "عملکرد- تبخیر تعرق" منتج شده ، تائید گردیده است.

مفهوم جایگزینی و جبران قسمتی از ET (تبخیرتعرق) با آبیاری با تواتر بالا در شکل ۱۰۱۵ ارائه شده است.این رژیم نمونه شاخص (نمونه تیپ) از مدیریت سیستم سنترپیوت، و در شرایطی است که ظرفیت پمپها برای جبران تبخیر تعرق در اواسط فصل کفایت نمی‌کند. عمق توسعه ریشه در اوایل فصل آبیاری ،که ظرفیت پمپاژ کفایت می‌کند، در حد نزدیک به ظرفیت نگهداری نگاهداشته می‌شود.

در دوره‌ای که ظرفیت سیستم در حد کفایت نیست (که درشکل ۱۰۱۵ ، از روز ۶۰ تا ۹۰ نشان داده شده است)نیاز آبی محصول، با جبران متوالی بخشی از نیاز تبخیر تعرق از طریق آبیاری ، وبارندگی ، و آب خاک، تامین می‌شود. در اواخر فصل آبیاری (که در شکل ۱۰۱۵ از روز ۹۰ به بعدنشان داده شده است) ظرفیت پمپاژ جهت جبران کامل تبخیر تعرق کفایت می‌کند، در حالیکه کمبود آب درمنطقه توسعه ریشه‌ها ممکن است تا پائینترین سطح تخلیه تنزل پیدا نکند. تواتر زیاد آبیاری، رطوبت خاک را در بخش فوقانی ریشه‌ها (که بیشترین مواد مغذی، معمولاً از این قسمت جذب می‌شود) در حد نسبتاً بالائی نگه می‌دارد. درآب و هوای مرطوب ، و خیلی مرطوب ، بارندگیهای خارج از فصل آبیاری و ذخائر آبی ناشی از آن ، اکثراً جهت رساندن رطوبت‌خاک، درعمق توسعه ریشه‌ها به حد ظرفیت نگهداری، و قبل ازکشت بهاره، کفایت می‌کند. روش "جبران بخشی از تبخیر بوسیله آبیاری" را می‌توان در دوره رشد شاخ و برگ محصول، برای به حداکثررساندن راندمان ذخیره، راندمان آبیاری و بارندگی، و به حداقل رساندن آبشوئی، و مهاجرت مواد غذائی خاک، و حشره‌کشها مورد استفاده قرار داد.



شکل ۱۰۱۵ : رژیم رطوبت خاک، نشانگر آبیاری باتواتر زیاد و با روش "جبران بخشی از تبخیر تعرق" که از یک برنامه تخلیه رطوبت خاک بدست آمده است.

روش "آبیاری با جبران کامل تبخیر تعرق" را می‌توان در دوره گلدهی، گرده افشانی، و اوایل دوره پرشدن دانه که گیاه به استرس حساس است، بکاربرد. در صورتیکه بارندگی، کمبود رطوبت ناحیه ریشه‌هارا تعدیل کند، همچنین در آخر فصل، و در دوره رسیدن محصول، و طبق برنامه مدیریت آبیاری (که نیاز به آب کمتر است) می‌توان از روش " آبیاری برای جبران بخشی از تبخیر تعرق" سود جست. کمبود آب در عمق توسعه ریشه‌ها در آخر فصل موجب می‌شود که آب بارندگی‌های غیر فصلی (پس از برداشت محصول) بیشتر و بهتر درخاک ذخیره شود.

۱۰۳۰۵ شاخص استرس

باتشعشع سنج مادون قرمز دستی می‌توان درجه حرارت سایه انداز و شاخ و برگ گیاه را اندازه‌گیری کرد. درجه حرارت سایه انداز، وقتی که تعرق کم می‌شود افزایش می‌یابد. ایدسو و همکاران (Idso ,et al, 1980 - 81) یک رابطه تجربی بین اختلاف درجه حرارت "گیاه -هوا" بهنگام ظهر و در یک روز آفتابی، و میزان رطوبت خاک که برای نگهداری انرژی درحدی که برای تعرق کفایت کند، توسعه دادند. بسیاری روابط که برپایه فیزیک قرار دارند، و بیلان انرژی قسمت سایه اندازه گیاه را تشریح می‌کنند نشان می‌دهد که تفاوت درجه حرارت بین گیاه و هوا تحت تاثیر کمبود فشار بخار آب هوا، میزان تشعشع خالص، آئرودینامیک، و مقاومت گیاه قرار می‌گیرد. این موضوع توسط جکسون (Jackson) در سال ۱۹۸۲ و ایدسو (Idso) و همکاران در سال ۱۹۸۶ و جکسون در سال ۱۹۸۸ بررسی شده است. حد بالا و پائین اختلاف درجه حرارت "گیاه -هوا" (در شرایط روز روشن و آفتابی) را می‌توان برای برآوردهای کمی استرس مورد بررسی و استفاده قرار داد. حد بالا $(T_c-T_a)_u$ مربوط به اختلاف درجه حرارتی است که معرف تنش جدی است که در آن تعرق به صفر می‌رسد. براساس بررسی‌های هاتفیلد Hatfield در سال ۱۹۸۳ و جکسون در سال ۱۹۸۲ حد بالای این

اختلاف حدود ۴ الی ۵ درجه سانتیگراد می‌باشد. حد پائین $(T_c-T_a)_l$ معرف حداقل اختلاف درجه حرارت بین گیاه و هوا است، در شرایطی که گیاه بخوبی آبیاری شده باشد. حد پائین به کمبود فشار بخار اتمسفر نیز بستگی پیدا می‌کند. شاخص تنش آبی گیاه (Crop Water Stress Index) CWSIاز رابطه زیربدست می‌آید:

$$CWSI = \left[\frac{(T_c-T_a) - (T_c-T_a)_l}{(T_c-T_a)_u - (T_c-T_a)_l}\right] \qquad (۱۰۱۵)$$

شاخص تنش محصول (CWSI) ازصفر، در شرایط نرمال (نبودتنش) ، تاحداکثر یک ، در شرایط تنش خیلی زیاد، تغییر می‌کند. شاخص تنش در رابطه با تعیین موقع آبیاری بخوبی "تعریف شده" (و دقیق) نیست.ایدسو و همکاران درسال ۱۹۸۱ گزارش دادند، در شرایطی که متوسط این شاخص درمرحله گسترش شاخ و برگ محصول از ۰/۲ بیشتر باشد عملکرد گندم کاهش می‌یابد. جاکسون در سال ۱۹۸۲ پیشنهاد کرد آبیاری گندم موقعی باید صورت بگیرد که شاخص تنش بین ۰/۳ تا ۰/۵ قرار گرفته باشد.

جهت تعیین مقادیر CWSI در رابطه با تعیین موقع آبیاری لازم است تحقیقات بیشتری صورت بگیرد.

جکسون همچنین در سال ۱۹۸۲ پیشنهاد کرد که شاخص تنش را می‌توان از رابطه زیر نیز بدست آورد:

$$CWSI = 1 - \frac{ET}{ET_p} \qquad (۱۰۱۶)$$

که در آن $\frac{ET}{ET_p}$ نسبت تبخیر تعرق واقعی به تبخیر تعرق پتانسیل می‌باشد. حدود تغییرات شاخص

تنش از یک، در شرایط فراوانی آب، تا صفر در شرایطی که آب در دسترس گیاه قرار ندارد، تغییر می‌کند. مقادیر لحظه‌ای این شاخص را می‌توان از طریق اندازه‌گیری و یا برآورد تشعشع خالص، اختلاف درجه حرارت" گیاه - هوا " کمبود فشار بخار آب هوا، و مقاومت آئرودینامیک تعیین کرد (Jackson, 1982 , 1988).

شاخص‌های دیگری هم برای تعیین موقع آبیاری پیشنهاد گردیده است. آقای ردل و همکاران (Reddell et al) در سال ۱۹۸۷ پیشنهاد کردند که بعنوان فاکتور اصلی (و پایه) تنش گیاه ، می‌توان از پتانسیل آب برگ در هنگام سحر و طلوع آفتاب (که رطوبت برگ به حالت تعادل رسیده است) Ψ_{ld} استفاده کرد. فاکتور تنشی که این محققان برای پنبه پیشنهاد کردند (S_p) به قرار زیر نوشته می‌شود:

$$\Psi_{ld} \geq -۶۰۰ kp_a \quad \text{به ازای} \quad S_p = o$$

$$-۳۰۰۰ kp_a < \Psi_{ld} < -۶۰۰ kp_a \quad \text{به ازای} \quad S_p = \left[\frac{\Psi_{ld} + ۶۰۰}{-۲۴۰۰}\right] \qquad (۱۰۱۷)$$

$$-۳۰۰۰ kp_a \geq \Psi_{ld} \quad \text{به ازای} \quad S_p = ۱$$

(kp_a ۱کیلو پاسکال معادل ۱۰ اتمسفر)

همزمان بااین محققان آقای کلارک و ردل در سال ۱۹۸۶ (Clark & Reddell, 1986) برای محصول پنبه فاکتور تنش پایه را براساس مشخصه‌های خاک بقرار زیر پیشنهاد کردند:

$$\theta_a \geq ۰/۵ \quad \text{بازای} \quad S_s = ۰ \qquad (۱۰۱۸)$$

$$\theta_a < ۰/۵ \quad \text{بازای} \quad S_s = ۲(۰/۵ - \theta_a)$$

که در آن:

θ_a : بخشی از آب قابل دسترس خاک است.

اگر این رابطه در مورد عملکرد پنبه بکاربرده شود (Cudrak & Reddell , 1988) رابطه به صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{Y}{Y_{max}} = \left[1 - C_s \sum_{i=1}^{n} SD_i\right] \qquad (۱۰۱۹)$$

که درآن :

Y: عملکرد حقیقی است.

Y_{max}: عملکرد ماکزیمم است.

C_s: درجه قابلیت عملکرد یا شیب تابع مربوطه است.

SD_i : جمع فاکتورهای تنش در دوره‌های فراتر از یک روز (بیش از یک روز) است.

(C_s: به فاکتور تنش انتخابی بستگی دارد).

اگر رابطه به صورت مزبور (رابطه کالیبره شده فوق) بکاربرده شود، آنگاه آبیاری می‌تواند بگونه‌ای برنامه‌ریزی شود تا ازتجمع فصلی SD_i ، ناشی از (انباشت مقادیر اضافه بر) سطوح انتخابی i ،e (مربوط به مقادیر $\frac{Y}{Y_{max}}$ بزرگتر و حداکثر مساوی با مقادیر متناسب با هدف برنامه ریزی) جلوگیری نماید.

آقای هیلی و کلارک (Hille & clark,1971) بر اساس برداشتی از شاخص تنش روزانه (SDI) برای تعیین موقع آبیاری و برنامه ریزی آن رابطه زیر را پیشنهاد کردند:

$$SDI = \sum_{i=1}^{n} (SD_i C_{si}) \qquad (۱۰۲۰)$$

که در آن SD نشان دهنده کمبود آب محصول در دوره رشد (i)برحسب روز، و C_s نشانگر استعداد و قابلیت عملکرد محصول در دوره مفروض می‌باشد. جهت کاربرد این شاخص برای برنامه‌ریزی آبیاری لازم است رابطه C_s وSD بطور تجربی بدست آمده باشد، و یا بهرصورت دیگر مشخص شده باشد، لذا استفاده از این شاخص دارای محدودیت است.

۱۰۳۰۶ کاربرد مدل زمان واقعی رشد محصول:

مدلهای رشد محصول امکان می‌دهد تا بتوان یک جمع بندی مناسبی از سیستم کمپلکس " خاک-گیاه - آتمسفر" انجام داد و از آنجاموقع آبیاری و جیره آبیاری (مقدار آب آبیاری) را تعیین کرد، که هر یک از آنها تابع شرایط آب و هوا، محصول ، دوره‌های رشدگیاه، عمق توسعه ریشه‌ها، ظرفیت خاک برای نگهداری آب، استعداد خاک برای انتقال آب ، رطوبت خاک در آغاز دوره رشد ، درجه حاصلخیزی، و درجه شوری خاک می‌باشد.

"مدل شبیه سازی محصول" ارزیابی مدیریت و استراتژی های آبیاری را در رابطه با اهداف و مشخصه‌های آن آسان می‌کند، اگر چه، مشخصه‌هائیکه برای تعیین استراتژی آبیاری در شرایط داده شده ، ازمیان گزینه‌های مختلف، بکارگرفته می‌شود به بسیاری از عوامل موثر در تصمیم گیری مربوط می‌شود بطوریکه بتوان با هر گونه ریسکی مقابله کرد.

زمان حقیقی کاربرد «مدل‌های رشد محصول » برای زمانبندی و تعیین موقع آبیاری در حد وسیعی به داده‌های ورودی مدل Input و امکان دسترسی به آنها، و درک صحیح استفاده کننده ازمحدودیتهای ویژه مدل بستگی دارد. لازم است مدل برای موردی که کاربرد آن درنظر گرفته شده است، باندازه کافی مناسب بوده و واسنجی (کالیبره) شده باشد. ایده‌آل این است که کاربرد مدل به اندازه کافی در برگیرنده کلیه داده‌ها و جهت تعیین زمان واقعی تغذیه گیاه، اصلاح و بهنگام کردن پارامترهای حساس باشد. در شبیه سازیهای رشد محصول برای تصمیم گیری در رابطه با آبیاری می‌توان داده‌های هواشناسی روز را قبل از استفاده از داده‌های هواشناسی چندین ساله برای بقیه فصل بکار گرفت (Swaney et.al , 1983).

استفاده کنندگان از مدل الگوریتم می‌توانند اثر متقابل گیاه، خاک ، آبیاری و مسائل اقتصادی را، متناسب با شرایط روز، بهنگام (Up to date) نمایند. مقایسه سود خالص مورد انتظار، مصرف آب، عملکرد، و مصرف انرژی و غیره می‌تواند جهت تصمیم گیری در مورد تعیین موقع آبیاری رهنمون باشد که آیا آبیاری بلافاصله انجام بگیرد و یا ، براساس ارزیابی مجدد، با تاخیر چند روزه صورت پذیرد.

بعلت پیچیده بودن مسئله، استفاده از مدل رشد، جهت تعیین موقع واقعی آبیاری ضرورت دارد. همچنین لازم است استفاده کنندگان روشهای مناسبی برای بدست آوردن اطلاعات و "داده‌های ورودی" مدل اجرای شبیه سازی (Simulation Runs) و تفسیر "پرداخته‌های خروجی" (output) بکار بگیرند. بعنوان نمونه سیستمی را بنام " سیستم مشاور" می‌توان مثال زد (COMAX; COtton Management expert) که توسط بیکر (Baker) و همکاران در سال ۱۹۸۳ و مک کینیون و لیمون (Mc Kinnion & Lemon) در سال ۱۹۸۵ با استفاده از مدل GOSSYM اجرا شده است. این مدل برای استفاده کنندگان جنبه کاربردی دارد بطوریکه اطلاعات عددی خروجی مدل را بطور علمی تفسیر می‌کند (و در این مورد بجای کارشناس عمل می‌کند).

خود کارکردن کامل سیستم بااضافه کردن تجهیزات و قطعات حساس (Sensors) به کامپیوتر ، جهت استفاده در سیستم‌های مختلف آبیاری مقدور و میسر است.

۱۰۴- اثر شوری در برنامه ریزی آبیاری

۱۰۴۰۱ نیاز به آبشوئی جهت کنترل شوری خاک

آبیاری آنگاه باموفقیت انجام می‌شود که در درازمدت بیلان نمک خاک در عمق توسعه ریشه‌ها در حد مناسب و قابل قبول نگهداری شود. در صورتیکه املاح محلول آب آبیاری به خاک اضافه شود بعلت جذب آب بوسیله ریشه‌ها غلظت آن افزایش می‌یابد تاجائیکه ممکن است از حد تحمل گیاه فراتر برود، لذا جهت جلوگیری از افت عملکرد محصول لازم است نمک انباشته شده در حوالی ریشه‌ها بوسیله آب آبیاری شستشو شود. بنابراین در برنامه‌ریزی آبیاری لازم است در محاسبه عمق خالص آبیاری (جیره نظری) این موضوع در نظر گرفته شود. باید توجه داشت که آبیاری با آب بیشتر از مقدار مورد نیاز گیاه جهت شستشوی املاح، مواد مغذی خاک رانیز می‌شوید و نیز اکثراً، درجه شوری در قسمتهای پائین پروفیل افزیش می‌یابد.

جهت مدیریت شوری چند فاکتور بایدمورد ارزیابی قرار بگیرد: غلظت نمک در آب آبیاری- حد تحمل گیاهان درمقابل شوری - میزان بارندگی سالانه در درازمدت - سهولت و امکان زهکشی در مزرعه مورد نظر- مقیاس و سطح پروژه .

درمناطق خشک و نیمه خشک، شوری بعلت بارندگی و آبشوئی کم، و پائین بودن کیفیت آبیاری مشکل بزرگی بحساب می‌آید. در مناطقی که شوری آب آبیاری نسبتاً پائین بوده ، و بارندگی سالانه در آنجا بیشتر از ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلیمتر باشد مسئله شوری دربرنامه ریزی آبیاری مطرح نمی‌شود.

قسمتی از آب آبیاری که درعمق توسعه ریشه‌ها جریان می‌یابد بنام "کسر آبشوئی " و یا "بخش آبشوئی" یا (Leaching Fraction) L_f نامیده می‌شود.

درشرایط شوری خاک، در برنامه ریزی فصل آبیاری لازم است حداقل آب مورد نیاز جهت شستشوی نمک از منطقه توسعه ریشه‌ها برآورد شود. به این مقدار آب " نیاز آبشوئی" (Leachincr Rquirement) یا L_r گفته می‌شود که می‌توان آنرابااستفاده‌از رابطه ساده‌بیلان‌نمک تخمین زد(Hoffman & Van Genuchten, 1983)

$$L_r = \frac{EC_I}{EC_D} \qquad (۱۰۲۱)$$

که در آن :

EC: هدایت الکتریکی آب آبیاری برحسب دسی سیمنس بر متر (ds/m) است.

EC_D: هدایت الکتریکی آب حاصل از زهکشی عمقی است که بازای آن عملکرد کاهش پیدا می‌کند (برحسب ds/m).

مقدار " نیاز آبشوئی " L_r ، بویژه در شرایطی که برآورد EC_D از روش هوفمن، و وان گنونکتن (۱۹۸۳) استفاده می‌شود تحت تاثیر هدایت الکتریکی آب آبیاری EC_I ، قرار می‌گیرد.

حدتحمل شوری گیاه، و توزیع زمانی و مکانی شوری خاک ، می‌تواند جت تخمین EC_D مورد استفاده قرار بگیرد.

از نظر عملی و کاربردی باید توجه داشت که در برنامه ریزیها، اهدافی که مدیریت جهت کنترل شوری دنبال می‌کند خیلی مهمتر از دقت برآورد " آب مورد نیاز آبشوئی L_r" می‌باشد. بعنوان مثال درصورتی‌که مدیریت بخواهد ۲۰٪ مزرعه که کمترین میزان آب را دریافت می‌کند " آب موردنیاز آبشوئی " L_r را هم دریافت نماید (یعنی حداقل آب رسیده به ۲۰٪ مزرعه معادل L_r باشد) ،

دراین‌صورت شکی نیست که متوسط بخش آب آبشوئی (L_r) درکل مزرعه، خیلی بیشتر از آب موردنیاز آبشوئی تخمینی (و یا محاسبه شده)، L_r, خواهد بود.

جنسن Jensen در سال ۱۹۷۵ در رابطه با یکنواختی توزیع آب آبیاری و همچنین در رابطه با هدف مدیریت برای آبشوئی بررسیهائی انجام داد و نشان داد: اگر آبشوئی با این هدف دنبال شود که بخش آب آبشوئی L_r در ۱۰٪ مزرعه که کمترین آبرا دریافت می‌کند تامین شود در اینصورت متوسط آب آبشوئی (L_r) که کل مزرعه دریافت می‌کند. سه تا پنج بار بیشتر از مقدار آب آبشوئی محاسبه شده خواهد بود حتی اگر آبیاری با یکنواختی بسیار بالا ، ۸۰ تا ۹۰٪ در مزرعه توزیع شود.

همچنین مادام که برآورد آب لازم جهت پرکردن خلل و فرج پروفیل (اشباع خاک) با اطمینان کامل صورت نمی‌گیرد، (به ۱۰۲۰۸ مراجعه شود) تنظیم برنامه برای آبشوئی تمام مزرعه با مقدار معین آب، در عمل دشوار است.

تغییرات نمک در عمق توسعه ریشه‌هانیز بگونه‌ایست که کنترل منظم شوری در این عمق جهت بررسی ثبات بیلان نمک اجتناب ناپذیر است.

۱۰۴۰۲ توصیه‌های برنامه‌ریزی برای کنترل شوری

اثرات شوری بر تولید محصول همانند اثرات کم آبیاری است. کاهش رشد گیاه موجب کاهش جذب انرژی خورشیدی، و بدنبال آن کاهش در میزان تعرق گیاه ، و موجب تولید ماده خشک کمتر می‌شود . تجمع نمک درخاک، بدلیل استفاده دائم از آب آبیاری شور، سبب کاهش تولید محصول می‌گردد، ولی برنامه‌های صحیح مدیریتی می‌تواند اثرات شوری را روی کاهش عملکرد به حداقل ممکن برساند. از نقطه نظربرنامه ریزی ، تواترآبیاری و مقدار جیره آبیاری، دو فاکتور اولیه و موثر روی کنترل شوری می‌باشند. انتخاب نوع محصول و بررسی درجه تحمل آن نسبت به شوری نیز حائز اهمیت است.

براساس فرضیه‌ای ، افزایش تواتر آبیاری ، در درازمدت موجب کاهش تراکم نمک و کاهش شوری درخاک می‌گردد (Rawlins , 1973)محتمل است که نگهداری خاک با یک میزان بالائی از پتانسیل آب خاک با تواتر بالای آبیاری، قسمتی از افزایش نیروی اسمزی راکه در نتیجه تجمع نمک درخاک به وجود می‌آید، جبران می‌کند.

بدون اینکه فرضیه و مباحث بالا را رد کنیم می توان گفت که در آزمایشات انجام شده، هیچ بهبودی در عملکرد تحت شرایط شوری خاک، آنهم بدلیل افزایش تواتر آبیاری مشاهده نشده است. (Bresler & Hoffman, 1986).

مادام که تبخیرتعرق گیاه تا رسیدن به حد تخلیه مجاز به پائین تراز سطح تبخیر تعرق پتانسیل ماکزیمم تنزل نکرده است، اهمیت نسبی مولفه‌های تبخیر (E) و تعرق (T) بطور قابل توجهی با تواتر آبیاری تغییر می‌کند. در صورتیکه سطح خاک بطور مرتب مرطوب گردد، مقدار تبخیر (E) حتی تحت شرایط الگوی گیاهی متراکم،بالاخواهد بود. ویلالوبوس، و فررس ,Villalobos & Fereres) (1990 نشان دادند که در کشتهای ردیفی در صورتی که سطح خاک مرطوب باشد، تبخیر (E) , ۲۰ تا ۲۵ درصد تبخیر تعرق (بامیزان شاخص سطح برگ [1] LAI معادل ۴ تا ۶) خواهد بود.

آبیاری یک محصول با پوشش گیاهی کم ممکن است سبب رسیدن تبخیر (E) تا حد ۷۰ درصد تبخیر تعرق (ET) (به ازای LAI= 1) هم بشود (Villalobos & Fereres,1990). بنابراین تحت شرایط تواتر زیاد آبیاری میزان تبخیر بالنسبه بالا موجت تمرکز نمک در لایه‌های سطحی خاک می‌گردد. بعلاوه اینکه در شرایط مرطوب استخراج آب توسط ریشه‌ها ترجیحاً از لایه‌های بالای خاک (Gardner, 1983) و در شرایط خشکی از لایه‌های عمیقتر صورت می‌پذیرد. این هردو پروسه موجب می‌شود که نمک هر چه بیشتر در لایه‌های سطحی خاک تحت آبیاری با تواتر زیاد

1- Leaf area index

متمرکزشود، و مزایای مربوط به نوسانات اندک پتانسیل ماتریک خاک را ازمیان بردارد . بنابراین توصیه برای تغییر برنامه آبیاری نرمال به آبیاری با دفعات بیشتر بدلیل وجود مسائل شوری، مفید بنظر نمی‌رسد. در اینمورد باید استثنائی را درنظر گرفت و آن روش آبیاری قطره‌ای است که در آن آبیاری موضعی (نقطه‌ای) موجب جابجائی و حرکت نمک بطرف حاشیه جبهه رطوبتی شده و ناحیه زیر قطره چکان ، که همیشه رطوبتش بالااست ، با تمرکز نمک کمتری مواجه می‌باشد. بنظر می‌رسد در آبیاری قطره‌ای پروسه آبشوئی بر تبخیر پیشی می‌گیرد و جذب آب توسط ریشه‌ها از محیط مرطوب صورت می‌پذیرد. برای کنترل شوری تنها راه حل عملی در شرایط آبیاری با آب شور که تاکنون تجربه شده است افزایش جیره آبیاری است. همانگونه که نشان داده شده‌است (Bresler & Hoffman , 1986), افزایش عمق آبیاری (جیره) سبب جبران افزایش شوری آب، حداقل تا یک میزان مشخص می‌شود (Russo, 1987). هنگامی که کاهو با آبی با هدایت الکتریکی (EC) معادل ۱/۷ و ۴/۱ دسی سیمنس برمتر (ds/m)آبیاری گردید ماکزیمم عملکرد ، به ترتیب، با جیره آبیاری برابر با ۳۰ ، و ۷۸ درصد بیشتر از میزان تبخیر از تشتک بدست آمد. بهرحال عملکرد قطعات آبیاری شده با آب ۴/۱ دسی سیمنس بر متر نسبت به قطعاتی که با آب ۱/۷ دسی سیمنس برمتر (EC= ۱/۷ ds/m) آبیاری گردیدند ۲۰ درصد کاهش عملکرد از خودنشان دادند.

درسالهای اخیر علاقه مجدد برای استفاده از آب زهکشی و دیگر منابع آبهای شور برای آبیاری سئوالاتی در رابطه با برنامه‌ریزی اپتیمم در اینگونه شرایط ، برانگیخته است. در حال حاضر ترکیبی از تمهیدات زراعی مانند تناوب ، آبشوئی قبل از کشت، و مخلوط کردن آبهائی با کیفیت‌های مختلف، برای توسعه استراتژیهای مناسب آبیاری، بااستفاده از آبهای شور در دست بررسی است (Rhoades, 1987) . بطور خلاصه، توصیه‌های برنامه ریزی آبیاری ، با استفاده از آبهای شور عبارتند از :

۱- بالابردن دقت محاسبات بیلان آب برای برآورد بخش آب آبشوئی (L_f) بطور مطمئن .

۲- در نظر گرفتن یکنواختی توزیع مناسب و مورد نظر سیستم آبیاری ، قبل از آنکه تصمیمی راجع به اینکه چند درصد مزرعه باید حداقل نیاز آبشوئی (L_r) را برای کنترل شوری دریافت کند؟ اتخاذ گردد. چنین تصمیمی برای حفظ تعادل منطقی بین نیازهای انتفاعی کوتاه مدت مزرعه و نیازهای بلندمدت در رابطه بامحیط زیست (آلودگی آبهای زیرزمینی، آلودگی و پس رفت کیفیت جریانهای برگشتی آب آبیاری) حائز اهمیت می‌باشد.

۳- آبشوئی نمکها بصورت دوره‌ای، نسبت به آبشوئی آنها با هر آبیاری، احتمالاً عملی تر و برای محیط زیست کم ضررتر خواهد بود.

۴- هیچ نیازی به افزایش تواتر آبیاری برای کنترل شوری جز در مورد آبیاری قطره‌ای وجود ندارد.

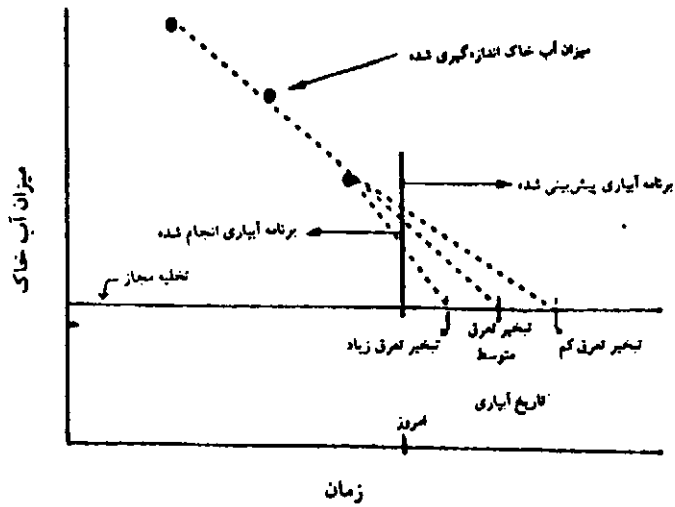
۵- بررسی ومشاهده شوری محیط ریشه‌ها برای تنظیم برنامه آبیاری بمظور جلوگیری از تخریب محصولات توسط املاح، امر اساسی است. این بررسی قبل از آبشوئی موجب می‌شود تاکنترل شوری در حالت بهینه و با حداقل جریان عمقی آب (و حداقل تلفات) صورت بگیرد.

۱۰۵ روشهای برنامه‌ریزی:

برنامه ریزی آبیاری براساس روش‌های مختلف، از مطالعه و مشاهده آب خاک گرفته تابررسیهای پیچیده کامپیوتری، صورت می‌پذیرد و در آنها رشد محصول و یا بهینه‌سازی و نیل به اهداف خاص دنبال می‌شود. برنامه ریزی نیاز به اطلاعات بهنگام صحرائی، و پیش‌بینی تاریخ و مقدار آب آبیاری دارد. یک برنامه ریزی بدون درنظر گرفتن این هر دو پروسه نمی‌تواند کامل باشد.

۱۰۵۰۱ روشهای مشاهده و کنترل (Monitoring Methods)

اجرای پاره‌ای از برنامه‌های آبیاری صرفاً براساس "مشاهده" محصول و یا خاک استوار است . آبیاری هنگامی انجام می‌شود که گیاه، و یا خاک به یک سطح بحرانی که دربخش ۱۰۴ آمده است برسد. اصول کلی این روشها در دیگر قسمتهای این دستورالعمل آمده است بنابراین برنامه ریزی آبیاری براساس داده‌هائی که بر"مشاهده " استوار است در اینجا باختصارمورد بحث قرار می‌گیرد.
انجام "مشاهدات" بطور صحیح و دقیق، اطلاعات لازم را برای مدیریت و در ارتباط با اندازه‌گیریها فراهم می‌آورد، اگر چه، ممکن است هنگام تصمیم گیری برای آبیاری داده‌های لازم در دسترس نباشد. در ضمن اندازه‌گیریها باید زمانی صورت بگیرد که مزرعه قبل از مواجه شدن با تنش، آبیاری شود.



شکل ۱۰۱۶ استفاده از اندازه‌گیریهای قبلی رطوبت خاک جهت برنامه ریزی آبیاری

لذا جهت پیش‌بینی تاریخ آبیاری لازم است اطلاعات حاصل از مشاهدات به روزهای آینده تعمیم داده شود.

یک مثال از تعمیم اطلاعات حاصل از رطوبت خاک برای پیش‌بینی زمان آبیاری در شکل ۱۰۱۶ نشان داده شده است.

تعمیم داده‌های مربوط به زمان گذشته به زمان آینده با این فرض صورت می‌گیرد که آینده شبیه گذشته باشد، که در آن، خطاهای تصادفی مربوط به تغییرات جوی، و خطاهای نظام یافته (سیستماتیک) مربوط به رشد و گسترش کشت مستتر است. پیش‌بینی‌های هواشناسی و اینکه در آینده تبخیر تعرق مشابه گذشته (مقادیر متداول)، و یا کمتر ، و یا بیشترخواهد بود می‌تواند راهنمای تعیین موقع آبیاری باشد. برای یک برنامه‌ریزی قابل اعتماد لازم است اندازه‌گیریهای متعدد صورت بگیرد. بکارگیری روشهای مشاهده‌ای (Monitoring Methods) ممکن است مشکلات چندی را در برداشته باشد. یکی از مسائل اینست که مقادیر کمّی حائز اهمیت ، که از راه مشاهده بدست می‌آید بسته به زمان و

مکـــان، و آب و هـــوا و غـــیره تـــغییر پـــیدا مـــی‌کند. بـــعنوان مـــثال فـــه‌ین و هـــمکاران (Feyen et,al, 1985) نشان دادند که پتانسیل رطوبت خاک در مقطع بحرانی برای محصول گوجه فرنگی (که در گلخانه کشت شده بود) در رابطه با عمقی که در آن پتانسیل ماتریک خاک اندازه‌گیری می‌شود، تغییر می‌یابد.

براساس مشاهداتی که روی محصول و گیاه انجام می‌شود می‌توان موقع آبیاری راتعیین کرد ولی بر این اساس نمی‌توان هیچگونه اطلاعاتی در رابطه با جیره آبیاری (مقدار آب در هرنوبت آبیاری) بدست آورد. بعنوان مثال با استفاده از درجه حرارت سایه اندازگیاه می‌توان تشخیص داد که آیا نیاز به آبیاری وجود دارد یا نه ؟ ولی جهت تعیین مقدار آب آبیاری دسترسی به اطلاعات دیگر ضرورت دارد.

مشکل دیگری که روش "مشاهده "گیاه دارد این است که پس از تعیین موقع آبیاری و تصمیم‌گیری در این مورد معلوم نمی‌شود که آبیاری بعدی با چه فاصله زمانی باید صورت بگیرد، و لذا ممکن است مشکل استرس پیش بیاید مگر اینکه عکس العمل گیاه قبل از رسیدن به این مرحله قابل تشخیص باشد.

بعلت تغییرات مکانی خصوصیات خاک، و رطوبت خاک، برای اینکه وضعیت متوسط مزرعه بدست بیاید لازم است مشاهدات در نقاط مختلف و متعدد صورت بگیرد.

کمپل (Campbell, 1982) در سال ۱۹۸۲ توضیح داد در صورتی که مزرعه بعنوان یک واحد آبیاری در نظر گرفته شود، انتخاب تعداد نقاط معین جهت معرفی و نشان دادن وضعیت مزرعه کفایت می‌کند. این موضوع بویژه در شرایطی صادق و عملی خواهد بود که بتوان از پاره‌ای نقاط که معرف شرایط مزرعه باشند مکرراً نمونه برداری کرد.

انجام"مشاهدات" جهت مدیریت آبیاری بصورت کاراً و موثر امر اساسی است. ولی اینکار مـ است برای کشاورز خسته کننده باشدو گران تمام شود. از طرفی اگر پرسنل مربوطه بخوبی آموزش ندیده باشند و تجربه کافی نداشته باشند، و بدرستی هدایت و سرپرستی نشوند نتایج صحیح بدست

نخواهد آمد. لازم است برنامه انجام مشاهدات همزمان با آبیاری صورت بگیرد. مشاهداتی که بلافاصله پس از آبیاری انجام می‌گیرد نمی‌تواند وضعیت خاک یا گیاه را بدرستی منعکس کند. تعداد مشاهدات نیز باید با تواتر آبیاری تناسب داشته باشد تا معلوم شود آیا آبیاری طبق برنامه تنظیمی بدرستی پیش‌می‌رود یا نه؟ بعنوان مثال اگر مزرعه‌ای سه روز پس از یک آبیاری سنگین، مورد مشاهده قرار بگیرد در اینصورت نمی‌توان دریافت که آیا آبیاری بموقع و باندازه، و قبل از بروز آثار تنش، و بدون تلفات نفوذ عمقی انجام شده یا نه؟ لازم است مزرعه بطور منظم، درست قبل از آبیاری مورد مشاهده قرار بگیرد تا اطلاعات مدیریتی دقیقتری بدست بیاید. برای بسیاری از برنامه‌ریزیها اندازه‌گیری رطوبت خاک رجعت به روشهائی است که مبتنی بر محاسبه بیلان آب خاک می‌باشد. با هریک از تکنیک‌ها می‌توان صحت برنامه ریزی را با استفاده از تجزیه و تحلیل و ترکیب چند منبع اطلاعاتی مورد آزمون و کنترل قرار داد.

یک برخورد ساده با موضوع عبارتست از ترکیب نتایج چندین فقره از آخرین مشاهدات صحرائی که براساس روشی بنام "غربال اطلاعات" (Data Filtering)بدست آمده باشد.انگلیش وهمکاران‌درسال ۱۹۸۱ (English et,al) نشان دادند که چگونه روش " غربال اطلاعات" می‌تواند جهت کاهش عدم اطمینان، تخمین‌های انجام شده مورد استفاده قرار بگیرد.

هنگامیکه تمام منابع اطلاعات ، که هنگام تصمیم‌گیری در دسترس قرار دارند، تعمیم داده شودند شاید آنگاه وابستگی برنامه‌ریزی آبیاری به این داده‌ها تائید شود. این تکنیک و روش به تعداد مشاهدات کمتری نیاز دارد.

۱۰۵۰۲ روش های "تکمیل فرم کنترل بیلان آب خاک" (Checkbook Methods)

یکی از روشهای ساده برنامه ریزی، روش تکمیل فرم مخصوص بمنظور برنامه ریزی آبیاری وکنترل

بیلان آب خاک می‌باشد. یک نمونه از آن توسط آقایان لنداسترم، و استگمان (Lundstrom & Stegman, 1988) مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۱۰۱۷) دراین روش لازم است " عامل آبیار " حداکثر درجه حرارت روزانه، بارندگی و عمق آبیاری (جیره آبیاری) را جهت ردیابی (ومشاهده) بیلان آب خاک در دو نقطه از مزرعه بداند. استفاده از روش "تکمیل فرم کنترل بیلان آب خاک" راه مناسبی جهت ثبت و شرح مشاهدات روزانه در رابطه با برنامه ریزی مزرعه در طول فصل آبیاری است. برنامه ریزی آبیاری بر اساس این روش بستگی زیادی به اندازه‌گیری وانجام مشاهدات مرتبط با رطوبت خاک دارد، که خود، کار پیچیده‌ای است ولی از دقت بیشتری برخوردار است. محاسبه فرایند تبخیر تعرق نیز کاری وقت گیر و خسته کننده است.

پاره‌ای از روشهای "تکمیل فرم کنترل بیلان آب خاک"، با آب مصرفی محصول، بسیار ساده برخورد می‌کند ولی دراین گونه موارد، این خطر وجود دارد که دقت و صحت کار فدای سهولت برنامه ریزی شود.

روش "تکمیل فرم کنترل بیلان آب خاک" ممکن است جهت بهنگام کردن اطلاعات، "مشاهده " و برآورد رطوبت خاک ، و تعمیم آنها به آینده، به وقت زیادی نیاز داشته باشد، و این بویژه هنگامی مصداق پیدا می‌کند که برنامه‌ریزی چندین مزرعه که به اطلاعات مشابه نیاز دارند مورد نظر باشد.

۱۰۵۰۳ برنامه ریزی کامپیوتری

برنامه‌ریزی کامپیوتری، محاسبات پیچیده فرایند تصمیم گیریها را در زمینه آبیاری، که با روش "تکمیل فرم کنترل بیلان آب خاک" ، و یا روشهای مبتنی بر محاسبات دستی غیر ممکن است، عملی می‌سازد. بعنوان مثال بکمک کامپیوتر در برنامه ریزیهای آبیاری می‌توان ازروشهای بسیار پیشرفته پیش‌بینی تبخیر تعرق استفاده کرد. کامپیوتر امکان می‌دهد تابتوان واحد زراعی را جهت برنامه‌های

ویژه ، و متناسب با اهداف مختلفی که تولید کنندگان دارند موردمشاهده قرار داد. همچنین می توان در مزارع نقاط بیشتری را مطالعه نمود.

دربرنامه‌های کامپیوتری می‌توان مدل USDA-ARS راکه توسط هارینگتون وهرمن (Harrington & Heermann,1981) درسال ۱۹۸۱ پیشنهاد شده است در شرایط مختلف بکاربرد.

فرم کنترل بیلان آب خاک

نوع محصول ..... مشخصات مزرعه ..... تاریخ جوانه زدن محصول .....

ظرفیت ایستگاه پمپاژ ..... لیتر در ثانیه برای یک هکتار ..... میلیمتر در روز (خالص)

کل آب قابل دسترس ..... میلیمتر برای عمق توسعه ریشه‌ها .....به ازای یک متر عمق‌خاک

کسری مجاز (۳۴٪) ..... میلیمتر - (۵۴٪) ..... میلیمتر - (۷۴٪) ..... میلیمتر

برای دوره‌های مختلف رشد ..... - ..... - .....

هفته‌های بعداز جوانه‌زدن	تاریخ	رطوبت خاک مزرعه		درجه‌حرارت	کل	به تفکیک		کمبود رطوبت خاک	
		الف	ب	ماکزیمم		بارندگی	آب‌آبیاری	الف	ب

شکل ۱۰۱۷- نمونه‌ای از " فرم کنترل بیلان آب" در یک برنامه ریزی آبیاری.

(براساس کارهای Lundstrom و Stegman سال ۱۹۸۸)

توسعه میکروکامپیوترها، استفاده از روشهای برنامه ریزی کامپیوتری آبیاری راامکان پذیرمی‌سازد. امروزه مدلهای زیادی وجود دارد که دستیابی به بسیاری از داده‌های پایه را در رابطه با خصوصیات خاک، اطلاعات مربوط به محصول، عوامل جوی و سایر داده‌های مربوط به تامین آب، روشهای آبیاری و مسائل اقتصادی، امکان پذیر می‌سازد.

گسترش سریع شبکه ایستگاههای هواشناسی خودکار، استفاده از برنامه ریزیهای کامپیوتری آبیاری را بطور موثرتری عملی می‌سازد.

در ایالات متحده امریکا (کالیفرنیا) از برکت گسترش شبکه ایستگاههای هواشناسی خودکار و اتصال آن به یک مرکز کامپیوتری (Clmis, 1985)، تبخیر تعرق واقعی براساس متوسط داده‌های هواشناسی در هر ساعت با دقت برآوردشده و دراختیار برنامه ریزان قرار می‌گیرد. امکان دسترسی مداوم به داده‌های ورودی، و (تجزیه و تحلیل‌آنها) که یکی از محدودیتهای جدی برنامه‌ریزیهای کامپیوتری بوده است، موجب کارآئی زیاد آن می‌گردد. اینک برنامه ریزی‌های کامپیوتری دقت تخمین آب مورد نیاز محصولات ، و پیش‌بینی موقع آبیاری را بهبود بخشیده است و در پاره‌ای حالات مدلهای " رشد گیاهی" مستقیماً برای برنامه ریزی آبیاری بکار گرفته می‌شود. (Jones & Smatstrla, 1980 & Field et,al, 1988) این مدلها اطلاعات بیشتری در رابطه با مقایسه اقتصادی گزینه‌ها در اختیار آبیاران قرار می‌دهد تادرمقطع تصمیم‌گیریهای مدیریتی بتوانند از آنها بهره بگیرند.

از طرفی این نوع مدلهای برنامه‌ریزی به داده‌های بیشتری در رابطه باخاک وگیاه نیاز دارد. ممکن است بدست آوردن این مقادیر برای تولیدکنندگان مشکل باشد، و از آنجا استفاده از مدلهای شبیه سازی شده براساس محصول برنامه ریزی دچار محدودیت گردد.

بهبود کیفیت پیش‌بینی‌ها، بااستفاه از برنامه ریزیهایی کامپیوتری آبیاری به آبیاران این امکان را می‌دهد تا بتوانند دوره مشاهدات صحرائی را طولانی‌ترکنند، و ضریب عدم اطمینان بیلان آب خاک

مزرعه‌ای تحت پوشش آبیاری بارانی بادستگاه دوار مرکزی (سنترپیوت) اگر سیستم ۲۰/۳ میلیمتر جیره آبیاری را طی مدت ۶۰ ساعت تامین کند، زمان شروع آبیاری بقرار زیر خواهد بود:		
زودترین تاریخ آبیاری	دیرترین تاریخ آبیاری	بارندگی به میلیمتر
۳۰ ژوئیه	۵ اوت	۰
۳۰ ژوئیه	۶ اوت	۵
۳۰ ژوئیه	۷ اوت	۱۰
۱ اوت	۸ اوت	۱۵
۲ اوت	۸ اوت	۲۰
با فرض اینکه سیستم در ۳۰ ژوئیه شروع به کارکرده باشد، زمان شروع آبیاری نوبت بعدی بقرار زیرخواهد بود:		
۲ اوت	۸ اوت	٪
۲ اوت	۹ اوت	۵
۳ اوت	۱۰ اوت	۱۰
۴ اوت	۱۱ اوت	۱۵
۵ اوت	۱۲ اوت	۲۰
با فرض اینکه سیستم در ۲ اوت شروع به کارکرده باشد، زمان شروع آبیاری نوبت بعدی بقرار زیرخواهد بود:		
۵ اوت	۱۲ اوت	۰
۶ اوت	۱۳ اوت	۵
۷ اوت	۱۴ اوت	۱۰
۷ اوت	۱۵ اوت	۱۵
۸ اوت	۱۶ اوت	۲۰

شکل ۱۰۱۸ - نمونه‌ای از برنامه‌ریزی آبیاری با روش آبیاری بارانی، و با دستگاه دوار مرکزی (سنترپیوت)

بر اساس کارهای (Harrington و Herrman در سال ۱۹۸۰)

مدیریت سیستم های آبیاری در مزرعه

محصول	تاریخ آخرین آبیاری	تاریخ آبیاری بعدی	تاریخ آبیاری بعدی باتوجه به ۲۵میلیمتر باران	مساحت به هکتار	بده جریان m^3/h	مدت زمانی آبیاری به ساعت	جبره آبیاری به میلیمتر	حجم آب آبیاری به متر مکعب
ذرت	۲۲ ژوئیه	۱۰ اوت	۱۴ اوت	۲۳	۱۸۵	۱۶/۱	۱۲۴	۲۹۷۱
ذرت	۱۷ ژوئیه	۱۰ اوت	۱۴ اوت	۲۶	۱۸۵	۱۷/۷	۱۲۴	۳۲۶۹
ذرت	۱۹ ژوئیه	۱۰ اوت	۱۴ اوت	۴۲	۱۸۵	۲۸/۸	۱۲۴	۵۳۳۲
ذرت	۲ اوت	۱۰ اوت	۱۴ اوت	۲۱	۱۸۵	۶/۳	۵۵	۱۱۶۰
گوجه‌فرنگی	۲ اوت	۸ اوت	۱۴ اوت	۱	۱۸۵	۴	۷۰	۷۳۶

شکل ۱۰۱۹ - نمونه‌ای از برنامه ریزی روشهای آبیاری سطحی بر اساس کارهای هارینگتون و هرمن ۱۹۸۰

را کاهش دهند. با اینحال بسیار اتفاق می‌افتد که از برنامه‌ریزیهای کامپیوتری آبیاری توسط افراد غیر ماهر استفاده‌های نادرستی انجام می‌گیرد.

بهرحال کیفیت برنامه ریزی نمی‌تواند از کیفیت داده‌هائیکه از آنها استفاده می‌شود، و یا از صلاحیت عامل آبیار که اطلاعات برنامه‌ریزی را استخراج و انتخاب می‌کند، جدا باشد. همچنین لازم است، برنامه ریزان بتوانند آینده مسائل مدیریت‌آب را ، بدانگونه که بایسته است شناسائی و منظور کنند.

۱۰۵۰۴ برنامه‌ریزی بلندمدت برای طراحی

برنامه زمانبندی شده واقعی به جهت تخمین تبخیر تعرق و سایر مولفه‌های بیلان آب به محاسبات معتنابه و مطمئن نیاز دارد. علاوه بر این مشاهدات مربوط به رطوبت خاک باید پیش‌بینی‌ها راکنترل و محقق سازد.

در بسیاری حالات کشاورزان وقت و حوصله، علاقه و یامهارتهای لازم را برای پیاده کردن برنامه آبیاری ندارند ولذا لازم است به شرکتها و موسساتی که خدمات برنامه ریزی آبیاری را انجام می‌دهند، مراجعه نمایند.

درمناطق خشک که مقدار بارندگی در فصل رویش ناچیز است، محاسبات برنامه ریزی آبیاری بطور نرمال (ساده) و برپایه متوسط داده‌های هواشناسی انجام می‌گیرد. در این مناطق تغییرات تبخیر تعرق از سالی به سال دیگر کم و قابل صرف نظر کردن می‌باشد لذا پیش‌بینی تاریخ و جیره آبیاری بطور نرمال، بدون دخالت عامل بارندگی، و با توجه به نوع خاک و تاریخ کاشت و ترکیب آنها (الگوی کشت) عملی است (Fereres et al , 1981). بهرحال لازمه توسعه برنامه قابل اعتماد بر اساس مقادیر متوسط، دسترسی به آب مورد نیاز روزانه است. یک نمونه از داده‌های لازم برای برنامه بلند مدت توسط آقای پروئیت و همکاران (Pruitt, 1987) در سال ۱۹۸۷ برای ایالت کالیفرنیا ارائه شده است. این داده‌ها ممکن است برای تعیین متوسط تبخیر تعرق محصول در یک منطقه معین، و سرانجام برای محاسبه برنامه‌آبیاری نرمال برای سال، مورد استفاده قرار بگیرد.

در مناطقی که باران سهم بسزائی در تامین آب مورد نیاز آبیاری دارد استفاده از برنامه آبیاری بر مبنای داده‌های متوسط سئوال برانگیز است، و این ، نه فقط به خاطر تغییرات زیاد تبخیر تعرق، بلکه بیشتر بخاطر تغییرات مقدار و توزیع بارندگیها می‌باشد. بارندگیها شدیداً تحت تاثیر ویژگیهای محلی قرار می‌گیرند، و تغییرات آن نسبت به تغییرات تبخیر تعرق فوق العاده زیاد است. لذا "شرایط متوسط"

درمناطقی که با رندگی برای برنامه ریزی حائز اهمیت باشد بندرت بوجود می‌آید. آقای اسمیت و همکاران (Smith et al 1985) نشان دادند که استفاده از روش " برنامه ریزی متوسط" برای آبیاری گندم در یک منطقه نیمه خشک بعلت تغییرات بارندگی از سالی به سال دیگر (چه از نظر مقدار و چه از نظر توزیع زمانی) می‌تواند اشتباهات بزرگی را در برنامه ریزیهای موجب شود. در شرایطی که روی بارندگی برای توسعه برنامه ریزیهای ویژه حساب می‌شود، سری کامل و بلندمدت داده‌های مربوط به بارندگیهای روزانه جهت پیش‌بینی مقدار بارندگی، با سطوح مختلف احتمال وقوع، مورد نیاز می‌باشد. چنین داده‌هائی شدیداً تحت تاثیر ویژگیهای محل و مکان قرار می‌گیرد و اکثراً هم این داده‌ها غیر قابل دسترس می‌باشند. و یلالوبوس و فریرس (Villalobos & fereres 1989)، با استفاده از یک دستگاه باران ساز روزانه و براساس آمار ۵۰ ساله متوسط ماهانه بارندگی‌ها، شبیه سازی کردند. آنها با کوپله کردن بارندگی روزانه شبیه‌سازی شده با مدل بیلان آب، برنامه آبیاری و سپس (با نوعی گروه‌بندی سیستم) توابع توزیع احتمالی را بدست آوردند. اینگونه شبیه سازیها جهت تعیین تاریخ محتمل اولین و آخرین آبیاری، سهم آب باران درتامین آب مورد نیاز محصول، محاسبه ظرفیت سیستم آبیاری (Von Bernuth et al, 1984) , ارزیابی درجه دقت برنامه داده شده، وارزیابی قابلیت جوابگوئی برنامه به تامین آب آبیاری (در چهارچوب اهداف مورد نظر) مورد استفاده قرار می‌گیرند. از نظر کشاورز، و مناطق تحت آبیاری امکان پیش‌بینی برنامه‌های فصلی در آغاز فصل آبیاری بسیار جالب است. در اینصورت کشاورز می‌تواند سایر عملیات مزرعه از قبیل ضرورت انجام شخم، جستجوی گزینه‌هائی برای تامین آب اضافی که ممکن است مورد نیاز باشد، و غیره را پیش‌بینی کند. مناطق تحت آبیاری در صورت اطلاع از نحوه توزیع کشت می‌توانند در مورد مقدار آب مورد نیاز و ارزیابی استراتژیهای جایگزین در شرایط کمبود آب و یا خشکسالی برنامه‌ریزی نمایند. در صورتیکه مدل شبیه‌سازی ، واقع گرایانه باشد بهینه سازی مصرف آب در

شرایط محدودیت منابع و تجزیه و تحلیل ریسک مرتبط با موفقیت‌ها و شرایط مختلف، امکان پذیر خواهد بود.

۱۰۵۰۵ پیش‌بینی آخرین آبیاری

در مناطقی که بارندگیهای خارج از فصل اتفاق می‌افتد این آبها می‌تواند در عمق توسعه ریشه‌ها ذخیره شود . به همین دلیل برنامه ریزان آبیاری در آخر فصل ضمن پرهیز از ایجاد تنش در گیاه، سعی می‌کنند مزرعه باندک آبیاری شود، و خاک هر چه خشکتر در آخر فصل رها شود تا برای ذخیره بارانهای خارج از فصل آمادگی داشته باشد. این امر موجب می‌شود که آب کمتری مصرف شود و آبشوئی خاک و شستشوی مواد مغذی کاهش پیدا کند. درمناطقی که آبیاری قبل از کاشت (خاکاب) مورد نیاز است بهتر است در آخر فصل گذشته ، پروفیل خاک به رطوبت لازم برسد. اینکار، و این نوع آبیاری، به آبیاری قبل از کاشت که باید در مزرعه تازه شخم خورده انجام بگیرد رحجان دارد. همه این ملاحظات اهمیت آخرین آبیاری فصل را ، چه از نظر مقدار، و چه از نظر موقع آبیاری و بذل توجه به این امر را نشان می‌دهد (به کارهای Grimes و Dickens سال ۱۹۷۴ مراجعه شود).

نیاز به آبیاری اضافی را می‌توان با استفاده از روش "تکمیل فرم کنترل بیلان آب خاک" که در جدول ۱۰۹ نشان داده شده است، مشخص نمود. دراین حالت، بیلان آب خاک بهتر است در دوره بعد از فصل رویش تنظیم گردد، که به آبیاری در آغاز فصل بعدی ترجیح دارد. برای تمام فصل شاید لازم باشد آبیاری بدفعات زیاد و بااستفاده از سیستم‌هائیکه قادرند جیره آبیاری را به مقادیر اندک فراهم نمایند، صورت بگیرد.

۱۰۶ - مشکلات برنامه‌ریزی آبیاری (Scheduling Problems)

در برنامه ریزیهای آبیاری ممکن است مسائلی چند پیش‌بیاید. پاره‌ای از آنها را می‌توان با روشهای مدیریتی حل کرد، در صورتیکه در مورد پاره‌ای دیگر ممکن است راه‌حل کاملی وجود نداشته باشد(و هر راه حلی جهات منفی هم بهمراه داشته باشد)، در اینصورت ، خواه ناخواه، باید ضرر و زیان ناشی از جهات منفی را پذیرفت .

در این بخش شرایطی که برنامه‌ریزی با محدودیت (وپاره‌ای تضادها) و روبرو می‌شود، و استراتژیهای مناسب مدیریتی که (با قبول جنبه‌های منفی) به حل مشکل می‌پردازد، مورد بحث قرارمی‌گیرد.

۱۰۶۰۱ سیستم آبیاری با جیره سنگین (سیستمی که قادر به تامین جیره آبیاری با مقادیر اندک نیست):

برنامه ریزی آبیاری در مورد سیستمهائی که تامین کننده جیره آبیاری سنگین هستند، مدیریت، در تصمیم‌گیری خودبایدبین دو وجه منفی، یعنی تنش از یکسو، و شستشوی خاک از سوی دیگر، ناچاراً به یکی از این دو، تن در دهد. بدینمعنی که برنامه ریز یا باید برای پرهیز از شستشوی خاک زمان شروع دور آبیاری (Start Position) را به تعویق بیاندازد، و آبیاری را با تاخیر و در دیرترین تاریخ انجام دهد، که در اینصورت ممکن است آخرین قسمتها (در آخر دور آبیاری) خیلی خشک شده باشد و خطر تنش پیش بیاید.

بعکس ، اگر آبیاری، برای پرهیز از تنش در زودترین تاریخ خود، (در نقطه پایان دور آبیاری یا Stop Position) انجام بگیرد ممکن است در دور آبیاری بعدی مشکل شستشوی خاک مطرح شود.

هریک از حالات فوق در شرایطی پیش‌می‌آید که اولین آبیاری محصولات سالانه بصورتی انجام پذیرد که رطوبت خاک در تمام مزرعه یکنواخت و یکسان بوده باشد.

در شرایطی که سیستم ،جیره سنگین در اختیار مزرعه قرار می‌دهد مدیریت، اکثراً آبیاری را زودتر شروع می‌کند تا در آخرین قسمت‌های مزرعه (مرحله خاتمه آبیاری Stop Position) امکان تنش از بین برود ولی ناچاراً در قسمت اول مزرعه (مرحله آغازین Start Position) آبشوئی اتفاق می‌افتد. درمرحله آغازین دور آبیاری، آب آبشوئی جزو تلفات بحساب می‌آید و پس از اینکه اولین دور آبیاری انجام شد تخلیه رطوبت در قسمت اول مزرعه (نقطه شروع و مرحله آغاز دور آبیاری Start Position) بیشتر از قسمت آخر مزرعه (نقطه پایان و مرحله خاتمه دور آبیاری Stop Position) صورت می‌گیرد. در نتیجه ممکن است در دور دوم آبیاری (نوبت دوم) آبشوئی قسمت اول مزرعه کمتر از آبیاری نوبت اول باشد، بنابراین آبیار می‌تواند ضرر ناشی از آبشوئی نوبت اول آبیاری را در بخشی از مزرعه (قسمت اول) بپذیرد با این امید که در بقیه فصل تخلیه رطوبت با جیره سنگین هماهنگ (و یکسان) باشد (و شستشو صورت نگیرد).

این روش کلاً روش موفقی است جز در مواردی که بارندگی سنگینی اتفاق بیفتد، که در اینصورت لازم است دور آبیاری از اول شروع شود.

با استفاده از برنامه‌ریزی آبیاری می‌توان در شرایطی که سیستم قادر به تامین عمق آبیاری (جیره) اندک نیست، راه حل مناسب را انتخاب کرد.

در بسیاری از حالات حل این مشکل به تمهیداتی فراتر از برنامه‌ریزی نیاز پیدا می‌کند. ممکن است آبیار برای کاشتن از جیره آبیاری مجبور به تعویض سیستم آبیاری شود. بعنوان مثال در مورد آبیاری نشتی می‌توان نشتی‌ها را یک در میان آبیاری کرد، و یا در پاره‌ای خاکها از روش آبیاری موجی استفاده کرد. در سایر شرایط تغییر سیستم باید براساس مقایسه اقتصادی، هزینه تغییر سیستم، زیانهای ناشی از آبشوئی و یا تنش صورت بگیرد.

جدول ۱۰۹ - نمونه "فرم کار" (Worksheet) جهت تعیین آب مورد نیاز برای باقیمانده فصل آبیاری

آب مورد نیاز و سهم منابع مربوطه	جیره آبیاری برحسب میلیمتر
I - سهم رطوبت خاک (آب خاک):	
A- میزان تخلیه مورد نظر آب خاک در آخر فصل آبیاری	۹۵
B-میزان تخلیه آب خاک در شرایط معمولی	۴۵
C- باقیمانده آب قابل استفاده خاک (A-B)	۵۰
II - سهم سایر آبها:	
A- باران موثر (پیش‌بینی شده)	۳۰
B- سهم آب زیرزمینی (پیش بینی شده)	۰
III - کل سهم منابع آب آبیاری (IC + IIA + IIB)	۸۰
IV- آب مورد نیاز محصول:	
A- تبخیر تعرق پیش‌بینی شده در فصل آبیاری	۶۵۰
B- کل تبخیر تعرق در تاریخ داده شده	۵۲۰
C- باقیمانده تبخیر تعرق (A-B)	۱۳۰
D- نیاز آبشوئی	۰
E- باقیمانده آب موردنیاز	۱۳۰
V- آب مورد نیاز خالص (جیره نظری آبیاری) (IVE-III)	۵۰
VI- جیره آبیاری (جیره نظری بادر نظر گرفتن راندمان آبیاری، V/Ea)	$\frac{۵۰}{۰/۸}$ =۶۲/۵

۱۰۶۰۲ بارندگهای بیموقع، و یا پراکنده (غیریکنواخت)

آبیاری در شرایطی که بارندگی وجود ندارد آسانتر است، و آبیار راحتترمی‌تواند بیلان آب خاک را در کنترل داشته باشد. روشهای برنامه ریزی در شرایط با رندگیهائی که احتمال وقوع آنها زیاد است قبلا مورد بحث قرار گرفت. با اینحال در صورتیکه بارندگی بیموقع و یا بطور پراکنده و غیر یکنواخت صورت بگیرد در اینحالت نیز برنامه آبیاری (که طراحی شده است) مختل می‌گردد.

مشکل عمومی بارندگی بیشتر مربوط به مواردی است که باران درست قبل از آبیاری و یا در حین آبیاری صورت بگیرد. اگر مقدار باران زیاد باشد در قسمتهائی از مزرعه که آبیاری شده است آبشوئی صورت می‌گیرد، و دربقیه قسمتها، رطوبت خاک (بسته به درجه تخلیه) متفاوت خواهد بود.

درصورتیکه بارندگی در حین آبیاری که قسمتی از مزرعه آبیاری شده است، اتفاق بیفتد مدیر مزرعه می‌تواند آبیاری را (متوقف کرده) و طبق روال متداول به پایان نبرد. در اینصورت بقیه مزرعه (که آبیاری نشده، و فقط آب باران دریافت کرده است) مقداری خشکتر از قسمتهای آبیاری شده خواهد بود، سپس مدیریت آبیاری می‌تواند با استفاده از سیستم‌های آبیاری که قادرند جیره آبیاری را به مقادیر متفاوت (بدانگونه که دلخواه و مورد نظر برنامه ریز است) بکار برند، تصمیم گیری نماید. در اینصورت می‌توان بقیه مزرعه را باندازه، (ومتناسب با درجه تخلیه رطوبت خاک) بطوریکه خارج از ظرفیت ذخیره خاک نباشد آبیاری کرد، درغیر اینصورت باید به تنظیمات دیگر برنامه ریزی دست یازید.

مشابه همین مشکل، همچنین، درشرایطی که بارانها بطور پراکنده و غیریکنواخت درسطح مزرعه ببارد ایجاد می‌شود. بعنوان مثال اگر مزرعه ایکه با دستگاه دوار مرکزی (سنترپیوت) آبیاری می‌شود بارانهای پراکنده و غیر یکنواخت دریافت کند در اینصورت برنامه‌ریزی آبیاری بهر شکل که اجرا شود، و مبنای رطوبت اولیه هر مقدار که منظور گردد (مثلاً رطوبت خاک در نقطه آغازین Start Position و پایانی مزرعه Stop Position که در کنار هم قرار دارند، و اصولاً رطوبت یکسانی دارند) ، خواه ناخواه بخشی از مزرعه آب بیشتر و بخش دیگر آب کمتر از ظرفیت نگهداری خاک دریافت می‌نماید، و در نتیجه در یک قسمت مشکل آبشوئی، و در قسمت دیگر مشکل تنش بوجود می‌آید.

غیر یکنواختی بارندگی ممکن است بصورت یک مشکل سیستماتیک برای بقیه سال درآید، بویژه نقاطی از مزرعه که آب کمتری نسبت به نقطه شروع، و خاتمه آبیاری دریافت نموده‌اند. عدم یکنواختی توزیع آب آبیاری نیز مسائل مشابهی را برای مدیریت بوجود می‌آورد.

تنظیم برنامه در شرایط بارندگیهای بیموقع، و پراکنده احتیاج به انجام مشاهداتی دارد تابتوان شرایط را برای برنامه‌ریزیهای بعدی بدرستی سامان داد. مشاهدات مربوط به خاک و یا گیاه باید معرف

وضعیت تمام مزرعه از نظر غیر یکنواختی توزیع آب باشد. در رابطه با رژیم بارندگیها شاید لازم باشد نقاط آغازین و پایانی دور آبیاری ((Start & stop Position) بدقت تعیین شود بطوریکه با اطلاعات حاصل از مشاهدات هماهنگ گردد.

۱۰۶۰۳ ناهمگنی واحدهای زراعی

برنامه‌ریزی آبیاری برای مزارعی که دارای خاک غیر همگن هستند، بعلت تفاوت در ظرفیت نگهداری و همچنین تفاوت در میزان تخلیه مجاز کار پیچیده ایست. در صورتیکه برنامه‌ریزی بر اساس تخلیه مجاز اندک، صورت پذیرد بخشی از خاکهای مزرعه که ظرفیت نگهداری آن بالااست بیش از اندازه لازم آب دریافت خواهدکرد. این قسمت از مزارع می‌توانند از آب ذخیره شده بمدت طولانی‌تر استفاده کنند و هزینه‌های آبیاری را کاهش دهند. ولی برنامه‌ریزی آبیاری تمام مزرعه را نمی‌توان بر این پایه استوار ساخت، چراکه در اینصورت در قسمتی از مزرعه که دارای خاکهائی با ظرفیت نگهداری پائین است کمبود رطوبت و تنش ایجاد خواهد شد. بطور کلی پتانسیل ومنافع حاصل از صرفه‌جوئی آب کمتر از ضرر ناشی از کاهش عملکرد بعلت استرس می‌باشد لذا مزرعه بر اساس خاکهائی که ظرفیت ذخیره آنها پائین است برنامه‌ریزی می‌شود.

این استراتژی و سیاستگزاری بهمان نسبت که بتوان تغییرات تبخیر تعرق مزرعه را مورد توجه قرارداد مورد اطمینان، وایده‌آل خواهد بود. اگر محصول در خاکهائی با ظرفیت نگهداری پایئن طی دورآبیاری دچار استرس شود و یا رشد محصول چندان زیاد نباشد، در این خاکها تبخیر تعرق نیز ممکن است کوچک باشد. معمولاً موقع آبیاری بر اساس خصوصیات خاکی که آب کمتری در خود نگهداری می‌کند انجام می‌گیرد ولی جیره آبیاری بر اساس قسمت‌هائی از مزرعه که تبخیر تعرق آن بالاست تعیین می‌گردد. در مزارع ناهمگن جیره آبیاری بدلایل دیگر هم ممکن است تغییر پیدا کند.

قسمت‌هائی از مزرعه که نفوذپذیری کمتری دارد، و یا توپوگرافی منظمی ندارد، در راندمان کاربرد آبیاری نسبت به‌بقیه قسمتها کاهش پیدا می‌کند. یکنواختی توزیع سیستم آبیاری نیز روی جیره آبیاری اثر می‌گذارد. در چنین شرایطی تولید کنندگان باید راندمان کاربرد آبرا بگونه‌ای در نظر بگیرند که هر چه بیشتر معرف وضعیت مزرعه باشد، و برنامه‌ریزی برای قسمت اعظم واحد زراعی انجام پذیرد. با اینحال لازم است در رابطه با اثر این عملیات روی بخش‌های دیگر مزرعه با احتیاط برخورد کرد.

مسئله ناهمگنی، همچنین در شرایطی که یک مزرعه تحت کشت محصولات مختلف قرار گرفته است بروز می‌کند. در این حالت باید با هر بخش از مزرعه که تحت کشت یک محصول قرار دارد، بعنوان واحد زراعی مستقل برخورد کرد و برای هر یک برنامه مستقلی درنظر گرفت. در مواردیکه لازم می‌آید، دو محصول مختلف بطور همزمان آبیاری شود باید راه حلی برای آن پیدا کرد. با استفاده از برنامه‌ریزی آبیاری چنین مواردی رامی‌توان مشخص کرد، ولی مدیر مزرعه باید در مورد ترتیب و توالی آبیاری این محصولات تصمیم مقتضی اتخاذ نماید.

اخیراً روشهای پیشرفته برنامه ریزی مبتنی بر ریاضیات (ریاضیات مهندسی و مدلهای ریاضی) توسعه یافته است که با استفاده از آن می‌توان ترتیب و توالی آبیاری چندمحصول را (که موقع آبیاری آنها بطور همزمان فرا می‌رسد)، در شرایط اپتیمم مشخص کرد، (Trava et al ., 1977 ; Pleban et al , 1983). توسعه این برنامه‌ها (و مدلهای‌ریاضی) به اهداف دیگرنیز، از قبیل کاهش نیاز به نیروی انسانی، و به حداقل رساندن استرس و غیره کمک می‌رسانند.

در برنامه‌ریزی باید دور آبیاری، و زمان توقف بین دو دور متوالی، برای هر یک از محصولات و هر یک از بخشهای مزرعه بطور جداگانه در نظر گرفته شود.

در شرایطی که برای جابجائی سیستم آبیاری (مثلاً سنترپیوت) به وقت زیادی احتیاج وجود دارد،

دراینصورت می‌توان دو محصول مجاور هم را آبیاری کرد و از اتلاف وقت زیاد، برای انتقال سیستم به بخش دیگر مزرعه پرهیز نمود.

۱۰۶۰۴ مدیریت سیستمهای آبیاری در شرایط برق غیر دائم (برق نوبتی):

در پاره‌ای کشور بخاطر مصالح عمومی ، و بطور رایج ، برای آبیارانی که حاضر به استفاده از برق غیر دائم (همراه با قطع ووصل) باشند در قیمت برق تخفیف قائل می‌شوند. این کار موقعی مفید واقع می‌شود که مدیریت بتواند قطع و وصل برق را با سیستم آبیاری هماهنگ نماید و کنترل‌های لازم را اعمال، نماید، که در اینمورد چند روش کنترل وجود دارد.

مدیریت آبیاری همراه با قطع برق (برق غیردائم) دارای مشکلاتی است. اول اینکه نوبتهای قطع و وصل برق با فواصل قابل قبول آبیاری همیشه هماهنگ نبوده، و در نتیجه ظرفیت مفید سیستم آبیاری کاهش می‌یابد. از طرفی ممکن است، گاهاً اتفاق بیفتد که قطع برق بدون پیش‌بینی قبلی صورت بگیرد. معمولاً برنامه‌ریزی آبیاری و کنترل های مربوطه ، با فرض استفاده از برق غیر دائم انجام می پذیرد، و برنامه ریز را در راستای قبول استراتژی انجام آبیاری در "زودترین تاریخ" هدایت می‌کند . یکی از مشکلات این استراتژی مربوط به خاکهائی است که آب زیرزمینی در آنها بالااست و اعمال کنترلهای لازم را مواجه با اشکال می‌نماید.

از طرفی در این روش ، در صورتیکه بارندگی صورت بگیرد ممکن است بخشی از آن تلف شود.

کارآئی مدیریت آبیاری در شرایط برق غیر دائم در مورد گیاهانی با ریشه سطحی، و یا خاکهائی با ظرفیت نگهداری پایین، و یا سیستم‌های آبیاری کم ظرفیت دارای محدودیت می‌باشد.

دراین سیستم‌ها که ظرفیت آنهاپائین است، فواصل قابل قبول آبیاری کوتاه است و لذا کاهش هزینه برق نوبتی ممکن است با زیان ناشی از استرس تلافی شود.

اخیراً مدلهای برنامه‌ریزی برای شرایطی که ترکیبی از شرایط برق غیر دائم همراه با برق اضطراری، و یا همراه با شرایط مزارع معمولی است (که برق دائم در اختیار دارند)، توسعه پیدا کرده است (Aeermann et al 1984). با استفاده از این روشها برای هر مزرعه برنامه‌ریزی مستقلی صورت می‌گیرد. سیستم کنترل، مزارعی را که در آنها می‌توان آبیاری را به تاخیر انداخت انتخاب می‌کند. این روشها تضاد موجود بین برنامه‌ریزی صحیح آبیاری و استفاده از مزایای برق غیر دائم را حل می‌کند. ولی اعمال این روشها، و کنترل‌های مورد نظر به برنامه‌های ویژه،تجهیزات لازم نیاز دارد. همچنین لازم است کشاورزان به استفاده از برق نوبتی و اعمال مدیریتهای مربوطه تمایل داشته باشند و پاره‌ای کنترلهای سیستم آبیاری راکنار بگذارند. ترکیب سیستم کنترل در شرایط برق غیر دائم، توام با برنامه‌ریزی آبیاری می‌تواند تعادل حساس (و شکننده‌ای) بین اهداف مختلف ایجادنماید، ولی این ترکیب می‌تواند موجبات صرفه‌جوئی زیاد را در هزینه‌ها فراهم کند.

۱۰۶۰۵ برنامه‌ریزی تامین و تحویل آب:

پاره‌ای از پروژه‌های آبیاری با هدف برنامه‌ریزی جهت تحویل بموقع و به اندازه آب طراحی می‌شود. طی فصل آبیاری ممکن است آب تامین شده گاه بیشتر، وگاه کمتر از آب مورد نیاز محصول باشد. در چنین مواردی بر مدیر آبیاری است که در هر یک از حالات مزبور تصمیم‌گیری کند واقدام مقتضی بعمل آورد. شاید یکی از راه‌حلها این باشد که از ظرفیت ذخیره خاک برای نگهداری قسمتی از آبهای مازاد، جهت مصارف آتی استفاده شود. در صورتیکه در یک دوره طولانی تر آب اضافی واردمزرعه شود در این صورت می‌توان از پایاب استفاده مجدد بعمل آورد، و یا آنها را درمحل دیگر و درمزارع مجاور بمصرف رساند، و یا برای دوره کمبود آب آنرا ذخیره سازی کرد.

به عکس در شرایطی که میزان آب تامین شده کمتر از نیاز مزرعه باشد آبیار باید تصمیم بگیرد که آیا به تنش تن دردهد، و یا از آبیاری بخشی از مزرعه صرفنظر کند، و مابقی مزرعه را ، " آبیاری کامل" نماید. برنامه ریزی درازمدت به آبیاران کمک می‌کند تا بتوانند تشخیص دهند که آیا کمبود آب زیاد خواهد شد و تا حد بحرانی خواهد رسید ؟ و یا کمبود در حدی خواهد بود که با قبول استرس حداقل و جزئی قابل حل خواهد بود.

تامین آب بگونه‌ایکه همواره - و به تمام ،متناسب با نیاز گیاهان (و اراضی تحت کشت آبی) باشد با برنامه ریزی آبیاری چندان تطابق ندارد (و چندان عملی نیست). اگر مقدار و یا زمان تامین و تحویل آب، معین و قابل کنترل باشد برنامه ریزی آبیاری می‌تواند در جهتی طراحی شود و توسعه یابد که مدیر بتواند اعلام نیاز کند که کی، و یاچه مقدار آب موردنیاز است. بدون انعطاف پذیری برنامه جهت تامین و تحویل آب بطور دقیق و بتمام طبق نیاز، در عمل توفیق کمتری خواهد داشت. کاملترین شکل عملی برنامه ریزی جهت تامین و تحویل آب، کاملاً طبق نیاز، همانا تعیین ترتیب و توالی آبیاری، و تعیین مقدار آب لازم برای هر واحد (یکپارچه و با مدیریت واحد) می‌باشد. این پروسه و مراتب کارخیلی شبیه حالتی است که در موردناهمگنی مزرعه، بدلیل کشت چندین محصول ، بحث گردید. اکثراً بعلت محدودیت تامین آب، نیروی کار و فاکتورهای دیگر و مشکلات مدیریتی، بهینه سازی ضرورت پیدا می‌کند.

تحقیقاتی درموضوع کاربرد برنامه‌ریزی، بامقیاس یک منطقه تحت آبیاری جهت تعیین مزارعی که لازم است برای آنها آب تامین شود، و همچنین پیش‌بینی مقدار آب لازم برای هر یک از این مزارع انجام گرفته است (Loftis & Houghtalen 1987). استفاده از روش برنامه‌ریزی منطقه‌ای

می‌تواند راندمان آبیاری پروژه‌ها را به مقدار قابل ملاحظه‌ای بالا ببرد، مشروط به اینکه بین مزارع و کل منطقه تحت آبیاری ارتباط و هماهنگی لازم برقرار گردد و آب بخوبی کنترل شود.

۱۰۶۰۶ محدودیت ظرفیت سیستم آبیاری:

در شرایطی که ظرفیت سیستم آبیاری تکافوی آب مورد نیاز محصول را در تمام طول فصل ننماید، باید برنامه‌ریزی آبیاری با روش ویژه‌ای انجام بگیرد. لازم است بدواً دوره‌هائی از فصل که محدودیت آب از همه بیشتر است تعیین گردد، و سپس طرح مدیریتی مناسب جهت انجام تطابق و ایجاد هماهنگی‌های لازم با این محدودیت توسعه یابد. بعنوان مثال تبخیر تعرق در وسط تابستان خیلی زیاد است و دراین دوره کمبود آب می‌تواند شدید باشد. اگر "آبیار" استراتژی روش " دیرترین تاریخ آبیاری " را جهت به حداکثر رساندن ذخیره آب، در اوایل فصل رویش را در پیش بگیرد در اینصورت استرس دیرتر، بروز می‌کند. آبیاران باید دراینمورد، که کی و چگونه رطوبت خاک را تنظیم کنند تادر طول فصل ،استرس به حداقل خود برسد، تصمیم مقتضی اتخاذ نمایند. برای اینکار لازم است موضوع با مقیاس فصل آبیاری و دوره‌های طولانی‌تر (بجای فاصله دو آبیاری متوالی) در نظر گرفته شود.

استراتژیهای مختلف برنامه‌ریزی آبیاری را می‌توان در چهارچوب طرحهای مدیریتی و توسعه آنها مورد ارزیابی قرار داد. در بسیاری از حالات لازم است فقط تخلیه رطوبت خاک، در طول فصل آبیاری را مورد توجه قرار داد. درصورتیکه نتوان با انباشت آب در خاک از تخلیه رطوبت تا حد بحرانی، و قبل از بروز تنش جلوگیری کرد، توجه آبیار باید به گیاهانی معطوف گردد که بتواند در مقابل کم آبی و استرس تحمل بیشتری از خود نشان دهد.

گیاهانی که طی فصل ، تحت آبیاری کامل قرار گرفته‌اند نسبت به تنش حساسیت بیشتری نشان می‌دهند تاگیاهانی که در تمام طول فصل، بطور یکنواخت تنش و کمبود آب قرار گرفته باشند. پاره‌ای محصولات را نیز می‌توان برای شرایط استرس آماده کرد. آبیاران باید کلیه امکانات را در شرایط مواجه شدن با محدودیت ظرفیت سیستم و کمبود آب بخوبی درنظر بگیرند. در صورتیکه ظرفیت سیستم آبیاری منجر به افت عملکرد شود می‌توان "کم آبیاری" راکه در "بخش دو" از آن سخن رفت، مورد توجه قرار داد.

۱۰۷ نیازمندیهای تحقیقاتی:

اگر چه برنامه ریزیهای درازمدت آبیاری بصور مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، بااینحال هنوز لازم است دانش خود را در رابطه با اینکه " چگونه آبیاری کنیم"؟ - و "کی آبیاری کنیم"؟ (" و باچه مقدار آب ، آبیاری کنیم؟) تکمیل نمائیم و توسعه دهیم.

آبیاری مناطق خشک بخش عظیمی از آبها را می بلعد. در پاره‌ای مناطق تامین آب بدلیل برداشت بی‌رویه و بیش از ظرفیت از سفره‌های آبدار زیرزمینی، و یابعلت افزایش رقابت جهت استفاده از آبهای سطحی ، و افزایش نیاز به آب برای مصارف دیگر، بسیار مشکل شده است. بدلایل فوق تحقیقات جهت کاهش مصرف آب، و انرژی و افزایش سوددهی با برنامه‌های پیشرفته ضرورت دارد.

روشهای برنامه ریزی آبیاری باید مبتنی بر شناخت اصول "کم آبیاری " باشد. در پاره‌ای مناطق هنوز کمبود آب که همه ساله و یا چندسال یکبار اتفاق می‌افتد عامل محدود کننده تولیدات کشاورزی بحساب می‌آید، و منابع و ذخائر آب استحصالی، به ندرت نیاز همه پروژه‌های آبیاری منطقه را جهت نیل به عملکرد اقتصادی حداکثر، تامین می‌کند.

لازم است تصمیم‌گیریهای اصولی و مبتنی بر تحقیقات در رابطه با چگونگی توزیع آب در طول یک و یاچند فصل آبیاری اتخاذ گردد.

روشهای برنامه‌ریزی آبیاری برای آینده باید بدقت: عکس‌العمل محصولات مختلف در مقابل تنش-میزان تبخیر تعرق گیاه در حالت کمبود آب و استرس‌های وارده-اهداف مدیریتی، محدودیتهای سیستم آبیاری ، سیاستهای عمومی و غیره را مورد توجه و بررسی قرار دهد.

نتایج پاره‌ای برنامه‌ریزیها، در صورتیکه احتمال ریسک از حدی بیشتر باشد، نامطمئن خواهد بود که این موضوع توسط بسیاری از آبیاران تجربه شده است (و لذا لازم است این مورد نیزبررسی گردد).

بهبود کیفیت آب آبیاری و نگهداری این کیفیت در حالت پایدار جزو فاکتورهائی است که در

برنامه‌ریزیها، در ردیف عواملی چون تبخیر تعرق، روزبروز به اهمیت آن افزوده می‌شود، و خود مسئله مهمی است که آبیاران را به مبارزه فرا می‌خوانند و دقت و توجه زیادی را می‌طلبد، و از حساسیت خاصی برخوردار است.

بعنوان مثال اگر یک برنامه ریزی بتواندا‌حتمال شستشوی مواد شیمیائی را، چه بعلت نفوذ عمقی آب آبیاری، و چه بعلت رواناب سطحی، به حداقل برساندا‌ز نظر حفظ محیط و شرایط پایدار چه بسا در وضعیت حساسی قرار خواهد گرفت. بحداقل رساندن شستشوی مواد شیمیائی مستلزم آنست که بیلان سالانه آب بگونه‌ای تنظیم شود که از شستشوی این مواد چه در فصل آبیاری و چه در خارج از فصل، حداکثر ممکن پیشگیری بعمل آید.

معمولاً دربرنامه ریزی آبیاری دسترسی به حداقل اطلاعات ضرورت دارد، (که بدون آن برنامه‌ریزی امکان‌پذیر نخواهد بود)، بعنوان نمونه، بدون داشتن حداقل اطلاعات درمورد ناهمگنی سیستم آبیاری و ناهمگنی مزرعه نمی‌توان برنامه‌ریزی را سامان داد.

در آینده اطلاعات حاصل از سنسورها (Sensors) ، جهت اتخاذ تصمیمات مدیریتی، در دسترس برنامه ریزان قرار خواهدگرفت، که این روشها خود به آنالیز انواع داده‌ها نیاز دارد. بعنوان مثال مشاهده و کنترل مستمر (Monitoring) رطوبت خاک، اندازه‌گیری درجه حرارت سایه اندازگیاه، محاسبه بیلان آب خاک می‌تواند بطور همزمان و بطور تقریباً مداوم انجام بگیرد و نتایج آنها تجزیه و تحلیل شود. بعلاوه تکنیک‌هائی در دسترس قرار می‌گیرند، که مزرعه را به بخشهائی تقسیم می‌کند و هر بخش را بعنوان واحدمستقل مطالعاتی درنظر می‌گیرد، و بجای اینکه برنامه‌ریزی بر اساس متوسط شرایط مزرعه انجام بگیرد، براساس شرایط واقعی هر یک از بخشها انجام می‌پذیرد، و در هر بخش، مدیریت ویژه بهینه اعمال می‌گردد. در این رابطه لازم است روشهائی را توسعه داد تا بتوان مقدار مجاز آب کاربردی (جیره آبیاری) را بجای کل مزرعه و شرایط متوسط آن، برای هر یک از بخشها، متناسب با شرایط دقیق و خاصه آن تعیین کرد.

شاید بزرگترین عرصه تلاش، توسعه انواع برنامه‌ریزیهائی باشد که بسهولت بتوان آنها را در مناطق تحت آبیاری عمل کرد، و با شرایط این مناطق تطبیق داد.

بایدتوجه داشت توسعه برنامه‌ریزیهای علمی به انگیزه‌های اقتصادی نیازمند است. بدون این انگیزه‌ها توسعه روشهای برنامه‌های فنی و حقیقی بکندی می‌گراید و یامتوقف می‌شود (Sheaper & Vomochil, 1981). بهمین جهت، تعجب آورنیست که علیرغم همه پیشرفتهای فنی که در پاره‌ای از مناطق صورت گرفته است، با اینحال بعلت عدم وجودانگیزه‌های مزبور آبیاران برنامه‌های زمانبندی حقیقی را بکار نمی‌بندند. شاید توسعه این سیستم‌های مدیریتی بعنوان حلقه اتصال جسورانه‌ای بین مدیران آبیاری و کادرهای تحقیقاتی بحساب بیاید.

بدون تجهیزات نیز، پژوهش و توسعه محقق نخواهد شد. مهندسی پروسه تصمیم‌گیری با استفاده از کامپیوتر در زمینه‌آبیاری می‌تواند نیازهای فنی را جهت کنترل آبیاری برآورده سازد.

۱۰۸ خلاصه و نتیجه:

در بخش اول دستورالعمل‌های کم آبیاری (نشریه شماره ۴) اصول برنامه‌ریزی و زمانبندی آبیاری توضیح داده شد. بیلان آب جهت مدیریت آن، رطوبت خاک با توجه به حدهای قابل قبول (و تخلیه مجاز) مورد بحث قرار گرفت. اصول و مبانی تعیین موقع آبیاری - مقدار آب آبیاری ، و تاثیر پذیری آن از مشخصات سیستم آبیاری ، اهداف مدیریتی ، و مسئله شوری ارائه گردید. پاره‌ای شرایط مسئله آفرین برای برنامه بحث شد، و استراتژیهای مدیریتی ممکن در هر یک از این موارد جهت جلوگیری از عوارض ناشیه مرور گردید. ضرورت انجام پاره‌ای تحقیقات برای اینکه راندمان مصرف آب با برنامه ریزی صحیح آبیاری بالا برود تشریح گردید. دراین بخش مفاهیم مورد بحث قرار گرفت تا استفاده از اصول برنامه‌ریزی آبیاری برای تطابق دادن مدیریت با شرایط ویژه درک شود.

فهرست منابع و مأخذ

Management of Farm Irrigation Systems

Glenn J. Hoffman & Terry A. Howell & kenneth H. Solomon

December, 1990, by the American Society of Agricultural Engineers

Irrigation Scheduling Principles

by:

D.L. Martin (Department of Biological System Engineering, University of Nebraska, lincoln, NE)

E.C. Stegman (Agricultural Engineering Department, North Dakota State University, Fargo, ND)

E. Fereres (Department of Agronomy, University of cordoba, cordoba, spain)

Ackerson, R.C., D.R. Krieg, T.D. Miller and R.G. Stevens. 1977a. Water relations and physiological activity of potatoes. *J. Am Soc. Hort. Sci.* 102(5): 572-575.

Ackerson, R.C., D.R. Krieg, T.D. Miller and R.E. Zartman. 1977b. Water relations of field grown cotton and sorghum: temporal and diurnal changes in leaf water, osmotic and turgor potential. *Crop Sci.* 17(1): 76-80.

Aparicio-Tejo, P.M., M.F. Sanchez-Diaz and J.I. Pena. 1980. Nitrogen fixation, stomatal response and transpiration in *Medicago sativa* (alfalfa), *trifolium repens* and *trifolium subterraneum* (white clover, subterranean clover) under water stress and recovery. *Physiol. Plant.* 48(1): 1-4.

Baker, D.N., J.R. Lambert and J.M. McKinion. 1983. GOSSYM: a simulation of cotton growth and yield. S. C. Agric. Exp. Sta. Tech. Bull., 1908.

Barlow, E.W.R., L. Boersma and J.L. Young. 1977. Photosynthesis, transpiration and leaf elongation in corn seedlings at suboptimal soil temperatures. *Agron. J.* 69(1): 95-100.

Borg, H. and D.W. Grimes. 1986. Depth development of roots with time: An empirical description. *Transactions of the ASAE* 29(1): 194-197.

Boyer, J.S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiol.* 46: 233-235.

Brady, R.A., S.M. Goltz, W.L. Powers and E.T. Kanemasu. 1975. Relation of soil water potential to stomatal resistance of soybeans. *Agron J.* 67(1):97-99.

Bresler, E. and G.J. Hoffman. 1986. Irrigation management for soil salinity control: Theories and tests. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1552-1560.

CIMIS - California Irrigation Management Information System. 1985. Final report to the Office of Water Conservation, State Department of Water Resources. Dept. of Land, Air and Water Resources, University of California-Davis.

Campbell, G.S. and M.D. Campbell. 1982. Irrigation scheduling using soil moisture measurements: Theory and practice. In *Advances in Irrigation*, ed. D. Hillel, 1:25-42. New York: Academic Press.

Clark, G.A., and D.L. Reddell. 1986. Sequential water stress in cotton: Yield response. ASAE Paper No. 86-2071. St. Joseph, MI: ASAE.

Cudrak, A.J. and D.L. Reddell. 1988. A stimulus response model to predict crop yields due to water deficits. ASAE Paper No. 88-2514. St. Joseph, MI: ASAE.

Doorenbos J. and A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper 33. Food and Agricultural Organization of United Nations, Rome, Italy.

Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 24. Food and Agricultural Organization of United Nations, Rome, Italy.

English, M.E., M. Glenn and J. VanSickle. 1981. Scheduling for optimum water use. In *Proceeding of the Irrigation Scheduling Conference*, 61-72. St. Joseph, MI: ASAE.

Fereres, E., R.E. Goldfien, W.O. Pruitt, D.W. Henderson and R.M. Hagan. 1981. The irrigation management program: A new approach to computer assisted irrigation scheduling. In *Proceeding of the Irrigation Scheduling Conference*, 202-207. St. Joseph, MI: ASAE.

Feyen, J., D. Crabbe, N. Kihupi and P. Michels. 1985. Irrigation timing through micro-computer controlled tensiometers. In *Proceedings of the Third International Drip/Trickle Irrigation Congress*, 773-781. St. Joseph, MI: ASAE.

Field, J.G., L.G. James, D.L. Bassett and K.E. Saxton. 1988. An analysis of irrigation scheduling methods for corn. *Transactions of the ASAE* 31(2): 508-512.

Gardner, W.R. 1983. Soil properties and efficient water use. In *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*, eds. H.M. Taylor, W.R. Jordan and T.R. Sinclair, 45-64. Madison, WI: Am. Soc. of Agron.

Gilley, J.R., D.L. Martin and W.E. Splinter. 1980. Application of a simulation model of corn growth to irrigation management decisions. In *Operations Research in Agriculture and Water Resources*, eds. D. Yaron and C. Tapiero, 485-500. Amsterdam: North-Holland Publ.

Grimes, D.W. and W.L. Dickens. 1974. Dating termination of cotton irrigation from soil water retention characteristics. *Agron. J.* 66(3): 403-404.

Hagan, R.M. and J.I. Stewart. 1972. Water deficits-irrigation design and programming. *J. Irrig. and Drain. ASCE* 98(2): 215-237.

Hanks, R.J. 1974. Model for predicting plant yield as influenced by water use. *Agron. J.* 66(5): 660-664.

Harrington, G.J. and D.F. Heermann. 1981. State of the art irrigation scheduling computer program. In *Proceeding of the Irrigation Scheduling Conference*, 171-178. St. Joseph, MI: ASAE.

Hatfield, J.L. 1982. Evapotranspiration obtained from remote sensing methods. In *Advances in Irrigation*, ed. D. Hillel, 2:395-416. New York: Academic Press.

Heermann, D.F., G.W. Buchleiter and H.R. Duke. 1984. Integrated water-energy management system for center pivot irrigation: Implementation. *Transactions of the ASAE* 27(5): 1424-1429.

Heermann, D.F. and M.E. Jensen. 1970. Adapting meteorological approaches in irrigation scheduling to high rainfall areas. In *Proceeding of the National Irrigation Symposium*. St. Joseph, MI: ASAE.

Hiler, E.A. and R.N. Clark. 1971. Stress day index to characterize effects of water stress on crop yields. *Transactions of the ASAE* 14(4): 757-761.

Hill, R.W., E.L. Johns and D.K. Frevert. 1983. Comparison of equations used for estimating agricultural crop evapotranspiration with field research. U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation.

Hoffman, G.J. and M.T. Can Genuchten. 1983. Water management for salinity control. In *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*, eds. H.M. Taylor, W.R. Jordan and T.R. Sinclair, 73-86. Am. Soc. of Agron.

Idso, S.B., R.J. Reginato, J.L. Hatfield, G.K. Walker, R.D. Jackson and P.J. Pinter. 1980. A generalization of the stress degree day concept of yield-prediction to accommodate a diversity of crops. *Agric. Meteorol.* 21: 205-211.

Idso, S.B., R.D. Jackson, P.J. Pinter, R.J. Reginato and J.L. Hatfield. 1981a. Normalizing the stress degree day for environmental variability. *Agric. Meteorol.* 24(1): 45-55.

Idso, S.B., R.J. Reginato, R.D. Jackson and P.J. Pinter. 1981b. Measuring yield-reducing plant water potential depressions in wheat by infrared thermometry remote sensing of plant water stress. *Irrig. Sci.* 2(4): 205-211.

Idso, S.B., R.J. Reginato, D.C. Reicosky and J.L. Hatfield. 1981c. Determining soil induced plant water potential depressions in alfalfa by means of infrared thermometry. *Agron. J.* 73: 826-830.

Idso, S.B., K.L. Clawson and M.G. Anderson. 1986. Foliage temperature: effects of environmental factors with implications for plant water stress assessment and the CO_2/climate connection. *Water Resour. Res.* 22: 1702.

Jackson, R.D. 1982. Canopy temperature and crop water stress. In *Advances in Irrigation*, ed. D. Hillel, 1:43-85. New York: Academic Press.

Jackson, R.D. 1988. A reexamination of the crop water stress index. *Irrig. Sci.* 9: 309-317.

Jensen, M.E. 1975. Scientific irrigation scheduling for salinity control of irrigation return flow. Environmental Protection Technology Series EPA-600/1-75-064.

Jensen, M.E., R.D. Burman and R.G. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. A Manual Prepared by the Committee on Irrigation Water Requirements. Irrig. and Drain. Div. of the ASCE. New York. (In Press.)

Jensen, M.E. and J.L. Wright. 1978. The role of evapotranspiration models in irrigation scheduling. *Transactions of the ASAE* 21(1): 82-87.

Jensen, M.E., J.L. Wright and B.J. Pratt. 1971. Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. *Transactions of the ASAE* 14(5): 954-959.

Jones, J.W. and A.G. Smajstrla. 1980. Application of modeling to irrigation management of soybeans. In *Proceedings World Soybean Research Conference II*, ed. F.T. Corbin, 571-599. Boulder, CO: Westview Press.

Kincaid, D.C. and D.F. Heermann. 1974. Scheduling irrigations using a programmable calculator. ARS-NC-12. Agric. Research Service.
Lawlor, D.W. and G.F.J. Milford. 1975. Effects of varying air and soil moisture on the water relations and growth of sugarbeet. *J. Exp. Bot.* 26(4): 657-665.
Lofüs, J.C. and R.J Houghtalen. 1987. Optimizing temporal water allocation by irrigation ditch companies. *Transactions of the ASAE* 30(4): 1075-1082.
Lundstrom, D.R. and E.C. Stegman. 1977. Checkbook method of irrigation scheduling. ASAE Paper No. NCR 77-1001. St. Joseph, MI: ASAE.
Lundstrom, D.R. and E.C. Stegman. 1988. Irrigation scheduling by the checkbook method. Extension Circular AE-792(revised). North Dakota State University Extension Service. North Dakota State University, Fargo.
McKinion, J.M. and H.E. Lemon. 1985. Expert systems in agriculture. *Computers and Electronics in Agric.* 1: 31-40.
Miller, B.D. and O.T. Denmead. 1976. Water relations of wheat leaves in the field. *Agron. J.* 68: 303-307.
Musick, J.T. 1976. Irrigation timing and scheduling to increase water-use efficiency, 201-238. Publ. Great Plains Agric. Counc. Apr. 7-8.
Pleban, S., J.W. Labadie and D.F. Heermann. 1983. Optimal short term irrigation schedules. *Transactions of the ASAE* 26(1): 141-147.
Pruitt, W.O. and J. Doorenbos. 1977. Empirical calibration, a requisite for Et formulae based on daily or longer mean climatic data. Round Table Conference on "Evapotranspiration", Int'l Comm. Irrig. Drain., Budapest, Hungary.
Pruitt, W.O., E. Fereres, K. Kaita and R.L. Snyder. 1987. Reference evapotranspiration for California. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources Bulletin 1922.
Ratliff, L.F., J.T. Ritchie and D.K. Cassel. 1983. Field-measured limits of soil water availability as related to laboratory-measured properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 770-775.
Rawlins, S.L. 1973. Principles of managing high frequency irrigation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 626-629.
Reddell, D.L., J.F. Prochaska and A.J. Cudrak. 1987. Sequential water stress in Cotton: A stress day index model. ASAE Paper No. 87-2080. St. Joseph MI: ASAE.
Rhoades, J.D. 1987. Use of saline water for irrigation. Natl. Water Res. Inst., Ontario, Canada special issue bulletin, Water Quality, Burlington. *Water Quality Bull.* 12: 14-20.
Ritchie, J.T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resour. Res.* 8(5): 1204-1213.
Ritchie, J.T. 1973. Influence of soil water status and meteorological conditions on evaporation from a corn canopy. *Agron. J.* 65: 893-897.
Ritchie, G.A. and T.M. Hinckley. 1975. The pressure chamber as an instrument for ecological research. *Adv. Ecol. Res.* 9: 165-254.
Russo, D. 1987. Lettuce yield-irrigation water quality and quantity relationships in a Gypsiferous desert soil. *Agron. J.* 79: 8-14.
Shearer, M.N and J. Vomocil. 1982. Twenty-five years of modern irrigation scheduling promotional efforts. In *Proceeding of the Irrigation Scheduling Conference*, 208-212. St. Joseph, MI: ASAE.
Skaggs, R.W., N.R. Fausey and B.H. Nolte. 1981. Water management model evaluation for north central Ohio. *Transactions of the ASAE* 24(4): 922-928.
Smith, R.C.G., T.L. Steiner, W.S. Meyer and D. Erskine. 1985. Influence of season to season variability in weather on irrigation scheduling of wheat: A simulation study. *Irrig. Sci.* 6: 241-251.

Stegman, E.C. 1983. Corn and sunflower yield vs. management of leaf xylem pressures. *Transactions of the ASAE* 26(5): 1362-1368, 1374.
Stegman, E.C. 1988. Corn crop curve comparisons for the Central and Northern Plains of the U.S. *Applied Engineering in Agriculture* 4(3): 226-233.
Stegman, E.C. 1989. Soybean yields as influenced by timing of Et deficits. *Transactions of the ASAE* 32(2): 551-557.
Stegman, E.C. and A. Bauer. 1977. Sugarbeet response to water stress in sandy soils. *Transactions of the ASAE* 20(3): 469-473, 477.
Stegman, E.C. and D.C. Nelson. 1973. Potato response to moisture regimes. ND Res. Rpt. No. 44. Agr. Exp. Sta., ND State Univ., Fargo, ND.
Stegman, E.C., L.H. Schiele, and A. Bauer. 1976. Plant water stress criteria for irrigation scheduling. *Transactions of the ASAE* 19(5): 850-855.
Stewart, J.I., R.E. Danielson, R.J. Hanks, E.E. Jackson, R.M. Hagan, W.D. Pruitt, W.T. Franklin and J.P. Riley. 1977. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. Utah Water Lab., Utah State Univ. PRWG 151-1:1-191.
Swaney, D.P., J.W. Jones, W.G. Boggess, G.G. Wilkerson, and J.W. Mishoe. 1983. Real-time irrigation decision analysis using simulation. *Transactions of the ASAE* 26(2): 562-568.
Taylor, S.A. 1965. Managing irrigation water on the farm. *Transactions of the ASAE* 8(3): 433-435.
Teare, I.D. and E.T. Kanemasu. 1972. Stomatal-diffusion resistance and water potential of soybean and sorghum leaves. *New Phytol.* 71: 805-810.
Trava, J., D.F. Heermann and J.W. Labadie. 1977. Optimal on-farm allocation of irrigation water. *Transactions of the ASAE* 20(1): 85-88, 95.
Turner, N.C. 1988. Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. *Irrig. Sci.* 9: 289-308.
Villalobos, F.G. and E. Fereres. 1990. Evaporation measurements from the soil beneath corn, cotton and sunflower canopies. *Agron. J.* (In Press.)
Villalobos, F.G. and E. Fereres. 1989. A simulation model for irrigation scheduling under variable rainfall. *Transactions of the ASAE* 32(1): 181-188.
von Bernuth, R., D.L. Martin, J.R. Gilley and D.G. Watts. 1984. Irrigation system capacities for corn production in Nebraska. *Transactions of the ASAE* 27(2): 419-424, 428.
Wright, J.L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. *J. of the Irrig. and Drain. Div. of the ASCE* 108(IR2): 57-74.

DEFICIT IRRIGATION

۲ - کم آبیاری :

۲۰۱- تعاریف و مفاهیم:

کم آبیاری یک استراتژی بهینه برای بعمل آوردن محصولات تحت شرایط کمبود آب است که همراه با کاهش محصول می باشد. کم آبیاری بنامهای دیگری همچون «آبیاری بخشی و ناقص »[1] ، «کم آبیاری تنظیم شده»[2] ، «آبیاری محدود »[3] و غیره نیز خوانده می شود. این عمل در نواحی مختلفی چون منطقه وسیعی از جنوب اوگالالا (ogallalla) ، حوزه کلمبیا و دیگر نواحی ایالات متحده ، شبه قاره هند، بخشهائی از آفریقا و دیگر مناطق جهان که با کمبود آب مواجه هستند، به اجراء در می آید.

هدف اصلی از اجرای کم آبیاری همانا افزایش راندمان کاربرد آب، چه از طریق کاهش میزان آب آبیاری در هر نوبت و یا حذف آبیاری هائی است که کمترین بازدهی را دارند. چنانچه مشخص است هرگاه منابع آب محدود بوده و یا هزینه‌های آب بالا باشد، راندمان مصرف آب (از نظر اقتصادی) در حالت تولید ماکزیمم محصول، کمتر خواهد بود. هنگامی که مشکلاتی از نظر تامین سرمایه ، انرژی ، نیروی کارگر و یا منابع حیاتی دیگر وجود داشته باشد یا هنگامی که هزینه‌های این گونه منابع بالاباشد، استفاده از کم آبیاری می‌تواند در افزایش سود مفید واقع شود. کم آبیاری برای‌گسترش سطح

1- Partial irrigation

2 - Regulated deficit irrigation

3- Limited irrigation

کشت و به حداکثر رساندن و یا تثبیت تولید محصولات یک منطقه نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد اعمال مدیریت کم آبیاری چندان هم ساده نیست و بسیار بحث‌انگیز است. ولی در صورتیکه هدف به ماکزیمم رساندن سود یا تثبیت تولید مواد غذائی باشد، کم آبیاری می تواند به عنوان یک استراتژی ارزشمند مطرح شود، (Stegman , et, al , 1980 , English 1990).

مدیریت کم آبیاری با مدیریت آبیاری کلاسیک بکلی متفاوت است. مسئول آبیاری در حالت اول باید تصمیم بگیرد که چه درجه‌ای از کم آبیاری در هر مورد باید بکار گرفته شود و در ضمن لازم است مشخص کند که چه زمانی باید کم آبیاری اعمال گردد. ممکن است مدیریت آبیاری، عمل کم آبیاری را در بعضی از شرایط توصیه کند وبه راندمانهای بالاتر همراه با کاهش هزینه‌ها که تنها از این طریق میسر است، دست یابد.

محاسن کم آبیاری از سه فاکتور نشات می‌گیرد:

۱- کاهش هزینه های تولید

۲- افزایش راندمان کاربرد آب آبیاری

۳- کاهش هزینه های مربوط به آب آبیاری

استفاده موثر از مفاهیم کم آبیاری مستلزم درک دقیق اهمیت فاکتورهای ذکر شده در بالا می باشد.

۲.۱.۱ ـ تولید محصول تحت شرایط کم آبیاری :

آنچه که مسلم است کم آبیاری به کاهش عملکرد می‌انجامد و آبیاری کامل سبب افزایش محصول می شود، که لازم است این نظرکلی با توجه به مسائل و عوامل دیگر تصحیح و تکمیل گردد:

* عملکرد گیاهان تحت تاثیر زمان اعمال کم آبیاری (مرحله رشد) قرار می گیرد.

* کاهش در میزان مصرف آب سبب کاهش امراض و آفات ، به حداقل رسیدن آبشوئی کودها از منطقه ریشه و بهتر شدن تهویه خاک می‌شود.

*بعضی از گیاهان ارزشمند نسبت به کم آبیاری حساسیت زیادی از خود نشان می دهند که دراین صورت نباید عمل کم آبیاری را برای این نوع محصولات به اجراء در آورد. برای مثال در یک تحقیق، سیب زمینی که در اول فصل با تنش آبی مواجه گردید، عملکرد محصول بسیار کم شد، که کم شدن ارزش آنها در بازار و عدم بازار پسندی از دیگر نتایج آن بوده است.

(Nielsen & sparks , 1953 , Robbins & Domingo , 1956 , Painter & Augustine , 1976 , Sammis & WU. , 1986)

* کم آبیاری ممکن است سبب بهتر شدن کیفیت محصولات نیز بشود. کم آبیاری سبب افزایش درصد پروتئین و کیفیت بذر گندم و میزان پروتئین دیگر غلات می گردد. در ضمن سبب افزایش طول الیاف در کتان وافزایش درصد قند در چغندر قند، انگور و دیگر محصولات نیز می‌گردد که این، می‌تواندنتیجه کم آبیاری در آخر فصل (ومحدود شدن رشد رویشی جدید) نیز بوده باشد. (Krieg , 1986 , Musick & Porter , 1989)

* کم آبیاری در آخر فصل که همراه با کاهش درجه حرارت محیط می باشد سبب بهبود شرایط بعضی گیاهان برای خواب زمستانه می‌گردد.

۲.۱.۲- تحلیل اقتصادی کم آبیاری :

اصول علمی تحلیل اقتصادی مدیریت آبیاری برای کم آبیاری همانست که برای آبیاری کامل مورد

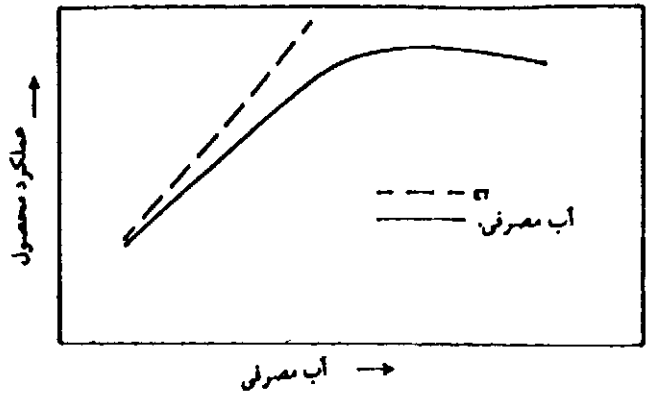
استفاده قرار می‌گیرد. بعضی از اصول کم آبیاری در اینجا مورد بررسی قرار گرفته است تا استراتژیهای مدیریت کم آبیاری بهتر مشخص گردد. دیاگرامی در شکل ۲.۱ برای نمایش رابطه بین تولید محصول با میزان آب مصرفی رسم گردیده است که خط نقطه چین معرف رابطه بین تبخیر تعرق و عملکرد و خط ممتد، معرف رابطه بین آب مصرفی (شامل آبیاری و بارندگی) و عملکرد محصول می‌باشد.

(Hargreaves & Samani, 1984 , Doorenbos & Kassam , 1979 , P.37)

به ازای مصرف آب در سطوح بالاتر، منحنی شروع به برگشت می کند و نزولی می‌شود که نتیجه عوارض آبیاری بیش از اندازه می‌باشد.

(Peri, et, al, 1979, Norum et, al, 1979, Shearer, 1979)

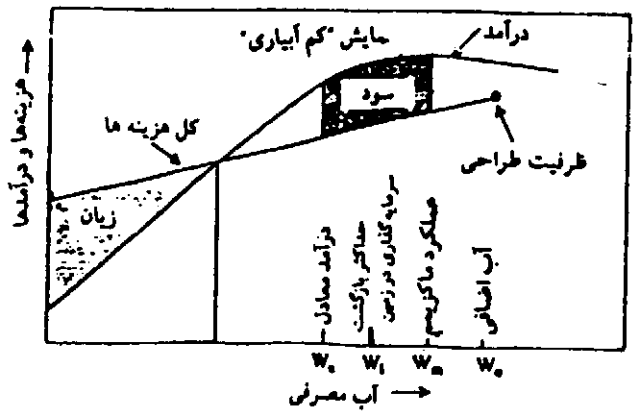
اگر میزان آب مصرفی و تناوب آبیاری هر دو بالا باشد، تبخیر از سطوح خاک مرطوب نیز بالطبع افزایش می‌یابد (Hanks, 1974, Hanks & Hill, 1988). خلاصه اینکه، راندمان کاربرد آب با افزایش آب مصرفی، کاهش می‌یابد. کاهش تهویه محیط ریشه ، آبشوئی مواد غذائی ، بیماریها و آفات نباتی که بیشتر در خاکهای مرطوب دیده می‌شوند نیز سبب کاهش عملکرد می شود. (Stegman, et, al, 1980)



شکل ۲.۱ : فرم کلی تابع تولید

نمودار شکل ۲.۲ معرف درآمد ناخالص، میزان محصول و قیمت محصول می باشد. تابع خطی معرف کل هزینه‌های تولید و شامل سه خصوصیت مهم زیراست:

اولین خصوصیت، محل و نقطه جدائی خط از محور عمودی بوده که مربوط به تمام هزینه های ثابت سیستم آبیاری می‌باشد. خصوصیت دوم ، همانا شیب خط است که معرف تغییرات در هزینه های تولید می‌باشد. هزینه‌های تولید شامل هزینه های انرژی ، کار ، هزینه های نگهداری در رابطه با سیستمهای آبیاری می گردد. بعضی از هزینه ها با نوع محصول تغییر می کند، همچنانکه نوع محصول با میزان آب مصرفی نیز ارتباط نزدیک دارد. هزینه برداشت هم از جمله فاکتورهائی است که بستگی زیادی به نوع محصول و تاریخ برداشت دارد. تمام این فاکتورها (هزینه ها) در درجه شیب خط در نظر گرفته شده‌اند. سومین خصوصیت تابع هزینه ، حد بالائی آن است که به نام «ظرفیت‌طراحی» بیان می گردد و معرف ماکزیمم ظرفیت مصرف و انتقال آب در سیستم می‌باشد. (اگر چه تابع هزینه بصورت خط مستقیم نشان داده شده است، ولی در حالت کلی می‌تواند بصورت منحنی نیز در آید). سود در واحد سطح از تفاوت بین هزینه و درآمد از روی منحنی قابل استخراج و استنتاج می‌باشد.



شکل ۲.۲ : توابع هزینه و درآمد

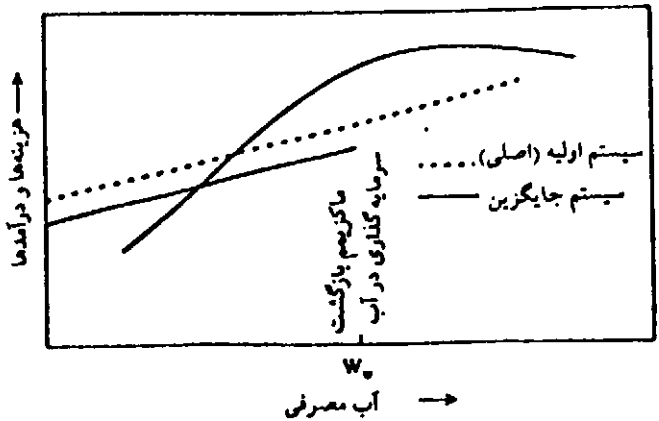
W_m بعرف سطح آبیاری ماکزیمم در شکل ۲.۲ می‌باشد. اگر آب زیادتری مصرف شود (W_o)، سود کاهش می یابد که در نتیجه منحنی های درآمد و هزینه بهمدیگر نزدیک می شود، از طرف دیگر ، کاهش آب بکار برده شده ، تا حد پائین تر از W_m سبب کاهش عملکرد می‌شود ولی سود افزایش یافته و هزینه های متغیر سریعتر از درآمدها ، کاهش می‌یابد. راندمان اقتصادی ماکزیمم هنگامی بدست می‌آید که هزینه‌های مرتبط بایک واحد آب مصرفی دقیقاً برابر با ارزش افزایش عملکرد شود. میزان اپتیمم ، هنگامی اتفاق می‌افتد که شیب تابع هزینه مساوی شیب منحنی درآمد باشد، (W_I در شکل ۲.۲). این نقطه همواره در طرف چپ عملکرد ماکزیمم قرار می‌گیرد. همچنانکه استفاده از آب کاهش می‌یابد، به نقطه‌ای می‌رسیم (W_e) که در آن سود خالص دقیقاً برابر با سود حاصل از ماکزیمم عملکرد است (W_m). بنظر می‌رسد که در فاصله بین W_m و W_e کم آبیاری نسبت به آبیاری کامل سودمندتر باشد. اگر تمام هزینه‌های تولید در سطوح بالای مصرف آب صفر باشد، W_I با W_o برروی هم منطبق می شوند.

در این بحث فرض شده است که منابع آب محدود نیست، بلکه زمین یک منبع محدودکننده می باشد و هدف از آبیاری نیز به حداکثر رساندن استفاده از زمین می‌باشد.

بنابراین W_I بهترین میزان آب مصرفی گیاه بوده و مربوط به حالتی است که زمین یک منبع محدوده کننده بشمار آید. هنگامی که منابع آب محدود باشد، آب ذخیره شده توسط کم آبیاری احتمالاً برای آبیاری زمین اضافی بکار برده می‌شود. در حالیکه منابع تامین آب محدود باشد، هزینه های اتفاقی، احتمالاًمهمترین مسئله درمدیریت آبیاری می‌باشد. تحت چنین شرایطی در اثر کم آبیاری سود حاصل از مزارع بعلت کاهش میزان آب بکاربرده شده در واحد سطح زمین و افزایش میزان زمین زیر کشت ، به حداکثر خود می رسد.

در چنین نقطه‌ای که بوسیله W_w در شکل مربوطه نشان داده شده است، برگشت اقتصادی

سرمایه‌گذاری مربوط به آب به حداکثر می‌رسد. برای آبیاری اراضی در یک سطح بهینه استراتژی منطقی بخصوصی وجود دارد و W_l یا W_m وابسته به این است که آیا زمین یک عامل محدود کننده است؟ و یا آب یک عامل محدود کننده بشمار می آید؟ هنگامی که استراتژی کم‌آبیاری بکار برده می‌شود، ممکن است یک سیستم آبیاری با ظرفیت کمتر، همراه با کاهشی در هزینه‌های سرمایه‌ای مورد استفاده قرار بگیرد. چنین سیستمی می تواند با لوله های اصلی کوچکتری طراحی شده و از لوله های فرعی کمتری نیز استفاده نماید و نیزاز تعداد کمتری چاه و پمپ استفاده بعمل آید.



شکل ۲.۳ : کاهش ظرفیت سیستم

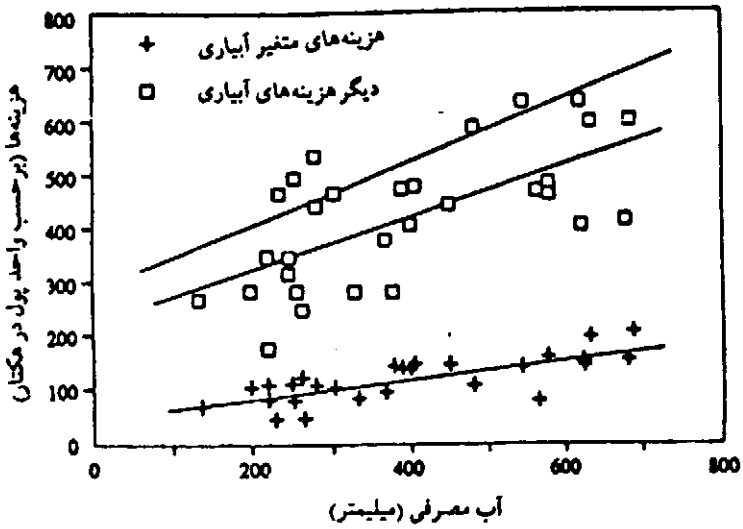
شکل ۲.۳ نشانگر یک تابع هزینه است که براساس یک سیستم انتقال آب آبیاری در سطح W_w و استفاده حداکثر از واحد حجم آب می‌باشد. پتانسیل افزایش سود بوسیله تفاوت بین تابع هزینه های مربوط به سیستم اولیه و سیستم جایگزین معرفی شده است. مجدداً تاکید می شود که تابع هزینه فقط شامل هزینه های متغیر آبیاری نمی شود،بلکه هزینه‌های ثابت آبیاری و کشت آبی، همانند هزینه های

مربوط به کود و سم، برداشت و دیگر هزینه های تولید که با نوع محصول تغییر می یابد، جزء فاکتورهای مهم دربحث کم آبیاری می باشد. انگلیش (English) و ناس (Nuss) در سال ۱۹۸۲ میزان پتانسیل ذخیره آب را برای ۲۴ درصد کاهش آب مصرفی گندم زمستانه در حوزه کلمبیا بررسی نمودند. از هزینه های تخمین زده شده، ۳۲ درصد مربوط به سرمایه گذاری وبقیه هزینه‌های ثابت تولید ، ۴۱ درصد مربوط به هزینه‌های مستقیم آبیاری ، (شامل انرژی ، دستمزد و نگهداری)، ۲۷ درصد مربوط به بقیه هزینه‌های تولید شامل استفاده از مواد شیمیائی ،هزینه‌های بذر پاشی، کاشت و برداشت می باشد. مقادیر نسبی ارقام تخمین زده شده ، بعدها بوسیله مشاهدات تجربی و کشت محصولات باکم آبیاری ، درمنطقه مورد تایید قرار گرفت.

شکل ۲.۴ ، هزینه های متغیر راکه به صورت مستقیم مربوط به آبیاری می‌باشد (خط رگرسیون پائین) و جمع بقیه هزینه‌های متغیر (خط رگرسیون بالا) را به عنوان توابعی از مقادیر آب بکاربرده شده برای ۳۱ مزرعه گندم زمستانه نشان می‌دهد (English et al 1990b). شیب های نسبی دو تابع که نشانگر کاهش در هزینه های مستقیم آبیاری است نسبت به دیگر هزینه های تولید از اهمیت کمتری برخوردار است.

مزارعی که محصولات مختلفشان بصورت تناوبی کشت و آبیاری می‌شوند برای کم آبیاری مناسب ترند، برای مثال در حوزه کلمبیا، پاره‌ای اوقات ، در تناوب زراعی "گندم کم آبیاری شده" ، با سیب زمینی" کامل آبیاری شده" ، کشت می‌شوند. چون سیستم آبیاری بکار برده شده باید توانائی آبیاری کامل را (که بصورت تناوبی در بعضی سالها صورت می گیرد) داشته باشد، بنابراین هزینه‌های سرمایه‌ای سیستم، در سطح مزرعه کاهش نمی‌یابد. ولی در مقیاس منطقه‌ای و با مقیاس شبکه آبیاری ، نظر به اینکه بعلت کم آبیاری ، نیاز آبی کمتر در نظر گرفته می‌شود، هزینه‌های مختلف از جمله خطوط لوله ها، پمپ ها، چاهها و دیگر مولفه های سیستم انتقال آب کاهش می‌یابد. نظر به اینکه این

تجهیزات ، اغلب جزء هزینه های مشترک سیستم آبیاری مزارع به حساب می‌آیند از اهمیت خاصی نیز برخوردارند.



شکل ۲۰۴: رابطه آب مصرفی با هزینه‌ها

۲.۱.۳ـ عدم اطمینان:

اگر هزینه ها و توابع تولید مورد بحث در بالا بطور کامل شناخته شده بودند ، استفاده بهینه از آب موجود راحت‌تر صورت می‌گرفت، بهر حال توابع عملکرد به طور اخص کامل بنظر نمی رسند. تخمین تلفات آب ناشی از پودر شدن آب آبیاری در روش بارانی، نفوذ عمقی ، رواناب بخصوص وقتیکه تغییرات مربوط به آب وهوا ، خاک و توپوگرافی و گیاه وجود داشته باشد، بسیار مشکل است،

به همین ترتیب، پیش بینی محصول در رابطه با آب مصرفی گیاه (آبیکه در عمق توسعه ریشه‌ها ذخیره شده)نیز مشکل می باشد.

بنابراین رابطه "آب مصرفی - عملکرد" همیشه آسان و قابل اطمینان نیست و سبب ریسک و خطاهائی در استفاده ازاین فرمول می شود. در صورتیکه کم آبیاری به منظور افزایش سطح زیرکشت انجام گیرد، فاکتور افزایش سطح زیر کشت و کاهش سود در واحد سطح با هم ترکیب می‌شود، لذا دراینگونه موارد ریسک مربوطه با ترکیب این دو فاکتور در نظر گرفته می‌شود و در شرایطی که عملکردهای مدیریتی ضعیف باشد باعث افتهای بزرگی در سیستم کم آبیاری می‌گردد.

زارع خود می‌تواند تا حدی سبب کاهش احتمال خطر بشود ولی عدم اطمینان استفاده از آب به مقدار بهینه همچنان وجود دارد که جزء یکی از مسائل مهم برای کم آبیاری می‌باشد. دلایل مربوط به عدم اطمینان واحتمال خطر در کم آبیاری بطور کامل بوسیله انگلیش (English) در سال ۱۹۸۱ مورد بحث قرار گرفته است.

۲.۲- تجربه با کم آبیاری:

کم آبیاری بصورت وسیعی ، بخصوص در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند، انجام می‌شود، در هندوستان با وجود بیش از یک میلیون کیلومتر مربع اراضی خشک، پروژه های عظیمی برای توسعه کم آبیاری برای استفاده تمامی‌اراضی طراحی می‌شوند. هدف این کار افزایش عملکرد کل و محافظت محصولات بخشی از اراضی در برابر نابود شدن (به بهای آبیاری کامل بخش دیگر) می‌باشد. هدف دیگر، سود رسانی به عده بیشتری از زارعین منطقه می‌باشد. برای مثال در غرب یامانا (Yamuna) میزان آب مصرفی مجازکه از طریق شبکه آبیاری تحویل می‌شود، $۱۲\ L.min^{-1}\ .\ ha^{-1}$ (لیتر در دقیقه برای هر هکتار) بوده که تنها ۲۰ تا ۲۵ درصد کل نیاز آبیاری می‌باشد. مزارع و سیستمهائی با مقیاس کوچکتر نیز با همین اصول کار می کند. رواناب حاصل از بارانهای فصلی در مخازن کوچکی جمع آوری می‌شود که دارای ظرفیت مناسبی برای تامین حدود ۲۰ درصد آب مورد نیاز فصلی برای مواقع بحرانی گیاه می‌باشد. (Vital ,et, al, 1988 , sachan & Smith, 1988). روش استفاده از آب در هندوستان بر همین مبنا استوار است و این روش باعث شده تا اراضی در مواقع خشکسالی با مشکلی مواجه نشود و استفاده بهینه از آب انجام گیرد. توصیه کمیسیون ملی آب هندوستان این است که طراحی آبیاری بر اساس احتمال وابستگی ٪۵۰ از آب آبیاری به منابع آب باشد و این بدان معنی است که از ، ۱۰ سال حدود ۵ سال بتوان بطور کامل از منابع آب استفاده کرد و بقیه ۵ سال ، محتملاً استفاده بهینه از آب مقدور نباشد.

طراحی هایی که در امریکا صورت پذیرفته، براحتی تامین کننده نیاز آبی محصول در طول دو سال از ده سال بوده ولی در طول هشت سال باقی مانده مصرف آب در حدی پائین تر از حالت بهینه بوده است. لازم به تذکر است که نیاز به تامین آب ممکن است در دو سالی باشد که جزء خشکترین

سالهاست. روش استفاده از آب و مدیریت آبیاری در قسمتهایی از پاکستان شبیه هندوستان است. توزیع آب سالیانه به مزارع تقریباً معادل ۴۰۰ میلیمتر در هر سال ، بعلاوه حدود ۳۰۰ میلیمتر نزولات جوی بوده است. هنگامی که تبخیر تعرق بالا است و از کشت مضاعف یا حتی کشت سه باره استفاده به عمل آید، حدود ۴۲۰ تا ۱۶۰۰ میلیمتر آب مورد نیاز خواهد بود. لازم به تذکر است که کمبود رطوبت ممکن است در بخش قابل ملاحظه‌ای از زمین آبیاری شده بوقوع بپیوندد.

برای مثال ، توزیع آب در پنجاب هندوستان بطور متوسط کمتر از $\frac{1}{3}$ نیاز ماکزیمم آبی می باشد. تخمینی که تریمر(Trimer) در سال ۱۹۹۰ داشته ، نشان می‌دهد که کل آب مصرفی پاکستان حدوداً ۳۵ درصد پائین تر از نیاز آبی کامل محصول بوده است.

کم آبیاری در دشتهای وسیعی از ایالات متحده به اجراء درمی آید. آب و هوای این مناطق نیمه خشک بوده که با منابع آبی محدودی نیز مواجه می باشند. بیشترین استفاده از کم آبیاری در قسمتهای جنوبی دشتهای مرتفع تگزاس (Texas) که منابع آب بسیار محدود است بعمل می آید. آب دراین منطقه در مساحت زیادی توزیع می شود چراکه میزان آب نسبت به اراضی کمتر است، دراین منطقه بطور متداول یک میزان آب معین را بجای اختصاص دادن به آبیاری کامل یک زمین، مساحت را مضاعف کرده و یا حتی به سه برابر حالت نرمال می رسانند. سیستمهای طراحی شده بوسیله سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) واقع در دشتهای مرتفع تگزاس سبب شده است تا ظرفیت سیستمها در محدوده ۲۸ تا ۹۳ لیتر در دقیقه در هکتار ($L . Min^{-1}.ha^{-1}$) انعطاف پذیر باشد، در حالی که نیاز آبی کامل ، حدبالائی این محدوده یعنی ($L . Min^{-1}.ha^{-1}$) ۹۳ می‌باشد. (D.Huckabee , Personal communication)

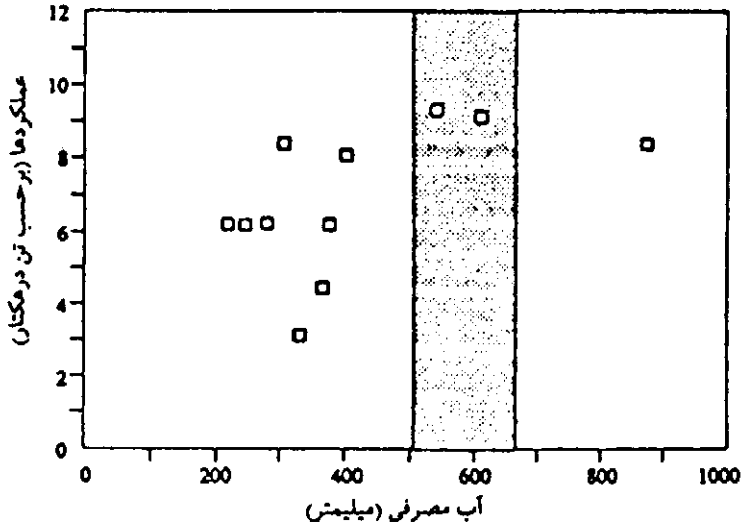
کم آبیاری در حوزه کلمبیا درایالات متحده نیز به اجرا در آمده‌است. درحالیکه طراحیهای استاندارد

با روش بارانی و با سیستم آبفشان خطی Linear در حال حاضر دارای ظرفیت $۶۰ L . Min.^{-1} ha^{-1}$ است.

بعضی زارعین از سیستمهایی که دارای ظرفیت ۱۶ تا ۴۵ لیتر در دقیقه درهکتار می باشد استفاده می‌کنند. کم آبیاری گندم و ذرت دربهار و تابستان ، بااستفاده از سیستمهای سنتر پیوت نیز انجام می‌گیرد.

شکل ۲.۵ مصرف آب و عملکرد گندم رابرای مزارع مختلف ،که در ۸ تای آنهاآبیاری بصورت ناقص در سال ۱۹۸۶، انجام شده است، نشان می‌دهد. (English , et , al, 1990 b)

(دو عملکرد پائین بخاطر وجود حالت ماندابی و وجود آفت بوده است).



شکل ۲۰۵: رابطه آب مصرفی باعملکرد گندم

قسمت ها شورخورده ، نشانگر آب مورد نیاز برای آبیاری کامل می‌باشد، که از مزرعه‌ای به مـزرعه دیگر متغیر می‌باشد. استفاده از آب در مزارع کم آبیاری شده حدود ۵۰٪ میزان کل آب مورد نیاز بوده است، در حالیکه عملکردها، حدود ۳۶٪ کمتر از حالت آبیاری کامل می‌باشد.

۲.۳- بهینه سازی آبیاری با استفاده از روابط ریاضی:

همچنانکه قبلاً نیز اشاره شد، استفاده بهینه از آب شامل کم آبیاری نیز می‌گردد. تحقیقات دهه‌های اخیر منجر به استخراج الگوریتمهایی برای استفاده بهینه از آب برای یک محصول منفرد در مزرعه شده است. (English & orlob, 1978). این بررسیها می‌توانند به دو دسته تقسیم شوند: بهینه سازی هنگامی که آب محدود است و بهینه سازی ، هنگامی که آب نامحدود می‌باشد.

در ضمن هنگامی که یک عامل وابسته به آب محدود باشد این امرنیزبه مثابه محدودیت آب بحساب می‌آید، برای مثال محدودیت انرژی قابل دسترس، همانند محدودیت در میزان آب قابل پمپاژ تلقی می‌شود.

در جائیکه با محدودیت آب مواجه نیستیم ، استفاده بهینه از آب بوسیله فرمول زیر بیان می‌گردد:

$$P_c \frac{\partial y(W)}{\partial W} = \frac{\partial c(W)}{\partial W} \qquad (۲.۱)$$

که در آن :

P_c : ارزش محصول بر حسب ریال -کیلوگرم(Kg/ریال)

$y(W)$: میزان عملکرد در واحد سطح بر حسب کیلوگرم در هکتار که تابعی از آب مصرفی برحسب میلیمتر می‌باشد. (Kg / ha . mm)

W : آب مصرف شده بر حسب میلیمتر

$c(W)$: کل هزینه های تولید در واحد سطح بر حسب ریال که به عنوان تابعی از آب مصرفی بر حسب میلیمتر بیان می‌شود. (ha.mm/ ریال)

برای استفاده از فرمول (۲.۱) تابع هزینه ، c(W) و تابع تولید ، y(W) لازم می‌باشد. تابع تولید باید بین کل آب مصرفی و عملکرد محصول ارتباط برقرار کند، تابع هزینه باید تمام هزینه‌های تولید را بپوشاند، این هزینه ها، شامل هزینه های متفرقه مثل سم وکود ، آبیاری و برداشت و هزینه‌های ثابت و سرمایه‌ای می‌باشد.

بعنوان مثال اگر تابع تولید درجه ۲ و تابع هزینه خطی (درجه ۱) در نظر گرفته شود، خواهیم داشت :

$$y(W) = a_1 + b_1 W + c_1 W^2$$

$$c(W) = a_2 + b_2 W$$

که a_1 , b_1 , c_1 , a_2 و b_2 ضرائب تابع می‌باشند. معرفی این توابع به حالت معادله (۲.۱) و حل آن برای یافتن W (مشتق گیری)، میزان بهینه آب مصرفی را به دست می‌دهد:

$$\frac{\partial y(W)}{\partial W} = b_1 + 2c_1 W$$

$$\frac{\partial c(W)}{\partial W} = b_2$$

$$P_c \frac{\partial y(W)}{\partial W} = \frac{\partial c(W)}{\partial W}$$

$$P_c(b_1 + 2c_1 W) = b_2$$

$$P_c b_1 + 2P_c c_1 W = b_2$$

$$W_I = \frac{b_2 - p_c b_1}{2p_c c_1} \qquad (۲.۲)$$

که در آن :

W_I : عمق بهینه آب مصرفی در جائیکه آب نامحدود می‌باشد.

در جائیکه با محدودیت آب مواجه باشیم، مناسبترین مقدار آب مصرفی بصورت معادله زیربیان می شود:

$$W\left(P_c\frac{\partial y(W)}{\partial w} - \frac{\partial c(W)}{\partial W}\right) = P_c\, y(W) - c(W) \qquad (۲.۳)$$

دراینجانیز می‌توان بااستفاده از مثال تابع تولید درجه ۲ و تابع هزینه خطی (درجه ۱)، معادله زیر را برای استفاده بهینه از آب بدست آورد:

$$W\left[P_c\,(b_1 + 2c_1W) - b_2\right] = P_c\,(a_1 + b_1W + c_1W^2) - (a_2 + b_2W)$$

$$W\,P_c\,b_1 + 2P_cc_1W^2 - b_2W = P_c\,a_1 + P_cb_1W + P_cc_1W^2 - a_2 - b_2W$$

$$P_cc_1\,W^2 = P_ca_1 - a_2$$

$$W^2 = \frac{P_c\,a_1 - a_2}{P_cc_1}$$

$$W_w = \left(\frac{P_ca_1 - a_2}{P_cc_1}\right)^{0.5} \qquad (۲.۴)$$

که در آن :

Ww : مقدار بهنیه آب مصرفی است در شرایطی که محدودیت آب وجود داشته باشد.

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، ارتباط بین میزان آب مصرفی و عملکرد، یک رابطه غیر مطمئن می باشد و این عدم اطمینان ممکن است برروی استراتژی استفاده از آب اثر بگذارد.

فرضیه های اقتصادی در رابطه با عدم اطمینان (ریسک) بوسیله انگلیس (English) و اورلوب (orlob) در سال ۱۹۷۸ بیان گردید. پاره‌ای از زارعین ممکن است استراتژی های ویژه‌ای را انتخاب نمایند که بدلیل کاهش ریسک‌پذیری زراعت با استراتژی "حداکثر سود" مغایر باشد.

۲.۴- خاکها، محصولات و عملیات زراعی :

طراحی کم آبیاری ، قبل از کشت مستلزم:

۱- انتخاب مناسب گیاه

۲- تصمیم گیری در مورد نوع زمین ومیزان آب مورد نیاز محصولات مختلف

۳- تصمیم گیری در مورد نوع عملیات زراعی و زمان آبیاری محصولات، می‌باشد.

نوع و واریته گیاه ومحصولات انتخابی برای کم آبیاری باید مقاوم به خشکی باشند. خاکهائی که انتخاب می‌شوند باید مشکل شوری و قلیائیت نداشته باشند و یا در حد پائین شوری و قلیائیت بوده و دارای عمق و ظرفیت نگهداری نسبتاً زیادی باشند، اگر چه، با استفاده از سیستمهای آبیاری بارانی و با کثرت تناوب می‌توان برای خاکهایی با ظرفیت نگهداری پایین نیز استفاده کرد.

۲.۴.۱ـ انتخاب محصولات:

گیاهان و محصولات مختلف در برابر کم ابیاری عکس العملهای متفاوتی از خود نشان می دهند و در موقع طراحی یک سیستم "کم آبیاری " این عکس العملها باید در نظر گرفته شوند. برای مثال "راندمان کاربرد آب "برای عملکرد دانه، با نقصان آب، برای برخی محصولات مثل سورگوم ، افزایش یافته و برای بعضی محصولات دیگر مثل ذرت، کاهش می یابد. به طور کلی محصولاتی که دارای عملکرد بالاتر هستند نسبت به کمبود آب حساسیت بیشتری از خود نشان می دهند. به عنوان مثال، تحت شرایط کم آبی ، گونه هائی از ذرت که نسبت به گونه های معمولی دارای عملکرد بیشتری هستند، کاهش محصول بیشتری از خود نشان می‌دهند (Doorenbos & Kassam , 1979).در مجموع،

محصولات انتخاب شده برای کم آبیاری ، باید دارای فصل رویشی کوتاه ، پتانسیل عملکرد بالادر صورت آبیاری کامل، و مقاوم به خشکی باشند (Stewart, 1977). اغلب اینها مشابه محصولاتی هستند که در شرایط بدون آبیاری (دیم) نیز رشد می کنند. مقاومت بخشکی می‌تواند به سه حالت، صورت بگیرد:

۱- تحمل خشکی

۲- گریزاز خشکی (دوری جستن از دوره خشکی)

"دوری جستن از دوره خشکی "با مکانیزم کاهش طول فصل رشد ، افزایش عمق ریشه و دریافت آب از لایه های زیرین خاک ، انجام می شود. ریشه دهی عمیق برای بعضی از گیاهان همچون آفتابگردان، چغندر قند، یونجه بذری و انگور اهمیت اساسی دارد و تطابق (سازگاری) گیاه با کم‌آبی را امکان پذیر می‌سازد.

"تحمل خشکی " گیاه، طی مراحل فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی رشد، با کاهش تعرق یا مقاومت در برابر پتانسیل آبی کمتر صورت می‌پذیرد، این خصوصیات بوسیله تورنر(Turner) در سال ۱۹۸۶، مطالعه شده است. گیاهان تحت تنش باکاهش سطح برگ درمقابل نورخورشید نسبت به تلفات آب عکس العمل نشان میدهند و با آویزان شدن و جمع‌شدن برگها، تلفات آب تحت کنترل در می‌آید.

۳- راه دیگر مقاومت گیاهان به تنش آبی ، تنظیم پتانسیل اسمزی باتجمع مواد محلول در سلولهای گیاهی است.

۲.۴.۲- خاکهای مناسب:

یک فاکتور مهم درکم آبیاری ، میزان "آب قابل استفاده " می‌باشد. استرس درخاکهای شنی به طور

ناگهانی اتفاق می‌افتد و در بعضی مواقع کنترل آن مشکل است. برعکس، درخاکهای عمیق باظرفیت رطوبتی بالا ، استرس به طور تدریجی وارد شده و گیاهان مقاوم به خشکی،موفق به‌تنظیم فشار اسمزی می‌شوند. اهمیت عمق و ظرفیت ذخیره رطوبتی زیاد خاک برای سورگوم دانه‌ای توسط اسلتن و موزیک (Sletten & Musick , 1966) تشریح گردیده‌است.

در چنین خاکهائی امکان خالی گذاشتن قسمتی از ظرفیت خاک برای دریافت باران که ممکن است بعد از هر آبیاری اتفاق بیافتد، وجود دارد، در حالیکه برای خاکهای کم عمق یا شنی، تامین چنین ظرفیتی ممکن نیست. هانگ (Hang) و میلر (Miller) در سال ۱۹۸۳، طی آزمایشاتی که برروی گندم زمستانه در فصل بهار در دشت کلمبیا(ایالات متحده) انجام دادند، دریافتند که گندم در یک خاک کم عمق و شنی ، با کمبود آب دچار کاهش عملکرد می‌شود ولی گندمی که در خاک لومی کشت شده باشد، قادر بود با آبی معادل ۴۰ الی ۵۰ درصدکل تبخیر تعرق (ETc)، باکاهش عملکرد کمتری، به رشد خود ادامه دهد. همچنین در مطالعات انجام شده در کالیفرنیا روی پنبه، معلوم شدکه یک خاک "لومی شنی " در مقایسه با خاک "لومی رسی " احتیاج به ۲۸ روز آبیاری بیشتر دارد.

(Grimes & Dicknes , 1974). کم آبیاری به مدیر مزرعه اجازه می‌دهد تا از ظرفیت ذخیره رطوبتی خاک نسبت به حالت نرمال، بهره برداری بیشتری بنماید. توصیه عمومی برای گندم زمستانه، تجدید آبیاری پس از تخلیه ۶۰٪ ظرفیت ماکزیمم آب خاک است، اما آزمایشات کم آبیاری روی گندم، در طول پر شدن دانه ها، در خاکی که بستر زیرین آن سیلتی است، نشان داده است که تخلیه ۸۵٪ ظرفیت ، اثر چندانی روی کاهش عملکرد نداشته است. مطالعه اخیر در شهر گاردن (Garden) در ایالت کانزاس (Kansas) در سال ۱۹۶۳ ، توسط موزیک (Musick) انجام شده است. کم آبیاری در دشت کلمبیا، در خاک "سیلتی لومی " و "لومی شنی نرم" با ظرفیت نگهداری بین ۱۶ تا ۲۰ درصد حجمی صورت گرفت. با استفاده از سیستم آبیاری بارانی با دستگاه دوار مرکزی (center - Pivot)

در آن مناطق، خاکهای شنی با ظرفیت نگهداری کمتر از ۱۰٪ نیز برای کم آبیاری مورد استفاده قرار گرفت. اگر چه، آبیاری با تناوب زیاد، راندمان کاربرد آب را بدلیل تبخیر از سطح خاک، کاهش داد.

۲.۴.۳- عملیات زراعی :

در کم آبیاری لازم است موارد زیر در نظر گرفته شود:

۱- استفاده از تراکم گیاهی متوسط

۲- کاهش مصرف مواد شیمیائی مانند کود و سم

۳- استفاده از آیش و تناوب به منظور ذخیره کردن رطوبت ناشی از بارندگی .

۴- تغییر زمان کشت جهت کوتاه‌تر شدن دوران رشد و طول مدت رسیدگی گیاه.

استفاده از تراکم متوسط برای محصولات کم درآمد، (Extensive)، از نظر کاهش رقابت بین گیاهان دارای اهمیت است تا گیاه بتواند در شرایط کم آبیاری با منابع آب محدود در طول دوره استرس، به رشد خودادامه دهد. کاهش تراکم کشت با افزایش فواصل کشت در کشتهای ردیفی امکان پذیر می‌شود، رابطه بین تراکم کشت و عملکرد با مقادیر مختلف آبیاری بوسیله گریمز و موزیک (Grimes & Musick , 1960) و موزیک و دوزک (Musick & Dusek 1969) و پیتر (Peter , 1960) آزمایش شد. انگلیش و ناس (English & Nuss , 1969) نشان دادند که کاهش میزان آب مصرفی باید همراه با کاهش مصرف مواد شیمیائی باشد.

هزینه‌های کود شیمیائی از نظر صرفه جوئی اهمیت بیشتری نسبت به کاهش هزینه های آفت کشها دارد. همچنین باید هزینه های ناشی از کاهش تراکم کشت، مصرف بذر و کاهش عملیات کاشت را مدنظر قرار داد.

زمان کشت، تحت شرایط کم آبیاری، با استفاده از واریته هائی با طول دوره رشد متفاوت ، تغییر می‌یابد. در دشتهای مرتفع تکزاس، پنبه و سورگوم دانه‌ای (بعنوان محصول ثانویه) زودتر کشت می شود تا از آب موجود در خاک (قبل‌ازآبیاری) استفاده بهتری بعمل آید و بعد از آن از چاههائی با آبدهی کم برای آبیاری محصول پرارزش پنبه ، استفاده می‌شود. در مناطقی از مرز شمالی (تقریباً ۳۵ درجه عرض شمالی) جائی که تامین آب در اول فصل، اغلب محدود است در بخشی از مزارع سورگوم، همراه با آبیاری کامل، واریته‌های پر محصول کشت می شود در حالیکه مزارع دیگری که برای کم آبیاری منظور شده‌اند، کشت گیاهان، باهدف کوتاهتر نمودن دوره رشد و ا فزایش مقاومت به خشکی، ۲ الی ۴ هفته دیرتر کشت می‌شوند.

یک سیستم کم آبیاری که در بوش لند (Bushland) و تکزاس (Texas) بوسیله موزیک و دوزک (Musick & Dusek , 1975) طراحی شد، گندم زمستانه و سورگوم دانه‌ای در ردیفهای مختلف و یک خط در میان کاشته شده و با روش نشتی و با آب کمتر و فواصل بیشتر، آبیاری گردید. این دوگیاه دارای فصل رشد مجزائی هستند، و افزایش عملکرد و راندمان مصرف آب (WUE)که مشاهده شد بخاطر جذب آب توسط ریشه ها از نوار مجاور و استفاده از رطوبت ناشی از بارندگی بوده است.

۲.۵- طراحی استفاده از آب :

طراحی آبیاری شامل تصمیم گیری در مورد چگونگی تقسیم آب در میان گیاهان مختلف می باشد، میزان و زمان تقریبی آبیاری با در نظر گرفتن محدودیت های آبرسانی و ظرفیت سیستم و یاکل آب

موجود برای هر مزرعه باید معین گردد. طراحی های استراتژیک به منظور کم آبیاری شامل موارد زیر است:

۱- تخصیص میزان کمتری از آب به گیاهان مقاوم به خشکی.

۲- طراحی برای اینکه گیاه پتانسیل بازدهی کامل را دریک سال پرباران داشته باشد.

۳- انتخاب صحیح گیاهان و زمان کشت آنها.

۴- طراحی آبیاری با توجه به مراحل بحرانی رشد (که دراین دوره ها، لازم است آبیاری بطور کامل صورت‌پذیرد).

۲.۵.۱- ظرفیت سیستم آبیاری :

طراحی آبیاری کامل، معمولاً به منظور برآوردن نیاز آبی در دوره حداکثر مصرف از سال انجام می‌شود. بعنوان مثال یک سیستم براساس حداکثر نیاز آبی دو هفته‌ای که چهار سال از هرپنج سال اتفاق می‌افتد، طراحی می شود، درچنین سیستمی از ظرفیت آبرسانی به طور کامل استفاده نمی‌شود و یا این ظرفیت بصورت غیر موثر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در صورتیکه ، طراحی برای یکسال پرباران انجام بگیرد، تقاضای مصرف آب کاهش خواهد یافت و زمینهای بیشتری زیر کشت قرار خواهد گرفت، بعکس در سالهائی که تقاضای آب کمتراست استفاده موثرتری از منابع آب خواهد شد. کاهش محصول فقط در سالهای خشک اتفاق می‌افتد لذا دراین استراتژی قابلیت وانعطاف پذیری سیستم بیشتر خواهد بود. افزایش درآمد در طولانی مدت امکان‌پذیر است. بعنوان مثال مصرف پیک ماهانه آبیاری خالص برای یونجه در وال (Vale) که جزء ایالت اریگان (Oregan) می‌باشد، ۲۲۰ میلیمتر در ۸ سال از ۱۰ سال و ۲۰۴ میلیمتر با دوره بازگشت ۵ سال از ۱۰ سال، برآورد شده است.

طراحی سیستم آبیاری ممکن است به صورتی باشد که نیازهای مزرعه را بطور کامل (۸ سال از ۱۰ سال) ویا بصورت متوسط (۵ سال از ۱۰ سال) برآورده سازد که در صورت دوم مقدار اراضی آبیاری شده با این میزان آب (۲۰۴mm) حدود ۷/۷درصد می‌تواند افزایش یابد. در این حالت محصول، بجای اینکه ۲ سال از ۱۰ سال در معرض کم‌آبیاری قرار گیرد، ۵ سال از ۱۰ سال در معرض کم‌آبیاری قرار می‌گیرد. مزیت چنین برداشتی بوسیله هاول و همکاران (Howell, ۱۹۸۹) بطور مفصل نشان داده شده و بوسیله مدل GERES - Maize متناسب با شرایط محلی کالیبره گردیده است. در این مدل از آمار و اطلاعات هواشناسی ۲۸ سال برای تولید ذرت با درنظرگرفتن آبیاری کامل در قسمت جنوبی دشتهای مرتفع استفاده شده است. مدل شبیه‌سازی شده نشانگر این مطلب است که به منظور جلوگیری از کاهش محصول در سالهای خشک ، آبیاری خالص به میزان ۸ میلیمتر در روز مورد نیاز می‌باشد. شبیه‌سازی سیستم با ۵۰ درصد ظرفیت نیاز آبی (۴ میلیمتر در روز)، کاهش محصولی برابر با ۱۲/۵ درصد در برداشته است. به هر حال تغییرات عملکرد تا ۴ برابر نشان داده شده است و کاهش ظرفیت سیستم سبب افزایش راندمان کارآئی نزولات جوی گردیده است.

۲.۵.۲- زمان کم‌آبیاری :

همانگونه که دیده شد اثرات کم‌آبیاری در مراحل حساس رشد حائز اهمیت می‌باشد. ذیلاً به مراحل بحرانی رشد که در نشریه شماره یک گروه کار آب مورد نیاز گیاهان و مدیریت محصولات زراعی ، مقدمه، ج - خیرابی آمده است اشاره می‌شود) زمانی که محصول اصلی از شیره گیاه (مانند شکریا

روغن) و یا از قسمتهای زایشی و تولید مثل آن (مثل دانه و میوه) بدست آید، مراحل حساس رشد و دوره‌های بحرانی، در مقایسه با گیاهان علوفه‌ای مشهودتر می‌باشد.

جدول ۲۰۱ : مراحل بحرانی و دوره‌های فعال گیاهی (مقاطع ممنوعه برای کم آبیاری)

۱- یونجه : دو مرحله ، شامل بعد از برداشت (چین) برای یونجه علوفه‌ای و شروع گلدهی برای یونجه بذری.

۲- جو : چهارمرحله ، و به ترتیب حساسیت شامل : به ساقه رفتن، مرحله خمیری شدن دانه، پنجه زدن و مرحله سفت شدن دانه.

۳- لوبیا : سه مرحله، به ترتیب شامل : زمان گلدهی، مرحله تشکیل غلاف ، و مرحله قبل از رسیدن (درصورتی که قبل از مرحله رسیدن تنش آبی اعمال نشود، این مرحله حساس‌تر است).

۴- کلم بروکلی (BROCCOLI) : شامل مرحله شکل گرفتن کلم - و مرحله رشد آن.

۵- کلم پیچ : شامل مرحله تشکیل گل کلم - و مرحل رشد آن.

۶- کرچک : در دوره رشد کامل به رطوبت نسبتاً بالایی نیاز دارد.

۷- گل کلم: در تمام دوران رشد، از کاشت تا برداشت به تعداد آبیاری بیشتری نیاز دارد.

۸- گیلاس : مرحله رشد سریع میوه تا مرحله بلوغ میوه.

۹- مرکبات : شامل مراحل گلدهی ، تشکیل میوه.

۱۰- پنبه : چهار مرحله به ترتیب شامل مرحله گلدهی - مرحله رشد بذر - مراحل اولیه رشد - مرحله بعد از تشکیل غوزه.

۱۱- بادام زمینی : به ترتیب حساسیت شامل مراحل گلدهی - رشد بذر - در فاصله بین جوانه‌زنی و گلدهی - انتهای فصل رشد.

۱۲- کاهو : احتیاج به خاک مرطوب، به ویژه در مرحله قبل از برداشت دارد.

۱۳- ذرت : چهار مرحله به ترتیب حساسیت شامل : مرحله گرده افشانی - مرحله کاکل‌دهی تا دانه‌دهی - مرحله قبل از کاکل‌دهی - مرحله پرشدن دانه‌ها. درصورتی‌که قبل از مرحله گرده‌افشانی تنش آبی اعمال نشود این مرحله بسیار بحرانی است.

۱۴- یولاف : مرحله ظهور سنبله تا مرحله خوشه‌دهی.

۱۵- زیتون : قبل از گلدهی - و مرحله رشد میوه.

۱۶- هلو : شامل مرحله رشد سریع میوه تا مرحله بلوغ.

۱۷- نخود : شامل مراحل شروع گلدهی - و زمانی که غلافها متورم می‌شوند.

۱۸- سیب‌زمینی : دو مرحله شامل : مرحله بعد از تشکیل غده‌ها (که نیاز به رطوبت بالای خاک دارد) - مرحله گلدهی تا برداشت.

۱۹- تربچه : مرحله رشد ریشه.

۲۰- آفتابگردان : مراحل محتمل : دانه‌دهی - گلدهی - و رشد دانه‌ها.

۲۱- غلات دانه‌ریز: مرحله ساقه رفتن تا خوشه رفتن.

۲۲- سورگوم : شش مرحله شامل ؛ مرحله ریشه‌دهی ثانویه - مرحله ساقه‌دهی - مرحله تشکیل سنبله - مرحله گلدهی - مرحله شکل گرفتن دانه - مرحله پر شدن دانه‌ها.

۲۳- سویا: شامل مراحل گلدهی - میوه‌دهی و احتمالاً مرحله حداکثر رشد رویشی.

۲۴- توت‌فرنگی : مرحله رشد میوه تا رسیدن.

۲۵- چغندرقند : ۳ الی ۴ هفته بعد از جوانه‌زنی.

۲۶- نیشکر : مرحله ماکزیمم رشد رویشی.

۲۷- گوجه‌فرنگی : شامل مرحله‌ای که گلها و میوه‌ها تشکیل می‌شوند و مرحله‌ای که رشد میوه‌ها سریع است.

۲۸- شلغم: مرحله‌ایکه قسمت خوراکی ریشه رشد سریع دارد تا هنگام برداشت.

۲۹- هندوانه : از مرحله گلدهی تا برداشت

۳۰- گندم : سه مرحله ، شامل مرحله ساقه رفتن، مرحله تشکیل سنبله و دو هفته قبل از گرده افشانی

۳۱- زرد آلو: دوره گلدهی و رشد غنچه

(From Doorenbos & pruitt , 1977)

گیاهان مقاوم به خشکی که تحت کم‌آبیاری قرار می‌گیرند در مقایسه با گیاهان حساس به کم‌آبیاری، در فازهای بحرانی از خود حساسیت کمتری نشان می‌دهند. از نظر حساسیت به خشکی، دوران رویشی شامل سه دوره مختلف می‌باشد، که هریک از این دوره‌ها، حدود $\frac{1}{3}$ طول دوران رویشی را در برمی‌گیرد.

این سه دوره با جزئیات بیشتری، برای سورگوم توسط استین (Eastin) و همکارانش در سال ۱۹۸۳،

و برای گندم توسط آقایان موزیک و پرتر (Musick, Porter) در سال ۱۹۸۹، مورد بررسی قرار گرفته است.

این دوره‌ها عبارتند از :

فاز ۱: از ابتدای رویش گیاه تا ابتدای گلدهی را شامل می‌شود که در آن رشد برگهای جدید متوقف شده و تاج بتدریج گسترش می‌یابد.

فاز ۲: شامل نمو شاخ و برگ و گسترش تاج که با تراکم ماده خشک همراه است، افزایش پوشش گیاهی و سایه‌افکن که افزایش پتانسیل میوه‌دهی را بهمراه دارد.

فاز ۳: شامل دوره میوه‌دهی، بذردهی تا مرحله بلوغ که در این دوره وزن بذر مشخص می‌گردد. این فاز با کاهش سطح برگها و فتوسنتز همراه است. (در گندم بلوغ فیزیولوژیکی همراه با ازدست دادن رنگ سبز گیاه و کاهش در میزان تنفس می‌باشد).

در مطالعه فازهای مختلف رویشی، فاز اول، در رابطه با دانه‌ها، نسبت به فاز دوم که در آنها دانه‌ها پر می‌شوند، کمتر بحرانی می‌باشد. روابط تجربی بین کاهش تبخیر تعرق ET و تولید محصول در ۱۱۱مراحل حساس دوره رشد برای گیاهان مختلف بوسیله دورنبوس (Doorenbos) و کاسام (Kassam) در سال ۱۹۷۹، نشان داده شده است.

چنانکه مشخص شده است میزان تعرق کمتر در (اوایل)طول فاز ۱ و توسعه ریشه در درون خاک مرطوب زیرین در اواخر این فاز سبب کاهش اثرات کم‌آبی در طول این مرحله می‌گردد.

در شرایط عدم پوشش کامل اراضی، از دست‌رفتن آب، بیشتر بعلت تبخیر از سطح خاک می‌باشد تا تعرق و این خود سبب می‌شود که حساسیت گیاه نسبت به کمبود ET، کمتر شود. همچنین درفاز ۲ صدمات وارده به محصول گندم و سورگوم دانه‌ای در رابطه با کم آبیاری فاز یک جبران می‌شود و عملکرد به حد مطلوب می‌رسد (که توسعه جوانه‌ها نشانگرآن است). مرحله دوم مرحله‌ای از رشد

است که حساسیت به کم‌آبیاری با رشد و توسعه گیاه، افزایش می‌یابد. به همان نسبت که جوانه زنی افزایش می‌یابد، پتانسیل مقدار و تعداد بذر نیز بالا می‌رود. با درنظرگرفتن این دو فاکتور در مورد عملکرد بذر گیاهان (یعنی تعداد بذر در واحد سطح و دیگری وزن بذور تولید شده)، تعداد بذر در واحد سطح نسبت به کم‌آبی حساستر از پارامتر دوم یعنی وزن بذور می‌باشد و لذا تعداد بذر در برابر کم‌آبیاری آسیب بیشتری می‌بینند.

در گندم و سورگوم دانه‌ای، تعداد بذر وابسته به افزایش میزان ماده خشک در فاز دوم است . کم آبیاری رامی‌توان بگونه‌ای تنظیم کرد که کمبود آب دراین دوره ، بویژه دو تا سه هفته قبل از جوانه زدن ، و درحین جوانه‌زنی محدود باشد.

کشتهای مختلف پنبه می‌توانند در طول فاز دوم رشد دارای مقادیر زیادی میوه باشند، پس از این مرحله کاهش و توقف نسبی در میوه‌دهی و غوزه‌دهی، یک امر طبیعی است ولی تحت شرایط کم‌آبیاری این مسئله تشدید می‌شود. بنابراین، از نظر مدیریت آبیاری، این فاز درگیاه پنبه (فاز سوم) شبیه به فاز دوم برای گندم و سورگوم دانه‌ای می‌باشد.

در طول فاز ۳، حساسیت به کم‌آبیاری درگندم و سورگوم در طی تشکیل دانه و پرشدن دانه‌ها به میزان قابل توجهی کاهش یافته و در آخر فصل تا حدی بمیزان باز هم بیشتری پایین می‌آید. دوره حساس مربوط به اولین ۱۰ روز پس از گرده‌افشانی می‌باشد (تقریباً $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{3}$ طول مدت فاز ۳ درگندم، سورگوم و آفتابگردان و فاز مربوط به توسعه غوزه در پنبه) و دراین دوره تنش آبی می‌تواند سبب کاهش تعداد میوه در واحد سطح بشود. مرحله شیری شدن دانه، که در بین مرحله رشد تا پرشدن دانه‌ها صورت می‌گیرد، نسبت به تنش آب حساس بوده که می‌تواند سبب خشک‌شدن دانه‌ها بشود.

یادآور می‌شود کاهش میزان حساسیت عملکرد بذر که در فاز سوم اتفاق می‌افتد در مدیریت کم‌آبیاری حائز اهمیت می‌باشد زیرا سبب می‌شود تا بتوانیم کم‌آبیاری را در این فاز اعمال کنیم. قطع آبیاری به

مدت یک هفته و در بعضی مواقع دو تا سه هفته در گیاهان مقاوم به خشکی که در خاکهایی با ذخیره رطوبتی متوسط تا بالا رشد می‌کند، در این فاز (فاز سوم) اثر منفی زیادی بر روی عملکرد دانه‌ها نمی‌گذارد و همین امر می‌تواند راهنمای ما برای اعمال زمان «کم‌آبیاری» باشد.

«کم آبیاری» سبب افزایش ظرفیت ذخیره خاکها شده، و موجب می‌شود تا بارندگی زمستانه بیشتر جذب خاک شود. در مورد گندم زمستانه که در دشتهای مرتفع جنوبی در بوشلند و تگزاس رشد می‌کنند، حذف آبیاری در فاز سوم فقط سبب کاهش عملکرد در سه سال از ۶ سال می‌گردد. همچنین آبیاری در طول آخرین مرحله فاز دوم می‌تواند جهت توسعه گیاه، برای آخر مرحله سوم نیز مورد استفاده قرار گیرد. حساسیت نسبتاً پایین در برابر کم‌آبی در آخر فصل، برای چغندرقند نیز گزارش شده است. در مطالعاتی که در کالیفرنیا در مورد چغندرقند در خاکهای عمیق انجام یافته است، قطع آبیاری به مدت ۳ تا ۵ هفته، و حتی در بعضی اوقات ۷ هفته قبل از برداشت، با اینکه تبخیر تعرق آخر فصل را تا سر حد $\frac{1}{2}$ و تبخیر تعرق تمام فصل را تا سر حد ۱۵ درصد کاهش داده است با اینحال عملکرد ساکارز چغندرقند را کاهش نداده است.(Howell, et , al , 1987)

مطالعات دیگر نشانگر کاهش تبخیر تعرق فصلی و افزایش راندمان کاربرد آب (W.U.E) در اثر «کم‌آبیاری» در چغندرقند می‌باشد.

برای; (Fonken et al, 1974 ; Ehlig and lemert ,1979 ; Miller & Aarstad, 1976 Winter, 1980) بعضی محصولات، همچون پنبه و یونجه بذری، آبیاری در آخر فصل می‌تواند سبب تحریک رشد رویشی شود. پنبه، در دشتهای مرتفع تگزاس در آخر ماه اوت (نهم شهریور) برای به پایان‌بردن گلدهی و شروع تشکیل غوزه‌های آخر فصل احتیاج به یک دوره تنش آبی دارد. بهرحال آب مصرفی نباید از حد $\frac{1}{2}$ میزان تبخیر تعرق . ET بیشتر باشدتا اینکه توسعه غوزه‌های و پدیده آمدن غوزه‌های جدید به طور طبیعی صورت گیرد می‌شود (Krieg,1986)کمبود آب که در آخر فصل اعمال

رشد رویشی جدید را محدود نموده و سبب تسریع بلوغ و بهبود کیفیت پنبه می‌شود. البته زمان اعمال "کم‌آبیاری" برای محصولات علوفه‌ای به فاکتورهای دیگری نیز بستگی دارد. چنانچه ملاحظه می‌شود "کم‌آبیاری" ممکن است برای فواصل زمانی کوتاه برای تولید علوفه (سورگوم، چمن و ...) و یونجه در دوره‌های بخصوصی بکار برده شود، بویژه: در شرایطی که استفاده از آب در جای دیگر از اهمیت بیشتری برخوردار باشد- وقتی که تولید علوفه برای تغذیه حیوانات - زیاد مورد نیاز نباشد، و یا خواب رفتن نسبی (غیر فعال بودن گیاه) در تابستان ، طی دوره‌ایکه تبخیر تعرق شدید است، قابل قبول باشد. بعنوان مثال در دشتهای مرتفع جنوبی، کم آبیاری می‌تواند آب کافی برای رشد بهاره چمن تامین کند، همچنین خواب نسبی تابستانه‌ازمصرف آب بکاهد.

بر اساس آزمایشهایی که روی دونوع چمن اسموت بروم و فسکیو (Smooth Brome , Fescue) بوسیله اک (Eck) وهمکارانش در سال ۱۹۸۱انجام شده، چنین بنظر می‌رسد که با وجود کم‌آبیاری، آب به اندازه کافی برای رشد بهاره تأمین می‌شود و کم‌آبیاری به گیاه اجازه می‌دهد تا در طول تابستان به خواب رفته و این خود سبب افزیش راندمان آب نسبت به حالتی می‌شود که آبیاری کامل در طول فصل انجام گردد. برای یونجه که به منظور استفاده از بذر کشت می‌شود، تنش آبی متوسط برای انجام گرده‌افشانی و تحریک تولید گل مفید واقع شده و افزایش در تولید بذر را بدنبال داشته است. در ضمن در طول مرحله پرشدن دانه‌ها، کم‌آبیاریهای شدیدتری را هم به این گیاه می‌توان اعمال کرد که نتیجه آن مثبت، ذکر شده است، (Hagemann , et , al , 1975,1978).

۲۰۶- برنامه‌ریزی آبیاری :

برنامه‌ریزی کم‌آبیاری، بالقوه مشکل‌تر از برنامه‌ریزی برای آبیاری کامل می‌باشد. تصمیم‌گیرنده نه تنها باید میزان آب باقیمانده در پروفیل خاک را ارزیابی کند، بلکه بایستی درجه تحمل تنش توسط گیاه و چگونگی اثرات تنش بر روی عملکرد را بررسی نماید.

تکنیکهای پیشرفته‌ای وجود دارند که سازنده وسایل تجهیزات آبیاری، سیستمهایی را در اختیار کشاورزان قرار دهند تا بتوانند بطور مؤثرتری کم‌آبیاری را برنامه‌ریزی نموده و فاکتورهای تنش را همراه با درنظرگرفتن عملکرد محصول در نظر بگیرند.

وسایل اندازه‌گیری رطوبت خاک برای مدیریت کم‌آبیاری در مزرعه، از لوازم کار بشمار می‌آید. با انتخاب یک شاخص مناسب، هم کاهش رطوبت خاک و هم تنش وارد شده به محصول را می‌توان اندازه‌گیری نمود و این خود بعنوان ابزاری برای پیش‌بینی عملکرد با توجه به تنش ایجاد شده بحساب می‌آید. لازم به تذکر است که هیچ شاخصی وجود ندارد که به تنهایی بتواند تمام این عوامل را نشان دهد، بنابراین ترکیب و مجموعه‌ای از شاخصها لازم است تا نتیجه خوبی در رابطه با اندازه‌گیری رطوبت خاک و تنش بدست بیاید. فاکتورهایی که از اهمیت بالایی برخوردارند عبارتند از: «آب موجود در خاک»، «پتانسیل آب خاک» ، «پتانسیل آب گیاه»، «درجه حرارت پوشش گیاهی». دو پارامتر آخر جزء شاخصهای مستقیم تنش آبی محصول بوده و بطور مؤثرتری جهت تعیین موقع آبیاری، از آن استفاده می‌شود.

تکنیکهای نمایش تنش و وسایل اندازه‌گیری موجود، در مرحله اول پیشرفت بوده و در عمل تا حدودی مورد استفاده قرار می‌گیرند. باید توجه کرد که این شاخصها اغلب بصورت تئوری بیان

می‌شوند، بجز شاخص میزان آب خاک که جزو شاخصهای کاربردی است وبیش از همه در عمل از آن استفاده می‌شود.

بخاطر تفاوت موجود در جنس خاک و مقدار آب دریافتی، بعضی از قسمتهای یک مزرعه قبل از بخشهای دیگر دچار تنش می‌شود. هنگامی که یک مزرعه بعنوان آزمایش تحت تنش قرار می‌گیرد، لازم است نه تنها زمان اعمال تنش بلکه بخشی از مزرعه که تحت تنش زودرس و یا دیررس قرار می‌گیرد، مورد بررسی قرار بگیرد. اندازه‌گیری رطوبت خاک با روش بلوکهای گچی و تانسیومتر از پیچیدگی بیشتری برخوردار است و در استفاده از این روشها باید دقت کافی مبذول داشت. بلوکهای گچی و تانسیومتر در اعماق مختلف مزرعه نصب می‌شود و لازم است این عمقها معرف بهتری از نیمرخ خاک مزرعه باشند.

درجه مجاز اعمال کم‌آبیاری و حد تحمل گیاهان مختلف جزء دیگر فاکتورهایی است که در برنامه‌ریزی آبیاری مؤثر می‌باشند. در مورد غلات که زود برداشت می‌شوند، کم‌آبیاری جز در آخر فصل، مجاز نمی‌باشد. از جمله وسایلی که برای اندازه‌گیری کمبود آب در خاک استفاده می‌شود نوترون متر می‌باشد که در این امر نقش بسزایی را ایفاء می‌کند. در صورتیکه کم‌آبیاری در تمام دوران رشد اعمال شود اندازه‌گیری مستقیم تنش محصول مناسب‌تر بنظر می‌رسد. در این‌صورت انتخاب شاخص تنش به شدت تنش بستگی دارد. جکسون (Jackson) وهمکارانش در سال ۱۹۸۰، تبخیر تعرق نسبی را بعنوان شاخص پایه برای تنش درنظر گرفته‌اند. چنین شاخصی در جایی سودمند است که کم‌آبیاری شدید اعمال شده باشد، برعکس در مناطقی که آبیاری تقریباً بطور کامل انجام شود کارآیی زیادی ندارد.

اولین نشانه تنش در یک گیاه همان کاهش میزان تورژسانس در برگ است که بر روی طویل‌شدن برگها و متابولیسم گیاه تأثیر می‌گذارد (Hiler and clark, 1971) .این اثر ممکن است قبل از کاهش

میزان تعرق صورت پذیرد (Rosenthal , et , al , 1987). نتیجتاً، عقلانی بنظر می‌رسد که اندازه‌گیریهای پتانسیل آب گیاه برای سطوح آبیاری تقریباً کامل و شاخصی که بر پایه میزان تعرق گیاه قرار گرفته است، برای برنامه‌ریزی کم‌آبیاری مورد استفاده قرار گیرد.

۲.۶.۱- استفاده از میزان آب خاک در برنامه‌ریزی کم‌آبیاری :

مقدار آب باقیمانده در محیط توسعه ریشه‌ها بعنوان شاخص آب قابل دسترس گیاه مورد استفاده می‌باشد که این کمیت بصورت درصدی از ماکزیمم ظرفیت خاک برای ذخیره آب مطابق فرمول زیر تعریف و تعیین می‌شود:

$$P_a = \frac{W_t - \theta_L R_z}{(\theta_f - \theta_L) R_z} \times 100 \qquad (۲.۵)$$

که در آن :

P_a = درصد آب موجود در محیط ریشه هااست.

W_t = کل آب موجود در نیمرخ خاک بر حسب میلیمتر است.

θ_L = میزان آب خارج شده از خاک بر حسب میلیمتر در میلیمتر (mm/mm) است.

θ_f = حد بالای زهکشی (mm/mm)است.

R_z = عمق فعال ریشه‌ها بر حسب میلی‌متر است.

برخلاف آنکه این فرمول به راحتی تعریف می‌شود، تشخیص صحت آن در عمل، کار مشکلی می‌باشد. تنوع خاکها و عدم یکنواختی توزیع و ذخیره آب در خاک خود سبب ایجاد خطاهای مهمی

در تخمین شرایط متوسط مزرعه می‌شود که باید همه را درنظر گرفت. حد بالای زهکشی، میزان آب خروجی و عمق فعال ریشه‌ها به سادگی تعریف شده، ولی به سختی اندازه‌گیری می‌شوند (Skaggs, et, al, 1980, P.85). اشتباه محاسبه این کمیت‌ها سبب اشتباه در برنامه‌ریزی آبیاری می‌شود (English, 1987). هنگامی که برای آبیاری کامل برنامه‌ریزی می‌نمائیم، نتیجه ممکن است به آب اضافی و یا آب ناکافی منتهی شود که این نتایج بوسیله پیش‌بینی‌های احتیاطی و اینکه آب مورد نیاز، مقداری بیشتر از مقادیر محاسبه شده منظور می‌شود، جبران می‌گردد. هنگامی که کم‌آبیاری انجام می‌یابد، احتمال کمتری برای پیش‌آمدن خطا وجود دارد. مشکل دیگر استفاده از P_a، بعنوان یک شاخص برنامه‌ریزی، این است که برقراری ارتباط بین حد مجاز آب موجود در خاک با عملکرد محصول برای تعیین بهترین زمان آبیاری در کم‌آبیاری با منابع محدود، مشکل است. فاکتور مهم دیگری که باید در هنگام برنامه‌ریزی آبیاری در نظر گرفته شود این است که محصولاتی که کمتر آبیاری می‌شوند، در مقایسه با محصولاتی که آبیاری کامل می‌شوند، آب بیشتری را از قسمتهای عمیق‌تر خاک جذب می‌نمایند.

برای مثال در حالیکه عمق توسعه ریشه‌های گندم حدود ۰/۶ تا ۰/۸ متر می‌باشد، در صورت مواجه‌شدن با کمبود آب، ممکن است آب را از اعماق پایین‌تری نیز دریافت نماید. نتیجه آزمایشها در حوزه کلمبیا (آمریکا) نشانگر این مطلب است که گندم، ۱۰۰ میلیمتر آب را از این عمق (۰/۶ تا ۲/۱ متری) جذب می‌نماید. لازم به تذکر است که اندازه‌گیری رطوبت خاک برای استفاده در برنامه‌ریزی کم‌آبیاری باید در اعماق بیشتری نسبت به حالت آبیاری کامل صورت پذیرد. تانسیومتر و بلوکهای گچی جزء دو تکنیک اندازه‌گیری رطوبت خاک می‌باشند. هنگامی که تنش آب برای گیاه ایجاد می‌شود تانسیومترها حداکثر درجه خود را نشان می‌دهند (۰/۸ بار). بنابراین استفاده از تانسیومترها محدود به شرایط آبیاری کامل یا تقریباً کامل می‌شود. بلوکهای گچی نیز جزء وسایل اندازه‌گیری

پتانسیل آب خاک با دامنه تغییرات بین صفر تا ۲۰ بار می‌باشد (Wang and M$_c$Cann, 1988). این وسیله احتیاج به کالیبره‌کردن نسبت به شرایط محلی دارد و در ضمن از دقت و صحت کمتری نسبت به تانسیومتر برخوردار است (Cuenca and Noilhan, 1988) ولی قیمت پایین بلوکهای گچی و سهولت بکارگیری آنها در مزارع سبب شده تا بیشتر مورد استفاده قرار گیرند.توصیه می‌شود که بلوکهای گچی نسبت به مکش رطوبتی خاک کالیبره‌شده و برای تکمیل کار تانسیومتر، در ادامه اندازه‌گیری (بالای ۰/۸ بار)، مورد استفاده قرار گیرد. (Holmes et al, 1967 , p.288, hagan et al., 1967,ch,30)

۲۰۶۰۲- شاخصهای تنش برای تشخیص زمان آبیاری:

چون کم‌آبیاری همراه با ایجاد تنش در گیاه است، شاخصی برای بیان میزان تنش لازم است تا مسئول و مدیر آبیاری را قادر سازد تا برنامه‌ریزی مناسبی برای آبیاری طرح نماید و سطح مجاز تنش و تحمل هر گیاه را همراه با آب مورد نیاز، برای رسیدن به عملکردی مناسب، درنظر بگیرد (Nielsen aud gardner, 1987). اندازه‌گیری تنش آبی می‌تواند ما را در تشخیص زمان آبیاری راهنمایی کند. با این حال بنظر می‌رسد یک اندازه‌گیری مستقل از آب موجود در خاک برای تشخیص میزان آب مورد استفاده ضروری است (Clark and hiler, 1973).

تنش در گیاهان در طول روز تغییر می‌کند و بستگی به فاکتورهای اتمسفر چون باد، تشعشع خورشیدی، پوشش ابر، درجه حرارت و رطوبت محیط دارد. اثر این پارامترها با توسعه پوشش گیاهی ممکن است تغییر نماید. مطمئناً افزایش شوری، وجود آفات نباتی، اثراین پارامترها را بر روی تنش تقویت می‌نماید.

درجه حرارت پوشش گیاهی که بوسیله حرارت سنج مادون قرمز اندازه‌گیری می‌شود، می‌تواند بعنوان یک شاخص تنشی سودمند بکار رود. درکل، درجه حرارت پوشش گیاهی که در رابطه با تعرق قرار دارد، چند درجه پائین‌تر از درجه حرارت هوا ذکر شده است، حال آنکه درجه حرارت گیاهی که تحت تنش واقع شده و در حال تعرق با شدت کمتری می‌باشد، کمی گرمتر از محیط اطرافش خواهد بود (Clark and hiler, 1973). استفاده از درجه حرارت پوشش گیاهی بعنوان «شاخص تنش» اولین بار بوسیله تانر (Tanner) در سال ۱۹۶۳ طرح شد. بعدها، هیلر (Hiler) و کلارک (Clark) در سال ۱۹۷۱، اختلاف بین درجه حرارت بین پوشش گیاهی و محیط را بعنوان یک شاخص جدید بیان نمودند. این تفاوت، «درجه تنش - روز» (SDD)[1] نامیده می‌شود که بعدها برای تخمین میزان عملکرد و برنامه‌ریزی آبیاری نیز مورد استفاده قرارگرفت و بصورت تابعی از درجه حرارت محیط، تشعشع خورشیدی و کمبود فشار بخارآب نشان داده شد.

درجه حرارت گیاهی که تحت تنش قرارگرفته است همواره از گیاهی که تحت تنش نیست، متفاوت است، این ارتباط و اختلاف مربوطه، اساس پایه‌گذاری " شاخص تنش آبی گیاه" [2] می‌باشد.

پارامتر CWSI که در زیر تعریف می‌شود تابعی از تبخیر تعرق نسبی است، (Jackson , et , al , 1981). لازم به ذکر است که این رابطه از فرمول پنمن - مانتیس (Penman - Montieth) بدست آمده است:

$$CWSI = 1 - \frac{ET_a}{ET_p} \qquad (۲.۶)$$

1- Stress Degree Day (SDD)

2- Crop Water Stress Index (CWSI)

که در آن :

ET_a و ET_p به ترتیب تبخیر تعرق واقعی و پتانسیل می‌باشد.

CWSI می‌تواند بعنوان رابطی بین درجه حرارت پوشش گیاهی و هوای محیط نسبت به عملکرد محصول براساس تبخیر تعرق نسبی، تدقیق شود. ابزار و وسایل تعیین و اندازه‌گیری درجه حرارت پوشش گیاهی، درجه حرارت هوای محیط، کمبود فشار بخار آب و تشعشع خورشیدی به سرعت توسعه یافته است بطوریکه CWSI را بسهولت برای یک محصول بخصوص در یک زمان مشخص اندازه‌گیری می‌نمایند.

شاخص دیگری که برای برنامه‌ریزی آبیاری بکار برده می‌شود، پتانسیل آب گیاه است. این شاخص نسبت به تغییرات آب گیاه (Clark and hiler , 1973)کاملاً حساس بوده و به عنوان شاخص مؤثری در برآورد آن از صفر تا حداقل ۲۰ بار بحساب می‌آید(Dickey and Bunter, 1982). دامنه وسیع این روش اجازه می‌دهد که هم برای آبیاری کامل و هم برای کم‌آبیاری مورد استفاده قرار گیرد.

در طول ساعات روشن روز، پتانسیل آب گیاه در اثر تشعشع خورشیدی، درجه حرارت، باد و رطوبت نسبی، افزایش یافته و شب کاهش می‌یابد. پتانسیل آب گیاه، قبل از طلوع آفتاب، هنگامی که تنش حداقل است تقریباً برابر پتانسیل آب خاک می‌شود. اندازه‌گیریهای انجام شده در این مقطع می‌تواند نمایانگر میزان رطوبت خاک باشد ولی اندازه‌گیری پتانسیل آب گیاه مشکل است و بعضی اوقات باید حدود ۱۰ نمونه گرفته شود تا نتیجه قابل اطمینان حاصل گردد.

۲۰۶۰۳- الگوریتمهای مورد استفاده در برنامه‌ریزی آبیاری :

روشهای اندازه‌گیری رطوبت خاک که در قسمت قبلی مورد بحث و بررسی قرار گرفت بعنوان شاخصهای اساسی برای تخمین میزان آب قابل دسترس می‌باشد. برای برنامه‌ریزی دقیق آبیاری، این شاخصها بایستی با هم هماهنگ‌شده و بصورت یک الگوریتم درآید تا بتواند در مشخص‌کردن زمان آبیاری و مقدار آب در هر آبیاری کمک نماید. مدیریت اعمال شده براساس «تخلیه مجاز»[1] و« شاخص تنش - روز»[2] دو الگوریتمی هستندکه برای این منظور توسعه یافته‌اند. تخلیه مجاز آب خاک (MAD) بعنوان نماینده و نمایانگر شاخصهای دیگر تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد,Merriam) (1966. در معرفی اولیه که توسط مریام (Merriam) صورت گرفت، شاخص پایه بعنوان پتانسیل آب خاک در نظر گرفته شد و گیاه با قطع آبیاری در معرض تنش قرار گرفت و منحنی‌های خصوصیات (فیزیکی) خاک در این قسمت بررسی شد. الگوریتم این برنامه براین اساس و پایه نهاده شده است که تنش محصول تابعی از کمبود آب خاک، بافت خاک، ساختمان خاک و شوری می‌باشد. واژه «مدیریت مجاز کم‌آبیاری» به قرار زیر تعریف می‌شود:

«مدیریت مجاز کم‌آبیاری، ماکزیمم تنش متوسط محیط ریشه است که در آن میزان بهینه تولید صورت می‌پذیرد.» پتانسیل آب خاک که این میزان تولید اپتیمم در آن اتفاق می‌افتد از قبل توسط آزمایشهایی معین می‌شود. میزان آب خاک که به پتانسیل تولید بهینه، مربوط می‌شود، بعنوان تخلیه مجاز آب خاک MAD، خوانده می‌شود. مقدار اولیه MAD، بدین دلیل محاسبه می‌شود تا تغییر در شرایط ویژ، ، شامل ساختمان خاک، توزیع ریشه، توسعه سایه‌انداز محصول، کیفیت شیمیائی آب خاک، توزیع آب

1- Management allowed Deficit (MAD) 2- Stress Degree Index (SDI)

آبیاری، تناوب و راندمان آبیاری، بارندگی و تبخیر تعرق و ملاحظات اقتصادی مثل قیمت محصول و هزینه‌های تولید را بیان کند. مریام (Merriam) یکسری راهنماییها برای تنظیم MAD برای محاسبه این فاکتورها ارائه داده است.

"شاخص تنش - روز" (SDI) یک مدل کلی و مشاهده‌ای از ارتباط بین عملکرد و زمان اعمال تنش آبی می‌باشد. لازم به تذکر است که SDI از اطلاعات آزمایشی یا تجربی بدست آمده است. تئوری این مسئله اولین بار توسط هیلر (Hiler) و کلرک (Clark) در سال ۱۹۷۱ ذکر شد و استفاده از آن برای تعیین زمان آبیاری بوسیله هیلر و همکارانش مورد بحث قرار گرفت.

فرمول SDI که "شاخص تنش - روز" می‌باشد بصورت زیر می‌باشد:

$$SDI = \sum_{i=1}^{n} (SD_i * CS_i) \qquad (۲.۷)$$

که در آن :

SDI = "شاخص تنش - روز" است.

SD_i = فاکتور" تنش - روز"، واحدی برای اندازه‌گیری درجه و طول مدت تنش آبی گیاه است که بر مبنای پاره‌ای شاخص‌های آب قابل دسترس گیاه قرار دارد.

CS_i = فاکتور حساسیت گیاهی، واحدی برای اندازه‌گیری حساسیت گیاه به کمبود آب درهر مرحله از رشد است.

i, n = مرحله رشد، از ۱ تا n

جدول ۲.۲ شاخصهایی از فاکتور "تنش - روز"

شاخص مبتنی بر	نوع شاخص
گیاه	پتانسیل آب برگ *
گیاه	تفاوت درجه حرارت برگ - هوا
گیاه	مقاومت برگ در مقابل پخشیدگی
خاک	پتانسیل آب خاک
خاک	درصد آب قابل دسترس در خاک
خاک و	تبخیر تعرق پتانسیل ٪ و
اقلیم	پتانسیل آب خاک
زمان	آبیاری

* برای سهولت کار مقادیر مطلق مورد استفاده قرار گرفته‌اند (از مقادیرمنفی پرهیز شده است)

واحد این کمیت‌ها بستگی به نوع شاخص «آب قابل دسترس » دارد. برای مثال اگر پتانسیل آب خاک مورد استفاده قرار گیرد، واحد SD_i، بار (Bars) خواهد بود. CS_i نیز بی‌بعد می‌باشد. دراین الگوریتم هم انواع اندیسهای مربوط به آب قابل دسترس بکاربرده می‌شود، و برای محاسبه SD_i و CS_i نیز چندین امکان (آلترناتیو) وجود دارد. از نظر مفهوم، "شاخص‌تنش - روز" SDI، یک قاعده و فرمول کاملاً کلی است و می‌تواند برای هر شاخصی از تنش مورد استفاده قرار گیرد و قابل تطبیق باشد. جدول ۲.۲ اندیسهائی را که کاربرد آنها توصیه شده است نشان می‌دهد. این اندیسها "شاخص تنش - روز" SDI را که از فاکتورهای مختلفی حاصل شده است، با روش صحیح پیش‌بینی می‌کند (هیلر و همکاران

۱۹۷۴) هیلر (Hiler) و کلرک (Clark) پتانسیل آب گیاه را به عنوان شاخصی که برای برنامه‌ریزی آبیاری کامل مورد استفاده قرار می‌گیرد، پیشنهاد کردند.

بهر حال همچنان که بیان گردید، وسایل مبتنی بر تبخیر تعرق نسبی $(\frac{ET_a}{ET_p})$ برای استفاده در برنامه‌ریزی کم‌آبیاری در مناطقی که با کمبود آب مواجه باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مراحل محاسباتی برای استفاده "شاخص تنش روز" SDI برای برنامه‌ریزی آبیاری توسط هیلرو و همکارانش (۱۹۷۴) معرفی شده است.

۲.۷- تکنیکهای آبیاری :

تکنیکهای کاربرد آب باروش کم‌آبیاری متضمن محدودکردن عمق آب آبیاری براساس روشی است که در آن قسمتی از مزرعه کمتر آبیاری می‌شود و یا طول مدت آبیاری و تناوب تحت کنترل در می‌آید بطوریکه راندمان کاربرد آب به حداکثر برسد.

معمولاً اگر یک مزرعه کمتر از میزان تعیین شده خود آبیاری گردد (برای مثال، بکاربردن ۸۰درصد کل آب مورد نیاز گیاه) و اگر فقط قسمتی از مزرعه کمبود آب را تجربه کند اگرچه این عمل سبب می‌شود که از منابع همچون زمین، نیروی کارگر و مواد شیمیایی بطور کامل استفاده شود ولی در همان حال از آب، استفاده کامل بعمل نمی‌آید، لذا روشهای مختلفی برای کم‌آبیاری سیستماتیک توصیه می‌شود:

۱- اگر بارندگی در آینده، محتمل باشد و یا آبیاریهایی در اول فصل رشد صورت گرفته باشد، عمق آبیاری می‌تواند کاهش یابد وبخشی از ظرفیت ذخیره‌ای خاک ، برای بارندگیهای محتمل ، خالی بماند.

۲- یک مدیر ممکن است، برای کاهش مصرف ناخالص آب، راندمان کاربرد بالایی را درنظر بگیرد.

۳- یک سیستم ممکن است با میزان آب کمترو بر اساس متوسط آب دریافتی یک چهارم مساحت مزرعه که حداقل میزان آب را دریافت می‌کند، آبیاری شود.

این استراتژیها همه اصول و قوانین مشابه‌ای را بکار می‌گیرند که متضمن افزایش راندمان کاربرد با کم‌آبیاری بخشی از مزرعه،(کم آبیاری موضعی، "تحلیلی برکم آبیاری" ماهنامه آب ، خاک و ماشین - دیماه ۷۴ - ج - خیرابی) می‌باشد. تفاوت این سه روش فقط در محاسبه آب ناخالص مورد نیاز آبیاری است.

باید توجه داشت، هنگامی که کم‌آبیاری‌های شدید اعمال گردد و کل مزرعه دچار کم‌آبی زیاد بشود در این صورت راندمان کارآئی آب کاهش پیدا می‌کند.

در مدیریت صحیح کم‌آبیاری بایستی اهمیت بیشتری به زمان و تناوب آبیاری، محدودنمودن تعداد آبیاری و مدیریت شوری در پروفیل خاک داده شود.

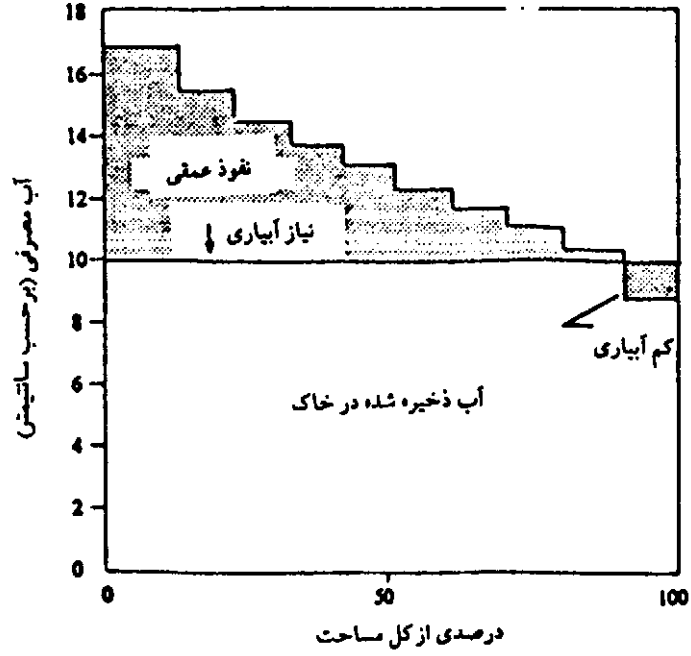
۲.۷.۱ـ کاهش میزان آبیاری :

طبق استاندارد راهنمای آبیاری سرویس حفاظت خاک آمریکا (SCS) طراحی آب مورد نیاز بر اساس متوسط آب رسیده به یک چهارم مساحت مزرعه که حداقل میزان آب را دریافت می‌نمایدانجام می‌گیرد این راهنما منطبق با آبیاری کامل ۸۷/۵ درصد مساحت مزرعه است.

این سطح با مقادیر مختلف و بیش از اندازه آبیاری می‌شود. شیرر (Shearer) در سال ۱۹۷۸، بحث مختصری از ارتباط بین یکنواختی آبیاری، کفایت آبیاری و راندمان کاربرد را ارائه داد که در شکلهای ۲-۶a و ۲-۶b نشان داده شده است که در آن خاک یکنواخت بوده و آب مورد نیاز آبیاری، ۱۰ سانتیمتر است.

در این شکل تغییرات آب مصرفی با ضریب یکنواختی ۸۰ درصد، با یک تابع پلکانی نشان داده شده است. هر پله، نشان‌دهنده، ۱۰ درصد از مساحت مزرعه می‌باشد. هنگامی که راندمان کفایت آبیاری حدود ۸۷/۵ درصد باشد (شکل ۲-۶a) مجموع تلفات حاصل از نفوذ حدود ۲۳ درصد آب مصرفی خواهد بود. با میزان ۵۰ درصد کفایت آبیاری تلفات ناشی از نفوذ تا حد ۸ درصد (شکل ۲-۶b) کاهش می‌یابد. مطالعات این مدلها نشان می‌دهد که "کاهش عملکرد" در حالت ۵۰ درصد کفایت‌آبیاری ، برای محصولات متحمل به خشکی،(English, et, al, 1986)اندک خواهد بود.

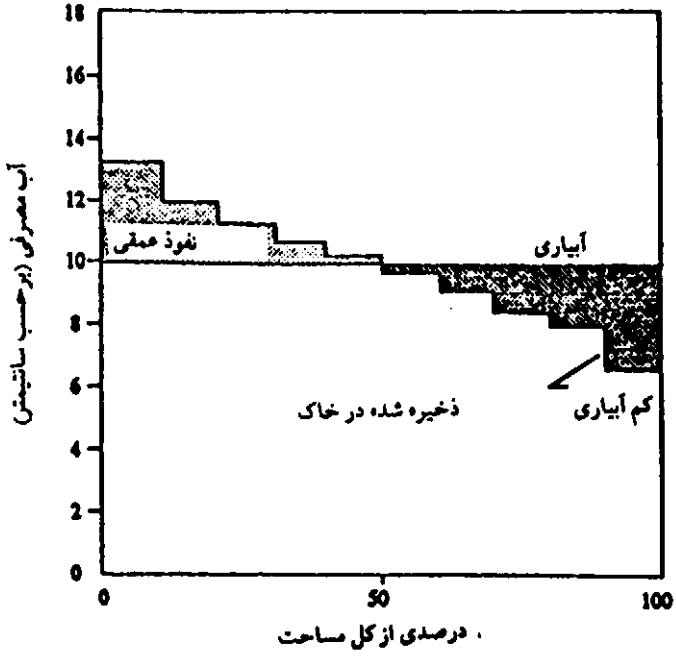
راندمان کاربرد اسمی یک سیستم، راندمانی است که با کفایت آبیاری ۸۷/۵ درصد تحقق پیدا می‌کند.



شکل ۲.۶a : توزیع مکانی آب مصرفی : یکنواختی ۸۵ درصد، راندمان کفایت آبیاری ۸۷/۵ و نیاز آبی خالص برابر با ۱۰ سانتیمتر

همچنانکه کفایت آبیاری کاهش می‌یابد، راندمان کاربرد افزایش می‌یابد. راندمان کاربرد یک سیستم تحت تاثیر فاکتورها و متغیرهای ناگهانی مرتبط با خصوصیات وسایل و تجهیزات، نوع خاک، تغییرات آب و هوا و خصوصیات محصول می‌باشد که مدیرآبیاری نمی‌تواند این عوامل را هر لحظه و هروقت که بخواهد براحتی و به سرعت کنترل نماید.

معهذا راندمان کاربرد بسادگی و بطور معنی‌داری بر اساس یک راندمان مفروض، و محاسبه آب مورد نیاز ناخالص بر این اساس کنترل می‌شود.



شکل ۲.۶b: توزیع مکانی آب مصرفی: یکنواختی ۸۵ درصد، راندمان کفایت آبیاری ۵۰ درصد و نیاز آبی خالص برابر با ۱۰ سانتیمتر

اگر راندمان پایینی در هنگام محاسبه نیاز آبی ناخالص، در نظر گرفته شود، راندمان واقعی هم کم خواهد بود، در حالیکه یک راندمان در عمل بالا، سبب می‌شود تا راندمان و در عمل بالا برود و راندمان واقعی بالاتری حاصل شود. جدول ۳-۲ نتایج شبیه‌سازی یک سیستم آبیاری بارانی چرخان (ویل لاین Wheel line) با راندمان اسمی ۷۰ درصد را نشان می‌دهد (English, et al 1986).

جدول ۲۰۳: راندمانهای کاربرد شبیه سازی شده و مفروض

عملکرد محصول شبیه سازی شده (تن درهکتار)	مقدار آب مصرفی شبیه سازی شده (میلیمتر)	راندمان کاربرد شبیه سازی شده (٪)	راندمان کاربرد مفروض (٪)
۷/۴۹	۲۲۲	۵۴	۵۰
۷/۴۸	۱۵۸	۷۴	۷۰
۷/۴۴	۱۲۲	۸۶	۹۰
۷/۴۰	۱۱۲	۹۲	۹۹

این نتایج نشان می‌دهد که :

۱- راندمان کاربرد واقعی از راندمان مفروض تبعیت می‌کند.

۲- افت محصول در راندمانهای بالا به اندک صورت می‌گیرد.

بنابراین "کم‌آبیاری" ممکن است با تنظیم آبیاری برای بدست‌آوردن راندمان کاربرد بالاتری نسبت به راندمان اسمی انجام گردد. نتیجه آن کاهش کفایت آبیاری و مقداری کاهش در عملکرد است که این زمانی اتفاق می‌افتد که در آب مصرفی، کاهش اساسی بعمل آید. به هرحال بهتر آن است که یکنواختی پایین‌تری از آب مصرفی و آب خاک را بازاء بالارفتن راندمان کاربرد آب در نظر گرفته شود.

یکنواختی پایین‌تر، اثر کمتری بر روی عملکرد متوسط دارد و این در حالتی است که کل مزرعه کم‌آبیاری گردد. اگر مزرعه تقریباً بطور کامل آبیاری شود، عدم یکنواختی کاربرد آب باعث کاهش عملکرد می‌شود. و در مورد محصولات مقاوم به خشکی، افت عملکرد به آرامی صورت می‌گیرد. لازم

به توضیح است که یکنواختی بالا بسیار پرهزینه بوده و احتمالاً در استفاده بهینه از آب نیز عاقلانه نخواهد بود (Von Bernouth 1983).

۲.۷.۲ـ ظرفیت نگهداری آب :

اگر قسمتی از ظرفیت خاک برای نگهداری آب، بعد از هر آبیاری خالی باقی بماند، مدیر آبیاری ممکن است ریسک تنش محصول در مقابل استفاده مؤثرتر از بارندگی و آب آبیاری را بپذیرد.
انگلیش و همکارانش (English, et, al 1986) ۱۲ فصل آبیاری را برای مراتع کانتربری درنیوزلند (Canterbury,Newzealand) ، جایی که پیش‌بینی باران مشکل و میزان آن متغیر است، شبیه‌سازی نمودند. مدل طوری شبیه‌سازی شده بود که وقتی ۵۰ درصد آب خاک کاهش می‌یافت، آبیاری به منظور پرکردن پروفیل خاک انجام می‌گرفت. در ۱۲ فصل آبیاری شبیه‌سازی شده راندمان ذخیره آب خالص (میزان آب ذخیره شده در پروفیل خاک نسبت به آب نفوذی از سطح خاک) از ۷۶ درصد در سالهایی که بیشترین بارندگی مورد استفاده قرار گرفته تا ۲۲ درصد در سالهایی که بارندگی تقریباً همراه (و یا بلافاصله بعد از) آبیاری رخ داده، تغییر یافته است، در نتیجه بخشی از باران جایگزین آب آبیاری گردیده است. منظور کردن درصد مطمئنی از ظرفیت نگهداری آب و خالی گذاشتن بخشی از ظرفیت ذخیره خاک بعد از هر آبیاری سبب افزایش راندمان ذخیره می‌شود که این رژیم با افزایش بارندگی باید تحت کنترل درآید و تنظیم شود. در یک مطالعه مشابه در تکزاس (Texas)، هاول و همکارانش (Howell, et al, 1989) دریافتند که تنظیم فواصل آبیاری و جیره آبیاری ظرفیت ذخیره پروفیل خاک راکنترل و تنظیم می‌کند و سبب افزایش راندمان ذخیره بارندگی می‌شود.

۲.۷.۳ـ آبیاری زودتر از موعد:

آبیاریهای زودتر از موعد و (یا خاکاب) نوعی آبیاری است که برای جوانه‌زدن، توسعه، ریشه کنترل شوری و دیگر اهداف مخصوص برای اول فصل، طراحی و اجرا می‌شود (Stewart, 1977, Rhoades, 1989, P.43).

آبیاریهای زودتر از موعد، اغلب بر پایه ملاحظات مختلف فصل آبیاری استوار بوده و هدف اصلی از آن به حداکثررساندن استفاده مؤثر از آب می‌باشد.

پتانسیل آبیاری بیش از حد، در صورتی اهمیت می‌یابد که حداقل عمقی که سیستم می‌تواند تأمین کند بزرگ بوده و آبیاریهای زودتر از موعد کم باشد. بعلاوه اگر آبیاری بلافاصله قبل از کشت انجام پذیرد

دراینصورت ، از بارندگی که همزمان صورت می‌گیرد استفاده کافی صورت نخواهدگرفت.

این فاکتور بطور عمده می‌تواند راندمان کاربرد آب را در آبیاری قبل از موعد کاهش دهد (Musick , 1987). برای رفع این اشکال ممکن است آبیاری قبل از موعد فقط برای پرکردن قسمتی از پروفیل خاک بکار رود. در اینصورت بارندگی بدنبال آبیاری، همچنین تلفات اجتناب ناپذیر ناشی از آبیاری قبل از موعد، پروفیل خاک و ظرفیت آن را پر می‌سازد.

۲.۷.۴ـ تناوب آبیاری :(فرکانس = تواتر = تعدد و تعداد دفعات آبیاری):

در مورد اهمیت افزایش تناوب آبیاری در رابطه کم‌آبیاری نظریه‌هائی ارائه شده و تجربیاتی انجام گرفته است. بحثهای تئوری و همچنین نتایج تجربی بیانگر این است که افزایش تناوب آبیاری و

تعداد دفعات آن در مورد آبیاری کامل بیشتر باعث بهبود عملکرد محصول می‌شود، اما با کم‌آبیاری، ممکن است چنین نتیجه‌ای بدست نیاید. گزارش میلر (Miller, 1977) مبنی براین بود که تناوب زیاد آبیاری سبب کاهش اثرات زیان‌آور کاهش آب مصرفی در چغندرقند، گندم و لوبیا می‌گردد. بهرحال فاسی و فرس (Faci & Ferres, 1980) و انگلیش و ناکامورا (English & Nakamura) از بررسیهای خود نتیجه گرفتند که عملکرد گندم زمستانه و سورگوم تحت شرایط کم‌آبیاری، با تناوب آبیاری بالا کاهش می‌یابد.

آبیاری با تناوب بالا می‌تواند هزینه لوله‌های اصلی را که یکی از مهمترین هزینه‌های آبیاری بارانی است به حداقل برساند. (Rawlins & Ratts, 1975). از طرف دیگر، تناوبهای آبیاری پایین‌تر ممکن است هزینه‌های سرمایه‌ای و هزینه کارگری را برای برخی سیستمها کاهش داده و حتی ممکن است آب مصرفی را نیز کاهش دهد.

(Howell , et, al, 1989; Hanks, 1974; English & Nuss, 1982; English,et,al, 1986)

فواصل آبیاری در روش بارانی از ۲ تا ۵ روز، بخصوص وقتی که سیستم سنترپیوت بکار می‌رود، رایج است، و بعلت اینکه سطح خاک و پوشش گیاهی همواره مرطوب باقی می‌ماند، تبخیر بطور معنی‌داری افزایش می‌یابد. در صورتیکه فواصل آبیاری زیاد باشد، دراین صورت لازم است مقادیر زیادی از آب بعنوان تلفات ناشی از نفوذ عمقی و رواناب منظور شود. تناوب آبیاری مناسب باعث بالانس و تعادل این افتها و تلفات می‌شود. هاول و همکارانش (Howell, et, al, 1989) تناوب مناسب برای آبیاری بارانی را بر روی خاک لومی رسی و قابل نفوذ منطقه پالمن (Pullman - Clay Loamsoil)، تخمین زدند که برابر با ۱ بار آبیاری در هر ۳ تا ۴ روز بوده است. جداسازی اثر تناوب آبیاری از موقع آبیاری (زمان تشنگی گیاه) مشکل است. سیستمی که برای تناوبهای آبیاری بالاتر، یعنی فواصل کوتاه طراحی شده است ممکن است ظرفیت فیزیکی این را

داشته باشد که نیاز آبی گیاهان را در دوره‌های بحرانی جواب دهد، حتی اگر هزینه‌های سرمایه‌ای بیشتر شود. هنگامی که تناوب و موقع آبیاری برای یک سیستم طراحی می‌شود، مدیر باید توجه داشته باشد که محدودیتهای فیزیکی سیستم ممکن است شامل موقع مناسب آبیاری تمام سطوح تحت آبیاری گردد و در ضمن مدیرباید عدم یکنواختی عملکرد محصول را در نظر بگیرد.

۲.۸- آبیاری سطحی :

تحقیقات زیادی روی «کم‌آبیاری» با روشهای آبیاری یک در میان فاروها و زیادنمودن فواصل آنها انجام گرفته است. به موازات آن تحقیقاتی نیز روی مدیریت نفوذپذیری خاک و کاهش رواناب فاروها با استفاده مؤثر از تکنیک آبیاری یک در میان فاروها، صورت پذیرفته است، بکارگیری این تکنیک‌ها، کاهش عملکرد ناشی از کم‌آبیاری را قابل قبول می‌کند.

۲.۸.۱- آبیاری یک در میان فاروها :

این تکنیک به ویژه برای استفاده از آب محدود در خاکهای ریز بافت مناسب است که شامل آبیاری یک در میان و یا دو در میان نشتی‌ها می‌باشد. همچنین می‌توان به سادگی فواصل فاروها را افزایش داد. روش آبیاری یک در میان فاروها بطور وسیعی در تگزاس (Texas)، اوکلاهما (Oklahoma)، کالیفرنیا (California) و نبراسکا (Nebraska) از سال۱۹۶۳ توسط مازیک و دوزک، استون و همکارانش، گریمز و همکارانش، فیش باچ و مولینر

(Musick & Dusek, 1974; Stone, et, al, 1982; Grimes, et, al, 1968; Fischbach and Mulliner, 1972.

مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج این مطالعات با توجه به محل، نوع محصول، آب و هوا، طول فارو، شرایط سطح خاک و دیگر فاکتورها، متغیر است. اما تعمیم پاره‌ای موارد کلی زیر امکان‌پذیر است:

* با «کم‌آبیاری» با روش فاروهای یک در میان، کاهش مصرف آب تا یک سوم، در هر آبیاری، امکان‌پذیر است که در ضمن در این روش، آبیاری سریعتر انجام می‌گیرد و هزینه‌های دستمزد آبیاری پایین می‌آید. (Musick & Dusek, 1974).

* کل آب مصرفی در فصل رشد، کاهش می‌یابد. استون و همکارانش (Stone, et, al, 1982) کاهش به میزان ۲۰ تا ۵۰ درصد را گزارش نموده‌اند.

* کاهش مصرف آب همراه با کاهش اندک عملکرد نسبی می‌باشد.

(Musick & Dusek, 1974; Stone, et, al, 1982)

به عنوان مثال، فیش باچ و مولینر (Fischbach & Mulliner) در سال ۱۹۷۲، در خاکی با بافت متوسط (Silty Clay Loam) و فاروهایی به فواصل ۰/۷۶ متر، آبیاری یک در میان انجام دادند. آنها به طور متوسط، در هر آبیاری ۲۹ درصد از میزان آب را کم کردند و در مقایسه با فاروهای متداول فقط ۴/۷ درصد محصول کمتر بدست آوردند.

از آنجای‌که در این تکنیک، سطح خیس شده خاک، خیلی کمتر است، اتلاف آب از طریق تبخیر نیز کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند عامل اساسی در کاهش مصرف آب باشد (Stone, et, al, 1982). در این روش نفوذ جانبی آب در خاک بیشتر از روشهای متداول می‌باشد لذا در اوایل فارو بده، سرعت و میزان نفوذ آب خیلی بیشتر است واین مقادیر بطرف انتهای فارو به تدریج کم و کمتر می‌شود و این امر سبب کاهش یکنواختی توزیع آب در طول فارو می‌گردد. در این روش، میزان متوسط نفوذ آب در مزرعه نسبت به روش متداول، کاهش می‌یابد. ولی با همه این احوال، توزیع آب با این روش می‌تواند با روش نشتی متداول قابل مقایسه باشد بشرط اینکه مدیریت بصورت صحیح اعمال گردد. این موضوع با شکل ۲.۷ نشان داده شده است. این شکل توزیع آب در خاک را برای دو گروه فارو با فواصل متفاوت و در فواصل مختلفی از انتهای فارو در دو حالت:

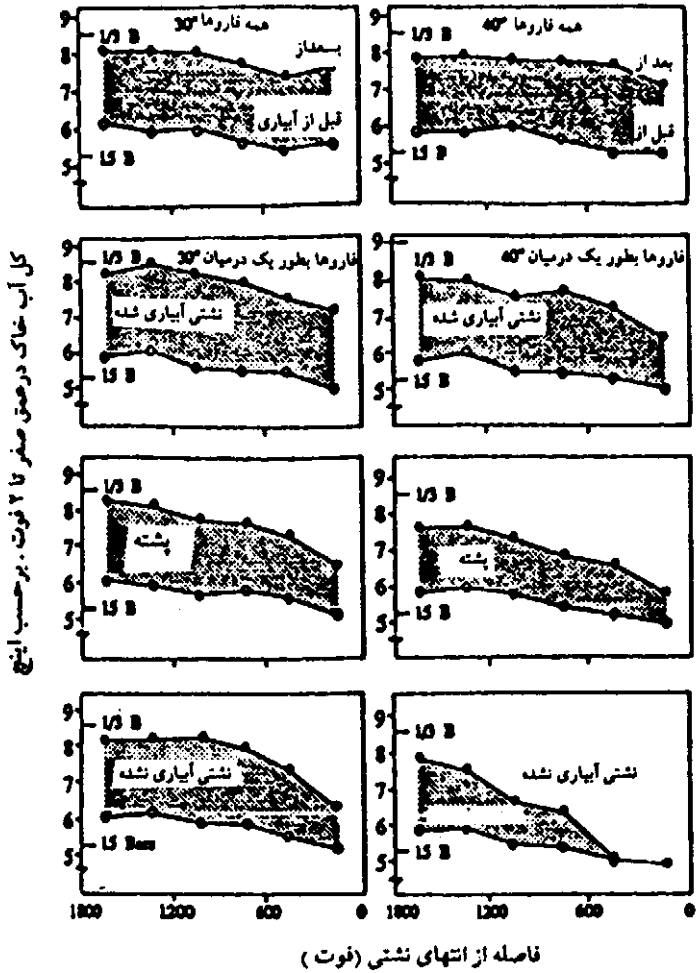
الف) وقتی که همه فاروها تحت آبیاری قرار می‌گیرند (شکل بالا)،

ب) وقتی که فاروها بطور یک در میان آبیاری می‌شوند، نشان می‌دهد.

در حالت آبیاری یک در میان فاروها، توزیع رطوبت در فاروی آبیاری شده ، و در فاصله بین فاروها، و در فاروی آبیاری نشده (خشک) نشان داده شده است. توزیع آب در زیر فاروهای خشک، مشابه توزیع آب در ۳۶۰ متر (۱۲۰۰ فوت) اول فاروهای آبیاری شده با فواصل ۰/۷۶ متر (۳۰ اینچ) می‌باشد ولی در ۱۸۰ متر آخر، رطوبت خاک در زیر فاروهای خشک قدری کمتر از رطوبت خاک در زیر فاروهای آبیاری شده، می‌باشد. توزیع رطوبت در ۱۸۰ متر آخر فاروهایی با فواصل بیشتر غیریکنواخت می‌شود که با تقلیل عملکرد همراه می‌باشد.

افت عملکرد در بخش انتهایی فارو متمرکز می‌گردد، ولی این امر تا حدی با آبیاری نوبتی فاروها و با اطمینان به اینکه هر ردیف محصول، در هر آبیاری حداقل از یک سمت مرطوب خواهد شد، جبران می‌گردد. شخم عمیق در انتهای زمین (فاروها) می‌تواند ظرفیت نگهداری آب و یکنواختی عملکرد را افزایش دهد، خصوصاً وقتیکه رواناب پایاب کم باشد. استون و همکارانش (Stone, et, al, 1982) پیشنهاد کردند که آبیاری یک در میان فاروها باید از اول اوت، (دهم مرداد)، (تقریباً دوران زایشی سورگوم) در تمامی منطقه اوکلاهما (Oklahoma) در سالهایی که تبخیر و نیازهای آبیاری زیاد است، به آبیاری کامل (همه فاروها) تغییر داده شود، تا شدت کمبود آب در قسمتهای انتهایی مزرعه، کاهش یابد.

روش آبیاری با فاروهایی با فواصل زیاد نیز دارای مفهوم مشابه (آبیاری فاروهای یک در میان) است. در آزمایشاتی که در نبراسکا (Nebraska)، اوکلاهما (Oklahoma) و تگزاس (Texas) صورت گرفته، میزان آب مصرفی به میزان ۲۵ تا ۵۰ درصد نسبت به فاروهای متداول، کاهش یافته است و این در حالی بوده است که عملکرد کاهش نیافته و یا به میزان اندکی کاهش یافته است.



شکل ۲۰۷ : متوسط توزیع آب در خاک (عمق صفر تا۰/۶ متری) قبل از آبیاری و ۶ روز بعد از آبیاری در تاریخ دهم شهریور ونهم مهرماه ۱۹۶۵. دراین شکل توزیع آب آبیاری محصول سورگوم دانه‌ای در رابطه با طول نشتی‌ها نشان داده شده است. داده‌ها مربوط به آبیاری نشتی‌ها بطورکامل و بطور یک در میان و با فواصل ۰/۷۶ و ۱/۰۲ متر می‌باشد.

(Crabtree, et, al, 1985; Fischbach & Mulliner, 1974; Longenecker, et, al, 1969, 1970; Musick & Dusek, 1974; Stone, et, al, 1979, 1982)

مدیریت کاربردی که به منظور توزیع یکنواخت‌تر آب در آبیاری با روش فاروهای یک در میان، بکار می‌رود، شامل :

۱- اعمال مدیریت صحیح با توجه به تراکم خاک فاروها، ناشی از فشار و حرکت چرخ تراکتور

۲- آبیاری با روش موجی (Surge - Flow Irrigation)

۳- افزایش بده جریان فاروها همراه با استفاده از سیستم برگشت آب و پمپاژ رواناب (و استفاده مجدد از این آبها)

۴- کوتاه‌کردن طول فاروها

آبیاری با روش نشتی (فاروهای متداول) شامل فاروهایی است که در اثر عبور چرخ تراکتور متراکم شده‌اند و یا آنهایی است که محل عبور چرخ نبوده و درنتیجه متراکم نشده‌اند این حالت تغییراتی در سرعت پیشروی آب، شدت نفوذ و رواناب پایاب در فاروهایی که در اثر عبور چرخ متراکم شده‌اند، (نسبت به فاروهای دیگر) ایجاد می‌کند، مگر اینکه با تنظیم آب در فاروهای مختلف به گونه‌ای عمل شود که کاهش نفوذ آب تعدیل گردد.

سیستم آبیاری در فاروهایی با بستر عریض، به ویژه وقتی که تردد تراکتور و تراکم ناشی از آن، زیاد است، باعث بهبود یکنواختی توزیع آب می‌شود.

(Longenecker, et, al, 1969, 1970; Allen & Musick, 1972; Allen ,1985)

به همین ترتیب، در خاکی که شدت نفوذ خیلی زیاد است، تراکم ناشی از تردد تراکتور، به طور مؤثری سبب کاهش نفوذ آب و کاهش تلفات عمقی می‌شود (Musick & Pringle, 1986). در مطالعات انجام شده توسط آلن و موزیک (Allen & Musick, 1986)، تردد تراکتور در فاروهائی با خاک

موفقیت‌آمیزی بکار رفت و با بکارگیری گاوآهن چیزل (Chisel) عملیات شیارزنی فاروها، پس از اولین آبیاری فصل انجام شد که درنفوذ نرمال آب در فاروها، مؤثر بوده است. روش آبیاری موجی (Surge - Flow) بطور گسترده‌ای برای کاهش شدت نفوذ وکنترل رواناب پایاب فاروها، بکار می‌رود. در روش آبیاری موجی معمولی استفاده از آب محدود، برای آبیاری سطح وسیع‌تری صورت می‌گیرد.

۲.۸.۲ـ کاهش یا حذف رواناب مزرعه :

بکارگیری کم‌آبیاری در فاروهای منظم که بدرستی طراحی شده است، برای محصولات مقاوم به خشکی، باعث کاهش قابل ملاحظه، یا حذف رواناب پایاب فاروها می‌گردد. با وجود اینکه عملکرد محصول در مقایسه با آبیاری کامل افت پیدا می‌کند بااین حال زارعین دشتهای مرتفع جنوب تگزاس موفق شده‌اند رواناب را از ۳۰ تا ۴۰ درصد آب مصرفی‌به ۱۵ تا ۲۰ درصد کاهش دهند و درنتیجه‌استفاده‌بیشتری عاید خود سازند (Musick & Walker,1987). در آزمایشات مربوط به تغییرات رواناب پایاب مزارع سورگوم دانه‌ای، اشنایدر و همکارانش نشان دادند که تغییر مدت زمان جریان رواناب از انتهای فاروها از ۳ الی ۴ ساعت به ۶ الی ۸ ساعت تغییری در عملکرد نداشته و یا تغییرات آن بسیار اندک بوده است. اگرچه وقتی که، هیچگونه روانابی در پایاب ایجاد نشده بود، کاهش عملکرد در قسمت انتهایی فاروها، مشهود بوده است.

مطالعات انجام شده توسط اشنایدر و همکارانش (Schneider, et, al) و همچنین مطالعات وسیعی که توسط موزیک و همکارانش (Musick, et, al) در سال ۱۹۷۳، در همان خاک صورت گرفت

نشان داد که آبیاری در خاک رسی، با نفوذپذیری کم در فاروهای منظم و طراحی شده سبب کاهش رواناب به میزان ۵ تا ۱۵ درصد آب مصرفی می‌شود.

۲.۸.۳ـ درجات مختلف آبیاری از دیم‌کاری تاکم‌آبیاری (LID)[1] و آبیاری کامل :

شیوه دیگری از کم‌آبیاری با روش آبیاری سطحی که توسط استوارت و موزیک (Stewart & Musick, 1982) و استوارت و همکارانش (Stewart, et, al, 1983) توسعه یافته است نوعی سیستم کم‌آبیاری (روش آبیاری ربع سوم فاروهای آزمایشی که ذیلاً توضیح داده خواهد شد، یا سیستم LID) است که با قطع آبیاری زودتر از موعد و جلوگیری از هدررفتن رواناب (ناشی از آبیاری و رگبارها) با موفقیت آزمایش گردید.

طرح آزمایشی بدین‌صورت بود که در $\frac{1}{2}$ فاروهایی به طول ۵۷۵ متر، آبیاری کامل انجام شد و با استفاده از رواناب قسمت اول، در ربع سوم کم‌آبیاری انجام شد (LID). در ربع آخر سورگوم بصورت دیم کشت گردید و در فاروها موانعی بمنظور نگهداری آب و استفاده از رگبارها احداث گردید. تراکم کشت در سه بخش از فارو، با آب دریافتی در این سه بخش هماهنگ و متناسب بود. آبیاری در فاروها (به فواصل ۰/۷۵ متر) بصورت یک در میان انجام گردید. در فارویی که آبیاری انجام نمی‌شد موانع در سرتاسر آنها احداث و حفظ گردید تا از آب بارندگیها حداکثر استفاده بعمل آید.متوسط نتایج به دست آمده از آزمایشات سه ساله کم‌آبیاری (سیستم LID) در مقایسه با آبیاری کامل و حالت کشت

1-Limited Irrigation Dryland

دیم در جدول ۲۰۴ آمده است. همچنین بقیه حالتها توسط استوارت و همکارانش، (Stewart, et, al, 1983) شرح داده شده است.

جدول ۲۰۴ نتایج آزمایشات مربوط به کم‌آبیاری با درجات مختلف (از دیم تا آبیاری کامل) در بوشلند و تگزاس

تیمار	آب مصرفی (mm)	عملکرد (تن در هکتار)	تبخیر تعرق (mm)	راندمان کاربرد آب*
بدون آبیاری (دیم)	۰	2.53	295	-
آبیاری کامل	516	7.24	619	0.92
کم آبیاری (LID)	233	5.69	520	1.36

*(راندمان بر اساس نسبت جبره نظری آب آبیاری (dn) به مقدار آب ذخیره شده در عمق توسعه ریشه‌ها محاسبه و بیان شده است).

همانگونه که در جدول ۲۰۴ نشان داده شده است، آبیاری کامل نسبت به حالت دیم حدود ۴/۷۱ تن در هکتار، عملکرد بیشتر داشته است. در کم‌آبیاری انجام شده، مصرف آب ۴۵ درصد آبیاری کامل و عملکرد محصول، ۷۸ درصد آبیاری کامل بوده است که یک افزایش قابل توجه در راندمان مصرف آب آبیاری به حساب می‌آید. تحقیقات مشابهی هم با نتایجی مشابه در هند انجام شده است (ICRISAT, 1988). در این مطالعات سه ساله، تراکم گیاهی و میزان کود در دو حالت کم‌آبیاری و آبیاری کامل مورد بررسی قرار گرفته است. راندمان کاربرد آب در روش کم‌آبیاری (سیستم LID)

بطور معنی‌داری بیش از آبیاری متداول بوده است. با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیقاتی که در هند انجام شده است، مشخص می‌شود که کم‌آبیاری با سیستم LID بعنوان یک استراتژی مؤثر در مناطقی با بارانهای غیرقابل پیش‌بینی، کارآیی دارد.

۲۰۸۰۴- کم آبیاری باسیستم آبیاری قطره‌ای و آبیاری زیرزمینی پاریزی :

باید توجه داشت کم‌آبیاری در شرایطی مفید و مؤثر واقع می‌شود که راندمان روش آبیاری که با آن آبیاری کامل انجام می‌گیرد پائین باشد. ولی در صورتیکه، در یک روش آبیاری، این راندمان (بخاطر مکانیزم ذاتی روش) بالا باشد طیف مانور و دامنه حرکت از آبیاری کامل بطرف کم‌آبیاری (بمنظورافزایش راندمان آبیاری) محدود خواهد شد و نتایج لازم و معنی‌دار از کم‌آبیاری حاصل نخواهد گردید.

آبیاری قطره‌ای و آبیاری زیرزمینی پاریزی (نوعی آبیاری قطره‌ای که در آن آب از طریق لوله‌های پلی‌اتیلن و مجاری مملو از شن مستقیماً بطرف منطقه توسعه ریشه‌ها هدایت می‌شود) از جمله روشهای مزبور می‌باشد.

آقای فن و همکاران (Phene, et, al 1982) در یک روش آبیاری قطره‌ای کنترل شده زیرزمینی، آب مورد نیاز گوجه‌فرنگی را ۲۵٪ کاهش دادند و راندمان کاربرد آب آبیاری را، بدون کاهش محصول، به حدود ۱۰۰٪ رساندند. توضیح اینکه آبیاری زیرزمینی آب مورد نیاز گیاه را (در مقایسه با حالتی که آب از طریق سطح خاک توزیع و هدایت می‌شود) کاهش می‌دهد و از طرفی تلفات مربوط به تبخیر نیز حذف می‌گردد، و تنظیم دقیق آب مصرفی نیز احتمال بوجود آمدن زهاب را از بین می‌برد. در این روش عملکرد بالای محصول مربوط به تواتر زیاد آبیاری همراه با تواتر کوددهی، بویژه کود فسفر در

روش آبیاری پاریزی بوده است.

در ضمن، یادآوری می‌شود در شرایطی که بتوان از آب صرفه‌جویی شده اراضی بیشتری را زیرکشت برد (مثل شرایط ایران)، در این‌صورت می‌توان از این روشها، حداکثر استفاده را بعمل آورد. (کم آبیاری نیمه کلاسیک - مقاله « تبیین و تعریف واژه شناختی آبیاریهای کلاسیک ، غیر کلاسیک ونیمه کلاسیک " سالنامه کیمته ملی آبیاری و زهکشی ۱۳۷۴ - ج - خیرابی . الف - اسدالهی).

فهرست منابع و مأخذ

Management of Farm Irrigation Systems

Glenn J. Hoffman & Terry A. Howell & kenneth H. Solomon

December, 1990, by the American Society of Agricultural Engineers

Deficit Irrigation

by:

M.J. English (Bioresouree Engineering Department, Oregon State University, Corvallis. OR)

J.T. Musick (USDA-ARS, Conservation & Production Research Lab, Bushland, TX)

V.V.N. Murty (Asian Institute of Technology Bangkok, Thailand)

Allen, R.R. 1985. Reduced tillage - Energy systems for furrow irrigated sorghum on wide beds. *Transactions of the ASAE* 28(6): 1736-1740.

Allen, W.H. and J.R. Lambert. 1971. Application of the principle of calculated risk to scheduling of supplementary irrigation, I. Concepts. In *Agricultural Meteorology 8*. Amsterdam: Elsevier Publ. Co.

Allen, R.R. and J.T. Musick. 1989. Furrow traffic and tillage management for control of irrigation intake. ASAE Paper No. 89-2179. St. Joseph, MI: ASAE.

Allen, R.R. and J.T. Musick. 1972. Wheat and grain sorghum irrigation in a wide bed-furrow system. *Transactions of the ASAE* 15(1): 61-63.

Allen, R.R., J.T. Musick, F.O. Wood and D.A. Dusek. 1975. No-till seeding of irrigated sorghum double cropped after wheat. *Transactions of the ASAE* 18(6): 1109-1113.

Anderson, J.R., Dillon and Hardaker. 1977. *Agricultural Decision Analysis*. Ames: Iowa State University Press.

Barrett, J.W.H. and G.V. Skogerboe. 1980. Crop production functions and the allocation and use of irrigation water. *Agr. Water Management* 3(1980): 53-64.

Bonneville Power Administration. 1987. Partial irrigation feasibility study and demonstration project - Phase IV report. Bonneville Power Admin., Portland, OR.

Chitale, M.A. 1987. Water management in drought prone areas. *Water Supply*, Vol. 5: 121-130. London.

Clark, R.N. and E.A. Hiler. 1973. Plant measurements as indicators of crop water deficit. *Crop Sci.* 13(July-August): 466-469.

Crabtree, R.J., A.A. Yassin, I. Kargougou and R.W. McNew. 1985. Effects of alternate-furrow irrigation: Water conservation on the yields of two soybean cultivars. *Agr. Water Mngmnt.* 10: 253-264.

Cuenca, R.H. and J. Noilhan. 1988. Use of soil moisture measurements in hydrologic balance studies. In *Proc. of measurement and parameterization of land surface evaporation fluxes*. Centre National de Recherches Meteorologiques, Banguls, France.

Davis, K.R., C.J. Phene, R.L. McCormick, R.B. Hutmacher and D.W. Meek. 1985. Trickle frequency and installation depth effects on tomatoes. In *Drip/Trickle in Action*, Proc. 3rd international drip/trickle irrigation congress. St. Joseph, MI: ASAE.

de Lucia, R.J. 1969. Operating policies for irrigation systems under stochastic regimes. Ph.D. diss., Division of Engineering and Applied Physics, Harvard Univ., Cambridge, MA.

Dickey, O.L. and W. Bunter. 1982. Use of plant water tension measurements for irrigation scheduling. Agronomy-Irrigation Workshop, Portland, OR.

Doorenbos, J. and A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33, Rome, Italy.

Doorenbos, J. and W.H. Pruitt. 1977. Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

Dudley, N.J., D.T. Howell and W.J. Musgrave. 1971. Optimal intraseasonal irrigation water allocation. *Water Resources Research* 7(5).

Eck, H.V., T. Martinez and G.C. Wilson. 1981. Tall fescue and smooth bromegrass. I. Nitrogen and water requirements. *Agron. J.* 73: 446-452.

Eastin, J.D., T.E. Dickinson, D.R. Krieg and A.B. Maunder. 1983. Crop physiology in dryland agriculture. In *Dryland Agriculture*, eds. H.E. Dregne and W.O. Willis, 333-364. Madison, WI: American Soc. Agron.

Ehlig, C.F. and R.D. LeMert. 1979. Water use and yields of sugar beets over a range from excessive to limited irrigation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 403-407.
English, M.J. 1987. Evaluation of irrigation schedulers. Unpublished report to Bonneville Power Administration; Partial irrigation feasibility and demonstration project. Contract DE-AC79-74 BP15109 - A002.
English, M.J. 1990a. Deficit irrigation: An analytical framework. *J. ASCE* (IR) 116(3): 399-412.
English, M.J. 1990b. Deficit irrigation: Observations in the Columbia Basin. *J. ASCE* (IR) 116(3): 413-426.
English, M.J. and B.C. Nakamura. 1989. Effects of deficit irrigation and irrigation frequency on wheat yields. *J. Amer. Soc. Civil Engr.* 115(IR2): 172-184.
English, M.J., B.C. Nakamura and G.S. Nuss. 1984. Effects of irrigation frequency on crop yields. Final Report, USDA-ARS Cooperative Research Agreement No. 58-9AHZ-1-653.
English, M.J. and G.S. Nuss. 1982. Designing for deficit irrigation. *ASCE* 108(IR2): 91-106.
English, M.J. 1981. The uncertainty of crop models in irrigation optimization. *Transactions of the ASAE* 24(4): 917-921, 928.

English, M.J. and G.T. Orlob. 1978. Decision theory applications and irrigation optimization. California Water Resources Center Contribution N. 174. University of California, Davis, CA.
English, M.J., A.R. Taylor and P. John. 1986. Evaluating sprinkler system performance. *New Zealand Agr. Sci* 20(1): 32-37.
Faci, J.M. and E. Ferreres. 1980. Responses of grain sorghum to variable water supply under two irrigation frequencies. *Irrig. Sci.* 3(1): 149-159.
Fischbach, P.E. and H.R. Mulliner. 1972. Every other furrow irrigation of corn. ASAE Paper No. 72-722. St. Joseph, MI: ASAE.
Fischbach, P.E. and H.R. Mulliner. 1974. Every-other furrow irrigation of corn. *Transactions of the ASAE* 17(3): 426-428.
Fonken, D.W., J.C. Steele and P.E. Fishbach. 1974. Sprinkler irrigation design criteria for sugar beets. *Transactions of the ASAE* 17(5): 889-891.
Grimes, D.W. and W.L. Dickens. 1974. Dating termination of cotton irrigation from soil water-retention characteristics. *Agron. J.* 66: 403-404.
Grimes, D.W., V.T. Walhood and W.L. Dickens. 1968. Alternate furrow irrigation for San Joaquin Valley cotton. *Calif. Agr.* 22: 4-6.
Gulati, H.S. and V.V.N. Murty. 1979. A model for optimum allocation of canal water based on crop production functions. *Agricultural Water Management* 2: 79-91.

Haise, H.R. and R.M. Hagan. 1967. *Irrigation of Agricultural Lands*. Amer. Soc. Agronomy. Monograph No. 11. Madison, WI: ASA.
Hageman, R.W., L.S. Willardson, A.W. Marsh and C.F. Ehlig. 1975. Irrigating for maximum alfalfa seed yield. *Calif. Ag.* 29(11): 14-15.

Hageman, R.W., C.F. Ehlig, M.J. Huber, R.Y. Reynoso and L.S. Willardson. 1978. Effect of irrigation frequencies on alfalfa seed yield. *Calif. Ag.* 32(10): 17-18.
Hall, W.A. and W.S. Butcher. 1968. Optimal timing of irrigation. *J. ASCE* 94(IR1).
Hang, A.N. and D.E. Miller. 1983. Wheat development as affected by deficit, high frequency sprinkler irrigation. *Agron. J.* 75: 234-239.
Hanks, R.J. 1974. Model for predicting plant yield as influenced by water use. *Agron. J.* 66: 660-665.
Hanks, R.J. and R.W. Hill. 1980. Modelling crop response to irrigation in relation to soils, climate and salinity. International Irrigation Information Center, Bet Dagan, Israel.
Hargreaves, G.H. and Z.A. Samani. 1984. Economic consideration of deficit irrigation. *J. ASCE Irrigation and Drainage Division* 110(4): 343-358.
Hillel, D. 1972. The relationship between field water balance and water use efficiency. In *Optimizing the Soil Physical Environment Toward Greater Crop Yields*, ed. D. Hillel, 79-100. New York: Academic Press.
Hiler, E.A. and R.N. Clark. 1971. Stress day index to characterize effects of water stress on crop yields. *Transactions of the ASAE* 14(4): 757-761.
Hiler, E.A., T.A. Howell, R.B. Lewis and R.B. Boos. 1974. Irrigation timing by the stress day index method. *Transactions of the ASAE* 17(3): 393-398.
Holmes, J.W., S.A. Taylor and S.J. Richards. 1967. Measurement of soil water. In *Irrigation of Agricultural Lands*. Monograph No. 11. Madison, WI: Amer. Soc. Agron.
Howell, T.A., K.S. Copeland, A.D. Schneider and D.A. Dusek. 1989. Sprinkler irrigation for corn — Southern great plains. *Transactions of the ASAE* 32(1): 147-154, 160.
Howell, T.A., E.A. Hiler and D.L. Redell. 1975. Optimization of water use efficiency under high frequency irrigation - II. System simulation and dynamic programming. *Transactions of the ASAE* 18(5): 879-887.
Howell, T.A., L.H. Ziska, R.L. McCormick, L.M. Burtch and B.B Fischer. 1987. Response of sugar beets to irrigation frequency and cutoff on a clay loam soil. *Irrig. Sci.* 8: 1-11.
ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics). 1988. Annual report. 1987.
Idso, S.B., R.D. Jackson and R.J. Reginato. 1977. Remote sensing of crop yields. *Science* 196: 19-25.
Jackson, R.D., R.J. Reginato and S.B. Idso. 1977. Wheat canopy temperature: A practical tool for evaluating water requirements. *Wat. Resources Res.* 13: 651-656.
Jackson, R.D., S.B. Idso, R.J. Reginato and P.J. Pinter. 1980. Remotely sensed crop temperatures and reflectances as inputs to irrigation scheduling. In *Irrigation and Drainage: Today's Challenges*. Proc. Specialty Conference, ASCE. Irrigation and Drainage Division, Boise, ID.
Jackson, R.D., S.B. Idso, R.J. Reginato and P.J. Pinter, Jr. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Res.* 17(4): 1133-1138.

Knapp, K. and D. Wichelns. 1989. Dynamic optimization models for salinity and drainage management. In *Agricultural and Salinity Assessment and Management*. ASCE manuals and reports on engineering practices. New York: ASCE. (In Press.)
Krieg, D.R. 1986. Cotton growth and development. In *Proc. drip irrigation cotton symp.*, Texas Agr. Ext. Serv., Midland, TX.

Kumar, R. and S.D. Khepar. 1980. Decision models for optimal cropping patterns in irrigation based on crop water production functions. *Agricultural Water Management* 3: 77-87.
Longenecker, D.E., E.L. Thaxton Jr. and P.J. Lyerly. 1969. Variable row spacing of irrigated cotton as a means of reducing production costs and conserving water. *Agron. J.* 61(1): 100-104.
Longenecker, D.E., E.L. Thaxton, Jr., J.J. Hefner and P.J. Lyerly. 1970. Variable row spacing of irrigated cotton. Tex. Agr. Exp. Sta. Bull. 1102.
Maji, C.C. and E.O. Heady. 1978. Intertemporal allocation of irrigation water in the Mayurakshi Project (India): An application of chance constrained linear programming. *Water Resources Research* 14(2): 190-196.
Matanga, G.B. and M.A. Marino. 1979. Irrigation planning, 2, Water allocation for leaching and irrigation purposes. *Water Resources Research* 15(3): 679-683.
Martin, D. and J. van Brocklin. 1989. Operating rules for deficit irrigation management. *Transactions of the ASAE.* (In Press.)
Merriam, J.L. 1966. A management control concept for determining the economical depth and frequency of irrigation. *Transactions of the ASAE* 9(4): 492-498.
Miller, D.E. and J.S. Aarstad. 1976. Yields and sugar content of sugar beets as affected by deficit high-frequency irrigation. *Agron. J.* 68: 231-234.
Miller, D.E. 1977. Deficit high-frequency irrigation of sugar beets, wheat, and beans. *Proc. water management for irrigation and drainage*, 269-282. ASCE.
Musick, J.T. 1987. Preplant irrigation in the Southern High Plains - A review. ASAE Paper No. 87-2558. St. Joseph, MI: ASAE.
Musick, J.T. and D.A. Dusek. 1969. Grain sorghum row spacing and planting rates under limited irrigation in the Texas High Plains. Tex. Agr. Expt. Sta. Misc. Pub. 932
Musick, J.T. and D.A. Dusek. 1972. Irrigation of grain sorghum and winter wheat in alternating double-bed strips. *J. Soil and Water Conserv.* 27(1): 17-20.
Musick, J.T. and D.A. Dusek. 1974. Alternate-furrow irrigation of fine textured soils. *Transactions of the ASAE* 17(2): 289-294.
Musick, J.T. and D.A. Dusek. 1975. Limited irrigation of grain sorghum in alternating strips with wheat. *Transactions of the ASAE* 18(3): 544-548.
Musick, J.T. and D.A. Dusek. 1982. Skip-row planting and irrigation of graded furrows. *Transactions of the ASAE* 25(1): 82-87, 92.
Musick, J.T., D.A. Dusek and A.C. Mathers. 1984. Irrigation water management of winter wheat. ASAE Paper No. 84-2094. St. Joseph, MI: ASAE.
Musick, J.T., D.W. Grimes and G.M. Herron. 1963. Water management, consumptive use, and nitrogen fertilization of irrigated winter wheat in western Kansas. USDA Prod. Res. Rpt. No. 75.
Musick, J.T. and K.B. Porter. 1989. In *Irrigation of Agricultural Crops*. Madison, WI: Am. Soc. Agron. (In Press.).
Musick, J.T. and F.B. Pringle. 1986. Tractor wheel compaction of wide-spaced irrigated furrows for reducing water application. *Applied Engineering in Agriculture* 2(2): 123-128.
Musick, J.T., F.B. Pringle and J.D. Walker. 1987. Sprinkler and furrow irrigation trends - Texas High Plains. *Applied Engineering in Agriculture* 3(2): 190-195.

Phene, C.J., R.A. Radulovich, J.L. Rose and M.F. Bloom. 1982. The effect of high frequency trickle irrigation on water stress of tomatoes. ASAE Paper No. 82-2521. St. Joseph, MI: ASAE.
Porter, K.B., M.E. Jensen and W.H. Sletten. 1960. The effect of row spacing, fertilizer, and planting rate on the yield and water use of irrigated grain sorghum. *Agron. J.* 52: 431-434.
Rawlins, S.L. and P.A.C. Raats. 1975. Prospects for high frequency irrigation. *Science* 188: 604-610.
Rhoades, J.D. 1989. Diagnosis of salinity problems and selection of control practices. In *Agricultural Salinity Assessment and Management*, ed. K. K. Tanji. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice. New York: Amer. Soc. Civil Engineers. (In-Press.)
Robbins, J.S. and C.E. Domingo. 1956. Potato yield and tuber shape as affected by severe soil moisture deficits and plant spacing. *Agron. J.* 48: 488-492.
Rosenthal, W.D., G.F. Arkin, P.J. Shouse and W.R. Jordan. 1987. Water deficit effects on transpiration and leaf growth. *Agron. J.* 79: 1019-1026.
Sachan, R.C. and G.D. Smith. 1988. Runoff collection and use in rainfed agriculture - The ICRISAT experience. Unpublished manuscript. ICRISAT, Patancheru, A.P., India
Sammis, T.W. and I.P. Wu. 1986. Fresh market tomato yields as affected by deficit irrigation using a micro irrigation system. *Agr. Water Management* 12: 117-126.
Savage, M.T. and E.L. Johns. 1987. How irrigation projects are sized. In *Irrigation Systems for the 21st Century*, eds. L.G. James and M.J. English. Proc. Specialty Conf. Amer. Soc. Civil Engr., Portland, OR. July 28-30, ASCE, New York.
Schneider, A.D., L.L. New and J.T. Musick. 1976. Reducing tailwater runoff for efficient irrigation water use. *Transactions of the ASAE* 19(6): 1093-1097.
Severin, M.A., D.L. Martin and R.J. Supalla. 1988. Optimal deficit irrigation management. ASAE Paper No. 88-2512. St. Joseph, MI: ASAE.
Shearer, M.N. 1978. Comparative efficiency of irrigation systems. *Proc. annual technical conference*, 183-188. The Irrigation Association.
Skaggs, R.W., D.E. Miller and R.H. Brooks. 1980. Soil water, Properties. In *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*. ASAE Monograph No. 3. St. Joseph, MI: ASAE.
Stegman, E.C., J.T. Musick and J.L. Stewart. 1980. Irrigation water management. In *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*. ASAE Monograph No. 3. St. Joseph, MI: ASAE.
Stewart, B.A. and J.T. Musick. 1982. Conjunctive use of irrigation and rainfall in semi-arid regions. *Advances in Agron.* 1: 1-23. New York: Academic Press, Inc.
Stewart, B.A., J.T. Musick and D.A. Dusek. 1983. Yield and water use efficiency of grain sorghum in a limited irrigation-dryland farming system. *Agron. J.* 75: 629-634.
Stewart, J.I. 1977. Research based strategy for conservation irrigation of field crops - Preplant planning. Unpublished Report, Dept. of Land, Air and Water Resources, University of California, Davis.
Stone, J.F., H.E. Reeves and J.E. Garton. 1982. Irrigation water conservation by using wide-spaced furrows. *Agr. Wtr. Mgmt.* 5: 309-317.
Stone, J.F., J.E. Garton, B.B. Webb, H.E. Reeves and J. Keflemariam. 1979. Irrigation water conservation using wide-spaced furrows. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 407-411.
Trimmer, W.L. 1990. Partial irrigation in Pakistan. *J. ASCE Irrigation and Drainage Division* 116(3): 342-353.
Turner, N.C. 1986. Crop water deficits: A decade of progress. *Advan. in Agron.* 39: 1-50.
Tyagi, N.K. 1987. Managing rotational canal water supplies on the farm. *Water Resources Bulletin* 23(3): 455-462.
Vittal, K.P.R., K. Vijayalakshmi and V.M.B. Rao. 1988. Interception and storage of surface run-off in ponds in small agricultural watersheds, Andhra Prodesh, India. *Irrigation Science.*
von Bernouth, R. 1983. Uniformity design criteria under limited water. Transactions of the ASAE 26(5): 1418-1421.

Musick, J.T. and W.H. Sletten. 1966. Grain sorghum irrigation-water management on Richfield and Pullman soils. *Transactions of the ASAE* 9(3): 369-371-373.
Musick, J.T., W.H. Sletten and D.A. Dusek. 1973. Evaluation of graded furrow irrigation with length of run on a Clay Loam soil. *Transactions of the ASAE* 16(6): 1075-1080, 1084.
Musick, J.T. and J.D. Walker. 1987. Irrigation practices for reduced water application - Texas High Plains. *Transactions of the ASAE* 30(2).
Nielsen, D.C. and B.R. Gardner. 1987. Scheduling irrigations for corn with the crop water stress index (CWSI). *Applied Agr. Research* 2 (5): 295-300.
Nielsen, L.W. and W.C. Sparks. 1953. Bottleneck tubers and jelly-end rot in the Russet Burbank Potato. Univ. of Idaho Research Bulletin, No. 23. (Oct.).
Norum, D.I., G. Peri and W.E. Hart. 1979. Application of system optimal depth concept. *Proc. ASCE* 105(IR4).
Painter, C.G. and J. Augustin. 1976. The effect of soil moisture and nitrogen on yield and quality of the Russett Burbank potato. *American Potato Journal* 53: 275-284.
Peri, G.W., E. Hart and D.I. Norum. 1979. Optimal irrigation depths - A method of analysis. *Proc. ASCE* 105(IR4): 341-355.
Wang, D. and I.R. McCann. 1988. An evaluation of watermark soil water content sensors for irrigation scheduling. ASAE Paper No. PNR 88-301. St. Joseph, MI: ASAE.
Winter, S.R. 1980. Suitability of sugar beets for limited irrigation in a semi-arid climate. *Agron. J.* 72: 118-123.

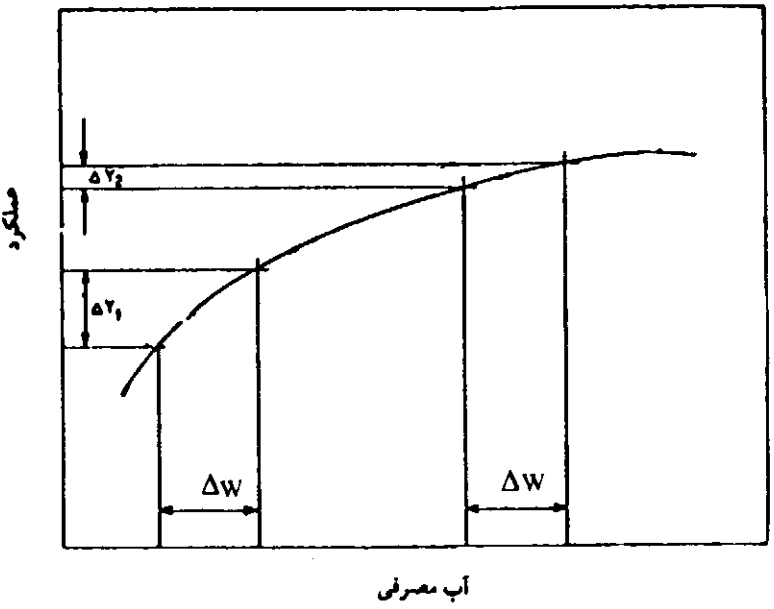
۳- توابع "مصرف آب - عملکرد" و بهینه سازی کم آبیاری:

۳۰۱- مقدمه

آب، به عنوان یکی از پارامترهای اساسی در تولید محصول، قابل بحث می‌باشد تا بتوان از آن جهت دستیابی به بیشترین تولید ، استفاده نمود.

رابطه آب مصرفی بامیزان محصول بدست آمده را تابع "مصرف آب - عملکرد" گویند. اگر مقدار آب مصرفی با W و عملکرد با Y نشان‌داده شود. رابطه زیر برقرار است:

$$y = a + bW + cW^2 \qquad (۳۰۱)$$



شکل ۳۰۱- رابطه "آب مصرفی - عملکرد"

توضیح و تفسیر منحنی :

۱- منحنی با شیب تند شروع و بتدریج از شیب آن کاسته می‌شود و این بدان معنی است که به ازای مصرف آب به مقدار معین ، ازدیاد محصول بستگی به موقعیت آن (W) در روی محور X ها دارد.

به ازای Δw معین ، ازدیاد عملکرد در آغاز زیاد است و بتدریج کم می‌شود و در نهایت بطرف صفر میل می‌کند.

۲- بازای W صفر، عملکرد از صفر تامقادیریکه بستگی به شرایط محیطی (بویژه اقلیم) دارد، تغییر پیدا می‌کند.

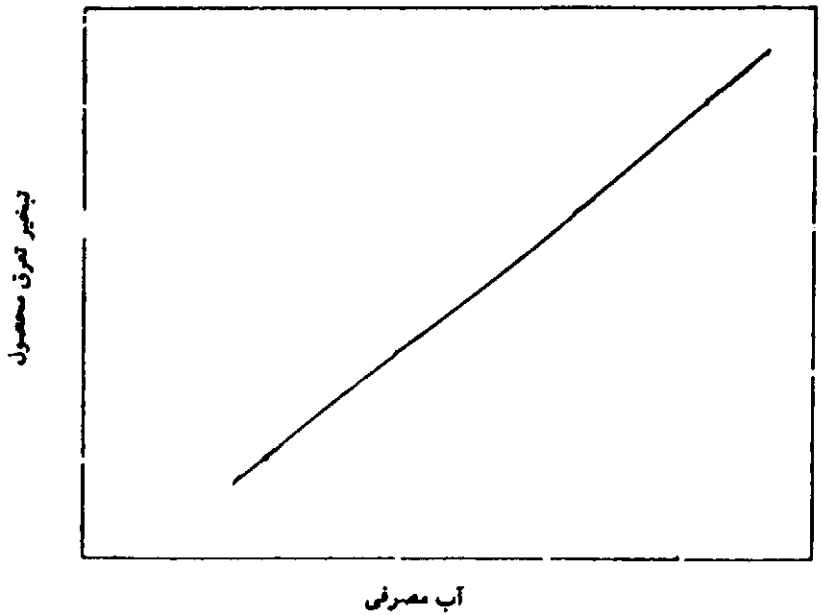
۳- راندمان مصرف آب در منطقه "کم آبیاری " خیلی بیشتر است. مقادیر $\frac{\Delta y}{\Delta w}$ در آغاز زیاد است و بتدریج کم می‌شود.

۴- ماکزیمم عملکرد به ازای مقدار معینی از مصرف آب بدست می‌آید. مصرف آب بمیزان بیش از آن نه تنهاعملکرد را افزایش نمی‌دهد بلکه موجب کاهش آن نیز می‌شود که این کاهش ممکن است زیادهم باشد.

۵- درتابع فوق، b,a و c ضرایب رابطه هستندکه بسته به نوع محصول، اقلیم واستراتژی مصرف آب ،

دارای مقادیر متفاوتی می‌باشند. تابع " آب مصرفی - عملکرد" راهمچنین می‌توان براساس " تبخیر تعرق - عملکرد" به قرار زیر تنظیم کرد:

$$y = A + B\,(ET) \qquad (۳۰۲)$$



شکل ۳۰۲ : رابطه عملکرد با تبخیر تعرق

توضیح و تفسیر رابطه :

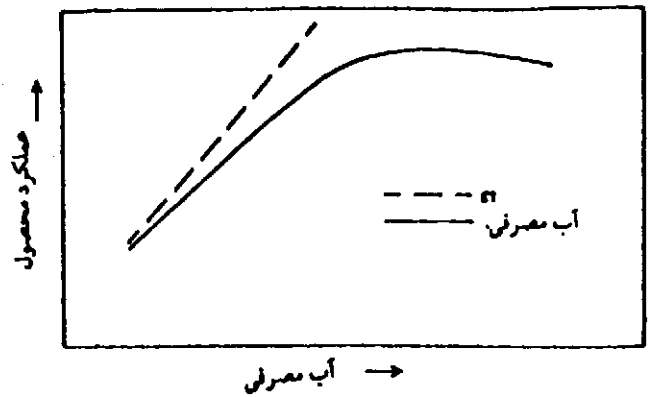
۱) رابطه بین و تبخیر تعرق و عملکرد یک رابطه خطی است که A، حداقل عملکرد در شرایط تبخیر تعرق صفر و B شیب تغییرات عملکرد به ازای افزایش تبخیر تعرق می‌باشد. البته تبخیر تعرق محصول ، تا میزان معینی می‌تواند افزایش یابد، سپس عوامل محدود کننده، سیرصعودی آنرا متوقف می‌کند.

۲) میزان شیب خط (B) و نقطه ماکزیمم آن ، تابع نوع ، واریته و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه، شرایط و نوع خاک ،کیفیت و میزان آب و شرایط اقلیمی ومحیطی است.

۳) اگر دو رابطه "آب مصرفی-عملکرد" و "تبخیر تعرق - عملکرد" را در یک سیستم مختصاتی

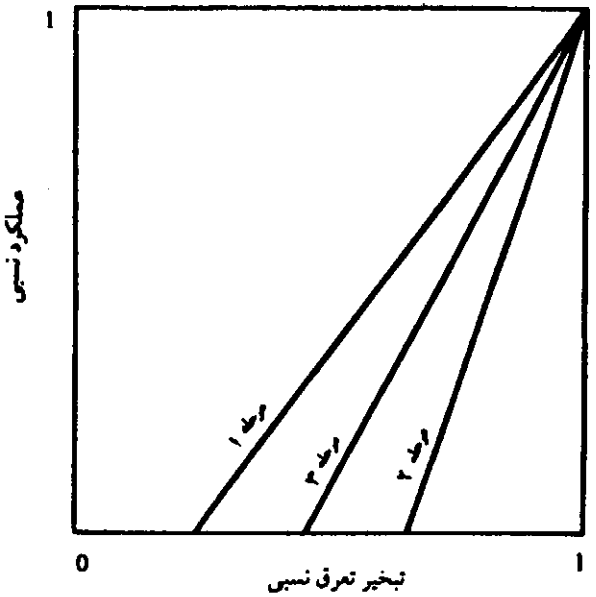
رسم نمائیم (شکل ۳۰۳) مشاهده می‌گردد که هر دو رابطه در مبدأ، از یک نقطه شروع می‌شوند ولی بتدریج از هم فاصله می‌گیرند بطوریکه بازای مقدار آب مصرفی و تبخیر تعرق برابر ، عملکرد مربوط به آب مصرفی کمتر است. این واگرائی و تفرق دو رابطه بیانگر تلفات ناشی از غیریکنواختی توزیع آب ، نفوذ عمقی و رواناب می‌باشد. (بخش ۲، کم‌آبیاری). بطوریکه ملاحظه می‌شود فاصله دو تابع درآغاز و درمنطقه کم آبیاری کمتر است.

۴) اگر آبیاری بصورت کامل صورت بگیرد و سایر شرایط زراعی نیز درحد بهینه باشد، عملکرد محصول (و نه سود خالص) ، حداکثر ممکن خواهد بود ولی اگر آبیاری بصورت ناقص صورت گیرد (کم آبیاری) ، گیاه تحت تنش قرار می‌گیرد و در این صورت اگر چه عملکرد کاهش پیدا می‌کند، ولی درمقابل ، آب صرفه جوئی می‌شود و با آب صرفه جوئی شده، اراضی بیشتری تحت کشت قرار می‌گیرد و در نهایت با اعمال " کم آبیاری تنظیم شده" و براساس توابع " آب مصرفی - عملکرد" و با استعانت از مدلهای ریاضی ، می‌توان از واحد حجم آب حداکثر استفاده را بعمل آورد که خودموضوع " بهینه سازی کم آبیاری " است.



شکل ۳۰۳: رابطه آب مصرفی و تبخیرتعرق با عملکرد

آب مصرفی و تبخیر تعرق محصول، پارامترهای چندان مناسبی برای نتیجه گیری و بحث روی عملکرد نمی‌باشند. ولی توابع تبخیر تعرق و عملکرد درهر یک از مراحل رشد گیاه می‌تواند الگوی مناسبی بحساب بیاید. مراحل اساسی رشد و نمو محصول به سه مرحله زیر تقسیم می‌شود ۱- مرحله رویش تا گلدهی ۲-مرحله نمو شاخ و برگ و گسترش تاج ۳- مرحله میوه دهی تا بلوغ (این مراحل به تفصیل در بخش کم‌آبیاری تشریح گردیده است). بطوریکه ملاحظه می‌شود (شکل ۳۰۴) اعمال تنش در هر یک از این مراحل با مقادیر متفاوت کاهش عملکرد همراه است .



شکل ۳۰۴ - رابطه بین تبخیر تعرق نسبی با عملکرد نسبی

۳۰۲ - روشهای تعیین تبخیر تعرق :

روشهای اندازه‌گیری ، تعیین و تخمین تبخیر تعرق (پتانسیل - پتانسیل ماکزیمم) بطور کامل در نشریه شماره ۳ خواهد آمد. در اینجا دو روش ،که در ارتباط با مدلهای ریاضی قرار دارد، باختصار ارائه می‌گردد.

الف) روش بیلان آب خاک

بیلان آب خاک در مزرعه و در دوره معینی و یا در فصل رشد از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$ET = I + R - D \pm \Delta M \qquad (۳۰۳)$$

که درآن :

ET: تبخیر تعرق فصل رشدبر حسب میلیمتر است.

I : مقدار آب آبیاری در فصل رشدبر حسب میلیمتر است.

R : باران موثر بر حسب میلیمتر است.

D : میزان آب زهکشی شده (شامل زهکشی عمقی و رواناب سطحی)، در دوره مورد نظر،بر حسب میلیمتر است.

ΔM : تغییرات ذخیره رطوبتی خاک در نقطه آغازین و پایانی دوره‌بر حسب میلیمتر است..

ب) روش تشتک تبخیر

$$ET_r = K_p\, E \qquad (۳۰۴)$$

ET_r : تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع در دوره معین، برحسب میلیمتر است.

K_p : ضریب تشتک است.

E : تبخیر از تشتک تبخیر در دوره معین برحسب میلیمتر است.

$$ET_c = K_c\, .ET_r \qquad (۳۰۵)$$

که در آن:

ET_c : تبخیر تعرق پتانسیل گیاه تحت کشت است.

K_c: ضریب گیاهی است.

از آنجا تبخیر تعرق پتانسیل محصول تحت آبیاری بدست می‌آید.

$$ET_c = K_c\, .\, K_p.E \qquad (۳۰۶)$$

۳۰۳ - مدلهای ریاضی :

۳۰۳۰۱ مدل پیشنهادی FAO -33

$$1- \frac{y}{y_{max}} = K_y \left(1- \frac{ET}{ET_{max}}\right) \qquad (۳۰۷)$$

که در آن :

ET : تبخیر تعرق واقعی گیاه، در فصل رشد بر حسب میلیمتر است.

$ET_{max} = ET_c$: تبخیرتعرق پتانسیل گیاه در فصل رشد برحسب میلیمتر است.

y_{max}: عملکرد ماکزیمم محصول بر حسب تن در هکتار است.

y : عملکرد واقعی محصول بر حسب تن در هکتار است.

K_y :فاکتور حساسیت محصول یا نسبت کاهش محصول است.

همچنین :

$\frac{y}{y_{max}}$: عملکرد نسبی (راندمان تولید)،

و $\frac{ET}{ET_{max}}$: تبخیرتعرق نسبی است و لذا می‌توان نوشت:

$$\frac{y_{max} - y}{y_{max}} = Ky \frac{ET_{max} - ET}{ET_{max}} \qquad (۳۰۸)$$

$$Ky = \frac{\Delta y/y_{max}}{\Delta ET/ET_{max}} \qquad (۳۰۹)$$

$$\frac{y}{y_{max}} = 1\text{-}ky\ (\ 1\text{-}\ \frac{ET}{ET_{max}}) \qquad (۳۰۱۰)$$

$Ky\ (1\text{-}\ \frac{ET}{ET_{max}})$: میزان افت عملکرد

$\frac{ET_{max}\ -\ ET}{ET_{max}}$: راندمان افت تبخیر تعرق

$$WUE = \frac{y}{ET} \times ۱۰۰ \qquad (۳۰۱۱)$$ راندمان مصرف آب

واگر رابطه "تبخیر تعرق- عملکرد" رابه صورت $Y = A + B\ (ET)$ نمایش دهیم

رابطه زیر بدست می‌آید:

$$WUE = (B + \frac{A}{ET}) \times ۱۰۰ \qquad (۳۰۱۲)$$ راندمان مصرف آب

(A و B قبلاً تعریف شده است).

مثال کاربردی مدل پیشنهادی FAO-33

این مثال ازمقاله :

Banana yield as Affected by Deficit Irrigation and pattern of lateral layouts

نوشته :

Stephen C.H young , T.W.Sammis , Assoc.Member ASAE.

I - Pai Wu , Assoc. Member. ASAE

منتشر شده در (1985) Transaction of the ASAE , j

استخراج گردیده است. تحقیق روی محصول موز که با آبیاری قطره‌ای آبیاری شده‌است انجام گردیده، و رابطه " تبخیر تعرق - عملکرد" و فاکتور حساسیت رشد را برای محصول موز بدست آمده است. رابطه بین تبخیر تعرق و عملکرد از طریق رگرسیون بدست آمده و تبخیر تعرق برحسب میلیمتر و از طریق بیلان آب محاسبه شده است.

جدول ۳۰۱: میزان تبخیر تعرق و عملکرد در تیمارهای مختلف آرایش لوله‌های آبده

تیمار	تبخیرتعرق(mm) ET	عملکرد(ton/h) y	$1-\frac{y}{y_{max}}$	$1-\frac{ET}{ET_{max}}$
(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)
۱	۱۰۹۲	۷۶/۷	۰/۴۰۵	۰/۵۶۹
۲	۱۰۹۸	۸۹/۴	۰/۳۰۷	۰/۴۸۸
۳	۱۵۰۴	۹۹/۷	۰/۲۲۷	۰/۴۰۷
۴	۱۷۰۹	۱۱۳/۱	۰/۱۲۳	۰/۳۲۶
۵	۱۹۱۸	۱۰۸/۶	۰/۱۵۸	۰/۲۴۴
۶	۲۱۲۳	۱۰۷/۷	۰/۱۶۵	۰/۱۶۳
۷	۲۳۲۹	۱۱۹/۸	۰/۰۷۱	۰/۰۸۹
۸	۲۵۳۷	۱۳۰/۹	-	-

رابطه رگرسیون $y = A + B(ET)$ بر اساس ارقام ستون (۲)و(۳) بدست می‌آید:

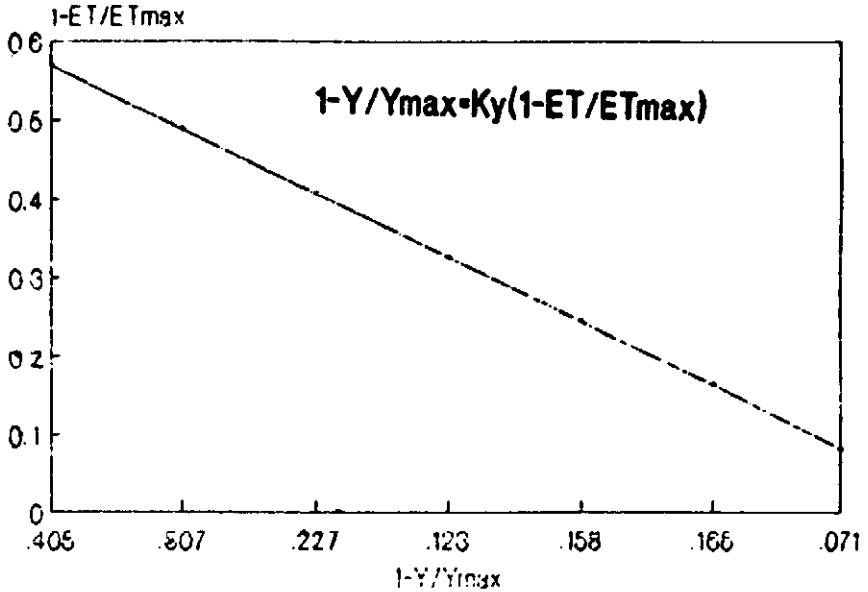
$$y = ۴۹/۱ + ۰/۰۱۳۵\ ET$$

y : عملکرد موز برحسب تن در هکتار (ton/ha) است.

ET : تبخیر تعرق واقعی سالیانه بر حسب میلیمتر (mm) است.

باتوجه به اینکه $ET_{max} = ۲۵۳۷$ میلیمتر می‌باشد بنابراین:

$$y_{max} = ۴۹/۱ + ۰/۰۳۱۵ \times ۲۵۳۷ = ۱۲۹ \quad ton/_{ha}$$



شکل ۳۰۵. رابطه بین $(1-\frac{y}{y_{max}})$ و $(1-\frac{ET}{ET_{max}})$ برای محاسبه K_y

مقادیر ($1-\frac{y}{y_{max}}$) و ($1-\frac{ET}{ET_{max}}$) رامحاسبه و آنها را در یک محور مختصات رسم می‌نمائیم . از آنجا شیب خط برابر ky، یعنی فاکتور حساسیت محصول، بدست می‌آید:

$$1-\frac{y}{y_{max}} = Ky\ (1-\frac{ET}{ET_{max}})$$

K_y = ۰/۷۲ فاکتور حساسیت محصول

اگر تیمار (۵) را مورد بررسی قرار دهیم، می‌توان نوشت:

ET سالیانه = ۱۹۱۸ mm , y = ۱۰۸/۶ $ton/_{ha}$

میزان افت نسبی عملکرد = $ky\ (1-\frac{ET}{ET_{max}})$ = ۰/۷۲ $(1-\frac{۱۹۱۸}{۲۵۳۷})$ = ۰/۱۷۵

میزان افت نسبی عملکرد =٪۱۷/۵

راندمان نسبی تولید = $\frac{y}{y_{max}}$ = (افت عملکرد -۱) = (۱- ۰/۱۷۵) = ۰/۸۲۵

راندمان نسبی تولید = ٪۸۲/۵

راندمان مصرف آب $WUE = \frac{y}{ET} \times ۱۰۰ = \frac{۱۰۸/۶}{۱۹۱/۸} \times ۱۰۰$ =٪۵۶/۶

یا

راندمان مصرف آب $WUE = B + \frac{A}{ET} = (۰/۰۳۱۵ \times ۱۰۰۰) + \frac{۴۹/۱}{۱۹۱/۸} \times ۱۰۰$

$WUE = ٪۵۷$

اگراین تیمار(تیمار شماره ۵) را درسطح یک هکتاربررسی‌نمائیم،کل‌آب صرفه‌جوئی شده‌برابرخواهد بود با:

آب صرفه جوئی شده سالیانه در هر هکتار = ۲۵۳۷ - ۱۹۱۸= ۶۱۹ mm

سطح جدیدی که می‌توان با آب صرفه جوئی شده به زیرکشت برد (در صورتیکه زمین به عنوان عامل محدود کننده نباشد)به قرار زیراست:

بنابراین : $A = \frac{۶۱۹}{۱۹۱۸} = ۰/۳۲۳ \text{ ha}$

کل سطح زیرکشت (با تبخیر تعرق سالیانه ۱۹۱۸mm) = ۱/۳۲۳ ha

وکل عملکرد برابر خواهد بود با:

کل عملکرد = ۱/۳۲۳ × ۱۰۸/۶ = ۱۴۳/۶۸ ton

بطوریکه ملاحظه می‌شود این عملکرد از عملکرد ماکزیمم (مربوط یک هکتار و آبیاری کامل) بیشتر است. البته جهت محاسبه اقتصادی و بهینه سازی لازم است ، هزینه‌های تولید در سطح اضافه شده و سودناشی از افزایش عملکرد را منظورکرد تا جهت بهینه سازی تیمارها، اقتصادی‌ترین آن را برگزید.

۳۰۲۰۲- مدل توانی تبخیر تعرق :

فرم تابع به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{y}{y_{max}} = \left(\frac{ET_1}{ET_{1max}}\right)^{\lambda_1} \left(\frac{ET_2}{ET_{2max}}\right)^{\lambda_2} \ldots \left(\frac{ET_n}{ET_{nmax}}\right)^{\lambda_n} \quad (۳۰۱۳)$$

که در آن:

ET_n : تبخیر تعرق واقعی گیاه (در شرایط اعمال کم آبیاری) در هر مرحله از رشد بر حسب میلیمتر است

ET_{nmax} : تبخیر تعرق پتانسیل گیاه درهر مرحله از رشد گیاه ، برحسب میلیمتر است.

y : میزان عملکرد واقعی پس از اعمال کم آبیاری، برحسب تن در هکتار است.

y_{max} : میزان عملکرد ماکزیمم وقتی کم آبیاری اعمال نشود (و در شرایط تبخیر تعرق پتانسیل محصول ET_c) برحسب تن در هکتار است.

λ_n : حساسیت نسبی گیاه به کم آبیاری در طول مرحله رشد است.

اندیس‌های ۱ تا n ، مراحل مختلف رشد و یا مراحل اعمال کم آبیاری است با این توضیح که می‌توان در همه مراحل رشد کم‌آبیاری را بطور یکسان نیز اعمال نمود .

بافرض اینکه کم آبیاری بر اساس ۲۵٪ تبخیر تعرق پتانسیل گیاه (ET_c) و درتمام دوران رشد انجام بگیرد، می‌توان نوشت:

$$\frac{y}{y_{max}} = (0.25)^{\lambda_1} . (0.25)^{\lambda_2} \ldots (0.25)^{\lambda_n}$$

از نتایج آزمایشات، y ، y_{max} بدست می‌آید.

مقادیر مجهول $\lambda 1$ تا λn با اعمال n - ۱ سطح کم‌آبیاری دیگر، (تعداد n - ۱ معادله) بدست می‌آید. با داشتن مقادیر $\lambda 1$ تا λn و قراردادن آنها درتابع تولید، $\frac{ET}{ET_{max}}$ را متغیر گرفته (اعمال کم آبیاری در سطوح مختلف) و سپس مناسبترین حد اعمال کم آبیاری را برای مراحل مختلف رشد از طریق آنالیز عددی بدست می‌آوریم .

بااستفاده از این مدل ریاضی، امکان بهینه‌سازی کم آبیاری ، جهت دستیابی به استفاده ماکزیمم درازای واحد حجم آب ، فراهم می‌شود.

تبصره: درشرایط ایران ، در صورتیکه دقت زیاد موردنیاز نباشد، و یا محاسبات کلاسیک (مبتنی بر ET و ET_c) مقدور نباشد، می‌توان بجای ET از آب موردنیاز خالص که درعمل با آن کم آبیاری می‌شود، و بجای ET_c از آب موردنیاز ناخالص که برای آبیاری کامل و از طریق محاسبه جیره نظری d_n بدست می‌آید، استفاده کرد.

۳۰۳۰۳- مدل جنسن (Jensen , 1968):

$$\frac{y}{y_{max}} = (\frac{T}{T_{max}})_1^{\lambda_1} (\frac{T}{T_{max}})_2^{\lambda_2} \dots (\frac{T}{T_{max}})_n^{\lambda_n} \qquad (۳۰۱۴)$$

که در آن :

T :تعرق واقعی گیاه تحت شرایط کم آبیاری بر حسب میلیمتراست.

T_{max} : تعرق گیاه تحت شرایط تبخیر تعرق پتانسیل (ET_c)بر حسب میلیمتر است.

$\frac{T}{T_{max}}$: تعرق نسبی در طول دوره‌های مختلف رشد است.

λi : فاکتور وزنی، برای مراحل مختلف رشد، ۱ تا nاست.

مقادیر λ بطورتجربی از طریق مشاهده و یا از راه تحقیق بدست می‌آید.

راسموسن و هانکس (Rasmussen & Hanks(1978, براساس تبخیر تعرق روزانه گندم، رابطه تعرق نسبی را با عملکرد برقرار کردند و بااستفاده از روش مشاهده‌ای عملکرد را برای سالهای گذشته بدست آوردند و ملاحظه کردند که عملکرد اندازه‌گیری شده با عملکردهای واقعی سالهای قبل هماهنگی داشته و تفاوت آنهااندک بوده‌است.

۳۰۳۰۴- مدل مین‌هاس و همکاران، (Minhas, et , al , 1974):

مین‌هاس در سال ۱۹۷۴ ، مدل مشابهی برای پیش‌بینی عملکرد، ترجیحاً از بکارگیری نسبت «تبخیرتعرق‌نسبی» به تعرق درطول مراحل مختلف رشد ارائه داد:

$$Y = a\left[1-(1-X_1)^2\right]^{b_1}\left[1-(1-X_2)^2\right]^{b_2}\ldots\left[1-(1-X_n)^2\right]^{b_n} \quad (۳۰۱۵)$$

که درآن:

a : پتانسیل عملکرد درشرایط نبودتنش آبی است.

x_j: تبخیر تعرق نسبی مراحل مختلف رشد (از 1تا J)است.

ضرایب ثابت (b_1تا ....b_n) از راه تحقیق بدست می‌آید.

۳۰۳۰۵ مدل انگلیش وهمکاران (English et al , 1990):

این مدل که الگوریتمی برای استفاده بهینه از آب برای محصول است توسط انگلیش و ارلوب

(English & orlob) ارائه شده است. مدل بهینه سازی را در دو حالت زیر در نظر می‌گیرد:

الف) بهینه سازی هنگامی که آب محدود نیست .

ب) بهینه سازی هنگامی که آب محدود است .

توضیح اینکه در شرایطی هم که یک عامل وابسته به آب محدود باشد این امر به مثابه محدودیت آب بحساب می‌آید. برای مثال محدودیت انرژی قابل دسترس ،همانند محدودیت در میزان آب قابل پمپاژ محسوب می‌گردد.

آقای انگلیش این مدل، و روابط مربوطه را براساس پارامترهای تعریف شده زیر طراحی و ارائه نمود:

A : کل سطح زیر کشت و تحت آبیاری بر حسب هکتار.

WT : کل آب تامین شده بر حسب متر مکعب.

W : مقدار آب مصرفی برای واحد سطح مزرعه بر حسب متر مکعب در هکتار.

y (W): عملکرد درواحد سطح، تابعی از آب مصرفی برحسب کیلوگرم در هکتار.

c (W) : هزینه‌های تولید درواحد سطح ، تابعی از آب مصرفی برحسب واحد پول .

P_c : قیمت واحد وزن محصول (کیلوگرم) برحسب واحد پول .

i_I (W): درآمد خالص از واحد سطح برحسب واحد پول در هکتار.

I_f(W) : درآمد خالص مزرعه از کل اراضی آبیاری شده برحسب واحد پول .

I_f(W) براساس تابعی از درآمد خالص از واحد سطح تحت آبیاری به قرار زیر بدست می‌آید:

$$I_f(W) = A \cdot i_I (W) \qquad (۳۰۱۶)$$

درآمد خالص از هر هکتار تابعی از قیمت محصول، عملکرد، هزینه‌ها و آب مصرفی است.

$$i_I(W) = P_c y\,(W) - c(W) \qquad (۳۰۱۷)$$

سطح آبیاری شده (A)، ممکن است، تابعی از آب مصرفی باشد. بدین معنی که اگر منابع آب محدود باشد، مدیر مزرعه می‌تواند زمین کافی را تحت آبیاری قرار دهد، مشروط به اینکه با استفاده از "کم آبیاری" سطح زیر کشت را با میزان مصرف آب هماهنگ نماید.

با توجه به کل حجم آب تامین شده و عمق آب مصرفی در برنامه ریزی کم آبیاری ، کل سطح آبیاری شده برحسب هکتار از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$A = \frac{WT}{W} \qquad (۳۰۱۸)$$

تبصره: مساحت A بسته به اینکه آبیاری بطور کامل، و یا بصورت کم آبیاری انجام بگیرد متفاوت خواهد بود و به سطح کم آبیاری بستگی خواهد داشت.

مقدار آب مصرفی که عملکرد ماکزیمم را بهمراه دارد (W_m) ، می‌تواند بامشتق گیری ازتابع تولید ، تخمین‌زده شود:

$$\frac{\partial y(W)}{\partial W} = 0 \qquad (۳۰۱۹)$$

(بدیهی است Wای که درمعادله (۳۰۱۹) صدق می‌کند برابر W_m می‌باشد.)

برای تعیین مقدار آب مصرفی که سود خالص را در شرایط محدودیت زمین به ماکزیمم می‌رساند، از معادله (۳۰۱۶)،

بر حسب W، مشتق جزئی گرفته می‌شود:

$$\frac{\partial I_f(W)}{\partial W} = A \frac{\partial i_l(W)}{\partial W} + i_l(w) \frac{\partial A}{\partial W} \qquad (۳۰۲۰)$$

وقتی‌که زمین عامل محدوده کننده باشد، A ثابت فرض می‌شود و با مساوی صفر قرار دادن مشتق و حذف A ، مقدار بهینه آب مصرفی (W_l) ، با معادله زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\partial i_l(W)}{\partial W} = 0 \qquad (۳۰۲۱)$$

این معادله مشتق معادله (۳۰۱۷) است که مساوی صفر قرار داده شده است.

وقتیکه آب عامل محدود کننده است ، A تابعی از W است و همچنانکه ذکر شد مصرف بهینه آب (W_w) با معادله (۳۰۲۰) تعیین می‌گردد.

مشتقات معادله (۳۰۲۰) و (۳۰۲۱) بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial i_l(W)}{\partial W} = P_c \frac{\partial y(W)}{\partial W} - \frac{\partial c(W)}{\partial W} = 0 \qquad (۳۰۲۲)$$

معادله برای اپتیمم آب مصرفی وقتیکه زمین محدوده کننده باشد(W_1)، به قرار زیر نوشته می‌شود:

$$P_c \frac{\partial y(W)}{\partial W} = \frac{\partial c(W)}{\partial W} \qquad (۳۰۲۳)$$

و زمانیکه بامحدودیت آب مواجه باشیم‌خواهیم داشت:

$$\frac{\partial I_f(W)}{\partial W} = 0 \qquad (۳۰۲۴)$$

و

$$A\frac{\partial i_l(W)}{\partial W} + i_l(W)\frac{\partial A}{\partial W} = 0 \qquad (۳۰۲۵)$$

وقتی که سطح زیر کشت تابعی از آب مصرفی باشد:

$$\frac{\partial A}{\partial W} = -\frac{WT}{W^2} \qquad (۳۰۲۶)$$

با جایگزینی درمعادله (۳۰۲۵) خواهیم داشت:

$$\frac{WT}{W}\left(P_c\frac{\partial y(W)}{\partial W} - \frac{\partial c(W)}{\partial W}\right) + (p_c\, y(W) - c(W))\left(-\frac{WT}{W^2}\right) = 0 \qquad (۳۰۲۷)$$

و با ساده کردن معادله فوق:

$$W\left[P_c\frac{\partial y(W)}{\partial W} - \frac{\partial c(W)}{\partial W}\right] = P_c y(W) - c(W) \qquad (۳۰۲۸)$$

W ای که در معادله (۳۰۲۸) صدق می‌کند، W_W می‌باشد.

حل معادله (۳۰۲۳) و (۳۰۲۸) نسبت به W ، مقادیر آب مصرفی بهینه ، W_I و W_W را بدست می‌دهد. سمت چپ معادله (۳۰۲۳) بیانگر تولید و سمت راست این معادله ، بیانگر هزینه‌هاست .

عمق بهینه آب مصرفی درنقطه‌ای اتفاق می‌افتد که شیب دو منحنی که در شکل ۲.۲ (بخش کم‌آبیاری)نشان داده شده است، برابر شود (W_I) و این هنگامی است که زمین عامل محدودکننده باشد.

برای بدست آوردن در آمد خالص از هر هکتار، کافی است عمق آب مصرفی مربوطه را در معادله (۳۰۱۷) قراردهیم.

برای مثال باجایگزینی W_m درمعادله (۳۰۱۷)، درآمد خالص از یک هکتار مساحت تحت آبیاری بدست می‌آید:

$$i_l (W_m) = P_c\, y (W_m) - c (W_m) \qquad (۳۰۲۹)$$

و درآمد خالص در کل مساحت تحت آبیاری از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$I_f (W_m) = \frac{WT}{W_m}. i_l (W_m) \qquad (۳۰۳۰)$$

برای مثال اگر تابع تولید را به صورت معادله درجه ۲ و تابع هزینه‌ها را درجه یک فرض نمائیم، در اینصورت خواهیم داشت :

$$y(W) = a_1 + b_1W + c_1W^2 \qquad (۳۰۳۱)$$

$$c(W) = a_2 + b_2W \qquad (۳۰۳۲)$$

که $y(W)$, تابع تولید (عملکرد) و $c(W)$, تابع هزینه‌ها است. و a_1 , b_1 , c_1 , a_2 وb_2 ضرائب ثابت رابطه می‌باشند که بر اساس نوع محصول و آب مصرفی و درآمدها و هزینه‌ها، بدست می‌آیند. W عمق آب مصرفی می‌باشد.

با مشتق گیری ازتابع تولید و مساوی صفر قراردادن آن، عمق آب مصرفی درآبیاری کامل (عملکرد ماکزیمم یا درآمد ناخالص ماکزیمم) بدست می‌آید:

$$\frac{\partial y(W)}{\partial W} = b_1 + 2c_1W = o \qquad (۳۰۳۳)$$

$$W_m = -\frac{b_1}{2c_1} \qquad (۳۰۳۴)$$

اپتیمم عمق آب مصرفی، وقتیکه آب محدودیت ندارد براساس معادله ۳۰۲۳ به قرار زیر بدست می‌آید:

$$W_l = \frac{b_2 - P_c\, b_1}{2P_c\, c_1} \qquad (۳۰۳۵)$$

و

اپتیمم عمق آب مصرفی، وقتیکه با محدودیت آب مواجه هستیم براساس معادله (۳۰۲۸)، بقرار زیر بدست می‌آید:

$$W_W = \left(\frac{P_c a_1 - a_2}{P_c\, c_1}\right)^{0.5} \qquad (۳۰۳۶)$$

(عملیات محاسباتی جهت بدست آوردن فرمولهای (۳۰۳۵) و (۳۰۳۶) دربخش ۲، بخش کم آبیاری، آمده‌است)

باتوجه به منحنی توابع تولید وهزینه ، عمقی از آب مصرفی (W_{el}) وجود دارد که سود خالص ناشی از آن برابر سودخالص ناشی از آبیاری کامل (W_m)می‌شود.

$$W_{el} = \frac{b_2 - P_c b_1 + Z_1}{2P_c\, c_1} \qquad (۳۰۳۷)$$

$$Z_1 = [(P_c b_1 - b_2)^2 - 4P_c\, c_1 (\frac{P_c b_1^2}{4c_1} - \frac{b_1 b_2}{2c_1})]^{0.5} \qquad (۳۰۳۸)$$

مثال کاربردی مدل انگلیش

این مثال از :

English . M.J. 1990a , Deficit irrigation : Analytical Framework

j . ASCE (IR), 116(3) , 399 - 412

استخراج گردیده است.

مثال بیانگر چگونگی کاربرد معادلات فوق می‌باشد و تحقیقی است که توسط انگلیش وهمکارانش در سال ۱۹۸۷ در حوضه کلمبیا (ایالات متحده)، برروی گندم زمستانه درمزارع مختلف انجام شده است. در این بررسی توابع ریاضی "آب‌مصرفی-عملکرد" و " آب مصرفی- هزینه‌ها" بدست آمده و عمق بهینه آب مصرفی در دوحالت محدودیت منابع آب و محدودیت زمین، تجزیه و تحلیل گردیده است.

کل عمق آب مصرفی سالیانه در آبیاری کامل برابر ۶۱۵ میلیمتر براساس مدل پنمن (کالیبره شده با محل) بدست آمده است، لذا کل حجم آب مصرفی برحسب متر مکعب در هر هکتار ۶۱۵۰ متر مکعب خواهد بود.

در حالت بدون آبیاری (دیم)، عملکرد برابر ۱۹۵۰ کیلوگرم در هکتار بوده است.

تابع تولید دراین تحقیق بصورت زیر بدست آمد:

$$y(W) = ۱۴۴۵ + ۲۴۲/۱۳ W - ۱/۹۶۹۵۴ W^۲$$

که در آن:

y(W): عملکرد گندم بر حسب کیلوگرم در هکتاراست.

W : عمق آب مصرفی برحسب سانتیمتر است.

تابع هزینه براساس داده های جدول ۳۰۲ بصورت زیر بدست آمد:

$$c(W) = ۴۸۲/۳ + ۷/۷۹ W$$

که در آن c(W) کل هزینه‌های تولید می‌باشد.

(در ادامه محاسبات قیمت گندم (P_c) هر کیلو، ۴۵۰ ریال ($۰/۱۵) ، در نظر گرفته می‌شود.)

توابع تولید و هزینه در شکل‌های (۳۰۶) ، (۳۰۷) و (۳۰۸)، نشان داده شده است.

جدول ۳۰۲ - هزینه‌های ثابت و متغیرتولیددرهکتار (برحسب دلار آمریکا)

انواع هزینه‌ها	هزینه‌های تولید ($/ha)
۱- هزینه‌های ثابت (سالیانه):	
- تجهیزات و لوازم آبیاری	۱۵۲/۳۶
- ماشین آلات مزرعه	۱۱۶/۲۳
- عملیات زراعی (شخم زدن ،کاربرد مواد شیمیائی و کاشت)	۱۱۴/۷۳
کل هزینه‌های ثابت	۳۸۳/۳۲
۲- هزینه‌های متغیر با دو سطح عملکرد:	
الف - بدون آبیاری:(تولید ۱۹۵۰ کیلوگرم در هکتار).	
- هزینه کودنیتروژنه ،۲۲/۵ کیلوگرم در هکتار (از قرار هر کیلوگرم ۱/۲۷۶ دلار)	۲۸/۷۰
- بذر	۶/۹۲
- هزینه‌های برداشت	۶۳/۳۶
کل هزینه‌هامتغیر در حالت دیم (بدون آبیاری)	۹۸/۹۸
ب- باآبیاری :(۴/۲ سانتیمتردر هرنوبت و با دهنوبت‌آبیاری (تولید ۸۱۳۸ کیلوگرم درهکتار)	
- هزینه‌های آبیاری	۱۳۷/۵۹
-کود نیتروژنه ، ۱۱۷/۹ کیلوگرم در هکتار (از قرار هر کیلوگرم ۱/۲۷۶ دلار)	۱۵۰/۴۴
- بذر	۲۹/۶۵
- هزینه‌های برداشت	۱۰۹/۷۶
کل هزینه‌های متغیر در حالت آبیاری	۴۲۷/۴۴

کل هزینه‌های تولید (برای یک هکتار، و برحسب دلار آمریکا) از حاصل جمع هزینه‌های ثابت و متغیر بدست می‌آید:

کل هزینه‌های تولید در شرایط بدون آبیاری = ۳۸۳/۳۲ + ۹۸/۹۸ = ۴۸۲/۳۰ ($/ha)

کل هزینه‌های تولید در شرایط آبیاری = ۳۸۳/۳۲ + ۴۲۷/۴۴ = ۸۱۰/۷۶ ($/ha)

باتوجه به تابع هزینه‌های تولید:

$$c(W) = a_2 + b_2W$$

بامحاسبات فوق و براساس داده‌های جدول ۳۰۲ کل هزینه‌های تولید به قرار زیر بدست می‌آید:

کل هزینه‌های تولید $c(W) = ۸۱۰/۷۶$

$$a_2 = ۴۸۲/۳۰$$

و با قراردادن در رابطه فوق:

$$۸۱۰/۷۶ = ۴۸۲/۳۰ + b_2\ (۴۲/۲)$$

و بدین ترتیب ضریب زاویه خط هزینه (b_2) بدست می‌آید:

$$b_2 = ۷/۷۹$$

و در نتیجه تابع هزینه‌های تولید بصورت زیرنوشته می‌شود:

$$c(W) = ۴۸۲/۳ + ۷/۷۹\ W$$

ماکزیمم عمق آب مصرفی برای دستیابی به عملکرد ماکزیمم (W_m):

$$W_m = -\frac{b_1}{2c_1} = -\frac{۲۴۲/۱۳}{۲(-۱/۹۶۹۵۴)} = ۶۱/۵cm$$

عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت زمین (W_l) به قرار زیر بدست می‌آید:

$$W_l = \frac{b_2 - p_c b_1}{2p_c\ c_1} = \frac{۷/۷۹ - ۰/۱۵ \times ۲۴۲/۱۳}{۲(۰/۱۵)\ (-\ ۱/۹۶۹۵۴)} = ۴۸/۲cm$$

عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت آب(W_w):

$$W_w = (\frac{P_c\ a_1 - a_2}{P_c\ c_1})^{0.5} = [\frac{۰/۱۵ \times ۱۴۴۵ - ۴۸۲/۳}{۰/۱۵ \times (-۱/۹۶۹۵۴)}]^{۰/۵} = ۳۰cm$$

برای بدست آوردن عمق معادل آبیاری کامل، ابتدا مقدار Z_1 را محاسبه می‌نمائیم.

$$Z_1 = [(p_c b_1 - b_2)^2 - 4P_c\ c_1\ (\frac{P_c b_1^{\ 2}}{4c_1} - \frac{b_1\ b_2}{2c_1})]^{0.5}$$

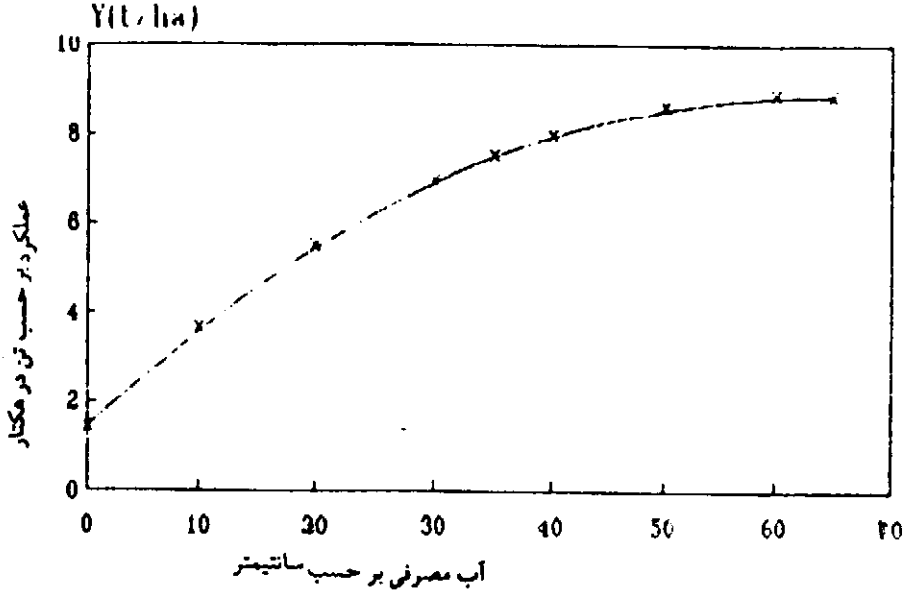
$$Z_1 = ۷/۷۹$$

عمق معادل آب مصرفی که سودناشی از آن برابر کاربرد ماکزیمم عمق آب مصرفی است، به قرار زیر محاسبه می‌شود:

$$W_{e1} = \frac{b_2 \cdot p_c b_1 + Z_1}{2 p_c c_1} = \frac{۷/۷۹ - ۰/۱۵ \times ۲۴۲/۱۳ + ۷/۷۹}{۲(۰/۱۵)\ (-۱/۹۶۹۵۴)} = ۳۴/۶\text{cm}$$

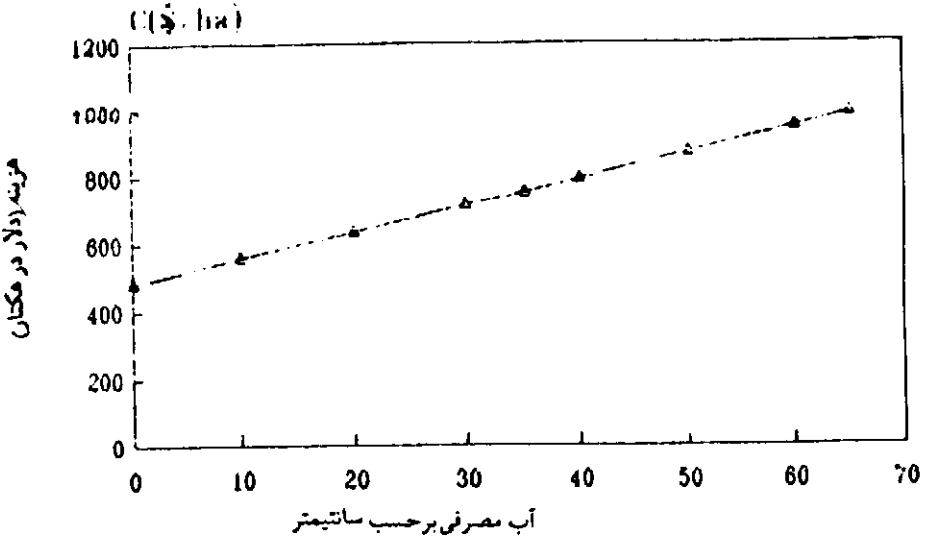
$$We1 \cong ۳۵\ \text{cm}$$

$$y(W) = a_1 + b_1 W + c_1 W^2$$

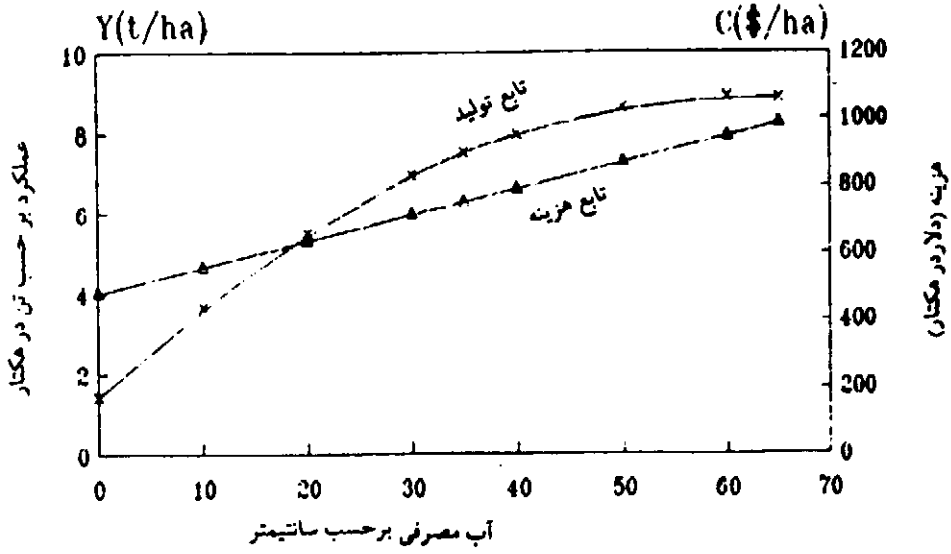


شکل ۳.۶ - رابطه بین عمق آب مصرفی با عملکرد (درآمد ناخالص)

$$c(W) = a_2 + b_2W$$



شکل ۳.۷ - رابطه بین عمق آب مصرفی و هزینه‌ها



شکل ۳.۸- رابطه بین عمق آب مصرفی با هزینه و عملکرد

جدول ۳۰۳ رابطه بین عملکرد، هزینه و سود خالص با آب مصرفی

ردیف	عمق آب مصرفی W (cm)	عملکرد y(W) (Kg/ha)	هزینه c(W) ($/ha)	$i_1(W)=p_c y(W)- c(W)$ سودخالص ($/ha)
۱	۰	۱۴۴۵	۴۸۲/۳	-۲۶۵/۵۵
۲	۱۰	۳۶۶۹	۵۶۰	-۹/۶
۳	۲۰	۵۴۹۹	۶۳۸	۱۸۷
۴	۳۰	۶۹۳۶	۷۱۶	۳۲۴
۵	۳۵	۷۵۰۶	۷۵۵	۳۷۱
۶	۴۰	۷۹۷۹	۷۹۴	۴۰۳
۷	۴۸/۲	۸۵۴۰	۸۵۸	۴۲۳
۸	۶۱/۵	۸۸۸۶	۹۶۱	۳۷۱
۹	۷۰	۸۷۴۳	۱۰۲۷	۲۸۴

تعبیر وتفسیر جدول فوق :

۱) باافزایش عمق آب مصرفی ، میزان عملکرد تا حدمشخصی صعودی و سپس نزولی می‌شود.

۲) باافزایش عمق آب مصرفی، میزان هزینه‌ها یک روند صعودی را طی می‌کنند.

۳) میزان سودخالص با افزایش عمق آب مصرفی در ابتدا، روند صعودی داشته و پس به صورت نزولی در می‌آید.

۴) درحالت محدودیت منابع آب، با بکارگیری ۵۰ درصد ماکزیمم عمق آب مصرفی (۵۰٪ آبیاری کامل) سود خالص فقط ۱۳٪ کاهش می یابد.

۵) در ردیفهای ۱ و ۲ که سود خالص منفی گردیده است بدان معنی است که از ظرفیت سیستم و تجهیزات بطور کامل استفاده نشده است. در صورتیکه هزینه‌های مربوطه، تعهدگردیده است.

۶) دراین مثال شاخص مقایسه " عملکرد درواحد سطح" معیار مقایسه مناسبی نمی‌باشد، زیرا با توجه به جدول فوق ، درحالت W_I = ۴۸/۲ سانتیمتر، میزان عملکرد ۸۵۴۰ کیلوگرم درهکتار و در حالت W_m=۶۱/۵ سانتیمتر، میزان عملکرد ۸۸۸۶ کیلوگرم در هکتار است اما سود خالص در حالت اول بیشتر است.

۷) با بکارگیری عمق آب مصرفی معادل W_{el}=۳۵ سانتیمتر و W_m = ۶۱/۵ سانتیمتر سودخالص در هر دو حالت برابراست پس با توجه به شرایط این مثال منطقی است که عمق آب مصرفی ۳۵ سانتیمتر بکار رود. که این عمق، "(در رابطه با حداکثرسود)" عمق معادل آبیاری کامل" نامیده می‌شود.

۸) به هر شیوه‌ای که بتوان راندمان مصرف آب را بهبود بخشیده و سود خالص بیشتری را عاید کرد، و یا عملکرد را افزایش داد، هر یک در شرایط خود می‌تواند به عنوان یک تکنیک مدیریتی ، کاربرد داشته باشد.

۳۰۳۰۶- مدل کامپیوتری هانکس (Hanks, 1974):

این مدل میزان تبخیر و کمبود آب را با محاسبه تبخیراز بالاترین قسمت لایه خاک مزرعه باتوجه به معادله زیر بدست می‌آورد:

$$E = E_{max} - t^{0.5} \qquad (۳۰۳۹)$$

که در آن :

E: میزان تبخیرمزرعه بر حسب میلیمتر در روز (mm/day)است.

E_{max}: ماکزیمم تبخیر مزرعه بر حسب میلیمتر در روز (mm/day) است.

t : مدت زمان پس از آبیاری (یا بارندگی) برحسب روز است.

$$E_{max} = E_o - T_{max} \qquad (۳۰۴۰)$$

T_{max}: ماکزیمم تعرق گیاهی بر حسب میلیمتردر روز است.

Eo : تبخیر از تشتک کلاس A کالیفرنیابر حسب میلیمتر در روز است.

میزان تعرق باتوجه به مقدار رطوبت خاک از معادلات زیر محاسبه می‌شود:

$$T = T_{max} \quad \text{خواهیم داشت:} \quad \frac{SW}{ASW} > 0.5 \quad \text{به ازای} \qquad (۳۰۴۱)$$

$$T = T_{max} \frac{2SW}{ASW} \quad \text{خواهیم داشت:} \quad \frac{SW}{ASW} < 0.5 \quad \text{به ازای} \qquad (۳۰۴۲)$$

دراین روابط :

SW : میزان کل آب موجود درخاک درعمق توسعه ریشه‌ها است.

ASW : کل آب قابل دسترس درخاک در عمق توسعه ریشه‌ها است.

هنگامی که خاک بوسیله باران یا آبیاری مرطوب می‌شود لایه بالائی مادام که SW= ASW باقی‌می‌ماند مرطوب خواهد بود. اگر آب بیشتر از مقدار لازم بخاک داده شود به لایه بعدی اضافه می‌شود. این روند در طول نیمرخ خاک ادامه می‌یابد، و در صورتیکه کل آب اضافه شده از ظرفیت ذخیره آب خاک ، بیشتر شود، زهکشی عمقی صورت خواهد پذیرفت .

بااین مدل، ET که در رابطه با خاک ، اقلیم و محصول قرار دارد محاسبه می‌شود.

برای محاسبه عملکرد ماده خشک ازمعادله هانکس (Hanks) استفاده می‌شود:

$$\frac{y}{y_{max}} = \frac{T}{T_{max}} \qquad (۳۰۴۳)$$

دراین معادله فرض شده است که رابطه خطی "تبخیر تعرق - عملکرد" فقط دریک سال کاربرد دارد. این رابطه عموماً از سالی به سال دیگر تغییر می‌کند. در ضمن با وجود تشابه این مدل با مدل FAO-33 ، در اینجانیاز به ضریب ky وجود ندارد. ولی لازم است میزان T_{max} (تعرق ماکزیمم) برآورد گردد.

میزان عملکرد ماکزیمم از سالی به سال دیگر متفاوت است. بنابراین معادله فوق، برای مقایسه تیمارها و شرایط مختلف در یک سال مناسبتر است.

فهرست منابع و مأخذ

(الف)

Irrigation of Field Crops.

Principles And Practices

S.S Prihar

Professor of Soil Physics and Head, Department of Soils, Punjab Agricultural University, Ludhiana , and

B.S. SANDHU

Senior Scientist (irrigation), Department of Soils
Punjab Agricultural University, ludhiana

Published by

Publications and Information Division Indian Council of Agricultural Researeh Krishi Anusandhan

Arkley, R.J. 1963. Relationship between plant growth and transpiration. *Hilgardia* 34: 559-84.
Arora, V.K. and Prihar, S.S. 1983. Regression models of dryland wheat yields from water supplies in Ustifluvent in Punjab, India. *Fld Crops Res* 6: 41-50.
Barrs, H.D. 1968. Determination of water deficits in plant tissues. In *Water Deficits and Plant Growth*. pp. 236-347. Kozlowski T.T. (ed) Academic Press, New York.
Baver, L.D., Gardner, W.H. and Gardner, W.R. 1976. *Soil Physics*. Wiley Eastern Ltd, New Delhi.
Briggs, L.J. and Shantz, H.L. 1913. The water requirements of plants. I. Investigations in great plains in 1910 and 1911. *U.S. Dep. Agric. Bur. Pl. Indus. Bull.* 284.
Cox, L.M. and Boersma, L. 1967. Transpiration as a function of soil temperature and soil water stress. *Pl. Physiol.* 42: 550-56.
Denmead, O.T. and Shaw, R.H. 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agron. J.* 54: 385-90.
Dewit, C.T. 1958. *Transpiration and Crop Yields*. Institute of Biology and Chemical Research on Field Crops and Herbage. Wageningen, Netherlands, Mededeling 59.
Gajri, P.R. and Prihar, S.S. 1985. Rooting, water use and yield relations in wheat on loamy sand and sandy loam soils. *Fld Crops Res.* 12: 115-32.
Gardner, W.R. and Ehlig, C.F. 1965. Physical aspects of internal water relations of plant leaves. *Pl. Physiol.* 40: 705-13.
Hanks, R.J. 1974. Model for predicting plant yield as influenced by water use. *Agron. J.* 66: 660-65.
Hanks, R.J. and Rasmussen, V.P. 1982. Predicting crop production as related to plant water stress. *Adv. Agron.* 35: 193-215.
Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 24: 519-70.
Hsiao, T.C., O'Toole, J.C. and Tomar, V.S. 1980. Water stress as a constraint to crop production in tropics. In *Priorities for Alleviating Soil-Related Constraints to Food Production in the Tropics*. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Philippines.
Jensen, M.E. 1968. Water consumption by agricultural plants. In *Water Deficits and Plant Growth II*. Kozlowski T.T. (ed) Academic Press, New York.
Kumar, Ramesh. 1981. *Effect of Soil Water Content, Rooting Density and (LAI) on Water Uptake by Wheat*. M.Sc. Thesis, Punjab Agric. Univ., Ludhiana.
Lehane, J.J. and Staple, W.J. 1965. Influence of soil texture, depth of soil moisture storage and rainfall distribution on wheat yields in south-western Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 45: 207-19.
Minhas, B.S., Parikh, K.S. and Srinivasan, T.N. 1974. Towards the structure of a production function for wheat yield with dated inputs of irrigation water. *Water Resour. Res.* 10: 383-93.
Pal, D. and Varade, S.B. 1974. Fabrication and performance of pressure-bomb apparatus for the measurement of leaf-water potential. *Indian J. agric. Sci.* 44: 259-61.
Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. Lond.* 193: 120-45.
Penman, H.L. 1956. Evaporation: An introductory survey. *Neth. J. agric. Sci.* 4: 9-29.
Peter, D.B. and Russel, M.B. 1959. Relative water losses by evaporation and transpiration in field corn. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 23: 170-73.
Prihar, S.S., Khera, K.L., Sandhu, K.S. and Sandhu, B.S. 1976. Comparison of irrigation schedules based on pan evaporation and growth stages in winter wheat. *Agron. J.* 68: 650-53.

Rasmussen, V.P. and Hanks, R.J. 1978. Spring wheat model for limited water conditions. *Agron. J.* 70: 940-44.

Ritchie, J.T. 1976. Soil water deficits effects on plant processes. *Agron. Abstr.* 11 pp.

Ritchie, J.T., Burnett, E., and Henderson, R.C. 1972. Dryland evaporative flux in sub-humid climate. III. Soil water influence. *Agron. J.* 64: 168-73.

Sandhu, B.S. and Horton, M.L. 1977. Response of oats to water deficits. I. Physiological characteristics. *Agron. J.* 69: 357-60.

Shaw, R.H. and Laing, D.R. 1966. Moisture stress and plant response. In *Plant Environment and Efficient Water Use.* pp. 73-94. Pierre W.H. *et al.* (ed). Am. Soc. Agron. Wisconsin, U.S.A.

Singh, N.T., Brar, G.S. and Aggarwal, G.C. 1980. Effect of soil moisture regime on xylem water potential of three wheat varieties. *Symp. Indian Soc. Soil Sci.*, Karnal (India).

Szeica, G. and Long, I.F. 1969. Surface resistance of crop canopies. *Water Resour. Res.* 5: 622-33.

Tomar, V.S. and Ghildyal, B.P. 1973a. Short note on the wilting phenomenon in plants. *Agron. J.* 65: 514-15.

Tomar, V.S. and Ghildyal, B.P. 1973b. Internal leaf water status and transport of water in rice plant. *Agron. J.* 65: 861-65.

Tomar, V.S. and Ghildyal, B.P. 1973c. Determination of water status of the rice plant. *Indian J. agric. Sci.* 43: 754-59.

Turner, N.C. 1969. Stomatal resistance to transpiration in three contrasting canopies. *Crop Sci.* 9: 303-07.

Van Bavel, C.H.M. 1967. Changes in canopy resistance to water loss from alfalfa induced by soil water depletion. *Agric. Meteorol.* 4: 165-76.

Varshney, O.P. 1980. *Effect of Soil Water Stress on Water Potential and Photosynthetic Activity in Wheat and Maize Leaves.* Ph.D. Thesis, Punjab Agric. Univ., Ludhiana.

Warrington, G.R. 1970. *Transpiration and Dry Matter Response to Atmospheric Humidity, Matric Suction and Fertility.* Ph.D. dissertation, Utah State Univ. Logan, Utah.

Weatherley, P.E. 1950. Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurements of water deficits in leaves. *New Phytol.* 49: 81-97.

Arkin, G. F., and Taylor, H. M. (1981). "Modifying the root environment to reduce crop stress." *ASAE Monograph*, 4, Amer. Soc. of Agric. Engrs., St. Joseph, Mich.
Barrett, J. W. H., and Skogerboe, G. V. (1980). "Crop production functions and the allocation and use of irrigation water." *Agric. Water Mgmt.*, 3(1), 53–64.
Canel, R. Q., et al. (1980). "Effects of waterlogging at different stages of development on the growth and yield of winter wheat." *J. Sci. Food Agric.*, 31(2), 117–132.
Doorenbos, J., and Kassam, A. H. (1979). "Yield response to water." *FAO Irrig. and Drain. Paper*, 33, Food and Agric. Org., United Nations, Rome, Italy.
English, M. J. (1981). "The uncertainty of crop models in irrigation optimization." *Trans. ASAE*, 24(4), 917–928.
English, M. J., and Orlob, G. T. (1978). "Decision theory applications and irrigation optimization." *California.Water Resour. Ctr. Contribution*, 174, Univ. of California, Davis, Calif., Sep.
English, M. J., and Nuss, G. S. (1982). "Designing for deficit irrigation." *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, ASCE, 108(2), 91–106.
English, M. J., Taylor, A. R., and John, P. (1986). "Evaluating sprinkler system performance." *New Zealand J. Agric. Sci.*, 20(1), 32–38.
Grimes, D. W., Dickens, W. L., and Anderson, W. D. (1969). *Agronomy J.*, 61(5), 773–776.
Hanks, R. J. (1974). "Model for predicting yield as influenced by water use." *Agronomy J.*, 66(5), 660–665.
Hanks, R. J., and Hill, R. W. (1980). *Modelling crop response to irrigation in relation to soils, climate, and salinity*. Int. Irrig. Info. Ctr., Bet Dagan, Israel.
Hargreaves, G. H., and Samani, Z. A. (1984). "Economic considerations of deficit irrigation." *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, ASCE, 110(4), 343–358.
Hart, W. E., Norum, D. I., and Peri, G. (1980). "Optimal seasonal irrigation application analysis." *J. Irrig. and Drain. Div.*, ASCE, 106(3), 221–235.

James, L. D., and Lee, R. R. (1971). *Economics of water resources planning*. McGraw-Hill, New York, N.Y.
Kumar, R., and Khepar, S. D. (1980). "Decision models for optimum cropping patterns on irrigations based on crop water production functions." *Agric. Water Mgmt.*, 3(1), 65–76.
Norum, D. I., Peri, G., and Hart, W. E. (1979). "Application of system optimal depth concept." *J. Irrig. and Drain. Div.*, ASCE, 105(4), 357–367.
"Partial irrigation feasibility study and demonstration project." (1987). *Phase IV Report*. Bonneville Power Admin., Div. of Resour. Engrg., Branch of Conservation Engrg., Portland, Oreg., Sep.
Peri, G., Hart, W. E., and Norum, D. I. (1979). "Optimal irrigation depths—A method of analysis." *J. Irrig. and Drain. Div.*, ASCE, 105(4), 341–355.
Rawlins, S. L., and Raats, P. A. C. (1975). "Prospects for high frequency irrigation." *Science*, 188, May, 604–610.
Russo, D. (1983). "Crop yield—Irrigation relationships in a gypsiferous-sodic soil." *Agronomy J.*, 75(3), 427–434.
Sharma, P. N., and Neto, F. B. A. (1986). "Water production function of sorghum for northeast Brazil." *Agric. Water Mgmt.*, 11(2), 169–180.
Shearer, M. N. (1978). "Comparative efficiency of irrigation systems." *Proc. Annual Tech. Conf.*, Irrig. Assoc., Feb., 183–188.
Solomon, K. H. (1985). "Typical crop water production functions." *Paper No. 85-2596, Winter Meeting*, Amer. Soc. of Agric. Engrs., Chicago, Ill., 17–20.
Stegman, E. C., Musick, J. T., and Stewart, J. I. (1980). "Irrigation water management." *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*, M. E. Jensen, ed., ASAE Monograph No. 3. Amer. Soc. of Agric. Engrs., St. Joseph, Mich.
Stewart, J. I., and Hagan, R. M. (1969). "Predicting effects of water shortage on crop yield." *J. Irrig. and Drain. Div.*, ASCE, 95(10), 91–104.
Stewart, J. I., and Hagan, R. M. (1973). "Functions to predict effects of crop water deficits." *J. Irrig. and Drain. Div.*, ASCE, 99(4), 421–439.

Deficit Irrigation Manual

Working Group on Sustainable crops and water use

Iranian National Committee on Irrigation and Drainage

(IRNCID)

by:

Jamshid Kheirabi Ph.D

Ali Reza Tavakkoli Eng.

Mohammad Reza Entesari Eng.

Ali Reza Salamat Eng.

Jun 1996.

Deficit Irrigation Manual

Working Group on Sustainable crops and water use

Iranian National Committee on Irrigation and Drainage

(IRNCID)

Jun 1996.

۶۲۶/۸۱
ک۷۲۳
ن۲۵

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران
تهران ـ خیابان کریمخان زند ـ خیابان آبان جنوبی ـ شماره ۸۹
تلفن ۸۹۴۲۹۶ - ۸۹۸۱۴۲ نمابر ۸۹۶۶۴۹

ICID