

فصل سوم

برنامه‌ریزی آبیاری

۳- برنامه‌ریزی آبیاری

۳-۱- مقدمه

هدف از برنامه‌ریزی آبیاری، ارائه برنامه منظم و سیستماتیک برای آبیاری محصولات مختلف است، به طوری که زارع بر پایه‌ی آن بتواند عمق آبیاری، دور آبیاری، تاریخ آبیاری و مقدار آبیاری را تعیین کند. هدف نهایی از این برنامه‌ریزی بهره‌برداری بهینه از منابع آب و خاک موجود است، به طوری که اتلاف منابع و امکانات در آن به حداقل رسیده و حداکثر استفاده ممکن از منابع آب و خاک صورت گیرد.

برای محاسبات مربوط به برنامه‌ریزی آبیاری، تاکنون مدل‌های کامپیوتری متعددی تهیه شده است که از آن جمله باید به برنامه کامپیوتری CROPWAT اشاره کرد. در این برنامه روش‌های محاسبات مربوط به نیاز آبی محصولات مختلف و نیازمندی‌های آبیاری عمدتاً بر مبنای روش‌های ارائه شده در نشریات FAO مرتبط با آبیاری و زهکشی (شماره ۲۴ تحت عنوان نیازهای آبی و شماره ۳۳ تحت عنوان اثر آب بر محصول) پی‌ریزی شده است. مفاهیم و روش‌های محاسباتی برای تدوین جدول آبیاری نیز از نشریه FAO درباره‌ی جدول‌های آبیاری که در حال تدوین هستند گرفته شده است. این برنامه گزینه‌های دارای قابلیت‌های زیر است:

۱. تدوین و طراحی جدول‌های شاخص آبیاری که با شرایط عملی مزرعه هماهنگ و همساز شده‌اند؛

۲. برآورد برنامه‌های آبیاری مزرعه در قالب راندمان مصرف آب و تولید محصول؛

۳. تنظیم مدل آبیاری مزرعه تحت شرایط کم‌آبی، شرایط وجود بارندگی و استفاده از آن، آبیاری‌های تکمیلی و غیره؛

لازم به ذکر است، محاسبات مربوط به برنامه‌ریزی آبیاری در این برنامه بر پایه‌ی تراز آبی قرار دارد که طی آن جریان آب ورودی و خروجی (تبخیر، بارندگی، آبیاری) در منطقه‌ی ریشه‌ی گیاه و در خاک به صورت روزانه تعیین و کنترل می‌شود.

در رابطه با کاربرد مدل‌های کامپیوتری در زمینه‌های مختلف مطالعاتی به خصوص مطالعات آبیاری و زهکشی ذکر این نکته لازم است که کاربرد این برنامه‌ها زمانی نتایج پذیرفتنی و موفقیت‌آمیزی خواهد داشت که اطلاعات اولیه مورد نیاز آن‌ها به طور دقیق برآورد شده باشد. با توجه به اهمیت این مطلب، پارامترهای اولیه مورد نیاز برنامه CROPWAT برای محاسبات جدول آبیاری بررسی و برآورد می‌شود و سپس بر پایه‌ی این اطلاعات برنامه‌ریزی آبیاری که شامل محاسبه‌ی عمق آبیاری، دور آبیاری، زمان آبیاری و غیره است، صورت می‌گیرد.

۳-۲- برآورد پارامترهای اولیه برای برنامه‌ریزی آبیاری

۳-۲-۱- نیاز آبی گیاه

محاسبات مربوط به نیاز آبی گیاه بر پایه اطلاعات اقلیمی (ET_0) و اطلاعات مربوط به محصول (K_c و طول دوره‌های رشد) انجام می‌گیرد. ارائه روش‌های مختلف محاسبه ET_0 از ظرفیت این کتاب بیرون است ولی به طور اختصار و با توجه به سازگاری آن برای اقلیم ایران، روش هارگریوز - سامانی اصلاح شده به شرح زیر ارائه می‌شود:

$$ET_0 = 0.0023 \times R_A \times (T_a + 17.8)$$

۳-۲-۱-۱- روش هارگریوز - سامانی

متخصصان آب و خاک و گیاه همواره سعی کرده‌اند تا معادلاتی ساده را برای تضمین ET_0 ارائه کنند. در این معادلات رابطه بین ET_0 و چند عامل اساسی مؤثر بر تبخیر و تعرق در نظر گرفته

شده است که دمای هوا، تابش نور خورشید و سرعت باد از جمله این عوامل هستند. از میان این روش‌ها، معادله‌ی هارگریوز - سامانی با اقلیم ایران، سازگاری بیشتری داشته و به شرح زیر است:

$$ET_0 = 0.0023 \times R_A \times T_D^{0.5} \times (T + 17.8) \quad (۱-۳)$$

در معادله‌ی (۱-۳) R_A تابش بردن زمین بر حسب میلی‌متر آب، T_D تفاوت متوسط دمای ماکزیمم و می‌نیمم روزانه و T متوسط دمای روزانه است.

در روش هارگریوز - سامانی به محاسبه‌ی درصد ساعات تابش آفتاب (S) نیاز است، که مقدار آن برابر با $S = \frac{n}{N} \times 100$ می‌باشد. n تعداد ساعات واقعی آفتاب در دوره‌ی مورد نظر بوده و N حداکثر تعداد ساعات آفتابی ممکن در منطقه می‌باشد که به عرض جغرافیایی وابسته بوده و مقدار آن در ماه‌های مختلف در جداول موجود در کتب مرجع ارائه شده است.

۳-۲-۲-۳- بارندگی مؤثر

بارندگی مؤثر بخشی از باران است که به طور مستقیم یا غیرمستقیم، صرف تأمین نیازهای آبی گیاه می‌شود. داده‌های مربوط به بارندگی هنگام ورود اطلاعات اقلیمی وارد برنامه می‌شود، و برنامه، آن‌ها را به صورت مقادیر ده روزه در می‌آورد. کاربرد بارندگی در مزرعه به صورت دو نوبت برای هر دهه در روز سوم و روز هفتم، هر بار نصف میزان بارندگی را شامل می‌شود. برای هر بارندگی مقداری از آن با آبدوی سطحی (رواناب) از دسترس خارج می‌شود. این مقدار را با استفاده از حداکثر نفوذپذیری آب باران در خاک و نیز نفوذ عمقی که خود به وسیله‌ی تخلیه‌ی رطوبتی خاک در منطقه‌ی ریشه تعیین می‌شود، به دست می‌آورند.

۳-۲-۳-۳- اطلاعات مربوط به محصول

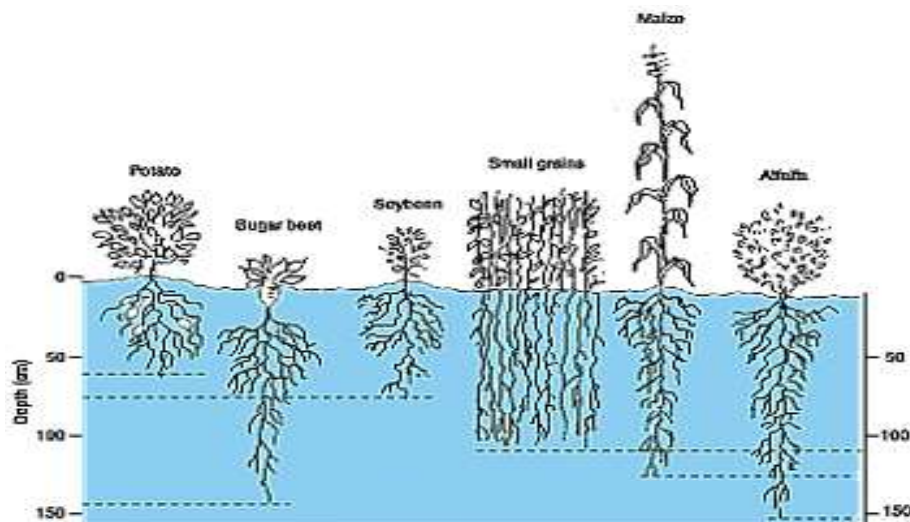
اطلاعات پایه محصول که در برنامه‌ریزی آبیاری مورد نیاز است عبارت است از: عمق توسعه ریشه‌ها و نسبت تخلیه مجاز رطوبتی خاک (طول مراحل رشد گیاه و ضرایب گیاهی در دوره‌های مختلف رشد از دیگر اطلاعات مربوط به محصول هستند که در مبحث نیاز آبی گیاه به کار می‌روند). در زیر ضمن ارائه شرح مختصری راجع به هر یک از این پارامترها نسبت به برآورد آن‌ها اقدام می‌شود.

۳-۲-۱- نسبت تخلیه مجاز رطوبتی خاک

هرچقدر میزان رطوبت خاک کمتر باشد، گیاه باید نیروی بیشتری برای جذب آب از خاک مصرف کند و کاهش رطوبت خاک تا نقطه‌ی پژمردگی باعث کاهش شدید عملکرد محصول می‌شود؛ بنابراین برای به‌دست آوردن مقدار مطلوب محصول، رطوبت خاک نباید از حد معینی کاهش یابد. بنابر تعریف، درصدی از رطوبت قابل استفاده‌ی خاک را که می‌تواند توسط گیاه مصرف شود؛ بدون اینکه مقدار محصول کاهش پیدا کند، مقدار تخلیه‌ی مجاز می‌گویند. میزان تخلیه‌ی مجاز به‌طور عمده به سه عامل: نوع گیاه، نوع خاک و مرحله رشد گیاه بستگی دارد. تاکنون نظرات و پیشنهادات مختلفی برای محاسبه‌ی نسبت تخلیه‌ی مجاز ارائه شده که در هر کدام از آن‌ها یک، دو یا سه عامل فوق منظور شده است.

۳-۲-۲- عمق توسعه ریشه‌ها

عمق فعالیت ریشه‌ها در ابتدای زمان کاشت کم است ولی به‌تدریج افزوده می‌شود تا به مرحله‌ی نهایی رشد و تکامل گیاه برسد. در بسیاری از طرح‌های آبیاری برای محاسبه‌ی عمق خالص آبیاری، عمق فعالیت ریشه‌ها که پس از رشد و تکامل گیاه حاصل می‌شود مدّ نظر قرار می‌گیرد و این عمق در مراحل مختلف ثابت در نظر گرفته می‌شود. عمق توسعه‌ی ریشه‌ها با توجه به مراحل مختلف رشد براساس ارقام مندرج در نشریه ۳۳-FAO و منابع علمی مختلف در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱-۳).



شکل ۳-۱- توزیع ریشه در گیاهان مختلف

۳-۲-۴- اطلاعات مربوط به خاک

مهم‌ترین اطلاعات مربوط به خاک که در محاسبات برنامه‌ریزی آبیاری مورد نیاز است عبارت است از: ظرفیت کل رطوبت قابل دسترس خاک (TAM)، تخلیه اولیه رطوبتی خاک (%IAM) و عمق لایه‌ی محدودکننده.

۳-۲-۴-۱- ظرفیت کل رطوبت قابل دسترس خاک (TAM)

ظرفیت کل رطوبت قابل دسترس خاک عبارت است از: تفاوت مقدار رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (FC) و نقطه‌ی پژمردگی (PWP) که این مقدار بیان‌کننده‌ی حدّ نهایی آب موجود در خاک برای استفاده محصول است و بستگی به بافت، ساختمان و میزان موادآلی خاک دارد و برحسب میلیمتر بر متر بیان می‌شود.

۳-۲-۴-۲- تخلیه اولیه رطوبتی خاک (IAM)

این پارامتر معرف میزان خشکی خاک در شروع دوره‌ی رشد است و به‌صورت درصد رطوبت تخلیه شده نسبت به ظرفیت نگهداری خاک بیان می‌شود. رقم صفر، معرف خاک کاملاً مرطوب و رقم یک‌صد معرف خاک خشک است که در نقطه‌ی پژمردگی قرار دارد. این پارامتر عموماً با توجه به کشت قبلی و دوره‌های آیش‌ماندن زمین و غیره به صورت نظری برآورد می‌شود. اکثراً در محاسبات، IAM را برابر صفر درصد گرفته؛ یعنی خاک در ابتدای دوره، کاملاً مرطوب در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲-۴-۳- حداکثر عمق توسعه ریشه‌ها

این پارامتر غالباً جزء پارامترهای مربوط به گیاه در نظر گرفته می‌شود؛ زیرا در اکثریت قریب به اتفاق، خصوصیات ژنتیکی گیاه تعیین‌کننده‌ی عمق ریشه‌های آن است؛ اما در برخی موارد به علت وجود لایه‌های سخت و نامناسب در خاک، اجازه حداکثر توسعه به ریشه‌ها داده نخواهد شد که در اینگونه موارد باید عمق لایه محدود کننده را مشخص کنیم.

۳-۲-۵- عمق و دور آبیاری

عمق خالص آبیاری (In) درواقع مقدار آبی است که در منطقه ریشه نفوذ می‌کند. کمبودها و نواقص موجود در سیستم آبیاری و به‌خصوص تسطیح ناکافی و عملیات زراعی ضعیف، باعث بروز تلفاتی در آب مصرفی می‌شود؛ لذا در محاسبات برنامه‌ی آبیاری باید راندمان آبیاری تخمین زده شود. در کشور ما راندمان آبیاری بارانی قریب به ۶۵ درصد و راندمان آبیاری سطحی در وضعیت موجود برابر ۴۰ درصد و در شرایط مناسب برابر ۶۵ درصد تخمین زده می‌شود. با استفاده از پارامترهای فوق می‌توان عمق و دور آبیاری را محاسبه کرد.

مقدار آب تجمع یافته در ناحیه‌ی ریشه باید هم تلفات ناشی از تبخیر و تعرق گیاه را جبران کرد و هم از تجمع نمک‌ها و املاح در منطقه ریشه گیاه نیز جلوگیری کند. بنابراین لازم است در محاسبه آن نیاز آبتیوبی خاک در نظر گرفته شود. این مقدار آب با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$CWR = \frac{I_p \times ETC}{1 - LR} \quad (2-3)$$

در این رابطه IP دور آبیاری بر حسب روز، ETC میزان تبخیر و تعرق واقعی روزانه گیاه بر حسب میلیمتر بر روز و LR نیاز آبتوی است. CWR ارتفاع آب لازم جهت تأمین تلفات تبخیر و تعرق و آبتوی بوده و بر حسب میلیمتر است. بنابراین عمق خالص آبیاری عبارت است از:

$$I_n = PW \times CWR \quad (3-3)$$

که PW نسبت محیط خیس شده می‌باشد و در آبیاری کرتی و نواری صددرصد لحاظ شده است. دور آبیاری از رابطه (3-4) به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$IP = \frac{RAW}{ETC} \quad (3-4)$$

در این رابطه RAW عمق آب سهل‌الوصول بر حسب میلیمتر است.

آب سهل‌الوصول با رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$RAW = (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times R_Z \times MAD \quad (3-5)$$

θ_{FC} = رطوبت ظرفیت زراعی

θ_{PWP} = رطوبت نقطه‌ی پژمردگی

R_Z = حداکثر عمق توسعه‌ی ریشه بر حسب متر

MAD = ضریب تخلیه‌ی مجاز مدیریتی

مثال

رطوبت حجمی خاک در FC و PWP به ترتیب برابر با ۳۰ و ۱۴ درصد است. اگر عمق توسعه‌ی ریشه‌ی گیاه در این خاک، ۸۰ سانتیمتر باشد و نیاز آبی در خرداد ماه $5 \frac{mm}{day}$ و راندمان آبیاری ۵۰ باشد، با فرض نیاز آبتوی ۲۰ درصد، دور و عمق آبیاری را محاسبه کنید.

حل:

$$RAW = (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times R_Z \times MAD$$

$$RAW = (0.3 - 0.14) \times 0.8 \times 0.5 = 0.064m = 64Mm$$

$$IP = \frac{RAW}{ETC} = \frac{۶۴}{۵} = ۱۲/۸ \text{ روز}$$

دور آبیاری به عدد کوچکتر (۱۲) گرد می‌شود. با در نظر گرفتن نیاز آبخویی میزان آب لازم در

$$CWR = \frac{IP \times ETC}{1 - LR} = \frac{۱۲ \times ۵}{۱ - ۰/۲} = ۷۵ \text{ mm}$$

ناحیه‌ی ریشه‌ی گیاه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

و نیاز خالص آبیاری عبارت است از:

$$In = PW \times CWR = ۱ \times ۷۵ = ۷۵ \text{ Mm}$$

نیاز ناخالص آبیاری با لحاظ کردن راندمان عبارت است از:

$$Ig = \frac{In}{Ea} = \frac{۷۵}{۰/۵} = ۱۵۰ \text{ Mm}$$

۳-۲-۶- هیدرومدول آبیاری

هیدرومدول عبارت است از دبی لازم برای آبیاری برحسب لیتر در ثانیه برای واحد سطح (هکتار). با توجه به الگوی کشت، نیاز آبیاری محصولات مختلف و نوع سیستم آبیاری، هیدرومدول در ماه‌های مختلف به صورت دستی یا با نرم‌افزار (به عنوان مثال Cropwat) محاسبه می‌شود. هیدرومدول معمولاً یک شاخص کلی برای طراحی ظرفیت کانال‌های انتقال و توزیع آب است. با دانستن سطح زیر پوشش کانال و تعیین هیدرومدول، می‌توان ظرفیت کانال را تعیین کرده، سپس ابعاد کانال را طراحی کرد.

مقدار متوسط هیدرومدول در سیستم‌های آبیاری سطحی برای اکثر محصولات در حدود یک لیتر در ثانیه در هکتار است. از حاصل ضرب هیدرومدول در مساحت زیر کشت، مقدار دبی مورد نیاز به دست می‌آید.

مثال:

متوسط روزانه نیاز آبی گیاهی در مهرماه ۴ میلیمتر است. اگر راندمان آبیاری ۵۰ درصد باشد، هیدرومدول آبیاری را در مهرماه محاسبه کنید.

حل: عمق آب آبیاری در هر روز ۸ میلیمتر (از تقسیم ۴ میلیمتر به راندمان کاربرد) است. با تبدیل واحد زیر هیدرومدول محاسبه می‌شود:

$$\text{عمق آبیاری} = \frac{In}{Ea} = \frac{4}{.75} = 8 \frac{mm}{day}$$

$$\text{هیدرومدول} = \frac{8 \times 10000}{1000 \times 86400} \times 1000 = 0.0926 \text{ lit/s/ha}$$

۳-۲-۱- هیدرومدول الگوی کشت

روشی که در مثال قبل برای محاسبه‌ی هیدرومدول بیان شد، برای یک گیاه است. در شرایطی که در منطقه‌ای به مساحت A هکتار، گیاهان مختلفی به مساحت‌های A_1 ، A_2 ، و A_n هکتار کشت شود، ابتدا باید هیدرومدول را بذای هر روز محاسبه کرد؛ در نتیجه هیدرومدول نهایی برابر با ماکزیمم هیدرومدول است. بنابراین دبی مورد نیاز برای منطقه از حاصل ضرب هیدرومدول نهایی در مساحت کل منطقه به دست می‌آید. برای محاسبه‌ی هیدرومدول در یک روز خاص به صورت زیر عمل می‌شود:

فرض کنید نیاز آبی گیاهان مختلف در یک روز مشخص برابر با ET_{C1} ، ET_{C2} ، و ET_{Cn} میلیمتر در روز باشد؛ بنابراین حجم آب مورد نیاز گیاهان برای یک روز برای کل منطقه $10 \sum_{i=1}^n A_i ET_{C_i}$ مترمکعب است^۱. اگر راندمان کاربرد آب Ea باشد، حجم آب آبیاری برای یک روز

برابر با $\frac{10}{Ea} \sum_{i=1}^n A_i ET_{C_i}$ مترمکعب است (راندمان به صورت اعشاری به کار می‌رود). اگر این

عبارت در ۱۰۰۰ ضرب و بر ۸۶۴۰۰ تقسیم شود برحسب لیتر در ثانیه می‌شود. شکل نهایی آن به صورت $\frac{25}{216Ea} \sum_{i=1}^n A_i ET_{C_i}$ لیتر در ثانیه برای کل منطقه است که برای تبدیل آن به لیتر در ثانیه در هکتار (هیدرومدول) باید به سطح کل برحسب هکتار تقسیم شود یعنی $\frac{25}{216Ea} \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A} ET_{C_i}$ که این عبارت را می‌توان به صورت $\frac{25}{216Ea} \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A} ET_{C_i}$ هم نوشت.

۱. ضرب ۱۰۰۰ برای تبدیل واحد به متر مکعب است (جهت تبدیل میلیمتر به متر ضرب ۰/۰۰۱ و هکتار به متر مربع ضرب ۱۰۰۰۰ اعمال می‌شود که حاصل ضرب این دو ضرب، برابر با ۱۰ است)

نسبت $\frac{A_i}{A}$ برابر با جزء زیر کشت (درصد زیر کشت محصول iam است) که با Si نشان داده می‌شود. بنابراین هیدرومدول آبیاری برای یک روز معین برای یک الگوی کشت به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{25}{216Ea} \sum_1^n Si ET C_i \quad (6-3)$$

رابطه‌ی فوق رابطه‌ای کلی است و برای حالت تک محصول (مثال قبل) نیز می‌توان به کار برد؛ در این صورت Si برابر با واحد است.

مثال:

در یک منطقه سه گیاه با مساحت‌های ۵ و ۳ و ۱ هکتار زیر کشت رفته است. اگر در یک روز مشخص نیاز آبی این سه گیاه به ترتیب ۴ و ۵ و ۷ میلی‌متر در روز باشد، با فرض راندمان ۵۰ درصد، هیدرومدول را در آن روز محاسبه کنید؟

حل:

$$\text{Tit/S/ha} = \frac{25}{216 \times 0.5} \left[\left(\frac{5}{9} \times 4 \right) + \left(\frac{3}{9} \times 5 \right) + \left(\frac{1}{9} \times 7 \right) \right] = 1.08$$

۳-۲-۷-تقویم آبیاری

تقویم آبیاری یا نظام آبیاری عبارت است از برنامه‌ای مدون و زمان‌بندی شده برای آبیاری محصول که در آن تعداد آبیاری و فواصل زمانی آن در ماه‌های مختلف مشخص شده باشد. در هر شبکه اعم از سنتی یا مدرن این نظام باید رعایت شود. برای آشنایی با نظام‌های موجود و رایج آبیاری در کشور می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف. آبیاری با دور ثابت و مقدار آب آبیاری متغیر:

این نظام در اکثر شبکه‌های سنتی کشور در حال اجراست. در این نظام آب هر چند روز یکبار (مثلاً هفته‌ای یکبار) و به مدت معین در دسترس کشاورز قرار دارد و لذا کشاورز ناگزیر است تا مبنای آبیاری را بر دور ثابت قرار دهد. در تمامی نظام‌های مشاع آب و خاک، ناگزیر باید از این سیستم استفاده کرد.

ب. آبیاری با دور متغیر و مقدار آب آبیاری ثابت:

این نظام در اکثر شبکه‌های مدرن پایین‌دست سدهای کشور اجرا می‌شود. در این سیستم حجم آب تحویلی ثابت است؛ ولی کشاورز در مورد دور آبیاری، مختار است.

ج. آبیاری با دور متغیر و مقدار آب آبیاری متغیر:

این نظام در شبکه‌های آبیاری با منبع آب خصوصی قابل اجرا است. مثلاً یک مجتمع پرورشی که دارای چاه آب اختصاصی است.

به هر حال برای برنامه‌ریزی آبیاری، از گزینه‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد و از میان این گزینه‌ها تقویم آبیاری بهینه و تقویم آبیاری عملی بیشتر مورد استفاده است. در زیر شرح مختصری راجع به هر یک از این تقویم‌ها ارائه شده است.

۳-۲-۱- تقویم آبیاری بهینه

در برنامه آبیاری بهینه که هیچ‌گونه محدودیتی از نظر زمان آبیاری و مقدار آن وجود ندارد، آبیاری زمانی اجرا می‌شود که آب سهل‌الوصول به پایان رسیده باشد. در این حالت مقدار آبیاری در طول دوره رشد تقریباً ثابت ولی فواصل زمانی آن نابرابر و نامنظم است. ضمن اینکه در این روش حداقل تعداد آبیاری انجام می‌شود. در این روش به دلیل نامنظم بودن فواصل آبیاری، امکان انتخاب نظام گردش آب ثابت وجود ندارد و لذا کاربرد آن در مزارعی که چندین بهره‌بردار از یک منبع آب استفاده می‌کنند با مشکل مواجه می‌شود. با توجه به اینکه روش فوق علمی‌ترین و اصولی‌ترین تقویم آبیاری را ارائه می‌دهد، لذا در مطالعات از نتایج آن برای دستیابی به علمی‌ترین تقویم آبیاری استفاده می‌شود.

مثال:

در منطقه‌ای ظرفیت نگهداری آب در خاک ۱۲۰ میلیمتر در هر متر خاک است. این خاک تحت کشت سبب‌زمینی قرار گرفته که حداکثر عمق توسعه‌ی ریشه‌های آن ۷۰ سانتیمتر است. درصد تخلیه مجاز ۵۰ و راندمان کاربرد آبیاری ۵۰ درصد است. تاریخ کشت این محصول اول خرداد می‌باشد. با توجه به مقادیر نیاز گیاه طبق جدول ۳-۱، تقویم بهینه آبیاری (عمق آبیاری ثابت و دور آبیاری متغیر) را به دست آورید.

حل: (در صورتی که آبتوی صرف نظر گردد آب سهل الوصول با آب خالص آبیاری برابر می‌شود).

$$RAW = 120 \times 0.7 \times 0.5 = 42mm$$

$$Ig = \frac{In}{Ea} = \frac{42}{0.5} = 84mm$$

بنابراین در هر بار آبیاری ۸۴ میلیمتر آب به زمین داده خواهد شد. فواصل بین دو آبیاری به گونه‌ای است که مصرف گیاه در این فاصله برابر با ۴۲ میلیمتر باشد. با توجه به جدول ۱-۳ مشاهده می‌شود که جمع نیاز آبی در ۱۲ روز اول برابر با ۴۲ میلیمتر است. بنابراین فاصله بین آبیاری اول تا دوم ۱۲ روز است یعنی اگر اول خرداد اولین آبیاری صورت گیرد، دومین آبیاری ۱۳ خرداد صورت می‌گیرد. این کار را تا آخر دوره رشد باید ادامه داد. بنابراین آبیاری سوم در تاریخ ۲۰ خرداد، آبیاری چهارم در تاریخ ۲۶ خرداد، آبیاری پنجم در ۲ تیر، آبیاری ششم در ۱۰ تیر و ... خواهد بود.

جدول ۱-۳- مقادیر نیاز آبی گیاه سیب‌زمینی

شماره روز	نیاز آبی (میلیمتر در روز)	شماره روز	نیاز آبی (میلیمتر در روز)	شماره روز	نیاز آبی (میلیمتر در روز)
۱	۳	۲۰	۶/۸	۳۹	۳
۲	۳	۲۱	۶/۸	۴۰	۳
۳	۳/۱	۲۲	۶/۹	۴۱	۲/۵
۴	۳/۱	۲۳	۶/۹	۴۲	۲/۵
۵	۳/۲	۲۴	۷	۴۳	۲/۵
۶	۳/۳	۲۵	۷/۶	۴۴	۲/۵
۷	۳/۳	۲۶	۷/۴	۴۵	۲/۴
۸	۳/۵	۲۷	۷/۳	۴۶	۲/۴
۹	۳/۵	۲۸	۷/۲	۴۷	۲/۴
۱۰	۴	۲۹	۷	۴۸	۲/۲
۱۱	۴/۱	۳۰	۷	۴۹	۲/۲
۱۲	۴/۹	۳۱	۶/۱	۵۰	۲/۲
۱۳	۵/۱	۳۲	۵/۸	۵۱	۲/۱
۱۴	۵/۳	۳۳	۵/۶	۵۲	۲/۱
۱۵	۵/۸	۳۴	۵/۲	۵۳	۲/۱
۱۶	۶	۳۵	۴/۸	۵۴	۲
۱۷	۶/۳	۳۶	۳/۴	۵۵	۲
۱۸	۶/۷	۳۷	۴	۵۶	۲
۱۹	۶/۸	۳۸	۴	۵۷	۲

مثال:

در منطقه‌ای ظرفیت نگهداری آب در خاک ۱۰۰ میلی‌متر در هر متر خاک است. در صورتی که عمق مؤثر ریشه در خاک ۹۰ سانتیمتر، درصد تخلیه مجاز ۶۰ درصد و راندمان کاربرد آب آبیاری ۶۰ درصد باشد؛ باتوجه به جدول ۱-۴ محاسبه کنید اولین آبیاری در چه زمانی انجام می‌شود؟

جدول ۳-۲- مقادیر نیاز آبی و بارندگی مؤثر

شماره روز	نیاز آبی (میلی‌متر در روز)	بارندگی مؤثر (میلی‌متر در روز)	تفاضل متون ۲ و ۳ (میلی‌متر در روز)
۱	۵	۰/۵	۴/۵
۲	۵/۱	۰	۵/۱
۳	۵/۲	۰	۵/۲
۴	۵/۴	۱	۴/۴
۵	۵/۶	۱	۴/۶
۶	۵/۷	۰	۵/۷
۷	۶/۲	۰/۵	۵/۷
۸	۶/۴	۰/۵	۵/۹
۹	۶/۴	۰	۶/۴
۱۰	۶/۴	۰	۶/۴
۱۱	۶/۵	۱/۵	
۱۲	۶/۷	۱/۵	
۱۳	۶/۷	۲	

$$RAW = 100 \times 0.9 \times 0.6 = 54mm$$

$$Ig = \frac{In}{Ea} = \frac{54}{0.6} = 90mm$$

براساس اطلاعات داده شده میزان آب ناخالص در هر آبیاری ۹۰ میلی‌متر است؛ درحالی که مصرف گیاه در فاصله‌ی بین دو آبیاری ۵۴ میلی‌متر می‌باشد. باتوجه به جدول ۱-۴ مشاهده می‌شود که بارندگی مؤثر نیز در تأمین نیاز آبی گیاه اثرگذار بوده که لازم است از اعداد نیاز آبی گیاه که در ستون دوم ارائه شده است، کسر شود؛ زیرا مقداری از نیاز آبی به‌وسیله‌ی بارندگی تأمین شده است. تفاضل ستون دوم و سوم در ستون چهارم ارائه شده است. جمع

اعداد ارائه شده در ستون چهارم نشان می‌دهد که در روز دهم نیاز آبی به ۵۴ میلی‌متر رسیده است و اولین آبیاری در این روز انجام می‌شود.

مثال:

در مزرعه‌ای مقادیر روزانه ET و باران مؤثر مطابق جدول زیر بوده است. اگر آبیاری زمانی انجام شود که درصد حجمی رطوبت خاک ۱۵ باشد، زمان آن را مشخص کنید. رطوبت خاک در روز اول ۲۳ درصد حجمی و عمق توسعه ریشه‌ها ۵۰ سانتیمتر است.

شماره روز	ET (mm)	Pe	درصد رطوبت
۱	۹/۱۳	۰	۲۱/۱۷
۲	۸/۸۱	۰/۵	۱۹/۵۰
۳	۸/۰۵	۰	۱۷/۸۹
۴	۷/۶۰	۰/۵	۱۶/۴۷
۵	۷/۰۰	۰/۵	۱۵/۱۷
۶	۶/۴۳	۰	
۷			

برای تعیین رطوبت خاک در روز یازدهم، می‌توان از رطوبت خاک در روز ماقبل آن و تبخیر و تعرق و همچنین بارندگی مؤثر در روز یازدهم به شرح زیر استفاده کرد:

$$\theta_i = 23 - 100 \left(\frac{9.13 - 0}{50.0} \right) = 21.17$$

ستون چهارم میزان رطوبت محاسبه شد، را برای هر روز نشان می‌دهد. در روز پنجم، میزان رطوبت خاک به ۱۵/۱۷ درصد رسیده است و این زمان آبیاری است.

۳-۲-۲-۲- تقویم آبیاری عملی

در تقویم آبیاری بهینه به علت نامنظم بودن فواصل آبیاری نمی‌توان نظام گردش آب ثابتی را اعمال کرد؛ به همین دلیل این گزینه در مناطقی که در آن تعدادی بهره‌بردار به طور مشترک از یک منبع آب استفاده می‌کنند عملی نیست. در چنین شرایطی باید از گزینه تقویم آبیاری عملی که در آن مقدار آبیاری متغیر و فواصل آن ثابت در نظر گرفته می‌شود، استفاده کرد.

۳-۳- مسائل

۱. یک زمین زراعی به مساحت ۴۰ هکتار تحت آبیاری نواری با ابعاد ۵۰×۵ متر قرار گرفته است. درصد حجمی رطوبت در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی به ترتیب برابر با ۳۰ و ۱۳ درصد و عمق توسعه ریشه یک متر و درصد تخلیه مجاز ۵۰ درصد است. ضرایب معادله نفوذ برابر با $۰/۴۰$ و $۰/۶$ است. (با واحدهای دقیقه و سانتیمتر در دقیقه). دبی ورودی به هر نوار ۲۰ لیتر در ثانیه است. مدت زمان آبیاری به گونه‌ای است که مقدار نفوذ در انتهای نوار به اندازه نیاز خالص باشد. مدت زمانی که آب در ابتدای نوار بوده ۲ ساعت است. برای گرمترین ماه سال (تیرماه)، میانگین درجه حرارت ماهیانه، درصد ساعات روشنایی ماهیانه و ضریب مصرف گیاهی به ترتیب برابر با ۳۵ و $۱۰/۴۲$ و $۱۰/۹۵$ است. مطلوب است:

۱. نیاز خالص آبیاری؛
۲. عمق آب نفوذی در ابتدای نوار؛
۳. کل حجم آب نفوذ یافته (برحسب مترمکعب)؛
۴. حجم تلفات آب به صورت نفوذ عمقی برحسب مترمکعب (توزیع رطوبت در خاک خطی فرض شود)؛
۵. راندمان کاربرد آبیاری (میزان رواناب صفر فرض شود)؛
۶. مدت زمان آبیاری برحسب ساعت؛
۷. نیاز روزانه گیاه؛
۸. دور آبیاری در گرمترین ماه سال؛
۹. هیدرومدول آبیاری در گرمترین ماه سال.

۲. مزرعه‌ای با مشخصات زیر باید به روش نواری آبیاری شود. برای آبیاری تمام مزرعه چند ساعت آبیاری نیاز است؟

- ابعاد مزرعه: ۴۰۰×۶۰۰ (متر \times متر)
 شیب مزرعه: ۱ درصد در هر دو جهت
 منبع آب: چاه با دبی ۴۹ لیتر در ثانیه
 نوع محصول: یونجه با عمق مؤثر ریشه ۹۵ سانتیمتر

نوع خاک: شن لومی
 رطوبت گنجایش زراعی: ۳۳ درصد حجمی
 رطوبت نقطه پژمردگی: ۱۷ درصد حجمی
 تخلیه مجاز: با توجه به نوع خاک و گیاه ۵۰ درصد
 راندمان کاربرد آب: ۷۰ درصد
 معادله نفوذ آب به خاک: $D = 0.875 \times t^{0.48}$

مثال:

در مثال ۴، تقویم علی آبیاری را محاسبه کنید.

حل:

در این حالت بایستی یک دور آبیاری ثابت طوری انتخاب شود که مجموع نیاز گیاهی در طی این دوره کمتر یا مساوی نیاز آبی باشد. این کار بایستی در طول دوره رشد گیاه بررسی شود. در این حالت عمق آب آبیاری، از مجموع نیاز گیاه در طول دور ثابت تقسیم بر راندمان کاری به‌دست می‌آید. در این مثال دور آبیاری ۶ روز مناسب است و بر این اساس مقادیر عمق آب آبیاری قابل محاسبه است.

$$d_1 = \frac{\sum_1^6 ETC_i}{Ea} = 37/4mm$$

$$d_2 = \frac{\sum_7^{12} ETC_i}{Ea} = 46/6mm$$

$$d_3 = \frac{\sum_{13}^{18} ETC_i}{Ea} = 70/4mm$$

به همین ترتیب سایر مقادیر قابل محاسبه است.