فصل چهارم
مقدمات آبیاری سطحی

٤- مقدمات آبیاری سطحی

٤-١- فازهای آبیاری

در تمام سیستم‌های آبیاری سطحی، توزیع آب برروی خاک، تابع یک قاعده کلی است. فرض کنید ابتدای کرت نقطه‌ی صفر باشد و آبیاری از زمان صفر شروع شود. اگر مسیر حرکت جریان روی خاک را نشانه‌گذاری کنید و زمان رسیدن جریان به هر نشان را یادداشت کنید، در انتها، منحنی پیشروی جریان نسبت به زمان را خواهید داشت که در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود پیشروی آب در ابتدا سریع است ولی به‌تدریج کند می‌شود. این مرحله از آبیاری را مرحله پیشروی[1] می‌نامند. پس از اینکه آب به‌انتهای زمین رسید، معمولاً مدتی به‌همین نحو آبیاری ادامه می‌یابد تا آب اضافی از زمین خارج شود و سرانجام جریان ورودی قطع شود. فاصله‌ی بین زمانی‌که آب به‌انتهای زمین می‌رسد تا زمانی‌که آب قطع می‌شود را مرحله‌ی ذخیره‌ی رطوبت[2] می‌نامند.

---

1. Advance phases
2. Storage phases

از زمانی‌که ورود آب قطع می‌شود، ممکن‌است مدتی طول بکشد تا آبی که در ابتدای مزرعه در سطح زمین بوده است به‌تدریج در خاک نفوذ کند و سرانجام عمق آب درابتدای زمین به صفر برسد. این مرحله را تخلیه[1] می‌گویند. فاز تخلیه در خاک سبک ممکن‌است صفر باشد. از این به بعد عقب‌نشینی یا پسروی آب شروع و کم‌کم جبهه آب به انتهای زمین عقب‌نشینی می‌کند. برخلاف منحنی پیشروی، منحنی عقب‌نشینی جبهه آب بسیار نامنظم و عملاً اندازه‌گیری آن در مزرعه مشکل است. این مرحله پسروی[2] نام دارد. فاز پسروی ممکن‌است در خاک‌های سبک، کوچک و قابل صرفنظر کردن باشد. فاصله زمانی بین دو منحنی پیشروی و پسروی در هر نقطه از زمین را فرصت نفوذ آب به‌داخل خاک در آن نقطه گویند.

شکل ٤-١- نمایش فازهای مختلف آبیاری

1. Depletion phases
2. Reception phases

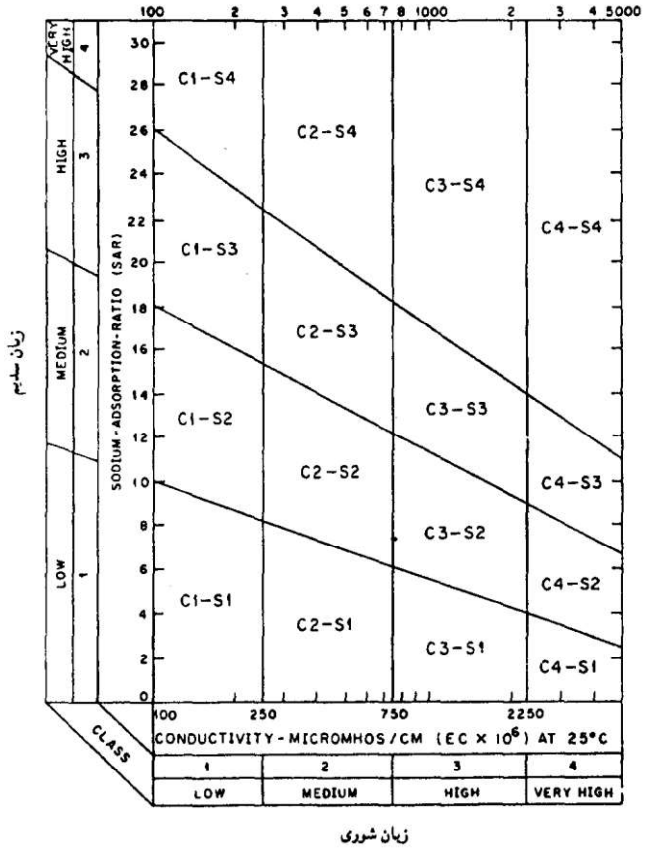
٤-۲- کیفیت آب و شوری آن

تمام آب‌ها کم و بیش محتوی نمک‌های مختلف هستند وبا توجه بـه تـأثیر اسـتفاده از آب بـا کیفیت نامطلوب روی خاک، لازم است نوع و میزان امـلاح موجـود در آب مصـرفی بررسـی شـود. یون‌هایی که معمولاً برای تعیین درجه‌ی تناسب آب برای آبیاری اندازه‌گیری مـی‌شـوند عبارتنـد از: سدیم، منیزیم، کلسیم، سولفات، کلر، بیکربنات و کربنات. شوری کل برحسب EC آب آبیاری که بـا ECiw نشان داده می‌شود توصیف مـی‌گـردد. همچنـین مقـدار کـل نمـک را مـی‌تـوان برحسـب باقی‌مانده‌ی خشک (TDS) نیز توصیف کرد که برحسب میلی‌گرم در لیتر توصیف می‌شـود. از آنجـا که غلظت نمک در آب آبیاری کمتر از غلظـت آن در خـاک اسـت، هـدایت الکتریکـی آب آبیـاری برحسب میکروموس بر سانتیمتر بیان می‌شود.

در طبقه‌بندی کیفی آب، سه معیار اساسی مطرح است: شـوری (غلظـت کـل نمـک)، سـدیم و سمی شدن عناصر شیمیایی. شوری آب باعث افزایش پتانسیل اسمزی و کـاهش جـذب آب توسـط ریشه می‌شود؛ درنتیجه میزان محصول کاهش می‌یابد.

سدیم موجب سمی شدن برخی از انواع گیاهان می‌شود و در عـین حـال تـأثیر بیشـتر آن روی ساختمان خاک است. یون سدیم در خاک جانشین یون کلسیم و منیزیم شده و باعث ایجاد یک لایهٔ نفوذناپذیر روی سطح خاک می‌شود. با توجه به تأثیر قابل‌توجه شوری و سدیم بر سـاختمان خـاک و رشد گیاه، از ترکیب آن‌ها برای طبقه‌بندی آب آبیـاری اسـتفاده شـده اسـت. مـثلاً، در طبقـه‌بنـدی ویلکوکس که برای تعیین کیفیت آب استفاده می‌شود، از نسبت جذب سدیم (SAR) برای سـدیم و از (EC) برای شوری استفاده شده است. در این روش شوری آب در چهار گروه و شوری سـدیم نیـز در چهار گروه تقسیم‌بندی شده است و در مجموع ۱۶ نوع آب با کیفیت مختلف طبقه‌بندی شـده‌انـد (شکل۴-۲). عدد ۱ در محور عمودی برای مقادیر کم، عدد ۲ برای مقـادیر متوسـط، عـدد ۳ بـرای مقادیر زیاد و عدد ۴ برای مقادیر خیلی زیاد به‌کار برده شده است.

وجود عناصر ویژه‌ی شیمیایی در آب مانند بر، باعث سمی شدن گیـاه مـی‌شـود و در برخـی از روش‌های آبیاری مانند آبیاری بارانی، باعث سوختگی سطح برگ و کاهش رشد محصول می‌شود.



شکل ٤-۲- طبقه‌بندی ویل‌کوکس

٤-۳- کیفیت خاک

در هر طرح آبیاری باید به اصول شیمیایی خاک و واکنش‌هایی که خاک با ترکیبات شیمیایی موجود در آب آبیاری صورت می‌دهد، به اندازه‌ی خصوصیات فیزیکی خاک اهمیت داد. این موضوع به‌خصوص در وضعیت آب و هوای خشک و نیمه‌خشک که معمولاً آب و خاک از کیفیت مطلوبی برخوردار نیستند، مهم است. تأثیر آب و خاک از دو جهت بررسی می‌شود: اول تجمع نمک در خاک و تأثیر آن بر رشد گیاه؛ دوم تأثیر عناصر ویژه‌ی موجود در آب و خاک بر رشد گیاه.

خاک‌ها از لحاظ شوری براساس هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع آن‌ها که با علامت EC_e نشان داده شده است، در چهار گروه طبقه‌بندی می‌شوند: خاک معمولی، خاک شور، خاک سدیمی، خاک شور و سدیمی.

علاوه بر هدایت الکتریکی برای تعیین نوع خاک، لازم است نسبت سدیم قابل تبادل (SAR) از رابطه‌ی زیر محاسبه شود.

$$SAR = \frac{Na}{(\frac{Ca+Mg}{2})^{0.5}} \qquad (۱-۴)$$

که در این رابطه Na و Ca و Mg به‌ترتیب غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم برحسب میلی‌اکی والانت در لیتر است.

با داشتن مقادیر هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع خاک و نسبت SAR با استفاده از جدول زیر می‌توان نوع خاک را تعیین کرد.

جدول ۴-۱- تعیین کیفیت خاک

معیار	نرمال	شور	سدیمی	شور- سدیمی
EC_e	<4	>4	<4	>4
SAR	<13	<13	>13	>13

مثال:

در یک نمونه خاک مورد آزمایش، هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع ۲/۵۳ میلی‌موس بر سانتیمتر، غلظت یون منیزیم ۱/۰۱ میلی‌اکی والانت در لیتر، غلظت یون کلسیم ۱/۴۱ میلی‌اکی والانت در لیتر، غلظت یون سدیم ۲۱/۵ میلی‌اکی والانت در لیتر است. نوع خاک را تعیین کنید؟

$$SAR = \frac{21.5}{\left(\frac{1.41+1.01}{2}\right)^{0.5}} = 19.55$$

میزان نسبت سدیم قابل تبادل ۱۹/۵۵(میلی‌مول بر لیتر)$^{0.5}$ است. با مراجعه به جدول ذکر شده، بافت خاک سدیمی تعیین می‌شود.

نکته‌ی مهم این‌است که با خارج شدن آب از خاک، غلظت نمک و میزان SAR در خاک تغییرمی‌کند. در خاک‌های زراعی پس از آبیاری به‌تدریج آب ثقلی خارج شده و یا ریشه‌های گیاه مقداری از آب را جذب می‌کنند و غلظت نمک در محلول خاک افزایش می‌یابد. درحالت اشباع درصد رطوبت دو برابر رطوبت، درحد ظرفیت زراعی است؛ بنابراین SAR درحالت ظرفیت زراعی برابر با مجذور نسبت رطوبت درحالت اشباع به رطوبت درحالت ظرفیت زراعی است. یعنی برابر با ۱/۴۱ برابر SAR درحالت اشباع است.

در خاک‌های مختلف، روابط زیر بین درصد رطوبت و میزان SAR نسبت به‌حالت اشباع وجود دارد.

در خاک ریز بافت:

ظرفیت زراعی SAR=۱/۴۱× SAR اشباع

نقطه پژمردگی SAR = ۱/۴۱×SAR ظرفیت زراعی

نقطه پژمردگی SAR = ۲× SAR اشباع

در خاک درشت بافت:

ظرفیت زراعی SAR =۱/۷× SAR اشباع

نقطه پژمردگی SAR = ۲/۴۴× SAR اشباع

مثال:

نتایج زیر از تجزیه‌ی شیمیایی عصاره‌ی اشباع از خاک ریزبافت به‌دست آمده است. *SAR* عصاره و *SAR* را در ۳۳- کیلو پاسکال آب خاک حساب کنید؟

Ca=8.5 meq/l

Mg=3 meq/l

Na=30 meq/l

$$SAR=\frac{Na}{(\frac{Ca+Mg}{2})^{0.5}}\rightarrow\frac{30}{(\frac{8.5+3}{2})^{0.5}}=12.51(mmol/l)^{0.5}$$

SAR عصاره‌ی اشباع ۱۲/۵۱ محاسبه شد.

مثال:

SAR یک خاک درشت‌بافت در نقطه پژمردگی ۱۷/۲۴، $^{0/5}$ (L/L0mm) می‌باشد. در صورتی که غلظت یون کلسیم ۱۱/۲ Meg/L و غلظت یون منیزیم ۳/۵ Meg/L باشد، غلظت یون سدیم را محاسبه کنید؟

با توجه به نکات ذکر شده، در خاک درشت‌بافت SAR در نقطه پژمردگی ۲/۴۴ برابر SAR درصد اشباع است.

درصد اشباع $SAR = \frac{17/24}{2/44} = 7/06(mm_0L/L)^{0/5}$

$$SAR = \frac{na}{(\frac{ca+mg^{0/5}}{2})} \rightarrow 7/06 = \frac{na}{(\frac{3/5+11/2^{0/5}}{2})} = 19/14meq/L$$

ب)SAR محاسبه شده در بخش بالا مربوط به عصارهٔ اشباع خاک است و از آنجا که خاک ریزبافت است، با توجه به نکات ذکر شده SAR درحالت ظرفیت مزرعه ۱/۴۱ برابر SAR درحالت اشباع است.

$SAR_{\text{ظرفیت مزرعه}} = ۱/۴۱ SAR_{\text{اشباع}}$

$SAR_{\text{ظرفیت مزرعه}} = ۱۲/۵۱ \times ۱/۴۱ = ۱۷/۶۳$

در طرح‌های آبیاری، کنترل نمک از طریق دادن آب اضافی به خاک در هنگام آبیاری صورت می‌گیرد. آب اضافی ممکن‌است شوری خاک را کنترل و تعدیل کند؛ ولی امکان دارد اثرات زیان‌آور سدیم را برطرف نکند، بنابراین در زمان آبیاری باید به میزانی آب به خاک اضافه شود تا اثر شوری و سدیمی بودن را کنترل کند.

شور شدن زمین‌هایی که قبلاً حاصل‌خیز بوده‌اند، به شوری آب آبیاری و مقدار آبی که برای شست‌وشوی خاک استفاده می‌شود، بستگی دارد. مقداری از آب آبیاری که به‌داخل خاک نفوذ می‌کند و از منطقه‌ی ریشه می‌گذرد، جزء آبشویی[1] نامیده می‌شود و با رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$LF = \frac{D_d}{D_i} = (D_i - ET_c) / D_i \qquad (۲-۴)$$

1. Leaching Fraction

که در آن:

LF جزء آبشویی؛

D_d عمق آب زهکشی یا عمق آبی که از زیر منطقه‌ی توسعه‌ی ریشه‌ها به پایین نفوذ می‌کند؛

D_iعمق آب آبیاری نفوذ یافته؛

ET_c تبخیر و تعرق گیاه است.

در آبیاری سطحی عمق آب آبیاری عبارت‌است از متوسط سرعت نفوذ I_{avg} (سانتیمتر در روز) ضرب‌در زمان آبیاری t_i. در آبیاری بارانی نیز عمق آبیاری برابر است با سرعت پخش آب توسط آب‌پاش d_{ap} ضرب در زمان آبیاری؛ بنابراین در آبیاری سطحی عمق آبیاری با معادله (۴-۳) به شرح زیر محاسبه می شود:

$$D_i = I_{avg}(t_i) \qquad (۴-۳)$$

و در آبیاری بارانی نیز عمق آب آبیاری با معادله (۴-۴)محاسبه می‌شود:

$$D_i = d_{ap}(t_i) \qquad (۴-۴)$$

بنابراین LF را می‌توان با جانشینی معادله (۴-۳) در معادله (۴-۲) به شرح زیر محاسبه کرد:

$$LF = 1 - \left[ET_c / (I_{avg} t_i)\right] \qquad (۴-۵)$$

معادلات ۴-۴ و ۴-۳ درصورتی قابل استفاده‌اند که زهکشی مشکلی نداشته باشد؛ در غیر این‌صورت سطح آب زیرزمینی در منطقه، شروع به بالا آمدن می‌کند و اشباع شدن لایهٔ سطحی خاک موجب صدمه به گیاه می‌شود. در صورتی‌که سرعت زهکشی محدود باشد، عمق آب زهکشی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$D_d = I_d . t_f \qquad (۴-۶)$$

که در آن:

I_dمتوسط سرعت زهکشی داخلی؛

t_f فاصله بین آبیاری‌ها است.

درصورتی‌که تغییری در شوری آب آبیاری (EC_{iw}) یا آب زهکشی شده (EC_d) رخ ندهد، جزء آبشویی را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$LF = \frac{D_d}{D_i} = \frac{EC_{iw}}{EC_d} \qquad (۷-۴)$$

مثال:

از مزرعه‌ای اطلاعات زیر به‌دست آمده است. مدت آبیاری را در هر نوبت با فرض اینکه زهکشی خاک عامل محدود کننده نباشد، محاسبه کنید.

$EC_{iw} = 3/2 mmohs/cm$

$EC_d = 5 mmohs/cm$

سرعت نفوذ آب در خاک $= 1/3 cm/h$

حداکثر تبخیر و تعرق گیاه $= 8 mm/d$

دور آبیاری =۱۰ روز

$$LF = \frac{EC_{iw}}{EC_d} = \frac{3.2}{5} = 0.64$$

$$ET_c = (8mm/d)(10d) = 80mm = 8cm$$

$$LF = 1 - ET_c/(I_{avg}t_i) \rightarrow t_i = \frac{22.2}{1.3} = 17.1hr$$

بنابراین در یک دوره‌ی آبیاری ۱۰ روزه، مدت آبیاری در هر نوبت ۱۷/۱ ساعت است.

٤-٤- تحلیل اقتصادی

سرزمین پهناور ایران منابع آبی و خاکی فراوانی را در خود جای داده که بخشی از آن برای کشاورزی چندان مناسب نیست و هر نوع عملیات کشت و کار در آن نیازمند مدیریتی تخصصی و آگاهانه است. بخش بزرگی از خاک‌ها و حجم چشمگیری از کل منابع آب موجود در کشور مبتلا به شوری با درجات مختلف هستند. بدیهی است که راه حل قطعی و دراز مدت برای خاک‌های شور چیزی جز بهسازی آن‌ها از طریق آبشویی نیست؛ ولی از آنجایی‌که دستیابی به این هدف در بسیاری از موارد مستلزم احداث شبکه‌های زهکشی است و به هزینه‌ی فراوان نیاز دارد ممکن است در عمل تحقق نیابد. در مورد آب‌های شور نیز، مخلوط کردن آن‌ها با آب‌های با کیفیت بهتر (باشوری کم) به عنوان یک راه حل همواره مطرح بوده است؛ ولی معمولاً در جاهایی که شوری آب مسئله‌ساز