



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب

دستنامه مروری بر مفاهیم شوری خاک و اصول کنترل آن در آزمایش‌های لایسمتری و مزرعه‌ای

نگارنده

یوسف هاشمی نژاد، عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی
خراسان رضوی

شماره ثبت: 613

1401

مشخصات اثر

عنوان: دستنامه مروری بر مفاهیم شوری خاک و اصول کنترل آن در آزمایش‌های لایسمتری و مزرعه‌ای

نگارنده: یوسف هاشمی‌نژاد

ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات سنا

کارشناس انتشارات: سمانه پورمنصور

ویراستار علمی: ناصر دواتگر

ویراستار ادبی: زهرا محمدی

طراح جلد: راضیه محمدی

سال انتشار: 1401

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این اثر با شماره 61990 در تاریخ 1401/5/11 در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین‌دشت، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب

صندوق پستی: 311-31785

کد پستی: 3177993545

تلفن: 026-36201900

نمابر: 02636210121

پست الکترونیکی: info@swri.ir

وبسایت: <http://www.swri.ir>

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارنده است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
2	مقدمه
2	شوری
2	اندازه‌گیری شوری
6	هدایت الکتریکی
7	پتانسیل اسمزی
10	هدایت الکتریکی محلول خاک
11	هدایت الکتریکی عصاره اشباع
12	تغییرات شوری خاک در فاصله دو آبیاری
12	تجمع شوری در خاک
20	کنترل شوری خاک در آزمایش‌های شوری
21	معادله عمومی واکنش گیاهان نسبت به شوری
26	کسر آبشویی بر مبنای شوری و کسر آبشویی بر مبنای حجم آب
29	تنظیم کسر آبشویی در آزمایش‌های شوری
31	تعیینگر جبهه رطوبتی
34	منابع

پیش‌گفتار

تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محدود کننده تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آید. به همین دلیل، همه‌ساله دانشگاه‌ها و موسسات تحقیقاتی کشاورزی، بخش قابل توجهی از پژوهش‌های خود را در بخش شوری انجام می‌دهند. در حالی که ناهماهنگی و یا غیر استاندارد بودن روش‌های استفاده شده در این پژوهش‌ها، مقایسه و یا استفاده کاربردی از آن‌ها را دشوار یا ناممکن می‌سازد. هر چند برخی نکات اصلی و جزییات روش اجرای این پژوهش‌ها در برخی کتب و نشریات پیدا می‌شود، ولی این نکات و جزییات تا کنون به‌صورت مدون در نیامده‌اند. در اجرای آزمایش‌های شوری و همچنین در بهره‌برداری از منابع آب و خاک شور، یکی از مهم‌ترین نکات، کنترل شوری منطقه ریشه است که از راه تنظیم کسر آبشویی انجام می‌شود. این نشریه با نشان دادن نمونه‌های کاربردی روش‌های کنترل کسر آبشویی و شوری خاک را معرفی نموده که برای اجرای آزمایش‌های شوری و همچنین در مدیریت کشاورزی در شرایط شور قابل استفاده است.

مقدمه

آنچه مسلم است، ریشه گیاه در ارتباط با محلول خاک است و در نتیجه، گیاه به شوری محلول خاک واکنش نشان خواهد داد. از سویی، شوری آب آبیاری بر شوری خاک در منطقه ریشه تاثیرگذار است. و از دیگر سو این ارتباط پویا بوده به شیوه‌ای که مقدار شوری محلول خاک در فاصله بین دو آبیاری پیوسته در حال تغییر است. در بلند مدت و پس از آبیاری‌های پیاپی با شرایط کم و بیش یکسان، تعادلی به نسبت ماندگار بین شوری آب آبیاری و شوری خاک ایجاد می‌شود. در آزمایش‌های شوری سعی می‌شود این نقطه تعادلی در هنگام اجرای آزمایش یا دست‌کم در زمان اعمال تنش شوری برقرار باشد.

این دست‌نامه به بررسی روابط متقابل شوری آب و خاک پرداخته و شرایط کنترل شوری خاک در هنگام اجرای آزمایش‌های شوری را مرور می‌نماید.

شوری

اصطلاح شوری به تجمع نمک در آب یا خاک اشاره دارد. تمام آب‌های طبیعی و همچنین آب موجود در خاک (محلول خاک) دارای مقداری نمک (املاح) هستند. وجود یا تجمع نمک‌ها در یک محلول موجب شوری می‌شود. نمک‌هایی که در آب یا محلول خاک وجود دارند از انواع مختلفی هستند، مانند: کلرورها، سولفات‌ها و کربنات‌های فلزات قلیایی و قلیایی خاکی. نمک‌ها به راحتی در آب حل می‌شوند و به صورت یون‌های باردار در می‌آیند. یون‌های دارای بار مثبت را کاتیون و یون‌های دارای بار منفی را آنیون می‌نامند. مهم‌ترین کاتیون‌های موجود در ترکیب آب و خاک عبارتند از: سدیم، کلسیم، منیزیم و پتاسیم. مهم‌ترین آنیون‌های محلول هم عبارتند از: کلر، سولفات، کربنات و بیکربنات.

اندازه‌گیری شوری

برای اندازه‌گیری شوری دو راه وجود دارد: غلظت هر کدام از این یون‌ها به صورت

جداگانه اندازه‌گیری و مجموع آن‌ها گزارش می‌شود و یا کل محتوای نمک موجود در محلول اندازه‌گیری می‌شود. برای اندازه‌گیری غلظت هر کدام از یون‌ها روش‌های آزمایشگاهی مختلفی وجود دارد که در این دست‌نامه به جزییات آن‌ها پرداخته نمی‌شود. ولی برای اندازه‌گیری محتوای نمک محلول، کافی است، حجم مشخصی از محلول را تبخیر کرده و مقدار نمک به‌جای مانده را توزین نمود. این روش زمان‌بر بوده و به همین دلیل در عمل کاربرد گسترده‌ای ندارد. روش مرسوم اندازه‌گیری شوری، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی با دستگاه هدایت سنج (EC meter) است. از آنجا که آب خالص نارسانای جریان الکتریکی است و با افزایش غلظت نمک هدایت الکتریکی محلول افزایش می‌یابد، در نتیجه در محدوده شوری‌های مرسوم (تا حدود 10 دسی‌زیمنس بر متر) در کشاورزی رابطه مستقیمی بین هدایت الکتریکی و غلظت نمک در محلول وجود دارد. به‌این ترتیب روش رایج اندازه‌گیری شوری، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آب و یا عصاره خاک است که برحسب دسی‌زیمنس بر متر گزارش می‌شود. در شوری‌های بالاتر مانند شوری آب دریا، توزین مواد جامد محلول و گزارش محتوای نمک برحسب گرم در لیتر (پی پی تی) رایج‌تر است.

غلظت یون‌ها برحسب واحدهای گرم در لیتر (پی پی تی)، میلی گرم در لیتر (پی پی ام) مول در لیتر (مولار) میلی مول در لیتر (میلی مولار)، اکی‌والان در لیتر (نرمال) و میلی اکی‌والان در لیتر (میلی نرمال) اندازه‌گیری و بیان می‌شود. تمام این واحدها به یکدیگر قابل تبدیل هستند. جدول (1) ضریب تبدیل این واحدها را نشان می‌دهد. این ضرایب برای تبدیل واحدهای نشان داده شده در ستون سمت راست به واحدهای ردیف اول باید مقدار محل تلاقی ستون و ردیف در مقدار اندازه‌گیری شده ضرب شوند و برای تبدیل از مقادیر ردیف اول به ستون سمت راست باید مقدار محل تلاقی ستون و ردیف بر مقدار متغیر تقسیم شوند (یا در معکوس آن ضرب شوند). به عنوان نمونه برای تبدیل از مول در لیتر به گرم در لیتر، نخست محل تقاطع این دو واحد را در جدول پیدا و سپس غلظت مولار در وزن اتمی ضرب می‌شود تا گرم در لیتر بدست آید.

جدول 1- ضریب تبدیل محاسبه غلظت یون‌ها و شوری

واحد‌ها	گرم در لیتر (ppt)	میلی گرم در لیتر (ppm)	مول در لیتر (molar)	میلی مول در لیتر (mmolar)	اکی‌والان در لیتر (normal)	میلی اکی‌والان در لیتر (mnormal)
گرم در لیتر (ppt)	1					
میلی گرم در لیتر (ppm)	$\frac{1}{1000}$	1				
مول در لیتر (molar)	AW	$\frac{1000 \text{ AW}}{1}$	1			
میلی مول در لیتر (mmolar)	$\frac{AW}{1000}$	AW	$\frac{1}{1000}$	1		
اکی‌والان در لیتر (normal)	$\frac{AW}{V}$	$\frac{1000 \text{ AW}}{V}$	$\frac{1}{V}$	$\frac{1000}{V}$	1	
میلی اکی‌والان در لیتر (mnormal)	$\frac{AW}{1000 \text{ V}}$	$\frac{AW}{V}$	$\frac{1}{1000 \text{ V}}$	$\frac{1}{V}$	$\frac{1}{1000}$	1

مخفف‌ها: گرم در لیتر (پی‌پی‌تی) (ppt) gr/lit؛ میلی گرم در لیتر (پی‌پی‌ام) (ppm) mg/lit؛ مول در لیتر (مولار) (molar) mol/lit؛ میلی مول در لیتر (میلی مولار) (mmolar) mmol/lit؛ اکی‌والان در لیتر (نرمال) (normal) eq/lit؛ میلی اکی‌والان در لیتر (میلی نرمال) meq/lit (mnormal)؛ وزن اتمی AW؛ ظرفیت یون V.

پی‌پی‌تی (قسمت در هزار قسمت) با توجه به جرم حجمی آب که 1000 گرم در لیتر است، آنگاه نسبت گرم به لیتر (1000 گرم) یک در هزار یا یک پی‌پی‌تی است.

پی‌پی‌ام (قسمت در میلیون قسمت) با توجه به جرم حجمی آب که 1000 گرم در لیتر است، آنگاه نسبت میلی گرم به لیتر (1000 گرم) یک در میلیون یا یک پی‌پی‌ام است.

جدول (2) مقدار وزن اتمی (AW) و ظرفیت (V) را برای کاتیون‌ها، آنیون‌ها و برخی نمک‌های مهم نشان می‌دهد. در هنگام استفاده از این جدول باید توجه داشت که ظرفیت نمک‌ها بر اساس ظرفیت کاتیون آن‌ها محاسبه می‌شود. به عنوان نمونه سولفات سدیم یک ظرفیتی است، زیرا سدیم یک ظرفیتی است و برعکس، کلرور کلسیم دو ظرفیتی است، زیرا کلسیم دو ظرفیتی است.

جدول 2- مقدار وزن اتمی (AW) و ظرفیت (V) برای کاتیون‌ها، آنیون‌ها و برخی نمک‌های مهم

کاتیون‌ها	وزن اتمی (AW)	ظرفیت (V)	آنیون‌ها	وزن اتمی (AW)	ظرفیت (V)	نمک‌ها	وزن اتمی (AW)	ظرفیت (V)
سدیم	23	1	کلر	35	1	NaCl	58	1
کلسیم	40	2	سولفات	96	2	Na ₂ SO ₄	142	1
منیزیم	24	2	کربنات	60	2	CaCl ₂	110	2
پتاسیم	39	1	بیکربنات	61	1	KCl	74	1

مثال 1:

غلظت یون کلسیم اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه، 40 پی‌پی‌ام است، غلظت را بر حسب میلی‌مولار و میلی‌اکی‌والان در لیتر محاسبه نمایید.

پاسخ: براساس جدول (1) ضریب تبدیل از پی‌پی‌ام به میلی‌مولار $\frac{1}{AW}$ و ضریب تبدیل به میلی‌اکی‌والان در لیتر $\frac{V}{AW}$ است. همچنین بر اساس جدول (2) وزن اتمی کلسیم 40 و ظرفیت آن 2 است به این ترتیب:

$$\text{mmolar} = \text{ppm} \times \frac{1}{AW} = 40 \times \frac{1}{40} = 1$$

$$\text{meq/lit} = \text{ppm} \times \frac{V}{AW} = 40 \times \frac{2}{40} = 2$$

مثال 2:

برای تهیه دو لیتر محلول 2 میلی‌مولار نمک طعام چند میلی‌گرم نمک را باید در دو لیتر آب حل کرد؟

پاسخ: بر اساس جدول (1) ضریب تبدیل از میلی‌مولار به میلی‌گرم در لیتر $\frac{AW}{1}$ و بر اساس جدول (2) وزن اتمی نمک طعام 58 است. به این ترتیب

$$\text{mg/lit} = \text{mmolar} \times \frac{AW}{1} = 2 \times \frac{58}{1} = 116$$

یعنی 116 میلی گرم نمک باید در یک لیتر آب حل تا محلول 2 میلی مولار تهیه شود. با توجه به این که 2 لیتر محلول نیاز داریم باید دو برابر این مقدار یعنی 232 میلی گرم نمک در 2 لیتر آب حل شود تا محلول 2 میلی مولار نمک طعام بدست آید.

هدایت الکتریکی

با توجه به این که اندازه‌گیری مستقیم غلظت یون‌ها و یا اندازه‌گیری کل نمک‌های حل شده (TDS) به روش تبخیر زمان‌بر و هزینه‌بر است، برای اندازه‌گیری شوری از هدایت الکتریکی به صورت غیرمستقیم استفاده می‌شود. باید توجه داشت که رابطه هدایت الکتریکی با غلظت، به‌ویژه برای آب‌های طبیعی که دارای ترکیب متنوعی از یون‌ها است، همواره خطی نیست. ولی در محدوده غلظت‌های استفاده شده در کشاورزی با چشم‌پوشی از مقدار کمی خطا می‌توان از روابط خطی استفاده کرد.

روابط 1 و 2 برای تبدیل هدایت الکتریکی (EC) بر حسب دسی‌زیمنس بر متر به کل نمک‌های محلول (TDS) بر حسب میلی گرم در لیتر و کل غلظت آنیون‌ها (SA) و کل غلظت کاتیون‌ها (SC) بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر استفاده می‌شود.

$$\text{TDS (mg/lit)} = \text{EC (dS/m)} \times 640 \quad (1)$$

$$\text{SA (meq/lit)} = \text{SC (meq/lit)} = \text{EC (dS/m)} \times 10 \quad (2)$$

مثال 3:

برای تهیه یک لیتر محلولی که شوری آن 3 دسی‌زیمنس بر متر و نسبت اکی‌والانی غلظت سدیم به کلسیم، 2 به 1 باشد. مقدار کلرور کلسیم و کلرور سدیم مورد نیاز را محاسبه نمایید.

پاسخ: براساس رابطه 2 در شرایطی که شوری محلول 3 دسی‌زیمنس بر متر باشد، مجموع کاتیون‌ها 30 میلی‌اکی‌والان بر لیتر خواهد بود. بر اساس نسبت 2 به 1 بایستی 20 میلی‌اکی‌والان بر لیتر از این مجموع مربوط به سدیم بوده و 10 میلی‌اکی‌والان بر لیتر متعلق به کلسیم باشد. به این ترتیب باید 20 میلی‌اکی‌والان کلرور سدیم و 10 میلی‌اکی‌والان کلرور کلسیم در یک لیتر آب حل شود. ضریب تبدیل میلی‌اکی‌والان بر

لیتر به میلی گرم بر لیتر بر اساس جدول (1) $\frac{AW}{V}$ است و وزن اتمی کلرور کلسیم و کلرور سدیم بر اساس جدول (2) به ترتیب 110 و 58 و ظرفیت آن‌ها به ترتیب 2 و 1 است. به این ترتیب وزن نمک مورد نیاز محاسبه می‌شود:

$$\text{کلرور سدیم} \quad \text{mg/lit} = (\text{meq/lit}) \times \frac{AW}{V} = 20 \times \frac{58}{1} = 1160$$

$$\text{کلرور سدیم} \quad \text{mg/lit} = (\text{meq/lit}) \times \frac{AW}{V} = 10 \times \frac{110}{2} = 550$$

توجه داشته باشید که اعداد بدست آمده، میلی گرم از این نمک‌ها در یک لیتر آب است و از آنجا که دو لیتر از این محلول نیاز داریم باید 2320 میلی گرم کلرور سدیم و 1100 میلی گرم کلرور کلسیم را در 2 لیتر آب حل نماییم.

پتانسیل اسمزی

اگر در دو سوی یک غشای نیمه تراوا، اختلاف غلظت وجود داشته باشد، آب از سمت رقیق تر به سمت غلیظ تر حرکت خواهد کرد. در واقع وجود اختلاف غلظت باعث مکش یا انرژی منفی آب خواهد شد. این انرژی منفی پتانسیل اسمزی نامیده می‌شود. در سیستم آب- خاک- گیاه غشای نیمه تراوا غشای پلاسمایی سلول‌های ریشه است و اختلاف غلظت در اثر وجود املاح در آب خاک یا همان شوری ایجاد می‌شود.

گاهی در آزمایش‌های شوری و به‌ویژه برای مقایسه با دیگر تنش‌ها مانند تنش خشکی، لازم است شوری بر اساس واحد پتانسیل اسمزی بیان شود. رابطه (3) و (4) برای تبدیل هدایت الکتریکی بر حسب دسی‌زیمنس بر متر به پتانسیل اسمزی بر حسب بار و بالعکس استفاده می‌شود.

$$OP \text{ (bar)} = - EC \text{ (dS/m)} \times 0.36 \quad (3)$$

$$EC \text{ (dS/m)} = - OP \text{ (bar)} \times 2.78 \quad (4)$$

مقادیر منفی تر حاصل از این روابط، نشان از شوری‌های بیشتر است. برای پتانسیل اسمزی واحدهای دیگری نیز به کار برده می‌شوند. برخی از مهم‌ترین و متداول‌ترین

واحدهای پتانسیل و ضرایب تبدیل آن‌ها در جدول (3) نشان داده شده است. در این جدول برای تبدیل واحدهای ستون سمت راست به واحدهای ردیف بالا باید در عدد مورد نظر ضرب شوند. برای تبدیل واحد از ردیف بالا به واحد ستون سمت راست باید عدد مورد نظر بر این مقادیر تقسیم شود.

جدول 3- ضرایب تبدیل برخی واحدهای پتانسیل اسمزی به یکدیگر
(سانتی‌متر در جدول فشار ستون آب است)

واحد	بار	میلی‌بار	سانتی‌بار	اتمسفر	سانتی‌متر	مگاپاسکال	کیلوپاسکال
بار	1	1000	100	1	1000	0/1	100
میلی‌بار	0/001	1	0/1	0/001	1	0/0001	0/1
سانتی‌بار	0/01	10	1	0/01	10	0/001	1
اتمسفر	1	1000	100	1	1000	0/1	100
سانتی‌متر	0/001	1	0/1	0/001	1	0/0001	0/1
مگاپاسکال	10	10000	10000	10	10000	1	1000
کیلوپاسکال	0/01	10	1	0/01	10	0/001	1

مثال 4:

می‌خواهیم محلول‌هایی با پتانسیل اسمزی الف (1 بار، ب) 200 کیلوپاسکال و ج) 4000 سانتی‌متر آب بسازیم، شوری این محلول‌ها چند دسی‌زیمنس بر متر است؟

پاسخ: بر اساس جدول (3) ضریب تبدیل کیلوپاسکال به بار 0/01 است در نتیجه 200 کیلوپاسکال معادل 2 بار خواهد بود همچنین ضریب تبدیل سانتی‌متر به بار 0/001 است در نتیجه 4000 سانتی‌متر معادل 4 بار خواهد بود. بر اساس رابطه (4) هدایت الکتریکی این سه محلول به شرح زیر بدست می‌آید:

$$EC = OP \times 2/78 = 1 \times 2/78 = 2/78 \text{ dS/m} \quad (\text{الف})$$

$$EC = OP \times 2/78 = 2 \times 2/78 = 5/56 \text{ dS/m} \quad (\text{ب})$$

$$EC = OP \times 2/78 = 4 \times 2/78 = 11/12 \text{ dS/m} \quad (\text{ج})$$

در این مثال برای تهیه محلول دارای پتانسیل اسمزی مورد نظر تنها با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی می‌توانید مطمئن شوید که به این کمیت از پتانسیل اسمزی رسیده‌اید. برای حالتی که قرار است وزن نمک موردنیاز برای رسیدن به پتانسیل اسمزی هدف محاسبه شود، برای مثال (5) راهگشا خواهد بود.

مثال 5:

اگر بخواهیم 3 لیتر از همان محلول‌های مثال 4 را با نمک طعام بسازیم، وزن نمک مورد نیاز چقدر است؟

پاسخ: بر اساس رابطه (2) مجموع غلظت کاتیون در این محلول‌ها 27/8، 55/6 و 111/2 میلی‌اکی‌والان بر لیتر خواهد بود. با توجه به این که هر اکی‌والان نمک طعام یک اکی‌والان کاتیون سدیم ایجاد می‌کند، در نتیجه غلظت نمک هم باید به ترتیب 27/8، 55/6 و 111/2 میلی‌اکی‌والان بر لیتر باشد. پس بر اساس جداول (1) و (2) خواهیم داشت:

$$27/8 \times \frac{AW}{V} = 27/8 \times 58 = 1612/4 \text{ mg/lit} \quad (\text{الف})$$

$$55/6 \times \frac{AW}{V} = 27/8 \times 58 = 3224/8 \text{ mg/lit} \quad (\text{ب})$$

$$111/2 \times \frac{AW}{V} = 27/8 \times 58 = 6449/6 \text{ mg/lit} \quad (\text{ج})$$

البته باید توجه داشت که این مقادیر برحسب میلی‌گرم در لیتر هستند و برای سه لیتر باید در سه ضرب شوند. همچنین این مقادیر به صورت مستقیم با استفاده از رابطه (1) نیز بدست می‌آید:

$$\text{TDS} = \text{EC} \times 640 = 2/78 \times 640 = 1779/2 \text{ mg/lit} \quad (\text{الف})$$

$$\text{TDS} = \text{EC} \times 640 = 5/56 \times 640 = 3558/4 \text{ mg/lit} \quad (\text{ب})$$

$$\text{TDS} = \text{EC} \times 640 = 11/12 \times 640 = 7116/8 \text{ mg/lit} \quad (\text{ج})$$

مقادیر تخمین زده شده به این دو روش مقداری با هم اختلاف دارند که مربوط به ماهیت تجربی آن‌ها است. هرچند روش دوم مربوط به مخلوط نمک‌ها است و به‌نظر می‌رسد استفاده از روش اول تخمین دقیق‌تری ارائه می‌دهد.

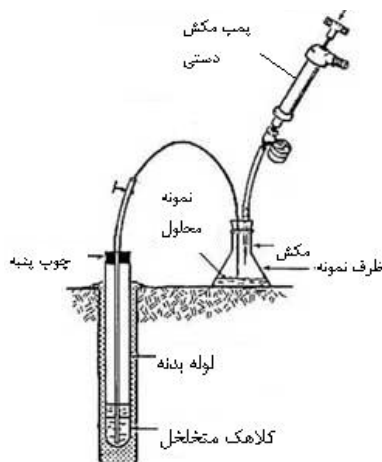
هدایت الکتریکی محلول خاک

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک، یون‌های قابل انحلال باید در آب خاک حل شوند. این آب که یا محلول خاک نیز نامیده می‌شود، یا باید از خاک استخراج شود و از راه انتشار به بین صفحات الکتروود دستگاه منتقل شود. این روش دوم برای اندازه‌گیری درجای هدایت الکتریکی محلول خاک استفاده می‌شود. به این منظور صفحات الکتروود شوری‌سنج در داخل محفظه‌ای سرامیکی و در تماس با خاک قرار داده می‌شود. این محفظه سرامیکی با محلول خاک، تبادل رطوبت انجام می‌دهد و املاح نیز به همراه آب وارد محفظه سرامیکی می‌شوند و به این ترتیب تغییرات شوری خاک، همزمان با خشک شدن خاک قابل پایش است. شکل (1) یک نمونه تجاری از این شوری‌سنج را به همراه سنسور آن نشان می‌دهد.



شکل 1- شوری سنج با الکتروود جاسازی شده در داخل صفحه سرامیکی (الف) به همراه دستگاه قرائت‌گر آن (ب) (Rhoades, Chanduvi et al., 1999)

استخراج آب خاک در رطوبت غیر اشباع، مستلزم اعمال مکش بر روی خاک است. به این منظور نیز کلاهک‌های سرامیکی معرفی شده‌اند که قابلیت مکش آب خاک در حالت غیراشباع را دارند. البته این کلاهک‌های سرامیکی هم تا مکش مشخصی می‌توانند آب را از خاک استخراج کنند که بسیار نزدیک به نقطه ظرفیت مزرعه (FC) خاک است. در نمونه استخراج شده می‌توان هدایت الکتریکی را اندازه‌گیری کرد که به آن هدایت الکتریکی آب خاک (EC_{sw}) یا هدایت الکتریکی محلول خاک (EC_{ss}) گفته می‌شود. شکل (2) شماتیک استخراج محلول خاک با مکش را نشان می‌دهد.



شکل 2- شکل یک دستگاه استخراج کننده مکشی برای نمونه برداری از آب خاک.

تغییر یافته از (Corwin and Yemoto, 2020)

هدایت الکتریکی عصاره اشباع

روش استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شوری خاک، اندازه‌گیری در حالت اشباع است. به این منظور نمونه خاک پس از خشک و الک شدن با استفاده از آب مقطر به رطوبت اشباع رسانده می‌شود. به گلی که به این شیوه تهیه می‌شود، گِل اشباع گفته می‌شود. به این محلول عصاره اشباع می‌گویند و به هدایت الکتریکی این محلول، هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e) گفته می‌شود.

باید توجه داشت که مقدار رطوبت خاک در مزرعه به مراتب کمتر از حالت اشباع است و به این ترتیب، هدایت الکتریکی عصاره اشباع کمتر از هدایت الکتریکی آب خاک یا محلول خاک است. نسبت رطوبت حالت اشباع به ظرفیت زراعی خاک بسته به بافت خاک متغیر است، ولی بر اساس اندازه‌گیری‌های متعدد این نسبت بین $1/5$ تا 3 برابر و بطور میانگین 2 برابر گزارش شده است (Ayers and Westcot, 1985). به این ترتیب رابطه زیر را می‌توان برای محاسبه سریع تبدیل هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e) به هدایت الکتریکی آب خاک (EC_{sw}) استفاده کرد:

$$EC_{sw} = 2 \times EC_e \quad (5)$$

تغییرات شوری خاک در فاصله دو آبیاری

با تبخیر آب از سطح خاک و نیز جذب آب به وسیله ریشه گیاه، آبِ خاک غلیظ‌تر می‌شود. به این ترتیب شوری آبِ خاک افزایش می‌یابد. البته آن‌چه که گیاه با آن سروکار دارد، همین آبِ خاک است ولی در عمل و به شکل استاندارد در آزمایش‌های شوری ما معمولاً هدایت الکتریکی آبِ خاک را اندازه‌گیری نمی‌کنیم. آن‌چه به عنوان شوری خاک گزارش می‌شود، هدایت الکتریکی عصاره اشباع است. اما آیا هدایت الکتریکی عصاره اشباع هم در فاصله دو آبیاری تغییر می‌کند؟

پس از توقف آبیاری، ورود نمک جدید به خاک محدوده ریشه متوقف می‌شود. پس از 24 تا 48 ساعت، آبِ ثقیلی هم از منافذ درشت خاک خارج می‌شود و خاک به حالت ظرفیت مزرعه می‌رسد. از این نقطه تا آبیاری بعدی، نمک جدیدی به خاک وارد و از آن هم خارج نمی‌شود. هر چند در اثر توزیع دوباره و به خاطر بالارفتن موینگی آب، مقداری از املاح به لایه‌های سطحی خاک منتقل می‌شوند ولی محتوای نمک کل محدوده ریشه در فاصله بین دو آبیاری تغییری نمی‌کند. حال اگر در این فاصله، نمونه‌ای از خاک برای تعیین هدایت الکتریکی عصاره اشباع گرفته شود، در هر وضعیت رطوبتی که باشد، هدایت الکتریکی عصاره اشباع آن تغییری نمی‌کند، چرا که هم محتوای نمک آن ثابت است و هم برای اندازه‌گیری، دوباره خشک و کاملاً اشباع می‌شود.

تجمع شوری در خاک

با هر آبیاری املاح به خاک اضافه می‌شوند. اگر این املاح در غلظت‌های مختل‌کننده‌ای در داخل منطقه ریشه تجمع یابند، عملکرد گیاه را کاهش خواهند داد. محصول کشت شده، بخش زیادی از آب مصرفی را برای جبران نیاز تبخیر و تعرقی خود جذب می‌کند ولی بیشتر املاح موجود در آن را به جای می‌گذارد و با کم شدن از آب موجود در خاک، محلول خاک غلیظ‌تر می‌شود. در هر آبیاری املاح بیشتری به همراه آب مصرفی اضافه می‌شود. بخشی از املاح افزوده شده بایستی از منطقه ریشه آبشویی شوند تا غلیظ شدن آن‌ها تاثیری بر عملکرد نداشته باشد. آبشویی با اعمال مقدار کافی آب برای حمل املاح تجمع یافته به وسیله نفوذ عمقی به زیر منطقه ریشه انجام می‌شود. بخشی از آب مصرفی

که از کل منطقه ریشه عبور می‌کند و به زیر آن نفوذ می‌کند، کسر آبشویی¹ (LF) نامیده می‌شود (Ayers and Westcot, 1985).

$$(6) \quad \text{عمق آبی که به زیر منطقه ریشه آبشویی می‌شود} \\ \text{کسر آبشویی} = \frac{\text{عمق آبی که در سطح خاک مصرف می‌شود}}{\text{عمق آبی که به زیر منطقه ریشه آبشویی می‌شود}}$$

پس از چندین آبیاری پیاپی تجمع املاح در خاک بسته به سطح شوری آب آبیاری و کسر آبشویی به یک تعادل می‌رسد. کسر آبشویی بالا ($LF = 0/5$) منجر به تجمع املاح کمتری در مقایسه با کسر آبشویی کمتر ($LF = 0/1$) می‌شود. اگر شوری آب آبیاری (EC_{iw}) و کسر آبشویی (LF) معلوم باشند و یا بتوان آن‌ها را تخمین زد، هم شوری آب زهکشی که به زیر منطقه ریشه نفوذ می‌کند و هم میانگین شوری منطقه ریشه را می‌توان تخمین زد. شوری آب زهکش را می‌توان از روی رابطه زیر تخمین زد:

$$(7) \quad EC_{dw} = \frac{EC_{iw}}{LF}$$

که در آن EC_{dw} شوری زهابی است که از انتهای منطقه ریشه خارج می‌شود (مساوی شوری آب خاک EC_{sw} در انتهای منطقه ریشه) و دیگر اصطلاحات نیز بر اساس تعاریف پیشین هستند. در مثال 6، کسر آبشویی و کیفیت آب برای پیش‌بینی کیفیت زهاب استفاده شده است. به همان سان گیاه مورد نظر تنها در پایین‌ترین قسمت ناحیه ریشه با این شوری آب زهکش مواجه است. در این قسمت نسبت به قسمت‌های بالاتر، شوری بیشتر است چرا که کسر آبشویی بسیار کمتر است. اما گیاه به جای اینکه به مقادیر شوری در مناطق بالایی و یا پایینی منطقه ریشه پاسخ دهد، به میانگین شوری منطقه ریشه پاسخ خواهد داد.

مثال 6:

فرض کنید گیاهی با آبی دارای شوری (EC_{iw}) 1 دسی زیمنس بر متر به گونه‌ای آبیاری می‌شود که کسر آبشویی 0/15 حاصل شود (به این معنی که 85 درصد از آب مصرفی یا به

¹ Leaching Fraction (LF)

وسیله گیاه مصرف می‌شود، یا از سطح خاک تبخیر می‌شود و یا در خاک ناحیه ریشه ذخیره می‌شود). شوری آب خاک در انتهای منطقه ریشه را در حالت ماندگار حساب کنید.

پاسخ:

$$LF = 0/15$$

$$EC_{iw} = 1 \text{ dS/m}$$

توضیحات

غلظت آب خاک که به زیر منطقه ریشه نفوذ می‌کند (EC_{sw}) معادل غلظت زهابی است (EC_{dw}) که در زیر منطقه ریشه تجمع می‌یابد. شوری آبی که از انتهای منطقه ریشه نفوذ عمقی می‌کند (زهاب) در حالت ماندگار را می‌توان از روی معادله (8) تخمین زد:

$$EC_{dw} = EC_{sw} = \frac{EC_{iw}}{LF}$$

$$EC_{dw} = \frac{1}{0/15} = 6/7 \text{ dS/m}$$

شوری آب خاکی که از انتهای منطقه ریشه خارج می‌شود (EC_{dw}) نزدیک به 6/7 دسی زیمنس بر متر خواهد بود.

با انجام فرضیات خاص در رابطه با استفاده از آب به وسیله ریشه می‌توان میانگین شوری آب خاک (EC_{sw}) در منطقه ریشه را تخمین زد. فرض اساسی این است که 20، 30، 40 و 10 درصد از آبی که به وسیله گیاه مصرف می‌شود، به ترتیب از بالاترین تا پایین‌ترین ربع‌های منطقه ریشه تامین می‌شود. این الگوی مصرف آب تطابق نزدیکی با شرایط معمول فعالیت‌های آبیاری دارد (Solomon, 1985). در مثال 7 نشان داده شده است که چگونه از این الگو برای تخمین میانگین شوری آب خاک (EC_{sw}) استفاده می‌شود.

مثال 7 نشان می‌دهد که با یک کسر آبشویی 15 درصد و یک الگوی مصرف آب 10-20-30-40، میانگین شوری آب خاک نزدیک به 3/2 برابر غلیظ‌تر از آب آبیاری است. در یک کسر آبشویی 20 درصد، میانگین شوری آب خاک (EC_{sw}) 2/7 برابر شوری آب آبیاری مصرفی است. جداول راهنمای کیفیت آب با فرض 15 تا 20 درصد کسر آبشویی منجر به میانگین شوری آب خاک حدود 3 برابر شوری آب آبیاری می‌شوند. شوری آب خاک (EC_{sw}) میانگین شوری خاک منطقه ریشه است که گیاه با آن مواجه می‌شود و

اندازه‌گیری آن مشکل است. اندازه‌گیری شوری به شیوه معمول بر روی عصاره اشباع خاک انجام و به آن شوری خاک (EC_e) گفته می‌شود. شوری خاک (EC_e) نزدیک به معادل نصف شوری آب خاک (EC_{sw}) است. به عنوان یک محاسبه سریع، در کسر آبشویی نزدیک به 15 تا 20 درصد، می‌توان از روابط زیر با استفاده از شوری آب آبیاری برای تخمین شوری آب خاک (EC_{sw}) و یا شوری خاک (EC_e) استفاده کرد:

$$EC_{sw} = 3 EC_{iw} \quad (9)$$

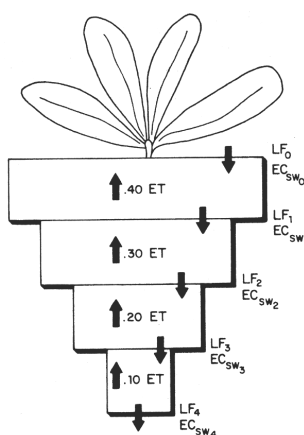
$$EC_e = 1/5 EC_{iw} \quad (10)$$

$$EC_{sw} = 2 EC_e \quad (11)$$

مثال 7:

در شرایط مثال 6 و با فرض الگوی جذب آب 10-20-30-40 میانگین شوری خاک در منطقه ریشه را محاسبه کنید.

پاسخ: میانگین شوری منطقه ریشه را می‌توان از روی میانگین 5 نقطه در عمق ریشه‌دهی (شکل 3) حساب کرد. روش محاسباتی که در ادامه می‌آید را می‌توان برای تخمین میانگین شوری منطقه ریشه که گیاه به آن واکنش نشان می‌دهد نیز به کار برد.



شکل 3- الگوی شماتیک مدل جذب آب 10-20-30-40 و 5 نقطه استفاده شده برای تعیین شوری میانگین منطقه ریشه با استفاده از کسر آبشویی

فرضیات

1. شوری آب مصرفی (EC_{iw}) معادل 1 دسی زیمنس بر متر
2. نیاز آبی گیاه (ET) معادل 1000 میلیمتر در فصل رشد
3. الگوی مصرف آب گیاه 10-20-30-40 است. این بدان معنی است که گیاه 40 درصد از نیاز ET خود را از بالاترین ربع منطقه ریشه، 30 درصد از ربع بعدی، 20 درصد از ربع بعدی و 10 درصد از پایین‌ترین ربع جذب می‌نماید. مصرف آب به وسیله گیاه محلول خاکی (EC_{sw}) که به ربع بعدی زهکش می‌شود را غلیظ‌تر می‌کند.
4. کسر آبشویی مورد نظر (LF) است. کسر آبشویی 0/15 به این معنی است که 15 درصد از آب آبیاری مصرفی که به سطح خاک وارد می‌شود، از انتهای منطقه ریشه نفوذ عمقی می‌کند و 85 درصد از آب به وسیله گیاه استفاده می‌شود تا جبران نیاز ET گیاه و نیز تبخیر از سطح را بنماید.

توضیحات

1. پنج نقطه در منطقه ریشه برای تعیین میانگین شوری منطقه ریشه استفاده شده‌اند. این پنج نقطه عبارتند از شوری آب خاک در (1) سطح خاک (EC_{sw0})؛ (2) انتهای بالاترین ربع منطقه ریشه، (EC_{sw1})؛ (3) انتهای دومین ربع منطقه ریشه (EC_{sw2})؛ (4) انتهای سومین ربع (EC_{sw3}) و (5) انتهای چهارمین ربع و یا محلول خاکی که از منطقه ریشه زهکش می‌شود (EC_{sw4}) که معادل شوری آب زهکش (EC_{dw}) است.
2. با کسر آبشویی 15 درصد، آب مصرفی که لازم است تا هم نیاز تبخیر - تعرق گیاه و هم کسر آبشویی را تامین نماید از روی رابطه (12) تعیین می‌شود:

$$Aw = \frac{ET}{1-LF} = \frac{1000}{1-0/15} = 1176 \text{ mm} \quad (12)$$

3. از آنجایی که تمام آب مصرفی وارد سطح خاک شده و آن را کاملاً شستشو می‌دهد، شوری آب خاک در سطح (EC_{sw0}) بایستی همان گونه که در محاسبات زیر نشان داده شده است و با فرض کسر آبشویی 1، بسیار نزدیک به شوری آب آبیاری باشد.

$$EC_{dw_0} = EC_{sw_0} = \frac{EC_{iw}}{LF_0} = \frac{1}{1} = 1 \text{ dS/m}$$

4. شوری محلول خاکی که از انتهای هر کدام از ربع‌های منطقه ریشه خارج می‌شود را می‌توان با تعیین کسر آبشویی برای آن ربع و سپس تعیین شوری محلول خاک تعیین کرد.

برای انتهای ربع اول:

$$LF_1 = \frac{1176 - 0/40 \times (1000)}{1176} = 0/66$$

$$EC_{sw_1} = \frac{EC_{iw}}{LF_1} = 1/5 \text{ dS/m}$$

در انتهای ربع دوم:

$$LF_2 = \frac{1176 - 0/4 \times (1000) - 0/3 \times (1000)}{1176} = 0/4$$

$$EC_{sw_2} = \frac{EC_{iw}}{LF_2} = 2/5 \text{ dS/m}$$

در انتهای ربع سوم:

$$LF_3 = \frac{1176 - 0/40 \times (1000) - 0/30 \times (1000) - 0/20 \times (1000)}{1176} = 0/23$$

$$EC_{sw_3} = \frac{EC_{iw}}{LF_3} = 4/3 \text{ dS/m}$$

در انتهای منطقه ریشه (ربع چهارم):

$$LF_3 = \frac{1176 - 0/40 \times (1000) - 0/30 \times (1000) - 0/20 \times (1000) - 0/10 \times (1000)}{1176} = 0/15$$

$$EC_{sw_4} = \frac{EC_{iw}}{LF_4} = 6/7 \text{ dS/m}$$

میانگین شوری آب خاک منطقه ریشه با میانگین‌گیری 5 مقداری که در بالا محاسبه

شد به دست می‌آید:

$$EC_{sw} = \frac{EC_{sw0} + EC_{sw1} + EC_{sw2} + EC_{sw3} + EC_{sw4}}{5}$$

$$EC_{sw} = \frac{1/0 + 1/5 + 2/5 + 4/3 + 6/7}{5} = 3/2 \text{ dS/m}$$

این محاسبات نشان می‌دهد که میانگین شوری آب خاک در منطقه ریشه 3/2 برابر شوری آب مصرفی است. اگر این محاسبات بر اساس مفروضات مثال (7) برای دیگر مقادیر کسر آبشویی تکرار شود، ضریبی به نام فاکتور غلظت به دست خواهد آمد که با ضرب کردن آن در شوری آب آبیاری می‌توان میانگین شوری خاک در منطقه ریشه را پیش‌بینی نمود. برای نمونه میانگین شوری آب خاک در شرایط مثال 7 معادل 3/2 برابر شوری آب آبیاری است که بر اساس رابطه (11) شوری عصاره اشباع خاک نصف این مقدار یعنی 1/6 خواهد بود. در نتیجه فاکتور غلظت 1/6 خواهد بود. جدول (4) مقادیر محاسبه شده برای فاکتور غلظت و نیز میزان آب مصرفی در صورتی که تبخیر- تعرق 100 باشد را برای مقادیر مختلف کسر آبشویی نشان می‌دهد.

جدول 4- مقادیر فاکتور غلظت (X) برای پیش‌بینی میانگین شوری خاک (EC_e) در منطقه

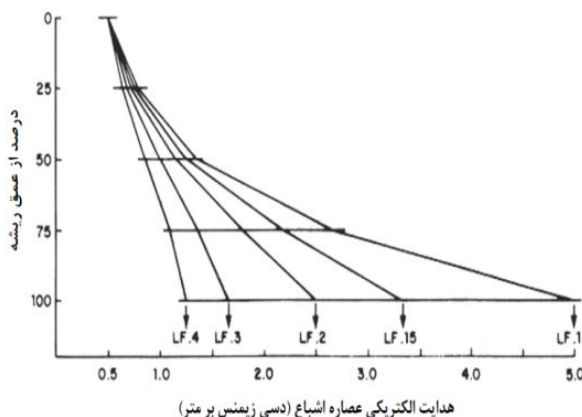
ریشه از روی شوری آب آبیاری (EC_{iw}) و کسر آبشویی (LF)

کسر آبشویی (LF)	آب مورد نیاز (درصد از ET)	فاکتور غلظت (X)
0/05	105/3	3/2
0/10	111/1	2/1
0/15	117/6	1/6
0/20	125	1/3
0/25	133/3	1/2
0/30	142/9	1
0/40	166/7	0/9
0/50	200	0/8
0/60	250	0/7
0/70	333/3	0/6
0/80	500	0/6

رابطه پیش‌بینی شوری خاک پس از سال‌ها آبیاری با آبی دارای شوری آب آبیاری (EC_{iw}) به قرار رابطه (13) است:

$$EC_e (dS/m) = EC_{iw} (dS/m) \cdot X \quad (13)$$

توزیع نهایی املاح پس از چندین بار آبیاری با آبی دارای شوری 1 دسی‌زیمنس بر متر مقادیر مختلف کسر آبشویی در شکل (4) نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل نشان داده شده است توزیع املاح از سطح به عمق در حالت ماندگار روند افزایشی را نشان می‌دهد. این افزایش در مقادیر پایین کسر آبشویی، شدیدتر است و در مقادیر بالای کسر آبشویی به حالت خط راست نزدیکتر می‌شود. این مفاهیم افزون‌بر اینکه در تعیین شوری خاک از روی شوری آب آبیاری اهمیت دارند، در تعیین واکنش عملکرد نسبی گیاهان در سطوح مختلف شوری نیز دارای اهمیت هستند، چرا که این روابط آن‌چنان که در ادامه بحث خواهد شد در شرایطی ایجاد شده‌اند که شوری عصاره اشباع خاک حدود یک و نیم برابر شوری آب آبیاری باشد که با مباحث مطرح شده در اینجا معادل کسر آبشویی 15 تا 20 درصد است.



شکل 4- پروفیل شوری مورد انتظار که بعد از استفاده طولانی مدت از آبی با شوری 1 دسی زیمنس بر متر در مقادیر مختلف کسر آبشویی در منطقه ریشه ایجاد می‌شود.

این پروفیل شوری در شرایطی ایجاد می‌شود که آب و در نتیجه نمک در اثر توزیع

دوباره و بالا آمدن موینگی دوباره به سطح خاک برنگردد. در شرایطی که سفره آب زیرزمینی کم عمق و یا مشکلات زهکشی در خاک وجود داشته باشد، بالا آمدن موینگی باعث تجمع املاح در سطح خاک می‌شود و پروفیل شوری عموماً برعکس شکل (4) است، یعنی غلظت املاح در سطح خاک بیشتر از اعماق پایین‌تر است. در آزمایش‌ها نیز بالا آمدن موینگی می‌تواند این الگوی ویژه توزیع املاح را تغییر دهد. به همین دلیل لازم است در آزمایش‌های شوری از بالا آمدن موینگی آب و املاح جلوگیری کرد. این کار را به راحتی می‌توان با استفاده از مالچ و یا شن درشت‌دانه انجام داد. لایه‌ی مالچ یا شن درشت‌دانه در سطح خاک در فاصله کمی بعد از آبیاری خشک می‌شود. از آن‌جا که هدایت هیدرولیکی غیر اشباع به صورت نمایی با رطوبت خاک رابطه دارد، در سطح خاک، لایه‌ای با هدایت هیدرولیکی صفر یا نزدیک به صفر ایجاد می‌شود که ضمن حفظ رطوبت، از بالا آمدن املاح به سطح خاک نیز جلوگیری می‌کند.

کنترل شوری خاک در آزمایش‌های شوری

در قسمت پیشین نشان داده شد که شوری آب آبیاری و میانگین شوری خاک در منطقه ریشه از راه فاکتور غلظت به هم وابسته هستند. مقدار فاکتور غلظت بستگی به مقدار کسر آبشویی دارد. به طور مرسوم مصطلح است که شوری خاک، یک و نیم برابر شوری آب آبیاری است (رابطه 10). با مراجعه به جدول (4) مشخص می‌شود که فاکتور غلظت یک و نیم، متناظر با کسر آبشویی حدود 15 تا 20 درصد است. در نتیجه برای حفظ شوری خاک در دامنه حدود یک و نیم برابری شوری باید کسر آبشویی در طول آزمایش در دامنه 15 تا 20 درصد حفظ شود. با مراجعه دوباره به ستون دوم جدول (4) مشخص می‌شود که برای حفظ این کسر آبشویی باید مصرف آب $117/6$ تا 125 درصد تبخیر - تعرق باشد، یعنی حدود 18 تا 25 درصد بیش از تبخیر-تعرق آبیاری انجام شود.

پرسش 1- آیا امکان دارد که میانگین شوری خاک کمتر از هدایت الکتریکی شوری آبیاری شود؟

همان‌گونه که در بخش‌های نخستین نشریه یاد شد، شوری را می‌توان برحسب جرم

املاح جامد موجود در آب یا عصاره خاک، غلظت یون‌ها و یا هدایت الکتریکی بیان کرد. از آنجا که روش مرسوم تعیین شوری، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی است، به شکل مصطلح دو واژه شوری و هدایت الکتریکی معادل هم به کار می‌روند. درباره خاک برای تهیه عصاره خاک روش‌های مختلفی وجود دارد ولی روش استاندارد و مرسوم، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی عصاره اشباع است.

اگر تمام منافذ خاک با آب آبیاری پُر شود و تمام نمک‌های موجود در خاک به خارج از خاک آبشویی شود، هدایت الکتریکی آب موجود در این منافذ با هدایت الکتریکی آب آبیاری برابر خواهد شد. ولی همان گونه که در بخش‌های پیشین همین نشریه تشریح شد، برای تهیه عصاره اشباع باید این خاک خشک شده و با استفاده از آب مقطر و نه آب آبیاری دوباره اشباع شود. روشن است حل شدن دوباره این املاح در آب مقطر، هر چند ممکن است جرم کل املاح را تغییر ندهد (در شرایطی ممکن است بخشی از رسوبات گچ و آهک در آب مقطر حل شود) ولی بی‌گمان این عصاره از محلول خاک رقیق‌تر خواهد شد. به این ترتیب از لحاظ نظری امکان‌پذیر است که هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک از آب آبیاری هم کمتر باشد. این اتفاق برای نمونه‌هایی که از لایه سطحی خاک گرفته می‌شوند به فراوانی رخ می‌دهد. ولی حتی برای میانگین شوری منطقه ریشه نیز بر اساس جدول (4) در مقادیر کسر آبشویی بیش از 40 درصد، مقدار فاکتور غلظت کمتر از واحد می‌شود.

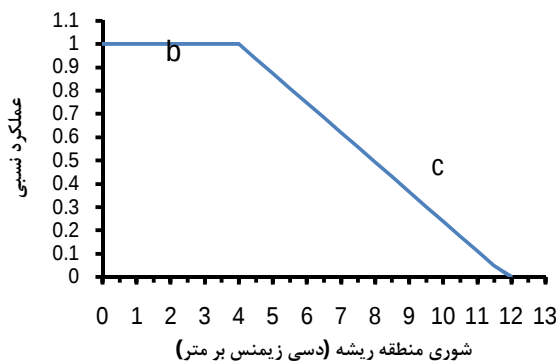
پرسش 2- آیا حفظ کسر آبشویی در دامنه 15 تا 20 درصد الزامی است؟

برای پاسخ به این سؤال لازم است جداول راهنمای تحمل نسبی گیاهان به شوری که به جداول ماس و هافمن (Maas and Hoffman, 1977) هم معروف هستند را مرور کنیم که در زیر آمده است.

معادله عمومی واکنش گیاهان نسبت به شوری

در تلاش برای برآزش یک تابع عمومی بر تمامی داده‌های موجود در زمینه تحمل گیاهان به شوری، (Maas and Hoffman, 1977) تابع پیوسته‌ای از عملکرد نسبی گیاهان نسبت به شوری را ارائه کردند. هرچند که شکل واقعی این تابع برای بسیاری از گیاهان به

صورت سیگموئیدی است ولی ممکن است گیاه پیش از کاهش محصول به صفر درصد نسبی از بین برود، از این‌رو دانشمندان یاد شده با صرف‌نظر کردن از بخش انتهایی این منحنی یک مدل خطی دو قسمتی را برای این منظور پیشنهاد کرده‌اند، بدین ترتیب که شیب خط در بخش اول صفر و برای بخش دوم شیب خط نشان‌دهنده مقدار کاهش عملکرد به ازای هر واحد افزایش شوری است. مقدار شوری که باعث تغییر واکنش عملکرد نسبی گیاه از وضعیت بدون شیب به خط شیبدار می‌شود (نقطه b در شکل 5) به حد آستانه و شیب خط bc به شیب کاهش عملکرد (A) نسبی موسوم است.



شکل 5- شکل ویژه منحنی واکنش عمومی گیاهان به شوری

معادله عمومی که برای توصیف این تابع استفاده می‌شود به قرار زیر است:

$$Y_r = 1 - A (EC_e - B) \quad (14)$$

که در آن Y_r عملکرد نسبی، B هدایت الکتریکی در آستانه کاهش محصول (بر حسب dS/m)، A شیب خط و EC_e میانگین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در منطقه رشد ریشه است.

دامنه تحمل گیاهان کشاورزی نسبت به شوری بین گیاهان مختلف می‌تواند تا 8 الی 10 برابر تغییر کند. این دامنه وسیع تحمل گیاه، اجازه می‌دهد تا از آب‌های با شوری میانگین استفاده بیشتری بشود. تحمل نسبی بیشتر گیاهان کشاورزی در برابر شوری به آن اندازه مشخص شده است که بتوان رهنمودهای عمومی تحمل به شوری را ارائه داد.

تحمل بسیاری از گیاهان زراعی، سبزی‌ها، گیاهان علوفه‌ای و درختان میوه معمولی توسط ماس و هافمن گردآوری شده است که در جدول (5) بخشی از آن ارائه شده است. جدول کامل را می‌توان در نشریه شماره 29 فائو با عنوان کیفیت آب برای آبیاری (Ayers and Westcot, 1985) پیدا کرد.

جدول 5- تحمل گیاه و پتانسیل عملکرد تعدادی از گیاهان با توجه به اثر شوری آب آبیاری (ECw) و شوری خاک (ECe)¹

گیاهان زراعی		پتانسیل عملکرد ²					
		%0 ³		%50		%100	
		ECiw	ECe	ECiw	ECe	ECiw	Ece
Hordeum vulgaris ⁴	جو	19	28	12	18	8/7	8
Gossypium hirsutum	پنبه	18	27	12	17	8/4	7/7
Beta vulgaris ⁵	چغندر قند	16	24	10	15	7/5	7
Sorghum bicolor	سورگوم	8/7	13	6/7	9/9	5/6	6/8
Triticum aestivum ^{6,4}	گندم	13	20	8/7	13	6/3	6
T. turgidum	گندم دوروم	16	24	10	15	6/9	5/7

1. اخذ شده از داده‌های (ماس و هافمن، 1977؛ ماس، 1984). این داده‌ها تنها به‌عنوان راهنمایی برای مقایسه تحمل نسبی در بین گیاهان به‌کار می‌رود. تحمل مطلق بسته به شرایط اقلیمی، خاک و عملیات زراعی، متغیر است. در خاک‌های گچی، گیاهان حدود 2 دسی‌زیمنس بر متر بیشتر از مقادیر (ECe) ذکر شده در این جدول را تحمل می‌کنند ولی مقدار شوری آب (ECw) تفاوتی با مقادیر جدول ندارد.
2. ECe به معنی میانگین شوری خاک در منطقه ریشه است که بر اساس هدایت الکتریکی عصاره اشیاع خاک بر حسب دسی‌زیمنس بر متر در 25 درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. ECw هدایت الکتریکی آب آبیاری بر حسب دسی‌زیمنس بر متر است. رابطه بین شوری خاک و شوری آب آبیاری ($ECe = 1/5 ECw$) بر اساس فرض کسر آبشویی 15 تا 20 درصد و الگوی جذب آب 10-20-30-40 در ربع‌های متوالی منطقه ریشه است. این فرضیات در توسعه این جدول راهنما استفاده شده‌اند.
3. پتانسیل عملکرد صفر یا حداکثر ECe نشان‌دهنده مقداری نظری از ECe است که در آن رشد گیاه متوقف می‌شود.
4. جو و گندم در مراحل جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای تحمل کمتری به شوری دارند. شوری لایه‌های بالایی خاک در طی این مراحل نباید از 4 تا 5 دسی‌زیمنس بر متر تجاوز کند.
5. چغندرها در مرحله جوانه‌زنی به شوری حساس‌تر هستند. ECe برای چغندر باغی و چغندر قند در منطقه کاشت نباید بیش از 3 دسی‌زیمنس بر متر باشد.
6. گندم‌های نیمه پاکوتاه ممکن است تحمل کمتری داشته باشند.

نگاهی به جدول 5 و توضیحات زیر آن مشخص می‌کند که جداول راهنمای تحمل نسبی گیاهان به شوری نیز با فرض رابطه بین شوری خاک و شوری آب آبیاری (EC_w) ($EC_e = 1/5$) بر اساس فرض کسر آبشویی 15 تا 20 درصد و الگوی جذب آب 30-40-20-20 در ربع‌های متوالی منطقه ریشه بدست آمده است. فرض کسر آبشویی 15 تا 20 درصد، هرچند ممکن است در شرایط حاضر کشاورزی در کشورهای پیشرفته منطبق نباشد، ولی در روش‌های آبیاری سطحی که بخش مهمی از روش‌های آبیاری کشاورمان را به خود اختصاص داده است، به دلیل هدر رفت آبیاری، تامین 15 تا 20 درصد تلفات عمقی به صورت خودکار رخ می‌دهد و در نتیجه این فرض در شرایط کشاورزی کشور بیشتر صادق است.

حال اگر دوباره به پرسش (2) برگردیم، بنظر پاسخ به آن راحت‌تر است. به منظور کنترل شوری خاک در آزمایش‌های شوری، لازم است کسر آبشویی تا حد امکان ثابت نگه داشته شود و به منظور مقایسه نتایج با مقادیر استاندارد (به عنوان نمونه جداول راهنمای ماس و هافمن) بهتر است کسر آبشویی در مدت زمان آزمایش در دامنه 15 تا 20 درصد ثابت نگه داشته شود.

پرسش 3- در آزمایش‌های مقایسه تحمل به شوری ارقام کدام عامل باید ثابت نگه داشته شود: حجم آبیاری یا کسر آبشویی؟ برای پاسخ به این پرسش به مثال‌های 8 و 9 توجه کنید:

مثال 8:

فرض کنید دو رقم (الف) و (ب) از گیاهی را در اختیار داریم. رقم (الف) متحمل‌تر از رقم (ب) است به شکلی که رقم (الف) در شوری 4 دسی‌زیمنس بر متر 100 درصد عملکرد پتانسیل و در شوری 6 دسی‌زیمنس بر متر 80 درصد عملکرد پتانسیل را دارد. رقم (ب) در همین شرایط 90 و 70 درصد عملکرد پتانسیل را تولید می‌کند، نیاز آبی گیاه در حالت پتانسیل و در فاصله بین دو آبیاری 8 لیتر به‌ازای هر گلدان است. آزمایشی بر روی این دو رقم در دو سطح شوری آب آبیاری 4 و 6 دسی‌زیمنس بر متر انجام و در هر دور آبیاری به‌طور ثابت 10 لیتر آب به تمام گلدان‌ها شده است، شوری خاک و عملکرد

نسبی نهایی را محاسبه کنید.

پاسخ: در شرایط پتانسیل، گیاه در هر دور آبیاری، 8 لیتر از آب را مصرف می‌کند که و 2 لیتر آن زهکش می‌شود و به این ترتیب، کسر آبشویی 20 درصد خواهد بود. از سویی رابطه بین تولید بیومس و مصرف آب خالص توسط گیاه خطی است (de Wit, 1958). یعنی در شرایطی که 80 درصد عملکرد پتانسیل داریم، 80 درصد مصرف خالص آب پتانسیل هم خواهیم داشت. در شرایط شوری 6 برای رقم (الف) مصرف آب 80 درصد پتانسیل است. یعنی از 10 لیتر آب مصرفی $6/4$ لیتر مصرف و $3/6$ لیتر زهکشی می‌شود در نتیجه کسر آبشویی 36 درصد و فاکتور غلظت $0/9$ خواهد شد. در این شرایط شوری خاک $5/4$ دسی‌زیمنس بر متر و کمتر از حالت قبل خواهد شد. در نتیجه عملکرد نسبی 100 درصد خواهد شد. به همین ترتیب برای دیگر شرایط نیز می‌توان جدول زیر را تنظیم کرد:

شوری آب (dS/m)	کسر آبشویی (%)	فاکتور غلظت (X)	شوری خاک (dS/m)	عملکرد نسبی (%)
4	20	1/5	6	100
6	36	0/9	5/4	100
4	28	1	4	100
6	44	0/9	5/4	100

رقم (الف)

رقم (ب)

مشاهده می‌شود در این مثال به دلیل مصرف آب یکسان در تمام شرایط، عملکرد نسبی در همه شرایط یکنواخت است. یعنی در شرایط شورتر، مصرف آب کمتر، کسر آبشویی بیشتر و تجمع نمک در خاک کمتر و در نتیجه عملکرد نسبی 100 درصد حفظ شده است. همچنین در شرایط رقم حساس‌تر نیز به دلیل عملکرد کمتر، مصرف آب کمتر شده و کسر آبشویی افزایش می‌یابد و در نتیجه شرایط مشابهی ایجاد می‌شود. البته باید توجه داشت که این روابط دو طرفه است. یعنی کاهش شوری خاک باعث افزایش رشد و افزایش نیاز آبی خواهد شد و دوباره کسر آبشویی کاهش و تجمع املاح افزایش می‌یابد. در مثال 9 برای همین ارقام، کسر آبشویی 20 درصد حفظ می‌شود.

کسر آبشویی بر مبنای شوری و کسر آبشویی بر مبنای حجم آب

محاسبه بیلان نمک با استفاده از رابطه 15 انجام می‌شود (Rhoades and Oster et al., 1974).

$$V_{iw}C_{iw} + S_m - V_{dw}C_{dw} - S_p - S_c = \Delta S_{sw} + \Delta X_c \quad (15)$$

در این رابطه V_{iw} ، C_{iw} و C_{dw} عبارتند از حجم و غلظت نمک در آب آبیاری (iw) و آب زهکش (dw)؛ S_m مقدار نمکی است که با فرآیند هوازدگی و انحلال کانی‌های خاک به محلول اضافه می‌شود؛ S_p مقداری از املاح محلول همراه آب آبیاری است که بعد از اضافه شدن به خاک در آن رسوب می‌نماید، و S_c مقدار نمکی است که با بخش برداشت شده محصول از خاک خارج می‌شود. جمع جبری این عوامل در مقابل تغییر محتوای املاح آب خاک ΔS_{sw} و کاتیون‌های قابل تبادل ΔX_c قرار داده شده است.

در توسعه‌ی مدل‌های اولیه و حالت ماندگار آبشویی فرض بر این بوده است که خاک مانند یک مخزن ساده عمل می‌کند که تنها هدایت‌کننده آب به سمت ریشه‌های گیاه است و در اثر تغییر محتوای آب خاک، تغییری در بیلان نمک ایجاد نمی‌شود ($\Delta S_{sw} = 0$). نمک نه جذب ذرات خاک می‌شود ($\Delta X_c = 0$)، نه به وسیله ریشه جذب می‌شود ($S_c = 0$)، نه در خاک رسوب می‌کند ($S_p = 0$) و نه از کانی‌های خاک در اثر انحلال به آن اضافه می‌شود ($S_m = 0$). با این فرضیات تنها اجزای باقیمانده بیلان نمک ورود نمک با آب آبیاری و خروج آن با زهکشی است:

$$V_{iw}C_{iw} + 0 - V_{dw}C_{dw} - 0 - 0 = 0 + 0 \quad (16)$$

$$V_{iw}C_{iw} = V_{dw}C_{dw}$$

با توجه به رابطه مستقیم بین غلظت (C) و هدایت الکتریکی (EC) از رابطه 16 می‌توان نتیجه گرفت که حاصل ضرب شوری آب آبیاری EC_{iw} در حجم آن V_{iw} مساوی حاصل ضرب شوری زهاب EC_{dw} در حجم آن V_{dw} و معادل مقداری ثابت C است که در رابطه‌ی (17) نشان داده شده است:

$$EC_{iw}V_{iw} = EC_{dw}V_{dw} = C \quad (17)$$

اگر بجای مقدار ثابت، کسر آبشویی (LF) قرار داده و دوباره بازنویسی شود، شکل شناخته شده کسر آبشویی به صورت رابطه (18) حاصل می‌شود.

$$LF = \frac{V_{dw}}{V_{iw}} = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} \quad (18)$$

این تعریف کسر آبشویی از دو جمله تشکیل شده است؛ جمله اول بر مبنای حجم آب و جمله دوم بر مبنای شوری آب است. تساوی این دو جمله در شرایطی صادق است که پیش‌فرض‌های ذکر شده و همچنین شرایط ماندگار برقرار باشند.

شرایط ماندگار به معنی این است که ورود و خروج جرم به حجم مشخصی از خاک در زمانی مشخص برابر باشد. این شرط برای حجم‌های کوچک خاک و فاصله‌های زمانی کوتاه مدت کم و بیش هیچ‌گاه برقرار نیست. ولی اگر حجم مشخص خاک را معادل منطقه ریشه فرض کنیم و فاصله زمانی هم به نسبت زیاد باشد (به عنوان نمونه چند دور آبیاری) این شرط می‌تواند برقرار باشد. به این ترتیب در آبیاری باغ‌هایی که سال‌ها است با یک روش آبیاری مشخص، با حجم نسبتاً ثابتی از آب و با شوری آب مشخص آبیاری می‌شوند، شرایط شبه‌ماندگار برقرار است. ولی در آزمایش‌های شوری معمولاً زمان کافی برای رسیدن به شرایط ماندگار و یا شبه‌ماندگار در اختیار نیست. به این ترتیب لازم است شوری خاک، پیش از اعمال تیمارهای آزمایشی در سطحی نزدیک به شوری مورد نظر نگه‌داشته شود. این کار را می‌توان با آبشویی پیش از کاشت و یا اعمال تیمار انجام داد.

به این ترتیب در آزمایش‌های گلدانی و لایسیمتری پیش از اعمال تیمار، گلدان‌ها با آب شور مورد نظر آبیاری می‌شوند و شوری زهاب انتهایی گلدان یا لایسیمتر اندازه‌گیری می‌شود. هرگاه شوری زهاب ثابت شد، شرایط برای شروع آزمایش آماده است. در شرایط مزرعه‌ای هم باید با اندازه‌گیری‌های پیوسته شوری خاک، پس از آبیاری، از یکنواختی شوری خاک مطمئن شد.

البته پیش‌فرض‌های دیگر حاکم بر رابطه (18) نیز چندان در شرایط مزرعه‌ای صادق نیستند. به این ترتیب دو جمله‌ی این رابطه همیشه با یکدیگر برابر نیستند. هر چند در آزمایش‌ها می‌توان شرایطی را فراهم کرد که این دو جمله با هم برابر باشند. نابرابری

این دو جمله از جنبه کاربردی بسیار مهم است. باید توجه داشت که آبشویی تنها برای کنترل شوری به کار می‌رود. در نتیجه از دید کاربردی کسر آبشویی بر مبنای حجم آب، هدر رفت غیرمفید آب است، حال آن‌که کسر آبشویی بر مبنای شوری آب هدر رفت مفید و ضروری آب است. در عمل سعی می‌شود جمله‌ی اول (آبشویی بر مبنای حجم آب) تا حد امکان کم و جمله‌ی دوم (آبشویی بر مبنای شوری) تا حد امکان زیاد شود. این شرایط در عمل اتفاق می‌افتد، یعنی آبشویی بر مبنای شوری آب، بیشتر از آبشویی بر مبنای حجم آب است. و می‌توان با اعمال حجم آبی کمتر از آن‌چه رابطه (18) پیش‌بینی می‌کند، شوری خاک را در سطحی مشخص حفظ کرد. بحث در مورد دلایل این پدیده، نیازمند زمینه‌چینی درباره روابط شیمیایی آب و خاک است که در این جا به آن پرداخته نمی‌شود.

مثال 9:

در یک آزمایش لایسیمتری میزان تبخیر- تعرق در فاصله دو آبیاری برای هر لایسیمتر، 8 لیتر است، برای دستیابی کسر آبشویی 20 درصد، بر اساس فرمول $AW = \frac{ET}{1-LF} = \frac{8}{0.8}$ به هر لایسیمتر 10 لیتر آب داده‌ایم، شوری آب آبیاری 2 و شوری زهاب بطور میانگین 8 دسی‌زیمنس بر متر بوده است، کسر آبشویی بر مبنای حجم و بر مبنای شوری آب آبیاری را بدست آورید و با هم مقایسه کنید.

پاسخ: بر مبنای حجم آب، از 10 لیتر آب مصرفی، 8 لیتر آن مصرف شده و 2 لیتر زهکش خواهد شد. در نتیجه کسر آبشویی 20 درصد است:

$$LF = \frac{V_{dw}}{V_{iw}} = \frac{2}{10} = 0.2$$

حال آن‌که بر مبنای شوری، کسر آبشویی 25 درصد است:

$$LF = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} = \frac{2}{8} = 0.25$$

همان‌گونه که مشخص است، کسر آبشویی بر مبنای شوری بیشتر از کسر آبشویی بر

مبنای حجم است. اگر این دو جزء با هم برابر بودند، انتظار داشتیم شوری زهاب با مصرف 10 لیتر آب آبیاری و کسر آبشویی 20 درصد، در حالت ماندگار 10 دسی‌زیمنس بر متر باشد، حال آن‌که با مصرف همین مقدار آب شوری زهاب به 8 دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافته است. از آن‌جا که هدف آبشویی، کنترل شوری است، در نتیجه با مصرف آب کمتر، می‌توان شوری خاک را در سطح نیاز تنظیم کرد. به این ترتیب کسر آبشویی بر مبنای شوری برای کنترل شوری مناسب‌تر است.

تنظیم کسر آبشویی در آزمایش‌های شوری

الف - آزمایش‌های لایسیمتری

در لایسیمترهای وزنی، امکان توزین پیوسته لایسیمتر فراهم است و در نتیجه، تبخیر-تعرق در فاصله بین دو آبیاری به‌صورت دقیق تعیین می‌شود. سپس با استفاده از رابطه‌ی $AW = \frac{ET}{1-LF}$ میزان آب مورد نیاز برای دستیابی به کسر آبشویی هدف محاسبه می‌شود. در لایسیمترهای حجمی تنها حجم آب آبیاری و حجم زهاب خروجی در دسترس است. به این ترتیب، محاسبه آب مورد نیاز، بر مبنای آبیاری دور پیش انجام می‌شود. در این قسمت به صورت مثال به بررسی روش محاسبه آبی که در لایسیمترهای وزنی نیاز است می‌پردازیم.

مثال 10:

فرض کنید برای آبیاری یک لایسیمتر حجمی 10 لیتر آب استفاده کرده‌ایم. پس از 48 ساعت، حجم زهاب جمع‌آوری شده از انتهای لایسیمتر اندازه‌گیری شده که معادل 2 لیتر شده است، اگر بخواهیم کسر آبشویی در آبیاری‌های بعدی، 15 درصد باشد، حجم آب نیازمند برای آبیاری بعد را حساب کنید.

پاسخ: در دور اول آبیاری، از 10 لیتر آب مصرفی، 8 لیتر آن صرف جبران تخلیه رطوبتی خاک شده است. این تخلیه رطوبتی در اثر جذب آب بوسیله ریشه گیاه و یا تبخیر ایجاد شده است و در نتیجه معادل تبخیر - تعرق است. کسر آبشویی در دور اول آبیاری 20 درصد خواهد بود.

$$LF = \frac{V_{dw}}{V_{iw}} = \frac{2}{10} = 0.2$$

حجم آب مورد نیاز برای آبیاری بعد (لیتر):

$$AW = \frac{ET}{1-LF} = \frac{8}{0.85} = 9.41$$

اگر در دور دوم آبیاری، تبخیر - تعرق تغییری نکند، از 9/41 لیتر آب مصرفی، 8 لیتر آن مصرف می‌شود و 1/41 لیتر آن زهکش می‌شود. در نتیجه کسر آبشویی در دور بعد $\frac{1/41}{9/41} \approx 0.15$ خواهد بود.

ب - آزمایش‌های مزرعه‌ای

در آزمایش‌های مزرعه‌ای، کنترل کسر آبشویی بر مبنای شوری انجام می‌شود. حتی در صورتی که تجهیزات زهکشی در مزرعه نصب باشد، در آزمایش‌ها که در مقیاس کوچک انجام می‌شوند، نمی‌توان مطمئن بود که آیا ارتباطی بین شوری آب زهکش با شوری زهاب محل آزمایش برقرار باشد. به این ترتیب، در آزمایش‌های مزرعه‌ای از شوری خاک برای کنترل کسر آبشویی استفاده و شوری میانگین خاک در منطقه ریشه اندازه‌گیری می‌شود و مقدار آن با مقدار مورد نظر (برای نمونه فاکتور غلظت جدول (4)، آستانه تحمل به شوری گیاه یا حد 50 درصد کاهش عملکرد گیاه) مقایسه می‌شود. در صورتی که شوری خاک از مقدار مورد نظر بیشتر باشد، حجم آبیاری در دور بعد افزایش می‌یابد و در صورتی که مقدار شوری از حد مورد نظر کمتر باشد، حجم آبیاری در دور بعد کاهش می‌یابد.

مثال 11:

در یک آزمایش مزرعه‌ای، قرار است آزمایش به شکلی اجرا شود که فاکتور غلظت 1/5 باشد. شوری آب آبیاری 6 دسی‌زیمنس بر متر و عمق نیاز خالص آبیاری 35 میلی‌متر تعیین شده است. در صورتی که میانگین شوری خاک در منطقه ریشه 12 دسی‌زیمنس بر متر باشد، عمق ناخالص آبیاری دور بعد را محاسبه کنید.

پاسخ: با این شیوه‌ی آبیاری فاکتور غلظت 2 شده است. یعنی شوری میانگین خاک 2 برابر شوری آب آبیاری شده است. برای اینکه شوری خاک $1/5$ برابر شوری آب آبیاری شود، باید حجم آبیاری افزایش یابد. میزان افزایش آبیاری از روی نسبت $\frac{2}{1/5} = 1/33$ محاسبه می‌شود. در نتیجه دور بعدی آبیاری عمق آبیاری مورد نیاز (میلی‌متر) به شکل زیر محاسبه می‌شود:

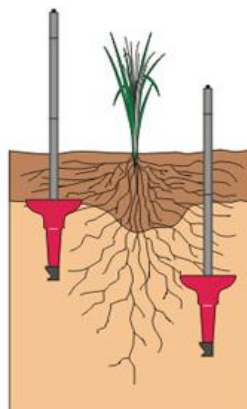
$$D_{iw} = 35 \times 1/33 = 46/55$$

تعیین‌گر جبهه رطوبتی

برای پیش‌بینی شوری خاک در برخی موارد می‌توان با اطلاع از شوری آب آبیاری و زهکش خارج شده با محاسبات بیلان آب و نمک میزان شوری اعماق مختلف خاک درون منطقه ریشه را پیش‌بینی نمود، البته مشکلی که در اینجا پیش می‌آید نیاز به آگاهی از شوری آب زهکش است که در مواردی که سیستم زهکش مصنوعی وجود نداشته و یا در انتهای منطقه ریشه مورد نظر مستقر نشده باشد، بایستی مقدار آن را از راه دیگری به دست آورد. صرف نظر از روش‌های محاسباتی مختلفی که به این منظور پیشنهاد شده‌اند، با استفاده از یک گروه از وسایل می‌توان آب آزاد در حال نفوذ در پروفیل خاک را جمع‌آوری نمود. از آنجایی که این گونه وسایل آب آزاد را جمع‌آوری می‌نمایند از این‌رو احتیاجی به اعمال فشار یا مکش برای استخراج محلول خاک از آن‌ها وجود ندارد ولی در عین حال به همین دلیل عمده کارایی این روش‌ها مربوط به ساعات اولیه پس از آبیاری است و با افزایش مکش خاک جمع‌آوری نمونه به وسیله آن‌ها متوقف می‌شود.

البته برای تعیین جبهه رطوبتی دستگاه‌های مختلفی با اساس کار متفاوت طراحی و عرضه شده‌اند. مرکز تحقیقات CSIRO استرالیا سیستم بسیار ساده‌ای را به همین منظور طراحی کرده است که می‌تواند از محلول خاکی که به صورت آزاد در مراحل اولیه پس از آبیاری در حال زهکش شدن می‌باشد نمونه‌برداری نماید (Stirzaker, 2003). این وسیله که از سوی سازنده آن تعیین‌گر جبهه رطوبتی نام‌گذاری شده است دارای قابلیت‌های فوق العاده‌ای در مدیریت آبیاری و تعیین آب مورد نیاز برای شستشوی خاک می‌باشد. این وسیله دارای یک نشانگر مکانیکی است که با تجمع نمونه محلول خاک درون آن بلافاصله به

بیرون پریده و محقق و یا کشاورز را از رسیدن آب آزاد به آن عمق مطلع می‌نماید. در صورتی که این وسیله در اعماق مختلف خاک نصب شود می‌توان از رسیدن آب به اعماق مختلف مطلع شد و در واقع به نوعی عمق نفوذ جبهه رطوبتی را تخمین زد. عمق نفوذ جبهه رطوبتی بین دو تعیینگری قرار خواهد داشت که در مخزن تعیینگر بالاتر نمونه جمع‌آوری شده و در مخزن دستگاه پایین‌تر نمونه جمع‌آوری نشود (شکل 6). به این ترتیب و با استفاده از این وسیله بسیار ساده می‌توان عمق نفوذ آب در اثر اعمال مدیریت‌های مختلف آبیاری را تعیین نموده و از سوی دیگر از طریق اندازه‌گیری شوری محلول خاک به کفایت یا عدم کفایت آبشویی در کنترل شوری منطقه ریشه پی‌برد (هاشمی‌نژاد، 1389).



شکل 6- نمایش شماتیک کارکرد تعیین‌گر جبهه رطوبتی (Stirzaker, Stevens et al., 2010)

مثال 12:

در یک آزمایش مزرعه‌ای، در فاصله‌ی دو آبیاری عمق خالص نیاز آبی 35 میلی‌متر بوده است. برای کنترل آبشویی در عمق 90 سانتی‌متری (انتهای منطقه ریشه) تعیین‌گر جبهه رطوبتی نصب شده است. در صورتی که شوری آب آبیاری 6 و شوری نمونه جمع‌آوری شده در مخزن دستگاه 12 دسی‌زیمنس بر متر باشد، و بخواهیم کسر آبشویی را بین 15 تا 20 درصد (فاکتور غلظت 1/5) حفظ کنیم، درباره شیوه ادامه آزمایش تصمیم‌گیری کنید.

پاسخ: با این شیوه‌ی آبیاری فاکتور غلظت 2 شده است. یعنی شوری میانگین خاک

2 برابر شوری آب آبیاری شده است. برای اینکه شوری خاک $1/5$ برابر شوری آب آبیاری شود، باید حجم آبیاری افزایش یابد. میزان افزایش آبیاری از روی نسبت $\frac{2}{1/5} = 1/33$ محاسبه می‌شود. در نتیجه در دور بعدی آبیاری، عمق آبیاری مورد نیاز (میلی‌متر) به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$V_{iw} = 35 \times 1/33 = 46/55$$

منابع

- هاشمی‌نژاد، ی. 1389. مدیریت آبیاری در شرایط شور با استفاده از تعیینگر جبهه رطوبتی. پژوهش‌های خاک. 24(3): 265-272.
- Ayers, R.S. and Westcot, D.W. 1985. Water quality for agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.
- Corwin, D.L. and Yemoto, K. 2020. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Soil Science Society of America Journal* 84(5): 1442-1461.
- de Wit, C.T. 1958. Transpiration and crop yields, Unknown Publisher.
- Maas, E.V. and Hoffman, G.J. 1977. "Crop salt tolerance—current assessment." *Journal of the irrigation and drainage division* 103(2): 115-134.
- Rhoades, J., Chanduvi, F. and Lesch, S. 1999. Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements, Food & Agriculture Org.
- Rhoades, J., Oster, J., Ingvalson, R., Tucker, J. and Clark, M. 1974. Minimizing the salt burdens of irrigation drainage waters, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. Vol. 3.
- Solomon, K.H. 1985. "Water-salinity-production functions." *Transactions of the ASAE* 28(6): 1975-1980.
- Stirzaker, R. 2003. When to turn the water off: scheduling micro-irrigation with a wetting front detector. *Irrigation Science* 22(3-4): 177-185.
- Stirzaker, R., Stevens, J., Annandale J. and Steyn, J. 2010. Stages in the adoption of a wetting front detector. *Irrigation and Drainage* 59(4): 367-376.