

تعیین کسر آبشویی باغ‌های پسته شمال اردکان با استفاده ترکیبی از تعیین‌گر جبهه رطوبتی و القاء‌گر الکترومغناطیس

محمدحسن رحیمیان¹، محمدرضا نوری امامزاده‌ئی، یوسف هاشمی نژاد،

سیدحسن طباطبایی و عماد نشاط

کارشناس تحقیقات آبیاری و زهکشی، مرکز ملی تحقیقات شوری، یزد؛ mhrahimian@gmail.com

استادیار و عضو هیأت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد؛ Nouri1351@yahoo.com

مری و عضو هیأت علمی مرکز ملی تحقیقات شوری، یزد؛ hasheminejhad@gmail.com

دانشیار و عضو هیأت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد؛ stabaei@agr.sku.ac.ir

کارشناس ارشد خاکشناسی مرکز ملی تحقیقات شوری، یزد؛ mhrahimian@gmail.com

دریافت: 91/12/7 و پذیرش: 92/7/22

چکیده

کسر آبشویی (LF)، یکی از پارامترهای کلیدی در مدیریت آبیاری اراضی شور محسوب می‌شود که اندازه‌گیری و پهنه‌بندی مقادیر واقعی آن مشکل و پرهزینه است. در این تحقیق که در 62 هکتار از باغات پسته اردکان در غرب استان یزد و در سال 1391 انجام شده است، با استفاده تلفیقی از دستگاه‌های تعیین‌گر جبهه رطوبتی (WFD) و القاء‌گر الکترومغناطیس (EM₃₈) اقدام به تهیه نقشه کسر آبشویی شده است. بدین منظور ابتدا دستگاه WFD در 24 نقطه از منطقه مطالعاتی نصب و با جمع‌آوری زه‌آب عبوری از ناحیه ریشه، ویژگی‌های شیمیایی زه‌آب (میزان کاتیون‌ها و آنیون‌ها، هدایت الکتریکی) و همچنین کسر آبشویی این نقاط تعیین شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. با نمونه‌برداری از خاک این نقاط و تعیین شوری عصاره اشباع (EC_e)، ارتباط بین شوری خاک و کسر آبشویی به صورت رابطه $LF=f(EC_e)$ مشخص شد. به طور همزمان از القاء‌گر الکترومغناطیس (EM₃₈) استفاده شد و نقشه شوری خاک منطقه مطالعاتی تهیه گردید. با اعمال معادله مذکور بر نقشه شوری خاک، نقشه کسر آبشویی منطقه مطالعاتی ترسیم و سپس تفسیر گردید. تجزیه شیمیایی نمونه‌ها نشان داد که همانند آب آبیاری، یون‌های غالب زه‌آب خروجی از ناحیه ریشه، یون‌های سدیم و کلر با مقادیر نسبی 71/6 و 74/6 درصد می‌باشند. همچنین مشخص گردید که بین شوری خاک و جزء آبشویی ارتباط آماری معنی‌داری وجود داشته ($R^2=0.67$ و $RMSE=0.054$) و می‌تواند نقشه کسر آبشویی را با دقت قابل قبول تهیه کند. نتایج نشان داد که کسر آبشویی در شمال، شمال‌شرقی، جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی منطقه مطالعاتی کمتر و در جنوب و مرکز آن بیشتر بوده است. نقشه مذکور که منعکس‌کننده مدیریت آبیاری در منطقه مطالعاتی است، می‌تواند در برنامه‌ریزی و بهبود مدیریت‌های فعلی آبیاری در باغات پسته منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: القاء‌گر EM₃₈، تعیین‌گر جبهه رطوبتی (WFD)، شوری، نقشه کسر آبشویی

مقدمه

در عملیات آبیاری، بخشی از کل آب مصرفی که مازاد بر نیاز آبی گیاه بوده و پس از آبیاری ضمن عبور از ناحیه ریشه، املاح موجود در این ناحیه را شستشو می‌نماید، جزء یا کسر آبشویی¹ (LF) نامیده می‌شود. بهره‌برداری پایا از اراضی فاریاب به طور اعم و اراضی شور فاریاب به طور اخص، ایجاب می‌کند که در برنامه‌ریزی آبیاری و برآورد نیاز آبی، کسر آبشویی نیز با دقت خوبی پیش‌بینی و به عنوان نیاز آبشویی² (LR) در محاسبات لحاظ شود.

نیاز آبشویی در واقع حداقل جزئی از کل آب مصرفی است که بایستی از منطقه ریشه در خاک عبور نماید تا از کاهش عملکرد محصول ناشی از تجمع زیاد املاح جلوگیری نماید (ریچاردز، 1954). جزء آبشویی از جمله شاخص‌هایی است که با داشتن آن می‌توان در خصوص شرایط شوری و میزان املاح نهشته در محیط فعالیت ریشه و تاثیر آن بر رشد گیاه و عملکرد محصول قضاوت نمود. یافته‌های آزمایش فن‌هوزن و همکاران (1993) نشان می‌دهد که با کاربرد جزء آبشویی 25%، حد آستانه تحمل گندم به شوری آب کمتر از 2 دسی‌زیمنس بر متر شده است، در حالیکه طبق جدول حد آستانه تحمل به شوری گیاهان، این مقدار برای گندم با جزء آبشویی 50 درصد، 6 دسی‌زیمنس بر متر است. توزیع املاح در خاک نیز تابع مقدار آبشویی در خاک است. به طوری که در شوری‌های یکسان آب آبیاری، هر چه جزء آبشویی بیشتر شود، شیب افزایش غلظت با افزایش عمق، کمتر می‌شود. برای تعریف ریاضی جزء آبشویی از مدل بیلان املاح در خاک استفاده می‌شود. با فرض ماندگار بودن شرایط و بدون در نظر گرفتن فرآیندهایی مانند ترسیب و انحلال، جزء آبشویی را می‌توان با استفاده از معادله زیر تخمین زد:

$$LF = \frac{D_{dw}}{D_{iw}} = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} \quad (1)$$

که در این معادله LF جزء آبشویی، D و EC به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر عمق یا حجم آب و هدایت الکتریکی آب و زیرنویس‌های dw و iw به ترتیب نشان دهنده مقادیر مذکور در زه‌آب و آب آبیاری هستند. اگر جزء آبشویی در این معادله از قبل مشخص باشد، با استفاده از توابع جذب آب به وسیله گیاه و ترکیب آب

آبیاری، می‌توان شوری متوسط خاک در منطقه ریشه را تخمین زد. اما برای اندازه‌گیری جزء آبشویی واقعی از طریق قسمت اول معادله فوق (D_{dw}/D_{iw})، نیاز به اندازه‌گیری آب مصرفی گیاه در طول فصل رشد است که به راحتی قابل تعیین نیست. بنابراین می‌توان از طرف دوم معادله توازن نمک (EC_{iw}/EC_{dw}) برای تعیین جزء آبشویی استفاده نمود که ساده‌تر به نظر می‌رسد. به منظور تخمین EC_{dw} نیز روش‌های تجربی متعددی پیشنهاد شده‌اند که EC_{dw} را به مقادیری از شوری خاک که اندازه‌گیری آنها راحت‌تر است مرتبط می‌سازند. برنشتاین و فرانکوئیس (1973) فرض کردند که EC_{dw} همان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e) باشد که در آن عملکرد محصول در آزمایش‌های تحمل به شوری 50% کاهش می‌یابد ($EC_{e50\%}$). بعدها فن‌شیلفگارد و همکاران (1974) ابراز نمودند که مقادیر EC_{dw} را می‌توان تا حد شوری آب خاک در نقطه‌ای که گیاه دیگر آب جذب نمی‌نماید، افزایش داد. با فرض اینکه محتوی آب خاک نصف حالت محتوی آب در حالت اشباع باشد، این مقدار EC حدوداً دو برابر EC_e گزارش شده در جداول تحمل به شوری می‌باشد که منجر به عملکرد صفر می‌شود (EC_{e0}). سرانجام رودز (1974) پیشنهاد کرد که EC_{dw} را می‌توان از رابطه زیر تخمین زد:

$$EC_{dw} = 5EC_e - EC_{iw} \quad (2)$$

که در آن EC_e حد آستانه تحمل به شوری می‌باشد. شواهد آزمایشی نشانگر آن است که روش برنشتاین و فرانکوئیس (2)، بیش از حد و روش فن‌شیلفگارد و همکاران (1974) کمتر از حد نیاز آبشویی را تخمین می‌زند. روش رودز (1974) نیز به جز در نیاز آبشویی پایین، نیاز آبشویی را بیش از حد تخمین می‌زند. به جای تخمین یا محاسبه EC_{dw} ، امکان اندازه‌گیری آن در مزرعه به کمک ابزارها و روش‌های مختلف نیز وجود دارد. یک از این ابزارها تعیین‌گر جبهه رطوبتی³ (استیرزاکر و هاجینسون، 1999) است که طراحی و ساخت این دستگاه نسبتاً ساده بوده، می‌تواند در هر عمقی از خاک نصب گردد و بدون نیاز به برق و باتری، کامپیوتر و یا دستگاه جمع‌آوری اطلاعات، آب عبوری از ستون خاک را در مخزن خود ذخیره نماید. بنابراین پس از انجام هر آبیاری، می‌توان نسبت به استخراج زه‌آب ذخیره شده در درون مخزن آن اقدام و هدایت الکتریکی زه‌آب را اندازه‌گیری کرد (EC_{dw}). این وسیله کاربردهای دیگری از

¹ Leaching Fraction (LF)

² Leaching Requirement (LR)

³ Wetting Front Detector (WFD)

مواد و روش‌ها

این مطالعه در قسمتی از باغات پسته شمال اردکان در استان یزد انجام شده است. وسعت منطقه مورد مطالعه 62 هکتار می‌باشد، که در بین طول‌های جغرافیائی $54^{\circ}01'E$ تا $54^{\circ}03'E$ و عرض‌های جغرافیائی $32^{\circ}20'N$ تا $32^{\circ}22'N$ واقع شده است. بافت غالب خاک در نقاط مختلف این منطقه لوم شنی (S.L.)، لوم رسی (C.L.) و لوم (L.) است (جدول 1). منبع آب آبیاری در این منطقه یک حلقه چاه عمیق با دبی تقریبی 25 لیتر در ثانیه است، که در مجاورت باغات پسته قرار گرفته است. جدول 2 خصوصیات شیمیایی آب آبیاری در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد، هدایت الکتریکی آب آبیاری 12/06 دسی‌زیمنس بر متر بوده و نسبت جذب سدیم آب نیز 33/04 است، که نشان‌دهنده شور-سدیمی بودن آب آبیاری در این منطقه است. مقادیر نسبی هر یک از کاتیون‌ها و آنیون‌های آب آبیاری نیز در این جدول آورده شده است که از تقسیم مقدار مطلق هر کاتیون (آنیون) بر مجموع کاتیون‌ها (آنیون‌ها) حاصل شده است.

جمله بهبود مدیریت آبیاری از طریق جلوگیری از نفوذ عمقی آب و تعیین زمان قطع آبیاری‌ها، آبشویی املاح و نیز مدیریت نیترات دارد (استیرزاکر، 2008؛ بیسواس و همکاران، 2008؛ هاشمی‌نژاد و استیرزاکر، 2010 و هاشمی‌نژاد، 1390). هدف از انجام تحقیق حاضر نیز استفاده و ارزیابی تعیین‌گر جبهه رطوبتی در تلفیق با دستگاه هدایت‌گر الکترومغناطیس (EM_{38}) در باغات پسته اردکان به منظور تهیه نقشه جزء آبشویی است. با آنکه گیاه پسته در زمره مقاوم‌ترین گیاهان به شوری قرار دارد، ولی همانند سایر گیاهان، عملکرد آن وابسته به جزء آبشویی بوده و با کاهش آبشویی از عملکرد گیاه کاسته می‌شود (برنشتاین و فرانکوئیس، 1973). حد آستانه تحمل به شوری این گیاه نیز تحت تأثیر شاخص مذکور است. بنابراین تعیین جزء آبشویی در شرایط واقعی مدیریتی حاکم بر باغات پسته اردکان حائز اهمیت بوده و در این تحقیق به آن پرداخته شده است.

جدول 1- میانگین برخی خصوصیات فیزیکی خاک در منطقه مطالعاتی

نام پارامتر	عمق خاک (سانتیمتر)			
	0-30	30-60	60-90	90-120
درصد شن	42/4	40/8	38/0	40/4
درصد سیلت	30/8	30/1	32/0	32/3
درصد رس	26/8	29/1	30/0	27/3
چگالی ظاهری	1/48	1/59	1/64	1/69

جدول 2- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری در منطقه مطالعاتی

پارامتر	هدایت الکتریکی (dS/m)	آنیون‌ها (meq./l)			کاتیون‌ها (meq./l)				اسیدیته	RSC* (meq./l)	SAR
		CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^-	Cl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+			
مقدار مطلق	12/06	-	2/5	12/34	114/5	9/6	107/56	0/58	7/74	18/7	33/04
مقدار نسبی (درصد)	-	-	1/9	9/5	88/5	7/4	83/2	0/4	-	-	-

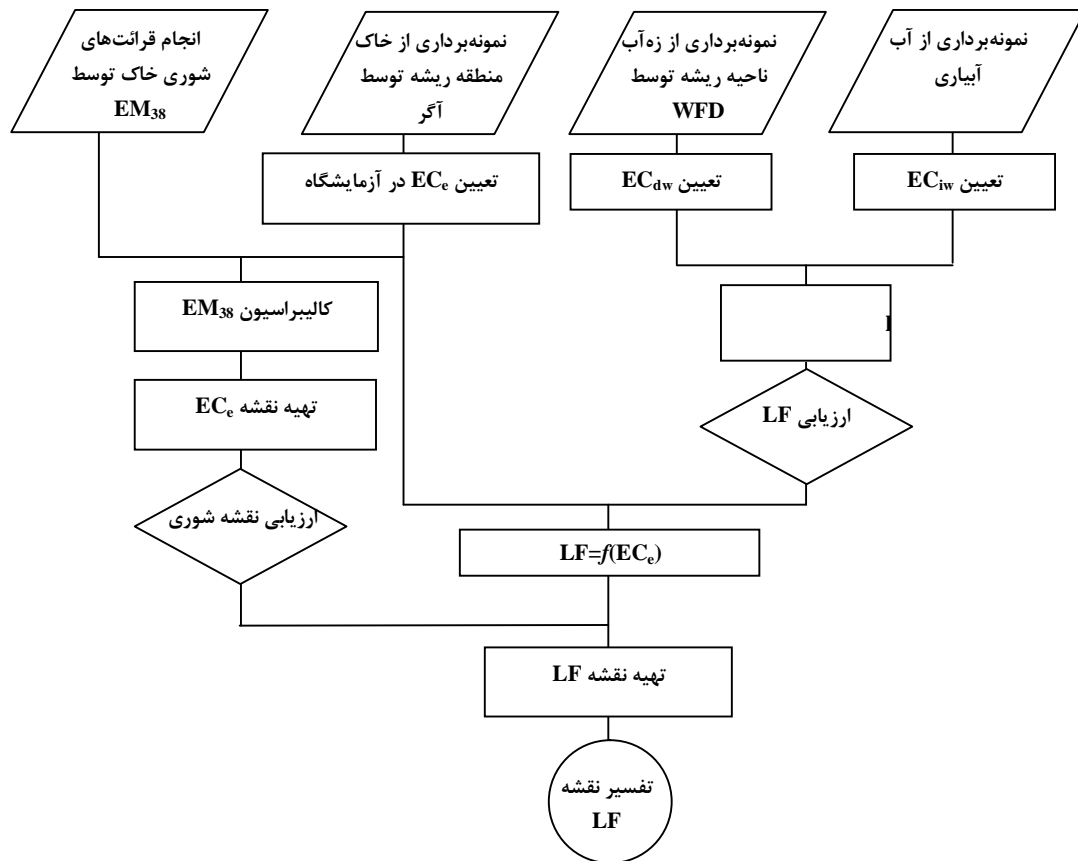
* کربنات سدیم باقیمانده

توسط تعیین‌گر جبهه رطوبتی (WFD)، نمونه‌برداری از خاک 0-120 سانتیمتری و انجام قرائت‌های دستگاه القاء‌گر الکترومغناطیس (EM_{38}) بود. نمونه‌برداری‌های

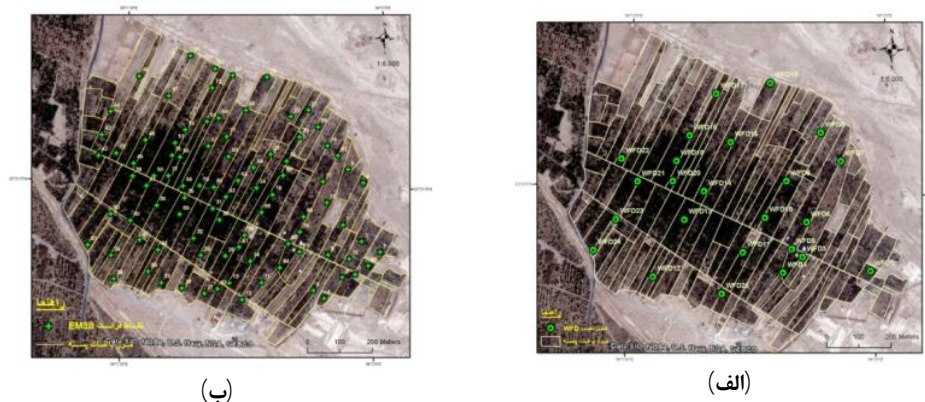
شکل 1 روندنمای انجام این پژوهش را نشان می‌دهد. عملیات زمینی این پژوهش شامل نمونه‌برداری از آب آبیاری، نمونه‌برداری از آب زهکشی شده ناحیه ریشه

شوری عصاره اشباع خاک (EC_e) به صورت $LF=f(EC_e)$ استخراج گردید. بطور همزمان قرائت‌های EM_{38} در 90 نقطه از منطقه مطالعاتی انجام (شکل 2-ب) و نقشه شوری خاک منطقه مطالعاتی ترسیم شد. نهایتاً با اعمال معادله مذکور بر نقشه شوری خاک، نقشه جزء آبشویی منطقه مطالعاتی تهیه و سپس تفسیر گردید.

زه‌آب ناحیه ریشه و خاک در 24 نقطه صورت گرفت (شکل 2-الف). پس از تعیین ویژگی‌های شیمیائی آب آبیاری و زه‌آب خروجی از ناحیه ریشه (کاتیون‌ها، آنیون‌ها و شوری)، جزء آبشویی این نقاط به کمک قسمت دوم معادله 1 ($LF=EC_{iw}/EC_{dw}$) تعیین شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین پس از تعیین شوری عصاره اشباع خاک این نقاط (EC_e)، ارتباط بین جزء آبشویی (LF) و



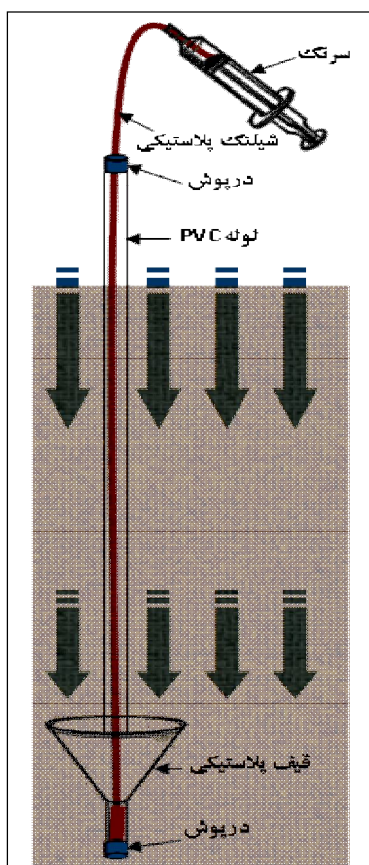
شکل 1- روندنمای انجام پژوهش



شکل 2- جانمایی موقعیت نصب WFD (الف) و نقاط قرائت شده توسط EM_{38} (ب) در منطقه مطالعاتی

از طراحی جدید این وسیله با هدف انجام پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

همانطوری که قبلاً اشاره شد، برای جمع‌آوری زه‌آب خروجی از ناحیه ریشه از تعیین‌گر جبهه رطوبتی (WFD) استفاده شده است (استیرزاکر، 2003). شکل 3 تصویری



شکل 3- طراحی جدید تعیین‌گر جبهه رطوبتی (WFD) برای انجام این پژوهش

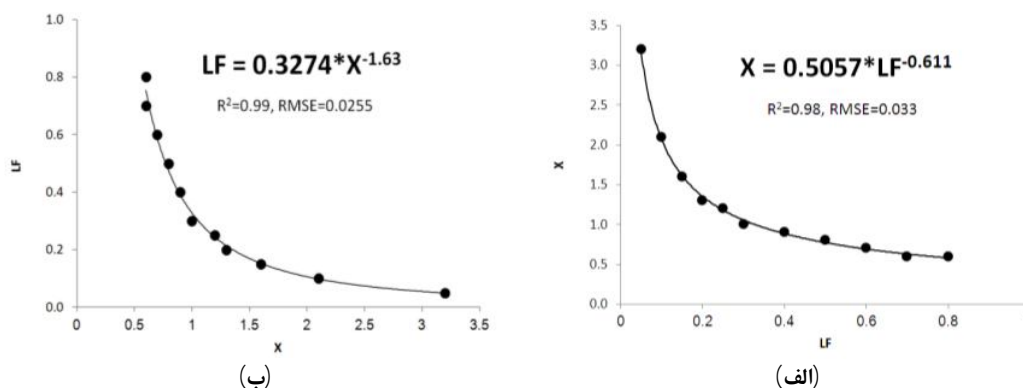
تابعی از کسر آبشویی (و بالعکس) تعریف و به صورت فرمول ارائه نمود. نمودارها و فرمول‌های مربوطه در شکل 4 نمایش داده شده‌اند.

برای ارزیابی مقادیر EC_{dw} و LF به‌دست آمده توسط دستگاه WFD در 24 نقطه، از روش ارائه شده توسط آیز و وستکات (1989) کمک گرفته شد. آن‌ها نشان دادند که با فرض تابع خطی جذب آب (موسوم به 10-20-30-40) می‌توان در هر کسر آبشویی، مقداری تحت عنوان عامل غلظت¹ (X) را محاسبه کرد که با استفاده از آن می‌توان متوسط شوری منطقه ریشه (EC_e) را تحت شرایط ماندگار و پروفیل خاک یکنواخت، از روی شوری آب آبیاری (EC_{iw}) تخمین زد:

$$EC_e = EC_{iw} * X \quad (3)$$

که بر اساس اعداد و ارقام ارائه شده توسط آیز و وستکات (1989)، عامل غلظت را می‌توان به‌صورت

¹ Concentration Factor



شکل 4- برازش منحنی بر عامل غلظت (X) و آبشویی (LF)، ارائه شده توسط آیزر و وستکات (1989)

با مقایسه درصد نسبی سدیم در آب آبیاری و آب زهکشی شده از خاک (جدول 2 و 3)، کاهش 10 درصدی در مقدار نسبی سدیم دیده می‌شود که نشان دهنده احتمال جایگزینی سدیم آب آبیاری با یون‌های دیگر خاک نظیر منیزیم یا کلسیم است. بدیهی است که با جذب آب به وسیله گیاه و افزایش غلظت محلول خاک، مقدار شوری و غلظت تمامی یون‌های محلول افزایش می‌یابد. ولی به دلیل ترسیب کربنات‌ها و به خصوص در شرایط خاک‌های آهکی (رودز و مریل، 1976) مقداری از کلسیم و احتمالاً منیزیم محلول از دسترس خارج شده و در نتیجه سهم نسبی آن‌ها در زهکش کاهش می‌یابد. این مساله می‌تواند خطراتی نظیر سدیمی شدن خاک، کاهش نفوذپذیری و اختلال در جذب برخی عناصر غذایی توسط گیاه و تأثیر منفی آن بر رشد را به همراه داشته باشد. اما افزایش نسبت کلسیم به منیزیم (Ca/Mg) در آب زهکش نسبت به آب آبیاری (که به ترتیب حدود 1/8 و 1/2 است) و برابری تقریبی SAR آب آبیاری و زهکش (به ترتیب حدود 33 و 36) خطر جایگزینی و افزایش سدیم خاک را تا حدودی منتفی می‌کند. بالا بودن توام شوری (EC_{iw}) و نسبت جذب سدیم در آب آبیاری (SAR_{iw}) نیز موید همین موضوع است.

به کمک شکل 4-الف، ابتدا ضرایب X برای مقادیر مختلف LF (اندازه‌گیری شده توسط WFDها) محاسبه و سپس با قراردادن هر یک از این ضرایب در معادله 1، مقادیر مختلفی از EC_e پیش‌بینی شد. سپس با مقایسه مقادیر EC_e پیش‌بینی شده و مشاهداتی در آن نقاط، دقت تعیین گر جبهه رطوبتی در اندازه‌گیری جزء آبشویی مشخص گردید.

نتایج و بحث

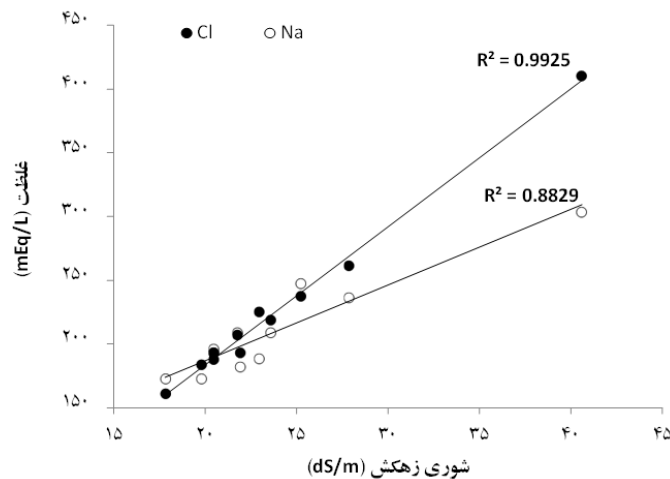
جدول 3 خلاصه آماری از خصوصیات شیمیایی زه‌آب جمع‌آوری شده توسط WFDهای نصب شده در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. مقایسه اعداد این جدول با خصوصیات شیمیایی آب آبیاری (جدول 2) نشان می‌دهد که عناصر غالب در هر دو منبع (زه‌آب و آب آبیاری) یون‌های تک ظرفیتی سدیم و کلر می‌باشند. با توجه به اینکه در اکثر آب‌های شور کشور، بیشترین همبستگی‌ها بین هدایت الکتریکی و غلظت یون‌های کلر و سدیم دیده می‌شود (چراغی و همکاران، 2007، دهقانی و گلشن، 1380)، غالبیت این یون‌ها در آب آبیاری منطقه مطالعاتی نیز موید همین مطلب خواهد بود. فراوانی این عناصر در آب زهکش نیز خاصیت تحرک بالای این دو عنصر نسبت به سایر عناصر (نظیر کلسیم و منیزیم) را نشان می‌دهد.

جدول 3- خلاصه آماری از خصوصیات شیمیایی زه‌آب جمع‌آوری شده توسط WFD در منطقه مطالعاتی

RSC (meq./l)	SAR	کاتیون‌ها (meq./l)				آنیون‌ها (meq./l)				اسیدیته	هدایت الکتریکی (dS/m)	شاخص
		K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻			
47/25	29/62	4/98	172/69	16/4	23/4	160/6	62/79	0/55	-	7/07	17/82	حماقل
77/3	49/21	12/52	303/6	48/0	70/0	410	95/11	4/5	-	8/17	40/6	حداکثر
61/4	36/69	8/31	209/85	26/51	48/42	225/2	73/22	2/96	-	7/59	23/88	میانگین
-	-	2/8	71/6	9/1	16/5	74/6	24/3	0/9	-	-	-	میانگین نسبی (درصد)

آبشویی و یا به عبارتی دیگر مدیریت آبیاری در استفاده از آب‌های شور و بی‌کیفیت بیشتر مشخص می‌گردد (شالوت، 1994).

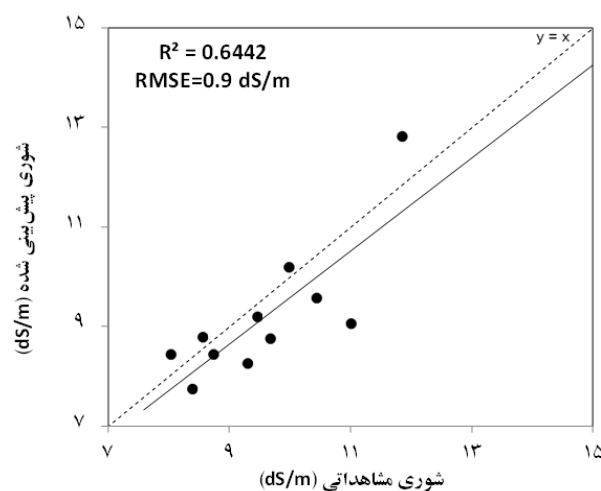
این مساله با نگاهی به سهم سدیم و کلر زه‌آب (شکل 5) که بیان‌گر آبشویی موثر یون‌های سدیم و کلر است، تأیید می‌شود. با این توضیحات نقش سرنوشت‌ساز



شکل 5- ارتباط بین شوری آب زهکشی شده از ناحیه ریشه و غلظت عناصر سدیم و کلر

است. در این مقایسه ضریب تبیین (R^2) 0/64، خطای استاندارد تخمین (SSE) 0/85 و خطای میانگین مطلق این معادله (MAE) 0/63 دسی‌زیمنس بر متر است. ضریب تبیین بدست آمده در این نمودار با کمک نرم‌افزار آماری STATGRAPHICS Centurion مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که این ضریب در سطح 99 درصد از نظر آماری معنی‌دار بوده است ($P < 0.0029$).

با اندازه‌گیری EC_{dw} در نقاطی که تعیین‌گر جبهه رطوبتی نصب شده بود، جزء آبشویی (LF) محاسبه شد. جزء آبشویی در نقاط مذکور متفاوت بوده و بین 0/3 تا 0/6 به‌دست آمد. برای ارزیابی کسرهای آبشویی از روش آیرز و وستکات (1989) استفاده شد. در این روش به کمک شوری آب زهکش، می‌توان شوری خاک را پیش‌بینی نمود و با شوری خاک اندازه‌گیری شده در نقاط مذکور مقایسه کرد. در شکل 6 این مقایسه انجام شده

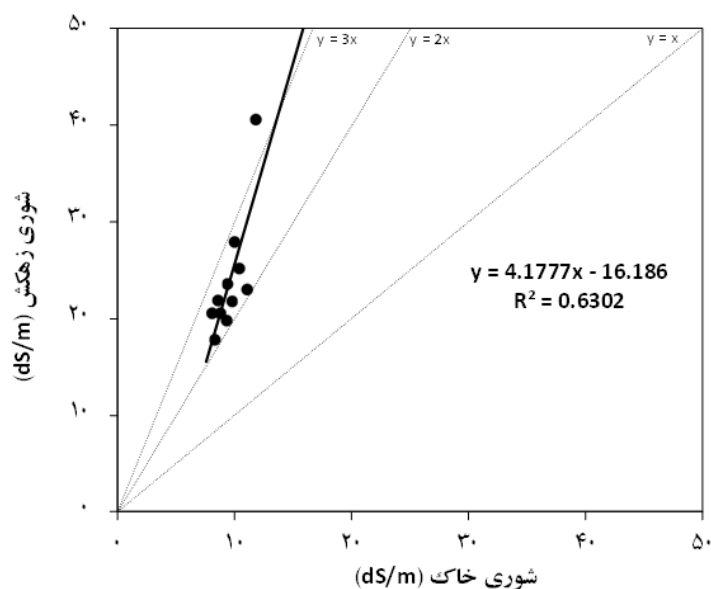


شکل 6- مقایسه شوری خاک مشاهداتی و پیش‌بینی شده برای ارزیابی جزء آبشویی بدست آمده توسط WFD

است، اما این ارتباط می‌تواند نشان‌دهنده توانایی تعیین‌گر جبهه رطوبتی در تعیین EC_{dw} مربوط به زه‌آب خروجی از ناحیه ریشه نیز باشد. در این شکل نسبت‌های مختلف $EC_e:EC_{dw}$ به شکل خطوط 1:1، 1:2 و 1:3 ترسیم شده‌اند. قرارگیری نقاط در حدفاصل خطوط 1:2 و 1:3 نشان‌دهنده این است که شوری آب زهکشی شده از ناحیه ریشه بین 2 تا 3 برابر شوری عصاره اشباع خاک در هر نقطه است (متوسط 2/5 برابر). محققان نسبت مذکور را به نحوه آبیاری و آبشویی املاح ناحیه ریشه مرتبط دانسته‌اند (گوذا و همکاران، 1973). در منطقه مطالعاتی نیز اعمال مدیریت‌های مختلف آبیاری به چشم می‌خورد. به طوری که علی‌رغم یکسان بودن شوری آب آبیاری، شوری خاک در تمام منطقه مطالعاتی یکسان نیست (شکل 8-الف). در مناطقی که شوری خاک بیشتر گزارش شده است، نسبت $EC_e:EC_{dw}$ آن‌ها به خط 1:3 نزدیک شده و کسر آبشویی در این نقاط کوچکتر خواهد بود. بالعکس، در مناطقی که شوری خاک آن‌ها کمتر است، نسبت $EC_e:EC_{dw}$ در این نقاط به خط 1:2 نزدیک شده و جزء آبشویی بزرگ‌تر خواهد بود.

همان‌طوری که در این نمودار ملاحظه می‌گردد، مقادیر شوری خاک پیش‌بینی شده توسط WFDها علی‌رغم نزدیکی قابل قبول به مقادیر واقعی، اندکی کمتر به دست آمده‌اند ($RMSE=0.9 \text{ dS/m}$). همین مساله در سایر مقایسه‌های صورت گرفته بین نتایج WFD و پیش‌بینی‌های مدل آیز و وستکات نیز مشاهده شده است (هاشمی‌نژاد، 1390). چنانچه از سایر مدل‌ها نظیر واتسویت (رودز و مریل، 1976) برای ارزیابی نتایج WFD استفاده می‌شد، پیش‌بینی‌ها اندکی بیش از واقعیت بود که این امر به ماهیت مدل مذکور و دامنه شوری آب آبیاری مرتبط است (هاشمی‌نژاد و همکاران، 1391، رسولی و کیانی، 1389). در مجموع به دلیل خطای پائین و ضریب همبستگی مناسب به دست آمده در این مقایسه، می‌توان دقت WFD در تعیین جزء آبشویی را قابل قبول دانست.

تعیین صحت قرائت‌های این دستگاه از طریق بررسی رابطه شوری آب زهکشی شده از ناحیه ریشه (EC_{dw}) و شوری مشاهداتی خاک در این ناحیه (EC_e) نیز ممکن است که در شکل 7 نشان داده شده است. اگر چه وجود ارتباط آماری بین این دو پارامتر منطقی و بدیهی



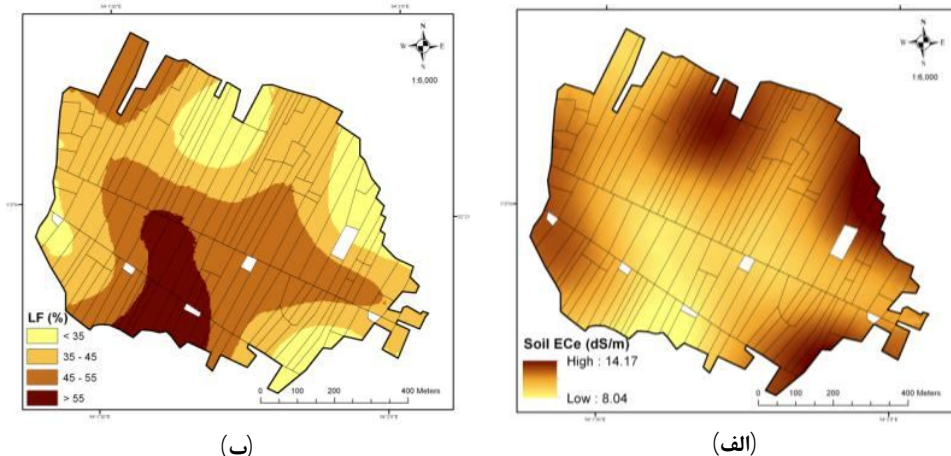
شکل 7- ارتباط بین هدایت الکتریکی آب زهکشی شده (EC_{dw}) و متوسط شوری خاک ناحیه ریشه (EC_e)

8- ب نیز نقشه جزء آبشویی منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد که بر اساس مقادیر شوری خاک و رابطه $LF=f(EC_e)$ تهیه و سپس طبقه‌بندی شده است. در منطقه مطالعاتی رابطه مذکور به صورت $LF = -0.0704 * EC_e + 1.2037$ بدست آمد که دارای ضریب

همان‌طوری که در راهنمای نقشه شوری خاک دیده می‌شود (شکل 8-الف)، شوری‌ها بین 8 تا 14 دسی‌زیمنس بر متر متغیرند. کمترین مقادیر شوری در مرکز منطقه مطالعاتی و بیشترین آن‌ها در حاشیه‌های شمالی، شمال شرقی و جنوب شرقی وجود دارد. شکل

مدیریت‌های آبیاری در شرایط شور است و لذا، نقشه‌های مذکور کمک زیادی به اصلاح و بهبود این مدیریت‌ها خواهند نمود.

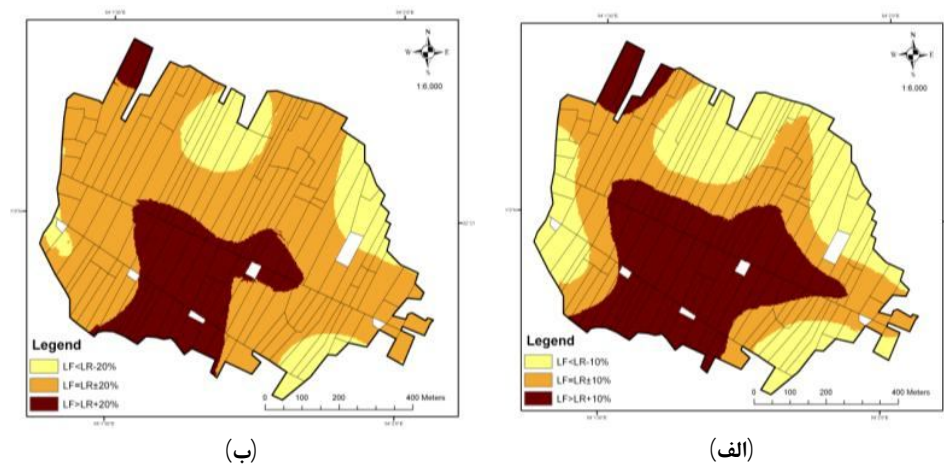
تیین (R^2) 0/67 و خطای میانگین مجذور مربعات (RMSE) 0/054 بوده است. همان‌طوری که در مورد شکل 7 بحث شد، این دو پدیده (افزایش شوری خاک و کاهش جزء آبشویی و بالعکس) از پیامدهای توأم



شکل 8- (الف) نقشه متوسط شوری خاک منطقه توسعه ریشه و (ب) نقشه طبقه‌بندی شده جزء آبشویی

کفایت جزء آبشویی در منطقه مطالعاتی هستند، منعکس‌کننده سناریوهای مختلف در مدیریت آبیاری باغات پسته نیز می‌باشند. با احتمال تأمین 90 درصدی نیاز آبشویی پسته در منطقه مطالعاتی ($LF=LR\pm 10\%$)، نواحی شمال، شمال‌شرقی، جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی منطقه مطالعاتی (نواحی زردرنگ در شکل 9- الف) نیاز آبشویی آن‌ها تأمین نخواهد شد. این در حالی است که در بخش‌های جنوبی، میانی و شمال‌غربی منطقه مطالعاتی تلفات عمقی آب وجود خواهد داشت. با احتمال تأمین 80 درصدی نیاز آبشویی پسته در منطقه مطالعاتی ($LF=LR\pm 20\%$)، نیاز آبشویی در سطح وسیعی از منطقه مطالعاتی تأمین شده (ناحیه نارنجی‌رنگ در شکل 9- ب) و تلفات عمقی آب نیز به حداقل خواهد رسید. روش مدیریتی مذکور در شرایط کم‌آبی و با چشم‌پوشی از خسارات احتمالی شورشدن خاک در نواحی شمالی، شمال‌شرقی و جنوب‌شرقی باغات پسته - که از نظر مساحت کمتر از 15 درصد کل باغات را شامل می‌شوند - قابل توصیه است.

همان‌طوری که در شکل 8- ب ملاحظه می‌گردد، جزء آبشویی در شمال، شمال‌شرقی، جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی منطقه مطالعاتی کمتر و در جنوب و میانه نقشه بیشتر است. محاسبه میانگین وزنی این نقشه نشان می‌دهد که متوسط جزء آبشویی در باغات پسته (LF_{avg}) حدود 47 درصد است. با در نظر گرفتن شوری آب آبیاری، نوع گیاه و حد آستانه تحمل آن به شوری، امکان تعیین نیاز آبشویی (LR) و سپس تشخیص کفایت یا عدم کفایت جزء آبشویی در نواحی مختلف از منطقه مطالعاتی میسر شد؛ بدین منظور با کمک معادلات 1 و 2 و در نظر گرفتن شوری آب آبیاری (12 دسی زیمنس بر متر) و حد آستانه تحمل به شوری پسته (8 دسی زیمنس بر متر)، نیاز آبشویی برای منطقه مطالعاتی محاسبه شد. این عدد که معادل 43 درصد است، کمتر از متوسط جزء آبشویی در منطقه مطالعاتی (LF_{avg}) می‌باشد. با در نظر گرفتن دامنه تغییرات 10 و 20 درصدی برای LR (با احتمال 90 و 80 درصدی تأمین نیاز آبشویی پسته در منطقه مطالعاتی)، امکان مقایسه مقادیر LF با LR و ارائه آن‌ها به صورت نقشه فراهم شد (شکل 9). این نقشه‌ها که گویای نواحی مختلف از نظر کفایت و یا عدم



شکل 9- نقشه‌های طبقه‌بندی شده جزء آبتوی با احتمال تأمین 90 درصدی (الف) و 80 درصدی (ب) نیاز آبتوی پسته در منطقه مطالعاتی

اهمیت این نقشه دوچندان می‌شود. این نقشه که منعکس‌کننده نحوه مدیریت آبیاری در منطقه مطالعاتی است، کمک زیادی به بهبود و اصلاح مدیریت‌های مذکور و اتخاذ تصمیمات مناسب در شرایط کم‌آبی خواهد کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که با تلفیق دو ابزار القاء گر الکترومغناطیس (EM_{38}) و تعیین گر جبهه رطوبتی (WFD)، امکان تهیه نقشه جزء آبتوی وجود دارد. با در نظر گرفتن شرایط زهکشی طبیعی منطقه مطالعاتی که امکان نمونه‌برداری از زه‌آب ناحیه ریشه وجود ندارد،

فهرست منابع:

- دهقانی، ف. و م. گلشن. 1380. مدیریت منابع آب و خاک شور باغات پسته شمال اردکان (ارزیابی وضع موجود). مجموعه مقالات جشنواره پسته. انتشارات ستایش. صص. 32-48.
- رسولی، ف. و ع. کیانی‌پویا. 1389. استفاده از مدل Watsuit برای پیش‌بینی ترکیب شیمیایی محلول خاک اصلاح شده با گچ. مجله پژوهش‌های خاک. ش 24 (2). صص. 193-202.
- هاشمی‌نژاد، ی. 1390. ارزیابی جزء آبتوی در اراضی فاریاب با استفاده از دستگاه WFD، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، مرکز ملی تحقیقات شوری. ص. 70.
- هاشمی‌نژاد، ی.، م. غلامی و و. سلطانی. 1391. ارزیابی مدل واتسویت برای پیش‌بینی توزیع املاح در منطقه ریشه یونجه. مجله پژوهش‌های آب در کشاورزی، ش 26 (2). صص. 225-235.
- Ayers, R.S. and Westcot, D.W. 1989 Water quality for agriculture. *FAO irrigation and drainage paper No. 29*. FAO, Rome.
- Bernstein, L. and Francois, L.E. 1973. leaching requirement studies: sensitivity of alfalfa to salinity of irrigation and drainage water. *Soil Science Society of America Proceeding*, 37, PP. 931-943.
- Biswas, T.K. Schrale, G. and Stirzaker, R. 2008. New tools and methodologies for in situ monitoring of root zone salinity and leaching efficiency under drip and sprinkler irrigation. *Acta Horticulture (ISHS) 792*: PP. 115-122.
- Cheraghi, S.A.M. Hasheminejad, Y. and Heydari, N. 2007. Causes and management of salt prone land degradation in lower KRB. *A compendium of review papers: Improving on*

farm agricultural water productivity in the Karkheh River Basin (KRB), Published by ICARDA and AREO.

9. Hasheminejhad, Y. and Stirzaker, R. 2010. Irrigation Management under Saline Conditions Using Wetting Front Detector (WFD). *International Conference on Soil Classification and Reclamation of Degraded Lands in Arid Environments and Launch of the Abu Dhabi Soil Survey Report*. Abu Dhabi, UAE.
10. Kovda, V.A. Berg, C.V.D. and Hagan, R.M. 1973. Irrigation, drainage and salinity. *An international source book. FAO, UNESCO*, P. 510.
11. Rhoades, J.D. and Merrill, S.D. 1976. Assessing the suitability of water for irrigation: theoretical and empirical approaches. In: *Prognosis of Salinity and Alkalinity. Soils Bulletin* 31, FAO, Rome, PP. 69–109.
12. Rhoades, J.D. 1974. Drainage for salinity control. In: *van Shilfgaarde J., (ed.) Drainage for agriculture. Agronomy. ASA. Madison*. 17: 433-461..
13. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agricultural Handbook. USDA*, No. 60, P. 160.
14. Shalhevet, J. 1994. Review article: using water of marginal quality for crop production: major issues. *Agricultural Water Management*, Vol. 25: PP. 233-269.
15. Stirzaker, R. and Hutchinson, P.A. 1999. A new method for benchmarking salt and nitrate leaching. Final report, *CSIRO Land and Water*.
16. Stirzaker, R. 2003. When to turn the water off: scheduling micro-irrigation with a wetting front detector. *Irrigation Science*. 22: PP. 177–185.
17. Stirzaker, R. 2008. Factors affecting sensitivity of wetting front detectors. In *Proceedings of the Fifth International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops*, Goodwin I, O'Connell MG (Eds), *Acta Horticulturae* 792: PP. 647–654.
18. Van Hoorn, J.W. Katerji, N. Hamdy, A. and Mastrorilli, M. 1993. Effect of saline water on soil salinity and on water stress, growth and yield of wheat and potatoes. *Agricultural water management*, 23, PP. 246-265.
19. Van Shilfgaarde, J. Bernstien, L. Rhoades, J.D. and Rawlins, S.L. 1974. Irrigation management for salt control. *Journal of Irrigation and Drainage. ASCE*. 100: PP. 321-338.

