مدیریت آبیاری در شرایط شور با استفاده از تعیینگر جبهه رطوبتی[۱]

یوسف هاشمی نژاد[۲*]

عضو هیأت علمی مرکز ملی تحقیقات شوری؛ **Hasheminejhad@gmail.com**

چکیده

به منظور کنترل شوری خاک، اطلاع از شوری آب زهکش که در ارتباط مستقیم با متوسط شوری منطقه ریشه است می تواند بسیار مفید واقع شود. از طرف دیگر با اطلاع از شوری زهکش می توان به راحتی کسر آبشویی را در شرایط ماندگار تخمین زد. اما در شرایطی که تجهیزات زهکشی برپا نشده باشد، دسترسی به آب زهکش بسادگی امکان پذیر نیست. وسیله ای تحت عنوان تعیینگر جبهه رطوبتی بدون استفاده از هیچگونه ابزار مکانیکی یا الکتریکی این امکان را به راحتی فراهم آورده است. در این تحقیق با کار گذاشتن این وسیله در باغات فاریاب پسته در شمال اردکان، شوری زه آب و کسر آبشویی واقعی مستقیماً اندازه گیری شده و نتایج حاصله به عنوان ورودیهای مدلهای پیش یابی استفاده شده اند تا به وسیله آنها بتوان شوری متوسط منطقه ریشه را تخمین زد. تخمینهای حاصل از مدلها با نتایج واقعی متوسط شوری منطقه ریشه مقایسه شده‌اند. میزان کسر آبشویی با استفاده از این روش حدود ۴۰ درصد به دست آمد و متوسط شوری خاک اندازه‌گیری شده، عموماً بین مقادیر برآورد شده به وسیله دو مدل قرار گرفت. همچنین همبستگی خوبی بین مقادیر برآورد شده به وسیله مدلها با مقادیر اندازه‌گیری واقعی وجود داشت.

واژه های کلیدی: آبشویی، مدلهای پیش یابی، کنترل املاح، اردکان

مقدمه

شوری خاک یکی از مهمترین و شایع ترین مشکلات محدود کننده تولید محصول در کشاورزی متکی به آبیاری می باشد. آبشویی کلید استفاده موفق از آب شور برای آبیاری می باشد (شلوت[۳]، ۱۹۹۴) نیاز آبشویی[۴] به عنوان حداقل جزیی از کل آب مصرفی تعریف شده است که بایستی از منطقه ریشه در خاک عبور نماید تا از کاهش عملکرد محصول ناشی از تجمع زیاد املاح جلوگیری نماید (ریچاردز[۵]، ۱۹۵۴). با فرض بیلان ساده املاح در شرایط ماندگار و بدون درنظر گرفتن فرآیندهایی مانند ترسیب و انحلال کسر آبشویی[۶] را می توان با استفاده از فرمول زیر تخمین زد:

$$LF = \frac{D_{dw}}{D_{iw}} = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} \qquad (۱)$$

که در این فرمول LF کسر آبشویی، زیرنویسهای dw و iw به ترتیب نشان دهنده مقادیر در زه آب و آب آبیاری هستند و D و EC به ترتیب نشان دهنده مقادیر عمق یا حجم آب و هدایت الکتریکی آب می‌باشند. اگر مقدار کسر آبشویی 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. آیرز و وستکات[۷] (۱۹۸۹) نشان دادند که با فرض تابع خطی جذب آب (موسوم به ۱۰-۲۰-۳۰-۴۰)

1- Wetting Front Detector (WFD)

۲- نویسنده مسئول، آدرس: یزد، انتهای بلوار آزادگان، خیابان نهالستان، مرکز ملی تحقیقات شوری

* دریافت: آذر، ۱۳۸۹ و پذیرش: اسفند ۱۳۸۹

3- Shalhevet
4- Leaching Requirement (LR)
5- Richards
6- Leaching Fraction (LF)
7- Ayers and Westcot

می توان در هر کسر آبشویی مقداری تحت عنوان عامل غلظت[1] را محاسبه کرد که با استفاده از آن می توان متوسط شوری منطقه ریشه را تحت شرایط ماندگار و پروفیل خاک یکنواخت، از روی شوری آب آبیاری تخمین زد. در عمل خاکها نه تنها حاوی املاح مختلف می باشند بلکه توزیع این املاح نه در سطح ویا عمق خاک یکنواخت است و نه در زمان ثابت است (هافمن و ونگنوختن[2]، ۱۹۸۳). این غیر یکنواختی به همراه پیچیدگیهای مربوط به اجزای مختلف بیلان نمک در داخل منطقه ریشه (اوستر و رودز[3]، ۱۹۷۵) باعث دشواریهای متعدد در راه پیش بینی ترکیب و غلظت املاح در منطقه ریشه و یا زیر آن (زه آب) شده است. بنابراین مدلهای مختلفی که به این منظور بسط یافته اند ناچار به انجام فرضیات ساده سازی بوده اند. یکی از مدلهایی که برای پیش بینی ترکیب شیمیایی محلول خاک و زهکش در عمق توسعه ریشه ها به کار می رود مدل واتسویت[4] است. این مدل که به وسیله رودز و مریل[5] (۱۹۷۶) برای مناطق غربی ایالات متحده معرفی شده است، فرآیندهای انحلال و ترسیب دو کانی مهم خاکهای مناطق خشک یعنی کلسیت و ژیپس را محاسبه می نماید. همچنین این مدل تأثیر کسر آبشویی، تابع جذب آب، تواتر آبیاری، ترکیب شیمیایی آب آبیاری، حضور یا عدم حضور آهک در خاک و نیز مصرف یا عدم مصرف مواد اصلاحگر مورد استفاده در اصلاح خاکهای سدیمی را مورد توجه قرار می دهد. مدلهایی مانند واتسویت به اندازه کافی ساده هستند تا مورد پذیرش جامعه جهانی قرار گیرند، اما دارای نواقصی نیز هستند. به طور مثال اثر شوری بر کاهش تبخیر و تعرق و در نتیجه تغییر الگوی توزیع املاح در منطقه ریشه را در نظر نمی گیرد (لتی[6] و همکاران، ۱۹۸۵). هر چند که مدلهای پیچیده تری نیز برای این منظور توسعه یافته اند که حتی برای شرایط غیر ماندگار نیز قابل کاربرد هستند ولی استفاده عملی از آنها در مقیاس مزرعه به دلیل نیاز به حجم بالای اطلاعات ورودی دشوار می باشد. برای غلبه بر این دشواریها و پیچیدگیها روش جایگزین استخراج محلول خاک در مزرعه و بدون نمونه برداری از خاک و سپس اندازه گیری واقعی ترکیب محلول خاک می باشد.

1- Concentration Factor
2- Hoffman and van Genuchten
3- Oster and Rhoades
4- Watsuit
5- Merrill
6- Letey

شیمی محلول خاک اطلاعات مهمی را در زمینه توزیع زمانی و مکانی عناصر غذایی خاک، شوری، عناصر کمیاب، فلزات سنگین، علف کشها، ظرفیت خنثی سازی اسید در خاک و سینتیک برهمکنشهای بین فاز محلول و جامد فراهم می آورد. در این راه جمع آوری محلول خاک توسط عصاره گیرهایی که در محل این عمل را انجام می دهند از اهمیت ویژه ای برخودار است چرا که شبیه سازی شرایط واقعی محلول خاکی که گیاه در مزرعه با آن سروکار دارد کاری بسیار مشکل و یا غیر ممکن به نظرمی رسد. عصاره گیری محلول خاک به روشهای متفاوتی انجام می شود که می توان آنها را به دسته های زیر تقسیم بندی نمود: (۱) جایگزینی (۲) فشردگی (۳)سانتریفوژ (۴) جذب ملکولی (۵) استخراج بوسیله غشای فشاری و (۶) کلاهک های متخلخل. در بین این روش ها نمونه گیرهای با کلاهک متخلخل رایج ترین وسیله هایی هستند که استفاده می شوند و معمولاً استخراج محلول خاک در این روش با اعمال مکش همراه می باشد. روش معرفی شده توسط "سازمان تحقیقات علمی و صنعتی کشورهای مشترک المنافع[7]" که می توان آنرا جزو روشهای جایگزینی تقسیم بندی نمود روشی بسیار ساده و ارزان قیمت و بدون استفاده از ابزارهای الکتریکی و مکانیکی جهت استخراج محلول خاک می باشد. در این روش به کمک وسیله ای به نام تعیینگر جبهه رطوبتی که در شکل ۱ نمایی از آن نشان داده شده است ضمن اطلاع از عمق نفوذ جبهه رطوبتی می توان به صورت غیر فعال (بدون استفاده از نیروی مکش پمپهای مکانیکی و با استفاده از یک سرنگ معمولی) نمونه جمع آوری شده در مخزن آن را استخراج و تجزیه های شیمیایی مورد نیاز را روی آن انجام داد (استیرزاکر[8]، ۲۰۰۸؛ بیسواس[9] و همکاران، ۲۰۰۸). ضمن اینکه کارایی این روش نیز بخصوص در آزمایش‌های مزرعه‌ای برای مدیریت آبیاری در مقیاس وسیع به اثبات رسیده است (استیرزاکر و هاچینسون[10]، ۲۰۰۵). تعیینگر جبهه رطوبتی ابزاری کاملاً متفاوت است که برای کمک به آبیاری دقیق طراحی شده است. این وسیله به هیچ گونه سیم، باتری، کامپیوتر و یا دستگاه جمع آوری اطلاعاتی نیاز ندارد. اندازه فیلتر توری حدود ۱۰۰ میکرون و نیز فیلتر شنی به قطر حدود ۵۰ میکرون که در

7- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)
8- Stirzaker
9- Biswas
10- Hutchinson

این وسیله به کار رفته است به گونه ای طراحی شده‌اند که امکان جریان پیوسته آب به سمت مخزن را در نزدیکی نقطه اشباع فراهم می‌آورد. بعد از آبیاری خاک موجود در دهانه قیف اشباع شده و در لوله قیف متمرکز شده، به صورت قطراتی مسیر فیلتر شنی و توری را تا مخزن دستگاه طی می کند. پر شدن مخزن به وسیله محلول خاک به شناور موجود در آن نیرو وارد می کند تا شاخصی را از بالای دستگاه به بیرون هدایت کند. این شاخص به کمک یک جفت آهنربا تا زمان تخلیه مجدد آب مخزن بیرون می ماند و نشان می دهد که جبهه رطوبتی به عمق مورد نظر نفوذ کرده است.

مواد و روشها

برای اجرای این تحقیق چهار باغ پسته از مزارع شمال اردکان در استان یزد انتخاب شدند. این مزارع به شیوه سطحی در نوارهایی به عرض ۲۰ متر آبیاری می شدند. مزارع انتخابی از لحاظ سن گیاه و کیفیت آب آبیاری تا حدودی مشابه هم بودند. آب آبیاری از منبع چاه عمیق با دامنه شوری از ۸/۳۶ تا ۱۰/۱۱ دسی زیمنس بر متر تأمین می‌شد. خاکها عموماً در سطح متوسط بافت بودند و در اعماق پایین‌تر بافت خاک ریزتر می شد. هر نوار شامل ۳ ردیف درخت بود. در تمام مزارع انتخابی، کشاورزان بخشی از یک چاه آب شریکی را در اختیار داشتند و در نتیجه فواصل آبیاری به وسیله سهم الشراکه و نیز مدار آب چاه تعیین می گردید ولی به طور کلی هر کدام از این نوارها در طی فصل رشد با دور آبیاری ۹۰ روز و به ارتفاع حدود ۴۰ سانتیمتر آبیاری و کلیه عملیات زراعی دیگر نیز مطابق عرف زارع و توسط خود وی صورت گرفت. در هر کدام از مزارع انتخابی قبل از شروع فصل رشد در یک سوم ابتدایی، میانی و انتهایی یکی از نوارهای آبیاری مزارع اقدام به نصب یک زوج دستگاه تعیینگر جبهه رطوبتی شد که به ترتیب و بر اساس دستورالعمل دستگاه در اعماق ۷۰ و ۱۴۰ سانتی متری خاک نصب شدند. بلافاصله پس از نصب دستگاهها از خاک بین آنها (از عمق ۰ تا ۱۲۰ سانتیمتری در فواصل ۳۰ سانتیمتری) و نیز آب آبیاری مزارع نمونه برداری و جهت تجزیه به آزمایشگاه منتقل شدند. در طول فصل تعداد دفعات واکنش دستگاه به آبیاری انجام شده، تجزیه شیمیایی محلول جمع آوری شده در مخزن دستگاه نیز در آزمایشگاه صورت گرفت. از آنجاییکه به دلیل راندمان پایین آبیاری روشهای سطحی (و در واقع جزء آبشویی بالا) امکان دستیابی به شرایط ماندگار در طی زمان ممکن می باشد، با اندازه گیری شوری محلول جمع آوری شده می توان با دقت قابل قبولی کسر آبشویی واقع شده را با در دست داشتن شوری و غلظت یونهای محلول در آب آبیاری با استفاده از معادلات زیر به دست آورد.

$$LF_1 = \frac{EC_{iw}}{EC_s} \qquad (۲)$$

$$LF_2 = \frac{(Na^+ + K^+)_{iw}}{(Na^+ + K^+)_s} \qquad (۳)$$

$$LF_3 = \frac{Cl^-_{iw}}{Cl^-_s} \qquad (۴)$$

که در فرمولهای فوق LF نشان دهنده کسر آبشویی محاسبه شده به روشهای مختلف، EC، Na^+، K^+ و Cl^- به ترتیب نشان دهنده هدایت الکتریکی و غلظت یونهای سدیم، پتاسیم و کلر است و زیر نویسهای iw و s نشان دهنده مقادیر به ترتیب در آب آبیاری و نمونه جمع آوری شده به وسیله دستگاه هستند.

مقادیر کسر آبشویی محاسبه شده با استفاده از سه فرمول فوق به عنوان داده ورودی در مدل پیشنهادی آیرز و وستکات (۱۹۸۹) و نیز مدل واتسویت (رودز و مریل، ۱۹۷۶) قرار گرفت تا متوسط شوری خاک در منطقه ریشه تخمین زده شده و با مقادیر اندازه گیری واقعی مقایسه شود. این مدلها برای پیش بینی متوسط شوری خاک در منطقه ریشه از کسر آبشویی، شوری و ترکیب آب آبیاری به عنوان ورودی استفاده می کنند و با فرض تابع جذب آب ۱۰-۲۰-۳۰-۴۰ در شرایط ماندگار پیش بینی را انجام می دهند.

در روش پیشنهادی آیرز و وستکات (۱۹۸۹)، متوسط هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در منطقه ریشه (EC_e) با محاسبه عامل غلظت (X) از روی کسر آبشویی و با توجه به فرمول زیر بدست می‌آید:

$$EC_e = X.EC_{iw} \qquad (۵)$$

تنها تفاوت این دو مدل، توانایی مدل واتسویت در منظور کردن برهمکنشهای شیمیایی مانند ترسیب و انحلال در محیط خاک با تغییر کسر آبشویی است که در مدل آیرز و وستکات در نظر گرفته نشده است.

نتایج و بحث

تجزیه شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده در چهار مزرعه در جدول شماره ۱ ارائه گردیده است. در یک نگاه اجمالی به ترکیب منابع آب مورد استفاده مشخص می شود که تمامی آنها آبهایی شور با نوع نمک غالب کلرور سدیم می باشند. غلظت بالای بیکربنات و نیز مقدار زیاد نسبت جذب سدیم[1] در نمونه ها نشان دهنده خصوصیات شور

1- Sodium Adsorption Ratio (SAR)

قلیایی آبهای مورد استفاده می باشد. نکته قابل توجه دیگر وجود مقادیر کمی پتاسیم محلول و نیز در عمده موارد غلظت بالاتر منیزیم نسبت به کلسیم می باشد که البته در این ناحیه شایع است و با افزایش شوری نسبت منیزیم به کلسیم افزایش می‌یابد (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۲).

در شش دوره آبیاری زه آب جمع آوری شده در مخازن دستگاهها نمونه برداری شد و در نمونه های اخذ شده میزان EC و غلظت یونهای سدیم و کلر اندازه گیری گردید. جدول شماره ۲ میانگین مقادیر پارامترهای اندازه گیری شده در این نمونه ها را نشان می دهد. در واقع هر کدام از اعداد میانگین ۶ عدد در مزرعه مربوطه می باشند. در دومین تاریخ نمونه برداری مخازن ۱۴۰ سانتیمتری فاقد نمونه بودند و در نتیجه در ردیفهای مربوطه عددی درج نشده است.

با تقسیم کردن مقادیر EC, Na و Cl در آب آبیاری هر مزرعه بر مقادیر مشابه در نمونه های زه آب هر مزرعه در هر تاریخ نمونه برداری مقادیر کسر آبشویی بر حسب این سه پارامتر با استفاده از فرمولهای ۲، ۳ و ۴ محاسبه شدند. به جهت خلاصه سازی نتایج مربوط به هر چهار مزرعه میانگین گیری شده و در جدول ۳ ارائه می شوند. در این جدول نیز که از روی جدول ۲ محاسبه شده است در دومین تاریخ نمونه برداری برای تعیینگر عمیق مقداری ثبت نشده است.

نگاهی به نتایج مشخص می نماید که هنگامی که کسر آبشویی بر حسب غلظت کلر محاسبه شود مقادیر بدست آمده حدود ۴ تا ۵ درصد کمتر از کسر آبشویی محاسبه شده بر حسب غلظت سدیم و شوری می باشد. محاسبه کسر آبشویی بر حسب شوری به تنهایی ممکن است که کسر آبشویی را بیش از واقعیت تخمین بزند و این احتمالاً به دلیل حضور یونهای با تحرک کمتر مانند کلسیم و منیزیم در آب آبیاری می باشد (اوستر و رودز، ۱۹۷۵). نکته دیگر اینکه میزان کسر آبشویی در اعماق ۷۰ و ۱۴۰ سانتیمتری بسیار شبیه هم است در نتیجه احتمالاً اندازه گیری فقط در عمق ۷۰ سانتیمتری کافی است که این امر سهولت جاگذاری دستگاه در مزرعه را افزایش می دهد و در نتیجه می توان نمونه های بیشتری را برای تجزیه به آزمایشگاه ارسال کرد. و نهایتاً اینکه هر چند با توجه به کیفیت آب آبیاری میزان کسر آبشویی حاصله به وسیله داده های این آزمایش خیلی بالا نیست ولی می توان از این وسیله به عنوان یک ابزار مدیریتی برای کاهش مصرف آب در مواقعی که کسر آبشویی بالا است استفاده کرد (بیسواس و همکاران، ۲۰۰۸).

با توجه به مقادیر کسر آبشویی‌های حاصله (۴۳ درصد برای شوری، ۳۷ درصد برای کلر و ۴۲ درصد برای مجموع سدیم و پتاسیم)، فاکتور غلظت محاسبه و در فرمول ۵ جایگذاری شد تا با استفاده از آن مقادیر متوسط شوری و نیز غلظتهای یونهای کلر و نیز سدیم و پتاسیم را بر اساس مدل آیرز و وستکات محاسبه کرد. همچنین این مقادیر کسر آبشویی به همراه ترکیب شیمیایی آبهای مورد استفاده به عنوان ورودی مدل واتسویت نیز مورد استفاده قرار گرفتند تا پارامترهای مورد اشاره با این مدل نیز تخمین زده شوند. مقایسه نتایج حاصله از این مدلها با مقادیر واقعی اندازه گیری شده در جدول شماره ۴ ارائه گردیده است.

نتایج نشان دهنده این است که مقادیر اندازه گیری شده در خاک به طور کلی بین مقادیر برآورد شده به وسیله فرمول آیرز و وستکات (۱۹۸۹) و نیز مدل واتسویت قرار دارد. هر چند که مقادیر برآورد شده به وسیله فرمول آیرز و وستکات (۱۹۸۹)، به مقادیر اندازه گیری واقعی نزدیک‌تر هستند ولی در صورتی که رابطه همبستگی بین مقادیر برآورد شده به وسیله این دو روش با مقادیر اندازه گیری شده بررسی شود، روابط ۶ و ۷ به ترتیب برای فرمول آیرز و وستکات (۱۹۸۹) و مدل واتسویت بدست خواهد آمد.

$$y = 0.87x + 2.67 \qquad R^2 = 0.81^* \qquad (۶)$$

$$y = 1.65x + 4.47 \qquad R^2 = 0.82^* \qquad (۷)$$

در فرمولهای فوق x نشان دهنده مقادیر اندازه‌گیری واقعی و y نشان دهنده مقادیر برآورد شده به دو روش می‌باشد.

هر دو روش مورد استفاده برای برآورد متوسط شوری منطقه ریشه در شرایط ماندگار نتایج نزدیک به واقعیت ارایه می‌کنند (کوروین[1] و همکاران، ۲۰۰۷) لذا با توجه به همبستگی بالای پیش بینی این روشها با مقادیر اندازه گیری شده می‌توان دریافت که شرایط ماندگار تا حدودی حاصل شده است. البته با توجه به اینکه باغهای مورد استفاده در این تحقیق سالیان متمادی تحت کشت بوده و با مدیریت تقریباً واحدی آبیاری می شده‌اند این یافته تحقیق با واقعیت نیز تطابق دارد. مدل واتسویت که بر مبنای ترکیب شیمیایی آبهای آبیاری در ایالات غربی آمریکا بدست آمده است (رودز و مریل، ۱۹۷۶) در مقادیر کسر آبشویی بیش از حدود ۳۰ درصد هوادیدگی کانیهای خاک را پیش بینی می کند که خود به دلیل آزاد کردن یونهای محلول موجب افزایش شوری خاک می‌شود (رودز و همکاران، ۱۹۷۴). با

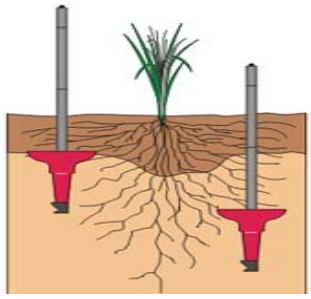
1- Corwin

توجه به اینکه مقادیر کسر آبشویی بدست آمده در این تحقیق همگی بیش از ۳۰ درصد هستند، بدیهی است پیش بینی مدل واتسویت بیش از فرمول آیرز و وستکات خواهد بود که این پدیده را در نظر نمی گیرد. از طرفی به دلیل شوری بسیار بالاتر منابع آب آبیاری مورد استفاده در این تحقیق احتمالاً فرآیندهای هوادیدگی با شدتی که مدل واتسویت پیش بینی می کند اتفاق نمی افتند ولی در مجموع مقادیر پیش بینی شده به وسیله این مدل نیز همبستگی خوبی با مقادیر واقعی دارند.

نتیجه گیری

براساس روش معرفی شده در این تحقیق کسر آبشویی در شرایط آزمایش در حدود ۴۰ درصد برآورد گردید. این مقدار با توجه به اندازه‌گیری های حجم آب مصرفی (چراغی، ۱۳۸۸) برای باغهای پسته شمال اردکان (حدود ۱۸۰۰۰ متر مکعب در هکتار) و نیز برآوردهای نیاز آبی (موذن پور، ۱۳۷۴) برای پسته در منطقه رفسنجان (حدود ۱۲۰۰۰ متر مکعب در هکتار) و نیز در نظر داشتن راندمان پایین آبیاری برای روشهای آبیاری سطحی به واقعیت نزدیک می‌باشد. البته با در نظر داشتن شوری بالای منابع آب آبیاری مورد استفاده و نیز حد آستانه تحمل به شوری پسته این مقدار کسر آبشویی برای کنترل موفق شوری منطقه ریشه ضروری به نظر می رسد.

مدلهای حالت ماندگار مورد استفاده در این تحقیق هر چند که نتایج متفاوتی را در پیش بینی متوسط شوری خاک منطقه ریشه ارایه نمودند ولی همبستگی خوبی با نتایج اندازه‌گیری‌های واقعی داشتند. در عمده موارد پیش بینی مدل واتسویت بیش از واقعیت و پیش بینی فرمول آیرز و وستکات (۱۹۸۹) کمتر از واقعیت بود. این موضوع احتمالاً به دلیل پیش بینی هوادیدگی به وسیله مدل واتسویت در کسرهای آبشویی بالا می باشد به نحوی که در یک آزمایش لایسیمتری که به وسیله رودز و همکاران (۱۹۷۴) نیز انجام شده بود مشاهده گردید که با اعمال کسر آبشویی بالا پدیده هوادیدگی موجب انحلال برخی کانیهای موجود در خاک شده و در نتیجه شوری آب زهکش و محلول خاک افزایش خواهد یافت. تحقیق یاد شده اساس تجربی مدل واتسویت را تشکیل می دهد ولی شوری منابع آب مورد استفاده در این تحقیق بسیار بیشتر از مقادیر مورد استفاده در تحقیق مورد اشاره بوده اند. بنابراین به نظر می رسد بخشی از انحراف پیش بینی مدل واتسویت از واقعیت مربوط به دامنه شوری آب آبیاری مورد استفاده در تحقیق باشد، هر چند که همچنان همبستگی نزدیکی بین مقادیر برآورد شده با مقادیر اندازه گیری شده موجود است.



شکل ۱- نمایی از نحوه کارکرد تعیینگر جبهه رطوبتی (WFD)

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آب آبیاری در مزارع انتخابی

شماره مزرعه	ECiw (dS/m)	pH	غلظت یونهای محلول (میلی اکیوالان بر لیتر)								SAR
			Na	K	Mg	Ca	SO4	Cl	HCO3	CO3	
۱	۹/۹۲	۸/۱۶	۵۶/۰۳	۰/۵	۳۸/۰۱	۱۶/۳۴	۲۴/۹۸	۷۷/۶۵	۴/۱۳	۰/۵	۱۰/۷۵
۲	۱۰/۱۱	۷/۹	۶۶/۸۵	۱/۲۴	۲۵/۴۹	۲۰/۸۲	۲۸/۰۶	۷۴/۳۵	۵/۳	۱/۲	۱۳/۸۹
۳	۹/۰۲	۷/۹	۵۳/۹۸	۱/۰۹	۱۸/۲۶	۱۶/۵۶	۲۲/۵۲	۶۵/۹۶	۶/۴	۱	۱۲/۹۴
۴	۸/۳۶	۷/۸۵	۵۸/۱۲	۰/۷۲	۱۰/۸۲	۱۴/۸۹	۲۱/۰۹	۶۰/۱۸	۵/۲	۰/۶۲	۱۶/۲۱

جدول ۲- متوسط مقادیر اندازه گیری شده پارامترها در نمونه های استخراج شده از مخازن دستگاهها

تاریخ نمونه برداری	شماره مزرعه	مقدار پارامترها در نمونه استخراج شده از تعیینگر ۷۰ سانتیمتری			مقدار پارامترها در نمونه استخراج شده از تعیینگر ۱۴۰ سانتیمتری		
		EC	Cl	Na	EC	Cl	Na
۱۳۸۷/۹/۵	۱	۲۲/۰۴	۲۸۷/۵۹	۱۴۰/۰۸	۲۷/۵۶	۲۳۵/۳۰	۱۴۷/۴۵
	۲	۲۴/۰۷	۲۲۵/۳۰	۱۸۵/۶۹	۳۱/۵۹	۲۱۲/۴۳	۱۸۵/۶۹
	۳	۲۲/۰۰	۲۰۶/۱۳	۱۴۵/۸۹	۲۷/۳۳	۲۰۵/۸۴	۱۳۴/۹۵
	۴	۱۹/۴۴	۲۱۴/۹۳	۱۴۹/۰۳	۲۳/۸۹	۱۶۷/۱۷	۱۵۲/۹۵
۱۳۸۷/۱۱/۱۳	۱	۲۱/۱۱	۲۴۲/۶۶	۱۵۱/۴۳			
	۲	۲۲/۴۷	۲۰۴/۹۸	۱۶۳/۰۵			
	۳	۲۰/۰۴	۱۹۴/۰۰	۱۳۸/۴۱			
	۴	۱۹/۴۴	۲۰۰/۶۰	۱۴۹/۰۳			
۱۳۸۷/۱۲/۵	۱	۱۹/۸۴	۲۱۵/۶۹	۱۳۶/۶۶	۱۹/۴۵	۱۹۴/۱۳	۱۳۶/۶۶
	۲	۲۱/۰۶	۲۱۲/۴۳	۱۶۳/۰۵	۱۹/۸۲	۲۰۶/۵۳	۱۵۵/۴۷
	۳	۱۸/۴۱	۱۷۸/۲۷	۱۲۸/۵۲	۱۸/۰۴	۱۷۸/۲۷	۱۲۲/۶۸
	۴	۱۷/۰۶	۱۶۷/۱۷	۱۴۹/۰۳	۱۷/۰۶	۱۵۴/۳۱	۱۴۵/۳۰
۱۳۸۸/۱/۲۲	۱	۲۴/۸۰	۱۶۱/۷۷	۱۰۳/۷۶	۲۹/۱۸	۲۱۵/۶۹	۱۲۷/۳۴
	۲	۲۹/۷۴	۱۳۷/۶۹	۱۲۳/۸۰	۴۵/۹۵	۲۰۷/۰۰	۱۸۶/۰۰
	۳	۲۳/۷۴	۱۲۶/۸۵	۱۰۱/۸۵	۳۱/۱۰	۱۸۸/۴۶	۱۲۸/۵۲
	۴	۲۳/۲۲	۱۱۵/۷۳	۱۰۵/۶۷	۳۰/۹۶	۱۶۲/۶۵	۱۵۳/۰۰
۱۳۸۸/۳/۹	۱	۱۹/۸۴	۱۸۴/۸۸	۱۱۹/۲۱	۲۰/۲۴	۱۷۲/۵۶	۱۱۹/۲۱
	۲	۲۲/۹۸	۱۶۱/۶۳	۱۵۵/۴۷	۲۱/۵۱	۱۶۵/۲۲	۱۴۲/۲۳
	۳	۱۹/۶۱	۱۵۳/۴۰	۱۲۲/۶۸	۱۸/۷۹	۱۴۹/۹۱	۱۱۷/۳۵
	۴	۱۷/۴۲	۱۳۳/۷۳	۱۲۶/۳۵	۱۷/۴۲	۱۳۰/۸۳	۱۲۱/۰۸
۱۳۸۸/۳/۳۱	۱	۳۰/۰۶	۲۴۲/۶۶	۱۴۷/۴۵	۲۱/۱۱	۱۹۹/۱۰	۱۲۷/۳۴
	۲	۲۷/۳۲	۲۸۵/۹۶	۲۲۲/۸۳	۱۹/۸۲	۱۹۵/۶۶	۱۵۹/۱۷
	۳	۲۶/۵۳	۲۴۴/۳۰	۱۶۸/۶۹	۱۸/۴۱	۱۶۴/۹۰	۱۱۷/۳۵
	۴	۲۳/۲۲	۲۲۲/۸۹	۱۶۱/۴۴	۱۷/۰۶	۱۵۴/۳۱	۱۳۲/۰۹

جدول ۳- میانگین مقادیر کسر آبشویی اندازه گیری شده در مزارع انتخابی بر اساس مقادیر شوری و غلظت یونهای کلر و سدیم در آب آبیاری و نمونه های استخراج شده از مخازن دستگاه WFD

تاریخ	کسر آبشویی در زهاب جمع آوری شده از ۷۰ سانتیمتری بر حسب مقادیر			کسر آبشویی در زهاب جمع آوری شده از ۱۴۰ سانتیمتری بر حسب مقادیر		
	EC	Cl	Na	EC	Cl	Na
۱۳۸۷/۹/۵	۰/۴۳	۰/۳۰	۰/۳۸	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۸
۱۳۸۷/۱۱/۳	۰/۴۵	۰/۳۴	۰/۳۹	–	–	–
۱۳۸۷/۱۲/۵	۰/۴۹	۰/۳۶	۰/۴۱	۰/۵۱	۰/۳۸	۰/۴۲
۱۳۸۸/۱/۲۲	۰/۳۷	۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۲۸	۰/۳۶	۰/۴۰
۱۳۸۸/۳/۹	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۴۷
۱۳۸۸/۳/۳۱	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۳۴	۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۴۴
میانگین	۰/۴۳	۰/۳۷	۰/۴۲	۰/۴۳	۰/۳۷	۰/۴۲

جدول ۴- مقایسه اندازه گیری برخی پارامترهای خاک با نتایج حاصل از تعیینگر جبهه رطوبتی در پیش بینی مدلهای آیرز و وستکات (۱۹۸۹) و واتسویت

شماره مزرعه	میزان شوری متوسط منطقه ریشه (dS/m)			غلظت سدیم+ پتاسیم متوسط منطقه ریشه (meq/l)			غلظت کلر متوسط منطقه ریشه (meq/l)		
	اندازه گیری	واتسویت	آیرز و وستکات	اندازه گیری	واتسویت	آیرز و وستکات	اندازه گیری	واتسویت	آیرز و وستکات
۱	۱۱/۴۹	۱۶/۵۵	۸/۴۰	۶۹/۲۸	۹۳/۹۴	۴۸/۵۷	۷۶/۳۷	۱۳۵/۸	۷۲/۰۹
۲	۸/۸۲	۱۷/۰۱	۸/۵۶	۵۵/۲۹	۱۱۵/۱۹	۵۸/۵۰	۴۹/۴۹	۱۳۵/۰۷	۶۹/۰۳
۳	۱۰/۲	۱۳/۴۳	۷/۶۴	۶۹/۹۱	۹۳/۱۶	۴۷/۳۲	۵۸/۱۱	۱۰۱/۴۷	۶۱/۲۴
۴	۹/۴	۱۲/۹۴	۷/۰۸	۶۴/۳۵	۹۹/۵۴	۵۰/۵۶	۴۹/۴۹	۹۷/۵۳	۵۵/۸۷

فهرست منابع:

۱. چراغی، س.ع.م. ۱۳۸۸. ارزیابی مدیریتهای بهره‌برداری از منابع آب و خاک شور باغات پسته شمال اردکان. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. مرکز ملی تحقیقات شوری.

۲. دهقانی، ف.، ف. علایی یزدی و م.ج. ملکوتی. ۱۳۸۲. بررسی کیفیت آبهای آبیاری در استان یزد از دیدگاه اثرات سوء تغذیه‌ای. نشریه فنی ۲۰۶، موسسه تحقیقات خاک و آب.

۳. مؤذن پور، م. ۱۳۷۴. بررسی میزان مقاومت درختان پسته به خشکی و تعیین مناسبترین دور و عمق آب آبیاری. گزارش پژوهشی موسسه تحقیقات پسته رفسنجان.

4. Ayers, R. S. and D. W. Westcot. 1989. Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper 29. FAO, Rome.
5. 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 Hort. (ISHS) 792:115-122.
6. Corwin, D. L., J. D. Rhoades, and J.Simunek. 2007. Leaching requirement for soil salinity control: Steady-state versus transient models. Agricultural Water Management. 90: 165-180.
7. Hoffman, G. J. and M. Th. Van Genuchten. 1983. Soil properties and efficient water use: water management for salinity control. In H. M. Taylor et al. (ed.) limitations to efficient water use in crop production. ASA, CSSA and SSSA.
8. Letey, J., Dinar, A. and Knapp K. C. 1985. Crop-water production function model for saline irrigation waters. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 1005–1009.
9. Oster, J. T. and J.D. Rhoades. 1975. Calculated drainage water compositions and salt burdens resulting from irrigation with river waters in the United States. J. Environ. Qual. 4: 73-79.
10. 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.
11. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook no. 60, USDA.
12. Rhoades, J.D., J.D.Oster, R.D. Ingvalson, J.M. Tucker, and M. Clark, 1974, Minimizing salt burdens of irrigation and drainage water. Journal of Environmental Quality. 3: 311-316.

13. Shalhevet, J. 1994. Review article using water of marginal quality for crop production: major issues, Agricultural Water Management 25: 233-269.
14. Stirzaker, R. J. 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: 647–654.
15. Stirzaker, R. J. and Hutchinson P. A. 2005. Irrigation controlled by a wetting front detector: Field evaluation under sprinkler irrigation. Australian Journal of Soil Research. 43: 935-943.