

Analysis and Simulation of Vetiver Grass Effect on Reducing Salinity and Sodium of Soil Using HYDRUS-1D Model

MASOUD NOSHADI^{1*}, ROUHOLLAH NOURIPOUR¹

1. Water Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.
(Received: June. 16, 2019- Revised: May. 13, 2020- Accepted: Sep. 25, 2019)

ABSTRACT

Salt accumulation in the soil profile and root zone has significant effect on quality and quantity of agricultural products. Vetiver grass is one of the most important plants which is resistant to salinity and compatible to different situations. The solute transport models in salinity studies plays an important role in time and cost saving. This research was performed to find out the effects of different irrigation salinities on vetiver grass and also to investigate the effect of Vetiver grass in controlling soil salinity and sodicity. In addition, the distribution of salinity and sodium in the soil profile was measured and simulated by HYDRUS-1D model. In this research five salinity irrigation levels including 0.68, 2, 4, 6, 8 and 10 dS/m were applied and soil samples were taken from depth of 0-90 cm. The HYDRUS-1D model was calibrated using 6 dS/m irrigation saline water data and validated using the other salinity levels data. The results showed that the model simulates the soil salinity (EC_e) values properly in 4, 6, 8 and 10 dS/m treatments. The prediction of soil salinity in treatments 0.68 and 2 dS/m was close to the reality, with the exception of surface layer. The results of sodium concentration in the soil profile showed that this model didn't simulate the soil sodium with good accuracy, especially in the soil surface and the predicted valued were underestimated. The reason, such as salinity, is the lack of proper prediction of sodium in the top layer.

Key words: Phytoremediation, Solute transport, Soil, Irrigation

* Corresponding Author's Email: noshadi@shirazu.ac.ir

تحلیل و شبیه سازی تاثیر گیاه وتیور بر کاهش شوری و سدیم خاک با استفاده از مدل HYDRUS-1D

مسعود نوشادی*، روح اله نوری پور^۱

۱. بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۲۶ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۲/۲۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۷/۳)

چکیده

تجمع نمک در سطح خاک و در ناحیه ریشه تاثیر زیادی بر کیفیت و کمیت محصولات زراعی دارد. گیاه وتیور یکی از مهم ترین گیاهان مقاوم به شوری می باشد که به دلیل خصوصیات بارزی مانند سازگاری با اقلیم های با شرایط متفاوت، قادر به جذب عناصر و املاح محلول در خاک شور می باشد. استفاده از مدل های انتقال املاح در مطالعات شوری نقش به سزایی در کاهش زمان و صرفه جویی در هزینه ها را دارد. این تحقیق برای تعیین اثرات آبیاری با شوری های مختلف بر روی گیاه وتیور و تعیین تاثیر این گیاه در کنترل شوری و سدیم خاک انجام شد. همچنین توزیع شوری و سدیم در نیمرخ خاک با آبیاری کرتی اندازه گیری و توسط مدل HYDRUS-1D شبیه سازی شد. در این تحقیق ۵ سطح شوری آب آبیاری شامل ۰/۶۸، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر به کار رفت و از اعماق ۹۰-۰ سانتی متری خاک نمونه برداری شد. مدل HYDRUS-1D در شوری ۶ دسی زیمنس بر متر واسنجی و در سایر سطوح شوری اعتبارسنجی گردید. ارزیابی نتایج شبیه سازی مدل نشان داد که این مدل میزان شوری را در تیمارهای شوری ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر به شکل نسبتاً مطلوبی شبیه سازی نموده است. در تیمارهای ۰/۶۸ و ۲ دسی زیمنس بر متر نیز به استثناء لایه سطحی مقادیر برآورد شده شوری توسط مدل به مقادیر واقعی نزدیک بود. همچنین نتایج ارزیابی غلظت سدیم در نیمرخ خاک نشان داد که مدل مقادیر سدیم را با دقت خوبی به ویژه در لایه سطحی خاک شبیه سازی نکرده است و عمدتاً مقادیر برآورد شده کمتر از مقادیر اندازه گیری شده بودند که دلیل آن مانند شوری، عدم پیش بینی مناسب مدل در لایه سطحی خاک (عمق ۰-۳۰ سانتی متر) بوده است.

واژه های کلیدی: گیاه پالایی، انتقال املاح، خاک، آبیاری

مقدمه

شور شدن خاک فرآیندی است که منجر به تمرکز نمک ها در خاک و آب به دلایل طبیعی و فعالیت های بشری می شود (Tanwar, 2003). از مشخصات بارز مناطق خشک و نیمه خشک، بالا بودن تبخیر و تعرق نسبت به بارش می باشد که با گذشت زمان و به تدریج منجر به شوری خاک در این مناطق می گردد. افزایش شوری به خصوص در شرایط عدم مدیریت شوری منجر به کاهش محصول و رشد و نمو گیاهان در این مناطق می شود. اساساً کنترل شوری خاک از طریق آبیاری خاک ها انجام می شود که در آن بیان شوری در خاک مورد ملاحظه قرار می گیرد (Corwin et al., 2007). گیاه پالایی عبارتست از استفاده مهندسی از گیاهان سبز شامل گونه های علفی و چوبی برای برداشت مواد آلاینده از آب و خاک یا کاهش آلاینده های محیط زیست نظیر فلزات سنگین، عناصر کمیاب، ترکیبات آلی و مواد رادیواکتیو. این اصطلاح واژه های است عمومی برای شیوه های مختلف پالایش آب و خاک های آلوده و فاضلابها که هم کم هزینه تر می باشد و هم از لحاظ تکنولوژی غیر فنی است

(Padmavahiamma et al., 2007). گیاه وتیور یکی از مهمترین گیاهان متحمل به شوری است که خصوصیات بارزی مانند سازگاری با اقلیم هایی با شرایط متفاوت، تحمل تنش های محیطی مانند شوری و pH خاک را داشته و راندمان بالایی در جذب مواد غذایی محلول چون نیتروژن و فسفر (در مناطقی با خاک شور) را دارد (Truong et al., 2004). با این که این گیاه در اقلیم ایران سازگاری دارد ولی هنوز شناخته شده نیست. با توجه به خصوصیات گیاه وتیور و بهبود وضعیت خاک پس از کشت، می توان از این گیاه در مناطق شور سدیمی ایران نیز استفاده کرد (Nilforoushan et al., 2013). استفاده از گیاه وتیور یک روش ساده اجرایی و ارزان بوده که به نگهداری خیلی کمی احتیاج داشته و در خصوص حفاظت آب و خاک، کنترل رسوب، تثبیت اراضی، نوسازی اراضی و همچنین احیای پوشش گیاهی موثر می باشد و در عین حال باعث ارتقاء حفاظت از محیط زیست می شود (Dousset et al., 2007). علف وتیور نسبت به خصوصیات و تغییرات اقلیمی و همچنین خشکسالی های دراز مدت، سیل، شرایط ماندابی و تنش های درجه حرارت بین ۱۴- تا ۵۵ درجه

در آب زهکشی از مدل انتقال املاح و حرکت آب در مدل هایدروس استفاده شد و نتایج شبیه سازی یون کلراید بیان گر همبستگی خوب بین مقادیر اندازه گیری و شبیه سازی بود. هم چنین نتایج حاصل از شبیه سازی یون نترات موجود نشان داد که غلظت این یون در آب زهکشی بیش تر از مقادیر اندازه گیری تخمین زده می شود (De Vos *et al.*, 2002). نتایج بررسی و شبیه سازی حرکت بروماید در دو خاک خورده و دست نخورده با مدل HYDRUS-1D با استفاده از معادله روان-پخشیدگی تعادلی^۳ و غیر تعادلی^۴ شبیه سازی نشان داد که حالت تعادلی برای خاک دست خورده و حالت غیر تعادلی برای خاک دست نخورده بر آورد بهتری را نشان می دهد (Doussat *et al.*, 2007). هدف این تحقیق تعیین اثرات آبیاری با شوری های مختلف بر روی گیاه وتیور و تعیین تاثیر این گیاه در کنترل شوری و سدیم خاک و همچنین شبیه سازی شوری و سدیم در نیمرخ خاک می باشد.

مواد و روش ها

این تحقیق در قالب طرح بلوک های کاملاً تصادفی به منظور بررسی اثرات آبیاری با شوری های مختلف بر روی گیاه وتیور و تاثیرات این گیاه در کنترل و جذب شوری و سدیم خاک و بررسی نقش این گیاه در کنترل و بهسازی اراضی شور در زمینی به مساحت ۸۰ مترمربع در دانشکده کشاورزی شیراز انجام گردید و ۱۸ کرت به ابعاد ۲×۱/۵ متر در نظر گرفته شد. تیمار شوری های مورد نظر به صورت محلول نمک همراه با آب آبیاری به هر کرت داده شد. نمک های مورد استفاده برای اعمال سطوح شوری مورد نظر نمک های کلسیم کلراید و سدیم کلراید بود که با توجه به مقدار رطوبت اندازه گیری شده و مقدار نیاز آبی در هر آبیاری مقدار گرم نمک لازم برای هر سطح شوری در هر آبیاری محاسبه و به صورت محلول هم زمان با آب آبیاری به هر کرت داده شد. سطوح مختلف شوری در این تحقیق ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر بوده و یک تیمار شاهد (آبیاری با آب متعارف با شوری ۰/۶۸ دسی زیمنس بر متر) نیز در نظر گرفته شد. برای اندازه گیری شوری عصاره اشباع و سدیم خاک از کرت های مورد نظر از اعماق ۹۰-۰ سانتی متری نمونه برداری گردید و بعد از آماده شدن نمونه ها، مقادیر شوری عصاره اشباع و سدیم (با دستگاه فلیم فتومتر) اندازه گیری شدند.

در این تحقیق برای شبیه سازی شوری و سدیم خاک از مدل HYDRUS-1D استفاده شده است. در قسمت داده های

سانتیگراد مقاوم می باشد (Purseglove, 1972). وقتیکه علف وتیور به صورت ردیفی کاشته می شود، پس از رشد به صورت پشته های حصارگونه ای درمی آیند که باعث کاهش سرعت رواناب و آهسته کردن جریان گردیده و منجر به کاهش فرسایش خاک و افزایش ذخیره و حفاظت از رطوبت خاک شده و باعث به دام انداختن رسوبات و مواد حاصلخیز در مزرعه می شود (Panchaban *et al.*, 1992).

استفاده از مدل ها در پیش بینی حرکت املاح و آلاینده ها در خاک می تواند موجب صرفه جویی در وقت و هزینه ها گردد. مدل HYDRUS-1D به منظور شبیه سازی حرکت آب، املاح و حرارت در محیط متخلخل و شرایط مختلف رطوبتی ایجاد شده و توسعه یافته است. این مدل برای توضیح حرکت آب و املاح به ترتیب از معادلات ریچاردز و جریان روان^۱- پخشیدگی^۲ استفاده می کند (Simunek *et al.*, 1998). از این مدل در مطالعات بسیاری برای تحلیل رطوبت و شوری خاک و نیز مسائل مرتبط با رشد گیاه استفاده شده است (Shahidi and Ahmadi, 2012; Ebrahimian *et al.*, 2013; Abbasi, 2017). Simunek *et al.*, (1998) در آزمایشگاه شوری خاک آمریکا بسط داده شده است. این مدل شامل حل عددی معادله ریچاردز برای بررسی حرکت آب در خاک و معادلات انتقال- انتشار برای بررسی حرکت املاح و گرما در خاک است. معادلات مربوطه به روش عناصر محدود حل گردیده اند. این مدل قادر به شبیه سازی در شرایط اشباع و غیر اشباع بوده و توانایی تخمین خصوصیات خاک به روش معکوس را دارد (Abbasi, 2017). در یک تحقیق بر روی گیاه وتیور تحت تیمارهای شوری مختلف مشخص شد که طول ساقه وتیور در شوری NaCl معادل 200 mM، ۱۸/۶ درصد و طول ریشه آن در شوری NaCl معادل 50 mM، ۲۴/۸ درصد افزایش یافته است (Mane *et al.*, 2011). بررسی پتانسیل تحمل گیاه وتیور به تنش خشکی و شوری نشان داد که کاهش آب باعث عملکرد منفی بر روی فاکتورهای رشد وتیور با کاهش میزان فتوسنتز گیاه شده است. نتایج نشان داد که تیمار خشکی و شوری 6 bar×40dS/m تاثیر قابل توجهی بر عملکرد گیاه داشته و عملاً تنش 10 bar×40dS/m باعث مرگ گیاه وتیور گردیده است (Akhzari and Bidgoli, 2013). در یک تحقیق در هندوستان برای اصلاح خاکی که روی آن پساب کارخانه نساجی تخلیه شده بود از وتیور استفاده شد و نتایج نشان داد که وتیور می تواند شوری خاک را از ۱۳ به ۰/۲۹ دسی زیمنس بر متر برساند (Jayashree *et al.*, 2011). برای بررسی منشا یون کلراید

مرتبط با هندسه مدل یک نیمرخ ۹۰ سانتی متری در نظر گرفته شد. برای تعیین خصوصیات هیدرولیکی خاک از مدل ون گنوختن - معلم (۱۹۸۰) استفاده گردید که با انتخاب این مدل می توان پدیده پسماند را در شبیه سازی در نظر گرفت. در این مدل فرض شد که جریانی از اطراف صورت نمی گیرد و همچنین شرایط مرزی مدل در پایین دست به صورت زهکش آزاد (گرادیان

هیدرولیکی واحد) در نظر گرفته شد.

داده های مورد نیاز این مدل عبارتند از:

۱. خصوصیات خاک: با توجه به این که کشت مورد نظر در خاک سری دانشکده با بافت لوم رسی انجام گردیده است مشخصات این خاک در مدل وارد گردید. در جدول (۱) خصوصیات فیزیکی خاک آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات خاک در محل پژوهش

اسم خاک	بافت خاک	شن (%)	سیلت (%)	ظاهر رس (%)	چگالی اشباع (g.cm ⁻³)	رطوبت حجمی (cm ³ .cm ⁻³)
سری دانشکده	لوم رسی	۳۵	۳۵	۳۰	۱/۱۸	۰/۵۴

ارزیابی آماری مدل

در این تحقیق برای ارزیابی کمی مدل از شاخص های آماربریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE^۱)، ضریب جرم باقی مانده (CRM^۲) و شاخص سازگاری (d) استفاده گردید (Loague and Green, 1991):

$$\text{NRMSE} = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right]^{1/2}}{n} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$\text{CRM} = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در این روابط P_i ، O_i ، \bar{O} و n به ترتیب مقادیر پیش بینی شده، مشاهده شده، متوسط مقادیر مشاهده شده و تعداد مشاهدات می باشند.

NRMSE مقادیر کلی یا میانگین انحراف مقادیر برآورد شده از مقادیر اندازه گیری شده را نشان می دهد که نمایش دهنده عدم اطمینان مطلق مدل است. CRM روند مدل به سمت بیش تر یا کم تر برآورد کردن را نشان می دهد. مقادیر مثبت و منفی این معیار به ترتیب نشان می دهد که مدل کمتر و بیشتر از مقادیر واقعی پیش بینی کرده است. مقادیر d بیانگر میزان انطباق داده های پیش بینی شده و اندازه گیری شده می باشد. هر چه مقادیر NRMSE، CRM و d به ترتیب به اعداد صفر، صفر و یک نزدیک تر باشند، نشان دهنده عملکرد مناسب تر مدل می باشد.

اصول نظری

مدل های دروس از معادله ریچاردز برای حل معادلات جریان در محیط متخلخل استفاده می کند. این معادله در رابطه (۴) نشان

۲. مقدار آبیاری های انجام شده در طول فصل کشت گیاه که بر اساس اندازه گیری های صورت گرفته وارد مدل گردید.
۳. تبخیر و تعرق در طول فصل رشد که با استفاده از معادله پنمن - مانیتث و بر اساس داده های ایستگاه هواشناسی در مجاور محل طرح محاسبه و در مدل استفاده شد.

۴. مقدار شوری های داده شده به خاک در هر آبیاری داده های ورودی مورد نیاز مدل یا مستقیماً در مزرعه و آزمایشگاه اندازه گیری شده یا با استفاده از منابع معتبر موجود، پژوهش های پیشین و راهنمای مدل تخمین زده می شوند. سپس مقداری که اندازه گیری شده اند در واسنجی مدل پردازش شده و مناسب ترین مقدار برای پارامترهای مدل برآورد می گردد. در واقع واسنجی مدل روشی است که در آن برخی از ضرایب و داده های ورودی مدل در دامنه مورد نظر به نحوی تغییر می کند که اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده به حداقل برسد (Sogbedji *et al.*, 2001). در این تحقیق خصوصیات فیزیکی خاک، مقادیر آبیاری، داده های هواشناسی، درصد رطوبت خاک از جمله پارامترهایی هستند که از طریق اندازه گیری در مزرعه و آزمایشگاه بدون تغییر در مدل استفاده شدند. شوری های اعمال شده در این تحقیق ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی زیمنس به متر بود که از عدد میانه این شوری ها (6 dS/m) برای واسنجی استفاده شد تا بتواند نماینده خوبی از سایر شوری ها نیز باشد. از داده های تیمارهای آبیاری با شوری های ۰/۶۸، ۲، ۴، ۸ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر نیز برای اعتبارسنجی استفاده گردید. مقادیر اولیه ضرائب ثابت مانند K_h ، ضریب پخشیدگی در آب و گاز با بررسی منابع و از راهنمای مدل تخمین زده شد و در نهایت طی فرآیند واسنجی مدل مقادیر مطلوب به دست آمد.

داده شده است.

h_{ϕ} فشار اسمزی (L)، h بار فشاری آب خاک (L)، h_{50} بار فشاری که مقدار جذب آب ۵۰٪ کاهش می‌یابد و P یک عدد تجربی است که برای تنش شوری ۳ در نظر گرفته می‌شود.

انتقال املاح

رابطه (۸) معادله عمومی انتقال املاح در محیط متخلخل با رطوبت متغیر را نشان می‌دهد:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -\frac{\partial J_{si}}{\partial x_i} - \phi \quad (\text{رابطه ۸})$$

که در این رابطه M نشان‌دهنده جرم املاح در واحد حجم ($M.L^{-3}$)، J_{si} چگالی جریان املاح ($M.L^{-2}.T^{-1}$) و ϕ ضریبی است که میزان تخلیه یا تغذیه متغیر را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

پارامترهای واسنجی شده توسط مدل HYDRUS-1D

برای انجام شبیه‌سازی، مقادیر اولیه پارامترهای ورودی به مدل داده شد و سپس مقادیر بهینه این پارامترها در طی فرآیند واسنجی مدل تعیین شدند. در این تحقیق مقادیر رطوبت باقی مانده (θ_r)، رطوبت اشباع (θ_s) و ضرائب شکل منحنی مشخصه رطوبتی خاک (α و n) از داده‌های (Mahbod 1997) که برای همین خاک اندازه‌گیری شده بود، استفاده گردید (جدول ۲).

در جدول (۳) مقادیر نهایی واسنجی شده ضریب توزیع موثر (kd)، پخشیدگی در آب ($DIFF W$)، پخشیدگی در گاز ($DIFF G$)، پراکندگی در خاک ($dispersivity$) و ضرائب جذب معادله فروندلیچ (β و Nu) آورده شده است. مقادیر اولیه این پارامترها با استفاده از منابع، پژوهش‌های پیشین و راهنمای مدل تخمین زده شد و سپس این مقادیر در طی واسنجی مدل پردازش شد و مناسب‌ترین مقادیر انتخاب شدند.

جدول ۲- خصوصیات هیدرولیکی خاک در محل طرح

depth (cm)	θ_r (cm^3/cm^3)	θ_s (cm^3/cm^3)	α (cm^{-1})	N
۹۰-۰	۰/۰۸	۰/۴۹	۰/۰۱	۱/۴۸

جدول ۳- پارامترهای واسنجی شده انتقال سدیم و شوری عصاره اشباع خاک در مدل HYDRUS-1D

پارامتر	kd ($cm^3.mg^{-1}$)	DIFF W ($cm^2.day$)	DIFF G ($cm^2.day$)	Nu	β	dispersivity (cm)
شوری عصاره اشباع (EC_e)	۰/۲۵	۰/۶۵	۰	۰/۱	۰/۵	۶
سدیم	۰/۲	۱/۱۵	۰	۰	۱	۶

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial [K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right)]}{\partial z} - S_a \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در این رابطه $C(h)$: ظرفیت ویژه آب (L^{-1})، θ : رطوبت حجمی خاک ($L^3.L^{-3}$)، t : زمان (T)، S_a : میزان جذب آب توسط ریشه ($L^3.L^{-3}.T^{-1}$)، K : هدایت هیدرولیکی ($L.T^{-1}$) و h : بار فشاری آب خاک (L) می‌باشد.

این مدل از ۶ معادله برای تعیین خصوصیات هیدرولیکی خاک استفاده می‌کند. این معادلات شامل مدل‌های ون گنوختن-معلم، ون گنوختن با در نظر گرفتن هوای ورودی در مکش ۲- سانتی‌متر، ون گنوختن^۱ اصلاح شده، بروکس-کوری^۲، مدل توزیع لوگ نرمال کوسوگی^۳ و دورنر^۴ می‌باشد (Abbasi, 2017). در این تحقیق از مدل ون گنوختن- معلم استفاده گردید.

معادلات حاکم بر سیستم ریشه

حداکثر جذب آب توسط ریشه به عوامل مختلفی از جمله طول ریشه، عمق ناحیه ریشه و طول تجمع ریشه در اعماق خاک بستگی دارد (Shahidi and Ahmadi, 2012). میزان جذب آب توسط ریشه به صورت رابطه (۵) نشان داده می‌شود (Feddes et al., 1978):

$$S(h) = \alpha(h)S_p \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در این رابطه $\alpha(h)$ تابع واکنش تنش جذب آب توسط ریشه و $S_p(T^{-1})$ نیز پتانسیل جذب آب توسط ریشه می‌باشد. ون گنوختن (۱۹۸۷) با در نظر گرفتن فشار اسمزی، رابطه-۵ ی (۵) را به صورت زیر بسط داد:

$$S(h, h_{\theta}) = \alpha(h, h_{\theta})S_p \quad (\text{رابطه ۶})$$

که در این رابطه h_{θ} فشار اسمزی (L) است. در معادله فوس و همکاران (۱۹۷۸) مقدار α بر اساس رابطه زیر تعیین گردید.

$$\alpha(h, h_{\phi}) = \frac{1}{H \left(\frac{H+H_{\phi}}{h_{50}} \right)^P} \quad (\text{رابطه ۷})$$

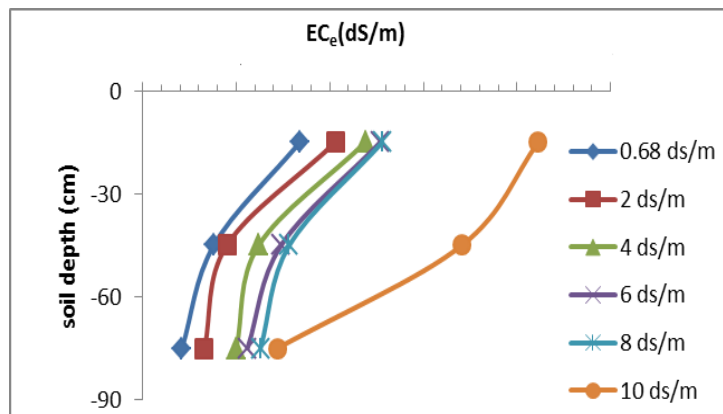
به خوبی در خاک کنترل شده و مقادیر EC_e تا این شوری آب آبیاری به هم دیگر نزدیک می‌باشند. به عبارت دیگر گیاه وتیور توانسته است تا شوری 8 dS/m به خوبی شوری خاک را کنترل کند ولی در شوری آب آبیاری 10 dS/m (تیمار S5) مقدار EC_e به طور ناگهانی زیاد شده و گیاه وتیور دیگر نتوانسته به خوبی شوری خاک را کنترل کند، هر چند که در این تیمار نیز مقدار EC_e در اعماق مختلف خاک به مراتب (۸۴/۹ درصد) از شوری آب آبیاری کم‌تر شده است. طبق جدول (۴) میانگین تفاوت شوری عصاره اشباع خاک (EC_e) در تیمارهای S0، S1، S2، S3، S4 و S5 به ترتیب ۲۹/۴، ۷۰/۰، ۸۰/۸، ۸۵/۷، ۸۸/۸ و ۸۴/۹ درصد کم‌تر از شوری آب آبیاری (EC_i) می‌باشد. جدول (۴) به خوبی نشان می‌دهد که از شوری $4-10 \text{ dS/m}$ مقدار EC_e حدود ۸۵٪ کمتر از EC_i بوده و در شوری‌های $0/68$ و 2 dS/m به ترتیب به دلیل کمتر بودن شوری آب آبیاری مقدار EC_e به ترتیب حدود ۷۰ و ۴۸ درصد کمتر از EC_i شده است. بنابراین شوری خاک به خوبی کنترل شده و گیاه وتیور نتوانسته است شوری را کاهش دهد.

در شکل (۱) به نظر می‌رسد که در شوری‌های $8-10 \text{ dS/m}$ وتیور نتوانسته است در کنترل شوری خاک عملکرد خیلی خوبی داشته باشد به صورتی که روند شوری‌های نیمرخ خاک مشابه می‌باشند ولی در شوری آب آبیاری 10 dS/m علیرغم اینکه شوری نیمرخ خاک به مراتب کمتر از شوری آب آبیاری است ولی کاهش شوری در عمق بین $30-60 \text{ cm}$ به خوبی انجام نشده و در نتیجه روند تغییر کرده است، ولی شوری در عمق خاک (۶۰-۹۰ سانتی‌متر) به خوبی کنترل گردیده است. به عبارت دیگر علت تفاوت روند شوری نیمرخ خاک مربوط به عمق $30-60 \text{ cm}$ است که چون شوری تقریباً برابر شوری سطح خاک است، روند تغییرات با سایر شوری‌ها یکسان نگردیده است.

Azad et al. (2018) از مدل HYDRUS (2D/3D) برای شبیه‌سازی اعمال آب و نیتروژن در خاک استفاده کردند. آنها برای واسنجی مدل در انتقال نیترات و آمونیوم مقادیر n, α, e_L (پراکندگی طولی در خاک) و K_d را به ترتیب $0/003 \text{ cm}^{-1}$ ، $1/401$ ، $14/103 \text{ cm}$ و $3/516 \text{ cm}^3 \text{g}^{-1}$ تعیین کردند. Ebrahimian et al. (2012) دو مدل HYDRUS-1D و HYDRUS-2D را برای شبیه‌سازی انتقال نیترات در سه روش آبیاری جویچه‌ای (متداول، یک در میان ثابت و یک در میان متغیر) همراه با کود آبیاری مقایسه کردند. آنها پارامترهای هیدرولیکی خاک و انتقال املاح را واسنجی کردند و نتایج نشان داد که مدل HYDRUS-2D عملکرد بهتری از مدل HYDRUS-1D در پیش بینی مقدار آب خاک، غلظت نیترات خاک و فرونشست عمقی داشت. آنها مقادیر D_L, n, Q, K_s (پراکندگی طولی) و γ_w (شاخص توزیع اندازه منافذ) را به ترتیب $0/0027/6 \text{ cm h}^{-1}$ ، $0/0035/465 \text{ cm}^3$ و $0/7-0/113 \text{ cm}$ ، $1/2-4/92$ و $0/7-0/113 \text{ cm}$ و $0/00128/00201$ واسنجی کردند.

شوری

در طول فصل رشد گیاه وتیور، به همراه آب آبیاری سطوح مختلف شوری ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر به هر کرت داده شد. این سطوح شوری به ترتیب با S1، S2، S3، S4 و S5 نشان داده شده است. یک تیمار شاهد (S0) شامل آبیاری با آب متعارف با شوری $0/68$ دسی زیمنس بر متر نیز در نظر گرفته شد. به منظور ارزیابی اعمال تیمار شوری در پایان فصل کشت، شوری عصاره اشباع خاک در اعماق مختلف توسط نمونه‌برداری از خاک اندازه‌گیری شد و توسط مدل HYDRUS-1D شبیه‌سازی گردید. در شکل (۱) مقادیر شوری عصاره اشباع خاک (EC_e) در تیمارهای مختلف در پایان فصل کشت ارائه شده است. طبق این شکل مقادیر شوری خاک تا شوری آب آبیاری 8 dS/m (تیمار S4)



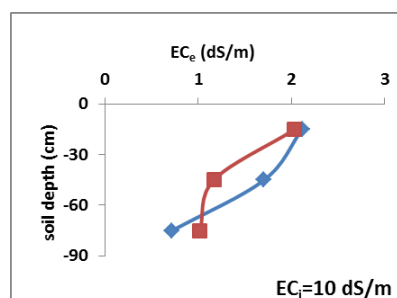
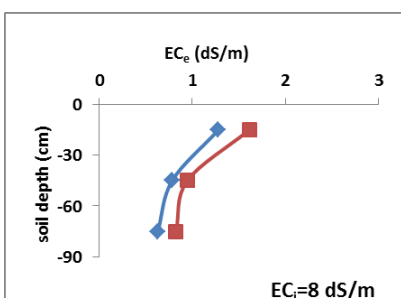
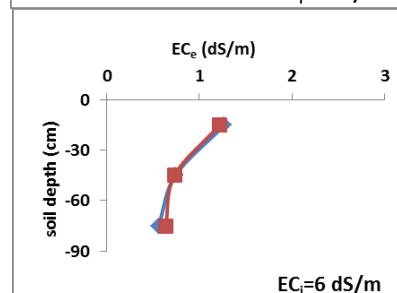
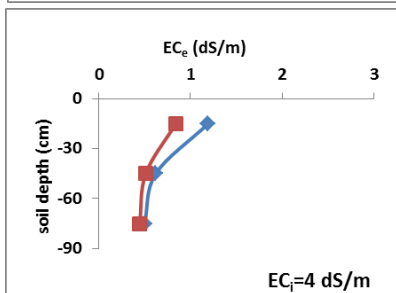
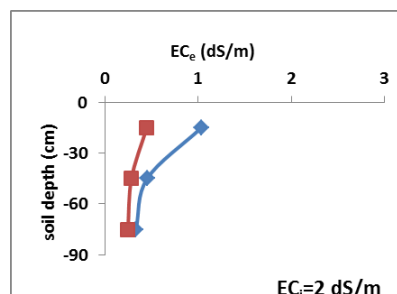
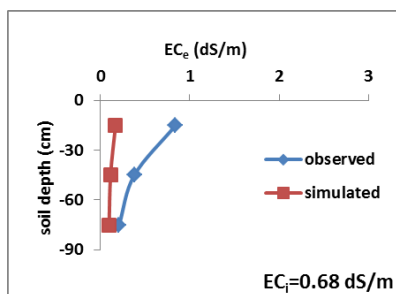
شکل ۱- شوری عصاره اشباع خاک (EC_e) اندازه‌گیری شده در اعماق مختلف خاک در پایان دوره کشت وتیور

جدول ۴- شوری های عصاره اشباع اندازه گیری شده در پایان فصل کاشت در نیمرخ خاک

عمق خاک (cm)	EC _i (dS/m)											
	0.68		2		4		6		8		10	
	درصد اختلاف ECe	درصد اختلاف ECi با ECe	درصد اختلاف ECe	درصد اختلاف ECi با ECe	درصد اختلاف ECe	درصد اختلاف ECi با ECe	درصد اختلاف ECe	درصد اختلاف ECi با ECe	درصد اختلاف ECe	درصد اختلاف ECi با ECe	درصد اختلاف ECe	درصد اختلاف ECi با ECe
۳۰-۰	۰/۸۴	-۲۳/۵	۱/۰۳	۴۸/۵	۱/۱۹	۷۰/۳	۱/۲۷	۷۸/۸	۱/۲۸	۸۴/۰	۲/۱	۷۸/۹
۶۰-۳۰	۰/۳۸	۴۴/۱	۰/۴۵	۷۷/۵	۰/۶۲	۸۴/۵	۰/۷۴	۸۷/۷	۰/۷۸	۹۰/۲	۱/۷۱	۸۳/۰
۹۰-۶۰	۰/۲۱	۶۹/۱	۰/۳۳	۸۳/۵	۰/۵	۸۷/۵	۰/۵۶	۹۰/۷	۰/۶۳	۹۲/۱	۰/۷۲	۹۲/۸
میانگین	۰/۴۸	۲۹/۹	۰/۶۰	۶۹/۸	۰/۷۷	۸۰/۸	۰/۸۶	۸۵/۷	۰/۹۰	۸۸/۸	۱/۵۱	۸۴/۹

EC_i: شوری آب آبیاری

EC_e: شوری عصاره اشباع خاک



شکل ۲- شوری های اندازه گیری و شبیه سازی شده توسط مدل HYDRUS-1D در نیمرخ خاک در پایان فصل کشت در شوری های مختلف آب آبیاری

جدول ۵- پارامترهای آماری شبیه سازی شوری عصاره اشباع خاک در تیمارهای مختلف خاک

تیمار شوری	NRMSE	CRM	d
S0 (۰/۶۸ dS/m)	۰/۸۸	۰/۷۳	۰/۵۱
S1 (۲ dS/m)	۰/۵۹	۰/۴۶	۰/۶۱
S2 (۴ dS/m)	۰/۲۸	۰/۲۲	۰/۸۲
S3 (۶ dS/m)	۰/۰۶	-۰/۰۱	۰/۹۹
S4 (۸ dS/m)	۰/۲۷	-۰/۲۶	۰/۸۷
S5 (۱۰ dS/m)	۰/۲۴	۰/۰۷	۰/۸۸

تغییرات نیز به خوبی پیش‌بینی گردیده است. بنابراین به استثناء شوری‌های ۰/۶۸ و dS/m ۲، در سایر شوری‌ها برآورد کلی مدل مناسب بوده و به طور کلی انطباق خوبی بین داده‌های مشاهده و پیش‌بینی شده وجود داشته است. همانطوریکه قبلاً بیان گردید، کم برآورد کردن مدل عمدتاً در لایه سطحی خاک رخ داده که دلیل آن می‌تواند فرآیندهایی باشد که در واقعیت رخ می‌دهد ولی مدل قادر به پیش‌بینی دقیق آن نیست مانند ترک و شکاف خاک، فلاکس رو به بالای آب، تبخیر و... که این موارد دلیل عدم واسنجی دقیق نیست و بیشتر به ساختار مدل برمی‌گردد.

در شکل (۳) مقادیر شوری اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل به تفکیک هر تیمار نسبت به خط یک به یک مقایسه شده است. این شکل به خوبی نشان می‌دهد که در تیمارهای S0 و S1 پیش‌بینی در لایه سطحی باعث انحراف داده‌ها از خط یک به یک شده است ولی به طور کلی پیش‌بینی مدل مناسب بوده است. در شکلی که همه شوری‌ها نشان داده شده است پراکندگی حول خط ۴۵ درجه نشان می‌دهد که به طور کلی پیش‌بینی شوری مناسب انجام شده و مقادیر CRM، NRMSE و d به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۱۳ و ۰/۹۱ بوده است.

سدیم خاک

در شکل (۴) مقادیر اندازه‌گیری شده سدیم در تیمارهای مختلف در پایان فصل کشت ارائه شده است. طبق جدول (۶) میانگین سدیم خاک (Na) نسبت به سدیم آب آبیاری (Na_i) در تیمارهای S1، S2، S3، S4 و S5 به ترتیب ۴۳/۶، ۸۶، ۸۹/۷، ۹۱/۸، ۹۵/۶ و ۹۲/۲ درصد کمتر می‌باشد. بنابراین گیاه و تیور توانسته است مقدار سدیم خاک را به خوبی کنترل کند.

جدول ۶- مقادیر اندازه‌گیری شده سدیم در پایان فصل کشت در نیم‌رخ خاک

عمق خاک (cm)	EC _e (dS/m)											
	۰/۶۸		۲		۴		۶		۸		۱۰	
	درصد	اختلاف	درصد	اختلاف	درصد	اختلاف	درصد	اختلاف	درصد	اختلاف	درصد	اختلاف
۳۰-۰	۱۹/۸	۵۰/۵	۵۱/۳	۷۴/۵	۹۳/۳	۷۷/۲	۱۱۱/۵	۸۲/۱	۴۶/۶	۹۴/۴	۱۷۳/۳	۸۳/۵
۶۰-۳۰	۲۶/۳	۳۴/۳	۱۷/۳	۹۱/۴	۱۹/۳	۹۵/۳	۲۲/۶	۹۶/۴	۴۰/۳۰	۹۵/۲	۵۱/۳۰	۹۵/۱
۹۰-۶۰	۲۱/۶	۴۶/۰	۱۵/۶	۹۲/۲	۱۴/۱۶	۹۶/۵	۲۰/۱۶	۹۶/۸	۲۳/۳	۹۷/۲	۲۱/۳	۹۸/۰
میانگین	۲۲/۵۷	۴۳/۶	۲۸/۰۷	۸۶/۰	۴۲/۲۵	۸۹/۷	۵۱/۴۲	۹۱/۸	۳۶/۷۳	۹۵/۶	۸۱/۹۷	۹۲/۲

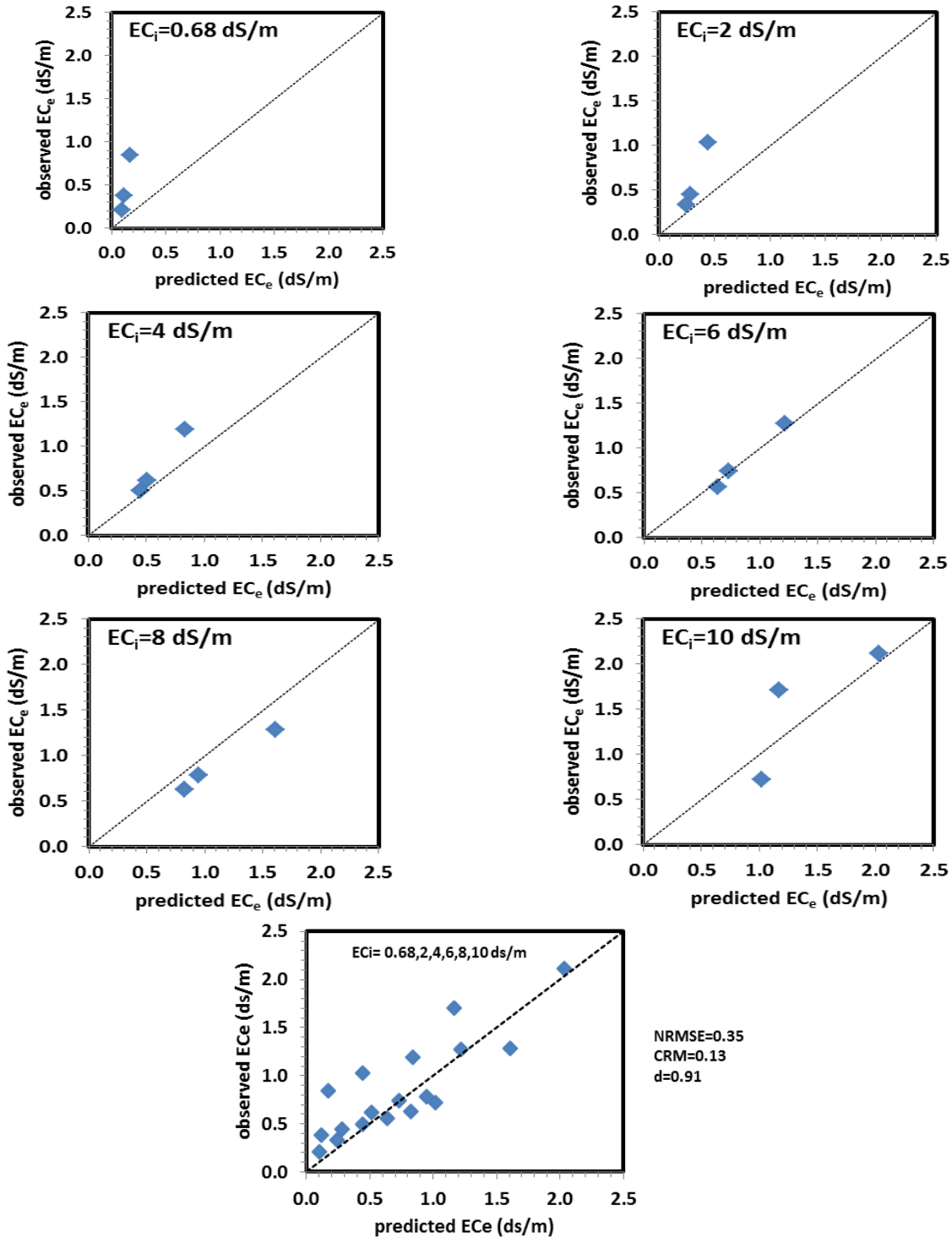
Na_i: سدیم آب آبیاری

Na: سدیم خاک

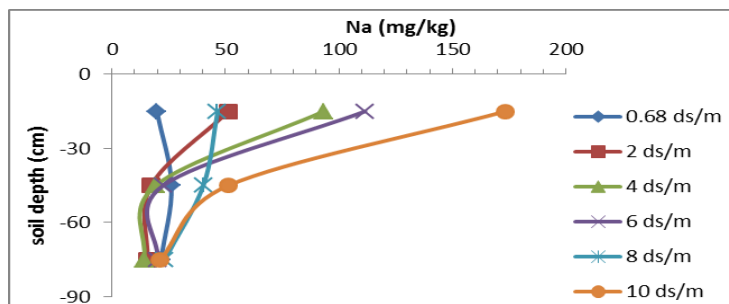
جدول ۷- سدیم اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در اعماق مختلف به تفکیک تیمارها و مقایسه داده‌ها

تیمار شوری	NRMSE	CRM	d
S0 (۰/۶۸ dS/m)	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۱۹
S1 (۲ dS/m)	۰/۷۷	۰/۶۳	۰/۵۸
S2 (۴ dS/m)	۰/۸۳	۰/۵	۰/۱۶
S3 (۶ dS/m)	۰/۷	۰/۳۷	۰/۶۴
S4 (۸ dS/m)	۰/۳۲	-۰/۱۸	۰/۸
S5 (۱۰ dS/m)	۰/۶۴	۰/۳۴	۰/۶۷

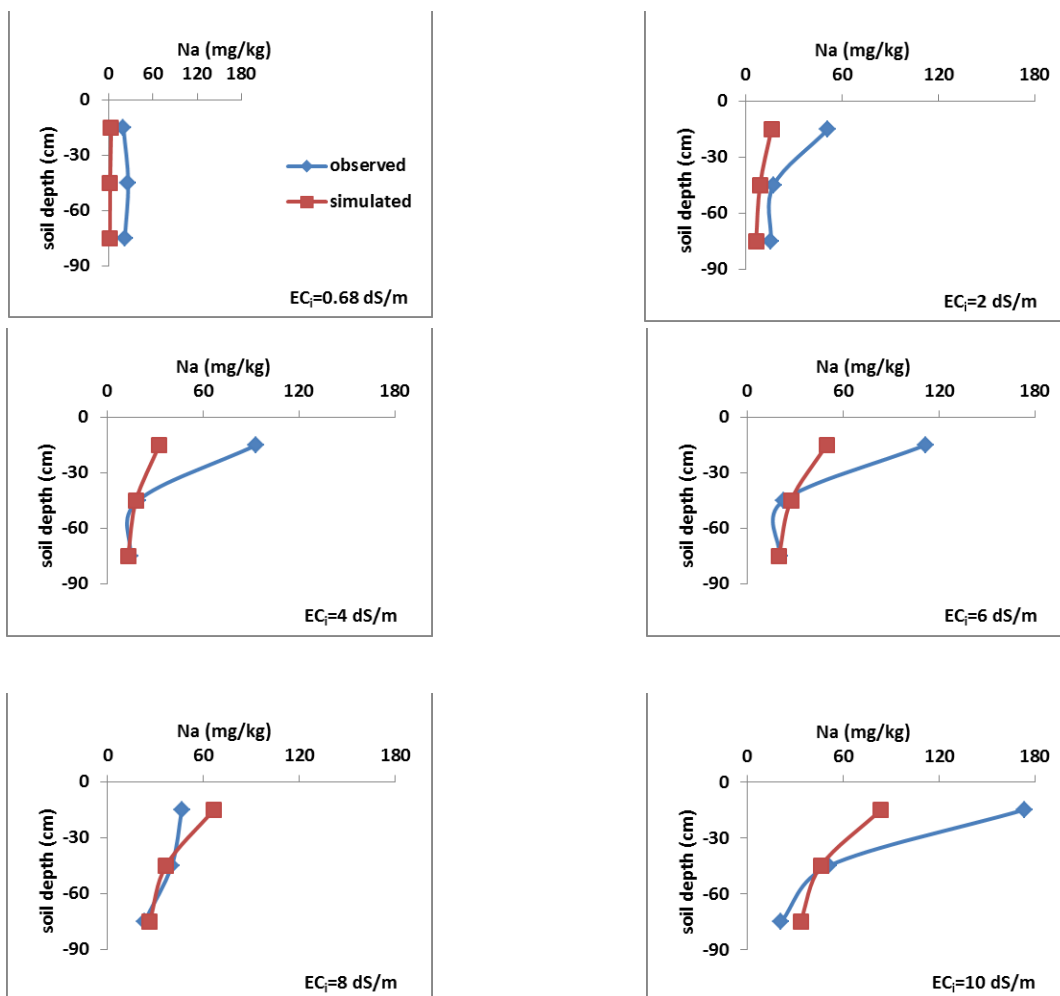
طبق شکل (۲) پس از اعمال سطوح شوری آب آبیاری، مقادیر شوری اندازه‌گیری شده در پروفیل خاک کاهش یافته و این روند کاهشی توسط مدل نیز شبیه‌سازی گردیده است. در تیمارهای S0، S1 و S2 مقادیر CRM به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۴۶ و ۰/۲۲ بود که بیان‌گر تخمین کم‌تر مدل نسبت به واقعیت بود. مقادیر NRMSE در این سه تیمار (به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۵۹ و ۰/۲۸) و d (به ترتیب ۰/۵۱، ۰/۶۱ و ۰/۸۲) بیان‌گر دقت پایین مدل در تیمارهای S0 و S1 و دقت مناسب مدل در تیمار S2 می‌باشد. در تیمار شوری S3 (6 dS/m)، شوری شبیه‌سازی شده در خاک بیش‌ترین همخوانی و برازش (کمترین مقدار NRMSE و d نزدیک به یک) را در اعماق مختلف داشت و خطای نسبی در عمق‌های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متر به ترتیب ۱، ۴ و ۱۴ درصد و NRMSE و d به ترتیب ۰/۰۶ و ۰/۹۹ بود. در تیمارهای S4 و S5 نیز دقت مدل مناسب بود و NRMSE به ترتیب ۰/۲۷ و ۰/۲۴ و d به ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۸۸ بود. طبق شکل (۲) در تیمار S5 (10 dS/m) مقادیر خطای نسبی در عمق‌های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ به ترتیب ۴، ۳۲ و ۴۱ درصد بود. دقت کم‌تر مدل در تیمارهای S0 و S1 به دلیل تفاوت زیاد EC_e مشاهده شده و پیش‌بینی شده در لایه سطحی خاک (۳۰-۰ سانتی‌متر) می‌باشد. در این تیمارها در سایر اعماق خاک پیش‌بینی مدل مناسب بوده است ولی همین پیش‌بینی ضعیف در لایه سطحی خاک باعث افزایش مقادیر NRMSE و کاهش d شده است. به طور کلی در شوری‌های کم (تیمارهای S0 و S1) دقت مدل کم‌تر بوده ولی روند تغییرات به خوبی پیش‌بینی شده است. با افزایش شوری (S2، S3، S4 و S5) دقت مدل بهتر شده و روند



شکل ۳- مقایسه شوری عصاره اشباع اندازه گیری و شبیه سازی شده توسط مدل HYDRUS-1D نسبت به خط یک به یک



شکل ۴- غلظت سدیم اندازه گیری شده در اعماق مختلف خاک در پایان دوره کشت وتیور



شکل ۵- غلظت سدیم اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل HYDRUS-1D در نیمرخ خاک در پایان فصل کشت در شوریه‌های مختلف آبیاری

نتیجه‌گیری

گیاه وتیور یک گیاه مقاوم به شوری است و از نظر گیاه بالایی نیز یک گیاه بسیار مؤثر است و در تحقیقات مختلف برای کاهش آلودگی خاک از فلزات سنگین به وفور استفاده شده است ولی در مورد تأثیر آن بر کاهش شوری خاک تحقیقات بسیار اندکی صورت گرفته است. بنابراین با توجه به مشکل رو به افزایش شوری در منابع آب، بررسی و ارزیابی وتیور در کاهش شوری و سدیم خاک ضروری می‌باشد که نتایج نیز به خوبی نشان داد که این گیاه می‌تواند شوری و سدیم خاک را به خوبی کنترل کند.

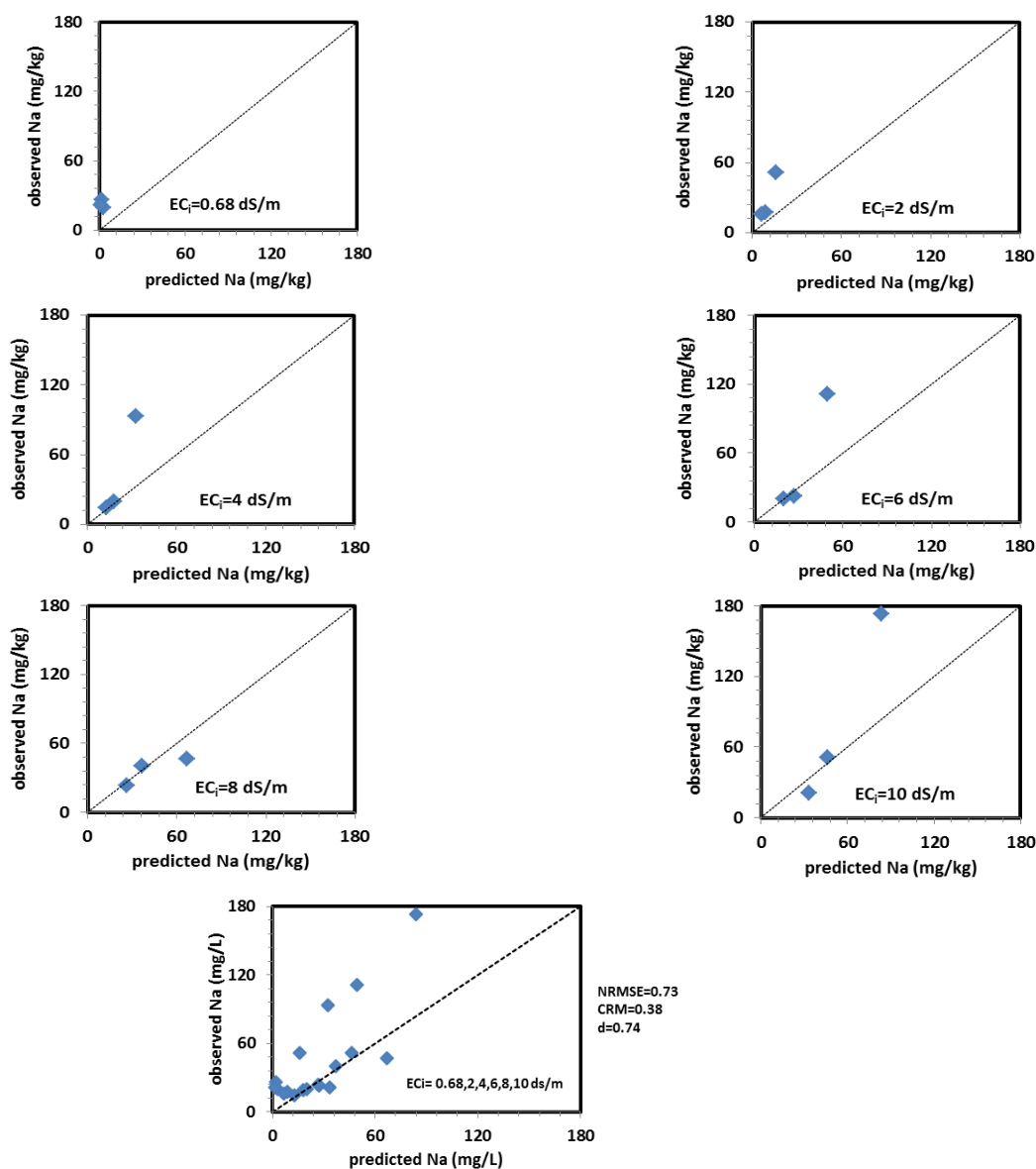
این تحقیق برای تحلیل اثرات آبیاری با شوریه‌های مختلف بر روی گیاه وتیور و تعیین تاثیرات این گیاه در کنترل شوری و سدیم خاک انجام شد و توزیع شوری و سدیم در نیمرخ خاک اندازه‌گیری و توسط مدل HYDRUS-1D شبیه‌سازی گردید. در این تحقیق آب آبیاری شامل ۵ سطح شوری مختلف بوده که نمونه‌برداری از خاک و استخراج داده‌های شوری از هر ۵ سطح

مقادیر مثبت CRM در تیمارهای S0، S1، S2، S3 و S5 نشان‌دهنده تمایل مدل برای برآورد کمتر در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده است. مقادیر NRMSE در این تیمارها (به ترتیب ۰/۹۲، ۰/۷۷، ۰/۸۳، ۰/۷، ۰/۶۴ و ۰/۵۸) (به ترتیب ۰/۱۹، ۰/۱۶، ۰/۶۴ و ۰/۶۷) بیان‌گر دقت پایین مدل در برآورد مقدار سدیم خاک می‌باشد. البته این دقت پایین مدل همان طوری که در قسمت شوری نیز توضیح داده شد به دلیل پیش‌بینی ضعیف مدل در لایه سطحی خاک (۰-۳۰ سانتی‌متر) بوده است و گرنه در سایر اعماق پیش‌بینی مدل مناسب بوده است. در تیمار S4 مقادیر CRM، NRMSE و d به ترتیب ۰/۳۲، ۰/۱۸ و ۰/۸ می‌باشد که عملکرد مدل در این تیمار نسبت به سایر تیمارها بهتر بوده است.

در شکل (۶) مقادیر سدیم اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل به تفکیک هر تیمار نسبت به خط یک به یک مقایسه شده است. این شکل نیز به خوبی نشان می‌دهد که پیش‌بینی مدل به جز در لایه سطحی مناسب بوده است.

شده شوری توسط مدل به مقدار واقعی نزدیک می‌باشد. همچنین نتایج ارزیابی غلظت سدیم در نیمرخ خاک نشان می‌دهد که مدل مقادیر سدیم را با دقت خوبی شبیه‌سازی نکرده است که علت عدم شبیه‌سازی مناسب سدیم در خاک به دلیل عدم شبیه‌سازی مناسب در لایه سطحی خاک (۰-۳۰ سانتی‌متر) بوده و در سایر اعماق پیش‌بینی مدل مناسب بوده است.

شوری انجام شد. پس از انجام مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل HYDRUS-1D، نتایج توسط شاخص‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی نشان داد که این مدل میزان شوری را در تیمارهای شوری ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر به شکل نسبتاً مطلوبی شبیه‌سازی نموده است. در تیمارهای ۰/۶۸ و ۲ دسی زیمنس بر متر نیز بجز لایه سطحی مقادیر برآورد



شکل ۶- مقایسه سدیم اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل HYDRUS-1D نسبت به خط یک به یک

REFERENCES

- Abbasi, F., 2017. Advanced Soil Physics. University of Tehran. (In Farsi)
- Hamed Ebrahimian, Abdolmajid Liaghat, Masoud Parsinejad, Enrique Playán, Fariborz Abbasi, Maryam Navabian, Borja Lattore, 2013. Optimum design of alternate and conventional furrow fertigation to minimize nitrate loss. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 139 (11), 911-921.
- Akhzari, D., Bidgoli, R.D. (2013). Effect of drought and salinity stresses on growth of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* Stapf). World Applied Sciences Journal 24, 390-394
- Azad, N., Behmanesh, J., Rezaverdinejad, V., Abbasi, F. Navabian, M. (2018). Developing an optimization model in drip fertigation management to consider environmental issues and supply plant requirements. Agricultural water management 208, 344-356.
- Corwin, D.L., Rhoades, J.D., Simunek, J. (2007).

- Leaching requirement for soil salinity control: Steady-state versus transient models. *Agricultural Water Management* 90 (3), 165-180.
- De Vos, J., Raats, P., Feddes, R. (2002). Chloride transport in a recently reclaimed Dutch polder. *Journal of Hydrology* 257, 59-77.
- Dousset, S., Thevenot, M., Pot, V., Šimuněk, J., Andreux, F. (2007). Evaluating equilibrium and non-equilibrium transport of bromide and isoproturon in disturbed and undisturbed soil columns. *Journal of Contaminant Hydrology* 94, 261-276.
- Ebrahimian, H., Liaghat, A., Parsinejad, M., Abbasi, F., Navabian, M. (2012). Comparison of one-and two-dimensional models to simulate alternate and conventional furrow fertigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 138 (10), 929-938.
- Jayashree, S., Rathinamala, J., Lakshmanaperumalsamy, P. (2011). Determination of heavy metal removal efficiency of chrysopogon zizanioides (Vetiver) using textile wastewater contaminated soil. *Journal of Environmental Science and Technology* 4, 543-551.
- Loague, K., Green, R.E. (1991). Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology* 7, 51-73.
- Mahbod M. (1997). Estimation of soil hydraulic functions inverse method using genetic algorithms in the field and laboratory conditions. MA Thesis of Water Engineering Dept., College of Agriculture. Shiraz university. (In Farsi).
- Mane, A., Saratale, G., Karadge, B., Samant, J. (2011). Studies on the effects of salinity on growth, polyphenol content and photosynthetic response in *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 23, 59-70.
- Nilforoushan B., Habibi D., Khodabandeh N. and Khosravi H. (2013). Vetiver grass as a reduced plant salinity and enhancing soil fertility. National Conference of passive defense in the agricultural sector, Qeshm Island, Iran. (In Farsi)
- Padmavathiamma, P.K., Li, L.Y. (2007). Phytoremediation technology: hyper-accumulation metals in plants. *Water, Air, and Soil Pollution* 184, 105-126.
- Panchaban, S., Phuaphan, W., Ta-oum, M. (1992). The use of vetiver to reduce soil erosion and improve water quality of farm pound in salt affected sandy area of the northland. Thailand, Department of Land Resources and Environment, Faculty of Agriculture.
- Purseglove, J.W. (1972). *Tropical Crops. Monocotyledons*. Vol. 1, 2. 1972 pp.
- Shahidi A. and Ahmadi M. (2012). Video training of HYDRUS model; simulation of water movement, solute, temperature, water uptake by the roots. First Edition. Kelk Zarrin. Tehran. 146 p. (In Farsi).
- Šimuněk, J., Sejna, M., van Genuchten, M.T. (1998). The HYDRUS-1D software package for simulating the onedimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Version 2.0. IGWMC-TPS-70, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Colorado..
- Sogbedji, J., Van Es, H., Hutson, J. (2001). N fate and transport under variable cropping history and fertilizer rate on loamy sand and clay loam soils: I. Calibration of the LEACHMN model. *Plant and Soil* 229, 57-70.
- Tanwar, B. (2003). Saline water management for irrigation. International Commission on irrigation and drainage. New Delhi, India.
- Truong, P.N., Barker, D., Watson, A., Sombatpanit, S., Northcutt, B., Maglinao, A. (2004). Vetiver grass technology for land stabilization, erosion and sediment control in the Asia-Pacific Region, First Asia-Pacific Conference on Ground and Water Bioengineering for Erosion Control and Slope Stabilization, Manila, Philippines, April 1999. Science Publishers, Inc., pp. 123-134.