



فصلنامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی  
جلد ۱۳، شماره ۲، صفحات ۳۵-۵۱  
(تابستان ۱۳۹۶)

## تعیین یک مدل تجربی برای آبشویی خاک‌های شور اراضی زراعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه

ناصر نظری

گروه خاکشناسی، مرکز تحقیقات گیاهان دارویی و محصولات ارگانیک، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران | nazari@m-iau.ac.ir

**چکیده** در مدیریت پایدار منابع طبیعی، اصلاح خاک‌های شور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چرا که وجود بیش از حد نمک‌های محلول در ناحیه ریشه می‌تواند باعث کاهش جذب آب توسط گیاه به دلیل کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک شود. راهبرد لازم در مواجهه با این مسأله، آبشویی نمک‌های انباشته شده از چنین خاکی است. مهمترین مسأله در برنامه‌های آبشویی، برآورد صحیح مقدار آب مورد نیاز برای اصلاح خاک‌های شور است. هدف از این پژوهش، ارائه مدلی تجربی برای تعیین مقدار آب آبشویی مورد نیاز و مقایسه نتایج با برخی مدل‌های تجربی موجود بود. بدین منظور، منطقه‌ای به مساحت ۳۰ هکتار در بخشی از اراضی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه با کلاس شوری و سدیمی S<sub>4</sub>A<sub>1</sub> انتخاب شد. آزمون‌های صحرایی به روش غرقاب متناوب با استفاده از استوانه‌های دوگانه و با آرایش مربعی، با یک تیمار و سه تکرار اجرا گردید. در حین آبشویی، از هیچگونه ماده اصلاحی استفاده نشد و تنها با کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبشویی در چهار تناوب ۲۵ سانتی‌متری اجرا شد. نمونه‌های خاک پیش، حین و پس از کاربرد هر تناوب آبیاری از اعماق ۰-۲۵، ۲۵-۵۰، ۵۰-۷۵، ۷۵-۱۰۰، ۱۰۰-۱۲۵، ۱۲۵-۱۵۰ و ۱۵۰-۱۷۵ سانتی‌متری برداشت و تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز روی آنها انجام شد. آب مورد نیاز از رودخانه قزل‌اوزن تأمین شد. چهار مدل به داده‌های ریاضی برازش و از میان مدل‌های مورد بررسی، مدل لگاریتمی به عنوان مدل برتر انتخاب شد. با استفاده از این مدل در اراضی زراعی شور دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه، به ازای یک واحد حجم منفذی، نزدیک ۷۰٪ و به ازای دو واحد حجم منفذی حدود ۷۹٪ از نمک‌های این خاک‌ها شسته شدند. بنابراین آبشویی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌های شور این سری خاک مجتمع با روش غرقاب متناوب در کاهش نمک‌های محلول به‌ویژه در لایه‌های سطحی نیم‌رخ خاک به دلیل تغییرات متناوب میزان رطوبت خاک مؤثر بوده است.

### شناسه مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پژوهش: ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۱۲

### واژه‌های کلیدی

- ◆ آبشویی نمک
- ◆ خاک‌های نمک‌زده
- ◆ مدل‌سازی
- ◆ مدیریت پایدار
- ◆ نمک‌زدایی

مقدماتی و تقریبی می‌تواند در دستیابی به اطلاعات مورد نیاز برنامه‌های اصلاح خاک سودمند باشد.<sup>[۳۳]</sup>

روابط تجربی و منحنی‌های آبتیوی را می‌توان در محدوده نوع خاک، میزان شوری و یا درصد سدیم تبدلی خاک، برای عمق معینی از خاک مورد استفاده قرار داد. مدل‌های تجربی فراوانی توسط پژوهشگران ارایه شده است که از آن‌جمله می‌توان به پژوهش‌های ریو (۱۹۵۷)<sup>[۳۵]</sup>، دیلمان (۱۹۶۳)<sup>[۱۴]</sup>، هافمن (۱۹۸۰)<sup>[۱۹]</sup>، پذیرا و کاوچی (۱۹۸۱)<sup>[۲۹]</sup> و ورما و گوپتا (۱۹۸۹)<sup>[۴۱]</sup> اشاره کرد. در ایران برای اکثر استان‌هایی که با مشکل شوری روبرو هستند، آزمایش‌های آبتیوی اجرا شده است. پذیرا و کشاورز (۱۹۹۸) به منظور برآورد آب مورد نیاز آبتیوی در اراضی شور و سدیمی جنوب شرقی استان خوزستان مدلی نمایی ارایه کرده‌اند.<sup>[۳۱]</sup>

رجب‌زاده و همکاران (۲۰۰۹) پژوهشی را در اراضی میانی استان خوزستان به روش غرقاب متناوب انجام دادند. در این پژوهش یک مدل تجربی برای اصلاح و به‌سازی خاک‌های شور و سدیمی منطقه مورد مطالعه ارایه گردیده است.<sup>[۳۳]</sup> همچنین در پژوهشی که به منظور برآورد آب مورد نیاز آبتیوی در اراضی شور و سدیمی جنوب استان خوزستان توسط اسدی و همکاران (۲۰۱۱ و ۲۰۱۳) انجام

**مقدمه** شوری و توزیع آن در خاک اراضی زراعی در زمان‌های مختلف متفاوت بوده و تابعی از بارش، آبیاری، تبخیر و تعرق، آبتیوی، زهکشی و اثر متقابل بین این عوامل است. عوامل ذکر شده و اثرات متقابل بین آن‌ها که عملکرد گیاه، جذب آب به وسیله ریشه، شوری خاک و بار نمک زهکش‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند، از پیچیدگی بسیار زیادی برخوردار بوده و هنوز به درستی درک و کمی‌سازی نشده‌اند.<sup>[۱۲]</sup> رشد گیاه به طور مستقیم تحت تاثیر میزان واکنش خاک و غلظت نمک‌ها از جمله یون‌های سدیم، کلر و سایر نمک‌های موجود در محلول خاک می‌باشد.<sup>[۲۰]</sup> در خاک‌های شور و سدیمی، به علت افزایش غلظت نمک‌ها در محلول خاک، جذب آب به وسیله ریشه گیاه که مبتنی بر پدیده اسمز است دچار اختلال گردیده که باعث توقف یا اختلال در رشد و نمو گیاهان می‌شود.<sup>[۱۱]</sup> کاهش جوانه‌زنی، توسعه سلولی و رشد برگ‌ها از دیگر خسارات ناشی از شوری خاک است. همچنین در اثر وجود نمک‌ها در خاک، سطح برگ و ماده خشک تجمعی، سرعت جذب خالص دی‌اکسیدکربن و رشد نسبی گیاه نیز کاهش می‌یابد.<sup>[۱۷]</sup>

مسئله شوری و سدیمی بودن از جمله مهم‌ترین عوامل در جهت کاهش توان بالقوه اراضی است به نحوی که انجام امر کشاورزی اقتصادی در صورت عدم اجرای عملیات اصلاحی در آنها تقریباً غیر ممکن به نظر می‌آید.<sup>[۱۹]</sup>

اجرای این پژوهش‌ها و آزمایش‌های مزرعه‌ای مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد برای تهیه نمونه‌های متعدد خاک و تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی می‌باشد. این در شرایطی است که مدل‌های نظری و معادلات آبتیوی که بر اساس روابط تجربی و ریاضی به دست آمده‌اند، با تقریب و دقت قابل قبولی با استفاده از فناوری مدل‌های شبیه‌سازی رایانه‌ای به تشریح فرایند آبتیوی املاح از نیمرخ خاک پس از کاربرد مقادیر مختلف آب آبتیوی می‌پردازند. مدل‌های تجربی حاصل داده‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری تجربی می‌باشند که بوسیله روابط ریاضی برازش داده می‌شوند. بنابراین در اشتقاق آنها هیچ‌گونه پیش فرض فیزیکی و ریاضی اعمال نشده است. هر چند از مدل‌های تجربی در محل خاصی یا در مورد مشکل خاصی استفاده می‌شود، لیکن این نوع مدل‌ها می‌توانند بخش مهمی از یک مدل پیچیده عددی بوده و به کارگیری آنها برای برآوردهای

و زمستان‌های طولانی، سرد و دارای یخبندان با میزان بارندگی سالیانه ۲۸۵ میلی‌متر، میانگین سالیانه درجه حرارت ۱۲/۷ درجه سلسیوس و میزان تبخیر سالیانه برابر با ۱۸۰۰/۸ میلی‌متر است.<sup>[۴]</sup>

این منطقه دارای رژیم رطوبتی زیریک خشک<sup>۱</sup> و رژیم حرارتی مزیک<sup>۲</sup> و دارای خاکی با بافت رسی و سنگین که در بیشتر قسمت‌ها مشکل شوری وجود دارد. این خاک‌ها بر پایه رده‌بندی جامع خاک آمریکایی<sup>۳</sup> در رده انتی‌سول‌ها<sup>۴</sup> و زیررده تیپیک زراورنت<sup>۵</sup> و فامیلی خاک fine, Loamy mixed, Carbonatic Mesic نامگذاری شده است که کلاس آن از نظر شوری و سدیمی بودن قبل از اجرای آزمون‌های آبشویی S<sub>4</sub>A<sub>1</sub> (شوری خیلی زیاد و سدیمی بودن اندک) بود.

کلاس شوری و سدیمی بودن خاک‌های مربوطه، همچنین برخی ویژگی‌های فیزیکی لایه‌های مختلف نیمرخ خاک پیش از آبشویی به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

برای شوری‌زدایی خاک‌ها اقدام به آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک شد. این آزمون با یک تیمار و در سه تکرار اجرا

گرفته، مدل لگاریتمی در مقایسه با دیگر مدل‌های رایج با کاربرد یک متر عمق آب آبشویی در چهار تناوب ۰/۲۵ متری بیشترین کارایی را داشته است.<sup>[۵،۷]</sup> در پژوهشی دیگر، در منطقه جفیر واقع در جنوب غرب خوزستان نیز یک مدل تجربی به شکل توانی برای تعیین مقدار آب آبشویی برای شوری‌زدایی خاک‌های شور و سدیمی ارائه شده است.<sup>[۲۵]</sup>

وجود نمک‌های شور فراوان در مواد مادری، کمی میزان بارندگی و تبخیر شدید سالیانه موجب انتقال نمک به طبقات سطحی گردیده و باعث تشکیل افق تجمع نمک در بخشی از خاک‌های اراضی زراعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه گردیده است که ضرورت انجام تحقیقات جامعی را ایجاب می‌نماید. هدف از اجرای این پژوهش، انجام آزمون‌های مزرعه‌ای در بخشی از اراضی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه برای شوری‌زدایی از نیمرخ خاک‌های زراعی شور، تعیین یک مدل مناسب جهت برآورد آب آبشویی مورد نیاز برای اصلاح خاک منطقه مورد مطالعه از طریق برازش مدل‌های مختلف ریاضی بر داده‌های میدانی و مقایسه نتایج یافته‌ها با تعدادی از مدل‌های تجربی موجود بود.

### مواد و روش‌ها

محدوده مورد بررسی قسمتی از اراضی مجتمع آموزشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه در استان آذربایجان شرقی به مساحت ۳۰ هکتار بوده که در شرق شهر میانه بین ۴۷ درجه و ۴۴ دقیقه و ۲۷ ثانیه تا ۴۷ درجه و ۴۵ دقیقه و ۱۲ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه و ۲۶ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه و ۳۶ ثانیه عرض شمالی با ارتفاع ۱۱۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. این منطقه از نقطه نظر وضعیت آب و هوایی در اقلیم نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود و دارای تابستان‌های گرم و خشک

جدول ۱) سری، کلاس شوری و سدیمی و برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک

سری مجتمع دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه

Table 1) Soil series, salinity and sodicity class and some major properties of Mojtaba soil series at Islamic Azad University Miyaneh Branch

Series name	salinity and sodicity class (before test)	depth of water table (m)	hydraulic conductivity (m/day)	depth of impervious layer (m)
Mojtaba	S <sub>4</sub> A <sub>1</sub>	> 50.0	0.50	1.60

<sup>1</sup> dry xeric

<sup>2</sup> mesic

<sup>3</sup> Soil Taxonomy

<sup>4</sup> entisols

<sup>5</sup> Typic Xerorthent

جدول ۲) برخی ویژگی‌های فیزیکی لایه‌های مختلف نیمرخ خاک پیش از آبشویی سری خاک مجتمع دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه

Table 2) Some physical characteristics of different layers of soil pre-leaching Mojtama soil series of Islamic Azad University Miyaneh Branch

Sampling depth (cm)	soil particles (%)			soil texture	soil density (g/cm <sup>3</sup> )		total porosity (%)	permeability (mm/h <sup>1</sup> )		humidity (mass percentage)			soil moisture deficit (cm)	cumulative soil moisture deficit (cm)
	sand	silt	clay		bulk density	real density		value	descriptive name	before leaching	field capacity	wilting point		
0-25	8.80	45.22	45.98	SiC	1.35	2.73	44.65	0.72	M.S	8.70	22.65	12.50	4.66	4.66
25-50	10.00	34.82	55.18	SiCL	1.42	2.71	42.55	0.60	V.S	14.25	21.40	13.00	2.57	7.23
50-75	12.25	47.00	40.75	SiC	1.52	2.75	40.50	0.50	V.S	15.00	20.58	12.75	2.08	9.31
75-100	13.64	46.00	40.36	SiCL	1.63	2.70	41.75	0.40	V.S	17.80	20.45	14.35	3.48	12.79
100-125	11.85	51.54	36.61	SiL	1.62	2.74	39.73	0.30	V.S	10.45	21.50	12.65	4.52	17.31
125-150	10.74	48.25	41.01	SiC	1.65	2.70	38.62	0.20	V.S	16.75	23.25	15.74	4.13	21.44

جدول ۳) خواص شیمیایی آب به کار رفته در آزمون آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ سری خاک مجتمع دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه

Table 3) Chemical properties of the water used in desalinization of Mojtama soil series at Islamic Azad University Miyaneh Branch

Water source	sodium adsorption ratio (meq/L) <sup>0.5</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	total anions	(meq/L)				total cations	total dissolved solids (mg/L)	pH	EC <sub>w</sub> (dS/m)	Wilcox category
						Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>					
Qiziluzan river	2.50	7.00	5.50	2.60	15.10	5.15	1.50	6.40	2.05	15.10	1235	7.82	1.23	C <sub>4</sub> -S <sub>1</sub>

ویژگی‌های شیمیایی لایه‌های مختلف خاک پیش و پس از کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب آشویی به ترتیب در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. ارقام شوری (هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک) مربوط به پیش، حین و پس از کاربرد هر تناوب آشویی مورد بررسی قرار گرفته و برای افق‌های مورد نظر در نیمرخ خاک یعنی ۲۵-۰، ۵۰-۰، ۷۵-۰، ۱۰۰-۰، ۱۲۵-۰ و ۱۵۰-۰ سانتی‌متر نسبت به محاسبه میانگین وزنی به ازای مقادیر

گردید. عملیات آشویی به روش غرقاب متناوب و آب مورد نیاز نیز از رودخانه قیزیل‌اوزن تأمین شد. نتایج تجزیه شیمیایی آب کاربردی در جدول ۳ ارائه شده است. در تیمار مورد استفاده از هیچگونه ماده اصلاحی استفاده نگردید و فقط با کاربرد ۱ متر آب آشویی در چهار تناوب ۰/۲۵ متری اجرا شد. آرایش استوانه‌های دوگانه به کار رفته در این آزمایش به صورت دایره‌ای بوده و تعداد شش استوانه دوگانه روی محیط دایره‌ای به شعاع ۵ متر و فواصل ۵ متری از یکدیگر مستقر شدند. نمونه‌برداری از اعماق ۲۵-۰، ۵۰-۲۵، ۷۵-۵۰، ۱۰۰-۷۵، ۱۲۵-۱۰۰، ۱۵۰-۱۲۵ سانتی‌متری پروفیل خاک، پیش از آشویی و پس از کاربرد ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی‌متر آب آشویی انجام گرفت و سپس نمونه‌های تهیه شده برای اعمال تجزیه‌های لازم به آزمایشگاه ارسال گردید، در هر آزمایش مقدار هدایت الکتریکی، اسیدیته، ظرفیت تبادل کاتیونی، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم تبادلی، درصد اشباع، آهک، گچ، کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول عصاره اشباع خاک (سدیم، کلسیم، منیزیم، کلر، سولفات، کربنات و بیکربنات) تعیین گردید.

جدول ۴) ویژگی‌های شیمیایی لایه‌های مختلف نیمرخ خاک سری مجتمع دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه پیش و پس از آشویی

Table 4) Chemical characteristics of different layers of soil profile in Mojta soil series at Islamic Azad University

Miyaneh Branch before and after leaching

Sampling time	soil depth (cm)	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Exchangeable Na <sup>+</sup>	cation exchange capacity	gypsum	Total Neutralizing Value (%)	pH	EC <sub>e</sub> (ds/m)	Sodium adsorption ratio (meq/L) <sup>0.5</sup>
		(meq/L)									
Before leaching	0-25	114.0	654.0	2.4	11.0	8.6	33.0	7.4	24.50	86.62	21.81
	25-50	95.0	553.0	1.5	15.0	20.0	31.0	7.7	17.45	80.23	10.00
	50-75	88.0	300.0	1.6	15.0	23.0	32.0	7.8	16.00	45.22	10.66
	75-100	82.0	228.0	2.7	16.0	46.0	30.0	7.8	17.20	35.60	16.87
	100-125	78.0	232.0	1.1	16.0	45.0	30.0	7.8	13.40	37.15	6.87
	125-150	81.0	214.0	2.6	11.0	34.0	35.0	7.6	15.10	33.62	23.63
After leaching	0-25	18.0	9.0	0.66	11.2	2.9	33.0	8.1	2.1	3.00	5.89
	25-50	15.0	11.0	0.45	14.2	6.5	31.5	8.0	2.4	4.01	3.17
	50-75	13.6	45.0	0.48	14.5	25.8	32.0	8.1	2.75	17.25	3.31
	75-100	12.2	62.0	0.67	16.3	26.6	32.0	8.2	3.25	25.10	4.11
	100-125	35.0	115.0	0.72	17.0	50.7	28.2	8.3	7.60	27.49	4.23
	125-150	54.0	112.0	1.1	13.0	31.8	34.3	8.3	9.80	21.55	8.46
Average	before leaching	89.66	363.5	1.98	14.0	29.44	31.84	7.68	17.27	53.07	14.14
	after leaching	24.63	59.67	0.68	14.3	24.05	31.84	8.17	4.65	16.40	4.86

جدول ۵) وزنی شوری اولیه و نهایی عصاره اشباع خاک پیش و پس از کاربرد مقادیر متفاوت آب آیشویی در لایه‌های مختلف خاک سری مجتمع دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه

Table 5) Weight of initial and final salinity of saturated soil extract before and after leaching water in different soil layers in Mojtaba soil series at Islamic Azad University Miyaneh Branch

Sampling depth(cm)	Salinity of saturated soil extract before leaching(d.S/m)	salinity of saturated soil extract after different frequencies of leaching water (dS/m)				
		EC <sub>f</sub> (25)	EC <sub>f</sub> (50)	EC <sub>f</sub> (75)	EC <sub>f</sub> (100)	EC <sub>f</sub> (average)
0-25	24.50	2.50	2.30	2.15	2.20	2.28
25-50	15.66	3.25	3.20	2.90	2.40	2.93
50-75	14.25	6.50	3.45	3.20	2.80	3.98
75-100	18.32	15.30	10.75	8.25	5.40	9.92
100-125	17.40	18.50	15.45	11.35	4.35	12.41
125-150	16.10	19.42	17.50	13.25	8.76	14.73

جدول ۶) رابطه بین مقادیر مختلف عمق آب آیشویی کاربردی و تغییرات میزان شوری عصاره اشباع خاک سری مجتمع دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه

Table 6) relationship between different amounts of leaching water depth and changes in soil saturation extract salinity in Mojtaba soil series at Islamic Azad University Miyaneh Branch

Depth of leaching water (cm)	initial salt (%)	soil depth (cm)						average
		0-25	0-50	0-75	0-100	0-125	0-150	
25	Remained	6.29	15.34	30.43	38.46	43.91	48.45	30.48
	leached	93.71	84.66	69.57	61.54	56.09	51.55	69.52
50	Remained	4.68	9.07	26.45	37.71	44.39	49.24	28.59
	leached	95.32	90.93	73.55	62.29	55.61	50.76	71.41
75	Remained	3.17	4.09	5.42	10.75	18.57	26.47	11.41
	leached	96.83	95.91	94.58	89.25	81.43	73.53	88.59
100	Remained	2.43	3.69	4.94	6.17	9.51	13.87	6.77
	leached	97.57	96.31	95.06	93.83	90.49	86.13	93.23
Average	Remained	4.14	8.05	16.81	23.27	29.10	34.51	19.31
	leached	95.86	91.95	83.19	76.73	70.90	65.49	80.69

خطا<sup>۷</sup>، ضریب تبیین<sup>۸</sup>، بازده یا کارایی کارایی مدل<sup>۹</sup> و ضریب جرم باقیمانده<sup>۱۰</sup> استفاده شد.

آزمون‌های مزرعه‌ای برای شوری زدایی از نیمرخ خاک‌ها و تعیین یک مدل مناسب جهت برآورد آب آبتشویی مورد نیاز برای اصلاح خاک منطقه مورد مطالعه از طریق برآزش مدل‌های ریاضی معادله‌های شماره ۲ تا ۱۳ جدول ۷ بر داده‌های میدانی و مقایسه نتایج یافته‌ها با تعدادی از این مدل‌های تجربی صورت گرفت. در این جدول، و روابط آن:

$D_w$ <sup>۱۱</sup>: عمق ناخالص آب بکار رفته (در عملیات آبتشویی) بر حسب سانتی‌متر،  $D_s$ : ضخامت لایه خاک (از سطح خاک) بر حسب سانتی‌متر،  $EC_i$ : هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک قبل از کاربرد عمق مشخصی از آب آبتشویی بر حسب دسی زیمنس بر متر،  $EC_f$ : هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک بعد از

متفاوت عمق آب مصرفی اقدام و نتایج در جدول ۶ ارایه شده است.

چون امکان دارد همه آب به‌کار برده شده صرف آبتشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک نشود و مقداری از آن صرف رفع یا جبران کمبود رطوبت خاک شود، در این صورت حتی کاربرد آبتشویی به مقدار زیاد نیز منجر به ایجاد تعادل شیمیایی خاک با آب آبتشویی نمی‌شود. به منظور رفع این اشکال بر پایه میانگین وزنی شوری نسبت به تهیه رقم‌های شوری‌زدایی با استفاده از معادله ۱ اقدام گردید.

معادله (۱)

$$X = [D_{lw}/D_s] \quad Y = [(EC_f - EC_{eq}) / (EC_i - EC_{eq})]$$

که در آنها  $EC_i$  و  $EC_f$  به ترتیب هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پیش و پس از آبتشویی بر حسب دسی‌زیمنس بر متر،  $D_{lw}$  عمق خالص آب آبتشویی و  $D_s$  عمق لایه خاک بر حسب متر می‌باشند. کمیت  $D_{lw}$  در واقع نشان دهنده مقدار آبی است که پس از تأمین رطوبت خاک لایه مورد نظر به صورت ثقلی از آن لایه خاک خارج می‌شود. کاستن مقدار  $EC_{eq}$  از صورت و مخرج کسر مذکور باعث می‌شود که نتایج حاصل از اثرات عوامل خارجی همچون مقدار تبخیر، شرایط زهکشی داخلی خاک، کیفیت آب آبتشویی و شرایط اجرای آزمایش، مستقل شوند. در واقع با این کار تابع از حالت صریح به تابع ضمنی تبدیل می‌شود. پس از دستیابی به همه ارقام آزمون‌های آبتشویی، تجزیه و تحلیل‌های لازم با استفاده از نرم افزارهای SPSS ver. 17، Curve Expert ver. 1.4، Microsoft Excel 2010 انجام شد. بدین ترتیب که چهار مدل ریاضی شامل مدل‌های توانی، نمایی، معکوس و لگاریتمی به ارقام شوری‌زدایی برآزش داده شده و با معیارهای آماری مانند ضریب تبیین و خطای استاندارد در سطح ۱٪ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مناسب‌ترین مدل شوری‌زدایی خاک‌های مورد آزمون تعیین گردید. به منظور ارزیابی دقت، اعتبار و کارایی مدل پیشنهادی از آماره‌های خطای حداکثر<sup>۶</sup>، ریشه میانگین مربعات

<sup>7</sup> Root Mean Square Error (RMSE)

<sup>8</sup> Coefficient of Determination ( $R^2$ )

<sup>9</sup> Efficiency Formula (EF)

<sup>10</sup> Coefficient of Residual Mass (CRM)

<sup>11</sup> depth of leaching water ( $D_w$ )

<sup>1</sup> initial electrical conductivity of saturation extract ( $EC_e$ )

<sup>2</sup> final electrical conductivity of saturation extract ( $EC_f$ )

<sup>3</sup> depth of leaching water ( $D_{lw}$ )

<sup>4</sup> depth of soil ( $D_s$ )

<sup>5</sup> equilibrium electrical conductivity of saturation extract ( $EC_{eq}$ )

<sup>6</sup> Maximum Error (ME)

جدول (۷) نام، نوع و رابطه ریاضی تعدادی از مدل‌های تجربی آیشویی خاک

Table 7) Name, type and mathematical relationship in some experimental models of soil leaching

Number of equation	mathematical model relationship	type of mathematical model	name of empirical model
2	$\frac{(EC_f - EC_{eq})}{(EC_i - EC_{eq})} = \frac{1}{5 \left[ \frac{D_{lw}}{D_s} - 0.15 \right]}$	hyperbolic function	Reeve (1957)
3	$\frac{(EC_f - EC_{eq})}{(EC_i - EC_{eq})} = e^{-\left( \frac{D_{lw}}{D_s} \right)}$	exponential function	Dieleman (1963)
4	$\frac{(EC_f - EC_{eq})}{(EC_i - EC_{eq})} = \frac{0.062}{\left[ \frac{D_{lw}}{D_s} \right]} + 0.034$	hyperbolic function	Leffelaar and Sharma (1977)
5	$\frac{(EC_f - EC_{eq})}{(EC_i - EC_{eq})} = \frac{K}{\left[ \frac{D_{lw}}{D_s} \right]}$	hyperbolic function	Hoffman (1980)
6	$\frac{(EC_f - EC_{eq})}{(EC_i - EC_{eq})} = \frac{0.076}{\left[ \frac{D_{lw}}{D_s} \right]} + 0.023$	hyperbolic function	Pazira and Kawachi (1998)
7	$\frac{(EC_f - EC_{eq})}{(EC_i - EC_{eq})} = 0.099 \frac{D_w^{-1.27}}{D_s}$	power function	Verma and Gupta (1989)
8	$\frac{(EC_f - EC_{eq})}{(EC_i - EC_{eq})} = 0.09 \frac{D_w^{-1.63}}{D_s}$	power function	Verma and Gupta (1989)
9	$\frac{(EC_f - EC_{eq})}{(EC_i - EC_{eq})} = 0.0764 \frac{D_{lw}^{-0.864}}{D_s}$	power function	Pazira and Keshavarz (1998)
10	$\frac{(EC_f - EC_{eq})}{(EC_i - EC_{eq})} = 0.8653 e^{-0.4498 \frac{D_{lw}}{D_s}}$	exponential function	Rajabzadeh et al (2009)
11	$\frac{(EC_f - EC_{eq})}{(EC_i - EC_{eq})} = -0.035 - 0.22 \ln \frac{D_{lw}}{D_s}$	logarithmic function	Asadi et al (2011)
12	$\frac{(EC_f - EC_{eq})}{(EC_i - EC_{eq})} = 0.07 - 0.16 \ln \frac{D_{lw}}{D_s}$	logarithmic function	Asadi et al (2012)
13	$\frac{(EC_f - EC_{eq})}{(EC_i - EC_{eq})} = 0.059 \frac{D_{lw}^{-1.181}}{D_s}$	power function	Mohammadzadeh et al (2013)

(آیشویی) به تعادل شیمیایی می‌رسد  
بر حسب دسی‌زیمنس بر متر و k:  
ضریب تجربی بدون بعد می‌باشد.

کاربرد عمق مشخصی از آب آیشویی بر حسب دسی‌زیمنس بر متر،  $D_{lw}$ : عمق  
خالص آب آیشویی (میزان آبی که پس از تأمین کسر رطوبت خاک لایه مربوطه، به  
طریق ثقلی و به صورت تراوش عمقی از ستون خاک لایه مربوطه خارج می‌شود بر  
حسب سانتی‌متر)،  $EC_{eq}$ : هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک که با آب آبیاری



بر متر برآورد شده است، ضریب بازده آبشویی با استفاده از روابط تجربی زیر قابل محاسبه است: معادله (۱۸) و معادله (۱۹)

$$r = \frac{D_w}{D_p} \quad \text{معادله (۱۸)}$$

$$f = \frac{r \cdot EC_w}{EC_{eq}} \quad \text{معادله (۱۹)}$$

که در آن:

f: نسبت عمق ناخالص آب آبشویی<sup>۱</sup> به عمق خالص آب آبشویی یا تراوشات عمقی<sup>۲</sup>،  $EC_w$ : مقدار شوری آب آبشویی بر حسب دسی-زیمنس بر متر و  $EC_{eq}$ : شوری نهایی لایه مورد نظر پس از کاربرد مقدار معینی آب آبشویی بر حسب دسی-زیمنس بر متر می‌باشد.

بر این اساس خواهیم داشت:

$$D_p = 100 - 15.08 = 84.92$$

$$f = \frac{r \cdot EC_w}{EC_{eq}} = \frac{(1.177) \cdot (1.12)}{(3.17)} = 0.416$$

$$r = \frac{D_w}{D_p} = \frac{100}{84.92} = 1.177$$

$$D_w = 100 \text{ cm}$$

ضریب بازده آبشویی نمک‌های محلول محاسبه شده ( $f=0/416$ ) با

<sup>1</sup> depth of water ( $D_w$ )

<sup>2</sup> depth of leaching water ( $D_{lw}=D_p$ )

**نتایج و بحث** شوری عصاره اشباع خاک در پس از اجرای عملیات آبشویی کاهش یافته است. این کاهش برای لایه‌های سطحی به‌ویژه لایه ۰-۲۵ سانتی‌متری بیشتر بود. این توزیع که عکس توزیع نمک‌ها پیش از آبشویی است به علت شسته شدن نمک‌ها از سطح به عمق است، به طوری که هر چه عمق آب آبشویی بیشتر باشد تجمع نمک در لایه‌های پایین‌تری صورت می‌گیرد. در مجموع پس از آبشویی در سری خاک دانشکده، مقدار شوری عصاره خاک در تیمارهای اول و دوم به ترتیب ۴۰/۰۶ و ۳۵/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت.

نتایج تجزیه و تحلیل آماری و برازش چهار مدل ریاضی لگاریتمی، توانی، نمایی و معکوس به ارقام به دست آمده از دو متغیر X و Y حاصل از آزمون‌های مزرعه‌ای شوری‌زدایی در سری خاک دیلم بیانگر آن است که برای تیمار اول مدل لگاریتمی با ضریب تبیین ۰/۷۲۷ و خطای استاندارد ۰/۰۸۹ در سطح معنی‌دار ۱٪ به عنوان بهترین مدل حاصل شد که می‌توان آن را به صورت زیر نشان داد:

$$Y = 0.071 - 0.112 \ln X \quad \text{معادله (۱۴)}$$

با جایگزینی متغیرهای مربوطه، رابطه به صورت زیر نوشته می‌شود:

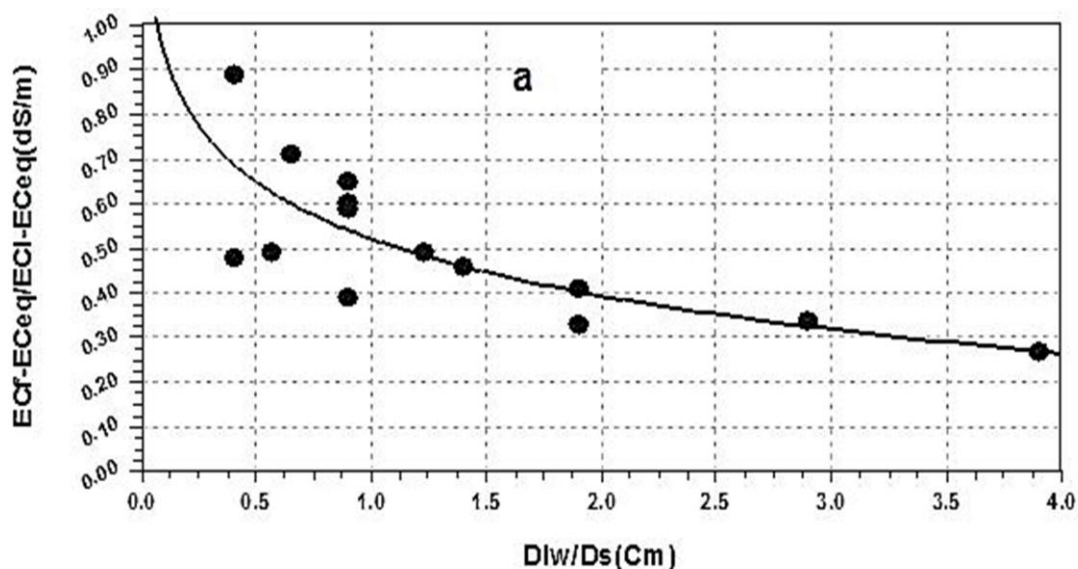
$$\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}} = 0.071 - 0.112 \ln \frac{D_{lw}}{D_s} \quad \text{معادله (۱۵)}$$

با استفاده از رابطه ۱۵، عمق لازم برای آبشویی املاح محلول از نیمرخ خاک به ضخامت مشخص و میزان شوری نهایی عصاره اشباع خاک به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$D_{lw} = D_s \cdot \exp \left[ \left( \frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}} - 0.071 \right) / (-0.112) \right] \quad \text{معادله (۱۶)}$$

$$EC_f = [(EC_i - EC_{eq}) \cdot (0.071 - 0.112 \ln D_{lw}/D_s) + EC_{eq}] \quad \text{معادله (۱۷)}$$

نظر به این که در این پژوهش شوری نهایی ( $EC_f$ ) مربوط به لایه ۰ تا ۱۰۰ سانتی-متری نیمرخ خاک به‌ازای کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر عمق آب آبشویی ( $D_w$ ) برابر ۳/۱۷ دسی‌زیمنس بر متر، میزان کسر رطوبت لایه ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری نیمرخ خاک قبل از آبشویی برابر ۱۵/۰۸ سانتی‌متر و شوری آب کاربردی آبشویی ۱/۱۲ دسی‌زیمنس



شکل ۱) منحنی شوری زدایی خاک سری مجتمع دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه تحت تاثیر تیمار آبشویی  
 Figure 1) Soil desalination curve in Islamic Azad University Miyaneh Branch Mojtaba soil series under the influence of leaching treatment

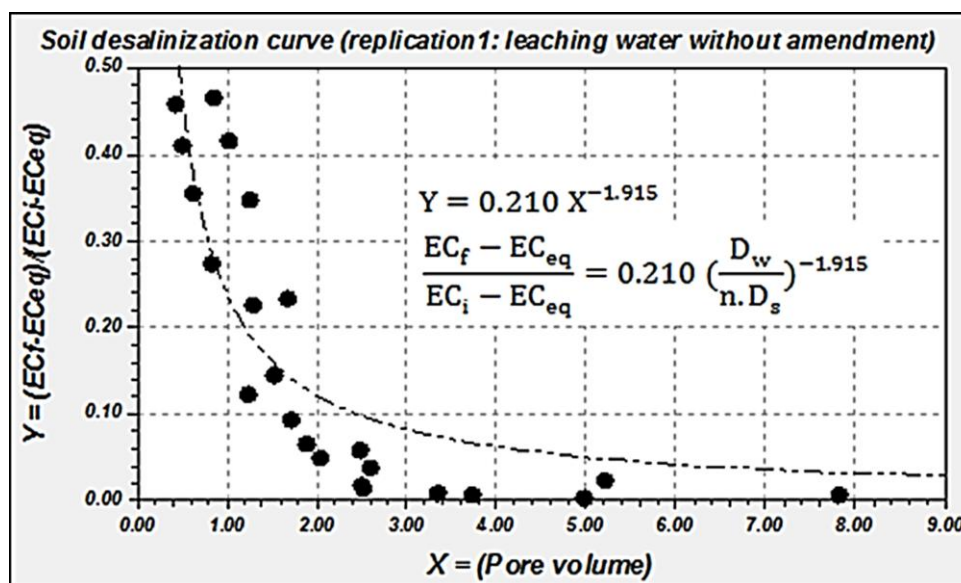
مقادیر اولیه هدایت الکتریکی ۱۴/۲۵ تا ۲۴/۵۰ دسی‌زیمنس بر متر و درصد سدیم تبادل ۶/۸۷ تا ۲۱/۸۱ است. بیان شوری زدایی بر پایه حجم تخلخل منفذی نسبت به  $D_{lw}/D_s$  بهتر می‌تواند بیانگر آبشویی نمک‌ها از لایه‌های خاک باشد. زیرا نسبت آب به خاک کل ستون را به عنوان خلل و فرج در نظر می‌گیرد، حال آن‌که چنین فرضی در طبیعت وجود ندارد. لیکن حجم خلل و فرج در واقع همان حجمی است که آب آبشویی از آن عبور می‌کند. در این

بافت خاک منطقه مورد آزمایش هم‌خوانی داشته و این بیانگر منطقی بودن نتایج به دست آمده است. مقدار عددی این ضریب منعکس کننده راندمان کاربرد آب آبشویی نمک‌های محلول خاک است، که طی فرآیند آبشویی می‌تواند جایگزین آب خاک گردد.

با کاربرد رابطه ۱۴ منحنی شوری زدایی برای سری خاک دانشکده به دست آمد که نتایج حاصل در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

با استفاده از منحنی این شکل می‌توان هدایت الکتریکی نهایی خاک<sup>۱</sup> و عمق خالص آب مورد نیاز برای عملیات اصلاحی را برآورد کرد. باید توجه داشت، به منظور برآورد کل میزان آب لازم برای آبشویی باید به مقادیر کسر رطوبتی لایه خاک مورد نظر، تبخیر از سطح آب و خاک و میزان بارندگی توجه نموده و این عوامل را در محاسبات و برنامه‌ریزی‌های آبشویی در نظر گرفت. باید به این نکته توجه کرد که اعتبار کاربرد این نمودارها در محدوده خاک منطقه مورد مطالعه، در مقادیر اولیه

<sup>۱</sup> final electrical conductivity ( $EC_f$ )



شکل ۲) منحنی شوری زدایی خاک به ازای مقادیر متفاوت حجم آب منفذی در سری خاک مجتمع دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه

Figure 2) Soil desalination curve versus different amounts of pore water in Islamic Azad University Miyaneh Branch Mojtama soil series

حسب سانتی‌متر،  $Y$  درصد نمک شسته شده،  $Y'$  درصد نمک باقیمانده،  $P.V$  حجم آب منفذی و  $n$  تخلخل خاک می‌باشد. شکل ۳ رابطه مقدار نمک‌های شسته شده اولیه با حجم آب منفذی و درصد نمک‌های اولیه باقیمانده را نشان می‌دهد.

در تیمار اعمالی کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب در سری خاک دانشکده موجب آبشویی ۹۵/۸۶، ۹۱/۹۵، ۸۳/۱۹، ۷۶/۷۳، ۷/۹۰ و ۶۵/۴۹٪ میزان نمک اولیه اعماق مربوطه به‌طور میانگین گردیده است.

پژوهش ضرایب تبیین به دست آمده بر مبنای تخلخل حجمی بیشتر از نسبت آب به خاک است، لیکن مقادیر آن واقعی‌تر بوده و برای ارزیابی شوری خاک مناسب‌تر است. بر این اساس نتایج تجزیه و تحلیل آماری و برازش مدل‌های تجربی مختلف بیانگر آن است که مدل توانی (شکل ۲) با ضریب تبیین ۰/۸۰۶ و خطای استاندارد ۰/۷۱۸ در سطح معنی‌دار ۱٪ به عنوان بهترین مدل حاصل شد که می‌توان آن را به ترتیب به‌صورت زیر نشان داد:

$$Y = 0.210 X^{-1.915} \quad \text{معادله (۲۰)}$$

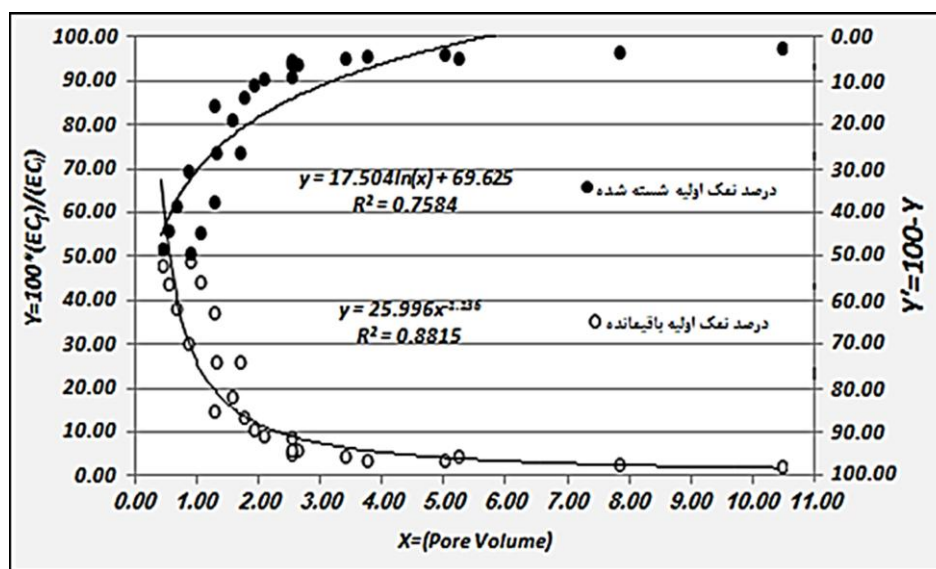
$$\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}} = 0.210 \left( \frac{D_w}{n.D_s} \right)^{-1.915} \quad \text{معادله (۲۱)}$$

با استفاده از ارقام میانگین وزنی شوری عصاره اشباع خاک حاصل از اجرای آزمون‌ها و با استفاده از روابط زیر مقادیر درصد نمک‌های اولیه شسته شده و

$$Y = \frac{EC_f}{EC_i} \times 100 \quad \text{معادله (۲۲)} \quad \text{درصد نمک‌های اولیه باقیمانده محاسبه شد.}$$

$$Y' = 100 - \left( \frac{EC_f}{EC_i} \times 100 \right) \quad \text{معادله (۲۳)} \quad \text{که در آنها } D_w \text{ عمق آب آبشویی کاربردی بر}$$

$$X = \text{Pore Volume} = \frac{D_w}{(n.D_s)} \quad \text{معادله (۲۴)}$$



شکل ۳) تغییرات مقدار نمک‌های اولیه باقیمانده و شسته شده نسبت به تخلخل منفذی پس از آبشویی در سری خاک مجتمع دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه

Figure 3) Variation of initial removed and remained salts to pore porosity after leaching process in Islamic Azad University Miyaneh Branch Mojtaba soil series

آبشویی می‌باشد که معادل ۳/۵ واحد تخلخل حجمی است<sup>[۳۸]</sup> اسدی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کرده‌اند که در سری خاک عمیشیه واقع در جنوب خوزستان، در شرایطی که از ماده اصلاح کننده استفاده نشود، نزدیک به ۸۴ و در شرایطی که از پنج تن ماده اصلاح کننده اسید سولفوریک غلیظ ۹۵٪ استفاده شود، حدود ۷۸٪ از نمک‌های اولیه شسته می‌شوند.<sup>[۶]</sup> در پژوهشی دیگر، محمدزاده و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کرده‌اند که در سه سری خاک سابله، کرخه و سلمان در منطقه جفیر در جنوب غربی

مقدار آب استفاده شده نیز معادل ۱۰/۴۳، ۴/۹۹، ۳/۳۶، ۲/۵۱، ۲/۰۵ و ۱/۷۲ واحد آب منفذی برای اعماق مربوطه می‌باشد. با توجه به نتایج ارایه شده در شکل ۳ می‌توان دریافت که در سری خاک دانشکده به ازای یک واحد حجم منفذی، نزدیک ۷۰ و به ازای دو واحد حجم منفذی حدود ۷۹٪ از نمک‌ها شسته شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌های منطقه مورد مطالعه با روش غرقاب متناوب در کاهش نمک‌های محلول به‌ویژه در لایه‌های سطحی نیمرخ خاک به دلیل تغییرات متناوب میزان رطوبت خاک موثر بوده است. به گونه‌ای که کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبشویی که معادل با ۸۴/۹۲ سانتی‌متر تراوش‌های عمقی می‌باشد و باعث کاهش ۸۸/۹۵، ۷۳/۳۶ و ۵۳/۴۹٪ شوری اولیه افق‌های ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ متری نیمرخ خاک گردیده که میزان آب نفوذ یافته به ترتیب معادل با ۴/۱۹، ۲/۱۰ و ۱/۳۵ واحد آب منفذی بوده است.

در پژوهشی دیگر، واندرمولن (۱۹۵۶) نشان داد که ۵۰٪ از نمک‌های کلروره محلول به ازای کاربرد یک واحد حجم منفذی از نیمرخ خاک شسته می‌شوند.<sup>[۴۰]</sup> همچنین برای انتقال ۹۸٪ از کلریدها از عمق خاک نیاز به ۱۲۰ سانتی‌متر آب

جدول ۸) آماره‌های محاسبه شده برای ارزیابی مدل‌های برازش خاک‌های سری خاک مجتمع دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه

Table 8) calculated statistics for evaluation of models fitted to the Mojtaba soil series at Islamic Azad University Miyaneh Branch

Model	Efficiency of Formula	Coefficient of Determination	Maximum Error	Root Mean Square Error	Coefficient of Residual Mass
Logarithmic	0.81	1.34	0.16	0.07	0.00
Inverse	0.82	1.25	0.23	0.08	0.00
Power	-6.54	0.25	0.86	0.22	-0.21
Exponential	0.58	3.15	0.39	0.12	0.24

تنها مدل اسدی و همکاران (۲۰۱۳) مقدار آب آبتوی را کمتر از مدل نوین برآورد می‌کند. [۷] مدل رجب زاده و همکاران (۲۰۰۹) [۳۳]، ورما و گوپتا (۱۹۸۹) [۴۱] و پذیرا و کشاورز (۱۹۹۸) [۳۱] مقدار آب آبتوی خاک‌ها کمی بیش از مدل نوین برآورد می‌کنند. مدل محمدزاده و همکاران (۲۰۱۳) [۲۵]، پذیرا و کاواچی (۱۹۸۱) [۲۹]، لفلاز و شارما (۱۹۷۷) [۳۳]، ریو (۱۹۵۷) [۳۵] و دیلمان (۱۹۶۳) [۱۴] مقدار آب آبتوی خاک‌ها را بیشتر از مدل نوین برآورد می‌کنند. مدل هافمن (۱۹۸۰) نیز فاقد تناسب لازم برای برآورد آب مورد نیاز اصلاح خاک‌های منطقه در مقایسه با مدل نوین می‌باشد. [۱۹] دلیل این عدم تناسب را می‌توان تفاوت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمون و روش آبتوی ذکر کرد.

خوزستان، به ازای یک واحد حجم منفذی، به ترتیب نزدیک ۰.۵۰٪، ۰.۷۵٪ و ۰.۶۵٪ و به ازای دو واحد حجم منفذی نیز حدود ۰.۷۵٪، ۰.۸۳٪ و ۰.۷۸٪ از نمک‌ها شسته شده‌اند. [۲۵]

نتایج به دست آمده در این پژوهش با یافته‌های برخی پژوهشگران همخوانی دارد. خوسلا و همکاران (۱۹۷۹) گزارش کرده‌اند که در یک خاک لوم شنی حدود ۰.۷۵٪ نمک‌ها از یک واحد حجم منفذی انتقال می‌یابند. [۲۰]

پنج آماره ریاضی محاسبه شده از داده‌های مشاهده‌ای و برازش برای خاک‌های مورد آزمایش در جدول ۸ ارایه شده است. میانگین مربعات خطا در چهار مدل نمایانگر آن است که مدل لگاریتمی از دیگر مدل‌ها کارایی بهتری دارد. گرایش به بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی در دو مدل لگاریتمی و معکوس تقریباً یکسان بوده و اختلاف معنی‌داری ندارند، لیکن با توجه به مقدار ضریب جرم باقی مانده در این دو مدل، این گرایش چندان قوی نیست. همچنین بین دو مدل لگاریتمی و معکوس با دو مدل نمایی و توانی اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود. کمترین مقدار خطای حداکثر مربوط به مدل لگاریتمی است. بررسی این پنج آماره نشان می‌دهد که مدل‌های برازش داده شده با اندک اختلافی از یک روند پیش‌بینی شده تبعیت می‌کند، لیکن مدل لگاریتمی برای شوری‌زدایی خاک‌های محدوده مورد مطالعه بهتر از مدل‌های دیگر است.

هر چند مدل لگاریتمی کارایی بهتری نسبت به دیگر مدل‌ها داشت، لیکن در شرایط برابر، با در نظر گرفتن آماره‌های ریاضی، رابطه ۲۰ به عنوان مدل برتر معرفی می‌گردد. برای تجزیه و تحلیل مدل شوری‌زدایی ارایه شده، مقایسه‌ای بین مدل حاصله و برخی مدل‌های تجربی از دیدگاه برآورد مقدار آب آبتوی نمک‌های محلول انجام شد که نتایج آن در جدول ۹ ارایه شده است.

جدول ۹) مقایسه نتایج حاصل از کاربرد مدل‌های تجربی آبخویی خاک‌های سری مجتمع دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه

Table 9) Comparison of the results of different empirical models for leaching soils of Mojtaba series at Islamic Azad University Miyaneh Branch

Name of empirical model	Geometric mean of required water for soil reclamation(m)	Model fitness order	Required water for reclamation of different soil layers(m)					Mathematical shape of model
			0-25	0-50	0-75	0-100	0-150	
Reeve (1957)	2.14	8	0.64	1.67	1.06	2.38	3.51	Hyperbolic
Dieleman (1963)	2.09	9	0.79	1.58	2.04	2.04	4.32	Exponential
Leffelaar and Sharma (1977)	3.64	10	2.04	2.47	0.95	2.46	3.87	Hyperbolic
Hoffman (1980)	2.54	7	0.72	0.94	2.41	2.45	5.04	Hyperbolic
Pazira and Kawachi (1998)	1.52	8	0.92	2.55	1.47	4.26	3.21	Hyperbolic
Verma and Gupta (1989)	0.95	4	0.38	0.86	0.85	2.18	1.97	Power
Pazira and Keshavarz (1998)	1.27	5	0.57	1.02	0.98	1.32	2.08	Power
Rajabzadeh et all (2009)	0.88	3	0.47	0.83	0.72	1.38	1.75	Exponential
Asadi et all (2013)	0.44	1	0.21	0.44	0.59	1.26	0.96	Logarithmic
Mohammadzadeh et all (2013)	1.57	7	0.63	1.24	1.31	0.65	2.94	Power
Proposed model (2017)	0.87	2	0.28	0.58	0.68	0.74	1.41	Logarithmic

جدول ۱۰) مقادیر آب لازم برای کاهش شوری اولیه در اعماق مختلف نیمرخ خاک تا مقدار شوری نهایی برابر ۴ دسی‌زیمنس بر متر

Table 10) Required water for reducing initial salinity in different depth of soil profile to final salinity ( $EC_f=4dS/m$ )

Soil depth (cm)					Initial salinity(dS/m)	Soil depth (cm)					Initial salinity(dS/m)
0-25	0-50	0-75	0-100	0-150		0-25	0-50	0-75	0-100	0-150	
0.002	0.004	0.005	0.006	0.009	4	0.284	0.571	0.856	1.143	1.721	26
0.114	0.232	0.346	0.458	0.660	6	0.291	0.587	0.874	1.154	1.725	28
0.115	0.368	0.548	0.730	1.032	8	0.294	0.588	0.881	1.169	1.730	30
0.216	0.435	0.655	0.875	1.241	10	0.296	0.592	0.891	1.172	1.732	32
0.238	0.482	0.721	0.958	1.411	12	0.299	0.595	0.893	1.180	1.744	34
0.255	0.502	0.768	1.012	1.531	14	0.301	0.598	0.900	1.191	1.768	36
0.263	0.528	0.792	1.045	1.576	16	0.302	0.601	0.902	1.196	1.776	38
0.274	0.546	0.814	1.066	1.631	18	0.303	0.602	0.905	1.200	1.811	40
0.275	0.558	0.830	1.095	1.654	20	0.304	0.603	0.908	1.202	1.814	42
0.281	0.563	0.845	1.115	1.689	22	0.305	0.607	0.910	1.212	1.819	44
0.288	0.578	0.857	1.124	1.712	24	0.306	0.609	0.912	1.219	1.822	46

نتایج مشابهی توسط پژوهشگران گزارش شده است [۳۱،۳۴]

به همین ترتیب برای کاهش هدایت الکتریکی از ۳۲ به ۱۶، ۱۶ به ۸ و از ۸ به ۴ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۳۸۹، ۴۷۲ و ۷۳۳ مترمکعب در هکتار آب آبخویی نیاز است که نشان می‌دهد کم کردن شوری خاک در هدایت الکتریکی پایین، به آب آبخویی بیشتری نسبت به شوری‌های زیادتر نیاز دارد.

**نتیجه‌گیری کلی** مقادیر آب آبخویی خالص برای خاک‌های منطقه مورد مطالعه بر پایه رابطه ۳ در جدول ۱۰ ارائه شده است. کاهش یک‌باره مقادیر هدایت الکتریکی اولیه نیمرخ خاک تا حد ۴ دسی‌زیمنس بر متر به حجم قابل ملاحظه‌ای آب آبخویی خالص نیاز دارد. حال آن که برای کاهش تدریجی مقادیر شوری اولیه خاک، به صورت آبخویی متناوب آبخویی با حجم کمتری آب نیاز است. اگر هدایت الکتریکی اولیه نیمرخ خاک در حد ۴۶ دسی‌زیمنس بر متر و بنا باشد تا عمق ۱/۵ متری از سطح خاک به ۴ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یابد، باید ۱۶۲۷۴ متر مکعب در هکتار آب آبخویی به کار رود. برای کاهش هدایت الکتریکی اولیه خاک از ۴۶ به ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر به ۶۱ مترمکعب در هکتار آب آبخویی نیاز است.



## References

1. Akhtar MS, Steenhuis TS, Richards BK, McBride MB (2003) Chloride and lithium transport in large arrays of undisturbed silt loam and sandy loam soil columns. *Vadose Zone Journal* 2: 715-727.
2. Anonymous (1988) Soil map of the world. FAO-UNESCO, world soil resources report, No 60, Rome. 119P.
3. Anonymous (2006) Guideline for application of the empirical and theoretical soil desalinization models, Publication No. 359, Management and Planning Organization of Iran. [in Persian]
4. Anonymous (2017) Available on-line as <<http://www.chbmet.ir/stat/archive/ran/azs/MIANEH/25.asp>> on 27 April 2017.
5. Asadi Kapourchal S, Homae M, Pazira E (2011) Desalinization model for large scale application. *International Journal of Agricultural Science and Research* 1(2): 25-32.
6. Asadi Kapourchal S, Homae M, Pazira E (2013) A parametric desalinization model for large scale saline soil reclamation. *Journal of Basic and Applied Scientific Research* 3(3): 774-783.
7. Asadi Kapourchal S, Homae M, Pazira E (2013) Modeling leaching requirement for desalinization of saline soils. *Journal of Soil and Water Resources Conservation* 2(2): 65-83. [in Persian with English abstract]
8. Behzad M, Akhond A, Ali M (2002) The desalinization and detoxification empirical equations for salt-affected soils in Mollasani's region- Khuzestan province. *The Scientific Journal of Agriculture* 25(1): 105-126. [in Persian with English abstract]
9. Ben-Gal A, Ityel E, Dudley L, Cohen Sh, Yermiyahu U, Presnov E, Zigmond L, Shani U (2008) Effect of irrigation water salinity on transpiration and on leaching requirements: a case study for bell peppers. *Agriculture* 95: 587-597.
10. Bernadro MA, Diegvez ET, Jones HG, Chairez FA, Janguren CLT, Cortes AL (2000) Screening and classification of cow pea genotypes for salt tolerance during germination. *International Journal of Experimental Botany* 67: 71-84.
11. Burt CM, Isabel B (2005) Leaching of accumulated soil salinity under drip irrigation. *American Society of Agriculture Engineers* 48(6): 1-7.
12. Corwin DL, Rhoades JD, Simunek J (2007) Leaching requirement for soil salinity control: steady-state versus transient models. *Agriculture Water Management* 90(3): 165-180.
13. Cote CM, Bristow KL, Rose PJ (2000) Increasing the efficiency of solute leaching. *Soil Science Society of America Journal* 43: 1100-1106.
14. Dieleman PJ (1963) Reclamation of salt affected soils in Iraq. International Institute for Land Reclamation and Improvement: Venman, Wageningen.
15. Farifte J, Farshad A, George RJ (2005) Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modeling, and geophysics. *Geoderma* 130: 191-206.
16. Gardner WR, Brooks RH (1957) A descriptive theory of leaching. *Soil Science* 83: 295-304.
17. Gupta SK (1992) Leaching of salt affected Soils. Central Soil Salinity Research Institute: Karnal.
18. Hamlen CJ, Kachanoski RG (2004) Influence of initial and boundary conditions on solute transport through undisturbed soil columns. *Soil Science Society of America Journal*. 68:404-416.
19. Hoffman GJ (1980) Guidelines for reclamation of salt-affected soils. *Proceedings of the International American Salinity and Water Management*. Juar, Mecxico.
20. Khosla BK, Gupta and RK, Abrol IP (1979) Salt leaching and the effect of gypsum application in a saline-sodic soil. *Agricultural Water Management* 2(3): 193-202.
21. Konuku F, Gowing GW, Rose DA (2005) Dry drain: A sustainable solution to water logging and salinity problems in irrigation areas, *Agricultural Water Management*. 83(1-2): 1-12.
22. Lal P, Chippa BR, Arvind K (2003) Salt affected soils and crop production, a modern synthesis, AGROBIS(India).
23. Leffelaar PA, Sharma P (1977) Leaching of a highly saline-sodic soil. *Journal of Hydrology* 32(3-4): 203-218.
24. Li FH, Keren R (2009) Calcareous sodic soil reclamation as affected by corn stalk application and incubation: A laboratory study. *Pedosphere* 19: 465-475.
25. Mohamadzadeh M, Homae M, Pazira E (2013) A practical model for reclamation of saline and sodic soils. *Journal of Soil and Water Resources Conservation* 3(1): 43-59. [in Persian with English abstract].
26. Mohsenifar K, Pazira A, Najafi P (2006) Evaluation of different types of leaching models in two pilots of south east Khoozestan province. 18<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. Philadelphia, Pennsylvania, USA.
27. Mostafazadeh-Fard B, Heidarpour M, Aghakhani A, Feizi M (2008) Effects of leaching soil desalinization for

- wheat crop in an arid region. *Plant Soil Environment* 54: 20-29.
28. Pazira E (2006) Gradual soil desalinization by irrigation water deep percolations. Proceedings of the Fourth Workshop on Drainage. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. Publication No 107. Tehran. Iran. 21-28. [In Persian]
  29. Pazira E, Kawachi T (1981) Studies on appropriate depth of leaching water, Iran. A case study. *Journal of Integrated Agricultural Water Use and Freshening Reservoirs*. Kyoto University Japan 6: 39-49.
  30. Pazira E, Homaei M (2010) Salt leaching efficiency of subsurface drainage systems at presence of diffusing saline water table boundary: a case study in Khuzestan plains, Iran. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Drainage Symposium held jointly with CIGR and CSBE/SCGAB. Quebec, Canada.
  31. Pazira E, Keshavarz A, Torii K (1998) Studies on appropriate depth of leaching water, International Workshop on the Use of Saline and Brackish-Water for Irrigation, Indonesia 328-338.
  32. Rahimi H, Ahmad-Nejad H (2005) The effects of leaching in decrease saline and sodic land in the margin of Kaveer Namak in Bajestan, Pajouhesh-Va- Sazandegi .88-96. [in Persian with English abstract]
  33. Rajabzadeh F, Pazira E, Mahdian MH (2011) Studies on appropriate and an empirical model for salt leaching of saline-sodic soils of central part of Khuzestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 18(3): 61-85. [in Persian with English abstract]
  34. Rajabzadeh F, Pazira E, Mahdian MH, Mahmoodi Sh, Heidarizadeh M (2009) Leaching saline and sodic soils along with reclamation-rotation program in the mid-part of Khuzestan, Iran. *Journal of Applied Sciences* 9(22): 4020-4025.
  35. Reeve RC (1957) The relation of salinity to irrigation and drainage requirements. Proceedings of the Third Congress of International Commission on Irrigation and Drainage. California, USA.
  36. Rodrigues da Silveria K, Rosas Ribeiro M, Bezerra de Oliveira L, John Heck R, Rodrigues da Silveira R (2008) Gypsum-Saturated water to reclaim alluvial saline-sodic and sodic soils. *Scientia Agricola* 65:69-76.
  37. So HB, Aylmore LAG (1993) How do sodic soils behave? The effects of sodicity on soil physical behavior. *Australian Journal of Soil Research* 31: 761-778.
  38. Talsma T (1966) Leaching of tile-drained saline soils. *Australian Journal Soil Research* 5: 37-46.
  39. Tedeschi A, Dell'Aquila R (2005) Effects of irrigation with saline waters, at different concentrations, on soil physical and chemical characteristics. *Agricultural Water Management*. 77: 308-322.
  40. Van der Molen WH (1956) Desalinization of saline soils as a column process. *Soil Science* 81(1): 19-28.
  41. Verma SK, Gupta RK (1989) Leaching of saline clay soil under two modes of water application. *Soil Science* 37: 803-809.



# Appropriate empirical model for salt leaching of saline soils at Islamic Azad University, Miyaneh Branch cultivated lands



Agroecology Journal

Vol. 13, No. 2, Pages 35-51

(summer 2017)

**Naser Nazari**

Soil Science Department, Research Center of Medicinal Plants and Organic Products, Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran, ✉ nazari@m-iau.ac.ir

**Received:** 24 April 2017

**Accepted:** 03 September 2017

**Abstract** In natural resources sustainable management, reclamation of saline soils meets high impact, because excess of soluble salts in root zone can reduce plant water uptake due to osmotic potential decrement of soil solution. The necessary strategy would be leaching of accumulated salts from these soils to overcome this challenge. The most important issue is in leaching practices is assessment of water quantity required for saline soils reclamation. This current study objective was to introduce an empirical model to measure of leaching water and its comparison with some experimental available models. An area of 30 ha with  $S_4A_1$  salinity/sodicity class in Miyaneh, East Azerbaijan, Iran was selected for this study. The field experiment was conducted in intermittent ponding method by double rings with square arrangement in three replications. In leaching process no amendment was used and only 100 cm water leaching was applied in 25 cm intervals. Soil samples were taken from 0-25, 25-50, 50-75, 75-100, 100-125, 125-150 cm of soil depths before, during and after each water rotation and required physical and chemical analyses were performed. The leaching water was supplied from Qizel-Ouzan river. Four mathematical models were fitted to our collected data and logarithmic model was selected as the best model. Using this model in Saline Soils of Islamic Azad University, Miyaneh Branch lands, for one unit pore volume, almost 70 and for two unit pore volume about 79% of salts of these soils were leached. Thus, leaching of soluble salts from the profile of saline soils of Mojta series soil using alternating flooding method was effective in reduction of soluble salts, especially in superficial layers of soil profiles due to intermittent changes of soil moisture.

## Keywords

- ◆ desalinization
- ◆ modeling
- ◆ salt affected soils
- ◆ sustainable management