

## بررسی انواع مدل‌های آبشویی در دو منطقه جنوب شرق استان خوزستان

### Evaluation of Different Types of Leaching Models in Two Pilots of South East Khoozestan Province

کامران محسنی فر<sup>۱</sup>، ابراهیم پذیرا<sup>۲</sup>، پیام نجفی<sup>۳</sup>

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، رشته خاکشناسی و احد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی.

پست الکترونیک Kamran1m@yahoo.com

۲- استاد گروه خاکشناسی واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی.

۳- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.

#### چکیده

مناطق خشک، چون بیشتر نواحی ایران که دارای بارندگی کم و تبخیر زیاد می‌باشند، تجمع املاح در سطح خاک، امری اجتناب ناپذیر خواهد بود. بنابراین اعمال یک روش عملی جهت برآورد آب مورد نیاز به منظور اصلاح خاک برای کشاورزی امری ضروری است. هدف از این تحقیق، رسم منحنی‌های شوری و سدیم‌زدایی در ۲ منطقه واقع در جنوب شرق استان خوزستان و اثر ماده اصلاح کننده سدیم بر شستشوی املاح و سدیم می‌باشد. همچنین ارائه فرمول تجربی مناسب جهت استفاده در برآورد آب مورد نیاز برای اصلاح مناطق مورد نظر از دیگر اهداف طرح بوده است. آزمایش در دو منطقه ۱ و ۲ با چهار تیمار شامل، تیمار اول ۲۵ سانتی‌متر، تیمار دوم ۵۰ سانتی‌متر، تیمار سوم ۷۵ سانتی‌متر و تیمار چهارم ۱۰۰ سانتی‌متر آب و سه تکرار تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متر در کرت‌های ۱×۱ متر انجام گرفت. در منطقه ۲ علاوه بر آب آبشویی از اسید سولفوریک به مقدار ۵ تن در هکتار به عنوان ماده اصلاح کننده استفاده شد. با استفاده از داده‌های اولیه و نهایی شوری و سدیم در مقایسه با عمق خالص آب آبیاری به عمق خاک، یازده مدل تجربی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می‌داد که در منطقه ۱، مدل تجربی معکوس برای هدایت الکتریکی و سدیم به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۸۵ و ۰/۸۳ به عنوان بهترین مدل بدست آمد. در منطقه ۲ بدون اضافه کردن اسید، مدل درجه سوم به عنوان مدل آبشویی هدایت الکتریکی و سدیم به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۹۴ و ۰/۸۰ مناسب است. برای منطقه دوم همراه با اضافه کردن اسید در مورد هدایت الکتریکی مدل‌های نمایی، رشد،

لجستیک، مرکب و معکوس با ضریب همبستگی ۰/۷۶٪ و برای درصد سدیم تبادلی مدل درجه سوم با ضریب همبستگی ۰/۸۸٪ بدست آمد.

**کلمات کلیدی:** آبشویی، شوری زدایی، سدیم زدایی، مواد اصلاح کننده، خوزستان

### مقدمه

شور شدن خاک فرآیندی است که طی آن تجمع املاح محلول در قشر سطحی خاک به حدی رسیده است که در اثر آن لایه سطحی پتانسیل خود را به عنوان محل رشد و نمو گیاه از دست می‌دهد (بای‌بوردی و کوهستان، ۱۳۶۰). به هر حال کشاورزی به عنوان محور توسعه پایدار در کشور، آب به عنوان یک عامل محدود کننده محسوب می‌شود و با توجه به تبخیر زیاد از سطح تجمع املاح، شور شدن خاک‌های ایران یک امر طبیعی و دور از انتظار نمی‌باشد. در سال ۱۳۴۹ حدود ۵۰ درصد کل اراضی تحت آبیاری کشور به درجات مختلف با مشکلات شوری، سدیمی بودن، حالت زهداری و شرایط ماندآبی رو به رو بوده است که انتظار می‌رود هم‌اکنون گسترش بیشتری یافته باشد (درویش، ۱۳۸۴). در هر شرایطی افزایش عملکرد در واحد سطح اراضی فاریاب و یا گسترش سطح کشت فعلی در گرو اعمال مدیریت صحیح، بهره‌برداری و مصرف علمی معقول و مدبرانه از منابع فیزیکی تولید (آب و خاک) می‌باشد. اعمال این مدیریت در کشاورزی و آبیاری از طریق پیگیری اهدافی نظیر صرفه جویی در مصرف آب، کاهش خسارات کم آبی از طریق توزیع مناسب، توسعه وسایل بهره‌برداری مرکزی به منظور آبیاری مطلوب‌تر و بالاخره کاهش مسایل شوری و زهکشی خاک و اراضی عملی می‌باشد (Ghassemi and Jakeman, 1991).

بر طبق نظر ریو و همکاران در خاک‌هایی که بیش از حد شور می‌باشند، می‌توان با کاربرد ۳۰ سانتی‌متر آب با کیفیت خوب، عمقی معادل ۳۰ سانتی‌متر خاک را آبشویی و محیط مناسبی جهت رشد گیاه فراهم آورد. بر اساس مطالعاتی که وی بر روی یک خاک لومی-رسی-سیلتی با متوسط هدایت الکتریکی عصاره اشباع بیش از ۴۰ دسی زیمنس بر متر انجام داد، فرمول تجربی زیر را به منظور برآورد مقدار آب مورد نیاز آبشویی ارائه کرده است. کاربرد این فرمول در

شرایطی است که میزان آب محاسبه شده به روش غرقابی دائم به خاک اعمال می‌شود (به نقل از محمدی، ۱۳۷۰):

$$\frac{Dw}{Ds} = \frac{1}{5\left(\frac{C}{C_0}\right)} + 0.15 \quad (1)$$

که در آن:  $Dw$  عمق آب کاربردی و  $Ds$  عمق خاک (هر دو بر حسب سانتی‌متر)  $C$  و  $C_0$  ( $\frac{ds}{m}$ ) به ترتیب میانگین غلظت املاح در همان عمق از خاک قبل و پس از آبیویی می‌باشد (پذیرا، ۱۳۶۷).

ماکینگ (Making) پس از انجام مطالعاتی معادله ریو را به صورت زیر تغییر داد و روی محور  $x$  ها  $\frac{Dw}{Ds}$  و روی محور  $y$  ها  $\frac{EC_f}{EC_i}$  قرار داد و اولین مدل را ارائه کرد (به نقل از پذیرا، ۱۳۶۷، ۱۳۶۹):

$$\frac{Dw}{Ds} = \frac{1}{5\left(\frac{EC_f}{EC_i}\right)} + 0.15 \quad (2)$$

روابط (۱) و (۲) برای شرایط مشخص خاک و آب ارائه شده و ممکن است برای شرایط و مکان‌های مختلف کاربرد نداشته باشد و نیاز به ضریب تصحیح داشته باشد. ارتفاع آب مورد نیاز جهت آبیویی بستگی به خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، کیفیت آب آبیویی و روش آبیویی دارد. بر طبق نظر درگنی (Dregne, 1976) مقدار آب مورد نیاز آبیویی با تجزیه‌های انجام شده روی خاک، آب آبیویی و آب زهکشی در ارتباط می‌باشند.

وان هورن نتایج متضادی را با کاربرد معادله (۲) و حتی با همان بافت خاک (لومی شنی تا لومی سیلتی) گزارش نموده است. اشکال این مدل عدم توجه به شوری تعادلی ( $E_{Ce}$ ) و رطوبت اولیه خاک می‌باشد (به نقل از حیدری، ۱۳۷۳).

ال. پی. روزوف فرمول تجربی زیر را به منظور محاسبه مقدار آب آبیویی مورد نیاز خاک‌های سولونچاک ارائه نمود (به نقل از پذیرا، ۱۳۶۷):

$$R^* = W_{fc} - W_t + nW_{fc} \quad (3)$$

در آن:  $R^*$  مقدار آب آبیویی،  $W_{fc}$  رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه  $W_t$  مقدار آب ذخیره شده در خاک قبل از آبیویی همه بر حسب متر مکعب در هکتار و  $n$  ضریب می‌باشد، که طبق پیشنهاد روزوف بین ۰/۵ و ۲ تغییر می‌کند. ضریب  $n$ ، با توجه به افزایش شوری خاک و

نامناسب بودن خواص مکانیکی آن، بزرگتر شده، به تبعیت از آن مقدار آب مورد نیاز آبخوئی نیز افزایش می‌یابد. ولوبیو (V.R Volobuev) فرآیند آبخوئی را به وسیله زیر بیان نمود (به نقل از حیدری، ۱۳۷۳):

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 \quad (۴)$$

که در آن  $\varphi$ : عمق آب مورد نیاز آبخوئی،  $\varphi_1$ : مقدار آب مورد نیاز جهت رسیدن رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه،  $\varphi_2$ : مقدار آب مورد نیاز جهت رسیدن رطوبت خاک از ظرفیت زراعی به حد اشباع،  $\varphi_3$ : مقدار آبی که پس از رسیدن خاک به حد اشباع از آن عبور می‌کند.

کوودا رابطه زیر را جهت آب مورد نیاز آبخوئی پیشنهاد نمود (به نقل از حیدری، ۱۳۷۳):

$$Y = n_1.n_2.n_3.400X \pm 100 \quad (۵)$$

در آن  $Y$  عمق آبخوئی (میلی‌متر)،  $X$  میانگین املاح محلول در نیمرخ خاک به عمق ۳ متر (بر حسب درصد وزنی)،  $n_1$  ضریبی که بستگی به شرایط مکانیکی خاک دارد و برای خاک‌های شنی، لوم و رسی به ترتیب ۰/۵ و ۱ و ۲ و  $n_2$  ضریب مربوط به عمق آب زیر زمینی (متر) و برای اعماق آب زیر زمینی برابر ۲-۱/۵ و ۵-۲ و ۱۰-۷ متر به ترتیب برابر ۳ و ۱/۵ و ۱ است. ضریب  $n_3$  برای شوری آب زیر زمینی در حد کم تا متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۱ و ۲ و ۳ می‌باشد (حیدری، ۱۳۷۳).

لافلر و شارما اعتقاد به مدل ریو داشتند و برای خاک‌های خودشان ضرایب معادله را حساب کردند و هدایت الکتریکی تعادلی ( $EC_e$ ) و رطوبت اولیه خاک نیز توجه نمودند (به نقل از پذیرا ۱۳۸۰).

$$\frac{EC_f - EC_e}{EC_i - EC_e} = \frac{0.062}{\frac{D_{lw}}{D_s}} + 0.034 \quad (۶)$$

$D_{lw}$  عمق ناخالص آب (آب آبیاری بر حسب سانتی‌متر)

پذیرا و کاواچی در سال ۱۹۸۱ مدلی برای خاک‌های ایران ارائه کردند، که برای قسمت مرکزی خوزستان می‌باشد و مشابه مدل ریو است (به نقل از پذیرا، ۱۳۸۰):

$$\frac{EC_f - EC_e}{EC_i - EC_e} = \frac{0.070}{\frac{D_{lw}}{D_s}} + 0.023 \quad (7)$$

ورما و گوپتا (۱۹۸۹) دو مدل برای شرایط غرقاب دائم و دیگری برای غرقاب متناوب ارائه نمودند (به نقل از پذیرا، ۱۳۸۰):

۱- شرایط غرقاب دائم :

$$\frac{EC_f - EC_e}{EC_i - EC_e} = 0.099 * \left(\frac{D_{lw}}{D_s}\right)^{-1.27} \quad (8)$$

۲- شرایط غرقاب متناوب:

$$\frac{EC_f - EC_e}{EC_i - EC_e} = 0.09 * \left(\frac{D_{lw}}{D_s}\right)^{-1.63} \quad (9)$$

مؤسسه‌ی خاک و آب در مکان‌های مختلف، هدایت الکتریکی (EC) و شرایط مختلف آب و هوایی فرمول زیر را ارائه کرد (پذیرا، ۱۳۸۰):

$$\frac{EC_f - EC_e}{EC_i - EC_e} = 0.47 - \ln\left(\frac{D_{lw}}{D_s}\right) \quad (10)$$

همچنین این مؤسسه مدل پذیرا و کشاورز را به شکل زیر ارائه نموده است (پذیرا، ۱۳۸۰):

$$\frac{EC_f - EC_e}{EC_i - EC_e} = 0.0764 * \left(\frac{D_{lw}}{D_s}\right)^{-0.864} \quad (11)$$

با وجود تنوع روابط ارائه شده هنوز نمی‌توان یک رابطه استاندارد برای مناطق مختلف ایران خصوصاً مناطق خشک و نیمه خشک منظور نمود. هدف از این تحقیق ارائه مدلی است که بتوان از آن برای آبشویی مناطق جنوب شرق استان خوزستان با بالاترین دقت استفاده نمود. نتایج این تحقیق ضمن استفاده در مناطق مورد مطالعه برای مناطق مشابه نیز قابل استفاده است.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه به مساحت ۱۷۶۳۲ هکتار با کیفیت شیمیایی شور و سدیمی در بخشی از اراضی جنوب شرقی استان خوزستان بین  $36^{\circ}, 49^{\circ}$  تا  $45', 49^{\circ}$  طول شرقی و  $15', 30^{\circ}$  تا  $30', 30^{\circ}$  عرض شمالی واقع شده است. در این منطقه چهار کرت به ابعاد  $1 \times 1$  متر و سه تکرار ایجاد شد (آرایش کرت‌ها در شکل ۱ آمده است). به منظور تعیین میزان املاح قبل از آبیاری یک کرت به عنوان شاهد بدون اضافه کردن آب، اقدام به نمونه برداری گردید. مشخصات شیمیایی آب و خاک دو منطقه قبل از انجام آزمایش در جداول ۱، ۲ و ۳ آمده است. در دور اول به هر کدام از کرت‌ها ۲۵ سانتی‌متر یا ۲۵۰ لیتر آب اضافه و به طور تصادفی از هر کدام از تکرارها یک کرت انتخاب نموده و پس از خروج آب ثقیلی، از عمق ۲۵ سانتی‌متری با استفاده از اُگر خاکشناسی اقدام به نمونه برداری گردید. کرت‌های نمونه‌برداری شده از دور آزمایش حذف، ۲۵۰ لیتر آب دیگر به کرت‌های باقی‌مانده اضافه شده و پس از خروج آب ثقیلی از هر کدام از تکرارها به طور تصادفی از عمق ۵۰ سانتی‌متری اقدام به نمونه برداری گردید. به همین ترتیب تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متر اقدام به آبیاری و نمونه‌برداری نموده و نمونه‌ها پس از خشک شدن در هوای آزاد به آزمایشگاه جهت محاسبه هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، اسیدیته، گچ و آهک، ظرفیت تبادل کاتیونی، میزان سدیم قابل تعویض کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول عصاره اشباع خاک، سدیم و در نهایت برآورد درصد سدیم تبادل‌ی خاک ارسال شد. اسید به منظور جلوگیری از قلیایی شدن خاک و شستشوی سدیم اضافه می‌گردد که در منطقه دوم در یک تیمار به مقدار پنج تن در هکتار اسید سولفوریک غلیظ اضافه گردید. بدین ترتیب به هر کدام از کرت‌ها که به ابعاد  $1 \times 1$  متر می‌باشند، ۰/۲۷ لیتر اسید اضافه شد. به منظور بدست آوردن مدل‌های مختلف ریاضی از برنامه SPSS استفاده شد. عمق خالص آب آبیاری به عمق خاک را به عنوان X (متغیر مستقل) و اختلاف هدایت الکتریکی نهایی با هدایت الکتریکی تعادلی به اختلاف هدایت الکتریکی اولیه با هدایت الکتریکی تعادلی  $(\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}})$  به عنوان Y (متغیر وابسته) وارد گردید. سپس یازده مدل تجربی توسط برنامه استخراج شد. یازده مدل مورد استفاده در جدول ۴ آمده است.



شکل ۱ نحوه آرایش کرت‌ها

Fig. 1. Experimental Plant

جدول ۱- کیفیت شیمیایی خاک قبل از کاربرد آب آبیاری در منطقه ۱

Table 1. Soil Chemical Quality before of Leaching in Area No.1

عمق نمونه برداری	درصد هدایت	اسیدیته	درصد مواد	گچ	ظرفیت تبادل	سدیم	نسبت	درصد	درصد	عمق
نمونه برداری	هدایت الکتریکی	عصاره اشباع خاک	خشتی شونده	Gypsum	کاتیونی	تبادلی	جذب	سدیم	درصد	عمق
Sampling Depth	ECE	pH	T.N.V	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	C.E.C	ESP	SAR	ESP(1)	ESP(2)	Depth
	%SP				$\left(\frac{\text{meq}}{100\text{gsoil}}\right)$	$\left(\frac{\text{meq}}{100\text{gsoil}}\right)$		*	**	
0-25	41.20	6.85	70.10	7.34	9.85	7.62	48.54	77.36	41.29	0-25
25-50	42.60	6.90	68.07	3.87	7.75	5.60	54.27	72.26	44.07	25-50
50-75	48.80	6.85	63.50	36.24	16.29	5.05	48.59	31.00	41.50	50-75
75-100	45.60	7.10	67.56	59.09	14.10	4.62	46.93	32.77	41.50	75-100

$$ESP = \frac{Ex \cdot Na}{C \cdot E \cdot C} \times 100^*$$

$$** ESP = \frac{100(-0.0126 + 0.01475SAR)}{1 + (-0.0126 + 0.01475SAR)}$$

## ۲- کیفیت شیمیایی خاک قبل از کاربرد آب آشویی در منطقه ۲

Table 2. Soil Chemical Quality before of Leaching in Area No.2

عمق نمونه برداری	درصد اشباع	هدایت الکتریکی	اسیدیته	درصد مواد	گچ (میلی اکوی والان در صد گرم خاک)	ظرفیت تبادل کاتیونی	سدیم تبدلی	نسبت جذب سدیم	درصد	درصد
Sampling Depth	%SP	ECe	pH	T.N.V	Gypsum ( $\frac{meq}{100gsoil}$ ) $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	C.E.C ( $\frac{meq}{100gsoil}$ )	ESP ( $\frac{meq}{100gsoil}$ )	SAR	ESP(1)	ESP(2)
0-25	33.00	46.50	7.10	36.00	6.24	19.90	5.01	36.58	25.18	34.51
25-50	32.00	36.60	6.95	36.00	6.86	13.70	6.25	30.48	45.62	30.41
50-75	30.00	38.20	7.10	67.00	7.41	11.71	5.25	30.07	44.49	30.12
75-100	30.00	36.40	7.20	69.00	24.88	16.43	6.01	29.74	36.58	29.88

$$ESP = \frac{Ex \cdot Na}{C \cdot E \cdot C} \times 100^*$$

$$ESP = \frac{100(-0.0126 + 0.01475SAR)}{1 + (-0.0126 + 0.01475SAR)}^{**}$$

## جدول ۳- مشخصات کیفیت آب آبیاری

Table 3. Quality of Irrigation Water

تاریخ نمونه برداری	میلی اکوی والان در لیتر		نسبت جذب سدیم			
Sampling Date	$\frac{dS}{m}$ EC		SAR			
روز	ماه	سال	$\frac{meq}{l}$	pH		
Day	Moon	Year	$Na^{1+}$	$Ca^{2+} + Mg^{2+}$		
18	12	67	10.90	7.38	5.60	7.60



جدول ۴- مدل‌های تجربی بررسی شده در این تحقیق

Table 4. Evaluation Empirical Models

مدل مربوطه Formula	نام مدل Model	ردیف Row
$Y = a.X + b$	Linear	خطی 1
$Y = a.\ln X + b$	Logarithmic	لگاریتمی 2
$Y = a.\frac{1}{X} + b$	Inverse	معکوس 3
$Y = ax^2 + bX + c$	Quadratic	درجه دوم 4
$Y = ax^3 + bX^2 + cX + d$	Cubic	درجه سوم 5
$Y = bX^a$	Power	توانی 6
$Y = b.a^X$	Compound	مرکب 7
$Y = e^{\left(\frac{a}{X} + b\right)}$	S	اس 8
$Y = 1/(1/u + (b.a^X))$	Logistic	لجستیک 9
$Y = e^{aX+b}$	Growth	رشد 10
$Y = b.e^{a.X}$	Exponential	نمایی 11

## نتایج و بحث

نتایج برای عمق‌های مختلف و تناوب‌های آب آبیاری در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به جدول ۵ قبل از اعمال آبیاری بیشترین هدایت الکتریکی مربوط به عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری یعنی ۷۸/۲۰ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد که پس از انجام آبیاری در عمق ذکر شده به طور متوسط شوری خاک به  $\frac{dS}{m}$  ۴ کاهش پیدا کرده است. تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک با اضافه کردن ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبیاری به صورت میانگین از ۵۳/۵ به ۱۳/۳۵  $\frac{dS}{m}$  کاهش پیدا کرده است.

جدول ۵- هدایت الکتریکی در عمق‌های مختلف با تناوب‌های آبیاری قبل و بعد از اعمال آبیاری در منطقه ۱.

**Table 5. Electrical Conductivity in Different Depths With Irrigation Alternations before and after Leaching in Pilot No.1.**

هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پس از کاربرد تناوب‌های مختلف آب کاربردی EC Soil Saturation Extract after Application Different Alternation Apply Water					هدایت الکتریکی قبل از آبیاری EC before of Leaching ( $EC_i$ )	عمق نمونه برداری Depth of Sampling (cm)	ردیف Row
میانگین Average	$D_w = 100$	$D_w = 75$	$D_w = 50$	$D_w = 25$			
$EC_f (\frac{ds}{m})$	$EC_f (100)$	$EC_f (75)$	$EC_f (50)$	$EC_f (25)$			
4.00	3.60	3.30	4.70	4.40	78.20	0-25	1
5.32	3.20	2.80	7.90	7.40	49.10	25-50	2
7.02	3.30	3.20	17.00	44.60	44.20	50-75	3
27.07	4.70	8.30	42.80	52.50	42.50	75-100	4
13.35	3.70	4.40	18.10	27.22	53.50	Average میانگین	

در مورد درصد سدیم تبدالی نیز به طور میانگین تا عمق ۱۰۰ سانتیمتری میزان درصد سدیم تبدالی از ۵۳/۳۵ به ۱۴/۶۳ کاهش پیدا کرده است (جدول (۲)).

جدول ۶- درصد سدیم تبدالی در عمق‌های مختلف با تناوب‌های آبیاری قبل و بعد از اعمال آبیاری در منطقه ۱.

**Table 6. Exchangeable Sodium Percentage in Different Depth With Irrigation Alternations before and after Leaching in Pilot No.1.**

درصد سدیم تبدالی خاک پس از کاربرد تناوب‌های مختلف آب کاربردی ESP Soil Saturation Extract after Application Different Alternation Apply Water					درصد سدیم تبدالی قبل از آبیاری ESP before of Leaching ( $ESP_i$ )	عمق نمونه برداری Depth of Sampling (cm)	ردیف Row
میانگین Average	$D_w = 100$	$D_w = 75$	$D_w = 50$	$D_w = 25$			
$ESP_f$	$ESP_f (100)$	$ESP_f (75)$	$ESP_f (50)$	$ESP_f (25)$			
4.52	3.23	3.59	6.25	4.65	77.36	0-25	1
8.41	3.03	4.40	12.41	13.81	72.26	25-50	2
20.05	1.94	5.46	20.49	52.32	31.00	50-75	3
25.53	4.30	3.26	47.67	46.89	32.77	75-100	4
14.63	3.12	4.27	27.70	29.42	53.35	Average میانگین	

با توجه به شکل ۲ ملاحظه می‌شود که در مورد هدایت الکتریکی ۸۶/۶۷٪ املاح تا عمق

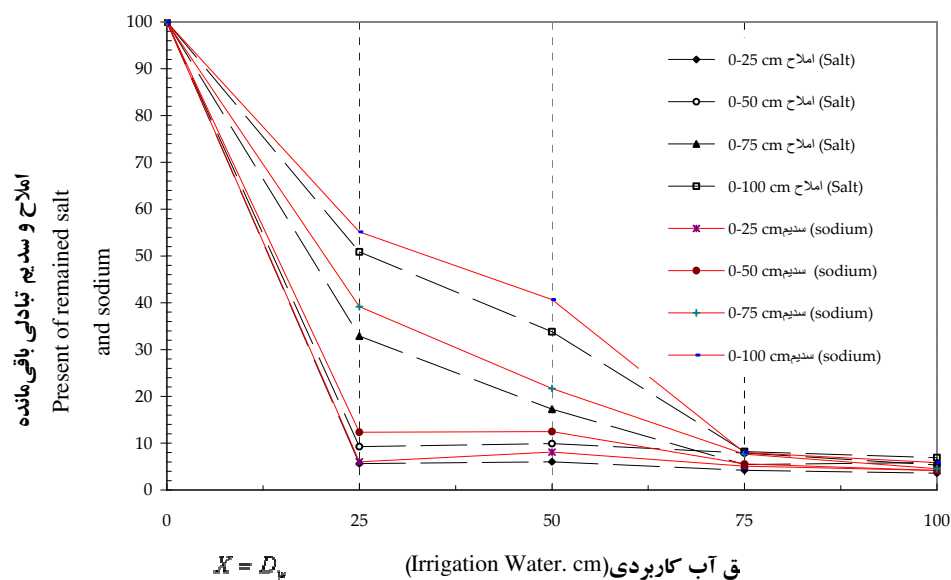
۱۰۰ سانتی‌متری شسته شده و تنها ۱۳/۳۲٪ املاح اولیه در خاک باقی مانده است و در مورد درصد

سدیم تبدالی ۸۴/۹۶٪ شسته شده و ۱۵/۰۴٪ در خاک باقی مانده است.

شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزایش عمق آب آبخویی درصد املاح و سدیم باقی‌مانده در خاک کمتر خواهد بود و عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری در زیر بقیه منحنی‌ها قرار گرفته است و به همین ترتیب برای اعماق بعدی به ترتیب زیر هم قرار گرفته‌اند. دلیل این که منحنی‌ها به صورت منظم بدون برخورد با هم کاهش پیدا کرده‌اند می‌توان به یکنواخت بودن بافت خاک یا هموزن بودن خاک اشاره کرد.

همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود در عمق ۰-۲۵ با اضافه کردن ۲۵ سانتی‌متر آب بیش از ۹۰٪ املاح اولیه شسته شده‌اند و با اضافه کردن آب در تناوب‌های بعد افزایش زیادی در شستشوی املاح مشاهده نمی‌شود. به فرض برای عمق ۰-۱۰۰ با اضافه کردن ۲۵ سانتی‌متر آب کمتر از ۵۰٪ املاح اولیه شسته شده در حالی که اضافه کردن ۷۵ سانتی‌متر آب به این عمق به میزان ۹۰٪ املاح شستشو یافته است. بنابراین برای شستشوی املاح لازم است عمق مورد اصلاح را تعیین و به همان مقدار آب به خاک اضافه نمود، زیرا در غیر این صورت اگر کمتر از عمق مورد اصلاح آب داده شود، عمل شستشو کم است و مشکل شوری را به وجود خواهد آمد و اگر بیشتر از عمق مورد اصلاح استفاده شود، باعث افزایش هزینه، بدون کاهش چشمگیر املاح می‌گردد.

شکل ۲ بیانگر این واقعیت است که همراه با کاربرد ۷۵ سانتی‌متر آب آبیاری به منظور شستشوی املاح، شستشوی سدیم نیز موازی با آن صورت می‌گیرد و نیاز به اضافه کردن مواد اصلاح‌کننده نخواهد داشت. با توجه به جدول ۷، از ۱۰۰ سانتی‌متر آب داده شده به خاک به عنوان آب آبیاری به علت کمبود رطوبت تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری، به میزان ۸ سانتی‌متر عمق آب که عملاً صرف شستشوی املاح گردیده است. بایستی از میزان آب اضافه شده به خاک مقدار کمبود رطوبت کسر گردد، تا آن مقدار آبی که باعث شستشوی املاح گردیده در محاسبات وارد شود.



شکل ۲- مقایسه کاربرد آب آبیاری در شستشوی املاح با سدیم.

**Fig.2 Comparison of Effect of Different Water Application on Salt and Sodium Leaching in Pilot No.1.**

جدول ۷- کمبود رطوبت لایه‌های مختلف خاک

**Table 7. Deficit Moisture in Different Soil Layer.**

تجمعی	کسر رطوبت	وزن مخصوص	درصد رطوبت وزنی		ضخامت لایه	عمق	ردیف	Row
			$\theta_{mc}$	$\theta_{mFC}$				
Totally	Deficit Moisture	$\rho_d (\frac{g}{cm^3})$	ظاهری		Layer	Soil		
					Depth	Depth		
3.47	3.47	1.40	11.00	20.93	25	0-25		1
5.18	1.71	1.52	14.15	18.65	25	25-50		2
6.59	1.41	1.48	13.20	17.00	25	50-75		3
8.00	1.41	1.48	13.20	17.00	25	75-100		4

$$d = \frac{(\theta_{mc} - \theta_{mFC}) \times \rho_d \times D}{100}$$

هدایت الکتریکی تعادلی خاک برابر ۳/۱  $\frac{dS}{m}$  بدست آمد به این معنی که با توجه به هدایت الکتریکی آب آبیاری (۲/۰۲۵) دیگر نمی‌توان شوری خاک را از این مقدار کاهش داد. (هدایت الکتریکی تعادلی خاک را ۱/۵ تا ۲ برابر هدایت الکتریکی آب آبیاری در نظر می‌گیرند.)

علت کم کردن هدایت الکتریکی تعادلی از هر کدام داده‌های مربوط و بدست آوردن عمق آب خالص به عمق آب ناخالص، عمومیت دادن به مدل بدست آمده و جدا کردن شرایط محیطی و رطوبت اولیه از آزمایش می‌باشد.

نسبت هدایت الکتریکی نهایی به هدایت الکتریکی اولیه خاک تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک به ۰/۰۱۲ و در مورد سدیم تبادلی نسبت به ۰/۰۲۳ رسیده است. در مورد نسبت عمق خالص آب آبشویی (آب آبشویی) به عمق ناخالص آب آبشویی (آب آبیاری) در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری پس از کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبیاری به ۰/۹۲ رسیده است. همان‌طور که در جدول ۸ ملاحظه می‌شود پس از تست یازده مدل تجربی با برنامه SPSS در مورد هدایت الکتریکی ضرایب معادلات حساب شده و مدل معکوس با ضریب همبستگی ۰/۹۲ بالاترین همبستگی و مدل خطی با ضریب همبستگی ۰/۵۴ کمترین همبستگی را داشته است. معادله معکوس با ضرایب حساب شده به صورت زیر می‌باشد.

$$Y = 0.086 \frac{1}{X} - 0.048 \quad (12)$$

در مورد درصد سدیم تبادلی از یازده مدل تست شده مانند هدایت الکتریکی مدل معکوس بیشترین ضریب همبستگی ۰/۸۳ و کمترین همبستگی مدل خطی ۰/۳۰ می‌باشد. معادله معکوس برای درصد سدیم تبادلی با ضرایب حساب شده به صورت زیر می‌باشد.

(۱۳)

$$Y = 0.095 \frac{1}{X} - 0.030$$

جدول ۸ - نتایج انواع مدل‌های تجربی در منطقه ۱ (برای هدایت الکتریکی)

Table 8. Result of Evaluated Empirical Models in Pilot No1. (For EC)

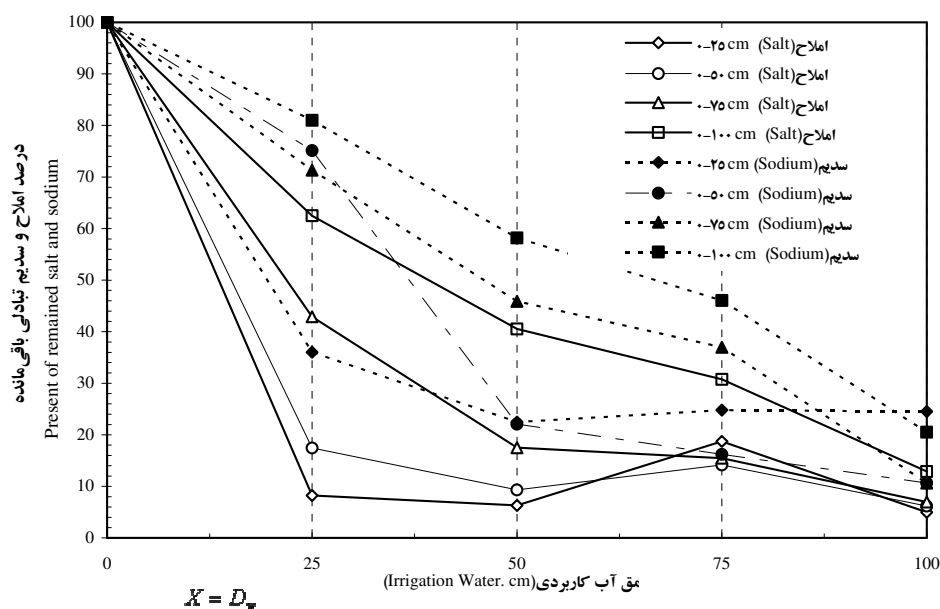
ردیف Row	نام مدل Model	مدل مربوطه Formula	ضرایب ثابت س Coefficient				آماره های حساب شده Paramenters Statistic		سطح معنی دار بودن
			d	C	b	a	R	R <sup>2</sup>	
1	خطی	$Y = a.X + b$	-	-	0.190	-0.075	0.542	0.294	0.0450
2	لگاریتمی	$Y = a.\ln X + b$	-	-	0.077	-0.130	0.791	0.626	0.0007
3	معکوس	$Y = a.\frac{1}{X} + b$	-	-	-0.048	0.086	0.920	0.847	0.0000
4	درجه دوم	$Y = ax^2 + bX + c$	-	0.330	-0.337	0.069	0.761	0.579	0.0086
5	درجه سوم	$Y = ax^3 + bX^2 + cX + d$	0.493	0.840	0.410	-0.059	0.872	0.761	0.0019
6	توانی	$Y = bX^a$	-	-	0.023	-1.622	0.883	0.779	0.0000
7	مرکب	$Y = b.a^X$	-	-	0.121	0.322	0.733	0.538	0.0028
8	اس	$Y = e^{\frac{a}{X} + b}$	-	-	-4.979	0.880	0.842	0.710	0.0002
9	لجستیک	$Y = 1/(1/u + (b.a^X))$ *	-	-	7.815	3.174	0.731	0.534	0.0030
10	رشد	$Y = e^{aX+b}$	-	-	-2.107	-1.135	0.733	0.538	0.0028
11	نمایی	$Y = b.e^{a.X}$	-	-	0.121	-1.135	0.733	0.537	0.0028

n یا تعداد جفت عددهای بکار برده شده ۱۴ می‌باشد.

برای منطقه دوم بدون اضافه کردن اسید و همچنین با اضافه کردن اسید مشابه آنچه که در مورد منطقه اول بیان گردید محاسبات انجام شد نتایج به شرح زیر می‌باشد.

شکل ۳ نشان می‌دهد که در منطقه دوم بدون اضافه کردن اسید، در مورد هدایت الکتریکی ۹۲/۲۵٪ املاح تا عمق ۱۰۰ سانتی متری شسته شده و تنها ۷/۷۵٪ املاح اولیه در خاک باقی مانده است و در مورد درصد سدیم تبدلی ۸۳/۴۲٪ شسته شده و ۱۶/۵۸٪ در خاک باقی مانده است. در عمق ۰-۲۵ با اضافه کردن ۲۵ سانتی متر آب بیش از ۹۰٪ املاح اولیه شسته شده‌اند و با اضافه کردن آب در تناوب‌های بعد افزایش زیادی در شستشوی املاح مشاهده نمی‌شود همچنین برای

عمق ۱۰۰-۰ با اضافه کردن ۲۵ سانتی متر آب کمتر از ۴۰٪ املاح اولیه شسته شده در حالی که اضافه کردن ۱۰۰ سانتی متر آب به این عمق به میزان ۹۰٪ املاح شستشو یافته است. در شکل ۳ خطوط خط چین تغییرات درصد سدیم و خط‌های ممتد مربوط به شوری می‌باشد. با توجه به این نمودار ملاحظه می‌شود که در کاربرد آب آبخویی به میزان ۲۵ سانتی متر اختلاف زیادی بین منحنی‌های شستشوی املاح و سدیم وجود دارد ولی در تناوب‌های بعدی و به خصوص ۱۰۰ سانتی متری هماهنگی بیشتری از خود نشان می‌دهند. در یک جمع بندی کاربرد ۱۰۰ سانتی متر آب به منظور اصلاح ۱۰۰ سانتی متر خاک شستشوی املاح همراه با سدیم و هماهنگ با آن صورت گرفته و خطر سدیمی شدن خاک وجود ندارد.



شکل ۳- مقایسه کاربرد آب آبخویی در شستشوی املاح با سدیم در منطقه دوم

**Fig.3. Comparison of Water Application on Salt and Sodium in Second Area in Leaching Pilot No2.**

همان‌طور که در جدول ۹ ملاحظه می‌شود پس از تست یازده مدل تجربی با برنامه SPSS در مورد هدایت الکتریکی ضرایب معادلات حساب شده است و مدل معکوس با ضریب رگرسیون ۸۰٪ بالاترین همبستگی بدست آمده است و مدل خطی با ضریب همبستگی ۲۹٪ کمترین ضریب را داشته است. معادله معکوس با ضرایب حساب شده به صورت زیر می‌باشد.

$$Y = 0.095 \frac{1}{X} + 0.036 \quad (14)$$

با توجه به جدول ۱۰ در مورد درصد سدیم تبدالی از یازده مدل تست شده مدل درجه سوم بیشترین ضریب همبستگی (۰/۹۴) می‌باشد. معادله برای درصد سدیم تبدالی به صورت زیر می‌باشد.

$$Y = -0.079X^3 + 0.590X^2 - 1.314X + 0.937 \quad (15)$$

جدول ۹- نتایج انواع مدل‌های تجربی در منطقه ۲ (برای هدایت الکتریکی)

**Table 9. Results of Evaluated Empirical Models for Leaching EC in Pilot No.2**

ردیف Row	نام مدل Model	مدل مربوطه Formula	ضرایب ثابت Coefficients						آماره های حساب شده Accounting Statistic	
			a	b	C	d	R <sup>2</sup>	R		
1	خطی Linear	$Y = a.X + b$	-	0.264	-	-	-	0.293	0.541	0.0303
2	لگاریتمی Logarithmic	$Y = a.\ln X + b$	-	0.123	-	-	-	0.665	0.851	0.0001
3	معکوس Inverse	$Y = a.\frac{1}{X} + b$	0.059	0.036	-	-	-	0.800	0.895	0.0000
4	درجه دوم Quadratic	$Y = ax^2 + bX + c$	0.078	-0.376	0.410	-	-	0.563	0.750	0.0046
5	درجه سوم Cubic	$Y = ax^3 + bX^2 + cX + d$	-	0.505	-0.954	0.574	-	0.791	0.889	0.0002
6	توانی Power	$Y = bX^a$	-	0.073	-	-	-	0.633	0.795	0.0002
7	مركب Compound	$Y = b.a^X$	0.469	0.221	-	-	-	0.450	0.670	0.0045
8	اس S	$Y = e^{\left(\frac{a}{X} + b\right)}$	0.311	-3.027	-	-	-	0.504	0.710	0.0021
9	لجستیک Logistic	$Y = 1/(1/u + (b.a^X))^*$	2.190	4.199	-	-	-	0.447	0.668	0.0047
10	رشد Growth	$Y = e^{aX+b}$	-	-1.508	-	-	-	0.450	0.670	0.0045
11	نمائی Exponential	$Y = b.e^{a.X}$	-	0.221	-	-	-	0.450	0.670	0.0045

n یا تعداد جفت عددهای بکار برده شده ۱۵ می‌باشد



جدول 10- نتایج انواع مدل‌های تجربی در منطقه ۲ (برای درصد سدیم تبادلی)

Table 10. Results of Evaluated Empirical Models for Leaching ESP in Pilot No.2

ردیف Row	نام مدل Model	مدل مربوطه Formula	ضرایب ثابت Coefficients							
			a	b	C	d	R <sup>2</sup>	R	معنی‌دار بودن	
1	خطی Linear	$Y = a.X + b$	-	0.489	-	-	-	0.405	0.637	0.0107
2	لگاریتمی Logarithmic	$Y = a.\ln X + b$	-	0.235	-	-	-	0.790	0.889	0.0000
3	معکوس Inverse	$Y = a.\frac{1}{X} + b$	0.083	0.126	-	-	-	0.704	0.839	0.0001
4	درجه دوم Quadratic	$Y = ax^2 + bX + c$	0.157	-0.741	0.777	-	-	0.832	0.912	0.0000
5	درجه سوم Cubic	$Y = ax^3 + bX^2 + cX + d$	-	0.590	-1.314	0.937	-	0.936	0.968	0.0000
6	توانی Power	$Y = bX^a$	-	0.148	-	-	-	0.478	0.691	0.0043
7	مرکب Compound	$Y = b.a^X$	0.562	0.364	-	-	-	0.243	0.493	0.0620
8	اس S	$Y = e^{\left(\frac{a}{X} + b\right)}$	0.277	-2.255	-	-	-	0.375	0.612	0.0153
9	لجستیک Logistic	$Y = 1/(1/u + (b.a^X))^*$	1.866	2.386	-	-	-	0.256	0.505	0.0545
10	رشد Growth	$Y = e^{aX+b}$	-	-1.010	-	-	-	0.243	0.439	0.0620
11	نمایی Exponential	$Y = b.e^{a.X}$	-	0.364	-	-	-	0.243	0.439	0.0620

n یا تعداد جفت عددهای بکار برده شده ۱۳ می‌باشد.

در مورد نتایج به دست آمده برای منطقه دوم همراه با کاربرد اسید باید بیان نمود. در مورد هدایت الکتریکی مدل‌های معکوس، مرکب، لجستیک، رشد و نمایی با ضریب رگرسیون ۷۶٪ بالاترین همبستگی را داشته است و مدل اس با ضریب همبستگی ۴۵٪ کمترین ضریب را داشته است. معادلات با ضرایب حساب شده به شکل زیر می‌باشند:

$$Y = 0.050 \frac{1}{X} + 0.004 \quad \text{معکوس (۱۶)}$$

$$Y = 0.487 \times 0.040^X \quad \text{مرکب (۱۷)}$$

$$Y = \frac{1}{\frac{1}{u} + (1.88026.718^X)} \quad u = ۳/۷۸۸ \quad \text{لجستیک (۱۸)}$$

$$Y = e^{-3.218X - 0.72} \quad \text{رشد (۱۹)}$$

$$Y = 0.487e^{-0.218X} \quad \text{نمایی (۲۰)}$$

در مورد درصد سدیم تبدلی از یازده مدل تست شده مدل درجه سوم بیشترین ضریب همبستگی (۸۸٪) را نشان داده است که معادله به دست آمده به شکل زیر است:  
معادله به صورت زیر می‌باشد.

$$Y = -0.090X^3 + 0.770X^2 - 1.850X + 1.302 \quad \text{(۲۱)}$$

در جدول ۱۱ نتایج را به طور خلاصه نشان می‌دهد.

جدول ۱۱- نتایج مدل‌های تجربی آبشویی برای مناطق ۱ و ۲

Table 11. Empirical Leaching Models for Pilot 1 and 2

مدل مربوطه Model	واریانس Variation	نام مدل Model Name	$EC$ $ESP$	کاربرد اسید Use Acid	منطقه Area	ردیف Row
$Y = \frac{0.086}{X} - 0.048$	0.847	معکوس Inverse	هدایت الکتریکی $EC$	بدون کاربرد اسید Don't Use Acid	1	1
$Y = \frac{0.095}{X} - 0.030$	0.832	معکوس Inverse	درصد سدیم تبادلی	بدون کاربرد اسید Don't Use Acid		
$Y = \frac{0.059}{X} + 0.036$	0.800	معکوس Inverse	هدایت الکتریکی $EC$	بدون کاربرد اسید Don't Use Acid	2	2
$Y = -0.079x^3 + 0.590X^2 + -1.314X + 0.937$	0.936	درجه سوم Cubic	درصد سدیم تبادلی	بدون کاربرد اسید Don't Use Acid		
$Y = 0.487e^{-3.218X}$	0.758	نمایی Exponential				
$Y = e^{-3.218X - 0.720}$	0.758	رشد Growth	هدایت			
$Y = 1 / \{1 / 3.788 + (1.888 \times 26.718^X)\}$	0.757	لجستیک Logistic	الکتریکی $EC$	با کاربرد اسید Used Acid	2	3
$Y = 0.487 \times 0.040^X$	0.758	مرکب Compound				
$Y = \frac{0.050}{X} + 0.004$	0.756	معکوس Inverse				
$Y = -0.090x^3 + 0.770X^2 - 1.850X + 1.302$	0.822	درجه سوم Cubic	درصد سدیم تبادلی			

### نتیجه گیری

برای شستشوی املاح لازم است عمق مورد اصلاح را تعیین و به همان مقدار آب به خاک اضافه کنیم. زیرا در غیر این صورت اگر کمتر از عمق مورد اصلاح آبیاری گردد، عمل شستشو به طور کامل انجام نمی‌شود و مشکل شوری را به وجود خواهد آورد. اگر بیشتر از عمق مورد اصلاح استفاده شود باعث افزایش هزینه، بدون کاهش چشمگیر املاح می‌گردد. با کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب کاربردی به منظور شستشوی املاح، شستشوی سدیم نیز موازی با آن صورت می‌گیرد و نیاز به اضافه کردن مواد اصلاح کننده نیست. در آزمون صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه گرچه مدل معکوس در اغلب موارد دارای بیشترین همبستگی بوده و ضرایب آن محاسبه

شده و نیز نمودار مربوطه رسم گردیده، ولی پیشنهاد می‌شود به دلیل پویا بودن خصوصیات شیمیایی خاک در زمان‌ها، مکان‌ها و اقلیم‌های مختلف با بافت‌های متفاوت این آزمون‌ها در سایر نقاط جهت پروژه‌های اجرایی انجام و نمودارهای مربوط به آن منطقه رسم گردند و تصمیم‌گیری‌ها با استفاده از ضرایب و مدل‌های مربوط به آن منطقه باشد.

## منابع

- بای‌وردی، م و کوهستان، ا. ۱۳۶۰. خاک، تشکیل و طبقه‌بندی. دانشگاه تهران.
- پذیرا، ا. ۱۳۶۷. روش عملی آبشویی متناوب خاک‌های رسوبی شور و قلیا منطقه شاور- استان خوزستان. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه ۲. سال چهارم.
- پذیرا، ا. ۱۳۶۹. گزارش مطالعات اصلاح و بهسازی خاک و اراضی با تأکید بر موارد فیزیکوشیمیایی خاک‌های شور و قلیا دشت هندیجان- استان خوزستان. تهران. کمیته امور آب وزارت جهاد سازندگی.
- پذیرا، ا. ۱۳۸۰. معضل گرایش کیفیت منابع تولید (خاک و آب) به شوری و سدیمی شدن و آثار آن در کشاورزی. کمیته امور آب وزارت جهاد سازندگی.
- حیدری، ن. ۱۳۷۳. ارائه و کاربرد مدل‌ها و روابط نظری آبشویی املاح و توازن نمک در ارتباط با اصلاح و بهسازی خاک‌های شور و سدیمی. مؤسسه تحقیقات مهندسی زراعی. گزارش پژوهشی. نشریه شماره ۱۶.
- درویش، م. ۱۳۸۴. نگاهی اجمالی به بخش تحقیقات بیابان. گزارش پژوهشی نشریه شماره ۲۸.
- محمدی، ج. ۱۳۷۰. مقایسه دو روش آبشویی از خاک‌های شور و قلیا واقع در منطقه رودشت اصفهان. رشته کشاورزی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی اصفهان.

- DREGNE, H.E. 1976.** Developments in soil science, No. 6. Soils of arid regions. Elsevier scientific publishing company. Amesterdam. 237 P.
- GHASSEMI, F., JAKEMAN, A. and NIX, H. 1991.** Human induced salinization and the use of quantitative methods. Enviroment – International. 17(6): 581 – 594.