# بررسی ریاضی آب شویی در منطقه هندیجان استان خوزستان بدون کاربرد ماده اصلاح کننده

**پیوند پاپن**

**کارشناس ارشد خاکشناسی ، سازمان آب و برق خوزستان،Payvand_p2006@yahoo.com**

**فرامرز جودی**

**کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی ، دانشگاه شهید چمران اهواز**

## چکیده

مناطق خشک، چون ایران دارای بارندگی کم و تبخیر زیاد می‌باشند، لذا 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، مدل سازی ریاضی شوری و سدیم‌زدایی در ۲ منطقه با و بدون کاربرد ماده اصلاح کننده (اسید سولفوریک) در منطقه هندیجان استان خوزستان می باشد. آزمایش در دو منطقه ۱و۲ با چهار تیمار، تیمار اول ۲۵ سانتی‌متر، تیمار دوم ۵۰ سانتی‌متر، تیمار سوم ۷۵ سانتی‌متر و تیمار چهارم ۱۰۰ سانتی‌متر آب و چهار تکرار تا عمق ۱۵۰ سانتی‌متر در کرت‌های ۱×۱ متر انجام گرفت. با استفاده از داده های هدایت الکتریکی و درصد سدیم قابل تبادل و تعادلی بدست آمده نرم افزار SPSS12.0 یازده مدل ریاضی استخراج گردید. نتایج حاصل از برازش مدل های ریاضی بیانگر این مطلب است که در منطقه یک بدون کاربرد ماده اصلاح کننده معادله درجه سه برای هدایت الکتریکی و درصد سدیم قابل تبادل بیشترین همبستگی و معادله اس کمترین همبستگی را داشته است. در منطقه دو در حالت بدون کاربرد ماده اصلاح کننده برای هدایت الکتریکی معادله لگاریتمی بیشترین همبستگی و برای درصد سدیم قابل تبادل معادله مرکب ، لجستیک ، رشد و نمائی بیشترین و معادله اس کمترین همبستگی را دارا میباشند .

**واژه های کلیدی:**آبشوئی، شوری زدایی، سدیم زدایی، اصلاح کننده، خوزستان

## مقدمه

بهره برداری از اراضی در مناطق خشک و نیمه خشک ممکن است با یک یا مجموعه ای از مسایل مانند؛ تجمع املاح در نیم رخ خاک، نفوذ پذیری کم خاک ها، کم بودن نسبی سرعت حرکت آب در خاک و تخریب ساختمان خاک رو به رو باشد. تجمع املاح در نیم رخ خاک که از آن به شور شدن خاک تعبیر می گردد، 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 می دهد (۱). کاهش میزان شوری خاک و تولید عمل کرد پتانسیل تنها با اجرای عملیات نمک

زدایی مسیر می گردد. بهترین راه نمک زدایی شستشوی خاک با آب است، قرار دادن آب روی خاک و فرصت دادن به آب برای نفوذ در خاک و انتقال زه آب شور به درون زه کش و یا لایه های تحتانی که به آن آب شویی گویند. نخستین اقدام برای بهره برداری از منابع خاک های شور و قلیا، مستلزم انجام مطالعاتی در زمینه اصلاح و به سازی خاک و مطالعات آب شویی به منظور برآورد میزان آب مورد نیاز برای شستشوی املاح محلول و متعادل نمودن میزان نمک در منطقه رشد گیاهان زراعی می باشد(۲).

کشاورزی به عنوان محور توسعه پایدار در کشور و آب به عنوان یک عامل محدود کننده محسوب می‌شود همچنین با توجه به تبخیر زیاد از سطح تجمع املاح و 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 زه داری و شرایط ماندآبی رو به رو بوده است که انتظار می‌رود هم‌اکنون گسترش بیشتری یافته باشد(۴). در هر شرایطی افزایش عمل کرد 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 پی گیری 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 زه کشی خاک و اراضی عملی می‌باشد(۸).

در طرح های مطالعاتی بررسی امکانات اصلاح فیزیکو-شیمیایی خاک های شور و یا شور و سدیمی، تعیین میزان آب لازم برای آب شویی املاح محلول از نیم رخ خاک ها از طریق آزمون های مزرعه توصیه گردیده است. نتایج حاصل از اجرای آزمایش ها با استفاده از مدل های تجربی و نظری این امکان را فراهم می آورد تا بتوان نسبت به تهیه و ارایه منحنی های شوری و سدیم زدایی اقدام نمود. مدل های تجربی، حاصل داده های مشاهداتی و اندازه گیری (آزمایشگاهی و میدانی) می باشند که بر نوعی معادله ریاضی برازش داده می شوند. بنابراین در به دست آوردن آنها هیچ گونه پیش فرض فیزیکی و ریاضی اعمال نگردیده است. هر چند مدل های تجربی قلمرو محدودی دارند و در محل یا در مورد مشکل خاصی مورد استفاده قرار می گیرند، لیکن دارای مزایای زیر می باشند:

- کاربرد آنها در برآوردهای مقدماتی و تقریبی می تواند جهت دست یابی به اطلاعات مورد نیاز برنامه های اصلاح خاک و اراضی سودمند باشند.

-این نوع مدل ها می توانند بخش مهمی از یک مدل پیچیده عددی را تشکیل دهند.

-هر چند این روابط تجربی در مقایسه با نتایج مطالعات پایه ای حرکت توام آب و املاح محدودیت هایی را نشان دهند اما از نظر کاربردهای عملی در برنامه های اجرایی اصلاح خاک و اراضی بر مدل های نظری برتری دارند (۵).

بر طبق نظر ریو و همکاران (۱۳) و ریو (۱۴) منحنی آب شویی املاح در نیم رخ خاک ها از شکل عمومی خاصی تبعیت می نماید. تحقیقات انجام شده در این مورد بر روی نوعی خاک با بافت رسی سیلتی لومی که میزان هدایت الکتریکی اولیه آن تا عمق ۳۰ سانتی متری معادل ۴۰ دسی زیمنس بر متر و روش آب شویی غرق آب دایم بوده موجب حصول معادله تجربی هذلولی به شرح زیر بوده است:

$$\frac{D_W}{D_S} = \frac{1}{5(\frac{EC_f}{EC_i})} + 0.15 = \frac{1}{5}(\frac{EC_i}{EC_f}) + 0.15 \qquad (۱)$$

که در آن: $D_w$ عمق آب کاربردی و $D_s$ عمق خاک (هر دو بر حسب سانتی‌متر) و $EC_i$ و $EC_f$ به ترتیب هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک قبل و پس از آب شویی می‌باشد.

بر پایه بررسی ها و آزمون های مزرعه ای که در منطقه هانسا-هاریانا کشور هندوستان توسط لافلر و شارما (۱۰) به انجام رسید، آنها اعلام نمودند که نتایج حاصل از کاربرد مدل ریو (۱۵)، عمق آب آب شویی را برای خاک های با بافت سبک (شنی لومی تا سیلتی لومی) بسیار زیادتر از میزان مورد نیاز برآورد می نماید. لافلر و شارما آزمایش های مربوطه

را با دو روش غرق آب دایم و متناوب در خاکی که میزان هدایت الکتریکی اولیه آن تا عمق ۸۰ سانتی متری حداکثر معادل ۳۰ دسی زیمنس بر متر بود و رابطه ی تجربی مشابهی را به صورت هذلولی به دست آوردند.

$$\frac{EC_f - EC_e}{EC_i - EC_e} = \frac{0.062}{\frac{D_{lw}}{D_s}} + 0.034 \qquad (۲)$$

پارامترهای این معادله هم مانند معادله ریو بوده و $EC_e$ هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک می باشد.

هافمن (۹) از ارقام و اطلاعات حاصل از اجرای آزمایش های مزرعه ای در کشور آمریکا و سایر نقاط جهان رابطه ی تجربی را به شرح زیر ارایه نمود:

$$\frac{D_W}{D_S} = K\,\frac{EC_i - EC_{eq}}{EC_f - EC_{eq}} \qquad (۳)$$

که در آن $EC_i$ و $EC_f$ به ترتیب هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک قبل و پس از آب شویی، $D_W$ عمق آب کاربردی آب شویی، $D_S$ ضخامت لایه خاک مورد آب شویی و $K$ ضریب تجربی بدون بعد.

پذیرا و کاواچی (۱۱) براساس مطالعات و آزمون های متعددی که طی سال های متمادی در بخش مرکزی استان خوزستان انجام داده اند ، برای خاک منطقه که به طور عمده دارای بافت سیلتی رسی تا رسی سیلتی، با میزان هدایت الکتریکی ۶۵ تا ۸۰ دسی زیمنس بر متر تا عمق ۱/۵ متری و روش آب شویی غرق آب متناوب رابطه ی تجربی و هذلولی شکل زیر را ارایه دادند:

$$\frac{EC_f - EC_e}{EC_i - EC_e} = \frac{0.070}{\frac{D_{lw}}{D_s}} + 0.023 \qquad (۴)$$

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

ورما و گوپتا دو مدل برای شرایط غرق آب دائم و متناوب ارایه نمودند: (۳).

۱- شرایط غرق آب دائم

$$\frac{EC_f - EC_e}{EC_i - EC_e} = 0.099 * \left(\frac{D_{lw}}{D_s}\right)^{-1.27} \qquad (۵)$$

۲- شرایط غرق آب متناوب

$$\frac{EC_f - EC_e}{EC_i - EC_e} = 0.09 * \left(\frac{D_{lw}}{D_s}\right)^{-1.63} \qquad (۶)$$

پذیرا و کشاورز (۱۲) برای اراضی شور و سدیمی بخش جنوب شرقی استان خوزستان از طریق آزمایش های صحرایی بر خاک های دارای بافت لومی رسی تا رسی سیلتی با هدایت الکتریکی اولیه ۳۸/۲ تا ۴۶/۵ دسی زیمنس بر متر تا عمق یک متری و آب شویی به روش غرق آبی متناوب معادله تجربی زیر را ارایه دادند.

$$\frac{EC_f - EC_e}{Ec_i - EC_e} = 0.0764 \times \left(\frac{D_{lw}}{D_s}\right)^{-0.864} \qquad (۷)$$

به طور کلی مدل های تجربی موجود و معرفی شده را می توان از نظر ریاضی طبقه بندی و بررسی نمود. مدل های تجربی ریو (۱۳)، لافلر و شارما (۱۰)، هافمن (۹) و پذیرا و کاواچی (۱۱) به شکل معادله ریاضی هذلولی (معکوس)، مدل های ورما و گوپتا (۳) و پذیرا و کشاورز (۱۲) به شکل معادله توانی و مدل دیلمان (۷) به صورت تابع نیمه لگاریتمی می باشند. در این مقاله با استفاده از داده های صحرایی مدل های ریاضی برازش داده شده و در نهایت بهترین مدل جهت منطقه مورد مطالعه از نظر شوری و سدیم زدایی معرفی می گردد.

## مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در دشت هندیجان از دشت های استان خوزستان انجام شده است. منطقه مورد مطالعه به مساحت ۱۷۰۰۰ هکتار در حد فاصل شهرستانهای ماهشهر ، هندیجان و امیدیه واقع شده است. از نظر موقعیت جغرافیائی در '۴۹°۳۳ تا '۴۹°۴۹ طول شرقی و ' ۲۹ °۳۰ تا '۳۲ °۳۰ عرض شمالی واقع گردیده است. میانگین درجه حرارت سالانه هوا ۲۵/۳ درجه سانتی گراد و میانگین بارندگی سالانه ۲۶۰/۳ میلی متر است. بر اساس اقلیم نمای آمبرژه ، منطقه مورد نظر بیابانی گرم شدیدتا گرم بیابانی می باشد. رژیم حرارتی خاک منطقه هایپرترمیک و رژیم رطوبتی اریدیک و آکوئیک می باشد.

آزمایش در دو منطقه از دشت هندیجان در شمال شرق روستای ناصر آباد انجام شده است . خصوصیات عمومی این دو منطقه در جدول (۱) ارایه شده است.

در منطقه اول هشت کرت به ابعاد ۱×۱ متر ایجاد شد، در چهار کرت قبل از افزودن آب آب شویی مقدار اسید سولفوریک مورد نیاز در سطح کرت ها پخش و با خاک مخلوط گردید ، سپس در همه کرت ها ۱۰۰ سانتی متر آب در چهار تناوب مصرف شد و نمونه برداری از کرت ها بعد از افزودن ۲۵ سانتیمتر آب صورت گرفت . بعد از نوبت چهارم آب شویی نمونه خاک تعادلی نیز از عمق ۵-۰ سانتیمتری خاک از کرت های مربوطه به منظور اندازه گیری EC,ESP تهیه و به آزمایشگاه ارسال شد.قبل از شروع آب شویی به منظور تعیین میزان املاح از محلی نزدیک به کرت ها نمونه خاک شاهد از اعماق ۲۵-۰ ، ۵۰-۲۵ ، ۷۵-۵۰ ، ۱۰۰-۷۵ ، ۱۲۵-۱۰۰ و ۱۵۰-۱۲۵ سانتی متری تهیه گردید .

مشخصات شیمیایی آب و خاک دو منطقه قبل از انجام آزمایش در جداول ۲ تا ۶ 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 گردید، پس از خروج آب ثقلی 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 ثقلی از هر کدام از تکرارها به طور تصادفی از عمق ۵۰ سانتی‌متری اقدام به نمونه برداری گردید. به همین ترتیب تا عمق ۱۵۰ سانتی‌مترخاک و آب کاربردی تا میزان ۱۰۰ سانتی‌متر اقدام به آب شویی و نمونه‌برداری نموده و نمونه‌ها پس از خشک شدن در هوای آزاد به آزمایشگاه جهت اندازه گیری 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 شدند.. به منظور بدست آوردن مدل‌های مختلف ریاضی از برنامه SPSS12.0 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 (متغیر وابسته) Y وارد گردید.

سپس یازده مدل ریاضی توسط برنامه استخراج شد. به طریق مشابه برای منطقه دو و درصد سدیم قابل تبادل (بدون ماده اصلاح کننده ) .

**جدول ۱- خصوصیات عمومی مناطق مورد مطالعه**

| منطقه | کلاس قبل و بعد از آبشوئی( بدون اصلاح کننده ) | کلاس قبل و بعد از آبشوئی (با اصلاح کننده ) | نفوذ پایه قبل و بعد از آبشوئی (cm/h) | | هدایت هیدرولیکی (m/day) | عمق لایه غیر قابل نفوذ(cm) | عمق سطح ایستابی(m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | $S_4A_3/S_4A_2$* | $S_4A_3/ S_4A_3$* | ۰/۱۴ | ۰/۱۸* | ۰/۰۶ | ۴۴۵ | ۴/۵ |
| ۲ | $S_4A_3/S_2A_2$* | $S_4A_3/S_3A_2$* | ۰/۳۵ | ۰/۴۱* | ۰/۸ | ۳۲۰ | ۱/۴۵ |

* بعد از آبشوئی

**جدول ۲- کیفیت شیمیایی خاک قبل از کاربرد آب آبشویی در منطقه ۱**

| عمق نمونه برداری | SP% | هدایت الکتریکی ECe | اسیدیته عصاره اشباع خاک pH | گچ (میلی اکی‌ولان در صد گرم خاک) $(\frac{meq}{100gsoil})$ $CaSO_4 2H_2O$ | $Na^+$ $\frac{meq}{l}$ | $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ $\frac{meq}{l}$ | نسبت جذب سدیم SAR | درصدسدیم تبادلی ESP(1) * |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-25 | ۳۴/۵ | ۷۳/۷۲ | ۷/۹۸ | ۱۲/۸۰ | ۴۴۳ | ۳۰۰ | ۳۶/۱۵ | ۳۵/۷۹ |
| 25-50 | ۴۹/۹ | ۶۲/۳۲ | ۸/۰۶ | ۱۸/۶۰ | ۳۷۲ | ۲۵۴ | ۳۳ | ۳۲/۸۴ |
| 50-75 | ۴۳/۲ | ۵۴/۷۲ | ۸/۲۰ | ۲۱/۲۰ | ۳۳۰ | ۲۲۲ | ۳۱/۳۲ | ۳۲/۱۹ |
| 75-100 | ۵۰/۸ | ۵۰/۱۶ | ۸/۲۱ | ۲۲/۵۰ | ۲۹۶ | ۲۰۸ | ۲۹/۰۴ | ۲۹/۴۵ |
| 100-150 | ۵۲/۵ | ۴۷/۱۲ | ۸/۲۷ | ۲۴/۷۰ | ۳۰۷ | ۱۶۸ | ۳۳/۴۹ | ۳۴/۱۶ |

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

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

**جدول ۳- کیفیت شیمیایی خاک قبل از کاربرد آب آبشویی در منطقه ۲**

| عمق نمونه برداری | SP% | هدایت الکتریکی ECe | اسیدیته عصاره اشباع خاک pH | گچ (میلی اکی‌ولان در صد گرم خاک) $(\frac{meq}{100gsoil})$ $CaSO_4 2H_2O$ | $Na^+$ $\frac{meq}{l}$ | $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ $\frac{meq}{l}$ | نسبت جذب سدیم SAR | درصدسدیم تبادلی ESP(1) * |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-25 | ۴۰/۹ | ۳۹/۵۲ | ۸/۱۶ | ۸/۸ | ۲۴۸ | ۱۵۰ | ۲۸/۶۴ | ۲۹/۳۷ |
| 25-50 | ۴۱ | ۳۱/۱۶ | ۸/۴۴ | ۷/۹ | ۲۲۸ | ۸۶ | ۳۴/۷۷ | ۳۶/۲۶ |
| 50-75 | ۴۴/۱ | ۳۲/۶۸ | ۸/۴۲ | ۵/۲ | ۲۴۰ | ۹۰ | ۳۵/۷۸ | ۳۷/۰۵ |
| 75-100 | ۴۹/۵ | ۳۱/۹۲ | ۸/۵۱ | ۲۲/۶ | ۲۳۵ | ۸۸ | ۳۵/۴۴ | ۳۶/۱۵ |
| 100-150 | ۴۷/۲ | ۳۷/۲۴ | ۸/۴۵ | ۲۵/۴ | ۲۷۲ | ۱۰۴ | ۳۷/۷۳ | ۳۶/۸۵ |

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

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

**جدول ۴- خصوصیات فیزیکی خاک کمبود رطوبت لایه‌های مختلف خاک منطقه۱**

| ردیف | عمق Soil Depth | بافت خاک | درصد رطوبت وزنی $\theta_{mFC}$ | درصد رطوبت وزنی $\theta_{mc}$ | وزن مخصوص ظاهری $\rho_d(\frac{g}{cm^3})$ | کسر رطوبت لایه مربوطه(d) Deficit Moisture | تجمعی Totally |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0-25 | SiC | ۲۰/۵ | ۸/۲۶ | ۱/۳۳ | ۴/۱ | ۴/۱ |
| 2 | 25-50 | SiC | ۲۳ | ۱۱/۱۷ | ۱/۴۰ | ۴/۱ | ۸/۲ |
| 3 | 50-75 | SiC | ۲۱ | ۱۰/۳۵ | ۱/۳۸ | ۳/۷ | ۱۱/۹ |
| 4 | 75-100 | SiC | ۲۵ | ۱۱/۵۶ | ۱/۳۶ | ۴/۵ | ۱۶/۴ |
| 5 | 100-150 | SiC | ۲۵ | ۱۲/۸۶ | ۱/۳۹ | ۸/۴ | ۲۴/۸ |

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

**جدول ۵-خصوصیات فیزیکی خاک کمبود رطوبت لایه‌های مختلف خاک منطقه۲**

| ردیف | عمق Soil Depth | بافت خاک | درصد رطوبت وزنی $\theta_{mFC}$ | درصد رطوبت وزنی $\theta_{mc}$ | وزن مخصوص ظاهری $\rho_d(\frac{g}{cm^3})$ | کسر رطوبت لایه مربوطه(d) Deficit Moisture | تجمعی Totally |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0-25 | SiL | ۲۰ | ۷/۰۳ | ۱/۳۰ | ۴/۲ | ۴/۲ |
| 2 | 25-50 | SiL | ۲۰/۲۱ | ۱۳/۶۴ | ۱/۳۳ | ۲/۱ | ۶/۳ |
| 3 | 50-75 | SiCL | ۲۱/۸۰ | ۱۶/۰۵ | ۱/۳۶ | ۱/۹ | ۸/۲ |
| 4 | 75-100 | SiC | ۲۴/۱۵ | ۱۲/۹۳ | ۱/۳۸ | ۳/۸ | ۱۲ |
| 5 | 100-150 | SiC | ۲۳/۱۲ | ۱۸/۲۹ | ۱/۴۰ | ۳/۳ | ۱۵/۳ |

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

**جدول ۲- مشخصات کیفیت آب رودخانه زهره**

| تاریخ نمونه برداری | | | EC $(\frac{dS}{m})$ | pH | میلی اکی‌ولان در لیتر $\frac{meq}{l}$ | | نسبت جذب سدیم |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Day | Moon | Year | | | $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ | $Na^{1+}$ | |
| ۲۸ | ۲ | ۸۰ | ۳/۶ | ۷/۸۰ | ۱۲/۸ | ۲۳/۲ | ۸/۱۸ |

**طبقه بندی آب براساس نمودار ویل کاکس $C_3S_1$**

## نتایج و بحث

با توجه به جداول ۴ و ۵ از ۱۰۰ سانتی‌متر آب داده شده به خاک به عنوان آب آبیاری به علت کمبود رطوبت تا عمق ۱۵۰ سانتی‌متری در مناطق یک و دو به ترتیب به میزان ۲۴/۸ و ۱۵/۳ سانتی‌متر، عمق دبی آب که عملاً صرف شستشوی املاح گردیده برابر ۷۵/۲ و ۸۴/۷ سانتی‌متر خاک می‌باشد. لذا بایستی از میزان آب اضافه شده به مقدار

کمبود رطوبت کسر گردد، تا آن مقدار آبی که باعث شستشوی املاح گردیده در محاسبات وارد شود. در منطقه یک بدون کاربرد ماده اصلاح کننده قبل از اعمال آب شویی بیشترین هدایت الکتریکی به عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری یعنی ۷۳/۷۲ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد که پس از انجام آب شویی در عمق ذکر شده به طور متوسط شوری خاک به ۱۹ دسی‌زیمنس بر متر کاهش پیدا کرده است. تا عمق ۱۵۰ سانتی‌متری خاک که با اضافه کردن ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبیاری به صورت میانگین از ۵۳/۵۸ به ۳۲/۹۶ دسی‌زیمنس بر متر شوری کاهش پیدا کرده است. در مورد درصد سدیم تبادلی نیز به طور میانگین تا عمق ۱۵۰ سانتیمتری میزان درصد سدیم تبادلی از ۳۲/۸۸ به ۲۸/۵۲ کاهش داشته است.

همچنین در منطقه دو مورد مطالعه بدون کاربرد ماده اصلاح کننده نتایج نشان دادند که قبل از اعمال آب شویی بیشترین هدایت الکتریکی مربوط به عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری یعنی ۳۹/۵۲ دسی‌زیمنس بر متر بوده که پس از انجام آب شویی در عمق ذکر شده به طور متوسط شوری خاک به ۵/۵۹ دسی‌زیمنس بر متر کاهش پیدا کرده است. تا عمق ۱۵۰ سانتی‌متری خاک با اضافه کردن ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبیاری به صورت میانگین شوری از ۳۳/۲۵ به ۲۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر کاهش پیدا کرده است. درصد سدیم تبادلی نیز به طور میانگین تا عمق ۱۵۰ سانتیمتری از ۳۵/۱۳ به ۲۳/۸۱ کاهش داشته است.

به طور کلی در منطقه یک بدون کاربرد ماده اصلاح کننده هدایت الکتریکی ۲۷/۴۲ دسی زیمنس بر متر کاهش داشته، به علاوه در همین مناطق و تحت شرایط مذکور درصد سدیم قابل تبادل به ترتیب ۴/۳۶ کاهش داشته است. همچنین در منطقه دو بدون کاربرد ماده اصلاح کننده هدایت الکتریکی ۱۳/۷۸ دسی زیمنس بر متر کاهش داشته، به علاوه در همین مناطق و تحت شرایط مذکور درصد سدیم قابل تبادل به ترتیب ۱۱/۳۲ کاهش وجود داشته است.

با کاربرد داده های جداول ۷ تا ۸ مدل های مختلف ریاضی با استفاده از نرم افزار SPSS12.0 به صورت جداگانه برای دو حالت شوری و سدیم زدایی استخراج گردید. معادلات به دست آمده درجدول های ۹ تا ۱۰ آمده است.

معادلات ارائه شده شامل؛ خطی، لگاریتمی، معکوس، درجه دو، درجه سه، توانی، مرکب، اس، معکوس، درجه دو، درجه سه، توانی، مرکب، اس، لجستیک، رشد و نمایی بوده که به منظور انتخاب بهترین معادله، ضریب تعیین ($R^2$) هر فرمول نیز استخراج شده است.

**جدول۷- اعداد شوری و سدیم زدایی خاک بدون کاربرد اسید در منطقه ۱**

| ضخامت نیمرخ خاک (سانتی متر ) | (X,Y) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $Dl_w/D_s$ | ۰/۸۴ | ۱/۸۴ | ۲/۸۴ | ۳/۸۴ |
| ۰-۲۵ | $(EC_f-EC_{eq})/(EC_i-EC_{eq})$ | ۰/۸۲ | ۰/۶۵ | ۰/۰۹ | ۰/۰۳۶ |
| | $(ESP_f-ESP_{eq})/(ESP_i-ESP_{eq})$ | ۰/۳۳ | ۰/۷۰ | ۰/۱۰ | ۰/۴۳ |
| | $Dl_w/D_s$ | ۰/۳۴ | ۰/۸۴ | ۱/۳۴ | ۱/۸۴ |
| ۲۵-۵۰ | $(EC_f-EC_{eq})/(EC_i-EC_{eq})$ | ۰/۹۸ | ۰/۹۳ | ۰/۴۵ | ۰/۰۲ |
| | $(ESP_f-ESP_{eq})/(ESP_i-ESP_{eq})$ | ۰/۵۶ | ۰/۹۵ | ۰/۵۸ | ۰/۰۳ |
| | $Dl_w/D_s$ | ۰/۱۷ | ۰/۵۱ | ۰/۸۴ | ۱/۱۷ |
| ۵۰-۷۵ | $(EC_f-EC_{eq})/(EC_i-EC_{eq})$ | ۰/۹۴ | ۰/۹۶ | ۰/۶۳ | ۰/۰۷ |
| | $(ESP_f-ESP_{eq})/(ESP_i-ESP_{eq})$ | ۰/۷۲ | ۱ | ۰/۸۲ | ۰/۱۱ |
| | $Dl_w/D_s$ | ۰/۰۸ | ۰/۳۴ | ۰/۵۸ | ۰/۸۴ |
| ۷۵-۱۰۰ | $(EC_f-EC_{eq})/(EC_i-EC_{eq})$ | ۰/۹۲ | ۰/۹۶ | ۰/۷۲ | ۰/۱۱ |
| | $(ESP_f-ESP_{eq})/(ESP_i-ESP_{eq})$ | ۰/۸۳ | ۱/۱۲ | ۰/۹۵ | ۰/۲۱ |
| | $Dl_w/D_s$ | ۰/۰۰۱ | ۰/۱۷ | ۰/۳۳ | ۰/۵۰ |
| ۱۰۰-۱۵۰ | $(EC_f-EC_{eq})/(EC_i-EC_{eq})$ | ۰/۹۴ | ۰/۹۶ | ۰/۷۷ | ۰/۳۹ |
| | $(ESP_f-ESP_{eq})/(ESP_i-ESP_{eq})$ | ۰/۸۹ | ۰/۹۷ | ۰/۹۳ | ۰/۶۷ |

**جدول۸- اعداد شوری و سدیم زدایی خاک بدون کاربرد اسید در منطقه ۲**

| ضخامت نیمرخ خاک (سانتی متر ) | | (X,Y) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $Dl_w/D_s$ | ۰/۸۳ | ۱/۸۳ | ۲/۸۳ | ۳/۸۳ |
| ۰-۲۵ | $(EC_f-EC_{eq})/(EC_i-EC_{eq})$ | ۰/۱۳ | ۰/۰۸ | ۰/۰۷ | ۰/۰۱ |
| | $(ESP_f-ESP_{eq})/(ESP_i-ESP_{eq})$ | ۰/۴۲ | ۰/۳۴ | ۰/۲۰ | ۰/۱۵ |
| | $Dl_w/D_s$ | ۰/۳۷ | ۰/۸۷ | ۱/۳۷ | ۱/۸۷ |
| ۲۵-۵۰ | $(EC_f-EC_{eq})/(EC_i-EC_{eq})$ | ۰/۴۴ | ۰/۱۹ | ۰/۱۳ | ۰/۰۸ |
| | $(ESP_f-ESP_{eq})/(ESP_i-ESP_{eq})$ | ۰/۶۷ | ۰/۳۵ | ۰/۲۷ | ۰/۱۲ |
| | $Dl_w/D_s$ | ۰/۲۲ | ۰/۵۶ | ۰/۸۹ | ۱/۲۲ |
| ۵۰-۷۵ | $(EC_f-EC_{eq})/(EC_i-EC_{eq})$ | ۰/۶۲ | ۰/۴۸ | ۰/۴۶ | ۰/۱۱ |
| | $(ESP_f-ESP_{eq})/(ESP_i-ESP_{eq})$ | ۰/۷۹ | ۰/۶۱ | ۰/۵۳ | ۰/۱۸ |
| | $Dl_w/D_s$ | ۰/۱۳ | ۰/۳۸ | ۰/۶۳ | ۰/۸۸ |
| ۷۵-۱۰۰ | $(EC_f-EC_{eq})/(EC_i-EC_{eq})$ | ۰/۶۹ | ۰/۶۴ | ۰/۶۲ | ۰/۳۲ |
| | $(ESP_f-ESP_{eq})/(ESP_i-ESP_{eq})$ | ۰/۸۳ | ۰/۷۴ | ۰/۶۴ | ۰/۳۹ |
| | $Dl_w/D_s$ | ۰/۰۶ | ۰/۲۳ | ۰/۴۰ | ۰/۵۶ |
| ۱۰۰-۱۵۰ | $(EC_f-EC_{eq})/(EC_i-EC_{eq})$ | ۰/۷۵ | ۰/۷۱ | ۰/۷۹ | ۰/۵۸ |
| | $(ESP_f-ESP_{eq})/(ESP_i-ESP_{eq})$ | ۰/۸۹ | ۰/۷۹ | ۰/۷۷ | ۰/۶۲ |

**جدول ۹-مدل های ریاضی شوری و سدیم زدایی در منطقه۱**

| نام مدل | معادله شوری زدایی | $R^2$ | معادله سدیم زدایی | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|
| خطی | $Y=-1.9739X+2.1810$ | ۰/۵۴۷ | $Y=-1.9301X+2.1701$ | ۰/۵۰۴ |
| لگاریتمی | $Y=-0.5912LnX+0.42$ | ۰/۵۶۲ | $Y=-0.6843LnX+0.3933$ | ۰/۵۹۸ |
| معکوس | $Y=0.0495/X+0.6346$ | ۰/۳۸۰ | $Y=0.0794/X+0.5618$ | ۰/۴۷۵ |
| درجه دوم | $Y=0.9393X^2-2.9287X+2.2919$ | ۰/۵۵۳ | $Y=2.5512X^2-4.6656X+2.5672$ | ۰/۵۶۵ |
| درجه سوم | $Y=-12.647X^3+20.8790X^2-10.996X+2.7414$ | ۰/۵۹۶ | $Y=-7.4412X^3+15.4322X^2-10.562X+3.0060$ | ۰/۶۰۴ |
| توانی | $Y=0.2455X^{-0.7246}$ | ۰/۲۶۶ | $Y=0.2469X^{-0.7925}$ | ۰/۲۵۲ |
| مرکب | $Y=2.5988*0.0642^X$ | ۰/۳۳۳ | $Y=2.2252*0.0854^X$ | ۰/۲۵۸ |
| اس | $Y=e^{(-1.1099/X+0.0559)}$ | ۰/۱۵۲ | $Y=e^{(-1.1652X+0.0843)}$ | ۰/۱۶۹ |
| لجستیک | $Y=1/((1/1/429)+0.3848*15.5709^{X)})$ | ۰/۳۳۳ | $Y=1/((1/1/184)+0.4494*11.7129^{X)})$ | ۰/۲۵۸ |
| رشد | $Y=e^{(-2.7454X+0.9550)}$ | ۰/۳۳۳ | $Y=e^{(0.7998X-2.4607)}$ | ۰/۲۵۸ |
| نمائی | $Y=2.5988e^{-2.7454X}$ | ۰/۳۳۳ | $Y=2.2252e^{-2.4607X}$ | ۰/۲۵۸ |

**جدول ۱۰-مدل های ریاضی شوری و سدیم زدایی در منطقه ۲**

| نام مدل | معادله شوری زدایی | $R^2$ | معادله سدیم زدایی | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|
| خطی | $Y=-2.8127X+2.1090$ | ۰/۶۳۰ | $Y=-3.1316X+2.6108$ | ۰/۶۷۵ |
| لگاریتمی | $Y=-0.7850LnX-0.0585$ | ۰/۸۸۵ | $Y=-1.3076LnX-0.0729$ | ۰/۷۱۹ |
| معکوس | $Y=0.0360/X+0.6550$ | ۰/۶۶۱ | $Y=0.3796/X-0.0593$ | ۰/۶۵۹ |
| درجه دوم | $Y=7.0696X^2-8.3208X+2.6872$ | ۰/۷۴۶ | $Y=4.1833X^2-7.2840X+3.3867$ | ۰/۷۱۹ |
| درجه سوم | $Y=-35.291X^3+50.8635X^2-22.878X+3.6146$ | ۰/۸۷۰ | $Y=-7.4528X^3+15.3635X^2-12.149X+3.9482$ | ۰/۷۲۶ |
| توانی | $Y=0.2353X^{-0.7490}$ | ۰/۷۰۱ | $Y=0.2005X^{-1.4263}$ | ۰/۷۴۴ |
| مرکب | $Y=2.3704*0.0370^X$ | ۰/۷۵۳ | $Y=4.4850*0.0231^X$ | ۰/۸۵۰ |
| اس | $Y=e^{(-0.6840/X0.0257)}$ | ۰/۲۹۳ | $Y=e^{(-1.4967/X+0.3797)}$ | ۰/۵۷۴ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| لجستیک | $Y=1/((1/0/837)+0.4219*27.014^{X)})$ | ۰/۷۵۳ | $Y=1/((1/1/042)+0.2230*43.2289^{X)})$ | ۰/۸۵۰ |
| رشد | $Y=e^{(-3.2964X+0.8631)}$ | ۰/۷۵۳ | $Y=e^{(-3.7665X+1.5007)}$ | ۰/۸۵۰ |
| نمائی | $Y=2.3704e^{-3.2964X}$ | ۰/۷۵۳ | $Y=4.4850\ e^{-3.7665X}$ | ۰/۸۵۰ |

## نتیجه گیری

برای شستشوی املاح خاک لازم است به مقدار مناسب به خاک آب و با توجه به شرایط موجود ماده اصلاح کننده اضافه نمود تا خاک اصلاح گردد. زیرا اگر کمتر از عمق مناسب آب اضافه شود عمل شستشو کم است و مشکل شوری را مرتفع نخواهد شد و اگر بیشتر از عمق مورد اصلاح باشد باعث افزایش هزینه، بدون کاهش چشم گیر املاح می‌گردد. در تحقیق انجام شده در هر دو منطقه در حالت بدون کاربرد ماده اصلاح کننده کاهش هدایت الکتریکی و درصد سدیم قابل تبادل قابل توجه می باشد .در منطقه ۱ به دلیل سنگینی بافت خاک و پائین بودن نفوذ پذیری و ضریب آبگذاری خاک استفاده از آب برای آبشوئی املاح تنها باعث شده که کلاس شوری و قلیائیت خاک یک کلاس کاهش داشته باشد

در منطقه ۲ نیزباتوجه به سبک بودن نسبی بافت خاک در مقایسه با منطقه یک و همچنین بالا بودن نفوذپذیری و ضریب آبگذاری خاک باعث شده که کلاس شوری و قلیائیت خاک قبل و بعد از آبشوئی نسبت به منطقه ۱ تفاوت بیشتری داشته باشند در این منطقه نیز استفاده استفاده از آب برای آبشوئی املاح تا حدی موثر می باشد.

نتایج حاصل از برازش مدل های ریاضی بیانگر این مطلب است که در منطقه یک بدون کاربرد ماده اصلاح کننده معادله درجه سه برای هدایت الکتریکی و درصد سدیم قابل تبادل بیشترین همبستگی و معادلات اس کمترین همبستگی را داشته است. همچنین نتایج در منطقه دو در حالت بدون کاربرد ماده اصلاح کننده برای هدایت الکتریکی معادله لگاریتمی بیشترین همبستگی و برای درصد سدیم قابل تبادل معادله مرکب ، لجستیک ، رشد و نمائی بیشترین و معادله اس کمترین همبستگی را دارا میباشند .

## سپاسگزاری

در پایان نویسندگان این مقاله از سازمان آب و برق خوزستان و دفتر تحقیقات و استانداردهای شبکه های آبیاری و زهکشی تشکر و قدردانی می نمایند.

## منابع


۱. بای‌بوردی، م و کوهستان، ا. ۱۳۶۰. خاک، تشکیل و طبقه‌بندی. دانشگاه تهران.

۲. بی نام، گزارش آزمایشات صحرایی و مطالعات آبشویی و اصلاح اراضی شبکه های آبیاری و زهکشی دشت هندیجان استان خوزستان، مهندسین مشاور تاک سبز (۱۳۸۳)، ص ۲.

۳. 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.

۴. درویش، م. ۱۳۸۴. نگاهی اجمالی به بخش تحقیقات بیابان. گزارش پژوهشی نشریه شماره ۲۸.

۵. سازمان مدیریت منابع آب ایران، راهنمای کاربرد مدل های تجربی و نظری آبشویی نمکهای خاک های شور (۱۳۸۵) نشریه شماره ۳۵۹.

۶. محسنی فر، ک، پذیرا، ا و پ، نجفی. ۱۳۸۵. بررسی انواع مدل‌های آبشویی در دو منطقه جنوب شرق استان خوزستان. اولین همایش منطقه‌ای بهره برداری بهینه از منابع آب حوضه های کارون وزاینده‌رود شهرکرد،دانشگاه‌شهرکرد.

7. Dieleman, P. J. 1963. Reclamation of salt affected soils in Iraq. Venman, Wageningen, 175 P.
8. Ghassemi. F., A. Jakeman and H. Nix. 1991. Human induced salinization and the use of quantitative methods. Enviroment – International. 17(6): 581 – 594.

9. Hoffman, G, J., 1980. Guideline for reclamation of salt –affected soils. Proceeding of International American Salinity and Water Management, Technical Conference. Juar. Mecxico. PP: 49-64.
10. Leffelaar, P, A., and P., Sharma. 1977. Leaching of a highly saline-sodic soil. Journal of Hydrology 32:203-218
11. Pazira, E., and T., Kawachi. 1981. Studies on appropriate depth of leaching water, Iran. A Case study. Journal of Intergrate Agricultural Water Use and Freshing Reservoirs, Kyoto University Japan, 6: 39-49.
12. Pazira, E., Keshavarz, A., and K., Torii . 1998. Studies on appropriate depth of leaching water, International Workshop on Use of Saline and Brackish-Water for Irrigation, Indonesia.
13. Reeve, R, C., Pillsbury, A. F., and L. V., Wilcox. 1955. Reclamation of saline and high boron soil in the Coachella Valley of California. Hilgardia 24: 69-91.
14. Reeve, R, C., 1957.The relation of salinity to irrigation and drainage requirements. Third Congress of International Commission on Irrigation and Drainage, Transactions 5:10.175-10.187.