

تخمین نسبت جذب سدیم^۱ در آب زهکش با استفاده از ترکیب شیمیایی آب آبیاری در شرایط شبه ماندگار

یوسف هاشمی نژاد^{۲*} و فاطمه قانع

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

کارشناس ارشد مرکز ملی تحقیقات شوری؛ FaGhane@yahoo.com

چکیده

انواع مختلفی از روابط برای پیش بینی نسبت جذب سدیم (SAR) در آب زهکش پیشنهاد شده اند. برای ارزیابی صحت این روابط تجربی از نتایج واقعی حاصل از یک مطالعه لایسمتری استفاده شده است. برای به دست آوردن روابط و روابط پایه، از نتایج ۱۱۶ نمونه تجزیه شیمیایی آب از نقاط مختلف کشور که شامل آب رودخانه ها، آبهای زیرزمینی و آبهای زهکش بود استفاده شده است. همچنین از نتایج تجزیه ۳۰ نمونه آب زهکشی که ترکیب دقیق شیمیایی آب آبیاری آنها و نیز حجم آب آبیاری و زهکش آنها در طی یک آزمایش لایسمتری مشخص شده بود استفاده شد. در آزمایش لایسمتری، لایسمترهای استوانه ای با قطر داخلی ۴۰ و ارتفاع ۱۸۰ سانتیمتر با یک خاک لوم شنی پر شده و به صورت هفتگی با آب طبیعی آبیاری می شدند. در این لایسمترها یونجه برای مدت ۳ سال کشت شد. همبستگی های ساده بین نسبت جذب سدیم در آب آبیاری (SAR_{iw}) و مقدار متناظر آن در آب زهکش (SAR_{dw}) منجر به همبستگی ضعیفی شد ($R^2 = 0.108$). در حالی که اصلاح این نسبت با فرض حصول شرایط ماندگار (که در آن غلظت یونها نسبت مستقیمی با عکس کسر آبشویی داشته باشند) توانست به خوبی نسبت جذب سدیم در آب زهکش را برآورد ($R^2 = 0.802$). به رغم برخی نوسانات در کسر آبشویی در طی فصل رشد، همبستگی حاصل از این روش با روشهای پیچیده تری که اخیراً پیشنهاد شده است قابل مقایسه بود.

واژه های کلیدی: نسبت جذب سدیم، آب زهکش، آب آبیاری، لایسمتر، یونجه

مقدمه

گچی و اعتمادترین شاخص در این زمینه است، ولی به دلیل دشواری های موجود در راه تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی^۵ (CEC) خاک (به خصوص در خاکهای آهکی، گچی و شور) ترجیح داده می شود که درصد سدیم تبدالی خاک، بر مبنای نسبت جذب سدیم عصاره اشباع خاک تخمین زده شود. روابط قوی بین این دو شاخص (آزمایشگاه شوری خاک آمریکا، ۱۹۵۴)، SAR را به عنوان معیاری مناسب برای ارزیابی تناسب کیفیت آب آبیاری نیز معرفی کرده است.

برای ارزیابی خطرات ناشی از تخریب ساختمان خاک بر اثر ترکیب نامناسب آب آبیاری، یکی از مهمترین پارامترهای مورد استفاده نسبت سدیم تبدالی به سایر کاتیونهای تبدالی بر روی کلونیدهای خاک است (رودز، ۱۹۶۸). درصد سدیم قابل تبادل^۳ (ESP) بطور معمول قابل اعتمادترین شاخص در این زمینه است، ولی به دلیل دشواری های موجود در راه تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی^۴ (CEC) خاک (به خصوص در خاکهای آهکی،

¹ Sodium Adsorption Ratio (SAR)

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

* دریافت: دی ۱۳۸۹ و پذیرش: مرداد ۱۳۹۰

³ Exchangeable Sodium Percentage (ESP)

⁴ Cation Exchange Capacity (CEC)

⁵ Cation Exchange Capacity (CEC)

باور و همکاران (۱۹۶۵) نمایه اشباع لانژلیر^۲ را در رابطه ۲ ادغام کردند:

$$SI = pH_a - pH_c \quad ۴$$

$$SAR_{dw} = \frac{1}{\sqrt{LF}} SAR_{iw} (1 + SI) \quad ۵$$

مقادیر مثبت نمایه اشباع نشان دهنده ترسیب کربنات کلسیم است در حالی که مقادیر منفی آن نشان می‌دهد که انحلال معدنی رخ خواهد داد. باور (۱۹۶۱) دریافت که pH واقعی (pHa) همان pH خاک بسیار بافر شده است. رابطه لانژلیر برای محاسبه pHc از روی تجزیه شیمیایی به قرار زیر است:

$$pH_c = (pK_2' - pK_c') + pCa + pAlk \quad ۶$$

که در این رابطه p نشان دهنده منفی لگاریتم، Ca و Alk نشان دهنده به ترتیب غلظت مولار کلسیم و غلظت اکیوالان بازهای قابل تیتراسیون (CO₃+HCO₃), pK₂' و pK_c' به ترتیب لگاریتم منفی دومین ثابت تفکیک H₂CO₃ و ثابت انحلال CaCO₃ می باشند که هر دوی آنها بر حسب قدرت یونی تصحیح شده اند (باور و همکاران، ۱۹۶۵).

باور و همکاران (۱۹۶۵) از رابطه زیر برای محاسبه عبارت (pK₂' - pK_c') در رابطه ۶ استفاده کردند:

$$(pK_2' - pK_c') = \left(\frac{2.0269 + 0.5092 \times \frac{4(IS)^{1/2}}{1 + 2(IS)^{1/2}} + \frac{(IS)^{1/2}}{1 + 1.45(IS)^{1/2}}}{1} \right) \quad ۷$$

محققین مذکور بر مبنای نتایج ۲۰۰ نمونه تجزیه آب، برای محاسبه قدرت یونی (IS) از روی کل غلظت کاتیونها (C) بر حسب میلی اکیوالان بر لیتر، رابطه ۸ را پیشنهاد کردند.

$$1000IS = 1.3477C + 0.5355 \quad ۸$$

در سنوات بعد سوارز (۱۹۸۱) پیشنهاد کرد که به جای عبارت Ca/LF در رابطه ۱ از پارامتری بنام Ca_{eq} برای یافتن مقادیر غلظت تعادلی کلسیم در سیستم شیمیایی محلول خاک استفاده شود. نامبرده برای تعیین مقدار Ca_{eq} جداول راهنمایی را نیز ارائه نمود. جداول راهنما به وسیله افراد دیگری نیز بر مبنای نتایج تحقیقات گذشته ارائه شد. به طور مثال شینبرگ و اوستر (۱۹۷۴) بر مبنای تحقیقات

اما زمانی می‌توان از این شاخص در آب آبیاری برای خاک نیز استفاده کرد که شرایط ماندگار حاکم باشد چرا که در این شرایط نسبت جذب سدیم در آب آبیاری با مقدار متناظر آن در عصاره اشباع خاک یا برابر است و یا رابطه ای قوی دارد. همچنین همبستگی قوی بین SAR محلول خاک در نمونه های حاصل از انتهای منطقه ریشه و SAR آب خارج شده از انتهای منطقه ریشه وجود دارد (رودز، ۱۹۶۸). تلاشهای متعددی برای تخمین SAR آب زهکش، بر مبنای SAR آب آبیاری صورت گرفته است. نسبت جذب سدیم در آب زهکش تخمینی ارزشمند برای پیش بینی حداکثر میزان SAR قابل حصول در داخل منطقه ریشه می باشد (سوارز، ۱۹۸۱).

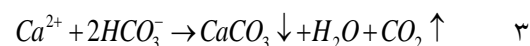
ساده ترین تغییر در SAR آب آبیاری برای تخمین این مقدار در آب زهکش این است که فرض کنیم حالت ماندگار حاصل شده و ترسیب کربناتها اتفاق نمی افتد. در نتیجه، غلظت کاتیونها در آب زهکش رابطه مستقیمی با عکس کسر آبشویی^۱ خواهد داشت. این فرضیات منجر به رابطه ۱ می شود.

$$SAR_{dw} = \frac{Na_{iw}/LF}{\sqrt{\frac{Ca_{iw}}{LF} + \frac{Mg_{iw}}{LF}}} \quad ۱$$

که در این رابطه زیرنویسهای iw^۲ و dw نماینده آب آبیاری و آب زهکش، LF نشان دهنده کسر آبشویی و غلظت کاتیونها بر حسب واحد میلی اکیوالان بر لیتر بیان شده است. رابطه ۲ همان شکل ساده شده رابطه ۱ است.

$$SAR_{dw} = \frac{1}{\sqrt{LF}} SAR_{iw} \quad ۲$$

ترسیب آهک از محلول خاک مهمترین عاملی است که منجر به تلفات قابل توجه غلظت کلسیم محلول می شود (رابطه ۳).



همچنین هوازدهگی معدنی کربناتهای خاک بر میزان SAR آب خاک موثر است (رودز، ۱۹۶۸). عمده مطالعات گذشته در این رابطه بر پیش بینی غلظت نهایی (تعادلی) کلسیم با فرض اینکه منیزیم تنها تحت شرایط نادری رسوب می کند متمرکز شده اند (سوارز، ۱۹۸۱). این غلظت تعادلی کلسیم با نسبت عکس کسر آبشویی که در روابط ۱ و ۲ آمده است ارتباطی ندارد و برای تخمین غلظت آن باید از واکنشهای شیمیایی که در حضور کربناتها اتفاق می افتد استفاده شود.

^۲ Langelier Saturation Index

^۱ Leaching Fraction (LF)

برای به دست آوردن همبستگی‌هایی بین قدرت یونی (IS) و هدایت الکتریکی (EC) و یا بین جمع کاتیونها (SC) و IS استفاده شدند.

برای ارزیابی صحت و اعتبار روابط حاصله، بخشی از نتایج یک آزمایش لایسمتری نیز استفاده شد. در این آزمایش لایسمتری به طور خلاصه، ۳۶ لایسمتر استوانه‌ای با قطر داخلی ۴۰ و ارتفاع ۱۸۰ سانتیمتر به طور همگن با یک خاک لوم شنی پر شدند (هاشمی‌نژاد و غلامی، ۱۳۸۷) به این منظور خاک تا رطوبت ۱۲ درصد مرطوب و سپس در فواصل ۱۰ سانتی متری با جرم مخصوص ۱/۳۵ گرم بر سانتی متر مکعب با مقدار خاک محاسبه شده پر گردید. در داخل ستونها گیاه یونجه (*Medicago Sativa L.*) کشت شد و با دقت با یک آب شور طبیعی ($EC = 14 \text{ dS m}^{-1}$) که شوری آن به وسیله آب لوله کشی در سطوح مورد نظر (۲، ۷ و ۱۳ دسی زیمنس بر متر) تنظیم می شد، آبیاری گردید. مقدار آب مورد نیاز برای حصول کسر آشویی مورد نظر (۱۲، ۲۵ و ۵۰ درصد) با یک ترازوی دیجیتال با دقت توزین می شد و پس از ۴۸ ساعت آب زهکش شده دو باره توزین می گردید. انحراف احتمالی در میزان کسر آشویی حاصله در آبیاری بعدی متوازن می شد. در این مقاله نتایج مربوط به شوری آب آبیاری ۲ دسی زیمنس بر متر ارایه شده است که در این مورد شرایط شبه ماندگار در طی سال اول آزمایش حاصل شد. نمونه های آب آبیاری و همچنین آب زهکش برای تجزیه های آزمایشگاهی برداشت شدند. از بین نمونه های آب زهکش موجود تعداد ۳۰ نمونه در این مرحله انتخاب شدند که ترکیب کامل آب آبیاری آنها نیز موجود بود.

مقادیر واقعی SAR آب زهکش از روی تجزیه شیمیایی محاسبه شد و سپس روابط بین SAR_{iw} و SAR_{dw} که با روشهای مختلف تصحیح شده بود به دست آمد. روشهایی که برای تصحیح در این مقاله استفاده شده اند شامل رابطه ۱، رابطه باور و همکاران (۱۹۶۵)، جداول راهنمای شینبرگ و اوستر (۱۹۷۴)، جداول راهنمای آیرز و وستکات (۱۹۸۹) و روش جبری لش و سوارز (۲۰۰۹) می باشند. بدیهی است به دلیل اینکه روش سوارز (۱۹۸۱) بطور مشابه در روش آیرز و وستکات (۱۹۸۹) نیز مورد استفاده قرار گرفته است، از این دو روش نتایج مشابهی حاصل می شود. نهایتاً در این مقاله از رابطه بومی حاصل از مرحله ۱ برای محاسبه قدرت یونی به جای رابطه ۸ استفاده شده است. که در نتیجه تغییراتی در روشهای باور و همکاران (۱۹۶۵) و نیز لش و سوارز (۲۰۰۹) ایجاد شده است.

باور و همکاران (۱۹۶۵) جداول راهنمایی را ارایه نمودند. همچنین آیرز و وستکات (۱۹۸۹) در نشریه شماره ۲۹ آبیاری و زهکشی فائو، بر مبنای مفهوم ارایه شده به وسیله سوارز (۱۹۸۱)، جداول راهنمایی را برای اصلاح نسبت جذب سدیم ارایه نمودند.

به منظور ساده سازی در انجام محاسبات زیاد و نیز فراهم آوردن امکان محاسبه در نرم افزارهای صفحه گسترده مانند اکسل، بدون نیاز به نرم افزاری خاص و یا جداول راهنما، لش و سوارز (۲۰۰۹) روشی جبری برای محاسبه پارامتر Ca_{eq} پیشنهاد نمودند. در این روش قدرت یونی را می توان بر مبنای رابطه ۸ محاسبه کرد و سپس مقدار IS محاسبه شده برای به دست آوردن $\log(X)$ بر اساس رابطه ۹ به جای جداول راهنما استفاده می شود.

$$\log(X) = \frac{1}{3} \left[4.6629 + 0.6103 \log(IS) + 0.0844 \{\log(IS)\}^2 + 2 \log\left(\frac{Ca}{2HCO_3}\right) \right] \quad 9$$

سپس غلظت تعادلی کلسیم (بر مبنای واحد میلی اکیوالان در لیتر) را می توان با استفاده از رابطه زیر به دست آورد:

$$Ca_{eq} = 2 \times X \times (P_{CO_2})^{1/3} \quad 10$$

که P_{CO_2} در این رابطه نشان دهنده فشار جزئی گاز CO_2 در خاک نزدیک به سطح است که فرض شده است معادل ۰/۰۰۰۷ اتمسفر باشد.

در این مقاله رابطه بین SAR آب آبیاری و SAR آب زهکش بررسی شده است و همچنین از روابط گوناگونی که تا کنون پیشنهاد شده اند استفاده شده تا به وسیله آنها بتوان نسبت جذب سدیم در آب آبیاری را به مقادیر متناظرش در آب زهکش مرتبط ساخت. مناسب ترین روابط می توانند در پیش بینی خطر سدیم اضافی در خاک راه گشا باشند.

مواد و روشها

یک مجموعه ۱۱۶ تایی از نتایج تجزیه شیمیایی آب برای به دست آوردن روابط پایه استفاده شد. این نتایج شامل اندازه گیری EC و pH و غلظت یونهای محلول بود. غلظت SO_4^{2-} هر جا که تفاوت قابل ملاحظه ای بین نتایج تجزیه شیمیایی با مقدار تخمین زده وجود داشت از روی تفاضل مجموع غلظت کاتیونها و آنیونها تخمین زده می شد. نمونه های آب شامل آبهای سطحی، آبهای زیرزمینی و آب زهکش از استانهای مختلف کشور بودند که برای آبیاری استفاده می شدند. این نتایج تجزیه شیمیایی برای

نتایج و بحث

شبیبه آنچه که در رابطه ۸ آمده است، همبستگی بین قدرت یونی و مجموع کاتیونها برای ۱۱۶ نمونه آب مورد استفاده در این آزمایش نیز (شکل ۱) به طور قابل ملاحظه‌ای قوی بود ($R^2 = 0.99$). این همبستگی که در رابطه ۱۱ نشان داده شده است برای طیف وسیعتری از شوری آب که در ایران مشاهده می شود قابل استفاده است و به دلیل همبستگی قوی آن می توان به جای رابطه ۸ در صورت لزوم از رابطه بومی ۱۱ نیز استفاده کرد.

$$1000IS = 1.398C + 1.0058 \quad 11$$

جدول ۱ ترکیب شیمیایی ۳۰ نمونه آب آبیاری و آب زهکش مربوطه را که در آزمایش لایسمتری به دست آمده است نشان می دهد. جدول ۲ روابط بین SAR_{iw} و SAR_{dw} که بر مبنای شکل اصلی آن و اصلاح شده به روشهای مختلف است را نشان می دهد.

نتایج نشان می دهند که در صورتی که نسبت جذب سدیم در آب آبیاری اصلاح نشود در شرایط شبه ماندگار این آزمایش هیچ رابطه ای بین SAR_{iw} و SAR_{dw} وجود نخواهد داشت. بیشترین بهبود در ضریب R^2 زمانی رخ می دهد که غلظت کاتیونها بر کسر آبشویی تقسیم می شوند (رابطه ۱). در حالی که تصحیح به روشهای باور و همکاران (۱۹۶۵) و نیز شینبرگ و اوستر (۱۹۷۴) که دارای اصالت مشترکی هستند نتوانسته است همبستگی را بهبود بخشد. روشهای پیشنهادی لش و سوارز (۲۰۰۹) و آیرز و وستکات (۱۹۸۹) نیز که دارای اصالت مشترکی هستند نیز دارای دقتی مشابه رابطه ۱ در پیش بینی نسبت جذب سدیم در آب زهکش بوده اند.

این نقطه امید بخشی است چرا که روش لش و سوارز را می توان به راحتی در نرم افزارهای صفحه گسترده مانند اکسل برای محاسبات مکرر به کار برد. استفاده از روابط بومی (رابطه ۱۱) در روابط باور و همکاران (۱۹۶۵) و نیز لش و سوارز (۲۰۰۹) در این مورد نتوانست باعث بهبود ضریب همبستگی در تخمین نسبت جذب سدیم آب زهکش شود. در نتیجه در صورتی که حتی داده های بومی موجود نباشند می توان با اطمینان از رابطه موجود (رابطه ۸) برای پیش بینی قدرت یونی استفاده کرد.

نتیجه گیری

برای پیش بینی اثرات آبیاری با آبهای دارای سدیم اضافی بر سیستم خاک و گیاه می توان از ترکیب شیمیایی آب آبیاری استفاده کرد تا نسبت جذب سدیم را در آب زهکش و در نتیجه محلول خاک تخمین زد (سوارز، ۱۹۸۱). در سیستم خاک به دلیل جذب آب به وسیله ریشه گیاهان رابطه بین SAR آب آبیاری و SAR محلول خاک

تابع کسر آبشویی است. تاثیر کسر آبشویی بر ترکیب محلول خاک در طولانی مدت و شرایط ماندگار مشخص می باشد (باور، ۱۹۶۱)، لذا برای تخمین نسبت جذب سدیم در آب زهکش در شرایط شبه ماندگار این آزمایش کافی است که مقدار واقعی کسر آبشویی مشخص باشد تا بتوان با استفاده رابطه ۱ آن را با دقت قابل قبول تخمین زد. تصحیح های پیچیده تری که بر مبنای شیمی کربناتها پیشنهاد شده اند نتوانستند در این مورد دقت تخمین را افزایش دهند.

برای تخمین قدرت یونی از روی مجموع غلظت کاتیونها در آب آبیاری با توجه به ترکیب شیمیایی ۱۱۶ نمونه آب آبیاری کشور، رابطه ۱۱ پیشنهاد شده است که هم از لحاظ ضریب همبستگی و هم از لحاظ شیب رابطه حاصله با روش باور و همکاران (۱۹۶۵) قابل مقایسه است. این گونه روابط بومی در صورت موجود بودن می توانند استفاده شوند بدون اینکه از دقت تخمین نهایی کم شود ولی در صورت موجود نبودن این روابط و برای اجتناب از محاسبات پیچیده می توان از رابطه پذیرفته شده جهانی ۸ به راحتی استفاده کرد.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آب آبیاری و آب زهکش به همراه قدرت یونی (IS) وشکل اصلاح شده نسبت جذب سدیم* به روشهای مختلف (SAR_v-SAR_v) و کسر آبشویی (LF) که در هر آزمایش حاصل شده است

شماره آزمایشگاه															واحد	پارامتر	آب آبیاری	
۱۴۳	۱۴۳	۱۴۳	۱۳۶	۱۳۶	۱۳۶	۱۳۶	۱۳۶	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۲۳	۲۸			
۲۰۱۰	۲۰۱۰	۲۰۱۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۵۰	۲۰۵۰	۲۰۵۰	۲۰۵۰	۲۰۵۰	۲۰۵۰	۲۰۵۰	۱۹۷۰	(dS m ⁻¹)*10 ³	EC	آب آبیاری
۴/۶۵	۴/۶۵	۴/۶۵	۷/۳۰	۷/۳۰	۷/۳۰	۷/۳۰	۷/۳۰	۷/۳۱	۷/۳۱	۷/۳۱	۷/۳۱	۷/۳۱	۷/۳۱	۷/۳۱	۶/۷۵	۶/۰۰	Ca	
۷/۴۰	۷/۴۰	۷/۴۰	۵/۲۵	۵/۲۵	۵/۲۵	۵/۲۵	۵/۲۵	۵/۳۳	۵/۳۳	۵/۳۳	۵/۳۳	۵/۳۳	۵/۳۳	۵/۳۳	۵/۵۲	۵/۶۱	Mg	
۶/۷۲	۶/۷۲	۶/۷۲	۶/۴۰	۶/۴۰	۶/۴۰	۶/۴۰	۶/۴۰	۶/۷۲	۶/۷۲	۶/۷۲	۶/۷۲	۶/۷۲	۶/۷۲	۶/۷۲	۷/۳۷	۷/۳۷	Na	
۱۲/۳۱	۱۲/۳۱	۱۲/۳۱	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۱/۹۹	۱۱/۹۹	۱۱/۹۹	۱۱/۹۹	۱۱/۹۹	۱۱/۹۹	۱۱/۸۸	۲۲/۶۵	۲۲/۶۵	Cl	
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۰۰	۰/۴۰	CO ₃	
۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۲۲	۳/۲۲	۳/۲۲	۳/۲۲	۳/۲۲	۳/۰۸	۳/۰۸	۳/۰۸	۳/۰۸	۳/۰۸	۳/۰۸	۳/۰۸	۳/۶۶	۱/۹۵	HCO ₃	
۳/۶۹	۳/۶۹	۳/۶۹	۴/۴	۴/۴	۴/۴	۴/۴	۴/۴	۴/۵۴	۴/۵۴	۴/۵۴	۴/۵۴	۴/۵۴	۴/۵۴	۴/۵۴	۵/۸۳	۲/۹۳	SO ₄	
۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۳	۰/۰۳۱	mol L ⁻¹	IS	
۲/۷۴	۲/۷۴	۲/۷۴	۲/۵۵	۲/۵۵	۲/۵۵	۲/۵۵	۲/۵۵	۲/۶۷	۲/۶۷	۲/۶۷	۲/۶۷	۲/۶۷	۲/۶۷	۲/۶۷	۲/۹۸	۳/۰۶	SAR _{iw}	
۳/۸۵	۳/۸۶	۶/۷۶	۳/۶۱	۳/۶۰	۳/۵۹	۳/۶۰	۶/۳۱	۳/۷۷	۳/۷۷	۳/۷۶	۳/۷۷	۶/۶۰	۴/۱۸	۴/۰۵	۴/۰۵	SAR ₁		
۴/۴۷	۴/۴۹	۸/۳۵	۴/۷۶	۴/۷۵	۴/۷۴	۴/۷۶	۹/۲۱	۴/۹۵	۴/۹۴	۴/۹۲	۴/۹۵	۹/۵۹	۵/۴۵	۴/۷۹	۴/۷۹	SAR ₂		
۴/۴۸	۴/۵۰	۸/۳۶	۴/۷۷	۴/۷۷	۴/۷۵	۴/۷۷	۹/۲۲	۴/۹۷	۴/۹۶	۴/۹۴	۴/۹۶	۹/۶۰	۵/۴۲	۴/۸۳	۴/۸۳	SAR ₃		
۶/۱۷	۶/۱۷	۶/۱۷	۵/۸۷	۵/۸۷	۵/۸۷	۵/۸۷	۵/۸۷	۶/۲۴	۶/۲۴	۶/۲۴	۶/۲۴	۶/۲۴	۶/۲۴	۶/۲۴	۶/۲۴	۶/۵۱	SAR ₄	
۶/۱۷	۶/۱۷	۶/۱۷	۵/۸۷	۵/۸۷	۵/۸۷	۵/۸۷	۵/۸۷	۶/۲۴	۶/۲۴	۶/۲۴	۶/۲۴	۶/۲۴	۶/۲۴	۶/۲۴	۶/۲۴	۶/۵۱	SAR ₅	
۶/۱۴	۶/۱۴	۶/۱۴	۵/۸۵	۵/۸۵	۵/۸۵	۵/۸۵	۵/۸۵	۶/۲۲	۶/۲۲	۶/۲۲	۶/۲۲	۶/۲۲	۶/۲۲	۶/۲۲	۶/۲۲	۶/۴۹	SAR ₆	
۴/۴۷	۴/۴۹	۸/۳۵	۴/۷۶	۴/۷۵	۴/۷۳	۴/۷۵	۹/۲۱	۴/۹۵	۴/۹۴	۴/۹۲	۴/۹۴	۹/۵۹	۵/۴۴	۴/۷۸	۴/۷۸	۴/۷۸	SAR ₇	
۳۵۷۰	۳۶۹۰	۹۲۸۰	۳۹۰۰	۳۳۸۰	۲۶۷۰	۳۶۳۰	۱۰۰۴۰	۳۹۴۰	۳۷۱۰	۲۶۲۰	۳۵۸۰	۸۰۱۰	۳۶۵۰	۲۵۶۰	۲۵۶۰	(dS m ⁻¹)*10 ³	EC	آب زهکش مربوطه
۸/۲۸	۸/۲۲	۸/۰۴	۷/۸۲	۷/۷۵	۷/۲۷	۷/۳۷	۷/۹۹	۸/۰۳	۷/۹۸	۷/۹۹	۷/۸۷	۸	۸/۱۲	۷/۹۸	۷/۹۸	-	pH	
۰/۳۴	۰/۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۷۴	۰/۷۲	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۰/۵۸	۰/۳	۰/۳	CO ₃		
۳/۸۹	۴/۶۶	۲/۵۵	۴/۱۷	۴/۱۵	۵/۳	۵/۳۷	۳	۳/۳۳	۳/۸۵	۳/۱	۳/۷۹	۳/۰۳	۵/۶۹	۵/۳۵	۵/۳۵	HCO ₃		
۲۲/۸۴	۲۳/۳	۷۰/۱۲	۲۴/۸۵	۲۱/۰۵	۲۰/۳۱	۲۲/۶۵	۸۱/۲۲	۲۵/۶۶	۲۳/۵	۱۹/۷۳	۲۲/۶	۶۴	۲۲/۱۹	۱۸/۹۳	۱۸/۹۳	Cl		
۰	۰	۲۵/۱۱	۰	۰	۰	۰	۲۲/۱۱	۲/۹۸	۷/۷۱	۷/۰۹	۹/۴۷	۹/۹۷	۰	۳/۸۱	۳/۸۱	SO ₄		
۹/۴	۹/۱	۱۳/۷۵	۱۳/۸	۱۲/۲۲	۱۲/۴۹	۱۳/۲۵	۴۳/۸۶	۱۴/۳	۴/۱۵	۱۱/۸	۱۳/۲	۳۰/۵۸	۱۳/۶۱	۱۱/۶	۱۱/۶	Ca		
۱۰/۴	۱۰/۹	۵۲/۳۳	۸/۹۵	۷/۲۸	۶/۸۱	۸/۱	۳۰/۷۶	۸/۸۲	۷/۵۵	۶/۸	۸/۶	۲۳/۶۲	۶/۲۴	۲/۶۵	۲/۶۵	Mg		
۱۲/۸۳	۱۳/۸۲	۳۲/۰۲	۱۴/۳۳	۱۱/۸۸	۱۱/۸۸	۱۳/۳۲	۳۰/۴۷	۱۴/۳۳	۱۲/۸۳	۱۰/۹۵	۱۳/۳۲	۲۷/۵	۱۳/۸۲	۱۲/۸۳	۱۲/۸۳	Na		
۱/۲۱	۱/۶۹	۳/۰۳	۱/۴۶	۱/۱۴	۱/۶۹	۱/۵۹	۲/۸۳	۱/۴۵	۱/۲۵	۱/۱۷	۱/۳۴	۲/۸۸	۱/۲۴	۱/۳۱	۱/۳۱	K		
۰/۰۴۱	۰/۰۴۲	۰/۱۴۵	۰/۰۴۵	۰/۰۳۹	۰/۰۳۹	۰/۰۴۳	۰/۱۵۵	۰/۰۴۹	۰/۰۵۱	۰/۰۴۴	۰/۰۵۲	۰/۱۱۳	۰/۰۴۲	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	mol L ⁻¹	IS	
۴/۰۸	۴/۳۷	۵/۵۷	۴/۲۵	۳/۸۰	۳/۸۲	۴/۰۸	۴/۹۹	۴/۲۱	۳/۹۰	۳/۵۹	۴/۰۳	۵/۲۸	۴/۳۹	۴/۸۱	۴/۸۱	(meq L ⁻¹) ^{1/2}	SAR _{dw}	
۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۱۶	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۱۶	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۱۶	۰/۵۱	۰/۵۷	۰/۵۷	کسر آبشویی		

جدول ۱- ادامه

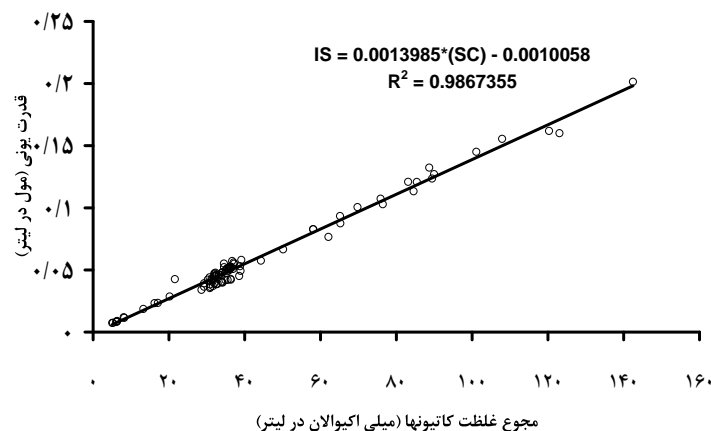
شماره آزمایشگاه														واحد	پارامتر	آب آبیاری		
۲۳۱	۲۲۵	۲۱۸	۲۱۲	۲۱۲	۲۰۶	۲۰۰	۱۸۱	۱۶۷	۱۶۷	۱۶۱	۱۴۹	۱۴۹	۱۴۳	۱۴۳				
۱۹۶۰	۲۰۶۰	۲۰۴۰	۱۹۸۰	۱۹۸۰	۲۰۱۰	۲۰۱۰	۱۹۸۰	۱۹۷۰	۱۹۷۰	۱۹۸۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۱۰	(dS m ⁻¹)*10 ³	EC	آب آبیاری	
۷/۶۵	۷/۱۵	۷/۵۰	۷/۲۶	۷/۲۶	۷/۶۸	۷/۳۰	۶/۶۵	۷/۱۰	۷/۱۰	۷/۱۵	۴/۲۸	۴/۲۸	۴/۶۵	۴/۶۵	meq L ⁻¹	Ca		
۴/۹۵	۵/۶۰	۵/۲۵	۴/۸۹	۴/۸۹	۵/۱۷	۴/۵۵	۵/۹۸	۵/۶۶	۵/۶۶	۴/۷۰	۶/۳۷	۶/۳۷	۷/۴۰	۷/۴۰		Mg		
۶/۷۲	۷/۰۴	۷/۳۷	۶/۸۱	۶/۸۱	۷/۰۳	۶/۷۲	۷/۰۴	۶/۷۲	۶/۷۲	۶/۷۲	۶/۷۲	۶/۷۲	۶/۷۲	۶/۷۲		Na		
۱۱/۵	۱۲/۱۶	۱۱/۹۶	۱۱/۵	۱۱/۵	۱۱/۹۲	۱۱/۷	۱۱/۶۵	۱۱/۶۵	۱۱/۶۵	۱۱/۶۲	۱۱/۶۲	۱۱/۶۲	۱۲/۳۱	۱۲/۳۱		Cl		
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۰۰	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۰۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۰۰	۰/۰۰		CO ₃		
۳/۰۸	۳/۱۷	۲/۵۰	۳/۰۲	۳/۰۲	۲/۷۰	۲/۶۵	۳/۳۴	۲/۸۳	۲/۸۳	۳/۴۵	۲/۹۰	۲/۹۰	۳/۰۰	۳/۰۰		HCO ₃		
۵/۳۶	۵/۱۵	۶/۱	۴/۹	۴/۹	۵/۵۶	۵/۶۲	۵/۳۵	۵/۳۵	۵/۳۵	۴/۲۶	۲/۸۹	۲/۸۹	۳/۶۹	۳/۶۹		SO ₄		
۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۳۰	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۳۰	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۷	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۷	۰/۰۲۷		mol L ⁻¹		IS
۲/۶۸	۲/۷۹	۲/۹۲	۲/۷۶	۲/۷۶	۲/۷۷	۲/۷۶	۲/۸۰	۲/۶۶	۲/۶۶	۲/۷۶	۲/۹۱	۲/۹۱	۲/۷۴	۲/۷۴		(meq L ⁻¹) ^{1/2}		SAR _{iw}
۶/۶۱	۶/۸۹	۷/۲۱	۴/۳۳	۴/۳۳	۶/۸۵	۶/۸۲	۶/۹۲	۳/۷۵	۶/۵۷	۶/۸۲	۴/۱۱	۷/۱۹	۳/۸۶	۳/۸۶			SAR ₁	
۹/۸۹	۹/۸۴	۱۰/۴۹	۵/۹۰	۱۰/۰۹	۱۰/۱۰	۱۰/۲۲	۹/۵۹	۴/۸۲	۹/۳۲	۱۰/۲۰	۴/۷۹	۸/۹۷	۴/۴۹	۴/۴۹	SAR ₂			
۸/۱۹	۸/۲۵	۸/۸۲	۵/۹۳	۱۰/۱۲	۱۰/۰۷	۱۰/۲۱	۹/۶۰	۴/۸۲	۹/۳۲	۱۰/۲۰	۴/۶۷	۷/۵۶	۴/۵۰	۴/۵۰	SAR ₃			
۶/۱۰	۶/۳۹	۶/۵۳	۶/۳۳	۶/۳۳	۶/۳۴	۶/۲۶	۶/۴۸	۶/۱۱	۶/۱۱	۶/۳۷	۶/۶۳	۶/۶۳	۶/۱۷	۶/۱۷	SAR ₄			
۶/۱۰	۶/۳۹	۶/۵۳	۶/۳۳	۶/۳۳	۶/۳۴	۶/۲۶	۶/۴۸	۶/۱۱	۶/۱۱	۶/۳۷	۶/۶۳	۶/۶۳	۶/۱۷	۶/۱۷	SAR ₅			
۶/۰۸	۶/۳۷	۶/۵۱	۶/۳۱	۶/۳۱	۶/۳۲	۶/۲۴	۶/۴۶	۶/۰۹	۶/۰۹	۶/۳۵	۶/۶۱	۶/۶۱	۶/۱۴	۶/۱۴	SAR ₆			
۹/۸۹	۹/۸۴	۱۰/۴۸	۵/۸۹	۱۰/۰۹	۱۰/۰۹	۱۰/۲۲	۹/۵۹	۴/۸۱	۴/۸۱	۱۰/۱۹	۴/۷۹	۸/۹۷	۴/۴۹	۴/۴۸	SAR ₇			
۷۸۱۰	۷۹۳۰	۷۱۰۰	۳۷۷۰	۸۳۱۰	۶۷۸۰	۹۷۰۰	۶۱۹۰	۳۶۴۰	۳۶۴۰	۸۰۷۰	۲۶۵۰	۸۲۷۰	۳۷۰۰	۲۶۶۰	(dS m ⁻¹)*10 ³	EC	آب زهکش مربوطه	
۸/۰۶	۷/۹۶	۸/۱	۸/۳	۸/۱۶	۸/۰۸	۸/۰۲	۸/۱۱	۸/۱۴	۸/۱۴	۷/۹۸	۸/۲۵	۸/۱	۸/۳۷	۸/۳۱	-	pH		
۰	۰	۰	۰/۴	۰/۲	۰	۰	۰	۰/۳۲	۰/۳۲	۰	۰/۴۴	۰	۰/۳	۰/۶	meq L ⁻¹	CO ₃		
۱/۹۳	۲/۱۶	۱/۹	۲/۹۱	۱/۹	۲/۲	۲/۰۹	۱/۹	۳/۳۹	۳/۳۹	۲/۳۵	۳/۴۹	۲/۲۵	۳/۷۷	۳/۲		HCO ₃		
۵۸	۵۸/۶۷	۵۲/۰۱	۲۴	۶۲/۶۵	۴۸/۹۲	۷۱/۳	۴۳/۷۶	۲۲/۸۵	۲۲/۸۵	۵۷/۶۵	۲۱/۳۹	۶۰/۳۵	۲۳/۶۱	۲۲/۳۸		Cl		
۲۳/۴۸	۲۱/۴۸	۱۹/۴۸	۱۱/۷۵	۱۳/۷۶	۲۰/۸	۲۳/۲۸	۱۸/۹۶	۱۲/۹۲	۱۲/۹۲	۲۲/۳۸	۰	۲۲/۳۸	۰	۰		SO ₄		
۳۰/۸۱	۳۱/۳۱	۲۷/۵۵	۱۳/۲۶	۳۰/۳۴	۲۶/۰۸	۳۶/۱۹	۲۲/۶۵	۱۲/۲۵	۱۲/۲۵	۳۰/۵	۶/۱۵	۳۲/۳	۹/۶۸	۱۰		Ca		
۲۱/۰۴	۲۱/۰۶	۱۸/۳۳	۸/۱۶	۲۱/۹۶	۱۷/۰۵	۲۴/۳۲	۱۵/۵	۹/۸۵	۹/۸۵	۲۲/۳۵	۹/۸۵	۲۴/۴۶	۱۰/۳۲	۹/۴۲		Mg		
۲۸/۹۶	۳۰/۴۷	۲۷/۶۴	۱۴/۳۳	۲۵/۲	۲۷/۸	۴۰/۲۵	۲۴/۶۹	۱۳/۳۲	۱۳/۳۲	۳۴/۰۳	۱۳/۳۲	۳۰/۴۷	۱۴/۸۵	۱۳/۳۲		Na		
۲/۳۳	۲/۵۸	۲/۳۳	۱/۴۲	۲/۳۳	۲/۳۷	۲/۰۳	۲/۲۹	۱/۶۵	۱/۶۵	۲/۵۸	۱/۶۴	۲/۷۳	۱/۵	۱/۲۹		K		
۰/۱۲۱	۰/۱۲۱	۰/۱۰۷	۰/۰۵۵	۰/۱۱۷	۰/۱۰۵	۰/۱۴۲	۰/۰۹۳	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	۰/۱۲۴	۰/۰۳۶	۰/۱۲۷	۰/۰۴۲	۰/۰۴۰		mol L ⁻¹	IS	
۵/۶۹	۵/۹۵	۵/۷۷	۴/۳۸	۶/۸۸	۵/۹۹	۷/۳۲	۵/۶۵	۴/۰۱	۴/۰۱	۶/۶۲	۴/۷۱	۵/۷۲	۴/۷۰	۴/۲۷		(meq L ⁻¹) ^{1/2}	SAR _{dw}	
۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۴۱	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۱۶	۰/۵۰	۰/۱۶	۰/۵۰	۰/۵۰	کسر آبتشویی			

* SAR₁ پیش بینی شده به وسیله رابطه (۱)، SAR₂ پیش بینی شده به وسیله روش جبری لث و سوارز (۲۰۰۹)، SAR₃ پیش بینی شده به وسیله جداول راهنمای آیرز و وستکات (۱۹۸۹)، SAR₄ پیش بینی شده به وسیله جداول راهنمای شینبرگ و اوستر (۱۹۷۴)، SAR₅ پیش بینی شده به وسیله روش جبری باور و همکاران (۱۹۶۵)، SAR₆ روش اصلاح شده باور و همکاران به وسیله رابطه (۱۱) و SAR₇ روش اصلاح شده لث و سوارز با استفاده از رابطه (۱۱).

جدول ۲- رابطه بین SAR_{dw} و SAR_{iw} در شکل اصلی آن و اصلاح شده به روشهای مختلف*

رابطه	معادله	R ²
$SAR_{iw} - SAR_{dw}$	$SAR_{dw} = 2.5722(SAR_{iw}) - 2.0712$	۰/۱۰۸
$SAR_1 - SAR_{dw}$	$SAR_{dw} = 0.5982(SAR_1) + 1.8935$	۰/۸۰۲۷
$SAR_2 - SAR_{dw}$	$SAR_{dw} = 0.3632(SAR_2) + 2.4356$	۰/۸۰۲۳
$SAR_3 - SAR_{dw}$	$SAR_{dw} = 0.3955(SAR_3) + 2.2935$	۰/۸۰۱۱
$SAR_4 - SAR_{dw}$	$SAR_{dw} = 1.1985(SAR_4) - 2.5325$	۰/۰۹۰۷
$SAR_5 - SAR_{dw}$	$SAR_{dw} = 1.201(SAR_5) - 2.5478$	۰/۰۹۰۹
$SAR_6 - SAR_{dw}$	$SAR_{dw} = 1.2033(SAR_6) - 2.5373$	۰/۰۹۰۱
$SAR_7 - SAR_{dw}$	$SAR_{dw} = 0.3632(SAR_7) - 2.4368$	۰/۸۰۲۴

* SAR_1 پیش بینی شده به وسیله رابطه (۱)، SAR_2 پیش بینی شده به وسیله روش جبری لث و سوارز (۲۰۰۹)، SAR_3 پیش بینی شده به وسیله جداول راهنمای آیرز و وستکات (۱۹۸۹)، SAR_4 پیش بینی شده به وسیله جداول راهنمای شینبرگ و اوستر (۱۹۷۴)، SAR_5 پیش بینی شده به وسیله روش جبری باور و همکاران (۱۹۶۵)، SAR_6 روش اصلاح شده باور و همکاران به وسیله رابطه (۱۱) و SAR_7 روش اصلاح شده لث و سوارز با استفاده از رابطه (۱۱).



شکل ۱- رابطه همبستگی بین قدرت یونی (IS) و مجموع غلظت کاتیونها (SC) برای ۱۱۶ نمونه آب مورد استفاده در این مطالعه

فهرست منابع

۱. هاشمی نژاد، ی. و غلامی، م. ۱۳۸۷، معرفی روش مناسب پر کردن ستونهای دست خورده خاک و ارزیابی آن جهت حصول محیط متخلخل همگن. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۲ شماره ۲: ۴۴۷-۴۵۵.
۲. Ayers, R. S. and Westcot, D. W. 1989. Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper 29 Rev. 1. Rome.
۳. Bower, C. A. 1961. Prediction of the effects of irrigation waters on soils. UNESCO Arid Zone Symposium "Salinity Problems in the Arid Zones" (Tehran, Iran): 215- 222.
۴. Bower, C. A., Wilcox, L. V. Akin, G. W. and Keyes, M. G. 1965. An index of the tendency of CaCO₃ to precipitate from irrigation waters. S.S.S.A. Proc. 29: 91-92.
۵. Lesch, S. M. and Suarez, D. L. 2009. Technical note: A Short note on calculating the adjusted SAR index. Transactions of the ASABE. 52(2): 493-496.
۶. Rhoades, J. D. 1968. Mineral weathering correction for estimating the sodium hazard of irrigation waters. S. S., S. A. Proc. 32: 648-652.
۷. Shainberg, I. and Oster, J. D. 1974. Quality of irrigation water. IIIC, Calif. USA.
۸. Suarez, D. L. 1981. Relation between pHc and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and an alternative method of estimating SAR of soil or drainage waters. S.S.S.A.J. 45: 469-475.
۹. United States Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook 60.