

بررسی و مقایسه آماری مدل‌های تجربی آبخوئی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌های شور و سدیمی (مطالعه موردی: استان خوزستان)

زهرا عبدالله‌پور^{۱*} و ابراهیم پذیرا^۲

(۱) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

(۲) استاد گروه خاکشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: zahraabdollahpour68@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۲۸

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۶/۱۸

چکیده

در مناطق خشک، همچون بیشتر نواحی ایران که دارای بارندگی کم و تبخیر زیاد می‌باشند، تجمع نمک‌ها در سطح و نیم‌رخ خاک امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. در خاک‌های شور و سدیمی به علت افزایش غلظت نمک‌های محلول در فاز محلول خاک، جذب آب به وسیله گیاه دچار اختلال شده که در نهایت باعث توقف و اثرات نامطلوب در رشد و نمو آن می‌گردد. نخستین گام برای بهسازی این خاک‌ها، کاهش شوری خاک تا حد بهینه از راه آبخوئی نمک‌ها و جلوگیری از ماندابی شدن زمین‌ها می‌باشد. در طرح‌های مطالعاتی، بررسی امکانات اصلاح فیزیکی و شیمیایی خاک‌های شور یا شور و سدیمی و تعیین میزان آب لازم برای آبخوئی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌ها از طریق آزمون‌های میدانی توصیه گردیده است. هر چند می‌توان با تقریب و دقت قابل قبولی با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رایانه‌ای نسبت به تعیین مقدار آب آبخوئی و زمان لازم برای آبخوئی اقدام کرد. برخی پژوهشگران به دلیل مشکلاتی که تغییرات مکانی و بژگی‌های خاک در مزرعه ایجاد می‌کنند، استفاده از مدل‌های تجربی را پیشنهاد داده‌اند. هدف از این تحقیق، ارزیابی و مقایسه آماری مدل‌های تجربی حاصله برای آبخوئی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌ها و معرفی مناسب‌ترین مدل تجربی برای استان خوزستان با مساحتی حدود ۶۴۰۵۷ کیلومتر مربع می‌باشد. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که مناسب‌ترین مدل برای محدوده مورد مطالعه مدل توانی و منطقه‌ای پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸) بوده است.

واژگان کلیدی: آبخوئی، خوزستان، شوری‌زدایی، مدل‌های تجربی.

مقدمه

شوری و سدیمی بودن خاک‌ها از جمله عوامل مؤثر در تخریب اراضی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آید (Katerji et al., 2005). براساس گزارش فائو (FAO) در سال ۲۰۰۰ میلادی وسعت کل اراضی شور و سدیمی جهان ۸۳۱ میلیون هکتار می‌باشد که شامل اراضی شور و سدیمی در آفریقا، آسیا، استرالیا و آمریکا است (Beltran and Manzur, 2005). بیشترین اراضی شور در قاره آسیا در پاکستان، ایران و ازبکستان قرار دارد (Siadat et al., 1997). براساس داده‌های موجود از کل ۱۶۵ میلیون هکتار زمین‌های سطح کشور، مساحتی حدود ۲۳/۵۰ میلیون هکتار یا ۱۴/۲۴ درصد از کل کشور، در مقادیر مختلف با مشکلات شوری، سدیمی بودن، زهداری و حالت ماندابی روبه‌رو می‌باشد. مهم‌ترین اثر نامطلوب شوری در خاک، افزایش غلظت نمک‌های محلول در فاز مایع خاک می‌باشد. در نتیجه، پدیده جذب آب به وسیله گیاه که مبتنی بر خاصیت اسمز است حتی در صورت وجود رطوبت کافی در خاک، متوقف و گاه حالت معکوس به خود می‌گیرد. علاوه بر این، برخی یون‌های موجود در عصاره اشباع خاک، مانند سدیم، کلسیم و بُر مسمومیت‌های خاصی را برای گیاهان به وجود می‌آورند. تأثیر منفی سدیم تبدلی بر کاهش رشد و نمو گیاهان را می‌توان به عواملی مانند مسمومیت گیاهی، عدم توازن مواد غذایی در گیاه و سرانجام افزایش میزان واکنش (pH) خاک نسبت داد، ضمن اینکه اثرهای سدیمی بودن بر ویژگی‌های فیزیکی خاک نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۵). شور شدن خاک‌ها به صورت طبیعی یا بر اثر فعالیت‌های انسان ایجاد می‌شود. بارندگی کم و تبخیر زیاد از جمله عوامل طبیعی شور شدن خاک‌ها می‌باشند (محمدزاده و همکاران، ۱۳۹۲). استفاده از آب‌های شور با کیفیت نامناسب و عدم مدیریت آبیاری و زهکشی، از جمله دلایل شوری و سدیمی بودن خاک‌ها هستند (Villa-Castorena et al., 2003). به دلیل اثرات سوئی که شور و سدیمی شدن بر روی خاک و گیاهان می‌گذارند، اصلاح و بهسازی خاک‌ها ضروری می‌باشند. اصول کلی اصلاح و بهسازی خاک‌های شور و سدیمی بر پایه آبشویی نمک‌های محلول و تراکم یافته، در منطقه توسعه ریشه‌ها است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۱). یکی از گزینه‌های مهم در آبشویی، تعیین دقیق حجم آب مورد نیاز با توجه به مسئله کمبود آب است. عمق آب لازم برای آبشویی نمک‌ها، به درجه شوری اولیه، بافت، عمق خاک، الگوی تناوب زراعی اصلاحی و روش آبشویی نمک‌های محلول بستگی دارد. در روش‌های متداول، تغییرات مقدار نمک‌ها با کاربرد مقادیر مختلف آب و تهیه نمونه‌های متعدد آب، خاک و زهاب بررسی می‌شود. اجرای این روش‌ها مستلزم صرف وقت، هزینه زیاد و آزمایش‌های میدانی است، اهمیت آبشویی سبب شده که مدل‌های تجربی گوناگونی برای تعیین و پیش‌بینی این فرآیند ارائه شوند (مشعل و همکاران، ۱۳۹۲).

پژوهشگران زیادی در ارتباط با تعیین مقدار آب لازم برای آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها، انواعی از مدل‌های تجربی با روابط ریاضی توابع هذلولی، توانی و نمایی را ارائه کردند که هر یک از این روابط بر پایه بافت خاک، مقدار شوری اولیه و شرایط محل اجرای آزمون‌های آبشویی تعیین شده‌اند (Hoffman, 1957; Pazira and Kawachi, 1981; Verma and Gupta, 1989; Revee, 1980; Dieleman, 1963; به منظور برآورد آب مورد نیاز آبشویی نمک‌های محلول در زمین‌های شور و سدیمی جنوب شرقی استان خوزستان که دارای بافت لومی رسی تا رسی سیلتی، شوری اولیه و شوری تعادلی به ترتیب $۳۶/۶۰-۴۶/۵۰$ و $۱/۷۴$ دسی زیمنس بر متر (dS/m) می‌باشد، مدل تجربی "توانی"^۱ با ضریب همبستگی $۰/۸۸$ ، خطای استاندارد $۰/۰۷$ و نسبت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به هدایت الکتریکی آب کاربردی (آبشویی) برابر $۱/۳۱$ ، را ارائه دادند. آبشویی در این پژوهش در چهار تناوب $۰/۲۵$ متری با عمق یک متر، به وسیله آب رودخانه زهره انجام گردیده است.

در پژوهشی دیگر، محسنی‌فر و همکاران (۱۳۸۵) در مطالعه دو منطقه در جنوب شرق استان خوزستان با بافت رسی سیلتی، مقادیر شوری اولیه $۴۲/۵۰-۷۸/۲۰$ دسی زیمنس بر متر (dS/m) و شوری تعادلی $۳/۱۰$ دسی زیمنس بر متر (dS/m)، مدل تجربی "معکوس" با ضریب همبستگی $۰/۹۲$ ، خطای استاندارد $۰/۷۸$ و نسبت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به هدایت الکتریکی آب کاربردی (آبشویی) برابر $۱/۵۳$ ، را ارائه دادند آبشویی در این پژوهش در چهار تناوب $۰/۲۵$ متری با عمق یک متر، به وسیله آب رودخانه زهره انجام گردیده است.

پاپن و گلابی (۱۳۸۹) در مطالعه منطقه شاور استان خوزستان با بافت لومی رسی سیلتی که دارای شوری اولیه $۶۶/۴۴-۹/۷۲$ دسی زیمنس بر متر (dS/m) و مقدار شوری تعادلی $۶/۳۴$ دسی زیمنس بر متر (dS/m) می‌باشد، به این نتیجه رسیدند که مدل تجربی "نمایی"^۲ با ضریب همبستگی $۰/۹۵$ ، خطای استاندارد $۰/۰۵$ ، نسبت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به هدایت الکتریکی آب کاربردی (آبشویی) برابر $۱/۸۰$ و آبشویی به وسیله آب رودخانه شاور و عمق آب آبشویی یک متر در چهار تناوب $۰/۲۵$ متری، مناسب بوده است.

رجب‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) به منظور برآورد آب مورد نیاز آبشویی در خاک‌های شور و سدیمی بخش میانی استان خوزستان با بافت رسی سیلتی، شوری اولیه $۲۹/۶۰-۱۰۴/۷۰$ دسی زیمنس بر متر (dS/m) و شوری تعادلی $۲/۲۰$ دسی زیمنس بر متر (dS/m) مدل تجربی "نمایی" با ضریب همبستگی $۰/۸۵$ ، خطای استاندارد $۰/۰۶$ ، نسبت هدایت الکتریکی

1_Power

2_Exponential

عصاره اشباع خاک به هدایت الکتریکی آب کاربردی (آبشویی) برابر $1/60$ را ارائه دادند. آبشویی در این پژوهش در چهار تناوب $0/25$ متری با عمق یک متر، به وسیله آب رودخانه کارون انجام گردیده است.

در پژوهشی اسدی و همکاران (۱۳۹۱) منطقه‌ای در جنوب استان خوزستان با بافت خاک لومی رسی سیلتی و رسی سیلتی، شوری اولیه $30/20-66/50$ دسی زیمنس بر متر (dS/m) و شوری تعادلی $5/23$ دسی زیمنس بر متر (dS/m) را مورد مطالعه قرار دادند و مدل تجربی "لگاریتمی"^۳ با ضریب همبستگی $0/92$ ، خطای استاندارد $0/07$ و نسبت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به هدایت الکتریکی آب کاربردی (آبشویی) برابر $1/80$ ، را ارائه دادند. آبشویی در این پژوهش در چهار تناوب $0/25$ متری با عمق یک متر، به وسیله آب رودخانه کارون انجام گردیده است.

محمدزاده و همکاران (۱۳۹۲) برای اراضی منطقه‌ای در جنوب غرب جلگه خوزستان با بافت لومی رسی سیلتی که دارای شوری اولیه و شوری تعادلی به ترتیب $12/50-46/50$ و $1/69$ دسی زیمنس بر متر (dS/m) بود، مدل تجربی "توانی" با ضریب همبستگی $0/90$ ، خطای استاندارد $0/44$ ، نسبت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به هدایت الکتریکی آب کاربردی (آبشویی) برابر $1/14$ را ارائه دادند. آبشویی در این پژوهش در چهار تناوب $0/25$ متری با عمق یک متر، به وسیله آب رودخانه کارون انجام گردیده است.

در پژوهشی بهبهانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) منطقه ویس استان خوزستان با بافت رسی، میزان شوری اولیه $5/71$ - $34/50$ دسی زیمنس بر متر (dS/m) و شوری تعادلی $2/85$ دسی زیمنس بر متر (dS/m) را مورد مطالعه قرار دادند و مدل تجربی "لگاریتمی" با ضریب همبستگی $0/67$ ، خطای استاندارد $0/15$ ، نسبت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به هدایت الکتریکی آب کاربردی (آبشویی) برابر $1/09$ را ارائه دادند. آبشویی در این پژوهش در چهار تناوب $0/25$ متری با عمق یک متر، به وسیله آب رودخانه کارون انجام گردیده است. همچنین در پژوهشی Kawachi و Pazira (۱۹۸۱) برای بخش مرکزی استان خوزستان که دارای بافت رسی سیلتی تا رسی، شوری اولیه $65/00$ تا $80/00$ دسی زیمنس بر متر (dS/m) و شوری تعادلی $2/00$ دسی زیمنس بر متر (dS/m) می‌باشد، مدل تجربی "معکوس"^۴ با ضریب همبستگی $0/86$ ، خطای استاندارد $0/12$ و نسبت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به هدایت الکتریکی آب کاربردی (آبشویی) برابر $1/60$ را ارائه دادند. آبشویی در این پژوهش در چهار تناوب $0/25$ متری با عمق یک متر، به وسیله آب رودخانه کارون انجام گردیده است.

3_Logarithmic

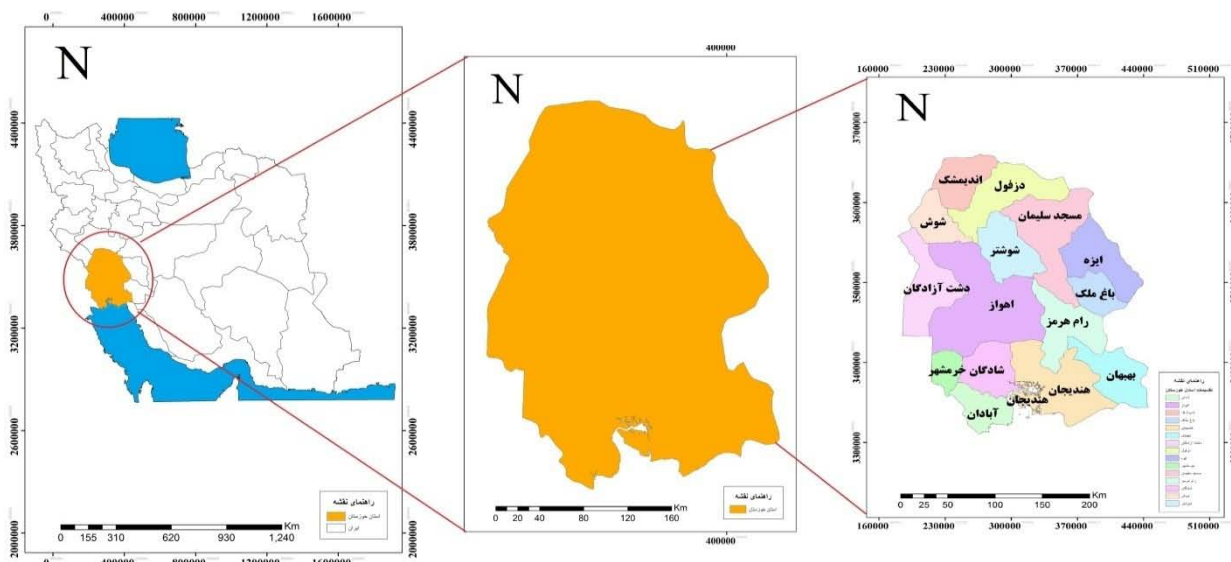
4_Inverse

باتوجه به موارد ذکر شده و اهمیت آبشویی در استان خوزستان، هدف از این تحقیق ارزیابی و مقایسه آماری مدل‌های تجربی حاصله برای آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌های شور و سدیمی این استان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان با مساحتی حدود ۶۴۰۵۷ کیلومترمربع، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی در جنوب غربی ایران واقع شده است. این استان از شمال غربی با استان ایلام، از شمال با استان لرستان، از شمال شرقی و شرق با استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب با خلیج فارس و از غرب با کشور عراق هم‌مرز می‌باشد. استان خوزستان را از نظر پستی و بلندی می‌توان به دو منطقه کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم کرد. منطقه کوهستانی در شمال و شرق استان قرار گرفته و منطقه جلگه‌ای آن از جنوب دزفول، مسجدسلیمان، رامهرمز و بهبهان آغاز شده و تا کرانه‌های خلیج فارس و اروندرود ادامه می‌یابد. براساس داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استان خوزستان حداقل مطلق درجه حرارت $۲۰/۰-$ درجه سانتی‌گراد و حداکثر مطلق درجه حرارت با $۴۰/۵۰$ درجه سانتی‌گراد در اهواز گزارش شده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور

مدل‌های مورد بررسی و روش‌های آماری

مدل‌های Pazira و Kawachi (۱۹۸۱)، پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸)، محسنی‌فر و همکاران (۱۳۸۵)، پاپن و گلابی

(۱۳۸۹)، رجب‌زاده و همکاران (۱۳۹۰)، اسدی و همکاران (۱۳۹۱)، محمدزاده و همکاران (۱۳۹۲) و بهبهانی‌زاده و

همکاران (۱۳۹۵) بدلیل اینکه ارقام و اعداد آنها قابل دستیابی بوده و بازنگری و راستی‌آزمایی نتایج آنها با توجه به ارقام و اعداد مورد نیاز امکان‌پذیر بوده است، انتخاب گردید که مشخصات مدل‌های مورد بررسی در (جدول ۱) آورده شده است. در ادامه این کار از آماره‌های خطای حداکثر، میانگین خطای اربیی، میانگین قدر مطلق خطا، خطای نسبی، جذر میانگین مربعات خطا، انحراف معیار یا انحراف استاندارد، ضریب تبیین، ضریب تغییرات، ضریب جرمی باقیمانده و کارایی مدل برای مقایسه میزان شوری نهایی مشاهده شده و شوری نهایی اندازه‌گیری شده که رابطه‌های آن در زیر آورده شده است، استفاده گردید. آماره خطای حداکثر معرف بدترین حالت عملکرد مدل است. کمترین میزان این آماره در شرایطی که مقادیر اندازه‌گیری شده و مشاهده شده مساوی باشند، صفر است. مقدار زیاد خطای حداکثر نشانگر بدترین حالت کارایی مدل است. این آماره با استفاده از (رابطه ۱) محاسبه می‌گردد:

جدول ۱: مشخصات مدل‌های شوری‌زدایی، روابط و ویژگی‌های خاک‌های مورد آزمون

نام مدل	سال ارائه	نوع رابطه	شکل معادله	ریاضی	نوع بافت خاک	مقادیر شوری اولیه (دسی زیمنس بر متر)	مقدار شوری تعادلی (دسی زیمنس بر متر)
Pazira Kawachi و	۱۹۸۱	معکوس	$y = a + \frac{b}{x}$	رسی سیلتی تا رسی		۸۰/۰۰-۶۵/۰۰	۲/۰۰
پذیرا و کشاورز	۱۳۷۸	توانی	$y = ax^b$	لومی رسی تا رسی سیلتی		۳۶/۴۶-۶۰/۵۰	۱/۷۴
محسنی‌فرو همکاران	۱۳۸۵	معکوس	$y = a + \frac{b}{x}$	رسی سیلتی		۷۸/۴۲-۲۰/۵۰	۳/۱۰
پاین و گلایی	۱۳۸۹	نمایی	$y = ae^{bx}$	لومی رسی سیلتی		۹/۶۶-۷۲/۴۴	۶/۳۴
رجب‌زاده همکاران و	۱۳۹۰	نمایی	$y = ae^{bx}$	رسی سیلتی		۱۰۴/۲۹-۷۰/۶۰	۲/۲۰
اسدی همکاران و	۱۳۹۱	لگاریتمی	$y = a + b \ln x$	لومی رسی سیلتی		۶۶/۳۰-۵۰/۲۰	۵/۲۳
محمدزاده همکاران و	۱۳۹۲	توانی	$y = ax^b$	لومی رسی سیلتی		۴۶/۵۰-۱۲/۵۰	۱/۶۹
بهبهانی‌زاده همکاران و	۱۳۹۵	لگاریتمی	$y = a + b \ln x$	رسی		۳۴/۵۰-۵/۷۰	۲/۸۵

$$ME = \max |P_i - O_i|_{i=1}^n$$

رابطه ۱:

که در آن P_i مقادیر برآورد یا همانندسازی شده، O_i مقادیر مشاهده‌ای، n تعداد نمونه‌ها و ME مقدار آماره خطای حداکثر می‌باشد.

میانگین خطای اریبی، شاخصی از مقایسه رقم‌ها و اعداد با مقادیر پایه است، به گونه‌ای که مقدار نزدیک به صفر آن، بیان‌کننده این است که میانگین مقادیر محاسبه شده و مشاهده شده، مشابه هستند. علامت مثبت آن نمایانگر برآورد بیشتر مدل و علامت منفی آن نشان‌دهنده برآورد کمتر مدل است. این آماره با استفاده از (رابطه ۲) محاسبه می‌گردد:

$$MBE = \sum_{i=1}^n [(P_i - O_i) / n] \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در آن P_i مقادیر برآورد یا همانندسازی شده، O_i مقادیر مشاهده‌ای، n تعداد نمونه‌ها و MBE میانگین خطای اریبی می‌باشد.

میانگین قدر مطلق خطا بیان‌کننده دقت مدل است که با افزایش دقت مدل، مقدار آن کم می‌شود. این آماره با استفاده از (رابطه ۳) محاسبه می‌گردد:

$$MAE = \sum_{i=1}^n [|P_i - O_i| / n] \quad \text{رابطه ۳:}$$

که در آن P_i مقادیر برآورد یا همانندسازی شده، O_i مقادیر مشاهده‌ای، n تعداد نمونه‌ها و MAE میانگین قدر مطلق خطا می‌باشد.

خطای نسبی آماره بعدی مورد بررسی در این پژوهش می‌باشد که هر چه کمتر باشد، برآورد مدل مناسب‌تر است. این آماره با استفاده از (رابطه ۴) محاسبه می‌گردد:

$$RE = (MAE / \bar{O}) \times 100 \quad \text{رابطه ۴:}$$

که در آن \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده، MAE میانگین قدر مطلق خطا و RE خطای نسبی می‌باشد. کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا که از (رابطه ۵) قابل محاسبه است در شرایطی که مقادیر اندازه‌گیری شده و مشاهده شده مساوی باشند، صفر می‌باشد و بیان‌کننده این است که مدل به چه میزان بیشتر یا کمتر از واقعیت، هدف را برآورد می‌کند.

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad \text{رابطه ۵:}$$

که در آن P_i مقادیر برآورد یا همانندسازی شده، O_i مقادیر مشاهده‌ای، n تعداد نمونه‌ها، \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده و $RMSE$ کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا می‌باشد.

کمترین میزان انحراف استاندارد با استفاده از (رابطه ۶) محاسبه می‌گردد و باید برابر صفر است.

$$SE = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2 \right]^{1/2} \quad \text{رابطه ۶:}$$

که در آن P_i مقادیر برآورد یا همانندسازی شده، n تعداد نمونه‌ها، \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده و SE کمترین میزان انحراف استاندارد می‌باشد.

ضریب تبیین که نسبت پراکنش مقادیر اندازه‌گیری شده و مشاهده شده را نشان می‌دهد با استفاده از (رابطه ۷) محاسبه می‌گردد. این آماره می‌تواند مقادیر منفی را نیز داشته باشد. اگر همه داده‌های برآورد شده و اندازه‌گیری شده یکسان باشند، مقدار این آماره برابر یک خواهد شد.

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad \text{رابطه ۷:}$$

که در آن P_i مقادیر برآورد یا همانندسازی شده، O_i مقادیر مشاهده‌ای، n تعداد نمونه‌ها، \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده و CD ضریب تبیین می‌باشد.

ضریب تغییرات که بیان‌کننده دقت مدل است و با افزایش دقت مدل، مقدار آن کم می‌شود، با استفاده از (رابطه ۸) تعیین می‌گردد:

$$C.V = (SE / \bar{O}) \times 100 \quad \text{رابطه ۸:}$$

که در آن \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده و CV ضریب تغییرات می‌باشد.

ضریب جرمی باقیمانده که شاخصی برای سنجش تمایل مدل به برآورد بیشتر یا کمتر از واقعیت است با استفاده از (رابطه ۹) محاسبه می‌گردد. ضریب جرمی باقیمانده منفی، بیانگر برآوردی بیشتر از واقعیت می‌باشد. اگر کلیه داده‌های اندازه‌گیری شده و مشاهده شده یکسان باشد مقدار این آماره برابر صفر خواهد شد.

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad \text{رابطه ۹:}$$

که در آن P_i مقادیر برآورد یا همانندسازی شده، O_i مقادیر مشاهده‌ای و CRM ضریب جرمی باقیمانده می‌باشد. کارایی مدل، مقادیر اندازه‌گیری شده را با میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند. مقدار منفی این آماره بیانگر این است که میانگین مقادیر مشاهده شده، برآوردی بهتر از مقادیر اندازه‌گیری شده به دست می‌دهد.

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{رابطه ۱۰:}$$

که در آن P_i مقادیر برآورد یا همانندسازی شده، O_i مقادیر مشاهده‌ای، \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده و EF کارایی مدل می‌باشد.

برای آزمون این مدل‌ها، با میانگین‌گیری از ارقام مندرج در (جدول ۱)، میزان شوری اولیه خاک ۳۱/۰۰ دسی زیمنس بر متر (dS/m) و شوری تعادلی خاک معادل ۲/۷۵ دسی زیمنس بر متر (dS/m) در نظر گرفته شد و سپس میزان شوری نهایی با استفاده از رابطه‌های موجود در هر مدل محاسبه گردید. در نهایت، از ارقام و اطلاعاتی که در قسمت قبل به مدل‌ها و آماره‌های آن‌ها اشاره شد، استفاده گردید.

نتایج و بحث

با فرض اینکه میزان شوری اولیه خاک ۳۱/۰۰ دسی زیمنس بر متر (dS/m) و شوری تعادلی خاک معادل ۲/۷۵ دسی زیمنس بر متر (dS/m) در نظر گرفته شود و آبشویی به صورت غرقاب متناوب صورت گیرد که در آن ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبشویی ناخالص در ۴ تناوب ۲۵ سانتی‌متری به کار برده شود، نسبت به محاسبه شوری نهایی عصاره اشباع خاک بر حسب دسی زیمنس بر متر اقدام و با استفاده از آماره‌های گفته شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج حاصل در (جدول ۲) آورده شده است.

جدول ۲: نتایج آماره‌های ریاضی مدل‌های مورد آزمون

آماره مدل	خطای حداکثر (ME)	میانگین خطای اریبی (MBE)	میانگین قدرمطلق خطا (MAE)	جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)	خطای نسبی (RE)	انحراف استاندارد (SE)	ضریب تبیین (CD)	ضریب تغییرات (CV)	ضریب جرمی باقی‌مانده (CRM)	کارایی مدل (EF)
Pazira و Kawachi (۱۹۸۱)	۸۱/۲۷	۲۰/۳۸	۲۰/۴۲	۲۸/۸۱	۷۶/۳۹	۱۰/۳۱	۰/۱۵	۳۸/۵۷	۲۶/۷۳	-۲/۷۷
پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸)	۸/۰۵	-۰/۱۰	۲/۶۸	۳/۳۰	۳۸/۷۳	۰/۷۰	۴/۶۹	۱۰/۱۹	۶/۹۱	-۰/۶۷
محسنی‌فرو همکاران (۱۳۸۵)	۱۱/۵۲	-۲/۱۵	۲/۸۷	۴/۴۳	۳۷/۳۳	۱/۱۴	۲/۶۶	۱۴/۸۶	۷/۶۹	-۰/۵۹
پاپن و گلابی (۱۳۸۹)	۲۱/۷۲	۳/۰۰	۱۰/۰۰	۱۱/۵۹	۴۴/۲۷	۲/۲۰	۰/۶۰	۹/۷۵	۲۲/۶	-۲/۲۸
رجب‌زاده و همکاران (۱۳۹۰)	۸/۷۷	-۱/۰۸	۱/۷۷	۲/۷۷	۲۴/۱۱	۰/۶۴	۳/۱۴	۸/۷۸	۷/۳۳	-۰/۵۸
اسدی و همکاران (۱۳۹۱)	۱۶/۹۲	-۶/۱۹	۶/۳۰	۷/۶۱	۸۴/۹۱	۲/۵۱	۰/۲۲	۳۳/۸۵	۷/۴۲	-۲/۰۱
محمدزاده و همکاران (۱۳۹۲)	۱۸/۷۸	-۶/۱۹	۸/۰۰	۱۰/۶۱	۵۲/۹۸	۲/۰۳	۲/۵۲	۱۳/۴۵	۱۵/۰۹	-۰/۲۳
بهبهانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵)	۱۱/۹۵	۰/۲۳	۵/۴۸	۶/۲۴	۴۴/۵۰	۰/۲۵	۲۹/۶۲	۱/۹۹	۱۲/۳۰	-۰/۵۵

خطای حداکثر (ME) مدل پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸) از همه مدل‌های بررسی شده، کمتر بوده و هرچه مقدار خطای حداکثر کمتر باشد آن مدل مناسب‌تر است. مقدار خطای حداکثر، نشان‌دهنده ناکارآمدی مدل است و کمترین مقدار این آماره زمانی که مقادیر اندازه‌گیری شده و مشاهده شده مساوی باشند برابر صفر است. میانگین خطای اریبی (MBE)، شاخصی از مقایسه رقم‌ها و اعداد با مقادیر پایه است به گونه‌ای که مقدار نزدیک به صفر آن، بیان‌کننده این است که مقادیر برآورد شده و مشاهده شده مشابه هستند که شاخص میانگین خطای اریبی مدل پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸) دارای مقداری نزدیک به صفر بوده است. علامت مثبت آن نمایانگر برآورد بیشتر مدل می‌باشد که مدل‌های پاپن و گلابی (۱۳۸۹)، Pazira و Kawachi (۱۹۸۱) و بهبهانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵)، دارای مقادیر مثبت بوده‌اند و علامت منفی آن نشان‌دهنده برآورد کمتر مدل بوده است که سایر مدل‌ها دارای مقادیر منفی بوده‌اند. میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، بیان‌کننده دقت مدل است و با افزایش دقت مدل، مقدار آن کم می‌شود که کمترین مقدار را مدل رجب‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) و مدل پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸) دارا بودند. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) نمایانگر این است که مقادیر

محاسبه شده به چه میزانی مقادیر مربوط را کمتر و یا بیشتر از مقادیر مشاهده شده برآورد می‌کند و نیز مدل به چه میزان مقادیر را، بیشتر یا کمتر از واقعیت برآورد می‌کند. انحراف استاندارد (SE)، هر چه کمتر باشد، مدل مناسب‌تر است که کمترین مقدار را بهبهانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵)، رجب‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) و مدل پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸) داشته‌اند. ضریب تبیین (CD) نسبت پراکنش مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد و می‌تواند مقادیر منفی را نیز داشته باشد. ضریب تغییرات (CV) نشان‌دهنده دقت مدل است و با افزایش دقت مدل، مقدار آن‌ها کم می‌شود که کمترین مقدار را مدل بهبهانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵)، مدل رجب‌زاده و همکاران (۱۳۹۰)، مدل پاپن و گلابی (۱۳۸۹) و مدل پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸)، دارا بودند. ضریب جرمی باقی‌مانده (CRM)، شاخصی برای سنجش تمایل مدل به برآورد بیشتر یا کمتر از واقعیت است که تمام مدل‌ها براساس این آماره، بیشتر از واقعیت برآورد کرده‌اند. کارایی مدل (EF)، بیانگر مقایسه بین مقادیر مشاهده شده و میانگین مقادیر محاسبه شده است. مقدار منفی کارایی مدل (EF)، بیانگر این است که میانگین مقادیر مشاهده شده، برآوردی بهتر از مقادیر اندازه‌گیری شده به دست می‌دهد. مدل‌های گلابی و همکاران (۱۳۸۹)، اسدی و همکاران (۱۳۹۱)، Pazira و Kawachi (۱۹۸۱) و بهبهانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) دارای مقادیر منفی بوده‌اند. مقدار منفی کارایی مدل بیانگر این است که میانگین مقادیر مشاهده شده، برآوردی بهتر از مقادیر اندازه‌گیری شده به دست می‌دهد.

با توجه به موارد مندرج در جدول (۲) و موارد بیان شده در بالا ملاحظه می‌گردد که مدل پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸) مناسب‌ترین مدل آبشویی منطقه به حساب آورده می‌شود. بنابراین با استفاده از مدل پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸)، میزان آب آبشویی و شوری نهایی را می‌توان از روابط زیر برآورد کرد:

$$\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}} = 0.0764 \left(\frac{D_{lw}}{D_s} \right)^{-0.864} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

که در آن EC_i هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک قبل از کاربرد و نفوذ عمق مشخصی از آب آبشویی D_{lw} (دسی زیمنس بر متر)، EC_f هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک بعد از کاربرد و نفوذ عمق مشخصی از آب آبشویی D_{lw} (دسی زیمنس بر متر) و EC_{eq} هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک که با آب آبیاری (آبشویی) به تعادل شیمیایی رسیده است. (دسی زیمنس بر متر)، D_s عمق یا ضخامت لایه خاک نسبت به سطح زمین (متر) و D_{lw} عمق خالص آب آبشویی و میزان آب که پس از تأمین کسر رطوبت خاک لایه مربوط، به طریق ثقلی و به صورت تراوش‌های عمقی از ستون خاک لایه مربوط خارج می‌شود (متر)، می‌باشد.

با استفاده از (رابطه ۱۱) مقدار شوری نهایی و میزان آب آبشویی مورد نیاز (خالص) را می‌توان به شرح زیر محاسبه کرد.

$$EC_f = \left((0.764(D_{lw} / D_s)^{-0.864} (EC_i - EC_{eq})) \right) + EC_{eq} \quad \text{رابطه ۱۲:}$$

$$D_{lw} = D_s \times \left[\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}} \times 13/15 \right]^{1/15} \quad \text{رابطه ۱۳:}$$

در روابط بالا علائم به کار رفته شده دارای معانی قبل است.

با استفاده از میزان شوری اولیه و میزان شوری تعادلی در هر مدل، برای کاهش میزان شوری خاک تا میزان شوری نهایی ۸ دسی زیمنس بر متر (dS/m) محاسبات انجام گردیده است که عمق آب آبشویی حاصله در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۳: عمق آب آبشویی مدل‌های بررسی شده*

محمدرزاده و همکاران (۱۳۹۲)	اسدی و همکاران (۱۳۹۱)	رجب‌زاده و همکاران (۱۳۹۰)	محسنی فر و همکاران (۱۳۸۵)	پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸)	پذیرا و کاوچی (۱۳۷۶)	ضخامت خاک (سانتی متر)
						Dlw (متر)
۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۱۶	۲۵-۰
۰/۲۴	۰/۳۲	۰/۴۷	۰/۳۳	۰/۲۱	۰/۳۲	۵۰-۰
۰/۳۷	۰/۴۸	۰/۷۱	۰/۴۹	۰/۳۱	۰/۴۹	۷۵-۰
۰/۴۹	۰/۶۵	۰/۹۴	۰/۶۶	۰/۴۲	۰/۶۵	۱۰۰-۰
۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۵۲	۰/۳۶	۰/۲۳	۰/۳۶	میانگین حسابی
۲	۳	۵	۴	۱	۴	رتبه

و سپس با استفاده از میزان شوری اولیه، میزان شوری تعادلی پیش گفته شده و میزان آب آبشویی ۱ متری، میزان شوری نهایی برای هر مدل محاسبه گردید که این مقادیر در (جدول ۴) آورده شده است.

*مدل‌های بهبهانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) و مدل پاپن و گلابی (۱۳۸۹) به دلیل برآورد غیرمنطقی آب آبشویی در مقابل سایر مدل‌ها از جدول بالا حذف گردیده است.

جدول ۴: میزان شوری نهایی مدل های بررسی شده

ضخامت خاک (سانتی متر)	Pazira و Kawachi (۱۹۸۱)	پذیرا کشاورز (۱۳۷۸)	و محسنی فر و همکاران (۱۳۸۵)	و رجبزاده همکاران (۱۳۹۰)	و اسدی همکاران (۱۳۹۱)	و محمدزاده و همکاران (۱۳۹۲)
EC _f (دسی زیمنس بر متر)						
۲۵	۳/۸۹	۹/۰۳	۲/۰۲	۲/۸۴	۶/۵۱	۳/۵۵
۵۰	۴/۴۱	۱۴/۱۸	۲/۶۱	۳/۴۹	۳/۲۳	۴/۳۰
۷۵	۴/۹۳	۱۸/۹۸	۳/۱۹	۴/۲۴	۳/۰۲	۵/۰۴
۱۰۰	۵/۴۵	۲۳/۵۶	۳/۷۸	۴/۸۷	۲/۸۴	۵/۷۶

در این پژوهش، هشت مدل بومی مقایسه گردید و در نهایت مشخص شد که مدل تجربی پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸) مناسبترین مدل شناخته شده و تطابق بیشتری با منطقه مورد مطالعه دارد. این مدل همچنین میزان آب مورد نیاز آبخوبی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک را کمتر برآورد می‌کند به طوری که با توجه به کمبود و اقتصاد منابع آب، دستاورد قابل توجهی به حساب می‌آید از نظر آماره‌های مورد بررسی نیز مدل پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸) دارای بهترین مقدارنسبت به سایر مدل‌ها بود. پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸) به این نتیجه دست یافتند که مدل‌های ارائه شده به وسیله Reeve (۱۹۵۷)، Leffelaar و sharma (۱۹۷۷)، Pazira و Kawachi (۱۹۸۱) با نتایج حاصل از آزمون‌های میدانی انجام شده در دشت هندیجان تطابق مناسبی ندارد. رجبزاده و همکاران (۱۳۹۰) نیز به این نتیجه رسیدند که مدل‌های Leffelaar و sharma (۱۹۷۷)، Hoffman (۱۹۸۰)، Pazira و Kawachi (۱۹۸۱)، پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸)، به ترتیب بعد از مدل نوین ارائه شده توسط ایشان، کمترین مقدار آب را برای آبخوبی خاک‌ها برآورد می‌نمایند. دیگر مدل‌های مورد مقایسه یعنی مدل‌های Reeve (۱۹۵۷)، Dieleman (۱۹۶۳) و Verma و Gupta (۱۹۸۹)، تناسب لازم را درخصوص برآورد آب مورد نیاز اصلاحی خاک‌های منطقه مورد مطالعه نشان نمی‌دهند.

اسدی و همکاران (۱۳۹۱) به این نتیجه رسیدند که مدل‌های محسنی فر و همکاران (۲۰۰۶)، پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸)، Verma و Gupta (۱۹۸۹) و Leffelaar و sharma (۱۹۷۷) به ترتیب پس از مدل پیشنهادی توسط ایشان، کمترین میزان آب لازم برای آبخوبی خاک را برآورد می‌کنند دیگر مدل‌های مورد مقایسه Hoffman (۱۹۸۰)، Reeve (۱۹۵۷) و Dieleman (۱۹۶۳) برآورد مناسبی از مقدار آب مورد نیاز آبخوبی در منطقه ارائه نمی‌دهند. محمدزاده و همکاران (۱۳۹۲) نتیجه گرفتند که مدل‌های Verma و Gupta (۱۹۸۹)، پذیرا و کشاورز (۱۳۷۸)، اسدی و همکاران (۱۳۹۱) و Dieleman (۱۹۶۳) مقدار آب آبخوبی را کم‌تر از مدل نوین ارائه شده توسط ایشان برآورد می‌کنند و نیز مدل‌های Pazira و Kawachi (۱۹۸۱)، Reeve (۱۹۵۷) مقدار آب آبخوبی خاک‌ها را کمی زیاده‌تر از مدل نوین ارائه شده توسط ایشان

برآورد می‌کنند و مدل رجب‌زاده و همکاران (۱۳۹۰)، Hoffman (۱۹۸۰) و Leffelaar و sharma (۱۹۷۷) فاقد تناسب لازم برای برآورد آب مورد نیاز اصلاح خاک‌های منطقه مورد مطالعه در مقایسه با مدل نوین بودند. Reeve (۱۹۵۷)، Dieleman (۱۹۶۳)، Hoffman (۱۹۸۰)، Pazira و Kawachi (۱۹۸۱) و Verma و Gupta (۱۹۸۹) در ارتباط با تعیین مقدار آب لازم برای آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها، انواعی از مدل‌های تجربی با روابط ریاضی توابع هذلولی، نمایی و توانی را ارائه کردند که هر یک از این روابط بر پایه بافت خاک، مقدار شوری اولیه و شرایط محل اجرای آزمون‌های آبشویی تعیین شده‌اند. Leffelaar و sharma (۱۹۷۷) بر مبنای این ایده کلی که از نظر علمی، داشتن برآوردهای کمی و کیفی از میزان آب مورد نیاز آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها با اهمیت است، موارد تهیه منحنی‌های شوری‌زدایی و یا شوری و سدیم‌زدایی انواع خاک‌های بسیار شور و سدیمی را تحقیق کردند. چون این مدل‌ها با شرایط منطقه‌ای استان خوزستان سازگاری ندارند، بنابراین کاربرد این مدل‌ها خالی از خطا نخواهد بود به عنوان مثال اگر از مدل Reeve (۱۹۵۷) در این منطقه استفاده گردد، مقدار آب آبشویی از میانگین آب آبشویی سایر مدل‌ها، ۱/۷۰ برابر بیشتر خواهد بود.

منابع

- اسدی کپورچال، ص.، همایی، م. و پذیرا، ا. (۱۳۹۱). مدل‌سازی آب آبشویی مورد نیاز برای بهسازی خاک‌های شور. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. سال دوم. شماره ۲، ص ۸۳-۶۵.
- بهبهانی‌زاده رضائیان، ز.، پذیرا، ا. و پناهپورون ظهراپی، ا. (۱۳۹۵). تعیین ضریب راندمان آبشویی برای شوری‌زدایی خاک‌های شور و سدیمی منطقه ویس استان خوزستان. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. سال پنجم. شماره ۴، ص ۹۷-۱۱۲.
- پاپن، پ و گلابی، م. (۱۳۸۹). بررسی ریاضی آبشویی بدون کاربرد ماده اصلاح‌کننده در دو منطقه دشت شاوور استان خوزستان. فصلنامه‌ی علمی پژوهشی علوم به زراعی گیاهی. سال دوم. پیش شماره ۵، ص ۲۰-۱۱.
- پذیرا، ا. و کشاورز، ع. (۱۳۷۸). بررسی و تعیین آب مورد نیاز اصلاح خاک‌های شور و سدیمی اراضی جنوب شرقی استان خوزستان. مجله تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. سال چهارم. شماره ۱۶، ص ۱۵-۱.
- پذیرا، ا. (۱۳۹۰). مبانی ارزیابی، صحت‌سنجی و تحلیل حساسیت مدل‌های تجربی و نظری متداول در علوم خاک و آب.

پذیرا، ا. (۱۳۹۱). حفاظت از منابع فیزیکی تولید در کشاورزی (خاک و آب). چاپ اول کمیته ملی آبیاری و زهکشی

ایران، تهران.

رجب‌زاده. ف.، پذیرا، ا. و مهدیان، م.ح. (۱۳۸۹). بررسی و تعیین یک مدل تجربی برای آبتیابی خاک‌های

شوروسدیمی بخش میانی استان خوزستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد هجدهم. شماره ۳، ص ۸۴-۶۱.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین معیارها. (۱۳۸۱). دستورالعمل آزمایش‌های

آبتیابی خاک‌های شور و سدیمی در ایران. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، نشریه فنی شماره ۲۵۵.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین معیارها. (۱۳۸۵). راهنمای کاربرد مدل‌های

تجربی و نظری آبتیابی نمک‌های خاک‌های شور. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، نشریه فنی شماره ۳۵۹.

محسنی‌فر، ک.، پذیرا، ا. و ونجفی، پ. (۱۳۸۵). بررسی انواع مدل‌های آبتیابی در دو منطقه جنوب شرق استان

خوزستان. پژوهش در علوم کشاورزی. جلد دوم. شماره ۱، ص ۹۲-۷۳.

محمدزاده، م.، همایی، م. و پذیرا، ا. (۱۳۹۲). مدلی کاربردی برای بهسازی خاک‌های شور و سدیمی. نشریه

حفاظت منابع آب و خاک. سال سوم. شماره ۱، ص ۴۴-۵۸.

مشعل، م.، دانشور، م.، امامی، س. و وراوی‌پور، م. (۱۳۹۲). ارزیابی مدل‌های نظری آبتیابی املاح خاک (مطالعه

موردی: اراضی لابار - دشت ساوه). مدیریت آب و آبیاری. دوره ۳. شماره ۱، ص ۱۳۴-۱۲۱.

Dieleman, P.j. (1963). Reclamation of salt- affected soils in Iraq.veenman, wageningem, 175.

Hoffman, G.j. (1980). Guidelines for reclamation of salt-affected soil.in proceedingof International American Salinity and Water Management, Technical conference. juar. Mexico. 49-64.

Katerji, N., van Hoorn, J.W., Fares,C., Hamdy, A., Mastroilli, M.and Oweis, T. (2005). Salinity effect on grain quality of two durum wheat varieties differing in salt tolerance.Agricultural Water Management. 75:85-91.

Leffelaar, P.A. and sharma. P. (1977). Leaching of a highly saline-sodic soil. Hydrology. 32:203-218.

Martinez-Beltran, J. and Manzur, CL. (2005). Overview of salinity problem in the world and FAO strategies to address the problem.Proceedings of the Interational Salinity Forum.Riverside. California. 311-313.

Pazira, E. and Kawachi, T. (1981). Studies on appropriate depth of leaching water.integrated agriculture water use and freshening reservoirs Kyoto university Japan.

- 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.
- Siadat, H., Bybordi, M. and Malakouti, M.J. (1997).** Salt- affected soils of Iran: A country report. International symposium on "Sustainable management of salt Affected soils in the Arid Ecosystem". Cairo.Egypt.
- Verma, S.K., and Gupta, R.K. (1989).** Leaching of clay soil under two modes of water application.the Indian society of soil science. 37:803-808.
- Villa-Castorena, M., Ulery, A.L., Catalán-Valencia, E.A. and Remmenga, M.D. (2003).** Salinity and nitrogen rate ef-fects on the growth and yield of Chilli Pepper plants. Soil Sci. Soc. Am. 37: 1781–1789.