

## بررسی اثر کیفیت آب بر روند سدیم‌زدایی خاک‌های سنگین با آبشویی پیوسته

مجید شریفی‌پور\*<sup>۱</sup>، عبدعلی ناصری<sup>۲</sup>، عبدالرحیم هوشمند<sup>۳</sup>، هادی معاهد<sup>۴</sup>، علی‌رضا حسن‌اقلی<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. عضو هیئت علمی گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز

۳. عضو هیئت علمی گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز

۴. عضو هیئت علمی گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز

۵. عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۵/۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۷/۱۲)

### چکیده

حجم قابل توجهی زهاب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی خوزستان تولید می‌شود که مدیریت و استفاده مجدد از آن‌ها ضروری است. یکی از راه‌های استفاده مجدد از زهاب‌ها استفاده از آن‌ها در آبشویی اراضی است. با هدف بررسی قابلیت کاربرد زهاب بر سدیم‌زدایی از خاک‌های رسی این منطقه، آزمایش‌های آبشویی در کرت‌هایی با ابعاد ۱٫۵×۱٫۵ متر در اراضی کشت و صنعت نیشکر سلمان فارسی انجام شد. سه کیفیت آب با هدایت الکتریکی ۲/۶۱ (آب تازه رودخانه کارون)، ۶/۰ و ۹/۰ دسی‌زیمنس بر متر (مخلوط زهاب این کشت و صنعت با آب رودخانه کارون) به صورت سه تیمار به نام‌های، به ترتیب، T1، T2، و T3 با روش آبشویی پیوسته (کاربرد ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ سانتی‌متر آب) با شش تکرار به روش بلوک‌های کامل تصادفی در این پژوهش بررسی شد. نتایج نشان داد با افزایش شوری آب آبشویی روند سدیم‌زدایی کندتر می‌شود. ولی استفاده از زهاب‌های شور تا حد ۶ دسی‌زیمنس بر متر موجب افزایش مقدار کلسیم و منیزیم خاک پس از آبشویی می‌شود. نسبت جذب سدیم در لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، که قبل از آبشویی ۸۴ میلی‌اکی والان در لیتر به توان یک‌دوم بود، پس از اعمال تیمارهای T1 تا T3 به ترتیب به ۹، ۱۰، و ۱۸ میلی‌اکی والان در لیتر به توان یک‌دوم رسید. بنابراین، مشکل سدیمی در این لایه با آبشویی با زهاب دارای شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر برطرف می‌شود و برای این کار به استفاده از آب شیرین نیازی نیست. واکنش خاک بررسی شده، چه قبل از آبشویی و چه بعد از آن، در محدوده قلیایی قرار نگرفت.

**کلیدواژگان:** احیای اراضی، خوزستان، زهاب، نسبت جذب سدیم، واکنش خاک.

### مقدمه

2003). این در حالی است که برنامه‌ریزی برای استفاده از زهاب شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌تواند نقشی مؤثر در کاهش بحران آب دامنگیر جهان داشته باشد. یکی از راهکارهای استفاده مجدد از زهاب، اصلاح خاک‌های شور و سدیمی است (San Joaquin Valley Drainage Implementation Program, ) 1999).

بسیاری از طرح‌های توسعه شبکه‌های آبیاری و زهکشی در منطقه جنوب خوزستان در اراضی بسیار شور و سدیمی قرار دارند که به مصرف مقادیر قابل توجهی آب برای آبشویی نیاز خواهند داشت. از سویی، حجم زهاب‌های تولیدشده در اراضی تحت آبیاری این ناحیه بسیار قابل توجه است؛ به صورتی که دبی زهاب فقط در واحدهای توسعه نیشکر امیرکبیر و میرزاکوچک‌خان (به وسعت مجموع ۲۴۰۰۰ هکتار) در ماه حداکثر (مردادماه) به ۲۴/۳۰ متر مکعب در ثانیه بالغ می‌شود.

در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان و حتی در برخی مناطق نسبتاً مرطوب آب دیگر فراوان و در دسترس نیست. سازمان ملل متحد گزارش کرده است آنچه در آینده تأمین غذای مورد نیاز جهان را دچار چالش خواهد کرد کمبود زمین‌های قابل کشاورزی نیست، بلکه بحران آب است (United Nations Development Program, 2007). آب کشاورزی نقطه کلیدی بحران تأمین غذای جهان در آینده است. از سوی دیگر، موارد متعددی از بروز مشکل دفع زهاب در اراضی وسیع آبیاری‌شده در سطح جهان در مناطقی همچون جنوب و جنوب شرقی آسیا، آسیای مرکزی، شمال آفریقا، خاورمیانه، استرالیا، و ایالات متحده آمریکا گزارش شده است (Tanji and Kielen, )

\* نویسنده مسئول: sharifipour.majid@gmail.com

متر، ۸/۶۵ میلی‌اکی والان در لیتر به توان یک‌دوم، و ۸/۰۵ رسید. در تیمار شاهد، که بدون ماده اصلاح‌کننده بود، شوری و سدیمی خاک تغییر چندانی نکرد.

Gharaibeh *et al* (2012) با استفاده از ستون‌های خاک دست‌نخورده با بافت لوم رسی شنی آزمایش‌های آبشویی را با به‌کارگیری مقادیر مختلف فسفوجیپسم و اسیدفسفریک، به منزله ماده اصلاحی، انجام دادند. نتایج نشان داد هر دو ماده اصلاح‌کننده اثری مشابه در کاهش شوری خاک دارند. در حالی که اسیدفسفریک در مقایسه با فسفوجیپسم برتری قابل توجهی در کاستن سدیم خاک دارد. این پژوهشگران همچنین اعلام کردند شوری‌زدایی نسبت به سدیم‌زدایی به آب آبشویی بیشتری نیاز دارد؛ به صورتی که در تیمارهایی که از اسیدفسفریک به منزله ماده اصلاح‌کننده استفاده شد، با عمق آبی برابر نصف عمق خاک مورد اصلاح، سدیم خاک تا حد قابل قبول کاهش یافت، در حالی که برای اصلاح شوری خاک آبشویی خاک به همین اندازه ادامه پیدا کرد.

Sarrafi *et al* (2010) آزمایش‌های آبشویی متناوب را در قسمت مرکزی استان خوزستان با و بدون ماده اصلاح‌کننده (گچ) انجام دادند. آب آبشویی در چهار تناوب، هر یک با ۲۵ سانتی‌متر عمق آب، انجام شد. نتیجه این آزمایش‌ها رضایت‌بخش بود و شوری-سدیمی خاک در آزمایش‌های بدون ماده اصلاح‌کننده از کلاس  $S_2A_3$  تا  $S_3A_3$  به  $S_2A_2$  بهبود پیدا کرد. این پژوهشگران همچنین اعلام کردند برای اصلاح اراضی شور و سدیمی این ناحیه نیازی به اضافه کردن اصلاح‌کننده‌های شیمیایی نیست.

مطالعات صورت‌گرفته در زمینه سدیم‌زدایی خاک‌ها عمدتاً مبتنی بر کاربرد مواد اصلاح‌کننده بوده و بیشتر در خاک‌هایی با بافت سبک و متوسط انجام شده‌اند. با توجه به اهمیت استفاده مجدد از زهاب‌ها، به دلیل کمبود فزاینده منابع آب، این تحقیق با هدف بررسی اثر کیفیت آب با تأکید بر استفاده مجدد از زهاب‌های کشاورزی بر سدیم‌زدایی خاک‌های سنگین، که بافت غالب اراضی جنوب غربی خوزستان است، انجام گرفت.

### مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در تابستان و پاییز سال ۱۳۹۱ در کشت و صنعت سلمان فارسی، یکی از واحدهای شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی، واقع در ۴۵ کیلومتری جنوب شهرستان اهواز و در شرق رودخانه کارون، اجرا شد. ارتفاع از سطح دریا در این کشت و صنعت بین ۲ تا ۴ متر است. میانگین سالیانه دمای روزانه ۲۵/۴

در سال‌های اخیر راهکارهای متعددی برای مدیریت و دفع این زهاب‌ها به کار گرفته شده که هر یک مشکلات و عوارض خاص خود را داشته است. این در حالی است که می‌توان از زهاب این کشت و صنعت‌ها، پس از اختلاط با آب رودخانه یا در برخی موارد به‌تنهایی، برای اصلاح اراضی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در دست توسعه مجاورشان استفاده کرد.

تحقیقات در استفاده از منابع آب شور (زهاب‌ها) غالباً برای بررسی اثر آن در آبیاری محصولات بوده است و تجاربی که استفاده از آن‌ها را برای آبشویی و اصلاح خاک‌های شور و سدیمی نشان دهد کم است. با این حال استفاده از زهاب برای احیا و آبشویی اراضی سابقه‌ای طولانی دارد. آب استفاده‌شده برای احیای اراضی ادکوک<sup>۱</sup> در شمال دلتای رود نیل در مصر، در دهه ۱۹۵۰، زهاب اراضی بالادست بود. در دهه ۲۰۰۰ نیز برنامه احیای ۳۳۰۰۰۰ هکتار از اراضی در غرب و شرق رود نیل بر پایه استفاده از زهاب بود (Abdel-Khalek *et al*, 2003).

برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی پیشنهادهای متفاوتی ارائه شده که در همه آن‌ها حفظ ساختمان خاک، پایداری خاک‌دانه‌ها، افزایش منافذ خاک، و اضافه کردن مواد آلی به خاک اهمیتی ویژه دارد (Rhoades *et al*, 1992). آبشویی خاک‌های شور و سدیمی با استفاده از رقیق کردن مرحله‌ای آب شور حاوی کاتیون‌های دوظرفیتی روشی مؤثر برای اصلاح خاک‌ها، بدون استفاده از مواد اصلاح‌کننده است. در آغاز آب شور باعث هم‌آوری ذرات خاک و تأمین کلسیم برای تبادل با سدیم می‌شود (Barzegar *et al*, 2007). همچنین، گزارش شده آبشویی خاک‌های شور و سدیمی با آبی که شوری پایینی دارد ممکن است باعث پراکندگی ذرات خاک شود و عمل آبشویی را محدود کند. در اصلاح این خاک‌ها، چنانچه هدایت الکتریکی آب آبشویی کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر باشد، ساختمان فیزیکی خاک را به هم می‌ریزد و بازده آبشویی را کاهش می‌دهد و حتی متوقف می‌کند (Naseri, 1998).

Chi *et al* (2012) آزمایش‌های شوری و سدیم‌زدایی را با استفاده از گچ بدون گوگرد، به منزله ماده اصلاح‌کننده، همراه کشت برنج در ستون‌های خاک انجام دادند. شوری عصاره اشباع خاک، نسبت جذب سدیم، و همین‌طور واکنش خاک (pH) که در نمونه‌های اولیه (قبل از آزمایش) به ترتیب ۲۶ دسی‌زیمنس بر متر، ۳۹۷ میلی‌اکی والان در لیتر به توان یک‌دوم، و ۱۰/۴۸ بود در تیماری که شامل اختلاط دوبرابر نیاز گچ (۳۰ گرم گچ در هر کیلوگرم خاک) بود به ترتیب به ۲/۷۲ دسی‌زیمنس بر

متوسط ۲٫۶۱ دسی‌زیمنس بر متر؛ تیمار T2: آبشویی با زهاب با شوری ۶۱۰ دسی‌زیمنس بر متر؛ تیمار T3: آبشویی با زهاب با شوری ۹۱۰ دسی‌زیمنس بر متر. ارقام ۶۱۰ و ۹۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بر اساس حداقل و حداکثر تقریبی شوری زهاب در زهکش اصلی کشت و صنعت‌های امیرکبیر و میرزا کوچک‌خان، که هدف این پژوهش بررسی قابلیت آن در سدیم‌زدایی است، انتخاب شدند. ویژگی‌های آب‌های به‌کاررفته برای آبشویی در جدول ۱ می‌آید.

درجهٔ سانتی‌گراد و تیرماه با میانگین حداکثر دمای ۴۶٫۳ و متوسط دمای ۳۷٫۱ درجهٔ سانتی‌گراد گرم‌ترین و دی‌ماه با متوسط دمای ۱۲٫۵ و میانگین حداقل ۷٫۵ درجهٔ سانتی‌گراد سردترین ماه سال است. متوسط بارندگی سالیانه ۱۷۲ میلی‌متر و متوسط تبخیر سالیانه ۳۰۶۷ میلی‌متر است. خاک‌های این ناحیه عموماً بدون تکامل پروفیلی ساختمان یا دارای ساختمان ضعیف است.

در این پژوهش اثر سه کیفیت آب بر سدیم‌زدایی خاک‌های سنگین این کشت و صنعت بررسی شد: تیمار T1: آبشویی با آب تازه از رودخانهٔ کارون با شوری

جدول ۱. ویژگی‌های آب‌های به‌کاررفته برای آبشویی

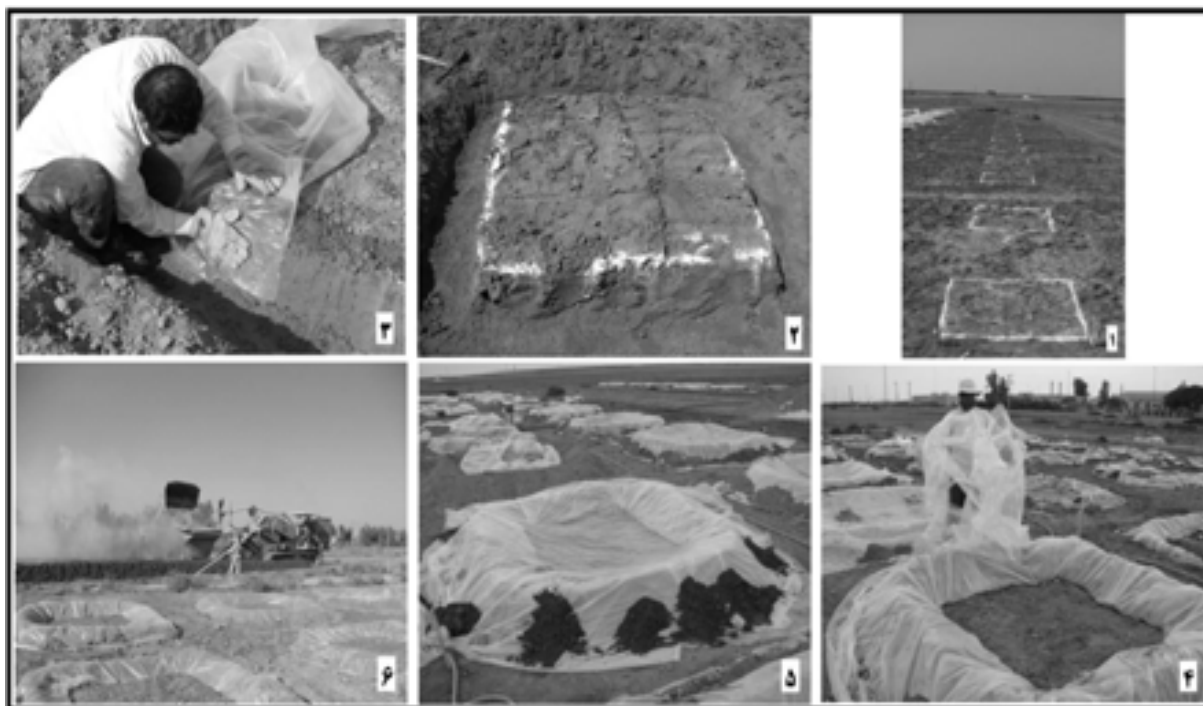
نوع آب آبشویی	هدایت الکتریکی (dS/m)	غلظت مجموع کلسیم و منیزیم (meq/lit)	غلظت سدیم (meq/lit)	نسبت جذب سدیم (meq/lit) <sup>1/2</sup>	اسیدیته
آب کارون	۲٫۶۱	۱۳	۱۴	۶	۷٫۷۴
زهاب با شوری ۶۱۰ dS/m	۶٫۰	۲۲	۴۶	۱۴	۷٫۸۶
زهاب با شوری ۹۱۰ dS/m	۹٫۰	۲۹	۷۴	۱۹	۷٫۷۹

استفاده از چسب آب‌بند درزگیری شد. در مرحلهٔ بعد، محیط حفاری شده تا ۱۵ سانتی‌متر از خاک پر و با استفاده از یک وزنهٔ فلزی دسته‌دار تا حد امکان متراکم شد. سپس، مقداری آب روی آن گرفته شد تا خاک نشست کند. پس از آن خاک‌ریزی بیرون کرت‌ها و روی محیط حفاری شده تا آنجا ادامه پیدا کرد که پشته‌ای به ارتفاع ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر ایجاد شد. بعد از آن ورقه‌های نایلونی، که تا این مرحله روی سطح کرت بودند، روی پشته‌ها کشیده شد و بدین ترتیب از نشت آب به پشته‌ها نیز جلوگیری شد.

برای جلوگیری از تبخیر، روی همهٔ کرت‌ها با ورقه‌های نایلونی، به ابعاد ۴×۴ متر، پوشانده شد و در نهایت دورتادور محیط خارجی کرت‌ها خاک ریخته شد تا از بلندشدن نایلون جلوگیری شود. عملیات نصب زهکش‌های زیرزمینی هم‌زمان با احداث کرت‌ها انجام شد. زهکشی با استفاده از لوله‌های PVC و با پوشش معدنی صورت گرفت که به جمع‌کننده‌های روباز تخلیه می‌شد. فاصلهٔ زهکش‌های زیرزمینی ۴۲ متر بود و زهکش‌ها در عمق متوسط ۱٫۵ متری نصب شد. شکل ۱ مراحل احداث کرت‌های آزمایشی را نشان می‌دهد. آب رودخانهٔ مورد نیاز برای آبشویی به صورت روزانه با استفاده از یک دستگاه الکتروپمپ از کانال آب مجاور قطعهٔ زراعی برداشت می‌شد. اندازه‌گیری مقدار آب اعمال‌شده با اندازه‌گیری دبی (با استفاده از یک سطل مدرج) و زمان (با استفاده از یک کرنومتر دیجیتال) انجام شد.

بررسی روند سدیم‌زدایی با آبشویی پیوسته با کاربرد سه عمق آب ۳۰ و ۶۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر انجام شد. برای انجام‌دادن آزمایش‌های آبشویی پیوسته برای کاربرد هر عمق از آب آبشویی باید کرتی جداگانه در نظر گرفته شود. زیرا آب تا انتهای آبشویی باید به صورت پیوسته بر سطح خاک وجود داشته باشد؛ مثلاً، آبشویی پیوسته با کاربرد ۳۰ سانتی‌متر آب در یک کرت انجام می‌شود و پس از آن کرت بی‌استفاده است. به همین ترتیب، آبشویی پیوستهٔ خاک با کاربرد ۶۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر آب در کرت‌های دیگری انجام شد. این طرح بر پایهٔ بلوک کامل تصادفی در شش تکرار انجام شد. با در نظر گرفتن سه کرت برای کاربرد سه عمق آبشویی در هر کیفیت آب، تعداد کرت‌ها در هر ردیف (بلوک) ۹ عدد و تعداد کل آن‌ها ۵۴ عدد بود. امتداد بلوک‌ها موازی با امتداد زهکش‌های زیرزمینی بود و تیمارها با استفاده از جدول اعداد تصادفی در آن‌ها جانمایی شد.

برای احداث کرت‌های آبشویی ابتدا سطح زمین از گیاهان خودرو پاک‌سازی شد. پس از بندکشی، با استفاده از دوربین نقشه‌برداری، ابعاد داخلی کرت‌ها با گچ روی زمین مشخص شد. برای عایق‌سازی عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری کرت‌ها در برابر نشت، دور هر کرت به عمق ۳۰ و به عرض ۴۰ سانتی‌متر حفاری شد. سپس، ورقه‌های نایلونی به دیوارهٔ داخلی، که قبلاً مرطوب شده بود، چسبانده شد؛ به صورتی که به طور یکپارچه دور محیط حفاری شدهٔ داخلی را فراگرفت. محل همپوشانی با



شکل ۱. مراحل احداث کرت‌های آزمایش‌های آبشویی

به کمک پُتک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری کوبیده می‌شد. سپس دور آن با بیل دستی خالی و نمونه با استفاده از یک میله چوبی از لوله خارج می‌شد. نمونه‌برداری از اعماق ۳۰ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری با استفاده از مته نمونه‌برداری به قطر ۶/۸ سانتی‌متر صورت گرفت. میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش‌شده در این پنج نقطه، به ترتیب، در جدول‌های ۲ و ۳ می‌آید.

پس از آبشویی در هر کرت، تا رسیدن رطوبت کرت به ظرفیت زراعی مدتی زمان صرف شد و سپس نمونه‌برداری دوباره در سه عمق یادشده صورت گرفت. نمونه‌های خاک، پس از خشک‌شدن در مجاورت هوا، کوبیده و الک شد و برای عصاره‌گیری به آزمایشگاه انتقال یافت. اندازه‌گیری واکنش خاک (pH) در گل اشباع به وسیله pHسنج انجام شد. غلظت مجموع کلسیم و منیزیم در عصاره اشباع به روش تیتراسیون و غلظت سدیم به روش فلیم‌فوتومتر اندازه‌گیری شد.

برای آماده‌سازی آب‌های آبشویی با مقادیر هدایت الکتریکی ۹۰ و ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر، زهاب با شوری بین ۴۰ تا ۷۵ دسی‌زیمنس بر متر از زهکش‌های طرح سلمان فارسی برداشت و به محل آزمایش حمل می‌شد. این زهاب در سه تانکر اختلاط، هر یک به ظرفیت ۲۰۰۰ لیتر، به نسبت حجمی با آب کانال (آب رودخانه کارون) مخلوط می‌شد تا هدایت الکتریکی آن به مقدار تعیین‌شده (۶۰ یا ۹۰ دسی‌زیمنس بر متر) برسد.

نمونه‌های اولیه خاک از پنج نقطه زمین محل اجرای پژوهش به صورت زیگزگ (به شکل W) از سه عمق ۰ تا ۳۰، ۳۰ تا ۶۰، و ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری برداشت شد. به علت تورم خاک و وجود کریستال‌های نمک در لایه سطحی، نمونه‌برداری دقیق با مته دستی، که به پراکندگی خاک لایه سطحی در اطراف مته منجر می‌شد، ممکن نبود. به همین دلیل، نمونه‌برداری اولیه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری با استفاده از لوله فولادی لبه‌تیز به قطر ۵/۰ سانتی‌متر انجام شد. این لوله

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی خاک محل پژوهش

عمق خاک (cm)	درصد ذرات خاک			بافت خاک	درصد اشباع	درصد رطوبت ظرفیت مزرعه
	رس	سیلت	ماسه			
۰-۳۰	۵۱٫۲۷	۳۹٫۸۳	۸٫۹۰	رسی	۶۲	۴۵
۳۰-۶۰	۵۷٫۳۶	۳۷٫۸۸	۴٫۷۶	رسی	۶۵	۴۹
۶۰-۹۰	۳۸٫۴۰	۴۳٫۸۴	۱۷٫۷۶	سیلتي کلی لوم	۵۹	۳۷

جدول ۳. ویژگی‌های شیمیایی خاک محل پژوهش

عمق خاک (cm)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع (dS/m)	کاتیون‌ها و آنیون‌ها (meq/lit)					نسبت جذب سدیم			واکنش خاک	
		سدیم Na <sup>+</sup>	کلسیم Ca <sup>2+</sup>	منیزیم Mg <sup>2+</sup>	سولفات SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	کلر Cl <sup>-</sup>	بیکربنات HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	(%)	گچ (%)		آهک (%)
۰-۳۰	۱۸۵	۱۵۷۹	۲۶۸	۴۳۷	۱۴۲	۱۹۴۶	۵	۸۴	۰٫۲۵	۴۶	۷٫۲۲
۳۰-۶۰	۷۵	۶۳۱	۸۳	۱۵۳	۳۵۶	۴۴۴	۱۳	۵۸	۰٫۴۳	۴۹	۷٫۶۶
۶۰-۹۰	۵۹	۴۸۲	۷۶	۹۷	۲۲۳	۳۷۲	۱۰	۵۲	۰٫۳۱	۵۱	۷٫۷۴

شد (۱٫۶۵ میلی‌اکی والان در لیتر به توان یک‌دوم، در ازای هر سانتی‌متر آب آشوبی). این تغییرات در آشوبی با زهاب با شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به آشوبی با زهاب با شوری ۹٫۰ دسی‌زیمنس بر متر شیب بیشتری داشت. دلیل آن با قانون اول فیک<sup>۱</sup> به روشنی قابل توضیح است؛ شیب غلظت در آشوبی با آب رودخانه کارون بسیار بالاتر از سایر تیمارهاست و به همین دلیل کاربرد مقدار یکسان آب باعث افزایش پخشیدگی املاح و خارج کردن آن‌ها می‌شود. یون سدیم تک‌ظرفیتی است و نسبت به یون‌های کلسیم و منیزیم، که دوظرفیتی‌اند، با سهولت بیشتری شسته می‌شود. با توجه به رابطه ۱، این حالت سبب کاهش قابل توجهی در نسبت جذب سدیم خواهد شد.

(رابطه ۱)

$$\text{نسبت جذب سدیم} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2}}$$

در ۳۰ سانتی‌متر دوم آشوبی، شیب کاهش نسبت جذب سدیم در به‌کارگیری زهاب با شوری ۹٫۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به دو نوع دیگر آب بیشتر است. علت احتمالاً این است که با به‌کارگیری آب کارون یا زهاب با شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر مقدار قابل توجهی از سدیم در ۳۰ سانتی‌متر اول آشوبی خارج می‌شود. عمده سدیم باقی‌مانده در خلل‌و‌فرج ریزتر خاک قرار دارد و خارج کردن آن دشوارتر است. در ۶۰ سانتی‌متر آخر آشوبی، شیب تغییرات کاهش قابل توجهی دارد و در همه کیفیت‌های آب آشوبی به مقدار مشابهی نزدیک می‌شود.

در جدول ۴ مقادیر غلظت کلسیم و منیزیم و در جدول ۵ مقادیر غلظت سدیم در عصاره اشباع خاک، پس از اعمال تیمارهای آشوبی، می‌آید. ارقام این جدول‌ها نشان می‌دهد غلظت کلسیم و منیزیم در تیمارهای T2 و T3 در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری، پس از ۱۲۰ سانتی‌متر آشوبی، فقط ۳ درصد تفاوت دارد؛ در حالی که پس از اعمال تیمار T3 غلظت سدیم محلول ۸۳ درصد بیشتر از تیمار T2 است. این حالت به روشنی نشان می‌دهد در زهاب‌های به‌کاررفته برای آشوبی کلسیم و منیزیم کافی برای جایگزینی با سدیم موجود است. ولی دو

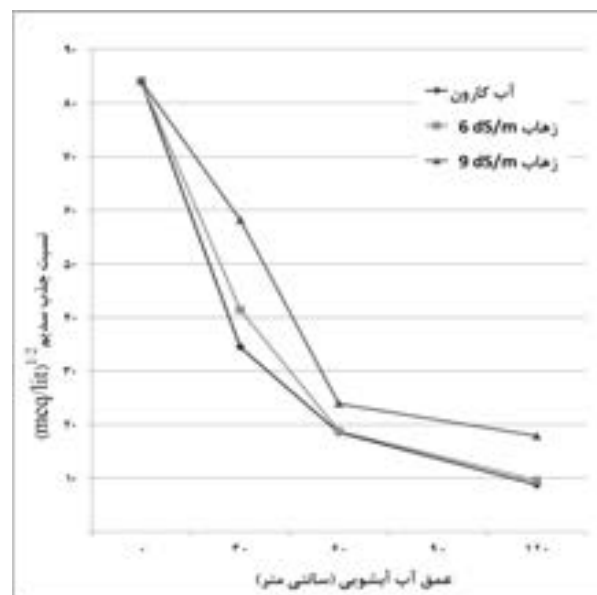
تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد و سطوح معناداری با استفاده از آزمون‌های دانکن و LSD تعیین شدند.

### یافته‌ها و بحث

روند تغییرات نسبت جذب سدیم با آشوبی پیوسته با کاربرد انواع مختلف آب در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در شکل ۲ می‌آید. نتایج آزمایش‌های آشوبی در این لایه به دو دلیل اهمیت بیشتری دارد:

۱. کرت‌های آزمایشی عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در برابر نشت جانبی عایق شدند. بنابراین این لایه تطابق بیشتری با شرایط مزرعه‌ای داشت و با اطمینان خاطر بیشتری می‌توان نتایج آن را تعمیم داد.

۲. طی مراحل رشد، نفوذ عمقی ناشی از آبیاری خودبه‌خود موجب شست‌وشوی نمک و از جمله سدیم در لایه‌های پایین‌تر خواهد شد.



شکل ۲. روند تغییرات نسبت جذب سدیم عصاره اشباع خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری

در ۳۰ سانتی‌متر اول آشوبی، از بین انواع آب به‌کاررفته، آب کارون بیشترین شیب کاهش نسبت جذب سدیم را موجب

1. Fick

تبعیت می‌کنند (هر چه غلظت کاتیونی بالاتر باشد، امکان جذب آن بیشتر است)، غلظت سدیم در عصاره اشباع آن نیز بیشتر است. عامل دوم غلظت بالاتر آب آبخویی است که طبق قانون فیک سبب شده میزان پخشیدگی املاح در تیمار T2 بیشتر و در نتیجه امکان شست‌وشوی آن‌ها فراهم‌تر باشد.

عامل موجب می‌شود غلظت سدیم خاک در تیمار T3 نسبت به تیمار T2 بالاتر باشد. یکی اینکه مقدار سدیم در آب آبخویی آن ۶۱ درصد بیشتر بوده، در حالی که مقدار کلیسم و منیزم این تیمار نسبت به تیمار T2 فقط ۳۲ درصد بیشتر بوده است. از آنجا که واکنش‌های تبادل کاتیونی معمولاً از قانون اثر جرم

جدول ۴. غلظت کلیسم و منیزیم در عصاره اشباع خاک پس از ۱۲۰ سانتی‌متر آبخویی

غلظت مجموع کلیسم و منیزیم (meq/lit) در تکرارهای تیمارهای آزمایشی			تیمار	نوع آب آبخویی	عمق نمونه‌برداری (cm)
میانگین	حداکثر	حداقل			
۳۰ b*	۳۵	۲۳	T1	آب کارون	۰-۳۰
۵۴a	۶۲	۴۴	T2	زهاب با شوری ۶,۰ dS/m	
۵۳a	۶۰	۴۲	T3	زهاب با شوری ۹,۰ dS/m	
۲۵ b	۳۰	۱۹	T1	آب کارون	۳۰-۶۰
۴۷ a	۵۴	۴۲	T2	زهاب با شوری ۶,۰ dS/m	
۴۷ a	۵۵	۳۹	T3	زهاب با شوری ۹,۰ dS/m	
۳۸ b	۴۶	۲۷	T1	آب کارون	۶۰-۹۰
۳۳ b	۴۱	۲۵	T2	زهاب با شوری ۶,۰ dS/m	
۶۲ a	۷۸	۴۵	T3	زهاب با شوری ۹,۰ dS/m	

\* سطوح معناداری در جدول بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تعیین شد.

جدول ۵. غلظت سدیم در عصاره اشباع خاک پس از ۱۲۰ سانتی‌متر آبخویی

غلظت سدیم (meq/lit) در تکرارهای تیمارهای آزمایشی			تیمار	نوع آب آبخویی	عمق نمونه‌برداری (cm)
میانگین	حداکثر	حداقل			
۳۴c*	۳۷	۳۱	T1	آب کارون	۰-۳۰
۵۰ b	۵۶	۴۳	T2	زهاب با شوری ۶,۰ dS/m	
۹۲ a	۱۰۰	۸۲	T3	زهاب با شوری ۹,۰ dS/m	
۶۴ c	۷۶	۵۳	T1	آب کارون	۳۰-۶۰
۸۸ b	۱۰۴	۷۲	T2	زهاب با شوری ۶,۰ dS/m	
۱۵۲ a	۱۸۶	۱۲۲	T3	زهاب با شوری ۹,۰ dS/m	
۱۰۱ b	۱۲۴	۷۸	T1	آب کارون	۶۰-۹۰
۱۳۱ b	۱۶۰	۱۰۵	T2	زهاب با شوری ۶,۰ dS/m	
۱۸۸ a	۲۵۰	۱۳۲	T3	زهاب با شوری ۹,۰ dS/m	

\* سطوح معناداری در جدول بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تعیین شد.

سانتی‌متر آب کارون برای آبخویی به روش پیوسته این عمق از خاک تقریباً مشکل سدیمی ندارد. آبخویی با تیمار T2 هم نسبت جذب سدیم را به ۱۰ میلی‌اکی والان در لیتر به توان یک‌دوم رسانده است. به عبارت دیگر، این خاک پس از آبخویی از لحاظ مشکل سدیمی در گروه A<sub>1</sub> (مشکل سدیمی کم) قرار می‌گیرد. البته مقدار نسبت جذب سدیم در این تیمار به حد پایین نسبت جذب سدیم این گروه (۸) نزدیک‌تر است تا به حد بالای آن (۱۳) و می‌توان گفت مشکل سدیمی در آن نسبتاً

مقادیر نسبت جذب سدیم در عصاره اشباع خاک، پس از اعمال تیمارهای آبخویی، در جدول ۶ می‌آید. پس از اتمام آبخویی با تیمار T1، نسبت جذب سدیم در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری به ۹ میلی‌اکی والان در لیتر به توان یک‌دوم رسید. در نظام طبقه‌بندی خاک در ایران خاک‌هایی که نسبت جذب سدیم در آن‌ها کمتر از ۸ است بدون مشکل سدیمی قلمداد می‌شوند (Mahler, 1979). با برون‌یابی شیب خط کاهش نسبت جذب سدیم می‌توان برآورد کرد که پس از به‌کاربردن ۱۲۶

سانتی‌متری نشان می‌دهد. نکته قابل توجه این است که در ۳۰ سانتی‌متر اول آبشویی با آب تازه رودخانه کارون و زهاب با شوری ۹۱۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت جذب سدیم به ترتیب به مقدار ۴ و ۱ میلی‌اکی‌والان در لیتر به توان یک‌دوم افزایش یافت. افزایش نسبت جذب سدیم در آبشویی با آب کارون به علت شسته‌شدن مقدار قابل توجهی سدیم در ۳۰ سانتی‌متر اول آبشویی از لایه بالاتر خاک (۰ تا ۳۰ سانتی‌متری) است؛ طوری که مقدار سدیمی که پس از ۳۰ سانتی‌متر آبشویی با زهاب‌های با شوری ۶۱۰ و ۹۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک باقی ماند به ترتیب ۲/۰۴ و ۲/۸۰ برابر بیشتر از مقدار مشابه پس از آبشویی با آب رودخانه کارون بود. نیز، در خصوص افزایش این نسبت در آبشویی با زهاب با شوری ۹۱۰ دسی‌زیمنس بر متر هم خروج املاح از لایه بالایی و هم غلظت قابل توجه سدیم در آب آبشویی دخیل بوده است.

برطرف شده است. با برون‌یابی شیب خط کاهش نسبت جذب سدیم مشخص می‌شود که با مصرف ۱۳ سانتی‌متر دیگر آب آبشویی در این تیمار مقدار این عامل در لایه مهم ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری به کمتر از ۸ می‌رسد و مشکل سدیمی آن کاملاً اصلاح می‌شود. اما نسبت جذب سدیم پس از آبشویی با تیمار T3 در گروه A2 جا می‌گیرد و مشکل سدیمی در آن متوسط است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت برای اصلاح مشکل سدیمی در خاک‌های سنگین جنوب خوزستان نیازی به استفاده از ماده اصلاح‌کننده نیست. تحقیقات Sarraf *et al* (2010) نیز چنین نتیجه‌ای را تأیید می‌کند؛ هرچند چنان که پژوهش‌های Gharaibeh *et al* (2012) و همچنین Chi *et al* (2012) نشان داده است استفاده از این مواد می‌تواند فرایند سدیم‌زدایی را تسریع کند.

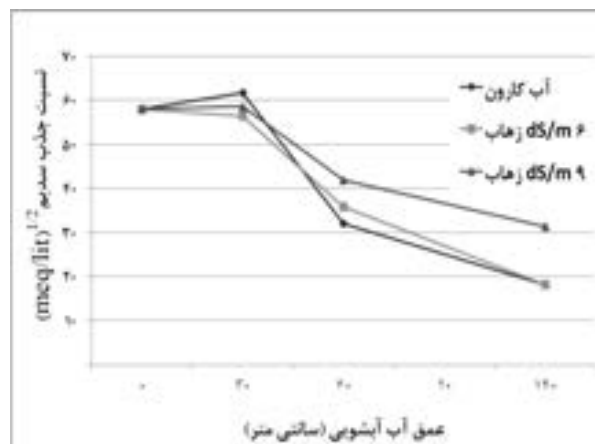
شکل ۳ روند تغییرات نسبت جذب سدیم با آبشویی پیوسته را با کاربرد انواع مختلف آب در عمق ۳۰ تا ۶۰

جدول ۶. نسبت جذب سدیم در عصاره اشباع خاک پس از ۱۲۰ سانتی‌متر آبشویی

نسبت جذب سدیم (meq/lit) <sup>1/2</sup> در تکرارهای تیمارهای آزمایشی			تیمار	نوع آب آبشویی	عمق نمونه‌برداری (cm)
میانگین	حداکثر	حداقل			
۹c*	۱۰	۸	T1	آب کارون	
۱۰ b	۱۰	۹	T2	زهاب با شوری ۶۱۰ dS/m	۰-۳۰
۱۸ a	۱۹	۱۶	T3	زهاب با شوری ۹۱۰ dS/m	
۱۸ b	۲۰	۱۷	T1	آب کارون	
۱۸ b	۲۱	۱۶	T2	زهاب با شوری ۶۱۰ dS/m	۳۰-۶۰
۳۱ a	۳۵	۲۸	T3	زهاب با شوری ۹۱۰ dS/m	
۲۳ b	۲۷	۲۱	T1	آب کارون	
۳۲ a	۳۹	۲۹	T2	زهاب با شوری ۶۱۰ dS/m	۶۰-۹۰
۳۴ a	۴۰	۲۸	T3	زهاب با شوری ۹۱۰ dS/m	

\* سطوح معناداری در جدول بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تعیین شد.

در نگاهی دقیق‌تر، لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک به مثابه حجم کنترل در نظر گرفته می‌شود. با توجه به عایق بودن سطوح جانبی آن و عدم تبخیر و با فرض جریان یک‌بعدی و روبه‌پایین، سطح خاک، مرز ورودی حجم کنترل و عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک خروجی آن فرض می‌شود. مقدار خروجی از این حجم کنترل برابر مجموع ورودی و تغییرات ذخیره آن خواهد بود. مساحت سطوح ورودی و خروجی واحد در نظر گرفته می‌شود. تفاوت غلظت سدیم در عصاره اشباع خاک، قبل و پس از ۳۰ سانتی‌متر اول آبشویی، در آبشویی با آب کارون ۱۳۶۴ میلی‌اکی‌والان در لیتر و در آبشویی با زهاب‌هایی با شوری ۶۱۰ و ۹۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۱۱۴۰ و ۹۷۵

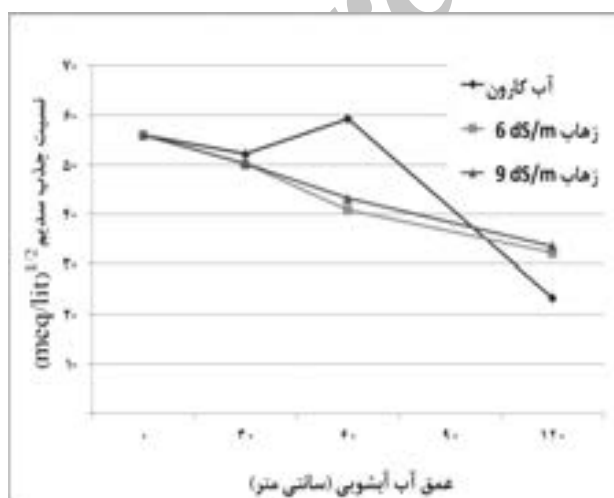


شکل ۳. روند تغییرات نسبت جذب سدیم عصاره اشباع خاک در عمق ۳۰ تا

۶۰ سانتی‌متری

در ۳۰ سانتی‌متر دوم آبخوئی روند تغییرات نسبت جذب سدیم در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک مانند ۳۰ سانتی‌متر اول در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری است. به عبارت دیگر، بیشترین شیب کاهش در آبخوئی با آب کارون رخ داده و کمترین آن با آبخوئی با زهاب با شوری ۹/۰ دسی‌زیمنس بر متر. در این عمق غلظت کلسیم و منیزیم پس از آبخوئی با تیمارهای T2 و T3 به هم نزدیک بود و فقط ۱/۶۶ درصد اختلاف داشت. تفاوت عمده روند تغییرات نسبت جذب سدیم در این لایه و لایه بالاتر آن است که شیب تغییرات در انتهای آبخوئی در لایه ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک در انواع آب به‌کاررفته بین ۱/۴۳ تا ۱/۹۳ برابر تندتر از مقادیر مشابه در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری است. به عبارت دیگر، فرایند سدیم‌زدایی در این لایه نسبت به لایه بالاتر به تکامل خود کمتر نزدیک شده است.

روند تغییرات نسبت جذب سدیم با آبخوئی پیوسته با کاربرد انواع مختلف آب در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری در شکل ۴ می‌آید. در این شکل مشاهده می‌شود که نسبت جذب سدیم در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری خاک در ۳۰ سانتی‌متر اول آبخوئی با آب کارون مقداری کاهش پیدا کرده؛ ولی در ۳۰ سانتی‌متر دوم آبخوئی از ۵۲ به ۵۹ میلی‌اکی‌والان در لیتر به توان یک‌دوم افزایش یافته است و با ادامه آبخوئی با شیب تندی نسبت به انواع دیگر آب کاهش پیدا کرده است. در آبخوئی با زهاب‌هایی با شوری ۶/۰ و ۹/۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت جذب سدیم با شیب کم‌نوسانی کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۴. روند تغییرات نسبت جذب سدیم عصاره اشباع خاک در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری

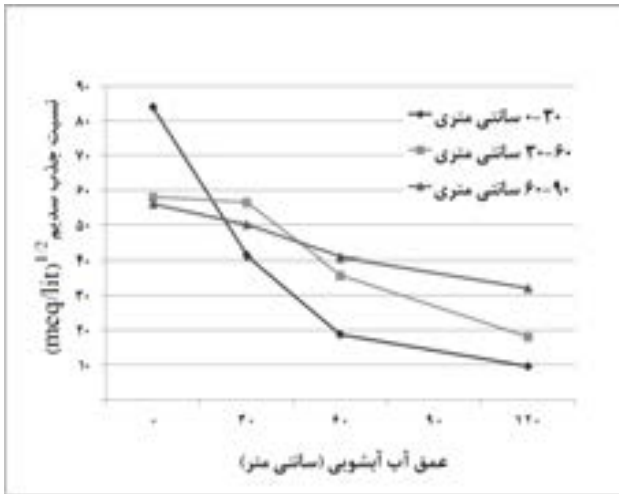
برای بررسی روند تغییرات نسبت جذب سدیم در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری خاک در آبخوئی با آب کارون، تغییرات

میلی‌اکی‌والان در لیتر بود. این تفاوت غلظت در حجمی از محلول خاک برابر رطوبت اشباع لایه‌ای از خاک به عمق ۰/۳۰ متر بود. بنابراین، حجمی که این تغییر غلظت در آن اعمال شده برابر عمق لایه ضرب در درصد اشباع آن (۰/۶۲) است. عمق آبخوئی نیز ۰/۳۰ متر بوده است. با این فرضیات، مقدار سدیم خارج‌شده از لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری به سمت لایه پایینی در ۳۰ سانتی‌متر اول آبخوئی با آب کارون و زهاب‌هایی با شوری ۶/۰ و ۹/۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۲۵۸، ۲۲۶، و ۲۰۳ میلی‌اکی‌والان برآورد می‌شود. بنابراین، مقدار سدیم خارج‌شده در ۳۰ سانتی‌متر ابتدای آبخوئی به سمت لایه ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک در آبخوئی با آب کارون بیشتر بوده است.

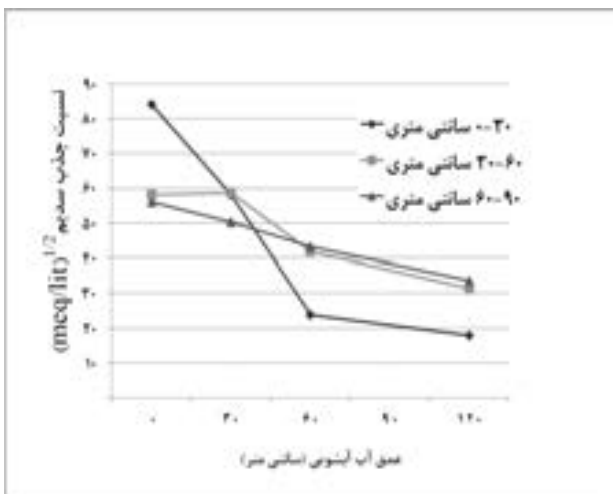
برای بررسی آهنگ خروج سدیم باید مشخص شود چه مقدار از سدیم خارج‌شده با آب آبخوئی وارد شده و چه مقدار آن از خاک شسته شده است. اهمیت این بررسی آنجا روشن می‌شود که سدیمی که با آب آبخوئی وارد می‌شده در طول مدت آبخوئی ثابت بوده و سدیمی که از خاک شسته شده با گذشت زمان کاهش پیدا کرده است. بنابراین، هر چه سهم سدیم شسته‌شده از خاک بیشتر باشد آهنگ خروج سدیم به سمت لایه پایینی افتان‌تر است. سهم آب آبخوئی از سدیم خارج‌شده در ۳۰ سانتی‌متر اول آبخوئی از لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک در آبخوئی با آب کارون و زهاب‌هایی با شوری ۶/۰ و ۹/۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۱/۶۵، ۱/۵۰، و ۱۲/۱۵ درصد بوده و باقی مقدار سدیم از خاک شسته شده است. بنابراین، با کاهش شوری آب آبخوئی و به تبع آن کاهش غلظت سدیم آهنگ خروج سدیم افتان‌تر بوده است. به عبارت دیگر، با آغاز آبخوئی با آب کارون مقدار زیادی سدیم شسته می‌شود و به سمت لایه پایینی می‌رود. این خروج انبوه سدیم زمانی صورت می‌گیرد که لایه پایینی هنوز به ظرفیت زراعی نرسیده و آب واردشده به آن بیشتر در خلل‌و‌فرج ریز (منطقه آب ساکن) جریان می‌یابد تا در خلل‌و‌فرج درشت (منطقه آب متحرک). بنا به قانون اثر جرم‌ها، این موضوع سبب می‌شود مقدار قابل توجهی سدیم در منطقه آب ساکن باقی بماند. در ادامه روند آبخوئی، که جریان آب در خاک به حالت اشباع می‌رسد، هم دبی جرمی سدیم ورودی به لایه پایینی کمتر می‌شود و هم مقدار زیادی از آن از طریق ناحیه آب متحرک از لایه مورد بررسی خارج می‌شود. این تحلیل نشان می‌دهد چگونه مقدار بالاتر سدیم خارج‌شده و سهم بالاتر سدیم شسته‌شده در آن در آبخوئی با آب کارون سبب می‌شود نسبت جذب سدیم در ۳۰ سانتی‌متر اول آبخوئی در لایه ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک



شیب در کاربرد زهاب با شوری ۹۰ دسی‌زیمنس بر متر نمایان‌تر است.



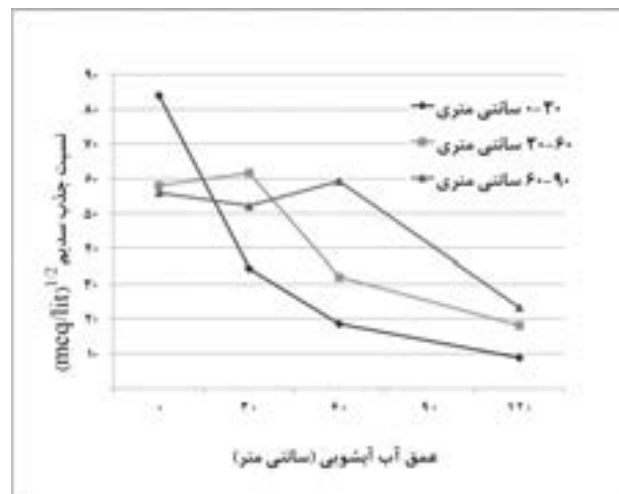
شکل ۶. روند تغییرات نسبت جذب سدیم عصارة اشباع خاک با آبیویی با زهاب با شوری ۶۰ dS/m در اعماق مختلف



شکل ۷. روند تغییرات نسبت جذب سدیم عصارة اشباع خاک با آبیویی با زهاب با شوری ۹۰ dS/m در اعماق مختلف

بر اساس آزمون‌های دانکن و LSD تفاوت دو نوع آب کارون و زهاب با شوری ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر در مقدار نهایی نسبت جذب سدیم در لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک در سطح ۵ درصد معنادار است. تفاوت این دو زهاب با شوری ۹۰ دسی‌زیمنس بر متر، بر اساس این دو آزمون، در سطح ۱ درصد معنادار بوده است. در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری هیچ‌یک از آزمون‌ها تفاوتی معنادار در مقدار نهایی نسبت جذب سدیم، بین دو نوع آب کارون و زهاب با شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر، نشان نداد. ولی این دو تیمار کیفی، بر اساس هر دو آزمون، در سطح ۱ درصد تفاوتی معنادار با زهاب با شوری ۹۰ دسی‌زیمنس بر متر دارند. زهاب‌های با شوری ۶۰ و ۹۰ دسی‌زیمنس بر متر در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری تفاوتی معنادار در مقدار جذب

لایه‌های بالاتر هم‌زمان بررسی می‌شود. تغییرات نسبت جذب سدیم در این سه لایه در شکل ۵ می‌آید. شاید بتوان گفت روند تغییرات در هر لایه نسبت به لایه بالاتر با یک مرحله تأخیر مشابهت دارد. چنان‌که شیب تند کاهش نسبت جذب سدیم در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک از ابتدای آبیویی در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری در ۳۰ سانتی‌متر دوم آبیویی و در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری پس از ۶۰ سانتی‌متر آبیویی آغاز می‌شود. به عبارت دیگر، زمانی که شیب کاهش نسبت جذب سدیم در لایه بالاتر تندتر است و به تبع آن خروج سدیم به سمت لایه پایینی شدت بیشتری دارد نسبت جذب سدیم در لایه پایین‌تر افزایش می‌یابد. با کندشدن روند کاهش نسبت جذب سدیم در لایه بالاتر، به عبارتی کم‌شدن خروج سدیم، روند تغییر نسبت جذب سدیم در لایه پایین‌تر کاهش می‌شود. مثلاً، غلظت سدیم در ۳۰ سانتی‌متر اول آبیویی در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک تغییر چندانی نداشت و از ۶۳۱ به ۶۲۵ میلی‌اکی والان در لیتر رسید. ولی در ۳۰ سانتی‌متر دوم با ۵۶٫۸۹ درصد کاهش به ۲۶۹ میلی‌اکی والان در لیتر رسید. شاید همین شدت خروج سدیم از لایه بالایی علت افزایش ۱۳٫۶۲ درصدی نسبت جذب سدیم در ۳۰ سانتی‌متر دوم آبیویی در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری است.



شکل ۵. روند تغییرات نسبت جذب سدیم عصارة اشباع خاک با آبیویی با آب کارون در اعماق مختلف

شکل‌های ۶ و ۷ روند تغییرات نسبت جذب سدیم را در اعماق مختلف خاک به ترتیب در آبیویی با زهاب با شوری‌های ۶۰ و ۹۰ دسی‌زیمنس بر متر نشان می‌دهند. با بررسی این شکل‌ها می‌توان گفت در هر دو، شیب کاهش نسبت جذب سدیم در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک در ابتدای آبیویی نسبت به آبیویی با آب کارون ملایم‌تر است. البته این کاهش

شیرین‌ترین آب آبخویی به‌کاررفته نیز خطری از بابت بهم‌ریختن ساختمان فیزیکی خاک و کاهش بازده آبخویی ایجاد نمی‌کند. همچنین، با توجه به جدول ۱، به نظر می‌رسد در زهاب‌های به‌کاررفته افزایش غلظت کاتیون‌ها بیشتر در افزایش مقدار سدیم است؛ چنان‌که غلظت کلسیم و منیزیم در زهاب با شوری ۹/۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به آب کارون ۲/۳ برابر، ولی غلظت سدیم ۵/۲ برابر است.

سدیم پس از آبخویی نداشته‌اند. تفاوت آب کارون با آن‌ها بر اساس دو آزمون آماری ذکرشده در سطح ۱ درصد معنادار بود. در آبخویی خاک‌های شور و سدیمی، شوری آب آبخویی نباید کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر باشد. در غیر این صورت باعث پراکندگی ذرات خاک می‌شود و عمل آبخویی را محدود می‌کند (Naseri, 1998). در این آزمایش‌ها حتی آب تازه رودخانه کارون نیز این شرط را تأمین می‌کند. بنابراین، حتی

جدول ۷. واکنش خاک (pH) پس از ۱۲۰ سانتی‌متر آبخویی

مقادیر واکنش خاک در تکرارهای تیمارهای آزمایشی			تیمار	نوع آب آبخویی	عمق نمونه‌برداری (cm)
میانگین	حداکثر	حداقل			
۷,۷۵a*	۷,۹۹	۷,۵۶	T1	آب کارون	۰-۳۰
۷,۶۸ a	۷,۸۱	۷,۵۵	T2	زهاب با شوری ۶,۰ dS/m	
۷,۷۹ a	۷,۹۲	۷,۶۴	T3	زهاب با شوری ۹,۰ dS/m	
۷,۹۵ a	۸,۱۰	۷,۸۲	T1	آب کارون	۳۰-۶۰
۷,۷۶ a	۷,۸۷	۷,۶۲	T2	زهاب با شوری ۶,۰ dS/m	
۷,۸۸ a	۸,۲۲	۷,۵۵	T3	زهاب با شوری ۹,۰ dS/m	
۷,۹۳ a	۸,۱۱	۷,۸۰	T1	آب کارون	۶۰-۹۰
۷,۹۳ a	۸,۰۴	۷,۸۶	T2	زهاب با شوری ۶,۰ dS/m	
۷,۸۶ a	۷,۹۳	۷,۷۷	T3	زهاب با شوری ۹,۰ dS/m	

• سطوح معناداری در جدول بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تعیین شد.

تبادل بازی و نیز هیدروژن در خاک:

$$CEC = \sum basic\ cations + H^+ \quad (رابطه\ ۲)$$

$$CEC = BSP + HSP \quad یا$$

$$BSP = \frac{Ca+Mg+K+Na}{CEC} \times 100 \quad (۲)$$

$$HSP = \frac{H}{CEC} \times 100 \quad (۳)$$

مقادیر  $BSP$  و  $HSP$  به صورت درصد بیان می‌شود. یعنی با افزایش یکی از آن‌ها سهم دیگری از  $CEC$  کاهش می‌یابد. بنابراین، هر چه مقدار واکنش خاک افزایش یابد، به عبارت دیگر مقدار هیدروژن کاهش یابد، مقدار  $HSP$  کاهش و سهم  $BSP$  از  $CEC$  افزایش می‌یابد. چنین گمان می‌رود که در فرایندهای آبخویی بررسی‌شده در این پژوهش نسبت هیدروژن به کاتیون‌های قلیایی کاهش یافته و این وضعیت موجب افزایش واکنش خاک شده است.

کاهش نسبت هیدروژن به کاتیون‌های قلیایی به این علت است که هیدروژن نسبت به کلسیم و منیزیم بار کمتری دارد. به همین علت هنگام آبخویی به‌راحتی به وسیله این کاتیون‌ها،

معمولاً واکنش (pH) خاک (اسیدی یا قلیایی) برابر ۸,۵ برای مشخص کردن خاک‌های قلیایی از غیر قلیایی انتخاب می‌شود. این معیار را مؤسسه شوری امریکا پیشنهاد کرده است. البته، در دهه ۱۹۸۰، پژوهشگران پیشنهاد کردند که واکنش بیش از ۸,۲ برای تشخیص خاک‌های قلیایی معیار قرار گیرد (Abrol et al, 1980). مقادیر واکنش خاک پس از اعمال تیمارهای آبخویی در جدول ۷ می‌آید. با توجه به جدول ۷، واکنش خاک محل پژوهش، چه قبل از آبخویی و چه بعد از آن، حتی با معیارهای سخت‌گیرانه‌تر، در محدوده قلیایی قرار نمی‌گیرد. ارقام جدول ۷ نشان می‌دهد واکنش خاک پس از اعمال تیمارهای آبخویی اندکی افزایش پیدا می‌کند. البته، بر اساس آزمون دانکن، به جز تیمار T2 در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری، این افزایش در باقی تیمارها در سطح ۵ درصد معنادار بود. یادآور می‌شود به طور کلی یون‌های کلسیم، منیزیم، پتاسیم، و سدیم دارای خصوصیات بازی (قلیایی) و هیدروژن و آلومینیوم دارای خصوصیات اسیدی‌اند. بنابراین، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک<sup>۱</sup> ( $CEC$ ) عبارت است از مجموع کاتیون‌های قابل

2 Basic Saturation Percent  
3 Hydrogen Saturation Percent

1 Cation Exchange Capacity (CEC)

خاک‌های سنگین این منطقه ضرورت ندارد. برای اصلاح مشکل سدیمی در این خاک‌ها نیازی به استفاده از ماده اصلاح‌کننده نیست. هرچند پژوهش‌های سایر محققان نشان می‌دهد استفاده از این مواد می‌تواند روند سدیم‌زدایی را تسریع کند. به علت کاهش نسبت هیدروژن به کاتیون‌های قلیایی، واکنش خاک در اثر تیمارهای آبشویی اندکی افزایش پیدا کرده است. با این حال، واکنش خاک بررسی شده، چه قبل از آبشویی و چه بعد از آن، در محدوده قلیایی قرار نمی‌گیرد.

### سپاس‌گزاری

نویسندگان این مقاله از سازمان آب و برق خوزستان، که هزینه‌های طرح را تقبل کردند، شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی، که زمین و امکانات صحرائی را در اختیار گذاشتند، همچنین از خانم‌ها مهندس فیروزه شریفی‌پور و مهندس سارا صادقی و آقایان مهندس محسن پولادگر و مهندس مجتبی مروج، که در اجرای این پژوهش همکاری داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنند.

### REFERENCES

- Abdel-Khalek, M. A., El Gamal, F., El Kady, M., and Hamdy, A. (2003). *Agricultural drainage water reuse options, potential, costs and guidelines*. In: Hamdy A. (ed.). Regional Action Program (RAP): Water resources management and water saving in irrigated agriculture (WASIA PROJECT). Bari: CIHEAM, 137-162.
- Abrol, I. P., Chhabra, R., and Gupta, R. K. (1980). A Fresh Look at the Diagnostic Criteria for Sodic Soils. *International Symposium on Salt Affected Soils*. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal. February 18-21, 1980. 142-147.
- Barzegar, A. R. (2008). *Salt-affected Soils: Diagnosis and Productivity*. (2nd Ed) Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran. (In Farsi).
- Barzegar, A. R., Amirian, A. R., and Naseri, A. A. (2007). Study of Leaching Limiting Factors in Sugarcane Fields (South of Ahwaz). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Recourses*. 14 (1). (In Farsi)
- Chi, C. M., Zhao, C. W., Sun, X. J., and Wang, Z. C. (2012). Reclamation of saline-sodic soil properties and improvement of rice (*Oriza sativa* L.) growth and yield using desulfurized gypsum in the west of Songnen Plain, northeast China. *Geoderma*, 187-188 (2012) 24-30.
- Foth, H. D. (1990) *Fundamentals of Soil Science*. John Wiley & Sons. USA.
- Gharaibeh, M. A., Eltaif, N. I., and Shra'a, S. H. (2012). Desalination and Desodification Curves of Highly Saline-Sodic Soil Amended with Phosphoric Acid and by-Product Gypsum. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(1), 39-42.
- Mahler, P. (1979). *Manual of Land Classification for Irrigation*. (3rd Ed) Soil and Water Research Institute of Iran. Pub. No. 205.
- Naseri, A. A. (1998). *The Hydraulic Conductivity of Aggregated Clay Soils Under Loading, Leaching and Reclamation*. PhD Thesis, University of Southampton, U. K.
- Rhoades, J. D., Kandiah, A. K., and Mashali, A. M. (1992). *The Use of Saline Water for Crop Production*. FAO. Irrigation and Drainage Paper No.46.
- San Joaquin Valley Drainage Implementation Program (1999). *Drainage Reuse Technical Committee Report*. Sacramento, United States of America, Department of Water Resources. 81 pp.
- Sarraf, A., Vahdat, F., Pazira, E., and Sedghi, H. (2010). Estimating Reclamation Water Requirement and Predicting Final Soil Salinity for Soil Desalinization. *XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering*. Québec City, Canada, June 13-17, 2010.
- Tanji, K. K. and Kielen, N. C. (2003). *Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semi-Arid Areas*. FAO Irrigation and Drainage Paper 61. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- United Nations Development Program (2007). *Human Development Report 2006 – Beyond Scarcity: Power, Poverty and the Global Water Crisis*. United Nations Development Program, New York.

### نتیجه‌گیری

مشکل سدیمی در لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک‌های سنگین جنوب خوزستان با ۱۳۳ سانتی‌متر آبشویی با زهاب با شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر برطرف می‌شود و برای این کار به آب شیرین نیاز نیست؛ ضمن اینکه آبشویی با چنین زهابی موجب افزایش مقدار کلسیم و منیزیم در خاک، در مقایسه با آبشویی با آب رودخانه، خواهد شد. برای رفع مشکل سدیمی این خاک‌ها با استفاده از آب رودخانه کارون به ۱۲۶ سانتی‌متر آبشویی نیاز خواهد بود. استفاده از زهاب‌های شورتر از ۶ دسی‌زیمنس بر متر با هدف تأمین کلسیم و منیزیم برای جایگزینی با سدیم در