

بررسی تغییرات شوری خاک در حاشیه غربی دریاچه ارومیه با استفاده از مدل SaltMod

حبیب نظر نژاد^{۱*}، میرحسین میریعقوب‌زاده^۲، ادیت عیشویی^۳

۱. استادیار و عضو هیات علمی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۲. استادیار و عضو هیات علمی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت آبخیزداری، دانشگاه ارومیه

*مسئول مکاتبه: h.nazarnejad@urmia.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۲

چکیده:

شوری خاک از مسائلی مهمی است که باعث بروز مشکلات فراوان در حاصلخیزی خاک و تولید به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک می‌شود. به همین جهت مطالعه شوری خاک از اهمیت بالایی برخوردار است و برای پیش بینی، روند تغییرات و تشخیص آن استفاده از ابزارهای مناسب ضروری است. دریاچه ارومیه از جمله مناطقی است که در سال‌های اخیر با بحران پس‌روی آب، خشکی و افزایش شوری در خاک‌های اطراف آن مواجه شده است. از این رو شبیه‌سازی شوری خاک جهت کنترل و جلوگیری از توسعه آن بسیار ضروری می‌باشد. در این پژوهش با هدف تعیین تغییرات زمانی شوری خاک اراضی حاشیه غربی دریاچه ارومیه در منطقه دیزج دول در دوره چهارساله (۱۳۸۴-۱۳۸۱) از مدل SaltMod استفاده گردید. با توجه به نتایج مدل در منطقه مورد مطالعه میزان شوری خاک در حدود ۱۷ دسی‌زیمنس بر متر بود و میزان شوری در زون‌های انتقالی و آبخوان به ترتیب ۲۵ و ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر برآورد شد که پایین بودن سطح ایستابی یکی از دلایل بالا بودن شوری در زون انتقالی است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات شوری خاک، روند زمانی، دریاچه ارومیه، SaltMod

مقدمه:

خشک و نیمه خشک از اهمیت بسزایی برخوردار است (زهتابیان و همکاران، ۱۳۸۵؛ تاج گردان و همکاران، ۱۳۸۸؛ نوحه گر و زارع، ۱۳۹۱؛ فرناندز و همکاران، ۲۰۰۶؛ فریفته و همکاران، ۲۰۰۸؛ یو و همکاران، ۲۰۱۰). مدل SaltMod در اغلب مطالعات مربوط به شوری در اکثر نقاط جهان مورد کاربرد وسیع بوده است. آستران (۲۰۰۲) با بررسی نتایج حاصل از اجرای مدل SaltMod در دره نیل در مصر نشان داد که مدل‌های شوری-هیدرولوژیکی ابزاری مفید برای شناخت روابط پیچیده آب، خاک و گیاه هستند. سینگ و همکاران (۲۰۰۲) مدل SaltMod را در منطقه‌ای در هند که دارای سیستم زهکشی

بیش از یک سوم خاک‌های کره زمین و بخش اعظم خاک‌های ایران در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گرفته‌اند و پدیده بیابان‌زایی در این مناطق در حال پیشروی است (ارنانی و همکاران، ۱۳۹۰). شوری یکی از مشکلات مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. اکوسیستم این مناطق شکننده و مستعد پدیده شوری هستند (دب‌نهام، ۱۹۹۲). این پدیده یک مخاطره محیطی شدید محسوب می‌شود و به همین دلیل اهمیت مطالعه آن در جهان هر ساله در حال افزایش است. شناسایی مناطق تحت مخاطره شوری خاک برای اموری همانند مدیریت کشاورزی به‌ویژه در مناطق

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه دیزج دول در استان آذربایجان غربی در حد فاصل شهرهای ارومیه و محمدیار و در ضلع غربی دریاچه ارومیه واقع شده است. ناحیه دیزج دول از شمال به منطقه رشکان، از جنوب به مناطق حلبر و بالستان، از شرق به دریاچه ارومیه و از غرب به روستای ثمرنو محدود است. این منطقه همان طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بین عرض‌های جغرافیایی $37^{\circ} 11' 11''$ تا $37^{\circ} 14' 46''$ شمالی و بین طول‌های جغرافیایی $45^{\circ} 19' 20''$ تا $45^{\circ} 22' 22''$ شرقی قرار دارد. در حال حاضر مشکلات زیست محیطی و خیمی از جمله کمبود و هدررفت آب و شوری‌زایی، مناطق اطراف دریاچه ارومیه را تهدید می‌کند. برای حل این مشکلات روش‌های بسیاری ارائه شده‌اند. مدل‌های شبیه‌سازی با توجه به توان پیش‌بینی، تنها روش مناسب برای انجام تصمیم‌گیری و مدیریت آب در مناطق خشک و نیمه خشک هستند (سینگ، ۲۰۱۲، a, b, c).



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه واقع در حاشیه غربی دریاچه

ارومیه

زیرزمینی بود اجرا کردند و نتایج آن‌ها حاکی از آن است که شبیه‌سازی شوری خاک در منطقه ریشه و کمیت و کیفیت آب زهکشی و سطح ایستابی، با دقت بیشتری از کیفیت آب زهکشی و عمق ایستابی تخمین زده شده بود. باهیچی و همکاران (۲۰۰۶) برای بهبود زهکشی زیرزمینی در دشت کونیا در ترکیه از SaltMod استفاده کردند و تاثیر عمق مختلف زهکشی زیرزمینی را بر روی مقادیر آب زهکشی، شوری منطقه ریشه و عمق سطح ایستابی بررسی و بیلان آب و نمک را بدست آوردند. سینگ (c ۲۰۱۲) در منطقه‌ای در شمال غرب هندوستان به بررسی و اعتبارسنجی مدل SaltMod پرداخت و بر اساس نتایج شبیه‌سازی به این مهم دست یافت که این مدل ابزار کارآمدی برای شبیه‌سازی سطح تراز آب زیرزمینی و شوری بر اساس آزمون آماری می‌باشد و قابلیت ارزیابی تراز آب و نمک را با توجه به پارامترهای مختلف دارد. حق‌وردی و محمدی (۱۳۸۷) با بررسی خروجی زهکش‌های زیرسطحی با استفاده از مدل SaltMod به این نتیجه دست یافتند که استفاده از مدل‌های تخصصی برآورد شوری، امکان شبیه‌سازی را در زمان مختلف به محقق می‌دهد و می‌تواند تاثیرات پارامترهای مختلف را بر میزان شوری شبیه‌سازی کند و به برآورد تاثیر سناریوهای مختلف مدیریتی بپردازد. علی نژاد و کاوه (۱۳۹۰) به بررسی کم آبیاری و اثرات آن بر گیاهان مختلف با استفاده از SaltMod پرداختند. نتایج حاکی از آن است که این مدل به وضوح اثرات آبیاری را بر گونه‌های گیاهی شبیه‌سازی می‌کند و ارتفاع مویبگی را در سال‌های متوالی به خوبی نشان می‌دهد. هدف از این تحقیق پیش‌بینی و تعیین تغییرات زمانی شوری خاک با استفاده از مدل SaltMod بود.

ریشه، زون انتقالی و آبخوان). در این مدل فرض بر این است که تمام داده‌ها برای تمام منطقه یکسان هستند. ضخامت منطقه ریشه بر طبق ریشه گیاهان باغی و مطالعات مربوط به پروفیل‌های خاک تعیین شده است. مورد مهم دیگر در مدل سطح ایستابی آب است که یک پارامتر ورودی می‌باشد. بر طبق داده‌های مشاهداتی عمق سطح ایستابی از نقطه‌ای به نقطه دیگر بسیار متفاوت است، ولی در این تحقیق میانگین سطح ایستابی منطقه در نظر گرفته شده است.

اصول کار مدل بر پایه بیلان آب و کشاورزی منطقه است. بدیهی است هرچه تعداد فصل‌ها بیشتر باشد به پارامترهای ورودی بیشتری نیاز است. فصل‌ها به تر، خشک، گرم و سرد تقسیم می‌شوند. خروجی‌های مدل شامل داده‌های شوری و هیدرولوژیکی هستند که در بیشتر تحقیقات و مطالعات پارامترهای شوری مدنظر می‌باشند.

متغیرها و خصوصیات مربوط به خاک

مشخصات خاک بر اساس ۸ پروفیل خاک در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند (برخی مشخصات پروفیل‌ها در جدول ۱ آورده شده است) و از آنجایی که خصوصیات خاک در مدل محدود به یک شکل زمین در هر واحد هستند در نتیجه از میزان پارامترهای لازم میانگین گرفته شد و در محاسبه وارد شدند. این فرض برای تمام موارد از جمله تخلخل، تخلخل مفید، تراکم و EC در هر عمق از خاک یک مقدار میانگین محاسبه و در مدل وارد شد.

جهت انجام این تحقیق منطقه‌ای با دو ردیف پروفیل (در عمق‌های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متر) به مساحت ۳۴۳۹ هکتار، مورد بررسی قرار گرفت.

مدل SaltMod

در سال‌های اخیر مدل‌های هیدرولوژیکی-شوری بسیاری (سینگ، ۲۰۱۰؛ ژی و کوی، ۲۰۱۱؛ خو و همکاران، ۲۰۱۱؛ سینگ و پندا، ۲۰۱۲ a,b) با هدف مدیریت آب و شوری توسط محققان مختلف معرفی شده‌اند. بیشتر این مدل‌ها داده‌های پارامترهای خاک مانند رابطه بین خاک اشباع نشده و آب، فشار اسمزی و هدایت الکتریکی خاک را نیاز دارند که به راحتی قابل محاسبه نیستند. به همین ترتیب فاکتورهای بسیاری همانند در دسترس بودن داده‌ها و نیز توانایی نرم‌افزار در محاسبه پارامترها و انجام پیش‌بینی‌های طولانی مدت از جمله مواردی هستند که در انتخاب مدل اهمیت دارند.

SaltMod یک برنامه کامپیوتری برای پیش‌بینی شوری در رطوبت خاک، آب‌های زیرزمینی و زهکشی، سطح ایستابی و دبی زهکشی در اراضی کشاورزی تحت آبیاری با استفاده از شرایط هیدرولوژیکی متفاوت و پارامترهای مدیریت آب و نیز استفاده از آب زیرزمینی جهت آبیاری گونه‌های مختلف گیاهی است (آستربان، ۲۰۰۲). مدل SaltMod یک مدل هیدرولوژیکی-شوری می‌باشد و داده‌های ورودی آن به صورت فصلی در دسترس است و برای محاسبه تراز آب و نمک مورد استفاده قرار می‌گیرد (سینگ، ۲۰۱۲c). در این مدل ضخامت هر بخش از مخزن خاک مورد محاسبه قرار می‌گیرد (از جمله منطقه

جدول ۱: مشخصات پروفیل‌های خاک حفر شده در منطقه مورد مطالعه

	D2	C2	B2	A2	D1	C1	B1	A1	پارامتر							
عمق	۰-۴۳	۰-۲۴	۳۱-۴۴	۰-۳۱	۲۲-۴۱	۰-۲۲	۲۰-۵۵	۰-۲۰	۲۸-۴۱	۰-۲۸	۲۰-۴۲	۰-۲۰	۲۰-۵۰	۰-۲۰	۳۰-۵۴	۰-۳۰
% SP	۴۴/۵	۴۴/۷۱	۷۴/۸۲	۴۲/۰۴	۷۸/۵۷	۷۱/۵	۷۵/۷۴	۵۱/۸	۲۴/۱	۱۰/۷۶	۱۵	۲۵/۶	۲۶/۴۶	۱۹/۵۵	۲۲/۷۶	۲۳/۷۳
pH	۸/۸۴	۸/۴۷	۸/۸۴	۸/۷۶	۸/۷۷	۸/۶۴	۹/۶۲	۸/۵	۸/۱۷	۷/۷۱	۷/۸	۸/۱۲	۸/۱۶	۷/۸	۸/۱۵	۸/۱۸
EC	۶۸/۹	۱۲۶/۳۳	۵۴/۲	۴۱/۲	۱۱/۹۲	۱۱/۲۷	۲۶/۹۲	۱۵/۸۸	۲/۳	۰/۱۸	۰/۱۲	۱/۴	۱/۹	۱/۷	۰/۹۵	۱/۲

تخمین زهکشی زیرسطحی آبخوان

در مدل SaltMod، زهکشی زیر سطحی طبیعی به عنوان مازاد آب زیرزمینی خروجی افقی (متر) نسبت به میزان آب زیرزمینی ورودی (متر) در هر فصل تعریف شده است. این مقادیر با در دست داشتن و جمع‌بندی کردن مقادیر زهکشی ورودی به صفر و اعمال تغییرات در مقادیر خروجی آب‌های زیرزمینی، محدوده مقادیر مورد استفاده جهت آب‌های زیرزمینی خروجی به صورت پارامترهای زوجی در مدل برای هر دو فصل وارد شدند. پس از مقایسه نتایج هر میزان با مقادیر مشاهداتی، بهترین تطابق با این مقادیر به عنوان ورودی در مدل به کار برده شد.

تخمین ضریب آبشویی

ضریب آبشویی در منطقه ریشه یا در زون انتقالی به عنوان ضریب تمرکز نمک در آب جذب شده از ریشه یا زون انتقالی به میزان میانگین تمرکز خاک اشباع از آب تعریف شده است. محدوده مقادیر دلخواه ضریب آبشویی برای منطقه ریشه و زون‌های انتقالی به مدل داده شدند. مقادیر خروجی شوری منطقه ریشه بر اساس این مقادیر با مقادیر مشاهداتی مقایسه شدند، مقدار ضریب آبشویی که بهتر از سایر نتایج با مقادیر مشاهداتی تطابق داشت، جهت استفاده در مدل برای مدل‌سازی استفاده شده است.

برای مدل‌سازی فرآیند شوری در منطقه مورد مطالعه، مطالعات زراعی برای تمام منطقه بر اساس سیستم فصلی در این مدل محاسبه شدند. در این مطالعه برحسب شرایط اقلیمی منطقه که عمدتاً بارش و تبخیر اساس بررسی می‌باشد، مطالعات در دو فصل با طول مدت ۷ و ۵ ماه که در منطقه مورد مطالعه به فصول تر (آبان تا اردیبهشت) و فصول خشک (خرداد تا مهر) تقسیم شدند، انجام شد (جدول ۲).

جدول ۲: پارامترهای ورودی در مدل

پارامترهای ورودی آب و خاک استفاده شده در مدل	
پارامترهای فصلی	
فصل ۱ (ماه)	۷
فصل ۲ (ماه)	۵
خصوصیات خاک	
میزان نفوذ	۰/۰۰۱
تخلخل کل منطقه ریشه	۰/۴۱
تخلخل کل زون انتقالی	۰/۴۲
تخلخل کل آبخوان	۰/۴۱
ضریب آبشویی منطقه ریشه	۰/۷
ضریب آبشویی زون انتقالی	۰/۸
ضریب آبشویی آبخوان	۰/۹
فاکتورهای تراز آب	
آبیاری فصل ۱	۰/۴۷
آبیاری فصل ۲	۰/۶۷
بارش فصل ۱	۰/۳
بارش فصل ۲	۰/۰۲
تبخیر و تعرق فصل ۱	۰/۲۷
تبخیر و تعرق فصل ۲	۱/۰۲
رواناب سطحی فصل ۱	۰/۰۳
رواناب سطحی فصل ۲	۰
شرایط اولیه	
سطح ایستابی	۳
ضخامت آبخوان	۳
ضخامت زون انتقالی	۰/۷
ضخامت منطقه ریشه	۱

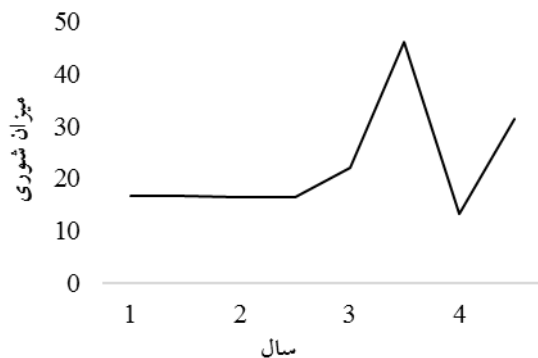
برای محاسبه تبخیر از فرمول تورنت وایت استفاده شد و میانگین فصلی آن داده‌ها در مدل برای محاسبات مورد استفاده قرار گرفت (علیزاده، ۱۳۹۳).

$$PET=16\left(\frac{10+T_m}{I}\right)^a$$

$$I=\sum_{N=1}^{12} im$$

$$Im=\left(\frac{T_m}{5}\right)^{1.51}$$

$$a=(6.75 \times 10^{-7})I^3 - (7.71 \times 10^{-5})I^2 + (1.792 \times 10^{-2})I + 0.492$$



شکل ۲: تغییرات شوری خاک منطقه

با توجه به مقادیر برآورده شده (جدول ۳ و شکل ۲) می‌توان گفت که میزان EC در حدود ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر نشان می‌دهد که میزان شوری در منطقه به دلیل مجاورت با خط ساحلی دریاجه و حضور نمک در منطقه، بالا می‌باشد.

جدول ۴: میزان شوری در زون انتقالی و آبخوان بر حسب دسی

زیمنس بر متر			فصل	سال
شوری آبخوان ds/m	شوری زون انتقالی b ds/m	شوری زون انتقالی a ds/m		
۲/۲	۳۰/۱	۲۵/۲	۱	۱
۲/۲	۳۰/۱	۲۵/۲	۲	
۶	۳/۰۱	۸۲/۶	۱	۲
۱۳/۴	۶/۷۶	۸۱/۹	۲	
۱۰/۷	۱۱/۸	۲۷/۳	۱	۳
۱۲	۱۳/۴	۴۶/۵	۲	
۱۳/۲	۲۴/۵	۲۰/۳	۱	۴
۱۲/۵	۱۲/۶	۲۷/۷	۲	

که در آن: Im: نمایه حرارتی هر ماه و Tm: دمای هوا به درجه سانتی‌گراد است.

جهت محاسبه رواناب از فومول SCS استفاده گردید.

$$R = \frac{(P - 0.25)^2}{(P + 0.85)}$$

که در آن R: ارتفاع رواناب؛ P: بارندگی و S: نگهداشت آب است. در صورتی که S بر حسب میلی‌متر باشد:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

که در آن CN: شماره منحنی است.

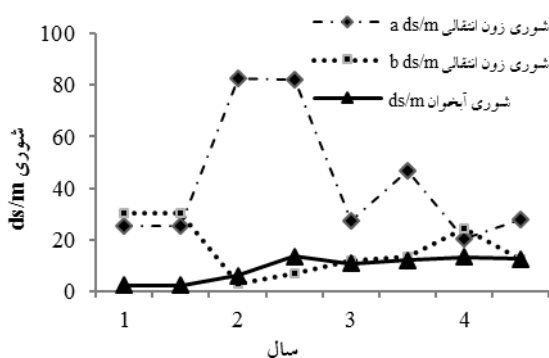
در نهایت با استفاده از پارامترهای موجود فصلی کشاورزی و خاک، برای چهار سال مدل اجرا گردید و شوری در این فصول محاسبه شد. پارامترهای ورودی بر اساس جدول ۲ طبقه بندی شدند.

نتایج و بحث

میزان شوری شبیه سازی شده در منطقه ریشه، زون انتقالی و آبخوان در جداول و نمودارها آورده شده است.

جدول ۳: شوری خاک منطقه بر حسب دسی زیمنس بر متر

سال	فصل	شوری خاک (ds/m)
۱	۱	۱۶/۷
	۲	۱۶/۷
۲	۱	۱۶/۵
	۲	۱۶/۵
۳	۱	۲۲/۱
	۲	۴۶/۱
۴	۱	۱۳/۱
	۲	۳۱/۴



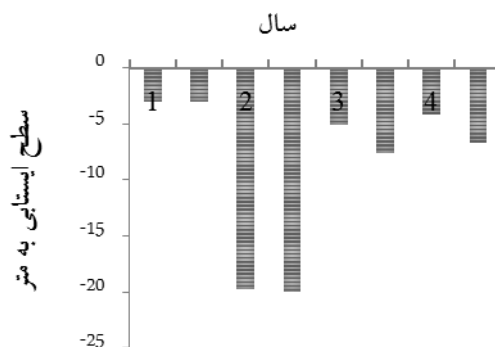
شکل ۳: تغییرات شوری در مناطق انتقالی و آبخوان

مدل در نظر گرفته شده‌اند، نشان‌دهنده این است که میزان شوری منطقه نسبتاً بالا و در جدول ۴ مقادیر آن‌ها نشان داده شده است. در زون انتقالی، شوری در سال‌های اول افزایش تدریجی داشت و به سطح خاک رسیده است (اشکال ۳ و ۴) و باعث شور شدن خاک در سال‌های سوم و چهارم شده است. به تدریج نفوذ نمک کم شده و باعث تمرکز نمک در منطقه ریشه و در سطح خاک شده که نبود گیاه و افزایش تجمع نمک در مجاورت خط ساحلی دریاچه این موضوع را تایید می‌کند. به علت پایین بودن سطح ایستابی منطقه در سال‌های اول (جدول ۵ و نمودار ۳)، صعود مویبندی اتفاق نمی‌افتد و غلظت نمک در آب آبیاری نیز بسیار پایین و نزدیک به صفر است، بنابراین غلظت نمک در منطقه ریشه تنها به آب نفوذ یافته بستگی دارد. میزان غلظت نمک نفوذ یافته هم بر اساس ضریب آبشویی در مدل محاسبه شد که با غلظت اولیه خاک رابطه مستقیم داشت.

نتایج این مطالعه با مطالعات زیریون و همکاران (۱۳۹۲)، یائو و همکاران (۲۰۱۴) تطابق نزدیکی دارد، در هر دو مطالعه سطح ایستابی منطقه پایین بود و مشخصات ژئومورفولوژیکی آن با منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شباهت داشت، به طوریکه برای خاک‌های با شوری بالا غلظت نمک نفوذ یافته بیشتر بود و در نتیجه به طبع آن میزان ذخیره نمک در سطح خاک کاهش می‌یابد. برای

جدول ۵: سطح ایستابی منطقه

سال	فصل	سطح ایستابی منطقه (متر)
۱	۱	-۳
	۲	-۳
۲	۱	-۱۹/۷
	۲	-۲۰
۳	۱	-۵/۰۸
	۲	-۷/۵۸
۴	۱	۴/۱۷
	۲	-۶/۷۳



شکل ۴: تغییرات سطح ایستابی منطقه

نتایج شبیه سازی در مناطق ریشه، انتقالی و آبخوان به ترتیب در اعماق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰ و ۹۰-۶۰ که به عنوان ورودی در

دریاچه قرار دارد، انجام شده است. این تحقیق با بهره‌گیری از مدل شوری-کشاورزی-هیدرولوژیکی SaltMod و داده‌های هیدرولوژی منطقه (زهکشی سطحی و سطح تراز آب و نمک)، داده‌های اقلیمی (بارش و تبخیر) و مولفه‌های شوری خاک انجام شده است. شوری منطقه ریشه و زون انتقالی و آبخوان در این منطقه در نبود سیستم زهکشی زیرسطحی در منطقه محاسبه و شبیه‌سازی شد. این محاسبات فقط با وجود شرایط آبیاری و باتوجه به شرایط عمق سطح ایستابی در هر دو فصل به انجام رسید. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که ضریب آبشویی ۰/۷ در منطقه ریشه بهترین تطابق را بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی نشان می‌دهد. میزان این ضریب بر اساس مقادیر تخلخل کل خاک و قابلیت نفوذ آب در خاک تعیین شده است.

با توجه به نتایج حاصل از مدل، پیشنهاد می‌شود سناریوهای مدیریتی مناسب در کنترل هدرفت آب و نیز کنترل شوری در منطقه اجرا شوند.

خاک‌های با غلظت نمک به مراتب کمتر بدیهی است که غلظت نمک نفوذ یافته کم بوده و میزان ذخیره نمک در سطح خاک در طی سال‌های متمادی افزایش می‌یابد و خاک شورتر می‌شود.

با افزایش تدریجی سطح ایستابی منطقه در سال‌های سوم و چهارم مقدار نمک ذخیره شده در آبخوان به منطقه ریشه رسیده و باعث افزایش شوری منطقه ریشه شده که در نمودارهای ۱ و ۲ قابل مشاهده است. تغییرات شوری در منطقه انتقالی و در آبخوان نیز به علت نفوذ آب شور از آبخوان و منطقه انتقالی به منطقه ریشه می‌باشد. کاهش شوری در آبخوان به دلیل صعود نمک به منطقه ریشه و نبود آبشویی نمک از منطقه ریشه و زون انتقالی به درون آبخوان است.

نتیجه گیری کلی

این مطالعه به منظور بررسی قابلیت مدل در شبیه‌سازی شوری منطقه ریشه، زون انتقالی و آبخوان در منطقه‌ای با شوری سطحی بالا که در معرض خشکی و پسروری آب

منابع:

- ارنانی، م. ز.، حکیم زاده، م.، گیوئی اشرف، ز. ابراهیمی خوسفی، ز. ۱۳۹۰. روندیابی شوری خاک با استفاده از سنجش از دور به منظور ارزیابی بیابان زایی مطالعه موردی دشت مروست استان یزد، دومین همایش ملی مقابله با بیابان زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران، اراک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک.
- تاجگردان، ت.، ایوبی، ش.، شتایی، ش. خرمالی، ف. ۱۳۸۸. تهیه نقشه شوری سطحی خاک با استفاده از داده‌های دورسنجی ETM + (مطالعه موردی: شمال آق‌قلا، استان گلستان)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۶(۲): ۱-۱۸.
- حق‌وردی، ا.، محمدی، ک. ۱۳۸۷. بررسی کیفی خروجی زهکش‌های زیرسطحی با استفاده از مدل SaltMod، مطالعه موردی دشت تبریز. دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست. دانشگاه تهران. ۲۸ اردیبهشت الی ۱ خرداد ۱۳۸۷.
- زهتابیان، غ.، طیب، م.، س.، سوری، م. بررسی علل شوری خاک در استان کرمان (مطالعه موردی: دشت کبوترخان). مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۳: ۳۸۴-۳۶۸.
- کاظمی زریون، م.، ناظمی، ا.ح.ف. صدرالدینی، ع.، قربانی، م. ۱۳۹۲. مدل‌سازی تغییرات زمانی و مکانی شوری خاک اراضی پایاب سد حاجیلرچای در استان آذربایجان شرقی با استفاده از تلفیق زمین‌آمار و مدل SaltMod. مجله پژوهش آب ایران. ۷(۱۲): ۲۱-۳۱.
- علیزاده، ا. ۱۳۹۳. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ سی و هفتم. انتشارات دانشگاه امام رضا. ۹۲۰ ص.
- علی‌نژاد، ش.، کاوه، ف. ۱۳۹۰. بررسی کم‌آبیاری به کمک مدل کامپیوتری SaltMod بر روی تعدادی گیاه زراعی (مطالعه موردی منطقه جنوب اهواز). نخستین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی. دانشگاه تهران. ۱ و ۲ آذر ۱۳۹۰.

- نوحه‌گر، ا.، زارع، غ. ۱۳۹۱. استخراج پهنه‌های شوری خاک در مناطق خشک و نیمه خشک با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی شهرستان داراب). مجله جغرافیا و محاطرات محیطی. ۱: ۴۹-۶۴.
- Bahceci, I., Dinc, N., Tari, A.F., Agar, A.I., Sonmez, B. 2006. Water and salt balance studies using SALTMOD to improve subsurface drainage design in the Konya-Cumra Plain, Turkey. *Agric Water Manage.* 85:261-271.
- Farifteh, J., van der Meer, F., van der Meijde, M., Atzberger, C. 2008. Spectral characteristics of salt-affected soils: A laboratory experiment. *J Geoderma.* 145:196-206.
- Fernandez-Buces. N., Siebe, C., Cram, S., Palacio, J. 2006. Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation: A case study in the former lake Texcoco, Mexico. *J Arid Environ.* 65:644-667.
- Oosterbaan, R.J. 2002. Drainage research in farmers' fields: analysis of data. In: Part of Project "Liquid Gold" of the International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen. The Netherlands. 59-66.
- Singh, A. 2010. Decision support for on-farm water management and long-term agricultural sustainability in a semi-arid region of India. *J Hydrol.* 391(1-2): 63-76.
- Singh, A. 2012a. An overview of the optimization modelling applications. *J Hydrol.* 466: 167-182.
- Singh, A. 2012b. Optimal allocation of resources for the maximization of net agricultural return. *J Irrig Drain Eng.* 138(9): 830-836.
- Singh, A. 2012c. Validation of SaltMod for a semi-arid part of northwest India and some options for control of waterlogging. *Agric Water Manag.* 115: 194- 202.
- Singh, M., Bhattacharya, A.K., Singh, A.K., Singh, A. 2002. Application of SALTMOD in coastal clay soil in India. *Irrig Drain Sys.* 16: 213-231.
- Singh, A., Panda, S.N. 2012a. Integrated salt and water balance modeling for the management of waterlogging and salinization. 1: Validation of SAHYSMOD. *J Irrig Drain Eng.* 138(11): 964-971.
- Singh, A., Panda, S.N. 2012b. Integrated salt and water balance modeling for the management of waterlogging and salinization. 2: Application of SAHYSMOD. *J Irrig Drain Eng.* 138(11): 955-963.
- Xie, X., Cui, Y. 2011. Development and test of SWAT for modeling hydrological processes in irrigation districts with paddy rice. *J Hydrol.* 396: 61-71.
- Xu, X., Huang, G., Qu, Z., Pereira, L. 2011. Using MODFLOW and GIS to assess changes in groundwater dynamics in response to water saving measures in irrigation districts of the upper Yellow River Basin. *Water Resources Manage.* 25: 2035-2059.
- Yao, R.J., Yang, J.S., Zhang, T.J., Hong, L.Z., Wang, M.W., Yu, S.P., Wang, X.P. 2014. Studies on soil water and salt balances and scenarios simulation using SaltMod in a coastal reclaimed farming area of eastern China. *Agric Water Manage.* 131: 115- 123.
- Yu, R., Liu, T., Xu, Y., Zhu, C., Zhang, Q., Qu, Z., Liu, X., Li, C. 2010. Analysis of salinization dynamics by remote sensing in Hetao Irrigation District of North China. *J Agric Water Manage.* 97:1952-1960.



Investigation of Soil Salinity Changes in the West Side of Urmia Salt Lake Using SaltMod

Habib Nazarnejad^{1*}, Mirhassan Miryaghoubzadeh², Edith Eshoie³

1- Assistant professor, Natural resources faculty, Urmia University,

2- Assistant professor, Natural resources faculty, Urmia University

3- MSc Student in watershed management engineering, Urmia University

For Correspondence: h.nazarnejad@urmia.ac.ir

Received: 12.01.16

Accepted: 16.08.16

Abstract:

Soil salinity is an important issue that causes problems in soil fertility and crop production, especially in arid and semi-arid regions. This is why the study of soil salinity is important, and for track the changes, forecasting and early diagnosis is essential to use the proper tools. Urmia Lake is one of the regions that in recent years face the water retrogression, drought and soil salinity increase in surrounded areas. Thus, simulation of soil salinity to control and prevent its development is required. In this study, to determine the soil salinity, temporal changes of west side of the Lake in Dizaj-e Dowl area in four years period (2002-2005) were studied using SaltMod model and salinity level in the area was determined to be 17 ds m⁻¹ and in transition zone and aquifer is 25 and 13 ds m⁻¹, respectively. Which, low water table was one of the reasons that causes high salinity rate in transition zone.

Key words: soil salinity changes, temporal track, Urmia Lake, SaltMod