اکوهیدرولوژی
دورهٔ ۸، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۵۶۲-۵۵۱

مطالعهٔ تغییرات مکانی شوری (منطقهٔ مطالعه‌شده: حوضهٔ آبخیز حوض سلطان)

امیرحسین رحمتی‌زاده[1*]، حمید غلامی[2]، یحیی اسماعیل‌پور[3]، حسن خسروی[4]

۱. دانش‌آموختهٔ دکترای بیابان‌زدایی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، مرکز تحقیقات استراتژیک مجمع تشخیص مصلحت نظام

۲. دانشیار، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

۳. استادیار، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

۴. استادیار، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۷/۰۳، تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۰۲/۲۲)

چکیده

شوری خاک یکی از عوامل محدودکنندهٔ رشد گیاهان و تخریب اراضی است. هدف از پژوهش پیش رو، کاربردی ساختن و دسترسی به پایگاه‌های خارج از دسترس شوری خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی است. در این تحقیق سعی شده است در منطقهٔ حوض سلطان قم با حفر ۸ پروفیل با عمق متوسط ۱/۵ متر و نمونه‌برداری آب از ۴ نقطه روی ترانسکتی از خط کنیک تا حد پلایا، به شناسایی روند شوری خاک و کانی‌های آن پرداخته شود. نمونه‌های آب و خاک از هر قسمت خاک در پایان سال زراعی در اواخر شهریورماه برداشت شد و در آزمایشگاه مورد تجزیه قرار گرفت. نتایج نشان داد روند تغییرات شوری از خط کنیک تا پلایا به این صورت است که به‌ترتیب شاهد کلرورها، سولفات‌ها، کربنات‌ها و در انتها، کربنات کلسیم‌ها قرار می‌گیرند. این روند در منطقهٔ حوض سلطان معنادار بود. در این تحقیق دامنهٔ pH خاک از ۶/۵ تا ۸/۹ به دست آمد. همچنین، میزان شوری از ۱/۵ دسی‌زیمنس (ds/m) بر مترمربع در مجاورت خط کنیک شروع می‌شود و تا ۲/۳۰ دسی‌زیمنس بر مترمربع در کنار کفهٔ نمکی افزایش می‌یابد. در ضمن، در منطقهٔ مطالعه‌شده خاک‌های سدیمی (قلیا) درصد سدیم تبادلی بیش از ۱۵ دارند و نسبت جذب سدیم در عصارهٔ اشباع بیش از ۱۳ است.

کلیدواژگان: تغییرات مکانی، حوض سلطان، شوری خاک، کریجینگ.

* نویسندهٔ مسئول
Email: ami.rahmatizadeh@csr.ir

مقدمه

روزگاری انسان در برابر پدیدۀ خشکی چاره‌ای جز تسلیم نداشت، اما امروزه از یک سو، رشد مستمر جمعیت و افزایش مصرف مواد غذایی و از سوی دیگر، قابلیت بیولوژیک بالقوه‌ای که در این مناطق وجود دارد، سبب شده است که مسئلۀ بهره‌برداری از اراضی شور و قلیایی که حدود ۴۵۰ تا ۹۰۰ میلیون هکتار از اراضی جهان را شامل می‌شود، به‌طور وسیعی مورد توجه کارشناسان قرار گیرد [۱]. طبق تخمین سازمان محیط زیست ایالات متحدۀ آمریکا، حدود ۲۰ درصد از زمین‌های کشاورزی جهان، تحت تنش شوری است و شوری خاک، محدودیت بزرگی برای استفاده از زمین‌های قابل کشت محسوب می‌شود [۲]. به علت مدیریت ضعیف خاک و آب در نواحی آبیاری‌شده، مسئلۀ شوری اهمیت زیادی برای تولیدات کشاورزی در این مناطق دارد [۳]. تنش شوری که خود از تنش‌های زنده محسوب می‌شود، یکی از عوامل کاهش قابلیت اراضی در تولید محصولات کشاورزی است [۴]. طی پژوهشی در منطقه‌ای از کالیفرنیا نیز تغییرات شوری خاک طی دورۀ آماری ۶۰ ساله با استفاده از جفت نمونه‌ها بررسی و مقایسه شد. نتایج تحقیق یادشده نشان داد شوری خاک منطقه طی این مدت کاهش یافته است که بهبود خصوصیات کیفی خاک به دلیل استفاده از روش‌های صحیح مدیریتی را نشان می‌دهد. شکل شوری خاک در کشاورزی بیشتر اوقات به مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود می‌شود. این مناطق حدود ۴۱ درصد سطح زمین را اشغال می‌کنند [۵]. از ۱۴۷۴ میلیون هکتار اراضی زیر کشت جهان، حدود ۲۳۰ میلیون هکتار به کشت آبی اختصاص دارد و از این مقدار، حدود ۴۵ میلیون هکتار (۱۹/۵ درصد) تحت تأثیر شوری هستند [۶]. سرعت تخریب خاک بر اثر فرایند شور شدن، ۳ هکتار در دقیقه است [۷]. اراضی شور با سرعتی حدود ۱ـ ۲ میلیون هکتار در سال افزایش می‌یابند که این رشد، درست برابر میزان توسعۀ اراضی آبی در هر سال در تمام دنیا است [۸]. از کل ۱۶۵ میلیون هکتار اراضی کشور ایران، حدود ۴۴/۵ میلیون هکتار آن مقادیر مختلفی شوری دارند. در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، به دلیل کمبود بارندگی و عدم توزیع یکنواخت آن، آبیاری اصل مهمی در کشاورزی این مناطق به شمار می‌رود [۹]. به دلیل محدود بودن منابع سطحی آب و افزایش جمعیت، امروزه به بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی افزوده شده است. حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و رواج یافتن آنها در کشور طی دهه‌های اخیر، از یک‌طرف مسئلۀ آب را در بسیاری از نقاط کشور حل کرده، ولی از طرف دیگر، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، موجب افت سطح آب زیرزمینی و نفوذ آب شور به داخل سفره‌های آب شیرین در بسیاری از مناطق شده است [۱۰]. یکی از مناطقی که طی چندین دهۀ اخیر، به دلیل بهره‌برداری‌های غیراصولی از منابع آب و خاک آن، کمبود جریان‌های آب سطحی مناسب و برداشت بیش از اندازه از منابع آب زیرزمینی با افت سطح ایستابی و نیز افزایش شوری مواجه شده، استان قم است [۱۱]. مطالعات فراوانی در داخل و خارج کشور در این زمینه صورت گرفته است. قانعی مطلق و همکاران [۱۲] برای تهیۀ نقشۀ شوری خاک، از روش‌های زمین‌آماری استفاده کردند و بیان داشتند که تهیۀ نقشۀ شوری خاک برای مدیریت بهتر زمین همراه با کاهش هزینه‌های اقتصادی، امری ضروری به نظر می‌رسد. قلی درق و همکاران [۱۳] ساختار مکانی شوری خاک در دشت اردبیل را با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و GIS بررسی کردند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آنها نشان داد مدل خطی بهترین مدل برآوردی برای داده‌های شوری است. همچنین، بین مقادیر پارامتر بررسی‌شده، ساختار فضایی متوسط وجود دارد و میانگین شوری منطقه ۰/۹۴ است. اقبالیان و همکاران [۱۴] تغییرات مکانی و زمانی معیارهای کیفی آب زیرزمینی دشت بهار همدان را با استفاده از روش GIS طی دورۀ ۱۰ ساله بررسی کردند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آنها نشان داد بیشترین تغییرات کیفیت آبخوان طی یک دورۀ ۱۰ ساله مربوط به مقدار سدیم بوده که محدودۀ غیر مجاز آن برای مصارف کشاورزی از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳ به میزان ۳/۲۱ درصد افزایش یافته است. هاکان و همکاران [۱۵] در پژوهشی از روش کریجینگ شاخص و کریجینگ معمولی برای پهنه‌بندی نقشۀ مکانی و زمانی شوری آب زیرزمینی برای دشت بافر ترکیه استفاده کردند. نقشۀ پراکنش مکانی، بیانگر کاهش میزان شوری آب‌های زیرزمینی طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ بود، به طوری که شوری بیش از ۵ دسی‌زیمنس بر متر، در سال ۲۰۰۴ حدود ۹۰ درصد از سطح منطقۀ مطالعه‌شده و در سال ۲۰۱۰ تقریباً ۹ درصد بوده است. عبد نور و همکاران [۱۶] با استفاده از تکنیک کریجینگ به ارزیابی شوری در خاک‌های اشباع در کشور الجزایر پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آنها نشان داد

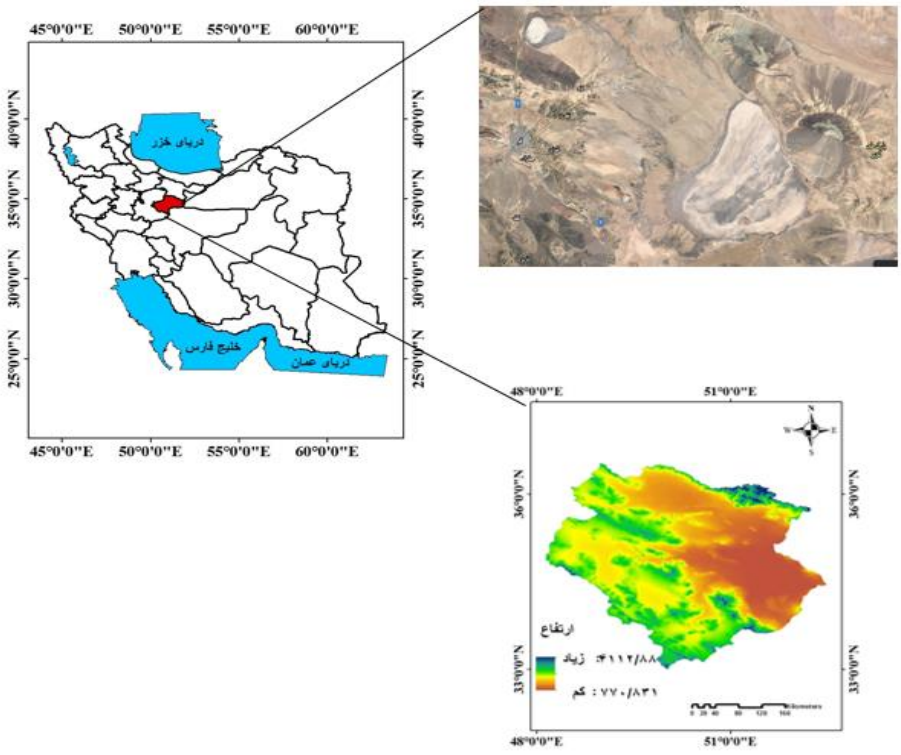
نقشهٔ پیش‌بینی شوری خاک بیانگر افزایش شوری بوده است. در حالی که خاک بدون نمک درصد بسیار کمی (۱/۵ درصد) را نشان می‌دهد. نی و همکاران [۱۷] به تخمین توزیع مکانی شوری خاک با استفاده از روش رگرسیون وزنی کریجینگ و رابطهٔ آن با آب‌های زیرزمینی در منطقه‌ای در شمال شرقی چین پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آنها نشان داد RK و GWRK به دلیل متغیرهای کمکی می‌توانند به طور مؤثر توزیع مکانی شوری خاک را پیش‌بینی کنند. همچنین، با توجه به رابطهٔ کیفی شوری خاک و آب‌های زیرزمینی، هنگامی که عمق آب زیرزمینی کمتر از ۵ متر بود، با کاهش عمق آب زیرزمینی شوری خاک افزایش می‌یابد، در حالی که بیش از ۵ متر شوری خاک بدون تغییر باقی می‌ماند. با توجه به مطالعات فراوانی که در این زمینه صورت گرفته، هدف از انجام این طرح، مطالعهٔ تغییرات مکانی شوری از جبههٔ کوهستان تا پلایای حوض سلطان است.

مواد و روش

منطقهٔ مطالعه‌شده

منطقهٔ مطالعه‌شده در شمال غربی حوضهٔ آبخیز حوض سلطان و در جنوب تهران واقع شده است که به دریاچهٔ ساوه و دریاچهٔ شاهی نیز معروف است (شکل ۱). این دریاچه با مساحت تقریبی ۲۴۰۰ کیلومترمربع دارای طول حدود ۸۰ کیلومتر و پهنای حدود ۳۰ کیلومتر است. دریاچهٔ نمک و کفهٔ نمکی به‌وسیلهٔ رودها و مسیل‌های سیلابی که اغلب در شمال و غرب حوضه جریان دارند، تغذیه می‌شوند. این رودها در طول مسیر خود از بسترهایی با رسوبات تبخیری فراوان (رسوبات میوسن دارای گچ و نمک) عبور می‌کنند و از این راه به میزان فراوان املاح محلول را در آب حل کرده و با خود به دریاچه‌ها حمل می‌کنند [۱۱].

با توجه به نقشهٔ توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ مرز حوضه مشخص شده و سپس، با توجه به عکس هوایی ۱:۵۵۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰ و تصاویر لندست از سازمان نقشه‌برداری کشور و بازدید صحرایی این نتیجه به دست آمد که منحنی میزان با ارتفاع ۸۴۰ متر به‌عنوان مرز محدودهٔ شمال، غرب و جنوب پلایای حوض سلطان فرض شود. از سمت شرق نیز جادهٔ خاکی مره که تقریباً خط تقسیم آب بین حوض سلطان و چالهٔ مره است، به‌عنوان مرز پلایا در نظر گرفته شد. به این علت که شیب بیشتر منطقه کمتر از ۱ درصد و پلایای یادشده تا شهرستان قم، کمتر از ۳۰ کیلومتر است.

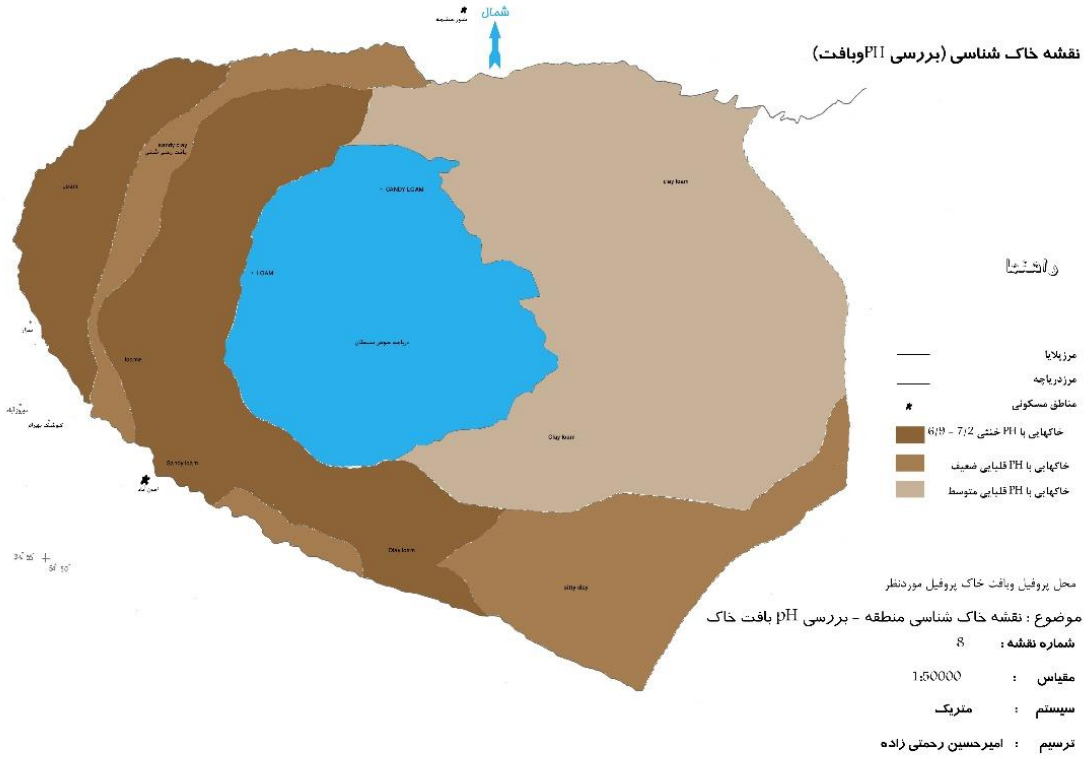


شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مطالعه‌شده (حوضهٔ آبخیز حوض سلطان)

خاک‌شناسی منطقه

بیشتر خاک‌های موجود در تیپ‌های ژئومورفولوژی پلایای حوض سلطان قم با اینکه دارای مقدار زیادی از عناصر مورد نیاز گیاهان مثل کلسیم، منیزیم، گوگرد و پتاسیم هستند، ولی به علت افزایش بیش از حد این عناصر و همچنین سدیم، قابلیت – هدایت الکتریکی خاک‌ها افزایش پیدا کرده و باعث محدودیت در رشد گیاهان شده است (شکل ۲).

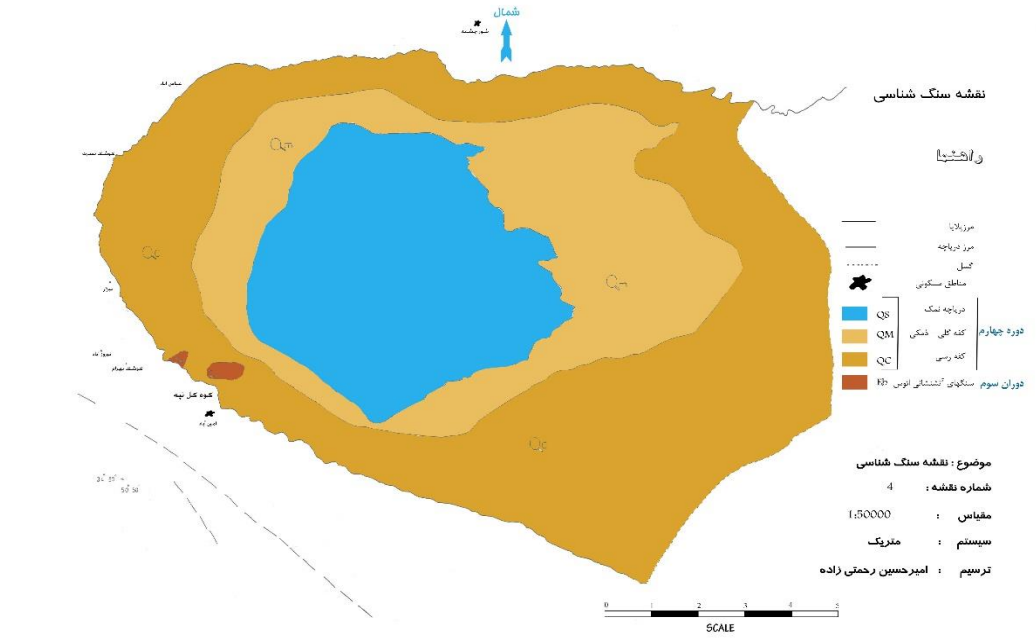
بدون استثنا کلیۀ خاک‌ها دارای مقداری نمک هستند. منشأ نمک‌ها سنگ‌های مادر است که بر اثر هوادیدگی تولید شده و سپس، وارد خاک می‌شود. نمک‌های خاک بر اثر نفوذ آب شسته می‌شود و به لایه‌های پایین‌تر انتقال پیدا می‌کند، ولی به‌وسیلۀ هرزآب از سطح خاک شسته شده و به همراه جریان‌های سطحی منتقل می‌شود [۲۲].



شکل ۲. نقشۀ خاک‌شناسی منطقۀ مطالعه‌شده (حوضۀ آبخیز حوض سلطان)

وضعیت زمین‌شناسی منطقه

از نظر قدمت زمانی، سنگ‌های ناحیه متعلق به دورۀ ائوسن است. در این دوره آتش‌فشانی در محیط دریایی و در وسعت بیشتری ادامه داشته و سبب پیدایش سازندهای آذرین مانند آندزیت و بازالتی شده است. در الیگوسن، دریای الیگوسن به دنبال توده‌های آتشفشانی گاهی مردابی، گاهی باتلاقی و زمانی دریایی کم‌عمق شده که موجب تشکیل رسوباتی شده است که با سکانس مثبت از تخریبی تا شیمیایی تغییر می‌کند. این رسوبات متنوع هستند و شامل کنلگومرا، ماسه‌سنگ، شیل، مارن آهک‌های تخریبی، شیمیایی و ساختمانی می‌شوند و سرانجام، گچ و نمک ایجاد می‌کنند که در زمین‌شناسی ایران نام تشکیلات قم به آن داده‌اند. بر اساس این مطالعات، آنتی کلینال علی‌آباد (در شمال) به عکس آنتی کلینال تاج امین‌آباد (در جنوب) که آهک‌ها و ماسه‌سنگ و مارن به روی سنگ‌های آندزیت ائوسن قرار دارد، سری سرخ بالایی با سازند جوش و تودۀ نمک روی سنگ‌های ائوسن قرار گرفته و این به‌واسطۀ گسلی است که سبب مجاورت تشکیلات قرمز فوقانی با سازند ائوسن شده است (شکل ۳) [۱۱].



شکل ۳. نقشهٔ سنگ‌شناسی منطقهٔ مطالعه‌شده (حوضهٔ آبخیز حوض سلطان)

داده‌های استفاده‌شده

پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط به نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ و عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ و همچنین، استفاده از تصاویر لندست ۱:۱۰۰۰۰۰ مسیر ترانسکت از خط کنیک تا حد پلایا مشخص شد. این حوضه شامل یک حوضهٔ آبخیز مستقل نیست، بلکه قسمتی از حوضهٔ کامل است. پس از اینکه واحدهای کاری (تیپ‌های جداشده روی تصاویر ماهواره‌ای) روی نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ پیاده شد، عملیات صحرایی صورت پذیرفت که شامل حفر پروفیل و نمونه‌گیری آب روی ترانسکت بود و در بعضی از موارد سعی شد پروفیل‌ها و نمونه‌های آب در مجاورت با مناطقی باشد که پوشش گیاهی دارد. سپس، به کمک GPS محل دقیق نمونه‌ها مشخص شده و نمونه‌برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری به صورت مرکب انجام شد. نمونه‌های خاک توسط کیسه‌های پلاستیکی از صحرا به آزمایشگاه منتقل شده و پس از خشک کردن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. پس از تهیهٔ گل اشباع، عصاره‌گیری توسط دستگاه سانتریفیوژ صورت گرفت. حفر پروفیل به این صورت که عمق نیمرخ ۱ متر و در صورتی که سطح ایستایی پایین‌تر از عمق یادشده باشد، حداکثر ۱/۵ متر خواهد بود. درخور یادآوری است که علاوه بر تیپ‌های پوشش گیاهی در مناطق فاقد پوشش گیاهی مانند مناطق مرطوب، کفه‌های نمکی (دریاچهٔ حوض سلطان و چالهٔ غدیر اسب) نیز اقدام به حفر پروفیل شد تا بتوان تا حدودی به علل نبود پوشش‌گیاهی و شناسایی عوامل بازدارندهٔ رویشی گیاهی پی برد. همچنین، تا جاهایی که عمق پروفیل (۱/۵ متری) به آب برخورد داشت، نمونهٔ آب تهیه شد. به علاوه، از یک چالهٔ داخل تیپ گیاهی Soaeda و همچنین، دو نمونه آب از رودخانهٔ شور و یک نمونه از چاه مال‌داری اطراف دریاچهٔ حوض سلطان نمونهٔ آب تهیه شده و برای آزمایش‌های لازم به آزمایشگاه ارسال شد. طبقه‌بندی شوری خاک بر مبنای میزان قابلیت هدایت الکتریکی در این پژوهش منطبق با طبقه‌بندی استاندارد جهانی مندرج در جدول ۱ انجام پذیرفت.

جدول ۱. طبقه‌بندی شوری خاک برمبنای واحد اندازه‌گیری (EC)

کلاس	دامنهٔ EC (ds/m)
فاقد شوری	۰ـ ۲
شوری کم	۲ـ ۴
شوری متوسط	۴ـ ۸
شوری زیاد	۸ـ ۱۶
شوری بسیار زیاد	۱۶<

منبع: [۱۸]

بررسی هیپسومتری حوضه

در منطقهٔ یادشده بیشترین سطح را طبقهٔ ارتفاعی ۸۰۰-۸۱۰ که تقریباً کل سطح پلایا است، دارد. برای نشان دادن درصد نسبی سطح هر طبقهٔ ارتفاعی نسبت به سطح کل، ابتدا مساحت بین دو خط تراز متوالی از طریق روش نواری محاسبه شد. سپس، نسبت این سطح جزئی به سطح کل برآورد شده و مقادیر به‌دست‌آمده در جدول ۲ روی نمودار سطح ارتفاع منتقل شد.

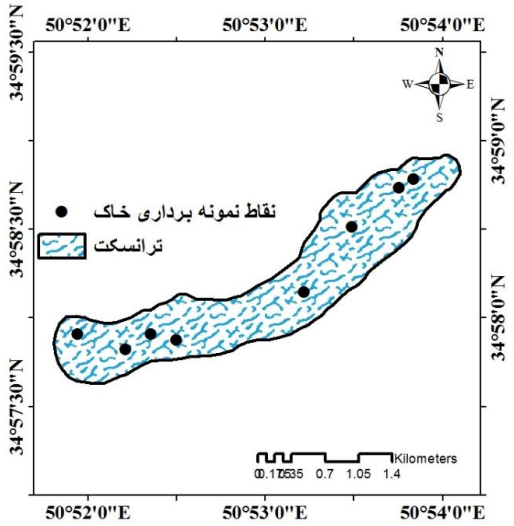
جدول ۲. توزیع سطح با ارتفاع در پلایای حوض سلطان قم

طبقهٔ ارتفاعی متر	سطح واقع بین دو واحد ارتفاعی به هکتار	سطح تجمیعی بین دو واحد ارتفاعی به هکتار	درصد سطح واحد بین دو واحد ارتفاع	درصد تجمیعی سطح
۸۰۰ـ۸۱۰	۱۸۹۶۱۶/۲	۳۵۷۵۸/۵	۴۰/۱۲	۷۷/۱

مشخصات ترانسکت

ترانسکت با هدف بررسی روند ترکیبات خاک از کوهستان به پلایا در عرض ۳۴ شمالی در جنوب غربی کفهٔ نمکی و محدودهٔ طولی ۴۹ به طول ۵ کیلومتر از خط کنیک (تپه‌ای در نزدیکی امین‌آباد) تا حد کفه با تعداد ۸ پروفیل اجرا شد. برداشت‌ها در انتهای تابستان ۱۳۹۵ انجام شده و کلیهٔ آزمایش‌ها در آزمایشگاه آب و خاک جهاد سازندگی استان قم انجام شد (شکل ۴). پروفیل در محل‌هایی حفر شد که در نزدیکی پوشش گیاهی باشد تا رابطه‌ای نیز در این مورد مطالعه شود. بنابراین، گاهی تا حدود ۲۰ متر از خط مستقیم ترانسکت منحرف شده و در جاهایی هم که به آب برخورد کرده و آب نمونه‌برداری‌شده نشان‌دهندهٔ تغییر در وضعیت ظاهری زمین اعم از رنگ خاک و شیب بوده، پروفیل زده شد تا تغییرات از همه لحاظ ارزیابی شود. بلندترین نقطه در ترانسکت ۹۱۰ متر و کمترین ارتفاع در ترانسکت ۷۸۷ متر از سطح دریا است. روند شیب در ترانسکت متغیر است. این روند شیب به‌طبع در پروفیل‌های اولی و نزدیک به خط کنیک، تندتر است و هرچه به پلایا نزدیک می‌شود، شیب تا کمتر از ۱ درصد هم کاهش می‌یابد. در نهایت، به منظور بررسی وضعیت شوری خاک منطقه، کاتیون‌ها، آنیون‌ها و PH و هدایت الکتریکی (EC) اندازه‌گیری شد.

برای انجام آنالیزهای زمین‌آماری، نرمال بودن توزیع داده‌ها امری ضروری است. روش‌های درون‌یابی در صورت نرمال بودن داده‌ها، اطلاعات دقیق‌تری ارائه می‌کنند [۱۴]. به همین منظور، برای تحلیل آماری از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS21 استفاده شد. برای آنالیزهای زمین‌آماری و پهنه‌بندی نقشهٔ شوری خاک از GIS10.8 استفاده شد. هنگامی که داده‌ها در مکان‌های جداگانه جمع‌آوری می‌شوند (برای مثال، نمونه‌برداری شبکه‌ای)، معمولاً برای ایجاد اطلاعات مستمر از مدل‌های زمین‌آماری استفاده می‌شود. مدل «کریجینگ» عادی نوعی سیستم درون‌یابی است که از مقادیر شناخته‌شدهٔ نزدیک برای تولید تخمین‌های یک مکان بدون اندازه‌گیری وزن‌دهی می‌کند [۱۹].



شکل ۴. موقعیت ترانسکت و نقاط نمونه‌برداری خاک

کریجینگ معمولی

تخمین‌گر کریجینگ معمولی که بهترین تخمین‌گر خطی ناریب (BLUE) نیز نامیده می‌شود، به صورت رابطهٔ ۱ تعریف می‌شود [۲۰].

$$Z_{(u_0)} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z_{(u_i)} \qquad (۱)$$

که در آن: $Z_{(u_0)}$، مقدار تخمین‌زده‌شدهٔ متغیر در نقطهٔ u_0، $Z_{(u_i)}$، مقدار مشاهده‌شدهٔ متغیر در نقطهٔ u_i، λ_i، وزن آماری است که به متغیر در نقطهٔ u_i نسبت داده می‌شود و در واقع، بیانگر اهمیت و تأثیر نقطهٔ iام در مقدار تخمین است. وزن‌های λ_i به گونه‌ای تعیین می‌شوند که جمع جبری آنها برابر با واحد و حداقل واریانس کریجینگ حاصل شود. کریجینگ معمولی علاوه بر تخمین، واریانس تحمین را نیز ارائه می‌دهد (رابطهٔ ۲):

$$\sigma_{ok}^{2}\left(u_0\right)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i\gamma\left(u_0u_i\right)+\mu \qquad (۲)$$

که در آن: $\gamma(u_0.u_i)$، مقدار نیم‌تغییرنما بین موقعیت مورد تخمین u_0 و iامین نقطهٔ نمونه‌برداری‌شده و μ ضریب لاگرانژین برای به حداقل رساندن واریانس کریجینگ است. واریانس تخمین معیاری از نامعینی تخمین در هر نقطه است.

یافته‌ها

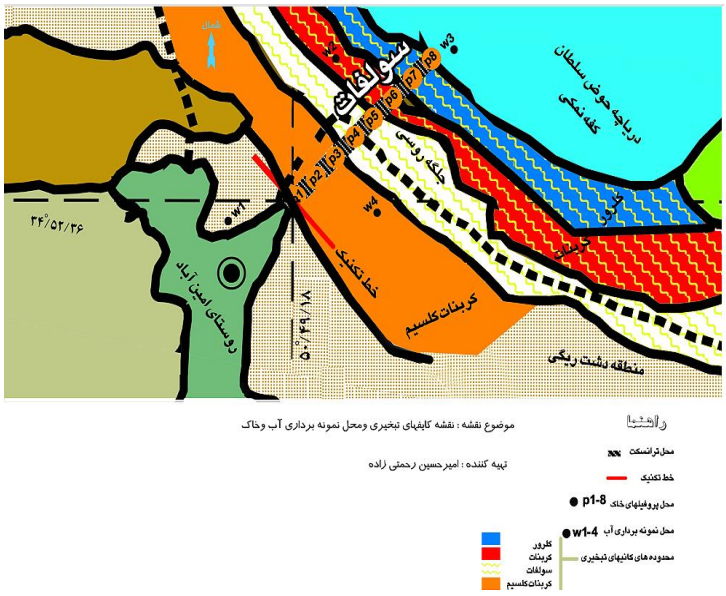
از آنجا که نرمال بودن توزیع مقادیر پارامتر بررسی‌شده شرط اساسی برای استفاده از تخمین‌گر کریجینگ است، در این قسمت با استفاده از آزمون ناپارامتری کولموگروف-اسمیرنوف نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. توصیف آماری پارامتر بررسی‌شده در جدول ۳ آماده شده است. نتایج حاصل از این آزمون، نرمال بودن داده‌ها را تأیید می‌کند که می‌تواند به دلیل کم بودن داده‌ها و نبود داده‌های پرت باشد.

طی مطالعات انجام‌شده در منطقهٔ ترانسکت در حوضهٔ آبخیز حوض سلطان، خاک‌های شناسایی‌شده شامل خاک شور، خاک‌های سدیمی (قلیا) و خاک‌های شور قلیا بودند. خاک‌های شور کربنات‌های محلول معمولاً وجود ندارد و مقادیر کمی بی‌کربنات ممکن است موجود باشد. غالباً املاح غیر محلول سولفات کلسیم و کربنات‌های کلسیم و منیزیم در این خاک‌ها وجود دارد. ازجمله کاتیون‌های عمدهٔ این خاک‌ها می‌توان کلسیم و منیزیم و سدیم را نام برد، ولی مقدار سدیم زیاد نیست و مقدار آن به‌ندرت از ۵۰ درصد مجموع کاتیون‌های دیگر بیشتر می‌شود. مقدار جذب این عنصر در سطح کلوئیدی نیز ناچیز است. این خاک‌ها pH کمتر از ۸/۵ دارند و مقدار سدیم قابل تبادل آنها نیز کمتر از ۱/۵ درصد است. خاک‌های سدیمی (قلیا) درصد سدیم تبادلی بیش از ۱۵ و نسبت جذب سدیم در عصارهٔ اشباع بیش از ۱۳ دارند. سدیم قابل تبادل در این خاک‌ها از سطح کلوئیدها جدا شده و مقدار کمی کربنات سدیم در محیط تشکیل می‌شود. محیط قلیایی زیاد این خاک‌ها سبب حل هوموس خاک و حمل آن به سطح خاک و تیره کردن رنگ آن شده است. خاک‌های شور قلیا: از مشخصات این خاک‌ها شوری زیاد و درصد سدیم تبادلی ۱۵ یا بیشتر است، تا وقتی شوری این خاک‌های بالادست با درصد سدیم تبادلی زیاد مسئله‌ای ایجاد نکرده و pH خاک هم به‌ندرت از ۰/۵ تجاوز می‌کند، pH خاک به بیش از ۸/۵ می‌رسد. همچنین، بررسی مقادیر pH در خاک‌های منطقهٔ مطالعه‌شده: در مناطقی که قسمت زیادی از کاتیون‌های بازی قابل تعویض از لایه‌های سطحی خاک شسته شده‌اند، واکنش خاک معمولاً اسیدی است. با توجه به اینکه دامنهٔ pH خاک در این پروژه از ۶/۵ تا ۸/۹ اندازه‌گیری شده است.

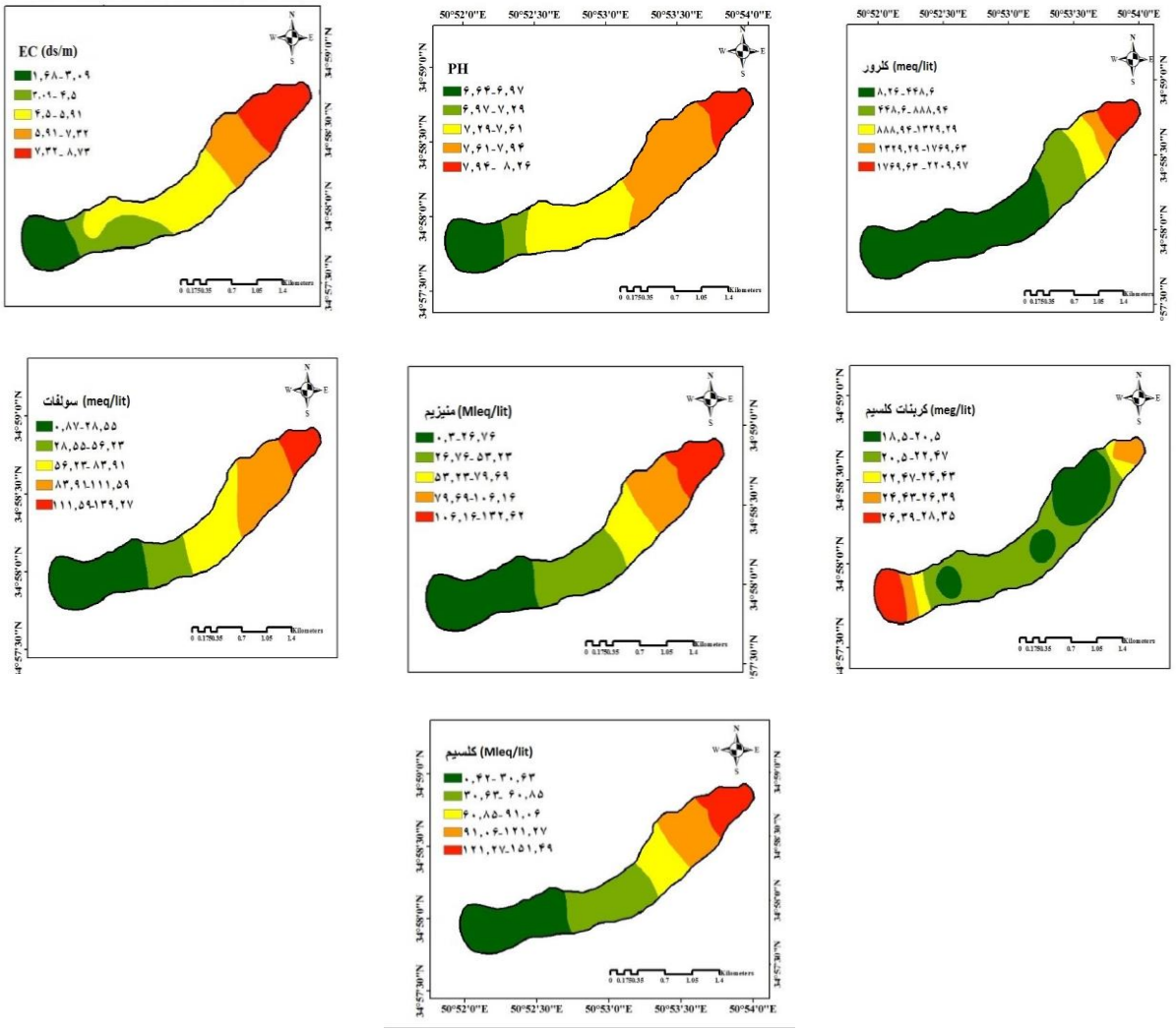
به منظور نشان دادن تغییرات مکانی شوری در منطقهٔ ترانسکت با استفاده از روش تخمین‌گر کریجینگ، پهنه‌بندی داده‌های جمع‌آوری‌شده انجام شد (شکل ۶).

جدول ۳. توصیف آماری پارامتر مطالعه‌شده

پارامترها	میانگین	انحراف معیار	ماکزیمم	مینیمم	چولگی	P-Value
PH	۷/۵۱	۰/۶۶	۸/۵	۶/۵	۰/۲	۰/۰۰۵
EC	۵/۲۱	۲/۸۹	۹/۲	۱/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۱۲
Ca	۴۹	۵۷/۲۳	۱۴۸	۰/۸	۰/۹۲	۰/۰۰
Mg	۵۰/۲۵	۵۲/۲۷	۱۳۳	۱	۰/۶	۰/۰۰
CaCo	۲۲/۱۲	۱۰/۵۲	۴۲	۱۲	۱/۱۲	۰/۰۸۸
Cl	۶۷۵/۷۲	۹۵۵/۰۳	۲۵۶۰	۳/۲	۱/۴۲	۰/۰۴۶
SO	۵۲/۸۲	۵۳/۳۲	۱۴۰	۱/۲	۰/۴۴	۰/۰۰



شکل ۵. موقعیت ترانکست و نقاط نمونه‌برداری خاک و آب



شکل ۶. نقشه‌های پهنه‌بندی مواد موجود در خاک در منطقهٔ مطالعه‌شده

طی برداشت‌ها از خط کنیک تپهٔ امین‌آباد تا کفهٔ نمکی و پلایایی حوض سلطان، روند خاصی دیده شد. در نزدیکی خط کنیک میزان کربنات بیشتر است و هر چه به پلایا نزدیک‌تر می‌شویم، به میزان caco3 کلسیم سولفات‌ها، کربنات‌ها و کرورها افزوده می‌شود، به‌طوری که در نزدیکی خط کنیک، میزان کلر ۹/۴ و در پلایا meg/l ۲۵۶۰ است. این روند در منطقهٔ حوض سلطان معنادار بود. همچنین، علاوه بر این روند که به سمت دریاچهٔ حوض سلطان به‌ترتیب به کربنات کلسیم و بعد سولفات‌ها و بعد کلریدها افزوده می‌شود (شکل ۴). به‌طور قابل محسوسی میزان کاتیون‌های Mg, Na و Ca،K، نیز افزوده شد؛ به‌خصوص از پروفیل ۳ به بعد که میزان کاتیون‌ها مثل Mg تا ۷۰ برابر افزوده شد. میزان Mg در پروفیل ۳ ۲Mileq/lit و در پروفیل ۸ Mleq/lit ۱۴۸ بود. نکتهٔ دیگر اینکه پروفیل در حرکت از کوهستان به پلایا به افق‌های خاک افزوده شد، به‌طوری که در پروفیل‌های نزدیک به خط کنیک، لایهٔ A و در ۳ پروفیل آخر، تعداد لایه‌ها تا ۴ لایه An. Bg.Cg افزوده شد. در هیچ‌یک از پروفیل‌ها به لایهٔ محدودکننده برخورد نشد. همچنین، طی این روند خاک به‌طبع در نزدیکی به کفهٔ نمکی از خشک به سمت کمی مرطوب، مرطوب و کاملاً مرطوب تغییر کرد.

تغییرات پارامترهای خاک شامل تغییرات pH که وقتی میزان بارندگی زیاد است، برخی کاتیون‌های موجود در خاک به حالت محلول درمی‌آیند که بر اثر پدیدهٔ شست‌وشو در طول پروفیل خاک، این ترکیبات از سطح خاک به‌سوی افق‌های تحتانی منتقل می‌شوند. این مسئله سبب می‌شود میزان اسیدی ته خاک در افق فوقانی کمتر از حالتی باشد که بارندگی صورت پذیرفته است. عکس این مسئله زمانی است که بر اثر صعود افق‌ها (کاپیلاری) کاتیون‌های محلول در آب از عمق پروفیل به طرف سطح پروفیل حرکت می‌کنند. درخور یادآوری است که عمل تبخیر سبب تشدید این وضعیت می‌شود. تغییرات EC؛ کلسیم، منیزیم و سدیم: از افق‌های بالا به سمت افق‌های پایین کاهش دارند. این موضوع نشان می‌دهد تبخیر در این خاک‌ها شدید است و املاح بیشتر در لایهٔ سطحی تجمع یافته‌اند. تغییرات سولفات کلسیم (گچ)؛ در افق‌های تحتانی کاهش می‌یابد، ولی در افق‌های فوقانی بیشتر می‌شود. تغییرات کربنات کلسیم (آهک)؛ کربنات کلسیم در لایهٔ تحتانی بیشتر از لایه‌های فوقانی است و آن هم به دلیل حلالیت کمتر کربنات نسبت به سولفات کلسیم است که هنگام تبخیر و حرکت مویینگی آب به سطح خاک، کربنات کلسیم کمتر در آب حل شده و زودتر رسوب می‌شود [۲۱]. در صورتی که سولفات کلسیم نسبتاً بیشتر حل شده و در افق‌های فوقانی مقدار آن بیشتر است.

نتایج حاصل از بررسی‌های آب منطقهٔ مطالعه‌شده

آزمایش‌های آب به تعداد ۴ نمونه از نقاط مختلف صورت گرفته است. نمونه‌های آب از لحاظ کیفیت آب در گروه C4S4 قرار دارند. R.SC در نمونه‌های یادشده وجود نداد، زیرا میزان غلظت یون‌های کربنات و بی‌کربنات نسبت به کلر در سولفات بسیار ناچیز بوده است. درنتیجه، از لحاظ کیفیت آب می‌توان گفت که این نمونه‌ها خسارت‌های احتمالی R.S.C را برای خاک نخواهند داشت. درنهایت، بالا بودن سطح ایستایی یکی از عواملی است که می‌تواند باعث محدودیت رشد گیاه در منطقه باشد. در قسمت حاشیهٔ پلایا که به سمت مرکز حرکت می‌کنیم، سطح ایستایی بالا می‌آید و در منطقه‌ای که هیچ‌گونه پوشش‌گیاهی وجود ندارد، سطح ایستایی تقریباً در سطح زمین است. در منطقهٔ دارای پوشش گیاهی با تغییر سطح ایستایی، نوع پوشش گیاهی تغییر می‌کند.

شناسایی منابع نمک و عوامل نمک‌زایی در حوضهٔ آبخیز حوض سلطان

با توجه به مطالعات صورت‌گرفته در حوضهٔ آبخیز حوض سلطان، منابع نمک موجود در آن نیز شناسایی شد [۲۲] که شامل ۳ گروه می‌شوند:

۱. تشکیلات زمین‌شناسی دارای رسوبات تبخیری (رسوبات نئوژن): در مناطق بالادست و میانی حوضه سازند زمین‌شناسی معروف به «مارن» که متشکل از گچ و خاک همراه با رس است، به‌وفور دیده می‌شود. این رسوبات تبخیری متعلق به دوران چهارم (کواترنری) هستند که بافت سست دارند و هنوز سخت نشده‌اند و در آنها گچ و نمک همراه با مارن و رس شور موجود است و بیشترشان فاقد هرگونه پوشش گیاهی هستند و به‌راحتی توسط عوامل فرسایشی تحت تأثیر قرار می‌گیرند و به‌تدریج در آب حل شده و نمک‌های آن در مناطق پست‌تر مثل چاله‌های کویری استان ته‌نشین می‌شوند. از این نوع

رسوبات تبخیری در شمال استان در مرز بین حوضهٔ آبخیز استان قم و استان تهران به‌وفور دیده می‌شود.

۲. گنبد نمکی (آوه نمک) قم: نمک موجود در کوه نمک قم بر اثر حل شدن در آب‌های رودهای جاری در کنار خود و انتقال نمک به‌وسیلهٔ آب به قسمت دشتی قم به‌عنوان یک منبع نمک معرفی می‌شود.

۳. آب‌های زیرزمینی شور: استفاده از آب‌های شور زیرزمینی در اراضی زراعی باعث می‌شود که پس از مدتی زمین مورد نظر قابل بهره‌برداری نباشد و رها می‌شود و خود اراضی رهاشدهٔ شور (شور ثانویه) می‌توانند به‌عنوان منابع تأمین‌کنندهٔ نمک برای مناطق اطراف مؤثر باشند.

از طرفی، عوامل نمکزاری در حوضهٔ آبخیز حوض سلطان یا به بیانی، عواملی که باعث جابه‌جایی و یا تجمع در سطح مناطق شور می‌شوند نیز مورد شناسایی قرار گرفت [۲۳]. عوامل یادشده شامل ۶ گروه اصلی هستند:

۱. آب‌های جاری رودخانه‌های فصلی و دائمی: از آنجا که منابع شورکنندهٔ حوضه در بالادست یا قسمت میانی حوضه قرار گرفته‌اند، رودخانه‌های موجود در استان به دو شکل نمک را منتقل می‌کنند:

الف) منبع نمک در خارج حوضه قرار گرفته و زهکش حوضه‌های هم‌جوار که پیش‌تر باعث آلودگی آب شده است، توسط این رودخانه‌ها به داخل حوضهٔ قم منتقل می‌شود، مانند رودخانه‌های شور و جاجرود و کرج که از شمال حوضه وارد می‌شوند و رودخانه‌های قره‌چای و قم‌رود که به‌ترتیب از غرب و جنوب حوضه وارد می‌شوند.

ب) منبع شورکننده داخل حوضه قرار دارد و توسط این منابع، نمک خود را تأمین می‌کند. مانند رودخانهٔ فصلی مره در شمال حوض سلطان که نمک خود را از تشکیلات تبخیری می‌گیرد و یا رودخانهٔ فصلی لقه‌شور در غرب حوضهٔ آبخیز استان که با گذشتن از کوه نمک قم، میزان شوری آن افزایش می‌یابد.

۲. باد: که با وزیدن از روی کفه‌های نمکی، ذرات نمک موجود در سطح آنها را با خود حمل می‌کند و در مناطق دیگر زمانی که از سرعت آن به دلایل مختلف کاسته می‌شود، رسوب می‌گذارد.

۳. موقعیت ژئومورفولوژی: به‌طوری که از نقشهٔ شیب حوضه آبخیز قم استنباط می‌شود مناطق شور قم بیشتر در کلاس‌های شیب کمتر از ۵ درصد قرار دارند که این خود باعث تمرکز نمک در این نواحی می‌شود.

۴. شرایط آب‌وهوایی: عامل دیگری که باعث تشدید در تشکیل چاله‌های نمکی می‌شود و وجود اختلاف زیاد بین میزان بارندگی و تبخیر است که گهگاه به چند صد برابر می‌رسد و این عمل باعث می‌شود تا از خاصیت مویینگی آب در خاک استفاده شده و نمک در سطح منطقه ظاهر شود.

۵. شرایط هیدرولوژی: همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، مناطق شور در جاهایی قرار دارند که کلیهٔ زهکش‌های حوضه‌های هم‌جوار را در خود جای می‌دهند و به‌عنوان نقاط پایانی رودخانه‌های یادشده هستند.

۶. عوامل بیولوژی: توسط ریزش قسمت‌های مختلف اندام‌های گیاهی گیاهان شورپسند (ریزش برگ و ساقهٔ درختچه‌های گز) از یک‌طرف، و فعالیت‌های انسان از طرف دیگر، به شکل حساب‌نشده است.

بحث و نتیجه‌گیری

به طور کلی، در این تحقیق تغییرات مکانی شوری خاک در قسمتی از حوضهٔ آبخیز حوض سلطان واقع در استان قم مورد مطالعه قرار گرفته است. پس از نمونه‌برداری از منطقه و عملیات آزمایشگاهی، نرمال بودن داده‌های به‌دست‌آمده توسط آزمون ناپارامتری کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. سپس، پهنه‌بندی هر یک از مواد موجود در خاک شناسایی شد و این کار با روش تخمین‌گر کریجینگ صورت پذیرفت. نتایج بیانگر این است که در سطح ترانسکت هر چقدر از سمت خط کنیک تپهٔ امین‌آباد تا کفهٔ نمکی و پلایایی حوض سلطان پیش می‌رویم، بر میزان شوری خاک افزوده می‌شود. یکی از فاکتورهای مهمی که به وسیلهٔ آن میزان شوری مشخص می‌شود، میزان هدایت الکتریکی (EC) خاک است. در این مطالعه با توجه به جدول EC بالای ds/m ۸ دارای شوری زیاد است. علاوه بر آن، میزان شوری از ۱/۵ دسی‌زیمنس (ds/m) بر مترمربع در مجاورت خط کنیک شروع می‌شود و تا ۲/۳۰ دسی‌زیمنس بر مترمربع در کنار کفهٔ نمکی افزایش می‌یابد. بنابراین، پروفیل‌های نزدیک پلایا دارای شوری زیادی هستند. در نهایت، منابع نمک در ۳ گروه و عوامل نمکزایی در ۶ گروه در منطقهٔ مطالعه‌شده که حوضهٔ آبخیز حوض سلطان است، شناسایی شد.

با توجه به روند شوری و وضعیت آب منطقه، دریاچهٔ نمک در حال نابودی است. این دریاچه در صورت خشک شدن، گردوغبارهای نمکی به دنبال دارد و این مسئله تهدیدی جدی برای کشور است. بحران دریاچهٔ نمک و پدیدهٔ گردوغبار بسیار جدی بوده و در حوضهٔ مرکزی ایران از منظرهای متفاوتی حیات آن در معرض تهدید است. حقابهٔ زیست‌محیطی که برای همهٔ کشور در نظر گرفته شده، معادل ۱۰ درصد منابع آبی کشور است؛ اما برای حوضهٔ دریاچهٔ نمک که بحرانی‌ترین حوضه است، معادل ۱/۵ درصد در نظر گرفته شده است. آب‌های سطحی در استان قم ۹۴ درصد کاهش پیدا کرده است و در کشور این عدد ۴۰ درصد است. طی سال حدود ۲۰ میلیون مترمکعب آب فراشور از دریاچهٔ نمک وارد دشت‌های مجاور می‌شود که خود موجب خشک شدن آب‌های زیرزمینی و ایجاد پدیدهٔ گردوغبار می‌شود، حرکت آب‌های فراشور از دریاچهٔ نمک به سمت سفره‌های زیرزمینی خطرناک است. مساحت دریاچهٔ نمک قم حدود ۹ میلیون هکتار است و ۲۶ درصد از جمعیت کشور در این محدوده قرار دارند و ۷۸ درصد از ساکنان این حوضه را شهرنشین و ۲۳ درصد را روستانشینان تشکیل می‌دهند.

پدیدهٔ گردوغبار و بیابان‌زایی به واسطهٔ نبود مدیریت لازم به وجود آمده و معضلی فراملی است و در حال حاضر ۷ استان درگیر بحران‌های دریاچهٔ نمک قم هستند. در واقع، در این محدوده ۱۰۵ هزار هکتار منشأ بزرگ گردوغبار وجود دارد که ۹۰۰ هکتار آن، اراضی کشاورزی است. مصرف آب در ۱۵ سال اخیر در قم دو برابر شده و سرانهٔ مصرف آب کشاورزی این ناحیه نیز ۳۵ درصد افزایش داشته است. در خصوص دسترسی به آب در حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ نمک، سرانهٔ تأمین آب در این حوضه ۳۴۰ مترمکعب به ازای هر نفر است. این در حالی است که بر اساس استانداردها، کمتر از ۵۰۰ متر مکعب کمبود وخیم محسوب می‌شود. البته باید توجه داشت که دمای هوای ایستگاه هواشناسی قم نشان می‌دهد دمای متوسط اینجا در مدت ۳۰ سال به میزان ۲ درجه افزایش یافته است؛ به‌گونه‌ای که در قم تعداد روزهایی با دمای بیش از ۴۴ درجه در ۳۰ سال اخیر سه برابر شده و افزایش دما منجر به افزایش ۱۲ درصد تبخیر شده و بارش ۱۰ درصد کاهش پیدا کرده است که این موضوع خود وضعیت خشکی و گردوغبار را تشدید می‌کند، دو عامل را می‌شود برای فراوانی پدیدهٔ گردوخاک در نظر گرفت که یکی خشک‌سالی و دیگری توسعهٔ ناپایدار است. در مسئلهٔ خشک‌سالی تکرار کم‌بارشی را در کشور داریم که مدام اتفاق افتاده و یک درجه دمای جو زمین نسبت به دورهٔ پیش از صنعتی شدن افزایش پیدا کرده است. بحران گردوغبارها و دریاچهٔ نمک در حوضهٔ مطالعه‌شده و ظرفیت‌های علمی قابل حل است و باید به این منظور ظرفیت‌سازی کرد. بدون تردید بحران ریزگردها و مشکل دریاچهٔ نمک قم مشکلاتی در پی دارد که بدون مشارکت عمومی، نمی‌توان آن را حل کرد. در صورت خشک شدن دریاچهٔ نمک، علاوه بر قم، ۶ استان دیگر را هم تهدید می‌کند. قطع حقابه از رودخانه‌هایی مانند قم‌رود و قره‌چای، از جمله دلایل ایجاد این بحران است. عدم مدیریت صحیح آب در بالادست، از دیگر دلایل به وجود آمدن بحران دریاچهٔ نمک است.

منابع

[1].Jafari M. Salinity and salinity of procedures, Forest and Rangeland Research Institute. 2014. [Persian].

[2].Lal R. Soil quality and food security: The global presfective. In: R. Lal. (Ed.), Soil Quality and Soil Erosion. Soil and Water Conservation Society and CRC Press, Boca Raton,1999; PP: 3- 16

[3].Cherg J H. nironmental stress in plant Biochemical physiolojical Mechanisms, New Yoek. 1989; 88:153-160.

[4].Olyahayayi M, Behbahanizadeh A. Description of soil chemical decomposition methods. Journal No. 893, Soil and Water Research Institute Publications, Tehran.2002. [Persian].

[5].Jafari M. Saline and alkaline soils, University of Tehran, Faculty of Agriculture.2006. [Persian].

[6].Emami H. Estimation of Soil Physical Quality Index Using Soil Finding Properties in a Number of Saline and Calcareous Soils, Iranian Journal of Soil Research. 2008; 39(1). [Persian].

[7].Zehtabian GH, Sarabian L. Investigation of the causes of soil salinity in Gonbad-Alagol plain. Journal of International Research Center.2001; 9 (2):168-180. [Persian].

[8].Sandhu GR. salt- affected soils of Pakistan and their utilization, Australia. 1994

[9].Sobhaniannejad L. Investigating the effect of land use change in northwestern Khuzestan on the destruction of some important soil quality properties. Iranian Soil Science Congress.2010. [Persian].

[10]. Kardovani P. Water resources and issues in Iran. University of Tehran Press.2004. [Persian].

[11]. Khalilpour A. Investigation of quantitative and qualitative trend of groundwater in Qom plain and its effect on desertification in the region. Master Thesis in Desert Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.2000. [Persian].

[12]. Ghaneie Motlagh Gh, Pashaee Aval A, Khormali F, Mosaedi A. Preparing the soil salinity map for site-specific management, Case study: some farmlands in northeast of Aq-Qala. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 2009; 15(6):1-9. [Persian].

[13]. Ahmadi Golidaragh SH, Abbasi Kalu A, Esmaeli uri A. Spatial changes and preparation of soil salinity map in Ardabil plain using geostatistics and GIS. Confrence on Organic VS. C onventional Agriculture.2017. [Persian].

[14]. Eghbalian S, Bahmani O. Study of Local and Temporal Changes of Groundwater Quality Standards of Hamedan-Bahar Plain Using (GIS) over a 10 Year Period. Environmental science and technology.2020; 22(3):85-98. [Persian].

[15]. Hakan A. Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: The case of Bafra Plain, Turkey. Journal of Agricultural Water Management. 2012; 113: 57-63.

[16]. Abdennour M A, Douaoui A, Bradai, Bennacer A, & Fernández M P. Application of kriging techniques for assessing the salinity of irrigated soils: the case of El Ghrous perimeter, Biskra, Algeria. Spanish Journal of Soil Science, 2019; 9(2).

[17]. Nie S, Bian J, & Zhou Y. Estimating the Spatial Distribution of Soil Salinity with Geographically Weighted Regression Kriging and Its Relationship to Groundwater in the Western Jilin Irrigation Area, Northeast China. Polish Journal of Environmental Studies, 2020; 30(1).

[18]. Azabdaftari A, Sunar f. Soil salinity mapping multitemporal land sat data,The International Archives of the potogrammetry,Remote sensing and spatial imnformation sciences,volume xl-B7. 2016; PP.809-813.

[19]. Ali R R., Abd El-Kadera,A A, Essaa E F, & AbdelRahmanb M A. Application of remote sensing to determine spatial changes in soil properties and wheat productivity under salinity stress. Plant Archives, 2019; 19(1), 616-621.

[20]. Journel AG, and Huijbregts, CJ. Mining geostatistics. London Academic Press, New York, 1978; 600 p.

[21]. Mohammadi J. Investigating the variability of surface soil quality in selected ecosystems in the Central Zagros region. Journal of Agricultural Science and Technology.2014; 3.P.113. [Persian].

[22]. Falahi SH. Report of semi-detailed soil studies of Qom region - issue. Technical Journal No. 628, Soil and Water Research Institute, Agricultural and Natural Resources Research Organization.2012. [Persian].

[23]. Dudal R, and purnell MF. salt- affected soils. 1999.