

مقاله پژوهشی

تهیه نقشه تغییرات شوری خاک در دشت میاندوآب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

حبیب نظرنژاد^۱، چوقی بایرام کمکی^۲ و مسلم ثروتی^۳

۱- دانشیار دانشگاه ارومیه، (نویسنده مسوول: h.nazarnejad@urmia.ac.ir)

۲- استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- استادیار دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۷

صفحه: ۱۱۲ تا ۱۲۲

چکیده

تهیه نقشه تغییرات شوری خاک در سطح وسیع بسیار هزینه‌بر و زمان‌بر می‌باشد. یکی از به‌صرفه‌ترین روش‌ها برای تهیه نقشه شوری خاک استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است. بررسی ویژگی‌های طیفی خاک‌های با سطوح شور و تعیین گستره مناطق تحت تأثیر این پدیده، با به‌کارگیری تصاویر با توان تفکیک مکانی و طیفی نسبتاً بالا می‌تواند در تهیه نقشه شوری خاک مورد استفاده باشد. در سال‌های اخیر شاخص‌های زیادی برای استخراج ویژگی‌های سطوح شور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای توسعه داده شده‌اند که غالب آن‌ها بر مبنای بازتاب طیفی این سطوح در باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای و یا نسبت‌های بین‌باندی بوده‌اند. هدف از این پژوهش، برآورد میزان تغییرات شوری از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ در منطقه میاندوآب استان آذربایجان غربی است. بدین منظور، تعداد ۴۲ نمونه با براکنش مناسب از سطح منطقه برداشت شد. سپس نمونه‌ها برای اندازه‌گیری پارامترهای شوری خاک به آزمایشگاه انتقال داده شد. برای بررسی شوری خاک علاوه بر نمونه‌برداری از خاک سطحی، از شاخص سنجش ازدوری NDVI، SI7، NDSI، IBI، NDVI، SI7 و باندهای NIR، RED، SWIR2 تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ برای سال ۲۰۰۱ و لندست ۸ برای سال ۲۰۱۶ استفاده شد. معادله رگرسیونی تعیین شوری خاک برای سال ۲۰۰۱ نشان داد که شوری خاک با شاخص NDSI دارای ارتباط مثبت و معنی‌دار در سطح ۵٪ است، در حالی که برای سال ۲۰۱۶ بیشترین ارتباط معنی‌دار در سطح ۵٪ با باند RED و NIR تصویر لندست ۸ بود. در سال ۲۰۰۱، بیشترین و کمترین اراضی منطقه را به ترتیب اراضی غیرشور (۳۹٪) و اراضی خیلی شور (۱۲٪) تشکیل می‌دادند؛ در حالی که در سال ۲۰۱۶، بیش‌ترین و کم‌ترین اراضی منطقه را اراضی نسبتاً شور (۳۵٪) و اراضی غیرشور (۱۸٪) تشکیل داده‌اند. نتایج پژوهش حاضر نشان داد می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های سنجش از دوری برای تهیه نقشه شوری خاک با دقت مناسب استفاده کرد. از آنجا که منطقه مورد مطالعه به‌علت نزدیکی به دریاچه ارومیه با مشکل شوری خاک مواجه است، بنابراین شناسایی و طبقه‌بندی مناطق شور برای مدیریت اراضی ضرورت دارد.

واژه‌های کلیدی: تصویر ماهواره‌ای، شاخص شوری استاندارد شده، کاربری اراضی، گسترش اراضی شور، هدایت الکتریکی

مقدمه

هستند. البته عوامل متعددی نظیر خشک‌سالی، کمبود بارش، برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی، آبیاری نادرست اراضی کشاورزی، کیفیت آب آبیاری، تبخیر و تعرق زیاد باعث بروز پدیده شوری و افت کیفیت خاک منطقه می‌شوند که بی‌توجهی به آن منجر به خسارات زیست‌محیطی غیر قابل جبران و تخریب منابع طبیعی می‌شود (۳۸).

حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر، از لحاظ تخریب اراضی یک منطقه خاص بحرانی شناخته شده است که در آن رویدادهای کم‌آبی، خشک‌سالی و کاهش میزان پوشش گیاهی به‌همراه فشار جمعیتی در طی زمان‌های مختلف روی داده است. مهار جریان‌های آب سطحی رودخانه‌ها توسط سدها و بندهای آبی و تغییر الگوی کشت عواملی هستند که باعث تشدید بحران در محدوده دریاچه ارومیه شده است. این تغییرات منجر به تغییرات اساسی و غیرقابل‌برگشت در طبیعت منطقه از قبیل پدیداری رخساره‌های مختص بیابان از جمله قشر نمکی و تغییرات پوشش گیاهی نیز شده است؛ بنابراین، لزوم مطالعه در خصوص تغییرات مکانی شوری خاک بیش‌ازپیش احساس می‌شود.

بررسی تغییرات شوری خاک به‌ویژه در مناطقی با وسعت زیاد، هزینه‌بر و زمان‌بر است (۱۸، ۵۱)؛ لذا استفاده از فناوری که بتواند سطح وسیعی از اراضی را به‌آسانی پایش نموده و

شوری خاک همان تجمع نمک در لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک است. بر اساس آزمایشگاه شوری ایالات متحده، خاک با هدایت الکتریکی بیش از ۴ دسی‌زیمنس بر متر (در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد)، درصد سدیم تبادل (ESP) کمتر از ۱۵ و اسیدیته کمتر از ۸/۵، در زمره خاک‌های شور است (۷). شوری خاک به‌عنوان عامل محدودیت رشد گیاه یکی از عوامل مهم تخریب پوشش گیاهی در بیابان‌زایی مناطق خشک نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود که از این طریق باعث کاهش تولیدات زی‌توده می‌شود (۹، ۳۹). مساحت اراضی تحت تأثیر شوری در ایران تا ۱۸ میلیون هکتار برآورد شده است (۴) که اراضی مجاور خود را در اثر گسترش شوری ثانویه تهدید قرار می‌دهند (۳۷). در سراسر جهان، اراضی شور بیش از سه درصد سطح زمین را اشغال کرده و سبب کاهش ۲۰ درصدی تولید محصولات کشاورزی در کشت‌های آبی می‌شود (۲۴، ۱۱). همچنین، شورشدگی خاک، نشانه‌ای از تخریب اراضی محسوب می‌شود که باعث کاهش ارزش و بهره‌وری مناطق تولیدآور در دنیا شده است (۱۶). این پدیده منجر به افزایش میزان فرسایش، افزایش ریزگردها، کاهش کمیت و کیفیت پوشش گیاهی و کاهش تولید خاک می‌شود که از مهم‌ترین عوامل بیابان‌زایی

شاخص‌های شوری که غالباً بر مبنای بازتابش بالاتر سطوح شور در طول موج مرئی مادون قرمز در مناطق زمین بایر، توسعه یافته‌اند به شکل مستقیم خاک‌های شور را بارز و مشخص می‌کنند.

حکیم‌زاده اردکانی و همکاران (۲۱) برای تهیه نقشه شوری خاک منطقه چاه افضل اردکان از شش شاخص شوری به همراه باندهای انعکاسی و حرارتی تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ استفاده کرده و نتیجه گرفتند شاخص شوری استاندارد شده (NDSI) بیش‌ترین همبستگی را با شوری خاک منطقه دارد. ممینی و همکاران (۳۱) در بررسی تغییرات روند شوری جنوب خوزستان با استفاده از شاخص‌های NDSI، NDVI و SI نتیجه گرفتند که بهترین شاخص برای شناسایی اراضی شور، شاخص NDSI است. خادمی و همکاران (۲۶) با استفاده از باندهای انعکاسی ماهواره لندست ۵ و ۷ نشان دادند که در یک بازه ۱۳ ساله از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۱ مساحت اراضی شور به‌طور اطراف دریاچه ارومیه با افزایش ۲۶ برابری از ۲۸/۵۱۶ به ۷۴۴/۴۱۱ کیلومتر مربع رسیده است. محمدزاده و فیضی‌زاده (۳۱) در پایش تغییرات شوری خاک شرق دریاچه ارومیه نشان دادند که در بازه زمانی ۱۵ ساله با استفاده از سنجنده ETM⁺ تصویر ماهواره لندست ۷ در سال ۲۰۰۰، و سنجنده OLI تصویر ماهواره لندست ۸ سال ۲۰۱۵، مساحت اراضی شور منطقه با نرخ بالای ۲۱/۵ درصد (۸۳۳ کیلومتر مربع) افزایش یافته است. حمزه‌پور و بوگارت (۲۲) با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک (ECa) و روش آنتروپی حداکثر ارباب نشان دادند که شوری خاک اراضی غرب دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۹ افزایش قابل توجهی داشته است و شوری ثانویه خاک در زمین‌های کشاورزی در حال اتفاق است، به‌طوری‌که میانگین شوری خاک در منطقه مطالعاتی از ۴/۵۶ در طی پائیز ۱۳۹۰ به ۶/۶۵ در طی پائیز ۹۵ افزایش یافت. نوروزی و همکاران (۳۲) در پهنه‌بندی شوری خاک با استفاده از شاخص‌های طیفی و داده‌های ماهواره‌ای لندست در مناطق خشک نتیجه گرفتند که در هریک از مناطق مورد بررسی، شاخص‌های مختلفی قادر به تشخیص پهنه‌های شوری خاک می‌باشند؛ به‌طوری‌که در استان فارس، شاخص شوری نرمال شده، در استان کرمان، شاخص انتقال طیفی (رطوبتی)؛ در استان هرمزگان، شاخص شوری (SI2)؛ و در استان سمنان، بیشترین همبستگی را باند ۵ و ۷ ماهواره لندست ۵ با هدایت الکتریکی خاک داشتند.

احمدی و همکاران (۴) در بررسی شوری خاک حاشیه غربی دریاچه ارومیه نتیجه گرفتند شاخص‌های CRSI و NDSI بیش‌ترین همبستگی را با داده‌های زمینی دارند لذا پیشنهاد کردند برای تهیه نقشه شوری منطقه از این شاخص‌ها استفاده شود.

عسگری و همکاران (۱۰) در بررسی شوری خاک داشلی‌برون گلستان با استفاده از داده‌های رقومی لندست ۸ نشان دادند بین مقادیر هدایت الکتریکی سطحی با باند اصلی ۵ و باندهای ترکیبی SI1، SI2، و SI3 ارتباط معنی‌دار وجود دارد. همچنین، نتیجه گرفتند که مدل رگرسیون چندمتغیره سازگاری بیشتری با شوری خاک منطقه داشته است

تغییرات در شوری و سدیمی شدن خاک را بررسی کند، ضرورت دارد (۳۵،۱۳). برای تهیه نقشه‌های موضوعی با روش‌های سنتی به تحلیل نمونه زیاد در آزمایشگاه نیاز است که با صرف هزینه و زمان همراه است (۳۴،۶). امروزه با پیشرفت علوم، استفاده از فناوری‌های جدید مانند دریافت و پردازش داده‌ها از طریق تصاویر ماهواره و به‌کارگیری سامانه پردازش اطلاعات مکانی مانند زمین‌آمار، نقش مهمی در مدیریت منابع آب و خاک دارد (۲۰،۸). در این میان، کاربرد روش‌های دورکاوی باعث صرفه‌جویی زیادی در هزینه و زمان می‌شوند و حتی موجب افزایش دقت تخمین‌ها می‌شوند (۲،۲۹). بنابراین، بررسی ویژگی‌های طیفی خاک‌هایی با سطوح شور و تعیین گستره مناطق تحت تأثیر این پدیده، با به‌کارگیری تصاویر جدید با توان تفکیک مکانی و طیفی نسبتاً بالا به شکل مطلوبی امکان‌پذیر بوده و می‌تواند در تهیه نقشه شوری خاک به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار بگیرد. داده‌های چند طیفی مانند Landsat, SPOT, IKONOS, Quick Bird و IRS و داده‌های فراطیفی مانند Hyperion و Hymap برای تهیه نقشه و پایش شوری خاک، مناسب تشخیص داده شده‌اند (۱۷،۲۸).

بازتاب طیفی انواع نمک‌ها در سطح خاک، به‌طور دقیق مطالعه شده و به‌عنوان شاخص مستقیمی در سنجش‌ازدور استفاده می‌شود. با این حال، وقتی رطوبت خاک بالا بوده، یا لایه نمکی در سطح خاک قابل مشاهده نباشد و یا نمک با سایر اجزای خاک مخلوط شده باشد، رویکرد تشخیص مستقیم شوری پیچیده شده و ممکن است نتایج قابل قبولی ارائه ندهد؛ زیرا این عوامل بر بازتاب طیفی خاک تأثیر دارند (۱۶).

تغییرات زمانی، مکانی و عمودی در نیمرخ خاک، از عوامل محدودکننده کاربرد سنجش‌ازدور در برآورد شوری خاک هستند؛ زیرا اطلاعات طیفی تصاویر ماهواره‌ای، قادر به شناخت اطلاعات کلی نیمرخ خاک نیست و فقط سطح خاک را بررسی می‌کند (۳۶). علاوه بر این، خصوصیات سطحی نیز در بسیاری از موارد، نماینده بخش‌های عمیق خاک نیستند (۱۵). رویکرد تشخیص مستقیم شوری خاک برای خاک‌های لخت، آسان‌تر و عملی‌تر است مانند مناطقی که پوسته نمکی روی سطح خاک وجود دارد و پوشش گیاهی تنک است. در چنین حالتی، انواع نمک‌ها و ضخامت آن‌ها نیز با توجه به بازتاب طیفی آن‌ها قابل تشخیص است (۱۹). در مناطقی که پوشیده از گیاه است، تشخیص مستقیم شوری امکان‌پذیر نیست، زیرا بین خاک و گیاه تداخل بازتاب طیفی وجود دارد (۱۴).

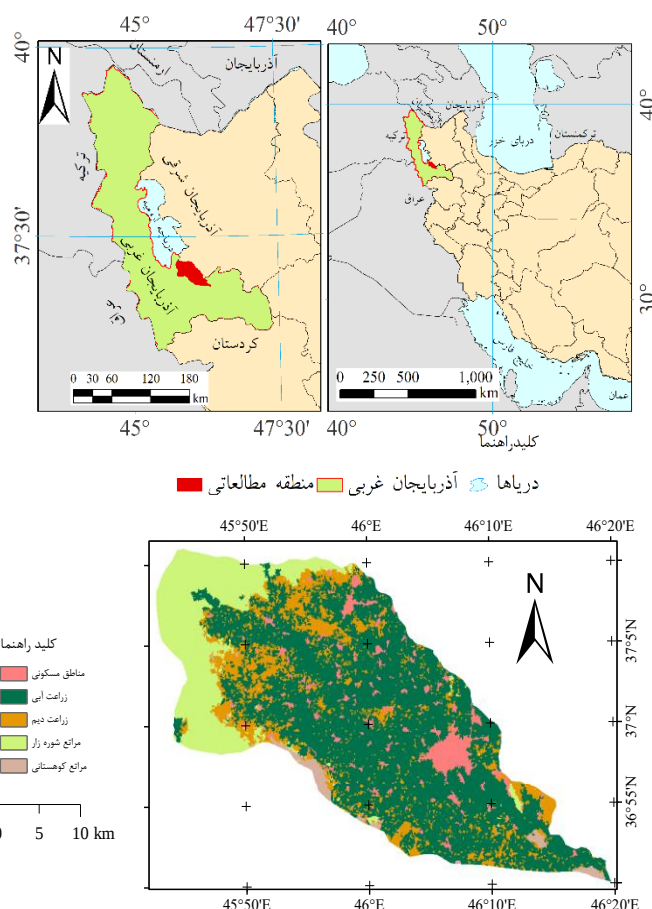
در سال‌های اخیر شاخص‌های زیادی جهت تشخیص و استخراج ویژگی‌های سطوح شور از تصاویر ماهواره‌ای توسعه داده شده‌اند که غالب آن‌ها بر مبنای بازتاب طیفی این سطوح در باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای و یا نسبت‌های بین‌باندی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (۱۷،۳۸). شاخص‌های گیاهی با تخمین کاهش نرخ رشد پوشش و افت گیاهی در مناطقی که خاک‌ها تحت تأثیر شوری هستند، اقدام به پایش شوری و اثرات منفی آن بر پوشش گیاهی می‌نماید (۷،۲۵).

۱۵ دقيقه تا ۴۵ درجه و ۵۳ دقيقه شرقى و عرض جغرافيايى ۳۶ درجه و ۵۲ دقيقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقيقه شمالى واقع شده است (شكل ۱). متوسط بارندگى سالانه آن بر اساس امار درازمدت ايستگاه سينوپتيك مياندوآب ۳۰۶ ميليمتر، متوسط دماى سالانه ۱۴/۵ درجه سانتىگراد و اقليم آن بر طبق روش دومارتن، نيمه خشك است. علت انتخاب اين منطقه به دليل تغييرات رخ داده در وضعيت كاربرى اراضى و اقليم منطقه طى سالهاى اخير است (۳۳). منطقه مورد مطالعه با توجه به تنوع پايين عوامل محيطى نظير توپوگرافى، اقليمى و خاك از لحاظ جوامع و تيپهاى گياهى از تنوع پايينى برخوردار است.

با توجه به مسائل شورى در منطقه مطالعاتى، هدف از اين تحقيق، برآورد ميزان تغييرات شورى از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ در منطقه مياندوآب واقع در استان آذربايجان غربى است. در اين زمينه از مطالعات قبلى، تصاوير ماهواره‌اى لندست بهره گرفته مى شود كه به همراه بازديد ميدانى، نمونه حقايق زمينى تعريف مى شود و براساس شاخصهاى سنجش از دورى رابطه رگرسيونى برقرار مى شود.

مواد و روشها

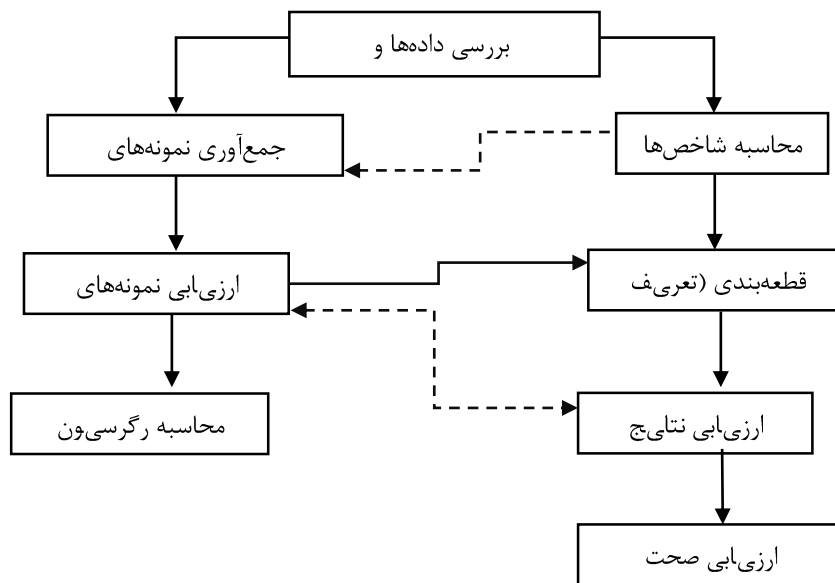
منطقه مورد مطالعه، دشت مياندوآب است، وسعت آن حدود ۱۰۱۵ كيلومتر مربع، در محدوده طول جغرافيايى ۴۵ درجه و



شكل ۱- موقعيت منطقه مطالعه بر روى نقشه ايران و در استان آذربايجان غربى و پراكش كاربرى اراضى (۲۰۱۶)
Figure 1. Location of the study area on the map of Iran and in the province of West Azerbaijan and land use distribution (2016)

روند برآورد شورى يك فرايند چندمرحله‌اى است. ابزار طبقه‌بندى تصاوير^۱ در محيط نرم‌افزار QGIS و Orefeo Toolbox، با ارائه يك محيط جامع، امكان محاسبه تصاوير را فراهم آورده است. اين ابزار قابليت‌هاىى براى رگرسيون، تجزيه و تحليل داده‌هاى ورودى، و تعيين كيفيت نمونه تعليمى و فايل‌هاى علائم ارائه مى كند. خلاصه مراحل انجام اين تحقيق در شكل ۲، ارائه شده است.

براى شاخص‌هاى سنجش از دور از داده‌هاى تصاوير ماهواره‌اى لندست ۷ (سنجنده ETM) با گذر ۱۶۸ و رديف ۳۴ مربوط به تاريخ ۳۰ مى ۲۰۰۱ (۹ خرداد ۱۳۸۰) و لندست ۸ (سنجنده OLI) تاريخ ۱۸ جولاي ۲۰۱۶ (۲۸ تير ۱۳۹۵) استفاده شد كه از پاىگاه اينترنتى USGS (United States Geological Survey) دانلود شد.



شکل ۲- مراحل کاری در محاسبه شوری خاک و تغییر کاربری اراضی در منطقه مطالعاتی دشت میان‌دوآب
Figure 2. Working steps in calculating soil salinity and landuse change in Miandoab plain study area

$$IBI = \frac{a-b}{a+b}$$

در رابطه فوق

Landsat 8: SWIR1=B6, NIR=B5, Green=B3

Landsat 7: SWIR1=B5, NIR=B4, Green=B2

برای بررسی شوری خاک منطقه، به تعداد ۴۲ نمونه خاک با پراکنش مناسب در سطح منطقه نمونه‌برداری و به آزمایشگاه انتقال داده شد. در آزمایشگاه، نمونه‌های خاک پس از هوا خشک و کوبیده شدن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و بعد از آن بر روی ذرات کوچک‌تر از دو میلی‌متر آزمایش فیزیکی تعیین ذرات نسیی خاک شامل رس، سیلت و ماسه به روش هیدرومتری بایکاس انجام شد. در بررسی‌های تجزیه شیمیایی خاک، میزان اسیدیته خاک در گل اشباع با pH متر اندازه‌گیری شد. برای بررسی وضعیت شوری خاک با واحد دسی‌زیمنس بر متر (ds/m)، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با هدایت‌سنج الکتریکی تعیین شد.

نتایج و بحث

برای بررسی شوری خاک علاوه بر نمونه‌برداری از خاک سطحی، از شاخص سنجش‌ازدوری، NDSI، IBI، NDVI، S17 و باندهای NIR، RED، SWIR2 تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ برای سال ۲۰۰۱ و لندست ۸ برای سال ۲۰۱۶ استفاده شد. رابطه بین هدایت الکتریکی خاک (EC) و شاخص‌ها در سال ۲۰۰۱ به صورت جدول ۱ است.

شاخص شوری استاندارد شده (NDSI)^۱ از جمله شاخص‌هاست که براساس دو باند یعنی باند طیف طول موج کوتاه مادون قرمز اول (SWIR1 طول موج ۱۶۰۰ تا ۱۷۰۰) و طیف طول موج کوتاه مادون قرمز دوم (SWIR2 با طول موج ۲۱۴۵ تا ۲۱۸۵) طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود (۳ و ۸).

$$NDSI = \frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

برای به حداقل رساندن یا حذف تأثیرات محیطی از شاخص SI^۲ (رابطه ۲) استفاده شد.

$$SI7 = \frac{SWIR1 - NIR}{SWIR1 + NIR} \quad (\text{رابطه ۲})$$

Landsat 8: SWIR1=B6, SWIR2=B7, NIR=B5

Landsat 7: SWIR1=B5, SWIR2=B7, NIR=B4

انعکاس خاک لخت تحت تأثیر عوامل متعددی از قبیل نوع مواد مادری، مواد آلی و میزان رطوبت هستند. با وجود این، در یک منطقه خاص براساس باندهای انعکاسی به راحتی می‌توان اراضی خاک لخت از سایر عوارض موجود از قبیل پوشش گیاهی را شناسایی نمود. بدین منظور، در این تحقیق شاخص IBI^۳ (رابطه ۳) استفاده شد (۴۰).

$$a = \frac{2 \times SWIR1}{SWIR1 + NIR} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$b = \frac{NIR}{NIR+RED} + \frac{Green}{Green+SWIR1}$$

1- Normalized Difference Salinity Index

3- Salinity Index

۲- واحد انگسترم

4-Index-based Built-up Index

جدول ۱- ضريب همبستگى پيرسون بين هدايت الكتريكي خاك (EC) و شاخص هاى لندست ۷ براى سال ۲۰۰۱
Figure 2. Correlation between soil electrical conductivity (EC) and Landsat 7 indicators for 2001

	EC	SI7	RED	NIR	SWIR2	IBI	NDSI	NDVI
EC	۱							
SI7	۰/۶۵۴	۱						
RED	۰/۸۹	۰/۸۵	۱					
NIR	۰/۴۵	۰/۱۲	۰/۳۳	۱				
SWIR2	۰/۸۳	۰/۹۲	۰/۹۶	۰/۲۴	۱			
IBI	۰/۷۵	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۰۵	۰/۹۳	۱		
NDSI	۰/۶۵	۰/۹۷	۰/۸۵	۰/۱۱	۰/۹۱	۰/۸۹	۱	
NDVI	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۹۱	۰/۱۹	۰/۸۶	۰/۹۵	۰/۷۸	۱

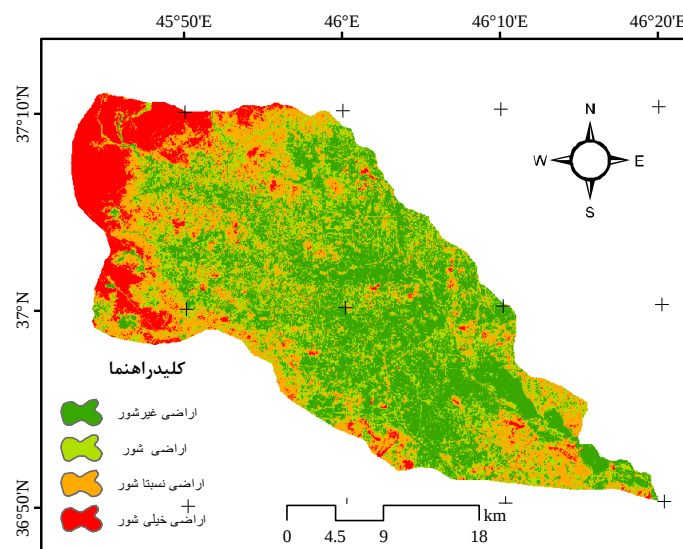
نتايج ارزىابى 'BIC نشان داد مدل رگرسيونى OLS به روش forward داراى بهترين نتيجه بود.
معادله تعيين شورى خاك براى سال ۲۰۰۱ با ضريب تبين ۰/۸۴ به صورت زير به دست آمد كه رابطه ۴ در سطح اطمينان ۵ درصد معنى دار بودند (جدول ۲):

$$EC = -3433 + 52.60 \text{ NDSI} + 208.36 \text{ RED} \quad (\text{رابطه ۴})$$

جدول ۲- نتايج تجزيه واريانس معادله رگرسيونى براى سال ۲۰۰۱
Figure 2. Results of analysis of variance of regression equation for 2001

	ضرايب	انحراف معيار	اماره t	p> t سطح معنى دارى
Intercept	-۳۴/۳۳	۷/۳۶	-۴/۶۶	*
NDSI	۵۲/۶۰	۲۱/۱۲	۲/۴۹	۰/۰۲
RED	۲۰۸/۳۶	۲۶/۸۲	۷/۷۶	*

با رابطه فوق، نقشه شورى خاك منطقه در تصوير لندست سال ۲۰۰۱ تهيه و اراضى در ۴ كلاس اراضى غير شور (هدايت الكتريكي كمتر از ۴ dS/m)، اراضى با شورى كم (هدايت الكتريكي ۴-۸ dS/m)، اراضى نسبتاً شور (هدايت الكتريكي ۸-۱۶ dS/m) و اراضى با شورى خيلى زياد (هدايت الكتريكي بيش از ۱۶ dS/m) تقسيم شدند (شكل ۳).



شكل ۳- نقشه اراضى شور سال ۲۰۰۱
Figure 3. Saline Land Map 2001

رابطه بين هدايت الكتريكي خاك (EC) و شاخص ها در سال ۲۰۱۶ صورت جدول ۳ است.

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون بین هدایت الکتریکی خاک (EC) و شاخص‌های لندست ۸ برای سال ۲۰۱۶
Table 3. Correlation between soil electrical conductivity (EC) and Landsat 8 indicators for 2016

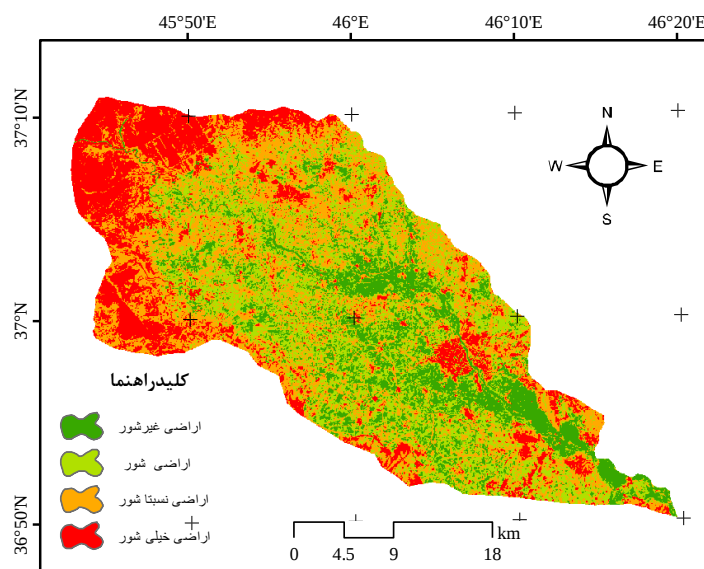
	EC	SI7	RED	NIR	SWIR2	IBI	NDSI	NDVI
EC	۱							
SI7	۰/۶۲	۱						
RED	۰/۸۳	۰/۸۳	۱					
NIR	-۰/۱۱	-۰/۶۷	-۰/۳۱	۱				
SWIR2	۰/۷۷	۰/۹۳	۰/۹۴	-۰/۴۱	۱			
IBI	۰/۶۱	۰/۹۹	۰/۸۳	-۰/۶۸	۰/۹۲	۱		
NDSI	-۰/۶۹	-۰/۹۵	-۰/۹۰	۰/۵۸	-۰/۹۵	-۰/۹۴	۱	
NDVI	-۰/۷۲	-۰/۹۶	-۰/۹۳	۰/۵۸	-۰/۹۵	-۰/۹۵	۰/۹۷	۱

معادله رگرسیونی تعیین شوری خاک برای سال ۲۰۱۶ (رابطه ۵)
 $EC = -26.27 + 151.12 \text{ RED} + 41.15 \text{ NIR}$
 با ضریب تبیین ۰/۷۲ به صورت زیر به دست آمد که رابطه ۵
 در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار بودند:

جدول ۴- تجزیه واریانس معادله رگرسیونی برای سال ۲۰۱۶
Figure 4. Results of analysis of variance of regression equation for 2001

	ضرایب	انحراف معیار	آماره t	سطح معنی‌داری $p > t $
Intercept	-۲۶/۲۷	۷/۸۰	۳/۳۶	۰/۰۰۱
RED	۱۵۱/۱۱	۱۳/۲۲	۱۱/۴۳	۰/۰
NIR	۴۱/۱۴	۱۹/۱۷	۲/۱۴	۰/۰۳۷

با رابطه فوق، نقشه شوری خاک منطقه در تصویر لندست
 سال ۲۰۱۶ تهیه و اراضی در چهار طبقه اراضی غیرشور،
 اراضی با شوری کم، اراضی نسبتاً شور و اراضی با شوری
 خیلی زیاد تقسیم شدند (شکل ۴).



شکل ۴- نقشه اراضی شور سال ۲۰۱۶
Figure 4. Saline Land Map 2016

۲۰۰۱ برابر ۰/۶۷ و برای سال ۲۰۱۶ برابر ۰/۶۴ بدست آمد
 که نشان‌دهنده صحت قابل قبول مدل بوده است.
 تغییرات شوری منطقه به صورت زیر محاسبه شد (جدول ۵).

با توجه به تعداد داده‌ها در این تحقیق (۴۲ نمونه خاک) برای
 اعتبارسنجی، روش اعتبارسنجی متقابل (cross validation)
 در محیط پایتون بصورت تصادفی با استفاده از انتخاب متقابل
 با ۵ تکرار انجام شد. میانگین ضریب تبیین آن برای سال

جدول ۵- تغييرات شورى خاك اراضى منطقه در دوره زمانى ۲۰۰۱-۲۰۱۶ (كيلومتر مربع)

تغيير مساحت اراضى (%)	مساحت اراضى در سال ۲۰۱۶ (%)	مساحت اراضى در سال ۲۰۰۱ (%)	تغيير مساحت اراضى (km ²)	مساحت اراضى در سال ۲۰۱۶ (km ²)	مساحت اراضى در سال ۲۰۰۱ (km ²)	
-۲۱٪	۱۸٪	۳۹٪	-۲۱۰	۱۸۱	۳۹۱	اراضى غيرشور
۱٪	۲۶٪	۲۵٪	۱۲	۲۶۳	۲۵۱	اراضى شورى كم
۱۱٪	۳۵٪	۲۴٪	۱۰۷	۳۵۵	۲۴۸	اراضى نسبتاً شور
۹٪	۲۱٪	۱۲٪	۹۰	۲۱۴	۱۲۴	اراضى خيلى شور

وسعت اراضى غيرشور كاسته شده است (۲۱٪) و به وسعت اراضى شور افزوده شده است كه بيانگر افزايش شورى اراضى منطقه است. در نهايت ميزان تبديل اراضى به صورت جدول ۶ به دست آمد.

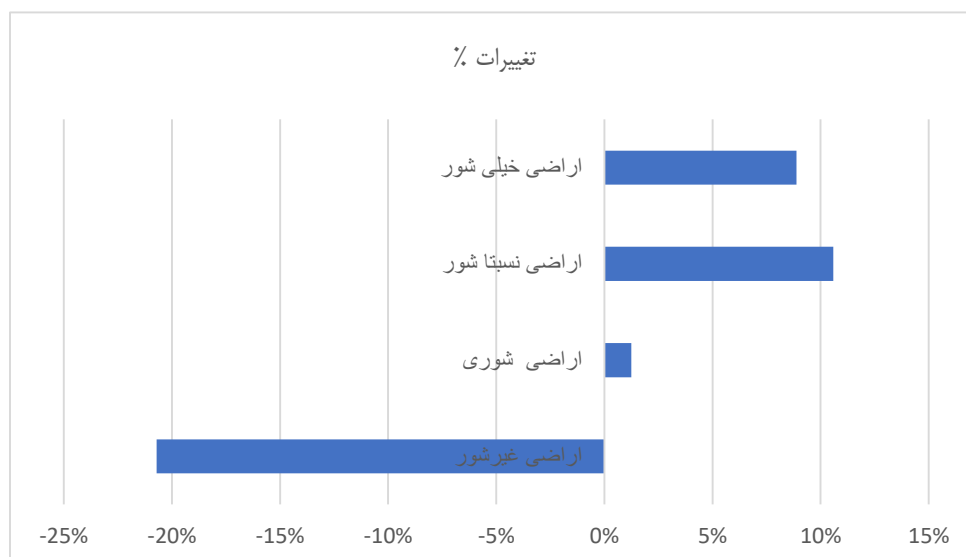
مطابق جدول ۵، در سال ۲۰۰۱، بيشترين و كمترين اراضى منطقه را به ترتيب اراضى غيرشور (۳۹٪) و اراضى خيلى شور (۱۲٪) تشكيل مى دادند؛ درحالى كه در سال ۲۰۱۶، بيشترين و كمترين اراضى منطقه را اراضى نسبتاً شور (۳۵٪) و اراضى غيرشور (۱۸٪) تشكيل داده اند؛ در دوره زمانى ۲۰۰۱-۲۰۱۶،

جدول ۶- تبديل هريك از اراضى در دوره زمانى ۲۰۰۱-۲۰۱۶ (مقادير به هكتار)

سال	مجموع	اراضى خيلى شور	اراضى نسبتاً شور	اراضى شورى كم	اراضى غيرشور
سال ۲۰۱۶	۱۸۱۰۵/۰۳	۷۳/۷۱	۱۱۳۴/۳۶	۲۹۵۵۵/۶۹	۱۴۳۳۷/۲۷
	۲۶۳۶۵/۳۲	۱۴۱/۸۴	۳۹۹۲/۲۲	۷۸۹۲/۹	۱۴۳۳۷/۳۶
	۳۵۵۷۰/۱۶	۲۳۴۴/۹۶	۱۲۴۳۷/۲۸	۱۱۶۳۷/۰۹	۹۲۵۰/۸۳
	۲۱۴۳۶/۰۲	۹۹۵۹/۷۶	۷۲۶۸/۴۹	۲۶۱۳/۱۵	۱۵۹۴/۶۲
	۱۰۱۴۷۶/۵۳	۱۲۴۲۰/۲۷	۲۴۸۳۲/۳۵	۲۵۰۹۲/۸۳	۳۹۱۲۴/۰۸

مطابق جدول ۶ و شكل ۵، در بازه زمانى ۲۰۰۱-۲۰۱۶، حدود ۱۴۳۳۷ هكتار از اراضى غيرشور منطقه به اراضى با شورى كم؛ ۹۲۵۰ هكتار به اراضى نسبتاً شور و ۱۵۹۴ هكتار به اراضى خيلى شور تبديل شده اند. ميزان انطباق برابر ۴۳/۶٪ به دست آمد يعنى در حدود ۵۶/۴٪ از اراضى منطقه دچار تغييرات شده اند و ميزان تغييرات شورى منطقه بالا است.

براساس يافته هاى پژوهش، عمده تغيير و تبديل کاربرى، به سمت توسعه كشاورزى آبى بوده است. صحت كلّى نقشه کاربرى اراضى براى سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۶ به ترتيب ۰/۸۶ و ۰/۹۱ مى باشد. همچنين ضريب كاپا براى نقشه کاربرى اراضى براى سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۶ به ترتيب ۰/۸ و ۰/۸۷ است.



شكل ۵- درصد تغييرات شورى اراضى منطقه در بازه زمانى ۲۰۰۱-۲۰۱۶
Figure 5. Percentage of salinity changes in the region in the period 2001-2016

حاشيه غربى درياچه اروميه نتيجه گرفتند شاخص NDSI بيشترين همبستگى را با داده هاى زمينى دارد لذا، نتايج تحقيق فعلى با پيشهاد آنها مبنى بر استفاده از اين شاخص براى تهيه نقشه شورى منطقه تطابق دارد. پيشنماز و

نتيجه گيرى كلّى

ضريب همبستگى تعيين شورى خاك براى سال ۲۰۰۱ نشان داد كه شورى خاك با شاخص NDSI داراى همبستگى مثبت است. احمدى و همكاران (۴) در پيش بينى شورى خاك

منطقه را اراضی نسبتاً شور (۳۵٪) و اراضی غیرشور (۱۸٪) تشکیل داده‌اند؛ در دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۶، وسعت اراضی غیرشور کاسته شده است (۲۱٪) و به وسعت اراضی شور افزوده شده است که بیانگر افزایش شوری اراضی منطقه است. نتایج تحقیق نشان داد باند قرمز (RED) ماهواره لندست ۷ بهترین همبستگی را با مقادیر هدایت الکتریکی (EC) خاک نمونه‌های سطحی منطقه مورد مطالعه دارند که با نتایج تحقیق چیت‌ساز (۱۲) در تهیه نقشه شوری خاک شمال شرق اصفهان، و جعفری گرزین (۲۳) مطابقت دارد. منطقه مورد مطالعه به علت نزدیکی به دریاچه ارومیه با مشکل شوری خاک مواجه است، بنابراین شناسایی و طبقه‌بندی مناطق شور برای مدیریت اراضی ضرورت دارد.

با توجه به گسترش شوری خاک در بخش‌هایی از حوضه، برای جلوگیری از شورشدگی اراضی، شناسایی اراضی تحت اثر شوری ضروری به نظر می‌رسد تا براساس آن انجام مطالعات دقیق در مورد شستشو و اصلاح اراضی و احداث سیستم زهکشی پیشنهاد شود و لازم است در این خصوص، تأمین اعتبار و تسهیلات مالی از سوی دولت انجام شود. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده ضمن افزایش دقت نمونه‌ها از تصاویر با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالاتر استفاده شود. سنجنده‌ها تنها سطح خاک را اسکن می‌کنند، در حالی که تمامی پروفیل خاک تحت تأثیر شوری است؛ لذا این محدودیت، ضرورت استفاده از سایر روش‌ها از قبیل تصاویر ماهواره‌ای راداری در مطالعه شوری خاک را مشخص می‌کند.

همکاران (۳۴) در بررسی شوری خاک آجی چای تبریز، خان و همکاران (۳۷) نیز این شاخص را در مقایسه با سایر شاخص‌های شوری خاک، برای تهیه نقشه شوری خاک منطقه مناسب دانستند.

بررسی منابع و نتایج تحقیقات انجام شده در مناطق مختلف بیانگر این موضوع است که برای هر منطقه شاخص‌ها و باند‌های مختلف تصاویر ماهواره‌ای، مناسب گزارش شده‌اند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دقت شاخص‌ها برای اندازه‌گیری شوری خاک در هر منطقه با توجه به میزان شوری خاک، نسبت‌های متنوع از نمک، شرایط اقلیمی مختلف، جغرافیایی و زمین‌شناسی، و همچنین نوع داده‌های ماهواره‌ای متفاوت بوده (۳) و بایستی برای مطالعه و اندازه‌گیری شوری خاک هر منطقه دقت این شاخص‌ها اندازه‌گیری و کالیبره شوند. بررسی نقشه شوری منطقه در بازه زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد در مناطق نزدیک دریاچه، پسروری آب دریاچه باعث افزایش پوسته‌های نمکی و گسترش خاک‌های با کلاس شوری بالا شده است. محدوده اطراف دریاچه غالباً با شوری بالا بوده و فاقد پوشش گیاهی است.

برای بررسی شوری خاک علاوه بر نمونه‌برداری از خاک سطحی، از شاخص سنجش‌ازدوری NDVI, SI7, IBI, NDSI و باند‌های NIR, RED, SWIR2 تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ برای سال ۲۰۰۱ و لندست ۸ برای سال ۲۰۱۶ استفاده شد. در سال ۲۰۰۱، بیشترین و کمترین اراضی منطقه را به ترتیب اراضی غیرشور (۳۹٪) و اراضی خیلی شور (۱۲٪) تشکیل می‌دادند؛ در حالی که در سال ۲۰۱۶، بیشترین و کمترین اراضی

منابع

1. Abdalsamad, A.A., D.C. Weindorf, S. Chakraborty, A. Sharma and B. Li. 2015. Combination of proximal and remote sensing methods for rapid soil salinity quantification. *Geoderma*, 239: 34-46.
2. Afrasinei, G.M., M.T. Melis, C. Buttau, C. Arras and G. Ghiglieri. 2017. Assessment of remote sensing-based classification methods for change detection of salt-affected areas (Biskra, Algeria). *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(1): 16-25.
3. Afsharinia, H. and F. Panahi. 2021. Effect of climatic drought on surface soil salinity in Kashan Plain. *Water and soil and modeling*, 1(2): 40-52.
4. Ahmadi, Z., A. Abbasi, M. Shahabi and A. Boali. 2021. Comparison of Decision Tree and Neural Network Methods in Predicting Soil Salinity in the West of Lake Urmia. *Degradation and Rehabilitation of Natural Land*, 1(1): 82-91 (In Persian).
5. Akhzari, D. and A. Asadi Meyabadi. 2016. Soil salinity map preparation using spectral analysis of OLI sensor and field data (Case study: Southern parts of Malayer plain). *RS & GIS for Natural Resources*, 7(2): 87-100 (In Persian).
6. Akramkhanov, A., C. Martius, S. Park and J. Hendrickx. 2011. Environmental factors of spatial distribution of soil salinity on flat irrigated terrain. *Geoderma*, 163(1-2): 55-62.
7. Allbed, A., L. Kumar and Y.Y. Aldakheel. 2013. Assessing soil salinity using soil salinity and vegetation indices derived from IKONOS high-spatial resolution imageries: Applications in a date palm dominated region. *Geoderma*, 230: 1-8.
8. Amini, D., M. Tavakoli and Rostaminy. M. 2018. Mapping Spatial Variability of Soil Salinity Using Remote Sensing Data and Geostatistical Analysis: A Case of Shadegan, Khuzestan. *Environmental Erosion Research Journal*, 7(4): 24-43 (In Persian).
9. Asfaw, E., K.V. Suryabagavan and M. Argaw. 2018. Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: the case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 17(3): 250-258.
10. Asgari, H.R., E. Rashno, Ch.B. Komaki and A. Boali. 2020. Investigation Study of Soil Salinity Mapping using Landsat Data (Case study: Dashli Borun, Golestan Province). *Degradation and Rehabilitation of Natural Land*. 1(1): 72-81 (In Persian).

11. Bilgili, A., V.M.A. Çullu, S. Aydemir, A. Aydemir and A. Almaca. 2012. Probability mapping of saline and sodic soils in the Harran plain using a non-linear kriging technique. *Eurasian Journal of Soil Sciences*, 2(2): 76- 81.
12. Chitsaz, V. 1999. Investigation of possibility of soil salinity & alkalinity map producing using TM data in eastern Isfahan, a thesis of presented for M.Sc. Isfahan University of technology, Faculty of Natural Resources, 135 pp (In Persian)
13. Dadrasi, A., M. Yamani, M. Pak-Parvar and Z. Davarzani. 2006. Evaluation of the Changes of Soil Salinity in South East of Sabzevar Arid Zones by Using the Remote Sensing Datum and GIS. *Geography and development Iranian journal*, 4(7): 173-184 (In Persian).
14. Ding, J.L., M.C. Wu and T. Tiyip. 2011. Study on soil salinization information in arid region using remote sensing technique. *Agricultural Sciences in China*, 10(3): 404-411.
15. Dewitte, O., A. Jones, H. Elbelrhiti, S. Horion and L. Montanarella. 2012. Satellite Remote Sensing for Soil Mapping in Africa: An Overview, *Progress in Physical Geography*, 36(4): 514-538.
16. Elhag, M. 2016. Evaluation of Different Soil Salinity Mapping Using Remote Sensing Techniques in Arid Ecosystems, Saudi Arabia. *Journal of Sensors*. <https://doi.org/10.1155/2016/7596175>.
17. Farifteh, J. 2007. Imaging Spectroscopy of Salt-Affected Soils: Model-Based Integrated Method. Vol. 143, Utrecht University, Netherlands.
18. Fourati, H.T., M. Bouaziz, M. Benzina and S. Bouaziz. 2015. Modeling of soil salinity within a semi-arid region using spectral analysis. *Arabian Journal of Geosciences* 8(12): 11175-11182.
19. Ghrefat, H.A., P.C. Goodell, B.E. Hubbard, R.P. Langford, and R.E. Aldouri. 2007. Modeling grain size variations of aeolian gypsum deposits at White Sands, New Mexico and using AVIRIS imagery. *Geomorphology*, 88(1-2): 57-68.
20. Gorji, T., E. Sertel and A. Tanik. 2017. Monitoring soil salinity via remote sensing technology under data scarce conditions: A case study from Turkey. *Ecological Indicators*, 74: 384-391.
21. Hakimzadeh Ardekani, M.A., S.R. Mahdavi Ardekani, A. Jebali and M. Esfandyari. 2014. Evaluation of soil salinity by using satellite images and statistical methods: A case study of Chah-Afzal area, Ardakan. *Geographical research on desert areas*, 3(2): 25-46 (In Persian).
22. Hamzehpour, N. and P. Bogaer. 2019. Spatio-temporal Prediction of Soil Salinity Using Soft Data and Bayesian Maximum Entropy Method in Western Shores of Urmia Lake. *Applied Soil Research*, 6(4): 71-83 (In Persian).
23. Jafari Gorzin, B. 2002. Study of Landsat ETM+ capability in detecting salt affected lands (a case study in Gorgan Plain), a thesis of presented for M.Sc. Gorgan university of Agriculture and Natural Resource Science, college of Range and Watershed Management, 127p.
24. Jian-li, D., W. Man-Chun and T. Tiyip. 2011. Study on soil salinization information in arid region using remote sensing technique. *Journal of Agriculture Sciences in China*, 10(3): 404-411.
25. Ji-Hua, M. and W. Bing-Fang. 2008. Study on the crop condition monitoring methods with remote sensing. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 37(B8): 945-950.
26. Khademi, F., H. Pirkharrati and S. Shahkarami. 2015. Investigation of Increasing Trend of Saline Soils Around Urmia Lake and its Environmental Impact, Using RS and GIS. *Journal of geoscience*. 24(94): 93-98 (In Persian).
27. Khan, N., V. Rastoskuev, E. Shalina and Y. Sato. 2001. Mapping salt-affected soils using remote sensing indicators- A simple approach with the use of GIS IDRISI. 22nd Asian Congress on Remote Sensing, 5-9 November, Singapore.
28. Koshal, A.K. 2012. Spectral Characteristics of Soil Salinity Areas in Parts of South-West Punjab through Remote Sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(2): 84-89.
29. Meng, L., S. Zhou, H. Zhang and X. Bi. 2016. Estimating soil salinity in different landscapes of the Yellow River Delta through Landsat OLI/TIRS and ETM+ Data. *Journal of Coastal Conservation*, 20(4): 271-279.
30. Mohammadzadeh, K. and B. Feizizadeh. 2017. Modeling the impacts of Urmia Lake drought on soil salinity of agricultural lands in the eastern area of fuzzy object-based image analysis approach. *RS & GIS for Natural Resources*, 8(3): 56-72 (In Persian).
31. Mombeni, M., S. Arekhi and S.A. Arami. 2015. Changes in the salinity using remote sensing and GIS (Case study: South Khuzestan). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 4(6): 27-34 (In Persian).
32. Noroozi, A.A., A. Abkar, M. Damizadeh and B. Arasto. 2019. Soil salinity mapping using spectral index and Landsat 8 in arid zones. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 26(1): 117-130 (In Persian).
33. Nazarnejad, H., Ch.B. Komaki and M. Mohtadi. 2019. Investigation of the impact of human and natural factors on land degradation using remote sensing technology. 14th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran. Urmia, 16-17 July, (In Persian).
34. Pishnamaz Ahmadi, M., M.H. Rezaei Moghadam and B. Feizizadeh. 2016. Study indexes and mapping of soil salinity using remote sensing data (Case study: Aji Chay river delta). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 8(1): 85-96 (In Persian).

35. Ranjbar, R., H.R. Owliaie, H. Ranjbar and E. Adhami. 2018. Change detection of soil salinity using remote sensing in Zahed Shahr, Fars province. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 9(4): 115-128 (In Persian).
36. Singh, G., D.S. Bundela, M. Sethi, K. Lal and S.K. Kamra. 2010. Remote Sensing and Geographic Information System for Appraisal of Salt-Affected Soils in India, *Environmental Quality*, 39(1): 5-15.
37. Taghizadeh, R., A. Ghazali, S. Kalantari and M.H. Rahimian. 2016. Spatial distribution of soil salinity using auxiliary variables and hypercube sampling method in Meybod. *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 6(1): 69-78 (In Persian).
38. Taghadosi, M.M. and M. Hasanlou. 2017. Trend Analysis of Soil Salinity in different land cover types using LANDSAT Time Series data (case Study Bakhtegan Salt Lake). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42.
39. Wang, Y. and Y. Li. 2013. Land exploitation resulting in soil salinization in a desert oasis ecotone. *Catena* 100: 50-56.
40. Xu, H. 2008. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 29.

Mapping Soil Salinity Changes in Miandoab Plain using Satellite Images

Habib Nazarnejad¹, Choghi Bayram Komaki² and Muslem Servati³

1- Associate Professor of Urmia University, (Corresponding author: h.nazarnejad@urmia.ac.ir)

2- Assistant Professor of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3- Assistant Professor of Urmia University

Received: 9 September 2021

Accepted: 27 April, 2022

Abstract

Mapping soil salinity changes on a large scale is very costly and time consuming. One of the most cost-effective ways to map soil salinity is to use satellite imagery. Investigation of spectral characteristics of soils with saline surfaces and determining the extent of areas affected by this phenomenon, by using new images with relatively high spatial and spectral resolution can be used in preparing soil salinity maps. In recent years, many indicators have been developed to detect and extract the characteristics of saline surfaces from satellite images, most of which have been studied based on the spectral reflection of these surfaces in different bands of satellite images or intermediate ratios. The purpose of this study is to estimate the salinity changes from 2001 to 2016 in Miandoab region located in West Azerbaijan province. For this purpose, 42 samples with appropriate distribution were taken from the area. The samples were then transferred to the laboratory to measure soil salinity parameters. To evaluate soil salinity, in addition to sampling of topsoil, the NDSI, IBI, NDVI, SI7 and NIR, RED, SWIR2 bands of Landsat 7 for 2001 and Landsat 8 for 2016 were used. The regression equation for determining soil salinity for 2001 showed that soil salinity has a positive and significant correlation with NDSI index at the level of 5%, While for 2016, the highest significant correlation at the 5% level was with the RED and NIR bands of the Landsat 8 image. In 2001, the highest and lowest lands in the region were non-saline lands (39%) and very saline lands (12%), respectively; While in 2016, the highest and lowest lands in the region are relatively saline lands (35%) and non-saline lands (18%). The results of the present study showed that the salinity of the region can be easily calculated using Remote sensing indices. Due to its proximity to Lake Urmia, the study area faces soil salinity problems, so the identification and classification of saline areas is necessary for land management.

Keywords: Electrical Conductivity, Land Use, Normalized Difference Salinity Index, Saline Land Expansion, Satellite Imagery