

کاربرد الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده در پایش بلندمدت شوری خاک سطحی با استفاده از سنجش از دور: مطالعه موردی دشت عتایبه استان خوزستان

فاطمه گلاب‌کش^۱، احد نظرپور^{۳*}، نوید قنواتی^۲ و تیمور بابایی‌نژاد^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۹)

چکیده

هدف از پژوهش حاضر یافتن بهترین روش‌های بهره‌گیری از سنجش از دور و الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده در پایش شوری بلندمدت در منطقه عتایبه در غرب استان خوزستان با وسعت ۵۰۰۰ هکتار است. شیوه کار بر پایه تفکیک سطوح مختلف خاک‌های شور به وسیله اطلاعات حاصل از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵) همراه با داده‌های شوری برداشت‌شده از منطقه مورد مطالعه، و شاخص‌های شوری SI_1 ، SI_2 ، SI_3 ، $NDSI$ ، $IPVI$ و $VSSI$ است. نتایج بدست آمده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نشان‌دهنده گسترش روند محدوده‌های شور در خاک‌های منطقه مورد مطالعه بوده که در این بین، خاک‌های با EC بیشتر از ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر (بسیار شور)، بیشترین فراوانی را دارند. افزایش وسعت خاک‌های شور به میزان قابل توجهی در طی ۱۵ سال رخ داده است، به طوری که وسعت اراضی شور بیش از ۹۰ درصد افزایش داشته است. بر اساس این مطالعه، تنها شاخص معنی‌دار در شوری خاک در سطح اطمینان ۹۵٪، شاخص SI_3 بوده که توانسته است تخمین مناسبی از تغییرات افزایشی خاک‌های منطقه داشته باشد. نتایج طبقه‌بندی نظارت‌شده نشان داد که ماشین بردار پشتیبان (با دقت کلی ۹۵/۷۸ و ضریب کاپا ۰/۸۹)، دارای دقت بیشتری است. پس از روش ماشین بردار پشتیبان به ترتیب روش‌های حداقل فاصله از میانگین، حداکثر احتمال شباهت و فاصله ماهالانوبیس دارای بیشترین دقت هستند. بر اساس نقشه‌های شوری بدست آمده در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ میلادی می‌توان گفت میزان شوری در تمام منطقه مورد مطالعه پیشروی داشته و همزمان وسعت شوری در کلاس‌های متوسط و زیاد توسعه بسیار زیادی داشته است. به طوری که وسعت شوری در کلاس بسیار زیاد در سال ۲۰۱۵ به تدریج نسبت به سال ۲۰۰۱ در تمام منطقه پراکنش داشته است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی شوری خاک، تصاویر لندست ETM^+ ، ماشین بردار پشتیبان، عتایبه، خوزستان

۱. گروه خاک‌شناسی، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲. گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۳. گروه زمین‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Ahad.nazarpour@gmail.com

مقدمه

جلگه خوزستان با داشتن خاک‌های آبرفتی حاصلخیز، در تولید و تأمین انواع صیفی‌جات و محصولات زراعی نظیر گندم، جو، نیشکر و ذرت علوفه‌ای نقش بسیار مهمی دارد. ۱۷ درصد وسعت این خاک‌ها را خاک‌های شور و قلیایی تشکیل می‌دهد (۲۰). دیانی و همکاران (۵) در مطالعه پهنه‌بندی خاک‌های شور و سدیمی استان خوزستان، مهم‌ترین دلیل شوری خاک را مواد مادری دانستند. به‌علاوه این محدودیت به عوامل متعددی از جمله پراکنش وسیع رسوبات تبخیری، پایین‌بودن میزان بارندگی، بالابودن میزان تبخیر و تعرق، وضعیت خاص توپوگرافی، آبیاری با آب‌های غیرمتعارف (سطحی و زیرزمینی) با وجود ضعف زهکشی و کمبود شبکه‌های آبیاری و زهکشی بستگی دارد (۲۷).

شوری یکی از موانع بسیار مهم در تولید محصولات کشاورزی است؛ زیرا منجر به افزایش پتانسیل اسمزی و کاهش دسترسی گیاهان به آب و تأثیر مستقیم و منفی بر متابولیسم گیاه می‌شود (۳). افزایش نمک‌های محلول در سطح خاک، پدیده‌های اصلی تخریب خاک مانند انتشار ذرات خاک، تخریب ساختمان و سله بستن خاک که منجر به ایجاد خاک‌های ناپایدار و فشرده می‌شود را شدت می‌بخشد. همین دلایل منجر به بیابانی‌شدن زمین‌ها و کاهش کیفیت آنها شده است (۱۳). به‌طور متوسط، ۲۰٪ از زمین‌های دنیا متأثر از پدیده شوری‌اند. سرعت شورشدن زمین‌ها در برخی کشورها مانند ایران، مصر و آرژانتین، ۳۰٪ بیشتر از سایر کشورهاست و از حدود ۱۹ میلیون هکتار اراضی کشاورزی ایران، تقریباً ۵۰٪ آنها با درجات مختلف، مشکل شوری، سدیمی و غرقابی دارند. از مجموع ۶/۸ میلیون هکتار اراضی کشاورزی کشور که مبتلا به درجات مختلف شوری‌اند، حدود ۴/۳ میلیون هکتار از این اراضی به غیر از شوری، محدودیت دیگری ندارند (۱۷). در جهان نیز یک پنجم اراضی کشاورزی آبی مشکل تجمع نمک در خاک را دارند. تشخیص و پایش مناطق شور برای کنترل رفتار تخریب زمین و مدیریت پایدار آن به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک که

شرایط آب و هوایی نامناسب و افزایش جمعیت تقاضا را برای استفاده از زمین‌های کشاورزی باعث می‌شود، ضروری می‌سازد. شناسایی و پهنه‌بندی خاک‌های شور اغلب به‌دلیل تغییرپذیری زمانی و مکانی مشکل است. به‌منظور تهیه نقشه موضوعی با استفاده از روش‌های سنتی به آنالیز تعداد زیادی نمونه در آزمایشگاه نیاز است که با صرف هزینه و زمان همراه است. در این میان کاربرد روش‌های دورسنجی ماهواره‌ای علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه و زمان، سبب افزایش دقت تخمین‌ها می‌شود. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که همبستگی بالایی بین مقادیر بازتاب در تصاویر ماهواره‌ای با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سطح خاک، به‌ویژه شوری وجود دارد (۸). چندین شاخص پوشش گیاهی مانند شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (Normalized Differential Vegetation Index: NDVI) و شاخص تنظیم‌شده خاک و پوشش گیاهی (Soil Adjusted Vegetation Index: SAVI) به‌عنوان شاخص غیرمستقیم شوری خاک به‌کار می‌روند. برخی پژوهشگران نیز شاخص‌هایی جهت تشخیص مستقیم شوری ارائه داده‌اند که از جمله آنها می‌توان به شاخص نرمال شده شوری خاک (Normalized Differential Soil Index: NDSI) شاخص شوری خاک گیاهی (Vegetation Soil Salinity Index: VSSI) و شاخص شوری (Salinity Index: SI) اشاره کرد (۷). مسعود و همکاران (۱۵) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM⁺ و ETM⁺ در طی دوره زمانی ۱۶ ساله و با استفاده از مدل رقومی ارتفاع زمین و به‌کارگیری روش‌های مختلف پردازش تصویر و طبقه‌بندی، به شناسایی و بررسی تغییرات شوری خاک با استفاده از تغییرات پوشش گیاهی در منطقه‌ای در مصر پرداختند. تقی‌زاده و همکاران (۲۴) در مطالعه‌ای در منطقه اردکان یزد با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ETM⁺ سال ۲۰۰۲، نقشه شوری خاک را با دقت کلی ۸۷٪ و ضریب کاپای ۴۷٪ تهیه کردند.

خان و همکاران (۱۴) به‌منظور بررسی رابطه شوری خاک و انواع ترکیب باندهای به‌دست آمده از سنجنده‌های ماهواره‌ها در

سال‌های اخیر به دلیل سدسازی در بالادست و کاهش آب مناسب و در دسترس در این منطقه، همچنین تغییر اقلیم در سال‌های اخیر، تغییرات کاربری اراضی، افزایش روند خشکسالی‌های طولانی مدت، بیابان‌زایی و کمبود منابع آب سطحی و زیرزمینی، سبب افزایش مشکلات خاک‌های شور شده است. بنابراین، با پیش و مدیریت شوری خاک می‌توان به تهیه نقشه‌های محلی شوری خاک سطحی اقدام کرد و از گسترش معضلات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی و اثرات سوء حاکم بر این خطه از کشور جلوگیری کرد. در این پژوهش سعی بر این است تا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM+ و همچنین پیمایش میدانی، پهنه‌های شوری مستخرج و علل شورشدن اراضی منطقه عتابیه در استان خوزستان طی یک بازه ۱۵ ساله، مورد تحلیل قرار گیرد. همچنین، جمع‌بندی سوابق پژوهش نشان می‌دهد که با وجود اینکه مطالعات زیادی در این زمینه در مناطق مختلف دنیا انجام گرفته است ولی بیشتر این پژوهش‌ها از روش‌های طیفی و شاخص‌های معادلات طیفی استفاده کرده‌اند و پژوهش‌های محدودی در زمینه طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر ماهواره‌ای به منظور تعیین پهنه شوری انجام شده است. همچنین، در مناطق جنوب و جنوب غرب کشور پدیده‌های خشکسالی نمود بیشتری پیدا کرده‌اند، بیشتر تحت تأثیر تخریب و شوری مازاد هستند. بنابراین، در این راستا روش خاصی جهت تهیه نقشه‌های شوری برای این مناطق ارائه نشده است. این پژوهش در نظر دارد با تمرکز بر روی شاخص‌های پیش‌شوری در بخشی از استان خوزستان، در میان الگوریتم‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بهترین روش جهت تهیه نقشه شوری در این مناطق را ارائه نماید.

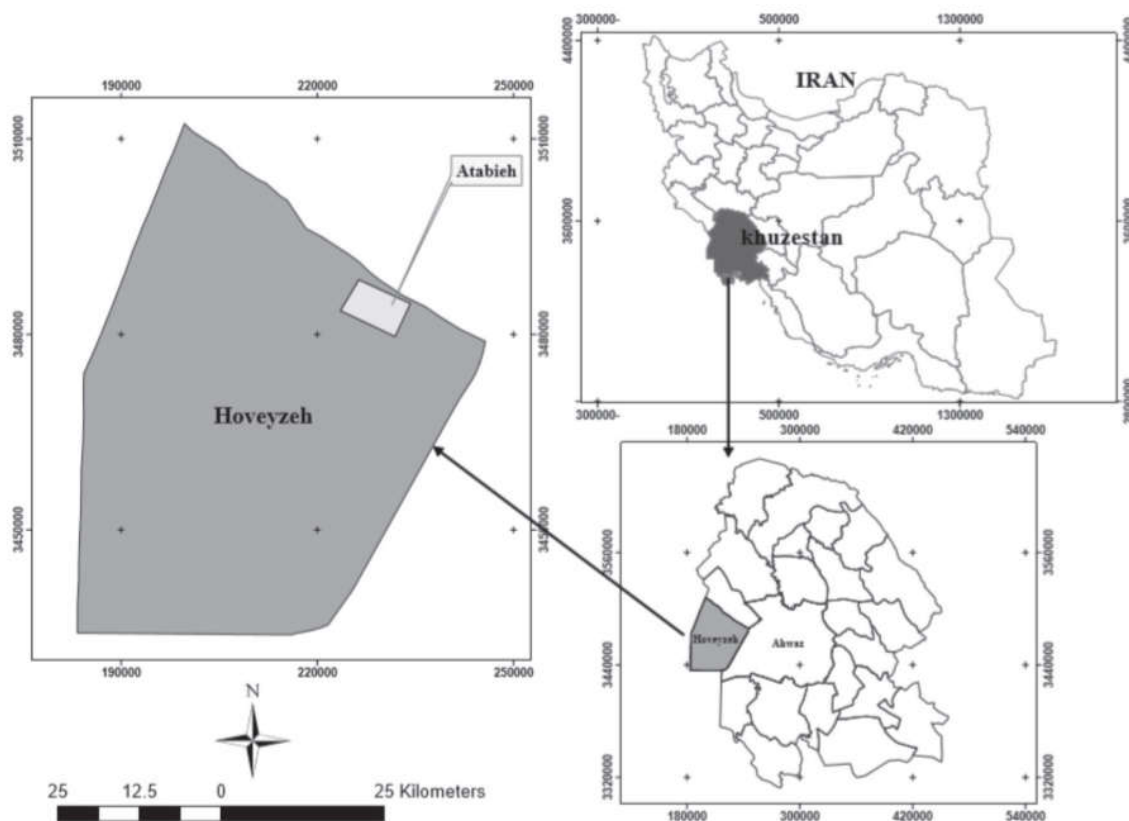
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این پژوهش دشت عتابیه با وسعت ۴۹۷۹/۶۸ هکتار، یکی از دشت‌های واقع در حوزه آبخیز رودخانه کرخه در استان خوزستان است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در استان خوزستان و کشور ایران

پاکستان نشان دادند که شاخص‌های روشنایی (Brightness Index: BI) و شوری (SI و NDSI) بیشترین همبستگی را با درجات شوری در خاک‌های متأثر از نمک دارند. مطالعه ظهیرنیا و همکاران (۲۸) در خاک‌های شور و غیر شور کشت و صنعت میرزا کوچک خان (واقع در جنوب غربی استان خوزستان)، وجود همبستگی بالای شاخص‌های BI، SI، IPVI (Infrared Percentage Vegetation Index)، NDSI و VSSI با شوری خاک را نشان داد. گلاب کش و همکاران (۱۵) در یک بررسی پیرامون پایش تغییرات شوری خاک با استفاده از شاخص‌های شوری و ماهواره لندست در خاک‌های منطقه عتابیه واقع در غرب استان خوزستان، بهترین شاخص در پیش‌بینی شوری این خاک‌ها را BI و پس از آن SI معرفی کردند. حبیبی‌پور و همکاران (۱۰) با بررسی برخی شاخص‌های گیاهی و شوری خاک از جمله BI، SI₁، SI₂، SI₃، NDSI، VSSI و NDVI در منطقه مروست، به شبیه‌سازی شوری خاک با درخت تصمیم پرداختند. در مطالعه آنها از داده‌های اصلی، لگاریتم داده‌ها و داده‌های استاندارد شده استفاده شده است. نتایج نشان داد که با وجود معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در هر سه حالت برای شاخص‌ها، میزان خطا در حالت استفاده از لگاریتم داده‌ها نسبت به دو حالت دیگر کمتر بوده و به واقعیت نزدیک‌تر است. نگوین و همکاران (۱۹) شوری خاک را با استفاده از باند مادون قرمز نزدیک و تصاویر لندست ۸ در دلتای مکنونگ ویتنام مطالعه کردند. شاخص‌های مورد استفاده آنها VSSI، SAVI، NDVI و NDVI بود. در مطالعه آنها شاخص شوری خاک گیاهی، بهترین ارتباط را با باند مادون قرمز نزدیک و شوری خاک نشان داد.

یکی از مناطق مستعد کشاورزی در ایران، استان خوزستان است که اراضی آن با مشکل شوری مواجه هستند. برای اصلاح خاک‌های متأثر از نمک و جلوگیری از شور شدن بیشتر و تخریب اراضی، دستیابی به اطلاعات شوری و پراکنش مکانی آن شرط لازم است. منطقه دشت آزادگان از جمله مناطقی است که در ناحیه خشک و نیمه خشک کشور قرار دارد و یکی از مشکلات آن شوری خاک است. مشاهده‌ها نشان می‌دهد که در



شکل ۱. موقعیت منطقه در استان و ایران

از رده‌های اریدی سول، انتی سول و در بخش‌های محدود کشت شده از توع اینسپتی سول هستند. عمده مسیر رودخانه کرخه، دارای سنگ‌های رسوبی آهکی و گچی، گنبدهای نمکی ضخیم لایه و مارن است که مواد مادری رسوبات آبرفتی رودخانه کرخه را تشکیل می‌دهد. پوشش گیاهی منطقه عمدتاً گیاهان شورپسندی چون گرامینه‌ها، خارستر، خارزد، سالیکرنیا و غیره و به علت شوری زیاد، در شرایط معمول کشت صورت نمی‌گیرد (۲۹).

نمونه‌برداری خاک و تجزیه‌های آزمایشگاهی

ابتدا اراضی موجود در منطقه با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه و همچنین بازدید میدانی بررسی شدند. تعداد ۹۸ نمونه خاک به روش نمونه‌برداری شبکه منظم و شبکه‌های ۷۵۰ × ۷۵۰ متری (شکل ۲) در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری سطح

مشخص می‌نماید. بر این اساس دشت عتابیه در حد فاصل طول شرقی $31^{\circ} 26' 20''$ تا $31^{\circ} 28' 56''$ قرار گرفته و از نظر موقعیت در شمال شرق شهرستان هویزه قرار داشته، از شمال به شهرستان دشت آزادگان و از شرق به شهرستان اهواز محدود می‌شود. متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۰ متر، شیب اصلی ۰-۲ درصد، زهکشی اغلب بسیار ضعیف و از نظر فیزیوگرافی جزء دشت‌های آبرفتی رودخانه‌ای محسوب می‌شود. متوسط بارش سالانه منطقه طی ۴۶ سال گذشته ۱۹۰ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۲۳/۵ درجه سانتی‌گراد، اقلیم منطقه به روش دومارتن گرم و خشک و به روش آمبرژه بیابانی گرم متوسط بوده و وسعت اراضی شور و سدیک تقریباً ۷۷ درصد کل اراضی منطقه است. به لحاظ خاکشناسی، سرتاسر منطقه را خاک‌های عمدتاً شور و در حال حاضر غیر قابل کشت پوشانده است و خاک‌های منطقه

شبکه راه‌ها و عکس‌های هوایی و همچنین نقشه‌های توپوگرافی منطقه صورت گرفت تصحیح طیفی تصاویر، به‌منظور بارز ساختن پدیده‌ها و بالا بردن سطح کیفی آن و حذف تأثیرات نامطلوب نور و اتمسفر در تصاویر انجام شد. در این محدوده تاریخ و در زمان تصویربرداری (که اغلب ساعت ۱۱ و ۵۵ دقیقه قبل از ظهر صورت می‌گرفت)، درصد رطوبت هوا نزدیک به حداقل و لایه سطحی خاک اراضی بسیار خشک است (۲۸). خان و همکاران (۱۴) نیز بهترین زمان برای ارزیابی شوری خاک‌های کشاورزی را فصل خشک عنوان کردند. زیرا میزان خطای حاصل از انعکاس نور به وسیله آب حداقل است. از این‌رو میزان بازتاب سطوح نمک به دلیل خشک‌بودن بیشتر خواهد شد.

ضریب شاخص بهینه و انواع تصحیحات

از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، راه‌های دسترسی و مناطق روستایی به‌منظور شناسایی منطقه توسط نرم افزار Google Earth استفاده شد. تصحیحات هندسی و رادیومتری، افزایش کنتراست، انواع فیلترینگ، ترکیب بانندی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی نیز در نرم افزار ENVI 5.3 انجام شده‌اند. به‌منظور تهیه تصاویر کاذب و ترکیب باندها، عامل شاخص مطلوب (Optimum Index Factor: OIF) مورد استفاده قرار گرفتند. این شاخص، یکی از شاخص‌های سنجش از دوری است که به‌منظور تعیین بهترین ترکیب بانندی برای دستیابی به حداکثر تباین در آنالیز ساخت بهترین تصاویر رنگی مجازی استفاده می‌شود که در محیط نرم افزار ENVI از طریق Spectral Analysis بهترین ترکیب بانندی را مشخص می‌کند. روش OIF با ارزیابی کمی بین باندها، انتخاب بهترین ترکیب بانندی را راحت‌تر خواهد کرد و محاسبات باندها را به صورت RGB نشان خواهد داد (۲).

استخراج شاخص‌های طیفی

در مرحله بعد شاخص‌های مختلف شوری به‌صورت یک مدل

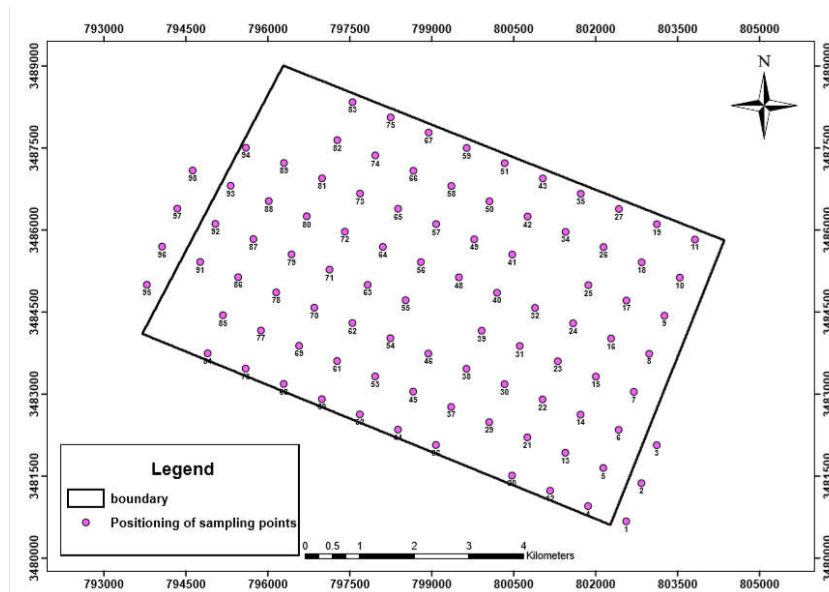
خاک توسط بیلچه تهیه شد. پیمایش صحرایی و نمونه‌برداری از خاک منطبق بر زمان اخذ تصاویر ماهواره‌ای (سال ۲۰۱۵ میلادی) انجام شد و مختصات دقیق نقاط نمونه‌برداری به کمک سامانه مکان‌یابی جغرافیایی (Global Positioning System: GPS) ثبت شد. پس از عملیات نمونه‌برداری، نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل و هواخشک شدند و پس از کوبیدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. پس از تهیه گل اشباع، اسیدیته خاک به‌وسیله pH متر اندازه‌گیری شد. عصاره‌گیری نیز به کمک دستگاه پمپ خلأ انجام و هدایت الکتریکی به‌وسیله دستگاه هدایت‌سنج WTW مدل اینولب ۷۲۰ مورد سنجش قرار گرفت.

روش آماری

اطلاعات اولیه آماری نمونه‌ها شامل توزیع فراوانی داده‌ها و شاخص‌های آماری مانند میانگین، میانه، مد، واریانس، انحراف معیار، دامنه تغییرات، ضریب تغییرات، چولگی و پراکندگی محاسبه شد. برای بررسی توزیع و آزمون نرمال بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد از کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. در شرایطی که داده‌ها توزیع نرمال نداشتند، با تبدیل‌های مناسب لگاریتمی یا ریشه دوم، متغیرها به توزیع نرمال تبدیل شدند. آنالیزهای آماری توصیفی با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد.

تهیه تصاویر ماهواره‌ای

با توجه به روند مقایسه شوری خاک طی دوره ۱۵ ساله در این پژوهش، تصاویر سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست ۷ در تاریخ‌های یکم آگوست (August) سال ۲۰۰۱، سی‌ام مه (May) سال ۲۰۰۵ و بیست و نهم آگوست سال ۲۰۱۰ میلادی و لندست ۸ در سوم آگوست سال ۲۰۱۳ الی ۲۰۱۵ میلادی، از تارنمای [http://earthexplorer.usgs.gov] دریافت شده‌اند. پس از تهیه داده‌های ماهواره‌ای به‌منظور آماده‌سازی داده‌ها برای پردازش، عملیات تصحیح هندسی و زمین مرجع نمودن تصاویر با استفاده از لایه وکتوری



شکل ۲. توزیع پراکندگی نقاط نمونه برداری

تلافی (Cross)، مقادیر طیفی هریک از شاخص ها بر اساس مختصات هر نقطه به صورت جداول توصیفی استخراج و ارائه شد. این جداول در برنامه SPSS تجزیه و تحلیل شد.

تهیه نمونه های تعلیمی و طبقه بندی

پس از پردازش اولیه و بر اساس شاخص مطلوب، طبقه بندی تصاویر ماهواره ای با تصاویر کاذب رنگی (False Color Composite: FCC) با استفاده از الگوریتم طبقه بندی نظارت شده (Supervised) به روش های حداکثر احتمال شباهت (Maximum likelihood)، کمترین فاصله (Minimum Distance)، فاصله ماه-الانوبیس (Mahalanobis distance) و ماشین بردار پشتیبان (Support vector machine) در چهار مقطع زمانی سال های ۲۰۰۱، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ صورت گرفت. روش حداکثر احتمال، یکی از کاراترین روش های طبقه بندی تصاویر است و در اکثر پژوهش ها و مطالعات این روش به عنوان دقیق ترین روش طبقه بندی معرفی شده است. (۱۲). در این روش کاربر باید دقت کند که کلاس بندی از توزیع نرمال گوسی پیروی کند و این روش برای کلاس های چند طیفی مناسب است. روش

گرافیکی (Graphic Meta Data: GMD) تهیه و آزمون شد. شاخص های ایجاد شده شامل شاخص های شوری SI_1 ، SI_2 ، SI_3 ، $NDSI$ ، $IPVI$ و $VSSI$ و ۷ باند از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ است که در مجموع ۱۳ متغیر برای تجزیه و تحلیل آماری به روش همبستگی پیرسون (Pearson's correlation test) و تعیین ارتباط با شوری خاک مورد بررسی قرار گرفت. در واقع روش اصلی در این پژوهش، روش آشکارسازی پیکسل های معرف شوری است. SI_1 و SI_3 شاخص های شوری خاک بوده که از ترکیب دو باند سبز و قرمز و SI_2 از دیگر شاخص های شوری مورد مطالعه، توسط باندهای سبز و قرمز و مادون قرمز نزدیک با هدف تعیین شوری خاک محاسبه می شوند. شاخص $NDSI$ شاخص شوری استاندارد شده نام داشته و جهت تشخیص خاک شور و غیرشور به کار می رود. شاخص $IPVI$ ، شاخص درصد پوشش گیاهی مادون قرمز و همچنین شاخص $VSSI$ ، شاخص شوری خاک گیاهی نام دارد. این سه شاخص از ترکیب باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک در برآورد شوری خاک منطقه استفاده می نمایند. در مرحله بعد داده های هدایت الکتریکی افق سطحی خاک با استفاده از برنامه ArcGIS 10.2.2 بر روی هریک از متغیرها همپوشانی (Overlay) شد و پس از

$$Kappa = \frac{p_0 - p_c}{1 - p_c} \times 100 \quad (2)$$

در رابطه بالا، p_0 درستی مشاهده شده و p_c توافق مورد نظر هستند. دقت تولیدکننده به معنای احتمال اینکه یک پیکسل در تصویر کلاسه‌بندی در همان کلاس در روی زمین قرار بگیرد و دقت کاربر، احتمال اینکه یک کلاس مشخص در روی زمین در همان کلاس بر روی تصویر طبقه‌بندی شده قرار بگیرد است که از روابط زیر محاسبه می‌گردند.

$$PA = \frac{ta}{ga} \times 100 \quad (3)$$

$$UA = \frac{ta}{n_1} \times 100 \quad (4)$$

در روابط بالا، PA: درصد دقت کلاس a برای دقت تولید کننده، ta: تعداد پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به‌عنوان کلاس a، ga: تعداد پیکسل‌های کلاس a در واقعیت زمینی، UA: درصد دقت کلاس a برای دقت کاربر، n_1 : تعداد پیکسل‌های کلاس a در نتیجه طبقه بندی هستند.

با توجه به اینکه طبقه‌بندی نظارت‌شده عمدتاً بر اساس مشخصات طیفی نمونه‌های آموزشی صورت می‌گیرد، تهیه نمونه‌ها نقش زیادی در صحت نتایج ایفا می‌کند. طبقه‌بندی با استفاده از نمونه آموزشی در 4 کلاس مختلف شوری انجام شد (جدول 1). این طبقه‌بندی فقط بر اساس بهترین ترکیبات کاذب رنگی و با استفاده از مجموعه نمونه‌های آموزشی در هر 4 کلاس دارای دقت بالایی است. چرا که نتایج بررسی ارزش‌های کلاس‌های مختلف شوری نشان داد که در منطقه مورد مطالعه امکان تفکیک خاک‌های غیرشور (شوری کمتر از 2 دسی‌زیمنس بر متر) از خاک‌های با شوری بسیار کم (4-2 دسی‌زیمنس بر متر)، ضعیف‌تر از امکان تفکیک این دو گروه از خاک‌های شورتر است. اما خاک‌هایی با محدوده شوری گسترده تر در تمامی باندهای انعکاسی دارای میانگین انعکاس بالاتری نسبت به گروه‌های دیگر خاک هستند. درنهایت، پس از

طبقه‌بندی حداقل فاصله از میانگین روشی است که پس از تعیین مقادیر میانگین طیفی در هر باند، با مشخص شدن پیکسلی که میانگین ارزش طیفی نمونه‌های تعلیمی هر طبقه را به خود اختصاص داده، فاصله هر پیکسل طبقه‌بندی نشده با پیکسل‌های میانگین مقایسه شده و سپس پیکسل مورد نظر به کلاسی اختصاص می‌یابد که کمترین فاصله با میانگین را دارد. روش طبقه بندی ماه‌الانویس از دیگر روش‌های طبقه‌بندی تصاویر است. این روش بسیار شبیه به روش حداقل فاصله از میانگین است. با این تفاوت که در این روش فرض می‌شود که هیستوگرام باندها به صورت نرمال است. ماشین بردار پشتیبان یکی از روش‌های جدیدی است که جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور استخراج نقشه کاربری اراضی استفاده می‌شود. پژوهش‌ها در مورد پیدا کردن روش‌های بهینه طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای همچنان ادامه دارد و ماشین بردار پشتیبان از روش‌هایی است که به‌تازگی معرفی شده است (23).

لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی آگاهی از درستی و صحت آن است. بعد از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نمونه‌های تعلیمی که در روند طبقه‌بندی دخالت نشده‌اند، اقدام به ارزیابی صحت تصویر طبقه‌بندی شده می‌شود. در پژوهش حاضر از ضرایب صحت کلی (Overall Accuracy)، ضریب کاپا (Kappa Coefficient) جهت بررسی صحت طبقه بندی استفاده شد. دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها طبق رابطه زیر بدست می‌آید.

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad (1)$$

در این رابطه؛ OA: دقت کلی، N: تعداد پیکسل‌های آزمایشی و $\sum P_{ii}$: جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا هستند. به دلیل ایرادات وارده بر دقت کلی، اغلب در کارهای اجرایی که مقایسه دقت طبقه‌بندی مورد توجه است، از شاخص کاپا استفاده می‌شود. زیرا شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مدنظر قرار می‌دهد (رابطه 2).

جدول ۱. توصیف و طبقه‌بندی شوری خاک (۲۱)

توصیف شوری	محدوده شوری (دسی زیمنس بر متر)	کلاس شوری
بدون شوری	۰ - ۴	S ₀
کمی شور	۴ - ۸	S ₁
نسبتاً شور	۸ - ۱۶	S ₂
شدیداً شور	۱۶ <	S ₃

شرط نرمال بودن داده‌ها بر اساس آزمون کولموگروف-اسمیرنوف سطح معنی‌داری بیشتر از ۰/۰۵، چولگی بین ۱ تا ۱- و کشیدگی بین ۳ تا ۳- است (۵). با وجود اینکه این سه شرط به ترتیب با مقادیر ۰/۰۷۶، ۱ و ۰/۳۶ برای آنالیز شوری و مقادیر ۰/۱۱۵، ۰/۰۷ و ۰/۸۵ برای آنالیز اسیدیته خاک برقرار است (جدول ۲)، اما شاخص دامنه تغییرات در متغیر شوری با عدد ۶۹/۰۹ در این جدول، نمودار هیستوگرام شوری با چولگی به راست (شکل ۴- الف) و همچنین نزدیک نبودن مقدار میانه به میانگین در این متغیر، همگی بیانگر محدوده گسترده اعداد شوری در نقاط متفاوت نمونه‌برداری است. از آنجا که زیاد بودن انحراف از توزیع نرمال در تجزیه و تحلیل‌های آماری و تهیه نقشه تأثیر نامطلوب دارد، بهتر است داده‌های شوری از عملیات تبدیل و توزیع نرمال پیروی کنند. از این‌رو، این اعداد با ریشه دوم به داده‌های نزدیک به نرمال تبدیل شدند. متغیر اسیدیته نیز از توزیع نرمال برخوردار بود.

پس از نرمال سازی اعداد شوری، مقدار میانگین و میانه بسیار به هم نزدیک شد. همچنین مقدار چولگی کاهش یافت (۰ تا ۱، مطابق شکل ۴- ب) که بیانگر انحراف کم از توزیع نرمال است (۲۷). شاخص ضریب تغییرات بدون بعد است و می‌توان از آن برای محاسبه تغییرات یک صفت در مقیاس‌های متفاوت نمونه‌برداری استفاده کرد (۱۸).

پردازش طیفی بر روی داده‌های شوری خاک

داده‌های شوری خاک همراه با ارزش‌های عددی ۹ واحد سلولی تصاویر شطرنجی باندهای مختلف آماده شده ماهواره لندست

آنکه نمونه‌های تعلیمی و کوچک با پراکنش مناسب در هر کلاس انتخاب شدند، جهت بهبود طبقه‌بندی، کیفیت نمونه‌ها مورد بازبینی و اصلاح قرار گرفت. تصاویر طبقه‌بندی شده اولیه به منظور ارزیابی صحت طبقه‌بندی به کمک جداول خطا بررسی شدند و معیارهای صحت کلی (Total Accuracy) و ضریب کاپا (Kappa Coefficient) برای آنها محاسبه شد. پس از رسیدن به دقت مطلوب از تصاویر طبقه‌بندی شده، پلی‌گون‌های کلاس‌های مختلف هدایت الکتريکی خاک در قالب همان ۴ کلاس شوری ارائه شده به کمک نرم افزار ArcGIS ترسیم و طبقات مختلف از یکدیگر تفکیک شدند. به این ترتیب نقشه‌های نهایی شوری شاخص‌های خاک از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ استخراج شد تا با کمک اطلاعات حاصل از بازدهی‌های صحرائی و مدارک موجود نسبت به شناخت و پیش بینی عوامل شوری اراضی اقدام شود.

نتایج

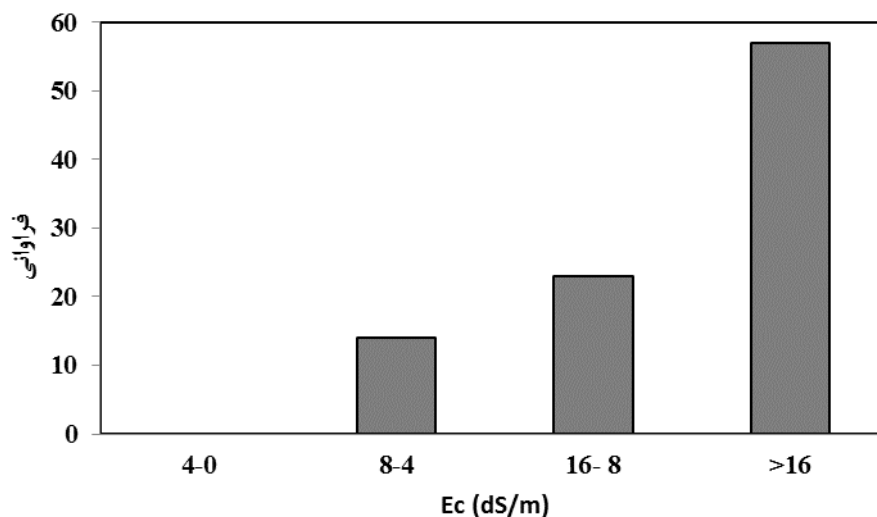
بررسی وضعیت داده‌های شوری و اسیدیته

ویژگی‌های آماری شوری و اسیدیته و عملکرد نمونه‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول ۲، بیشترین و کمترین مقدار شوری اندازه‌گیری شده در محدوده مورد مطالعه به ترتیب ۷۴ و ۴/۹۱ با میانگین ۲۵/۴ دسی‌زیمنس بر متر است که نشان‌دهنده شوری شدید خاک منطقه است. در شکل ۳ نیز هیستوگرام توزیع فراوانی شوری خاک در محدوده‌های مختلف نمایش داده شده است.

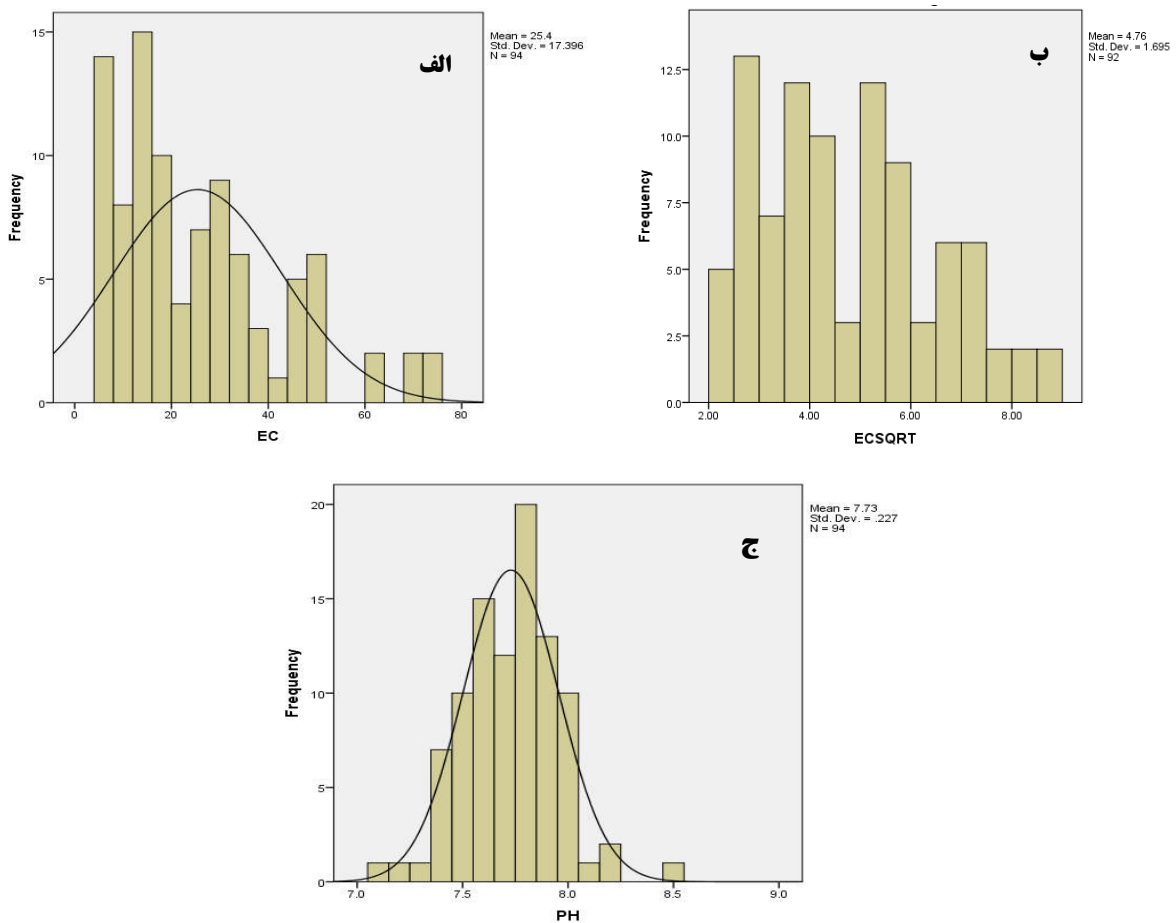
جدول ۲. آماره‌های توصیفی متغیرهای مورد بررسی

مشخصه آماری	شاخص	
	شوری (داده اصلی) dS/m	شوری (داده نرمال شده به روش ریشه دوم) اسیدیتنه dS/m
تعداد	۹۸	۹۸
بیشینه	۷۴	۸/۵
کمینه	۴/۹۱	۲/۲۲
میانگین	۲۵/۴	۴/۷۵
میانه	۲۰/۰۲	۴/۴۷
مد	۴۶/۷	۲/۲۲
چولگی	۱	۰/۴۲۳
کشیدگی	۰/۳۶	-۰/۷۱۷
دامنه تغییرات	۶۹/۰۹	۶/۳۸
واریانس	۳۰۲/۶۲	۲/۸۷
انحراف معیار	۱۷/۴	۱/۶۹
ضریب تغییرات	۰/۶۸	۰/۳۵
عدد کولموگروف - اسمیرنوف	۰/۰۷۶*	۰/۰۵۱*

* : حدود معنی‌داری را نشان می‌دهد.



شکل ۳. هیستوگرام توزیع فراوانی در محدوده‌های شوری خاک



شکل ۴. الف) هیستوگرام داده‌های شوری قبل از نرمال‌سازی، ب) هیستوگرام داده‌های شوری پس از نرمال‌سازی و ج) هیستوگرام داده‌های اسیدیته

بدیهی است که تمامی روابط بر اساس داده‌های رقومی محاسبه شده‌اند و در این خصوص تفسیر چشمی (رنگ ظاهری حاصل از تفسیر کاذب) هیچ‌گونه نقشی نداشته است. پارامترهای همبستگی R ، مجذور ضریب همبستگی R^2 و ضریب همبستگی تعدیل شده R^2_{adj} شاخص‌های همبستگی هستند که به ترتیب همبستگی بین متغیر وابسته و متغیر پیش‌بینی شده بر اساس مدل، درصدی از متغیر وابسته به‌دست آمده از رابطه خطی و برآورد دقیق‌تر جامعه را نشان می‌دهند. باید گفت درصد نشان داده شده توسط ضریب همبستگی تعدیل شده تنها حاصل از تأثیر واقعی متغیرهای مستقل مدل بر وابسته است و نه همه متغیرهای مستقل. بنابراین، مقدار برآورد شده آن قابل اعتماد خواهد بود (۱۱).

۸ مربوط به سال ۲۰۱۵ میلادی و در هر شاخص منتخب در ۹۸ نقطه انتخابی به نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ انتقال و منحنی رگرسیونی هر یک رسم شد. همبستگی آماری مقادیر داده‌های روشنایی تصاویر ماهواره لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۱۵ (به تفکیک باندها و شاخص‌ها) با مقادیر هدایت الکتریکی نمونه‌های خاک قبل از نرمال‌سازی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج این بررسی در جدول ۳ ملاحظه می‌شود. با دقت در مقادیر این جدول می‌توان دریافت که داده‌های باندها و شاخص‌های مختلف شوری در ۹۸ نقطه انتخابی بازدید، به جز در شاخص SI_3 آن هم در سطح ۰/۰۵، هیچ یک با شوری خاک معنی‌دار نشده است. این روند ضعف معنی‌داری باندها و شاخص‌ها با هدایت الکتریکی نرمال‌شده را نشان می‌دهد.

جدول ۳. مقادیر میانگین و انحراف معیار متغیرها و تحلیل همبستگی هریک از آنها با مقدار هدایت الکتریکی خاک

متغیر	تعریف شاخص	میانگین	انحراف معیار	همبستگی با EC SQRT	همبستگی با PH
EC sqrt	Electrical Conductivity (dS/m)	۴/۷۵	۱/۶۸	۱	-۰/۰۰۶
pH		۷/۷۳	۰/۲۰	-۰/۰۰۶	۱
SI1_ln	Salinity Index 1 ($\sqrt{B2 \times B3}$)	۴/۹۱	۰/۴۴	-۰/۱۷۱	۰/۱۶۷
SI2	Salinity Index 2 ($\sqrt{B2+B3+B4}$)	۱۵۲/۶۲	۶۹/۱۹	-۰/۰۷۸	۰/۱۲۹
SI3_ln	Salinity Index 3 ($\sqrt{B2+B3}$)	۴/۹۹	۰/۳۳	-۰/۲۶۲*	۰/۲۵۱*
NDSI	$B4 / (B3 + B4)$ - Normalized Differential Salinity Index (B3)	۲۱۴/۶۸	۳۷/۱۸	۰/۰۸۹	۰/۲۵۲*
IPVI	Infrared Percentage Vegetation Index ($B4 / (B3 + B4)$)	۲۰۰/۵۱	۳۱/۱۵	۰/۰۷۱	۰/۲۴۱*
VSSI	Vegetation Soil Salinity Index ($2 * B3$) - ($5 * (B3 + B4)$)	۱۹۸/۱۸	۲۹/۱۸	۰/۰۶۵	۰/۲۳۱*
BAND1	Reflectance Value of Band 1 (Blue visible)	۱۴۹/۷۸	۶۳/۵۶	۰/۰۸۶	۰/۰۹۱
BAND2	Reflectance Value of Band 2 (Green visible)	۱۵۱/۲۷	۶۱/۶۹	-۰/۰۹۷	۰/۰۹۰
BAND3	Reflectance Value of Band 3 (Red Visible)	۱۵۳/۷۷	۶۰/۵۸	-۰/۰۹۵	۰/۱۲۰
BAND4	Reflectance Value of Band 4 (Near Infrared)	۱۵۸/۰۲	۵۲/۳۲	-۰/۱۴۳	۰/۱۷۰
BAND5_LNGAMMA	Reflectance Value of Band 5 (Middle Infrared)	۶۷۴/۷۶	۳۲۱/۵۶	-۰/۰۸۳	۰/۰۸۵
BAND6	Reflectance Value of Band 6 (Thermal Infrared)	۱۷۶/۹۴	۵۲/۲۷	-۰/۰۷۸	۰/۱۷۴
BAND7	Reflectance Value of Band 7 (Far Infrared)	۱۶۲/۹۹	۵۹/۲۳	۰/۰۰۱	۰/۰۶۸

جدول ۴. معادله رگرسیونی و ضریب تبیین داده‌های شوری خاک با شاخص‌های برتر

شاخص	معادله رگرسیونی	R ²	R	Adjusted R ²
SI ₁	$SI_1 + 29/286 (SI_1) - 0/0818$	۰/۶۴	۰/۸۰	-۰/۰۱۱
SI ₂	$SI_2 + 29/28 (SI_3) - 0/0818$	۰/۶۳	۰/۷۹	۰/۰۱۱
SI ₃	$SI_3 + 26/452 (SI_3) - 0/0405$	۰/۶۵	۰/۸۰	۰/۰۱۲
NDSI	$NDSI + 28/026 (NDSI) - 0/0639$	۰/۳۸	۰/۶۱	-۰/۰۱۲
IPVI	$IPVI + 25/08 (IPVI) - 0/0589$	۰/۲۵	۰/۵۱	۰/۰۱۱
VSSI	$VSSI + 20/05 (VSSI) - 0/0492$	۰/۲۴	۰/۴۹	۰/۰۱۱

شاخص‌های شوری، به دلیل داشتن ضریب همبستگی و مجذور ضریب همبستگی بالاتر و همچنین ضریب همبستگی تعدیل شده مثبت و بیشتر، از دقت بالاتری برخوردار است.

معادله رگرسیونی داده‌های شوری منطقه با شاخص‌های مورد بررسی (شاخص‌های SI₁، SI₂ و SI₃، NDSI، IPVI و شاخص VSSI)، در جدول ۴ نشان داده شده‌اند. نتایج این ارزیابی نشان داد که شاخص SI₃ نسبت به سایر

ترسیم نقشه‌های شاخص‌های شوری

با تعیین باندهای مناسب جهت انجام طبقه‌بندی و تهیه نقشه سطح شوری، پیکسل‌های متناظر نمونه‌برداری برای هر یک از کلاس‌ها، به‌عنوان داده‌های آموزشی به الگوریتم‌های طبقه‌بندی معرفی شده‌اند و طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای با تعیین پنج کلاس شوری انجام پذیرفت. در این خصوص، نقشه شاخص‌های مختلف شوری در سال ۲۰۱۵ میلادی به روش نظارت‌شده به چهار روش حداقل فاصله، حداکثر احتمال، فاصله ماکسیمی و ماشین بردار پشتیبان رسم شد. اما جهت مقایسه نقشه‌ها در هر الگوریتم طبقه‌بندی، صحت کلی و ضریب کاپای همه شاخص‌های این سال مطابق شکل ۵ محاسبه و نشان داده شده است. با وجود پایین بودن ضریب تبیین در شاخص‌ها و عدم معنی‌داری آنها در همبستگی پیرسون، نقشه‌های شوری شاخص‌ها از صحت کلی و ضریب کاپای نسبتاً بالایی در بیان شوری خاک منطقه برخوردارند. لازم به ذکر است ضریب کاپا به‌عنوان معیار دیگری در بیان صحت نقشه‌های شاخص‌ها، نشان‌دهنده آن است که طبقه‌بندی انجام شده چه میزان با داده‌های واقعی توافق دارد. عدد آن، بین صفر و یک متغیر است؛ ضریب کاپا معادل یک، به مفهوم توافق و همسوئی صد در صد بین حاصل طبقه‌بندی و واقعیت زمینی است. گاهی صحت کلی در طبقه‌بندی‌های به‌دست آمده، عدد بالایی به‌خود اختصاص می‌دهد، اما در این پژوهش به‌دلیل توافق داده‌های زمینی و ماهواره‌ای، ضریب کاپا همزمان با صحت کلی بالاتر، معیار اصلی خواهد بود.

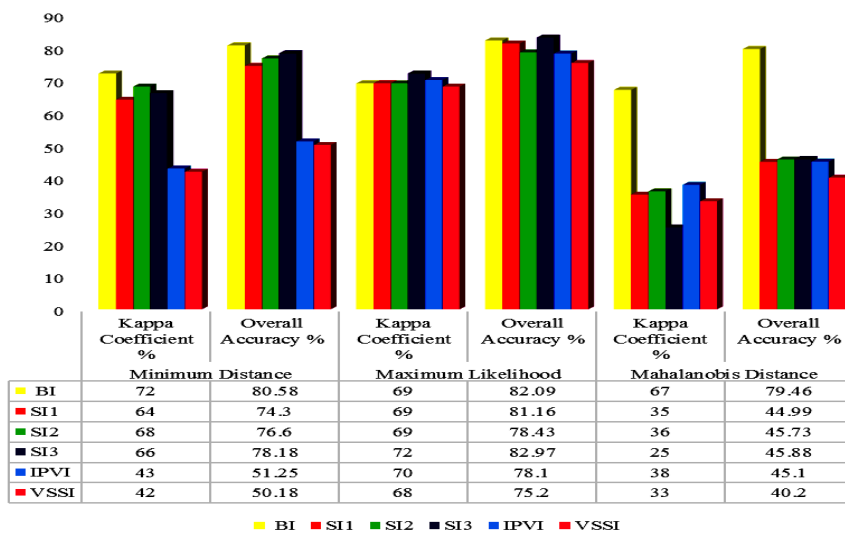
از میان الگوریتم‌های مختلف مورد بررسی برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در چهار کلاس شوری متمایز، طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان (SVM) با بالاترین دقت کلی ۹۵/۷۸ و ضریب کاپا ۰/۸۹ بهترین دقت در تهیه نقشه طبقه‌بندی‌شده شوری را دارا است. بر همین اساس، نقشه‌های شاخص‌های شوری مذکور در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ نیز با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان ترسیم شده است. یکی از مزایای روش ماشین بردار پشتیبان این است که می‌تواند مشکلات

موجود در اختلاف غیر متعادل را حل کنند (۲۳). پس از روش ماشین بردار پشتیبان به‌ترتیب روش‌های حداقل فاصله از میانگین (دقت کلی ۷۹/۲ و ضریب کاپا ۰/۶۶)، حداکثر احتمال شباهت (دقت کلی ۵۸/۲۲ و ضریب کاپا ۰/۴۹) و فاصله ماکسیمی (دقت کلی ۵۰/۸۷ و ضریب کاپا ۰/۲۵) دارای بیشترین دقت هستند. با توجه به معنی‌دار شدن تنها شاخص SI_3 در همبستگی پیرسون و راندمان بالاتر آن با در نظر گرفتن دقت و صحت الگوریتم ماشین بردار پشتیبان نسبت به سایر شاخص‌ها در مطالعه حاضر، شکل ۶ نقشه این شاخص را در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ به اختصار نشان داده است. به دلیل عدم معنی‌داری هر یک از تک باندها با هدایت الکتریکی، نقشه بانندی ترسیم نشده است. هر یک از باندها به‌طور مجزا نتوانسته‌اند شوری خاک سطحی را حتی با دقت کم نمایش دهند.

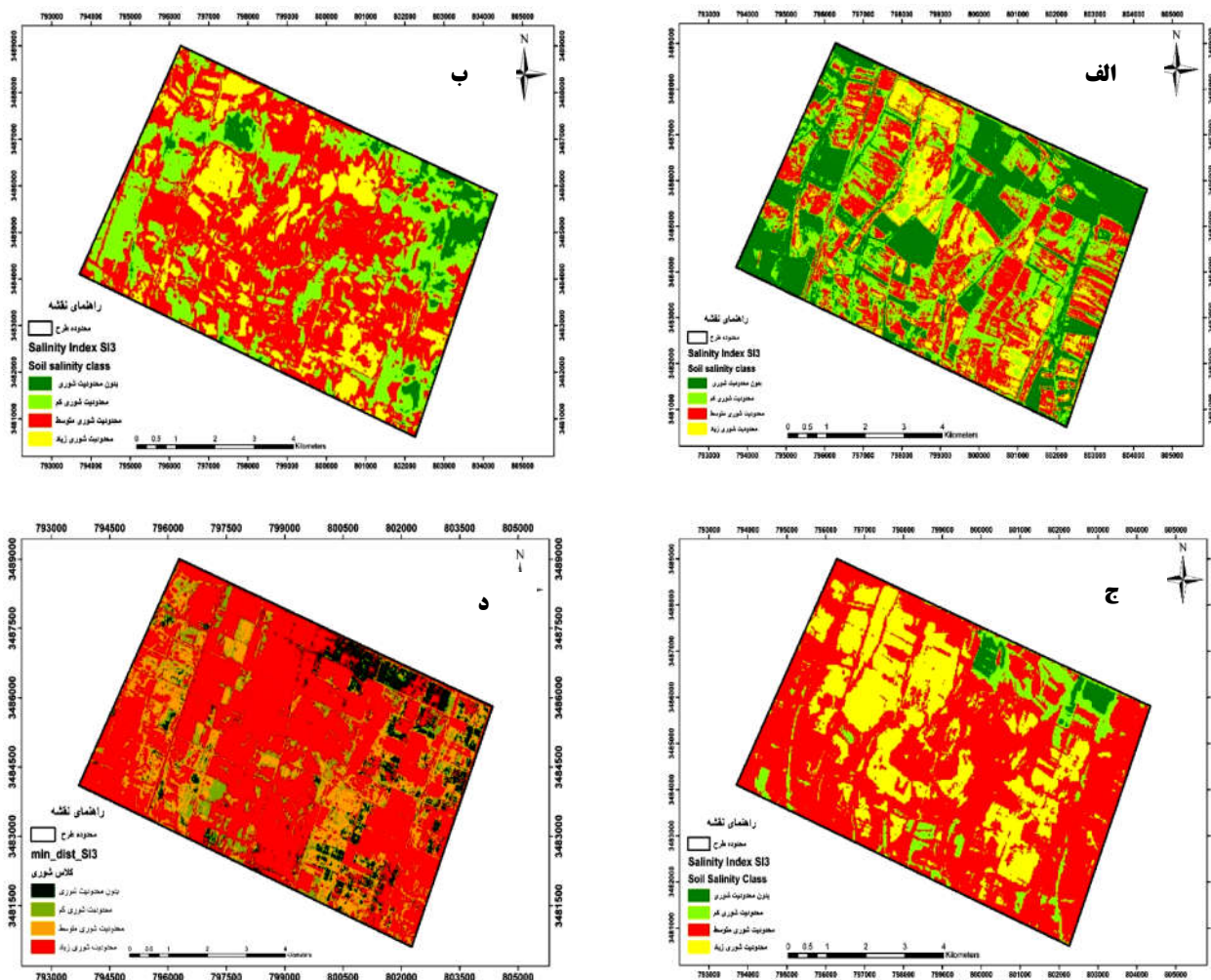
بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه سطح خاک با استفاده از دورسنجی بسیار پیچیده است. تغییرات زمانی و مکانی باعث شده تا هر یک از دانشمندان، روشی متفاوت را برای تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از اطلاعات سنسور از دور پیشنهاد کنند (۲۲). خاک پدیده‌ای است که با پیچیدگی‌های زیاد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی همراه است. به همین دلیل انتظار پیچیدگی‌های زیاد طیفی هم منطقی است (۲).

نتایج جدول آماره‌های توصیفی شوری و اسیدیته (جدول ۲) و هیستوگرام توزیع فراوانی این داده‌ها (شکل ۳) نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین درصد اراضی به‌ترتیب در محدوده‌های $16 <$ و $4 - 0$ دسی‌زیمنس بر متر قرار دارند. بر اساس اعلام کمیته اصلاحات جامعه خاکشناسان ایالات متحده، مرز بین خاک‌های شور و غیرشور ۲ دسی‌زیمنس بر متر است (۲۷). بنابراین، همه خاک‌های منطقه مطالعاتی در زمان نمونه‌برداری با شوری مواجه بوده‌اند. مقدار شوری اندازه‌گیری شده خاک در فصل نمونه‌برداری، از ۴/۹۱ دسی‌زیمنس بر متر تا ۷۴ دسی‌زیمنس



شکل ۵. ضریب کاپا و صحت کلی بر اساس سه الگوریتم طبقه‌بندی در سال ۲۰۱۵ میلادی (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۶. نقشه شاخص شوری SI3 با ماشین بردار پشتیبان در سال‌های الف (۲۰۰۱، ب) ۲۰۰۵، ج) ۲۰۱۰ و د) ۲۰۱۵ میلادی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

بر متر در محدوده تقریباً ۵۰۰۰ هکتاری مورد بررسی در نوسان است. مقدار میانگین شوری برابر ۲۵/۴ دسی زیمنس بر متر و انحراف معیار آن ۱۷/۴ به دست آمده است. این در حالی است که انحراف معیار یا تغییرات در همه باندها بیش از ۵۰ بود. بنابراین، جهت افزایش دقت در این گونه مطالعات، بهتر است محدوده مطالعاتی حتی الامکان از نظر شوری یکنواخت‌تر انتخاب شود. به جز واحدهای مختلف اراضی که باعث تغییرات شوری می‌شوند، در یک واحد یکنواخت اراضی نیز شوری بسیار متغیر است (۴).

به نظر می‌رسد این مقادیر بالا علاوه بر عوامل زمین‌شناسی، تابع اقلیم گرم و خشک منطقه، میزان کم نزولات جوی در فصل نمونه‌برداری (اواخر تابستان و اوایل پاییز) و عدم رعایت اصول مدیریت کشت و آبیاری باشد. با وجود تغییرات اندک اسیدیته در خاک‌های مطالعاتی، میانگین اسیدیته نمونه‌های خاک نیز ۷/۷۳ بوده که محدوده خاک‌های قلیایی ضعیف را بازگو می‌کند. با وجود مقادیر بالای کربنات‌ها همراه با ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، تغییرات عمده اسیدیته در این اراضی وجود ندارد؛ اما کمتر بودن مقادیر اسیدیته در برخی خاک‌های آبرفتی استان خوزستان به اثرات شوری مربوط است (۲۸). به بیان تاجگردان و همکاران (۲۵)، احتمالاً به علت تغییرات زیاد مقاومت خاک در برابر تغییرات اسیدیته، شاهد یکنواخت بودن سری این اعداد در خاک‌های یک منطقه هستیم.

بر اساس طبقه‌بندی وایلدینگ خصوصیات خاک با ضریب تغییرات بیش از ۳۵ درصد، تغییرپذیری بالایی دارند (۲۵). در این مطالعه میزان ضریب تغییرات پیش و پس از نرمال‌سازی اعداد شوری به ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۳۵، اما در اعداد اسیدیته ۰/۰۳ به دست آمد که بیانگر تغییرپذیری بسیار گسترده شوری خاک نسبت به اسیدیته است. شوری خاک، شاخصی گذرا و ناپایدار است. تغییرات اندک پارامترهای جوی چون نوسانات دما و رطوبت هوا، تابش خورشیدی، طول روز، میزان بارش، تغییرات رطوبت خاک با توجه به موقعیت هر خاک در شیب‌های گوناگون و برخورداری از ارتفاع آب زیرزمینی مختلف، فاصله نسبت به کانال آبیاری یا زهکشی، وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی در

سطح، همه و همه در تفاوت اعداد شوری خاک‌های مؤثرند. خاطر نشان می‌شود که روند تغییرات اقلیمی (روند کاهش بارندگی و افزایش دما) در منطقه مورد مطالعه گزارش شده است. همین امر گسترش وسعت خاک‌های شور را به اثبات می‌رساند. در واقع در پی افزایش حرارت و کاهش بارندگی، افزایش تبخیر سطحی، افزایش فشار اسمزی و تجمع املاح در سطح خاک‌ها (افق سالیک) رخ داده است. همین عامل یکی از دلایل مهم تغییر کاربری اراضی از کشاورزی به غیرکشاورزی و یا بدون استفاده است که شوری خاک را دو چندان می‌نماید. گاهی در برخی مناطق محدود کشاورزی با وجود آبیاری و زهکشی رخ می‌دهد اما آبیاری با آب شور و زهکشی ضعیف، بر افزایش کلاس و وسعت خاک‌های شور منطقه طی این سال‌ها افزوده است.

ضریب تبیین تقریباً مشابه شاخص‌های SI بیانگر شباهت زیاد کارایی این شاخص‌ها در برآورد هدایت الکتریکی خاک است. نتایج همبستگی پیرسون (جدول ۴) نیز نشان می‌دهد که با وجود عدم برقراری روابط معنی‌دار بین باندها و شوری، شاخص SI_3 در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار شده است و دقت بالاتری دارد. اعداد ضرایب تبیین R^2 ، R و R^2 تعدیل شده نیز، برتری شاخص شوری مذکور را نشان می‌دهند (جدول ۳). ضریب کاپا و صحت کلی بیشتر این شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها (شکل ۶) در نقشه‌های رسم شده شاخص‌ها به روش حداقل فاصله نیز مبنای دیگری بر ادعای مطلوب بودن SI_3 است.

از آنجا که اطلاعات حاصل از سنجش از دور انعکاس زمین را اندازه‌گیری می‌کند، هر عاملی که موجب پوشش سطح خاک شود، می‌تواند سبب تداخل در کار شود. در مطالعه حاضر پوشش اندک سنگریزه‌ای یا سنگفرش بیابانی Desert pavement در سطح خاک وجود داشت و از جمله عواملی بود که مستقیماً در تعیین شوری خاک توسط سنجش از دور دخالت کرد. این سنگفرش‌ها گاهی مشکلاتی در مطالعه پدیده‌های سطح زمین به ویژه مطالعه خاک بر اساس داده‌های ماهواره‌ای ایجاد می‌کنند (۲). با توجه به اینکه باندهای انعکاسی

در رابطه با پوشش گیاهی و اثر تداخلی آن با گیاه در سطح خاک، وضعیت متفاوتی در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ شاهد بودیم. چرا که میزان تاج پوشش در سال ۲۰۰۰ میلادی بیشتر و با افزایش به سال ۲۰۱۵ میلادی، کمتر شده است. این شاخص در سال ۲۰۱۵ به دلیل کمبود میزان تاج پوشش، قابل اندازه‌گیری بود. با این وجود، تاج پوشش گسترده تر در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ میلادی نیز سبب رخداد عوامل خطای گسترده شد.

همانطور که نقشه شاخص SI_3 در سال ۲۰۰۱ میلادی نشان می‌دهد (شکل ۶- الف)، بیش از ۱۵۰۱ هکتار یعنی بیشتر از ۳۰٪ منطقه عتایه را خاک‌های بدون معضل شوری و حدود ۵۴۹ هکتار (در حدود ۱۱ درصد) را خاک‌های شدیداً شور تشکیل می‌دهند. اما شکل ۶- ب بیانگر کاهش چشمگیر وسعت خاک‌های فاقد نمک و افزایش قابل ملاحظه محدوده اراضی با شوری متوسط در سال ۲۰۰۵ میلادی است. به طوری که اعداد نشان می‌دهد در این سال تقریباً ۵ درصد از کل منطقه را خاک‌های فاقد شوری تشکیل داده و بیش از ۵۱ درصد منطقه به خاک‌های با شوری متوسط اختصاص یافته است. افزایش روند شوری در شکل‌های ۶- ج (سال ۲۰۱۰ میلادی) و ۶- د (سال ۲۰۱۵ میلادی) ملموس‌تر است. چرا که حاکی از افزایش خاک‌های با شوری متوسط و شوری شدید و کاهش خاک‌های با مشکل کم تا بدون مشکل نمک هستند. با این تفاوت که در سال ۲۰۱۰ میلادی خاک‌های متوسط شور غالبیت داشته اما در سال ۲۰۱۵ میلادی، عمده مساحت منطقه به خاک‌های شدیداً شور تعلق یافته و بیش از ۹۰ درصد منطقه به نمک مبتلا شده است. همانطور که نقشه‌های شاخص SI_3 در شکل ۵ نشان می‌دهند، عمده اراضی با شوری کم یا فاقد مشکل شوری (کمتر از ۲ درصد در سال ۲۰۱۵ میلادی) در شمال منطقه واقع شده است. می‌توان گفت تنوع کم لندفرم‌ها در محدوده مورد مطالعه باعث شده که مساحت کمی (کمتر از ۱۰ درصد منطقه) از عتایه قابل کشت و زرع باشد. علت اصلی شوری خاک در منطقه مورد مطالعه گنبد‌های نمکی است. آب در مسیر رودخانه

حاصل از بازتاب نور از سطح هستند و چون سنگفرش مستقیماً در بازتاب سطح خاک دخالت دارد، بنابراین، می‌تواند درصد قابل توجهی از این بازتاب‌ها را در منطقه به خود اختصاص دهد. از این رو، رابطه معکوس میان درصد پوشش سنگریزه و میزان اطلاعات باندهای انعکاسی در رابطه با این خاک‌ها وجود دارد. چنین مشاهداتی، در بررسی خاک‌های مروست توسط دشتکیان و همکاران (۴) نیز گزارش شده است.

مسلم است نقاط حاوی نمک، سبب ایجاد محدودیت در رشد گیاهان زراعی و مرتعی می‌شوند. از این جهت، کارایی شاخص‌هایی چون IPVI و SI_2 کمترین دقت را در بارزسازی شوری خاک داشته‌اند. اما می‌توانند در تعیین پوشش گیاهی مناطق دارای پوشش گیاهی مناسب واقع شوند. علت این امر به دلیل وجود باند مادون قرمز در معادله آنهاست. زیرا گیاهان سبز دارای بیشترین بازتاب در این محدوده طیفی هستند (۱). موسوی و همکاران و همکاران (۱۸) در تعیین مناطق شور منطقه فغیر هویزه در استان خوزستان، از پنج شاخص متفاوت شوری خاک استفاده کردند. در نتایج مطالعه این پژوهشگران مشخص شد که شاخص‌های SI و CORSI بهترین شاخص‌ها در ارزیابی شوری خاک هستند. شاخص‌های BI و VSSI در مرتبه بعدی مطلوبیت قرار داشته، اما شاخص NDSI نتوانست به خوبی نواحی با شوری شدید را تفکیک کند. این پژوهشگران، استفاده از شاخص NDSI را در جداسازی خاک‌های به شدت شور منطقه هویزه توصیه نکردند.

با توجه به کربناتی بودن خاک‌های مورد مطالعه با منشأ اولیه، اسیدیته نمونه‌ها دارای نوسان بسیار کم و در همه نقاط نمونه‌برداری بیش از ۷ گزارش شده است. از این رو خاک‌های قلیایی ضعیف را نشان می‌دهد. به دلیل اینکه از میان شاخص‌های مد نظر پژوهش و باندها و شوری، این متغیر فقط با دو شاخص SI_3 و NDSI در سطح ۰/۰۵ همبستگی معنی‌دار داشت، بنابراین امکان مطالعه قلیابیت خاک در محدوده مورد مطالعه ضعیف ارزیابی شد. در بررسی‌های زیادی، رابطه معنی‌داری بین قلیابیت و داده‌های ماهواره‌ای بیان نشده است (۶ و ۲۶).

تغییر شوری بر اثر گذشت زمان، صعود آب زیرزمینی، تداخل با پوشش گیاهی و اختلاط با دیگر عوامل سطحی نام برد. آنچه که در بررسی حاضر نمایان بود، این است که مقادیر متفاوت شوری در مساحت منطقه عتایه، با نوسانات گسترده‌ای همراه بود. این عامل نشان‌دهنده وجود دو منشأ اولیه مادری ناشی از گنبد‌های نمکی مسیر رودخانه کرخه در استان خوزستان و ثانویه ناشی از عوامل توپوگرافی، تغییرات کاربری، موجودات زنده و در گذر زمان ۱۵ ساله مورد مطالعه است. نتایج نشان داد با اینکه هیچ یک از باندهای ماهواره لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۱۵ میلادی با شوری خاک معنی‌دار نبودند، بهترین ترکیب باندهای ۴، ۵ و ۷ گزارش شدند. از میان شاخص‌های متفاوت بکارگیری شده این مطالعه جهت ارزیابی میزان شوری، شامل SI_1 ، SI_2 ، SI_3 ، $NDSI$ ، $IPVI$ و $VSSI$ ، مشخص شد که شاخص SI_3 اولین و دقیق‌ترین شاخص در برآورد شوری خاک‌های این منطقه بوده و دارای انطباق بسیار خوبی با داده‌های برداشت شده زمینی است. همچنین، نتایج طبقه‌بندی نظارت‌شده نشان داد که ماشین بردار پشتیبان (با بالاترین دقت کلی ۹۵/۷۸ و ضریب کاپا ۰/۸۹)، دارای دقت بیشتری است. پس از روش ماشین بردار پشتیبان به ترتیب روش‌های حداقل فاصله از میانگین، حداکثر احتمال شباهت و فاصله ممالانویس دارای بیشترین دقت هستند. بر اساس نقشه‌های شوری بدست آمده در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ میلادی می‌توان گفت میزان شوری در تمام منطقه مورد مطالعه پیشروی داشته و همزمان وسعت شوری در کلاس‌های متوسط و زیاد کاهش و از طرف دیگر، وسعت کلاس شوری بسیار زیاد در سال ۲۰۱۵، به تدریج نسبت به سال ۲۰۰۱ تمام منطقه مورد مطالعه را پوشش داده است، به‌طوری‌که بیش از ۹۰ درصد منطقه مورد مطالعه را دربرگرفته است. نتایج طبقه‌بندی نظارت‌شده نشان داد که ماشین بردار پشتیبان، دارای دقت بیشتری است. پس از روش ماشین بردار پشتیبان به ترتیب روش‌های حداقل فاصله از میانگین، حداکثر احتمال شباهت و فاصله ممالانویس دارای بیشترین دقت هستند. با توجه به

کرخه سبب انتقال نمک این گنبد‌های نمکی به بخش‌های پایین دست می‌شود و در این اراضی که شیب زمین کمتر از ۲ درصد است، سبب رسوب و ته‌نشینی شده است. علاوه بر عامل شیب کم اراضی، جهت شیب زمین‌ها نیز نقش چشمگیری در افزایش شوری دارد. زیرا بر جهت هدایت آبراهه‌ها و همچنین مکان تخلیه آب‌های شور ناشی از فرسایش گنبد‌های نمکی مؤثر است. در سال‌های گذشته (سال ۲۰۰۱ میلادی و ماقبل آن)، تخلیه نمک‌ها از خاک‌ها با زهکشی سنتی در جهت شیب زمین و آبیاری با آب رودخانه کرخه انجام می‌گرفته است. اما با گذشت زمان، به دلیل محدودیت منابع آبی جهت کشت و زرع، ضعف و تخریب سیستم‌های زهکشی با کاهش خروج نمک‌ها از خاک روبه رو شده است. این عوامل، علاوه بر اینکه محدودیت‌های کشت و زرع را برای کشاورزان فراهم کرده، سبب ایجاد سله در سطح خاک‌های منطقه، کاهش نفوذپذیری خاک‌ها، سیل خیز شدن منطقه با سیلاب‌های متعدد و معمولاً در فصل زمستان، افزایش گرد و غبار در فصول بهار و پاییز (به دلیل جریان بادهای موسمی) شده است. به همین دلیل در چند سال اخیر مخاطرات جانی، مالی و اجتماعی فراوانی برای بشر و محیط زیست به همراه داشته و محدودیت‌های فراوانی برای کشاورزی ایجاد شده است؛ چرا که در حال حاضر فقط گیاهان هالوفیت توانایی رشد و نمو در این اراضی را دارند. در همین راستا، می‌روسوی و همکاران (۱۶) با استخراج نقشه پراکندگی شوری خاک‌های غرب ایران توسط سنجش از دور، عنوان کردند که نمک موجود در خاک بیشتر از هوازدگی سنگ‌های اولیه است و یا توسط عواملی مانند آب و باد منتقل می‌شوند. توپوگرافی، آبیاری و شوری زمین‌های خشک که در نتیجه جنگل‌زدایی، چرای بیش از حد و قطع بوته‌ها اتفاق افتاده است نیز سبب بالا آمدن سطح ایستابی و آب زیرزمینی شور شده است.

مهم‌ترین مشکلات در ارتباط با تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از سنجش از دور را می‌توان رفتار طیفی نمک‌های مختلف، تغییرات زیاد شوری در سطح طی فصول مختلف،

اهمیت است که از آن جمله می‌توان به تولید نقشه‌های شوری خاک کم هزینه، سریع و مکان‌مند این روش‌ها نسبت به روش‌های مرسوم، مشخص کردن منشأ شوری خاک و همچنین تعیین سرعت روند شور شدن در این منطقه، بررسی علل شوری و شدت و ضعف این علت‌ها در بخش‌های متفاوت محدوده مطالعاتی و در نهایت کنترل علل در مهار شوری و مدیریت اراضی کشاورزی اشاره کرد.

نتایج این پژوهش می‌تواند به این نتیجه رسید که استفاده از روش سنجش از دور برای تهیه نقشه‌های شوری خاک در مناطقی که دارای وسعت زیاد هستند و تحت تأثیر شوری قرار دارند، کاربرد محسوسی دارد. از سوی دیگر با بهره‌گیری از روش الگوریتم‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای تمامی مناطقی که نمونه‌گیری در آنها انجام نشده است نیز میزان شوری آنها را بر اساس میزان ارزش رقومی پیکسل‌ها برآورد کرد. برآورد منطقه‌ای تغییرات شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم‌های طبقه‌بندی در عتایه از جنبه‌های بسیاری دارای

منابع مورد استفاده

1. Ajirabi, R., B. Kamkar and A. Abdi. 2015. Comparison of different indicators extracted from landsat satellite images for soil salinity zoning in Gorgan army sample farm. *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 3:173-186 (In Farsi).
2. Alavipanah, S. 2003. Application of Remote Sensing in Earth Sciences, Soil Sciences, Tehran University Press, Tehran, Iran (In Farsi).
3. Amini, D., M. Tavakoli and M. Rostaminy. 2018. Mapping spatial variability of soil salinity using remote sensing data and geostatistical analysis: A case of Shadegan, Khuzestan. *Environmental Erosion Research* 28(7:4): 24-43 (In Farsi).
4. Dashtakian, K., M. Pakparvar and J. Abdollahi. 2008. A study of soil salinity mapping methods using Irish satellite data in Marvast logic. *Iranian Range and Desert Research* 15: 139- 157 (In Farsi).
5. Diani, M., S. Jafari, B. Khalili Moqaddamand and A. Ahmad Dehghani. 2012. Zoning of the risk of salinity and sodiumization of surface soil using geostatistics: case study, lands west of Karun river in Khuzestan province. *Watershed Management Research* 94: 86-95 (In Farsi).
6. El-Haddad, A. and L. A. Garcia. 2005. Detecting Soil Salinity Levels in Agriculture Land Using Satellite Imagery. *In: Hydrology Days, Colorado, USA.*
7. Elhag, M. 2016. Evaluation of different soil salinity mapping using remote sensing techniques in arid ecosystems, Saudi Arabia. *Journal of Sensors* 7596175.
8. Fernández-Buces, N., C. Siebe, S. Cram and J. L. Palasio. 2006. Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation: case study in the former lake Texcoco, Mexico. *Journal of Arid Environments* 65: 644-667.
9. Golabkesh, F., N. Ghanavati, A. Nazarpour and T. Babaei Nejad. 2021. Monitoring soil salinity changes, comparison of different maps and indices extracted from Landsat satellite images (case study: Atabieh, Khuzestan). *Environmental Studies* 30(2): 1139- 1154.
10. Habibipour, A., A. Talebi, A. Karimian, F. Dehghani and M. Mokhtari. 2017. Determining the optimal method of data preprocessing in order to increase the accuracy of surface soil salinity simulations: case study, Marvast region. *Journal of Water and Soil Agricultural Sciences and Industries* 31: 915-928 (In Farsi).
11. Hakimzadeh, M., S. Mahdavi Ardakani, A. Jabali and M. Esfandiari. 2015. Evaluation of soil salinity using a combination of satellite images and statistical methods (case study, Chah Afzal Ardakan area). *Journal of Geographical Exploration of Desert Areas* 3: 25-46 (In Farsi).
12. Jensen, J. 2005. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
13. Jian, 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.
14. Khan, N. M. 2001. Mapping salt-affected soils using remote sensing indicators- a simple approach with the use of Gis, Idrisi.
15. Masoud, A., A. Koike and K. Arid. 2006. Land salinization detected by remotely-sensed land cover changes, a case

- study in the Siwa region, NW Egypt. *Journal of Arid Environments* 66: 151-167.
16. Mir Mousavi, S., H. Raispour and M. Kamangar. 2021. Monitoring and evaluation of spatial variations in soil electrical conductivity using remote sensing. *Ecohydrology* 7(4): 1113-1126 (In Farsi).
 17. Moameni, A. 2011. Geographic distribution and salinity levels of the soil resources of Iran. *Iranian Journal of Soil Research* 24: 203-215 (In Farsi).
 18. Mousavi, M., H. Matin Far and G. Sayad. 2014. Comparison of Corsi, Si, Bi, Vssi and Ndsi indices in identifying saline areas of Jafir Hoveyze region of Khuzestan. In: 2nd National Conference on User Research in Agricultural Sciences, Comprehensive University of Applied Sciences, Tehran, Iran (In Farsi).
 19. Nguyen, K.A., Y.A. Liou, H.P. Tran, P.P. Hoang and T.H. Nguyen. 2020. Soil salinity assessment by using near-infrared channel and vegetation soil salinity index derived from Landsat 8 Oli Data, A case study in the Travinh Province, Mekong Delta, Vietnam. *Progress in Earth and Planetary Science* 7: 1-16.
 20. Qureshi, A., M. Qadir, N. Heydari, H. Turrall and A. Javadi. 2007. A review of management strategies for salt prone land and water resources in Iran. Colombo, Srilanka, International Water Management Institute (In Farsi).
 21. Richards, J. A. 1999. Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer-Verlag, Berlin.
 22. Salman, A. and A. Mubeen-UI-Din. 2000. Using State of the art RS and GIS for monitoring water logging and salinity. In: Proceeding of a Roundtable Meeting, Lahor, Pakistan, Iptrid, FAO.
 23. Saruay, S. 2015. Investigation of the possibility of forest classification interms of density in Zagros forest with the help of satellite data. Master Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran (In Farsi).
 24. Taghizadeh, M.R., S. Mahmoodi, M. Taze and E. Sahebjalal. 2008. Accuracy assessment of soil salinity map in Yazd-Ardakan plain, central Iran, based on Landsat imagery. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 3: 708-712 (In Farsi).
 25. Taj Gardan, T., S. Ayubi, S. Shatai Joybari and F. Khormali. 2009. Preparation of soil surface salinity map using ETM telemetry data, case study, north of Aq Qala, Golestan province. *Soil and Water Conservation Research*. 16: 18-19.
 26. Wood, G. A., P. J. Love Land and M.G. Kibblewhite. 2004. The Use of remote sensing to deliver soil monitoring. Research report to DEFRA, The Department of Food and Rural Affairs, National Soil Resources Institute, Granfield University, Silsoe, Bedfordsh.
 27. Yazdani Nejad, F. and H. Torabi Golsefidi. 2013. Investigation of spatial changes and salinity zoning of agricultural lands in the south of Tehran using kriging and GIS. *Iranian Soil and Water Research* 44: 3-262 (In Farsi).
 28. Zahirnia, A., H. Matin Farh and A. Hawasipour. 2017. Comparison of different indicators extracted from Landsat satellite images to study soil salinity changes. In: The Southwestern Region of Khuzestan Province, National Geomatics Conference, Islamic Azad University of Khorramabad, Lorestan (In Farsi).
 29. Zaker Moshfeq, A., S. Jafari and B. Khalili Moghaddam. 2015. Investigation of physicochemical, morphological characteristics and soil evolution in Karkheh sediments, Khuzestan province. In: The First Annual Iranian Agricultural Research Conference, Kharazmi Institute of Science and Technology, Iran, Shiraz (In Farsi).

Application of Supervised Classification Algorithms in Long-Term Survey of Surface Soil Salinity by Using Remote Sensing: A Case Study of Atabiyeh Plain, Khuzestan Province

F. Golabkesh^{1,2}, A. Nazarpour^{3*}, N. Ghanavati² and T. Babaei Nejad²

(Received: May 6-2021; Accepted: August 31-2021)

Abstract

The current study aims to find the best methods of using remote sensing and supervised classification algorithms in long-term salinity monitoring of salinity changes in the Atabieh area with an area of 5000 hectares in the west of Khuzestan province. The procedure is based on the separation of different levels of saline soils utilizing information obtained from Landsat 7 and 8 satellite images (2001 to 2015) along with salinity data taken from the study area, and salinity indices including SI1, SI2, SI3, NDSI, IPVI, and VSSI. The results show the expansion of the saline zone trend in the soils of the study area, among which, soils with EC of more than 16 dS m⁻¹ (very saline) have the highest frequency. The area of saline soils has increased significantly over the past 15 years, with a saline land area increasing by more than 90%. The percentage of salinity class is low (S1). According to this study, the only significant index in soil salinity at a 95% confidence level is the SI3 index, which has been able to have a good estimate of the increasing changes in soils in the region. The results of the supervised classification showed that the support vector machine (with an overall accuracy of 95.78 and a kappa coefficient of 0.89) is more accurate. After the vector machine method, the methods of minimum distance, maximum likelihood, and distance of Mahalanobis have the highest accuracy, respectively. Based on salinity maps obtained in years in 2001, 2005, 2010, and 2015, it can be said that the salinity rate in the whole of the study area was progressing and at the same time the salinity area in the middle and high classes increased decreased and on the other hand, the salinity area in the high class in 2001 gradually increased and distributed in 2015 throughout the region.

Keywords: Soil salinity assessment, Landsat ETM⁺ images, Support vector machine (SVM), Atabiyeh, Khuzestan

1. Department of Soil Sciences, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2. Department of Soil Sciences, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

3. Department of Geology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

*: Corresponding author, Email: Ahad.nazarpour@gmail.com