

بررسی تغییرات شوری خاک در شهرستان تربت حیدریه استان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های MODIS

مصطفی دستورانی^{۱*}، محسن جعفری شلمزاری^۲، هادی سلیمانی مقدم^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۲۲

چکیده

بررسی تغییرات شوری خاک تنها با صرف هزینه فراوان و نمونه‌برداری مستقیم زمینی میسر است. این در حالی است که ابزارهای سنجش از دور در دهه‌های اخیر به صورت مقرون به صرفه و کارآمدی امکان نمونه‌برداری از شوری خاک را فراهم کرده‌اند. بررسی شوری خاک در امر مقابله با تخریب زمین و بیابان‌زایی بسیار اهمیت داشته و لذا پژوهش در این زمینه می‌تواند بسیار کاربرد داشته باشد. در پژوهش حاضر تغییرات شوری خاک در شهرستان تربت حیدریه استان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مودیس در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ بررسی شد. برای این منظور از شاخص ترکیبی باند ۴ و ۶ این ماهواره استفاده شد. همچنین همبستگی بین شوری، ارتفاع، شیب و شاخص ارتقایافته پوشش گیاهی EVI نیز مورد بررسی قرار گرفت. سطح شوری در منطقه چندان بالا نیست، اما روند تغییرات نشان‌دهنده افزایش شوری در منطقه است. بر همین اساس عمده منطقه ۶۰٪ (۲۲۳۵ کیلومتر مربع) در کلاس بدون شوری و ۳۵٪ (۱۳۰۴ کیلومتر مربع) در شوری خفیف و تنها ۵٪ منطقه (۱۸۶ کیلومتر مربع) در کلاس شدید قرار می‌گیرد. مقایسه بین مقادیر تخمینی و واقعی در عرصه منجر به ضریب کاپا معادل ۰/۶۵ شد که نشان از اعتبار اندازه‌گیری‌های انجام‌شده دارد. اما همبستگی میان پارامترهای مختلف نشان‌دهنده عدم همبستگی شوری با شیب، ارتفاع و EVI بوده که با توجه به پوشش گیاهی پراکنده منطقه قابل تصور است. البته مقادیر همبستگی ارتفاع و شیب نسبت به پوشش گیاهی بیشتر بوده است. به نظر می‌رسد فقر شدید پوشش گیاهی و تجمع سازندهای تبخیری در مناطق معدود منجر به عدم همبستگی بین این عوامل شده باشد.

کلیدواژه‌ها: شوری، بیابان‌زایی، تخریب زمین، سامانه اطلاعات جغرافیایی، پوشش گیاهی.

۱. استادیار دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران، نویسنده مسئول، m.dastorani@hsu.ac.ir

۲. مسئول واحد انفورماتیک دانشگاه پیام نور استان چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ایران

۳. استادیار دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

* این مقاله برگرفته از پژوهش مستقل است.

مقدمه

کاهش بارش، دمای بالا و اقدامات گذشته مدیریتی سبب شده است شوری خاک به یکی از معضلات اساسی در ایران بدل شود. این مشکل به ویژه در اراضی کشاورزی و تحت تأثیر آبیاری بیشتر نمایان شده است. به این نوع شوری که شوری دومین نیز گفته می شود، به دلیل استفاده پرشمار از آب های رویی یا زیرزمینی شور رخ می دهد و در دهه های گذشته گستره این دسته از زمین ها که دچار مشکل شوری شده اند، همچنان رو به افزایش بوده است. نتیجه شوری زمین را می توان نابودی تولیدات کشاورزی، تولید رسوبات بادی شور و مشکلات بهداشتی ناشی از آن، رها کردن زمین و بیابانزایی معرفی کرد (تقی زاده و همکاران، ۲۰۱۴). بیشتر گیاهان و محصولات کشاورزی به شوری خاک حساس اند. شوری خاک از طرف دیگر سبب شور شدن هرچه بیشتر منابع آب سطحی و زیرزمینی نیز می شود. نزدیک به ۸۳۰ میلیون هکتار از خاک کره زمین (۷٪) دچار شوری خاک هستند. در حال حاضر نزدیک به ۲۰٪ از زمین های زیر کشت در سراسر دنیا دچار شوری خاک شده اند که نزدیک به ۳۰٪ آن در اقلیم های خشک و نیمه خشک مانند ایران واقع شده اند (مریخ پور و رحیم زادگان، ۲۰۲۰). به همین دلیل اطلاع از گستره و تغییرات شوری خاک در مدیریت محیط زیست و کشاورزی بسیار مهم است.

در گذشته، شوری خاک با روش های مستقیم و میدانی انجام می شد که هزینه و زمان بسیاری می طلبید. عمده این روش ها در مقیاس محدود و با دقت پایین انجام می شده و اطلاعات تولیدی بیشتر جنبه کیفی داشته اند. کاربرد این اطلاعات برای مصارف کشاورزی، مدیریت اراضی و... به همین دلیل دچار محدودیت می شده است؛ اما امروزه استفاده از روش های سنجش از دوری و تصاویر ماهواره ای این امکان را در اختیار محققان قرار داده اند تا با سرعت و هزینه کم، نقشه های دقیقی از شوری خاک تهیه کنند (گرچی و همکاران، ۲۰۱۹). شوری خاک در تصاویر ماهواره ای بر اساس اختلاف در انرژی الکترومغناطیس دریافتی بین عرصه های مختلف قابل تخمین است (دلاور و همکاران، ۲۰۲۰). البته باید توجه داشت

که شوری تنها منحصر به شوری با نمک های سدیمی نیست و شوری با نمک های دیگر تفاوتی در طیف دریافتی در ماهواره ها ایجاد می کند. از طرفی، وجود پوشش گیاهی و ترکیب طیف آن ها در سلول های تصاویر ماهواره ای نیز می تواند تخمین شوری را با خطا همراه کند. همچنین فعالیت های انسانی و خاک ورزی می تواند به خطا در ارزیابی شوری منجر شود (تقی زاده و همکاران، ۲۰۱۴).

مطالعات انجام شده در زمینه کاربرد داده های ماهواره ای برای ارزیابی شوری خاک به دو دسته کلی قابل تقسیم اند؛ در دسته اول صرفاً اتکا به داده های ماهواره ای و مشاهدات زمینی برای تأیید تخمین شوری است. برای نمونه، لوبل^۱ و همکاران (۲۰۱۰a) توانایی داده های ماهواره مودیس را در مقیاس منطقه ای برای بررسی شوری خاک ارزیابی کردند. این تحقیق که در داکوتای شمالی آمریکا انجام شده است، نشان داد که همبستگی زیادی بین شاخص پوشش گیاهی EVI^۲ و NDVI^۲ و شاخص شوری خاک وجود دارد. فلاح شمسی و همکاران (۲۰۱۳) در ارزیابی کارایی تصاویر ماهواره مودیس در جنوب استان فارس ایران به این نتیجه رسیدند که تطابق زیادی بین شاخص شوری تولیدی از تصاویر این ماهواره و داده های واقعی موجود است. تقی زاده و همکاران (۲۰۱۴) به نقشه سازی شوری خاک در منطقه اردکان یزد با استفاده از داده های زمینی و ماهواره ای پرداخته و همبستگی ۷۸ درصدی بین تخمین ها و اندازه گیری ها را گزارش کرده اند. جانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی توانایی تصاویر ماهواره مودیس در نقشه بندی شوری خاک در رودخانه زرد در چین پرداخته اند. برای این منظور، از شاخص ارتقایافته پوشش گیاهی EVI^۴ این ماهواره و داده های واقعی استفاده شده است. اگرچه تطابق میان داده ها چندان زیاد نبود، محققان به پتانسیل بالای این روش در ارزیابی شوری خاک اشاره کردند. ویتنی^۵ و همکاران (۲۰۱۸) همبستگی داده های شوری ماهواره مودیس، شاخص پوشش گیاهی EVI و مقادیر واقعی شوری

1. Lobell
2. Normalized Vegetation Index
3. Zhang
4. Enhanced Vegetation Index
5. Whitney

خاک را در حاشیه رودخانه زرد چین بررسی کرده و به همبستگی ۰/۶۹ رسیده‌اند که میزان قابل توجهی است. زارع و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از داده‌های ماهواره مودیس برای ارزیابی شوری خاک در شیراز به این نتیجه رسید که داده‌های ماهواره‌ای در تکمیل داده‌های زمین آماری شوری بسیار موفق عمل می‌کنند. مریخ‌پور و رحیم‌زادگان (۲۰۲۰) به بررسی شوری خاک با استفاده از داده‌های مایکرو ویو و داده‌های دیداری ماهواره مودیس اقدام کرده‌اند و ضریب کاپایی ۰/۸۶ بین مشاهدات و تخمین‌ها رسیده است. فتحی‌زاده و همکاران (۲۰۲۰a) با استفاده از داده‌های سنجنش از دور به بررسی شوری خاک در دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۳۰ در مرکز ایران پرداختند. نتایج حاصل از شوری خاک اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده با شوری آب زیرزمینی همبستگی بالایی نشان داد.

بوده است. با توجه به مرور منابع انجام شده به نظر می‌رسد به‌رغم وجود تحقیقات فراوان درباره استفاده از داده‌های سنجنش از دور برای ارزیابی شوری خاک، تحقیقات بیشتری برای تأیید کارایی این روش‌ها نیاز است. شوری خاک یکی از عوامل اصلی بیابان‌زایی است و پیش‌بینی دقیق آن می‌تواند به نقشه‌بندی بهتر و اعتبارسنجی مدل‌های بیابان‌زایی کمک کند. شوری از عواملی است که نه تنها بر بیابان‌زایی، بلکه بر توان تولید رسوبات بادی و در کل فرسایش بادی نیز تأثیر بسزایی داشته که در یک چرخه مخرب سبب هم‌افزایی بیابان‌زایی نیز می‌گردد. با این هدف، در این پژوهش به بررسی تغییرات شوری خاک در یک دوره ۲۰ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با استفاده از داده‌های ماهواره مودیس در شهرستان تربت حیدریه استان خراسان رضوی خواهیم پرداخت که با پدیده بیابان‌زایی روبه‌روست. نتایج این بررسی می‌تواند به مدیران اراضی دید بهتری از روند و گستره تخریب ارائه کند و در مدیریت و مهار بیابان‌زایی متمر ثمر باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی در این بررسی شهرستان تربت حیدریه در استان خراسان رضوی است که بین طول جغرافیایی شرقی ۴۰°۵۸' تا ۴۰°۵۹' و عرض شمالی ۱۰'۳۵' تا ۵۰'۳۵' واقع شده است. مساحت منطقه ۳۷۲۶ کیلومتر مربع بوده و تفاوت ارتفاع بین ۱۰۰۰ تا ۲۹۶۰ متر است. منطقه شامل ناهمواری‌های میانی و شمالی و دشت‌های آبرفتی میانی است. عمده سازندهای منطقه شامل سنگ‌های آذرین همراه با رسوبات آبرفتی کواترنری و سازندهای تبخیری در برخی قسمت‌های منطقه است که بسیار مستعد فرسایش آبی و بادی هستند. خاک‌های منطقه تکامل نیافته و عمدتاً در رده اینسپتی سول و اتی سول قرار می‌گیرند. بارش متوسط سالانه منطقه ۳۴۰ میلی‌متر بوده و دمای میانگین سالانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد است که از نظر طبقه‌بندی آمبرژه نیمه‌خشک سرد محسوب می‌شود. کاربری عمده منطقه مرتع بوده و برون‌زدهای سنگی

در دسته دوم، علاوه بر استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، شاخص‌های جانبی مانند توپوگرافی زمین نیز مد نظر قرار می‌گیرد. برای نمونه، شرس‌ستا^۱ (۲۰۰۶) در منطقه‌ای در شمال تایلند بین داده‌های شوری به‌دست‌آمده از تصاویر لندست و مقادیر مشاهداتی همبستگی مشاهده کرد ولی رابطه معنی‌داری با ارتفاع به دست نیاورد. یحیایوی^۲ و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی شوری خاک در قسمتی از کشور الجزایر با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، نقشه رقومی ارتفاعی و شاخص NDVI پرداخت؛ اطلاعات به‌دست‌آمده نشان از رابطه شدید شوری با توپوگرافی منطقه بوده است. از طرفی، همبستگی بین شوری با پوشش گیاهی و شیب نیز معنی‌دار نبوده است. سلطانوف^۳ و همکاران (۲۰۱۸) از تصاویر ماهواره لندست ۵ و روش‌های یادگیری ماشین برای تخمین شوری خاک در حاشیه دریای آرال استفاده و مشاهده کردند که شوری خاک با شاخص پوشش گیاهی، نقشه رقومی ارتفاعی و محتوی رس خاک همبستگی داشته است. حبیبی و همکاران (۲۰۲۱) از تصاویر لندست ۸ و شبکه عصبی مصنوعی برای پایش شوری خاک در منطقه قم استفاده کردند. نتایج به‌دست‌آمده نشان از همبستگی شوری با شاخص NDVI و نقشه رقومی ارتفاع

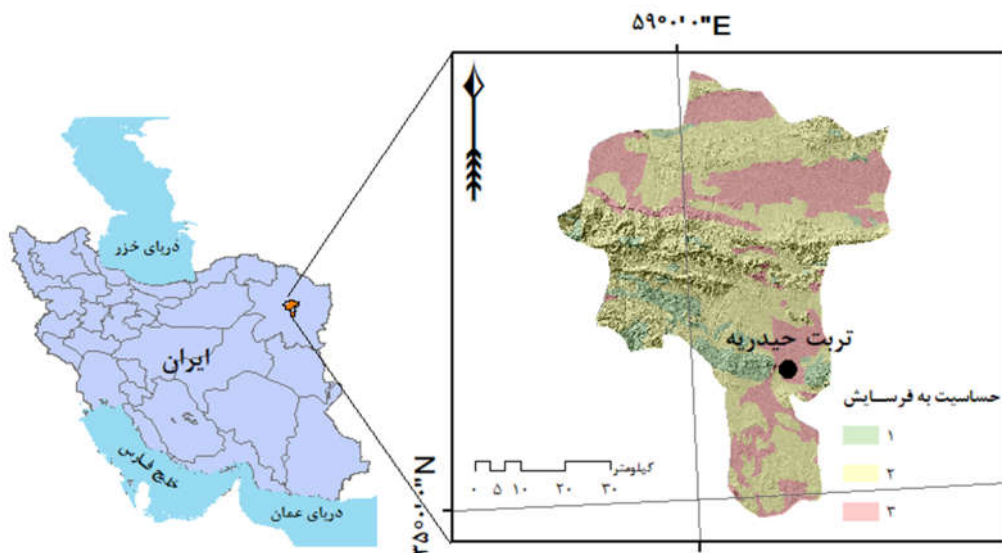
1. Shrestha
2. Yahiaoui
3. Sultanov

زیادی نیز به چشم می خورد. موقعیت منطقه به همراه مناطق حساس به فرسایش در شکل (۱) ارائه شده است.

سانتی متری سطح خاک گردید. برای این منظور، نمونه برداری به صورت تصادفی از ۸۰ نقطه انجام شد و شوری خاک در عصاره اشباع تعیین گردید. مقادیر شوری به دست آمده با مقادیر معادل در نقشه شوری ۲۰۲۰ بر اساس شاخص کاپا مقایسه شده است تا دقت محاسبات تعیین شود.

تهیه نقشه واقعیت زمینی

برای تهیه نقشه واقعیت زمینی در سال ۲۰۲۰ در ماه ژوئن (اواخر خرداد) اقدام به نمونه برداری میدانی از ۵-۰



شکل (۱): موقعیت قرارگیری شهرستان تربت حیدریه در استان خراسان رضوی و ایران به همراه سطح حساسیت منطقه به فرسایش. نقشه فرسایش بر روی نقشه ناهمواری به دست آمده از نقشه رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متری ماهواره ALOS جای گذاری شده است.

Figure (1): Location of Torbat Heydariyeh in Khorasan Razavi and Iran along with the sensitivity of the region to erosion. The erosion map is placed on the topography map obtained from the ALOS DEM with a 12.m resolution

سبب افزایش میزان این شاخص می شود. محصول ماهواره مودیس برای سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ برای این منظور بارگذاری شدند که دارای دقت زمانی ۱۶ روزه اند و برای تبدیل آن به مقیاس ماهانه از میانگین وزنی استفاده شد.

- شاخص شوری

شوری یکی از دلایل اصلی بیابانزایی است. شوری خاک به مواد معدنی، آبیاری غلط، کیفیت آب، شوری آب زیرزمینی و... بستگی دارد (دالیاکوپولوس^۱ و همکاران، ۲۰۱۶؛ وانگ^۲ و همکاران، ۲۰۰۹). در این تحقیق از باند دیداری ماهواره MODIS با دقت ۱۶ روزه استفاده شد. اگرچه شاخص های فراوانی برای ترکیب باندهای این ماهواره برای ارزیابی شوری موجود است، بر اساس نظر مهتا^۳ و همکاران (۲۰۱۳) از شاخص معادله (۲) برای محاسبه شوری استفاده شد:

شاخص های استفاده شده

- محاسبه شاخص EVI

شاخص EVI که یک شاخص پوشش گیاهی ارتقایافته است، نسبت به شاخص سنتی NDVI برتری خاصی دارد که حساسیت آن به تغییرات پوشش گیاهی، شرایط آب و هوایی و نویز کمتر است. این شاخص بر اساس معادله (۱) محاسبه می شود:

$$EVI = G \frac{NIR - Red}{NIR + C_1 Red - C_2 Blue + L} \quad (1)$$

که در آن NIR، Red و Blue بازتاب سطحی اصلاح شده، L شاخص تنظیم پس زمینه تاج پوشش، C₁ و C₂ ضرایب غبار و G ضریب تقویت دریافت یا ضریب عدد صحیح است. مقادیری که در این بررسی لحاظ شده، عبارتند از: L=1، C₁=6، C₂=7.5 و G=2.5 (دیدان و همکاران، ۲۰۱۵). این شاخص بین صفر و یک متغیر است و تراکم پوشش گیاهی

1. Daliakopoulos
2. Wang
3. Mehta

کیلومترمربع) با شیب خیلی زیاد هستند. از نظر جهت نیز ۶۰٪ (۲۲۳۵ کیلومترمربع) هموار، ۴۰٪ (۱۴۹۰ کیلومترمربع) شیب شمالی، ۳۵٪ (۱۳۰۴ کیلومترمربع) شیب جنوب، ۱۵٪ (۵۵۸ کیلومترمربع) شیب شرقی و ۱۰٪ (۳۷۲ کیلومترمربع) شیب غربی هستند.

تغییرات شاخص EVI

تغییرات پوشش گیاهی به دست آمده از شاخص EVI در شکل (۳) ارائه شده است. همان گونه که مشخص است، تغییر زیادی از نظر پوشش گیاهی در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ در منطقه دیده نمی شود. در صورتی که نقشه های تولیدی را به سه کلاس پوششی تقسیم کنیم، ۶۰٪ منطقه بدون پوشش یا با پوشش بسیار فقیر (۲۲۳۵ کیلومترمربع)، ۲۰٪ نیز در پوشش متوسط (۷۴۵ کیلومترمربع) و زیاد (۷۴۵ کیلومترمربع) قابل تقسیم بندی هستند. عمده پوشش گیاهی منطقه نیز در دشت های شمالی منطقه پراکنده شده است که دارای رسوبات آبرفتی اند.

$$SI = \sqrt{BLUE * RED} \quad (2)$$

که در آن RED و BLUE باندهای سرخ (۴) و آبی (۶) با دقت ۵۰۰ متر هستند.

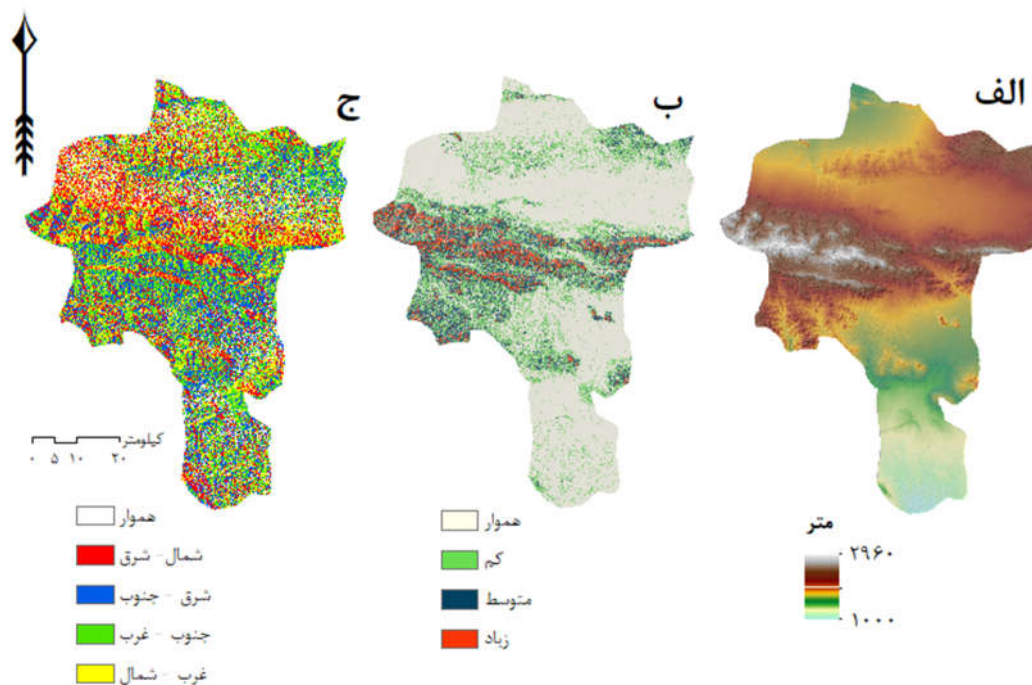
اطلاعات ارتفاع

برای به دست آوردن نقشه های شیب، جهت و ارتفاع از نقشه رقومی ماهواره Alos با دقت ۱۲/۵ متری استفاده شد. از این نقشه برای تولید شیب و جهت در نرم افزار ArcGIS استفاده و همبستگی نقشه های شوری با شیب و ارتفاع بررسی شد.

نتایج

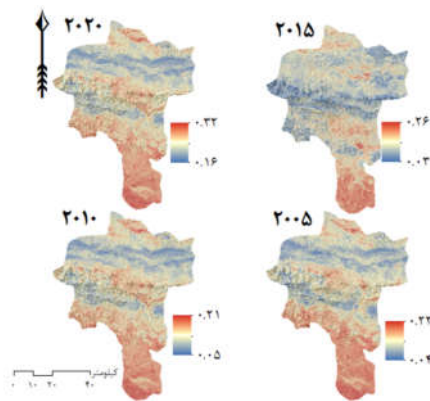
شاخص های توپوگرافی

نقشه های ارتفاع، شیب و جهت در شکل (۲) ارائه شده است. همان طور که مشخص است، ارتفاع منطقه بین ۱۰۰۰ تا ۲۹۶۰ متر متغیر می باشد و ناهمواری های منطقه عمدتاً در مرکز و شمال حوضه دیده می شوند. بر همین اساس نقشه شیب نیز به چهار کلاس طبقه بندی شدند و بر همین اساس ۶۰٪ منطقه (۲۲۳۵ کیلومترمربع) هموار، ۱۲٪ (۴۴۷ کیلومترمربع) با شیب کم، ۸٪ (۲۹۸ کیلومترمربع) با شیب زیاد و ۲۰٪ منطقه (۷۴۵



شکل (۲): پراکنش ارتفاع، شیب و جهت در شهرستان تربت حیدریه خراسان رضوی

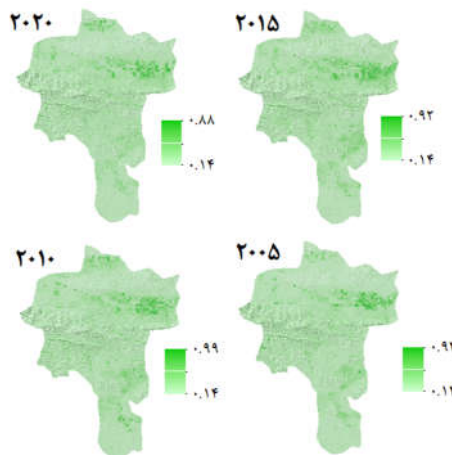
Figure (2): Distribution of height, slope and slope direction in Torbat Heydariyeh of Khorasan Razavi



شکل (۴): تغییرات شاخص شوری در شهرستان تربت حیدریه

خراسان رضوی

Figure (4): Changes in salinity index in Torbat Heydariyeh of Khorasan Razavi



شکل (۳): تغییرات شاخص پوشش گیاهی ارتقا یافته EVI در

شهرستان تربت حیدریه خراسان رضوی

Figure (3): Changes in EVI index in Torbat Heydariyeh of Khorasan Razavi

بررسی همبستگی میان شاخص‌ها

برای تأیید اعتبار نتایج شاخص شوری، شوری اندازه‌گیری شده در عرصه با مقادیر متناظر از نقشه تولید شده مقایسه شده است و ضریب کاپا معادل ۰/۶۵٪ به دست آمد که نشان از اعتبار اندازه‌گیری‌های انجام شده دارد. اما همبستگی میان پارامترهای مختلف نشان‌دهنده عدم همبستگی شوری با شیب، ارتفاع و EVI بوده که با توجه به پوشش گیاهی پراکنده منطقه قابل تصور است. البته مقادیر همبستگی ارتفاع و شیب نسبت به پوشش گیاهی بیشتر بوده است که با توجه به گسترش بیشتر شوری در مناطق دشتی مرکزی و جنوبی با ارتفاع کم منطقی به نظر می‌رسد (جدول ۱).

- شاخص شوری

شاخص شوری به دست آمده در شکل (۴) ارائه شده است. سطح شوری در منطقه چندان بالا نیست، اما روند تغییرات نشان‌دهنده افزایش شوری در منطقه، عمدتاً در قسمت‌های جنوبی و مرکزی و قسمت‌هایی از شمال منطقه است. بر همین اساس عمده منطقه ۶۰٪ (۲۲۳۵ کیلومتر مربع) در کلاس بدون شوری (۰-۰/۱۷) و ۳۵٪ (۱۳۰۴ کیلومتر مربع) در شوری خفیف (۰/۱۷-۰/۲) و فقط ۵٪ (۱۸۶ کیلومتر مربع) در کلاس شدید (بیش از ۰/۲) قرار می‌گیرد (کاظم و همکاران، ۲۰۲۱).

جدول (۱): همبستگی میان داده‌های شوری، شیب، ارتفاع و EVI با مقادیر شوری اندازه‌گیری شده در شهرستان تربت حیدریه استان خراسان رضوی در سال ۲۰۲۰

Table (1): Correlation between salinity, slope, altitude and EVI data with salinity values measured in Torbat Heydariyeh of Khorasan Razavi province in 2020

شاخص	شوری تخمین زده شده R ²	شوری اندازه‌گیری شده R ²	شوری تخمین زده شده R ²	شوری تخمین زده شده R ²	شوری تخمین زده شده R ²
شوری تخمین زده شده	۱	۰/۵۹	۱	۱	۱
شیب	-۰/۳۶	-۰/۲۰	-۰/۱۹	-۰/۳۸	-۰/۱۲
ارتفاع	-۰/۴۱	-۰/۳۸	-۰/۳۰	-۰/۲۳	-۰/۴۶
EVI	-۰/۲۴	-۰/۱۸	-۰/۱۵	-۰/۲۹	-۰/۴۱

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به دنبال بررسی امکان پیش‌بینی شوری خاک با استفاده از روش‌های کم‌هزینه ماهواره‌ای بوده و برای این منظور از داده‌های دیداری ماهواره

مودیس استفاده شده است. شاخص‌های فراوانی برای بررسی شوری خاک معرفی شده‌اند اما بر اساس نظر مهتا و همکاران (۲۰۱۳) و یعقوبی و همکاران (۲۰۲۰) و از ترکیب ۴ و ۶ این ماهواره استفاده شد. شوری خاک عاملی است که به مواد

همبستگی بین شوری و ارتفاع و شیب در زمان‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. البته رابطه شوری با شیب و ارتفاع در هیچ‌یک از زمان‌های مورد بررسی معنی‌دار نشد. اما نکته جالب توجه میزان همبستگی بالاتر بین شوری و ارتفاع بود که با توجه به توزیع سازندهای تبخیری و مارتی منطقه در مناطق دشتی منطقی به نظر می‌رسد. محققان دیگر البته رابطه معنی‌داری بین شوری و ارتفاع (Fan⁴ و همکاران، ۲۰۱۹؛ شهریانی و نوروزی، ۲۰۲۱) به دست آورده‌اند که از این نظر با نتایج این تحقیق متفاوت است.

یکی دیگر از عواملی که از شوری خاک تأثیر می‌پذیرد، پوشش گیاهی منطقه است. شاخص‌های پوشش گیاهی زیادی موجود است (گائو⁵ و همکاران، ۲۰۲۰) اما معمول‌ترین شاخص پوشش گیاهی شاخص نرمال‌سازی شده NDVI است (دفریس و تاونشند⁶، ۱۹۹۴). شاخص NDVI در مناطق بیابانی به دلیل حساسیت زیادی که به غبار جوی، خاک پس‌زمینه و دمای سطح دارد، دچار خطا شده است و بر همین اساس شاخص‌های دیگری مانند شاخص ارتفاع یافته پوشش گیاهی (EVI) برای جبران این کاستی‌ها پیشنهاد شده‌اند (جولین⁷ و همکاران، ۲۰۱۱). ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی و تغییرات آن در این منطقه نشان‌دهنده عدم تغییر قابل توجه در پوشش گیاهی در بازه زمانی مورد مطالعه است؛ هرچند طبقه‌بندی انجام شده نشان داد که عمده منطقه دارای پوشش گیاهی فقیر و پراکنده‌ای است. بررسی همبستگی بین پوشش گیاهی و شوری در دوره‌های مختلف، همبستگی بسیار ضعیفی با شوری نشان داد که دلیل عمده آن را می‌توان پراکندگی شدید پوشش گیاهی و فقر آن دانست که امکان تعیین همبستگی را دشوار می‌کند. برخلاف نتایج این تحقیق، در مناطق مرطوب‌تر همبستگی مثبتی بین شوری و پوشش گیاهی به دست آمده که می‌توان به لویل و همکاران (۲۰۲۱a)، جانگ و همکاران (۲۰۱۵)، بو عزیز⁸ و همکاران (۲۰۱۱) و ویتنی و همکاران (۲۰۱۸) اشاره کرد.

در پژوهش حاضر، تغییرات شوری خاک در شهرستان تربت حیدریه استان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های

مادری، کیفیت آب زیرزمینی، کیفیت آب آبیاری و مدیریت اراضی بستگی دارد (فتحی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۰b؛ ایشویی¹ و همکاران، ۲۰۱۹؛ جعفری شلمزاری و همکاران، ۲۰۱۹؛ اکبری و همکاران، ۲۰۲۰). بر اساس نظر کاظم و همکاران (۲۰۲۱) مقادیر شاخص بیش از ۰/۲ نشان‌دهنده شوری شدید خاک است. نتایج به دست آمده برای این شاخص نشان داد که عمده منطقه ۶۰٪ (۲۲۳۵ کیلومتر مربع) در کلاس بدون شوری (۰-۰/۱۷) و ۳۵٪ منطقه (۱۳۰۴ کیلومتر مربع) در شوری خفیف (۰/۱۷-۰/۲) و تنها ۵٪ منطقه (۱۸۶ کیلومتر مربع) در کلاس شدید (بیش از ۰/۲) قرار می‌گیرد. البته بررسی تغییرات شوری خاک در سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ نشان داد که افزایش شوری در منطقه، عمدتاً در قسمت‌های جنوبی و مرکزی و قسمت‌هایی از شمال منطقه رخ داده است. طبقه‌بندی حساسیت سازندهای زمین‌شناسی منطقه و وجود سازندهای تبخیری و مارنی در دشت‌های شمالی و جنوبی منطقه نیز یکی از دلایل اصلی شوری خاک در این مناطق است و به نظر می‌رسد پیش‌بینی صورت گرفته توسط این شاخص معتبر باشد. برای آنکه واقعیت زمینی این شاخص نیز ارزیابی گردد، در ۸۰ نقطه شوری خاک اندازه‌گیری شد و با مقادیر پیش‌بینی شده توسط شاخص شوری مقایسه شدند. ضریب کاپای به دست آمده ۰/۶۵ بوده که نشان از توانایی نسبتاً بالای این روش در پیش‌بینی شوری است. توانایی داده‌های این ماهواره در پیش‌بینی شوری در تحقیقات ویتنی و همکاران (۲۰۱۸)، پالیوال² و همکاران (۲۰۱۹) زینب و همکاران (۲۰۲۱) و مریخ‌پور و رحیم‌زادگان (۲۰۲۰) نیز گزارش شده است.

شوری خاک عمدتاً با توپوگرافی منطقه نیز همبستگی دارد. شوری بیشتر در مناطق پست و پلایا انباشته می‌شود و مناطق مرتفع فقط در حالتی دچار شوری می‌شوند که سازند مادری آن‌ها شور باشد (باناری³ و همکاران، ۲۰۲۱؛ جعفری شلمزاری و همکاران، ۲۰۱۹). برای بررسی تأثیر این عامل بر توزیع شوری خاک در شهرستان تربت حیدریه از نقشه رقومی ارتفاعی دقیق ۱۲/۵ متری ماهواره آلوس استفاده شد. از آنجا که شوری در مناطق مرتفع و شیب‌های زیاد انباشته نمی‌شود،

4. Fan

5. Gao

6. DeFries and Townshend

7. Julien

8. Bouaziz

1. Eishoeei

2. Paliwal

3. Bannari

ارتفاع، شیب و شاخص ارتقایافته پوشش گیاهی EVI نیز مورد بررسی قرار گرفت که در هیچ یک از موارد معنی دار نبوده است. به نظر می رسد فقر شدید پوشش گیاهی و تجمع سازندهای تبخیری در مناطق محدود منجر به عدم همبستگی بین این عوامل شده باشد. در نهایت با توجه به دقت واقعی مناسب شاخص شوری می توان از این شاخص برای پایش شوری در منطقه بهره گرفت. این نتایج می تواند برای مدیران اراضی در جهت مقابله با شوری و در نهایت بیابانزایی کمک کند.

ماهواره ای مودیس در بازه زمانی ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از شاخص ترکیبی باند ۴ و ۶ این ماهواره استفاده شد. نتایج نشان دهنده افزایش شوری در برخی قسمت های منطقه بوده است که عمدتاً دارای سازندهای تبخیری و مارنی بوده اند. همبستگی داده های شوری با مقادیر اندازه گیری زمینی نیز به تأیید نتایج این شاخص انجامید. برای آنکه بتوان شاخص های جایگزین و اثر شوری بر سایر متغیرهای محیطی را ارزیابی کرد، همبستگی بین شوری،

منابع

1. Akbari, M., Shalamzari, M.J., Memarian, H. and Gholami, A., 2020. Monitoring desertification processes using ecological indicators and providing management programs in arid regions of Iran. *Ecological indicators*. 111: p. 106011.
2. Bannari, A., Al-Ali, Z. and Kadhem, G., Effects of Topographic Attributes and Water-Table Depths on the Soil Salinity Accumulation in Arid Land. in 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS. 2021. IEEE.
3. Bouaziz, M., Matschullat, J. and Gloaguen, R., 2011. Improved remote sensing detection of soil salinity from a semi-arid climate in Northeast Brazil. *Comptes Rendus Geoscience*. 343(11-12): p. 795-803.
4. Daliakopoulos, I., Tsanis, I., Koutroulis, A., Kourgialas, N., Varouchakis, A., Karatzas, G. and Ritsema, C., 2016. The threat of soil salinity: A European scale review. *Sci Total Environ*. 573: p. 727-739.
5. DeFries, R.S. and Townshend, J., 1994. NDVI-derived land cover classifications at a global scale. *International Journal of Remote Sensing*. 15(17): p. 3567-3586.
6. Delavar, M.A., Naderi, A., Ghorbani, Y., Mehrpouyan, A., Bakhshi, A., 2020. Soil salinity mapping by remote sensing south of Urmia Lake, Iran. *Geoderma Regional*. 22: p. e00317.
7. Didan, K., Munoz, A.B., Solano, R. and Huete, A., 2015. MODIS vegetation index user's guide (MOD13 series). University of Arizona: Vegetation Index and Phenology Lab.
8. Eishoei, E., Nazarnejad, H. and Miryaghoubzadeh, M., 2019. Temporal soil salinity modeling using SaltMod model in the west side of Urmia hyper saline Lake, Iran. *Catena*. 176: p. 306-314.
9. Fallah Shamsi, S.R., Zare, S. and Abtahi, S.A., 2013. Soil salinity characteristics using moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) images and statistical analysis. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 59(4): p. 471-489.
10. Fan, L., Al-Yaari, A., Frappart, F., Swenson, J.J., Xiao, Q., Wen, J., Jin, R., Kang, J., Li X. and Fernandez-Moran, R., 2019. Mapping soil moisture at a high resolution over mountainous regions by integrating in situ measurements, topography data, and MODIS land surface temperatures. *Remote Sensing*. 11(6): p. 656.
11. Fathizad, H., Ardakani, M.A.H., Sodaiezhadeh, H., Kerry, R. and Taghizadeh-Mehrjardi, R., 2020. Investigation of the spatial and temporal variation of soil salinity using random forests in the central desert of Iran. *Geoderma*. 365: p. 114233.
12. Fathizad, H., Hakimzadeh Ardakani, M.A., Sodaiezhadeh, H., Kerry, R. and Taghizadeh-Mehrjardi, R., 2020. Investigation of the spatial and temporal variation of soil salinity using random forests in the central desert of Iran. *Geoderma*. 365: p. 114233.
13. Gao, L., Wang, X., Johnson, B.A., Tian, Q., Wang, Y., Verrelst, J., Mu, X. and Gu, X., 2020. Remote sensing algorithms for estimation of fractional vegetation cover using pure vegetation index values: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 159: p. 364-377.
14. Gorji, T., YILDIRIM, A., Sertel, E. and TANIK, A., 2019. Remote sensing approaches and mapping methods for monitoring soil salinity under different climate regimes. *International Journal of Environment and Geoinformatics*. 6(1): p. 33-49.
15. Habibi, V., Ahmadi, H., Jafari M. and Moeini, A., 2021. Mapping soil salinity using a combined spectral and topographical indices with artificial neural network. *PLOS ONE*. 16(5): p. e0228494.
16. Jafari Shalamzari, M., Zhang, W., Gholami, A. and Zhang, Z., 2019. Runoff Harvesting Site Suitability Analysis for Wildlife in Sub-Desert Regions. *Water*. 11(9): p. 1944.
17. Julien, Y., Sobrino, J.A., Mattar, C., Ruescas, A.B., Jimenez-Munoz, J.C., Soria, G., Hidalgo, V., Atitar, M., Franch, B. and Cuenca, J., 2011. Temporal analysis of normalized difference vegetation index (NDVI) and land surface temperature (LST) parameters to detect changes in the Iberian land cover between 1981 and 2001. *International Journal of Remote Sensing*. 32(7): p. 2057-2068.
18. Kacem, H.A., Fal, S., Karim, M., Alaoui, H.M.,

- Rhinane, H. and Maanan, M., 2021. Application of fuzzy analytical hierarchy process for assessment of desertification sensitive areas in North West of Morocco. *Geocarto. Int.* 36(5): p. 563-580.
19. Lobell, D., Lesch, S., Corwin, D., Ulmer, M., Anderson, K., Potts, D., Doolittle, J., Matos, M. and Baltes, M., 2010. Regional scale assessment of soil salinity in the Red River Valley using multi-year MODIS EVI and NDVI. *Journal of environmental quality.* 39(1): p. 35-41.
20. Mehta, M., Saha, S. and Agrawal, S., 2013. Evaluation of Indices and Parameters Obtained from Optical and Thermal Bands of Landsat 7 ETM+ for Mapping of Salt-Affected Soils and Water-Logged Areas. *Asian Journal of Geoinformatics.* 12(4).
21. Merrikhpour, M.H. and Rahimzadegan, M., 2020. A synergistic use of AMSR2 and MODIS images to detect saline soils (Study Area: Iran). *Comptes Rendus. Géoscience.* 352(2): p. 127-138.
22. Paliwal, A., Laborte, A., Nelson, A. and Singh, R., 2019. Salinity stress detection in rice crops using time series MODIS VI data. *International journal of remote sensing.* 40(21): p. 8186-8202.
23. Shahraini, E. and Noroozi, A.A., 2021. Modeling And Mapping of Soil Salinity And Alkalinity Using Remote Sensing Data And Topographic Factors.
24. Shrestha, R.P., 2006. Relating soil electrical conductivity to remote sensing and other soil properties for assessing soil salinity in northeast Thailand. *Land Degradation & Development.* 17(6): p. 677-689.
25. Sultanov, M., Ibrakhimov, M., Akramkhanov, A., Bauer, C. and Conrad, C., 2018. Modelling End-of-Season Soil Salinity in Irrigated Agriculture Through Multi-temporal Optical Remote Sensing, Environmental Parameters, and In Situ Information. *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science.* 86(5): p. 221-233.
26. Taghizadeh-Mehrjardi, R., Minasny, B., Sarmadian, F. and Malone, B.P., 2014. Digital mapping of soil salinity in Ardakan region, central Iran. *Geoderma.* 213: p. 15-28.
27. Wang, L., Seki, K., Miyazaki, T. and Ishihama, Y., 2009. The causes of soil alkalization in the Songnen Plain of Northeast China. *Paddy and Water Environment.* 7(3): p. 259-270.
28. Whitney, K., Scudiero, E., El-Askary, H.M., Skaggs, T.H., Allali, M.D. and Corwin, L., 2018. Validating the use of MODIS time series for salinity assessment over agricultural soils in California, USA. *Ecological indicators.* 93: p. 889-898.
29. Yaghoobi, S., Komaki, C.B. and Karimzadeh, H., 2020. Zoning and Studying of the Soil Salinity Trend by using Remote Sensing Data and Land Statistics (Case Study: Segzi Plain, Isfahan). *Degradation and Rehabilitation of Natural Land.* 1(1): p. 92-104.
30. Yahiaoui, I., Douaoui, A., Zhang Q. and Ziane, A., 2015. Soil salinity prediction in the Lower Cheliff plain (Algeria) based on remote sensing and topographic feature analysis. *Journal of Arid Land.* 7(6): p. 794-805.
31. Zainab, S., Handajani, N. and Wibisana, H., The Mapping of Ground Water Salinity Using Imagery Data of Aqua Modis Satellite In Kwanyar Bangkalan Area. in *Journal of Physics: Conference Series.* 2021. IOP Publishing.
32. Zare, S., Fallah Shamsi, S.R. and Abtahi, S.A., 2019. Weakly-coupled geo-statistical mapping of soil salinity to Stepwise Multiple Linear Regression of MODIS spectral image products. *Journal of African Earth Sciences.* 152: p. 101-114.
33. Zhang, T.-T., Qi, J.-G., Gao, Y., Ouyang, Z.-T., Zeng S.-L. and Zhao, B., 2015. Detecting soil salinity with MODIS time series VI data. *Ecological Indicators.* 52: p. 480-489.

Investigation of Soil Salinity Changes in Torbat Heydariyeh of Khorasan Razavi Province using MODIS Data

Mostafa Dastourani^{1*}, Mohsen Jafari Shalamzari², Hadi Soleimani Moghadam³

Received: 13/11/2021

Accepted: 08/09/2022

Extended Abstract

Introduction: as a major cause of desertification, soil salinity may be brought about by a variety of factors including but not limited to improper irrigation, poor-quality irrigation water, saline groundwaters, saline geological formations, and improper land management. Considering the fact that direct measurement of soil salinity is costly and time-consuming, this study sought to investigate the chances of using satellite-extracted remote sensing data as a proxy to estimate soil salinity.

1. Assistant professor, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran, Corresponding Author; m.dastourani@hsu.ac.ir ()

2. Head of the IT section of Payam Nour University, Shahrekord, Iran

3. Assistant Professor of Geography & Urban Planning, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

DOI: 10.22052/deej.2021.11.36.21

Materials and Methods: This study investigated soil salinity changes in Torbat Heydariyeh city, Khorasan Razavi province using MODIS satellite data collected for the 2005, 2010, 2015, and 2020 periods. Moreover, a combination of MODIS visual images (bands 4 and 6) was used to construct the salinity index. On the other hand, the correlations between salinity, altitude, slope, and EVI (Enhanced Vegetation Index) were measured to evaluate alternative indices and examine the influence of salinity on other environmental variables. Furthermore, to prepare the ground truth map for 2020, some 80 points were selected using random field sampling that was performed on the top 0-5 cm of the soil surface in late June 2020. Soil salinity was also measured via saturated extracts. Finally, the values obtained for salinity were compared with their corresponding values in the 2020 salinity map using the kappa index to ensure the accuracy of the calculations.

Results and Discussion: While the region's salinity level was found not to be very high, the trend of change indicated an increase in the region's salinity, especially in the southern, northern, and central parts of the region. It should be noted that topographically, most of the region is flat, possessing some low elevations in the middle and northern parts. On the other hand, soil salinity is believed to be correlated with a region's topography.

Considering the fact that salts tend to accumulate more in the lowlands, and that highlands become saline only if their parent formation is saline, this study used an accurate digital altitude map with 12.5 meters resolution extracted from the ALOS satellite to investigate the influence of salinity on the distribution of soil salinity in Torbat-e Heydarieh. To this end, the correlations between salinity, altitude, and slope were measured for different periods. The results suggested that the correlations were insignificant in all the studied periods. However, the highest correlation was found between salinity and altitude, which seems reasonable if the distribution of evaporitic and Marine formations in the plain areas is taken into account.

Moreover, no significant changes were observed in the region's vegetation between 2005 and 2020. Dividing the results of EVI analysis into three coverage classes, the researchers of this study can classify 60% of the region as being coverage-less or possessing very poor coverage (2235 square kilometers), 20% as having medium coverage (745 square kilometers), and 20% as having high coverage (745 square kilometers), respectively. Furthermore, most of the region's vegetation was sparse in the northern plains on the alluvial sediments. Accordingly, some 60% (2235 square kilometers) of the region's total areas fell under the no-salinity class (0-0.17), 35% (1304 square kilometers) under the slight light salinity class (0.17-1.2), and only 5% (186 square kilometers of the region's area) under the extreme class (more than 0.2).

The salinity measured in the field was compared with the corresponding values obtained from the produced map to confirm the validity of the salinity index. Accordingly, the kappa coefficient was found to be 0.65%, which confirms the validity of the measurements performed. However, the results of correlation analysis between different parameters and salinity showed that there was no correlation between slope, altitude, and EVI, which could be attributed to the region's sparse vegetation. Interestingly, the height and slope correlated more with salinity than with vegetation. It seems that the severe lack of vegetation and the accumulation of evaporative formations in a few points of the region have led to the lack of correlation between salinity and height, slope, and vegetation.

Conclusion: The results of soil salinity analysis in Torbat Heydarieh indicated that using the remote sensing data was a plausible alternative to direct measurement of soil salinity. However, soil salinity did not correlate with other environmental factors including vegetation, altitude, and slope gradient, suggesting that these factors cannot serve as proxies of soil salinity in such arid areas. Moreover, it could be argued that the salinity index may be used to monitor the region's salinity as an accurate measurement. The results of this study can help land managers deal more efficiently with salinity, and ultimately with desertification.

Keywords: Salinity, Desertification, Land degradation, GIS, Vegetation.