

پایش و ارزیابی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی خاک با استفاده از سنجش ازدور

سید حسین میر موسوی^۱، کوهزاد رئیس پور^۲، محمد کمانگر^{۳*}

۱. دانشیار، گروه آب و هواشناسی، دانشکده انسانی، دانشگاه زنجان

۲. استادیار، گروه آب و هواشناسی، دانشکده انسانی، دانشگاه زنجان

۳. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده انسانی، دانشگاه زنجان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۵/۳۰، تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۰۸/۱۲)

چکیده

شور شدن خاک‌ها، مسئله مهم محیطی است که سبب کاهش بهره‌وری خاک می‌شود. برای مدیریت بهینه منابع خاکی پایش کمی شوری خاک، تغییرات زمانی و تحلیل فضایی عوامل تأثیرگذار بر آن ضروری به نظر می‌رسد. هدف از تحقیق حاضر، استخراج نقشه پراکندگی شوری خاک و تحلیل فضایی آن پس از بارش‌های بیش از نرمال سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در غرب ایران است. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و شاخص GDVI و به وسیله الگوریتم نوشته شده در سامانه گوگل اینجین، نقشه هدایت الکتریکی خاک استخراج شده و در پنج کلاس شوری طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد به طور کلی شوری خاک در محدوده مطالعه شده کاهش یافته است. اگر عامل بارشی در دوره مطالعه شده مهم‌ترین عامل در تغییرات پراکندگی شوری بدانیم، مناطق با شوری شدید که در کلاس ارتفاعات کم قرار دارند، تغییری نکرده است. این عامل به دلیل وجود سازندهای شور و شیب ملایم اطراف آنها نتوانسته تأثیر زیادی بر کلاس شوری شدید بگذارد، اما کلاس با شوری متوسط بیشترین تغییرات را داشته و بارش توانسته است شوری سطح خاک این کلاس را به پایین دست جابه‌جا کند. جهت بیضی سه برابر انحراف استاندارد مکانی شمال غربی به جنوب شرقی به دست آمد که نشان می‌دهد بیش از ۹۹ درصد پراکندگی شوری به تبعیت از آرایش مکانی ارتفاعات، بارش و پراکندگی رده‌های خاک در این راستا گسترش دارد. آماره $0/4566$ شاخص موران و P-Value مقدار $0/00$ خودهمبستگی مکانی شوری خاک را در غرب کشور نشان داد. نقشه لکه‌های داغ نیز نشان داد شوری سطحی خاک به صورت خوشه‌ای در راستای شمال غرب و به جنوب شرق و در ارتفاعات کمتر از 1200 متر قرار دارد. تحلیل لکه‌های داغ نیز نشان داد شوری خاک به سمت شرق و داخل کشور بیشتر الگوی خوشه‌بندی پیدا کرده است. از نتایج و روش این تحقیق می‌توان به راحتی و با سرعت زیاد مناطقی که در معرض شوری خاک قرار دارند، شناسایی و پایش کرده و در برنامه‌ریزی‌های محیطی برای پیاده‌سازی اقدامات پیشگیرانه استفاده کرد. همچنین، از نتایج تحقیق حاضر و خروجی‌های آن برای شناسایی کانون‌های شوری خاک در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و تخصیص امکانات استفاده کرد.

کلیدواژگان: آماره جی استار، تصاویر لندست، شاخص GDVI، شوری خاک.

مقدمه

بهره‌وری خاک بر اساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین می‌شود [۱]. شوری خاک، درجهٔ قلیایی و رطوبت خاک مهم‌ترین عوامل در بهره‌وری خاک هستند [۲]. شوری خاک به تجمع نمک در لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک اشاره دارد [۳]. اندازه‌گیری شوری خاک شامل میزان غلظت همهٔ نمک‌های محلول در خاک است که معمولاً با یکای هدایت الکتریکی (EC) بیان می‌شود. از ابتدای قرن بیستم، بسیاری از فعالیت‌های انسانی و طبیعی منجر به تغییرات چشمگیر در الگوهای هیدرولوژیکی، تعادل اکوسیستم، پایداری زیست‌محیطی، بیولوژیکی و زیست‌محیطی شهری شده است [۴]. شور شدن خاک‌ها نیز یکی از مسائل محیطی است که در تمامی نقاط دنیا وجود دارد و پیامدهای جدی اقتصادی و اجتماعی و اقتصادی نیز به دنبال داشته است [۵]. نمک موجود در خاک بیشتر از هوازدگی سنگ‌های اولیه است و یا توسط عواملی همچون آب یا باد منتقل می‌شوند. از دیگر علت‌های شوری می‌توان به توپوگرافی، آبیاری و شوری زمین‌های خشک اشاره کرد که در نتیجهٔ جنگل‌زدایی، چرای بیش‌ازحد و قطع بوته‌ها اتفاق افتاده است و سبب می‌شود که سطح ایستایی بالا بیاید و آب زیرزمینی شور به سطح زمین نزدیک شود. فائو مساحت مناطق دارای خاک شور در سراسر جهان را ۳۹۷ میلیون هکتار تخمین زده است [۶]. به‌طور میانگین ۲۰ درصد اراضی آبیاری‌شدهٔ جهان متأثر از شوری شده‌اند اما این مقدار در کشورهایی همچون مصر، ایران و آرژانتین به ۳۰ درصد نیز رسیده است [۷]. تعیین اینکه شوری خاک کجا، چه موقع و چگونه رخ می‌دهد، برای مشخص کردن پایداری در توسعهٔ اراضی و سیستم‌های کاربری اراضی حیاتی است. شناخت این مناطق و بررسی چگونگی و سرعت توسعهٔ خاک‌های شور اطلاعات ارزشمند و قابل اعتمادی برای تنظیم ویژگی این اراضی با انتخاب نوع کارکرد متناسب‌تر در هر مورد و در مواردی شناخت عامل شوری و ارائهٔ راهکارهایی برای کاهش آن را فراهم می‌کند. همچنین، دلایل شور شدن خاک فرصت‌های برای سازمان‌های مرتبط در توسعهٔ پایدار کشاورزی و مدیریت زمین فراهم می‌آورد. تصمیم‌گیران نیاز دارند تا مطمئن شوند تمامی داده‌ها و تخمین‌های ارائه‌شده برای آنان، قابل اعتماد و متقن هستند، زیرا آثار اقتصادی و اجتماعی شوری خاک پیش از درک این اتفاق، فاجعه‌آمیز است [۸]. به این منظور، پایش تغییرات

شوری خاک در مناطق مستعد شوری مورد نیاز است تا تصمیم‌های لازم برای تغییر اقدامات مدیریتی یا احیای اراضی صورت گیرد. پایش شوری به این معناست که ابتدا مناطقی که نمک در آنجا مجتمع شده شناسایی شود و سپس، تغییرات زمانی و مکانی شوری در خاک شناسایی شود. تنها پایگاه داده‌ای که در حال حاضر داده‌های شوری خاک را با پوشش جهانی ارائه می‌دهد، پایگاه دادهٔ جهانی خاک است، اما در مورد ارزیابی شوری خاک محدودیت‌های زیادی نیز دارد از جمله اینکه به جای شبکه‌بندی خاک از واحدهای پیوسته خاک تشکیل شده است، وضوح مکانی نقشه‌های این پایگاه داده کم و در حد یک کیلومتر است. همچنین، آخرین به‌روزرسانی آن سال ۲۰۱۲ و از روی نقشه‌های خاک فائو بوده است. ارزیابی شوری و نقشه‌برداری به‌طور سنتی انجام شده است، ولی چنین روش‌هایی برای بررسی خاک به زمان زیادی نیاز دارد [۹]. به دلیل ثابت نبودن شرایط مکانی و زمانی شوری خاک تولید نقشهٔ آن با استفاده از داده‌های زمینی با مسائل زیادی همراه است. داشتن اطلاعات به‌هنگام در مورد توزیع مکانی و شدت شوری خاک برای مدیریت کشاورزی در معرض این پدیده بسیار مهم است. وجود چنین اطلاعاتی اجازه می‌دهد اقدامات لازم برای کاهش، یا حتی جلوگیری از تلفات اقتصادی و بازگرداندن بهره‌وری خاک صورت گیرد [۱۰]. شوری خاک می‌تواند به‌سرعت پس از آبیاری یا یک بارندگی تغییر کند. از طرف دیگر، خشک‌سالی ممکن است طی چند هفته شوری را افزایش دهد [۱۱]. با توجه به توانایی تکرار و برداشت محدودهٔ وسیع تصاویر سنجنش‌ازدوری این فناوری برای کشف تغییرات حتی در بازه‌های زمانی کوتاه مفید خواهد بود و به‌عنوان ابزاری ضروری در پایش شوری خاک به‌اندازهٔ پیکسل برداشت‌شده اطلاعات بسیار باارزشی را در اختیار قرار می‌دهد [۱۲]. استخراج خواصی مانند شوری خاک در مقایسه با سایر خصوصیات، برانگیز است. شوری خاک می‌تواند به‌سرعت پس از آبیاری یا یک بارندگی تغییر کند. از طرف دیگر، خشک‌سالی ممکن است طی چند هفته شوری را افزایش دهد. سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ با ورود سامانه‌های بارشی متعددی به ایران همراه بود. این سامانه‌ها که بیشتر بر بستر تقویت امواج رزبای و پایین افتادن موج ورتکس قطبی شکل گرفتند، به‌طور ناهنجاری در محدودهٔ غربی خاورمیانه با ایجاد بلاکینگ اتمسفری سبب بارش‌های بیش از حد نرمال شد. با توجه به اینکه بارش و شوری خاک می‌تواند به‌صورت

منطقه خشک، سین کیانگ چین بررسی کردند. یافته‌های پژوهش یادشده نشان می‌دهد بین انعکاس طیفی خاک و شوری خاک همبستگی معناداری وجود دارد و ارتباط بین بازتاب طیفی خاک و شوری خاک به تدریج از باند آبی به باند مادون قرمز موج کوتاه تصاویر کاهش می‌یابد. مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی، تأیید می‌کند که استفاده از باندهای ۱ و ۴ و شاخص پوشش گیاهی برای تشخیص شوری خاک دقت سنجش از دور شوری خاک لایه سطحی را افزایش می‌دهد. برآورد دقت شوری خاک لایه سطحی ۰-۱۰ سانتی‌متر با متغیرها دارای $R^2=0.752$ و $RMSE=26/48$ گرم در کیلوگرم است. این تحقیق همچنین نشان داد شوری خاک لایه عمیق اثر واسطه‌ای دارد و با تأثیر بر شوری خاک لایه سطحی، بر بازتاب طیفی خاک تأثیر می‌گذارد [۱۲].

خادیم و همکاران (۲۰۱۹) با توجه به نگرانی تعادل اکوسیستم زمین در اطراف شهرها، نقشه‌های شوری خاک پارک ملی اوارگلیدس آمریکا را تهیه کردند. در مطالعه یادشده، برای افزایش نقشه‌های شوری خاک مستخرج از شاخص شوری سنجش از دور، هفت کلاس پوشش گیاهی متشکل از جنگل حرا، اسکراب حرا، جنگل کم‌تراکم، گیاهان اره، چمنزارها و باتلاق‌ها، زمین‌های بایر و جنگل‌های پرتراکم را با استفاده از روش یادگیری ماشین در طبقه‌بندی نیز دخالت دادند. نقشه‌های پوشش گیاهی برای درک خصوصیت آستانه تحمل شوری خاک گیاهان، برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC) به کار برده شد. ارزیابی روش پیشنهادی ایشان با ۲۳ نمونه زمینی دقت ۹۱ درصد را نشان داد و ثابت کرد رویکرد استفاده از کلاس‌های پوشش زمین در زمان‌های مختلف برای درک دامنه‌های شوری در یک اکوسیستم شهری کاربردی است [۱۶]. لوشکین و همکاران (۲۰۱۹) با توجه به محدودیت‌های پایگاه داده جهانی خاک، نقشه شوری خاک جهانی را با استفاده از تصاویر لندست استخراج کردند. فرض آنها بر این بوده که ترکیب تصاویر مادون قرمز حرارتی و مجموعه بزرگی از مشاهدات میدانی در یک چهارچوب یک طبقه‌بندی یادگیری ماشین امکان توصیف شوری خاک را بهتر می‌دهد. به این منظور، از محیط محاسباتی گوگل ارث اینجین و طبقه‌بندی کننده تصادفی جنگل استفاده کردند. صحت‌سنجی نقشه‌ها دقت ۶۷-۷۰ درصد را نشان داد. نایان و همکاران (۲۰۲۰) نفوذ شوری آب به دلتای مکونگ ویتنام را با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری بین هدایت الکتریکی خاک

عکس هم عمل کنند، هدف از تحقیق حاضر بررسی استخراج طبقات کلاس شوری و تغییرات آن طی دوره مطالعه شده است.

پیشینه تحقیق

از دهه ۱۹۶۰ به بعد از روش‌های سنجش از دوری به‌طور روزافزونی برای تهیه نقشه شوری خاک استفاده می‌شود [۱۳]. استخراج نقشه شوری خاک از تصاویر ماهواره‌ای به‌طور کلی سه دیدگاه و مسیر را طی کرده است: ۱- شناسایی مشخصات طیفی خاک شور از تجزیه و تحلیل رابطه بین بازتاب طیفی و شوری خاک و استخراج شاخص‌های مختلف شوری مبتنی بر طیف بازتابی خاک با انجام روابط مختلف ریاضی؛ ۲- بررسی روش‌های تولید نقشه شوری خاک با عوامل ایجاد یا تأثیرگذار غیر طیفی بر اساس تجزیه و تحلیل جامع طیف خاک، مانند رطوبت خاک و پوشش گیاهی؛ ۳- استفاده از تلفیق فناوری‌ها برای پیشرفت دقت تشخیص شوری خاک، مانند ادغام سنجش از دور با جی‌آی‌اس یا استفاده از داده‌های ابرطیفی و داده‌های ماکروویو [۱۲]. در همین زمینه می‌توان به تحقیقات زیر اشاره کرد:

شارما و موندال (۲۰۰۶) از ترکیب باندهای ماهواره‌ای لندست و سنجنده TM کلاس‌بندی شوری خاک در دشت گارجاپوترا هند را با سطح صحت ۸۵/۶ تهیه کردند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد مناطق با شوری متوسط و بسیار شور در تصاویر ماهواره‌ای نسبت به مناطق با شوری اندک بهتر شناسایی شده و استفاده از تفسیر بصری موجب بهتر شدن دقت طبقه‌بندی کلاس‌ها می‌شود [۱۴]. ونگ و همکاران (۲۰۱۰) از داده‌های فراطیفی هایپریون برای بررسی شوری خاک استفاده کردند. آنها با استفاده از روش رگرسیونی تک‌متغیره و شاخص شوری سنجش (SSI) و اعتبار مدل خطای مربع میانگین ریشه $RMSE=0/98$ نشان داد همبستگی زیادی ($r=0/91$) بین SSI و نمک خاک وجود دارد. با توجه نقاط نمونه زمینی، اعتبار مدل نقشه شوری کمی $RMSE=1/921$ و $R^2=0/627$ تأیید کرد. مدل آنها نشان داد داده‌های ابرطیفی ماهواره‌ای پتانسیل پیش‌بینی شوری خاک در یک منطقه وسیع را دارد [۱۵]. جیانگ و شو (۲۰۱۹) اثر شوری خاک اعماق مختلف ۰-۱۰، ۱۰-۳۰ و ۳۰-۵۰ سانتی‌متر را بر بازتاب طیف الکترومغناطیسی در

حائل در شوره‌زار مرکزی دشت قزوین تأثیری بر روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی نداشته است. با بررسی مطالعات گذشته مزیت و پتانسیل سنجش‌ازدور مشخص می‌شود، اما باید به چالش‌های آن نیز توجه کنیم. نخست اینکه، خاک زیرین به راحتی با سنجش‌ازدور نوری تشخیص داده نمی‌شود [۲۹] گرچه شاخص تنظیم‌شده خاک و پوشش گیاهی را برای جداسازی طیف‌های بازتابی گیاه و خاک مؤثر می‌دانند. همچنین، تحلیل شوری خاک در عمق یکی از عوامل محدودکننده سنجش‌ازدور در برآورد شوری خاک است [۳۰]. حتی اگر در سطح خاک (سطح) نیز وجود داشته باشد، اگر مقدار نمک کمتر از ۱۰ تا ۱۵ درصد باشد، گرچه بازتاب افزایش پیدا می‌کند اما تفکیک از سطح شور از خاک دشوار است [۳۱]؛ دوم اینکه رطوبت موجود در خاک موجب کاهش میزان بازتاب به خصوص در باندهای مادون قرمز متوسط و نزدیک می‌شود. سوم، هالوفیت گیاهان و حتی محصولات مقاوم به نمک مانند جو، پنبه و یونجه می‌توانند الگوی پاسخ کلی طیفی را به‌ویژه در باندهای سبز و قرمز تغییر دهند [۳۲]. با این حال، توانایی سنجش‌ازدور به‌عنوان ابزار مفیدی برای ارزیابی شوری خاک به‌ویژه در مقیاس بزرگ می‌تواند به کار آید.

در مطالعات انجام‌شده گذشته بیشتر به بررسی استخراج تک‌بعدی متغیر شوری خاک و ارزیابی شاخص‌های سنجش از دوری پرداخته شده است. گرچه استخراج نقشه‌های شوری خاک مهم است، اما ارزیابی تغییرات مکانی در زمان نیز بسیار اهمیت دارد. همچنین، در مطالعات پیشین کمتر به تحلیل مکانی و تغییرات پراکندگی شوری خاک بر اثر عوامل تقریباً ثابت در زمان همچون نوع خاک و یا ارتفاع و یا عوامل ناپایدار در زمان همچون بارش پرداخته شده است. تعیین اینکه شوری خاک کجا، چه موقع و چگونه رخ می‌دهد، برای مشخص کردن پایداری اراضی حیاتی است. شناخت این مناطق و بررسی چگونگی و سرعت توسعه خاک‌های شور اطلاعات ارزشمندی را برای ارائه راهکارهای مدیریتی فراهم می‌کند. هدف از تحقیق حاضر، استخراج شوری سطح خاک با قدرت تفکیک مکانی زیاد قبل و بعد از بارش‌های سنگین و تحلیل مکانی پراکندگی شوری خاک در غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قدرت تفکیک زیاد است.

و شاخص‌های (NDSI) و شاخص (NDVI) و شاخص ابداعی VSSI مشتق‌شده از باندهای اولی تصاویر لندست ۸ تجزیه و تحلیل کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مقادیر باند NIR همبستگی ۰/۷۷ و $RMSE=1/27$ و شاخص VSSI همبستگی ۰/۸۹ و $RMSE=0/98$ با هدایت الکتریکی خاک دارند. تحلیل خطای شاخص ابداعی ایشان نیز نشان داد برای خاک‌های در کلاس کم‌شور نسبتاً دقیق و برای خاک‌های بسیار شور برآوردی کمتری استخراج شده است. آنها بیان می‌کنند که استفاده از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ پتانسیل زیادی را برای نظارت مکانی میزان شوری در لایه بالایی خاک دارد [۱۷].

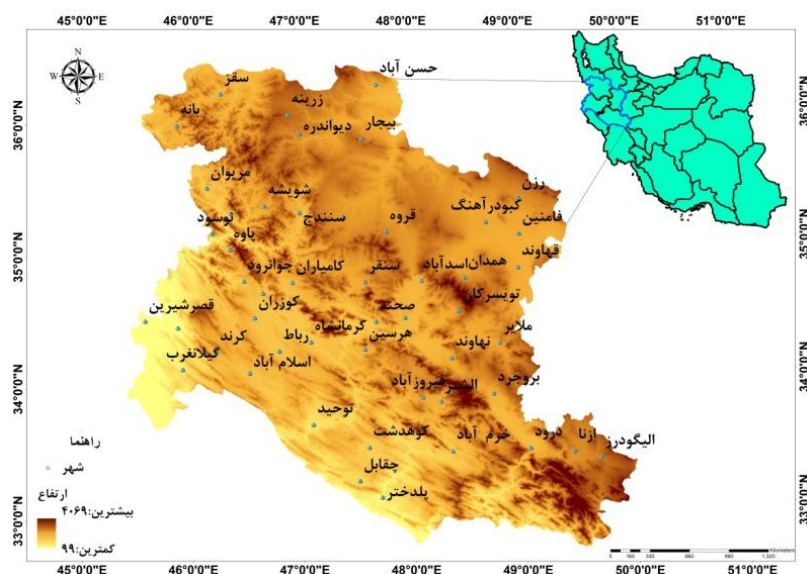
در ایران نیز برای استخراج و ارزیابی نقشه شوری خاک با سنجش‌ازدور دشتکینان و همکاران [۱۸]، خانامانی و همکاران [۱۹]، دائم‌پناه و همکاران [۲۰]، نوحه‌گر و زارع [۲۱]، ایمانی و همکاران [۲۲]، مومی‌پور [۲۳]، گمرکچی و همکاران [۲۴]، مطالعاتی را با استفاده از شاخص‌های شوری خاک انجام داده‌اند که نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد گرچه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قابلیت زیادی برای مشخص کردن پهنه‌های شور دارد، اما استفاده از شاخص شوری یکسان در کلیه مناطق به منظور استخراج نقشه شوری الزاماً همبستگی یکسان با داده‌های زمینی ندارد و نمی‌توان شاخص یکسان کارایی را برای تمامی مناطق تعریف کرد و استفاده از داده‌های زمینی برای صحت‌سنجی نتایج و افزایش دقت پهنه‌بندی ضروری است. خادمی و همکاران [۲۵] و زینالی و همکاران [۲۶] بررسی شوری خاک و میزان تغییرات آن را با استفاده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای انجام داده‌اند. نتایج پژوهش آنها در مناطقی که پوشش گیاهی متراکم بوده است به دلیل تداخل بازتاب گیاه و خاک طبقه‌بندی نتوانسته است شوری خاک را به خوبی استخراج کند. همچنین، آنها بیان کرده‌اند که استفاده از سنجنده‌های با تعداد باندهای بیشتر (قدرت تفکیک طیفی) می‌تواند صحت نتایج را بهتر کند. به دلیل پیچیدگی زیاد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک [۲۷] روش یا رابطه ریاضی مشخصی برای تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از اطلاعات سنجش‌ازدور وجود ندارد [۲۸]. در زمینه بررسی آثار متغیرهای مختلف بر شوری خاک گمرکچی و همکاران [۲۴] [احداث زهکش حائل بر روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی را با استفاده از سنجش‌ازدور طی دوره پانزده‌ساله بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد احداث زهکش

مواد و روش‌ها

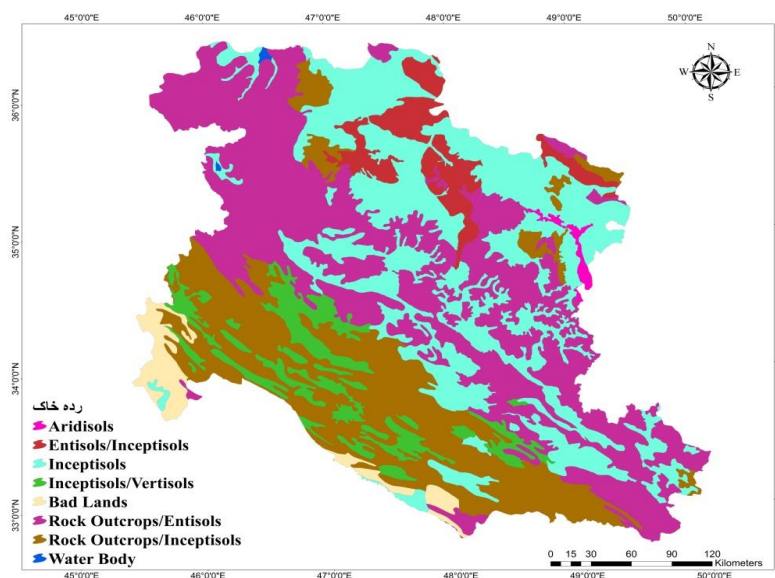
معرفی محدوده مطالعه شده

محدوده مطالعه شده شامل استان‌های کردستان، کرمانشاه، ایلام، همدان و لرستان بین عرض‌های جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و ۴۵ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴ دقیقه شرقی با وسعت ۴۶۶/۱۲۱ کیلومتر مربع است (شکل ۱). بر اساس پهنه‌بندی آب‌وهوایی ایران در سیستم کوپن که توسط گنجی صورت گرفته است، بخش اعظم زاگرس در شمال کردستان، همدان، کرمانشاه و لرستان آب‌وهوای مدیترانه‌ای دارد و در نواحی مرتفع

زاگرس نیز آب‌وهوای سرد و خشک مشاهده می‌شود. بخش‌های دیگر منطقه از جمله بخش‌های جنوب غربی کرمانشاه و ایلام آب‌وهوای نیمه‌خشک دارد [۳۳] و بر اساس تقسیم‌بندی علیجانی [۳۴] نیز غرب ایران به‌طور کلی دارای آب‌وهوای کوهستانی و پایکوهی است. وضعیت حرارتی ناحیه در تابستان همگن‌تر از زمستان است. این محدوده در دوره سرد سال، به علت حاکمیت بادهای غربی و نزدیکی به منبع رطوبتی دریای مدیترانه بارندگی زیادی دارد، اما دوره گرم سال نفوذ پرفشار آزر سبب کاهش بارندگی می‌شود [۳۵].



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعه شده در ایران



شکل ۲. نقشه خاک محدوده مطالعه شده

عنوان یک پلتفرم متن باز استفاده شود. از مزایای GEE کتابخانه گسترده‌ای از مجموعه داده‌های مکانی است که این امکان را می‌دهد به طور گسترده‌ای از تصاویر ماهواره‌ای و قدرت محاسباتی آن استفاده شود. در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای لندست در دو بازه سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و سال قبل از آن که در گوگل ارث اینجین موجود بود، بهره گرفته شد. همچنین، از شاخص newvegetation شاخص پوشش گیاهی GDVI که توسط وو [۳۶] برای تجزیه و تحلیل شوری خاک تهیه شده، استفاده شد (رابطه ۱).

$$SR = (\rho_{NIR} / \rho_R) GDVI = (SR^n - 1) / (SR^n + 1) \quad (1)$$

در این فرمول ρ_R و ρ_{NIR} بازتاب باندهای مادون قرمز و قرمز است و هدایت الکتریکی طبق فرمول ۲ محاسبه می‌شود.

$$EC = -2.87 - 23.27 \ln(GDVI) \quad (dS/m) \quad (2)$$

در محدوده مطالعه شده رده‌های خاک با شوری متفاوت وجود دارد که برای کلاس‌بندی شوری از جدول ۱ استفاده شد.

محدوده مطالعه شده بیشتر تحت تأثیر سامانه مرطوب مدیترانه‌ای و اقیانوس اطلس و سامانه‌های سودانی قرار دارد که با عبور این جریان‌ها از روی محدوده و برخورد با ارتفاعات زاگرس مقدار زیادی از رطوبت خود را به صورت باران و برف از دست داده و عامل عمده ریزش‌های جوی کشور را نیز تشکیل می‌دهند. سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ با ورود سامانه‌های بارشی متعددی به ایران همراه بود. این سامانه‌ها که بیشتر بر بستر تقویت امواج رزبای و پایین افتادن امواج قطبی شکل گرفتند، به طور ناهنجاری در محدوده غربی خاورمیانه با ایجاد بلاکینگ اتمسفری منجر به هدایت توده‌های گرم و مرطوب دریای سرخ موسوم و ادغام آن با توده‌های سرد و مرطوب مدیترانه‌ای درست روی ارتفاعات غرب و جنوب غرب ایران سبب بارش‌های بیش از حد نرمال شد. باران به عنوان مهم‌ترین متغیر اقلیمی مؤثر بر شوری خاک است، از این رو سال آبی مورد نظر، به عنوان دوره آماری برای مطالعه انتخاب شد.

مجموعه داده‌ها و روش

از آنجا که مطالعه حاضر در محدوده وسیعی از کشور اجرا شد، تصمیم گرفته شد از گوگل ارث اینجین (GEE) به

جدول ۱. درجه‌بندی شوری خاک و کلاس اراضی

کلاس اراضی	کلاس شوری	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
I	شوری کم و دارای محدودیت کم	< ۴
II	شوری متوسط	۴-۸
III	شوری زیاد	۸-۱۶
V وقتی نفوذپذیری خاک زیرسطحی متوسط تا خیلی سریع	شوری بسیار زیاد	۱۶-۳۲
VI وقتی نفوذپذیری خاک زیرسطحی ۲ سانتی متر یا کمتر در ساعت باشد	شوری شدید	> ۳۲

منبع: http://vro.agriculture.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/pages/water_spotting_soil_salting_class_ranges

فضایی در راستای مؤلفه‌های مکان یعنی طول، عرض و ارتفاع را بررسی و مقایسه کنیم. با توجه به قانون جغرافیایی «اصل نزدیکی- همانندی»؛ آزمون خودهمبستگی فضایی رویدادها و پدیده‌های آب‌وهوایی می‌تواند حاوی اطلاعات ارزشمندی باشد [۳۹]. برای مثال، رابطه فضایی معنادار بیانگر ارتباط همسایگی معنادار بین نواحی مجاور است. شناسایی این روابط می‌تواند در تعیین

فرایند تحلیل فضایی توصیف چگونگی و استدلال چرایی پراکندگی‌ها را شامل می‌شود [۳۷]. نتیجه این فرایند تولید دانش علمی مستند و درنهایت، تبیین پراکندگی است [۳۸]. به این منظور، برای به دست آوردن الگوی مکانی شوری خاک و اینکه آیا شوری خوشه‌ای است یا نه روش‌های مختلفی وجود دارد. اندازه‌گیری توزیع مکانی داده‌ها این امکان را به ما می‌دهد تغییرات توزیع

میانگین باشد، نتیجه رابطه ۲ عددی منفی خواهد بود. بنابراین و چنانچه از فرمول ۲ قابل استنباط است، آماره مورن کلی مانند ضریب خودهمبستگی بین +۱ و -۱ بوده تفسیر مشابهی دارد. مقادیر نزدیک به +۱ گویای الگوی مکانی قوی است (مقادیر بزرگ نزدیک یکدیگر و مقادیر کوچک نیز نزدیک هم هستند). مقادیر نزدیک به -۱ گواهی بر خودهمبستگی مکانی منفی بوده، گویای این است که مقادیر با ارزش بالا نزدیک مقادیر با ارزش کم هستند (وضعیت نادر) و در نهایت، مقدار نزدیک صفر، عدم الگوی مکانی (تصادفی بودن) را گواهی می‌دهد. بنابراین، اگر مقادیر آماره برای دونقطه مجاور مثبت یا منفی باشد، به معنای این است که مقادیر دو نقطه یادشده بالاتر از میانگین باشد، همبستگی مکانی منفی است [۴۲]. سپس نمره Z، در یک سطح اطمینان دلخواه ارزیابی می‌شود. برای مثال، برای سطح اطمینان ۹۵ درصد، آماره Z در بازه $\pm 1/96$ است. بنابراین، اگر قدر مطلق نمره Z مشاهده شده $Z(I)$ بزرگ‌تر از نمره Z بحرانی ($\pm 1/96$) باشد؛ فرض صفر در سطح اطمینان یادشده رد شده و معناداری روابط قابل استنباط خواهد بود [۴۰]. آماره جی استار (G^*) از مجموع ارزش‌های موزون مکانی پدیده‌ها در فاصله مشخص (d) از یاخته i ام نسبت به مجموع ارزش‌های تمامی مکان پدیده‌ها محاسبه می‌شود، امتیاز محاسبه‌شده نشان می‌دهد در کجای داده‌ها مقادیر زیاد و کم خوشه‌بندی شده‌اند [۴۳]. نمره Z استانداردشده این آماره ساده‌تر و تعبیر آن ملموس‌تر است. این شاخص به شرح رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$Z_i(d) = \frac{G_i(d) - E(G_i^*(d))}{\sqrt{\text{var}(G_i^*(d))}} = \frac{\sum_j w_{ij}(d)x_j - w_i^* \bar{x}}{s \sqrt{\frac{w_i^*(n - w_i^j)}{n-1}}} \quad (6)$$

که در رابطه یادشده داریم:

$$s^2 = \sum_{j=1}^N \frac{x_j^2}{n - \bar{x}^2}$$

یافته‌ها

در تحقیق حاضر ابتدا برای استخراج شوری خاک و پایش تغییرات آن تصاویر میانه ماهواره لندست ۸ در دو بازه زمانی سال ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در سامانه گوگل ارث اینجین فراخوانی شده و سپس، با توجه به فرمول WU الگوریتم یادشده کد نویسی و اجرا شد. برای صحت‌سنجی

اثر عوامل مکانی بر رفتار پدیده‌ها اهمیت دارد [۴۰]. برای محاسبه شاخص‌های مکانی گرانیگاه (مرکز میانگین، بیضوی انحراف استاندارد) از روش‌های مختصات طولی (x_c) عرضی (y_c) آنها بر اساس روابط ۳ و ۴ برآورد شد:

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n T_i x_i}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (3)$$

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n T_i y_i}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (4)$$

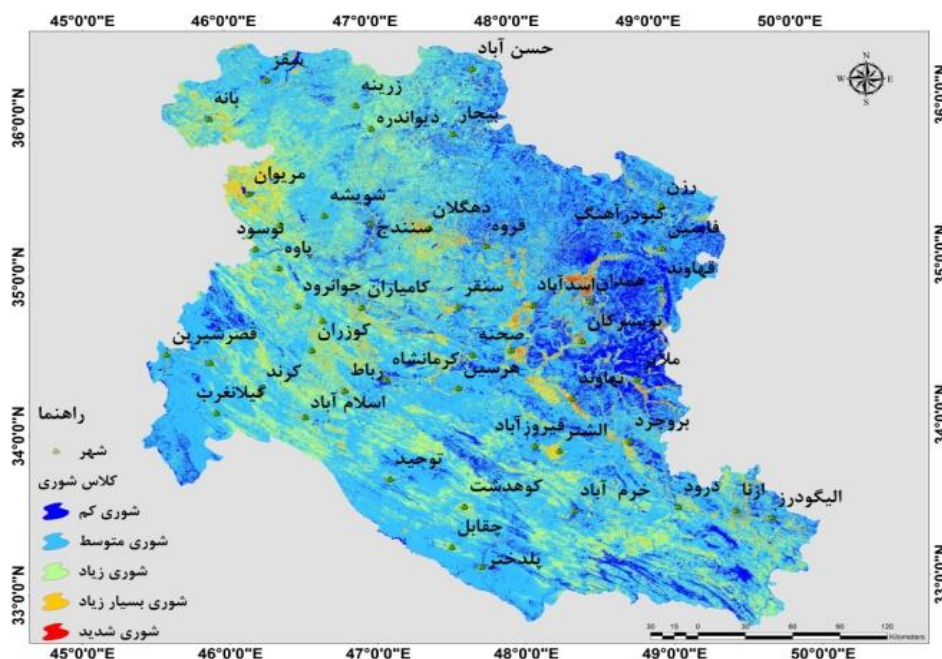
در اینجا x_i و y_i مختصات عارضه i و $\{X, Y\}$ به ترتیب میانگین مرکزی عوارض و n برابر با تعداد کل عوارض در لایه مورد تحلیل است. بررسی الگوی پراکندگی خوشه‌ای بودن مکانی رویدادها، در برابر «فرض مقابل» یعنی تصادفی بودن است. نمایه مورن یکی شاخص‌های برآورد تجمع مکانی پدیده‌ها است که با استفاده از رابطه ۵ قابل برآورد است [۴۱].

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right) \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x})^2} \quad (5)$$

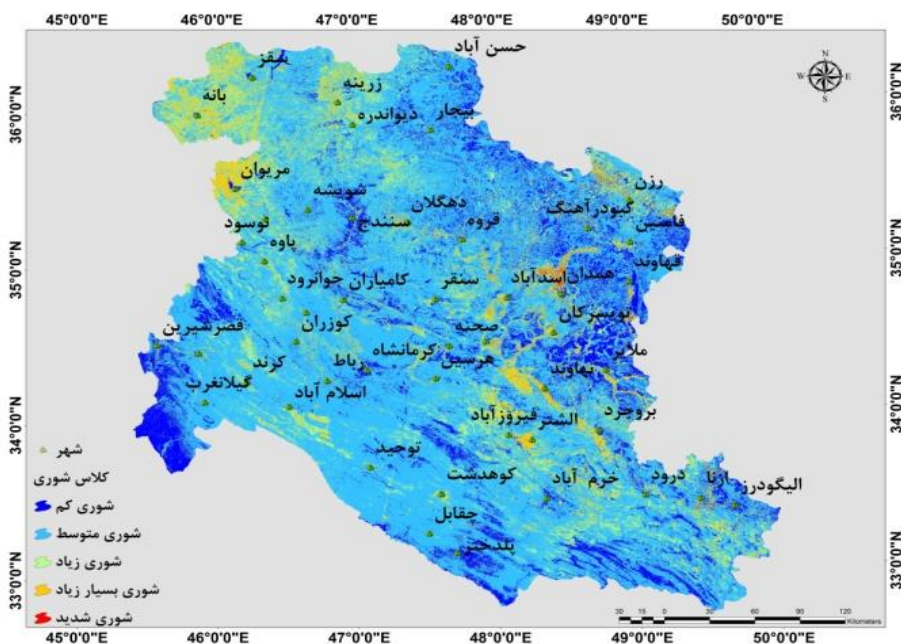
در این رابطه، n تعداد پدیده‌ها، x_i اندازه مشاهده‌شده روی مکان پدیده i ام، \bar{x} میانگین x_i هاست. y_{ij} اندازه وزن متعلق به i و j است که براساس مجاورت برآورد شده و نشان‌دهنده میزان وابستگی فضایی است. مجموع وزن‌ها در ماتریس وزن‌های $\{w_{ij}\}$ گویای اندازه مجموعه روابط فضایی مفروض بین نواحی است، که به روش‌های مختلفی قابل محاسبه‌اند. یکی از راه‌ها، به کارگیری وزن‌هایی با ارزش صفر و یک (دو دویی) است. در این حالت، اگر نواحی i و j هم‌مرز باشند، $w_{ij} = 0$ خواهد بود. هم‌مرز بودن به معنای اشتراک حداقل در یک نقطه یا داشتن مرز مشترک است. بنابراین، چنانچه i و j همسایه باشند، مقادیر i و j با میانگین متغیر قابل مقایسه هستند. به بیان دیگر، در صورت وجود انحراف میانگین بین دو نقطه مجاور، مجموع انحرافات در صورت کسر رابطه ۲ و به تبع آن، مقدار I عددی بزرگ و مثبت خواهد بود. در حالت دیگر، اگر مقدار انحراف از میانگین در یک نقطه مثبت و در نقطه‌ی مجاور کمتر از

شد. پس از اجرای الگوریتم مربوطه لایه رطوبت خاک با قدرت تفکیک مکانی زیاد مطابق شکل ۳ به دست آمد. همچنین، جذر مربع خطا و ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۲۳۶ و ۰/۶۷ محاسبه شد. پس از استخراج پراکندگی شوری خاک با توجه به جدول ۱ نقشه‌های طبقه‌بندی طبق شکل‌های ۳ و ۴ به دست آمد.

خروجی از داده‌های میدانی برداشت‌شده از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان که با استفاده از سنسورهایی که در عمق ۵ و ۱۰ سانتی‌متری نصب کرده و هر سی دقیقه اطلاعات را از ۳۸ مزرعه نمونه ارسال می‌کنند، اخذ شده و میانگین داده‌ها به عنوان نمونه زمینی برای ارزیابی این روش به کار گرفته



شکل ۳. پراکندگی شوری خاک سال آبی ۱۳۹۶-۱۳۹۷



شکل ۴. پراکندگی شوری خاک سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸

در این تحقیق متوسط بارندگی در سال آبی مطالعه شده با استفاده از درون‌یابی ایستگاه‌های موجود برآورد و سپس، در چهار کلاس مطابق شکل ۷ طبقه‌بندی شد. بیضی انحراف استاندارد مکانی شوری خاک نیز با استفاده از انحراف معیار فاصله مکانی حجم شوری هر پیکسل نسبت به مرکز جرمی شوری، موقعیت و جهت آن مشخص شد.

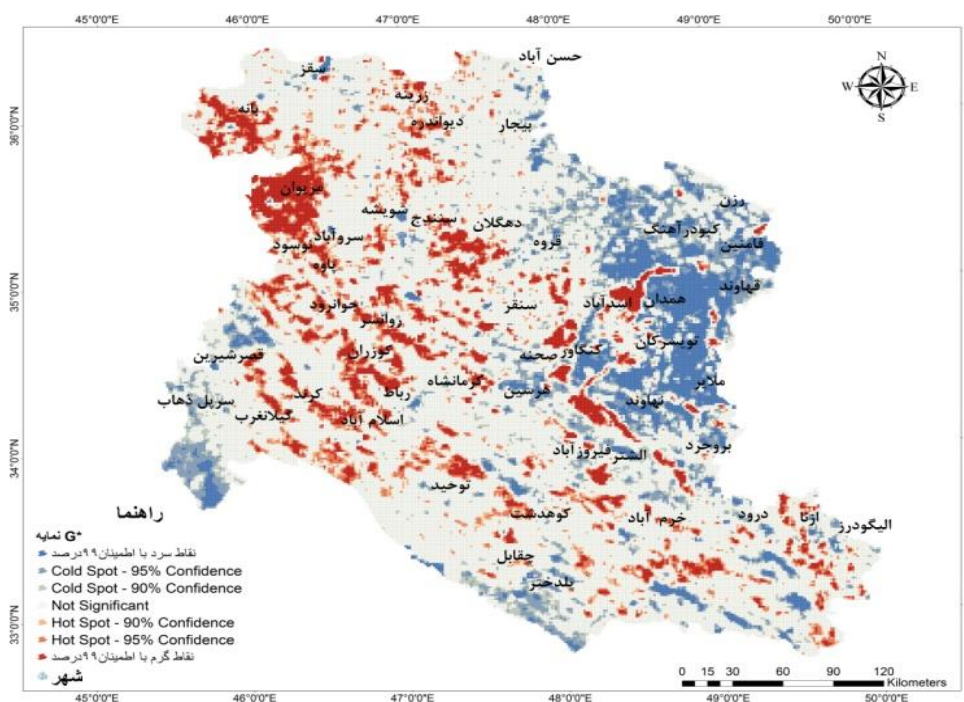
برای درک الگوی خوشه‌ای و یا پراکنده‌ای بودن شوری خاک، آماره موران خودهمبستگی مکانی بررسی شد که نتایج طبق شکل ۸ و جدول ۳ به دست آمد. در این شکل چگونگی پراکنش تجمع رویدادها از حالت پراکنده تا

خوشه‌ای و سطح معناداری با آماره p-value و مقادیر بحرانی (آماره Z) آورده شده است؛ و به‌منظور شناخت مکانی فراوانی نقاط داغ و نقاط سرد آماره جی گیتس محاسبه که در شکل ۹ نمایش داده شده است. برای تحلیل فضایی نقشه خوشه نقاط گرم با لایه ارتفاعی طبقه‌بندی شده و با لایه خاک محدوده مطالعه شده تقاطع داده شد که نتایج در جدول ۳ آورده شده است.

پس از استخراج لایه نقاط گرم با اطمینان ۹۹ درصد که در مجموع ۲۴/۴۸ درصد از مساحت محدوده مطالعه شده را در بر گرفته بود با لایه‌های ارتفاع، خاک تقاطع داده شد که نتایج طبق جدول ۴ به دست آمد.

جدول ۳. خلاصه آماره کلی موران محاسبه شده

شاخص موران	شاخص مورد انتظار	واریانس	Z-score	P-value
۰/۴۵۶۶	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰	۱۸۹۰/۵۳	۰/۰۰۰۰



شکل ۸. نمایه G* شوری خاک غرب کشور

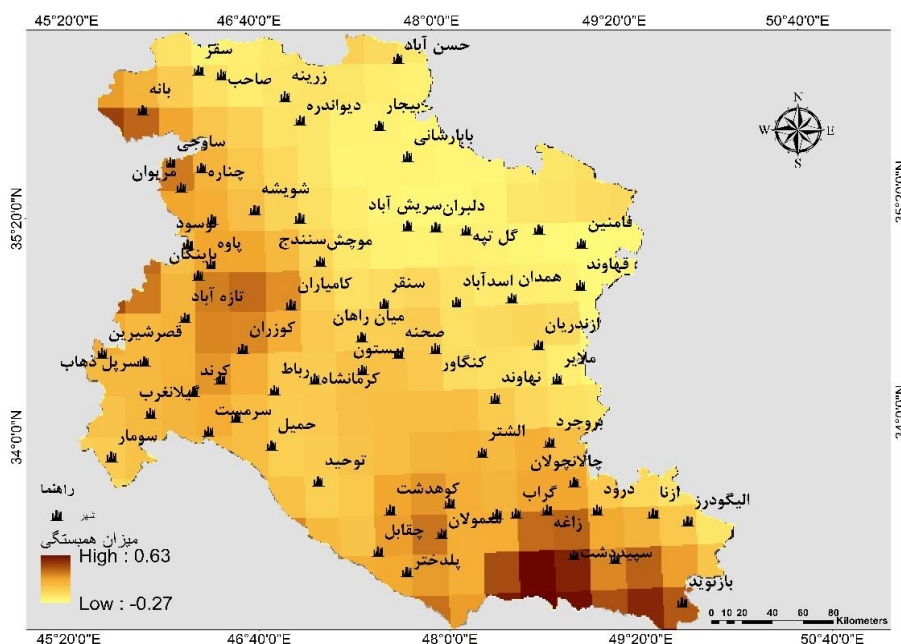
جدول ۴. توزیع آماری نقاط داغ (خوشه‌های شوری بالا) با توجه به عامل ارتفاع

طبقه ارتفاعی	۹۹-۱۱۵ متر	۱۱۱۵-۱۶۷۹ متر	۱۶۷۹-۲۱۴۴ متر	۲۱۴۴-۴۰۶۹ متر
مساحت	۷۹۸۵۱۸۸۹/۱۵	۳۷۶۴۰۷۸۹۶۸/۲۵	۳۶۲۷۴۱۱۳۸۹/۰۱	۵۷۸۴۵۳۷۶۴/۶۶
درصد	۰/۸۵۶۱	۱۱/۶۱۱۶	۷/۵۹۷۵۶	۰/۰۶۷۲

بحث

کمی مشخص شد که توزیع کلاس‌های شوری خاک در دو بازه مطالعه شده تغییر کرده است. به‌طور کلی، می‌توان بیان داشت که شوری خاک در محدوده مطالعه شده کاهش یافته است، گرچه در جاهایی که شوری خاک افزایش داشته، به‌طور موردی و محدود بوده است. نقشه همبستگی بارش تجمعی با جابه‌جایی کلاس‌های شوری خاک در شکل ۹ آورده شده است.

یکی از عوامل مهم پراکندگی شوری خاک‌ها، بارش است؛ به‌ویژه بارش‌های سیلابی سبب جابه‌جایی حجم عظیم خاک و به تبع، باعث جابه‌جایی در پهنه‌های کلاس‌های شوری مختلف می‌شود. با بررسی روند شوری خاک طی سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و سال قبل از آن، میزان شوری از صفر تا ۴۲/۵۶ به صفر تا ۴۰/۰۸ کاهش یافته و به‌صورت



شکل ۹. همبستگی باران تجمعی در بازه مطالعه شده با تغییرات کلاس شوری خاک

کمترین مقدار تغییرات را داشته است. این کلاس بیشتر در اطراف شهر بهار همدان و مریوان است که شیب ملایم و کمی دارند و در آنجا سازندهای شوری قرار گرفته است. باران لایه سطحی شوری خاک را تا حدودی شسته است، اما به دلیل شیب کم محدوده جابه‌جایی کمی صورت گرفته و کلاس شوری شدید همچنان در همان کلاس باقی مانده است. توزیع‌های جغرافیایی می‌توانند مقایسه برخی ویژگی‌های مکانی شوری خاک را مشخص کنند. در دست داشتن جهت انتشار شوری می‌تواند گامی مهم در مدیریت منابع باشد. جهت بیضی انحراف استاندارد دربرگیرنده ۹۵ درصد پراکندگی برای شوری خاک، شمال غربی به جنوب شرقی است که تقریباً به تبعیت از آرایش مکانی ناهمواری‌ها و سازندهای شوری در اطراف همدان و شهرستان مریوان است. برای اینکه بدانیم پراکنش مکانی شوری با در نظر گرفتن مقادیر خصوصیت مورد نظر الگوی

همبستگی هدایت الکتریکی خاک با باران نشان می‌دهد تغییرات کلاس اراضی به‌گونه‌ای است که بیشتر مناطق با شوری شدید که در کلاس ارتفاعات کم وجود داشته، تغییری نکرده است. گرچه تبخیر و تعرق و آبیاری با آب‌های شور از مهم‌ترین عوامل در شوری خاک هستند، اما در بازه زمانی کوتاه مدت چندماهه و بعد از بارش‌های سنگین، مهم‌ترین عامل در تغییرات پراکندگی شوری خاک را می‌توان بارش به حساب آورد. در عوض، کلاس با شوری متوسط به میزان ۰/۴۰۶۷ درصد بیشترین مقدار تغییرات را داشته است. در این کلاس با توجه به شیب تقریباً زیاد و دوری از سنگ بسترهای شور، بارش شوری سطح خاک را با خود جابه‌جا کرده و به مناطق پایین دست با شیب و ارتفاع کمتر انتقال داده و سبب افزایش کلاس شوری زیاد در جنوب غرب کشور شده است. در مناطق با شوری شدید میزان تغییرات ۰/۰۱۰ درصد بوده که

نتیجه‌گیری

شوری خاک رایج‌ترین و گسترده‌ترین مشکل محدود کردن بهره‌وری محصول در کشاورزی آبی است که از زمان ظهور تحقیقات زراعی مدرن، توجه جامعه علمی را به خود جلب کرده است. در کنار برآورد شوری خاک، پایش تغییرات شوری خاک در مناطق مستعد شوری برای اقدامات مدیریتی نیز ضروری است و می‌تواند یکی از بررسی‌های مهم به منظور برنامه‌ریزی‌های محیطی باشد. جابه‌جایی شوری تأثیر زیادی بر بهره‌وری خاک از جمله پوشش گیاهی دارد و می‌تواند تعادل اکوسیستم‌ها را از بین ببرد. داشتن اطلاعات به‌هنگام در مورد توزیع فضایی و شدت شوری خاک برای مدیریت کشاورزی بسیار مهم است و اجازه می‌دهد اقدامات لازم برای کاهش، یا حتی جلوگیری از تلفات اقتصادی و بازگرداندن بهره‌وری خاک اجرا شود. کشف تغییرات محیطی ممکن است به صورت کلی بیان شود، اما برای برنامه‌ریزی دقیق به کمیت و کیفیت این تغییرات نیاز است تا متناسب با آن برنامه‌ریزی شود. توزیع متفاوت مکانی بارش‌ها و همچنین، تأثیر متفاوت عناصر اقلیمی و متغیرهای محیطی سبب تفاوت مکانی شوری خاک می‌شود. در حال حاضر، بیشتر تحقیقات برآورد شوری خاک با استفاده از سنجش‌ازدور روی استخراج شاخصی که بیشترین همبستگی را با شوری خاک داشته باشد و یا استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک‌های مکانی و باندی متفاوت متمرکز است. در تحقیق حاضر نقشه شوری خاک با استفاده از شاخص GDVI در دو بازه زمانی قبل و بعد از بارش‌های سنگین سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ با استفاده از پلتفرم متن‌باز گوگل ارث اینجین استخراج شد. سپس، تغییرات کلاس‌های شوری خاک پس از بارش‌های سنگین و تبدیل کلاس‌های شوری به یکدیگر بررسی شده و نقش عوامل توپوگرافی و رده خاک در خوشه‌های مکانی شوری تبیین شد. نقشه شوری خاک حاصل با اعتبارسنجی چندین نقطه شناخته‌شده و ضریب همبستگی ۰/۶۷ درصد را نشان داد. نتایج نشان داد استفاده از روش سنجش‌ازدور و داده‌های ماهواره‌ای در سامانه ابری گوگل ارث اینجین و تحلیل‌های مکانی تهیه نقشه‌های شوری خاک در مناطقی که دارای وسعت زیاد هستند و تحت تأثیر تغییرات شوری قرار دارند، صرفه‌جویی‌های مالی و زمانی زیادی دارد و در مناطقی که نمونه‌گیری در آن انجام نشده و یا با مسائلی همراه است، می‌تواند بسیار کارا باشد. کاربران و اعضای ثبت‌نام‌شده پلتفرم

خوشه‌ای و یا پراکنده دارد، آماره موران خودهمبستگی مکانی بررسی شد. مقدار ۰/۴۵۶۶ شاخص موران و پی ویو ۰/۰۰۰۰ فرض صفر مبنی بر اینکه هیچ‌گونه خودهمبستگی فضایی بین مقادیر مرتبط با مکان وجود ندارد، در سطح معناداری ۹۹ درصد رد شده و وجود خودهمبستگی مکانی شوری خاک در غرب کشور پذیرفته می‌شود. نقشه لکه‌های داغ نیز نشان داد شوری سطحی خاک به صورت هسته‌ای در راستای شمال غرب و به جنوب شرق و بیشتر ارتفاعات کمتر از ۱۲۰۰ متر است. در این مناطق حرکت صعودی آب‌های زیرزمینی کم‌عمق، سیل‌ها و تبخیر و تعرق زیاد می‌توانند سبب تجمع نمک در آن شوند. سپس، با استفاده از تحلیل لکه‌های داغ مکان‌هایی که مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده شناسایی شد. این ابزار در حقیقت به هر عارضه در چهارچوب عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارند، توجه می‌کند. آماره G_i که برای مکان هر پیکسل محاسبه شده است، به‌نوعی امتیاز Z است. برای امتیاز Z مثبت و معنادار از نظر آماری، هرچه امتیاز Z بیشتر باشد، به میزان زیادی شوری خوشه‌بندی شده و لکه داغ تشکیل می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۹ مشخص است، شوری به‌شدت الگوی خوشه‌بندی پیدا کرده است. در شکل ۹ محدوده‌های قرمز رنگ به معنای تمرکز بیشتر شوری خاک در آن مکان است. هسته‌های بیشینه به شکل چند کانون جداگانه در اطراف مریوان، جنوب سنندج، همدان، روانسر، جوانرود و هرسین و همچنین، شمال شهر توحید قرار گرفته‌اند. لایه خوشه‌بندی شدید آنتی سیتوسول است. این خاک‌ها جوان هستند و یا در ابتدای مراحل به وجود آمدن قرار دارند و دارای افق کلسیک هستند. افق کلسیک، افقی عمودی تجمعی است که کربنات کلسیم ثانویه با دیگر کربنات‌ها به مقدار زیاد در آن تجمع یافته است. مشکل اصلی‌ای که در تحقیق حاضر با آن روبه‌رو بودیم، با وجود تلاش زیاد در فراهم آوردن داده زمینی، عدم نمونه‌گیری کامل میدانی و نبود داده‌های با پراکندگی مناسب مربوط به شور خاک در محدوده مطالعه شده بود. برای درک بهتر دلایل تغییرات شوری خاک، یک مدل‌سازی صریح مکانی که شامل داده‌های آب‌وهوایی، طبیعی، اقتصادی و انسانی در آینده مورد نیاز است که محققان مقاله حاضر نیز در تحقیقات آتی سعی به پرداختن به آن خواهند داشت.

- [10]. Ivushkina K, Bartholomeusa H, Bregta A, Alim K, Bas S. 2019, Global mapping of soil salinity change, Remote Sensing of Environment.2019;231(15):111260.
- [11]. Fourati T, Bouaziz H, Benzina M. Detection of terrain indices related to soil salinity and mapping salt-affected soils using remote sensing and geostatistical techniques. Environ Monit Assess.2017; 189, 177. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5877-7>
- [12]. Jiang H., Shu H. Optical remote-sensing data based research on detecting soil salinity at different depth in an arid-area oasis, Xinjiang, China. Earth Sci Inform. 2019; 12: 43–56.
- [13]. <https://doi.org/10.1007/s12145-018-0358-2>
- [14]. Koshal K. Spectral Characteristics of Soil Salinity Areas in Parts of South-West Punjab through Remote Sensing and GIS, International Journal of Remote Sensing and GIS, 2012; 1, (2): 84-89.
- [15]. Sharma R, Mondal A. K. Mapping of soil salinity and sodicity using digital image analysis and GIS in irrigated lands of the Indo-Gangetic plain. Agropedology, 2006; 16: 71–76.
- [16]. WENG L, GONG P, ZHU Z. A Spectral Index for Estimating Soil Salinity in the Yellow River Delta Region of China Using EO-1 Hyperion Data, Pedosphere, 2010; 20(3): 378-388.
- [17]. Khadim F, Su H, Xu L, Tian J. Soil salinity mapping in Everglades National Park using remote sensing techniques and vegetation salt tolerance, Physics and Chemistry of the Earth,2019;31-50.
- [18]. Nguyen K, Liou Y, Tran H. Soil salinity assessment by using near-infrared channel and Vegetation Soil Salinity Index derived from Landsat 8 OLI data: a case study in the Tra Vinh Province, Mekong Delta Vietnam. Prog Earth Planet Sci.2020; 7(1):1-16 <https://link.springer.com/article/10.1186/s40645-019-0311-0>
- [19]. Dashtakian K, Pakparvar M, Abdolahi J. Investigation of soil salinity mapping methods using Landsat satellite data in Marvast region, Iran Rangeland and Desert Research. 2009; 15(2): 139-157. [Persian]
- [20]. Khanamani A, Sangoi R, Shabazi H. Assessment of soil condition using remote sensing technology and GIS (Case study of Segzi plain of Isfahan). Journal of Remote Sensing and GIS Application in Natural Resources Sciences. 2011; 3: 25-37. [Persian]
- گوگل ارث اینجین می‌توانند برای تهیه نقشه‌های شوری خاک از این لینک استفاده کنند. چنین تحقیقاتی می‌تواند موجب شناسایی مناطقی به‌راحتی و با سرعت زیاد که بیشتر در معرض شوری خاک قرار دارند، شود و در برنامه‌ریزی‌های محیطی برای پیاده‌سازی اقدامات پیشگیرانه به کار رود. همچنین، از نتایج تحقیق حاضر و خروجی‌های آن برای شناسایی کانون‌های شوری خاک در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و تخصیص منابع و امکانات به‌طور صحیح استفاده شود.
- ### منابع
- [1]. Akça P, Aydin M, Kapur S, Kume T, Nagano T, Watanab S, Çilek A Zorlu K. Long-term monitoring of soil salinity in a semi-arid environment of Turkey.2020;19:104614.
- [2]. Daliakopoulos N, Tsanis, K, Koutroulis A, Kourgialas N, Varouchakis A, Karatzas P, Ritsema C. The threat of soil salinity: A European scale review. Sci. Total Environ.2016; 573:727–739.
- [3]. Tanji K. Salinity in the Soil Environment. In Salinity: Environment-Plants-Molecules. Dordrecht. The Netherlands. 2004; pp. 21–51.
- [4]. Abuelgasima A, Ammad R. Mapping soil salinity in arid and semi-arid regions using Landsat 8 OLI satellite data, Remote Sensing Applications: Society and Environment.2019; 13 (2019): 415–425.
- [5]. Zheng H, Schroder J, Pittman J, Wang J, Payton ME. Soil salinity using saturated paste and 1:1 soil to water extracts. Soil Sci Soc Am J.2005; 69(4):1146–1151
- [6]. Allbed A, Kumar L. Soil Salinity Mapping and Monitoring in Arid and Semi-Arid Regions Using Remote Sensing Technology: A Review. Advances in Remote Sensing.2013; 2: 373-385
- [7]. AlKhair F. Soil Salinity Detection Using Satellite Remote Sensing. Submitted to the international institute for Geo- information science and earth observation in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in geo- information science and earth observation. Netherland.2003.P70.
- [8]. Meternicht G, Zink j. Remote Sensing of Soil Salinity: Potentials and Constraints. Remote Sensing of Environment.2003; 5812:1-20.
- [9]. Ghabour T, Daels, L. Mapping and monitoring of soil salinity of ISSN. Egypt. J. Soil Sci.1993; 33 (4): 355–370.

- [21]. Daempanah R, Haghnia GH, Alizadeh A, Karimi A. Preparation of salinity and sodium map of surface soil by telemetry and geostatistical methods in the south of Mahallat city, *Journal of Water and Soil*. 2011; 3(25): 498-508. [Persian]
- [22]. Nohegar A, Zareh GH. Extraction of soil salinity zones in arid and semi-arid regions using remote sensing data (Case study: Darab city). *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 2012; 1: 49-64. [Persian]
- [23]. Emani m, Bahrami H, Askoi S. Estimation of soil electrical conductivity using hyperion spectral images, Case study: North of Urmia plain. *Iranian Soil and Water Research*. 2014; 45(1): 67-74. [Persian]
- [24]. Momopour M. Investigation of temporal and spatial changes of soil salinity in Abadan city in a 24-year period with satellite images of geography and environmental stability. 2018; 8(27): 47-58. [Persian]
- [25]. Gamarkachi A, Akbari M, Hasangholi A, Yonesi M. Monitoring of soil salinity and vegetation using multispectral remote sensing data in the Zardasht saline drainage area of Qazvin. 2020; 34: 37-52. [Persian]
- [26]. KHademi F, Pirkhayati H, SHahkarami S. Study of increasing saline soils around Lake Urmia using GIS and RS, *Earth Sciences*. 2016; 24 (94): 93-98. [Persian]
- [27]. Zinali M, Jafarzadeh A, Farzin O, Valizadehkamran KH. Evaluation of surface soil salinity by pixel based method based on TM sensor data (case study of lands of Khoy city, West Azerbaijan province), *geographical information*. 2017; 25 (66): 127-139. [Persian]
- [28]. Alavipanah K. Application of Remote Sensing in Earth Sciences (Soil Science) Tehran: University of Tehran. 2014: P.411. [Persian]
- [29]. Moradian S, Nabiolahi K, Tahizade K, Merjordi R. Prediction of soil salinity using tree regression and neural network in Qorveh region of Kurdistan province, *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 2017; 7(4): 115-129. [Persian]
- [30]. Mudler L, Bruin S, Schaepman M. Representing Major Soil Variability at Regional Scale by Constrained Latin Hypercube Sampling of Remote Sensing Data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2013; 21: 301-310.
- [31]. Singh P, Srivastav K. Mapping of waterlogged and salt affected soils using microwave radiometers. *Int. J. Remote Sens*. 2007; 11: 1879-1887.
- [32]. Mougnot B, Pouget M, Epema G. Remote sensing of salt-affected soils. *Remote Sens. Rev*. 1993; 7: 241-259.
- [33]. Metternicht G, Zinck. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sen. Environ*. 2014; 85:1-20.
- [34]. Abrifam M. the Synoptic Analysis of Entranced Air Masses to the West if Iran (2004-2005), Supervisor: Gholamreza Barati, Master of Science in Climatology. Razi University of Kermanshah. 2001. P.162.
- [35]. Alijani B. Synoptic Climatology. Samat Publications. Tehran. 2002: 268. [Persian]
- [36]. Mojarad F, Masompour J. Estimation of maximum probable precipitation by synoptic method in Kermanshah province. *Geographical studies of arid regions*. 2013; 13: 1-14. [Persian]
- [37]. Wu W. The generalized difference vegetation index (GDVI) for dryland characterization. *Remote Sens*. 2014; 6:1211-1233.
- [38]. Alijani B. Spatial Analysis, *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*. 2014; 3(1):1-14. [Persian]
- [39]. Harvey D. Explanation in Geography. Arnold, London; 1969. P.284. 2014; 3(1):1-14.
- [40]. Asakereh H, Sifipour Z. Spatial modeling of annual rainfall in Iran, *Geography and Development*. 2015; 10(29):15-30. [Persian]
- [41]. Asakereh H, SHademan H. Identifying the spatial relationships of pervasive hot days in Iran. *Journal of Geographical Research*. 2015; 116(1):54-70. [Persian]
- [42]. Dai X, Guo Z, Zhang L, Li D. (2010). Spatio-temporal exploratory analysis of urban surface temperature field in Shanghai, *Environ Res Risk Assess*. 2010; 24: 247-257.
- [43]. Gail M, Krickeberg K, Samet J, Tsiatis A, Wong W. *Statistics for Biology and Health*. USA. Springer; 2007. P.402.
- [44]. Fischer M, Manfred M. *Spatial Analysis and Geocomputation*. Germany. Springer; 2006. P. 344.