

ارزیابی میزان شوری خاک با استفاده از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های آماری (مطالعه موردی: منطقه چاه‌افضل اردکان)

محمدعلی حکیم‌زاده اردکانی^۱، استادیار خاک‌شناسی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران

سیدرضا مهدوی اردکانی، دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشگاه یزد، ایران
عاطقه جبالی، دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی دانشگاه یزد، ایران
مطهره اسفندیاری، دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی دانشگاه یزد، ایران

چکیده

شور شدن خاک از جمله معضلات اراضی واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که مهار آن نیازمند اتخاذ تدابیر مدیریتی صحیح است. بهره‌گیری از اطلاعات به‌هنگام خاک و فن‌آوری‌های دورسنجی راهکاری مناسب در ارزیابی شوری خاک مناطق مختلف است. در این پژوهش با هدف ارزیابی میزان شوری خاک منطقه چاه‌افضل یزد، تلاش گردید تا با تلفیق روش‌های دورسنجی و آماری، نقشه‌ای کلی از طبقات مختلف شوری منطقه ارائه شود. بدین منظور، در ابتدا ۵۰ نمونه خاک از منطقه مورد مطالعه به روش تصادفی برداشت و میزان هدایت الکتریکی آن اندازه‌گیری شد. سپس، تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ همزمان با تاریخ برداشت صحرایی در مرداد ۱۳۸۶ تهیه و با انجام مراحل پیش‌پردازش، مورد عملیات بازسازی با استفاده از شاخص‌های شوری قرار گرفت. از ۱۴ متغیر شامل ۶ شاخص مختلف شوری خاک و ۸ باند تصویر ماهواره‌ای جهت تهیه بهترین معادله بیان‌کننده شوری خاک بهره‌گیری شد. به‌منظور کاهش تعداد متغیرها در ارائه بهترین معادله برآورد شوری، از روش تحلیل عاملی و روش رگرسیون پسر و بهره‌گیری و سه معادله‌ی نشان‌دهنده شوری خاک منطقه معرفی گردید. نتایج نقشه‌های شوری خاک و صحت‌یابی نقشه‌های تولیدی شاخص شوری NDSI با بیشترین ضریب همبستگی تعدیل شده به میزان ۰/۶ را، بهترین مدل ارائه‌کننده شوری خاک نشان داد. منطقه مطالعاتی به ۵ کلاس شوری خاک طبقه‌بندی شد که نقشه‌ها نشان داد حدود ۹۰ درصد از منطقه دارای شوری بیش از ۵۰ دسی زیمنس بر متر است. برطبق نتایج، تهیه نقشه شوری خاک با تلفیق تکنیک‌های دورسنجی و روش‌های آماری، ضمن افزایش دقت و سرعت انجام مطالعات، صرفه‌جویی در زمان و هزینه را نیز به‌همراه خواهد داشت.

کلمات کلیدی: چاه‌افضل، سنجش از دور، شاخص شوری، شوری خاک

مقدمه

با توجه به گستره زیاد تخریب و محدودیت شدید منابع طبیعی، شناخت جنبه‌های مختلف منابع طبیعی برای به کارگیری مدیریت علمی امری اجتناب ناپذیر است. تغییرات زمانی (پایش) منابع طبیعی در بازه زمانی طولانی، به علت محسوس نبودن نمایش یا ترسیم این تغییرات در فاصله‌های زمانی کوتاه، می‌تواند مدیران و برنامه‌ریزان را از خطرهای احتمالی در آینده آگاه سازد، یکی از مخاطرات طبیعی، شوری خاک و گسترش آن بویژه در مناطق خشک و بیابانی است (فرناندز و همکاران، ۲۰۰۶). در این مناطق شوری زایی باعث بیابانی‌شدن زمین‌ها و کاهش کیفیت آنها شده است (جیان لی و همکاران، ۲۰۱۱). شور شدن خاک ممکن است همانند سایر مخاطرات محیطی (زمین لرزه، سیل و غیره) دارای قدرت تخریبی سریع نباشد، اما به‌عنوان یک مخاطره محیطی شدید محسوب می‌گردد (مترینچت و همکاران، ۲۰۰۳). با استفاده از اطلاعات به‌هنگام خاک در هر منطقه می‌توان، کمک زیادی به مطالعه روند شور شدن خاک و کاهش بیابان‌زایی نمود (اسفندیاری و حکیم‌زاده، ۱۳۸۹)؛ وسعت زیاد اراضی در معرض خطر شورشدگی و هزینه‌های بالای شناسایی و تشخیص خاک‌های شور به وسیله روش‌های سنتی (زمینی)، ضرورت استفاده از فناوری‌های جدید و روش‌های نوین را بیش از پیش آشکار می‌سازد. در این میان سنجش از دور به‌عنوان یک تکنیک و علم دستیابی به اطلاعات در مورد پدیده‌ها بدون تماس فیزیکی با منطقه محسوب می‌شود (دادرسی و همکاران، ۱۳۸۵). تصاویر ماهواره‌ای، به علت رقومی بودن، ارائه اطلاعات به‌هنگام، فراهم آوردن دید همه جانبه، استفاده از قسمت‌های مختلف طیف الکترومغناطیس برای ثبت خصوصیات پدیده‌ها، پوشش‌های تکراری، سرعت انتقال، و تنوع در شکل داده‌ها از ارزش زیادی برخوردار است (فیضی‌زاده و همکاران، ۲۰۰۸)

اقدامات انجام شده برای پایش و ارزیابی شوری خاک به طور فزاینده‌ای در سطح کشور و دنیا در حال گسترش است و مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است (حکیم‌زاده‌اردکانی و وحدتی، ۱۳۹۷، تقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱؛ دادرسی و همکاران،

۱۳۸۵؛ دشتکیان و همکاران، ۱۳۸۷). وو و همکاران (۲۰۰۸)، در منطقه هتایو در چین با هدف منطبق کردن تغییرات کیفیت آب و زمین، تغییرات شوری خاک را در طی سالهای ۱۹۷۳، ۱۹۷۷، ۱۹۸۸، ۱۹۹۱، ۲۰۰۱، ۲۰۰۶، مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که سنجش از دور یک ابزار مفید برای بررسی شوری خاک و بهبود مدیریت آب و زمین است.

عبدالفتاح و همکاران (۲۰۰۹)، با استفاده از تصاویر لندست ETM⁺ سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۲ در منطقه ساحلی امارات متحده عربی، شوری خاک را که نگرانی بزرگی در آنجا بود، مورد بررسی قرار دادند و بیان نمودند که تنها میزان شوری خاک به خوبی با استفاده از فناوری سنجش از دور قابل تشخیص است بلکه الگوهای مکانی و زمانی آن نیز قابل پهنه‌بندی است. لیو و همکاران (۲۰۰۸) چگونگی تغییرات شوری خاک در منطقه هتایو منگولیای چین را با هدف نشان دادن ارتباط بین تغییرات شوری خاک و کیفیت زمین و آب، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۹۷۳، ۱۹۷۷، ۱۹۸۸، ۱۹۹۱، ۱۹۹۶، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶ بررسی نمودند. یافته‌ها نشان داد که سنجش از دور یک ابزار مفید برای بررسی شوری خاک و بهبود مدیریت آب و خاک است. علوی‌پناه و همکاران (۱۹۹۷) خاک‌های منطقه اردکان یزد را از نظر شوری و سایر عوامل سطحی نظیر گچ، پوسته‌های نمک و سنگریزه‌های سطحی، به کمک داده‌های رقومی ماهواره لندست، مورد بررسی قرار داده و در نهایت نتیجه گرفتند، که باند حرارتی در تفکیک کلاس‌های خاک گچی و شور، سطوح پوسته‌دار خاک و مناطق شهری بسیار مفید و با ارزش است. متین فر و همکاران (۱۳۸۵) در منطقه آران و بیدگل به منظور تفکیک‌پذیری خاک‌های مناطق خشک از داده‌های سنجنده LISS-III استفاده نمودند و نتیجه گرفتند که این سنجنده قابلیت تفکیک خاک‌های Typic Haplosalids از Typic Aquisalids را ندارد، خاک‌های Gypsic Aquisalids تقریباً در تمامی باندهای سنجنده دارای بیشترین بازتاب و خاک‌های Typic Aquisalids دارای کمترین بازتاب بودند به طوری که با خاک‌های Gypsic

² Linear Imaging Self Scanning System

Aquisalids تداخل طیفی داشتند. علوی پناه (۱۳۷۹) با ارزیابی باند حرارتی ماهواره لندست بر روی کویرهای ایران نتیجه گرفت که باند ترمال حاوی اطلاعات فراوان و مهمی در زمینه خاک‌های شور، گچی و گیاهان است. به عبارتی باند حرارتی به‌عنوان تابعی از حرارت سطحی می‌تواند مکمل باندهای انعکاسی باشد. تاج‌گردان و همکاران (۱۳۸۸) نیز با استفاده از تصاویر لندست ETM^+ نقشه شوری منطقه آق قلا را براساس مدل رگرسیونی تهیه نمودند. در دشت قهاوند استان همدان، نیز شوری خاک به‌کمک پردازش رقومی اطلاعات ماهواره لندست بررسی شد و نتایج نشان‌دهنده افزایش وسعت خاک‌های سدیمی به میزان ۹/۸ درصد در طی ۱۱ سال است. احمدیان و همکاران (۱۳۸۹) و دائم‌پناه و همکاران (۱۳۹۰)، به‌منظور تهیه نقشه شوری و سدیمی خاک سطحی از روشهای دورسنجی و زمین‌آماری استفاده نمودند و نتیجه گرفتند که در روش دورسنجی می‌توان با تعداد نقاط کمتر، صرفه جویی در وقت و هزینه به نقشه‌های دقیق‌تری دست یافت.

ولی‌پور و همکاران (۱۳۸۶) روند توسعه شوری و تخریب اراضی کشاورزی در منطقه شمس آباد استان قم را با بهره‌گیری از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، بازدیدهای صحرائی و بررسی نمونه‌های پروفیل خاک مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که طی ۴۷ سال گذشته، وسعت اراضی کشاورزی در منطقه حدود ۹/۵ برابر افزایش یافته که افزایش برداشت آب از منابع زیرزمینی را به‌همراه داشته و موجب افت سطح آب این ناحیه و نهایتاً افزایش شوری شده است. دادرسی سبزواری و پاک‌پرور (۱۳۸۶) با استفاده از داده‌های رقومی سنجنده TM ماهواره لندست مربوط به دو سری زمانی ۱۹۸۷ و ۲۰۰۱، به بررسی کمیت پیشروی بیابان در دشت سبزواری پرداختند. در این تحقیق از باندهای ۵، ۲ و PCA سوم تهیه شده از باندهای ۴، ۳ و ۲ برای تهیه نقشه طبقه‌بندی پنج‌گانه شوری استفاده گردید. شریفی‌کیا و افضلی (۱۳۹۱) طی پایش و تحلیل روند افزایش شوری خاک در مخروط افکنه دامغان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و پیمایشی و مقایسه تصاویر TM و ETM^+ در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۱ نتیجه گرفتند که

تعداد پیکسل‌های معرف شوری به میزان ۵۷/۶ درصد افزایش یافته است. گیوئی اشرف و همکاران (۱۳۹۳) طی پایش شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER به این نتیجه رسیدند که در دوره زمانی ۷ ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۳) از سطح اراضی غیر شور کاسته و بر مساحت اراضی شور افزوده شده است. که بیانگر تخریب خاک، کاهش بازدهی اراضی و پیشرفت بیابان‌زایی در منطقه است. نوحه‌گر و زارع (۱۳۹۱) به منظور استخراج پهنه‌های شوری خاک در منطقه خشک و نیمه‌خشک شهرستان داراب با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و مقایسه شوری این منطقه طی سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۰ به این نتیجه رسیدند که پهنه‌های با شوری زیاد، کاهش و پهنه‌های با شوری کم و متوسط افزایش یافته‌اند که نشان‌دهنده کارایی بالای فنآوری سنجنش از دور در آشکارسازی تغییرات است. تقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) در منطقه اردکان به منظور تهیه نقشه رقومی خاک از داده‌های ETM⁺ ماهواره لندست و دو تکنیک شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم بهره‌گیری نمودند و نتیجه گرفتند که مدل‌های درختی نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی، از دقت بالاتری برخوردار است. علوی‌پناه و همکاران (۱۳۸۶) با بررسی روش‌های مختلف در تعیین بهترین ترکیب باندی جهت استخراج اطلاعات از داده‌های ماهواره لندست مانند روش‌های ماتریس همبستگی، تعیین حد شاخص مطلوب OIF^۳، تحلیل مؤلفه‌های اصلی PCA^۴ و تجزیه و تحلیل نمودار دو بعدی داده‌ها، به این نتیجه رسیدند که انتخاب مناسب‌ترین باندها نه تنها بستگی به شرایط اقلیمی و منطقه جغرافیایی دارد بلکه بستگی زیادی به شرایط خاک و همچنین داده‌های ماهواره‌ای و نوع استفاده از اراضی دارد.

مسعودی (۱۳۸۰) با بررسی قابلیت تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی خاک‌های شور و قلیا، نشان داد که از جمله قابلیت‌های فنآوری سنجنش از دور افزودن سرعت، دقت و کاهش هزینه‌های بررسی خاک‌های شور است. عبدی‌نام (۱۳۸۳) در تهیه نقشه شوری خاک دشت قزوین، با قرار دادن میزان شوری خاک نقاط برداشت شده، بر روی مقادیر

³ Optimum Index Factor

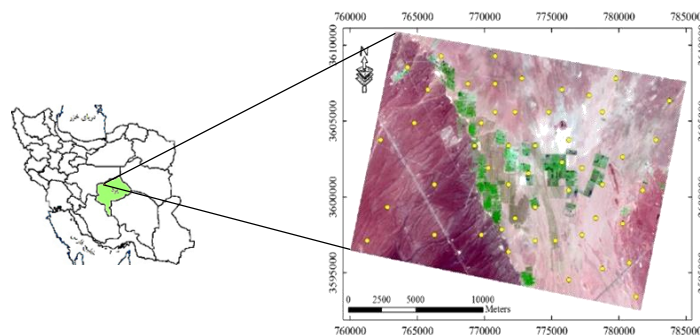
⁴ Principal Components Analysis

رقومی متناظر آن نقاط در باندهای ماهواره‌ای، نقشه مقادیر عددی شوری خاک را با بهره‌گیری از داده‌های رقومی باند هفت تصویر ماهواره‌ای لندست ارائه داد. بر طبق نتایج، این روش کمک زیادی را در تهیه نقشه شوری خاک نموده و امکان مطابقت طبقات شوری و مقادیر عددی شوری را فراهم ساخته است. همچنین مطابقت کلاس‌های مختلف شوری خاک با مشاهدات صحرایی و میزان هدایت الکتریکی، نشانگر دقت در تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از روش همبستگی است. خاک‌های شور به دلیل وجود املاح در سطح، دارای بازتاب بالا بر روی تصاویر ماهواره‌ای بوده که این موضوع در تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای کمک زیادی نموده و باعث تشخیص دادن این نوع از خاک‌ها از سایر خاک‌ها می‌شود. همچنین عواملی چون میزان رطوبت خاک، نوع پوشش سطحی خاک و ناهمواری‌های سطح خاک را در تفسیر چشمی به دلیل تاثیر در درصد بازتاب سطحی نباید از نظر دور داشت. با توجه به اینکه، همبستگی بین باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای، می‌تواند نقش بسیار مؤثری در تولید تصاویر رنگی کاذب مناسب جهت بارزسازی و جداسازی طبقات مختلف شوری خاک داشته باشد و همچنین، مطالعات چندانی در زمینه تلفیق روش‌های آماری و داده‌های ماهواره‌ای به منظور تهیه نقشه‌های شوری خاک در مناطق خشک کشور صورت نگرفته است، این پژوهش تلاش دارد تا با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و تلفیق روش‌های آماری و دورسنجی، میزان شوری خاک منطقه چاه افضل، واقع در استان یزد را ارزیابی و در ادامه اقدام به تهیه نقشه میزان شوری خاک، در این منطقه نماید.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه: منطقه مطالعاتی چاه افضل در محدوده جغرافیایی $30^{\circ} 32'$ عرض شمالی و $54^{\circ} 53'$ طول شرقی در حاشیه‌ی کویر سیاه کوه در فاصله ۳۰ کیلومتری شمال

شهرستان اردکان واقع شده است. کویر اردکان از شمال به ارتفاعات معراجی سیاه‌کوه و تپه‌های شنی، از شرق به کویر دره انجیر و ریگ زرین، از جنوب-شرق به کوه هریش، ارتفاعات گاریگون وچر، از غرب به نایین و ارتفاعات رشته کوه مرکزی و از شمال غرب به دق سرخ و تپه‌های ماسه‌ای محدود می‌گردد. این چاله هلالی شکل بین $10^{\circ} 53'$ تا $15^{\circ} 54'$ طول شرقی و $28^{\circ} 32'$ تا $10^{\circ} 33'$ عرض شمالی قرار دارد (امتحانی ۱۳۷۱). متوسط بارندگی سالانه $61/5$ میلی متر است که عمدتاً در دی‌ماه می‌بارد و عموماً در فصل تابستان فاقد بارندگی است. میزان تبخیر سالیانه 2789 میلی‌متر و مجموع ساعات آفتابی سالیانه 3280 ساعت است. رطوبت نسبی سالیانه این منطقه $39/8$ درصد و متوسط دمای سالانه $19/4$ درجه سانتیگراد است (آمار ایستگاه هواشناسی چاه افضل، ۱۳۸۶). اقلیم منطقه با توجه به آمار موجود، در سیستم طبقه‌بندی اقلیمی، در تقسیم‌بندی آمبرژه، در ردیف بیابانی معتدل و در تقسیم‌بندی دومارتن در ردیف مناطق فراخشک قرار می‌گیرد (خلیلی ۱۳۶۰). منطقه مذکور از زون ایران مرکزی است که سازندهای زمین‌شناسی از پرکامبرین تا کواترنر را شامل می‌شود. 17 درصد کل منطقه را بیرون‌زدگی‌ها تشکیل می‌دهد و آبرفت‌های دوران چهارم 83 درصد منطقه را شامل می‌شود. آبرفت‌های دوران چهارم شامل مخروط افکنه‌ها، واریزه‌ها، رسوبات دریاچه‌ای و نمکزارها هستند و رسوبات آن‌ها بیشتر شامل رسوبات گچ، مارن‌های شور و بادرفت‌ها هستند و در حواشی مخروط افکنه‌ها، بیشتر کنگلومرا، آندزیت و رسوبات نئوژن (نواحی اردکان و عقدا) دیده می‌شوند (امتحانی ۱۳۷۱). خاک‌های منطقه مورد مطالعه دشت‌های سیلابی و واریزه‌های بادبزنی شکل سنگریزه‌دار بوده و رژیم حرارتی و رطوبتی آن به ترتیب Hypertermic و Torric است و در رده‌بندی آمریکایی خاک این ناحیه، در رده Entisols و زیر رده Ortent قرار می‌گیرد (موسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۳۷۴).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

روش پژوهش

نمونه‌برداری خاک

به منظور بررسی خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه، تعداد ۵۰ نمونه خاک به روش نمونه‌برداری تصادفی در داخل شبکه‌های ۱×۱ کیلومتری از طریق حفر پروفیل‌هایی به عمق ۰-۱۵ سانتی‌متر از سطح خاک و با قطر ۵۰ سانتی‌متر، به میزان ۱۰۰۰ گرم از طریق گودال‌هایی به قطر ۵۰ سانتی‌متر برداشت شد. با انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه و انجام آزمایشات اولیه، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند اندازه ذرات خاک، هدایت الکتریکی (EC) عصاره اشباع، میزان pH خاک و واکنش نمونه‌های خاک با روش‌های استاندارد آزمایشگاهی، بررسی شد.

تصویر ماهواره‌ای

نمونه‌برداری صحرائی در تاریخ ۳۱ مرداد ماه سال ۱۳۸۶ صورت پذیرفت و سپس تصویر سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست همزمان با تاریخ نمونه‌برداری صحرائی، دریافت گردید. در جدول ۱ مشخصات تصویر مذکور ارائه شده است.

در ابتدا عملیات پیش‌پردازش بر روی تصویر ماهواره‌ای شامل تصحیحات رادیومتریک و هندسی جهت آماده‌سازی تصویر برای اجرای عملیات‌های پردازشی، انجام گردید. استفاده از نسبت‌های بانندی و انجام عملیات‌های جمع و یا تفریق بانندی از جمله

⁵ Electrical Conductivity

روش‌های پردازشی بر روی تصاویر ماهواره‌ای هستند که می‌توانند سبب بارزسازی تصاویر و تفکیک بهتر عوارض مورد بررسی بر روی تصویر شوند. بنابراین در این پژوهش از ۶ شاخص شوری خاک ($SI_1, SI_2, SI_3, BI, INT_1, NDSI$) (جدول ۲) جهت پردازش تصویر ماهواره‌ای استفاده شد.

در مرحله بعد، موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده، بر روی تصویر ماهواره‌ای مشخص گردید و میزان هدایت الکتریکی افق سطحی خاک نقاط مذکور با استفاده از برنامه ARC-GIS بر روی ۶ شاخص شوری خاک و ۸ باند تصویر ماهواره‌ای، همپوشانی شد. سپس با تلاقی دادن نقاط نمونه‌برداری بر روی تصاویر مورد بررسی، مقادیر طیفی هر یک از شاخص‌های مذکور براساس مختصات هر نقطه، به صورت جداول توصیفی استخراج و ارائه گردید. در ادامه، این جداول با استفاده از روش تحلیل عاملی^۶ در محیط نرم افزار SPSS تجزیه و تحلیل شد.

جدول ۱. مشخصات تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه

سنجنده	سکو	تاریخ	گذر	ردیف	قدرت تفکیک مکانی (متر)
ETM ⁺	لندست	۱۳۸۶/۵/۳۱	۱۶۲	۳۸	۳۰

تحلیل عاملی

تحلیل عاملی تکنیکی است که کاهش تعداد زیادی از متغیرهای وابسته به هم را به صورت تعداد کوچکتري از عامل‌ها امکان پذیر می‌سازد به طوری که در آن کمترین میزان از دست دادن اطلاعات وجود داشته باشد و هدف اصلی آن، خلاصه کردن داده‌هاست (زارع چاهوکی، ۱۳۸۹).

⁶ Factor Analysis

جدول ۲. متغیرهای مورد استفاده در مطالعه

متغیر	تعریف شاخص	معادله و خصوصیت باندی
BI	شاخص درجه روشنایی ^۷	$\sqrt{R^2 + NIR^2}$
INT ₁	شدت بین محدوده طیفی مرئی - مادون قرمز ^۸	$\frac{G + R}{2}$
NDSI	شاخص شوری استاندارد شده ^۹	$\frac{R - NIR}{R + NIR}$
SI ₁	شاخص شوری ^{۱۰}	$\sqrt{G \times R}$
SI ₂	شاخص شوری ^۲	$\sqrt{G^2 + R^2 + NIR^2}$
SI ₃	شاخص شوری ^۳	$\sqrt{G^2 + R^2}$
BAND ₁	مقادیر انعکاسی باند ۱	باند آبی
BAND ₂	مقادیر انعکاسی باند ۲	باند سبز
BAND ₃	مقادیر انعکاسی باند ۳	باند قرمز
BAND ₄	مقادیر انعکاسی باند ۴	باند مادون قرمز نزدیک
BAND ₅	مقادیر انعکاسی باند ۵	باند مادون قرمز میانی
BAND ₆₁	مقادیر انعکاسی باند ۱-۶	باند مادون قرمز حرارتی
BAND ₆₂	مقادیر انعکاسی باند ۲-۶	باند مادون قرمز حرارتی
BAND ₇	مقادیر انعکاسی باند ۷	باند مادون قرمز دور
		G: باند سبز
		R: باند قرمز
		NIR: باند مادون قرمز نزدیک

⁷ Brightness Index

⁸ Intensity within the VIS_NIR spectral range

⁹ Normalized Differential Salinity Index

¹ Salinity Index

در این تحلیل، عامل، متغیر جدیدی است که از طریق ترکیب خطی نمره‌های اصلی متغیرهای مشاهده شده بر پایه فرمول زیر برآورد می‌شود:

رابطه (۱)

$$F_j = \sum W_{ji} X_i = W_{j1} X_1 + W_{j2} X_2 + \dots + W_{jp} X_p$$

که در آن W بیانگر ضرایب نمره عاملی و P معرف تعداد متغیرها است.

به منظور استخراج عامل‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد که بر حسب مقدار و نوع واریانس که توسط متغیرهای هر عامل در مدل توجیه می‌شود، این روش‌ها متفاوت هستند. اساسی‌ترین این روش‌ها تجزیه مؤلفه‌های اصلی است. در این روش، عامل‌ها تمامی واریانس هر متغیر، از جمله واریانس مشترک با سایر متغیرهای مجموعه و نیز واریانس خاص متغیر را توجیه می‌کنند. بنابراین تعداد عامل‌ها در این روش از نظر تئوری باید با تعداد متغیرها برابر باشد زیرا واریانس هر متغیر باید توسط عامل‌ها تبیین شود. به عبارتی دیگر، در تجزیه مؤلفه‌های اصلی به تعداد متغیرها مؤلفه وجود دارد، ولی عامل‌هایی استخراج می‌شوند که بیشترین مقدار واریانس را تبیین کنند (زارع چاهوکی، ۱۳۸۹).

معیار مقدار ویژه، از جمله معیارهای مورد استفاده در استخراج عامل‌ها است. این معیار بیان می‌دارد که هر عامل شامل یک یا چند متغیر است. مجذورات بارهای یک عامل نشان دهنده درصدی از واریانس ماتریس همبستگی است که به وسیله آن عامل تبیین می‌شود و این مقدار با عنوان مقدار ویژه معرفی شده است و برای محاسبه آن کافی است که ضریب همبستگی متغیرها را با یک عامل به توان برسانیم و با هم جمع کنیم تا مقدار ویژه آن عامل به دست آید. هرچه مقدار ویژه یک عامل بیشتر باشد، آن عامل واریانس بیشتری را تبیین می‌کند. براین اساس تعداد عامل‌ها با توجه به مقدار ویژه هر عامل مشخص می‌شود و عامل‌هایی که مقدار ویژه‌ها بیشتر از یک باشد، به عنوان عامل‌های معنی‌دار در نظر گرفته می‌شود (زارع چاهوکی، ۱۳۸۹).

¹ Eigen value

رگرسیون چندگانه

در این روش مقادیر یک متغیر (متغیر وابسته y) از روی مقادیر دو یا چند متغیر دیگر - (متغیرهای مستقل X_1, X_2, \dots, X_p) برآورد می‌شود. این کار از طریق ساختن یک معادله خطی به شکل عمومی زیر انجام می‌شود.

$$y = b_0 + b_1(X_1) + b_2(X_2) + \dots + b_p(X_p)$$

رابطه (۲)

که در آن:

b_1, b_2, \dots, b_p : ضرایب رگرسیون جزئی^{۱۲}

b_0 : مقدار ثابت رگرسیون

X : متغیر مستقل

y : متغیر وابسته

یکی از روش‌های رگرسیون چندگانه، روش رگرسیون چندگانه مرحله‌ای^۳ است که در این روش متغیرهای مستقل براساس ملاحظات آماری، تک به تک وارد معادله شده و اگر نقش معنی‌داری در رگرسیون نداشته باشند از معادله خارج می‌شوند. پارامترهای همبستگی چندمتغیره R ، مجذور ضریب همبستگی چندمتغیره R^2 و ضریب همبستگی تعدیل شده R^2_{adj} ، شاخص‌های همبستگی چند متغیره هستند که به ترتیب همبستگی بین متغیر وابسته و متغیر پیش‌بینی شده بر اساس مدل، درصدی از متغیر وابسته به دست آمده از رابطه خطی و برآورد دقیق‌تر جامعه را نشان می‌دهند.

¹ Partial regression coefficients

¹ Stepwise Regression ³

درصد نشان داده شده توسط ضریب همبستگی تعدیل شده تنها حاصل از تاثیر واقعی متغیرهای مستقل مدل بر وابسته است و نه همه متغیرهای مستقل و بنابراین مقدار برآورد شده توسط آن قابل اعتماد است. این ضریب از رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$R_{adjusted}^2 = 1 - \frac{(1 - R^2)(N - 1)}{N - p - 1}$$

رابطه (۳)

که در آن:

N: تعداد کل مشاهدات

P: تعداد متغیرهای پیش بینی

$R_{adjusted}^2$: ضریب همبستگی تعدیل شده

خطای استاندارد^۱

به منظور برآورد میزان نزدیکی میانگین نمونه به میانگین جمعیت از خطای استاندارد استفاده می‌شود به بیان دیگر خطای استاندارد، انحراف معیار یک توزیع نمونه برداری آماری است که از طریق رابطه ۴ محاسبه می‌شود. هرچه همبستگی خطی بین متغیرهای X و Y بیشتر باشد، پراکندگی نقاط از خط رگرسیون کمتر بوده و خطای برآورد میزان کمتری را به خود اختصاص می‌دهد.

$$SE_x = \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

رابطه (۴)

که در آن:

SE: خطای استاندارد

δ : انحراف معیار نمونه

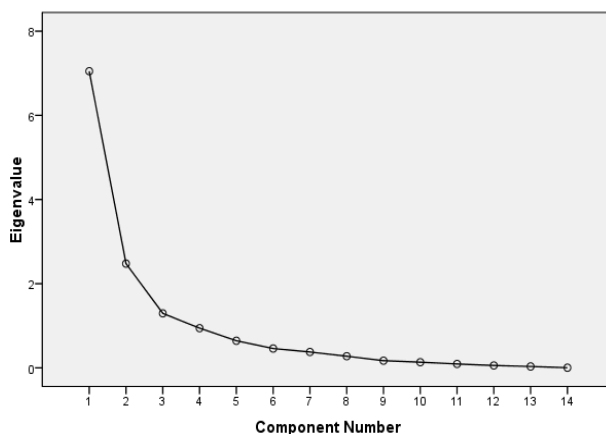
¹ Standard Error

n: تعداد کل نمونه

در این پژوهش با تعیین شاخص‌های مناسب برای تولید یک مدل بهینه جهت ارائه میزان شوری خاک، همبستگی متغیرهای به‌دست آمده از روش تحلیل عاملی با استفاده از روش رگرسیون مرحله‌ای، بررسی و روابط حاکم بین متغیرهای مذکور به‌دست آمد. در پایان با بررسی مدل‌های به‌دست‌آمده از روابط رگرسیونی، مدل بهینه‌ای جهت ارائه میزان شوری خاک در منطقه مورد مطالعه ارائه شد.

نتایج و بحث

در این پژوهش از ۱۴ متغیر جهت بررسی شوری خاک منطقه مورد مطالعه، استفاده شد و به‌منظور کاهش تعداد متغیرها در چارچوب شاخص‌های مرتبط و همسان، از روش تحلیل عاملی استفاده گردید. با توجه به اینکه تعداد عامل‌ها با توجه به مقدار ویژه هر عامل مشخص می‌شود و عامل‌هایی که معیار مقادیر ویژه آن‌ها بیشتر از یک باشد، به‌عنوان عامل‌های معنی‌دار در نظر گرفته می‌شود (زارع چاهوکی، ۱۳۸۹)، از بین شاخص‌های ارائه شده شاخص‌هایی که معیار مقادیر ویژه آن‌ها بالاتر از یک بود، جهت وارد سازی به مرحله بعد، انتخاب شدند (شکل ۲).



شکل ۲. طبقه‌بندی متغیرها به‌منظور انتخاب شاخص‌ها براساس مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک

با توجه به الگوریتم تجزیه مؤلفه اصلی در روش تحلیل عاملی، خروجی داده‌های ورودی در این روش از طریق نرم افزار SPSS، شاخص‌های انتخابی را در سه گروه طبقه‌بندی نمود. براین اساس، شاخص‌های SI_1 ، SI_3 ، INT_1 و باندهای ۱، ۲، ۳ و ۸ در گروه اول، شاخص‌های BI ، SI_2 و باندهای ۴ و ۵ در گروه دوم و شاخص $NDSI$ و باندهای ۶ و ۷ در گروه سوم قرار گرفتند. متغیرهای موجود در هر گروه به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده و ارتباط آن‌ها با مقدار هدایت الکتریکی خاک به‌عنوان متغیر وابسته، با بهره‌گیری از روش رگرسیون مرحله‌ای بررسی شد. در بین مدل‌های موجود، سه مدل- (روابط ۵ تا ۷) به‌منظور تهیه نقشه شوری خاک با توجه به ضریب همبستگی تعدیل شده (R^2_{adj}) و خطای استاندارد (SE) معرفی گردید.

$$EC=0.546BAND1-23.36BAND3+0.197Band8+19.7SI1- \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$12.137INT1-562.07$$

$$R^2_{adj}: 0.37 \quad SE:9.7$$

$$EC= 634.519 NDSI - 36.276 \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$R^2_{adj}: 0.57 \quad SE:5.3$$

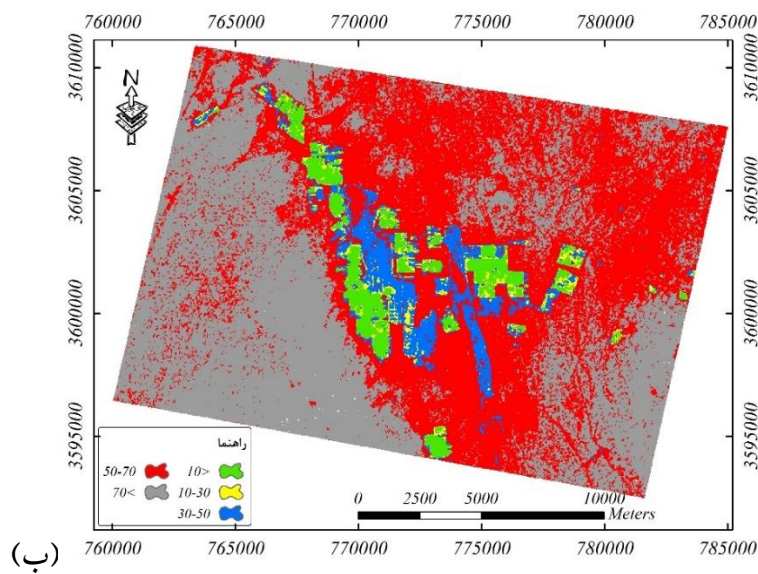
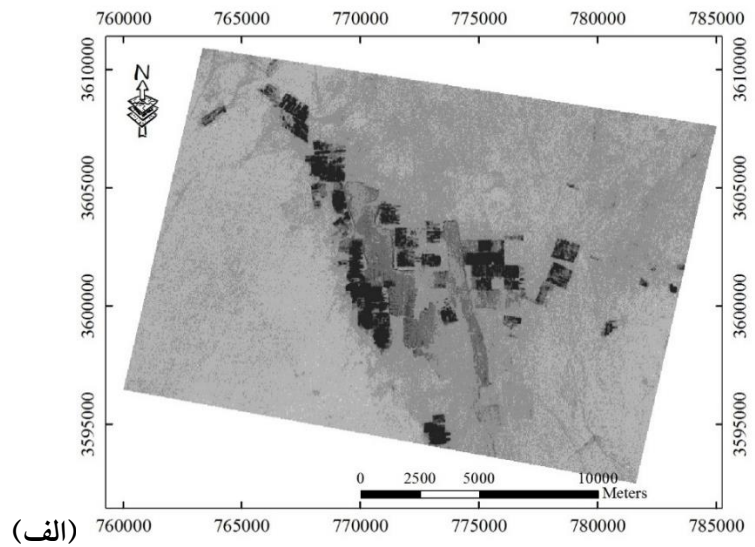
$$EC= -571.1b4+500b5+41.92 \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$R^2_{adj}: 0.45 \quad SE: 8.6$$

براساس نتایج نقشه‌های شوری خاک حاصل از سه مدل معرفی شده و مقادیر ضریب همبستگی و خطای استاندارد حاصل از این سه مدل، بهترین نقشه میزان شوری خاک منطقه مورد مطالعه، نقشه حاصل از رابطه ۲ است (شکل ۳). به‌طوری‌که براساس ضریب همبستگی ارائه شده در رابطه ۲ این مدل قادر به پیش‌بینی ۵۷ درصد از تغییرات شوری خاک در منطقه مورد مطالعه است. همچنین عرض از مبدأ منفی در مدل ۲ می‌تواند بیان‌کننده کم‌برآوردی مدل در تخمین شوری خاک باشد (نوروزی و همکاران، ۱۳۹۲).

برطبق نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، شوری خاک منطقه مورد مطالعه در ۵ گروه طبقه‌بندی شد، به‌طوری‌که در حدود ۴۵ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای بیشترین میزان شوری (بیش از ۷۰ د سی زیمنس بر متر) می‌باشد. بخش و سیعی از منطقه مورد

مطالعه دارای سطح شوری بالا می‌باشند که این میزان رقمی بالغ بر ۹۰ درصد از سطح منطقه می‌باشد (جدول ۳).



شکل ۳. نقشه شوری خاک منطقه مورد مطالعه؛ (الف) نقشه مطلق شوری (ds/m)، (ب)

نقشه طبقه‌بندی شده شوری خاک (ds/m)

جدول ۳. سطح اراضی شور منطقه مورد مطالعه

کلاس شوری	سطح اراضی شور (هکتار)	سطح اراضی شور (%)
<10	1244.518	3.75
10-30	521.9536	1.57
30-50	1800.836	5.42
50-70	14674.38	44.20
>70	14956.9	45.05

با توجه به مطالعات انجام گرفته شاخص‌های SI1، SI2، BI، INT1، SI3، SI2 جهت همبستگی با هدایت الکتریکی مناسب تشخیص داده شد که با نتایج شیرازی (۱۳۸۹) در بارزسازی سطح شوری مطابقت دارد. نوروزی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی برآورد شوری سطح خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، به منظور کاهش تعداد متغیرها و گروه‌بندی آن‌ها در چهار چوب شاخص‌های مرتبط و همسان، از روش تجزیه و تحلیل عاملی استفاده نمودند. در پژوهش مذکور، همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد بین باندهای ۱ تا ۷ تصاویر لندست با ضریب هدایت الکتریکی بیان گردید. به طوری که بالاترین ضرایب همبستگی بین هدایت الکتریکی خاک و باندهای ۱، ۲، ۳ و ۷ (به ترتیب ۰/۷۶، ۰/۷۵، ۰/۷۲ و ۰/۷۲) و کمترین آن در باند ۴ به مقدار ۰/۱۸ برآورد و باندهای ۶ و ۷ در گروه اول طبقه‌بندی گردیدند. با این وجود، در تحقیق حاضر همبستگی باند ۷ با ضریب هدایت الکتریکی در گروه سه قرار گرفته است.

نتیجه‌گیری

شوری خاک از جمله عوامل محدودکننده رشد گیاهان و تخریب اراضی است. از آنجایی که تعیین میزان شوری خاک، با استفاده از مشاهدات زمینی، به ویژه در مناطق وسیع و دور از دسترس نیازمند صرف زمان و هزینه زیاد است، بنابراین استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای در این زمینه و تلفیق آن با اطلاعات زمینی می‌تواند در افزایش دقت نقشه‌های

تولیدی نقش مؤثری را داشته باشد. با توجه به این‌که، روش ریاضی و یا رقومی دقیقی برای تهیه نقشه شوری خاک با استناد به تصاویر ماهواره‌ای در مناطق بیابانی وجود ندارد، ارائه روشی مناسب و با دقتی قابل قبول، جهت تهیه نقشه شوری خاک، می‌تواند به پژوهشگران در این زمینه کمک نماید. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که استفاده از مشاهدات زمینی در تلفیق با روش‌های آماری و شاخص‌های شوری خاک، می‌تواند مدلی مناسب را برای تهیه نقشه شوری خاک ارائه نماید. همچنین، با توجه به نقشه شوری به‌دست آمده از این پژوهش، هم‌جواری کلاس‌های شوری از نظر کمی با یکدیگر می‌تواند احتمال تبدیل کلاس‌های پایین به کلاس‌های مجاور بالاتر را به‌وجود آورد؛ به‌خصوص که اراضی تشکیل‌دهنده این دسته از کلاس‌ها، اراضی کشاورزی بوده و به‌علت شوری ثانویه در اثر عملیات آبیاری نادرست در معرض شور شدن هستند. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که این احتمال از طریق یک مطالعه سری زمانی، مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد و در صورت صحت احتمال مطرح شده، رویکردهای مدیریتی مناسب برای جلوگیری از افزایش روند تخریب خاک در این منطقه اتخاذ شود.

منابع

- آمار ایستگاه هواشناسی چاه افضل، (۱۳۸۶)، سازمان هواشناسی کشور.
- احمدیان، مهدی، مجتبی پاک پرور و داوود عاشورلو، (۱۳۸۹)، بررسی تغییرات شوری خاک به کمک پردازش رقومی اطلاعات ماهواره لندست در دشت قهاوند (استان همدان)، مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۴، شماره ۲، صفحه ۱۹۱ - ۱۷۹.
- اسفندیاری، مطهره و محمدعلی حکیم‌زاده اردکانی، (۱۳۸۹)، ارزیابی وضعیت بالفعل بیابانزایی، با تأکید بر تخریب منابع خاک براساس مدل IMDPA (مطالعه موردی: آباده‌طشک- فارس)، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۱۷، شماره ۴، صفحه ۶۳۱-۶۲۴.

امتحانی، محمد حسن، (۱۳۷۱)، بررسی بیو اکولوژیک جنگل دست کاشت گز چاه افضل اردکان یزد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی گرگان.

تاج‌گردان، تکتم، شمس‌الله ایوبی، شعبانو شتابی و فرهاد خرمالی، (۱۳۸۸)، تهیه نقشه شوری سطحی خاک با استفاده از داده‌های دورسنجی ETM⁺ (مطالعه موردی: شمال آق‌قلا، استان گلستان)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۶، شماره ۲، صفحه ۱۷ - ۱.

تقی‌زاده مهرجردی، روح‌الله، فریدون سرمدیان، محمود امید، غلامرضا ثواقبی، محمدجواد روستا و محمد حسن رحیمیان، (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی شوری خاک با استفاده از تکنیک زمین‌آمار و دستگاه القاءگر الکترومغناطیس در منطقه اردکان، مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) جلد ۲۶، شماره ۴، صفحه ۳۸۰ - ۳۶۹.

تقی‌زاده مهرجردی، روح‌الله، فریدون سرمدیان، محمود امید، غلامرضا ثواقبی، نورایز تومانیان، محمدجواد روستا و محمد حسن رحیمیان، (۱۳۹۲)، مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم در تهیه نقشه رقومی خاک در منطقه اردکان، مجله تحقیقات آب و خاک در ایران، دوره ۴۴، شماره ۲، صفحه ۱۸۲ - ۱۷۳.

خلیلی، علی، (۱۳۶۰)، شناخت اقلیمی استان یزد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، چاپ اول، ۱۱۶ صفحه.

دادرسی سبزواری، ابوالقاسم، و مجتبی پاکپور، (۱۳۸۶)، بررسی روند بیابان‌زایی به روش سنجش‌های از دور و نزدیک در اراضی دشت سبزواری، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۱۴، شماره ۱، صفحه ۵۲ - ۳۳.

دادرسی، ابوالقاسم، مجتبی یمانی، مجتبی پاکپور و زهرا داورزنی، (۱۳۸۵)، بررسی روند تغییرات شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سامانه‌های

- اطلاعات جغرافیایی در ناحیه گرم و خشک جنوب شرقی شهرستان سبزوار، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۴، شماره ۷، صفحه، ۱۷۳-۱۸۴.
- دائم پناه، را ضیه، غلامحسین حق نیا، امین علیزاده و علیرضا کریمی کارویه، (۱۳۹۰)، تهیه نقشه شوری و سدیمی خاک سطحی با روش‌های دورسنجی و زمین‌آماری در جنوب شهرستان مه ولات، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دوره ۲۵، شماره ۳، صفحه ۸۰۵-۴۹۸.
- دشتکیان، کاظم، مجتبی‌پاک پرور و جلال عبداللهی، (۱۳۸۷)، بررسی روش‌های تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست در منطقه مروست، مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۱۵، شماره ۲، صفحه ۱۵۷-۱۳۹.
- زارع چاهوکی، محمدعلی، (۱۳۸۹)، روش‌های تحلیل چند متغیره در نرم افزار SPSS، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۳۶۰ صفحه.
- شریفی کیا، محمد و عباسعلی افضلی، (۱۳۹۱)، پایش و تحلیل روند افزایش شوری خاک در مخروط افکنه دامغان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و پیمایشی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سوم، صفحه ۸۶-۷۳.
- شیرازی، میترا، غلامرضا زهتابیان، و حمیدرضا متین‌فر، (۱۳۸۹)، بررسی قابلیت شاخص‌های مختلف دورسنجی در بارزسازی پوشش‌های سطح زمین در مناطق خشک (مطالعه موردی: نجم-آباد ساوجبلاغ)، مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۱۷، شماره ۲، صفحه ۲۷۵-۲۵۶.
- عبدی نام، علی، (۱۳۸۳)، بررسی تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از ایجاد همبستگی بین داده‌های ماهواره‌ای با مقادیر عددی شوری خاک در دشت قزوین، مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، دوره ۱۷، شماره ۳، صفحه ۳۸-۳۳.
- علوی پناه، سیدکاظم، (۱۳۷۹)، ارزیابی کارایی باندهای ماهواره لندست TM در مطالعات کویرهای ایران، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۵۳، شماره ۱، صفحه ۷۸-۶۷.

علوی پناه، سید کاظم، امیر هوشنگ احسانی و پرویز امیدی، (۱۳۸۶)، بررسی بیابان‌زایی و تغییرات اراضی پلائیای دامغان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چند زمانه و چند طیفی. مجله بیابان، دوره ۹، شماره ۱، صفحه ۱۵۴ - ۱۴۳.

گیوئی اشرف، زهرا، محمدعلی حکیم زاده، محمد زارع، زهره ابراهیمی خوسفی و کاظم دشتکیان، (۱۳۹۳)، پایش شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER برای ارزیابی بیابان‌زایی در دشت مروست، استان یزد. مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۷، شماره ۴، صفحه ۶۱۶ - ۶۰۳.

متین فر، حمید رضا، سید کاظم علوی پناه، عباس ملکی و احمد کریمی، (۱۳۸۵)، تفکیک‌پذیری خاکهای مناطق خشک با استفاده از داده‌های سنجنده LISS-III: مطالعه موردی: منطقه آران و بیدگل، پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی. دوره ۶، شماره ۴، صفحه ۳۷ - ۲۳.

مسعودی، مسعود، (۱۳۸۰)، بررسی قابلیت تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی خاک‌های تحت تأثیر شوری و قلیائیت، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۱۳، شماره ۳، صفحه ۲۷۷-۲۶۵.

موسسه تحقیقات خاک و آب، (۱۳۷۴)، نقشه گزارش ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان یزد.

نوحه گر، احمد و غلامرضا زارع، (۱۳۹۱)، استخراج پهنه‌های شوری خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از داده‌های سنجنش از دور (مطالعه موردی: شهرستان داراب)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره اول، صفحه ۶۳ - ۴۹.

نوروزی، علی اکبر، مهدی همایی و عباس فرشاد، (۱۳۹۲)، برآورد شوری خاک سطحی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست: مقایسه آمار کلاسیک با مدل‌های آمار مکانی، نشریه مرتع و آبخیزداری، دوره ۶۶، شماره ۴، صفحه ۶۲۰-۶۰۹.

ولی پور، مژگان، مصطفی کریمیان اقبال، محمد جعفر ملکوتی و امیر حسین خوش‌گفتارمنش، (۱۳۸۶)، روند توسعه شوری و تخریب اراضی کشاورزی در

منطقه شمس آباد استان قم، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۴۶، صفحه ۶۹۱ – ۶۸۳.

- Abdelfattah, M., Shahid, Sh. and Othman, Y., (2009), Soil salinity mapping model developed using RS and GIS: A case study from Abu Dhabi, United Arab Emirates, *European Journal of Scientific Research*, 26(3): 342-351.
- Alavipanah, s.k., (1997), Study of salinity in the Ardakan area (Iran) based upon field observations, remote sensing and GIS, university of Gent (ph. D. Thesis), Pp 299.
- Feizi Zadeh, B., Jafari, F. and Nazmfar, H., (2008). Application of remote sensing data in change detection of urban land uses: (Case study: Green spaces in Tabriz), *Journal of Fine Art*, 34: 17-24.
- Fernandez-Buces. N., C. Siebe., S. Cram. and Palacio, J., (2006), Mapping soil salinity using a combined spectralresponse index for bare soil and vegetation: A case study in the former lake Texcoco, Mexico, *Journal of Arid Environments* 65: 644–667.
- Hakimzadeh Ardakani, M.A. and Vahdati, A.R., (2018), Monitoring of organic matter and soil salinity by using IRS - LissIII satellite data in the Harat plain, of Yazd province, *DESERT*, 23(1): 1-8.
- Jian-li. D., W. Man-chun. and Tiyip, T., (2011). Study on Soil Salinization Information in Arid Region Using Remote Sensing Technique, *Journal of Agricultural Sciences in China*, 10(3): 404- 411.
- Liu, H., Zhou, CH., Cheng, W., Long, E. and Li, R., (2008), Monitoring sandy desertification of Otindag sandy land based on multi-date remote sensing images. *Acta Ecologica Sinica*, 28(2): 627–635.
- Metternicht, G. and Zinck, J., (2003), Remote sensing of soil salinity potentials and constraints, *Journal of Remote Sensing of Environment*, 85: 1 –20.
- Verma, K.S., Saeena, R.K., Barthwal, A.K. and Deshmukh, S. N., (1994), Remote sensing technique for Mapping salt affected soils. *International journal of remote sensing*, 15: 1901–1914.
- Running, S.R., Pierce, L.L. and Hunt, E.R., (2005), A remote sensing based vegetation classification logic for global remote land cover analysis, *Ecological Monographs*, 67: 251-271.
- Wu, J., Vincent, B., Yang, J., Bouarfa, S. and Vidal, A., (2008), Remote sensing monitoring of changes in soil salinity: A case study in Inner Mongolia, China. *Journal of Sensors*, 8: 7035-7049.
- Yu. R.T., Liu, Y., Xu., C., Zhu., Q., Zhang., Z., Qu., X. and Liu, C., (2010), Analysis of salinization dynamics by remote sensing in Hetao Irrigation District of North China, *Journal of Agricultural Water Management*, 97: 1952–1960.