



تعیین فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک در تفکیک رخساره‌های کویری براساس روش میانگین هندسی و تجمیع لایه‌های اطلاعاتی سنجنده ASTER (مطالعه موردی: پلایای طبس)

محمد حسن زاده نفوتی^۱، زهره ابراهیمی خوسفی^{۲*}، مسلم چابک بلداجی^۳، محسن ابراهیمی خوسفی^۴

۱. استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میبد

۲. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کاشان

۳. کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میبد

۴. دانشجوی دکتری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۵/۲۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۵

چکیده

تهیه نقشه دقیق از ساختارهای زمین‌شناسی، در مدیریت سرزمین اهمیت بسزایی دارد. بسیاری از این ساختارها در مناطق خشک و بیابانی منشأ رسوبات بادی، غبار و ذرات معلق در هوا به‌شمار می‌آیند. افزایش روزافزون توان تفکیک سنجنده‌ها و دسترسی آسان به آنها، کمک شایانی به مطالعه مناطق بیابانی کرده است. هدف پژوهش حاضر، تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در تفکیک رخساره‌های کویری براساس روش میانگین هندسی و تجمیع لایه‌های اطلاعاتی سنجنده ASTER است. به‌منظور انجام پژوهش حاضر از تصویر ماهواره‌ای استر مربوط به تاریخ ۲۳ ژوئن سال ۲۰۱۰ استفاده شد. ابتدا ۴۰ نمونه از خاک سطحی منطقه مطالعاتی برداشت شد و مؤلفه‌های مختلف خاک‌شناسی (آنیون‌ها، کاتیون‌ها، بافت، رطوبت و pH) در آزمایشگاه تجزیه و تحلیل شدند. به‌منظور بررسی اثر توپوگرافی بر شکل رخساره‌ها از مدل رقومی ارتفاع بهره گرفته شد. ارزش پیکسل‌ها در باندهای مختلف در محل نمونه‌های آموزشی (۲۶ نمونه) استخراج شد و سپس با استفاده از روش رگرسیون چندگانه خطی اقدام به برپایی مدل‌های همبستگی شد. با استفاده از مدل‌های رگرسیونی در محل نقاط شاهد (۱۴ نمونه)، مقادیر تخمینی در این نقاط محاسبه و صحت مدل‌ها ارزیابی گردید. با اعمال مدل‌ها روی باندهای مرتبط، نقشه مربوط به هر مؤلفه تهیه و پس از استانداردسازی با استفاده از روش تفکیک تراکمی طبقه‌بندی شدند. صحت طبقه‌بندی نقشه‌های تولیدشده براساس نقشه واقعی زمینی برآورد گردید. سپس با استفاده از روش میانگین هندسی و تجمیع، لایه‌های اطلاعاتی تلفیق شدند. درنهایت، ارزیابی صحت نقشه‌های خروجی نیز صورت گرفت. نتایج تحقیق حاضر حاکی از نبود رابطه معنادار بین مؤلفه‌های سدیم، کربنات، هدایت الکتریکی خاک و توپوگرافی با داده‌های ماهواره‌ای در منطقه مطالعاتی است. همچنین نتایج نشان دادند که گرچه براساس مدل‌های تخمینی رس، سیلت، قلیایی‌بودن، رطوبت و استفاده از رویکرد ادغام رخساره‌هایی که بازتاب طیفی مشابه دارند می‌توان حداکثر تا ۴ رخساره را در منطقه مطالعاتی تفکیک کرد، اما براساس روش میانگین هندسی و با استفاده از اثر جداگانه مؤلفه آهک و اثر متقابل مؤلفه‌های بیکربنات-آهک، پتاسیم-آهک، و بیکربنات-آهک-پتاسیم با صحت کلی بیش از ۵۳ درصد می‌توان ۵ رخساره را تفکیک کرد.

کلیدواژه‌ها: رخساره، میانگین هندسی، تجمیع، ژئومرفولوژی، پلایا، طبس.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: یزد، میدان شهدای محراب، بولوار مدرس، خیابان ظفر، شهرک نیروی انتظامی، فاز ۲، کوچه مقداد. تلفن: ۰۹۱۳۹۶۷۰۸۲۲

۱- مقدمه

تغییر و تحول مناطق بیابانی در طول زمان منجر به ایجاد لندفرم‌هایی به نام رخساره‌های ژئومورفولوژی می‌شود (احمدی، ۱۳۸۷). بررسی کانتنا^۱ در خاک با بهره‌گیری از اطلاعات دقیق رخساره‌های ژئومورفولوژی به منظور تفکیک گوناگونی‌های مکان‌دار منابع خاک، شناسایی بهتر منابع بیابانی را امکان‌پذیر می‌سازد. تهیه نقشه دقیق از ساختارهای زمین‌شناسی اهمیت بسزایی در مدیریت سرزمین دارد. بسیاری از این ساختارها در مناطق خشک و بیابانی، منشأ رسوبات بادی، غبار و ذرات معلق در هوا به‌شمار می‌آیند. اهمیت پلایا به دلیل تأثیرات متنوعی است که از نظر جریان‌های هیدرولوژیکی و روابط آب در خاک با نواحی حاشیه‌ای خود دارند. از این‌رو در مدیریت اراضی حاشیه‌ای نمی‌توان پلایا را نادیده گرفت. البته تلاش برای شناسایی و تفکیک ریخت‌شناسی پلایا، جدای از نقش آن در مدیریت اراضی، به‌عنوان اقدامی برای پدیده‌ای طبیعی درخور توجه و تأمل است و جزئی از دامنه علوم قلمداد می‌شود. پایش و نظارت مستمر تغییرات چهره پلایا که به «رخساره‌های پلایا» معروفاند، جزئی از این فرایند علمی است که تغییرات کوتاه‌مدت چهره زمین را در مناطق کویری و بیابانی نشان می‌دهد. استفاده از فناوری سنجش از دور و به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای، اغلب موجب کاهش هزینه و افزایش دقت و سرعت می‌گردد و بر اهمیت این فناوری افزوده می‌شود. فناوری سنجش از دور، از جمله ابزارهای نوینی است که دستیابی و استخراج اطلاعات پایه برای مدیریت منابع زمین را میسر می‌سازد (علوی‌پناه، ۱۳۸۲). اهمیت انجام تحقیقات مذکور این است که پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی و تفکیک رخساره‌ها براساس مؤلفه‌های مختلف شوری و رطوبت خاک، می‌توان از آن لایه‌ها برای تعیین کاربری اراضی (از نظر صنعتی، معدنی و اکوتوریست)، تشخیص مناطق در معرض شوری (از طریق مقایسه با نقشه‌هایی که در گذشته برای منطقه مطالعاتی تهیه شده‌اند) و

تشخیص مناطق مستعد بهره‌برداری نمک استفاده کرد. کارشناسان نیز می‌توانند به‌منظور ارائه راهکارهای پیشنهادی مناسب برای عرصه‌های بیابانی و شور از چنین نقشه‌هایی استفاده کنند و با اعمال روش‌های مدیریتی مناسب از گسترش و پیشروی اراضی شور جلوگیری کنند. با توجه به گسترش اراضی شور و در معرض شوری استان یزد و اهمیت پلایای طبس از نظر تنوع اراضی شور و رخساره‌های کویری، این منطقه مورد توجه قرار گرفت. به دلیل وسعت و دشواری تهیه نقشه به‌روش پیمایش زمینی، در پژوهش حاضر از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده ASTER^۲ استفاده شد.

هدف اصلی تحقیق حاضر تعیین مهم‌ترین فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک به‌منظور تفکیک رخساره‌های کویری براساس روش میانگین‌هندسی و تجمیع لایه‌های اطلاعاتی سنجنده ASTER است. گوتی‌یرز و جانسن^۳ (۲۰۱۰) در پژوهش خود در شمال مکزیکو، اطلاعات مربوط به شوری اراضی را در ۶ تصویر لندست استخراج و رفتار طیفی نواحی با شوری مختلف را بررسی کردند. در آن تحقیق از تبدیل طیفی Tasseled cap، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و نسبت‌گیری طیفی چندگانه استفاده شد. عبدالفتاح و دیگران (۲۰۰۹) با استفاده از تصاویر لندست ETM+^۴ مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۲ در منطقه ساحلی امارات متحد عربی، شوری خاک را بررسی کردند. نتایج نشان دادند که دقت بررسی شوری با استفاده از داده‌های سنجش از دور بالاتر از مشاهده‌های زمینی و وقت و هزینه آن پایین‌تر است. وو^۵ و دیگران (۲۰۰۶) با

۱. خاک‌هایی که از نظر مواد آلی و پوشش گیاهی، مواد مادری و زمین‌شناسی، رمان و سایر عوامل خاکساز دارای شرایط مشابهی هستند اما از لحاظ پستی و بلندی و شرایط زه‌کشی با هم تفاوت دارند.

2. Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer
3. Gutierrez and Johns
4. Enhanced Thematic Mapper Plus
5. Wu

استفاده از تصاویر ماهواره‌اندست گرفته‌شده در سال‌های ۱۹۷۳، ۱۹۷۷، ۱۹۸۸، ۱۹۹۱، ۱۹۹۶، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶ چگونگی تغییرات شوری خاک در منطقه‌هتایو در مونگولیای چین را با هدف مرتبط کردن این تغییرات با زمین و آب و به‌منظور دریافت اطلاعات برای کنترل شوری بررسی کردند. یافته‌ها نشان دادند که سنجش از دور، ابزاری مفید برای بررسی شوری خاک و بهبود مدیریت آب و زمین است. فریفته و همکاران (۲۰۰۷) به‌منظور آنالیز کمی انعکاس طیفی خاک‌های شورشده از دو روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی^۱ (PLSR) و شبکه‌عصبی مصنوعی^۲ (ANN) استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که هر دو روش قابلیت بالایی برای تخمین و طراحی نقشه‌شوری خاک دارند و ارتباط بین شوری خاک و انعکاس خاک را می‌توان به‌وسیله‌تابع خطی تخمین زد. خانامانی و همکاران (۱۳۹۰) به‌منظور ارزیابی وضعیت خاک دشت سگری اصفهان از فناوری سنجش از دور و روش کریجینگ استفاده کردند. آنالیز آماری تحقیق آنها نشان داد که همبستگی معناداری بین شاخص خاک و اطلاعات طیفی سبز و قرمز و شاخص درخشندگی وجود دارد، در نتیجه تهیه نقشه شاخص خاک به‌کمک این باندها امکان‌پذیر است. مقایسه دقت نقشه‌های تولیدشده نشان داد که نقشه حاصل از تصویر ماهواره‌ای، دقت بیشتری برای تهیه نقشه شاخص خاک دارد. دائم‌پناه و همکاران (۱۳۹۰) به‌مقایسه روش‌های دورسنجی و زمین‌آمار در تهیه نقشه شوری و سدیمی خاک در جنوب شهرستان مه و لات پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که به‌منظور افزایش دقت در نقشه‌های به‌دست‌آمده از روش کریجینگ باید تعداد نقاط زیادتری برداشت شود، درحالی‌که در روش دورسنجی می‌توان با تعداد نقاط کمتر، و صرفه‌جویی در وقت و هزینه به نقشه‌های دقیق‌تری دست یافت. شیرازی و همکاران (۱۳۸۹) با مقایسه اطلاعات باندهای سنجنده‌های ASTER و

LISS-III به‌منظور طبقه‌بندی خاک نشان دادند که از ترکیب باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک و میانی سنجنده LISS-III با کلیه باندهای ASTER می‌توان این مناطق را دقیق‌تر طبقه‌بندی کرد. ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۹) در برآورد مؤلفه‌های شوری خاک با استفاده از تبدیل طیفی تصاویر ETM⁺ و ASTER به رادیانس و بازتابش سطحی در منطقه ابرکوه نشان دادند که اثر تبدیل‌های طیفی بر ارتقای معیارهای مدل همبستگی در یون‌های مختلف متفاوت است و به‌طور کلی نشان‌دهنده بهبود دقت نتایج مدل‌های برآورد مؤلفه‌های شوری خاک پس از تبدیل مقادیر ثبت‌شده به‌وسیله سنجنده به بازتابش سطحی است. تاج‌گردان و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهش خود نشان دادند که استفاده از داده‌های رقومی سنجنده ETM⁺ و مشتقات آن می‌تواند در پهنه‌بندی و توجیه تغییرات شوری مؤثر باشد. هاشمی و همکاران (۱۳۹۰) به‌منظور ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی منطقه زهک سیستان از دو روش طبقه‌بندی بیابان‌زایی اصلاح‌شده ایرانی^۳ (MICD) و فائو یونپ^۴ استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها بیانگر کلاس متوسط شدت بیابان‌زایی در کل منطقه است. دیپائولا^۵ و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از دو مدل هدررفت جهانی خاک اصلاح‌شده^۶ (RUSLE) و تهیه نقشه مناطق حساس به بیابان‌زایی^۷ (ESAs) آثار مختلف عوامل بیابان‌زایی را در عرصه‌های کوهستانی، تپه‌ای و پایین‌دست حوزه رودخانه توسیکانو بررسی کردند. نتایج پژوهش مذکور نشان داد که در بخش کوهستان بین فرسایش و خطر بیابان‌زایی همبستگی زیادی وجود ندارد و بخش تپه‌ای دارای خطر فرسایش و بیابان‌زایی زیادی است؛ در قسمت پایین‌دست

1. Partial Least Squares Regression
2. Artificial Neural Network
3. Modified Iranian Classification of Desertification
4. FAO-UNEP
5. Depaola
6. Revised Universal Soil Loss Equation
7. Environmentally Sensitive Areas

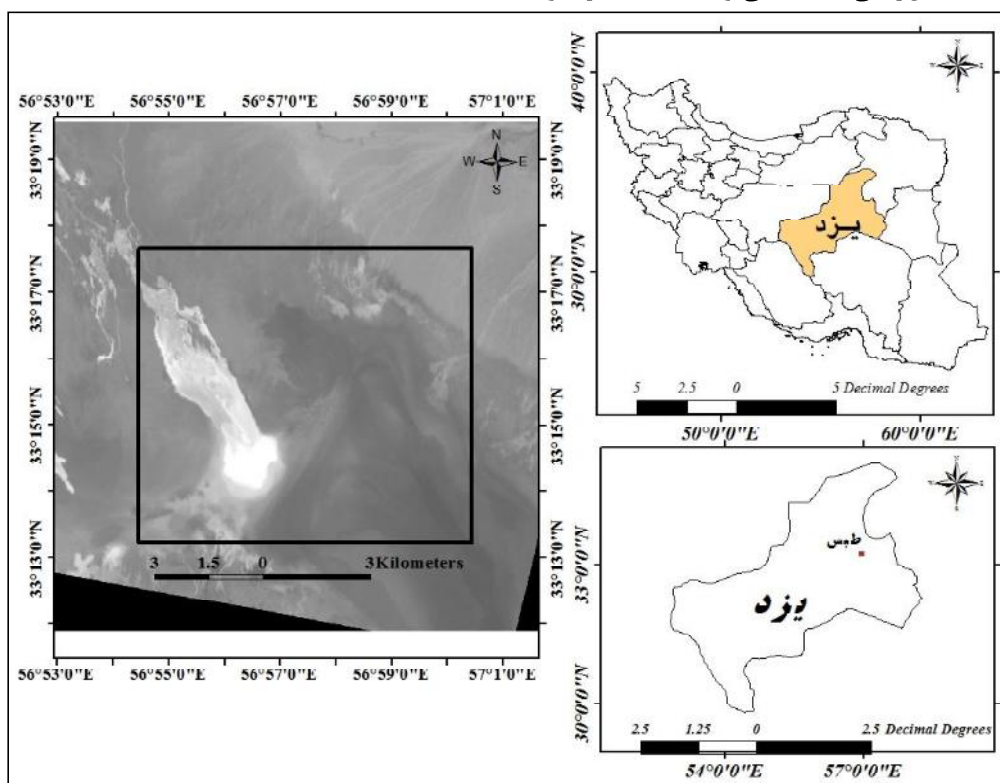
رخساره‌هاست. از این رو در پژوهش حاضر ضمن در نظر گرفتن نقش جداگانهٔ هریک از فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک به منظور تفکیک رخساره‌های کویری، از روش میانگین هندسی و تجمیع لایه‌های اطلاعاتی استاندارد شده برای شناسایی رخساره‌ها استفاده شد، که کاملاً نوآورانه است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، کویر طبس واقع در استان یزد در محدوده‌ای با وسعت ۱۳۰۶۳/۷ هکتار گستره طول جغرافیایی ۵۶°۵۴'۰۰" تا ۵۷°۱۰'۰۰" شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳°۱۳'۰۰" تا ۳۳°۱۸'۳۰" شمالی واقع شده است (شکل ۱).

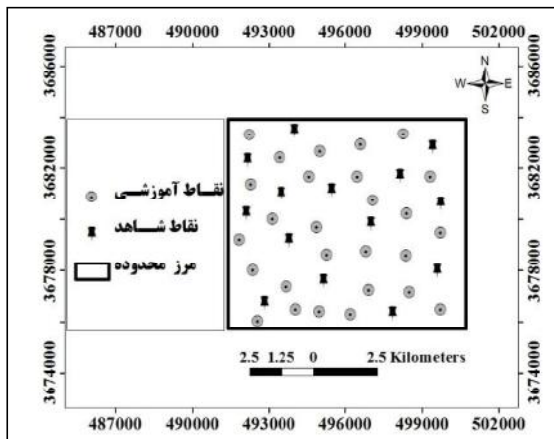
رودخانه نیز خطر بیابان‌زایی مربوط به اثر انسان افزایش می‌یابد. همان‌گونه که بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد، بیشتر پژوهشگران به منظور پهنه‌بندی خاک‌های شور در مناطق خشک اقدام به تهیه نقشه جداگانهٔ تغییرپذیری ویژگی‌های خاک کرده‌اند و کمتر به نقش اثر متقابل یا تلفیقی عوامل تأثیرگذار پرداخته‌اند. بسیاری از مدل‌های بیابان‌زایی، از قبیل مدل اروپایی تهیه نقشه حساسیت اراضی به بیابان‌زایی^۱ (MEDALUS)، مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی^۲ (IMPDA)، MICD و مانند اینها مبتنی بر دو روش جمع یا میانگین هندسی است، اما هدف از به‌کارگیری آنها ارزیابی و طبقه‌بندی مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب از لحاظ وضعیت بالفعل بیابان‌زایی است. نخستین گام در ارائه مدل‌های منطقه‌ای بیابان‌زایی، شناسایی واحدهای کاری و



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در الف) ایران، ب) استان یزد و ج) کویر طبس

1. Mediterranean Desertification and Land Use
2. Iranian Model for Desertification Potential Assessment

یکی از مرکز و سه نمونه در سه جهت با زاویه ۱۲۰ درجه و در فاصله ۲۰ متری از مرکز) و سپس مخلوط کردن آنها و تهیه یک نمونه یکسان انجام شد. نمونه‌ها پس از برداشت برای تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاک‌شناسی ارسال و تمامی پارامترهای خاک نظیر درصد رطوبت خاک، شوری خاک، غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول (سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، کلر، کربنات، بیکربنات)، درصد آهن، درصد رطوبت، درصد گچ، بافت خاک، pH و EC اندازه‌گیری شدند. مختصات نقاط نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه GPS^۱ به‌منظور انتقال روی لایه‌های اطلاعاتی موجود در بانک اطلاعاتی ثبت شدند. پراکنش نقاط تصادفی و برداشتی به‌روش میدانی در منطقه مطالعاتی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. پراکنش نقاط برداشتی به‌روش میدانی در پلاپای طبس

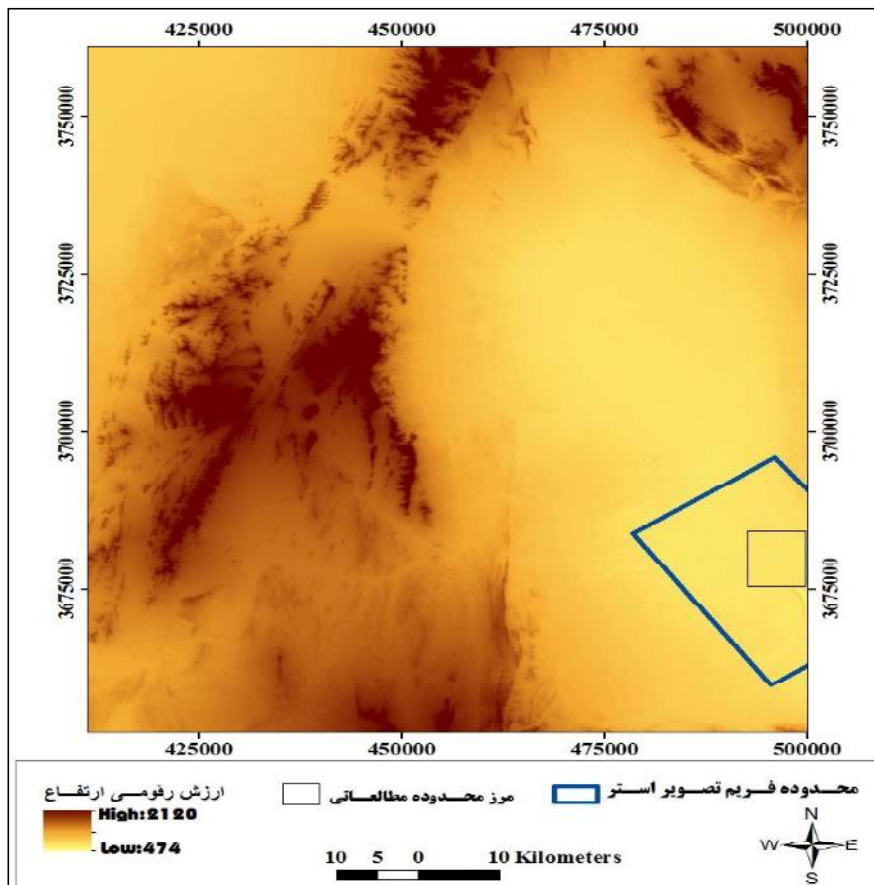
به‌منظور بررسی نقش وضعیت پستی و بلندی منطقه مطالعاتی در تفکیک رخساره‌های کویری طبس از ارزش ارتفاعی نقاط نمونه‌برداری مدل رقومی ارتفاع که از تصویر استر منطقه مطالعاتی تهیه شده بود استفاده گردید (شکل ۳).

گودترین و بلندترین نقطه در این منطقه به‌ترتیب معادل ۴۸۸ و ۷۳۱ متر از سطح دریا و ارتفاع متوسط منطقه نیز ۶۰۹/۵ متر از سطح دریاست. منطقه مطالعه‌شده از لحاظ ساختاری و زمین‌شناختی بخشی از بلوک طبس است که بیشترین واحدهای منطقه، آبرفت‌های جوان موجود در کف رودها و آبراهه‌هاست. بخش بزرگی از ناحیه طبس در شمال‌غرب بلوک طبس واقع شده که شامل کوه‌های شتری و حوضه فرونشست فشارشی دشت طبس است. حداکثر، حداقل و متوسط دمای سالانه منطقه مطالعاتی به‌ترتیب ۴۹/۹، ۹- و ۲۱/۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۸۴ میلی‌متر است. جهت وزش بادهای غالب، شمال‌شرقی و شمال‌غربی است. اقلیم منطقه براساس روش دومارتن (با ضریب خشکی ۲/۶) گرم و خشک است و وجود رسوبات تبخیری یعنی تشکیلات گچی و نمکی همراه با رس شور از دیگر ویژگی‌های این کفه به‌شمار می‌آید. حاشیه این کویر کاملاً تحت تأثیر میزان رطوبت و آبداری کویر و فرسایش ناشی از اثر باد است، به همین دلیل هنگام کاهش سطح ایستابی، حاشیه کویر تا حدودی رطوبت خود را از دست می‌دهد و به‌شکل زمین شخم‌خورده و گل‌کلمی می‌شود.

۲-۲- مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام تحقیق حاضر بخشی از کویر طبس با مساحت ۱۳۰۶۳/۷ هکتار در نظر گرفته شد. ابتدا با استفاده از تصاویر گوگل‌ارث، تصاویر رنگی کاذب و بازدید اولیه میدانی ۵ رخساره حاشیه مرطوب، پف‌کرده نمکی، سطوح تیره و چسبناک، تراوش نمک در اضلاع، و پلی‌گون‌های نمکی در منطقه مطالعاتی شناسایی شدند. سپس در ژوئن ۲۰۱۰ به‌طور تصادفی از هر رخساره تعداد ۸-۵ نمونه و در کل منطقه ۴۰ نمونه از لایه سطحی خاک (۰-۱۰ سانتی‌متر) برداشت شد. نمونه‌برداری خاک در هر نقطه شامل چهار برداشت

1. Global Positioning System



شکل ۳. مدل رقومی ارتفاع تهیه شده منطقه مطالعاتی

جدول ۱. پارامترهای تنظیم شده به منظور تصحیح اتمسفری تصاویر مورد استفاده

پارامتر مورد نیاز	مقدار تنظیم شده	پارامتر مورد نیاز	مقدار تنظیم شده
عرض جغرافیایی مرکز تصویر	۳۳/۵	تاریخ تهیه تصویر	۲۰۱۰/۰۶/۲۳
طول جغرافیایی مرکز تصویر	۵۶/۷	زمان تصویربرداری	۱۰:۳۰:۰۰
ارتفاع ماهواره (کیلومتر)	۷۰۵	متوسط ارتفاع زمینی (کیلومتر)	۰/۶۰۱
مدل اتمسفری	تابستان عرض‌های میانی	مدل آئروسول	روستایی
فاصله دید (کیلومتر)	۴۰	بازیابی آئروسول و آب	خیر

منبع: اطلاعات جانبی تصویر

در ادامه، تصحیح هندسی تصویر ASTER با استفاده از روش تصویر به تصویر، نمونه برداری مجدد نزدیک ترین همسایه، معادلات پلی‌نومیل درجه یک و دقت ۰/۴۸ پیکسل انجام شد. در این مرحله تصویر ETM⁺ ژئورفرنس شده سال ۲۰۰۲ از منطقه مطالعاتی

به منظور دستیابی به بازتاب واقعی زمینی و همچنین تصحیح اتمسفری تصاویر، از الگوریتم FLAASH استفاده شد. پارامترهای لازم برای تصحیح تصاویر ASTER و مقادیر تنظیم شده در جدول ۱ آمده‌اند.

که در آنها RE خطای نسبی به درصد، RMSE مجذور میانگین مربعات خطا، Q_0 مقدار مشاهده‌ای متغیر وابسته، Q_e مقدار تخمینی متغیر وابسته و n تعداد مشاهدات است (Das, 2000؛ ابریشمی و محمدی، ۱۳۷۴؛ صادقی و همکاران، ۱۳۸۴؛ صادقی و معتمدنیا، ۱۳۹۰). در نهایت به منظور انتخاب بهترین مدل برای هر مؤلفه، مدلی که دارای ضریب همبستگی بالاتر، خطای تخمین، تأیید و RMSE پایین‌تر و ضریب کارایی بالاتر بود، انتخاب شد. پس از برازش و ارزیابی مدل مناسب، مدل‌های مذکور روی باندهای اعمال و نقشه‌های مربوط به هر کدام از مؤلفه‌های شوری خاک تهیه شدند. سپس هریک از لایه‌های اطلاعاتی طبقه‌بندی شده در دامنه بین ۰ تا ۱ استانداردسازی و براساس فنون برش تراکمی^۵ به ۵ طبقه با فواصل مساوی قسمت شدند. به منظور حذف اطلاعات غیرمفید، از عملیات پس‌پردازش (حذف پیکسل‌های تکی با فیلتر اکثریت) استفاده شد. در گام بعدی براساس تفکیک بصری، بهترین ترکیب‌های رنگی کاذب و بازدیدهای میدانی، نقشه واقعیت زمینی رخصاره‌های کویری تهیه و صحت طبقه‌بندی نقشه‌های تولید شده با استفاده از معیار صحت کلی و ضریب کاپا برآورد شد. در نهایت به منظور انجام این بررسی که آیا اثر مؤلفه‌های شوری و رطوبت به‌طور جداگانه بر مورفولوژی رخصاره‌های پلایا مؤثرند یا اثر متقابل مؤلفه‌های ذکر شده، از روش میانگین هندسی و تجمیع لایه‌های اطلاعاتی استاندارد شده استفاده گردید. بر این اساس با استفاده از دو روش تجمیع و میانگین هندسی مؤلفه‌هایی که صحت بالاتری داشتند، لایه‌های اطلاعاتی جدید تهیه و طبقه‌بندی شدند و در مقایسه با نقشه واقعیت زمینی، صحت آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت، لایه اطلاعاتی‌ای که صحت بالاتری

به‌عنوان تصویر مرجع، و تصویر ASTER به‌عنوان تصویر تابع مورد استفاده قرار گرفت. از آنجاکه اندازه پلات‌های برداشتی تقریباً سه‌برابر اندازه پیکسل تصویر است، می‌بایست از ۹ پیکسل واقع شده در هر پلات میانگین گرفت تا بتوان رابطه بین ارزش‌های تصویر و مقادیر برداشت شده زمینی را بررسی کرد. در پژوهش حاضر، فیلتر میانگین ۳ در ۳ روی تصاویر اعمال و سپس ارزش نقاط متناظر برداشت میدانی استخراج شدند. سپس پردازش‌های طیفی از قبیل تهیه تصاویر رنگی کاذب، نسبت‌گیری طیفی و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PC_{10-14} و PC_{123}) روی تصاویر ASTER اعمال گردید. به دلیل خراب بودن باندهای مادون قرمز میانی تصویر استر منطقه مطالعاتی، ساختن نسبت‌های طیفی مختلف و تجزیه مؤلفه اصلی در این محدوده طیفی امکان‌پذیر نیست. در مرحله بعد، نقاط نمونه‌برداری با تمامی باندهای اصلی پردازش داده شده و نقشه مدل رقومی ارتفاع تلاقی داده شده و ارزش پیکسل این نقاط استخراج شدند. با انجام آزمون رگرسیون گام‌به‌گام مرحله‌ای^۱، بین هریک از مؤلفه‌های ارتفاع، EC، SP، pH، Na^+ ، K^+ ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Cl^- ، HCO_3^- و CO_3^{2-} در محل نمونه‌های آموزشی (۲۶ نمونه) با تمامی باندها، نسبت‌های طیفی و مؤلفه‌های اصلی، ضرایب و مدل‌های رگرسیونی استخراج گردید. با اعمال مدل‌های رگرسیونی مربوط به هر مؤلفه در محل نقاط شاهد (۱۴ نمونه)، مقادیر تخمینی در این نقاط محاسبه و صحت مدل‌ها با استفاده از خطای نسبی تخمین و تأیید^۲، مجذور میانگین مربعات خطا^۳ و ضریب همبستگی^۴ (روابط ۱ و ۲) ارزیابی گردید.

$$RE = \left| \frac{Q_0 - Q_e}{Q_0} \right| \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_0 - Q_e)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

1. Stepwise
2. Relative Error
3. Root Mean Square of Error
4. Correlation Coefficient
5. Density Slicing

داشته باشد به‌عنوان بهترین لایه برای پهنه‌بندی
 رخساره‌های منطقه مطالعاتی به‌کار گرفته خواهد شد.

نتیجه ارزیابی آنها در جدول ۲ آمده است.
 بین مؤلفه‌های سدیم، کربنات، هدایت الکتریکی خاک و
 همچنین مقادیر ارتفاع نقاط نمونه‌برداری با باندهای
 اصلی و باندهای حاصل از پردازش داده‌های ماهواره‌ای
 هیچ‌گونه رابطه معناداری برقرار نشد.

۳- نتایج و بحث

مدل‌های تخمین مؤلفه‌های شوری و رطوبت خاک و

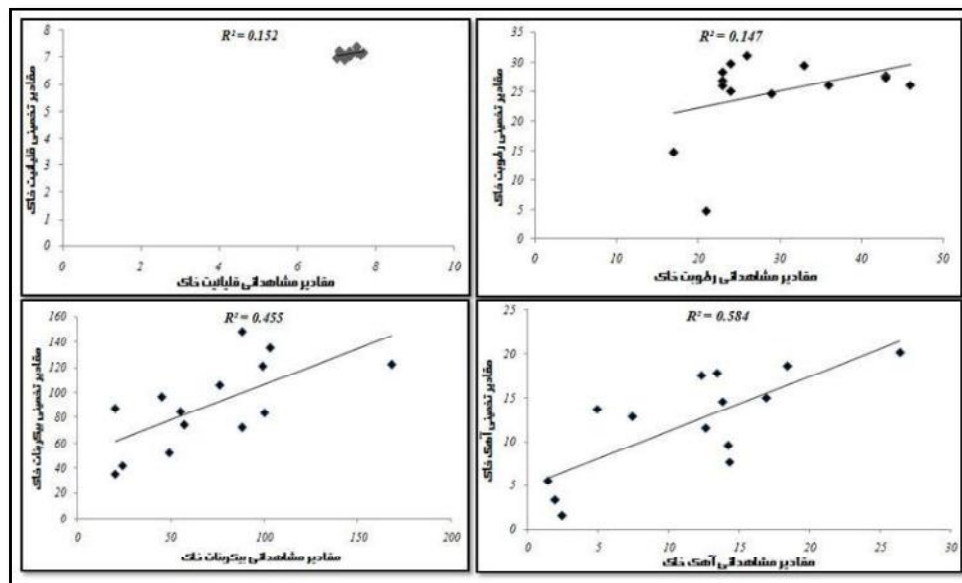
جدول ۲. مدل‌های تخمین مؤلفه‌های خاک و نتایج ارزیابی مدل

ضریب کارایی	RMSE	خطای تأیید	خطای تخمین	ضریب همبستگی	معادله
۰/۲۷	۰/۱۸	۲/۹	۱/۹۶	۰/۱۶*	$pH = (0.005\sqrt{b1^2 - b2^2}) + 6.63$
۰/۲۵	۶/۲۸	۲۵/۷	۲۱/۷	۰/۴۷*	$SP = (665.6 \times \frac{b11}{b13}) - 617.5$
۰/۵۷	۳/۲۵	۶۱/۸	۳۵/۱	۰/۷۵*	$TNV_1 = (-430.3 \times \frac{b13}{b1}) + 50.3$
۰/۷	۲/۷۳	۱۲۱/۹	۲۹/۱۴	۰/۸۱**	$TNV_2 = -(1545.9 \times \frac{b13}{b1}) - (0.39 \times b1) + 225.9$
۰/۷۵	۲/۴	۱۳۸/۵	۲۵/۱	۰/۸۵**	$TNV_3 = (-1749.3 \times \frac{b13}{b1}) - (0.465 \times b1) + (124.6 \times \frac{b14}{b11}) - 170.5$
۰/۲۵	۲۲/۵	۷۹/۹	۳۹/۵	۰/۷۲*	$HCO3_1 = (-1.1\sqrt{b1^2 - b2^2}) + 171.4$
۰/۴۵	۱۹/۳	۶۵/۶	۳۰/۱	۰/۸۲**	$HCO3_2 = (-1.5\sqrt{b1^2 - b2^2}) - (3109.3 \frac{b13}{b12}) + 3341$
۰/۱۹	۴۷۲/۲	۱۸/۲	۸/۹	۰/۱۴*	$cl_1 = (-649.9b_{10}) + 18376$
۰/۳۶	۴۱۸/۷	۲۰/۱	۸/۳	۰/۵۵*	$cl_2 = (-0.022\sqrt{b1^2 - b3^2}) - (793.7b_{10}) + 22248$
۰/۲۵	۱۰۶/۳	۶۰/۸	۵۲/۵	۰/۶۱*	$K = (-100.8PCA_{10-14}) + 831.26$
-۴/۳	۱۰۲/۵	۹۸/۴	۸۰/۷	۰/۴۱*	$Ca = (-3941.4 \times \frac{b13}{b12}) + 3922.4$
۰/۰۷	۱۳۹/۴	۹۷/۶	۶۶/۸	۰/۵۲*	$Mg = (0.025\sqrt{b1^2 - b2^2}) + 114.23$
۰/۳۱	۰/۰۲	۳۰/۱	۲۹/۵	۰/۵۶*	$Gypsum_1 = (0.381 \times \frac{b1}{b2}) + 0.47$
۰/۴۶	۰/۰۱	۲۹/۱	۲۲/۴۷	۰/۶۸*	$Gypsum_2 = (-0.514 \times \frac{b1}{b2}) - (1.11 \times \frac{b11}{b10}) + 1.8$
۰/۶۰	۰/۰۱	۲۱/۸	۲۳/۰۲	۰/۷۵**	$Gypsum_3 = (-0.489 \times \frac{b1}{b2}) - (1.16 \times \frac{b11}{b10}) + (0.598 \times \frac{b13}{b1}) + 1.88$
۰/۱۸	۱۴/۳	۳۲/۲	۳۶/۷	۰/۴۸*	$Sand = (-869 \times \frac{b14}{b11}) + 904.9$
۰/۲۹	۸۰/۵	۸۰/۵	۶۴/۹	۰/۵۷*	$Clay_1 = (632.7 \times \frac{b14}{b12}) - 584.4$
۰/۴۸	۹۰/۲	۴۳/۶	۴۰/۲	۰/۶۹*	$Clay_2 = (1740.5 \times \frac{b14}{b12}) + (826.6 \times \frac{b13}{b14}) - 2513.4$
۰/۱۹	۱۲/۶	۵۴/۹	۵۶/۷	۰/۵۲*	$Silt_1 = (-154.1 \frac{\sqrt{b1^2 - b2^2}}{\sqrt{b1^2 + b2^2}}) + 52.7$
۰/۵۳	۹/۶	۹۰/۲	۴۲/۵	۰/۷۳*	$Silt_2 = (-221.4 \frac{\sqrt{b1^2 - b2^2}}{\sqrt{b1^2 + b2^2}}) - (1541.6 \frac{b13}{b12}) + 1615.5$

** سطح معناداری: ۱ درصد و * سطح معناداری: ۵ درصد

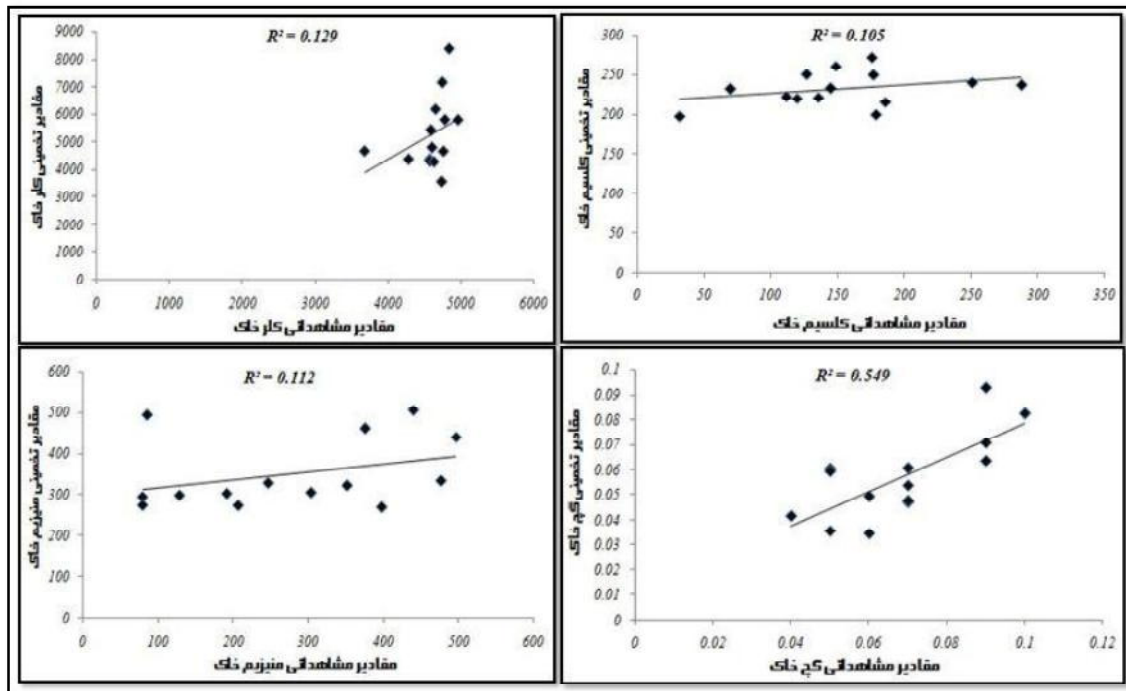
قرمز میانی، رابطه معناداری بین مؤلفه‌های شوری و رطوبت خاک با داده‌های ماهواره‌ای برقرار نشد. بهترین مدل‌ها براساس بالابودن ضرایب همبستگی و کارایی و پایین‌ترین مقدار خطای نسبی تخمین، خطای نسبی تأیید و مجذور میانگین مربعات خطا انتخاب شدند و صحت مدل‌های منتخب براساس میزان همبستگی مقادیر مشاهداتی و تخمینی در محل نقاط شاهد (یک‌سوم نقاط نمونه‌برداری) ارزیابی گردید (Green & Stephenson, 1986). بنابراین براساس نتایج مندرج در جدول ۲ مدل‌های منتخب نهایی عبارت‌اند از: مدل‌های PH، SP، TNV₁، HCO₃₂، cl₂، K، Ca، Mg، Silt₁، Clay₂، Sand، Gypsum₃. پس از اعمال مدل‌های فوق روی نقاط شاهد، علاوه بر تخمین مقادیر خطای نسبی تأیید، میزان همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر تخمینی حاصل از مدل‌ها در نقاط شاهد نیز بررسی شدند؛ نمودارهای مربوط به هر فاکتور در محل نقاط شاهد در شکل‌های ۴ تا ۶ ارائه شده است.

جدول ۲، نقش مؤثر باندهای محدوده مرئی را براساس مؤلفه‌های فیزیکی بودن، منیزیم و سیلت و نقش مؤثر باندهای محدوده مادون قرمز حرارتی براساس مؤلفه‌های رطوبت، پتاسیم، کلسیم و شن خاک در شناسایی رخساره‌های منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. نتایج جدول مذکور حاکی از نقش باندهای هر دو طیف مرئی و حرارتی براساس مؤلفه‌های گچ، آهک و بیکربنات در شناسایی و تفکیک رخساره‌های کویر طبرستان است. بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که آپان^۱ و همکاران (۲۰۰۲)، دشتکیان (۱۳۸۷) و حسنوندی (۱۳۹۳) نیز به اهمیت باندهای مرئی و پژوهشگرانی چون کومار^۲ (۲۰۰۶) و الخیر^۳ (۲۰۰۳) به اهمیت باندهای مرئی و حرارتی در مطالعات خاک اشاره کردند، که نتایج تحقیقات‌شان مؤید نتایج پژوهش حاضر است. نیلد^۴ و همکاران (۲۰۰۷) به نقش باندهای مادون قرمز میانی (۵ و ۷) سنجنده استر در تفکیک خاک‌های گچی از خاک‌های شور اشاره کردند، اما در پژوهش حاضر به دلیل خراب بودن باندهای مادون

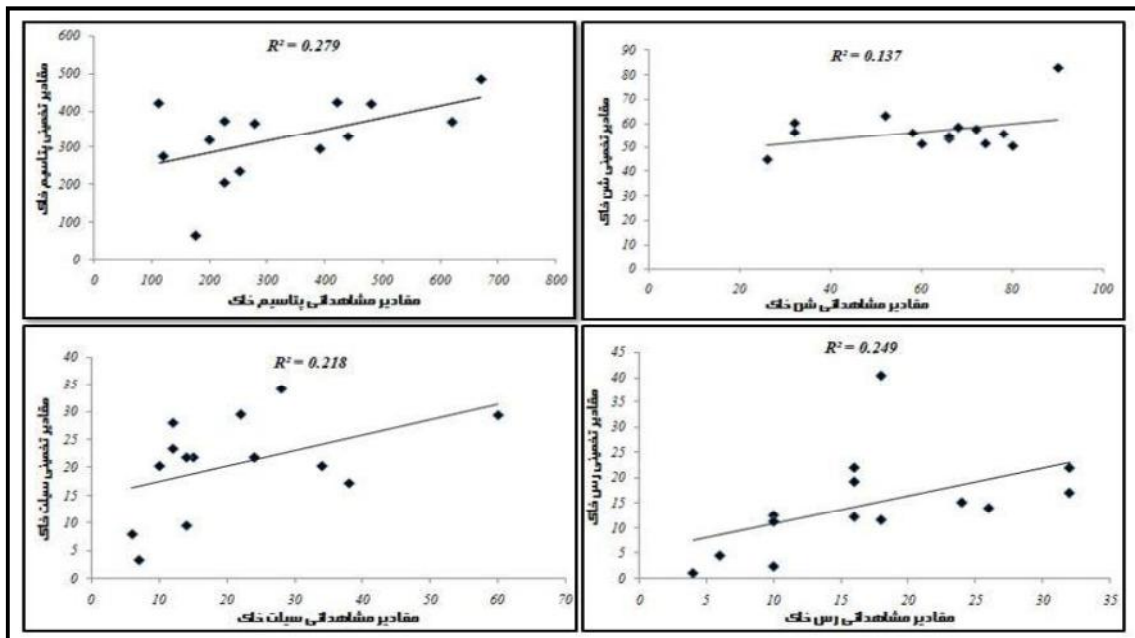


شکل ۴. نمودار همبستگی مقادیر مشاهداتی رطوبت، قلیایی بودن، آهک و بیکربنات خاک با مقادیر تخمین زده شده در نقاط شاهد

1. Apan
2. Kumar
3. Al-Khaier
4. Nield



شکل ۵. نمودار همبستگی مقادیر مشاهداتی کلسیم، کلر، گچ و منیزیم خاک با مقادیر تخمین زده شده در نقاط شاهد



شکل ۶. نمودار همبستگی مقادیر مشاهداتی پتاسیم، شن، سیلیت و رس خاک با مقادیر تخمین زده شده در نقاط شاهد

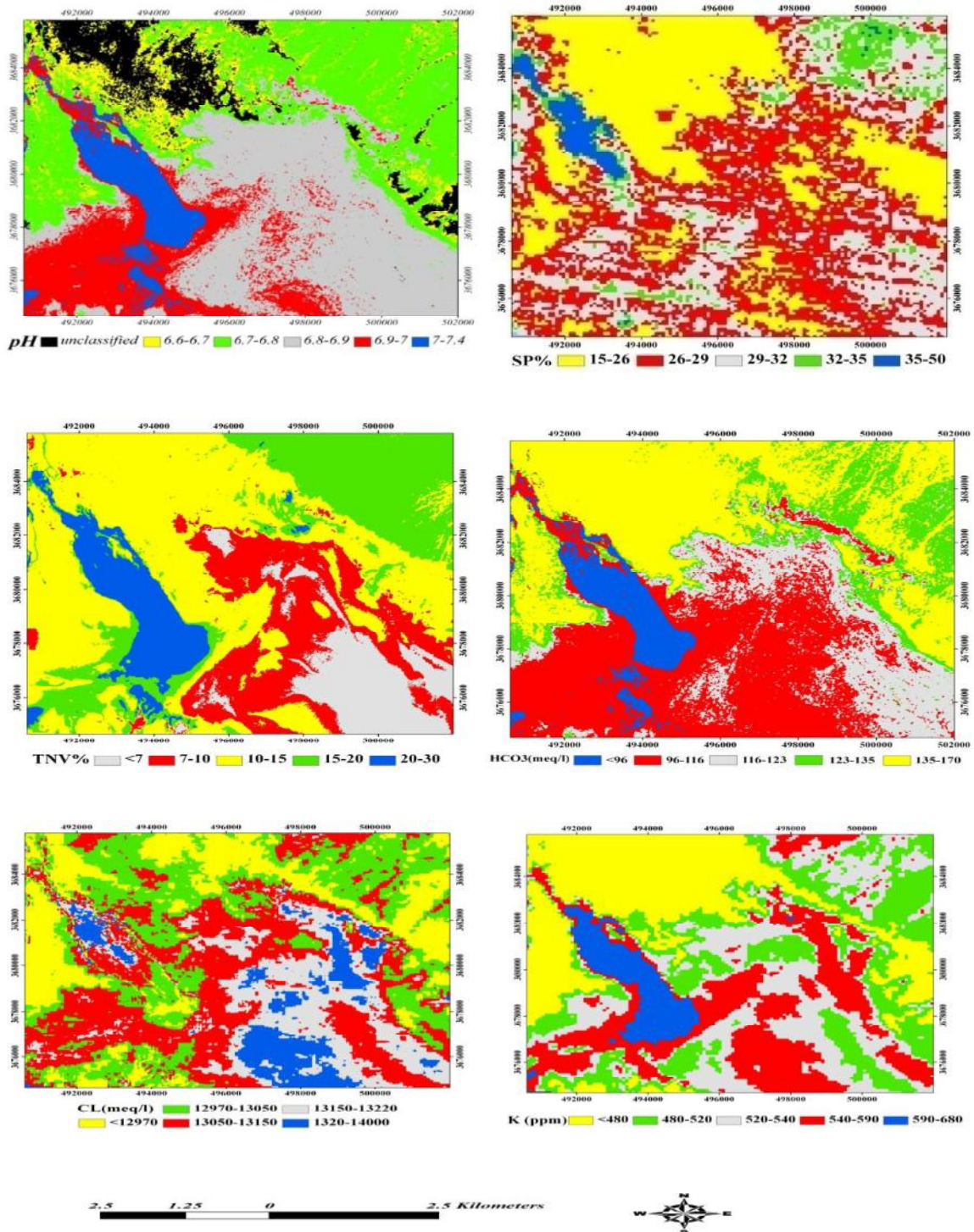
تعیین فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک در تفکیک رخصاره‌های کویری براساس روش میانگین هندسی و تجمیع لایه‌های ...

زمینی و نقشه‌های مربوط به مؤلفه‌های شوری و رطوبت خاک اقدام به بررسی صحت کلی طبقه‌بندی و برآورد ضریب کاپا گردید. نتایج صحت طبقه‌بندی براساس معیار صحت کلی و ضریب کاپا برای لایه‌های اطلاعاتی حاصل از مدل‌ها در جدول ۳ آمده است.

سپس مدل‌های مربوط به مؤلفه‌های شوری و رطوبت خاک منطقه روی باندهای مرتبط اعمال و لایه اطلاعاتی مربوط به هر مؤلفه تهیه شد و از طریق تکنیک برش تراکمی اقدام به طبقه‌بندی مجدد لایه‌ها گردید (شکل‌های ۷ و ۸). پس از تهیه نقشه واقعیت

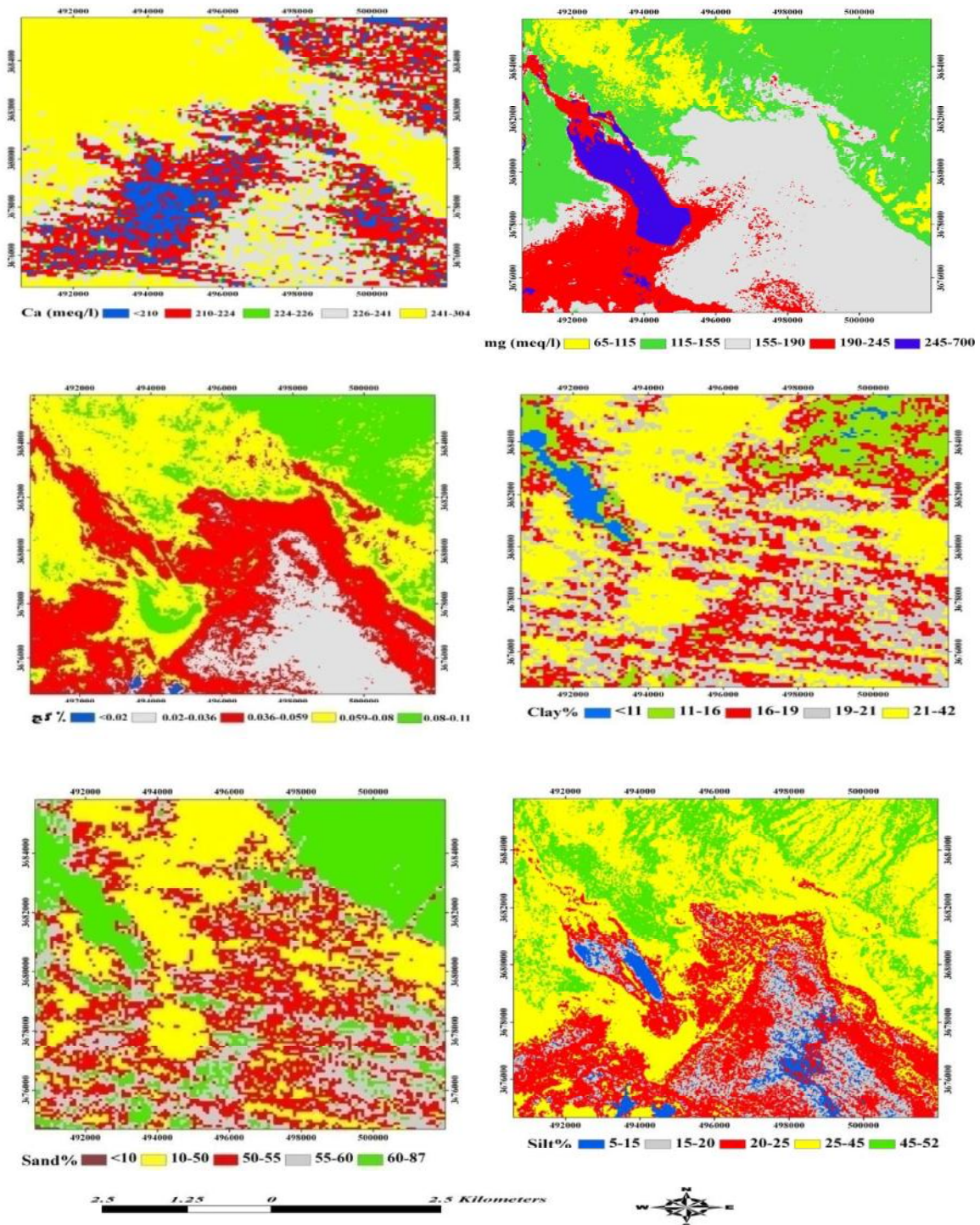
جدول ۳. خلاصه ارزیابی آماری نتایج طبقه‌بندی

متغیر خاک	صحت کلی	ضریب کاپا
PH1	۴۸/۴	۰/۳۸
SP1	۴۶/۴	۰/۲۸
TNV1	۷۴/۱	۰/۶۵
TNV2	۶۶/۱	۰/۴۲
TNV3	۶۵/۰۵	۰/۴۴
HCO3(1)	۳۷/۴	۰/۲۳
HCO3(2)	۵۲/۳	۰/۳۹
Cl1	۳۴/۳	۰/۱۴
Cl2	۳۶/۵	۰/۱۹
K	۵۶/۲۸	۰/۴۴
Ca	۲۳/۰۱	۰/۰۹
Mg	۳۶/۱۱	۰/۱۴
Gypsum1	۴۸/۵	۰/۴۲
Gypsum2	۵۰/۱	۰/۴۵
Gypsum3	۶۳/۵	۰/۵۱
sand	۴۷/۱	۰/۳
Clay1	۴۴/۶	۰/۲۷
Clay2	۴۳/۸	۰/۲۵
Silt1	۳۸/۵	۰/۲
Silt2	۳۹/۷	۰/۲۱



شکل ۷. نقشه طبقات فلزیایی بودن، رطوبت، آهک، بیکربنات، کلر و پتاسیم کویر طبس

تعیین فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک در تفکیک رخصاره‌های کویری براساس روش میانگین هندسی و تجمیع لایه‌های ...



شکل ۸. نقشه طبقات کلسیم، منیزیم، گچ، رس، سیلت و شن کویر طبس

براساس مؤلفه‌های مذکور و داده‌های ماهواره‌ای سنجنده استر وجود ندارد. بنابراین به منظور بررسی امکان دستیابی به شاخصی مطلوب برای تفکیک تمامی رخساره‌های کویر طبس، از اثر تجمیع و تلفیق هندسی لایه‌های اطلاعاتی - که براساس ۵ رخساره مشاهده شده در زمین بالاترین صحت را داشتند- استفاده شد.

از آنجاکه هدف پژوهش حاضر تعیین بهترین لایه اطلاعاتی برای تفکیک رخساره‌های کویر طبس با بالاترین دقت است، براساس نتایج مندرج در جدول ۴ و با توجه به بالاتر بودن مقادیر صحت کلی و ضریب کاپای مربوط به مؤلفه‌های آهک، پتاسیم و بیکربنات می‌توان ادعا کرد که مؤلفه‌های مذکور نقش مؤثرتری در تفکیک رخساره‌های منطقه مطالعاتی دارند و تنها براساس لایه‌های اطلاعاتی مربوط به این مؤلفه‌ها می‌توان ۵ رخساره مشاهده شده در منطقه مطالعاتی را به خوبی تفکیک کرد. گرچه صحت کلی لایه اطلاعاتی مربوط به گچ نیز بالاست، اما به دلیل آنکه براساس این مؤلفه رخساره تیره و چسبناک با صحت بسیار پایین طبقه‌بندی شده، در تهیه شاخص‌های مطلوب به منظور تفکیک رخساره‌ها از وارد کردن این لایه اطلاعاتی در روش تجمیع و میانگین‌گیری هندسی صرف نظر شد. در پایان پس از استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی مؤلفه‌های آهک، پتاسیم و بیکربنات به هر دو روش (میانگین هندسی و جمع) اقدام به تهیه لایه‌های اطلاعاتی جدید گردید و صحت طبقه‌بندی آنها نیز محاسبه شد. فهرست این دسته از شاخص‌ها همراه با نتایج صحت آنها در جدول‌های ۵ و ۶ آمده است.

بررسی جدول‌های ارزیابی مدل‌های مربوط به مؤلفه‌های رس، سیلت، قلیایی بودن و رطوبت خاک و همچنین نمودارهای مربوط به تعیین ضرایب همبستگی این مؤلفه‌ها در نقاط شاهد نشان می‌دهد که گرچه ضرایب همبستگی و کارایی مؤلفه‌های مذکور نسبتاً بالا و میزان خطاها تقریباً پایین است، اما به دلیل پایین بودن صحت کلی و ضریب کاپا نمی‌توان از لایه‌های اطلاعاتی به منظور تفکیک ۵ رخساره مشاهده شده در منطقه مطالعاتی استفاده کرد. بررسی جداول آرایه خطای مربوط به این مؤلفه‌ها نشان داد که پایین آمدن صحت کلی طبقه‌بندی این لایه‌ها به دلیل پایین بودن صحت طبقه‌بندی یک یا دو طبقه است که بر میزان صحت کلی طبقه‌بندی تأثیر گذاشته و باعث پایین آمدن شدید صحت کلی و ضریب کاپا شده است. لذا می‌توان این طبقات را با طبقات مجاور ادغام و براساس تعداد کمتری از رخساره‌ها صحت طبقه‌بندی را ارزیابی کرد (Masoud, 2006). در رویکرد بعدی، این طبقات با طبقه مجاور ادغام و صحت طبقه‌بندی براساس ۳ یا ۴ رخساره ارزیابی شد. نتایج مربوط به این ارزیابی در جدول ۴ ارائه شده‌اند.

براساس نتایج جدول ۴ می‌توان ادعا کرد که بهینه بودن نسبی مدل‌های تخمینی رس، سیلت، قلیایی بودن و رطوبت به تنهایی بیانگر بهینه بودن این مدل‌ها برای تفکیک تمامی رخساره‌های مشاهده شده در منطقه مطالعاتی نیست و به دلیل بازتاب طیفی مشابه بعضی از رخساره‌ها در باندهای وارد شده در مدل، امکان تفکیک تمامی رخساره‌های منطقه مطالعاتی

جدول ۴. خلاصه ارزیابی آماری نتایج طبقه‌بندی پس از ادغام رخساره‌ها

متغیر	رخساره‌های ادغام شده	تعداد رخساره‌های مورد ارزیابی	صحت کلی	ضریب کاپا
PH	تراوش نمک در اضلاع+پلی‌گون‌های نمکی	۴	۶۲/۹	۰/۴۹
clay			۵۷/۷	۰/۳۴
SP	تراوش نمک در اضلاع+پف کرده	۳	۶۱/۸	۰/۴۱
Silt			۶۲/۳	۰/۴

جدول ۵. فهرست لایه‌های اطلاعاتی حاصل از روش تجمیع و نتایج بررسی صحت

نماد	جمع لایه‌های اطلاعاتی	صحت کلی	ضریب کاپا
I ₁	(TNV+K)	۵۱/۹	۰/۳۸
I ₂	(TNV+HCO ₃)	۲۱/۵	۰/۱۵
I ₃	(K+HCO ₃)	۳۷/۵	۰/۲
I ₄	(TNV+HCO ₃ +K)	۳۷/۹	۰/۲۱

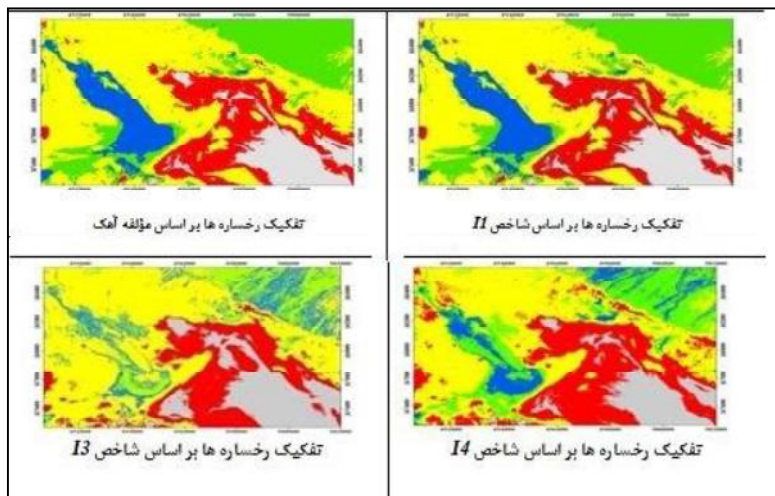
جدول ۶. فهرست شاخص‌های حاصل از روش میانگین هندسی و نتایج بررسی صحت

نماد	میانگین هندسی لایه‌های اطلاعاتی	صحت کلی	ضریب کاپا
I ₁	$\sqrt{TNV * K}$	۶۱/۱	۰/۴۸
I ₂	$\sqrt{TNV * HCO_3}$	۵۳/۹	۰/۴۵
I ₃	$\sqrt{K * HCO_3}$	۳۹/۷۲	۰/۲۴
I ₄	$\sqrt[3]{TNV * K * HCO_3}$	۶۰/۱۳	۰/۴۸

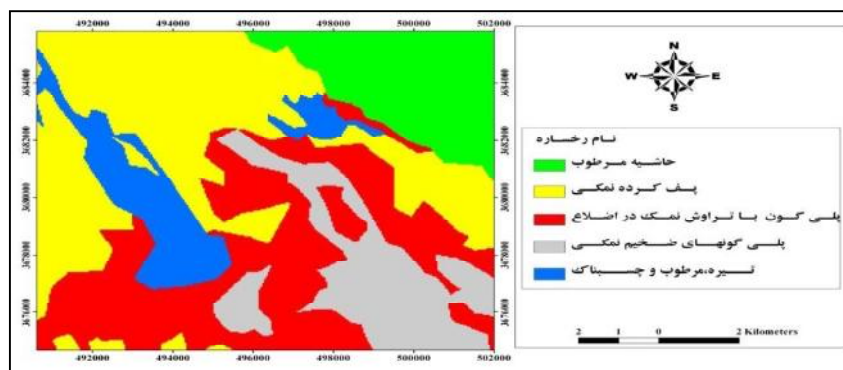
می‌توان گفت که از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به ترتیب مؤلفه‌ آهک و اثر متقابل مؤلفه‌های بیکربنات- آهک، پتاسیم- آهک و بیکربنات- آهک- پتاسیم از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تفکیک رخصاره‌های پلاپای طبس هستند. با ضرب لایه‌های اطلاعاتی این عوامل و گرفتن ریشه دوم یا سوم از آنها به بهترین وجه می‌توان رخصاره‌های مختلف را از یکدیگر متمایز کرد. بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که احمدی (۱۳۸۹) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای IRS-LISSIII و با صحت کلی ۷۳ درصد و ضریب کاپای ۰/۵۲ فقط توانست سه رخصاره حاشیه مرطوب، دشت سر اپانداز و پف‌کرده را طبقه‌بندی کند. نقشه مربوط به بهترین لایه‌های اطلاعاتی به‌منظور تفکیک رخصاره‌های منطقه مطالعاتی (آهک، بیکربنات- آهک، پتاسیم- آهک و بیکربنات- آهک- پتاسیم) و نقشه واقعیت زمینی رخصاره‌ها در شکل‌های ۹ و ۱۰ ارائه شده است.

بررسی نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که براساس روش تجمیع هندسی لایه‌های اطلاعاتی نمی‌توان با صحتی بالاتر از روش بررسی جداگانه مؤلفه‌های مذکور، به شاخصی مطلوب برای پهنه‌بندی رخصاره‌های منطقه مطالعاتی دست یافت. گرچه بررسی کلی نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که صحت لایه‌های اطلاعاتی حاصل از روش میانگین هندسی کمتر از صحت لایه اطلاعاتی مربوط به مؤلفه آهک به‌صورت جداگانه است، اما از صحت لایه‌های اطلاعاتی مربوط به مؤلفه‌های پتاسیم و بیکربنات به‌صورت جداگانه بیشتر است. شاید بتوان دلیل این امر را افزایش فضاهای خالی^۱ در نواحی گذار (مرزی) رخصاره‌ها در اثر اعمال دو روش مذکور دانست. در اثر جمع یا ضرب لایه‌های اطلاعاتی مختلف، نواحی مشترک دو رخصاره مشابه در لایه اطلاعاتی مربوط به لایه اطلاعاتی جدید در یک رخصاره قرار می‌گیرند، اما نواحی مرزی این دو رخصاره ممکن است در لایه جدید در دو رخصاره متفاوت واقع شوند که باعث افزایش خطا در صحت طبقه‌بندی می‌شود. براساس نتایج پژوهش حاضر، بروز این پدیده در روش تجمیع بیشتر از روش میانگین هندسی لایه‌های اطلاعاتی است. بنابراین

1. Gaps



شکل ۹. تفکیک رخساره‌های کویر طبس براساس لایه‌های اطلاعاتی حاصل از آهک و بهترین شاخص‌ها



شکل ۱۰. نقشه رخساره‌های واقعیت زمینی پلایای طبس

شرایط را برای استقرار این گونه‌ها فراهم کرده است. همان‌طور که در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود میزان رطوبت، کلر و پتاسیم در رخساره حاشیه مرطوب کم و بافت خاک سبک‌تر از رخساره‌های درونی است (به دلیل شن زیادتر). گرچه روند تغییر میزان قلیایی بودن خاک در منطقه مطالعاتی کم (۶/۶ تا ۷/۷) است، اما قلیایی‌ترین خاک‌ها در رخساره مرطوب چسبناک واقع شده‌اند، که در مقایسه با سایر رخساره‌ها رطوبت و درصد آهک بالاتری نیز دارند. با اینکه صحت لایه‌های اطلاعاتی مربوط به مؤلفه منیزیم و کلسیم از لحاظ آماری قابل استناد نیست، اما روند کلی تغییرات مؤلفه منیزیم بیانگر افزایش مقدار

همان‌گونه که در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود، رخساره حاشیه مرطوب در بیرونی‌ترین قسمت و رخساره پلی‌گون‌های ضخیم نمکی در درونی‌ترین بخش محدوده مطالعاتی واقع شده‌اند. مساحت رخساره حاشیه مرطوب، پف کرده نمکی، تراوش نمک در اضلاع، مرطوب چسبناک و پلی‌گون‌های ضخیم نمکی به ترتیب معادل ۱۸۲۷/۶، ۴۴۹۰/۴، ۳۶۷۲/۵، ۱۲۵۳/۷ و ۱۸۱۹/۵ هکتار است. بنابراین، بیشترین وسعت منطقه مطالعاتی را رخساره پف کرده نمکی و کمترین وسعت را رخساره مرطوب و چسبناک دارند. در رخساره حاشیه مرطوب، پوشش گیاهی از نوع گز و نی است، زیرا خاک شوری کمتری دارد و میزان رطوبت قابل استفاده گیاه

رخساره حاشیه مرطوب، پف‌کرده نمکی، تراوش نمک در اضلاع، پلی‌گون‌های ضخیم نمکی، و مرطوب و چسبناک را با صحت بیش از ۵۳ درصد پهنه‌بندی کرد.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، راهکارهایی به‌منظور تفکیک دقیق‌تر رخصاره‌های کویری با استفاده از فناوری سنجش از دور در مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود:

- استفاده از تمامی باندهای سنجنده استر یا استفاده از تصاویر دیگر سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی بالاتر که با تاریخ نمونه‌برداری نیز تطابق زمانی داشته باشند می‌تواند کمک شایانی در ارائه لایه‌های اطلاعاتی دقیق‌تر به‌منظور تفکیک رخصاره‌ها کند.
- گرچه مطالعات زیادی در خصوص ارائه شاخص‌های خاک برای پهنه‌بندی واحدهای مختلف ژئومورفولوژی انجام نشده است، اما با بررسی خصوصیات طیفی خاک‌های مختلف و بهره‌گیری از مدل‌های ریاضی و مؤلفه‌های آماری در مناطق دارای شرایط اقلیمی گوناگون می‌توان گام‌های نخست را در ارائه شاخص‌های خاک برداشت. بدیهی است ارائه شاخص‌های مختلف افزون‌بر موارد گفته‌شده، نیاز به استفاده از مدل‌های ریاضی دارد تا بتوان خصوصیات طیفی را به‌صورت شاخص شبیه‌سازی کرد. از این رو پژوهش حاضر می‌تواند به‌عنوان گام نخست برای ارائه شاخص‌های خاک مورد استفاده قرار گیرد.
- استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی می‌تواند راهکار مناسبی در بررسی مقوله پهنه‌بندی رخصاره‌های مناطق کویری باشد.

۵- منابع

ابراهیمی ز، فلاح شمسی، س.ر.، کمپانی م.، زارع، م.، ابراهیمی، م.ر.، اختصاصی، س.ز.، حسینی، ۱۳۸۹، برآورد پارامترهای شوری خاک با استفاده از تبدیل

این کاتیون به‌سمت نواحی مرکزی پلایا و تغییرات نامنظم کلسیم در سطح منطقه مطالعاتی است. براساس لایه‌های اطلاعاتی پتاسیم و کلر نیز مشخص است که از نواحی حاشیه‌ای به‌سمت داخل پلایا بر میزان کاتیون‌های تک‌ظرفیتی افزوده می‌شود. در مجموع و با توجه به لایه‌های اطلاعاتی تهیه‌شده می‌توان گفت که بیشترین مقدار رطوبت، قلیایی‌بودن، درصد آهک، پتاسیم و کلر در رخصاره مرطوب چسبناک و بیشترین مقدار شن و بیکربنات خاک در رخصاره حاشیه مرطوب و پف‌کرده نمکی (حواشی پلایا) وجود دارد و روند تغییرات سایر مؤلفه‌ها در سطح منطقه مطالعاتی نامنظم است. به‌دلیل برقراردادن رابطه رگرسیونی مناسب بین مقایر ارزش رقومی ارتفاع با ارزش انعکاسی نقاط نمونه‌برداری، امکان بررسی اثر توپوگرافی بر شکل رخصاره‌های کویر طبس وجود ندارد.

۴- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی و با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد:

- به‌دلیل برقراردادن رابطه رگرسیونی بین ارزش رقومی ارتفاع و مقادیر آزمایشگاهی با ارزش انعکاسی نقاط نمونه‌برداری، امکان بررسی اثر توپوگرافی بر شکل رخصاره‌های کویر طبس وجود ندارد.
- بهینه‌بودن مدل‌ها به‌منزله کاربردی‌بودن آنها برای تفکیک تمامی رخصاره‌ها نیست.
- ادغام رخصاره‌هایی که با صحت بسیار پایین طبقه‌بندی می‌شوند با رخصاره‌هایی که بازتاب طیفی مشابه دارند می‌تواند صحت طبقه‌بندی را افزایش دهد.
- اثر جداگانه مؤلفه آهک و اثر متقابل مؤلفه‌های بیکربنات - آهک، پتاسیم - آهک و بیکربنات - آهک - پتاسیم بیشتر از اثر سایر مؤلفه‌های خاک در تفکیک رخصاره‌های کویری پلایای طبس است. براساس لایه‌های اطلاعاتی ذی‌ربط می‌توان ۵

- شیرازی م.، متین فر، ح.ر.، نعمت‌الهی، م.، زهتابیان، غ.ر.، ۱۳۸۹. مقایسه محتوای اطلاعاتی باندهای تصاویر استر و LISHI در مناطق خشک (منطقه مورد مطالعه: پلایای دامغان)، کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، سال اول، شماره اول، صص. ۳۱-۴۹.
- صادقی س.ه.، مرادی، ح.ر.، مزین، م. وفاخواه، م.، ۱۳۸۴. ارزیابی روش‌های مختلف تحلیل آماری و مدل‌سازی بارندگی-رواناب مطالعه موردی حوضه کاسیلیان، منابع طبیعی و علوم کشاورزی، سال دوازدهم، شماره سوم، صص. ۸۱-۹۰.
- صادقی س.، معتمدنیا، م.، ۱۳۹۰. تخمین مؤلفه‌های هیدروگراف واحد با استفاده از رابطه بین خصوصیات هیدروگراف در حوضه کاسیلیان، تحقیقات آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، شماره نودودوم، صص. ۴۴-۵۲.
- علوی پناه س.ک.، ۱۳۸۲. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- هاشمی ز.، پهلوان‌زاده، ا.، مقدم‌نیا، ا.، میری، ا.، ۱۳۹۰. ارزیابی موقعیت فعلی بیابان‌زایی در منطقه زهک سیستان بر مبنای معیار فرسایش آبی، تحقیقات آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، شماره ۹۱، صص. ۶۸-۷۹.
- Abdelfattah, M., Shahid, Sh. & 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, Vol. 26, No. 3, PP. 342-351.
- Al-Khaier, F., 2003, **Soil Salinity Detection using Satellite Remote Sensing**, M.Sc. Thesis The International Institute for Geo-information Science and Earth Observation ITC, The Netherlands.
- طیفی تصاویر ماهواره‌ای استر و ETM در منطقه ابرکوه یزد، سنجش از دور و GIS ایران، سال دوم، شماره اول، صص. ۲۳-۳۷.
- ابریشمی، ه.، محمدی، ت.، ۱۳۷۴. کاربرد تحلیل رگرسیون، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- احمدی، ح.، ۱۳۸۷. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- احمدی، ع.، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی رخساره‌های ژئومورفولوژی پلایای طبس با استفاده از سنجش از دور، پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، دانشکده منابع طبیعی، یزد.
- تاجگردان، ت.، ایوبی، ش.، شتابی، ش.، خرمعلی، ف.، ۱۳۸۸. تهیه نقشه شوری سطح خاک با استفاده از تصاویر ETM⁺ منطقه شمال آق‌فلا استان گلستان، حفاظت آب و خاک، سال شانزدهم، شماره دوم، صص. ۱-۱۷.
- حسنوندی ن.، لندی، ا.، متین فر، ه.، طاهرزاده، م.ه.، ۱۳۹۳. تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از تصاویر لندست در منطقه اهواز، مهندسی کشاورزی، سال سیزدهم، شماره اول، صص. ۲۳-۳۳.
- خامسانی ع.، سنگونی، ح.، شهبازی، ا.، ۱۳۹۰. ارزیابی وضعیت شوری با استفاده از سنجش از دور و GIS (مطالعه موردی: دشت سگزی)، کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، سال دوم، شماره سوم، صص. ۲۵-۳۷.
- دائم‌پناه ر.، حق‌نیا، ق.، علیزاده، ا.، کریمی، ع.، ۱۳۹۰. تهیه نقشه شوری و سدیمی خاک سطحی با روش‌های دورسنجی و زمین‌آماری در جنوب شهرستان مه‌ولات، آب و خاک، سال بیست‌وپنجم، شماره ۳، صص. ۴۹۸-۵۰۸.
- دشتکیان ک.، پاک‌پرور، م.، عبداللهی، ج.، ۱۳۸۷. بررسی روش‌های تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از تصاویر لندست در منطقه مروست، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، سال پانزدهم، شماره دوم، صص. ۱۳۹-۱۵۷.

- Apan, A., Kelly, R., Jensen, T., Butler, D., Strong, Wand Basnet, B., 2002, **Spectral Discrimination and Seperability Analysis of Agricultural Crops and the Soil Attributes Using ASTER Imagery**, 11 Australian Remote Sensing and Photogrammetry Association Conference, ISBN 0-9581366-0-2.397.
- Das G., 2000, **Hydrology and Soil Conservation Engineering**, Prentice-Hall of India Press, P. 489.
- Depaola, F., Ducci, D & Giugni, D., 2009, **Soil Erosion and Desertification: A Combined Approach Using RUSLE and ESAS Models in the Tuscanobasin (southern Italy)**, Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, PP. 5083.
- Farifteh, J., Van der Meer, F., Atzberger, C. & Carranza, E.J.M., 2007, **Quantitative Analysis of Salt-affected Soil Reflectance Spectra: A comparison of two adaptive methods (PLSR and ANN)**, Remote Sensing of Environment, Vol. 110, PP. 59-78.
- Green I.R.A. & Stephenson D., 1986, **Criteria for Comparison of Single Event Model**, Hydrological Sciences Journal, Vol. 31, No. 3, PP. 395-411.
- Gutierrez, M. & Johnsin, E., 2010, **Temporal Variation of Natural Soil Salinity in an Arid Environment using Satellite Images**, Journal of South American Earth Scienc, Vol. 30, No.1, PP. 46-57.
- Kumar Joshi, P.K., Roy, P.S., Singh, S., Agrawal, S. & Yadav, D., 2006, **Vegetation Cover Mapping in India using Multi-temporal IRS Wide Field Sensor (WiFS) Data**, Remote Sensing of Environment, Vol. 103, PP. 190-202.
- Masoud, A.A. & Koike, K., 2006, **Arid Land Salinization Detected by Remotely-sensed Land Cover Changes: A case study in the Siwa region NW Egypt**, Journal of Arid Environments. Vol. 66, No. 1, PP. 151–167.
- Nield, S.J., Boettinger, J.L. & Ramsey, R.D., 2007, **Digitally Mapping Gypsic and Natric Soil Areas Using Landsat ETM Data**, Soil Science Society of American Journal, Vol. 71, PP. 245-252.
- Wu, J., Vincent, B., Yang, J., Bouarfa, S. & Vidal, A., 2008, **Remote Sensing Monitoring of Changes in Soil Salinity: A case study in Inner Mongolia, China**, Journal of Sensors, 8: 7035-7049. DOI: 10.3390/s8117035.