

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۹، زمستان ۱۳۹۲
وصول مقاله: ۱۳۹۲/۳/۲۵
تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۹/۲۰
صفحات: ۱۲۱ - ۱۱۱

مقایسه روش‌های مختلف رگرسیون دو متغیره در شناسایی رخساره‌های کویری بر اساس روابط مؤلفه‌های خاک با داده‌های ماهواره‌ای مورد شناسی: پلایای ابرکوه - استان یزد

دکتر رضا قضاوی^۱، زهره ابراهیمی خوسفی^۲، دکتر محمدرضا اختصاصی^۳، دکتر سید زین العابدین حسینی^۴
محسن ابراهیمی خوسفی^۵، دکتر محمد حسن زاده نفوتی^۶

چکیده

بررسی روابط بین پارامترهای مختلف خاک با داده‌های ماهواره‌ای گامی مؤثر در شناسایی و تفکیک رخساره‌های کویری است. در همین راستا، تحقیق حاضر با هدف بررسی روش‌های مختلف رگرسیون دو متغیره بر اساس روابط بین مؤلفه‌های مختلف خاک با داده‌های ماهواره‌ای سنجنده ASTER در شناسایی رخساره‌های پلایای ابرکوه مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا از خاک سطحی ۳۰ پروفیل در منطقه مطالعاتی برداشت و در آزمایشگاه مقادیر PH، EC، درصد رطوبت اشباع و مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های مربوط به هر نمونه اندازه‌گیری گردید. پس از انجام پردازش‌های لازم بر روی تصاویر ماهواره‌ای، با تعیین نقاط زمینی بر روی تصاویر، ارزش پیکسل-های نظیر نقاط زمینی در باندهای مختلف استخراج گردید. سپس رابطه بین داده‌های ماهواره‌ای و نتایج حاصل از آزمایش‌های خاک منطقه با استفاده از روش‌های مختلف رگرسیون دو متغیره خطی مورد ارزیابی قرار گرفت و دقت مدل‌ها با استفاده از فاکتورهای نظیر خطای تخمین و تأیید، مجذور میانگین مربعات خطا، ضریب همبستگی و ضریب کارایی مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌های پژوهش بیانگر دست‌یابی به مدل‌هایی با ضریب همبستگی کمینه ۴۵ درصد، خطای نسبی تخمین و تأیید بیشینه به ترتیب ۲۴۷/۴ و ۲۴۸۹/۷، مجموع میانگین مربعات خطای کمتر و ضریب کارایی کمینه ۱۹ درصد می‌باشد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که هیچ‌گونه رابطه معنی‌داری بین میزان قلیایی بودن و درصد رطوبت اشباع با داده‌های ماهواره‌ای در منطقه مطالعاتی وجود ندارد. کلید واژگان: رگرسیون دو متغیره، رخساره کویری، داده‌های ماهواره‌ای، مؤلفه‌های خاک، ASTER، پلایای ابرکوه.

Ghazavi@kashanu.ac.ir
zohre_ebrahimi@hotmail.com

- ۱- استادیار و عضو هیئت علمی دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان
- ۲- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان (نویسنده مسؤل)
- ۳- دانشیار و عضو هیئت علمی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد
- ۴- استادیار و عضو هیئت علمی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد
- ۵- دانشجوی دکتری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
- ۶- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میبد

مقدمه

فن‌آوری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی از جمله ابزارهای نوینی هستند که دستیابی و استخراج اطلاعات بنیادین را برای مدیریت منابع طبیعی و توسعه پایدار میسر می‌سازند. از این داده‌ها می‌توان با کمترین هزینه و در کوتاه‌ترین زمان در طیف وسیعی از تحقیقات و پروژه‌های منابع زمینی بهره برداری نمود. از طرف دیگر داده‌های ماهواره‌ای می‌توانند به سامانه اطلاعات جغرافیایی مرتبط گردند و این امر موجب کارآمد نمودن اطلاعات ماهواره‌ای برای برنامه ریزی و مدیریت می‌شود. مهاجر و همکاران (۱۳۸۸: ۸۳) برای تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از روش رگرسیون و شبکه عصبی استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که روش شبکه عصبی در مقایسه با رگرسیون، مدل‌هایی با ضریب تبیین بیشتر و مجذور میانگین مربعات خطا کمتر تولید می‌کند. زارع (۱۳۸۸: ۵۸) و احمدی (۱۳۸۹: ۳۴) به ترتیب برای شناسایی خاک‌های شور منطقه سروستان و کویر طبس از روش رگرسیون چند متغیره به روش گام به گام استفاده کردند. اکرسین و ارمسی^۱ (۲۰۰۸: ۹۸۴)، در مطالعه خود بر روی دریاچه نمک آناتولیا در ترکیه برای تخمین مؤلفه EC^۲ خاک از داده‌های ماهواره‌ای TM استفاده نمودند. آنها در تحقیق خود نشان دادند که افزایش تجمع نمک در سطح خاک رابطه معکوس خطی با ارزش‌های درخشندگی داده‌های ماهواره‌ای در ناحیه SWIR^۳ (باندهای ۵ و ۷) و رابطه مستقیم خطی با ارزش‌های درخشندگی داده‌های ماهواره‌ای در نواحی مرئی و مادون قرمز نزدیک (باندهای ۱، ۲، ۳ و ۴) دارد. فریفته^۴ و همکاران (۲۰۰۶: ۲۰۴) بیان داشتند که سنجش از دور در مطالعه خاک‌های شور، در شناسایی خاک‌های با شوری کم تا متوسط دارای محدودیت می‌باشد؛ از طرفی سنجنده‌ها تنها سطح

خاک را اسکن می‌کنند در حالی که تمامی پروفیل خاک تحت تأثیر شوری می‌باشد؛ این محدودیت ضرورت استفاده از سایر تکنیک‌ها و داده‌ها را در مطالعه شوری مشخص می‌کند. آنها اظهار داشتند که ترکیب سنجش از دور با مدلسازی حرکت املاح و استفاده از روش‌های پیشرفته ژئوفیزیکی (EM) به طور موفقیت‌آمیز برای پیشگویی و تعیین شوری به کار برده می‌شوند. تاج گردان و همکاران (۱۳۸۸: ۱۳) به منظور ارائه یک مدل برای تهیه نقشه شوری با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ETM+ و مقادیر شوری، از روش رگرسیون چندمتغیره و برای ارزیابی مدل‌ها از مقادیر ME و RMSE استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار EC با باند ۴، مؤلفه‌های درخشندگی و سبزیگی خاک و مؤلفه حاصل از ادغام طیفی باند ۴ با باند پانکروماتیک دارای همبستگی معنی دار و دارای ضریب تبیین ۰/۴۴ می‌باشد. ریورو و همکاران (۲۰۰۷: ۴۳۴-۴۲۸) در تهیه نقشه تغییرپذیری فسفر خاک و مقایسه کارایی روش‌های زمین آماری و آماری به کمک داده‌های طیفی ASTER و ETM+، در همه روش‌ها با انحراف استاندارد بالا و تفاوت زیاد دامنه داده‌ها، مقادیر ME و RMSE بالایی به دست آوردند. هاتفی اردکانی (۱۳۸۹: ۱۰۱-۹۹) شناسایی نوع املاح رسوبات تبخیری را با تصاویر ASTER ارزیابی نمود و پس از آنالیزهای رگرسیونی بین داده‌های زمینی و ماهواره‌ای، شان داد که باندهای ۴ و ۹ و همچنین باندهای ۲ و ۳ تصاویر ASTER به ترتیب برای شناسایی رسوبات گچ و نمک مناسب می‌باشند و بدین ترتیب با این باندها مدلی را برای شناسایی این رسوبات معرفی کرده است. دشتکیان و همکاران (۱۳۸۷: ۱۴۵) از روش میانگین رگرسیون‌ها با باندهای استاندارد شده ۱، ۲ و ۳ طبقه بندی حداکثر احتمال، شاخص شوری (SI)^۵، شاخص شوری استاندارد شده (NDSI)^۶، با استفاده از داده‌های

^۱ - Ekercin and Ormeci

^۲ - Electrical Conductivity

^۳ - Short Wave Infra Red

^۴ - Farifteh

^۵ - Salinity Index

^۶ - Normalized Difference Salinity Index

همکاران (۲۰۱۱: ۱۵۵۲) به منظور پایش شوری خاک دلتای رودخانه زرد در چین از تصاویر ابرطیفی و شاخص‌های پوشش گیاهی استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها حاکی از ضریب تبیین ۰/۵۸ بین میزان هدایت الکتریکی خاک و شاخص شوری اصلاح شده و همچنین قابلیت بالای تصاویر ابرطیفی در پایش شوری خاک می‌باشد.

نظر به این که اغلب مطالعات برای پهنه بندی اراضی شور، به بررسی رابطه داده‌های ماهواره‌ای با فاکتور هدایت الکتریکی به عنوان شاخص شوری و به روش رگرسیون چندمتغیره پرداخته‌اند و مطالعات اندکی در زمینه بررسی نقش کاتیون‌ها و آنیون‌ها با داده ماهواره‌ای و به روش رگرسیون دو متغیره به منظور تفکیک رخساره‌ها انجام شده، لذا هدف از تحقیق حاضر بررسی مدل‌های مختلف رگرسیون دو متغیره و یافتن مدل‌های بهینه هر یک از کاتیون‌ها و آنیون‌ها به منظور تفکیک رخساره‌ها در بخشی از پلایای ابرکوه می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شهرستان ابرکوه استان یزد و دارای مساحت ۸۷.۴ کیلومتر مربع می‌باشد که در محدوده جغرافیایی ۴۰° و ۵۲° تا ۴۴° و ۵۳° طول شرقی و ۴۱° و ۳۰° تا ۳۰° و ۳۱° عرض شمالی و در زون ۴۰ جغرافیایی قرار دارد. اقلیم منطقه گرم و خشک است و وجود رسوبات تبخیری یعنی تشکیلات گچی و نمکی همراه با رس شور از دیگر ویژگی‌های این کفه می‌باشد.

به منظور انجام تحقیق حاضر، از تصویر سنجنده ASTER متعلق به ۲ ژوئن سال ۲۰۰۶ میلادی و از تصاویر ETM+ زمین مرجع شده مربوط به تابستان ۲۰۰۵ جهت زمین مرجع نمودن تصویر ASTER استفاده شده است. از گیرنده GPS به منظور برداشت میدانی و از نرم افزار PCI_Geomatica8.1 و ENVI4.2 به منظور انجام پردازش‌های تصویری و از

ماهواره لندست برای تهیه نقشه شوری خاک در منطقه مروست استفاده کردند. گوتیرز و جانسون (۲۰۱۰: ۴۹) به استخراج اطلاعات مربوط به شوری اراضی شمال مکزیکو در تصویر لندست پرداختند و رفتار طیفی نواحی با شوری مختلف را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از تبدیل طیفی Tasseled cap، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و نسبت گیری طیفی چندگانه استفاده شده است. کاستراد و همکاران (۲۰۰۵: ۹۸-۹۵) با استفاده از اطلاعات میدانی و دورسنجی، ۵ طبقه رخساره سطحی در حاشیه دریاچه مونگاروس شامل رخساره‌های آبی، زمین‌های پرآب، زمین‌های مرطوب، زمین‌های پوشش‌دار و زمین‌های لخت خشک را شناسایی کرده‌اند. در شناسایی این ۵ رخساره، از طبقه بندی نظارت نشده همراه با تفسیر طیف باندهای اصلی مرئی، تبدیل IHS و آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده شده است.

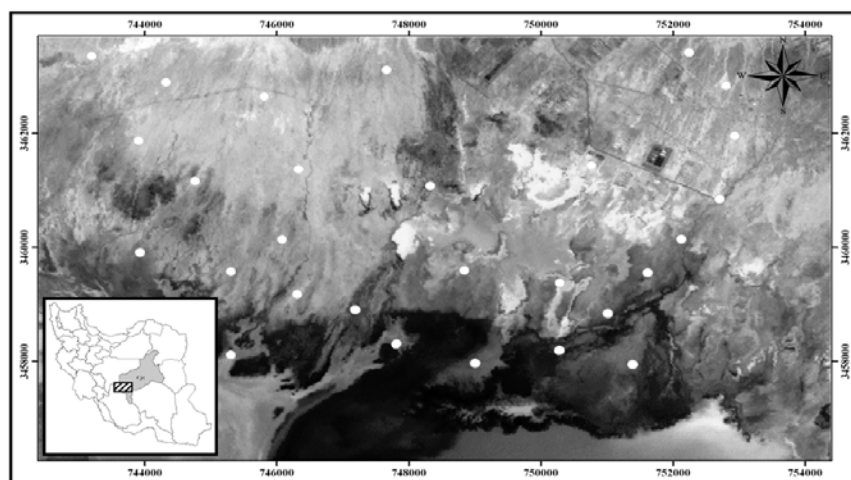
رضائی مقدم و ثقفی (۱۳۸۵: ۴۳) در مطالعه بر روی پلایای کهک در استان خراسان جنوبی، نشان داده‌اند که محدودیت‌های موجود در خصوص استفاده از داده‌های سنجش از دور به منظور تهیه نقشه از مناطق تحت تأثیر نمک به چگونگی رفتار طیفی انواع نمک‌های موجود، توزیع مکانی نمک‌ها برای سطح زمین، تغییرات زمانی شوری، پوشش گیاهی به عنوان مانع و اختلاط‌های طیفی با سایر سطوح زمین بستگی دارد. در این تحقیق، روش‌هایی مانند عدم اختلاط طیفی، طبقه بندی حداکثر احتمال، نسبت موجود بین باندها و طبقه بندی فازی مورد بحث قرار گرفته‌اند و در نهایت تغییرات زمانی و مکانی شوری و نیز گسترش و توسعه پلایا با استفاده از ترکیب روش‌ها، تعیین شده است. خنامانی و همکاران (۲۰۰۵: ۱۳۹۰) به منظور ارزیابی وضعیت خاک دشت سگزی اصفهان، از فن آوری سنجش از دور و روش کریجینگ استفاده کردند. آنالیز آماری تحقیق آنها نشان داد که همبستگی معنی داری بین شاخص خاک و اطلاعات طیفی سبز و قرمز و شاخص درخشندگی وجود دارد. تینگ ژانگ و

مختصات نقاط نمونه برداری با استفاده از یک دستگاه GPS، مدل Etrex vista مدل Cx جهت انتقال بر روی لایه‌های اطلاعاتی موجود در بانک اطلاعاتی ثبت گردید. پراکنش نقاط نمونه برداری در منطقه مطالعاتی در شکل (۱) نشان داده شده است.

نرم افزار SPSS به منظور انجام آنالیزها و محاسبات آماری استفاده شده است.

روش تحقیق

در این تحقیق به منظور اندازه گیری مقادیر مؤلفه‌های شوری خاک، ۳۰ پروفیل به شکل تصادفی در سطح پلاپای کویر ابر کوه انتخاب و حفر گردید.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه در ایران و استان یزد به همراه موقعیت نقاط نمونه برداری

داده‌های ماهواره‌ای برای هر یک از باندها منظور گردید. این کار برای تمامی نقاط نمونه برداری شده در صحرا و برای تمامی باندهای مورد نظر در منطقه مورد مطالعه انجام گرفت. برای تهیه مدل‌های رگرسیونی از نتایج آنالیز خاک مربوط به هر نمونه و ارزش بازتاب طیفی استخراج شده از هر پروفیل استفاده شد. به همین منظور بانک اطلاعاتی داده‌های یاد شده، تهیه و سپس اقدام به تعیین انواع مدل‌های رگرسیونی دو متغیره در حالت‌های گوناگون خطی، لگاریتمی، معکوس، توانی، نمایی، درجه دو، درجه سه، منحنی رشد، ترکیبی و حالت S با کمک نرم افزار SPSS13 و به صورت ارائه شده در زیر مورد بررسی قرار گرفت.

نمونه‌های خاک پس از حمل به آزمایشگاه مورد تجزیه قرار گرفته و مقادیر مؤلفه‌های خاک پس از تجزیه آزمایشگاهی تعیین و ثبت شده و مقادیر مربوط به مؤلفه‌های EC، SP، PH، Na⁺، K⁺، Ca²⁺، Mg²⁺، SO₄²⁻ و HCO₃⁻، Cl⁻ در تشکیل مدل‌های همبستگی (تخمین) مورد استفاده قرار گرفته است. سپس نسبت به تصحیح هندسی، انواع پردازش‌ها و تبدیل‌های طیفی تصویر سنجنده ASTER متعلق به ۲ ژوئن سال ۲۰۰۶ میلادی اقدام شد. پس از آن بر اساس مختصات طول و عرض جغرافیایی نقاط نمونه برداری ثبت شده با GPS یک وکتور نقطه‌ای ساخته شد و این لایه بر روی باندهای مختلف تصاویر ASTER قرار گرفت. میانگین اعداد مربوط به ۹ پیکسل همجوار در هر نقطه به عنوان مقدار عددی

که در آن‌ها RE خطای نسبی به درصد، RMSE مجذور میانگین مربعات خطا، Q_o مقدار مشاهده‌ای متغیر وابسته، Q_e مقدار تخمینی متغیر وابسته، CE ضریب کارایی، \bar{Q}_o میانگین مقادیر مشاهده‌ای، و n تعداد مشاهدات می‌باشد (Das: ۲۰۰۰: ۲۹۸).

در نهایت، با جایگذاری باندهای مندرج در هر مدل نسبت به تهیه نقشه $SP, EC, PH, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, HCO_3^-$ و SO_4^{2-} اقدام شده است.

نتایج

نتایج مربوط به پارامترهای آماری نظیر مقادیر مینیمم و ماکزیمم، میانگین و انحراف معیار مؤلفه‌های $SP, EC, PH, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, HCO_3^-$ و SO_4^{2-} پس از تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی در جدول (۱)، نتایج مربوط به برقراری مدل‌های رگرسیونی دو متغیره بین مقادیر مختلف مؤلفه‌های خاک و داده‌های ماهواره‌ای سنجنده ASTER در حالت‌های گوناگون خطی، لگاریتمی، معکوس، توانی، نمایی، درجه دو، درجه سه، منحنی رشد، ترکیبی و حالت S در جدول - های شماره (۲) تا (۱۰) و در نهایت نتایج مربوط به انتخاب بهترین مدل‌ها با در نظر گرفتن ضریب همبستگی و ضریب کارایی پایین‌تر و مقادیر خطای نسبی تخمین و تأیید و مجذور میانگین مربعات خطای پایین‌تر در جدول (۱) آمده است.

| | |
|---------------|--|
| مدل خطی | [1] $Y = b_0 + b_1x$ |
| مدل لگاریتمی | [2] $Y = b_0 + b_1 \text{Log}x$ |
| مدل معکوس | [3] $Y = b_0 + b_1/x$ |
| مدل درجه دو | [4] $Y = b_0 + b_1x + b_2x^2$ |
| مدل درجه سوم | [5] $Y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3$ |
| مدل ترکیبی | [6] $Y = b_0b_1^x$ |
| مدل توانی | [7] $Y = b_0x^{b_1}$ |
| مدل S شکل | [8] $Y = e^{b_0+b_1/x}$ |
| مدل منحنی رشد | [9] $Y = e^{b_0+b_1x}$ |
| مدل نمایی | [10] $Y = b_0e^{b_1x}$ |

برای انجام مدل سازی، از دو سوم تصادفی داده‌ها برای مرحله تهیه مدل و از یک سوم باقی مانده به منظور تأیید مدل استفاده شد (معمدنیا، ۱۳۸۸: ۱۸، صادقی، ۱۳۸۴: ۸۶ و Green: ۱۹۸۶: ۳۹۸). به منظور دستیابی به مدل نهایی پیش بینی متغیر وابسته از معیارهای مهم ارزیابی خطای نسبی تخمین و تأیید، مجذور میانگین مربعات خطا، ضریب همبستگی و در نهایت ضریب کارایی به صورت ارائه شده در روابط زیر استفاده شد. اعتبار نهایی مدل‌های به دست آمده با توجه به مقادیر قابل قبول خطای تخمین و تأیید کمتر، مقادیر مجذور میانگین مربعات خطای کوچک‌تر و ضریب کارایی بالاتر و نزدیک به یک ارزیابی گردید.

$$RE = \left| \frac{Q_o - Q_e}{Q_o} \right| \times 100 \quad RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_e)^2}{n}}$$

$$CE = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - Q_e)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2}$$

جدول ۱: مشخصات آماری داده‌های برداشت شده زمینی (نگارنده)

| متغیر | range | min | max | mean | Std. Deviation |
|-------|---------|-------|---------|---------|----------------|
| SP | 42.0 | 12.2 | 54.2 | 30.2 | 9.2 |
| PH | 2.0 | 6.4 | 8.4 | 7.3 | 0.5 |
| EC | 476.2 | 67.0 | 543.2 | 381.2 | 134.4 |
| So4 | 2,702.0 | 60.2 | 2,762.2 | 1,018.2 | 742.4 |
| Hco3 | 56.0 | 1.0 | 57.0 | 6.1 | 10.4 |
| Cl | 4,360.0 | 640.0 | 5,000.0 | 3,494.7 | 1,372.4 |
| Na | 6,288.8 | 450.3 | 6,739.1 | 4,069.2 | 1,839.9 |
| K | 179.4 | 3.5 | 182.9 | 28.2 | 41.9 |
| Mg | 1,210.0 | 13.0 | 1,223.0 | 245.3 | 300.7 |
| Ca | 1,114.0 | 20.0 | 1,134.0 | 167.1 | 221.9 |

جدول ۲: پارامترهای آماری مربوط به ارزیابی‌روش‌های مختلف رگرسیون دو متغیره بین مقادیر سولفات خاک و داده‌های ماهواره‌ای (نگارنده)

| پارامتر | نوع مدل | R ² | sig | RE | | CE | RMSE |
|---------|-----------|----------------|-------|-------|--------|------|--------|
| | | | | تخمین | تأیید | | |
| SO4 | linear | 0.33 | 0.008 | 114.5 | 375.3 | 0.33 | 573.2 |
| | log | * | * | * | * | * | * |
| | inverse | * | * | * | * | * | * |
| | quadratic | 0.347 | 0.027 | 92.2 | 387.6 | 0.35 | 565.6 |
| | cubic | 0.412 | 0.03 | 240.2 | 184.7 | -7.9 | 2097.9 |
| | compound | * | * | * | * | * | * |
| | power | * | * | * | * | * | * |
| | S | * | * | * | * | * | * |
| | growth | 0.398 | 0.003 | 84.3 | 238.06 | 0.05 | 681.7 |
| | exp | 0.397 | 0.003 | 88.19 | 253.9 | 0.04 | 682.6 |

جدول ۳: پارامترهای آماری مربوط به ارزیابی‌روش‌های مختلف رگرسیون دو متغیره بین مقادیر بیکربنات خاک و داده‌های ماهواره‌ای (نگارنده)

| پارامتر | نوع مدل | R ² | sig | RE | | CE | RMSE |
|---------|---------|----------------|-------|-------|--------|-------|------|
| | | | | تخمین | تأیید | | |
| HCO3 | linear | 0.2 | 0.048 | 98.06 | 1230.2 | 0.2 | 4.06 |
| | log | 0.2 | 0.048 | 51.98 | 126.4 | -0.07 | 4.7 |
| | inverse | 0.2 | 0.048 | 98.98 | 311.3 | 0.19 | 4.07 |

جدول ۴: پارامترهای آماری مربوط به ارزیابی‌روش‌های مختلف رگرسیون دو متغیره بین مقادیر کلر خاک و داده‌های ماهواره‌ای (نگارنده)

| پارامتر | نوع مدل | R ² | sig | RE | | CE | RMSE |
|---------|-----------|----------------|-------|-------|----------|--------|--------|
| | | | | تخمین | تأیید | | |
| CL | linear | 0.42 | 0.002 | 29.98 | 460147.1 | 0.42 | 948.8 |
| | log | 0.409 | 0.002 | 45.8 | 111.8 | -0.037 | 1270.2 |
| | inverse | 0.396 | 0.003 | 31.56 | 112.17 | 0.39 | 969.2 |
| | quadratic | 0.484 | 0.004 | 25.8 | 146.07 | 0.48 | 896 |
| | cubic | 0.485 | 0.004 | 25.7 | 137.4 | 0.48 | 894.7 |
| | compound | 0.428 | 0.002 | 31.07 | 170.07 | 0.28 | 1051.2 |
| | power | 0.411 | 0.002 | 30.86 | 316.7 | 0.27 | 1065.1 |
| | S | 0.394 | 0.003 | 30.42 | 1026.5 | 0.2 | 1107.6 |
| | growth | 0.428 | 0.002 | 29.2 | 156.2 | 0.25 | 1075.3 |
| | exp | 0.428 | 0.002 | 32.5 | 176.2 | 0.27 | 1068.4 |

جدول ۵: پارامترهای آماری مربوط به ارزیابی روش‌های مختلف رگرسیون دو متغیره بین مقادیر سدیم خاک و داده‌های ماهواره‌ای (نگارنده)

| CE | RMSE | RE | | sig | R ² | نوع مدل | پارامتر |
|-------|--------|-------|-------|-------|----------------|-----------|---------|
| | | تأیید | تخمین | | | | |
| 0.57 | 1086.9 | 223.6 | 40.2 | 0 | 0.568 | linear | Na |
| * | * | * | * | * | * | log | |
| 0.36 | 1323.4 | 150.9 | 59.03 | 0.005 | 0.36 | inverse | |
| 0.6 | 1043.8 | 186.6 | 43.8 | 0 | 0.602 | quadratic | |
| 0.62 | 1015.8 | 222.4 | 36.3 | 0.001 | 0.624 | cubic | |
| 0.32 | 1366.7 | 364.2 | 35.9 | 0 | 0.585 | compound | |
| * | * | * | * | * | * | power | |
| -0.1 | 1738.6 | 115.4 | 51.8 | 0.008 | 0.331 | S | |
| 0.29 | 1390.7 | 334.8 | 33.6 | 0 | 0.585 | growth | |
| -0.13 | 1762.4 | 370.8 | 66.5 | 0 | 0.585 | exp | |

جدول ۶: پارامترهای آماری مربوط به ارزیابی روش‌های مختلف رگرسیون دو متغیره بین مقادیر پتاسیم خاک و داده‌های ماهواره‌ای (نگارنده)

| CE | RMSE | RE | | sig | R ² | نوع مدل | پارامتر |
|--------|-------|---------|---------|-------|----------------|-----------|---------|
| | | تأیید | تخمین | | | | |
| 0.35 | 36.4 | 291.4 | 179.5 | 0.005 | 0.357 | linear | k |
| -14.1 | 176.9 | 1985.8 | 1581.2 | 0.005 | 0.367 | log | |
| 0.36 | 36.3 | 220.8 | 145.9 | 0.004 | 0.371 | inverse | |
| -440.4 | 954.8 | 12575.2 | 10336.6 | 0.016 | 0.385 | quadratic | |
| -67.14 | 375.1 | 4700.7 | 4009.8 | 0.015 | 0.389 | cubic | |
| -5120 | 3252 | 43018.2 | 33404.7 | 0.001 | 0.461 | compound | |
| 0.2 | 40.6 | 94.7 | 73.67 | 0.001 | 0.472 | power | |
| 0.22 | 39.98 | 101.4 | 79 | 0.001 | 0.477 | S | |
| 0.24 | 39.65 | 116.5 | 81.42 | 0.001 | 0.461 | growth | |
| 0.27 | 39.16 | 123.5 | 85.07 | 0.001 | 0.461 | exp | |

جدول ۷: پارامترهای آماری مربوط به ارزیابی روش‌های مختلف رگرسیون دو متغیره بین مقادیر کلسیم خاک و داده‌های ماهواره‌ای (نگارنده)

| CE | RMSE | RE | | sig | R ² | نوع مدل | پارامتر |
|---------|---------|---------|---------|-------|----------------|-----------|---------|
| | | تأیید | تخمین | | | | |
| -3290.4 | 14672.1 | 18334.5 | 27615.5 | 0.01 | 0.316 | linear | Ca |
| * | * | * | * | * | * | log | |
| 0.06 | 248 | 143.9 | 251.18 | 0.301 | 0.059 | inverse | |
| 0.37 | 202.3 | 129.6 | 142.5 | 0.019 | 0.374 | quadratic | |
| 0.37 | 202 | 145.4 | 140.9 | 0.051 | 0.376 | cubic | |
| -0.004 | 256.3 | 175.2 | 325.7 | 0.002 | 0.424 | compound | |
| * | * | * | * | * | * | power | |
| * | * | * | * | * | * | S | |
| 0.22 | 225.4 | 73.9 | 93.2 | 0.002 | 0.424 | growth | |
| -0.54 | 317.8 | 99.9 | 99.9 | 0.002 | 0.424 | exp | |

جدول ۸: پارامترهای آماری مربوط به ارزیابی روش‌های مختلف رگرسیون دو متغیره بین مقادیر منیزیم خاک و داده‌های ماهواره‌ای (نگارنده)

| پارامتر | نوع مدل | R ² | sig | RE | | CE | RMSE |
|---------|-----------|----------------|-------|--------|--------|-------|-------|
| | | | | تخمین | تأیید | | |
| mg | linear | 0.334 | 0.008 | 356.6 | 578.4 | 0.33 | 243 |
| | log | 0.323 | 0.009 | 150.16 | 269.5 | -0.12 | 315.7 |
| | inverse | 0.312 | 0.01 | 363.3 | 670.2 | 0.31 | 247.1 |
| | quadratic | 0.5 | 0.003 | 251.2 | 2618.6 | 0.5 | 210.6 |
| | cubic | 0.507 | 0.002 | 247.4 | 2489.7 | 0.51 | 209.1 |

جدول ۹: پارامترهای آماری مربوط به ارزیابی روش‌های مختلف رگرسیون دو متغیره بین مقادیر قایابی بودن خاک و داده‌های ماهواره‌ای (نگارنده)

| پارامتر | نوع مدل | R ² | sig | RE | | CE | RMSE |
|---------|-----------|----------------|-------|----------|----------|---------|----------|
| | | | | تخمین | تأیید | | |
| Ph | linear | 0.375 | 0.004 | 6.67 | 3.78 | -0.24 | 0.613 |
| | log | 0.376 | 0.004 | 272.5 | 264.9 | -1255.5 | 19.5 |
| | inverse | 0.378 | 0.004 | 6.7 | 3.8 | -0.24 | 0.61 |
| | quadratic | 0.383 | 0.016 | 7.65 | 4.4 | -0.87 | 0.75 |
| | cubic | 0.384 | 0.004 | 14.5 | 13.98 | -4.14 | 1.24 |
| | compound | 0.376 | 0.004 | 0.86 | 3.7 | -0.36 | 0.64 |
| | power | 0.378 | 0.004 | 6.9 | 3.56 | -0.31 | 0.63 |
| | S | 0.379 | 0.004 | 6.13 | 4.57 | -0.14 | 0.58 |
| | growth | 0.376 | 0.004 | 6.11 | 4.86 | -0.16 | 0.59 |
| | exp | 0.376 | 0.004 | 723073.9 | 559387.4 | -177703 | 71191.67 |

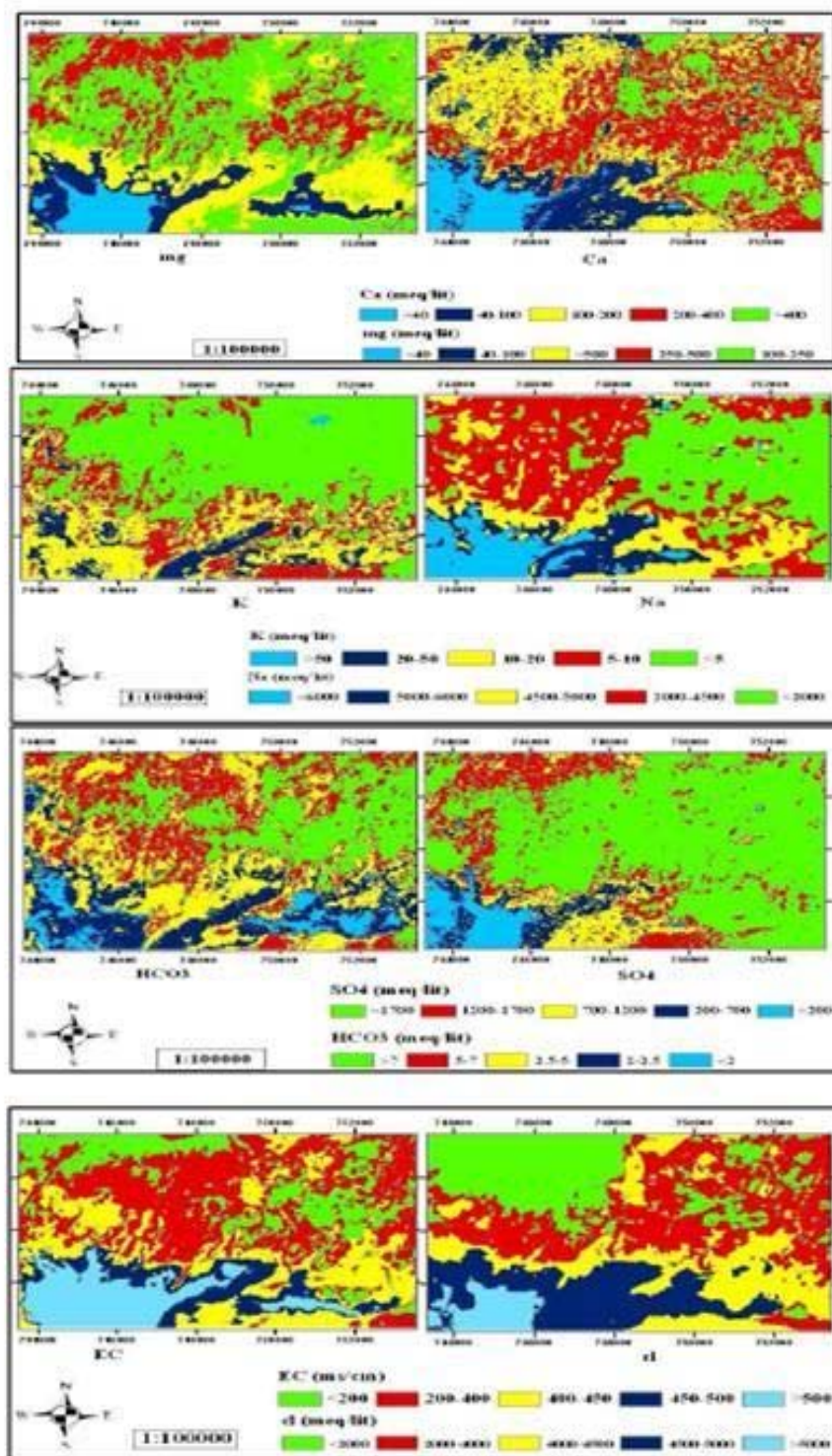
جدول ۱۰: پارامترهای آماری مربوط به ارزیابی روش‌های مختلف رگرسیون دو متغیره بین مقادیر شوری خاک و داده‌های ماهواره‌ای (نگارنده)

| پارامتر | نوع مدل | R ² | sig | RE | | CE | RMSE |
|---------|-----------|----------------|-------|-------|--------|------|-------|
| | | | | تخمین | تأیید | | |
| EC | linear | 0.63 | 0 | 19.5 | 113.5 | 0.64 | 72.5 |
| | log | * | * | * | * | * | * |
| | inverse | * | * | * | * | * | * |
| | quadratic | 0.671 | 0 | 21.29 | 108 | 0.81 | 68.8 |
| | cubic | 0.72 | 0 | 19.5 | 109.7 | 0.67 | 68.9 |
| | compound | 0.634 | 0 | 20.7 | 123.18 | 0.48 | 87 |
| | power | * | * | * | * | * | * |
| | S | 0.341 | 0.007 | 30.7 | 109.3 | 0.11 | 114.3 |
| | growth | 0.634 | 0 | 20.5 | 121.9 | 0.48 | 86.8 |
| | exp | 0.634 | 0 | 20.7 | 123 | 0.48 | 87 |

جدول ۱۱: مدل‌های بهینه مؤلفه‌های مختلف خاک - داده‌های ماهواره‌ای برای شناسایی رخساره‌ها در بخشی از پلاهای ابرکوه (نگارنده)

| پارامتر | مدل | نوع مدل | R ² | R | sig | RE | | CE | RMSE |
|------------------|---|-----------|----------------|------|-------|-------|--------|------|--------|
| | | | | | | تخمین | تأیید | | |
| SO ₄ | $612.5-60872.7*PC2,123-856301.1*(PC2,123)^2$ | quadratic | 0.347 | 0.59 | 0.027 | 92.2 | 387.6 | 0.35 | 565.6 |
| HCO ₃ | $46.9*BR5/4-45.67$ | inverse | 0.2 | 0.45 | 0.048 | 98.98 | 311.3 | 0.19 | 4.07 |
| CL | $114753.6*BR4/3-57549*(BR4/3)^2-52665.6$ | quadratic | 0.484 | 0.7 | 0.004 | 25.8 | 146.07 | 0.48 | 896 |
| Na | $(70.2*(B2-B3)/(B2+B3))+7022.4$ | linear | 0.568 | 0.75 | 0.000 | 40.2 | 223.6 | 0.57 | 1086.9 |
| K | $33.9/B9-147.9$ | inverse | 0.371 | 0.61 | 0.004 | 145.9 | 220.8 | 0.36 | 36.3 |
| Ca | $569935*(PC2,123)^2+27699.3*PC2,123+364.6$ | quadratic | 0.374 | 0.61 | 0.019 | 142.5 | 129.6 | 0.37 | 202.3 |
| mg | $(31594*(BR4/5)^3)-(50404.3*(BR4/5)^2)+(0.001*BR4/5)+19152.9$ | cubic | 0.507 | 0.71 | 0.002 | 247.4 | 2489.7 | 0.51 | 209.1 |
| Ph | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| SP | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| EC | $(-0.065*(B2-B3)/(B2+B3)^2)-(0.696*(B2-B3)/(B2+B3))+491.1$ | quadratic | 0.671 | 0.82 | 0.000 | 21.29 | 108 | 0.81 | 68.8 |

نقشه طبقات مربوط به مدل‌های بهینه پس از طبقه بندی به روش تفکیک تراکمی در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: نقشه طبقات سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سولفات، بیکربات، کلر و EC مربوط به مدل‌های بهینه در پلاپای ابرکوه (نگارنده)

بحث و نتیجه گیری

به منظور انجام این پژوهش با هدف بررسی روش‌های مختلف رگرسیون دو متغیره، بر اساس روابط بین مؤلفه‌های مختلف خاک با داده‌های ماهواره‌ای سنجنده ASTER در شناسایی رخساره‌های کویری پلاپای ابرکوه، از داده‌های مربوط به آنالیز ۳۰ نمونه خاک و ارزش طیفی متناظر نقاط نمونه برداری استفاده گردید. روی هم رفته از ۹۰ مدل به دست آمده از مدل‌های رگرسیونی دو متغیره، ۸ مدل بهینه برای منطقه مطالعاتی انتخاب و در جدول (۱۱) ارائه شده است. با توجه به جدول (۱۱) می‌توان استنباط نمود که معادله‌های خطی، درجه دو، درجه سه و معکوس به منظور شناسایی و تفکیک رخساره‌های کویری پلاپای ابرکوه قابلیت کاربرد بیشتری دارند. از سوی دیگر، شکل کلی غالب مدل‌های به دست آمده بر ارتباط غیرخطی داده‌های ماهواره‌ای با مقادیر مربوط به مؤلفه‌های مختلف شوری خاک به جز متغیر سدیم دلالت دارد؛ گرچه استفاده از معادله خطی برای سایر متغیرها نیز با پذیرش سطح بیشتر خطا قابل استفاده است اما نظر به این که هدف، رسیدن به مدل‌های بهینه می‌باشد، لذا مدل‌هایی که از ضرایب کارایی و همبستگی بیشتر و خطای کمتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار می‌باشند، انتخاب و به کار گرفته می‌شوند. هم چنین با دقت در جداول (۲) تا (۱۰) ملاحظه می‌شود که بعضی از مدل‌ها با وجود ضریب همبستگی و ضریب کارایی پایین‌تر بر مدل‌های دیگر برتری دارند. دلیل این امر را می‌توان به منطقی بودن روابط موجود، قابلیت و کارایی استفاده از این مدل‌ها و همچنین سادگی آنها نسبت داد. مشاهده می‌شود که برخی از مدل‌ها از کارایی ظاهری بالایی برخوردارند که دلیل آن را می‌توان در نوسانات کم متغیر مورد نظر و یا خطای اندازه گیری مؤلفه‌های مذکور جست و جو نمود. مقادیر نسبتاً بالای RE و RMSE را نیز می‌توان به بالا بودن انحراف استاندارد و تغییرات شدید داده‌ها نسبت داد. نظر به این که ضریب تبیین و

ضریب کارایی مدل‌های سدیم، منیزیم و EC بالاتر از ۰/۵ و ۵۰ درصد می‌باشد، لذا می‌توان این گونه اذعان کرد که بر اساس مدل‌های مربوط به این مؤلفه‌ها با دقت بیشتری می‌توان نسبت به تفکیک و شناسایی رخساره‌ها اقدام کرد. گرچه همان گونه که قبلاً ذکر گردید با توجه به هدف تحقیق، سایر مدل‌های مندرج در جدول (۱۱) نیز با پذیرش سطح خطای بالاتر و ضریب تبیین و کارایی پایین‌تر قابل قبول می‌باشد. همچنین بررسی مدل‌های بهینه ارائه شده در جدول (۱۱) حاکی از بازتاب مختلف کاتیون‌ها و آنیون‌های خاک در محدوده‌های طیفی مختلف است؛ به طوری که مقادیر سولفات و کلسیم خاک با مؤلفه دوم حاصل از تجزیه و تحلیل اجزای اصلی باندهای محدوده مرئی، مقادیر سدیم و شوری خاک با شاخص شوری استاندارد شده (NDSI) و مقادیر بیکربنات، کلر، پتاسیم و منیزیم خاک به ترتیب با نسبت باندهای ۵ به ۴، ۴ به ۳، ۳ به ۹ و نسبت باند ۴ به ۵ بیشترین همبستگی و کمترین خطا را دارا هستند. بررسی کلی باندهای مذکور حاکی از نقش مؤثر باندهای محدوده طیفی مادون قرمز میانی سنجنده ASTER در شناسایی و تفکیک رخساره‌های منطقه مطالعاتی است. نقشه تهیه شده مربوط به مؤلفه‌های مختلف شوری بر اساس مدل‌های بهینه (شکل ۲)، نیز حاکی از افزایش مقادیر EC و یون‌های سدیم، کلر، پتاسیم به سمت مرکز پلایا و افزایش یون‌های کلسیم، منیزیم، سولفات و بیکربنات به سمت بیرون پلایا است. شایان ذکر است که بر اساس نتایج تحقیق حاضر هیچ گونه رابطه معنی داری بین میزان قلیایی بودن و درصد رطوبت اشباع با داده‌های ماهواره‌ای در منطقه مطالعاتی برقرار نشد. بنابراین تفکیک رخساره‌ها در منطقه مطالعاتی بر اساس دو مؤلفه مذکور امکان پذیر نمی‌باشد. در جمع بندی تحقیق حاضر با هدف بررسی مدل‌های بهینه به منظور تفکیک رخساره‌ها می‌توان اظهار نمود که عملکرد مدل‌های مختلف و شیوه‌های تجزیه و تحلیل آماری بسته به نوع متغیر مورد بررسی متفاوت

- صادقی، س.ح.ر، مرادی، ح.ر، مزین، م. و وفاخواه، م. (۱۳۸۴). کارایی روش‌های گوناگون تجزیه و تحلیل آماری در مدل‌سازی بارش- رواناب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کسلیان). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲(۳): ۸۱-۹۰.

- معتمدنیا، م و صادقی، ح.ر. (۱۳۸۸). تهیه و تحلیل سنجه دبی حوزه آبخیز جنگلی کجور در مقیاس‌های گوناگون زمانی. مجله علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۳(۹): ۲۶-۱۷.

- مهاجر، ر، صالحی، م.ح و بیگی هرچگانی، ح. (۱۳۸۸). «تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از رگرسیون و شبکه عصبی و اثر تفکیک داده‌ها بر دقت و صحت توابع». علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال سیزدهم، شماره ۴۹.

- هاتفی اردکانی، ا.ح. (۱۳۸۹). شناسایی و تفکیک نوع املاح رسوبات تبخیری با استفاده از داده‌های سنجه از دور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی؛ دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان.

- Castaneda, C., Herrero, J., (2005). "The Water Regime of the Monegros Playa-Lakes as Established from Ground and Satellite Data." *Journal of Hydrology*, 310: 95-110.
- Das, G. 2000. *Hydrology and Soil Conservation Engineering* Prentice-Hal of India Press.
- Ekercin, S. and C. Ormeci., (2008). "Estimating Soil Salinity Using Satellite Remote Sensing Data and Real-Time Field Sampling". *Environmental Engineering Science*, 25: 7.
- Farifteh, J., A. Farshad, R., J. George., (2006). "Assessing salt-affected soils using remote sensing, Solute modeling and geophysics". *Geoderma*, 130: 191-206
- Green, I.R.A. and Stephenson, D., (1986). "Criteria for Comparison of Single Event Mode". *Hydrological Sciences Journal*, 31:395-411.
- Gutierrez, M., Johns, E., (2010). "Temporal Variation of Natural Soil Salinity in an Arid Environment using Satellite Images", *Journal of South American Earth Science*, 73: 48-58.
- Rivero, R.G., Grunwald, S., and Bruland, G.L. (2007). "Incorporation of spectral data into multivariate geostatistical models to map soil phosphorus variability in a florida wetland", *Geoderma*, 140: 428-443.
- Zhang, T., Zeng, S.L., Ouyang, Z.T., Fang, C., and Zhao, B. (2011). "Using hyper spectral vegetation indices as a proxy to monitor soil salinity", *Ecological indicators*, 11:1552-1562.

است و ضرورت انجام تحقیقات جداگانه و دقیق و همچنین عدم تبعیت صرف از نتایج به دست آمده طی تحقیقات گذشته را ایجاب می‌نماید. از طرفی می‌توان ادعان نمود که انتخاب شیوه مناسب مدل سازی الزاماً با پیچیدگی روش و شیوه انتخاب شده همخوان نیست بلکه عملکرد موفق و یا برتر آن از جهات مختلف حائز توجه می‌باشد. به این ترتیب ضمن تأکید بر تداوم تحقیقات مشابه در سایر مناطق کویری و مقوله‌های مختلف پهنه بندی و تفکیک اراضی، انجام مطالعات گسترده‌تر و معرفی سایر شیوه‌های مدل سازی ریاضی از قبیل شبکه عصبی مصنوعی به منظور ارزیابی عملکرد آنها و نیز ارائه جمع بندی‌های جامع و نهایی پیشنهاد می‌شود.

منابع و مأخذ

- احمدی، ع. (۱۳۸۹). پهنه بندی رخساره‌های کویری پلائیای طبرس با استفاده از تکنیک سنجه از دور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد.
- تاج گردان، ت، ایوبی، ش، شتایی، ش و خرمالی، ف. (۱۳۸۸). تهیه نقشه شوری خاکی سطحی با استفاده از داده‌های دورسنجی ETM+، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۶، شماره ۲.
- خانامی، ع، جعفری، ر. سنگونی، ح. و شهبازی، ع. (۱۳۹۰). ارزیابی وضعیت خاک با استفاده از فن آوری سنجه از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ مطالعه موردی: دشت سگزی اصفهان، مجله علمی-پژوهشی کاربرد سنجه از دور و GIS در- علوم منابع طبیعی، جلد ۲، شماره ۳.
- دشتکیان، ک. پاک‌پرور، م، عبدالمی، ج، (۱۳۸۷). بررسی روش های تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست در منطقه مروست، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان، شماره ۲.
- رضایی مقدم، م.ح. ثقفی، م. (۱۳۸۵). بررسی تحولات ژئومورفولوژیک پلائیای کهک، استان خراسان جنوبی بر اساس روش‌های استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و منطق فازی، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۸.
- زارع، س. (۱۳۸۸). شناسایی خاک‌های شور منطقه سروستان با استفاده از تکنیک سنجه از دور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.