

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۸

برآورد میزان فرسایش خاک با ادغام تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از روش SVM (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی)

سارا نخعی نژادفرد^۱، حمید غلامی^۲، داود اکبری^۳

چکیده

در پژوهش حاضر، به منظور تهیه نقشه فرسایش خاک در استان خراسان جنوبی از تکنیک ادغام تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و مادیس و الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده گردید. برای این منظور از سه لایه اطلاعاتی نقشه کاربری اراضی، شیب و پوشش گیاهی استفاده شد. در روش پیشنهادی جهت تهیه نقشه کاربری اراضی، چهار الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌شده بیشینه احتمال، فاصله ماهالانوبی، حداقل فاصله و شبکه عصبی مصنوعی با رویکرد باند مادون قرمز حرارتی به کار گرفته شد. جهت تهیه نقشه پوشش گیاهی، شش الگوریتم ادغام، Gram-Schmidt, Brovey, HPF, NNDiffuse, PC و CN، استفاده شد. از نقشه DEM ماهواره ASTER، جهت تهیه نقشه شیب منطقه استفاده گردید. نتایج آزمایشات صورت گرفته نشان می‌دهد که الگوریتم بیشینه احتمال به همراه باند حرارتی بیشترین دقت را در تهیه نقشه کاربری اراضی دارد. همچنین الگوریتم NNDiffuse از دقت مطلوب‌تری جهت ادغام باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک لندست ۸ و مادیس برخوردار است. پس از تهیه نقشه کاربری اراضی، شیب و سه نقشه پوشش گیاهی حاصل از تصاویر لندست ۸، مودیس و ادغام لندست ۸ و مودیس، سه نقشه فرسایش با کاربرد الگوریتم SVM تهیه گردید. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار ضریب کاپا، (۶۹/۱)، مربوط به نقشه فرسایش حاصل از تصویر لندست ۸ و کمترین مقدار، (۵۷/۱)، مربوط به تصویر مودیس است. ادغام تصویر لندست ۸ و مودیس، مقدار ضریب کاپا را به ۶۷/۳ درصد افزایش داد. **واژگان کلیدی:** ادغام تصاویر ماهواره‌ای، لندست ۸، مودیس، طبقه‌بندی SVM، نقشه فرسایش.

۱. دانشجوی دکتری گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، هرمزگان، ایران.

۲. استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، هرمزگان، ایران.

۳. نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه زابل، زابل، ایران، پست الکترونیک: davoodakbari@ut.ac.ir

مقدمه

خاک به‌عنوان یکی از منابع قابل دسترس بشر برای ادامه حیات، پدیده‌ای پویا و در حال تغییر است. جهت دادن این تغییرات به سمت و سوی مطلوب انسان‌ها همیشه و در همه حال ممکن نیست. فرسایش خاک یکی از همین تغییرات طبیعی است که امروزه به علت استفاده نابخردانه از اراضی توسط انسان‌ها از وضعیت کند و طبیعی خود خارج شده و حالتی سریع و تشدید یافته است (Panagos et al, 2015:441). فرسایش خاک به دلیل تأثیرات شگرفی که بر اقتصاد و محیط زیست طبیعی و انسانی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گذارد به‌عنوان یک مشکل جهانی مطرح شده است. به‌همین دلیل لازم است عوامل تأثیرگذار بر روی آن شناسایی و متناسب با آن عملیات پیشگیرانه و حمایتی لازم صورت گیرد (ابراهیم‌زاده و اسمعیل‌نژاد، ۱۳۹۶: ۱۵). از آنجا که فرسایش خاک یک فرایند مبتنی بر چندین رویداد است، پیش‌بینی به هنگام و بلند مدت مناطقی که با فرسایش جدی مواجه است، یکی از چالش‌های مهم به شمار می‌آید (Möller et al, 2017: 197). قدرت فرساینده‌ی باران و پوشش گیاهی و باقیمانده گیاهی سطح خاک، یکی از مهمترین عوامل موثر در فرسایش خاک است (Boyte et al, 2017: 8).

شناخت وضعیت فرسایش خاک برای عرصه‌های وسیع با روش‌های متداول و قدیمی مطالعات میدانی، بسیار مشکل بوده و دسترسی به این مهم را تاکنون میسر نساخته است. یکی از ابزارهای مفید برای این منظور، استفاده از داده‌های سنجش از دور است. داده‌های سنجش از دور یکی از منابع مهم اطلاعات در بسیاری از کاربردهای شناسایی تغییرات نظیر پایش منابع طبیعی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی، نظارت بر تغییرات کاربری و پوشش اراضی و مطالعات محیط‌زیستی است (Afrasinei et al, 2017: 11; Gerstmann et al, 2016: 119; Maynard et al, 2016: 2051). امروزه به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای به طور چشمگیری در حال افزایش بوده و استفاده از آن در پایش پدیده‌های روزانه کاملاً احساس می‌گردد. اطلاعات مربوط به توسعه فنولوژیکی گیاهان و پوشش خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی پایش می‌شود. به دلیل محدودیت‌های عملی در ساخت سنجنده‌ها، امکان اخذ تصاویری که هم دقت طیفی و هم دقت مکانی بالایی داشته باشند، امکانپذیر نمی‌باشد. برای غلبه بر این مشکل می‌توان از فرایند ادغام تصاویر^۱ استفاده کرد (Olsoy et al, 2017: 978; Swain and Sahoo, 2017: 7; Wu et al, 2018: 37). در این فرآیند، اطلاعات مکانی از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا و اطلاعات طیفی از تصاویر با قدرت تفکیک طیفی بالا استخراج و با یکپارچه کردن آن‌ها، تصویری با دقت مکانی و طیفی بالا ایجاد می‌شود. یکی دیگر از مسائل مهم و حائز اهمیت در سنجش از دور، بهبود طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به منظور افزایش دقت نقشه‌های پوشش زمینی می‌باشد (Gao et al, 2017: 13; Xue and Su, 2017: 88). روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد که در این میان، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)، اخیراً توجه جامعه سنجش از دور را به خود جلب کرده است (نجفی و همکاران، ۱۳۹۶: ۹۴; Karan and Samadder, 2016: 489). این روش با استفاده از داده‌های آموزشی کم از خواص هندسی داده‌ها برای طبقه‌بندی استفاده می‌کند (نجفی و همکاران، ۱۳۹۶: ۹۷).

منطقه انتخاب شده در پژوهش حاضر استان خراسان جنوبی است. استان خراسان جنوبی دومین استان بیابانی کشور است که بخش عظیمی از بیابان‌های کشور را در خود جای داده است. این استان با قرار داشتن بر روی کمربند خشک

^۱ Fusion of satellite images

^۲ Support Vector Machines

و نیمه‌خشک نیمکره شمالی دارای ذخایر منابع آبی بسیار ضعیف و نزولات جوی کم، تبخیر سالیانه بسیار شدید و میزان پوشش گیاهی اندک است و به دلیل خشکسالی‌های ۱۸ سال اخیر روز به روز به وسعت بیابان‌های این استان اضافه می‌شود. در این استان ۲۲ کانون بحران فرسایش بادی با مساحت ۸۸۰۳۳۴ هکتار وجود دارد که در تمام شهرستان‌های استان پراکنده‌اند. حرکت ماسه‌های روان از این کانون‌های بحرانی موجب گسترش بیابان‌ها و طوفان‌های گرد و خاک در منطقه می‌شود. به گفته برخی کارشناسان اگر روند خشکسالی در استان تا ۱۵ سال آینده ادامه داشته باشد در خراسان جنوبی چیزی به عنوان مرتع وجود نخواهد داشت، کما اینکه هم اکنون نیز علوفه مرتعی در این استان ۴۴ درصد کاهش یافته که نشان از خشک‌شدن مراتع دارد. با توجه به اینکه پنج میلیون و ۵۰۰ هزار هکتار از مساحت استان (۸۱/۶ درصد از مساحت استان) را بیابان‌ها تشکیل می‌دهند، این عامل باعث شده است که سالانه خسارت‌های جبران‌ناپذیری به راه‌های مواصلاتی استان، بخش کشاورزی و دامداری، راه‌آهن و عرصه‌های منابع طبیعی استان وارد شده و باعث خالی از سکنه‌شدن بسیاری از روستاها و مهاجرت روستائیان به دیگر استان‌های کشور شود. گسترش بیابان بعد از تغییر اقلیم و کمبود آب شیرین به عنوان سومین چالش مهم جامعه جهانی به حساب می‌آید که در استان خراسان جنوبی خطر بیابانی شدن بیش از هر جای دیگر احساس می‌شود و نیازمند توجه ویژه مسئولان به حوزه بیابان است (اداره کل حفاظت محیط زیست خراسان جنوبی و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان جنوبی، ۱۳۹۵: ۱۳). بنابراین مطالعه و ارزیابی دقیق وضعیت و شناخت عوامل مختلف بیابانزایی در این منطقه قبل از هرگونه اقدام اجرایی برای بیابانزدایی آن، امری ضروری و واجب است. در واقع پایش فرسایش در فواصل مکرر، جهت فهم فرایندهای فرسایش خاک مرتبط با پوشش زمین و تغییرات آب و هوایی ضرورت دارد (Boyte et al, 2016: 269; Möller et al, 2017: 200). در این راستا تحقیق حاضر در پی پاسخگویی به سؤالات زیر می‌باشد:

- فواید تعیین میزان فرسایش خاک بر اساس روش SVM و ترکیب تصاویر ماهواره‌ای چیست؟
- کدام یک از پارامترهای مورد مطالعه در تعیین میزان فرسایش خاک تأثیرگذارتر می‌باشد؟

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

شناخت متقابل از منابع آب و خاک، افزایش رفاه مردم و نبود وابستگی اقتصادی کشورها را به دنبال خواهد داشت (Gelagay and Minale, 2016: 128) و در این میان تشدید فرایند فرسایش خاک و فزونی رسوبات، به عنوان دو محرک تنش‌زا، مهم‌ترین تهدید برای این منابع به حساب می‌آیند. در اغلب موارد فرسایش تنها از نظر هدررفت خاک در منطقه فرسایش دیده، پرشدن مخازن، از کارافتادگی سیستم‌های آبیاری و برنامه‌ریزی به منظور اقدامات آبخیزداری مهم است؛ در حالی‌که فرسایش یک فرآیند انتخابی است و تمایل به انتقال ریزترین و کوچک‌ترین ذرات خاک را دارد، ذراتی که غنی از عناصر غذایی هستند (Möller et al, 2017: 198). همچنین مهم‌ترین پدیده‌هایی که در مناطق بیابانی می‌تواند سبب ایجاد مشکلات بسیاری برای مناطق مجاور گردد، پدیده فرسایش و طوفان‌های گرد و خاک است که با شروع از مناطق بیابانی و گسترش آن‌ها به مناطق مجاور سبب مشکلات زیادی برای سلامت، راه و ترابری، فعالیت‌های اقتصادی و ... می‌گردد. از این رو لازم است برآورد سریعی از توزیع مکانی تراکم فرسایش خاک در مساحت‌های زیاد داشت. روش سنتی بررسی فرسایش خاک، تفسیر مستقیم عکس است. روش دیگر، مدل‌های فرسایش خاک شامل مدل‌های تئوری، آماری و اندازه‌گیری است. روش اول نیازمند بررسی بر مبنای زمین است که مقدار زیادی وقت و کار می‌طلبد، در حالی که حفظ ثبات داده نیز مشکل است. روش دوم نیز پیچیده بوده و نیاز به وقت بیشتری برای جمع‌آوری اطلاعات بارش

و بافت خاک دارد. اطلاعات حاصل از سنجش از دور برای کشف تغییر در سطح زمین و آماده کردن درست منابع تصاویر^۱ با صرف وقت و هزینه کمتر مفید است. از این رو توسعه بیش تر برآورد فرسایش خاک، با استفاده از اطلاعات سنجش از دور تضمین می شود (Tran et al, 2017: 122; Zhang et al, 2016: 17). با وجود توانایی زیاد سنجش از دور در استخراج اطلاعات پوشش زمینی، هنوز مشکلاتی برای این روش وجود دارد و دقت نقشه های پوشش زمینی که از تصاویر سنجش از دور به دست می آیند، برای بعضی کاربردها پایین است. عوامل زیادی ممکن است در به وجود آمدن این مشکل نقش داشته باشند که از جمله آنها می توان به ویژگی طیفی کلاس ها (پیوسته یا مجزا)، ویژگی های سنجنده (قدرت تفکیک مکانی و طیفی)، پیوستگی پوشش زمینی و روش های مورد استفاده برای استخراج اطلاعات (روش های طبقه بندی) اشاره کرد. یکی از کاربردهای تکنیک تلفیق تصاویر، ارائه یک طبقه بندی دقیق تر می باشد که به عنوان ابزاری نوین در استخراج اطلاعات مکانی مورد استفاده قرار می گیرد. هدف از ادغام داده ها افزایش کیفیت و محتوای اطلاعات موجود در هر یک از داده های اولیه است تا به این وسیله بتوان به استنتاج های مفیدی دست یافت. به زبانی ساده تر تکنیک های تلفیق تصاویر به منظور ارائه یک طبقه بندی دقیق تر مفید می باشد و به عنوان ابزاری کارآمد در استخراج اطلاعات مکانی از دو تصویر با قدرت تفکیک های متفاوت از یک منطقه می باشد. بنابراین در تهیه نقشه فرسایش خاک این تکنیک می تواند با وضوح و کیفیت بالا و احتمال خطای کمتر بسیار سودمند باشد. در قرون اخیر فرسایش و تأثیر آن بر روی خاک در سطح محلی، ملی، قاره ای و سیاست گذاری بین المللی به طور فزاینده ای مورد توجه قرار گرفته است و مطالعات فراوانی بر روی فرایند فرسایش خاک، دینامیک رسوب، ارزیابی رسوب، رسوب مخزن و جنبه های زیست محیطی انتقال رسوبات معلق و همچنین اقدامات ویژه به منظور کاهش فرسایش خاک متمرکز شده است که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می شود.

پیشینه تحقیق

بهبادفر و همکاران در سال ۱۳۹۶ از الگوریتم تلفیق تصاویر جهت افزایش صحت برآورد رسوب دهی در حوزه آبخیز درکش در شهرستان مانه استان خراسان شمالی استفاده کردند. برای این منظور تصاویر چندطیفی لندست ۷ و ۸ را با باند پانکروماتیک، با کاربرد الگوریتم Gram-Schmidt تلفیق کردند. نتایج مقایسه داده های رسوب مشاهداتی در حوزه آبخیز درکش با مقادیر برآورد شده نشان داد که نقشه نهایی طبقه بندی فرسایش حاصل از اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر بهتر و دقیق تر قادر به شناسایی نقاط حساس به خطر فرسایش است.

ژاو^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۶ میلادی در یک مطالعه در مرکز چین با ادغام باندهای طیفی و باند پانکروماتیک تصاویر ماهواره ای WorldView-3، به بررسی دقت الگوریتم های ادغام NNDiffuse^۳ و Brovey پرداختند. نتایج آنان حاکی از آن بود که با ادغام باندهای طیفی و باند پانکروماتیک، ثبات طیفی و بافتی تصاویر حفظ می شود. همچنین مشخص شد که میزان دقت ثبات طیفی در کاربری های پوشش گیاهی، سطوح آبی، اراضی بایر و مناطق مسکونی به ترتیب بیشتر است. مقایسه الگوریتم های ادغام مذکور نیز نشان داد که الگوریتم NNDiffuse در مقایسه با الگوریتم Brovey، از نظر حداقل، حداکثر و انحراف معیار ارزش طیفی به ارزش باند پانکروماتیک شبیه تر است.

^۱. Resource images

^۲. Zhao

^۳. Nearest Neighbor diffusion

بایت^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۷ میلادی در پژوهشی در غرب ایالت متحده به منظور برآورد شاخص گیاهی NDVI^۲ با تفکیک زمانی یک هفته‌ای، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و مودیس را با هم ادغام کردند. برای این منظور پس از ادغام تصاویر مودیس با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر با تصاویر ۳۰ متری لندست ۸، نقشه رستری شاخص گیاهی را با تصاویر ادغام شده، محاسبه کردند. سپس با برقراری رابطه رگرسیونی خطی بین شاخص NDVI تصاویر مودیس ادغام شده با لندست ۸ و شاخص NDVI تصاویر لندست ۸، مقادیر ضریب تعیین رابطه رگرسیونی را محاسبه کردند. نتایج نشان داد که R2 این روابط، بین ۰/۷۴ تا ۰/۸۵ متغیر است. همچنین شاخص NDVI تولید شده از ادغام مودیس و لندست ۸، در مقایسه با شاخص NDVI تولید شده با تصاویر مودیس، به طور قابل ملاحظه‌ای با واقعیت‌های زمینی منطبق است.

مولر^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۷ میلادی با انجام پژوهشی در زمین‌های کشاورزی در قسمت‌هایی از مرکز آلمان، به بررسی الگوی موقت فرسایش، تحت تأثیر دوره رشد گیاهان کشاورزی پرداختند. برای این منظور پس از ادغام تصاویر ماهواره‌ای با قدرت‌پذیری زمانی و مکانی متفاوت، همچون لندست و مودیس، سری زمانی شاخص NDVI را تهیه کردند. سپس با پیوند اطلاعات این شاخص با داده‌های مربوط به مدل فرسایش، بین میزان فرسایش و دوره رشد گیاهان ارتباط برقرار کردند. یافته‌های این محققان نشان داد که ادغام تصاویر ماهواره‌ای، فرصت‌های جدیدی جهت پایش خطر فرسایش فراهم می‌کند که در حفاظت از خاک و پیشگیری از خطر فرسایش، می‌تواند بسیار مثر به ثمر باشد.

حجازی و همکاران در سال ۱۳۹۷ با استفاده از مدل فرسایش E.P.M^۴ به بررسی و میزان فرسایش‌پذیری حوضه آبخیز کنگیر در استان ایلام پرداختند. آنها برای این منظور از نقشه‌های رقومی آبراهه‌ها، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، پوشش گیاهی، تصاویر ماهواره‌ای IRS و ETM+ مربوط به سال ۱۳۹۳ استفاده نمودند. وجود سازندهای حساس به فرسایش و کوهستانی بودن منطقه و شیب زیاد سبب شده که منطقه مورد مطالعه از مناطق مستعد جهت فرسایش خاک باشد. نتایج تحقیق نشان‌دهنده فرسایش‌پذیری متوسط حوضه آبخیز است که به ترتیب بیشترین فرسایش متعلق به قسمت‌های غربی و جنوب‌غربی و کمترین فرسایش مربوط قسمت‌های مرکز و شمال‌غربی حوضه آبخیز مورد مطالعه است.

نژاد افزلی و همکاران در سال ۱۳۹۸ فرسایش خاک در حوضه آبخیز دهکهان در جنوب استان کرمان را با استفاده از مدل تجدیدنظرشده جهانی فرسایش خاک (RUSLE) برآورد نمودند. در این تحقیق ضمن بررسی‌های میدانی، اسناد و مدارک مختلف از جمله نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، آمارهای مختلف مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی و همچنین تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گرفت. با بررسی عوامل مؤثر در مدل RUSLE، که شامل فاکتور فرسایش باران، فاکتور فرسایش‌پذیری خاک، فاکتور توپوگرافی و پوشش گیاهی می‌باشد، میزان فرسایش حوضه برآورد شده است. بر این اساس میزان فرسایش سالانه خاک در کل محدوده مطالعاتی ۶۷ تن در هکتار در سال برآورد گردید.

به‌طورکلی با بررسی تحقیقات صورت گرفته تاکنون می‌توان به اهمیت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در تعیین فرسایش خاک و برتری الگوریتم SVM جهت طبقه‌بندی و الگوریتم NNDiffuse جهت ادغام تصاویر ماهواره‌ای پی‌برد.

^۱. Boyte

^۲. Normalized Difference Vegetation Index

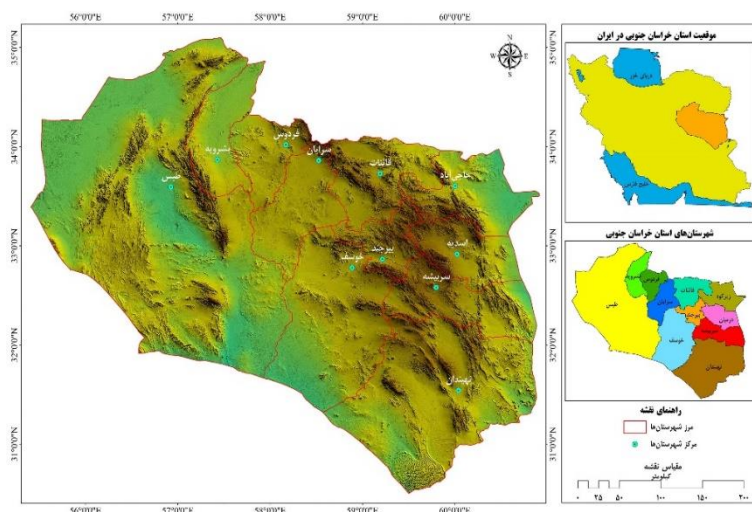
^۳. Möller

^۴. Erosion Potential Method

در این پژوهش سعی گردید برای نخستین بار با در نظر گرفتن سه شاخص کاربری اراضی، پوشش گیاهی و شیب و با کمک الگوریتم طبقه‌بندی SVM میزان فرسایش خاک در منطقه خراسان جنوبی تعیین گردد.

معرفی محدوده مورد مطالعه

استان خراسان جنوبی به مرکزیت شهر بیرجند در موقعیت جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. این استان از ۱۱ شهرستان تشکیل شده است و از جنوب و شرق به کویر لوت و از شمال و غرب کوهستانی بوده و با مساحت ۱۵۰۰۳۲ کیلومتر مربع حدود ۵/۴۸ درصد از مساحت کشور ایران را به خود اختصاص داده است. متوسط بارندگی سالیانه استان به ۱۱۵ میلی‌متر می‌رسد و حداکثر دمای سالیانه ۱۱ و پایین‌ترین دمای ثبت شده ۲۱/۱- درجه سانتیگراد گزارش شده است. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق وابستگی شدیدی به منابع طبیعی داشته و از این رو در برابر رفتارهای تنش‌زای محیطی بسیار شکننده می‌باشد (اسمعیل‌نژاد و پودینه، ۱۳۹۶: ۹۵). به طوری که خشکسالی‌های چند سال اخیر با تأثیر منفی بر پوشش گیاهان مرتعی زمینه افزایش فرسایش آبی و بادی و توسعه بیابان‌زایی را فراهم کرده و ضمن از بین بردن زیستگاه‌های جانوری و حیات وحش، موجب هجوم آفات از مراتع به مزارع کشاورزان را فراهم کرده است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵: ۷۱). در شکل ۲ موقعیت استان خراسان جنوبی در کشور ایران، شهرستان‌ها و موقعیت مراکز شهرستان‌ها نشان داده شده است.



شکل (۱): موقعیت استان خراسان جنوبی، شهرستان‌های استان و مراکز شهرستان‌ها

منبع: نگارندگان.

مواد و روش‌ها

داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده

تحقیق حاضر از نوع کاربردی و روش تحقیق در آن توصیفی-تحلیلی است. روش گردآوری اطلاعات بر پایه دو روش مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی استوار می‌باشد. در این پژوهش ۱۱ باند سنجنده TIRS-OLI لندست ۸ از طریق

سایت نقشه برداری زمین شناسی آمریکا (USGS^۱) دریافت گردید که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. سنجنده لندست ۸ دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و باند پانکروماتیک آن ۱۵ متر می‌باشد. با توجه به این که در پردازش تصاویر ماهواره‌ای، انتخاب زمان مناسب تصاویر اخذ شده جهت تهیه نقشه کاربری اراضی، بسیار مهم می‌باشد، بنابراین با مد نظر قرار دادن فصل رویش گیاهان مرتعی و زمان بندی کشت و برداشت محصولات زراعی، تمامی تصاویر مورد استفاده ۱۳ تا ۲۹ ماه ژوئن (اواخر خرداد و اوایل تیر) اخذ گردید.

جدول (۱): مشخصات تصویر لندست ۸ مورد استفاده

Row	Path	تاریخ	شماره	سنجنده و ماهواره
۳۸	۱۵۸	۲۰۱۷/۰۶/۱۳	۱	سنجنده و ماهواره TI RS-OLI لندست ۸
۳۷	۱۵۸	۲۰۱۷/۰۶/۱۳	۲	
۳۷	۱۶۱	۲۰۱۷/۰۶/۱۸	۳	
۳۶	۱۶۱	۲۰۱۷/۰۶/۱۸	۴	
۳۶	۱۵۹	۲۰۱۷/۰۶/۲۰	۵	
۳۷	۱۵۹	۲۰۱۷/۰۶/۲۰	۶	
۳۸	۱۵۹	۲۰۱۷/۰۶/۲۰	۷	
۳۶	۱۶۰	۲۰۱۷/۰۶/۲۷	۸	
۳۷	۱۶۰	۲۰۱۷/۰۶/۲۷	۹	
۳۸	۱۶۰	۲۰۱۷/۰۶/۲۷	۱۰	
۳۹	۱۵۸	۲۰۱۷/۰۶/۲۹	۱۱	
۳۷	۱۵۹	۲۰۱۷/۰۷/۰۶	۱۲	

منبع: نگارندگان.

داده ماهواره‌ای دیگر مورد استفاده در این تحقیق، داده مادیس است. در این سنجنده، دو باند RED و NIR دارای قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر است که در مقایسه با باندهای دیگر (۵۰۰ متر و ۱ کیلومتر) دقت مکانی بهتری دارند. در جدول ۲ مشخصات تصاویر مادیس مورد استفاده نشان داده شده است.

جدول (۲): مشخصات تصویر مادیس استفاده شده

تاریخ	محصول	شماره	سنجنده و ماهواره
۲۰۱۷/۰۶/۲۳	MOD۰۲QIM Cal i brat ed Radi ances-۲۵۰m	۱	مادیس Terra, Aqua
۲۰۱۷/۰۷/۰۶	MOD۰۲QIM Cal i brat ed Radi ances-۲۵۰m	۲	

منبع: نگارندگان.

پس از تهیه تصاویر، جهت کنترل کیفیت داده‌ها وجود خطاهای اتمسفری، هندسی و رادیومتری مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای مورد نیاز برای تصحیح اتمسفری از اطلاعات فایل متنی^۲ که ضمیمه تصاویر دریافتی می‌باشد و

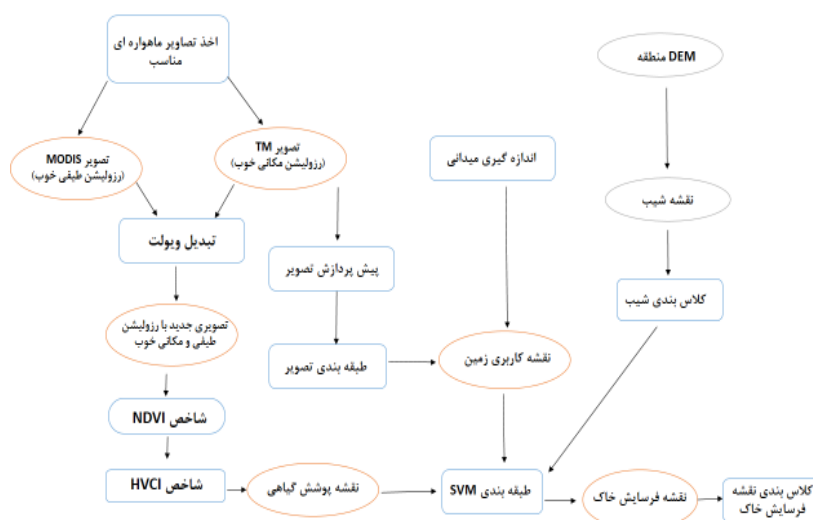
^۱. The United States Geological Survey

^۲. MTL

همچنین از نقشه ارتفاع رقومی (DEM^۱) ۳۰ متری سنجنده ASTER استخراج گردید. بعد از انجام تصحیحات ذکر شده درجات خاکستری تصاویر به رادیانس تبدیل شد و سپس با به کارگیری روش تطبیق هیستوگرام^۲ در تصاویر لندست ۸، ۱۱ باند دریافت شده موزائیک و در نهایت تصویر ماهواره‌ای با استفاده از فایل برداری استان خراسان جنوبی جدا گردید.

روش تحقیق

شکل (۲) فلوچارت روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل (۲): فلوچارت روش پیشنهادی

منبع: یافته‌های پژوهش.

در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سال ۲۰۱۷، به منظور طبقه‌بندی کاربری اراضی، از چهار روش طبقه‌بندی نظارت شده بیشینه احتمال (ML^۳)، فاصله ماهالانوبیس (MD^۴)، حداقل فاصله (MD^۵)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN^۶) با حضور و عدم حضور باند حرارتی استفاده گردید.

به منظور تهیه لایه اطلاعاتی پوشش گیاهی از ادغام تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و مودیس استفاده شد. در پژوهش حاضر جهت ادغام تصاویر ماهواره‌ای، الگوریتم‌های Brovey، NNDiffuse، HPF^۷، Gram-Schmidt، PC^۸ و CN^۹ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. در الگوریتم‌های NNDiffuse و HPF امکان ادغام باند به باند تصاویر وجود دارد. بنابراین

^۲. Digital Elevation Mode

^۳. Histogram Matching

^۴. Maximum Likelihood

^۵. Mahalanobis Distance

^۶. Minimum Distance

^۷. Artificial Neural Network

^۸. High-Pass Filter

^۹. Principal Component

^{۱۰}. Color Normalized

با استفاده از این الگوریتم‌ها باندهای RED و NIR تصاویر لندست ۸ با باندهای متناظر آن در مادیس به صورت منفرد ادغام گردید. اما در الگوریتم‌های Brovey, Gram-Schmidt, PC و CN حداقل دو باند تصویر چند طیفی (مادیس) برای ادغام با باند تصویر با وضوح بهتر، مورد نیاز می‌باشد. به همین سبب در این الگوریتم‌ها از باند NIR لندست ۸ و دو باند RED و NIR مادیس استفاده گردید، چرا که NIR نسبت به تغییرات پوشش گیاهی حساس‌تر است (Möller et al, 2017: 200). پس از بررسی و ارزیابی دقت الگوریتم‌های ادغام تصاویر ماهواره‌ای و انتخاب مناسب‌ترین الگوریتم، شاخص NDVI از طریق باند RED و NIR تصویر ادغام‌شده، مورد محاسبه قرار گرفت (Chen et al, 2011: 630). پس از محاسبه شاخص NDVI، نقشه درصد پوشش گیاهی از طریق شاخص HVCI^۱ در استان خراسان جنوبی تهیه گردید. این شاخص با رابطه ۱ مورد محاسبه قرار گرفت (Chen et al, 2011:631).

$$HVCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (1)$$

به منظور تهیه نقشه شیب ابتدا ۲۵ فریم DEM ۳۰ متری ماهواره ASTER با برنامه ArcGIS موزائیک شد و در نهایت نقشه شیب تهیه و به پنج کلاس کمتر ۳، ۵-۳، ۸-۵، ۱۵-۸ و بیش از ۱۵ درجه تفکیک گردید. برای ارزیابی و محاسبه دقت الگوریتم‌ها، از طریق ماتریس خطای ایجاد شده بین تصویر طبقه‌بندی و نقشه واقعیت زمینی پارامترهای دقت کلی^۲ و ضریب کاپا^۳ استخراج گردید (فتحی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵: ۷۳۵). همچنین از معیارهای آماری خطای جذر میانگین مربعات (RMSE^۴)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE^۵) و میانگین اریبی خطا (MEB^۶) جهت بررسی دقت الگوریتم‌های ادغام استفاده شد (Xu and Ehlers, 2017: 944؛ Pushparaj and Hegde, 2017: 7). معیارهای آماری مذکور به ترتیب به کمک روابط ۳-۷ تا ۳-۹ مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{x}_i - x_i| \quad (3)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\hat{x}_i - x_i] \quad (4)$$

که در این روابط x_i مقادیر برآوردی، \hat{x}_i مقادیر مشاهده‌ای، \bar{x} متوسط مقادیر مشاهده‌ای و N تعداد داده‌هاست.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

نقشه کاربری اراضی

^۱. High-resolution Vegetation Coverage Image

^۲. overall accuracy

^۳. Kappa index

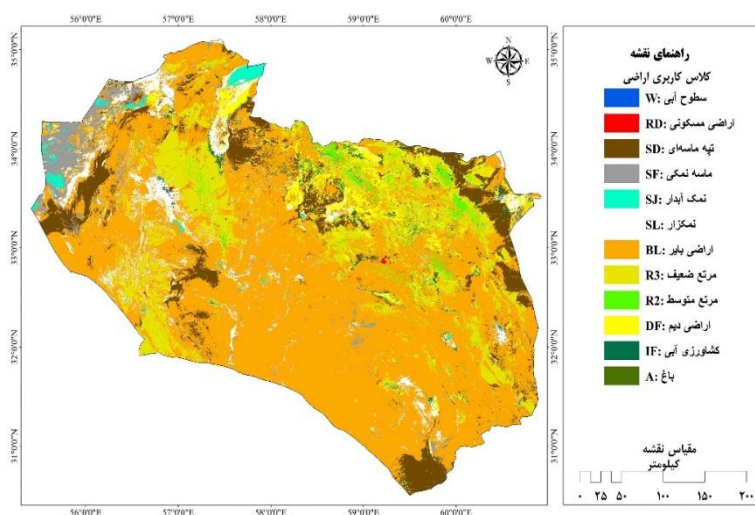
^۴. Root Mean Square Error

^۵. Mean Absolute Error

^۶. Mean Bias Error

با استفاده از برنامه Google Earth، ۱۲ کاربری شامل باغ (A)، کشاورزی آبی (IF)، کشاورزی دیم (DF)، مرتع متوسط (R2)، مرتع ضعیف (R3)، اراضی بایر (BL)، نمکزار (SL)، نمک آبدار (SJ)، ماسه نمکی (SF)، تپه ماسه‌ای (SD) و اراضی مسکونی (RD) و سطوح آبی (W) انتخاب گردید. با توجه به مساحت زیاد استان خراسان جنوبی، برای هر کلاس کاربری در حدود ۷۰۰ نمونه (پیکسل) از طریق برنامه Google Earth برداشت شد. سپس با استفاده از ابزار Generate Random Points در برنامه ArcGIS 10.4 حدود ۲۰ درصد (۱۶۰۶ پیکسل) از نمونه‌های برداشت شده، بصورت تصادفی، جدا گردید و به عنوان نمونه واقعیت زمینی جهت ارزیابی دقت روش‌های طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت با استفاده از ۶۵۱۴ نمونه آموزشی باقیمانده نقشه کاربری اراضی بر اساس روش‌های عنوان شده تهیه گردید.

نتایج حاصل از طبقه‌بندی کاربری اراضی نشان می‌دهد که الگوریتم بیشینه احتمال با رویکرد باند حرارتی در بین سایر الگوریتم‌ها به بالاترین دقت دست یافت. از این رو با استفاده از این الگوریتم نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه تهیه گردید و با انتقال آن به محیط برنامه Google Earth اندک خطاهای موجود در کاربری‌ها اصلاح شد. شکل ۳ نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مشخص گردید بیش از ۹۰ درصد از مساحت استان خراسان جنوبی به دلیل پوشش عاری از گیاه و پوشش ضعیف گیاهی دارای توان بسیار بالای فرسایش می‌باشد.



شکل (۳): نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه با کاربرد الگوریتم بیشینه احتمال با رویکرد باند حرارتی

منبع: یافته‌های پژوهش

نقشه پوشش گیاهی

با ادغام باند RED و NIR لندست ۸ مربوط به تاریخ ۲۰ ژوئیه ۲۰۱۷ و مادیس مربوط به تاریخ ۶ ژوئن ۲۰۱۷، شاخص NDVI محاسبه و پس از تبدیل نقشه رستری آن به فایل نقطه‌ای، خطای آماری هر یک از الگوریتم‌ها نسبت به مقادیر این شاخص در لندست ۸ اصلی، مورد محاسبه قرار گرفت. جدول ۳ مقادیر خطای آماری RMSE، MAE و MBE را نشان می‌دهد. بر این اساس در بین الگوریتم‌های ادغام مورد بررسی الگوریتم NNDiffuse، کمترین مقدار خطای آماری MAE و RSME را به خود اختصاص داده است. الگوریتم CN نیز کمترین مقدار خطای MBE را دارا می‌باشد، اما بیشترین

^۱ ground truth samples

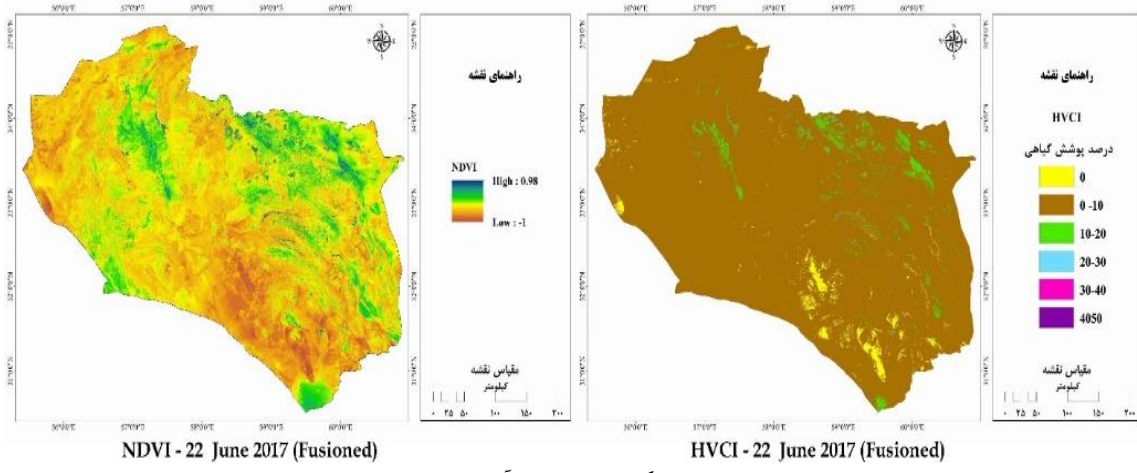
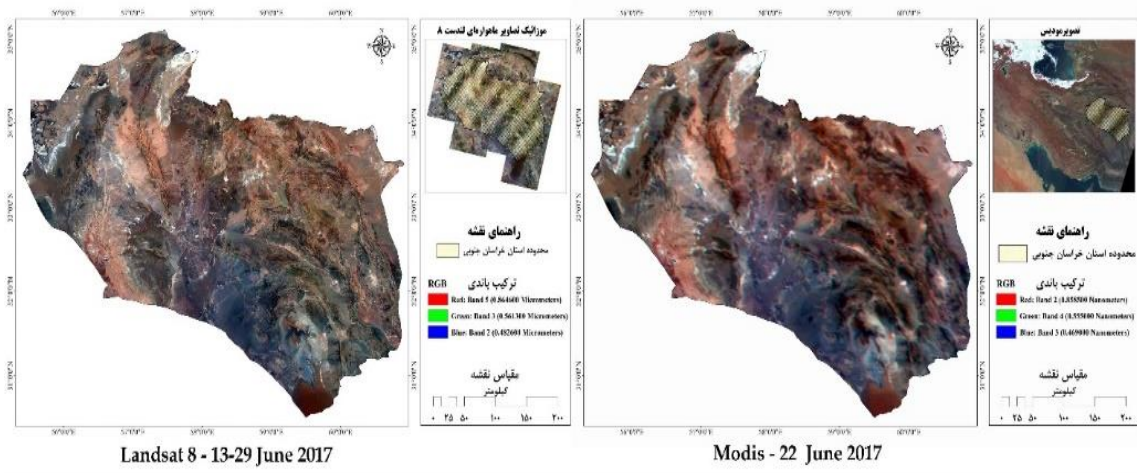
خطای RSME و MAE نیز مربوط به همین الگوریتم است. از طرف دیگر بیشترین خطای MBE مربوط به الگوریتم Gram-Schmidt است. با توجه به جمیع نتایج حاصل شده، الگوریتم NNDiffuse جهت ادغام باند RED و NIR لندست ۸ و مادیس در محدوده مورد مطالعه از دقت بیشتری برخوردار است.

جدول (۳): ارزیابی شاخص NDVI الگوریتم‌های ادغام باند لندست ۸ اصلی

MBE	MAE	RSME	معیار آماری
			روش ادغام
۰/۰۰۴۷	۰/۰۱۸۱	۰/۰۳۱۱	NNDiffuse
-۰/۰۴۱۷	۰/۰۵۴۸	۰/۰۹۰۳	HPF
-۰/۰۴۶۶	۰/۰۵۴۱	۰/۰۷۸۹	Brovey
-۰/۰۴۶۸	۰/۰۵۷۱	۰/۱۰۲۵	Gram-Schmidt
-۰/۰۴۴۸	۰/۰۵۳۶	۰/۰۸۱۷	PC
-۰/۰۰۳۴	۰/۱۲۶۳	۰/۱۸۰۴	CN

منبع: یافته‌های پژوهش

شکل ۴ تصاویر لندست ۸ و مادیس به همراه شاخص NDVI و HVCI تهیه شده از ادغام این تصاویر، در محدوده استان خراسان جنوبی را نشان می‌دهد. بر این اساس پوشش صفر تا ۱۰ درصد، بیشترین وسعت استان خراسان جنوبی را در بر گرفته است و پوشش ۴۰ تا ۵۰ درصد، محدود به مناطق بسیار کوچکی در اراضی کشاورزی آبی و باغات است.

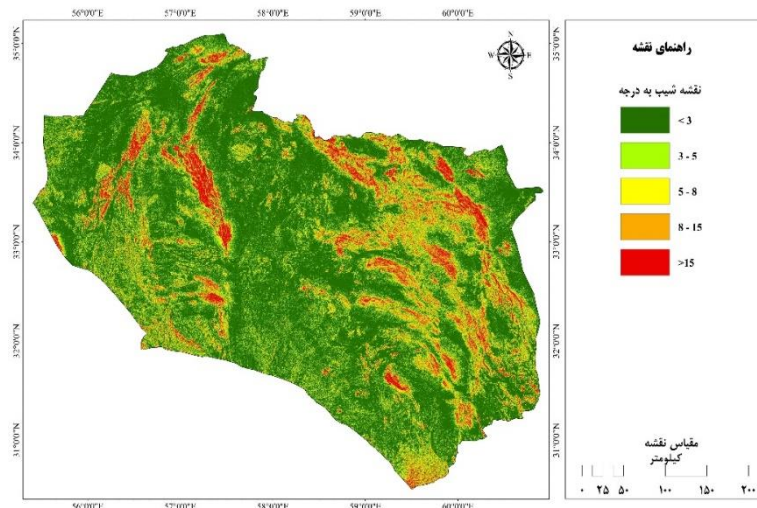


شکل (۴): شاخص NDVI و HVCI (درصد پوشش گیاهی) به دست آمده از ادغام تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و مودیس

منبع: یافته‌های پژوهش

نقشه شیب

نقشه شیب با استفاده از DEM ۳۰ متری منطقه تهیه گردید. شکل ۵ نقشه طبقات شیب را نشان می‌دهد.

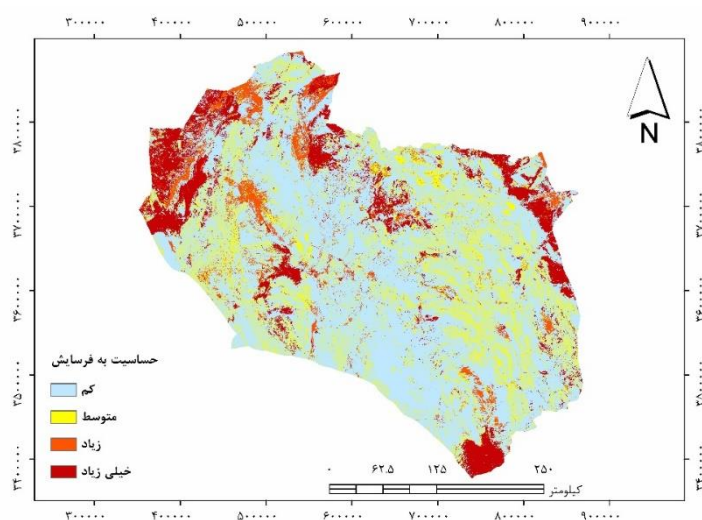


شکل (۵): نقشه طبقات شیب

منبع: یافته‌های پژوهش

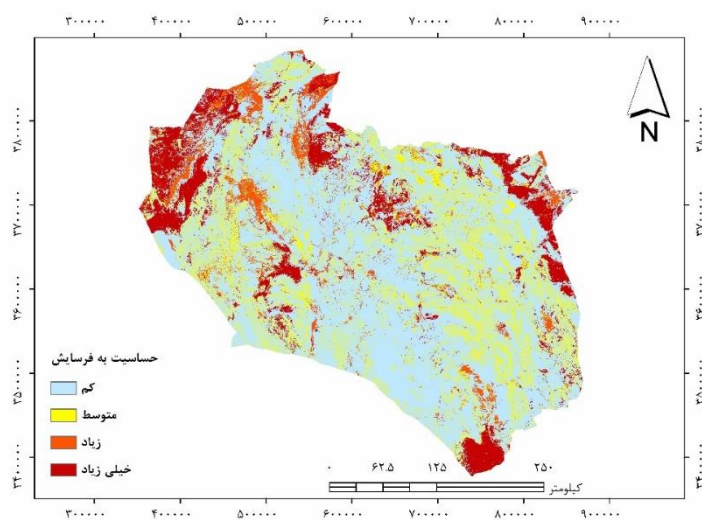
نقشه فرسایش خاک با الگوریتم SVM

پس از تهیه نقشه کاربری اراضی، پوشش گیاهی و شیب، نقشه فرسایش خاک با الگوریتم SVM تهیه گردید. برای این منظور لایه‌های اطلاعاتی کاربری اراضی و شیب با نقشه پوشش گیاهی حاصل از لندست ۸، مودیس و ادغام لندست و مودیس تهیه شد. به این ترتیب سه نقشه فرسایش حاصل گردید که در آن امکان مقایسه بین نقشه‌های حاصل از تصاویر لندست، مودیس و ادغام لندست و مودیس فراهم شد. شکل‌های ۶، ۷ و ۸ به ترتیب نقشه فرسایش حاصل از تلفیق لایه‌های کاربری اراضی و شیب با پوشش گیاهی تصویر لندست، مودیس و ادغام تصویر لندست و مودیس با کاربرد طبقه‌بندی SVM، را نشان می‌دهند.



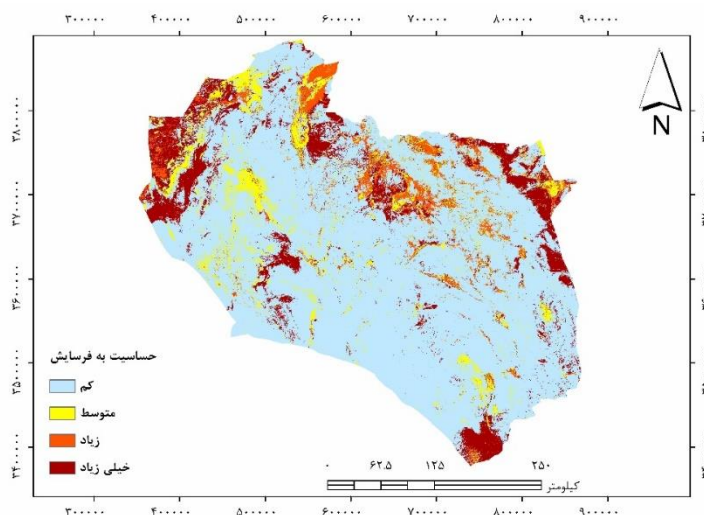
شکل (۶): نقشه فرسایش حاصل از تلفیق کاربری اراضی و شیب با پوشش گیاهی تصویر لندست

منبع: یافته‌های پژوهش



شکل (۷): نقشه فرسایش حاصل از تلفیق کاربری اراضی و شیب با پوشش گیاهی تصویر مودیس

منبع: یافته‌های پژوهش



شکل (۸): نقشه فرسایش حاصل از تلفیق کاربری اراضی و شیب با پوشش گیاهی ادغام تصویر لندست و مودیس

منبع: یافته‌های پژوهش

در جدول ۳، نتایج حاصل از ارزیابی هر کدام از نقشه‌های فرسایش نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود نقشه فرسایش حاصل از پوشش گیاهی به دست آمده از تصویر لندست ۸ دارای بیشترین دقت کلی و ضریب کاپا (۰/۷۲ و ۰/۶۹) است، در حالی که نقشه فرسایش حاصل از پوشش گیاهی به دست آمده از تصویر مودیس کمترین دقت کلی و ضریب کاپا (۰/۵۹ و ۰/۵۷) را به خود اختصاص داده است. دقت کلی و ضریب کاپای نقشه فرسایش حاصل از ادغام لندست ۸ و مودیس به دقت کلی و ضریب کاپای نقشه حاصل پوشش گیاهی به دست آمده از لندست ۸ بسیار نزدیک (۰/۶۹ و ۰/۶۷) است.

جدول (۴): ارزیابی شاخص NDVI روش‌های ادغام تصاویر ماهواره‌ای با لندست ۸ اصلی

ضریب کاپا	دقت کلی	پارامتر ارزیابی
		تصویر ماهواره‌ای
۰/۶۹۱	۰/۷۲۳	لندست
۰/۵۷۱	۰/۵۹۲	مودیس
۰/۶۷۳	۰/۶۹۱	ادغام لندست و مودیس

منبع: یافته‌های پژوهش.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور تهیه نقشه فرسایش استان خراسان جنوبی پس از تهیه سه لایه اطلاعاتی کاربری اراضی، شیب و پوشش گیاهی از الگوریتم طبقه‌بندی SVM استفاده گردید. به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی چهار الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌شده با و بدون رویکرد باند مادون قرمز حرارتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که استفاده از

داده‌های حرارتی به همراه سایر باندهای طیفی جهت تولید نقشه کاربری اراضی، سبب می‌شود تا تفکیک کلاس‌هایی که خصوصیات طیفی نزدیک یا فنولوژی مشابهی دارند، تسهیل گردد. با توجه به پیشروی تپه‌های ماسه‌ای در مناطق مسکونی و کشاورزی در استان خراسان جنوبی این نتایج حائز اهمیت است، چرا که در مطالعاتی همچون بررسی روند پیشروی تپه‌های ماسه‌ای، استفاده از باند حرارتی، می‌تواند دقت تفکیک تپه‌های ماسه‌ای را افزایش دهد و در نتیجه برآورد دقیق‌تری را در خصوص تغییرات کاربری اراضی ارائه دهد. یافته‌های این مطالعه حاکی از آن است که با وجود آنکه تفکیک مکانی باند حرارتی در مقایسه با باندهای قابل مشاهده از همان ماهواره، نسبتاً کمتر است، اما حاوی اطلاعات ارزشمند مربوط به تغییرات مکانی سطح زمین و همچنین پوشش گیاهی می‌باشد که تاکنون به اندازه کافی مورد بررسی قرار نگرفته است. با توجه به این که در سال‌های اخیر بیابان‌زائی و پیشروی و توسعه تپه‌های ماسه‌ای، تبدیل به یکی از معضلات اساسی ملی شده است و کاربرد باند حرارتی در مطالعات سنجش از دور این نوع کاربری‌ها سبب افزایش دقت می‌شود، بنابراین استفاده از اطلاعات حرارتی داده‌های ماهواره‌ای در مطالعات آتی مربوطه، می‌تواند برآورد دقیق‌تری را در بررسی مسائل به همراه داشته باشد. در ادامه پژوهش جهت بررسی پوشش گیاهی با تصویر ماهواره‌ای ادغام شده، شاخص NDVI و HVCI تهیه گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که الگوریتم NNDiffuse از دقت مطلوب‌تری جهت ادغام باندهای RED و NIR لندست ۸ و مادیس برخوردار است، به طوری که شاخص گیاهی NDVI به دست آمده از این الگوریتم در مقایسه با تصویر لندست ۸ اصلی، از کم‌ترین خطای آمای RMSE و MAE برخوردار است. این نتیجه با یافته‌های ژائو و همکاران در سال ۲۰۱۶ میلادی همخوانی دارد، نتایج این محققان نیز نشان داد که الگوریتم NNDiffuse در مقایسه با الگوریتم Brovey از دقت بهتری برخوردار است (Zhao et al, 2016). در ادامه پس از تهیه نقشه کاربری اراضی و شیب و تلفیق آن با سه نقشه پوشش گیاهی حاصل از تصاویر لندست ۸، مودیس و ادغام لندست ۸ و مودیس، سه نقشه فرسایش با کاربرد الگوریتم SVM تهیه گردید. نتایج نشان داد که بیشترین دقت کلی و ضریب کاپا نقشه فرسایش طبقه‌بندی شده مربوط به نقشه فرسایش حاصل از تصویر لندست ۸ می‌باشد و کمترین مقدار دقت مربوط به تصویر مودیس است، در حالی که با ادغام تصویر لندست ۸ و مودیس، دقت نقشه فرسایش حاصله به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. این نتیجه با یافته‌های چن و همکاران در سال ۲۰۱۱ میلادی همخوانی دارد. محققان مذکور با استفاده از تکنیک ادغام تصاویر لندست ۷ و مودیس به نقشه فرسایشی دست یافتند که دقت آن نسبت به نقشه حاصله از تصویر مودیس بهتر بود (Chen et al, 2011: 633). در مناطق وسیع امکان دسترسی به تصاویر همزمان داده‌های ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بیشتر همچون سری لندست با چالش همراه است. علاوه بر آن قدرت تفکیک زمانی این ماهواره، امکان بررسی تغییرات کوتاه مدت پدیده‌ها را فراهم نمی‌کند. بنابراین استفاده از تکنیک ادغام تصاویر ماهواره‌ای، همچون ادغام تصاویر لندست با مادیس، می‌تواند در مطالعات مربوطه، بسیار مفید واقع گردد، چنان‌که پژوهش حاضر نیز بر روی این مسئله متمرکز بود و یافته‌های آن می‌تواند در مطالعات مشابه، متمرکز به ثمر واقع گردد.

پیشنهادها

با توجه به نتایج پژوهش پیشنهادهایی به شرح ذیل ارائه می‌شود:

- در این پژوهش جهت تهیه نقشه فرسایش خاک با ادغام تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم طبقه‌بندی SVM از سه لایه اطلاعاتی، نقشه کاربری اراضی، پوشش گیاهی و شیب استفاده گردید. پیشنهاد می‌شود که در

مطالعات آتی جهت طبقه‌بندی نقشه فرسایش، پارامترهای دخیل بیشتری به ویژه پارامترهای اقلیمی نیز مد نظر قرار گیرد.

- در این پژوهش به منظور بهبود تفکیک مکانی و زمانی تصاویر ماهواره‌ای، از اطلاعات تصاویر لندست ۸ و مودیس استفاده شد. پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آینده، از اطلاعات ماهواره‌های دیگر همچون سنتیل ۲ استفاده گردد.

- با توجه به کوتاه بودن رشد پوشش گیاهی در استان خراسان جنوبی به نظر می‌رسد، دوره‌های فرسایش در این منطقه در برخی مقاطع زمانی کوتاه شدیدتر از سایر مقاطع باشد. در این پژوهش نقشه فرسایش حاصله مربوط به یک تاریخ و مقطع زمانی کوتاه است. پیشنهاد می‌شود با بهبود تفکیک مکانی و زمانی تصاویر با کاربرد ادغام تصاویر ماهواره‌ای دوره‌های کوتاه فرسایشی مورد بررسی قرار گیرد.

- در این پژوهش پارامترهای دخیل در فرسایش آبی و بادی به همراه یکدیگر جهت تهیه نقشه فرسایش آبی و بادی در نظر گرفته شد. پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده، با تفکیک پارامترهای دخیل‌تر در فرسایش آبی و بادی، نقشه فرسایش آبی و بادی به تفکیک تهیه گردد.

منابع

- ابراهیم‌زاده، عیسی؛ اسمعیل‌نژاد، مرتضی (۱۳۹۶)، «پناهندگان اقلیمی چالش آینده تحولات منطقه‌ای مطالعه موردی: خراسان جنوبی»، *جغرافیا و توسعه*، ۱۵(۴۸): ۱-۱۸.
- اداره کل حفاظت محیط زیست خراسان جنوبی و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان جنوبی، (۱۳۹۵)، گزارش وضعیت محیط زیست انسانی استان خراسان جنوبی.
- بهزادفر، عاطفه؛ خالدی درویشان، عبدالواحد؛ قره‌گوزلو، علیرضا (۱۳۹۶)، «استفاده از الگوریتم تلفیق تصاویر برای افزایش صحت برآورد رسوب‌دهی در مدل WaTEM/SEDEM (مطالعه موردی: حوزه آبخیز درکش)»، *نشریه حفاظت منابع آب و خاک*، ۷(۱): ۹۹-۱۱۰.
- حجازی، سید اسداله؛ احمدی، مهدی؛ شهابی، هیمین. (۱۳۹۷)، «برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه آبخیز کنگیر در استان ایلام با استفاده از مدل E.P.M»، *مخاطرات محیط طبیعی*، ۷(۱۶): ۱-۲۲.
- حسینی، سیدمجتبی؛ کوروش، روستا؛ زمانی‌پور، اسداله؛ تیموری، مصطفی. (۱۳۹۵)، «ادراک کشاورزان نسبت به پیامدهای خشکسالی با رویکرد پدیدارشناسی مطالعه موردی (استان خراسان جنوبی)»، *پژوهش‌های ترویج و آموزش کشاورزی*، ۹(۴-پس‌پس ۳۶): ۶۳-۷۴.
- فتحی‌زاده، حسن؛ صفری، عطا؛ بازگیر، مسعود؛ خسروی، غلامرضا. (۱۳۹۵)، «ارزیابی و مقایسه روش‌های ماشین بردار پشتیبان با کرنل‌های خطی، چند جمله‌ای و پایه شعاعی با شبکه عصبی مصنوعی جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی»، *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۳(۴): ۷۴۳-۷۲۹.
- نجفی، احمد؛ عزیزی قلاتی، سارا؛ مختاری، محمدحسین (۱۳۹۶)، «کاربرد ماشین بردار پشتیبان در طبقه‌بندی کاربری اراضی حوزه چشمه کیله - چالکرو»، *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۸(۱۵): ۱۰۱-۹۲.
- نژاد افضلی، کرامت؛ شاه‌رخی، محمد رضا؛ بیاتانی، فاطمه (۱۳۹۸)، «برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شناسایی مؤثرترین عامل آن در حوزه آبخیز دهکهان (جنوب کرمان)»، *مخاطرات محیط طبیعی*، ۸(۲۰): ۲۱-۳۸.
- Afrasinei, G., Melis, M., Buttau, C., Bradd, J. and Arras, C. (2017), "Assessment of remote sensing-based classification methods for change detection of salt-affected areas (Biskra area, Algeria)", *Journal of Applied Remote Sensing*, 11 (1): 1-28.
- Boyte, S.P., Wylie, B.K. and Major, D.J. (2016), "Cheatgrass Percent Cover Change: Comparing Recent Estimates to Climate Change-Driven Predictions in the Northern Great Basin", *Rangeland Ecology & Management*, 69(4): 265-279.
- Boyte, S.P., Wylie, B.K., Rigge, M.B. and Dahal, D. (2017), "Fusing MODIS with Landsat 8 data to downscale weekly normalized difference vegetation index estimates for central Great Basin rangelands, USA", *GIScience & Remote Sensing*, 1-24.
- Chen, S.H., Su, H.B., Tian, J., Zhang, R.H. and Xia, J. (2011), "Estimating soil erosion using MODIS and TM images based on support vector machine and à trous wavelet", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(4): 626-635.
- Gao, F., Anderson, M., Zhang, X., Yang, Z., Alfieri, J.G., Kustas, W.P., Mueller, R., Johnson, D.M. and Prueger, J.H. (2017), "Toward mapping crop progress at field scales through fusion of Landsat and MODIS imagery", *Remote Sensing of Environment*, 188: 9-25.
- Gelagay, H.S. and Minale, A.S. (2016), "Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: A case of Koga watershed, North western Ethiopia", *International Soil and Water Conservation Research*, 4: 126-136.
- Gerstmann, H., Möller, M. and Gläßer, C. (2016), "Optimization of spectral indices and long-term separability analysis for classification of cereal crops using multi-spectral RapidEye imagery", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52: 115-125.
- Karan, S.K. and Samadder, S.R. (2016), "Accuracy of land use change detection using support vector machine and maximum likelihood techniques for open-cast coal mining areas", *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(8): 486-499.
- Maynard, J.J., Karl, J.W. and Browning, D.M. (2016), "Effect of spatial image support in detecting long-term vegetation change from satellite time-series", *Landscape Ecology*, 31(9): 2045-2062.
- Möller, M., Gerstmann, h., Gao, F., Dahms, T.C. and Förster, M. (2017), "Coupling of phenological information and simulated vegetation index time series: Limitations and potentials for the assessment and monitoring of soil erosion risk", *CATENA*, 150: 192-205.

- Olsoy, P., Mitchell, J., Glenn, N. and Flores, A. (2017), "Assessing a Multi-Platform Data Fusion Technique in Capturing Spatiotemporal Dynamics of Heterogeneous Dryland Ecosystems in Topographically Complex Terrain", *Remote Sensing*, 9(10): 966-981.
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L. and Alewell, C. (2015), "The new assessment of soil loss by water erosion in Europe", *Environ. Sci. Policy*, 54, 438-447. [CrossRef].
- Pushparaj, J. and Hegde, A.V. (2017), "Evaluation of pan-sharpening methods for spatial and spectral quality", *Applied Geomatics*, 9(1): 1-12.
- Swain, R. and Sahoo, B. (2017), "Mapping of heavy metal pollution in river water at daily time-scale using spatio-temporal fusion of MODIS-aqua and Landsat satellite imageries", *Journal of Environmental Management*, 192: 1-14.
- Tran, D.X., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Myint, S.W., Caetano, M. and Kieu, H.V., (2017), "Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 124: 119-132.
- Wu, M., Huang, W., Niu, Z., Wang, C., Li, W. and Yu, B. (2018), "Validation of synthetic daily Landsat NDVI time series data generated by the improved spatial and temporal data fusion approach", *Information Fusion*, 40: 34-44.
- Xu, S. and Ehlers, M. (2017), "Hyperspectral Image Sharpening Based on Ehlers Fusion", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W7: 941-947.
- Xue, J. and Su, B. (2017), "Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications", *Journal of Sensors*, 17.
- Zhang, X., Yang, J. and Reinartz, P. (2016), "The optimized block-regression-based fusion algorithm for pan sharpening of very high-resolution satellite imagery", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 12-19.
- Zhao, J., Huang, L., Yang, H., Zhang, D., Wu, Z. and Guo, J. (2016), "Fusion and assessment of high-resolution WorldView-3 satellite imagery using NNDiffuse and Brovey algorithms. In Fusion and assessment of high-resolution WorldView-3 satellite imagery using NNDiffuse and Brovey algorithms", *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2606-2609.

