

تلفیق سنجش از دور و مدل‌های ICONA و SCS برای پهنه‌بندی تخریب اراضی در استان فارس

سارا دهقان فارسی، رضا جعفری* و سیدعلیرضا موسوی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۳)

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی تلفیق بخشی از اطلاعات استخراج شده برای پهنه‌بندی تخریب اراضی با استفاده از داده‌های زمینی و سنجش از دور در استان فارس صورت گرفته است. بدین منظور نقشه معیارهای پوشش گیاهی، تولید خالص اولیه، کاربری اراضی و شیب به ترتیب از طریق داده‌های سنجش از دور SRTM، MOD17A3، MOD13A3 و Landsat TM؛ فرسایش آبی توسط مدل آیکونا (ICONA) و رواناب سطحی با استفاده از مدل SCS سال ۲۰۱۰ به دست آمد. معیار کارایی مصرف بارش نیز از نسبت تولید خالص اولیه به نقشه بارندگی مستخرج از ایستگاه‌های هواشناسی تولید شد و سپس نقشه تخریب اراضی منطقه با استفاده از روش هم‌پوشانی وزنی کلیه معیارها تهیه شد. مطابق مدل آیکونا ۵/۱، ۹/۰۵، ۴۷/۲۱، ۲۷/۹۱ و ۱۰/۷۳ درصد از منطقه مطالعاتی به ترتیب در کلاس‌های فرسایش آبی خیلی کم، کم، متوسط، شدید و بسیار شدید قرار گرفت. هم‌پوشانی نقشه مدل آیکونا با نقشه معیارهای دیگر نشان داد که کلاس‌های تخریب خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم به ترتیب ۱/۳، ۱۸/۷، ۷۰، ۹/۱ و ۰/۹ درصد از سطح استان را در بر می‌گیرند. مطابق یافته‌ها، تلفیق سنجش از دور با مدل‌های آیکونا و SCS باعث ارتقاء قدرت شناسایی تخریب اراضی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رواناب، فرسایش آبی، مدل‌سازی، مودیس

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: reza.jafari@iut.ac.ir

مقدمه

تخریب اراضی به دلیل تأثیر بر تولیدات کشاورزی، محیط زیست و تأثیر آن بر روی امنیت و کیفیت زندگی در قرن ۲۱ به عنوان یک موضوع جهانی مطرح شده است (۲۸). در چند دهه اخیر به علت افزایش جمعیت، نیاز جوامع به تولیدات کشاورزی و دامی نیز افزایش یافته و تأثیر فعالیت‌های گسترده انسان بر اکوسیستم‌های طبیعی و استفاده غلط و غیراصولی از منابع اراضی بدون توجه به قابلیت و توان موجب تخریب اراضی شده است (۱ و ۵). کنوانسیون سازمان ملل متحد برای مبارزه با بیابان‌زایی (United Nations Convention to Combat Desertification, UNCCD) تخریب را کاهش و یا هدررفت منابع مختلف شامل تولید زیستی و اقتصادی، ترکیب اکوسیستم‌های خشکی مانند خاک‌ها، پوشش گیاهی و موجودات دیگر و همچنین فرایندهای اکولوژیکی، هیدرولوژیکی و بیوشیمیایی تعریف کرده است (۴). تهدید تخریب اراضی در ایران، کشوری که ابعاد آسیب‌پذیری و ناپایداری عرصه‌های طبیعی‌اش از همیشه بحرانی‌تر به نظر می‌رسد، نه تنها در سطح منطقه بلکه در تمامی کره زمین و در مقایسه با اغلب کشورهای جهان پیش‌برنده‌تر و خطرناک‌تر است (۱). در مطالعه‌ای که توسط خاوریان و همکاران (۱۵) انجام گرفته است از جمله مهم‌ترین دلایل شدت و توسعه تخریب اراضی در گستره کشورمان ایران؛ کمبود فاحش ریزش‌های آسمانی به نسبت میانگین‌های جهانی، پراکنش نامناسب مراکز جمعیتی و عدم تناسب آن با اندوخته‌های آبی کشور، تغییرات اقلیمی، وجود شناسه‌های فقر در تمامی ابعاد پنجگانه پایداری (بوم‌شناختی، سکونت‌گاهی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی)، به همراه میل شدید کشور به توسعه و جبران عقب‌ماندگی‌های اغلب تحمیل شده گذشته به هر قیمتی ذکر شده است. جهانگیر و همکاران (۱۴) نشان دادند که سیل‌ها و رواناب‌های فراوان که در حوضه‌های بالادست رخ می‌دهد ناشی از عدم توجه به اکوسیستم منطقه و تخریب پوشش گیاهی است (۱۴).

از آنجایی که کشورهای مختلف بسته به شرایط طبیعی، اقتصادی و اجتماعی خود ممکن است معیارها و شاخص‌های مختلفی را برای شناخت وضع موجود تخریب اراضی و بیابان‌زایی انتخاب نمایند، بنابراین توافق در سطح جهان برای معرفی شاخص‌های قطعی هنوز صورت نگرفته و در حال تکامل است. هر یک از کشورها در تعیین و نهایی کردن شاخص‌های مختلف برای نظارت و ارزیابی تخریب اراضی و بیابان‌زایی به پاسخ‌های متفاوتی از جمله موارد زیر می‌پردازند: چه روشی برای تفسیر وضع تخریب و شدت آن مناسب است؟ کدام معیار(ها) و شاخص(ها) می‌تواند بیانگر بهتر تخریب باشد؟ ترکیب کدام معیارها و شاخص‌ها در پهنه‌بندی تخریب مؤثرتر است؟ تاکنون روش‌های زیادی با استفاده از معیارها و شاخص‌های مؤثر در تخریب اراضی در ایران (۸) و خارج (۱۷) پیشنهاد و استفاده شده است. یکی از این روش‌ها که بیشترین کاربرد را در برآورد تخریب اراضی و بیابان‌زایی داشته است، روش مدالوس (Mediterranean Desertification and Land Use, MEDALUS) است (۱۶). در این روش که نسخه اصلاح‌شده آن در ایران و کشورهای دیگر بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است با ترکیب داده‌های مکانی زمینی معیارهای مختلف مانند کیفیت پوشش گیاهی، کیفیت فرسایش آبی، کیفیت خاک، کیفیت اقلیم، کیفیت مدیریت و کیفیت منابع آب توسط میانگین هندسی به شناسایی و پهنه‌بندی شدت تخریب اراضی و بیابان‌زایی می‌پردازد. بسیاری از این معیارها براساس جداول ارائه شده توسط مدل مدلوس مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و برخی دیگر مانند فرسایش آبی از طریق مدل‌های دیگر مانند پسیاک (PSIAC) و آیکونا (Institute for Conservation of the Nature, ICONA) برآورد شده و در فرمول میانگین هندسی مدالوس وارد می‌شود. مدل آیکونا میزان فرسایش آبی را با استفاده از معیارهای شیب زمین، زمین‌شناسی، فرسایش‌پذیری خاک، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و حفاظت خاک برآورد و پهنه‌بندی می‌نماید (۳). مطابق مطالعات انجام شده این مدل نتایج قابل قبولی را در تولید نقشه‌های خطر فرسایش آبی ارائه می‌نماید (۲۱). پیچیدگی و تغییرات مداوم فرایندهای مختلف مانند

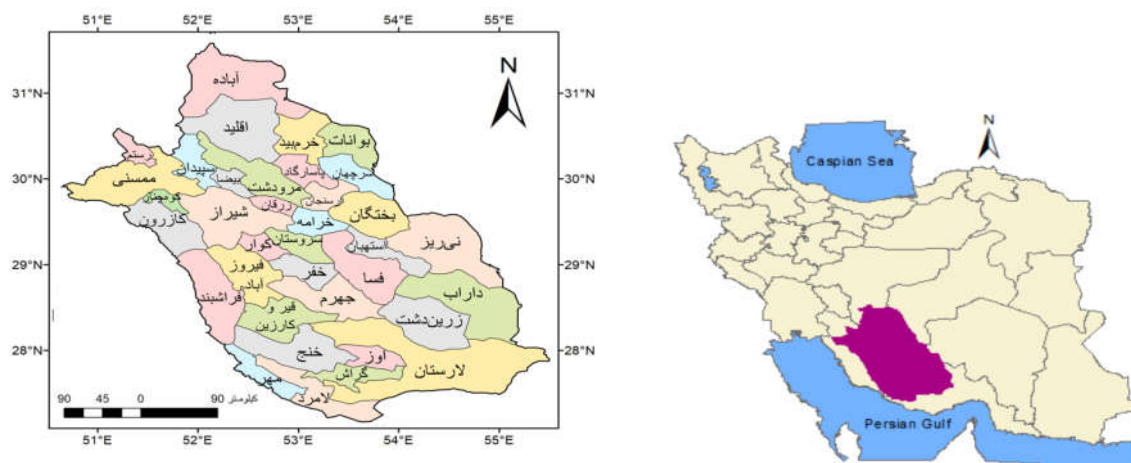
جهت شمال به جنوب کاهش می‌یابد. آب و هوای استان فارس در شمال سردسیر، در نواحی مرکزی زمستان‌ها معتدل و تابستان‌های گرم و خشک و در جنوب و جنوب شرقی زمستان‌های معتدل و بارانی و تابستان‌ها بسیار گرم است. استان فارس به سه ناحیه اقلیمی مهم تقسیم بندی شده است: ۱- ناحیه کوهستانی شمال، شمال غرب و غرب دارای زمستان‌های سرد معتدل و پوشش گیاهی قابل توجه است. میزان بارندگی این ناحیه در حدود ۴۰۰-۶۰۰ میلی‌متر گزارش شده است، ۲- ناحیه مرکزی این ناحیه در زمستان‌ها آب و هوای به نسبت معتدل توأم با بارندگی و در تابستان‌ها گرم و خشک دارد. میزان بارندگی این ناحیه ۴۰۰-۲۰۰ میلی‌متر در سال است، ۳- ناحیه جنوب و جنوب شرقی به علت کاهش ارتفاع و عرض جغرافیایی و نحوه استقرار کوه‌ها، میزان بارندگی این ناحیه در فصل زمستان نسبت به دو فصل بهار و پاییز کمتر است. زمستان‌ها معتدل، تابستان بسیار گرم و خشک است. میزان بارندگی سالانه ۲۰۰-۱۰۰ میلی‌متر در سال است (۲۲). تفاوت اقلیم در شمال به جنوب استان فارس تا حدی است که دو بخش سردسیر و گرمسیر در استان متمایز شده است و این باعث شده تا انواع پوشش گیاهی و کاربری اراضی مختلف در استان وجود داشته باشد. بیشترین سطح زیر کشت سالانه آبی در استان فارس به گندم تعلق دارد و در مجموع محصولاتی چون گندم، جو، برنج، ذرت، چغندر قند، یونجه و پنبه بیشترین سطوح زراعت آبی را در استان به خود اختصاص داده‌اند. انجیر و انگور مهم‌ترین محصولات باغات دیم استان فارس هستند و در مجموع ۹۰ درصد سطح باغات دیم استان را به خود اختصاص داده‌اند. قسمت‌های شمال غربی منطقه به علت بارندگی به نسبت خوب دارای گونه‌های مرتعی نظیر گون و شیرین بیان و نواحی جنوبی منطقه بخاطر بارندگی به نسبت کم دارای آتریپلکس، اسپند و گیاهان شور دوست و در قسمت‌هایی که شوری خاک خیلی بالاست خاک فاقد پوشش گیاهی است. بخش عمده‌ای از استان فارس را تشکیلات زاگرس دربر گرفته است. به طوری که کلیه رشته کوه

تخریب سرزمین و بیابان‌زایی، استفاده از داده‌ها و فناوری‌های جدید را برای ارزیابی و پایش آنها ضروری کرده است. مطالعات پیشین نشان دادند که می‌توان معیارهای مختلف مانند پوشش گیاهی، تولید خالص اولیه (Net Primary Production, NPP)، اقلیم، کارایی مصرف بارش (Rain Use Efficiency, RUE) را از داده‌های سنجش از دور مانند مودیس (MODIS) استخراج و بصورت انفرادی و یا تلفیق شاخص‌ها در ارزیابی و پایش تخریب اراضی بکار برد (۶ و ۲۷). بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی بخشی از اطلاعات استخراج شده جهت پهنه‌بندی تخریب اراضی در استان فارس با استفاده از داده‌های سنجش از دور است تا بتوان از قابلیت این فناوری مانند داده‌های رایگان، پوشش وسیع و قابلیت به‌روزرسانی و همچنین تلفیق نقشه‌های مختلف مستخرج از این داده‌ها مانند پوشش گیاهی، تولید خالص اولیه و کارایی مصرف بارش در جهت مدیریت بهینه سطح گسترده مناطق خشک و نیمه‌خشک که دارای عوامل تخریب و بیابان‌زایی متعدد هستند، اقدام کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان فارس به مرکزیت شیراز و با مساحت ۱۲۲۶۰۸ کیلومتر مربع بین ۲۷° ۲' و ۳۱° ۴۲' عرض شمالی و ۵۰° ۴۲' و ۵۵° ۳۸' طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). این استان از شمال به استان اصفهان، از شرق به استان‌های کرمان و یزد، از جنوب به استان هرمزگان و از غرب به استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و بوشهر محدود می‌شود. در شمال و شمال غرب، به علت کوهستانی بودن، زمستانی سرد و تابستانی معتدل دارد. در بخش مرکزی استان آب و هوای مدیترانه‌ای و در جنوب و جنوب شرقی زمستانی معتدل و تابستانی بسیار گرم دارد. متوسط بلندمدت میزان بارندگی در نواحی مختلف فارس متفاوت و از ۱۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در نوسان است. در مجموع میانگین بارندگی سالانه ایستگاه‌های هواشناسی استان در



شکل ۱. موقعیت استان فارس در ایران همراه با شهرستان‌های آن

زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (earthexplorer.usgs.gov) دانلود و مورد استفاده قرار گرفت. علت انتخاب سال مذکور هم زمانی تقریبی آن با نقشه کاربری و پوشش اراضی موجود در منطقه مطالعاتی بوده است. بارش سال ۲۰۱۰ از داده‌های بارندگی ۲۷ ایستگاه هواشناسی سایت هواشناسی استان فارس و با استفاده از روش تیسن در محیط ArcGIS به دست آمد و سپس نقشه کارایی مصرف بارش از تقسیم تولید خالص اولیه به بارش تهیه شد. جهت تهیه نقشه پوشش گیاهی از تولیدات شاخص گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) سنجنده مودیس با کد MOD13A3 استفاده شد. این داده‌ها بصورت ماهانه با قدرت تفکیک ۱۰۰۰ متر از وبگاه زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (earthexplorer.usgs.gov) تهیه و از میانگین‌گیری ۱۲ ماه، مقادیر پوشش گیاهی سال ۲۰۱۰ به دست آمد.

جهت محاسبه فرسایش خاک در پژوهش حاضر از مدل آیکونا که توسط انجمن علمی حفاظت از طبیعت اسپانیا ارائه شده است، استفاده شد. استفاده از این مدل در کشورهای اروپایی و بسیاری از مناطق مدیترانه‌ای و نیمه‌مدیترانه‌ای پیشنهاد شده است (۳). مدل آیکونا با استفاده از ۷ لایه اطلاعاتی میزان فرسایش آبی را برآورد می‌نماید. بدین صورت که میزان فرسایش‌پذیری خاک از ترکیب لایه‌های شیب و

زاگرس از برخورد دو صفحه ایران و عربستان حاصل شده است. در اثر فرورفتن صفحه عربستان در زیر صفحه ایران گودی عمیقی بین این دو صفحه حاصل شده که این امر تا اواسط کرتاسه ادامه یافته است. ادامه صفحه عربستان به طرف شمال در ترشیری باعث ایجاد گسل رورانده و گسل‌های ساده در جنوب غربی ایران و استان فارس شده است. ارتفاعات شمال استان از نوع ساختمانی و طاقدیسی بوده و جنس عناصر آنها بیشتر آهکی است و ناودیس های دشت‌ها هم جهت با روند عمومی زاگرس بوده و از رسوبات آبرفتی کواترنری پوشانده شده است (۲۲).

روش پژوهش

در این مطالعه از تلفیق ۴ شاخص مختلف از جمله کارایی مصرف بارش، پوشش گیاهی، فرسایش خاک و رواناب سطحی برای پهنه‌بندی تخریب اراضی استفاده شده است. دو شاخص کارایی مصرف بارش و پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجنده از دور، فرسایش خاک از طریق مدل آیکونا و رواناب سطحی به کمک روش شماره منحنی رواناب تهیه شدند. کارایی مصرف بارش از نسبت تولید خالص اولیه به بارش به دست آمد (۱۰). تولید خالص اولیه مربوط به تصاویر سنجنده مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر و قدرت تفکیک زمانی سالانه با کد MOD17A3 برای سال ۲۰۱۰ از وبگاه

زمین‌شناسی، لایه حفاظت خاک از ترکیب لایه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی و در پایان از ترکیب نقشه‌های فرسایش‌پذیری خاک و حفاظت خاک، نقشه خطر فرسایش آبی به‌دست می‌آید. در پژوهش حاضر لایه شیب از مدل رقومی ارتفاع ۹۰ متری داده‌های Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)، لایه زمین‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰، لایه کاربری اراضی از نقشه موجود کاربری و پوشش اراضی کشور مستخرج از Landsat TM و لایه پوشش گیاهی از تولیدات MOD13A3 تهیه شدند. لازم به ذکر است که جهت تهیه نقشه فرسایش آبی، کلیه لایه‌ها به اندازه پیکسل ۱۰۰۰ متری تبدیل شدند. در روش آیکونا تأثیر هر یک از عوامل در فرسایش و همچنین خروجی‌های فرسایش‌پذیری خاک و حفاظت خاک در برابر فرسایش در قالب جداولی از کلاس ۱ تا ۵ به‌ترتیب از حداقل تا حداکثر تأثیر در فرسایش آبی ارائه شده است. به‌طور مثال، زمانی که کلاس شیب بالاترین مقدار را داشته باشد (کلاس ۵) و منطقه نیز از نظر زمین‌شناسی بسیار حساس به فرسایش باشد مانند اراضی مارنی (کلاس ۵)، در نتیجه فرسایش‌پذیری منطقه نسبت به فرسایش آبی بسیار شدید (کلاس ۵) خواهد بود. در پژوهش حاضر به‌منظور جلوگیری از افزایش حجم مقاله و جلوگیری از تکرار جداول طبقه‌بندی امتیاز لایه‌ها از جداول بایرامین و همکاران (۳) بعنوان منبع امتیازدهی که پایه امتیازدهی لایه‌ها در مطالعات داخل کشور نیز بوده است، استفاده شد (۷). نقشه خطر فرسایش آبی در این مدل شامل کلاس‌های خیلی کم، کم، متوسط، شدید و بسیار شدید است. بعد از تهیه نقشه فرسایش آبی توسط مدل مذکور، از نقشه موجود فرسایش آبی روش پسیاک (Pacific Southwest Inter Agency Committee, PSIA) برای صحت‌سنجی با استفاده از روش همبستگی برای داده‌های ناپیوسته بین کلاس‌های طبقه‌بندی شده دو مدل استفاده شد (۹). به‌منظور برآورد رواناب در حوضه آبخیز، روش‌های تجربی و غیرمستقیم متعددی ابداع شده است. در این میان، یکی از روش‌های تجربی که مورد توجه بیشتری قرار گرفته، روش شماره منحنی (Curve Number, CN) رواناب است که به

وسایله سرویس حفاظت خاک امریکا (Soil Conservation Service, SCS) ارائه شده است (۲۵). کاربرد این روش، با توجه به نیاز آن به داده‌های قابل حصول در بیشتر حوضه‌های آبخیز و سادگی آن، دامنه کاربرد گسترده‌ای دارد. یک روند ثابت مبنی بر اینکه با افزایش تخریب اراضی، رواناب افزایش می‌یابد وجود دارد. برای مثال، چرای بیش از حد، به‌فشرده‌گی و لگدکوبی خاک منجر می‌شود که نفوذ را کاهش می‌دهد و در نتیجه به افزایش رواناب منجر می‌شود. بنابراین، میزان رواناب یک شاخص مفید برای تعیین فرایندهای تخریب اراضی است. جهت برآورد رواناب توسط روش مذکور نیاز به گروه‌های هیدرولوژیک خاک و نقشه کاربری اراضی است. برای تهیه نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک در منطقه مطالعاتی، به علت اینکه استان فارس فاقد یک نقشه کامل برای بافت خاک بود، از ترکیب نقشه خاکشناسی و واحد اراضی سازمان جهاد کشاورزی و همچنین اطلاعات خاکشناسی وبگاه فائو (www.fao.org) استفاده شد. تمام خاک‌ها بر اساس توان ایجاد رواناب در چهار گروه تقسیم شده‌اند که هر گروه می‌تواند در صورت نیاز به دقت بیشتر، به زیر گروه‌هایی تقسیم شود. گروه‌های اصلی خاک تعیین شده توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا عبارتند از A، B، C و D که به‌ترتیب دارای توانایی تولید رواناب کم، متوسط، نسبتاً زیاد و خیلی زیاد هستند (۲۰). با توجه به نقشه خاکشناسی، نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک در هر یک از پلی‌گون‌ها تقسیم شده در روش تیسن با توجه به تعاریف استاندارد گروه‌ها تهیه شد. جهت تهیه نقشه شماره منحنی، نقشه کاربری اراضی و نقشه گروه‌های هیدرولیک خاک با یکدیگر تلفیق شده و در نتیجه آن نقشه‌ای با واحدهای کوچک‌تر به‌دست آمد که هر واحد دارای یک نوع گروه هیدرولیک خاک با کاربری مشخص بود. به عبارت دیگر با استفاده از جداول مربوط به شماره منحنی (۲۰)، برای انواع کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه و با توجه به گروه‌های هیدرولوژیک خاک، مقدار شماره منحنی مشخص شد. پس از آن با استفاده از مقادیر به‌دست آمده شماره منحنی، شماره

مطالعه دارای مقادیر NPP بین ۰/۷۶ تا ۰/۱۱ (کیلوگرم کربن بر متر مربع در سال) است و در کلاس ۵ قرار دارند که بیشتر در قسمت‌های نیمه‌شمالی شامل شهرستان‌های مرودشت با عمده کاربری کشاورزی، سپیدان که در نواحی کوهستانی با پوشش گیاهی مرتعی بالا و پیرامون شهر شامل باغات، شمال غرب و غرب استان شامل ممسنی و کازرون با عمده کاربری کشاورزی را دربرمی‌گیرد. باتوجه به شکل ۲، بین متوسط بارندگی سالانه و NPP در استان فارس رابطه وجود دارد. مناطقی که بیشترین مقدار بارندگی را دارند بیشترین مقدار NPP را شامل می‌شوند و عکس این موضوع نیز صدق می‌کند. البته در برخی از قسمت‌ها این رابطه وجود ندارد که این عدم تطابق می‌تواند نشان‌دهنده وجود عوامل دیگری که میزان NPP را افزایش می‌دهند مانند وجود رودهای دائمی و فصلی و استفاده گیاهان از منابع آب زیرزمینی مانند چاه و قنات باشد (۱۳). به عبارت دیگر اراضی کشاورزی عامل افزایش مقادیر NPP در مناطق خشک‌تر هستند. مطالعات نشان داده است که بین پوشش گیاهی و بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک رابطه معنی‌داری وجود دارد و در طول سال زمانی که بارندگی بالا باشد مقدار NPP و شاخص گیاهی NDVI نیز بالاتر خواهد بود (۲۳).

شکل ۲ مقادیر کارایی مصرف بارش را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که بین صفر تا ۰/۰۰۲۹ (کیلوگرم کربن بر متر مربع در سال بر میلی‌متر) قرار دارد. ۳ کلاس اول که مقادیر صفر تا ۰/۰۰۰۵ را نشان می‌دهند، حدود ۹۰ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه را در بر می‌گیرند که در بعضی از این مناطق پوشش گیاهی ناچیز و اندک وجود داشته و همچنین بارندگی کم و ناچیز است که شامل قسمت‌های شمالی استان مانند شهرستان آباد، خرم‌بید و در شرق قسمت‌هایی از شهرستان نیریز، داراب و در جنوب قسمت‌هایی از شهرستان لار، لامرد و قسمت‌هایی در غرب و مرکزی از استان را شامل می‌شود. کلاس ۴ که حدود ۸ درصد منطقه مطالعه را به خود اختصاص داده به صورت پراکنده در سطح استان دیده می‌شود. کلاس آخر که بیشترین مقادیر

منحنی وزنی با استفاده از رابطه ۱ برای هر یک از چند ضلعی ایجاد شده در روش تیسن به دست آمد (۲۰):

$$CN = \frac{\sum CN_i A_i}{A} \quad (1)$$

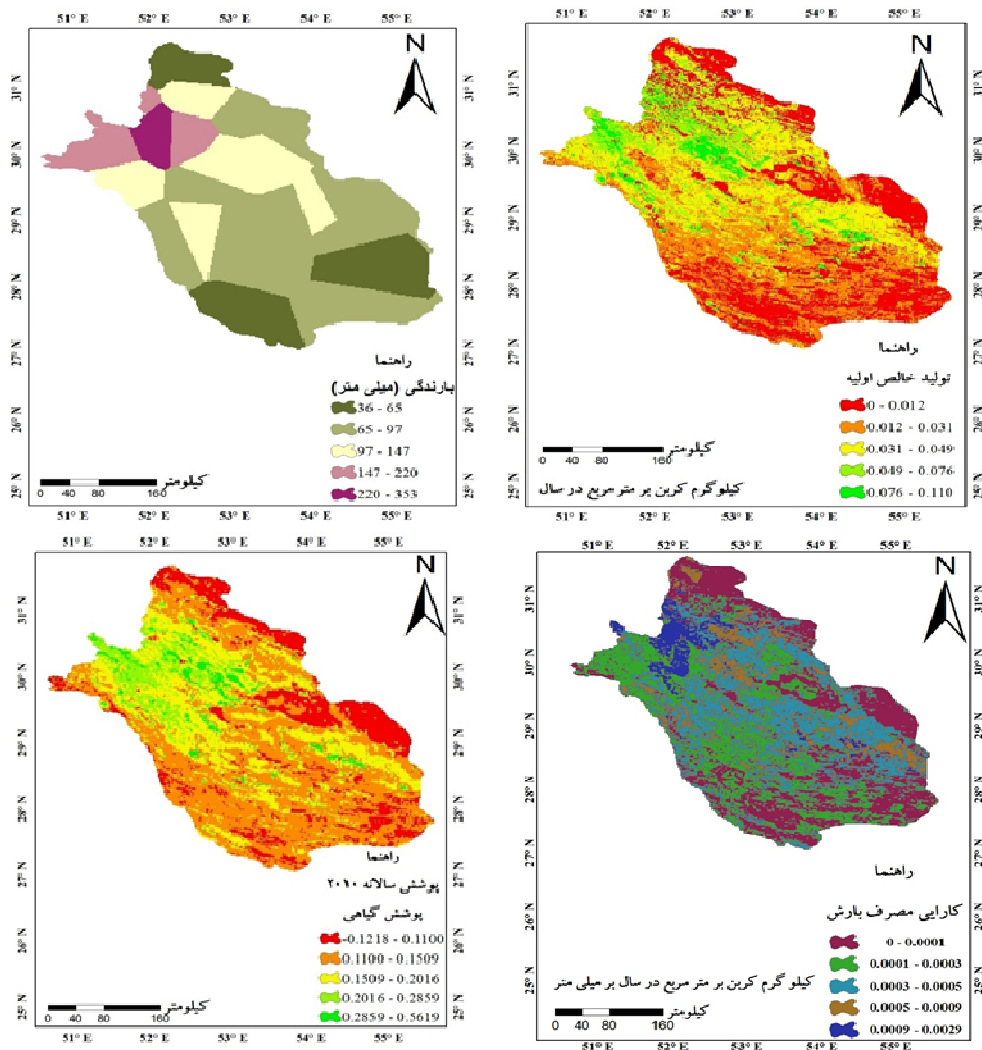
در این رابطه؛ CN: میانگین وزنی شماره منحنی، CN_i: شماره منحنی هر واحد، A_i: مساحت هر واحد و A: مساحت کل هستند.

با توجه به این که تلفیق شاخص‌ها در شناسایی محدوده های تخریب از بکارگیری تک تک آن مؤثرتر است، بنابراین، پس از تهیه نقشه‌های رستری کارایی مصرف بارش، پوشش گیاهی، فرسایش آبی و رواناب و یکسان‌سازی ابعاد پیکسل آنها به ۱۰۰۰ متر؛ نقشه تخریب اراضی منطقه مطالعاتی با هم‌پوشانی وزنی (Weighted overlay) تهیه شد. لازم به ذکر است جهت هم‌پوشانی نقشه‌های مختلف به روش مذکور، لازم بود که کلیه نقشه‌ها مانند روش آیکونا به ۵ کلاس طبقه‌بندی و براساس اهمیت آنها در فرسایش و تخریب اراضی امتیازدهی شوند. برای این منظور از دستور Reclassify و بعد از گزینش Natural breaks برای طبقه‌بندی نقشه در نرم افزار ArcGIS v.10 استفاده شد.

نتایج و بحث

معیارهای سنجش از دور NPP، NDVI و RUE

در گذشته بررسی تغییرات تولید خالص اولیه (NPP) گیاهان نسبت به تغییر اقلیم، در مقیاس آزمایشگاهی یا گلخانه‌ای استنباط می‌شد که اغلب بر تولید جنگل‌ها یا محصولات کشاورزی متمرکز بود. به‌تازگی برآورد این پارامتر و تغییر و تحول آن در اکوسیستم‌ها و مطالعه پاسخ آن به تغییرات اقلیمی موضوع اصلی بسیاری از تحقیقات علمی در جهان شده است (۱۸). با توجه به شکل ۲ می‌توان به این نتیجه رسید که سطح بیشتر منطقه دارای مقادیر NPP ۰ تا ۰/۰۱۲ (کیلوگرم کربن بر متر مربع در سال) است که در کلاس یک قرار دارد و همچنین کمتر از ۳ درصد مساحت منطقه مورد



شکل ۲. تغییرات مکانی کلاس‌های ۱ تا ۵ تولید خالص اولیه، بارندگی، کارایی مصرف بارش و پوشش گیاهی استان فارس (رنگی در نسخه الکترونیکی)

کسب آگاهی و دانش مربوط به پوشش گیاهی و سلامت آن در مدیریت تخریب اراضی نقش مهمی را دارا است (۲۴). میزان تغییرات مکانی پوشش گیاهی استان توسط شاخص گیاهی NDVI برای سال ۲۰۱۰ در شکل ۲ مشخص شده است. کلاس اول که کمتر از ۲ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است، دارای مقادیر حدود منفی و مثبت ۰/۱ است که شامل اراضی مانند دریاچه‌ها مانند بختگان، مهارلو، پریشان، دریاچه سد مانند درودزن، برف، یخ و اراضی فاقد پوشش گیاهی است. کلاس‌های ۲ و ۳ که حدود ۸۸ درصد

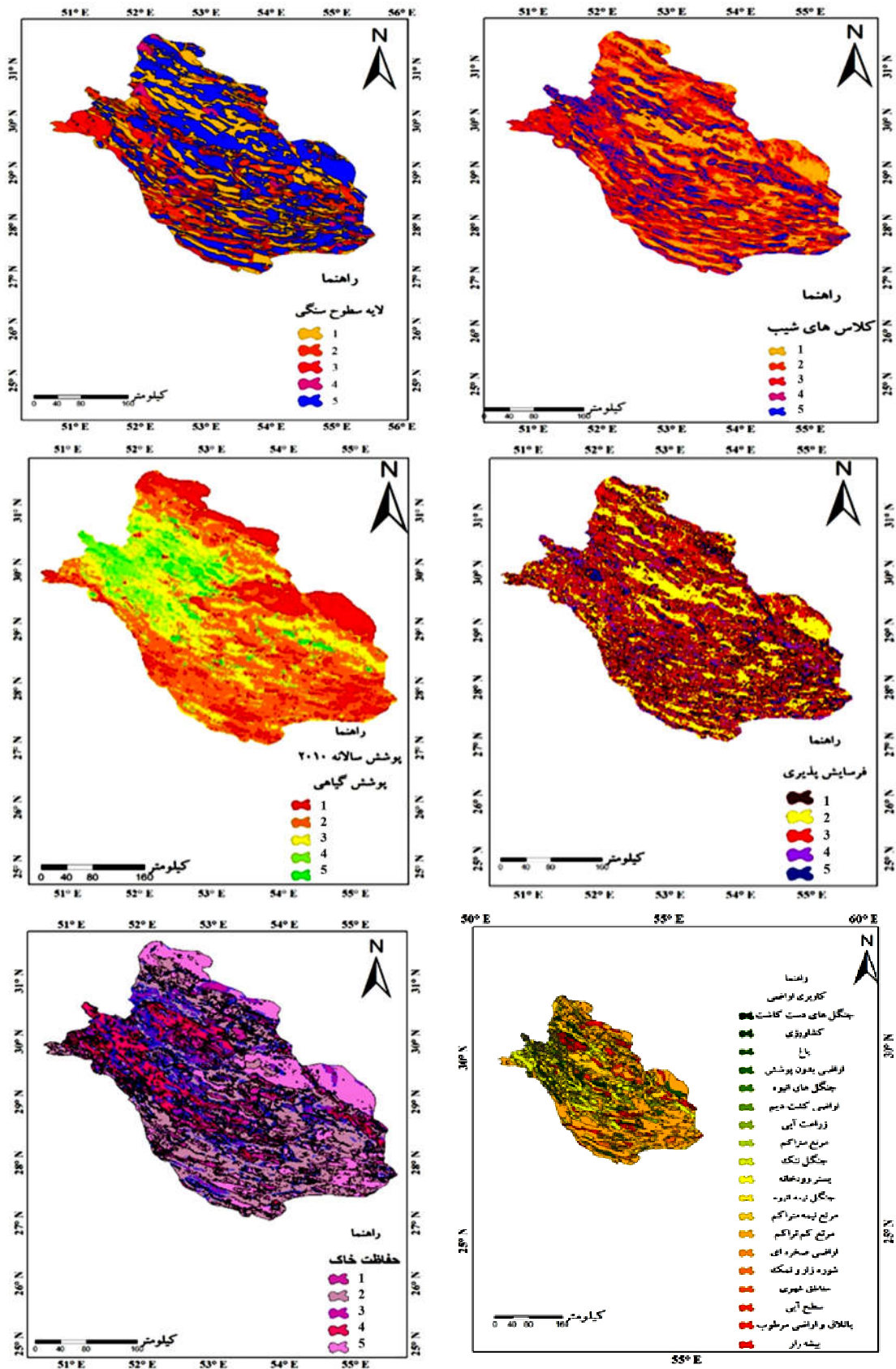
RUE را شامل می‌شوند، حدود ۲ درصد منطقه مورد مطالعه را دربرمی‌گیرد که بیشتر در قسمت‌های شمالی، شمال غربی و مرکزی استان شامل شهرستان‌هایی مانند اقلید، مرودشت و سپیدان می‌شود. در برخی از قسمت‌های منطقه مطالعاتی که دارای پوشش گیاهی و تولید به نسبت بالا هستند، ارزش‌های پایین شاخص کارایی مصرف بارش می‌تواند نشانه تخریب اراضی در اثر عوامل مختلف مانند چرای بی‌رویه باشد که در مطالعات نیز به کاهش مقادیر این شاخص در اراضی تخریب یافته اشاره شده است (۲۹).

مساحت منطقه در کلاس ۴ و ۴۰/۶۳ درصد از مساحت منطقه در کلاس ۵ قرار گرفته است. از هم‌پوشانی لایه شیب و لایه زمین-شناسی نقشه فرسایش‌پذیری به دست آمد که مطابق آن ۱۶/۰۸ درصد از منطقه پتانسیل فرسایش‌پذیری خیلی کم، ۳۱/۹ درصد از منطقه پتانسیل کم، ۲۷/۸۹ درصد پتانسیل متوسط، ۱۶/۲۱ درصد پتانسیل زیاد، و ۷/۸ درصد از منطقه دارای کلاس فرسایش‌پذیری بسیار زیاد است. بر اساس نقشه پوشش گیاهی که از شاخص NDVI تهیه شد، کلاس ۵۰-۲۵ درصد بیشترین مقدار از مساحت منطقه مورد مطالعه معادل ۵۲/۳۸ درصد و کمترین مساحت منطقه معادل ۵/۴۲ درصد از کل مساحت متعلق به طبقه پوشش گیاهی بالای ۷۵ درصد بود. از هم‌پوشانی پوشش گیاهی و لایه کاربری اراضی، نقشه حفاظت خاک منطقه مطالعاتی حاصل شد. در نقشه کاربری اراضی به‌طور کلی کلاس‌های ۱ تا ۵ به ترتیب صخره، مرتع، جنگل، کشت آبی و کشت دیم تعلق داشت. به‌طور مثال، در نقشه حفاظت خاک اگر پوشش گیاهی ضعیف باشد (کلاس ۱) و کاربری از نوع دیم باشد (کلاس ۵) باشد، حفاظت خاک در برابر فرسایش آبی بسیار ضعیف خواهد بود. مطابق نقشه حفاظت خاک، ۲۵/۱۵ درصد از منطقه در کلاس حفاظتی خیلی کم، ۴۱/۱۷ کلاس کم، ۱۰/۰۲ کلاس متوسط، ۱۲/۲۲ کلاس زیاد، ۱۴/۴۱ کلاس بسیار زیاد قرار گرفت. از ترکیب نقشه‌های حفاظت خاک و فرسایش‌پذیری، نقشه خطر فرسایش آبی در پنج کلاس خیلی کم، کم، متوسط، شدید و بسیار شدید به دست آمد که مساحت هر یک از کلاس‌ها به ترتیب برابر با ۵/۱ درصد، ۹/۰۵ درصد، ۴۷/۲۱ درصد، ۲۷/۹۱ درصد و ۱۰/۷۳ درصد از کل مساحت منطقه بود. مطالعات دیگر در طالقان استان البرز و در حوزه آبخیز بستانک استان فارس نشان دادند که مدل آیکونا قابلیت خوبی در پهنه‌بندی فرسایش آبی دارد (۷ و ۲۱). به‌منظور ارزیابی صحت نقشه خطر فرسایش آبی به دست آمده از مدل آیکونا، از نقشه فرسایش آبی روش پسیاک موجود در منطقه مطالعاتی استفاده شد. همبستگی بالای ۷۸ درصد بین کلاس‌های هر دو مدل نشان داد که مدل آیکونا برآورد مناسبی از فرسایش آبی در منطقه ارائه داده است.

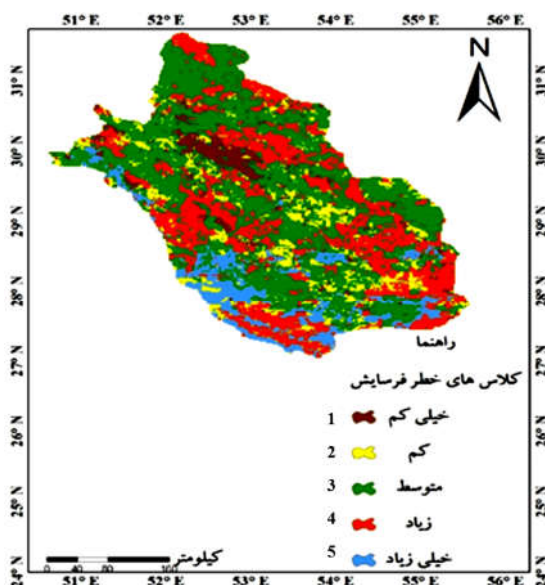
مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند که عمدتاً نشان‌دهنده اراضی مرتعی و جنگلی در سطح استان هستند که این اراضی مهم‌ترین اراضی از نظر حفاظت آب و خاک هستند که باید در چشم‌اندازهای مدیریتی توجه ویژه‌ای به آنها شود. دو کلاس آخر که حدود ۱۰ درصد مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند که بیشتر شامل اراضی کشاورزی و مراتع خوب در شهرستانهای مختلف استان مانند اقلید، سپیدان و ممسنی است. در شهرستان سپیدان نواحی کوهستانی با مراتع خوب و باغات متصل به شهر بیشینه درصد پوشش گیاهی را به خود اختصاص داده و در شهرستان مرودشت بیشینه پوشش گیاهی به زمین‌های کشاورزی پیرامون شهر که عمدتاً گندم‌زار است، اختصاص دارد.

برآورد معیار فرسایش آبی توسط مدل ICONA

وجود فرسایش آبی می‌تواند گواهی بر تخریب اراضی در منطقه باشد. کاهش طبیعی یا انسانی پوشش گیاهی و مدیریت غلط در بخش کشاورزی و مرتع‌داری منجر به افزایش سرعت فرسایش خاک می‌شود. یکی از مدل‌های مناسب در برآورد فرسایش آبی مدل آیکونا (ICONA) است که در پژوهش حاضر از آن استفاده شد (۳). این مدل می‌تواند به شناسایی مکان‌هایی که تحت تأثیر فرسایش هستند، کمک کند و با شناسایی این مکان‌ها، مدیریت لازم جهت کنترل و کاهش فرسایش خاک اعمال شود. جهت اجرای این مدل پژوهش حاضر مانند مطالعات پیشین از ۷ لایه اطلاعاتی استفاده شد (شکل ۳). براساس نقشه کلاس‌بندی شده شیب، منطقه مورد مطالعه در پنج کلاس درصد شیب ۰-۳، ۳-۱۲، ۱۲-۲۰، ۲۰-۳۵ و بیشتر از ۳۵ قرار گرفت که مساحت هرکدام از کلاس‌ها به ترتیب ۲۴/۹۷، ۳۱/۵۴، ۱۳/۰۵، ۱۵/۷۶ و ۱۴/۶۸ درصد از کل مساحت منطقه را شامل شد. مطابق لایه زمین‌شناسی یا سطوح سنگی، ۲۷/۲ درصد از مساحت منطقه در کلاس ۱، ۱۵/۰۱ درصد از مساحت منطقه در کلاس ۲، ۱۱/۰۹ درصد منطقه در کلاس ۳، ۶/۰۷ درصد از



شکل ۳. تغییرات مکانی لایه‌های مختلف مدل آیکونا و نقشه کلاس‌های خطر فرسایش آبی در منطقه مطالعاتی (رنگی در نسخه الکترونیکی)



ادامه شکل ۳

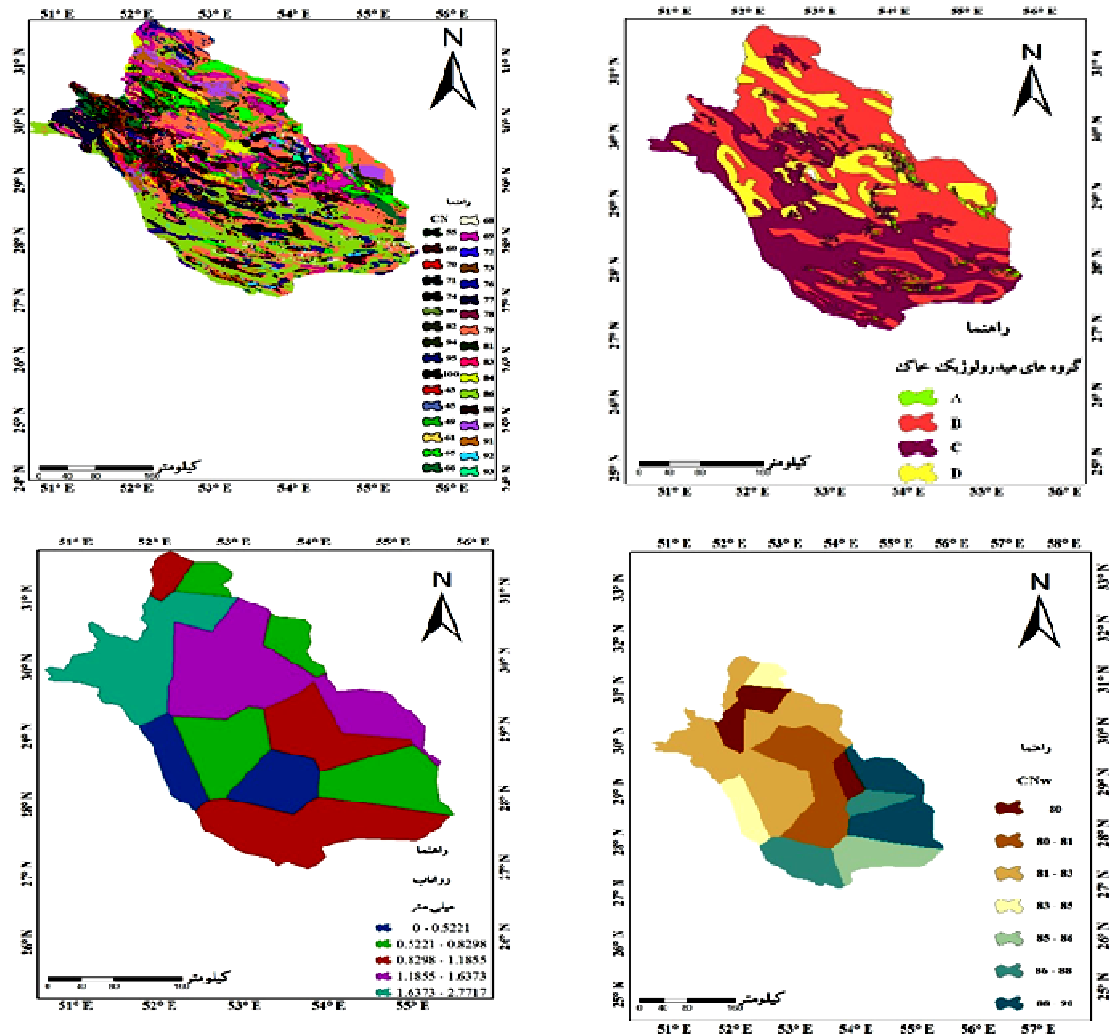
مطالعه را شامل می‌شود، قسمت‌هایی از شهرستان‌هایی مانند شیراز و نیریز را دربرمی‌گرفت. کلاس ۵ با حدود ۱۵ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه در بخش‌هایی از شهرستان‌های سپیدان، ممسنی و کازرون قرار داشت. فرسایش آبی از الگوی بارندگی، روناب و پوشش گیاهی پیروی می‌کند. زمانی که بارندگی در فصل زمستان در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس افزایش می‌یابد، پوشش گیاهی حداقل مقدار خود را در این زمان‌ها داشته و این امر باعث افزایش روناب و فرسایش آبی در منطقه مورد مطالعاتی می‌شود (۲).

تلفیق معیارها و تهیه نقشه تخریب اراضی

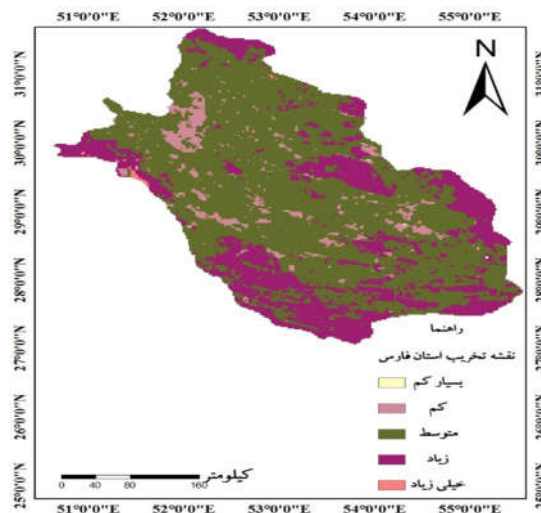
نقشه تخریب استان فارس در سال ۲۰۱۰ که حاصل هم‌پوشانی کارایی مصرف بارش، پوشش گیاهی، فرسایش آبی مدل آیکونا و روناب است در شکل ۵ قابل مشاهده است. اگرچه به‌کارگیری هر یک از عوامل برای بررسی جنبه‌های خاصی از تخریب اراضی مفید هستند، اما ترکیب این شاخص‌ها می‌تواند معیار مناسب‌تری برای نشان دادن مناطق تخریب یافته باشد. به‌طور مثال مطالعاتی در ایالت کارناتاکا کشور هند و بیابان سونورا در مکزیک نشان دادند که تلفیق پارامترهای مستخرج از سنجش از دور مانند پوشش گیاهی، دمای

برآورد معیار روناب سطحی

گروه‌های هیدرولوژیک خاک شامل گروه A، B، C و D بر اساس اطلاعات بافت خاک منطقه مطالعاتی، به ترتیب ۷۲۴۴/۸۲ کیلومتر مربع (۱۳/۲۱ درصد)، ۱۵۰۶۰/۳۲ کیلومتر مربع (۲۵/۶۷ درصد)، ۲۹۶۳۱/۷۸ کیلومتر مربع (۵۳/۸۸ درصد) و ۴۷۴۵/۲۲ کیلومتر مربع (۷/۲۴ درصد) را دربرمی‌گرفت که در شکل ۴ نشان داده شده است. از نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک و کاربری اراضی شماره منحنی (CN) محاسبه شد و با استفاده از مقادیر به‌دست آمده شماره منحنی، شماره منحنی وزنی برای هر یک از چند ضلعی ایجاد شده در روش تیسن به‌دست آمد. پس از تعیین مقدار CN وزنی هر یک از چند ضلعی‌های تیسن با در نظر گرفتن حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در هر یک از ایستگاه‌های واقع در هر چند ضلعی تیسن و با استفاده از روابط مرجع (۲۰)، مقدار روناب برای هر یک از ۳۶ دهک سال ۲۰۱۰ استان فارس بر حسب میلی‌متر محاسبه شد که مقادیر روناب برای سال مذکور در شکل ۴ ارائه شده است. ۳ کلاس اول که ۶۰ درصد از منطقه مورد مطالعه را دربرمی‌گیرد شامل مناطقی در جنوب استان مانند شهرستان‌های لار، لامرد، داراب، جهرم، فسا و فیروزآباد؛ کلاس ۴ که حدود ۲۵ درصد مساحت منطقه مورد



شکل ۴. نقشه‌های گروه‌های هیدرولوژیک خاک، شماره منحنی و رواناب در منطقه مطالعاتی (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۵. نقشه تخریب اراضی استان فارس حاصل از هم‌پوشانی کارایی مصرف بارش، پوشش گیاهی، فرسایش آبی مدل آیکونا و رواناب (رنگی در نسخه الکترونیکی)

روش‌های پایش و ارزیابی با یک دید استراتژی مدیریت احساس می‌شود. بعید است که یک معیار بتواند بیانگر فرایندهای مختلف تخریب اراضی باشد. بنابراین، در پژوهش حاضر کارایی تلفیق بخشی از اطلاعات استخراج شده برای ارزیابی تخریب اراضی با استفاده از مهم‌ترین معیارهای مؤثر در تخریب اراضی شامل کارایی مصرف بارش، پوشش گیاهی، فرسایش آبی و رواناب سطحی در استان فارس بر پایه داده‌های ماهواره‌ای مودیس، مدل فرسایش آبی آیکونا (ICONA) و مدل شماره منحنی رواناب بررسی شد. مطابق مدل آیکونا، به ترتیب ۵/۱ درصد، ۹/۰۵ درصد، ۴۷/۲۱ درصد، ۲۷/۹۱ درصد و ۱۰/۷۳ درصد از منطقه مطالعاتی به ترتیب در کلاس‌های فرسایش آبی خیلی کم، کم، متوسط، شدید و بسیار شدید است. هم‌پوشانی نقشه مدل آیکونا با معیارهای دیگر جهت دستیابی به نقشه تخریب اراضی استان نشان داد که کلاس‌های تخریب خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم به ترتیب ۱/۳، ۱۸/۷، ۷۰، ۹/۱ و ۰/۹ درصد از سطح استان را در بر می‌گیرند. با توجه به اینکه فرایندهای تخریب در مقیاس زمانی طولانی‌تر رخ می‌دهند، بنابراین، استفاده از داده‌های آرشیو طولانی‌مدت و رایگان سنجش از دور جهت استخراج معیارهای مختلف به منظور پایش و ارزیابی تخریب اراضی پیشنهاد می‌شود. همچنین پیشنهاد می‌شود قابلیت تولیدات ماهواره‌ای و یا اطلاعات جدید استخراجی بر اساس داده‌های ماهواره‌ای به منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی مدل‌های آیکونا و شماره منحنی برآورد رواناب مورد بررسی قرار گیرد.

سطح زمین، تولید خاص اولیه و کارایی مصرف بارش می‌تواند دقت پهنه‌بندی تخریب اراضی را بهبود بخشد (۲۷ و ۳۰). مطالعات دیگر که در ایران در استان اصفهان (۱۲) و همچنین استان البرز (۲۶) انجام شده، نشان می‌دهد که تلفیق پارامترهای مذکور در شناسایی و پایش تخریب اراضی کارایی بالاتری دارد. البته مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که این پارامترها بصورت انفرادی نیز در ارزیابی تخریب اراضی مؤثر هستند (۱۱ و ۱۹). مطابق نقشه حاصل شده از تلفیق پارامترهای مطالعه شده در پژوهش حاضر، کلاس‌های تخریب زیاد و خیلی زیاد حدود ۲۰ درصد سطح استان فارس را فرا گرفته و در قسمت‌های مختلف استان به رنگ‌های بنفش و نارنجی قابل مشاهده است مانند شهرستان‌های آباءه، لار، لامرد و نیریز. کلاس متوسط به رنگ سبز که بیشترین مساحت استان را به خود اختصاص داده است (حدود ۷۰ درصد)، نشان دهنده خطر تخریب متوسط در این منطقه است که در اکثر شهرستان‌های استان قابل مشاهده است. کلاس‌های خطر تخریب کم و خیلی کم به صورت پراکنده در سطح استان دیده می‌شود و حدود ۱۰ درصد منطقه را می‌پوشاند. این مناطق دارای شرایط آب و هوایی بهتر بوده و به علت بارندگی بالاتر، درصد پوشش گیاهی بیشتر و یا صخره‌ای بودن میزان تخریب کمتری نسبت به سایر مناطق مطالعاتی دارند.

نتیجه‌گیری

با افزایش پیچیدگی اثرات انسانی و محیطی در تخریب اراضی و اهمیتی که تأثیرات تجمعی این اثرات دارند، نیاز به بهبود

منابع مورد استفاده

1. Amiraslani, F. and D. Dragovich. 2011. Combating desertification in Iran over the last 50 years: An overview of changing approaches. *Journal of Environmental Management* 92(1): 1-13.
2. Aygün, O., C. Kinnard and S. Campeau. 2021. Responses of soil erosion to warming and wetting in a cold Canadian agricultural catchment. *Catena* 201:105184.
3. Bayramin, I., O. Dengiz, O. Baskan and M. Parlak. 2003. Soil erosion risk assessment with ICONA model, case of study: Beypazari Area. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology* 27:105-116.
4. UNCCD, 1994. United Nations Convention to Combat Desertification Conference, Rio de Janeiro, Brazil.
5. Delgado, L. E. and V. H. Marín. 2020. Ecosystem services and ecosystem degradation: Environmentalist's

- expectation? *Ecosystem Services* 45:101177.
6. Ding, H. and H. Xingming. 2021. Spatiotemporal change and drivers analysis of desertification in the arid region of northwest China based on geographic detector. *Environmental Challenges* 4: 100082.
 7. Entezari, M. and M. Khodadadi. 2017. Water erosion assessment of Taleghan rod region by ICONA model. *Journal of Natural Environment Hazards* 6 (13): 40- 60 (In Persian).
 8. Ekhtesasi, M. R. and H. Ahmadi. 1995. Quantitative and qualitative evaluation of wind erosion and estimation of sediments. *Iranian Journal of Natural Resources* 15: 25-35 (In Persian).
 9. FWNRA. 2016. Fars's Watershed and Natural Resources Administration (FWNRA), CD-ROM, Fars, Iran.
 10. Gamoun, M. 2016. Rain use efficiency, primary production and rainfall relationships in desert rangelands of Tunisia. *Land Degradation and Development* 27: 738-747.
 11. Hu, Y., Y. Han and Y. Zhang. 2020. Land desertification and its influencing factors in Kazakhstan. *Journal of Arid Environments* 180: 104203.
 12. Jafari, R. and M. Abedi. 2021. Remote sensing-based biological and nonbiological indices for evaluating desertification in Iran: Image versus field indices. *Land Degradation and Development* 32: 2805-2822.
 13. Jafari, R. and S. Hasheminasab. 2017. Assessing the effects of dam building on land degradation in Central Iran with Landsat LST and LULC time series. *Environmental Monitoring and Assessment* 189(2): 1-15.
 14. Jahangir, M. H., S. M. Mousavi and M. Abolghasemi. 2019. Spatial predication of flood zonation mapping in Kan River Basin, Iran, using artificial neural network algorithm. *Weather and Climate Extremes* 25: 100215.
 15. Khavarian, A. R., A. Pourahmad, H. Hataminejad and R. Farhoodi. 2019. Climate change and environmental degradation and the drivers of migration in the context of shrinking cities: A case study of Khuzestan province, Iran. *Sustainable Cities and Society* 47: 101480.
 16. Kosmas, C., A. Ferrara, H. Briasouli and A. Imeson. 1999. Methodology for mapping environmentally sensitive areas (ESAs) to desertification. In: The MEDALUS project Mediterranean desertification and land use-Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. Brussels, Belgium: European Commission.
 17. Karavitis, C. A., D. E. Tsesmelis, P. D. Oikonomou, O. Kairis, C. Kosmas, V. Fassouli and G. Quaranta. 2020. A desertification risk assessment decision support tool (DRAST). *Catena* 187: 104413.
 18. Liu, Y., R. Zhou, H. Ren, W. Zhang, Z. Zhang and Z. Wen. 2021. Evaluating the dynamics of grassland net primary productivity in response to climate change in China. *Global Ecology and Conservation* 28: e01574.
 19. Ma, X., J. Zhu, W. Yan and C. Zhao. 2021. Projections of desertification trends in Central Asia under global warming scenarios. *Science of the Total Environment* 781: 146777.
 20. Mahdavi, M. 2013. Applied Hydrology. Tehran University Press, Tehran, Iran (In Persian).
 21. Nohegar, A. and M. Kazemi. 2014. Evaluation of Water Erosion with ICONA Model. *Geographical Research* 28 (4): 1-14 (In Persian).
 22. NRWA, 2016. Natural Resources and Watershed Administration, Climate and Natural Geography Data. Fars, Shiraz, Iran (In Persian).
 23. Prince, S. D., E. Brown and L. L. Kravitz. 1998. Evidence from rain-use efficiency does not indicate extensive Sahelian desertification. *Global Change Biology* 4: 359-379.
 24. Pettoreli, N., J. O. Vik, A. Mysterud, J. M. Gaillard, C. J. Tucker and N. C. Stenseth. 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution Journal* 20: 70-80.
 25. Ponce, V. M. and R. H. Hawkins 1996. Runoff curve number: Has it reached maturity? *Journal of Hydrologic Engineering* 1(1): 11-19.
 26. Rayegani, B., S. Barati, H. Goshtasb, S. Gachpaz, J. Ramezani and H. Sarkheil. 2020. Sand and dust storm sources identification: A remote sensing approach. *Ecological Indicators* 112: 106099.
 27. Singh, R. B. 2019. A composite method to identify desertification 'hotspots' and 'brightspots'. *Land Degradation and Development* 30(9): 1025-1039.
 28. Wang, Y., Z. Yuan and Y. Tang. 2021. Enhancing food security and environmental sustainability: A critical review of food loss and waste management. *Resources, Environment and Sustainability* 4: 100023.
 29. Zhao, Y., X. Wang and R. Vázquez-Jiménez. 2018. Evaluating the performance of remote sensed rain-use efficiency as an indicator of ecosystem functioning in semi-arid ecosystems. *International Journal of Remote Sensing* 39: 3344-3362.
 30. Zolotokrylin, A. N., L. Brito-Castillo and T. B. Titkova. 2020. Local climatically driven changes of albedo and surface temperatures in the Sonoran Desert. *Journal of Arid Environments* 178: 104147.

Integrating Remote Sensing with SCS and ICONA Models for Mapping Land Degradation in Fars Province

S. Dehghan Farsi, R. Jafari* and S. A. R. Mousavi¹

(Received: August 13-2021; Accepted: October 15-2021)

Abstract

The objective of the present study was to investigate the performance of some of the extracted information for mapping land degradation using remote sensing and field data in Fars province. Maps of vegetation cover, net primary production, land use, surface slope, water erosion, and surface runoff indicators were extracted from MOD13A3, MOD17A3, Landsat TM, SRTM, ICONA model, and SCS model, respectively. The rain use efficiency index was obtained from the net primary production and rainfall map, which was calculated from meteorological stations. The final land degradation map was prepared by integrating all the mentioned indicators using the weighted overlay method. According to the ICONA model, 5.1, 9, 47.21, 27.91, and 10.73 percent of the study area were classified as very low, low, moderate, severe, and very severe water erosion; respectively. Overlaying the ICONA map with other indicators showed that very high and high classes, moderate, and low and very low classes of land degradation covered 1.3, 18.7, 70, 0.9, and 9.1 percent of the study area, respectively. According to the results, integrating remote sensing with ICONA and SCS models increases the ability to identify land degradation.

Keywords: Runoff, Water erosion, Modelling, MODIS

1. Rangeland and Watershed Management Group, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*: Corresponding author, Email: reza.jafari@iut.ac.ir