کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در ارزیابی کمی و کیفی فرسایش بادی، مطالعه موردی: دشت شورجستان آباده

ابراهیم خلیفه[1]، دانشجوی دکترای، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
محمدرضا کاویان‌پور، دانشیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
مجتبی پاک‌پرور، مربی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس
امین‌اله متقی، دانشجوی کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۰۵/۱۷ **پذیرش مقاله:** ۱۳۸۸/۱۰/۳۰

چکیده

نظر به اینکه بخش وسیعی از کشور ما در مناطق خشک و نیمه خشک قرار داشته و هر ساله فرسایش بادی و وقوع طوفان‌های ماسه‌ای خسارات قابل توجهی بر منابع زیستی و اقتصادی کشور وارد می‌آورد، لزوم بررسی این پدیده و به‌ویژه به‌روز کردن شیوه‌ها و ابزار مطالعاتی و استفاده از فناوری‌های جدید به‌خوبی احساس می‌شود. همچنین عدم وجود و یا دشواری‌های دسترسی به اطلاعات مورد نیاز مدل‌های فیزیکی و کمی، استفاده از مدل‌های کیفی در ارزیابی این پدیده را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. در چنین شرایطی، طرح‌ریزی یک مدل اطلاعاتی- محاسباتی بر مبنای سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و استفاده از سنجش از دور (RS) برای تهیه اطلاعات میدانی به‌منظور بررسی فرسایش بادی ضروری به‌نظر می‌رسد. از این رو، در این تحقیق مدل ارزیابی کیفی فرسایش بادی ایریفر (IRIFR) در قالب سامانه اطلاعات جغرافیایی اجرا و از سنجش از دور برای تعیین پارامترهای مورد نیاز استفاده شد. هدف اصلی این پژوهش، استفاده از نتایج تحقیقات انجام شده و مرتبط، تدوین و ساماندهی روش‌ها و مدل‌های به‌کار رفته و ارائه شده در آن‌ها در جهت انجام مطالعات فرسایش بادی، و نیز تبیین چگونگی استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در ارزیابی کمی و کیفی فرسایش بادی (مدل ایریفر) می‌باشد. از نتایج مهم پژوهش حاضر می‌توان تهیه و تدارک مدون برخی لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز مدل، حذف نقشه اولیه واحدهای همگن کاری در تعداد قابل توجهی از عوامل، کاهش اثر قضاوت کارشناسی و در نهایت قابلیت تکرار دوره‌ای مدل را نام برد. بدین ترتیب علاوه بر سازماندهی و سرعت بیش‌تر مطالعات و کاهش حجم و هزینه عملیات میدانی، مکان‌های با حساسیت بالا در دوره‌های زمانی مورد نظر شناسایی شده و در نهایت، با تلفیق مناسب اطلاعات دقت ارزیابی ارتقا می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: ایریفر، خشک، نیمه‌خشک، مدل کیفی، واحد همگن

مقدمه

نظر به اینکه بخش وسیعی از کشور ما در مناطق خشک و نیمه خشک قرار داشته و هر ساله فرسایش بادی و وقوع طوفان‌های ماسه‌ای خسارات قابل توجهی بر منابع زیستی و اقتصادی کشور وارد می‌آورد، لزوم بررسی این پدیده و به‌ویژه به‌روز کردن شیوه‌ها و ابزار مطالعاتی و استفاده از فناوری‌های جدید به‌خوبی احساس می‌شود. سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، از جمله شیوه‌ها و فناوری‌های جدید هستند که نقشی انکارناپذیر در مطالعاتی مانند فرسایش بادی ایفا می‌نمایند. امروزه این سامانه به‌طور مؤثری داده‌های مکانی و توصیفی مربوط به منابع مختلف را بر

[1] ebrahimkhalife@gmail.com

اساس اهداف کاربران، نگه‌داری، بازیابی و کاربردی می‌کند. پیشرفت‌های فوق‌العاده سریع فناوری سامانه اطلاعات جغرافیایی در سال‌های اخیر، موجب شده که جای‌گزین برخی روش‌های سنتی و معمول گردد (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۳).

از این رو محققان در تلاشند تا با استفاده از این فناوری‌ها، پارامترهای مورد نیاز را برآورد و مدل‌های تخمین فرسایش بادی را در سامانه اطلاعات جغرافیایی پیاده‌سازی نمایند. از آن جمله در پژوهشی، تغییرات تپه‌های شن شمال غرب کویت از نظر شکل و حرکت آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه، چهار تصویر TM مربوط به چهار سال مختلف انتخاب گردید و از باندهای ۲، ۴ و ۷ (RGB)، تصاویر ترکیب رنگی کاذب تهیه شده و با انجام پردازش‌هایی نظیر افزایش تباین، فیلترگذاری و تفسیر چشمی، تهیه نقشه تپه‌ها و روند تغییرات امکان‌پذیر شد (اشتری‌مهرجردی، ۱۳۸۰ به نقل از Al-Dabi و همکاران، ۱۹۹۸).

در پژوهشی، Klik (۲۰۰۲) با استفاده از WEQ و سامانه اطلاعات جغرافیایی به بررسی و تخمین میزان خاک فرسایش یافته در منطقه کشاورزی مارشفلد[1] اتریش پرداخت. Yuliang و Yun (۲۰۰۲) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، عکس‌های هوایی و اطلاعات زمینی و تلفیق اطلاعات در سامانه اطلاعات جغرافیایی، انواع و شدت فرسایش بادی را دراستان شانجی[2] چین پهنه‌بندی کردند. Zobeck و همکاران (۲۰۰۰)، به‌کمک معادله اصلاح شده فرسایش بادی (RWEQ[3]) و برنامه‌های رایانه‌ای توانسته‌اند فرسایش بادی را در ابعاد منطقه‌ای محاسبه و به نقشه درآورند؛ معادله یاد شده، اساس مزرعه‌ای داشته و براساس نقشه‌ها و گزارش‌های خاک و سایر پارامترها، ورودی‌های معادله به نقشه درآمده و به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی تلفیق و نقشه شدت فرسایش بادی تولید شد.

در پژوهشی دیگر، Yubao و Skidmore (۲۰۰۲) با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی شدت فرسایش بادی را برای هر واحد کاربری اراضی بر اساس استاندارد ملی طبقه‌بندی فرسایش خاک در منطقه‌ای در چین تعیین کردند؛ ارزیابی عوامل در نقاط نمونه انجام و به‌کمک تصاویر ماهواره‌ای TM، برای تعیین واحدهای همگن به کل منطقه تعمیم داده شد. در تعیین نواحی همگن، از نقشه خاک و تفسیر چشمی تصاویر نیز استفاده شد.

سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده، استاندارد PM_{10} را بر مبنای سامانه اطلاعات جغرافیایی تدوین کرد که مناطق واقع در محدوده PM_{10} و مناطق خارج از آن را تفکیک می‌نماید (Pulugurha و James، ۲۰۰۲). یکی از مراحل اصلی این روش، محاسبه و تهیه نقشه فرسایش بادی بوده که برای این منظور داده‌های مسیر و سرعت باد و نیز کیفیت پاکیزگی هوا از ایستگاه‌های موجود در منطقه به‌صورت ارتباط پیوسته[4] به سامانه وارد می‌شود. بر اساس داده‌های تونل فرسایش بادی و نیز نقشه‌های خاک، نواحی همگن فرسایش‌پذیری و تغییرات زمانی و مکانی فرسایش بادی به‌صورت دائمی و پیوسته تهیه می‌گردد.

در اروپا، برنامه‌ای برای مدل‌سازی و اندازه‌گیری ابعاد فرسایش بادی با نام WEELS تدوین شد که تهیه آن از ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۰ به طول انجامید (Warner، ۲۰۰۰). در این برنامه، بر اساس داده‌های تله رسوب واقع در نقاط مختلف اروپا و داده‌های سنجش باد، پایش دائمی بر روی ابعاد (بزرگی) و گستره پراکنش فرسایش بادی انجام گرفت. Grob و همکاران (۲۰۰۰)، بیان می‌دارند که ساختار قابلیت خطر فرسایش بادی، که در قالب سامانه اطلاعات جغرافیایی طراحی شده، برای تمامی مدل‌هایی که در برنامه WEELS به‌کار رفته مورد استفاده قرار گرفته است؛ ساختار یاد شده، قابلیت خطر فرسایش بادی را بر اساس یک پایگاه داده‌ای تخمین می‌زند؛ داده‌هایی نظیر ناهمواری، طبقه‌بندی

[1] Marchfeld
[2] Shanxi
[3] Revised Wind Erosion Equation
[4] Online

خاک (بافت خاک سطحی، منشاء و مرحله تکاملی)، ویژگی‌های بادشکن‌ها، جهت و سرعت وزش باد، عرض و طول مزارع از اهم موارد نیاز مدل است.

به‌طور کلی اهمیت و ضرورت استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در بررسی و ارزیابی فرسایش بادی، بدان حد است که مدل‌های مهم و بزرگی نظیر WEELS، WEPS و WEQ بر مبنا و یا در قالب به‌کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور طرح و یا اجرا شده‌اند.

مدل‌های یاد شده، به‌منظور بررسی و ارزیابی فرسایش بادی در اراضی زراعی اروپا و ایالات متحده طراحی و توسعه یافته‌اند؛ به‌همین دلیل، و با توجه به‌اینکه دامنه فعالیت فرسایش بادی در ایران عرصه‌های وسیع بیابانی است، مدل‌های مذکور و دیگر مدل‌ها یا اساساً قابل استفاده نبوده و یا نیازمند تغییرات قابل توجهی می‌باشند. از این‌رو و با توجه به نیاز کشور به مدل‌های ارزیابی فرسایش بادی متناسب با شرایط ایران، سازمان جنگل‌ها و مراتع مدل ارزیابی فرسایش بادی ایریفر (IRIFR) را به‌کوشش اختصاصی و احمدی (۱۳۷۶) طراحی و ارائه کرد. اریفر مدلی کیفی است که با در نظر گرفتن نه عامل مؤثر در فرسایش بادی، امتیازبندی آن‌ها در واحدهای همگن کاری و نهایتاً جمع این امتیازات، طبقه فرسایشی خاک هر واحد را تعیین می‌نماید. جداول ۱ و ۲، به‌ترتیب نحوه امتیازبندی عوامل مؤثر و طبقه فرسایشی خاک در این مدل را نشان می‌دهند.

جدول ۱- نحوه امتیازبندی عوامل نه‌گانه فرسایش بادی به‌روش IRIFR

عامل مورد بررسی	دامنه امتیاز
سنگ‌شناسی	۰-۱۰
شکل اراضی و پستی و بلندی	۰-۱۰
توزیع باد و وقوع طوفان	۰-۲۰
بافت و چسبندگی خاک سطحی	۵-۱۵
انبوهی پوشش	۰-۱۵
ظواهر فرسایشی سطح خاک	۵-۲۰
رطوبت خاک	۰-۱۰
پراکنش و مساحت نهشته‌های بادی	۰-۱۰
مدیریت و استفاده از زمین	۰-۱۵

جدول ۲- تعیین طبقه فرسایش خاک به‌روش IRIFR

طبقه فرسایش اراضی		جمع امتیاز	رسوب‌دهی سالانه ($tonkm^{-2}yr^{-1}$)
کد	شرح		
I	خیلی کم	<۲۵	<۲۵۰
II	کم	۲۵-۵۰	۲۵۰-۵۰۰
III	متوسط	۵۰-۷۵	۵۰۰-۱۵۰۰
IV	زیاد	۷۵-۱۰۰	۱۵۰۰-۶۰۰۰
V	خیلی زیاد	>۱۰۰	>۶۰۰۰

همان‌گونه که اشاره شد، در این مدل ابتدا منطقه مطالعاتی به واحدهای همگن کاری تقسیم و سپس با ارزیابی عوامل مؤثر، طبقه فرسایشی خاک در هر واحد تعیین می‌گردد؛ این بدان معناست که یک پارامتر در سطحی وسیع ارزیابی، امتیاز مربوط به آن توزیع شده، با امتیازاتی، نظیر پارامترهای دیگر مقایسه و رفتار سطح مزبور در فرسایش بادی بررسی می‌شود. بدیهی است تغییرات مکانی گسترده به‌همراه تغییرات زمانی، به‌شدت بر حجم اطلاعات و پیچیدگی‌های ارزیابی؛ می‌افزاید به‌گونه‌ای که استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید.

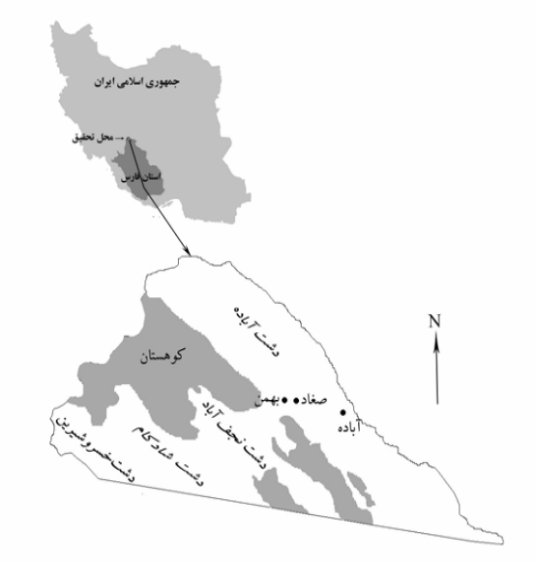
سابقه استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در بررسی فرسایش بادی در ایران محدود بوده و به تحقیقات اشتری‌مهرجردی (۱۳۸۰)، پاک‌پرور (۱۳۸۲)، پاک‌پرور و همکاران (۱۳۸۳)، خلیفه (۱۳۸۵) و خلیفه و همکاران (۱۳۸۶ الف و ب) باز می‌گردد. در پژوهش انجام شده توسط اشتری‌مهرجردی (۱۳۸۰)، تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای مد نظر قرار گرفت. پاک‌پرور (۱۳۸۲) با تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای و مقایسه نقشه‌های موجود با این تصاویر، برخی لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز مدل ایریفر را تولید نمود؛ سپس با تلفیق تمامی لایه‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی به ارزیابی کمی و کیفی فرسایش بادی در دشت برخوار اصفهان پرداخت؛ اگرچه این پژوهش اولین تلاش در جهت استفاده هم‌زمان از تصاویر ماهواره و مدل ایریفر در قالب سامانه اطلاعات جغرافیایی در ایران بوده، ولی مراتب یاد شده به تفسیر چشمی و تلفیق ساده اطلاعات محدود شده است. پاک‌پرور و همکاران (۱۳۸۳) به‌صورت هدف‌مند و مؤثری از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های مختلف پردازش آن‌ها برای بررسی فرسایش بادی استفاده کردند که منجر به ارائه نقشه‌های پوشش گیاهی، درصد لای و پراکنش نهشته‌های بادی مبتنی بر مدل‌های سنجش از دور گردید. خلیفه (۱۳۸۵)، ضمن استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و نیز سنجش از دور برای تهیه برخی لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز، به تشریح قابلیت‌ها و محدودیت‌های این فناوری‌ها در بررسی فرسایش بادی پرداخت. خلیفه و همکاران (۱۳۸۶ الف) روشی جدید تحت عنوان پردازش تصاویر ماهواره و تحلیل باد، را برای شناسایی منابع ماسه تپه‌های ماسه‌ای ارائه و به‌کار گرفتند؛ این روش با بهره‌گیری از روش‌های پردازش تصاویر، نظیر افزایش تباین و روشنایی تصویر، آستانه‌گیری طیفی، ترکیب کاذب رنگی، صافی (فیلتر)، روش گمانه‌زنی و تحلیل طیفی و تلفیق نتایج به‌دست آمده از یک سو، و تحلیل گل‌ماسه‌های تهیه شده از آمار بادسنجی منطقه از سوی دیگر و برقراری ارتباط مناسب بین آن‌ها، محل‌های برداشت مرتبط با نهشته‌های مورد نظر را شناسایی می‌نماید. ویژگی مهم این روش از آن جهت حائز اهمیت است که بخش قابل توجهی از اطلاعات و آمار مورد نیاز آن بدون انجام عملیات میدانی مفصل به‌دست آمده است. در نهایت خلیفه و همکاران (۱۳۸۶ ب) ضمن استفاده از روش‌های فیلتر و نسبت‌گیری طیفی، باند b5 سنجنده ETM+ ماهواره لندست و نسبت طیفی $b6_2/b4$ را به عنوان مناسب‌ترین باند و نسبت طیفی به‌منظور شناسایی و تفکیک تپه‌های ماسه‌ای فعال و غیر فعال معرفی نمودند.

هدف اصلی این پژوهش که برگرفته از یک پایان‌نامه کارشناسی ارشد (خلیفه، ۱۳۸۵) و یک طرح تحقیقاتی (پاک‌پرور و همکاران، ۱۳۸۳) است، استفاده از نتایج تحقیقات انجام شده و مرتبط، تدوین و ساماندهی روش‌ها و مدل‌های به‌کار رفته و ارائه شده در آن‌ها در جهت انجام مطالعات فرسایش بادی، و در نهایت استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در ارزیابی کمی و کیفی فرسایش بادی (مدل ایریفر) می‌باشد. در ادامه نیز نتایج مهم ناشی از آن مورد بررسی، بحث و تأکید قرار گرفته است.

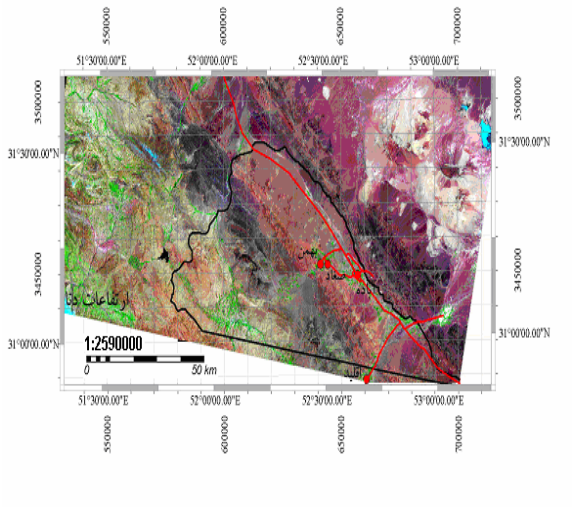
مواد و روش‌ها

دشت شورجستان آباده به‌وسعت ۴/۱ میلیون هکتار واقع در شمالی‌ترین بخش استان فارس هم‌جوار با استان اصفهان، بین '۴۸:°۵۱ تا '۶ : °۵۲ طول شرقی و' ۵۲ : °۳۰ تا '۳۱ : °۳۱ عرض شمالی و ارتفاع مناطق دشتی از ۱۸۵۰ تا ۲۱۰۰ و کوهستانی تا حداکثر ۳۲۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد. دامنه‌های رشته کوه‌های شمال شرقی آباده از شرق، رود رحیمی ایزدخواست از شمال و محدوده انتهایی تصویر ماهواره‌ای از جنوب، منطقه را محدود می‌کنند. شکل‌های ۱ و ۲ به‌ترتیب موقعیت و ترکیب کاذب رنگی RGB742 محل تحقیق را نمایش می‌دهند.

نرم‌افزارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل ILWIS Academic 3.1، Erdas Imagine 8.5 و Envi 4 برای انجام عملیات و روش‌های RS و سایر نرم‌افزارهای مطرح به‌منظور انجام محاسبات عمومی، نگارش متن و تهیه نمودارها می‌باشد. گرچه ایده اساسی این تحقیق، تهیه لایه‌های اطلاعاتی عوامل مختلف و در نهایت تلفیق آن‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی است، ولی در تهیه لایه‌های اطلاعاتی به دو روش عمل شد: روش اول استفاده از سنجش از دور بوده و روش دوم برآورد نقطه‌ای امتیاز عوامل مؤثر در عرصه و تعمیم آن به کل منطقه می‌باشد؛ از این رو، روش‌ها به دو بخش الف و ب تفکیک شده است.



شکل ۱- موقعیت دشت شورجستان



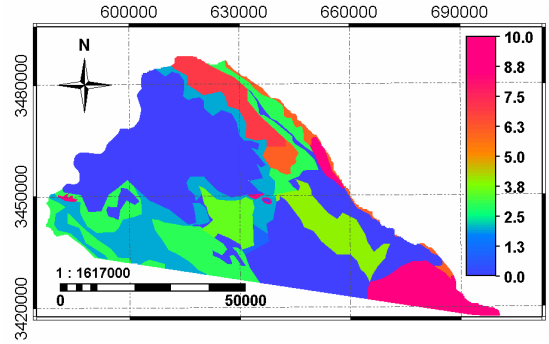
شکل ۲- تصویر کاذب رنگی شورجستان

الف- تلفیق سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی: در این راستا، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ سنجنده ETM^{+} به‌تاریخ ۲۹ آوریل ۲۰۰۲، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سال ۱۳۶۲، اطلاعات موجود، محلی و میدانی و انجام پردازش‌های لازم بر روی تصاویر، لایه‌های هر عامل تهیه و در سامانه اطلاعات جغرافیایی تلفیق گردید. بدین ترتیب طبقه فرسایشی خاک با توجه به جدول ۲ در منطقه پهنه‌بندی شد. موضوع شاخص این تحقیق آن است که برای هر عامل، یا واحد کاری خاص آن عامل در نظر گرفته شده و یا اساساً واحدی لحاظ نگردیده و از مدل‌های سنجش از دور در تولید لایه‌های اطلاعاتی مورد نظر استفاده شده است. در ادامه و به‌منظور تشریح بیش‌تر روش کار، چگونگی تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز و نیز نحوه انجام آزمون صحت‌سنجی ارائه شده است.

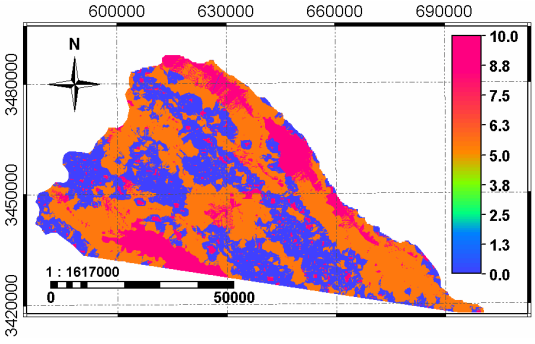
سنگ‌شناسی: برای تهیه لایه اطلاعاتی سنگ‌شناسی، ابتدا نقشه زمین‌شناسی رقومی شده، واحدهای همگن سنگ‌شناسی تعیین و به‌عنوان نقشه پایه در نظر گرفته شد؛ پس از آن تصویر RGB742 و $HSI6_243$- که بهترین ترکیب کاذب رنگی منطقه در ارتباط با فرسایش بادی به روش گمانه‌زنی و تحلیل طیفی (خلیفه، ۱۳۸۵) است و تصاویر حاصل از طبقه‌بندی نظارت نشده، نظارت شده و مؤلفه اصلی دوم باندهای $b6_2$، b4 و b3 منطقه تهیه شد. سپس با تفسیر چشمی و رقومی و انطباق هر یک از تصاویر فوق بر نقشه پایه زمین‌شناسی، به تفکیک بیش‌تر واحدهای این نقشه اقدام گردید؛ در ادامه با توجه به‌نحوه امتیازدهی در جدول ایریفر و در نظرگرفتن مشاهدات میدانی، امتیاز هر واحد تعیین گردید و واحدهای مشابه ادغام شدند؛ در نهایت، با تبدیل نقشه یاد شده به نقشه رستری، لایه اطلاعاتی سنگ‌شناسی (شکل ۳) تولید شد.

شکل اراضی و پستی و بلندی: در تدارک نقشه عامل شکل اراضی و پستی و بلندی، ابتدا مدل ارتفاعی رقومی (DEM)[1] منطقه تهیه و نقشه‌های شیب و جهت شیب تولید گردید؛ با دسته‌بندی شیب به چهار گروه کم‌تر از ٪۱، ٪۱ تا ٪۵، ٪۵ تا ٪۱۵ و بیش از ٪۱۵، نقشه طبقات شیب به‌دست آمد. با بررسی شیب، جهت شیب، کریدورها (که با توجه به مدل ارتفاعی رقومی منطقه و جهت وزش باد تعیین می‌شوند) و سرعت و جهت باد، امتیازات لازم به طبقات ارتفاعی داده شد؛ جهت شیب و کریدورهای باد از این نظر حائز اهمیت هستند که وضعیت آن‌ها بر پارامترهایی نظیر جهت باد غالب، سرعت آستانه و متوسط باد، گل‌ماسه‌ها و ... تاثیرگذار است؛ در نهایت نقشه رستری امتیازات توزیع شده در منطقه تولید شد (شکل ۴).

[1] Digital Elevation Model



شکل ۳- امتیاز واحدهای هم‌گن سنگ‌شناسی شورجستان



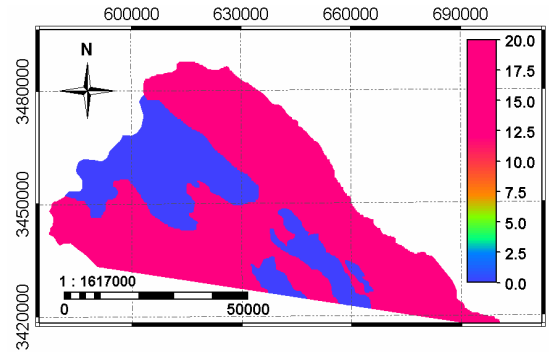
شکل ۴- امتیاز واحدهای هم‌گن شکل اراضی شورجستان

سرعت و وضعیت باد: تفاوت ارتفاعی و دمایی زیاد بین قلل دنا و دشت‌های مجاور، از جمله دشت شورجستان، سبب جریان یافتن بادی دائمی از جهت غرب و شمال غرب به سمت شرق و جنوب شرق شده است. ایستگاه سینوپتیک آباده، تنها ایستگاه واقع در منطقه و دارای آمار مناسب بوده که آمار ۲۰ ساله (منتهی به سال ۱۳۸۰) آن مورد استفاده قرار گرفته است. با انجام محاسبات آماری لازم و مقایسه وضعیت باد با جدول امتیازی مدل ایریفر، نقشه رستری امتیازی این عامل (شکل ۵) تولید گردید؛ در این نقشه، به‌غیر از نواحی کوهستانی، امتیازی یک‌سان و یک‌پارچه برای دشت اختصاص یافته و علت آن، قرار گرفتن ویژگی‌های محاسبه و ارزیابی شده باد در یک طبقه امتیازی جدول ایریفر است. اما همان‌گونه که در تهیه لایه شکل اراضی و پستی و بلندی توضیح داده شد و به‌منظور لحاظ بهتر وضعیت و کریدورهای باد، جهت‌های شیب در تخصیص امتیازات عامل پستی و بلندی مد نظر قرار گرفته‌اند.

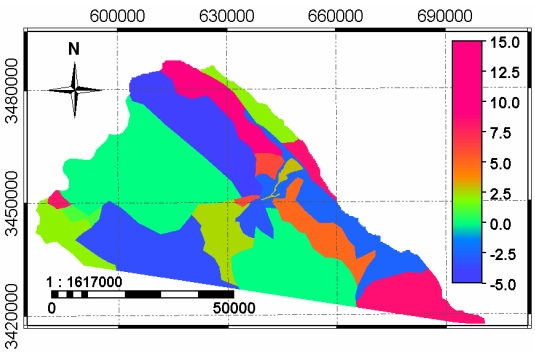
خاک و پوشش سطح آن: پاک‌پرور و همکاران (۱۳۸۳)، مدل زیر را برای تخمین درصد لای در این منطقه پیشنهاد نمودند.

$$Silt\ \% = 94.55 + 0.96 \times b2 - 1.104 \times b4 \qquad (۱)$$

که در آن، b2 و b4 باندهای دوم و چهارم سنجنده ETM^{+} ماهواره لندست می‌باشند. برای تهیه نقشه عامل خاک با تهیه تصویر طبقه‌بندی نظارت نشده تصاویر RGB742 و $HSI6_243$ و تصاویر حاصل از افزایش تباین و روشنایی آن‌ها، مدل تخمین درصد لای، مطالعات میدانی و کاربری اراضی، پهنه‌بندی مورد نظر انجام گرفت. برای حصول اطمینان بیش‌تر، نقشه مزبور با نقشه زمین‌شناسی نیز مقایسه گردید؛ در نهایت، ۱۸ واحد تعریف، امتیازات مربوط به هر واحد تعیین و لایه اطلاعاتی این عامل به‌صورت شکل ۶ تهیه شد.



شکل ۵- امتیاز واحدهای هم‌گن سرعت و وضعیت باد شورجستان



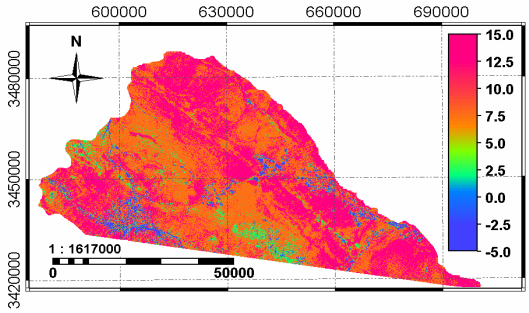
شکل ۶- امتیاز واحدهای هم‌گن خاک و پوشش در شورجستان

انبوهی پوشش گیاهی: برای تهیه نقشه پوشش گیاهی، از مدل ارائه شده توسط پاک‌پرور و همکاران (۱۳۸۳) به‌صورت رابطه (۲) استفاده شده است.

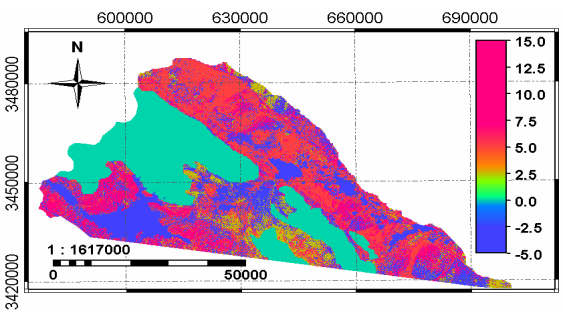
$$PlantCover = 10.26 - 2.19 \times b7 + 1.45 \times PC45 \qquad (۲)$$

که در آن، b7 باند هفت سنجنده ETM^+ ماهواره لندست و PC45 مؤلفه اصلی باندهای چهارم و پنجم این سنجنده است. با توجه به جدول امتیازی ایریفر، طبقات پوشش گیاهی مشخص، امتیازات لازم لحاظ و نقشه رستری تولید گردید. شکل ۷، نقشه عامل انبوهی پوشش گیاهی را نمایش می‌دهد.

آثار فرسایشی سطح خاک: برای تهیه این نقشه از نقشه طبقه‌بندی نهشته‌های بادی (پاک‌پرور و همکاران، ۱۳۸۳)، تصویر RGB742 و HSI_6^243 و تصاویر حاصل از افزایش تباین و روشنایی و طبقه‌بندی نظارت نشده آن‌ها و اطلاعات میدانی استفاده شده است. با اختصاص امتیازات لازم و رستری کردن نقشه امتیازی، لایه اطلاعاتی آثار فرسایشی سطح خاک (شکل ۸) تشکیل گردید.



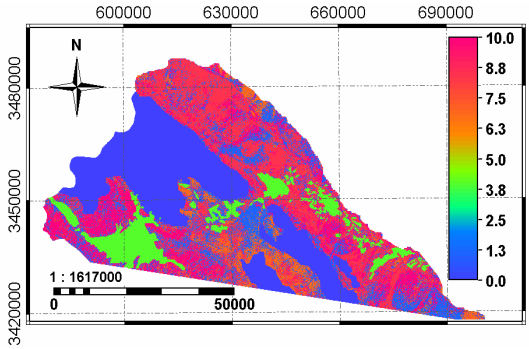
شکل ۷- امتیاز واحدهای هم‌گن پوشش گیاهی شورجستان



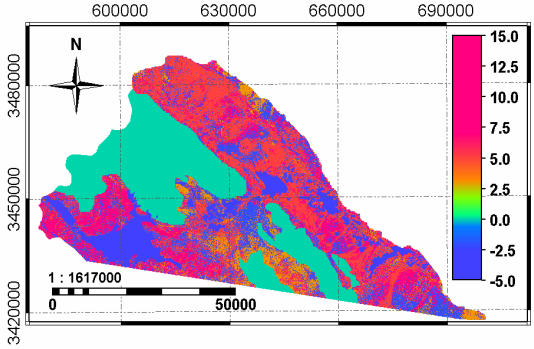
شکل ۸- امتیاز واحدهای هم‌گن آثار فرسایشی شورجستان

رطوبت خاک: وضعیت دشت شورجستان به‌گونه‌ای است که عمدتاً در ردیف سوم و به میزان کم‌تری، در ردیف چهارم جدول رطوبتی ایریفر قرار می‌گیرد؛ بنابراین ابتدا اراضی زراعی و مرتعی از یک‌دیگر و از سایر موارد متمایز گشت؛ سپس با ارزیابی و لحاظ مشاهدات میدانی و اطلاعات محلی، امتیازبندی نهایی انجام و نقشه رستری این عامل (شکل ۹) تولید شد (در این باره در قسمت نتایج و بحث مطالبی آورده شده است).

نوع و پراکنش نهشته‌های بادی: در تدارک و تولید لایه نوع و پراکنش نهشته‌های بادی، از نقشه‌های طبقه‌بندی نهشته‌های بادی و تفاوت لای (برگرفته از پژوهش پاک‌پرور و همکاران، ۱۳۸۳)، اطلاعات میدانی، تصویر RGB742 و HSI_6^243 و تصاویر حاصل از افزایش تباین و روشنایی آن‌ها استفاده گردید (شکل ۱۰).



شکل ۹- امتیاز واحدهای رطوبت خاک شورجستان



شکل ۱۰- امتیاز واحدهای هم‌گن نهشته‌های بادی شورجستان

مدیریت و استفاده از زمین: برای تهیه این نقشه، از نقشه طبقه‌بندی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و مشاهدات میدانی استفاده شده است. پس از تعیین امتیازات مربوط، نقشه امتیازی به نقشه رستری تبدیل گردید. شکل ۱۱ این نقشه را نمایش می‌دهد.

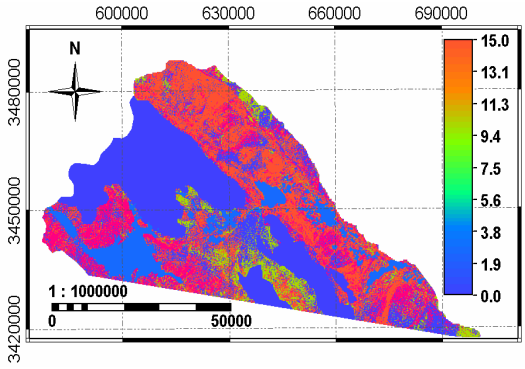
آزمون صحت‌سنجی: به‌منظور انجام آزمون صحت‌سنجی، ابتدا تعداد ۳۹ نقطه در منطقه انتخاب و با انجام عملیات میدانی و اقداماتی نظیر تجزیه آزمایشگاهی بافت خاک، اندازه‌گیری پوشش گیاهی و ... (پاک‌پرور و همکاران، ۱۳۸۳)،

امتیازات عوامل مؤثر فرسایش بادی در این نقاط برآورد گردید؛ پس از آن مجموع امتیازات عوامل مختلف محاسبه و طبقه فرسایشی خاک در هر نقطه تعیین شد؛ سپس آزمون صحت‌سنجی با تشکیل ماتریس خطا و تلاقی نقشه‌های برآورد نقطه‌ای و نقشه طبقه فرسایشی خاک صورت پذیرفت.

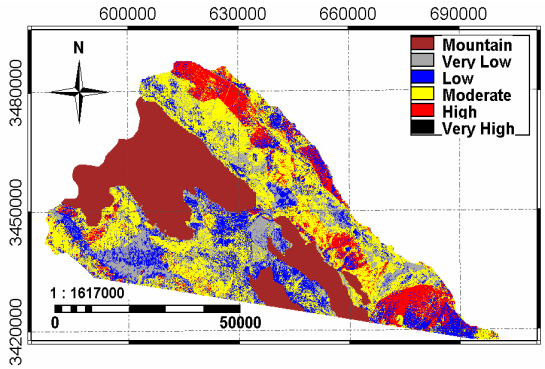
ب- روش‌های زمین‌آمار: در مجموعه عملیاتی دیگر و به‌منظور تولید نقشه امتیازی هر عامل، مقادیر برآورد نقطه‌ای حاصل از انجام عملیات میدانی و اندازه‌گیری‌های انجام شده، به‌کمک روش‌های زمین‌آماری Kriging و Moving average به سطح منطقه تعمیم داده شد؛ پس از آن با تبدیل نقشه حاصل به نقشه رستری امتیازی، لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز عوامل مختلف حاصل آمد؛ در نهایت با تلفیق لایه‌های مزبور در سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه طبقه فرسایشی خاک منطقه تولید گردید. اما به‌دلایلی از ارائه نقشه‌های عوامل و نیز طبقه فرسایشی خاک حاصل از این روش خودداری گردید که در قسمت نتایج و بحث بدان پرداخته خواهد شد.

نتایج و بحث

در شکل ۱۲ نقشه طبقه فرسایشی خاک منطقه ارائه شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، پنج طبقه فرسایشی خاک به‌همراه طبقه کوهستان در منطقه پهنه‌بندی شده است. همچنین جدول ۳، ماتریس خطای مدل‌سازی انجام شده در سامانه اطلاعات جغرافیایی و نقاط برآورد میدانی را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۱- امتیاز واحدهای هم‌گن استفاده زمین در شورجستان



شکل ۱۲- نقشه طبقه فرسایشی خاک دشت شورجستان

در جدول ۳، خطای کلی بین دو روش مورد استفاده ٪۲۰/۵ به‌دست آمده که عمده آن مربوط به طبقه‌های فرسایشی ناچیز و کم است؛ دو علت را برای این خطا می‌توان برشمرد. علت اول توصیفی بودن مدل ایریفر و سهم قابل توجه قضاوت کارشناسی در اختصاص امتیازات مربوط می باشد که ممکن است دو مفسر برای یک عـامل دو امتیاز متفاوت پیشـنهاد کنند.

این عدم قضاوت یکسـان در این تحقیق نیز وجود دارد؛ بدین ترتیب که پاک‌پرور و همکاران (۱۳۸۳) برای تأکید بر بعضی عوامل، امتیازی بیش‌تر یا کم‌تر از حد تعیین شده در مدل اریفر لحاظ کرده‌اند، ولی در این تحقیق حدود مدل ایریفر رعایت شده است. این مسئله اختلافی در مجموع امتیازات نقاط صحت‌سنجی بوجود می‌آورد؛ علت دوم، زیاد بودن فاصله امتیازی در برخی طبقات امتیازی است؛ به‌گونه‌ای که به‌عنوان مثال، فاصله پنج امتیازی در تعیین امتیاز یک عامل در حالی که دامنه امتیازی آن پانزده می‌باشد، زیاد به‌نظر می‌رسد؛ بنابراین خطای به‌وجود آمده، ناشی از مدل‌سازی در سامانه اطلاعات جغرافیایی نبوده و ناشی از مدل ایریفر می‌باشد. بدیهی است برای حصول اطمینان کافی، باید نتایج تحقیق با داده‌های تله رسوب مقایسه شود. از آنجا که داده‌های مناسب در اختیار نبود و با تمامی تلاش انجام شده موردی به‌دست نیامد، مقایسه نتایج به‌ترتیب یاد شده صورت پذیرفت.

جدول ۳- ماتریس خطای طبقه فرسایشی خاک حاصل از کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی و نقاط برآورد میدانی

	طبقه فرسایشی خاک حاصل از مدل‌سازی انجام شده						خطا
	طبقه	ناچیز	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	(٪)
طبقه فرسایشی خاک حاصل از برآورد نقطه‌ای	ناچیز	۱۰	۵	۰	۰	۰	۶۷
	کم	۱	۸	۱	۰	۰	۸۰
	متوسط	۰	۰	۱۰	۱	۰	۹۱
	زیاد	۰	۰	۰	۳	۰	۱۰۰
	خیلی زیاد	۰	۰	۰	۰	۰	-
خطا (٪)		۹۱	۶۲	۹۱	۷۵	-	۷۹/۵

آزمون صحت‌سنجی، خطای قابل توجهی در میان‌یابی انجام شده با استفاده از روش‌های زمین‌آماری و تعمیم مقادیر برآورد نقطه‌ای هر یک از عوامل در عملیات میدانی به سطح منطقه را آشکار می‌سازد؛ به‌عنوان مثال، در خصوص عامل سـنگ‌شناسی، درصد خطای محاسبه شده به‌روش Kriging، برابر ٪۶۱ و Moving average برابر ٪۵۹ محاسبه گردید. لذا نقشه‌های تهیه شده برای اجرای مدل اریفر به‌کار گرفته نشد. در این‌باره به دو نکته اشاره می‌شود: نکته اول این‌که امتیازات تعلق گرفته در واقع نوعی قضاوت است نه رابطه‌ای مکانی بین موقعیت نقطه و امتیاز اختصاص یافته؛ به‌بیان دیگر، نرخ رشدی برای محاسبات میان‌یابی وجود ندارد؛ نکته دوم اینکه تعیین مکان نقاط برداشت زمینی و چگونگی انجام عملیات برداشت اطلاعات در تحقیق انجام شده توسط پاک‌پرور و همکاران (۱۳۸۳)، در راستای استفاده از روش‌های زمین‌آمار نبوده است؛ لذا عملیات یاد شده نامناسب ارزیابی گردید. به‌همین دلیل از ارائه نقشه‌های مربوط به عوامل مختلف و نیز طبقه فرسایشی خاک حاصل از این روش خودداری شد.

به‌طورکلی در اجرای مدل ایریفر به‌روش معمول، واحدهای همگن کاری در ابتدای مطالعات مشخص شده و امتیازات هر عامل به این واحدها اختصاص می‌یابد. این شیوه تعیین واحدهای کاری، سبب بروز مشکلات اساسی در ارزیابی خواهد شد. بدین ترتیب اگر تعداد واحدهای کاری اندک باشد، تغییرات به‌خوبی دیده نخواهند شد و در صورتی که تعداد واحدهای کاری زیاد باشد، اختصاص امتیازات عوامل در واحدهای متعددی صورت می‌پذیرد. این مسئله، بر حجم عملیات میدانی و دشواری‌های تهیه نقشه‌های مورد نیاز و محاسبات به‌شدت خواهد افزود؛ به‌عنوان مثال، طهماسبی‌بیرگانی (۱۳۸۰) در تحقیقی که به‌منظور مقایسه قابلیت رسوب‌دهی فرسایش‌های آبی و بادی در حوضه آب‌بخشاء انجام داد، ۱۳۹ واحد همگن کاری را در نظر گرفت (شکل ۱۳). بدیهی است هماهنگ نمودن نقشه‌های مختلف و نیز تخصیص امتیازات مناسب برای ۹ عامل در این تعداد واحد کاری، وقت‌گیر و در معرض خطای انطباق نقشه‌ها خواهـد بود. در حالی که در تحقیق حاضر، واحدهای کاری فقط برای دو عـامل سنگ‌شناسی و خاک و پوشش سطح آن تعریف شده که به‌ترتیب ۲۹ و ۱۸ واحد می‌باشند. البته این نکته را نیز باید اضافه نمود که برای برخی از عوامل، مانند شیب و پوشش گیاهی اساساً نیازی به تعریف واحدهای کاری نیست. بدین ترتیب، قضاوت اولیه درباره واحدهای هم‌گن حذف شده و آثار ناشی از آن از بین می‌رود؛ این مهم باعث ایجاد دقتی به‌مراتب بالاتر در برآورد نهایی فرسایش و شناخت مناطق واجد مقادیر بحرانی می‌گردد.

طهماسبی‌بیرگانی (۱۳۸۰) برای تهیه نقشه واحدهای هم‌گن، از نقشه رخساره‌های ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و ساختار سنگ‌شناسی، مورفولوژی (کوهستان، دشت‌سرها و پلایا) و شیب استفاده کرد و پس از تعیین امتیازات هر عامل، میانگین وزنی امتیازات واحدهای هم‌گن به حوضه تعمیم داده شد. در این خصوص لازم است به چند نکته اشاره شود:

۱. در تعیین واحدهای هم‌گن کاری، به عوامل سرعت و وضعیت باد، خاک و پوشش سطح آن، پوشش گیاهی، رطوبت، و مدیریت و استفاده از زمین توجهی نشده است؛ در حقیقت پنج عامل از عوامل نه‌گانه در تعیین واحدهای همگن کاری نقشی نداشته‌اند.

۲. محاسبه میانگین امتیاز یک عامل، توزیع امتیازی عامل مزبور را هم‌گن نموده و تغییرات مکانی امتیازات را از بین خواهد برد؛ بدین ترتیب هر واحد هم‌گن کاری فقط در یک طبقه فرسایشی قرار می‌گیرد؛ درحالی که ممکن است جمع‌بندی تغییرات، منجر به تغییر طبقه فرسایشی بخشی از واحد کاری گردد. راه حل اولیه‌ای که در این باره به‌نظر می‌رسد، افزایش تعداد واحدها است؛ اما همان‌گونه که پیش‌تر بدان اشاره شد، در تعیین این واحدها، بیش از نیمی از عوامل نقش قابل ذکری ایفا ننموده‌اند.

بحث دیگری که می‌توان مطرح نمود در مورد تخصیص امتیاز مربوط به برخی عوامل مانند رطوبت و باد است. اگرچه تعیین رفتار رطوبتی به معنای واقعی امری پیچیده و مشکل است ولی مدل‌هایی مانند ایریفر بر پایه قضاوت کارشناسی استوار است. از این‌رو در این گونه موارد، هدف، تعیین ردیف امتیازی عامل مورد نظر در جدول امتیازات می‌باشد؛ این مهم در خصوص با عامل سرعت و وضعیت باد نیز به‌چشم می‌خورد. در حالی که باد به‌عنوان عامل اصلی فرسایش تلقی و در مدل‌های ریاضی توجه خاصی بدان معطوف می‌شود، در مدل ایریفر جایگاهی مشابه ندارد؛ به‌گونه‌ای که ۲۰ امتیاز از ۱۴۵ امتیاز ممکن، یعنی ٪۱۳/۸ مجموع را شامل می‌شود. در مقابل، جداول مربوط به عوامل اشکال فرسایشی سطح خاک و وضعیت فعلی فرسایش، که مفهوم و نقشی مشابه داشته و ایفا می‌نمایند، ۳۵ امتیاز (٪۲۴/۱۴ مجموع) را به خود اختصاص می‌دهند؛ از این رو همواره تردیدی خاص در برآورد امتیازی عوامل یاد شده وجود خواهد داشت.

گرچه شیوه به‌کار گرفته شده در این پژوهش مبنی بر طرح‌ریزی و اجرای مدل ایریفر در سامانه اطلاعات جغرافیایی، با مطالعات انجام شده توسط پاک‌پرور (۱۳۸۲) یک‌سان است، ولی تفاوت قابل توجهی بین این دو وجود دارد. در تحقیق پیشین (پاک‌پرور)، از سنجش از دور در حد تفسیر چشمی تصاویر ماهواره استفاده شده، در حالی‌که در این پژوهش، شیوه‌های نوین و متنوع سنجش از دور به‌صورت مدون و مؤثری به‌کار گرفته شده است. همچنین در پژوهش حاضر، در مقایسه با مطالعات مزبور، تهیه و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به‌صورت هدف‌مند و در راستای استفاده هر چه بیش‌تر از توانمندی‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی بوده است.

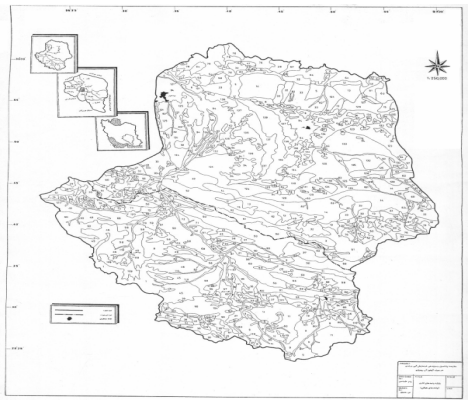
تلفیق نقشه‌های مجزای واحدهای کاری عوامل مختلف، باعث به‌وجود آمدن پهنه‌های دارای اشتراک کوچک‌تر در اطراف واحدهای تعیین شده در هر عامل می‌گردد که تصحیح این پهنه‌ها با روش معمول، بسیار مشکل و وقت‌گیر است. سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌راحتی این پهنه ها را تشخیص داده و اثر آن‌ها را در مجموع امتیازات و طبقه‌بندی نهایی به‌خوبی لحاظ می‌کند. همچنین اگر بنا به دلایلی در واحدهای همگن یک عامل بازنگری گردد، بر نقشه عوامل دیگر تأثیری نخواهد داشت. در حالی که در روش‌های قبلی، این کار مستلزم اصلاح واحدهای کاری کلیه عوامل است.

از مزیت‌های مهم دیگر این روش، امکان انجام آن در دوره‌های زمانی خاص و انتخابی است. تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان اطلاعات و آماری ثبت شده از منطقه مورد مطالعه تلقی نمود. آمار بادسنجی نیز در مجموعه‌های آماری مناطق مختلف قابل دست‌رسی است. نقشه‌هایی، نظیر زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، ژئومورفولوژی و ... نیز برای یک دوره چند ساله تهیه می‌شوند؛ بنابراین با تهیه تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌ها و آمار بادسنجی مربوط به دوره زمانی مورد نظر و استفاده از روش به‌کار گرفته شده در این تحقیق، می‌توان ارزیابی مرتبط با دوره زمانی خاص را در دستور کار قرار داد.

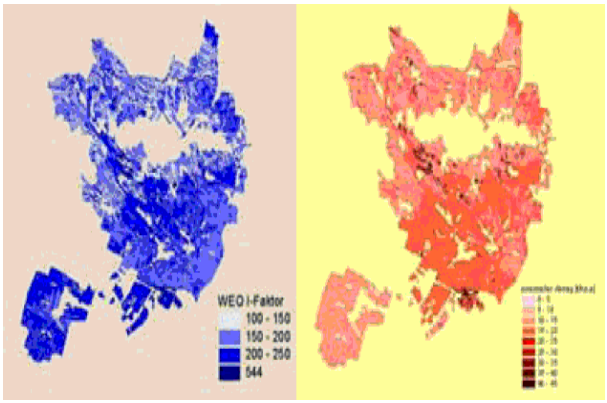
در پایان به تحقیق انجام شده توسط Klik (۲۰۰۲) که با استفاده از WEQ و سامانه اطلاعات جغرافیایی به ارزیابی کمی فرسایش بادی در منطقه کشاورزی مارشفلد اتریش پرداخته است، اشاره می‌شود. در مطالعه مزبور، ابتدا هر یک از پارامترهای معادله WEQ به‌طور جداگانه در منطقه پهنه‌بندی شده است؛ پس از آن با تلفیق لایه‌های تولید شده، فرسایش بادی در هر واحد هم‌گن کاری در منطقه محاسبه گردیده؛ از این نظر، روش مورد تأکید در پژوهش حاضر و روش تحقیق یاد شده یک‌سان‌اند؛ به‌عنوان مثال و برای مقایسه بهتر، به‌شیوه تدارک لایه اطلاعاتی دو عامل اشاره می‌شود.

شاخص فرسایش‌پذیری خاک با پردازش تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات زمینی و با توجه به جدول طبقه‌بندی بافتی خاک، برآورد و لایه اطلاعاتی مربوط به‌صورت شکل ۱۴ تشکیل شده است. این شیوه، مشابه روش تحقیق حاضر برای تهیه نقشه خاک و پوشش سطح آن است. همچنین برای تعیین شاخص طول مؤثر فرسایش، منطقه در جهت باد

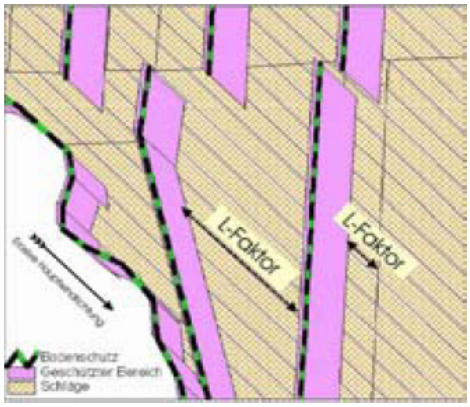
فرساینده به قطعات نواری با عرض ۳۰ متر تقسیم‌بندی (شکل ۱۵) و با توجه به طول نوارها و موانع و بادشکن‌های موجود، شاخص طول مؤثر فرسایش برای هر قطعه محاسبه می‌شود؛ پس از تشکیل لایه‌های اطلاعاتی مربوط به همه پارامترها و برقراری ارتباط مناسب بین WEQ و GIS، فرسایش بادی در قطعات مختلف اندازه‌گیری شده است (شکل ۱۶). این روش از مزیت‌های آن نسبت به تحقیق حاضر بوده و می‌تواند در تحقیقات آینده برای توسعه مدل ایریفر به‌کار گرفته شود.



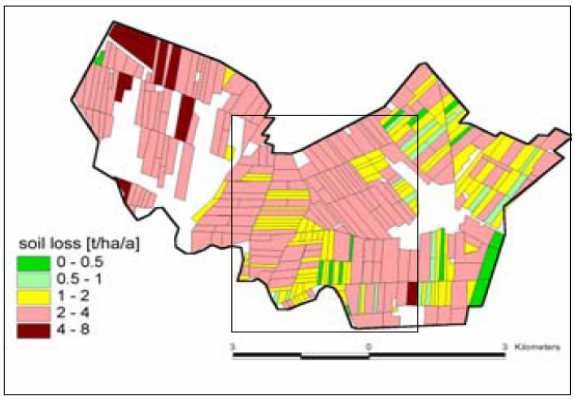
شکل ۱۳- نقشه واحدهای هم‌گن کاری حوضه آب‌بخشاء



شکل ۱۴- نقشه شاخص فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از تصاویر



شکل ۱۵- قطعه‌بندی نواری برای محاسبه طول فرسایش



شکل ۱۶- نقشه قابلیت فرسایشی منطقه مارشفلد

به‌طور کلی مدل‌های فرسایش بادی را می‌توان مدل‌های توزیع مکانی در نظر گرفت که با تقسیم منطقه به نواحی کوچک هم‌گن، مقدار فرسایش را برآورد می‌کنند؛ بنابراین این مدل‌ها را می‌توان در قالب سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌کار گرفت. با این کار نقشه‌ها به‌جای پارامترها در معادلات قرار گرفته و خروجی، نقشه‌ای است که مقدار فرسایش را در نواحی کوچک هم‌گن نشان می‌دهد. در واقع تلفیقی از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، محیطی مناسب برای طرح‌ریزی و اجرای یک مدل گسترده مکانی فرسایش بادی است.

لایه‌های اطلاعاتی برخی عوامل مؤثر در فرسایش بادی، با استفاده از روش‌ها و مدل‌های پردازشی موجود و شناخته شده در سنجش از دور، قابل دست‌یابی و تولید بوده و به‌راحتی به نقشه‌های امتیازی تبدیل می‌شوند. بنابراین نیازی به تعیین واحدهای کاری و نقشه مربوط به آن برای این عوامل نیست. تلفیق نقشه‌های واحدهای هم‌گن کاری متفاوت در عوامل نه‌گانه، باعث به‌وجود آمدن پهنه‌های دارای اشتراک کوچک‌تر در اطراف واحدهای تعیین شده در هر عامل می‌گردد که تصحیح این پهنه‌ها با روش معمول بسیار مشکل و وقت‌گیر است؛ اما سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌راحتی این پهنه‌ها را تشخیص داده و اثر آن‌ها را در مجموع امتیازات و طبقه‌بندی نهایی لحاظ می‌کند.

قدردانی

با سپاس فراوان از مهندس بهرام صفایی، علی‌محمد طهماسبی‌بیرگانی، فرهاد سرداری، علی پویافر، حسین آقامحمدی و سیما عبادیان.

منابع مورد استفاده

۱. اختصاصی، م.ر. و ح. احمدی. ۱۳۷۶. بررسی کیفی و کمی فرسایش بادی و برآورد میزان رسوب، مطالعه موردی: دشت یزد- اردکان. مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۰، شماره ۲، صفحه ۱۴-۵.

۲. اشتری‌مهرجردی، ع. ۱۳۸۰. منشاءیابی شن‌های روان منطقه اردستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸ صفحه.

۳. پاک‌پرور، م. ۱۳۸۲. چهره فرسایش آبی و راهبردهای مقابله با آن در دشت برخوار اصفهان. طرح مطالعات تفصیلی اجرایی سامان‌دهی دشت‌ها، دفتر بررسی‌های اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی، ۲۰۰ صفحه.

۴. پاک‌پرور، م.، م. طیبی‌خرمی و ن. میرزامصطفی. ۱۳۸۳. بررسی امکان پهنه‌بندی شدت فرسایش بادی با پردازش رقومی داده‌های ماهواره‌ای جهت روندیابی تخریب اراضی در دشت شورجستان آباده. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، ۵۸ صفحه.

۵. خلیفه، ا. ۱۳۸۵. کاربرد سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در بررسی فرسایش بادی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۲۱۷ صفحه.

۶. خلیفه، ا.، م.ر. کاویان‌پور، م. پاک‌پرور و س. وفایی. ۱۳۸۶ الف. روش پردازش تصاویر و تحلیل باد در شناسایی منابع ماسه تپه‌های ماسه‌ای (منطقه مطالعاتی اردستان). فصل‌نامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۴، شماره ۲، صفحه ۲۲۱-۲۰۴.

۷. خلیفه، ا.، م. پاک‌پرور و م.ر. کاویان‌پور. ۱۳۸۶ ب. کاربرد تکنیک‌های فیلتر و نسبت‌گیری طیفی در شناسایی و تفکیک تپه‌های ماسه‌ای قدیمی (غیر فعال) و جدید (فعال) در منطقه طبس. فصل‌نامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۴، شماره ۳، صفحه ۴۲۰-۴۰۳.

۸. طهماسبی‌بیرگانی، ع.م. ۱۳۷۹. مقایسه پتانسیل رسوب‌دهی فرسایش‌های آبی و بادی با استفاده از مدل‌های MPSIAC و IRIFR در حوزه آبخیز آب‌بخشاء. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۲۴۲ صفحه.

۹. علوی‌پناه، ک.، ح. متین‌فر و ف. سرمدیان. ۱۳۸۳. ارزیابی کاربری داده‌های ماهواره‌ای از نظر صرفه‌جویی وقت. کنفرانس ملی بهره‌وری فرهنگستان علوم ایران، ۴۳۹-۴۲۵.

10. Grob, J., W. Schafer, J. Sbresny and A. Thiermann. 2000. Modeling Wind-Erosion Susceptibility / Risk. Section 3.2 in: A. Warren (ed), Final report of a Joint Project: Wind Erosion on European Light Soils. Web published in: http://www.geog.ucl.ac.uk/weels /final_report.
11. Klik, A. 2002. Wind erosion assessment in Austria using wind erosion equation and GIS. Boku-University of Natural Resources and Applied Life Science Vienna. 12 Pages.
12. Pulugurtha S.S. and D. James. 2002. A GIS-Based Methodology to Estimate Annual Valley-wide PM-10 Emissions for Clark County, Nevada. 11th International Emission Inventory Conference "Emission Inventories - Partnering for the Future," Atlanta, GA.
13. Warner A. 2000. Final Report to the European Union Commission of a Joint Project between University College London, England؛ Institute of Soil Technology Germany؛ Wageningen University, Netherlands؛ Lund University Sweden: WIND EROSION ON EUROPEAN LIGHT SOILS. Web published in: http://www.geog.ucl.ac.uk/weels /final_report.
14. Yubao L. and E.L. Skidmore. 2002. Regional Evaluation of Wind Erosion from Loess Lands: A Case Study of Pengyang County, Ningxia, China. In: Lee, J.A. and T.M. Zobeck, 2002, Proceedings of ICAR5/GCTE-SEN Joint Conference, International Center for Arid and Semiarid Lands Studies, Texas Tech University, Lubbock, Texas, USA Publication 02-2 p. 325.
15. Yuliang, Q. and Q. Yun. 2002. Fast soil erosion investigation and dynamic analysis in the loess platua of China by using information composite technique. J. Adv. Space. Re. 29:85-88.
16. Zobeck, T.M., N.C. Parker, S. Haskell and K. Guoding. 2000. Scaling up from field to region for wind erosion prediction using a field-scale wind erosion model and GIS. Agriculture, Ecosystems and Environment, 82(1-3):247-259.

Application of geographical information systems and remote sensing in qualitative and quantitative assessment of wind erosion, Case study: Shoorjestan plain

Ebrahim Khalife[1], PhD Student, Khajeh Nasireddin Toosi University of Technology, Iran
Mohammad Reza Kavianpour, Associate Professor, Khajeh Nasireddin Toosi University of Technology, Iran
Mojtaba Pakparvar, Scientific Board, Agricultural and Natural Resources Research Center, Fars, Iran
Aminollah Mottaghi, MSc Student, Khajeh Nasireddin Toosi University of Technology, Iran

Received: 07 August 2009 **Accepted**: 19 January 2010

Abstract

In view of the fact that extensive areas of 'Iran' are located in arid and semi arid regions, considerable damages on natural and economic resources by wind erosion and sand storms are expected annually. Lack of proper input data for physical and quantitative models and difficulties of access to these data can limit the models application. In these conditions it is necessary to devise an informative-computational model based on geographical information systems and use remote sensing to prepare as much as possible layers of parameters, accurately. Therefore, in this research a qualitative model for wind erosion assessment (IRIFR) has been embedded in geographical information system together with remote sensing to prepare layers of information and parameters. The major targets of this research are to get benefits of earlier approaches in relevant researches and compile relevant techniques and methods in GIS and RS to study wind erosion. The most important achievements of this research are; i) providing layers of information by remote sensing, ii) omitting primary common map of study units, iii) determining and defining separated maps of study units which are needed for a few parameters, iv) omitting the map of other parameters, and v) reducing uncertainties arising from experts judgment. Furthermore, the model could be repeated for any time duration. Consequently, investigations would be organized much better, more accurate and faster.

Key words: Arid, IRIFR, Qualitative model, Semi-arid, Study unit

[1] ebrahimkhalife@gmail.com