



* مهدی تفتی^۱
ابوالفضل رحمانی^۲

تخمین برآورد تغییرات پهنه‌های فرسایش بادی با استفاده از مدل IRIFR و مدل استخراج کاربری اراضی و پوشش زمین از تصاویر ماهواره ای (مطالعه موردی: دهستان ماژان، خراسان جنوبی)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۶

چکیده

حدود ۲۴ درصد از اراضی قابل سکونت زمین تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی است که کاهش حاصل‌خیزی خاک را به دنبال دارند. یکی از مهم‌ترین اثرات فرسایش بادی، از بین رفتن تنوعات زیستی و از بین رفتن ظرفیت تولید زمین تحت عنوان بیابان‌زایی است. بیابان‌زایی به‌طور دائم و البته نه انحصاری در مناطق خشک اتفاق می‌افتد. دهستان ماژان شهرستان بیرجند با کاربری کشاورزی و دامداری از جمله مناطق تحت تأثیر فعالیت شدید فرسایش بادی در استان خراسان جنوبی است. متوسط بارندگی سالانه در این دهستان طی یک دوره ۲۰ ساله برابر با ۱۵۴ میلی‌متر بوده و به‌طور کلی اقلیم آن از نوع خشک و بیابانی است. هدف از این مطالعه، تخمین نرخ تغییرات پهنه‌های فرسایش بادی طی دوره زمانی مشخص با استفاده از تصاویر ماهواره لندست است. برای مطالعات فرسایش باد از مدل‌های فرسایش با اهداف مختلف شامل: تخمین متوالی فرسایش و طراحی ابزارهای کنترل فرسایش، استفاده شده است. موضوع مهم در مدل‌سازی فرسایش باد، ارائه تعریفی واضح جهت تشخیص موضوع و نیز بررسی داده‌های موردنیاز و موجود برای اجرای مدل است. در این مقاله اطلاعات حاصل از دو مدل شامل: مدل پهنه‌بندی فرسایش باد و IRIFR و مدل استخراج طبقات کاربری اراضی و پوشش زمین از تصاویر ماهواره‌ای، تلفیق شده است. در نهایت به

E-mail: Saghafi_mahdi@yahoo.com

* ۱- گروه ژئومورفولوژی گروه جغرافیای دانشگاه پیام نور، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

E-mail: rahmani.su@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار ایران.

کمک روش آماری چند متغیره، تغییرات زمانی و مکانی پهنه‌های فرسایش باد مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشانگر وقوع بیش‌ترین نرخ تغییرات در پهنه‌های فرسایش بادی با شدت متوسط بر روی لند فرم‌های مخروط‌افکنه است. همچنین اولین مؤلفه اصلی که در بردارنده ۹۸/۸۹ درصد تغییرات پهنه‌های فرسایش بادی است، بهترین نماینده وضعیت تغییرات در پهنه‌های فرسایش بادی طی دوره مورد بررسی است.

کلید واژه‌ها: نرخ تغییرات، پهنه‌های فرسایش بادی، مدل IRIFR، کاربری اراضی و پوشش زمین، تصاویر ماهواره لندست، دهستان مازان.

مقدمه

سازمان ملل متحد، اصطلاح بیابان‌زایی را به‌صورت کاهش حاصل‌خیزی خاک در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک مجاور مناطق مرطوب در نتیجه عوامل مختلف از قبیل نوسانات آب‌وهوایی و فعالیت‌های انسانی تعریف کرده است (بولگوبرا^۳ و همکاران، ۲۰۱۴: ۳). بیابان‌زایی به‌طور دائم و البته نه انحصاری در مناطق خشک اتفاق می‌افتد (اسواران^۴ و همکاران، ۲۰۰۱: ۳۸۵). یکی از مهم‌ترین اثرات بیابان‌زایی از بین رفتن تنوعات زیستی و از بین رفتن ظرفیت تولید زمین است. فرسایش و کاهش حاصل‌خیزی خاک از جمله پیامدهای جهانی است و حدود ۲۴ درصد از اراضی قابل سکونت زمین تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی است که کاهش حاصل‌خیزی خاک را به دنبال دارند (اولدمن^۵، ۱۹۹۴؛ اولدمن و همکاران، ۱۹۹۱؛ توماس^۶، ۱۹۹۵). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، فرآیندهای مختلف فرسایش بادی که به کاهش حاصل‌خیزی خاک منجر می‌شوند، نقش مهمی را ایفا می‌نمایند. در این مناطق، شرایط خشکی حاکم بر محیط، خصوصیات خاک و پوشش گیاهی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر فرایند فرسایش بادی خاک می‌باشند. بر اساس تحقیقات انجام شده گرد و غبارهای ریز آتمسفری حاصل از فرسایش باد اثرات سوء مختلفی را بر سلامتی جوامع انسانی دارند (گریفین^۷ و همکاران، ۲۰۰۱؛ اسمیت و لی^۸، ۲۰۰۳). علاوه بر آن نقش گرد و غبارهای آتمسفری بر روی تغییرات اقلیمی قابل تخمین نیست. این واقعیت، امروزه موضوع بسیاری از تحقیقات و مطالعات موجود را به خود اختصاص داده است.

مطالعات فرسایش باد با استفاده از مدل‌های فرسایش برای اهداف مختلفی از قبیل تخمین متوالی فرسایش باد و طراحی ابزارهای کنترل فرسایش باد انجام می‌شود، از این‌رو با توجه به گستردگی استفاده از این مدل‌ها افزایش

3- Boulghobra

4- Eswaran

5- Oldeman

6- Thomas

7- Griffin

8- Smith and Lee

روایی و اعتبار آن‌ها جهت تخمین میزان فرسایش امری ضروری است (لاورنس جی هاگان^۹، ۲۰۰۴: ۲۱۶). از این رو هدف از این مطالعه، بررسی نرخ تغییرات پهنه‌های فرسایش بادی طی دوره زمانی مشخص مبتنی بر استخراج اطلاعات کاربری اراضی و پوشش زمین از داده‌های ماهواره‌ای است. برای این منظور با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره لندست که دارای تناوب زمانی بوده و قابلیت استخراج اطلاعات کاربری و پوشش سطح زمین را دارند، نرخ تغییرات در پهنه‌های فرسایش بادی حاصل از مدل IRIFR^{۱۰} محاسبه شده است.

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی ۵۸ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی در استان خراسان جنوبی و جنوب شهر بیرجند قرار دارد که تحت عنوان دهستان ماژان نامیده می‌شود. این دهستان ۷۵۸/۱ کیلومترمربع وسعت دارد و غالب روستاها و آبادی‌های دشت ماژان را در جنوب شرقی شهر خوسف در خود جای داده است (شکل ۱). از لحاظ تقسیمات سیاسی دهستان ماژان از شمال به دهستان براکوه، از جنوب به دهستان قلعه زری، از شرق به دهستان نهارجان و از غرب به شهر خوسف محدود شده است. این دهستان دارای ۸۱ پارچه آبادی بوده که ۲۵ آبادی آن خالی از سکنه و ۵۶ آبادی آن دارای سکنه است، از این تعداد نیز ۶۷ آبادی آن دارای جمعیتی کم‌تر از ۲۰ خانوار می‌باشد (بهدانی، ۱۳۸۹: ۶۶). جمعیت کل ساکن در این دهستان بر اساس سرشماری سال ۱۳۸۵ برابر ۴۴۲۷ نفر است (بهدانی، ۱۳۸۹: ۶۷).

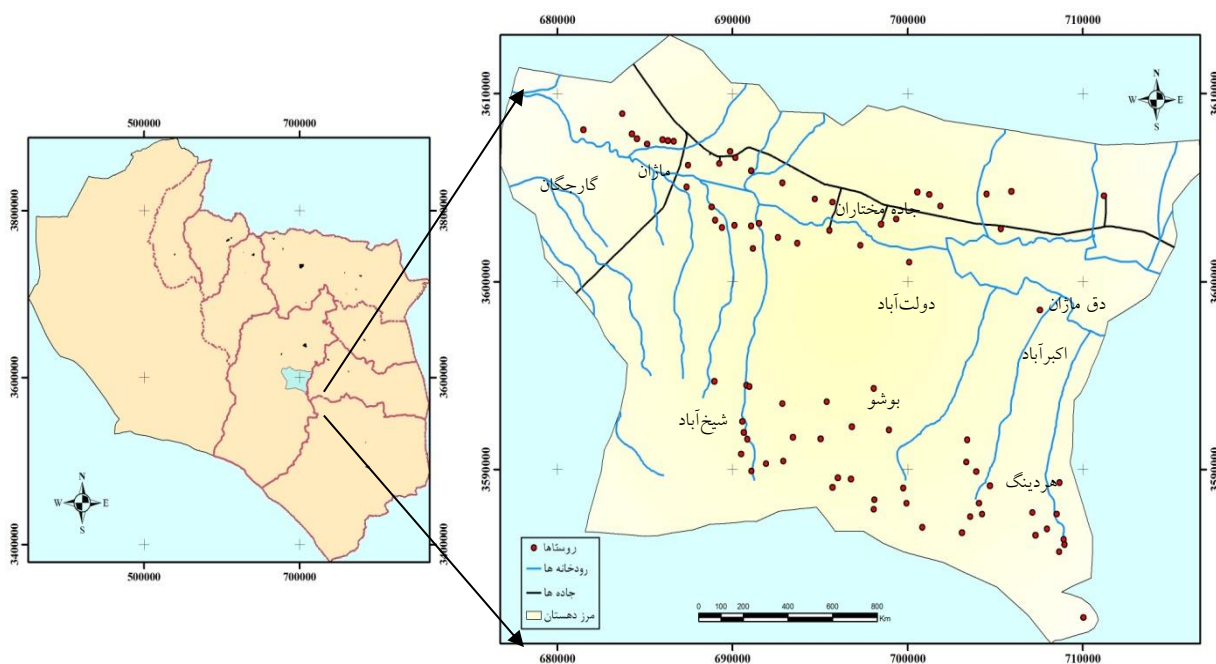
از نظر ناهمواری منطقه مورد مطالعه در چهار واحد ناهمواری شامل: دشت در مرکز (دق مرکزی)، دشت سر در محدوده دامنه رشته‌کوه‌های جنوب، تپه‌ماهور و واحد کوهستان به صورت رشته‌کوه‌هایی با امتداد شمال غرب به جنوب شرق، قابل پهنه‌بندی است. بخش مرتفع و کوهستانی دهستان ماژان عمدتاً در جنوب این دهستان واقع شده که وجود قلال مرتفع و نوک تیز از ویژگی‌های عمده آن‌ها محسوب شده و به لحاظ لیتولوژیکی عمدتاً به صورت برون‌زدهای سنگی با رخنمون‌های متفاوت مشاهده می‌شوند. بخش اعظم این دهستان را واحد تپه‌ماهور تشکیل داده در این واحد انواع سنگ‌های آذرین شامل: افیولیت‌ها و سنگ‌های بازیک و اولترابازیک، انواع فیلیت، واحدهای ماسه سنگی، شیلی و مارنی، رسوبات کنگلومرایی و مارنی نئوژن و انواع توف‌ها و نهشته‌های آبرفتی مشاهده می‌شود. واحد دشت سر نیز در دهستان ماژان دارای گسترش وسیعی است به طوری که حدود ۴۴ درصد از کل مساحت آن را تشکیل می‌دهد (تقفی، ۱۳۹۰: ۵۵). در این واحد سه تپه ژئومورفولوژیکی عمده شامل: دشت سر فرسایشی، اپانداژ و پوشیده قابل تشخیص است (تقفی، ۱۳۹۰: ۵۰).

آب‌وهوای منطقه از نوع خشک و بیابانی است، اما با توجه به موقعیت قرارگیری مناطق پست و مرتفع در محدوده مورد مطالعه می‌توان دو گروه اقلیمی متمایز در آن تشخیص داد که عبارت‌اند از: اقلیم خشک و گرم در مناطق دشت و اقلیم خشک و ملایم در مناطق مرتفع. به دلیل نزدیکی این منطقه به مناطق کویری تفاوت دمای شب و روز و نیز

9- Lawrence J. Hagen

10- Iranian Research Institute of Forest and Rangeland

اختلاف دمای تابستان و زمستان در آن زیاد است. متوسط بارندگی سالانه در این دهستان طبق آمار ایستگاه باران سنجی ماژان در طی یک دوره ۲۰ ساله برابر با ۱۵۴ میلی‌متر است. پرباران‌ترین ماه سال دی‌ماه به میزان ۶۰ میلی‌متر بوده است. متوسط حداکثر دما در طول سال مربوط به تیرماه با ۳۵ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین آن مربوط به بهمن‌ماه با ۶- درجه سانتی‌گراد است (ثقفی، ۱۳۹۰: ۳۲).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی دهستان ماژان در تقسیمات سیاسی استان خراسان جنوبی و شهرستان بیرجند (مأخذ: تقسیمات سیاسی استان خراسان جنوبی، ۱۳۹۲)

مواد و روش‌ها

روش مورد استفاده جهت انجام این مطالعه در واقع شامل: تلفیق نتایج یک مدل تجربی جهت پهنه‌بندی فرسایش باد با نتایج حاصل از مدل استخراج و طبقه‌بندی کاربری و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در چند دوره زمانی است. مدل طراحی شده در این بررسی که در مدل فرآیندی (شکل ۲) مراحل کامل آن نشان داده شده است، مبتنی بر ورود اطلاعات از منبع دو مدل فوق‌الذکر بوده که در نهایت به شیوه‌های آماری چند متغیره مورد استنباط و تجزیه تحلیل قرار گرفته است.

جهت تعیین و طبقه‌بندی پهنه‌های شدت فرسایش بادی شیوه‌های مختلفی وجود دارد. مدل طراحی شده IRIFR (اختصاصی و احمدی، ۱۳۷۵ و ۱۳۷۶) از جمله متداول‌ترین روش‌ها جهت پهنه‌بندی فرسایش باد است، این مدل مبتنی بر شرایط محیطی و اقلیمی کشورمان بوده (صادقی روش و همکاران، ۲۰۱۲: ۹۲) که مطالعات متعددی با استفاده از آن با اهداف و طراحی‌های کاربردی مختلف، صورت گرفته است (جباری و ثقفی، ۱۳۸۳؛ پهلوانروی،

۱۳۹۱؛ مصباح زاده و همکاران، ۱۳۸۹؛ حبیبی و همکاران، ۱۳۹۳؛ بخشنده مهر و همکاران، ۱۳۹۲). در این مقاله نیز جهت تعیین پهنه‌های فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه از مدل IRIFR استفاده شده است (جدول ۱). مدل IRIFR ۹ عامل مؤثر در فرسایش بادی را مورد ارزیابی و امتیازدهی قرار می‌دهد. از این‌رو بسته به شدت و ضعف هر عامل و تأثیر آن بر رسوب‌زایی، امتیازی به هر واحد کاری آن عامل و با در نظر گرفتن واحدهای ژئومورفولوژیک تعیین شده در منطقه، نسبت داده می‌شود. نهایتاً با جمع‌بندی امتیازهای ۹ گانه در هر واحد کاری شدت فرسایش بادی در طول سال برآورد می‌گردد. دامنه امتیازات قابل تخصیص به عوامل ۹ گانه مورد نظر در این مدل و طبقات فرسایش حاصل از جمع عوامل مورد محاسبه در آن در (جداول ۱ و ۲) آمده است.

در مدل دوم؛ اطلاعات مربوط به کاربری و پوشش زمین جهت ورود به مدل IRIFR در دوره‌های زمانی مختلف، با توجه به قابلیت تصاویر ماهواره لندست در محاسبه فرسایش خاک و اثر کاربری پوشش زمین (لامبین^{۱۱}، ۱۹۹۶؛ لامبین و اهرلیچ^{۱۲}، ۱۹۹۷؛ هابودان^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۲؛ کینگ^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۵؛ لو^{۱۵} و همکاران، ۲۰۰۷؛ آل اتور و بیگوئرا^{۱۶}، ۲۰۰۹؛ تریپاتی^{۱۷} و همکاران ۱۹۹۶؛ پرنس^{۱۸} و همکاران، ۲۰۰۹؛ لیبرتی^{۱۹} و همکاران، ۲۰۰۹؛ یانگ^{۲۰} و همکاران، ۲۰۰۷) و به روش طبقه‌بندی نظارت‌شده استخراج شده است (شکل ۲). مهم‌ترین ویژگی داده‌های ماهواره ای منابع زمینی تناوب زمانی آن‌هاست. در این بررسی نیز تناوب زمانی در دسترس و قابل اعتماد از تصاویر ماهواره لندست در ۶ دوره زمانی مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (جدول ۳).

در مرحله سوم، نقش و تأثیر طبقات مختلف کاربری‌ها و پوشش زمین حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در دوره‌های زمانی مختلف، به‌عنوان یک متغیر اصلی در نتیجه حاصل از مدل IRIFR که شرایط ثابتی را طی زمان‌های مختلف نشان می‌دهد، محاسبه شده است. برای این منظور ماتریس همبستگی نقشه حاصل از مدل IRIFR و نقشه‌های کاربری اراضی در دوره‌های زمانی مختلف محاسبه شده است. به این ترتیب، نقشه اولیه فرسایش باد حاصل از مدل IRIFR تبدیل به نقشه‌های متعدد در زمان‌های مختلف گردید که هر یک تغییرات مکانی شدت فرسایش باد را منحصراً در زمان اخذ تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده، نشان می‌دهند (شکل ۲). در نهایت، جهت محاسبه نرخ تغییرات فرسایش باد، نقشه‌های حاصل از پهنه‌بندی فرسایش باد در دوره‌های زمانی مختلف از هم تفریق و متوسط نرخ تغییرات به دست آمده است. همچنین با کمک آنالیز مؤلفه‌های اصلی^{۲۱} (PCA) و با در نظر گرفتن تغییرات زمانی

-
- 11- Lambin
 - 12- Ehrlich
 - 13- Haboudane
 - 14- King
 - 15- Lu
 - 16- Alatorre, Beguera
 - 17- Tripathy
 - 18- Prince
 - 19- Liberti
 - 20- Yang
 - 21- Principal component analysis

و مکانی شدت فرسایش باد در دوره‌های زمانی مختلف، نقشه حاوی بیش‌ترین تغییرات در پهنه‌های فرسایش بادی طی دوره مورد بررسی حاصل شده است.

جدول ۱- عوامل و دامنه تأثیر آن‌ها در فرسایش بادی مدل IRIFR

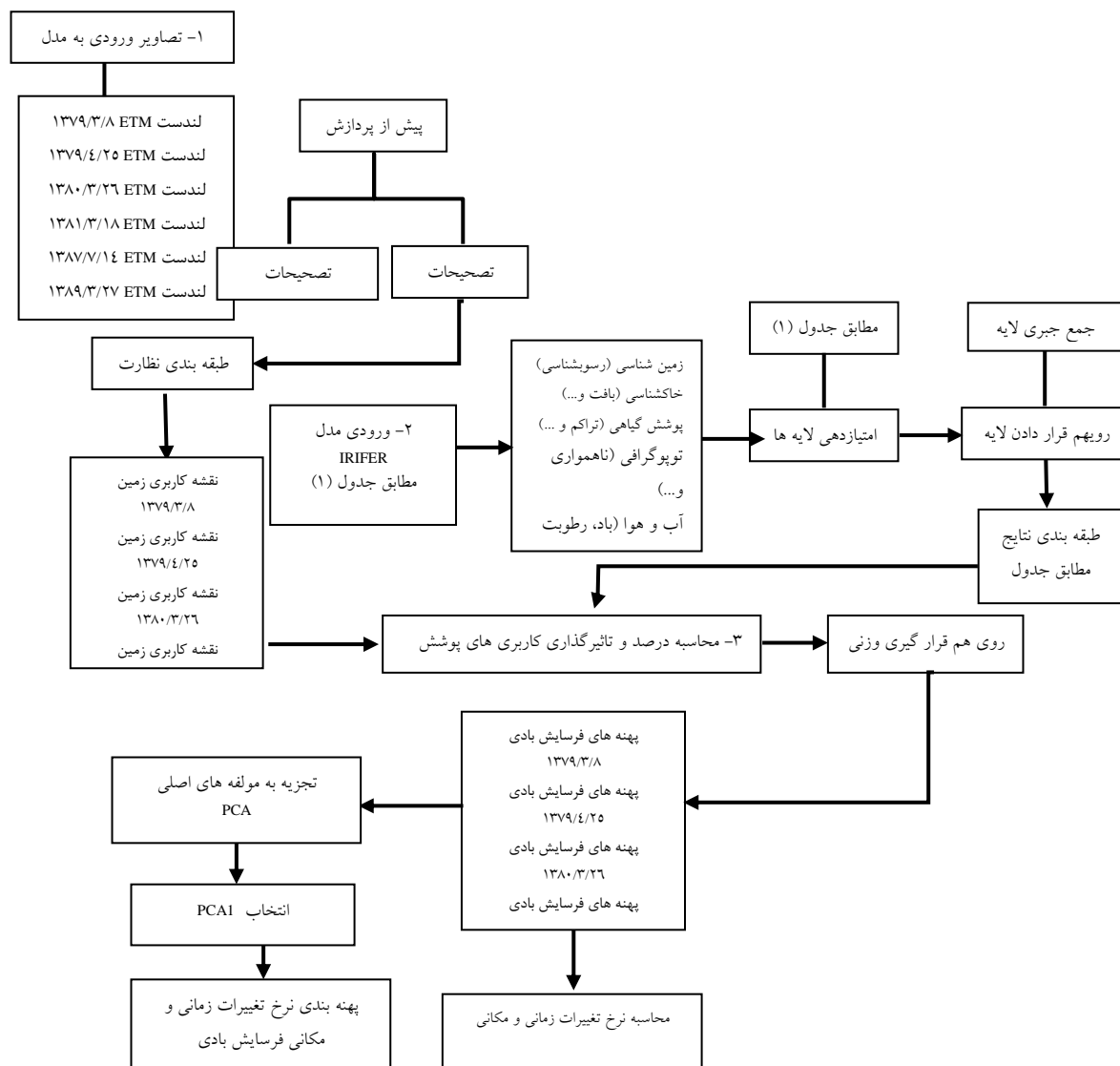
| ردیف | عوامل مؤثر | دامنه امتیاز |
|------|----------------------------------|--------------|
| ۱ | عامل سنگ‌شناسی | ۰ - ۱۰ |
| ۲ | عامل شکل اراضی و پستی و بلندی | ۰ - ۱۰ |
| ۳ | عامل سرعت و وضعیت باد | ۰ - ۲۰ |
| ۴ | عامل خاک و پوشش سطح آن | ۰ - ۱۵ |
| ۵ | عامل انبوهی پوشش گیاهی | ۰ - ۱۵ |
| ۶ | عامل آثار فرسایش در سطح | ۰ - ۲۰ |
| ۷ | عامل رطوبت خاک | ۰ - ۱۰ |
| ۸ | عامل نوع و پراکنش نهشته‌های بادی | ۰ - ۱۰ |
| ۹ | عامل کاربری اراضی و پوشش زمین | ۰ - ۱۵ |

(مأخذ: اختصاصی و احمدی، ۱۳۷۵: ۱۵)

جدول ۲- طبقه‌بندی و پتانسیل رسوب‌دهی در مدل IRIFR

| کلاس فرسایشی | کیفیت فرسایش | مجموع امتیاز | پتانسیل رسوب‌دهی تن در کیلومتر مربع در سال |
|--------------|--------------|----------------|--|
| I | خیلی کم | کم‌تر از ۲۵ | کم‌تر از ۲۵۰ |
| II | کم | ۲۵ - ۵۰ | ۲۵۰ - ۵۰۰ |
| III | متوسط | ۵۰ - ۷۵ | ۵۰۰ - ۱۵۰۰ |
| IV | زیاد | ۷۵ - ۱۰۰ | ۱۵۰۰ - ۶۰۰۰ |
| V | خیلی زیاد | بزرگ‌تر از ۱۰۰ | بیش‌تر از ۶۰۰۰ |

(مأخذ: اختصاصی و احمدی، ۱۳۷۵: ۱۵)



شکل ۲: مدل فرآیندی مواد و روش‌های مورد استفاده

جدول ۳- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

| تاریخ اخذ تصویر | گذر ماهواره | قدرت تفکیک (به متر) | مشخصات سنجنده | مشخصات ماهواره |
|-----------------|-------------|---------------------|---------------|----------------|
| ۱۳۷۹/۳/۸ | ۱۵۹-۳۷ | ۳۰ | ETM | لندست ۷ |
| ۱۳۷۹/۴/۲۵ | ۱۵۹-۳۷ | ۳۰ | ETM | لندست ۷ |
| ۱۳۸۰/۳/۲۶ | ۱۵۹-۳۷ | ۳۰ | ETM | لندست ۷ |
| ۱۳۸۱/۳/۱۸ | ۱۵۹-۳۷ | ۳۰ | ETM | لندست ۷ |
| ۱۳۸۷/۷/۱۴ | ۱۵۹-۳۷ | ۳۰ | ETM | لندست ۵ |
| ۱۳۸۹/۳/۲۷ | ۱۵۹-۳۷ | ۳۰ | ETM | لندست ۵ |

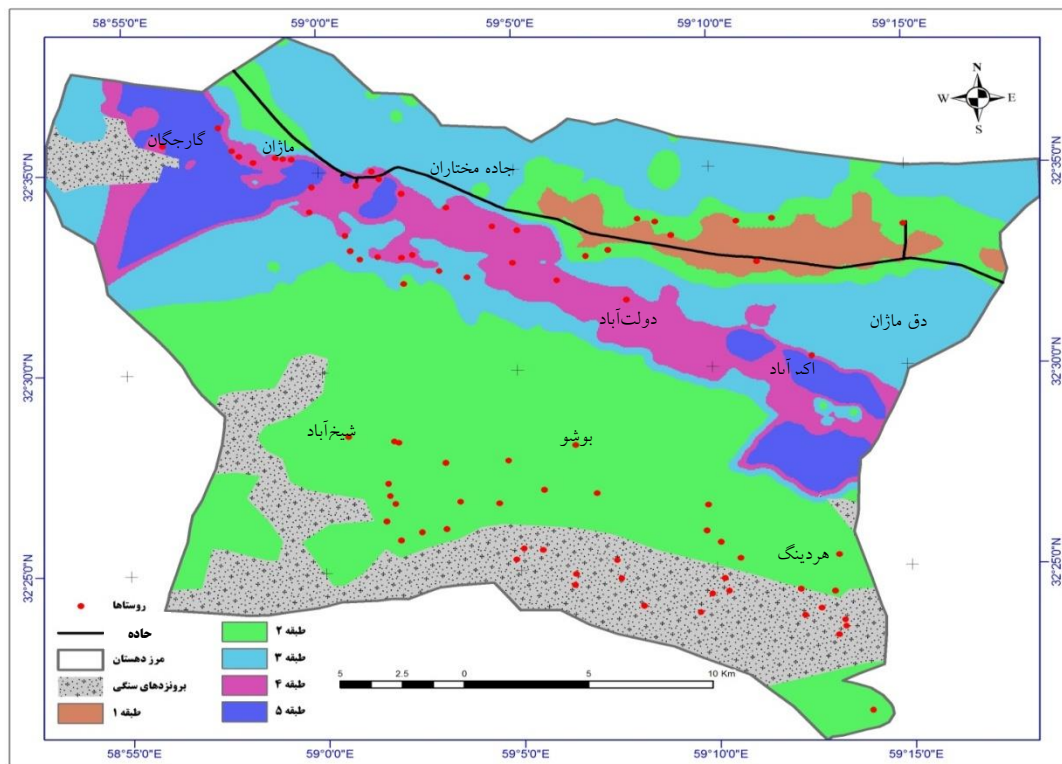
یافته‌ها و بحث

در قلمرو واحدهای ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه، امتیازات هر یک از عوامل ۹ گانه مطابق با جداول مرجع در مدل IRIFR و متناسب با شدت و ضعف تأثیر آن‌ها در فرسایش بادی، اختصاص داده شده است (جدول ۴). واحدهای ژئومورفولوژی منطقه از طریق مطالعات میدانی و پردازش اطلاعات سنجش از راه دور (عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای) و تفکیک حدود لند فرم‌های عمده، ترسیم شده است (ثقفی، ۱۳۸۸: ۵۱). لند فرم‌های ترسیم شده منطقه که به‌عنوان واحدهای ژئومورفولوژی کاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند، در ۷ گروه طبقه شده‌اند (جدول ۴). پس از آن طبقات ۵ گانه پهنه‌های مختلف حساسیت به فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه بر مبنای مجموع امتیازات لایه‌های اطلاعاتی ۹ گانه ورودی به مدل IRIFR تهیه شده است (شکل ۳).

شرایط جغرافیایی منطقه باعث شده که پهنه‌های مختلف لایه‌های اطلاعاتی ورودی به مدل از جهت: شرایط آب و هوایی، خاکشناسی، توپوگرافی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی در اغلب مناطق امتیازات حداکثری مدل را اخذ نمایند. از این رو بخش‌های عمده‌ای از اراضی مناسب جهت کاربری‌های مختلف منطقه مطالعاتی در قلمرو فرسایش باد نسبتاً شدید قرار گرفته است (شکل ۳).

جدول ۴- نتایج امتیازات عوامل ۹ گانه مدل IRIFR به تفکیک لند فرم‌های عمده واحدهای ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

| واحد‌های ژئومورفولوژی | عامل ۱ | عامل ۲ | عامل ۳ | عامل ۴ | عامل ۵ | عامل ۶ | عامل ۷ | عامل ۸ | عامل ۹ |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ارضای ماسه‌ای هموار و منابع ماسه یا ارگ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۵ | ۱۵ | ۵ | ۲۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۵ |
| تپه ماسه‌های تثبیت شده با نیکای کوچک با تراکم کم | ۸ | ۸ | ۱۵ | ۹ | ۳ | ۱۱ | ۶ | ۷ | ۱۰ |
| دشت رگی درشت‌دانه و فرسایش سطحی | ۴ | ۴ | ۱۵ | ۲ | ۴ | ۷ | ۴ | ۳ | ۱ |
| دشت رگی دانه متوسط و فرسایش شیبیاری | ۵ | ۷ | ۱۵ | ۵ | ۳ | ۵ | ۴ | ۲ | ۵ |
| دشت رگی ریزدانه و فرسایش آبراه‌ای | ۷ | ۴ | ۱۵ | ۴ | ۲ | ۳ | ۳ | ۱ | ۲ |
| تپه ماسه‌های فعال | ۵ | ۷ | ۱۵ | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ | ۳ | ۷ |
| دامنه‌ها و دشت‌سرهای برهنه | ۵ | ۵ | ۱۵ | -۲ | ۰ | ۱ | ۳ | -۲ | -۱ |



شکل ۳. توزیع جغرافیایی طبقات مختلف پهنه‌های فرسایش باد حاصل از محاسبات مدل IRIFR

منطقه مطالعاتی دهستان ماژان بخشی از یک حوضه آبریز بسته را تشکیل داده که نیمه غربی آن را در بر گرفته است. جریان و تمرکز آب و رسوب به چاله انتهایی در حوضه‌های زهکشی بسته، مهم‌ترین ویژگی آن‌ها محسوب می‌شود. در منطقه مورد مطالعه، این فرآیند منجر به انباشت حجم عمده‌ای از رسوبات ریز در چاله انتهایی و حواشی آن در غالب لندفرم‌های مختلفی از قبیل مخروط‌افکنه‌ها شده است. در واقع واحد دشت منطقه مورد مطالعه، دشتی انباشتی است که تحت شرایط حوضه‌های آبریز بسته به وجود آمده است. این موضوع در منطقه مورد مطالعه امکان برداشت رسوبات ریز را توسط جریان‌های بادی کم انرژی‌تر فراهم آورده است. از سوی دیگر حاشیه چاله انتهایی حوضه به دلیل وجود شرایط توپوگرافی و خاک‌شناسی مناسب، جریان آب سطحی و بالا بودن سطح آب زیرزمینی، همواره توسط ساکنان در قالب فعالیت‌های اقتصادی به صورت کاربری‌های مختلف کشاورزی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. این موضوع و در بسیاری از موارد عدم توجه به مدیریت صحیح اراضی کشاورزی، فعالیت و تأثیرگذاری جریان باد در فرسایش خاک منطقه را دوچندان نموده است. از جنبه کاربری اراضی، پهنه‌های با پتانسیل فرسایش بادی زیاد در قلمرو اراضی زراعی دیم و آبی در حاشیه کفه رسی و چاله انتهایی منطقه مورد مطالعه، قرار گرفته‌اند. از جنبه ژئومورفولوژیکی نیز پهنه‌های با حساسیت بالای فرسایش بادی، بخش‌های انتهایی مخروط‌افکنه‌های به هم پیوسته در دامنه‌های رشته کوهستانی بخش جنوبی دهستان ماژان را در بر می‌گیرند. این مخروط‌افکنه‌ها متشکل از رسوبات آبرفتی با ضخامت زیاد می‌باشند که به سمت مناطق پایین دست از دانه‌بندی ریزتری تشکیل شده‌اند؛ بنابراین،

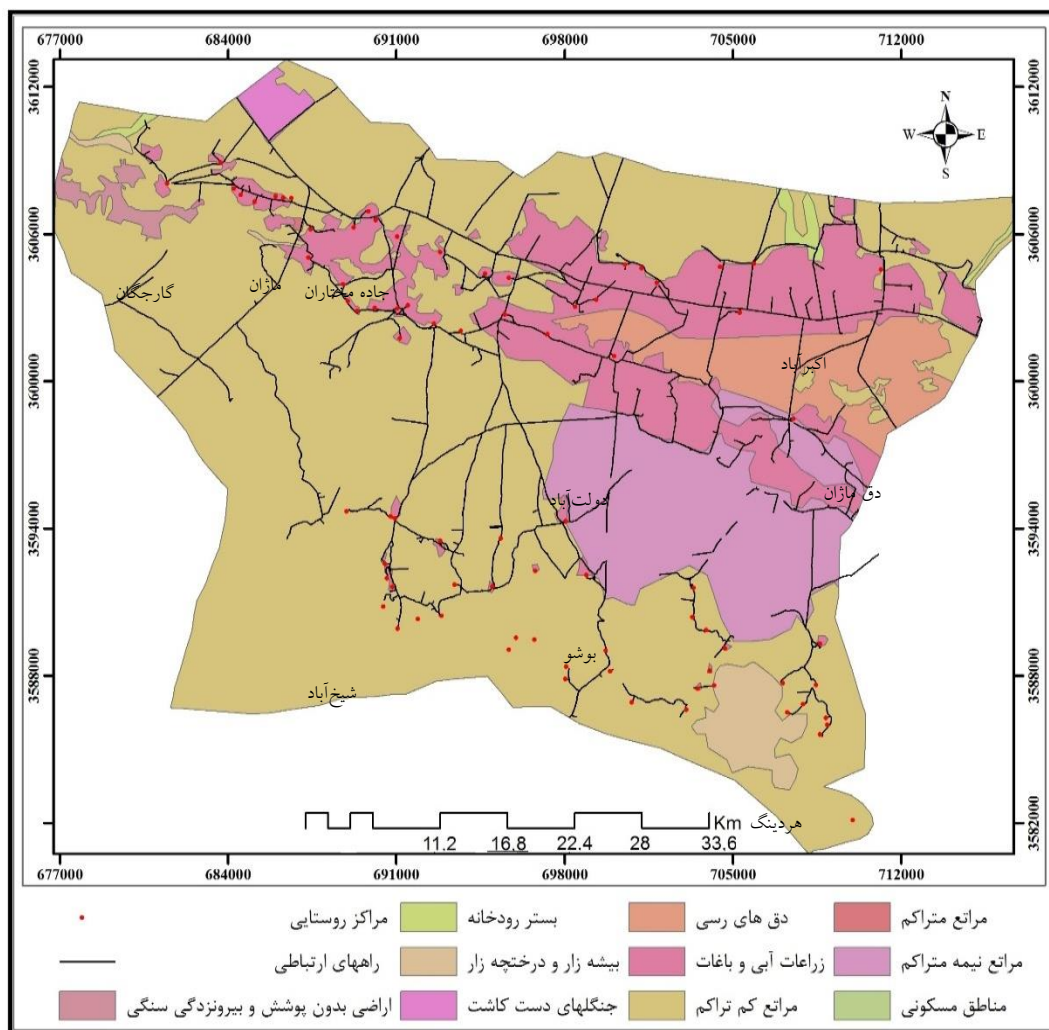
از جنبه رسوب‌شناسی شرایط مساعدی برای فرسایش بادی در این بخش از لندفرم‌های ژئومورفیک منطقه وجود دارد. نکته مهم این است که با توجه به نحوه جریان‌های زهکشی کننده این منطقه، همواره رسوبات روی مخروط‌افکنه‌ها به‌ویژه در بخش انتهایی، تجدید و از منابع بالادست در حوضه‌های کوچک‌تر کوهستانی تأمین می‌شود. با این حال در برخی مناطق پایین دست مخروط‌افکنه‌ها به علت غلبه برداشت رسوبات توسط فرسایش باد و کمبود تغذیه رسوبی توسط جریان‌های زهکشی کننده، تشکیل دشت‌های رگی در پهنه‌های مختلف اندازه و منفصل از هم را می‌توان مشاهده نمود که خود دلیلی بر شدت بیشتر جریان فرسایش باد در این مناطق است.

- اثر تغییرات کاربری و پوشش زمین بر فرسایش بادی

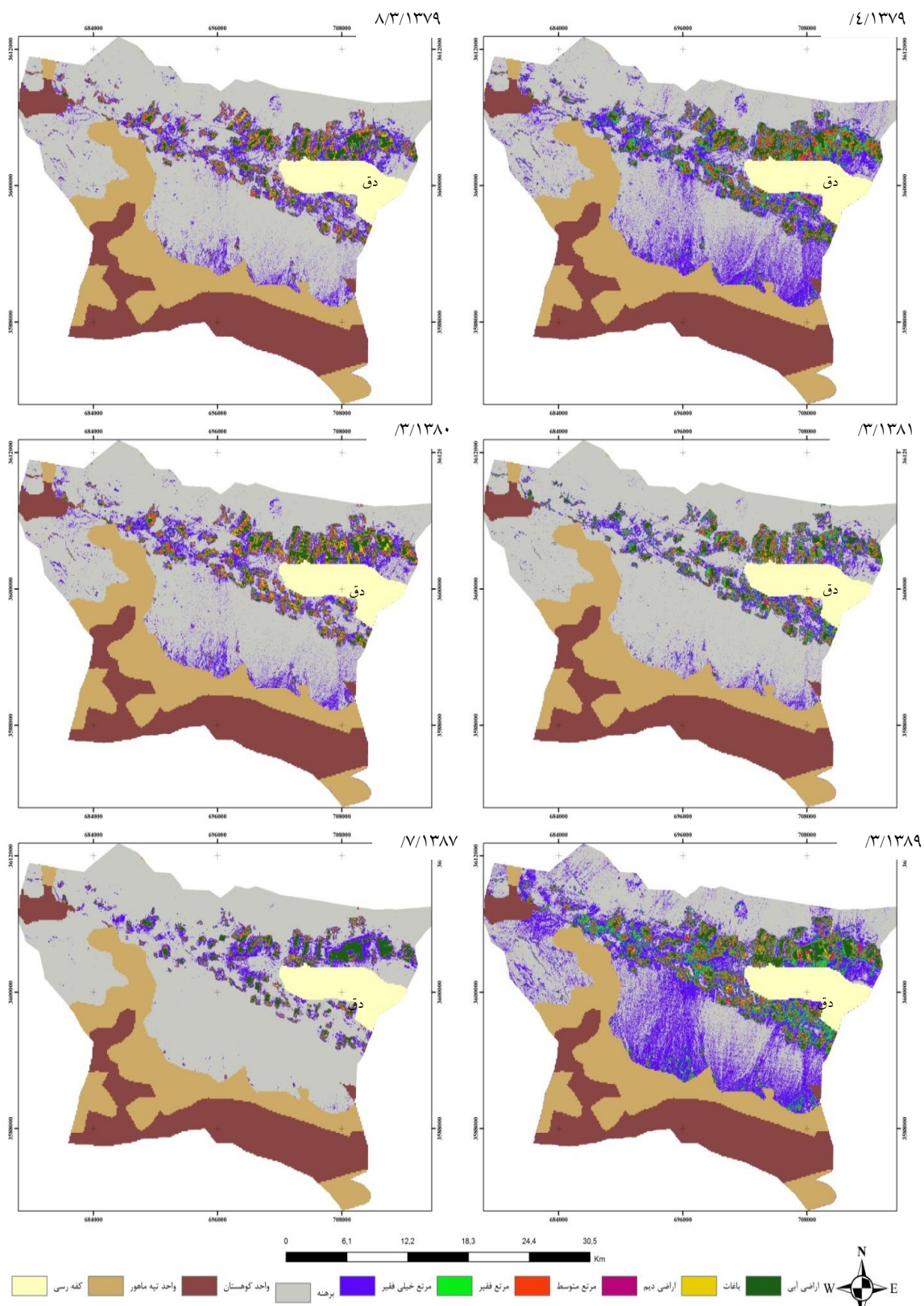
منطقه دهستان مازان از جهت کاربری اراضی با توجه به تعداد و جمعیت روستاهای موجود در آن یکی از دهستان‌های مهم از جنبه فعالیت‌های کشاورزی در حوزه تقسیمات سیاسی شهرستان بیرجند محسوب می‌شود. بخش قابل توجهی از روستاهای منطقه مورد مطالعه در محدوده دشت واقع شده‌اند که شرایط توپوگرافی و خاک‌شناسی مطلوب آن از یک طرف و جریان مناسب آب‌های روی سطحی و زیرزمینی در این منطقه شرایط مساعدی را جهت فعالیت‌های زراعی ایجاد نموده است. چگونگی توزیع جغرافیایی انواع کاربری‌ها و نحوه استفاده از زمین در منطقه مورد مطالعه بر اساس مشاهدات میدانی و عکس‌های هوایی در (شکل ۴) نشان داده شده است. بدین ترتیب ملاحظه می‌شود، تقریباً تمامی اراضی واحد دشت به‌جز محدوده‌ای که در قلمر کفه رسی است، قابل استفاده و بهره‌برداری بوده و توسط ساکنان روستاهای واحد دشت تحت بهره‌برداری فعالیت‌های کشاورزی در انواع دیم و آبی قرار دارد. در تفکیک واحدهای کاربری اراضی منطقه به‌طور مشخص، غلبه با فعالیت زراعی آبی با حدود ۸۹ درصد از مساحت دشت است و فعالیت‌های زراعی دیم با حدود ۷ درصد از مساحت واحد دشت و باغداری با حدود ۴ درصد مساحت دشت، در اولویت‌های بعدی قرار دارند. غلبه فعالیت‌های زراعی آبی در منطقه علی‌رغم شرایط آب و هوای خشک، کمبود ریزش‌های جوی و فقدان جریان‌های آبی حتی فصلی، ناشی از محصور بودن جریان‌های هیدرولوژیکی و ژئوهیدرولوژیکی در منطقه است.

استفاده و بهره‌برداری ساکنان منطقه مورد مطالعه از اراضی مساعد که در قالب فعالیت‌های کشاورزی، باغداری و دامداری نمود دارد، موضوعی نیست که مستقل از شرایط محیط طبیعی و به صورت دائمی و پایدار باشد. در واقع، کاربری اراضی در مناطق روستایی پیوندهای محکمی را با شرایط محیط طبیعی نشان می‌دهد. از این رو آنچه در نقشه توزیع جغرافیایی کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه ارائه شده (شکل ۴) گرچه شرایط ثابتی را نشان می‌دهد اما باید در نظر داشت که این شرایط در طول یک سال و حتی سالیان بعد نمی‌تواند ثابت باشد. دلیل این موضوع را باید در ماهیت فعالیت‌های کشاورزی و دامداری و وابستگی شدید آن به شرایط آب‌وهوایی بخصوص در این‌گونه مناطق جستجو نمود. آنچه مسلم است فعالیت‌های کشاورزی در سالیان متفاوت به یک میزان در منطقه صورت نمی‌گیرد و در تمامی طول سال نیز به جهت عدم همراهی شرایط آب‌وهوایی، فعالیت‌های کشاورزی در

منطقه انجام نمی‌شود. این موضوع به دلیل از میان رفتن پوشش محافظ خاک شرایط مساعدی را جهت افزایش شدت عملکرد جریان باد و فرسایش بادی به دنبال دارد. بنابراین، با توجه به نقش مهم کاربری و پوشش سطح زمین در فرسایش خاک و جهت دستیابی به شرایط واقعی فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، کاربری و پوشش زمین در منطقه مورد مطالعه در دوره‌های مختلف زمانی (۶ دوره) مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۵). صحت نتایج حاصل از طبقه‌بندی نظارت شده کاربری پوشش زمین با کمک مشاهدات میدانی و اطلاعات موجود (شکل ۴) مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای محاسبه صحت نتایج، تعداد ۲۱۰ نقطه از مشاهدات میدانی برای ۷ طبقه تعیین شده کاربری اراضی (هر طبقه ۳۰ نقطه)، محاسبه شده است (جدول ۵). به طور متوسط صحت طبقه‌بندی کاربری اراضی و پوشش سطح زمین، حاصل از ۶ دوره زمانی تصاویر ماهواره‌ای حدود ۷۹ درصد با ضریب کاپای 0.83^{22} است.



شکل ۴: توزیع جغرافیایی پهنه‌های مختلف کاربری اراضی و پوشش زمین دهستان مازان



شکل ۵: تغییرات پهنه‌های کاربری اراضی پوشش زمین در دوره مورد بررسی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای

جدول ۵- ماتریس محاسبه صحت نتایج طبقه‌بندی کاربری و پوشش سطح زمین حاصل از تصاویر ماهواره لندست در ۶ دوره زمانی با استفاده از مشاهدات واقعی و میدانی کاربری و پوشش سطح زمین

| مجموع صحت طبقه‌بندی = ۰/۷۹/۵ | | | | | | | | $\frac{24 + 28 + 26 + 24 + 17 + 21 + 27}{210} = 0/795$ | |
|------------------------------|----------------|-----------|------------|-----|-------|-----|---------------------------|--|--|
| مجموع ضریب کاپا = ۰/۸۳۹۶ | | | | | | | | | |
| مناطق برهنه | مرتع خیلی فقیر | مرتع فقیر | مرتع متوسط | دیم | باغات | آبی | تعداد نقاط نمونه‌گیری شده | | |
| مناطق برهنه | ۲۳ | ۴ | ۲ | ۱ | ۰ | ۰ | ۳۰ | | |
| مراتع خیلی فقیر | ۰ | ۲۸ | ۲ | ۰ | ۰ | ۰ | ۳۰ | | |
| مراتع فقیر | ۱ | ۱ | ۲۶ | ۲ | ۰ | ۰ | ۳۰ | | |
| مراتع متوسط | ۰ | ۲ | ۳ | ۲۴ | ۱ | ۰ | ۳۰ | | |
| کشاورزی دیم | ۰ | ۰ | ۲ | ۵ | ۱۷ | ۴ | ۳۰ | | |
| باغات | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۲۱ | ۶ | ۳۰ | | |
| کشاورزی آبی | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۳ | ۲۷ | ۳۰ | | |
| تعداد پیکسل‌های صحیح | ۲۴ | ۳۵ | ۳۵ | ۳۳ | ۲۰ | ۳۷ | ۲۱۰ | | |

طبقات حاصل‌شده از تصاویر

نتایج حاصل، گویای شدت تغییرات به‌وجود آمده در کاربری پوشش سطح زمین و به‌تبع آن پتانسیل تأثیرگذاری قابل‌توجه آن‌ها در نتایج پهنه‌بندی فرسایش بادی حاصل از مدل IRIFR در منطقه است (جدول ۶). جهت تهیه نقشه فرسایش مناطق مختلف، کاربرد داده‌های طیفی تصاویر ماهواره لندست (هابودان و همکاران، ۲۰۰۲؛ لو و همکاران، ۲۰۰۷)، شاخص‌های پوشش گیاهی (لامین و اهرلیچ، ۱۹۹۷؛ تریپاتی و همکاران، ۱۹۹۶؛ پرینس و همکاران، ۲۰۰۹)، تلفیق داده‌های سنجنش از دور و داده‌های مورفولوژیکی (لیبرتی و همکاران، ۲۰۰۹) در مطالعات مختلف توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته است.

پهنه‌های کاربری و پوشش سطح زمین حاصل از تصاویر ماهواره لندست در ۶ دوره زمانی متفاوت، بیش‌ترین میزان نوسانات را در پهنه‌های فعالیت‌های زراعی منطقه نشان می‌دهد. پوشش‌های مرتعی منطقه مورد مطالعه که توسط ساکنان جهت فعالیت‌های دامداری و ندرتا جهت مصارف سوختی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد نیز گرچه در مناطقی با شدت فرسایش زیاد واقع نشده‌اند اما از جنبه گستردگی وسعت قابل ملاحظه‌ای دارند (جدول ۶).

جدول ۶- تغییرات مساحت پهنه‌های کاربری اراضی و پوشش زمین حاصل از تصاویر ماهواره‌ای (به درصد) در دوره‌های مورد بررسی

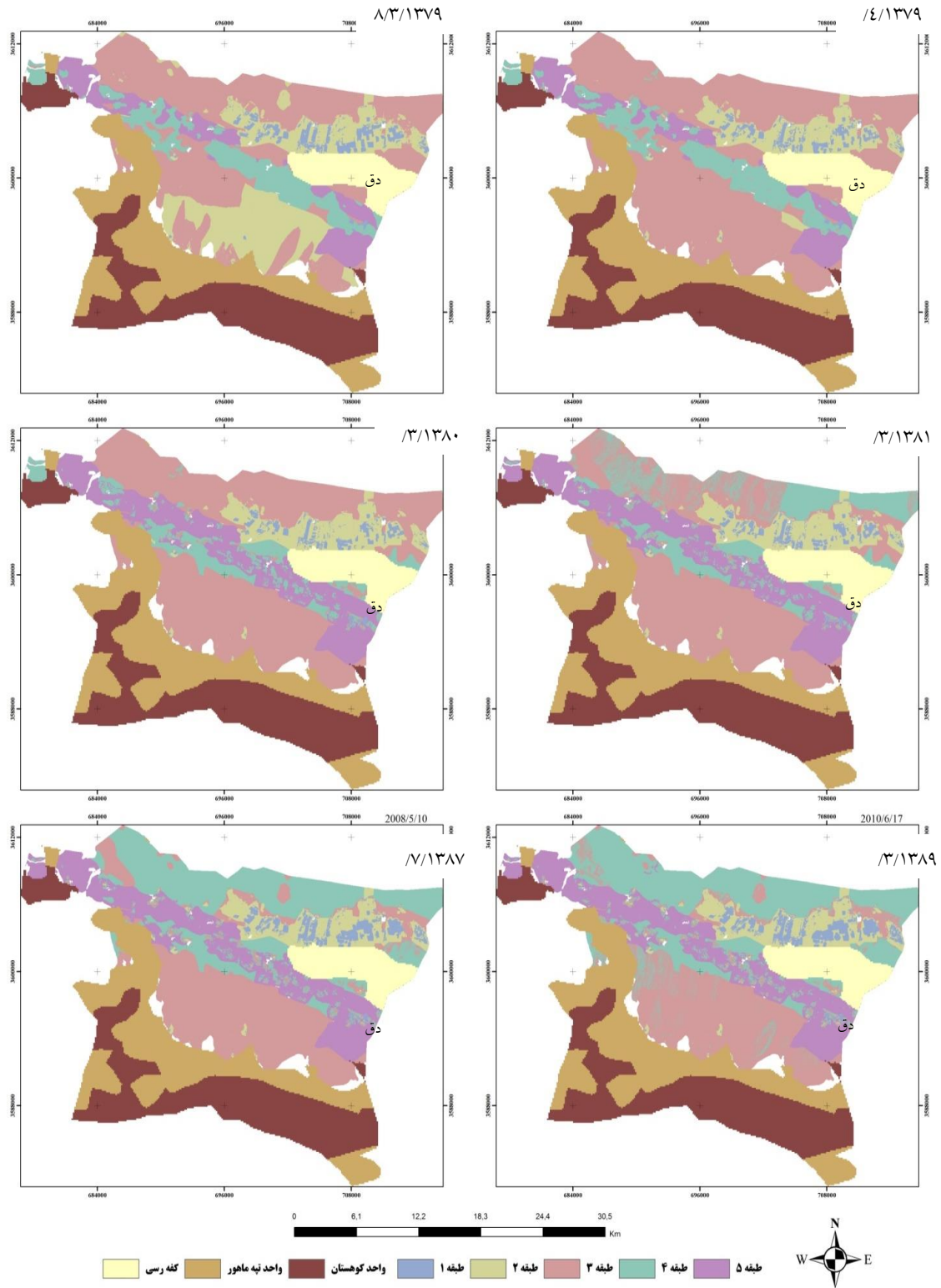
| تغییرات | حداقل | حداکثر | متوسط | ۳/۲۷ ۱۳۸۹ | ۷/۱۴ ۱۳۸۷ | ۳/۱۸ ۱۳۸۱ | ۳/۲۶ ۱۳۸۰ | ۴/۲۵ ۱۳۷۹ | ۳/۸ ۱۳۷۹ | طبقات |
|---------|-------|--------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-----------------|
| ۴۶/۲۹ | ۴۱/۰۱ | ۸۷/۳۱ | ۶۴/۷۸ | ۴۱/۰۱ | ۸۷/۳۱ | ۷۵/۹۸ | ۶۶/۰۸ | ۵۲/۶۹ | ۶۵/۵۹ | مناطق برهنه |
| ۳۰/۵۹ | ۸/۱۰ | ۳۸/۷۰ | ۲۳/۴۷ | ۳۸/۷۰ | ۸/۱۰ | ۱۵/۷۵ | ۲۳/۲۷ | ۳۱/۲۵ | ۲۳/۷۶ | مرتفع خیلی فقیر |
| ۱۱/۷۳ | ۰/۷۸ | ۱۲/۵۲ | ۵/۵۰ | ۱۲/۵۲ | ۰/۷۸ | ۳/۰۷ | ۳/۴۳ | ۹/۲۲ | ۳/۹۶ | مرتفع فقیر |
| ۱/۸۵ | ۰/۷۰ | ۲/۵۶ | ۱/۷۴ | ۱/۴۳ | ۰/۷۰ | ۱/۰۸ | ۲/۴۱ | ۲/۲۸ | ۲/۵۶ | مرتفع متوسط |
| ۱/۵۰ | ۰/۳۴ | ۱/۸۴ | ۰/۹۷ | ۱/۸۴ | ۰/۳۴ | ۱/۰۹ | ۰/۷۱ | ۱/۱۸ | ۰/۶۲ | اراضی دیم |
| ۱/۰۷ | ۰/۵۳ | ۱/۶۰ | ۱/۰۵ | ۱/۳۲ | ۰/۵۳ | ۰/۸۴ | ۱/۶۰ | ۰/۷۹ | ۱/۲۵ | باغات |
| ۰/۹۹ | ۲/۱۵ | ۳/۱۵ | ۲/۴۶ | ۳/۱۵ | ۲/۲۱ | ۲/۱۵ | ۲/۴۶ | ۲/۵۶ | ۲/۲۳ | اراضی آبی |

تغییرات زمانی و مکانی پهنه‌های فرسایش بادی

تغییرات شدت فرسایش بادی متأثر از نوسان میزان تأثیر عوامل مؤثر در بروز فرسایش باد (جدول ۱) طی زمان است. با توجه به اهمیت و نقش کاربری و پوشش زمین در تولید و افزایش شدت فرسایش باد، جهت تعیین ضریب تأثیرگذاری هریک از کاربرهای، بین ۶ نقشه کاربری و پوشش سطح زمین حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه مجموع امتیازات عوامل ۹ گانه مؤثر در فرسایش بادی مدل IRIFR، ماتریس همبستگی مکانی نقشه‌ها^{۲۳} در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیا مورد محاسبه قرار گرفته است (جدول ۷). بدیهی است برخی از کاربری‌ها نقش تشدیدکننده و برخی دیگر نقش کاهنده در شدت و گستره پهنه‌های فرسایش باد دارند. با توجه به این‌که در مدل مورد استفاده IRIFR پهنه‌های با شدت بیش‌تر فرسایش بادی مجموع امتیازات بیش‌تر را اخذ می‌نمایند و اثر پوشش گیاهی رابطه عکس با شدت فرسایش بادی دارد از این‌رو نتایج میزان همبستگی محاسبه‌شده حاوی مقادیر منفی است (جدول ۷). با در نظر گرفتن وزن کل تأثیرگذاری هریک از نقشه‌های کاربری‌ها و پوشش زمین در ۶ دوره زمانی متوالی و وزن جزئی هر یک از طبقات داخلی، درصد تغییراتی که باید در نتایج مدل پهنه‌بندی فرسایش بادی در نظر گرفته شود تعیین و مقادیر در نقشه پایه (نقشه جمع امتیازات عوامل ۹ گانه مدل IRIFR) تأثیر داده شده است (شکل ۶).

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین نقشه‌های کاربری پوشش زمین در ۶ دوره زمانی و نقشه مجموع امتیازات حاصل از مدل IRIFR

| دوره‌های زمانی | ۱۳۸۹/۳/۲۷ | ۱۳۸۷/۷/۱۴ | ۱۳۸۱/۳/۱۸ | ۱۳۸۰/۳/۲۶ | ۱۳۷۹/۴/۲۵ | ۱۳۷۹/۳/۸ |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| جمع امتیازات عوامل ۹ گانه | -۰/۱۰ | -۰/۰۷ | -۰/۰۲ | -۰/۱۹ | -۰/۲۳ | -۰/۲۲ |



شکل ۶: تغییرات پهنه‌های فرسایش بادی در دوره‌های مورد بررسی حاصل از نظر گرفتن تغییرات زمانی و مکانی کاربری و پوشش زمین

بررسی تغییرات مکانی پهنه‌های مختلف فرسایش بادی طی ۶ دوره زمانی، نشانگر بروز بیش‌ترین تغییرات در طبقه متوسط است. گستره‌های تحت اشغال این طبقه در واقع لند فرم‌های مخروط‌افکنه‌ای پای دامنه‌های کوهستانی می‌باشند که با توجه به نقش آن‌ها در تولید رسوبات بادی و تغییر و تبدیل طبقه متوسط فرسایش بادی به طبقات پایین‌تر، کاهش تأثیرگذاری این لند فرم‌ها و به تبع آن کاهش چشمگیر شدت فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه مشهود می‌گردد. بررسی مقادیر تغییرات در طبقات مختلف پهنه‌های فرسایش بادی حاصل شده طی ۶ دوره زمانی نیز بیش‌ترین تغییرات را در این طبقه به میزان ۶۷/۷۵ درصد و کم‌ترین تغییرات را در طبقه خیلی کم به میزان ۱/۶۳ درصد نشان می‌دهد (جدول ۸).

جدول ۸- مساحت تغییرات پهنه‌های فرسایش باد (به درصد) در دوره‌های موردبررسی، حاصل از در نظر گرفتن تغییرات زمانی و مکانی کاربری و پوشش زمین

| طبقات فرسایش | ۱۳۷۹/۳/۸ | ۱۳۷۹/۴/۲۵ | ۱۳۸۰/۳/۲۶ | ۱۳۸۱/۳/۱۸ | ۱۳۸۷/۷/۱۴ | ۱۳۸۹/۳/۲۷ | متوسط | حداکثر | حداقل | تغییرات |
|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|--------|-------|---------|
| خیلی کم | ۳/۳۳ | ۲/۶۸ | ۲/۳۳ | ۲/۴۷ | ۳/۵۹ | ۳/۹۵ | ۳/۰۶ | ۳/۹۵ | ۲/۳۳ | ۱/۶۳ |
| کم | ۲۳/۱۲ | ۹/۵۵ | ۹/۳۸ | ۹/۳۱ | ۸/۳ | ۸/۰۷ | ۱۱/۲۹ | ۲۳/۱۲ | ۸/۰۷ | ۱۵/۰۵ |
| متوسط | ۵۱/۳۲ | ۶۵/۱۸ | ۵۴/۶۳ | ۴۴/۷۷ | ۳۴/۴۴ | ۳۰/۱۵ | ۴۶/۷۵ | ۶۵/۱۸ | ۳۰/۱۵ | ۳۵/۰۳ |
| زیاد | ۱۲/۳۷ | ۱۲/۶۸ | ۱۵/۷۳ | ۲۳/۳ | ۳۳/۸۶ | ۳۷/۹ | ۲۲/۶۴ | ۳۷/۹ | ۱۲/۳۷ | ۲۵/۵۳ |
| خیلی زیاد | ۹/۸۶ | ۹/۸۸ | ۱۷/۹۳ | ۲۰/۱۵ | ۱۹/۸۱ | ۱۹/۹۳ | ۱۶/۲۶ | ۲۰/۱۵ | ۹/۸۶ | ۱۰/۲۹ |

با توجه به مقادیر اختلاف موجود در مساحت تحت اشغال پهنه‌های فرسایش باد در دوره‌های زمانی مختلف، بررسی معنی‌دار بودن یا نبودن این تغییرات با استفاده از فرضیات آماری و محاسبه آزمون همبستگی جهت درک عادی بودن روند تغییرات پهنه‌های فرسایش بادی منطقه در طی زمان، کمک مؤثری است. از این رو ماتریس همبستگی مکانی نقشه‌ها بین پهنه‌های فرسایش باد مربوط به دوره‌های زمانی مختلف در سطح احتمال $P = 0.95$ مورد آزمون قرار گرفته است (جدول ۹). نتایج این آزمون نشان می‌دهد، مقادیر بیش‌تر سطح معنی‌داری از آستانه بحرانی ($P - \text{value} > \alpha = 0.05$) معنی‌دار نبودن همبستگی و مقادیر کم‌تر سطح معنی‌داری از آستانه بحرانی ($P - \text{value} < \alpha = 0.05$) معنی‌دار بودن همبستگی میان پهنه‌های مختلف فرسایش باد در زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد. از این رو بین پهنه‌های فرسایش باد در فواصل زمانی طولانی‌تر (برای مثال سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ با دوره‌های قدیمی‌تر) در سطح احتمال مورد بررسی همبستگی معنی‌دار نیست، در حالی که، در فواصل زمانی کوتاه‌تر، همبستگی بین پهنه‌های فرسایش باد معنی‌دار است. دو دلیل عمده جهت تغییرات شدید گستره پهنه‌های فرسایش باد در فواصل زمانی بلندمدت و تثبیت گستره آن‌ها در فواصل زمانی کوتاه می‌توان متصور بود: ۱- نوسانات عوامل اقلیمی به‌ویژه خشک‌سالی‌های اخیر در منطقه مورد مطالعه و ۲- وجود خلأ اطلاعات در فواصل بین دوره‌های زمانی

مورد مطالعه. بر اساس شواهد میدانی و نیز تغییرات کاربری پوشش زمین در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ می‌توان هر دو دلیل فوق را در تغییرات پهنه‌های فرسایش بادی سال‌های مورد بررسی مؤثر دانست.

جدول ۹- ماتریس آزمون همبستگی بین نقشه‌های فرسایش بادی مربوط به دوره‌های زمانی مختلف در سطح احتمال $P=0/95$

| دوره‌های زمانی بررسی | آماره | ۱۳۷۹/۳/۸ | ۱۳۷۹/۴/۲۵ | ۱۳۸۰/۳/۲۶ | ۱۳۸۱/۳/۱۸ | ۱۳۸۷/۷/۱۴ | ۱۳۸۹/۳/۲۷ |
|----------------------|---------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ۱۳۷۹/۳/۸ | مقدار همبستگی | ۱ | | | | | |
| | P-Value | | | | | | |
| ۱۳۷۹/۴/۲۵ | مقدار همبستگی | ۰/۹۴۸* | ۱ | | | | |
| | P-Value | ۰/۰۱۴ | | | | | |
| ۱۳۸۰/۳/۲۶ | مقدار همبستگی | ۰/۹۱۲* | ۰/۹۸۲** | ۱ | | | |
| | P-Value | ۰/۰۳۱ | ۰/۰۰۳ | | | | |
| ۱۳۸۱/۳/۱۸ | مقدار همبستگی | ۰/۸۲۴ | ۰/۹۱۴* | ۰/۹۶۵** | ۱ | | |
| | P-Value | ۰/۰۸۶ | ۰/۰۳۰ | ۰/۰۰۸ | | | |
| ۱۳۸۷/۷/۱۴ | مقدار همبستگی | ۰/۵۴۵ | ۰/۶۶۲ | ۰/۷۴۲ | ۰/۸۸۸* | ۱ | |
| | P-Value | ۰/۳۴۲ | ۰/۲۲۴ | ۰/۱۵۱ | ۰/۰۴۴ | | |
| ۱۳۸۹/۳/۲۷ | مقدار همبستگی | ۰/۳۸۰ | ۰/۴۹۹ | ۰/۵۸۹ | ۰/۷۷۵ | ۰/۹۷۹** | ۱ |
| | P-Value | ۰/۵۲۸ | ۰/۳۹۲ | ۰/۲۹۶ | ۰/۱۲۴ | ۰/۰۰۴ | |

*, ** به ترتیب به مفهوم معنی دار در سطح ۵ درصد، معنی دار در سطح یک درصد می باشد.

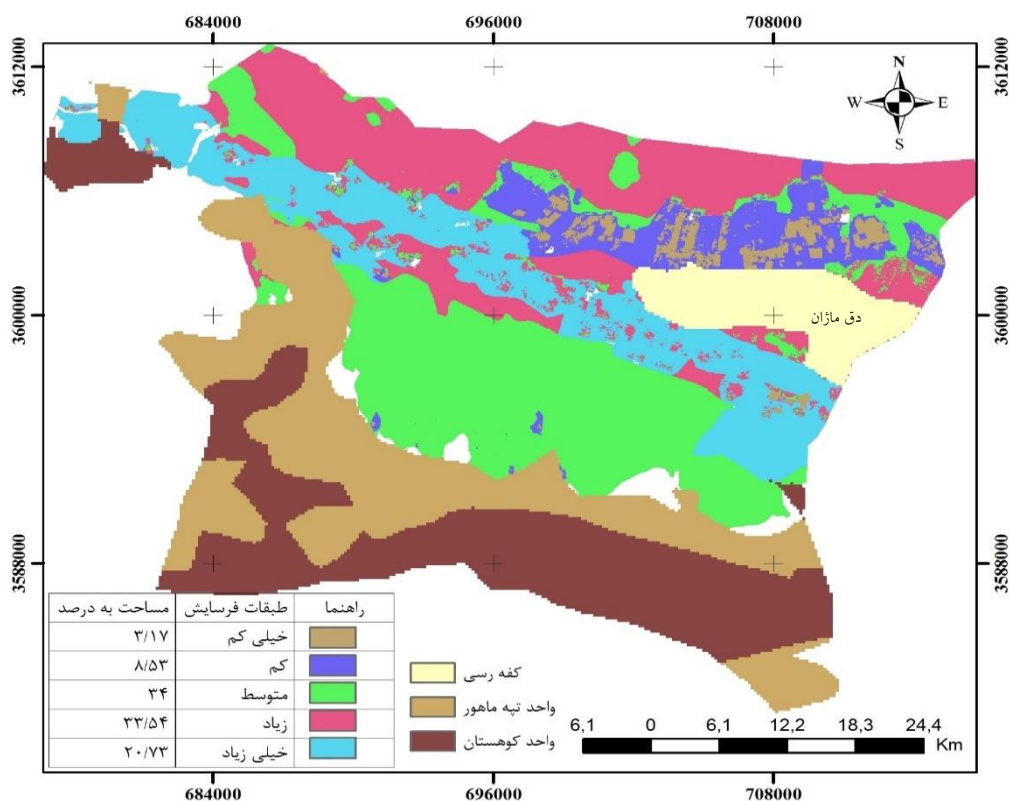
نتیجه گیری

در خصوص مطالعات فرسایش باد در نظر گرفتن و محاسبه بعد زمان در تغییر شدت تأثیرگذاری عوامل مؤثر در بروز فرسایش، موضوعی قابل توجه است. با در نظر داشتن این مطلب و نیز ورود داده‌های موردنیاز جهت محاسبه فرسایش بادی در طی دوره‌های زمانی مختلف می‌توان انتظار نتایج واقعی‌تری را داشت. در میان عوامل مورد بررسی در مدل‌های فرسایش بدون تردید، کاربری و پوشش زمین یکی از اطلاعات پایه‌ای و تقریباً ثابت در تمامی مدل‌های تجربی فرسایش (اعم از فرسایش آبی و بادی) است (رفاهی، ۱۳۷۸: ۳۰؛ دهقانی بیدگلی، ۲۰۱۳: ۷۱۹). قابلیت استخراج کاربری‌های پوشش زمین از تصاویر ماهواره‌ای این امکان را فراهم می‌آورد تا بعد زمان را به کمک استخراج عامل مذکور از تصاویر ماهواره‌ای در مدل‌های فرسایش مدنظر قرار دهیم. با وجود این‌که، سایر عوامل مؤثر در فرآیند فرسایش نیز قابلیت استخراج از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای را دارند، ولی آنچه به‌عنوان نقطه قوت جهت استخراج و در نظر گرفتن عامل کاربری اراضی و پوشش زمین در این مطالعه شده، نتایج مطالعات گسترده‌ای است که قابلیت اعتماد بالای استخراج کاربری اراضی و پوشش زمین را از تصاویر ماهواره‌ای، نشان داده‌اند. از این‌رو، در

این بررسی برای تعیین نرخ تغییرات پهنه‌های فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه، از قابلیت استخراج و طبقه‌بندی کاربری پوشش سطح زمین تصاویر ماهواره لندست در چند دوره زمانی مختلف استفاده شده است.

با در نظر گرفتن تغییرات زمانی و مکانی عوامل مؤثر در فرسایش باد طی دوره زمانی مورد مطالعه، نهایتاً ارائه وضعیت کلی و نمایش توزیع فضایی پهنه‌های جغرافیایی تحت تأثیر فرسایش باد که نماینده طول دوره مورد بررسی باشد، موضوع مهمی است. برای این منظور از روش‌های آماری تحلیل‌های چند متغیره می‌توان استفاده نمود. در تحلیل‌های چند متغیره، یک مسئله ممکن است با تعداد زیادی از متغیرهای همبسته شروع شود، در چنین شرایطی هدف از روش چند متغیره تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تشکیل تعداد کمی از متغیرهاست که ناهمبسته‌اند و اکثر تغییرات در داده‌های اصلی را توضیح می‌دهند. دلیل اصلی برای کاهش تعداد متغیرها در این تحلیل‌ها، کمک به درک ساختار اساسی داده‌ها است (جانسون و ویچرن^{۲۴}، ۱۹۸۲: ۹۱). برای این منظور در این بررسی از آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده شده است. با استفاده از این روش ترکیباتی از P متغیر اولیه $X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$ برای ایجاد حداکثر P مؤلفه مستقل به صورت $PC_1, PC_2, PC_3, \dots, PC_p$ ایجاد می‌شود (جانسون و ویچرن، ۱۹۸۲: ۸۵).

با در نظر گرفتن اصلی‌ترین مؤلفه‌های حاصل از طبقات مختلف پهنه‌بندی فرسایش باد در دوره زمانی مورد بررسی، شرایط بینابین پهنه‌های فرسایش باد طی دوره مورد نظر در قالب یک نقشه کلی ارائه شده است. در تحلیل مؤلفه‌های اصلی انجام شده (جدول ۱۰)، اولین مؤلفه ۹۸/۸۹ درصد تغییرات طبقات سایر نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش باد طی ۶ دوره زمانی را نسبت به سایر مؤلفه‌ها در بر گرفته است. از این رو اولین مؤلفه اصلی، انتخاب و مورد طبقه‌بندی پهنه‌های فرسایش باد مطابق (جدول ۲) قرار گرفته است (شکل ۷). مقایسه پهنه‌های فرسایش بادی حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی با دیگر نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش باد که هر یک زمان خاصی را نشان می‌دهد (شکل ۶)، با توجه به درصد مساحت تحت اشغال پهنه‌های مختلف، نشانگر وجود همبستگی و ارتباط بالا بین آن‌ها است. همچنین، با توجه به این که درصد بالای تغییرات مکانی در طبقات مختلف پهنه‌های فرسایش باد طی دوره مورد بررسی در اولین مؤلفه اصلی وجود دارد (جدول ۱۰)، می‌توان استنباط نمود در پهنه‌بندی فرسایش باد حاصل از اولین مؤلفه اصلی، توزیع جغرافیایی پهنه‌ها طی دوره مورد بررسی با حساسیت بالایی ارائه شده است؛ بنابراین در مقایسه با محاسبه شاخص مرسوم میانگین در این گونه مطالعات طبیعی که از حساسیت بالایی برخوردارند، نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی به دلیل این که نقش تغییرات موجود در عوامل مؤثر را نیز شامل می‌شوند، قابل اعتمادتر است. با توجه به ضرایب محاسباتی در بردار اول اولین مؤلفه‌های اصلی، بیش‌ترین شباهت و تأثیرگذاری در اولین مؤلفه اصلی که مورد طبقه‌بندی نیز قرار گرفته، مربوط به نقشه پهنه‌های فرسایش بادی سال ۱۳۸۹ به میزان ۰/۴۶ درصد و کم‌ترین نقش و تأثیرگذاری مربوط به نقشه پهنه‌های فرسایش بادی مربوط به تاریخ ۸/۳/۱۳۷۹ به میزان ۰/۳۲ است.



شکل ۷: پهنه‌بندی تغییرات زمانی و مکانی پهنه‌های فرسایش بادی طی مجموع دوره موردبررسی حاصل از پهنه‌بندی اولین مؤلفه اصلی

جدول ۱۰- نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی طبقات مختلف پهنه‌بندی فرسایش بادی در دوره زمانی مورد بررسی

| PCA6 | PCA5 | PCA4 | PCA3 | PCA2 | PCA1 | مؤلفه‌های اصلی |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---|
| ۰/۱۷ | ۰/۸۶ | ۱/۰۰۹ | ۲/۴۷ | ۲۹/۰۰۴ | ۳۰۱۲/۶۲ | مقادیر ویژه |
| ۰/۰۰۵۷ | ۰/۰۲۸۵ | ۰/۰۳۳۱ | ۰/۰۸۱۳ | ۰/۹۵۲۲ | ۹۸/۸۹۹۱ | درصد مقدار ویژه |
| ۱۰۰ | ۹۹/۹۹۴۳ | ۹۹/۹۶۵۸ | ۹۹/۹۳۲۶ | ۹۹/۸۵۱۳ | ۹۸/۸۹۹۱ | درصد تجمعی مقدار ویژه |
| مقادیر بردارهای ویژه | | | | | | پهنه‌های فرسایش در دوره‌های زمانی مختلف |
| -۰/۲۸۷ | ۰/۵۱۱ | ۰/۵۳ | ۰/۲۰۲ | ۰/۴۶ | ۰/۳۲ | ۱۳۷۹/۳/۸ |
| ۰/۷۹۹ | -۰/۱۶۵ | -۰/۰۵۴ | ۰/۲۲۱ | ۰/۳۹ | ۰/۳۵ | ۱۳۷۹/۴/۲۵ |
| -۰/۵۱۶ | -۰/۳۹۷ | -۰/۵۱۲ | ۰/۱۹۳ | ۰/۳۴ | ۰/۳۹ | ۱۳۸۰/۳/۲۶ |
| ۰/۰۵۵ | ۰/۲۷۱ | -۰/۲۱۵ | -۰/۸۲۹ | ۰/۰۴۵ | ۰/۴۳ | ۱۳۸۱/۳/۱۸ |
| -۰/۰۷۴۳ | -۰/۵۶۳ | -۰/۵۷۷ | -۰/۱۲۲ | -۰/۳۵ | ۰/۴۵ | ۱۳۸۷/۷/۱۴ |
| ۰/۰۴۴ | ۰/۴۰۲ | -۰/۲۵۷ | -۰/۴۱ | -۰/۶۱ | ۰/۴۶ | ۱۳۸۹/۳/۲۷ |

منابع

- اختصاصی، م؛ احمدی، ح (۱۳۷۶)، «روش تجربی برآورد رسوب فرسایش بادی»، *مجله منابع طبیعی ایران*، شماره ۵۱، صص ۲۵-۱۳.
- اختصاصی، م؛ احمدی، ح (۱۳۷۵)، «معرفی دو روش جدید برآورد رسوب در فرسایش بادی»، *مجموعه مقالات دومین همایش ملی بیابان‌زایی و روش‌های مختلف بیابان‌زدایی*، معاونت آموزش و تحقیقات وزارت جهاد سازندگی، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، صص ۴۰۳-۳۹۵.
- بخشنده مهر، ل؛ سلطانی، س؛ سپهر، ع (۱۳۹۲)، «ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی و اصلاح مدل مدالوس در دشت سگزی اصفهان»، *نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران*، شماره ۶۶، صص ۴۰-۲۷.
- بهدانی، ف (۱۳۹۰)، «ارزیابی فعالیت‌های زراعی و دامی روستاییان و تأثیر آن بر بیابان‌زایی (مورد مطالعه: دهستان مازان شهرستان بیرجند)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه پیام نور.
- پهلوانروی، ا (۱۳۹۱)، «ارزیابی فرسایش و رسوبات بادی با استفاده از مدل IRIFR در منطقه زهک دشت سیستان»، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۲۷، صص ۱۴۰-۱۲۷.
- ثقفی، م (۱۳۸۸)، «ارزیابی الگوی تغییرات زمانی و مکانی ژئومورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای (منطقه مورد مطالعه: جنوب غرب دشت مختاران، شهرستان بیرجند)»، طرح تحقیقاتی، دانشگاه پیام نور.
- جباری، ا؛ ثقفی، م (۱۳۸۳)، «پهنه‌های حساس به فرسایش بادی حوضه آبریز دستگرد بیرجند»، *مجله فضای جغرافیایی*، شماره ۱۱، صص ۹۰-۷۳.
- حبیبی، ع؛ شادفر، ص؛ صادقی، م (۱۳۹۳)، «بررسی شدت بیابان‌زایی در رخساره‌های ژئومورفولوژی با استفاده از GIS در استان خوزستان»، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، شماره ۳۲، صص ۱۵۹-۱۴۱.
- رفاهی، ح (۱۳۷۸)، «فرسایش بادی و کنترل آن»، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- مصباح‌زاده، ط؛ احمدی، ح؛ زهتابیان، غ؛ سرمیدیان، ف (۱۳۸۹)، «ارزیابی شدت فرسایش بادی با بهره‌گیری از مدل IRIFR. E.A1 (بررسی موردی: ابوزیدآباد کاشان)»، *نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران*، شماره ۶۳، صص ۴۱۵-۳۹۹.

- Alatorre, L. C., Beguería, S., (2009), "Identification of eroded areas using remote sensing in a badlands landscape on marls in the central Spanish Pyrenees", *Catena*, 76: 182-90.

- Boulghobra, N., Hadri, T., Bouhana, M., (2014), "Using landat imagery for monitoring the spatiotemporal evolution of sanding in dryland, the case of in-salah the tidikelt (Southern algerian sahara)", *Geographia Technica*, 9 (1): 1- 9.

- Dehghani Bidgoli, R., (2013), "Assessment of the vegetation management impacts on reduction the risk of wind erosion in the southern parts of the Kashan Plain, Iran", *World Applied Sciences Journal*, 23 (5): 718-725.

- Eswaran, H., Lal, R., Reich, P. F., (2001), "Land degradation. An overview conference on land degradation and desertification", khon kaen: New Dehli, India, 383-409.

- Haboudane, D., Bonn, F., Royer, A., Sommer, S., Mehl, W., (2002), "Land degradation and erosion risk mapping by fusion of spectrally based information and digital geomorphometric attributes", *International Journal of Remote Sensing*, 18: 3795–3820.
- Johnson, R. A., Wichern, D. W., (1982), "*Applied multivariate statistical analysis*", 3rd Ed, Prentice- Hall Inc., New Jersey. USA, Englewood Cliffs, SA, pp 590.
- King, C., Baghdadi, N., Lecomte, V., Cerdan, O., (2005), "The application of remote-sensing data to monitoring and modelling of soil erosion", *Catena*, 62: 79–93.
- Lambin, E. F., Ehrlich, D., (1997), "Landcover changes in Sub-Saharan Africa (1982–1991): Application of a change index based on remotely sensed surface temperature and vegetation indices at a continental scale", *Remote Sensing Environment*, 61 (2): 181–200.
- Lambin, E. F., (1996), "Change detection at multiple temporal scales: seasonal and annual variations in landscape variables", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62 (8): 931–938.
- Lawrence, J., Hagen, G., (2004), "Evaluation of the wind erosion prediction system (WEPS) erosion Sub model on cropland fields", *Environmental Modeling & Software*, 19: 171–176.
- Liberti, M., Simoniello, T., Carone, M. T., Coppola, R., Demilio, M., Macchiato, M., (2009), "Mapping badland areas using landsat TM/ETM satellite imagery and morphological data", *Geomorphology*, 106: 333-343.
- Lu, D., Batistella, M., Mausel, P., Moran, E., (2007), "Mapping and monitoring land degradation risks in the Western Brazilian Amazon using multitemporal Landsat TM/ETM+images", *Land Degradation and Development*, 18: 41–54.
- Prince, S. D., Becker-Reshef, I., Rishmawi, K., (2009), "Detection and mapping of long-term land degradation using local net production scaling: Application to Zimbabwe", *Remote Sensing of Environment*, 113: 1046-1057.
- Thomas, D. S. G., (1995), "*Desertification: causes and processes*, in: Nierenberg, W. A. (ed). *Encyclopedia of environmental biology*", Vol. 1, , Sandiego: Academic Press, 463-473.
- Tripathy, G. K., Ghosh, T. K., Shah, S. D., (1996), "Monitoring of desertification process in Karanataka state of India using multi-temporal remote sensing and ancillary information using GIS", *International Journal of Remote Sensing*, 17: 2243–2257.
- Yang, X., Ding, Z., Fan, X., Zhou, Z., Ma, N., (2007), "Processes and mechanisms of desertification in northern China during the last 30 years, with a special reference to the Hunshandake Sandy Land, eastern Inner Mongolia", *Catena*, 71: 2–12.