

پایش تغییرات پهنه‌های فرسایشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای طی دوره‌های پر آبی، نرمال و کم آبی (مطالعه موردی: منطقه‌ی نیمروز سیستان)

منصور جهانتیغ: دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران
معین جهانتیغ*: دانشجوی دکتری گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرگان

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۶

تاریخچه‌ی مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳)

DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.2.1.1

چکیده

یکی از مشکلات مناطق خشک از جمله سیستان، تخریب و فرسایش است که علت آن کمبود پوشش گیاهی و بهره‌برداری نامعقول از عرصه‌های طبیعی است. هدف از اجرای این پژوهش، پایش تغییرات پهنه‌های در معرض فرسایش بادی در منطقه‌ی نیمروز سیستان طی سال‌های کم آبی، نرمال و پر آبی است؛ بدین منظور در ابتدا با استفاده از روش‌های ریزمقیاس نمایی، به تهیه‌ی سری زمانی تصاویر ماهواره‌های با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست و مودیس پرداخته شد. سپس با استفاده از مدل ESTARFM، تصاویر مربوط به سال‌های کم آبی (۲۰۰۱)، نرمال (۲۰۰۸) و پر آبی (۲۰۱۹) شبیه‌سازی شد. برای پایش تغییرات پهنه‌های فرسایشی نیز نقشه‌ی کاربری اراضی مربوط به سال‌های کم آبی (۱۳۸۰)، نرمال (۱۳۸۷) و پر آبی (۱۳۹۸) استخراج و با ارزیابی صحت طبقه‌بندی این نقشه‌ها، عملیات آشکارسازی تغییرات با استفاده از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی برای این نقشه‌ها انجام شد. در بررسی تغییرات پهنه‌های فرسایشی، یافته‌ها نشان داد که طی دوره‌ی کم آبی تا نرمال، بیشترین درصد تغییرات (۳۵/۸۴ درصد) مربوط به تبدیل اراضی بایر به پهنه‌های فرسایشی با مساحتی حدود ۳۲۷۰۸/۶۸ هکتار و در رتبه‌ی بعدی، مربوط به تبدیل پهنه‌های فرسایشی به اراضی مرتعی با پوشش گیاهی کمتر از ۱۰ درصد (۲۵/۲۴ درصد) است. همچنین نتایج نشان داد که طی دوره‌ی کم آبی تا پر آبی، بیشترین درصد تغییرات به ترتیب برابر با ۲۵/۳۸ و ۲۵/۹۸ درصد بود و به تبدیل پهنه‌های فرسایشی به پهنه‌های آبی و مرتع اختصاص داشت. همچنین نتایج بیانگر آن است که طی دوره‌ی پر آبی با افزایش سطح پهنه‌های سیل‌گیر در منطقه‌ی مورد مطالعه، وسعت پهنه‌های فرسایشی نسبت به دوره‌ی کم آبی ۶۰ درصد (معادل با ۸۰۵۹/۳۶ هکتار) کاهش یافت. نتایج نشان داد که تغییر شرایط هیدرولوژیکی جریان‌های ورودی به سیستان، در وسعت پهنه‌های فرسایشی منطقه نقش بارزی داشت که بهبود شرایط آن نیازمند مطالبه‌ی حق آبه منطقه‌ی سیستان از کشور افغانستان است.

واژگان کلیدی: پهنه‌ی فرسایشی، پوشش گیاهی، سیستان، مدل ESTARFM.

۱- مقدمه

امروزه بحران آب متأثر از تغییر اقلیم و وقوع خشکسالی‌های متعدد توأم با افزایش تقاضا برای تأمین نیاز غذایی به دلیل افزایش رشد جمعیت است که بخش عمده‌ای از کشورهای دنیا را از جنبه‌های مختلف زیست محیطی، اقتصادی- اجتماعی، سیاسی و غیره تحت تأثیر قرار داده است (Farajzadeh Asl and Hossiny, 2008 & Feddema, 1998)؛ به-طوری که وقوع خشکسالی‌های طولانی مدت در دهه‌های اخیر، ضمن بهره‌برداری نامناسب از منابع آب و خاک در مناطق خشک و استفاده بی‌رویه از عرصه‌های طبیعی و زراعی، به ایجاد فرسایش و فقدان سوددهی زمین‌های مستعد کشاورزی، کاهش محصول، افزایش مهاجرت، بروز پدیده‌ی گرد و غبار و بیابان‌زایی در این مناطق منجر شده‌است. این درحالی است که با گذشت زمان، تداوم چنین شرایطی تغییرات محسوس کاربری اراضی را در این مناطق به‌همراه داشت و با تخریب محیط زیست، به افزایش وسعت مناطق بیابانی منجر شد (Ghebregabher, 2019 & Deng, 2019). بنا به گزارش‌های ارائه شده از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۵، حدود ۶ درصد از مناطق خشک جهان - که متأثر از تغییرات آب و هوایی و تغییر کاربری اراضی است - تحت تأثیر پدیده‌ی بیابان‌زایی قرار گرفته‌است (Burrell, 2020). چنین فرآیندی در اکوسیستم‌های خشک و شکننده، گسترش کانون‌های بحرانی فرسایش را در پی داشته‌است؛ از این رو، تغییر در چرخه‌ی هیدرولوژیکی با تأثیر بر منابع آب، بر نوع استفاده از اراضی و پایداری اکوسیستم‌های زمینی نقش بارزی ایفا می‌کند (Hosseini et al, 2014 & Soleimani and Hagizadeh, 2014 & Mosaed et al, 2008).

محققان خارجی و داخلی، مطالعات متعددی را در زمینه‌ی خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب انجام داده‌اند. Chen و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از شاخص (SDI)^۱ و زنجیره‌ی مارکوف، به بررسی تأثیر خشکسالی بر رژیم جریان رودخانه در دو حوضه‌ی لانیانا و ییلان در کشور تایوان پرداختند. آنان با ارزیابی شاخص خشکسالی هیدرولوژیک برای دوره‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماه در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه دریافتند که بیشترین شدت خشکسالی، به سال ۲۰۰۲ بازمی‌گشت که به کاهش ۳۵٪ دبی جریان در دو حوضه‌ی مورد مطالعه منجر شد. Mehmet و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ی دیگر، اثر خشکسالی را بر مقادیر کمی جریان رودخانه‌ی بیتلیس^۲ در کشور ترکیه بررسی کردند. آنان با استفاده از شاخص جریان خشکسالی (SDI)^۳ و تجزیه و تحلیل روند تغییرات خشکسالی با استفاده از داده‌های متوسط جریان ماهانه دریافتند که اثر خشکسالی بر مقادیر دبی جریان رودخانه، محسوس و بیشترین دوره‌ی خشک به ماه ژوئن با ۶۵٪ و کمترین دوره، به ماه مارس با ۴۸٪ اختصاص داشت. نتایج مطالعات Soleimani and Hagizadeh (۲۰۱۴) در تحلیل زمانی وقوع خشکسالی‌ها و تأثیر آن بر کاهش آب‌دهی دریاچه‌ی کیو با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی، بیانگر آن است که رابطه‌ی زمانی وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. نتایج پژوهش Nohegar و همکاران (۲۰۱۶) در ارزیابی خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب سطحی حوضه آبخیز میناب با استفاده از دو شاخص (RDI)^۴ و (SPI)^۵، بیانگر بیشترین فراوانی خشکسالی با شدت ملایم و اثر معنی‌دار خشکسالی بر تغییرات متوسط دبی سالانه‌ی ایستگاه‌های هیدرومتری مورد

¹ Stream flow Drought Index

² Bitlis

³ Stream flow Drought Index

⁴ Reconnaissance Drought Index

⁵ Standardised Precipitation Index

مطالعه بود. تغییر در چرخه‌ی هیدرولوژیکی با بروز خشکسالی، بر پایداری منابع آب و در پی آن تخریب اکوسیستم‌های طبیعی نقش بارزی دارد؛ به طوری که تغییر کاربری اراضی و تخریب زمین، زمینه‌ی گسترش مناطق بیابانی و تخریب محیط زیست را در مناطق خشک فراهم می‌سازد. در زمینه‌ی بررسی تغییرات کاربری اراضی نیز مطالعات متعددی صورت گرفته‌است. Pandian و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای به بررسی تغییر کاربری اراضی منطقه‌ی تامیل نادو در کشور هندوستان پرداختند و از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند. یافته‌های آنها بیانگر کاهش و افزایش به‌ترتیب ۱۴ و ۱۵ درصدی سطح اراضی کشاورزی و بایر بود. Ghebregabher (۲۰۱۹) بیان کرد که در کشور اریتره از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۴، درجه‌ی حرارت و تبخیر و تعرق افزایش و بر عکس، میزان بارندگی و رطوبت نسبی آن کاهش یافته‌است. مساحت عرصه‌های تحت پوشش بیابان‌زایی در این کشور، از ۴۸۲۰۰ در سال ۱۹۷۰ به ۸۳۸۰۰ کیلومتر مربع افزایش یافت و به بیانی دیگر، ۸۵ درصد این کشور تحت تأثیر پدیده‌ی فرسایش قرار گرفت. همچنین در پژوهشی دیگر، Wijitkosum (۲۰۱۶) نیز به بررسی میزان تخریب زمین، تغییرات کاربری و خطر فرسایش در کشور تایلند از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ پرداخت و از مدل MEDALUS استفاده کرد. نتایج پژوهش وی نشان داد که به‌طور متوسط، سالانه ۴/۲ درصد و در مجموع ۷۴/۴ درصد منطقه‌ی Huay Sai تا سال ۲۰۱۰ با خطر فرسایش و بیابانی شدن روبرو شده‌است.

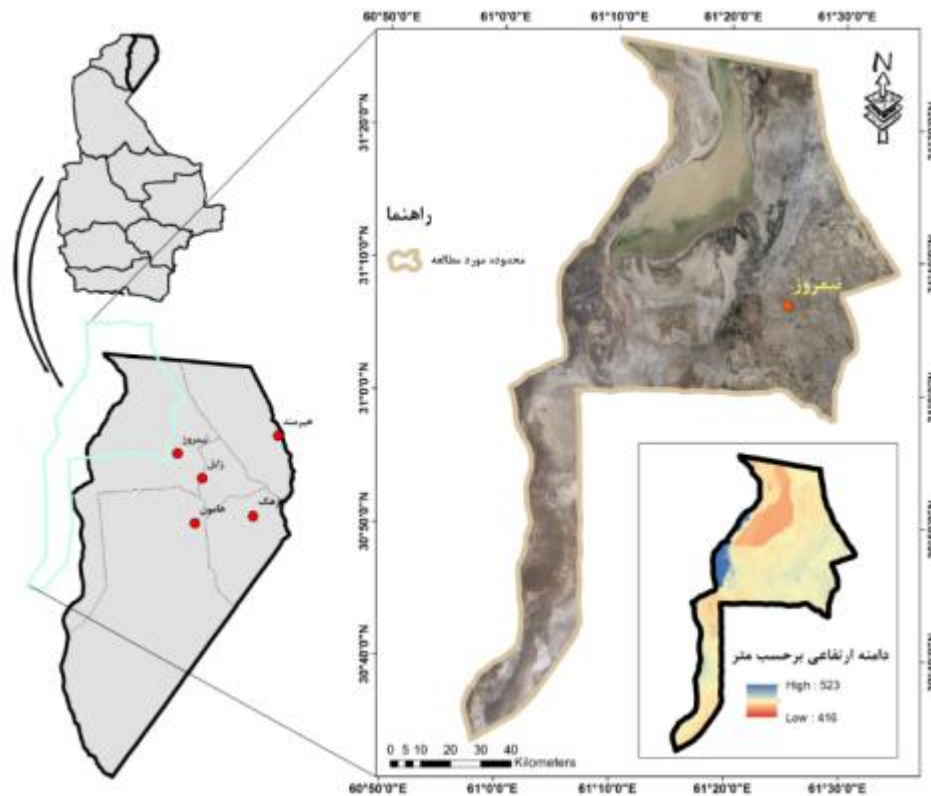
در مطالعات صورت گرفته در داخل کشور، Kharazmi و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی ETM⁺ لندست ۷ و سنجنده‌ی OLI لندست ۸، به پایش تغییرات پوشش گیاهی و تأثیر آن بر روند تخریب زمین و بیابان‌زایی در دشت سیستان پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که در دوره‌ی مورد مطالعه، کلاس‌های پوشش گیاهی و آب کاهش چشمگیری داشت و بر مساحت کلاس اراضی بایر افزوده شد. آنان گزارش دادند که روند موجود در منطقه، از گرایش آن به سمت تخریب، فرسایش و بیابانی شدن حکایت دارد. Bagahi Nejad و همکاران (۲۰۱۸) به پایش تغییرات پوشش گیاهی به‌منظور ارزیابی بیابان‌زایی با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی ETM⁺ ماهواره‌ی لندست ۷ در دشت داورزن پرداختند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که در دوره‌ی زمانی ۲۳ ساله به دلیل استفاده‌ی بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، میزان اراضی بیابانی و بایر در منطقه به مقدار ۲۲۴/۲۰۵ کیلومتر مربع افزایش یافت که ۳۰/۳۴ درصد از وسعت این اراضی، به کاهش سطح اراضی کشاورزی اختصاص داشت که این روند به تشدید فرآیند بیابان‌زایی در منطقه منجر شد. Hasheminasab and jafari (۲۰۱۸) در بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست در محدوده‌ی شرق اصفهان در دوره‌ی زمانی ۲۷ ساله دریافتند که در طول این مدت، ۸۶/۴۳ درصد از حاشیه‌ی زاینده‌رود کاسته شد. بخش زیادی از تغییر کاربری، به تغییر مراتع به زمین کشاورزی مرتبط بود که چنین تغییری افزایش تخریب و فرسایش را در پی داشت. در تحقیق دیگر، Karimian و همکاران (۲۰۲۰)، تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست در دشت خان‌میرزا بررسی کردند. آنان به این نتیجه رسیدند که بیشترین افزایش تغییر کاربری از اراضی سنگلاخی به زمین‌های کشاورزی، از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ صورت گرفت که برابر ۱۶۷۳ هکتار بود.

بررسی پیشینه‌ی تحقیق نشان می‌دهد که تغییر در شرایط هیدرولوژیکی با تأثیر بر منابع آب، در پایداری اکوسیستم‌های طبیعی و شرایط زیست محیطی در مناطق خشک نقش به‌سزایی ایفا می‌کند که این فرآیند نیازمند بررسی

سری زمانی داده‌های هیدرولوژیکی به منظور تعیین دقیق طول دوره‌های کم آبی، نرمال و پربابی در مناطق خشک و در مقیاس‌های زمانی متفاوت است که در مطالعات صورت گرفته کمتر به آن پرداخته شده است. علاوه بر آن با توجه به اینکه تغییر شرایط هیدرولوژیکی، پایداری اکوسیستم‌های طبیعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و نسبت کاربری‌ها در گذر زمان بیانگر وضعیت پایداری اکوسیستم‌های زمینی در یک منطقه است؛ بنابراین، بررسی تغییرات کاربری با تهیه سری زمانی داده‌های سنجش از دور با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا می‌تواند اثر مخاطرات طبیعی از جمله خشکسالی را در مناطق خشک با اکوسیستم‌های شکننده آشکار کند؛ از این رو با توجه به موارد ذکر شده و با توجه به اهمیت بررسی تغییرات کاربری اراضی و تعیین پهنه‌های فرسایشی که بستر مناسبی را برای اتخاذ اقدامات مدیریتی کارآمد، اولویت‌بندی برنامه‌های اجرایی برای مقابله با پدیده بیابان‌زایی و کنترل و تثبیت کانون‌های فرسایشی در این مناطق فراهم می‌کند، این تحقیق با هدف بررسی تغییرات کاربری اراضی و پهنه‌های فرسایشی با شبیه‌سازی تصاویر سری زمانی با تفکیک مکانی و زمانی بالا طی دوره‌های کم آبی، نرمال و پربابی در منطقه نیمروز سیستان صورت گرفت.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه در شمال استان سیستان و بلوچستان از توابع شهرستان نیمروز و در حاشیه‌ی جنوبی دریاچه‌ی هامون و هم‌مرز با کشور افغانستان، با مختصات جغرافیایی $30^{\circ} 30' - 61^{\circ} 50'$ طول شرقی و $31^{\circ} 20' - 30^{\circ} 40'$ عرض شمالی و در ارتفاع حدود ۴۸۰ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱). این منطقه عمدتاً مسطح، هموار و فاقد پستی و بلندی و عارضه‌ی طبیعی است. میزان بارندگی منطقه بر اساس آمارهای هواشناسی قبل از دهه‌ی ۶۰، حدود ۵۰ میلی‌متر گزارش شد، ولی بر اساس آمارهای بعد سه دهه‌ی اخیر، این میزان به حدود ۲۰ میلی‌متر کاهش یافت و در سال آبی ۹۶-۹۷ از حدود ۵ میلی‌متر نیز تجاوز نکرد. یکی از ویژگی‌های منطقه‌ی سیستان، وزش بادهای ۱۲۰ روزه است که در برخی از اوقات سرعت آن به بیش از ۱۲۰ کیلومتر در ساعت نیز می‌رسد و با گرد و غبار زیادی همراه است. حیات در منطقه‌ی سیستان به آب ورودی از رودخانه‌ی هیرمند به طول ۱۲۰۰ کیلومتر وابسته است که از کوه‌های شمال کابل سرچشمه می‌گیرد. هامون، بزرگ‌ترین دریاچه‌ی آب شیرین فلات ایران محسوب می‌شد، ولی به دلیل کاهش نزولات جوی و تغییرپذیری بالای آن از سویی و درجه حرارت بالا، تبخیر و تعریق شدید و در نتیجه نیاز آبی بالا، باعث تغییر چهره‌ی منطقه به بیابانی شده است. کمبود آب، فقدان موانع طبیعی، پوشش گیاهی ضعیف و شیب ملایم، سبب شده دشت سیستان به یکی از کانون‌های بحرانی ایران و حتی دنیا تبدیل شود. این محدوده از کشور، تبخیر و تعرقی حدود ۵ متر دارد که ۳ متر آن در ماه‌های بحرانی (خرداد، تیر و مرداد) صورت می‌گیرد و مهم‌ترین عامل در محدودیت استقرار پوشش گیاهی منطقه است (Jahantigh, 2015)؛ از این رو، رطوبت نسبی منطقه در حد پایینی قرار دارد. علاوه بر آن، ساعاتی آفتابی آن زیاد است؛ به طوری که متوسط ساعات آن به حدود ۱۲ ساعت در روز می‌رسد. با توجه به اینکه حدود ۲۸/۱، ۵۰/۲ و ۲۱/۷ درصد منطقه‌ی سیستان را به ترتیب مناطق غیر بیابانی، بیابانی و نیمه بیابانی در بر گرفته است، بخش عمده‌ای از پوشش گیاهی آن را انواع گیاهان شورپسند تشکیل می‌دهد (Jahantigh, 2015).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

۳- مواد و روش

از آنجا که هدف از اجرای این پژوهش، بررسی تغییرات پهنه‌های در معرض فرسایش بادی در سال‌های پر آبی، نرمال و کم آبی است، در ابتدا به بررسی دوره‌های خشکسالی و ترسالی در طول دوره آماری ۲۹ سال (۱۳۷۰-۱۳۹۹) پرداخته شد. بدین منظور با استفاده از آمار دبی اولین ایستگاه هیدرومتری (ایستگاه کهک)، به آنالیز دوره‌های خشکسالی و ترسالی و تعیین سال‌های کم آبی، نرمال و پرآبی در طی دوره آماری مورد مطالعه پرداخته شد. در ابتدا با تبدیل داده‌ها به سری زمانی، گراف دبی روزانه برای طول دوره آماری مورد مطالعه ترسیم شد. در ادامه با اجرای کدهای برنامه‌نویسی پکیج هیدروست^۱ در محیط نرم‌افزار Rstudio 3.4.3، تغییرات جریان روزانه (daily.cv) و سالانه (ann.cv) برای داده‌های ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه تعیین شد. همچنین طول دوره‌های بیشتر و کمتر از آستانه^۲، کمترین و بیشترین دوره‌ی زمانی^۳ که یک سیل مشخص یا آستانه طول می‌کشد، جریان‌های سیلابی بالاتر از جریان آستانه^۴ و تغییرات فصلی جریان‌های سیلابی^۵ در طی دوره آماری نیز بررسی شد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست و مودیس مربوط به سال‌های پرآبی، نرمال و کم آبی در طی دوره آماری، وضعیت پوشش گیاهی و پهنه‌های در معرض فرسایش بادی در منطقه‌ی سیستان بررسی شد. با توجه به اینکه بررسی تغییرات پهنه‌های در معرض فرسایش بادی در منطقه‌ی مورد مطالعه نیازمند تهیه سری زمانی داده‌های سنجش ازدور با قدرت تفکیک مکانی (۳۰ متر) و زمانی

^۱ Hydrotest

^۲ High.spell and low.spel

^۳ High.spell.lengths and low.spell.lengths

^۴ Partial.series

^۵ Seasonality

بالاست، در این تحقیق در ابتدا با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی به ادغام داده‌های تصاویر ماهواره‌های با تفکیک مکانی و زمانی بالا پرداخته شد. در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ی لندست و مودیس مربوط به سال‌های ۱۳۸۰ (۲۰۰۱)، ۱۳۸۷ (۲۰۰۸) و ۱۳۹۸ (۲۰۱۹) به ترتیب برای سال‌های کم آبی، نرمال و پرآبی استفاده شد.

الف - ریزمقیاس نمایی تصاویر

از جمله روش‌های مناسب برای ریزمقیاس نمایی، مدل ESTARFM^۱ است که در مناطق با تنوع کاربری زیاد و متفاوت، در مقایسه با سایر مدل‌های ریزمقیاس نمایی عملکرد بهتری دارد که در مطالعات صورت گرفته توسط Gao و همکاران (۲۰۱۵)، Fu و همکاران (۲۰۱۳) و Emelyanova و همکاران (۲۰۱۳)، به دقت مناسب این مدل در ریزمقیاس نمایی تصاویر مادیس با استفاده از تصاویر لندست در مقایسه با سایر روش‌های موجود، به خصوص در مناطق ناهمگن اقرار شده‌است.

ب - مدل ESTARFM

مدل ESTARFM، نسخه‌ی توسعه‌یافته‌ی STARFM برای استفاده در مناطق ناهمگن است. اساس این مدل بر این فرض استوار است که بین تصاویر سنجنده‌های مختلف در یک زمان معین، همبستگی وجود دارد و از این همبستگی برای ریزمقیاس نمایی تصاویر و حداقل کردن خطاهای سیستمی ناشی از تفاوت دو سنجنده‌ی به کار رفته استفاده می‌شود (Zhu et al, 2010). این همبستگی و ریزمقیاس نمایی، فقط برای باندهای طیفی با محدوده طیفی مشابه در دو سنجنده امکان‌پذیر است. این مدل برای دو حالت مختلف پیکسل‌های همگن و ناهمگن، شرایط مختلفی را در نظر می‌گیرد. در یک محدوده‌ی همگن، می‌توان فرض کرد که میزان بازتابندگی بین پیکسل مادیس و پیکسل‌های لندست متناظر با آن در یک زمان، شباهت بسیار بالایی دارند و تفاوت موجود فقط از تفاوت‌های سیستمی سنجنده‌ها ناشی می‌شود؛ در این صورت، بازتابندگی لندست به صورت معادله‌ی خطی از بازتابندگی پیکسل متناظر مادیس نوشته می‌شود. در رابطه‌ی شماره‌ی ۱ در زیر، معادله‌ی برآورد مقادیر بازتابندگی بین تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده‌است.

رابطه‌ی ۱

$$L(x, y, T_p, B) = L(x, y, T_o, B) + \alpha (M(x, y, T_p, B) - M(x, y, T_o, B))$$

$L(x, y, T_p, B)$ و $L(x, y, T_o, B)$ بازتابندگی‌های لندست در پیکسل x, y و زمان‌های T_p و T_o و باند B ؛ $M(x, y, T_p, B)$ و $M(x, y, T_o, B)$ بازتابندگی‌های مادیس در پیکسل x, y و زمان‌های T_p و T_o باند B و ضرایب تبدیل و زمان p مربوط به تاریخ پیش‌بینی و زمان o تاریخ تصویر ورودی است. غالب پیکسل‌های ترکیبی از چند پوشش متفاوت روی زمین تشکیل شده‌است و به صورت پیکسل‌های ناهمگن و مختلط در تصویر وجود دارد؛ از این رو در حالت پیکسل مختلط، اگر بازتابندگی پیکسل را به صورت ترکیب خطی از بازتابندگی پوشش زمین‌های مختلف موجود در پیکسل - که با مساحت هر پوشش در پیکسل وزندهی شده باشند - فرض کنیم، می‌توان تغییرات بازتابندگی بین دو تاریخ متفاوت را تابعی از مجموع وزندهی شده‌ی تغییرات هر پوشش در پیکسل در نظر گرفت. در

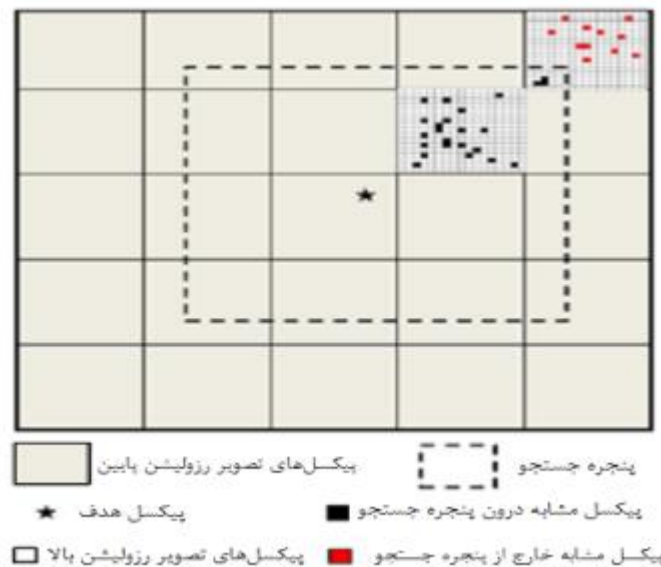
¹ Enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model

این حالت، بازتابندگی لندست به صورت تابعی خطی از مجموع وزن‌دهی شده‌ی تغییرات هر پوشش در پیکسل مادیس ضرب در میزان بازتابندگی متناظر آن خواهد بود (Gao et al, 2015). در تعیین پیکسل‌های همسایه‌ی مشابه نیز با استفاده از یک پنجره‌ی متحرک با اندازه‌ی w می‌توان پیکسل‌های مشابه را یافت که در این صورت، رابطه‌ی بین بازتابندگی لندست و مادیس مطابق معادله‌ی زیر (رابطه‌ی ۲) است:

رابطه‌ی ۲

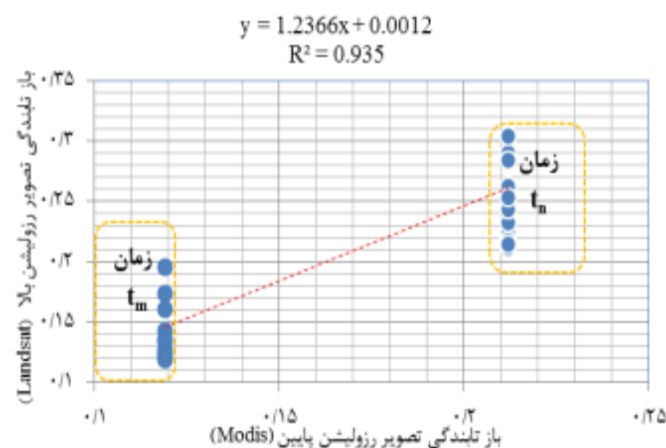
$$L(\chi_{w/2}, y_{w/2}, T_p, B) = L(\chi_{w/2}, y_{w/2}, T_o, B) + \sum_{i=1}^N W_i \times \mathcal{Q}_i \times (M(\chi_i, y_i, T_p, B) - M(\chi_i, y_i, T_o, B))$$

که در رابطه‌ی بالا N تعداد پیکسل‌های مشابه در پنجره‌ی متحرک شامل خود پیکسل مرکزی (هدف) با مختصات، W_i وزن i امین پیکسل مشابه و $\mathcal{Q}_i$ ضریب تبدیل i امین پیکسل مشابه است. اندازه‌ی پنجره‌ی متحرک برای جست‌وجوی پیکسل‌های مشابه براساس همگنی منطقه، به صورت اندازه‌ی کوچک‌تر برای مناطق همگن و بزرگ‌تر برای مناطق ناهمگن تعیین می‌شود. در این تحقیق، اندازه‌ی پنجره‌ی متحرک به صورت پیش‌فرض و برابر با ۲۵ در نظر گرفته شد. به منظور تعیین ضرایب رابطه‌ی ۲ و تعیین بازتابندگی پیکسل تصویر پیش‌بینی شده در مدل ESTARFM، از دو زوج تصویر استفاده شد؛ تصویر لندست و مادیس مربوط به دو زمان متفاوت و یک تصویر مادیس برای زمانی که قرار است تصویر لندست شبیه‌سازی شود. در ابتدا به منظور تطابق مکانی و بازتابندگی سطحی تولیدشده از تصاویر، پیش‌پردازش‌های لازم از قبیل تصحیحات هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر لندست و مادیس انجام شد. در ادامه طی فرآیند باز نمونه‌گیری مجدد، اندازه پیکسل‌های تصاویر مادیس به اندازه پیکسل لندست (۳۰ متر) تبدیل شد. سپس دو تصویر لندست زمان اول و دوم با روش‌های نظارت‌نشده‌ی طبقه‌بندی و با استفاده از یک پنجره‌ی متحرک پیکسل‌های مشابه پیکسل مرکزی پنجره‌ی متحرک تعیین شد. برای اینکه یک پیکسل، مشابه پیکسل مرکزی باشد باید قدرمطلق اختلاف آن با پیکسل مرکزی در هر باند طیفی، کمتر از دو برابر انحراف معیار آن باند تقسیم بر تعداد کلاس‌های مورد مطالعه – در این تحقیق تعداد کلاس‌ها برابر با ۸ کلاس است – یا مساوی با آن باشد. پیکسل‌هایی که در تمامی باند این شرط را داشته باشند، به عنوان پیکسل مشابه در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه برای هر پیکسل، تعدادی پیکسل مشابه وجود دارد که با توجه به فاصله‌ی آنها از پیکسل مرکزی و میزان همبستگی آنها با این پیکسل، بین صفر و ۱ وزن‌دهی می‌شود. شکل شماتیک تعیین پیکسل‌های مشابه با استفاده از یک پنجره‌ی متحرک، در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲: تعیین پیکسل‌های مشابه با استفاده از یک پنجره‌ی متحرک (Gao و همکاران، ۲۰۱۵).

برای به دست آوردن ضرایب تبدیل نیز از رگرسیون پیکسل‌های مشابه استفاده شد و بازتابندگی پیکسل لندست مرکزی در زمان پیش‌بینی، از طریق وزن‌دهی زمانی بازتابندگی دو پیکسل لندست قبل و بعد برآورد شد (Gao et al, ۲۰۱۵). در شکل ۳، نمایی از مدل رگرسیونی خطی برآورد شده برای تعیین ضریب تبدیل پیکسل‌های مشابه، نمایش داده شده است.



شکل ۳: مدل رگرسیونی خطی پیکسل‌های مشابه توان تفکیک بالا، داخل پیکسل توان تفکیک پایین

در این تحقیق به دلیل فقدان تصاویر با ابرناکی کمتر از ۵ درصد در طی بازه زمانی تغییرات پوشش گیاهی و نوسان جریان‌های سیلابی طی سال‌های کم‌آبی، نرمال و پرآبی، از تصاویر با اختلاف زمانی ۱۵ و ۱۸ روز استفاده شد. ذکر این امر لازم است که در مطالعات صورت گرفته توسط Gao و همکاران (۲۰۰۶)، Gao و همکاران (۲۰۱۵) و Alizadeh و همکاران (۲۰۱۹)، این اختلاف زمانی به مدت ۱۶ روز در نظر گرفته شده است که با اختلاف زمانی در نظر گرفته شده در این تحقیق نسبتاً مشابه است. به منظور اعتبارسنجی دقت تصاویر شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل ESTARFM، این تصاویر با تصاویر واقعی لندست با به کارگیری سنج‌های آماری مانند ضریب تعیین (R^2) و مجذور مربعات میانگین خطا (RMSE) ارزیابی شد.

ج - پایش تغییرات پهنه‌های در معرض فرسایش بادی

در ادامه برای بررسی وضعیت پهنه‌های در معرض فرسایش بادی طی سال‌های مورد مطالعه (۱۳۸۰-۱۳۹۸)، به طبقه‌بندی تصاویر شبیه‌سازی شده پرداخته شد. بدین منظور برای طبقه‌بندی تصاویر، از روش طبقه‌بندی نظارت شده و یک سری نمونه‌های آموزشی تعلیمی بر اساس روش حداکثر احتمال استفاده شد (Hasheminasab and jafari, 2018 & Moradi et al, 2008 & Ghafari et al, 2018). در تعیین نمونه‌های تعلیمی، از نقاط برداشت شده طی عملیات میدانی برای شرایط کنونی منطقه (تصویر سال ۱۳۹۸) و از نقشه‌های موضوعی و تفسیر چشمی با بهره‌گیری از تجارب کارشناسان برای شرایط گذشته (سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۰) با پراکنش مناسب در سطح تصاویر استفاده شد. برای تعیین نمونه‌ها نیز از ابزار ROI در نرم‌افزار ENVI استفاده شد. به منظور بررسی تغییرات پهنه‌های فرسایش بادی طی سال‌های کم آبی، نرمال و پر آبی با توجه به زمان اخذ تصاویر مربوط به دوره‌ی پر آبی (سال ۱۳۹۸)، همزمان طی عملیات میدانی به بررسی پهنه‌های فرسایشی در شهرستان نیمروز سیستان پرداخته شد. به منظور تعیین عرصه‌های مربوط به پهنه‌های فرسایشی طی عملیات میدانی، از منطقه‌ی بازدید و اراضی فرسایش یافته به عنوان نمونه‌های تعلیمی برای تعیین پهنه‌های فرسایشی استفاده شد؛ بدین منظور، در ابتدا در هر یک از مناطق فرسایش یافته براساس ابعاد پیکسل تصویر ماهواره‌ای و رابطه‌ی ۳، حداقل سطح نمونه‌برداری محاسبه شد:

$$A = [P \times (1 + 2L)]^2 \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

که در این رابطه مقادیر P ، L و A ابعاد پیکسل تصویر ماهواره‌ای، میزان خطای تصحیح هندسی (بر حسب پیکسل) و حداقل سطح نمونه‌برداری است. از آنجایی که در این تحقیق از تصویر پیش‌بینی شده با استفاده از مدل ESTRFM با ابعاد پیکسل 30×30 متر مربع استفاده شد؛ از این رو برای اطمینان بیشتر، در هر یک از اراضی مورد بررسی مناطقی به مساحت 7850 متر مربع برای نمونه‌برداری در نظر گرفته شد. در ادامه، نقشه‌ی وکتوری به شعاع 100 متری از نقاط نمونه‌برداری تهیه و به میانگین گرفتن از ارزش پیکسل‌های مناطق مورد مطالعه پرداخته شد. با توجه به اینکه در مناطق دارای سطح وسیع، برخی از کاربری‌ها و پوشش اراضی بازتاب نسبتاً مشابهی دارند؛ بنابراین، با بررسی پهنه‌های فرسایشی در هر یک از کاربری‌ها با در نظر گرفتن نقشه‌ی کاربری اراضی ارائه شده از سوی سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور در سال 1384 ، محدوده‌ی هر یک از کاربری‌ها با دستور ماسک باینری جدا و با اجرای عملیات میانگین‌گیری و طبقه‌بندی، لایه‌ی پهنه‌های فرسایشی به تفکیک کاربری‌ها تهیه شد. در ادامه، با یکپارچه‌سازی لایه‌های به دست آمده از هر یک از کاربری‌ها، نقشه‌ی پهنه‌های فرسایشی برای هر یک از سال‌های مورد مطالعه تهیه و با استفاده از ابزارهای تلفیق، بر روی نقشه‌ی کاربری اراضی مربوط به هر یک از سال‌های مورد مطالعه قرار داده شد.

به منظور ارزیابی صحت طبقه‌بندی صورت گرفته، ضریب کاپا برای هر یک از تصاویر مورد استفاده براساس معادله‌ی ۴ برآورد شد (Heidarizadi and Mohamadi, 2016).

$$Kappa = \frac{po - pc}{1 - pc} * 100 \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

که در این معادله p_0 درستی مشاهده شده و p_c توافق مورد انتظار است. با طبقه‌بندی تصاویر و تهیه نقشه‌ی کاربری اراضی به منظور تعیین آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی، از تابع cross tab در محیط Idrisi Selva استفاده شد. همچنین مساحت هر یک از کاربری‌ها با توجه به تقسیمات سیاسی کشور برای منطقه‌ی مورد مطالعه، با تبدیل نقشه‌های رستری به فرمت Shapefile در محیط GIS10.3 برآورد شد.

۴- یافته‌ها

به‌منظور بررسی سال‌های پربابی در طی دوره‌ی مورد مطالعه، در ابتدا براساس دستور (high.spell.lengths) مقدار آستانه برای ایستگاه مورد مطالعه براساس دهک ۰/۹ محاسبه، سپس آماره‌های مربوط به دبی‌های بیش از آن و آماره‌های زمانی هر کدام از رخدادها برآورد شد (جدول ۱). براساس نتایج به دست آمده، مقدار آستانه برای ایستگاه کهک برابر با ۱۵۷ متر مکعب بر ثانیه و تعداد رخدادهای بالاتر از آستانه (n.events) برابر با ۹۸ رخداد است. حداقل، میانگین، میانه و حداکثر تداوم بین رخدادهای بالاتر از آستانه به‌ترتیب برابر با ۲، ۱۷، ۱۴ و ۲۵ روز است. همچنین میانگین حجم^۱، دبی اوج^۲ و انحراف معیار^۳ (sd.spell.peak) دبی‌های بالاتر از آستانه نیز به‌ترتیب برابر با ۱۱۳۸/۴۶۲، ۹۵/۵۷ و ۱۰۳/۴۳ میلیون متر مکعب است. در شکل ۴، طول دوره‌هایی ارائه شده‌است که دبی بیش از مقدار آستانه دارد. با تعیین مقادیر آستانه بر اساس دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ ساله، یافته‌ها بیانگر آن است که میانگین بیشترین حجم سیلاب‌های جاری شده متناظر با دوره بازگشت‌های ۵ و ۱۰ ساله، به‌ترتیب ۲۱۳۰/۳ و ۱۶۴۰ میلیون متر مکعب است که به‌ترتیب در ۶ و ۳ رخداد شکل گرفته‌است (جدول ۱). با ترسیم گراف دبی روزانه‌ی ایستگاه کهک برای کل دوره آماری با خط آستانه دبی متناظر با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ سال نیز یافته‌ها بیانگر آن است که بیشترین سیلاب‌ها در طی سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۷۱ و ۱۳۹۸ روی داده‌است (شکل ۵). در بررسی کل دوره‌های زمانی (برحسب روز) با دبی بالاتر از حد آستانه در طول دوره آماری مورد مطالعه (براساس دستور high.spell.lengths)، یافته‌ها بیانگر آن است که بیشترین دوره‌ی زمانی وقوع سیلاب با دبی بالاتر از حد آستانه (high.spell.threshold = 157.18) طی سال‌های مورد مطالعه برابر با ۹۳ روز با میانگین دبی ۵۷۰/۳۴ متر مکعب بر ثانیه و مربوط به سال ۱۳۷۰ است و در رتبه‌ی بعدی با فراوانی ۹۰ روز و با میانگین ۳۴۰ متر مکعب، به سال ۱۳۹۸ بازمی‌گردد (جدول ۳ و ۲). بر این اساس با توجه به نتایج به دست آمده از این بخش، بیشترین حجم جریان‌های سیلابی بالاتر از حد آستانه به سال ۱۳۷۰ بازمی‌گردد (ذکر این امر لازم است که با توجه به طولانی بودن نتایج، فقط بیشترین دوره‌های آماره در طول دوره‌ی ۲۹ ساله ارائه شده‌است).

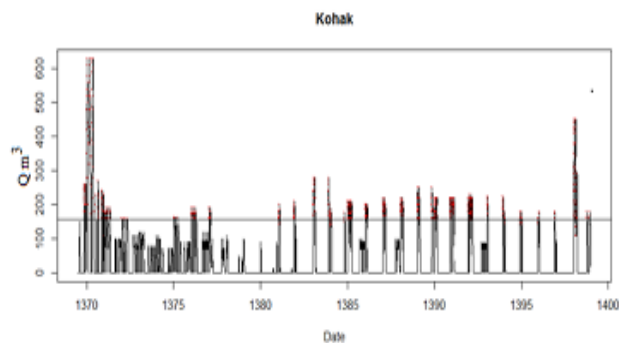
¹ Avg.spell.volume

² Aavg.spell.peak

³ Sd.spell.peak

جدول ۱: نتایج مقادیر برآوردی دستور high.spells در دوره آماری مورد مطالعه

آماره	مقادیر برآوردی	آماره	مقادیر برآوردی
high.spell.threshold	۱۵۷/۱۸	sd.spell.peak	۱۰۳/۴۳۶
n.events	۹۸	avg.rise	۲۵/۵۶۳
spell.freq	۲/۲۴۳	avg.fall	۲۰/۱۵۱
Ari	۰/۴۴۸	avg.max.ann	۱۰۴/۷۴۳
min.high.spell.duration	۲	cv.max.ann	۵۲/۲۴
avg.high.spell.duration	۱۷/۳۳۱	flood.skewness	۵/۸۹۱
med.high.spell.duration	۱۴	ann.max.timing	۲۵
max.high.spell.duration	۲۵	ann.max.timing.sd	۲۵
avg.spell.volume	۱۱۳۸/۴۶۲	ann.max.min.dur	۱
avg.spell.peak	۹۵/۵۷۰	ann.max.avg.dur	۲/۲۶

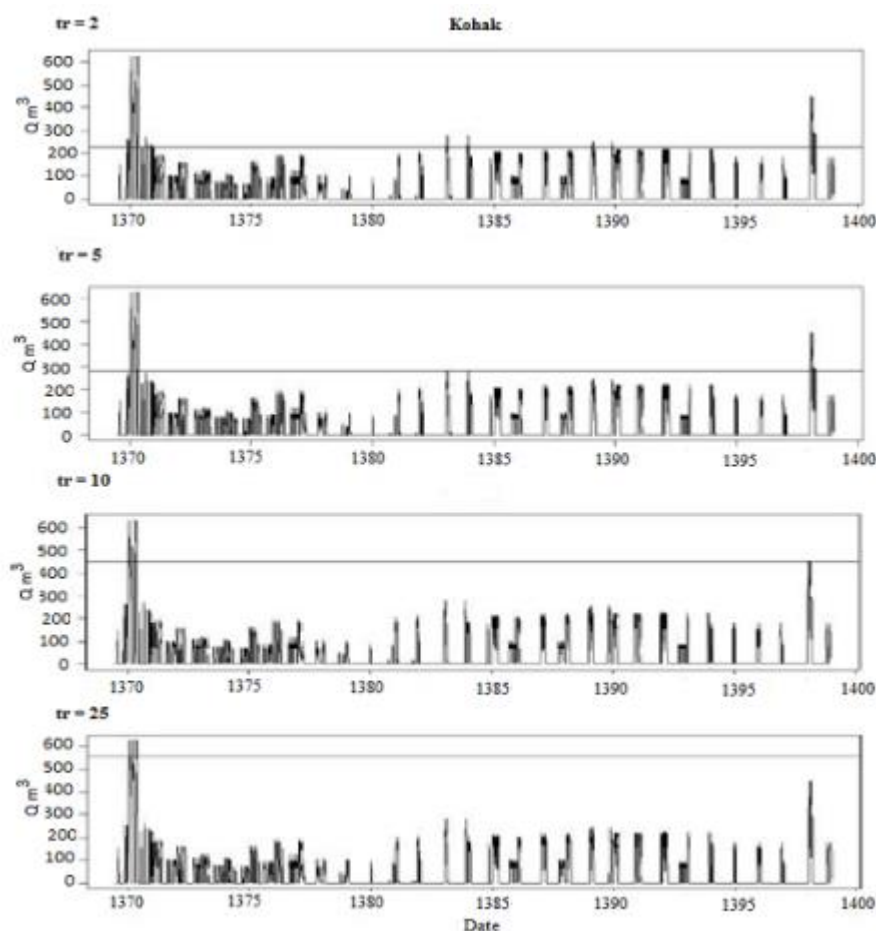


شکل ۴: نمودار دبی روزانه‌ی طول دوره آماری ایستگاه کهک و دبی‌های بالاتر از آستانه

جدول ۲: نتایج مقادیر برآوردی دستور partial.series در دوره آماری مورد مطالعه

med.spell.volume	max.duration	avg.duration	flow.threshold	n.events	no.years	Tr
۹۰	۳۶	۱۰/۷۳۸۴۶۲	۲۳۰	۱۵	۲۹	۲
۲۱۳۰	۳۶	۱۵/۸۸	۲۸۰	۶	۲۹	۵
۱۶۴۰	۲۶	۱۳/۴	۴۵۰	۳	۲۹	۱۰
۳۷۵	۱۱	۷/۵	۵۶۰	۲	۲۹	۲۵
NA	NA	NA	NA	NA	۲۹	۵۰*

* (برای دوره بازگشت ۵۰ ساله نتایجی به دست نیامد).



شکل ۵: نمودار دبی روزانه ایستگاه کهک برای دوره آماری با خط آستانه دبی متناظر با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ ساله

جدول ۳: نتایج مقادیر برآوردی دستور (high.spell.lengths) و بیشترین دوره‌های زمانی (برحسب روز) با دبی بالاتر از حد آستانه در طی دوره

آماري مورد مطالعه

کهک

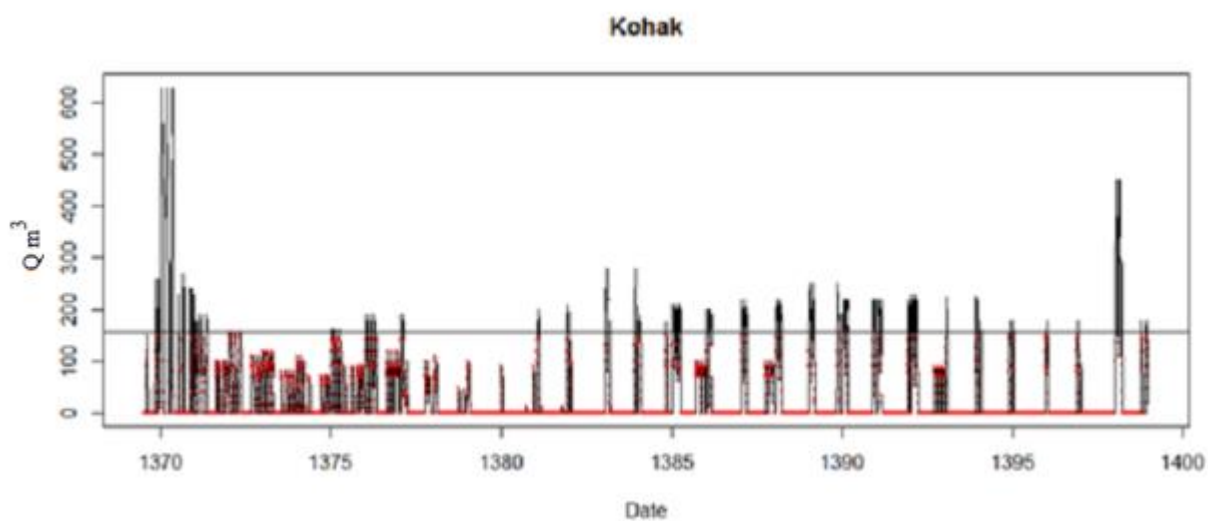
	years	high.spell.lengths	Mean discharge (m^3)
۱	۱۳۶۹	۹۰	۳۲۰
۲	۱۳۷۰	۹۳	۵۷۰
۳	۱۳۹۸	۹۰	۳۴۰

الف - تعیین سال کم آبی

در بررسی سال‌های کم آبی نیز با اجرای دستور low.spells یافته‌ها نشان داد که حداقل، میانگین، میانه و حداکثر تداوم بین رخداد‌های کمتر از حد آستانه به ترتیب برابر با ۱، ۱۲۰، ۴۹/۵ و ۱۴۲۹ روز است. همچنین میانگین حجم دبی‌های کمتر از آستانه نیز برابر با ۱۸۰/۳ میلیون مترمکعب است (جدول ۴ و شکل ۶).

جدول ۴: نتایج مقادیر برآوردی دستور low.spells در طی دوره آماری مورد مطالعه

مقادیر عددی	آماره	مقادیر عددی	آماره
۴۸/۹۵	cv.max.ann	۱۵۷	low.spell.threshold
۱۷۷	ann.min.timing	۱	min. low.spell.duration
۵۳	ann. min.timing.sd	۱۲۰/۸۲	avg. low.spell.duration
۴	ann. min.min.dur	۴۹/۵	med. low.spell.duration
۱۲۷/۱۳	ann. min.avg.dur	۱۴۲۹	max. low.spell.duration
۲۶۴	ann. min.max.dur	۶۷۳/۲۱۳	avg.spell.volume
۰/۰۱	avg.min.ann		



شکل ۶: نمودار دبی روزانه‌ی طول دوره آماری ایستگاه کهک و دبی‌های کمتر از آستانه

در بررسی کل دوره‌های زمانی (برحسب روز) با دبی کمتر از حد آستانه در طول دوره آماری مورد مطالعه (براساس دستور low.spell.lengths)، یافته‌ها بیانگر آن است که بیشترین دوره‌ی زمانی وقوع سیلاب‌های با دبی کمتر از حد آستانه ($high.spell.threshold = 157$) برابر با ۳۵۵ روز با میانگین دبی ۴/۸ متر مکعب بر ثانیه است که به سال ۱۳۸۰ بازمی‌گردد (جدول ۵).

جدول ۵: نتایج مقادیر برآوردی دستور low.spell.lengths و طول حداکثر دوره‌های زمانی با وقوع جریان‌های کمتر از آستانه در

طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه

کهنک			
سال	low.spell. lengths	Mean discharge	
۱	۱۳۷۴	۳۶۵	۴۳/۸
۲	۱۳۷۸	۳۶۵	۳۳/۲
۳	۱۳۷۹	۳۶۵	۷
۴	۱۳۸۰	۳۶۵	۴/۸
۵	۱۳۹۷	۳۵۵	۶/۲

ب - تعیین سال آبی نرمال

با تعیین دوره‌های زمانی وقوع جریان‌های سیلابی بالاتر و کمتر از حد آستانه در طی دوره آماری مورد مطالعه، یافته‌ها بیانگر آن است که حجم سیلاب‌های جاری شده در سال ۱۳۸۷ با وقوع سیلاب‌های با دبی بالاتر از حد آستانه به مدت ۶۰ روز با میانگین دبی ۲۱۱ مترمکعب بر ثانیه و وقوع سیلاب‌های با دبی کمتر از حد آستانه به مدت ۳۰۵ روز و میانگین دبی ۳۲ مترمکعب بر ثانیه، برابر با ۱۹۳۷/۲ میلیون متر مکعب است که حجم سیلابی‌های ورودی در این سال، حدوداً برابر با متوسط حجم سیلاب‌های ورودی (۱۹۰۴/۱۲) به منطقه‌ی سیستان در طی دوره آماری ۲۹ ساله است.

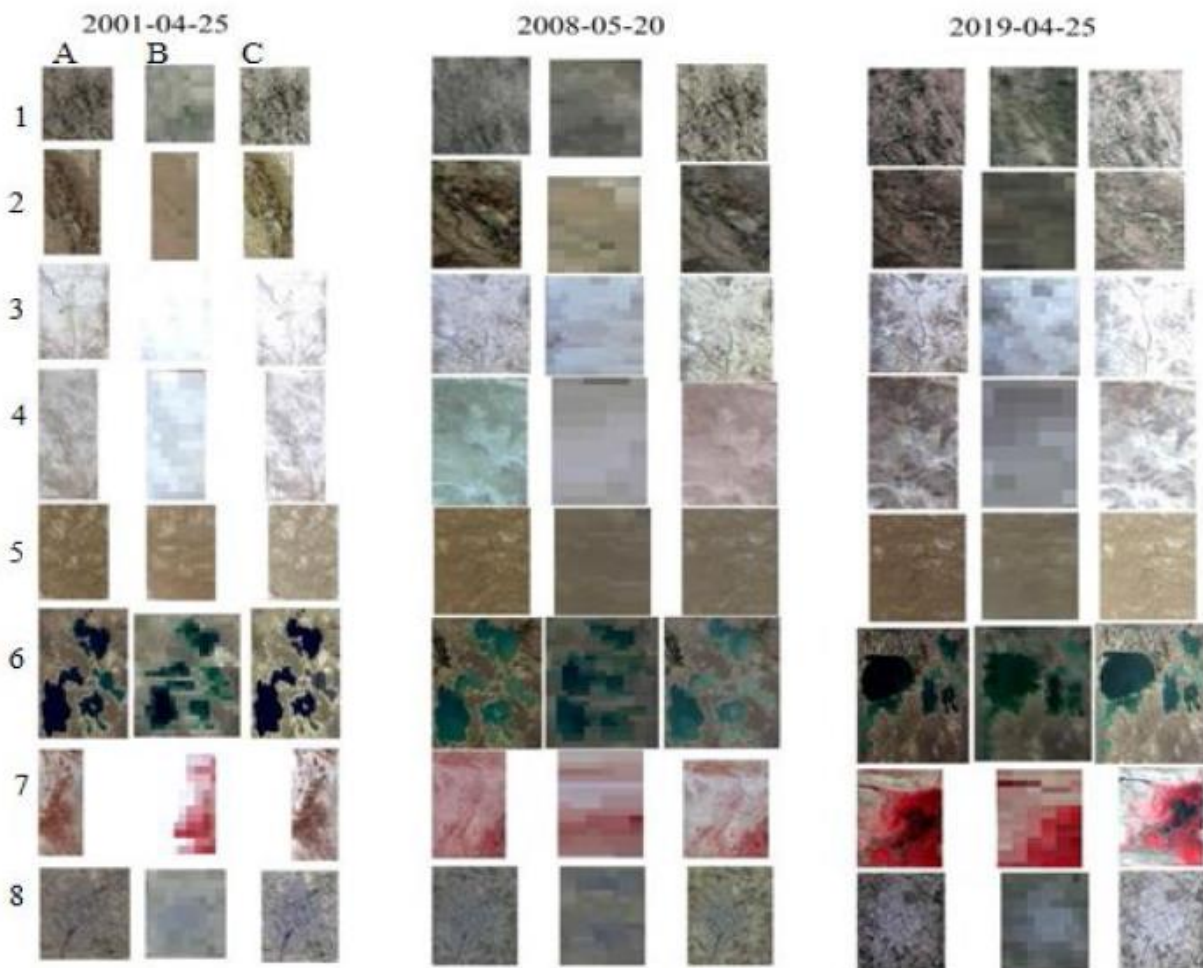
جدول ۶: آنالیز دوره‌های زمانی وقوع جریان‌های سیلابی بالاتر و کمتر از حد آستانه و مقایسه‌ی حجم سیلاب‌های ورودی طی دوره آماری مورد مطالعه

طول دوره‌های وقوع جریان‌های بالاتر و کمتر از حد آستانه در سال ۱۳۸۷				میانگین حجم	
طول دوره‌های زمانی با دبی بیش از حد		طول دوره‌های زمانی با دبی کمتر از حد آستانه		حجم سیلاب‌های	سیلاب‌های
آستانه (high.spell.lengths)		(low.spell. lengths)		ورودی در سال ۱۳۸۷	ورودی طی دوره
Mean discharge	high.spell.lengths	Mean discharge	lengths.low.spell	(برحسب میلیون مترمکعب)	آماري ۲۹ ساله (برحسب میلیون مترمکعب)
۲۱۱	۶۰	۳۲	۳۰۵	۱۹۳۷/۲	۱۹۰۴/۱۲

بر این اساس با توجه به نتایج به دست آمده بیشترین حجم سیلاب‌های ورودی به منطقه‌ی سیستان، مربوط به سال ۱۳۷۰ است و کمترین آن به سال ۱۳۸۰ بازمی‌گردد. حجم سیلاب‌های ورودی در سال ۱۳۸۷ نیز برابر با میانگین حجم سیلاب‌های جاری شده در طی دوره آماری مورد مطالعه است. اما با توجه به آرشو تصاویر ماهواره‌ای به منظور دریافت تصاویر ماهواره‌ای قابل دسترس، سال‌های ۱۳۹۸، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۰ به ترتیب به عنوان سال‌های پرآبی، نرمال و کم آبی در طی دوره آماری مورد مطالعه انتخاب شد. به منظور تعیین پایه زمانی مشترک با در نظر گرفتن تغییرات فصلی جریان‌های سیلابی ورودی به منطقه‌ی سیستان (بیشترین حجم سیلابی‌های ورودی در فصل بهار) و بیشترین تغییرات پوشش گیاهی با در نظر گرفتن مراحل فنولوژی و استقرار کامل پوشش گیاهی در منطقه‌ی سیستان، از تصاویر ماهواره‌ای از بازه زمانی فروردین و اردیبهشت استفاده شد.

ج - ریزمقیاس نمایی تصاویر

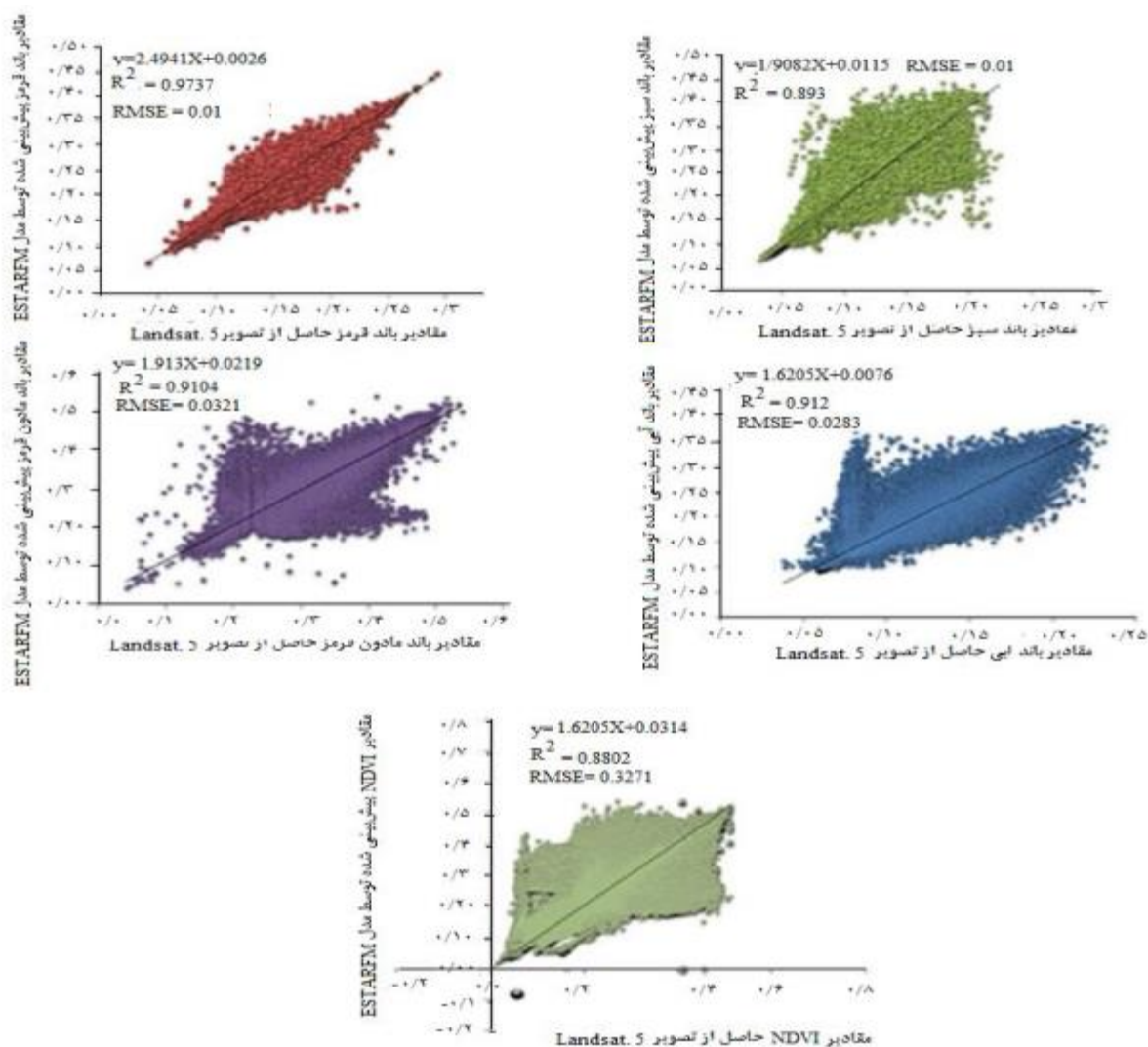
نتایج حاصل از تصاویر شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل ESTARFM و تصاویر اصلی لندست و مودیس در کلاس‌های مختلف طی سال‌های مورد مطالعه در شکل ۷ ارائه شده‌است. با مقایسه‌ی بصری تصاویر شبیه‌سازی شده در کلاس‌های مختلف پوشش زمین با تصاویر لندست و مودیس، این گونه استنباط می‌شود که تصاویر شبیه‌سازی شده توسط مدل ESTARFM در حفظ جزئیات مکانی در کاربری‌های مختلف دقت قابل قبولی نشان می‌دهد (Zhu et al, 2010).



شکل ۷: تصاویر پیش‌بینی شده با مدل ESTARFM لندست، B: تصاویر سنجنده‌ی MODIS، C اعداد ۱ تا ۸ به ترتیب مربوط به کاربری‌های کشاورزی (آبیاری با استفاده از چاهک)، کشاورزی سیلابی (آبیاری با استفاده از جریان‌های سیلابی)، اراضی بایر، پهنه‌های فرسایشی، تپه‌های ماسه‌ای، پهنه‌آبی، مرتع و مناطق مسکونی

در این تحقیق برای ارزیابی پیش‌بینی مدل ESTARFM، از دو پارامتر آماری همبستگی و مجذور میانگین مربعات خطا استفاده شد که نتایج در شکل ۸ و جدول ۷ ارائه شده‌است. برای محاسبه‌ی این پارامترها، مقایسه به صورت پیکسل به پیکسل به گونه‌ای انجام شد که از تمامی پیکسل‌های منطقه‌ی مورد مطالعه در محاسبه‌ی این پارامترهای آماری استفاده شد. براساس نتایج به دست آمده میزان همبستگی برای باندهای آبی، سبز، قرمز و فروسرخ نزدیک به ترتیب برابر با ۰/۹۱، ۰/۸۹، ۰/۹۷ و ۰/۹۱ و مجذور میانگین مربعات خطا نیز دارای مقادیر کم است که نتایج بررسی پارامترهای

آمار محاسبه شده برای تصاویر پیش‌بینی شده با استفاده از مدل ESTARFM، از دقت قابل‌پذیرش نتایج پیش‌بینی شده با این مدل حکایت دارد.



شکل ۸: نمودار مقایسه‌ی مقادیر بازتابانندگی باندهای طیفی و شاخص گیاهی تصویر لندست-۵ با مدل ESTARFM مربوط به سال ۱۳۸۰ (ردیف گذر ۳۸-۱۵۷)

جدول ۷: همبستگی و مجذور میانگین مربعات خطا برای ارزیابی باندهای پیش‌بینی شده با استفاده از مدل ESTARFM

تصاویر مورد مقایسه		ردیف - گذر	تاریخ	سنجه‌های آماری	باندهای طیفی و شاخص گیاهی مورد مقایسه				
					Red	Green	Blue	NIR	NDVI
Landsat-5	ESTARFM	۱۵۷-۳۸	۱۳۸۰/۲/۵	R	۰/۹۷۳	۰/۸۹۳	۰/۹۱۲	۰/۹۱۰۴	۰/۸۸۰۲
				RMSE	۰/۰۱	۰/۰۳۷	۰/۰۲۸	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲
Landsat-5	ESTARFM	۱۵۷-۳۹	۱۳۸۰/۲/۵	R	۰/۹۳۱	۰/۸۸۳	۰/۹۰۱	۰/۹۰۱۰	۰/۸۷۱
				RMSE	۰/۰۱	۰/۰۳۴	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱۲	۰/۰۳۴
Landsat-7	ESTARFM	۱۵۷-۳۸	۱۳۸۷/۲/۳۰	R	۰/۹۲۱	۰/۸۷۹	۰/۹۰۲	۰/۹۲۰۴	۰/۸۸۰۲
				RMSE	۰/۰۱	۰/۰۳۵۲	۰/۰۲۸۵	۰/۰۲۹۱	۰/۰۳۲۱
Landsat-7	ESTARFM	۱۵۷-۳۹	۱۳۸۷/۲/۳۰	R	۰/۹۲۱	۰/۸۹۱	۰/۹۱۱	۰/۹۰۱۰	۰/۸۹۰
				RMSE	۰/۰۱	۰/۰۲۹۱	۰/۰۲۳	۰/۰۲۸۲	۰/۰۳۶۲
Landsat-8	ESTARFM	۱۵۷-۳۸	۱۳۹۸/۲/۵	R	۰/۹۰۹	۰/۸۶۴	۰/۹۲۲	۰/۹۲۱	۰/۸۹۲
				RMSE	۰/۰۱	۰/۰۳۱۲	۰/۰۲۸	۰/۰۳۲	۰/۰۴۱۳
Landsat-8	ESTARFM	۱۵۷-۳۹	۱۳۹۸/۲/۵	R	۰/۹۰۱	۰/۸۷۱	۰/۹۱۳	۰/۹۰۱۰	۰/۸۸۹
				RMSE	۰/۰۱	۰/۰۲۷۴	۰/۰۲۸	۰/۰۳۱۵	۰/۰۳۷۲

د - بررسی تغییرات پهنه‌های فرسایشی

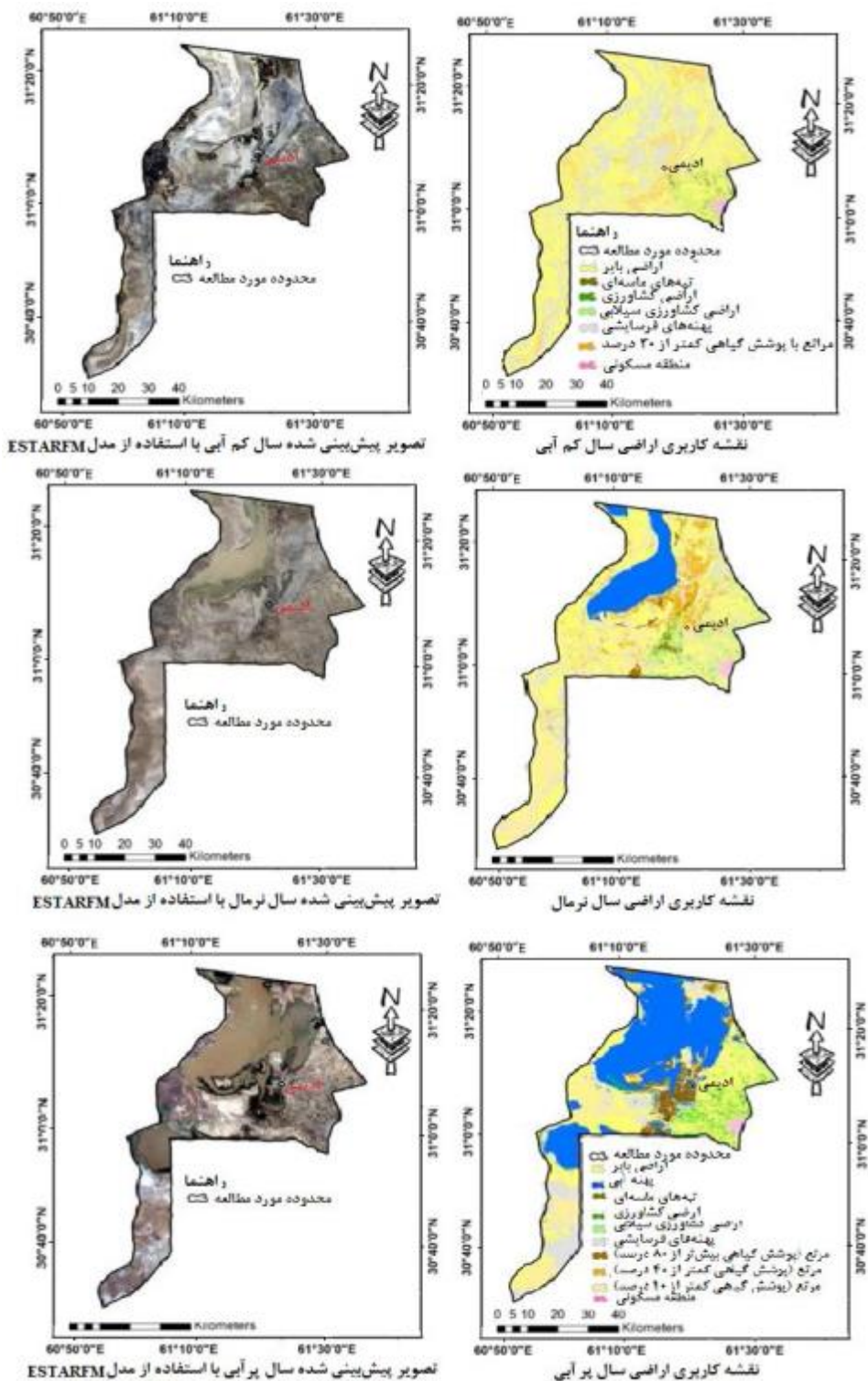
یافته‌های مربوط به مقادیر صحت کلی و ضریب کاپای حاصل از طبقه‌بندی تصاویر شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل ESTARFM برای سال‌های مورد مطالعه مطابق با جدول ۸ است. براساس نتایج به دست آمده، میزان صحت کلی تصاویر مورد مطالعه بیش از میزان ضریب کاپا برای هر یک از تصاویر است. همچنین با توجه به مقادیر ضرایب برآورد شده، یافته‌ها بیانگر آن است که تصاویر مورد استفاده با دقت قابل قبولی می‌تواند به تهیه نقشه‌ی کاربری اراضی مربوط به سال‌های کم آبی و نرمال و خشکسال پردازد و بین طبقه‌بندی صورت گرفته و انواع کاربری‌ها در هر یک از بازه‌های زمانی مورد مطالعه، تطابق قابل قبولی وجود دارد که در مطالعات صورت گرفته توسط Hashemi Dareh Badami و همکاران (۲۰۱۵) و Rahi و همکاران (۲۰۱۷) نیز دامنه‌ی تغییرات مقادیر این پارامترها مشابه با نتایج حاصل شده برای تهیه نقشه‌ی کاربری اراضی، قابل قبول گزارش شده است.

جدول ۸: صحت طبقه‌بندی تصاویر شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل ESTARFM طی بازه زمانی مورد مطالعه

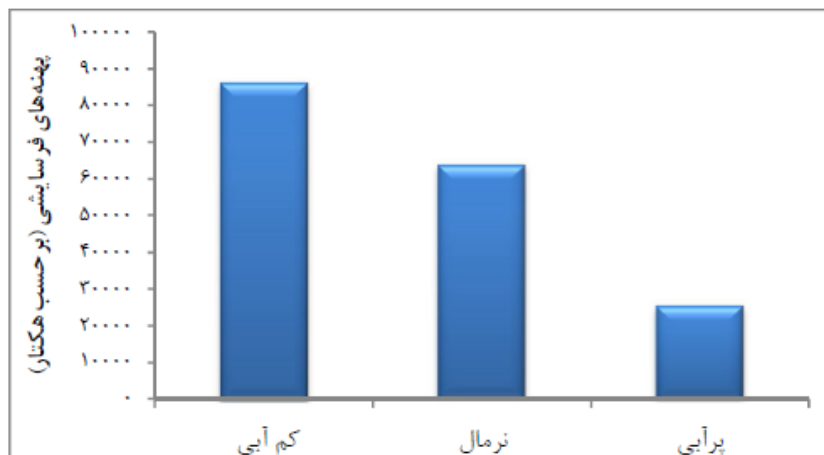
نام تصویر	دقت کلی	ضریب کاپا
تصویر شبیه‌سازی شده‌ی مدل ESTARFM سال کم آبی (۱۳۸۰)	۸۹/۶	۰/۸۷
تصویر شبیه‌سازی شده‌ی مدل ESTARFM سال نرمال (۱۳۸۷)	۹۳/۲	۰/۸۹
تصویر شبیه‌سازی شده‌ی سال مدل ESTARFM پر آبی (۱۳۹۸)	۹۴/۱	۰/۹۱

با توجه به صحت قابل قبول طبقه‌بندی تصاویر، نقشه‌ی کاربری اراضی مربوط به سال‌های مورد مطالعه مطابق با شکل ۹ است. در بررسی تغییرات پهنه‌های فرسایشی طی سال‌های مورد مطالعه، یافته‌ها بیانگر تغییرات محسوس این

اراضی در طی بازه زمانی مورد مطالعه است؛ به طوری که وسعت پهنه‌های فرسایشی در طی دوره‌ی کم آبی برابر با ۸۶۱۹۶/۰۸ هکتار و با کاهش به ترتیب ۲۵/۸ و ۷۰/۱۲ درصدی طی سال‌های نرمال و پرآبی، به ترتیب به ۶۳۹۳۵/۵ و ۲۵۷۵۵/۱۳ هکتار کاهش یافته‌است (شکل ۱۰).



شکل ۹: نقشه‌ی کاربری اراضی سال‌های کم آبی، نرمال و پرآبی



شکل ۱۰: تغییرات پهنه‌های فرسایشی طی سال‌های کم آبی، نرمال و پرآبی

با بررسی‌های میدانی به عمل آمده، پهنه‌های فرسایشی منطقه‌ی مورد مطالعه به طور عمده شامل اراضی بایر، شوره-زارها، اراضی مرتعی، اراضی کشاورزی - سیلابی و مناطق مسکونی رها شده است. در شکل ۱۱، نمایی از پهنه‌های فرسایشی در اراضی با کاربری‌های مختلف ارائه شده است.



شکل ۱۱: نمایی از پهنه‌های فرسایشی در منطقه‌ی مورد مطالعه

به منظور آشکارسازی تغییرات پهنه‌های فرسایشی نیز تغییرات این اراضی به سایر کاربری‌ها برای دو بازه زمانی مجزا تعیین شد که نتایج آن در جداول ۹ و ۱۰ ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده طی دوره‌ی کم آبی تا نرمال، بیشترین درصد تغییرات (۳۵/۸۴ درصد) مربوط به تبدیل اراضی بایر به پهنه‌های فرسایشی با مساحتی حدود ۳۲۷۰۸/۶۸ هکتار و در رتبه‌ی بعدی، مربوط به تبدیل پهنه‌های فرسایشی به اراضی مرتعی با پوشش گیاهی کمتر از ۱۰ درصد (۲۵/۲۴ درصد) است. همچنین نتایج بیانگر آن است که ۲۰۵۳۰/۲۱ هکتار از پهنه‌های فرسایشی طی دوره‌ی کم آبی تا نرمال بدون تغییر می‌باشد. در بررسی تغییرات پهنه‌های فرسایشی برای دوره‌ی کم آبی تا پرآبی، یافته‌ها بیانگر آن است که بیشترین درصد تغییرات به ترتیب برابر با ۲۵/۳۸ و ۲۵/۹۸ درصد و مربوط به تبدیل پهنه‌های فرسایشی به

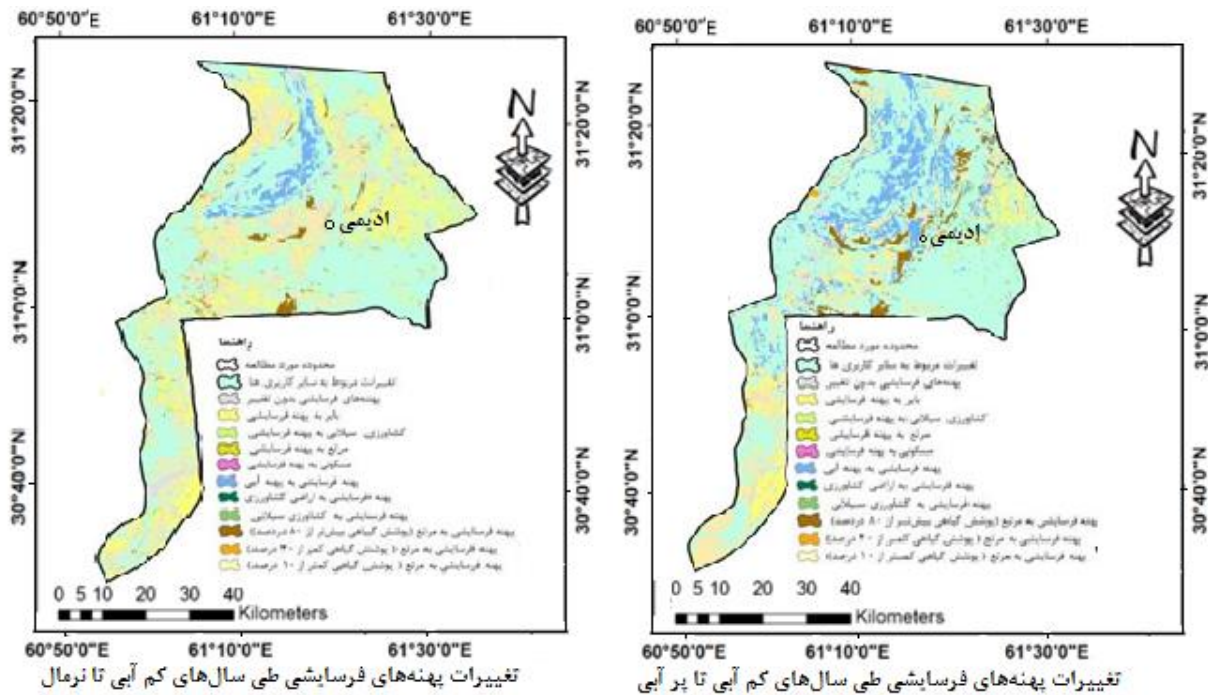
پهنه‌های آبی و مرتعی است. همچنین نتایج بیانگر آن است که وسعت پهنه‌های فرسایشی بدون تغییر در این بازه زمانی برابر با ۸۰۵۹/۳۶ هکتار است که نسبت به دوره‌ی کم آبی تا نرمال کاهش ۶۰ درصدی داشته‌است. شکل ۱۲، نقشه‌ی تغییرات پهنه‌های فرسایشی طی دوره‌های کم آبی تا نرمال و کم آبی تا پر آبی را نشان می‌دهد.

جدول ۹: مساحت تبدیل پهنه‌های فرسایشی به سایر کاربری‌ها طی سال‌های کم آبی تا نرمال

ردیف	تغییرات کاربری	مساحت (هکتار)	درصد تغییرات
۱	پهنه‌ی فرسایشی بدون تغییر	۲۰۵۳۰/۲۱	۲۱/۳۳
۲	بایر به پهنه‌ی فرسایشی	۳۲۷۰۸/۶۸	۳۵/۸۴
۳	کشاورزی به پهنه‌ی فرسایشی	۱۱۳۱	۱/۲۳
۴	کشاورزی سیلابی به پهنه‌ی فرسایشی	۱۶۷۷/۴۵	۱/۸۳
۵	مرتع به پهنه‌ی فرسایشی	۷۵۷۱/۴۶	۸/۲۹
۶	مناطق مسکونی به پهنه‌ی فرسایشی	۳۱۶/۶۹	۰/۳۴
۷	پهنه‌ی فرسایشی به مرتع (پوشش بیش از ۸۰ درصد)	۲۲۳۲	۲/۴۴
۸	پهنه‌ی فرسایشی به مرتع (پوشش کمتر از ۴۰ درصد)	۸۳۲۱/۶۳	۹/۱۱
۹	پهنه‌ی فرسایشی به مرتع (پوشش کمتر از ۱۰ درصد)	۲۲۱۳۴/۱۲	۲۴/۲۵
۱۰	پهنه‌ی فرسایشی به پهنه‌ی آبی	۷۰۶۵/۴۰	۷/۷۴
۱۱	پهنه‌ی فرسایشی به کشاورزی سیلابی	۸۷۰	۰/۹۵

جدول ۱۰: مساحت تغییرات پهنه‌های فرسایشی به سایر کاربری‌ها طی سال‌های کم آبی تا پر آبی

ردیف	تغییرات کاربری	مساحت (هکتار)	درصد تغییرات
۱	پهنه‌ی فرسایشی بدون تغییر	۸۰۵۹/۳۶	۸/۰۷
۲	بایر به پهنه‌ی فرسایشی	۱۳۴۴۷/۹۱	۱۳/۴۷۵
۳	کشاورزی به پهنه‌ی فرسایشی	۵۹۴	۰/۵۹۵
۴	کشاورزی سیلابی به پهنه‌ی فرسایشی	۳۷۳	۰/۲۹
۵	مرتع به پهنه‌های فرسایشی	۳۳۷۸/۵۴	۳/۳۹
۶	مناطق مسکونی به پهنه‌ی فرسایشی	۱۱۶/۶۹	۰/۱۱۶
۷	پهنه‌ی فرسایشی به مرتع (پوشش بیش از ۸۰ درصد)	۷۲۵۲	۷/۲۶۶
۸	پهنه‌ی فرسایشی به مرتع (پوشش کمتر از ۴۰ درصد)	۱۴۳۲۱/۸	۱۴/۳۵
۹	پهنه‌ی فرسایشی به مرتع (پوشش کمتر از ۱۰ درصد)	۲۵۳۳۱/۲۷	۲۵/۳۸
۱۰	پهنه‌ی فرسایشی به پهنه‌ی آبی	۲۵۹۲۸/۳۵	۲۵/۹۸
۱۱	پهنه‌ی فرسایشی به کشاورزی سیلابی	۱۲۱۰	۱/۲۱



شکل ۱۲: نقشه‌ی تغییرات پهنه‌های فرسایشی طی دوره‌های کم آبی - نرمال و کم آبی - پر آبی

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای اولین بار به پایش تغییرات پهنه‌های در معرض فرسایش در شهرستان نیمروز منطقه‌ی سیستان پرداخته شد که این امر با تهیه‌ی داده‌های سری زمانی و با استفاده از مدل ESTARFM طی سه دوره‌ی کم آبی، نرمال و پر آبی صورت گرفت.

با توجه به اینکه منطقه‌ی سیستان، شرایط آب و هوایی خشک دارد و میزان بارندگی آن کم است، جریان‌های سیلابی و رودی از کشور افغانستان تنها تأمین‌کننده‌ی نیاز آبی اکوسیستم‌های این منطقه است. با بررسی حجم سیلاب‌های و رودی طی دوره‌های کم آبی، نرمال و پر آبی، نتایج نشان داد که در میزان حجم سیلاب و رودی به منطقه‌ی سیستان طی دوره‌های مورد مطالعه نوسان‌های قابل توجهی وجود دارد. از آنجا که کاربری اراضی بیشتر متأثر از عوامل اقلیمی و هیدرولوژیکی، سپس توپوگرافی و عوامل زمین‌ساختی است؛ بنابراین، نوسان در شرایط هیدرولوژیکی نقش بارزی در تغییر کاربری اراضی ایفا می‌کند؛ به طوری که با طبقه‌بندی تصاویر سری زمانی و بررسی کاربری اراضی طی سال‌های مورد مطالعه، یافته‌ها نشان داد که طی دوره‌ی کم آبی، بیش از ۴۶ درصد منطقه‌ی مورد مطالعه را پهنه‌های فرسایشی تشکیل می‌دهد که به‌طور عمده دلیل آن تبدیل کاربری‌های بایر، بستر خشک‌شده‌ی تالاب هامون، مراتع (با پوشش کمتر از ۱۰ درصد) و اراضی کشاورزی سیلابی به این پهنه‌ها بوده‌است. سطح این اراضی نیز به‌طور عمده فاقد پوشش گیاهی یا دارای پوشش گیاهی فقیر است که همین امر، فرسایش و تخریب خاک را تحت‌تأثیر وزش بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان در پی دارد؛ چنان که در مطالعات صورت گرفته توسط Jahantigh and Jahantigh (۲۰۲۰)، فقدان عامل حفاظتی مناسب در سطح اراضی به دلیل فقر پوشش گیاهی متأثر از وقوع خشکسالی‌های متناوب در منطقه‌ی سیستان و وزش بادهای با فراوانی بیش از ۱۶۰/۳ روز در سال با قدرت فرساینده‌ی

بالا، از جمله عوامل مؤثر بر گسترش پهنه‌های فرسایشی و ایجاد طوفان‌های شنی و پدیده‌ی گرد و غبار در سطح منطقه-ی سیستان گزارش شده‌است.

تغییرات پهنه‌های فرسایشی طی سال‌های نرمال و پر آبی نیز نشان داد که وسعت این عرصه‌ها، با کاهش به‌ترتیب ۲۵/۸ و ۷۰/۱۲ درصدی مساحت پهنه‌های فرسایشی در منطقه‌ی مورد مطالعه همراه بوده‌است. همچنین بیشترین مساحت اراضی تغییر کاربری‌یافته، مربوط به تبدیل پهنه‌های فرسایشی به پهنه‌ی آبی و مراتع در منطقه‌ی مورد مطالعه است. با مقایسه‌ی تغییرات کاربری اراضی طی دوره‌های کم آبی، نرمال و پرآبی، یافته‌ها بیانگر آن است که تخریب اکوسیستم‌های وابسته به آب و بیابانی شدن آنها، به برهم خوردن تعادل زیست محیطی و چرخه‌ی طبیعی اکوسیستم‌های زمینی و محیط زیست در منطقه‌ی سیستان منجر می‌شود که در پی آن، پهنه‌های فرسایشی گسترش می‌یابد و با یافته‌های صورت گرفته توسط Akbari و همکاران (۲۰۱۶) و Hasheminasab and jafari (۲۰۱۸) مشابه است که معتقدند تأمین نشدن نیاز آبی اکوسیستم‌های وابسته به آب همچون اراضی کشاورزی، مرتعی و بایر، در گسترش مناطق بیابانی و پهنه‌های فرسایشی در مناطق خشک نقش به‌سزایی ایفا می‌کند. علاوه بر موارد فوق، عوامل انسانی نیز در گسترش پهنه‌های فرسایشی در منطقه‌ی سیستان نقش به‌سزایی دارد؛ به طوری که تخریب بستر تالاب هامون، چرای بیش از حد و تردد خودرو در بستر دریاچه‌ی هامون، به تخریب ساختمان خاک و در نتیجه گسترش پهنه‌های فرسایشی در این منطقه منجر شده‌است (Jahantigh, 2015).

در مجموع، با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تغییر در شرایط هیدرولوژیکی جریان‌های ورودی به منطقه‌ی سیستان در تغییر پوشش گیاهی و در پی آن پهنه‌های فرسایشی نقش بارزی دارد؛ از این رو، با توجه به تسریع سیر قهقرایی در این منطقه، یکی از رویکردهای اصلی برای مقابله با خشکسالی، ضمن مطالبه‌ی حق آبه منطقه‌ی سیستان از کشور افغانستان، مدیریت صحیح و بهره‌برداری اصولی از سیلابی-های ورودی و انتقال آب به کانون‌های بحرانی با عملیات پخش سیلاب در این منطقه است.

منابع

1. Alizadeh, M.; Mousivand, A.; & S. Sima, 2019. On the spatial and temporal performance of ESTARFM downscaling method for generating Landsat-like imagery, *Journal of Spatial Planning*, 23(4), 123-145. (In Persian)
2. Akbari, E.; Ebrahimi, M.; Nezhadsoleimani, H.; & B. Fiezizadeh, 2016. Evaluating land surface temperature related to the land use change detection by satellite image (case study: Taleghan Basin), *Geography and Environmental Planning*, 26(4), 151-170. (In Persian)
3. Baghaei Nejad, N.; Akbari, A.; & A. Beheshti galhezo, 2018. Land use monitoring to assess desertification using remote sensing, *Journal of Environmental Science and Technology*, (Articles in Press).
4. Burrell, A. L.; Evans, J. P.; & M. G. De Kauwe, 2020. Anthropogenic climate change has driven over 5 million km² of drylands towards desertification, *nature communications*, 4(25), 1-11.
5. Chen-Feng, Y.; Jinge, W.; Hsin-Fu, Y.; & L. Cheng-Haw, 2015. Sdi and markov chains for regional drought characteristics, *Journal of Sustainability*, 7(8), 10789-10808.
6. Deng, Z.; Zhu, X.; He, Q.; & L. Tang, 2019. Land use/land cover classification using time series Landsat 8 images in a heavily urbanized area, *Advances in Space Research*, 63(7), 51-56.

7. Emelyanova, I. V.; McVicar, T.; Thomas, G.; TaoLi, T.; Albert, I.; & J. M. van Dijk, 2013. Assessing the accuracy of blending Landsat-MODIS surface reflectance's in two landscapes with contrasting spatial and temporal dynamics: A framework for algorithm selection, *Remote Sensing of Environment*, 133, 193-209.
8. Farajzadeh Asl, M., & A. B. Hossiny., (2007). Analysis of Water Crisis in Nishabor Plain. *Journal of Spatial Planning*. 11(53), 215-238. (In Persian)
9. Feddema, J., 1998. Estimated impacts of soil degradation on the African water balance and climate, *Climate Research*, 10(2), 127-141.
10. Fu, D.; Chen, B.; Wang, J.; Zhu, X.; & T. Hilker, 2013. An improved image fusion approach based on enhanced spatial and temporal the adaptive reflectance fusion model, *Remote Sensing*, 5(12), 6346-6360.
11. Gao, F.; Masek, J.; Schwaller, M.; & F. Hall, 2006. On the blending of the Landsat and MODIS surface reflectance: Predicting daily Landsat surface reflectance, *Transection on geoscience and remote sensing*, 44(8), 2207-2218.
12. Gao, F.; Hilker., T.; Zhu, X.; Anderson, M.; Masek, J.; Wang, P.; & Y. Yang, 2015. Using Landsat and MODIS Data for Vegetation Monitoring, *Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 3(3), 47-60.
13. Ghafari, S.; Moradi, H. R.; & R. Modares, 2018. Comparison of object-oriented and pixel-based classification methods for land use mapping (Case study: Isfahan-Borkhar, Najafabad and Chadegan plains), *Journal of RS & GIS for Natural Resources*, 9(1), 40-57. (In Persian)
14. Ghebregabher . G.; Yang, T.; Yang, X.; & C. Wang, 2019. Assessment of desertification in Eritrea: land degradation based on Landsat images, *Journal of Arid Land*, 11, 319-331. (In Persian)
15. Hashemi Dareh Badami, S.; Nouraeisefat, L.; Karimi, S.; & S. Nazari, 2015. Development trend analysis of urban heat island regarding land use/cover changes using time series of landSat images, *RS & GIS Techniques in Natural Resources*, 16(1), 15- 28. (In Persian)
16. Hasheminasab, S., & R. jafari., (2018). Evaluation of Land Use Changes order to Desertification Monitoring Using Remote Sensing Techniques, *Journal of Spatial Analysis Environmental hazards*, 5(3), 67-82. (In Persian)
17. Heidarizadi, Z., & A. B. Mohamadi., (2016). Predicting the Land Use Change Using Markov- Cellular automata Model in Mehran Plain. *Journal of desert ecosystem engineering*. 10, 57-78. (In Persian)
18. Hosseini, S. S.; Ghaffarzadeh. H. R.; Abedi. Z.; & N. Shiry, 2014. Assessment of Climate Change and its Impacts on the Natural Land use of Gorgan River Basin, *Journal of Natural environment*, 67(1), 25-39. (In Persian)
19. Jahantigh, M., 2015. Study of back and forth role in wind erosion of dry land region, case study: dry bed of Hamoon lake in Sistan area, *Watershed Engineering and Management*, 3(7), 297-305. (In Persian)
20. Jahantigh, M., & M. Jahantigh., (2020). Investigating of land use change effect on some soil physical-chemistry characteristics and Erosion in arid areas (case study: Hirmand of sistan). *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*. 4(36), 92-118. (In Persian)
21. karimian, K.; Amini, A.; Bageri, M., & H. Ghaium Mohammadi, 2020. Land Use Change Monitoring Using Landsat Satellite Image Data (Case study: Khan Mirza Plain), *Human Geography Research*, 55(22), 419-436. (In Persian).
22. Kharazmi, R.; Abdollahi, A. A.; Rahdari, M. R.; Karkon, M.; & M. Rnosfaderani, 2016. Monitoring Land Use Change and its Impacts on Land Degradation and Desertification Trend Using Landsat Satellite Images (Case study: East of Iran, Hamoon Wetland), *Arid Regions Geographic Studies*, 7 (25), 64-75. (In Persian)

23. Mehmet, O.; Veysel, G.; Oguz, S.; & S. Mehmet, 2019. Drought Analysis of Bitlis River Baykan Station with Streamflow Drought Index (SDI) Method, *Engineering and Science*, 22, 1100-1106.
24. Mosaedi, A.; Khalili Zade, M.; & A. Mohamadi, 2008. Drought monitoring in Golestan Province, *Journal of Agriculture Science and Natural Resources*, 15(2), 176-183. (In Persian)
25. Moradi, H. R.; Fazel puor, M. R.; Sadeghi, H. R.; & Z. Hoseini, 2008. The study of land use change on desertification using remote sensing in Ardakan area, *Iranian journal of Range and Desert Research*, 15(1): 1-12. (In Persian)
26. Nohegar, A.; Gashgai-Zadeh, N.; Heydarizadeh, M.; Eidon, M. R.; & M. Panahi, 2016. Evaluation of drought and its impact on supply and ground water resource, (case study: Minab watershed), *Journal of research of earth*, 7(27), 28-43. (In Persian)
27. Pandian, M.; Rajagopal, N.; Sakthivel, G.; & D. E. Amrutha, 2014. Land use and land cover change detection using remote sensing and GIS in parts of Coimbatore and Tiruppur districts, Tamil Nadu, India, *International Journal of Remote Sensing & Geoscience*, 3(1), 15-20.
28. Rahi, Gh.; Kavian, A.; Soleimani, K.; Nazari Samani, & H. Pourghasemi, 2017. Land use Changes Modelling using Satellite Data and Markov Chain (case study: Samal Watershed in Bushehr province), *Journal of the Ecosystem of Desert Engineering*, 6(17), 15-26. (In Persian).
29. Soleimani, L., & A. Hagizadeh., (2014). Evaluation of effect of recently droughts on decrease of lakes discharge volume, (case study: Koram-Abad lake). *Journal of International Bulletin of Water Resources and Development*. (3), 99-108. (In Persian)
30. Wijitkosum, S., 2016. The impact of land use and spatial changes on desertification risk in degraded areas in Thailand, *Sustainable Environment Research*, 26(2), 84-92.
31. Zhu, X.; chen, J.; Gao, F.; Hong, X.; & Mase, 2010. An enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model for complex heterogeneous regions, *Remote Sensing of Environment*, 114(11), 2610-2623.

Monitoring Changes in Erosion areas Using Remote sensing Data in Three years of Wet, Normal and Drought (Case study: Nimroz Region of Sistan)

Mansour Jahantigh: Associate professor, Department Soil Conservation and Water Management, Sistan Agriculture and edition Natural Resources Research Center, AREEO, Zabol, Iran

Moien Jahanthigh¹: P.h.D candidate in Watershed Management, Watershed Management Department, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Gorgan

Article History (Received: 2021.01.02

Accepted:2021.06.06)

Extended abstract

1- Introduction

Water scarcity is currently one of the world's challenges, especially in arid and semi-arid regions; This is because population growth and rising living standards require more food and water. Therefore, excessive use of natural resources has led to the destruction of potential agricultural lands and natural resources. The final process is floods, dust, and desertification, as a large part of the fertile agricultural lands have been affected by erosion and have been removed from agricultural use and farmer has migrated to other places. As a result, rural farmers have migrated to other areas due to a lack of income. According to the reports, by climate and land use change, desertification affected 6% of the world's arid regions from 1982 to 2015. Such a process in arid ecosystems has led to the development of soil erosion hotspots. Numerous studies have been conducted by national and international researchers on drought and its impact on water resources. Therefore, changes in the hydrological cycle and the impact on water resources have a significant role in land use and natural ecosystems' sustainability. Hence to the importance of studying land use changes and determining erosion areas that provides a good basis for control and stabilization of erosion centers in these areas. This study aimed to investigate landuse changes and erosion areas by simulating time series images with a high spatial and temporal resolution during periods of water scarcity, normal and wet in the Nimroz region of Sistan.

2- Methodology

The study area is located in the north of Sistan and Baluchestan province and part of Nimroz city and the southern part of Hamoon Lake and borders with Afghanistan and at about 480 meters above sea level. This area is mostly flat and lacks topography and natural features. The average rainfall in this area is 50 mm, that most of which falls in winter. One of the Sistan region's characteristics is 120-day winds, which sometimes reach speeds of more than 120 kilometers per hour, accompanied by much dust. The development of the Sistan region depends on the water inflow from the Helmand River for 1,200 km, which originates from the mountains of northern Afghanistan. For this purpose, at first, using micro-scale exponential methods, time series of satellite images with high spatial and temporal resolution were prepared using Landsat and Modis satellite images. To monitor the changes in erosion region, land use maps related to the years of water scarcity (2002), normal (2009), and floods (2019) were extracted, and by evaluating the classification accuracy of the maps, change detection operations were performed using the post-classification comparison method for these maps.

3- Results

The results shows that the during the period of water shortage to normal, the highest percentage of changes (35.84%) related to the conversion of barren lands to erosion areas with an area of about 32708.68 hectares. The next rank related to conversion of erosion areas to lands Rangeland with vegetation is less than 10% (25.24%).

¹- Corresponding Author: moienja23@yahoo.com.

The results also show that during the water shortage to wet, the highest percentage of changes is equal to 25.38 and 25.98%, respectively, and are related to the conversion of erosion area to water and rangeland area. The results also show that during the flood period, with the increase of floodplain areas in the study area, the area of erosion region has decreased by 60% compared to the water shortage period (equivalent to 8059.36 hectares).

4- Discussion & Conclusions

Due to the dry climate and low rainfall in Sistan, floods from Afghanistan only meet the water needs of the region's ecosystems. By studying the volume of incoming floods during periods of water shortage, normal and high water, the results showed significant fluctuations in the volume of incoming floods to the Sistan region during the studied periods. Since land use is more affected by climatic and hydrological factors, they play a significant role in land use changes. The results shows that the during the period of water shortage, more than 46% of the study area is eroded region, which has been mainly related to the conversion of barren landscapes, dried bed of Hamoon wetland, and flood agricultural lands to these areas.

Therefore, it can be concluded that the changes in the hydrological conditions of inflows to the Sistan region play an important role in the extent of erosion areas with respect to the water needs of water-dependent ecosystems. Despite the environmental crises in Sistan region and its regression, the improvement of environmental conditions in Sistan region requires the demand of water rights in Sistan region from Afghanistan.

Key Words: Erosion areas, ESTARFM model, Sistan, Vegetation.