



## نخستین از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال چهاردهم / شماره اول) بهار ۱۴۰۲

نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز، سیویلیکا، گوگل اسکولار  
آدرس وب سایت: <http://girs.iaabushehr.ac.ir>



مقاله پژوهشی

### پایش تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر شبیه‌سازی شده لندست - مودیس در مقیاس روزانه طی سال‌های کم‌آبی، نرمال و پرآبی در مناطق خشک (مطالعه موردی: شهرستان نیمروز)

شهرستان نیمروز

معین جهان‌تیغ، منصور جهان‌تیغ

دریافت: ۲۷ خرداد ۱۴۰۰ / بازنگری: ۲۱ شهریور ۱۴۰۰ / پذیرش: ۲۳ مهر ۱۴۰۰

دسترسی اینترنتی: ۲۳ مهر ۱۴۰۰ / دسترسی چاپی: ۱ فروردین ۱۴۰۲

#### چکیده

پایش تغییرات پوشش گیاهی بستری مناسب برای شناخت عوامل و فرآیندهای مؤثر در وقوع پدیده بیابان‌زایی و تخریب زمین در این مناطق را فراهم می‌آورد. با توجه به قابلیت‌های داده‌های سنجنش از دور به دلیل پوشش وسیع و چند زمانه بودن و از طرفی محدودیت‌های ناشی از تغییرپذیری مکانی و زمانی و همچنین هزینه‌بر بودن مطالعات میدانی، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای راه‌کاری مناسب برای پایش تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی است. با توجه به اینکه استفاده از تصاویر با وضوح مکانی و زمانی بالا پایش تغییرات پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، لذا ترکیب تصاویر مختلف با قدرت تفکیک مکانی (به‌عنوان مثال Landsat) و زمانی (به‌عنوان مثال MODIS) بالا امکان تهیه داده‌هایی با تفکیک مکانی و زمانی بالا را فراهم می‌کند. هدف از مطالعه، پایش تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر شبیه‌سازی شده لندست در مقیاس روزانه طی دوره‌های کم‌آبی، نرمال و پرآبی در شهرستان نیمروز صورت گرفته است.

هدف تخریب سرزمین و بیابان‌زایی در مناطق خشک از جمله چالش‌های مهم زیست‌محیطی در سراسر کره زمین بشمار می‌رود. این فرآیند با توجه به کمبود نزولات جوی و وقوع خشک‌سالی‌های متوالی ضمن بهره‌برداری نامعقول از عرصه‌های طبیعی و کشاورزی با افزایش تقاضا برای تأمین نیاز غذایی بشر، ابعاد مختلف زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌طوری‌که تداوم چنین شرایطی طی سال‌های اخیر با تخریب پوشش گیاهی و خاک، فرسایش آبی و بادی، شوری خاک، فشردگی سطح خاک و پایین رفتن سطح سفره‌های آب زیرزمینی پیامدهای قابل توجهی برای تولید محصولات کشاورزی، تنوع زیستی و در نتیجه تخریب اکوسیستم در این مناطق را به همراه داشته است. از آنجا که الگو و ابعاد تغییرات پوشش گیاهی مهم‌ترین مشخصه فیزیکی تخریب زمین در مناطق خشک بشمار می‌رود. لذا

معین جهان‌تیغ (✉) <sup>۱</sup>، منصور جهان‌تیغ <sup>۲</sup>

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرگان، گرگان، ایران

۲. دانشیار مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران  
پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: [moinenja23@yahoo.com](mailto:moinenja23@yahoo.com)

<https://doi.org/10.30495/GIRS.2023.685742>

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1402.14.1.6.1>

**مواد و روش‌ها** منطقه مورد مطالعه در شمال استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. بارش کم (۵۰ میلی‌متر)، درجه حرارت بالا (۴۸ درجه سانتی‌گراد)، تبخیر زیاد (۵۰۰۰ میلی‌متر) و وزش بادهای ۱۲۰ روزه از جمله شرایط خاص آب و هوایی این منطقه

پوشش گیاهی اختلاف نرمال (NDVI) و شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده خاک (SAVI) یافته‌ها نشان می‌دهد که شاخص SAVI بیشترین همبستگی را با پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه دارد ( $R^2=87$ )، با برآورد مدل رگرسیونی و طبقه‌بندی نقشه‌های درصد پوشش گیاهی برای سال‌های مرطوب، نرمال و خشک‌سالی ۶ کلاس طبقاتی به دست آمد (کلاس ۱=۱۰-۰٪، کلاس ۲=۲۰-۱۰٪، کلاس ۳=۳۰-۲۰٪، کلاس ۴=۴۰-۳۰٪، کلاس ۵=۵۰-۴۰٪، کلاس ۶=۶۰-۵۰٪ و کلاس ۷=۸۰-۶۰٪). در بررسی تغییرات پوشش گیاهی نتایج نشان بیانگر آن است که در دوره خشک‌سالی ۷۰٪ مساحت منطقه مورد مطالعه دارای پوشش گیاهی کمتر از ۱۰٪ (برابر ۱۳۸۱۷۶/۳ هکتار) می‌باشد که در سال‌های نرمال و پربابی با افزایش پوشش گیاهی مساحت این عرصه‌ها به ترتیب ۳۰ و ۴۸ درصد کاهش یافته است (به ترتیب برابر با ۶۶۲۶۹/۹۸ و ۵۰۵۵۹/۷ هکتار). با توجه به نتایج به دست آمده بیشترین تغییرات پوشش گیاهی مربوط به تبدیل کلاس ۱ به کلاس ۲ (معادل ۴۸/۵٪) است. علاوه بر این ۱۸ و ۲۷ درصد تغییرات گیاهی به ترتیب مربوط به کلاس ۱ و ۲ به کلاس ۴ و ۵ است (به ترتیب برابر با ۱۶۲۸۴/۲۶ هکتار و ۱۱۴۷۱/۸۸ هکتار). همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات پوشش گیاهی به ترتیب در کاربری‌های تالاب-جنگل (۷۰٪)، جنگل-مرتع (۲۱٪) و مراتع ضعیف (۱۹٪) رخ داده است. بر اساس مطالعات میدانی از جمله مهم‌ترین گونه‌های گیاهی که در این کاربری‌ها رشد می‌نماید عبارتند از: *Chenopodiace sp.*، *Aeluropus littoralis sp.*، *Tamarix aphylla* و *Haloxylon aphyllum* می‌باشد که قابلیت سازگاری بالایی با شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه دارد.

**نتیجه‌گیری** در این تحقیق برای اولین بار در منطقه نیمروز سیستان به بررسی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر شبیه‌سازی شده لندست - مودیس طی سال‌های کم‌آبی، نرمال و پربابی پرداخته شد. با توجه به بارش کم و رژیم آب و هوایی سخت در منطقه مورد مطالعه، جریان‌های سیلابی رودخانه هیرمند تنها منبع تأمین آب مورد نیاز منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نتایج تجزیه و تحلیل دوره‌های کم‌آبی و پربابی نشان داد که حجم سیلاب در سال‌های خشک نسبت به سال‌های نرمال و پربابی به ترتیب ۳۱ و ۸۲ کاهش یافته است. با توجه به کاهش حجم سیلاب در دوره خشک‌سالی ۷۰٪ منطقه مورد مطالعه دارای پوشش گیاهی ضعیفی بوده که در سال‌های نرمال و پربابی با تأمین نیاز آبی گیاهان و افزایش پوشش گیاهی، مساحت این اراضی به ترتیب ۳۰ و ۴۸ درصد کاهش یافته است. در مجموع با

است. در این مطالعه در ابتدا به تعیین سال‌های مرطوب، نرمال و خشک‌سالی با بررسی وضعیت خشک‌سالی هیدرولوژیکی در رودخانه هیرمند پرداخته شد. با استفاده از پکیج Hydrostats در نرم‌افزار R با اجرای کدهای مربوطه تغییرات جریان روزانه (daily.cv)، سالانه (ann.cv)، طول دوره‌های بیشتر و کمتر از آستانه (high. spell and low. spell) و همچنین بیش‌ترین و کم‌ترین دوره‌های زمانی که یک سیل مشخص تا آستانه طول می‌کشد (high. spell. lengths and low. spell. lengths) برای یک دوره آماری ۲۹ ساله محاسبه شد. در ادامه به بررسی وضعیت پوشش گیاهی طی سال‌های مورد مطالعه پرداخته شد. بدین منظور در ابتدا اقدام به تهیه سری زمانی داده‌های سنجش از دور با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا با ادغام تصاویر با تفکیک مکانی (تصاویر Landsat) و زمانی (تصاویر MODIS) بالا با استفاده از مدل ESTARFM ضمن اعتبارسنجی تصاویر شبیه‌سازی شده با داده‌های تصاویر ماهواره لندست (تصاویر سنجنده‌های TM، ETM<sup>+</sup> و OLI) گردید. طی عملیات میدانی از گونه‌های گیاهان مختلف نمونه‌برداری و موقعیت آن‌ها توسط GPS ثبت شد. با مقایسه داده‌های میدانی با شاخص پوشش گیاهی اختلاف نرمال (NDVI) و شاخص پوشش گیاهی تنظیم شده خاک (SAVI)، شاخص پوشش گیاهی با بیشترین همبستگی با داده‌های برداشتی انتخاب شد. با استفاده از شاخص پوشش گیاهی و برآورد مدل رگرسیونی، نقشه درصد پوشش گیاهی برای سال‌های مورد بررسی تهیه شد. پس از طبقه‌بندی نقشه‌های پوشش گیاهی، با استفاده از روش مقایسه (Cross Tab) در نرم‌افزار ENVI نقشه تغییرات پوشش گیاهی استخراج شد.

**نتایج و بحث** نتایج تجزیه و تحلیل دوره‌های کم‌آبی و پربابی نشان داد که حجم سیلاب در سال‌های خشک‌سالی نسبت به سال‌های نرمال و مرطوب به ترتیب ۳۱ و ۸۲ کاهش یافته است. با تلفیق تصاویر مودیس و لندست (TM، ETM<sup>+</sup> و OLI) با استفاده از مدل ESTARFM یافته‌ها نشان می‌دهد که این مدل در برآورد بازتابندگی سطحی و حفظ جزئیات مکانی دقت قابل قبولی دارد. به‌طوری‌که میانگین ضریب تعیین ( $R^2$ ) برآورد شده برای باندهای آبی، سبز، قرمز و نزدیک به مادون قرمز با داده‌های تصاویر دریافتی از ماهواره لندست به ترتیب ۰/۹۱، ۰/۸۹، ۰/۹۲ و ۰/۹۱ است. همچنین میانگین RMSE در چهار باند به ترتیب برابر با ۰/۰۱، ۰/۰۲۷، ۰/۰۲۸ و ۰/۰۳۱ و به دست آمده است. در مقایسه داده‌های میدانی با شاخص

استفاده از قابلیت‌های داده‌های سنجش از دور و با ترکیب تصاویر با تفکیک مکانی ۳۰ متر در مقیاس روزانه با استفاده از مدل ESTARFM و تولید تصاویر با تفکیک مکانی و زمانی بالا، امکان پایش تغییرات پوشش گیاهی با توجه به کمبود تجهیزات لازم و همچنین گستردگی عرصه‌های طبیعی در منطقه مورد مطالعه میسر شد. چنین ظرفیتی کمک بزرگی برای پایش تغییرات فصلی و پویای زیست محیطی با توجه به تسریع سیر قهقرایی در منطقه سیستان با تولید محصولات سنجش از دور با توان تفکیک بالای مکانی و پوشش بالای زمانی است.

**واژه‌های کلیدی:** تغییرات پوشش گیاهی، لندست، مودیس، نیمروز، مدل ESTARFM.

توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل دوره‌های خشکسالی و ترسالی و پایش تغییرات پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تغییر در شرایط هیدرولوژیکی جریان‌های ورودی به منطقه سیستان نقش بارزی در تغییرات پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه دارد و با توجه به شرایط سخت اقلیمی در این منطقه بخش قابل توجهی از مساحت این منطقه بدون پوشش گیاهی و یا دارای پوشش گیاهی فقیر هستند که با تخریب عرصه‌های طبیعی باعث گسترش کانون‌های بحرانی و تسریع سیر قهقرایی در این منطقه شده است. از اینرو، پایش و تجزیه و تحلیل دقیق تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی رویکردی کارآمد به منظور الویت‌بندی مکانی کانون‌های بحرانی جهت اتخاذ اقدامات مکانیکی مناسب برای کنترل فرآیند بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه است. در این تحقیق با

لطفاً به این مقاله استناد کنید: جهان‌تیغ، م.، جهان‌تیغ، م. ۱۴۰۲. پایش تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر شبیه‌سازی‌شده لندست - مودیس در مقیاس روزانه طی سال‌های کم‌آبی، نرمال و پرآبی در مناطق خشک (مطالعه موردی: شهرستان نیمروز، نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۳۰-۱۰۱).

<https://doi.org/10.30495/GIRS.2023.685839>

## مقدمه

تخریب سرزمین و بیابانزایی در مناطق خشک از جمله چالش‌های مهم زیست‌محیطی در سراسر کره زمین بشمار می‌رود (۵ و ۱۸). این فرآیند با توجه به کمبود نزولات جوی و وقوع خشک‌سالی‌های متوالی ضمن بهره‌برداری نامعقول از عرصه‌های طبیعی و کشاورزی با افزایش تقاضا برای تأمین نیاز غذایی بشر، ابعاد مختلف زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۰ و ۲۸). به طوری که تداوم چنین شرایطی طی سال‌های اخیر با تخریب پوشش گیاهی و خاک، فرسایش آبی و بادی، شوری خاک، فشردگی سطح خاک و پایین رفتن سطح سفره‌های آب زیرزمینی پیامدهای قابل توجهی برای تولید محصولات کشاورزی، تنوع زیستی و در نتیجه تخریب اکوسیستم در این مناطق را به همراه داشته است (۲۱ و ۲۲). از آنجاکه الگو و ابعاد تغییرات پوشش گیاهی مهم‌ترین مشخصه فیزیکی تخریب زمین و از جمله شاخص‌های پیشرو در ارزیابی فرآیند تخریب زمین و روند بیابانزایی در مناطق خشک بشمار می‌رود، لذا پایش تغییرات پوشش گیاهی بستری مناسب برای شناخت عوامل و فرآیندهای مؤثر در وقوع پدیده بیابانزایی و تخریب زمین در این مناطق را فراهم می‌آورد (۱۸ و ۲۲). با توجه به قابلیت‌های داده‌های سنجش‌ازدور به دلیل پوشش وسیع و چند زمانه بودن و از طرفی محدودیت‌های ناشی از تغییرپذیری مکانی و زمانی و همچنین هزینه‌بر بودن مطالعات میدانی، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای طی سال‌های اخیر با بررسی شاخص‌های گیاهی برای پایش تغییرات پوشش گیاهی همواره مورد توجه محققان بوده است (۲، ۱۱ و ۱۳). مطالعات متعددی در زمینه بررسی تغییرات پوشش گیاهی با به‌کارگیری شاخص‌های پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور صورت گرفته که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد؛ کمپف (۱۶) به پایش تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس و سنجنده OLI ماهواره لندست طی یک دوره ۸ ساله در شمال کشور چین پرداخت. با تلفیق تصاویر مودیس و سنجنده OLI به منظور افزایش تفکیک مکانی تصاویر ماهواره

مودیس و استفاده از شاخص‌های گیاهی NDVI، EVI و VI ضمن آشکارسازی تغییرات دریافت که کاهش میزان بارش و دما منجر به افزایش ۷۶ درصدی تخریب زمین و کاهش پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه شده است. بوباکار و همکاران (۴) در مطالعه‌ای به آشکارسازی روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر مودیس در کشور گامبیا در آفریقای غربی پرداختند. آن‌ها با استفاده از شاخص NDVI و بررسی تغییرات این شاخص گیاهی طی یک دوره ۲۰ ساله دریافتند که بیشترین روند مثبت تغییرات پوشش گیاهی (+۱۸٪) طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ و مربوط به حاشیه اطراف رودخانه گامبیا و مناطق مرکزی این کشور بوده و در مقابل روند تغییرات پوشش گیاهی در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ نزولی و در مناطقی از جمله ساحل غربی و شهر بانجول با کاهش بیشتری (-۱۰٪) همراه بوده است. الحاک و همکاران (۸) به ارزیابی پوشش جنگلی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور در جزیره کرت در کشور یونان طی یک دوره ۲۰ ساله پرداختند. آن‌ها با تلفیق تصاویر لندست و مودیس براساس روش موجک و استفاده از شاخص‌های گیاهی NDVI، EVI و VI ضمن آشکارسازی تغییرات دریافتند که بیشترین کاهش کمی پوشش گیاهی بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ و برابر با ۷۷/۱ درصد و مربوط به اراضی مرتعی (۲۳/۳ درصد)، ترکیب جنگل- مرتع (۱۷/۶ درصد) و اراضی کشاورزی (۱۶/۲) بوده و شاخص EVI را به‌عنوان شاخص گیاهی سازگار با منطقه معرفی نموده‌اند. نتایج مطالعات یانگ و هیوانگ (۳۰) در بررسی تغییرات پوشش گیاهی در کشور چین با تلفیق تصاویر مودیس با تصاویر داده‌های سنجنده TM، ETM<sup>+</sup> و OLI ماهواره لندست و استفاده از شاخص NDVI ضمن آشکارسازی تغییرات، بیانگر آن بود که بیشترین تغییرات در طی دوره مورد مطالعه مربوط به افزایش اراضی بایر (افزایش ۱۴۸/۷۱ درصدی) و در مقابل کاهش ۴/۸۵ و ۳/۹ اراضی کشاورزی و مراتع بوده است. در مطالعات صورت گرفته در کشور جهان تیغ و جهان تیغ (۱۴) در پژوهشی به بررسی اثر بهره‌وری سیلاب بر تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از

که به‌طور مستمر با استفاده از داده‌های سنجش از دور مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. حال آنکه با توجه به محدودیت‌های ناشی از قدرت تفکیک زمانی و مکانی پایین در سنجنده‌های تصاویر ماهواره‌ای، پایش تغییرات سریع سطح زمین در مطالعات مختلف نیازمند تهیه‌ی سری زمانی داده‌های سنجش از دور با بهره‌گیری هم‌زمان داده‌ها با تفکیک مکانی و تفکیک زمانی بالا می‌باشد که دستیابی به آن ضمن امکان تجزیه و تحلیل دقیق روند تغییرات عوامل مؤثر بر پدیده بیابان‌زایی، الگویی مناسب برای انجام مطالعات آتی سایر پژوهشگران در مناطق خشک با اکوسیستم‌های شکننده را نیز فراهم می‌نماید. منطقه سیستان از جمله مناطق خشک کشور بشمار می‌رود که تخریب عرصه‌های طبیعی و تسریع روند بیابان‌زایی در آن بحران‌های زیست‌محیطی عدیده‌ای را به همراه داشته که حیات ساکنین این منطقه را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. با توجه به موارد فوق الذکر و نظر به اهمیت موضوع برای پایش تغییرات پوشش گیاهی در منطقه سیستان، ضمن ارائه روشی کارآمد و سازگار برای تهیه سری زمانی داده‌های سنجش از دور که بستری مناسب برای برنامه‌ریزی و اتخاذ راهکارهای مدیریتی مناسب برای کنترل روند بیابان‌زایی در این منطقه را نیز فراهم می‌نماید، این تحقیق با هدف پایش تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر شبیه‌سازی شده لندست - مودیس در مقیاس روزانه طی دوره‌های کم‌آبی، نرمال و پرآبی در شهرستان نيمروز صورت گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

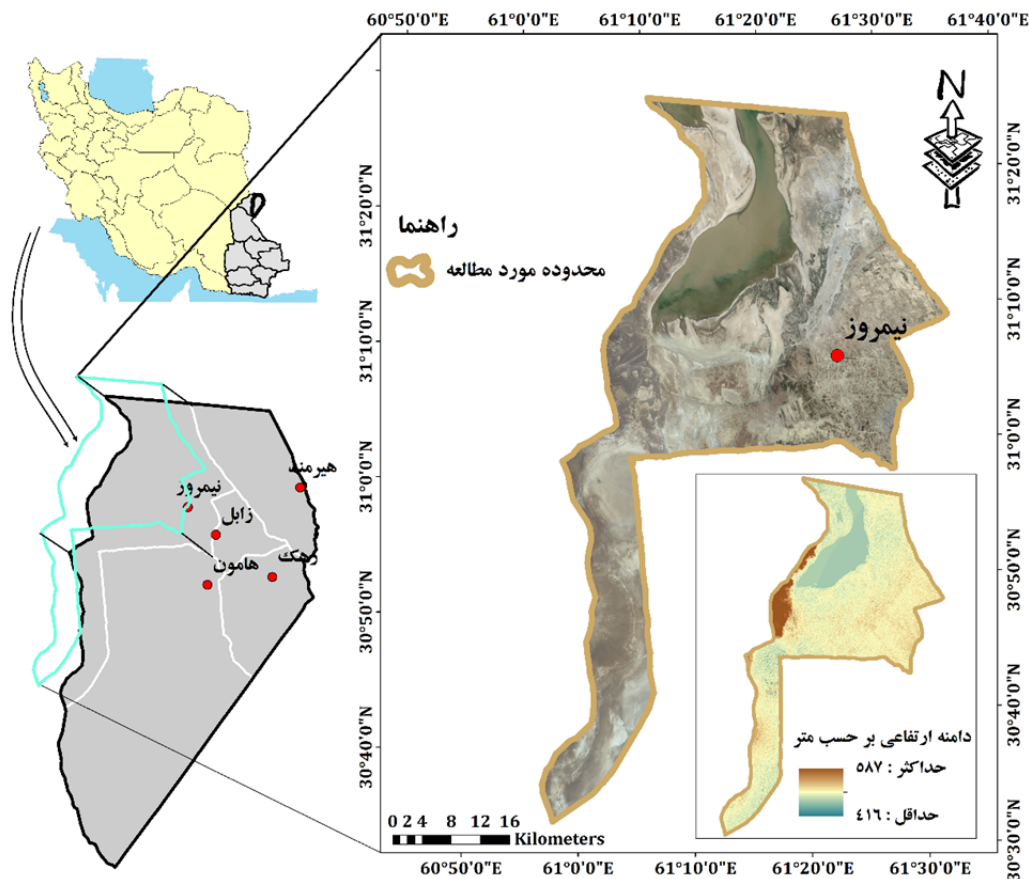
شهرستان نيمروز در شمال استان سیستان و بلوچستان و با مختصات جغرافیایی  $31^{\circ} 08' 31''$  تا  $30^{\circ} 59' 31''$  طول شرقی و  $31^{\circ} 31' 31''$  تا  $31^{\circ} 10' 45''$  درجه عرض شمالی و در ارتفاع حدود ۴۸۰ متر از سطح دریا قرار داد (شکل ۱). این محدوده عمدتاً مسطح، هموار و فاقد توپوگرافی و عارضه طبیعی می‌باشد. میزان بارندگی منطقه بر اساس آمارهای هواشناسی قبل از دهه ۶۰ حدود ۵۰ میلی‌متر گزارش شده

داده‌های سنجنده TM، ETM<sup>+</sup> و OLI ماهواره لندست در منطقه شندک سیستان پرداختند. آن‌ها با استفاده از شاخص SAVI و پایش تغییرات پوشش گیاهی طی سال‌های مختلف دریافتند که روند تغییرات پوشش گیاهی طی سال‌های کم‌آبی و پرآبی تغییرات محسوسی داشته است و با افزایش حجم سیلاب‌های ورودی به عرصه مورد مطالعه شاخص پوشش گیاهی به‌طور معنی‌دار افزایش یافته است. با توجه به توسعه فن‌آوری سنجش از دور و امکان تولید داده‌هایی با تفکیک زمانی و مکانی بالا، بسیاری از متخصصان ترکیب تصاویر با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا را به‌منظور استفاده هم‌زمان از قابلیت‌های داده‌های سنجش‌از‌دور در مقیاس زمان و مکان را مورد بررسی قرار داده‌اند. از جمله مطالعات صورت گرفته در زمینه ترکیب داده‌های سنجش از دور به‌منظور تولید داده‌هایی با تفکیک مکانی و زمانی بالا می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود؛ کناور و همکاران (۱۷) در مطالعه‌ای ترکیب تصاویر سنجنده‌های OLI و MODIS را با استفاده از مدل ESTARFM به منظور تهیه داده‌های بازتابندگی سطحی در مقیاس روزانه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر در شمال کشور غنا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج کار آنان نشان داد که مدل ESTARFM با میانگین خطای مطلق ۰/۰۲ برای فصول خشک و میانگین خطای ۰/۰۵ برای فصل رویش گیاهان دقت مطلوبی برای تهیه داده‌هایی با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا دارد. نتایج مطالعات وانگ و همکاران (۲۴) در ارزیابی عملکرد مکانی و زمانی مدل ESTARFM در تولید داده‌های سری زمانی با وضوح مکانی بالا استفاده از تصاویر لندست و MODIS نشان داد که مدل ESTARFM دقت مطلوبی در تولید داده‌هایی با مقادیر بازتابندگی سطحی دارد و کاربرد این مدل برای ترکیب تصاویر با هدف افزایش قدرت تفکیک‌های مکانی و زمانی را قابل قبول گزارش نموده‌اند.

بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که تغییرات پوشش گیاهی مهم‌ترین مشخصه فیزیکی در طبیعت بشمار می‌رود که به نوعی منعکس‌کننده نحوه وقوع عوامل و فرآیندهای منجر به پدیده تخریب زمین و بیابان‌زایی در مناطق خشک می‌باشد

سرچشمه می‌گیرد. عدم وجود موانع طبیعی، پوشش گیاهی ضعیف و شیب ملایم، روند تبدیل دشت سیستان به یکی از کانون‌های بحرانی فرسایش بادی ایران و حتی دنیا را فراهم نموده است. این محدوده از کشور تبخیر و تعرقی سالانه حدود ۵۰۰۰ میلی‌متر دارد که ۳۰۰۰ میلی‌متر آن در ماه‌های بحرانی (خرداد، تیر و مرداد) صورت می‌گیرد که مهمترین عامل در محدودیت استقرار پوشش گیاهی که بخش عمده‌ای از پوشش گیاهی آنرا انواع گیاهان شورپسند و خشبی تشکیل می‌دهد (۱۴).

است، ولی بر اساس آمارهای سه دهه اخیر این میزان به حدود ۲۰ میلی‌متر تنزل یافته است و حتی در سال آبی ۹۶-۹۷ بارندگی منطقه از حدود ۵ میلی‌متر نیز تجاوز نکرده است. یکی از ویژگی‌های منطقه سیستان وزش بادهای ۱۲۰ روزه است که در برخی از اوقات سرعت آن به بیش از ۱۲۰ کیلومتر در ساعت نیز می‌رسد که با گرد و غبار زیادی همراه است. از همین رو یکی از چالش‌های منطقه سیستان وقوع طوفان‌های شنی است که اثرات بازدارنده‌ای در توسعه آن دارد (۱۵). تنها منبع تأمین کننده آب منطقه مورد مطالعه، رودخانه هیرمند به طول ۱۲۰۰ کیلومتر است که از کوه‌های شمال کابل



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان، استان و کشور

Fig. 1. Location of the study area in the city, province and country

از آنجا که هدف از اجرای این پژوهش بررسی وضعیت پوشش گیاهی در سال‌های پربابی، نرمال و کم‌آبی می‌باشد، لذا

روش تحقیق

پوشش گیاهی نیازمند تهیه سری زمانی داده‌های سنجش از دور با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا می‌باشد (۲۶ و ۲۹)، لذا در این تحقیق از روش‌های ترکیب داده‌های سنجش از دور استفاده شد که از دیگر اهداف فرعی اجرای این تحقیق، ارائه روشی مناسب و سازگار با شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه برای ترکیب داده‌های سنجش از دور است. بدین منظور تصاویر مربوط به ماهواره‌ای لندست و مودیس برای سال‌های ۲۰۰۱ (کم‌آبی)، ۲۰۰۸ (نرمال) و ۲۰۱۹ (پرآبی) دریافت و در ادامه به ادغام داده‌های تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک مکانی و زمانی بالا پرداخته شد. در این تحقیق با توجه به مراحل رشد و فنولوژی گیاهی و شرایط آب و هوایی منطقه سیستان در استقرار کامل پوشش گیاهی (۱۴) و شرایط نسبتاً مناسب جوی در منطقه با در نظر گرفتن کمترین فراوانی وزش طوفان‌های ماسه‌ای در سال (۱۵) از تصاویر ماه ژوئن تا می برای هر یک از سال‌های مورد مطالعه استفاده شد. خصوصیات و نمایی از تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در جدول ۱ و شکل ۲ ارائه شده است.

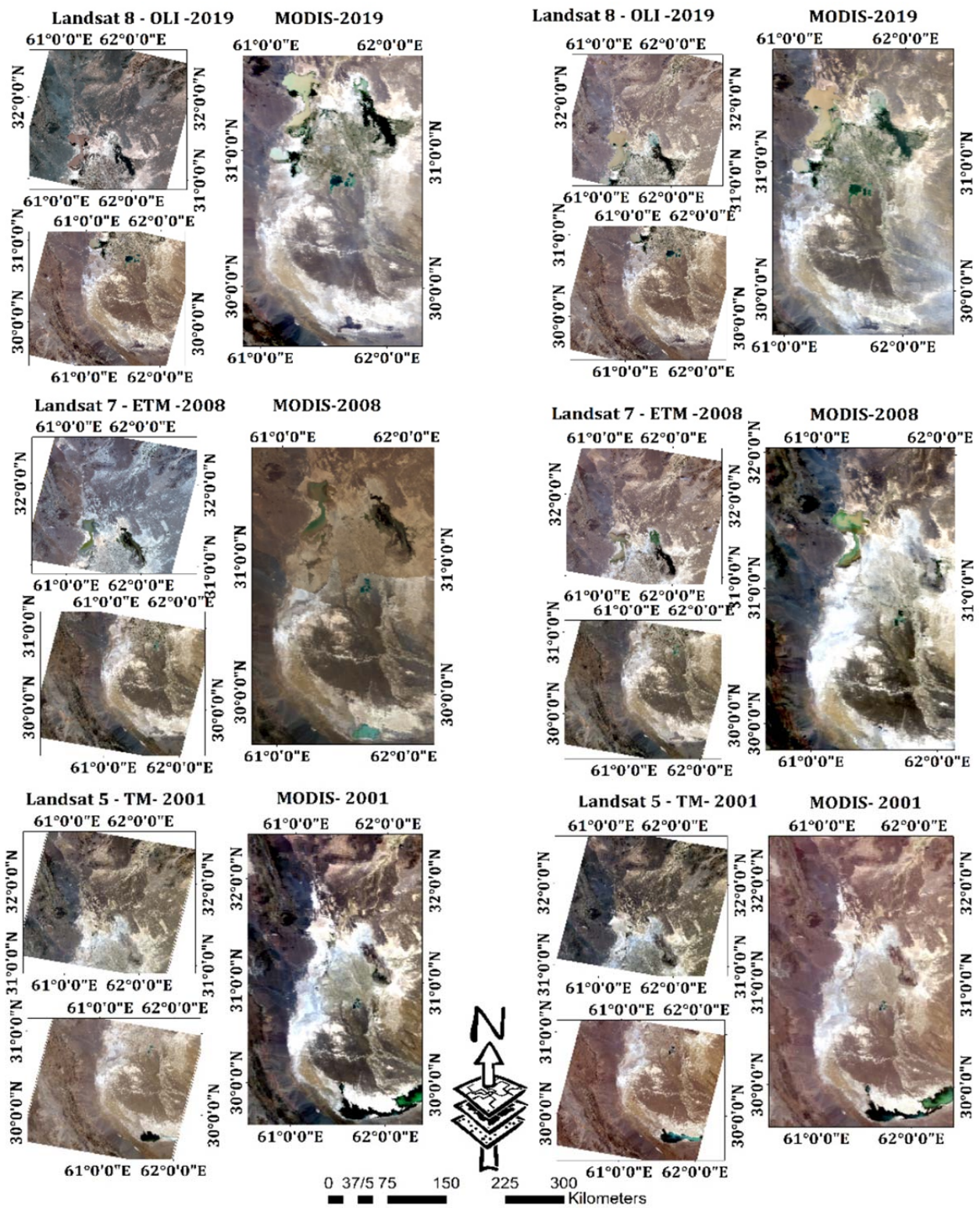
در ابتدا به بررسی دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی در طول دوره آماری ۲۹ سال پرداخته شد. با استفاده از آمار دبی اولین ایستگاه هیدرومتری (ایستگاه کهک) و آنالیز دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی سال‌های کم‌آبی (۱۳۸۰)، نرمال (۱۳۸۷) و پرآبی (۱۳۹۸) در طی دوره آماری مورد مطالعه تعیین شد. بدین منظور در ابتدا با تبدیل داده‌ها به سری زمانی، گراف دبی روزانه برای طول، دوره آماری مورد مطالعه ترسیم گردید. در ادامه با اجرای کدهایی به زبان برنامه‌نویسی R در بسته Hydrostats، تغییرات جریان روزانه (daily.cv) و سالانه (ann.cv) برای داده‌های ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه تعیین و با بررسی طول دوره‌های بیشتر و کمتر از آستانه (high. Spell and low. Spell)، بیش‌ترین و کم‌ترین دوره زمانی که یک سیل مشخص یا آستانه طول می‌کشد (high spell. lengths and low. spell. lengths)، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (۴). در ادامه به بررسی وضعیت پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه طی سال‌های پرآبی، نرمال و کم‌آبی پرداخته شد. با توجه به اینکه پایش و تحلیل مکانی تغییرات

جدول ۱. خصوصیات تصاویر ماهواره‌ای لندست و مودیس مورد استفاده برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی

Table 3. Characteristics of Landsat and Modis satellite images used to study vegetation changes

ردیف	تاریخ میلادی	تاریخ هجری شمسی	ماهواره (سنجده)	اندازه پیکسل	ماهواره (سنجده)	اندازه پیکسل
۱	۲۰۰۱/۴/۷	۱۳۸۰/۱/۱۹	Landsat-5 (TM)	۳۰	MODIS (Tera)	۵۰۰
۲	۲۰۰۱/۴/۲۵	۱۳۸۰/۲/۷	Landsat-5 (TM)	۳۰	MODIS (Tera)	۵۰۰
۳	۲۰۰۸/۵/۰۴	۱۳۸۷/۲/۱۵	Landsat-7 (ETM <sup>+</sup> )	۳۰	MODIS (Tera)	۵۰۰
۴	۲۰۰۸/۵/۲۰	۱۳۸۷/۲/۳۱	Landsat-7 (ETM <sup>+</sup> )	۳۰	MODIS (Tera)	۵۰۰
۵	۲۰۱۹/۴/۰۹	۱۳۹۸/۱/۱۸	Landsat-8 (OLI)	۳۰	MODIS (Tera)	۵۰۰
۶	۲۰۱۹/۴/۲۵	۱۳۹۸/۲/۵	Landsat-8 (OLI)	۳۰	MODIS (Tera)	۵۰۰





شکل ۲. نمایی از تصاویر مورد استفاده در بازه زمانی مورد مطالعه

Fig. 2. View images used during the study period



این مدل بر این فرض استوار است که بین تصاویر سنجنده‌های مختلف در یک زمان معین، همبستگی وجود دارد و از این همبستگی برای ریزمقیاس‌نمایی تصاویر و همچنین حداقل کردن خطاهای سیستمی ناشی از تفاوت دو سنجنده می‌توان استفاده کرد (۳۳). این همبستگی و ریزمقیاس‌نمایی 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 محدوده همگن، می‌توان فرض کرد که میزان بازتابندگی بین پیکسل تصاویر مودیس و پیکسل‌های لندست متناظر با آن در یک زمان، شباهت بسیار بالایی دارند و تفاوت موجود فقط از تفاوت‌های سیستمی سنجنده‌ها ناشی خواهد بود. در این صورت، بازتابندگی لندست به صورت رابطه خطی (رابطه ۱) از بازتابندگی پیکسل متناظر مودیس محاسبه می‌گردد.

$$L(x, y, T_p, B) = L(x, y, T_o, B) + \alpha (M(x, y, T_p, B) - M(x, y, T_o, B)) \quad [1]$$

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 این حالت، بازتابندگی لندست به صورت تابعی خطی از مجموع وزندهی شدهی تغییرات هر پوشش در پیکسل مودیس ضرب در میزان بازتابندگی متناظر آن خواهد بود (۲۴ و ۳۳). در تعیین پیکسل‌های همسایه مشابه نیز با استفاده از یک پنجره متحرک با اندازه  $w$  می‌توان پیکسل‌های مشابه را پیدا کرد که در این صورت رابطه بین بازتابندگی لندست و مودیس مطابق رابطه ۲ است.

## ترکیب داده‌های سنجنش از دور

### ریزمقیاس‌نمایی تصاویر

از جمله روش‌های مناسب برای ریزمقیاس‌نمایی مدل بهبود یافته ادغام مکانی و زمانی بازتابندگی سازگار (Enhanced Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model) می‌باشد که در مناطق با تنوع کاربری زیاد و متفاوت، عملکرد بهتری در مقایسه با سایر مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی دارد که در مطالعات صورت گرفته همچون گوئا و همکاران (۹)، وانگ و همکاران (۲۴) و ژو و همکاران (۳۳)، به دقت مناسب این مدل در ریزمقیاس‌نمایی تصاویر MODIS با استفاده از تصاویر لندست در مقایسه با سایر روش‌های موجود به‌خصوص در مناطق ناهمگن اذعان شده است.

### مدل ESTARFM

مدل ESTARFM نسخه توسعه یافته مدل STARFM برای استفاده در مناطق با کاربری‌های ناهمگن است. اساس

در این رابطه؛  $L(x, y, T_o, B)$  و  $L(x, y, T_p, B)$  بازتابندگی‌های لندست در پیکسل  $x, y$  و زمان‌های  $T_o$  و  $T_p$  و  $M(x, y, T_o, B)$  و  $M(x, y, T_p, B)$  بازتابندگی‌های مودیس در پیکسل  $x, y$  و زمان‌های  $T_o$  و  $T_p$  باند  $B$  و  $\alpha$  ضرایب تبدیل و زمان  $p$  مربوط به تاریخ پیش‌بینی و زمان  $o$  تاریخ تصویر ورودی هستند. غالب پیکسل‌های ترکیبی از چند پوشش متفاوت روی زمین تشکیل شده و به صورت پیکسل‌های ناهمگن و مختلط در تصویر وجود دارند. از این‌رو 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

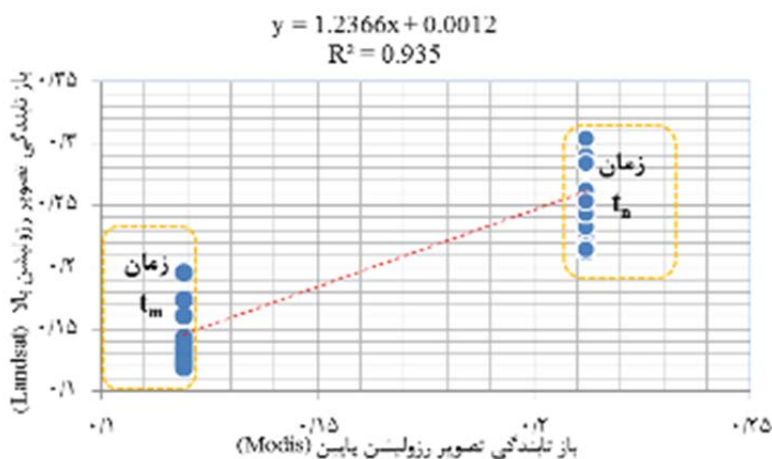
$$L(\chi_{w/2}, y_{w/2}, T_p, B) = L(\chi_{w/2}, y_{w/2}, T_o, B) + \sum_{i=1}^N W_i \times \mathcal{G}_i \times (M(\chi_i, y_i, T_p, B) - M(\chi_i, y_i, T_o, B)) \quad [2]$$

حالی است که روش‌های مبتنی بر مدل‌های انتقال تابشی مانند فلش بدون استفاده از داده‌های زمینی و فقط بر اساس اطلاعات موجود در تصاویر ماهواره‌ای (متادیتا) فرآیند تصحیح بر روی آن‌ها صورت می‌گیرد. حال آنکه در این تحقیق با توجه به استفاده از تصاویر سال‌های مختلف و عدم دسترسی به داده‌های زمینی مربوط به سال‌های مورد مطالعه، لذا از مدل‌های انتقال تابشی استفاده شد. به منظور انجام پیش‌پردازش بروی تصاویر سنجنده مودیس نیز در ابتدا با استفاده از افزونه Modis Conversion Toolkit در نرم‌افزار ENVI تصاویر با فرمت HDF فراخوانی و سیستم مختصات آن‌ها به سیستم مختصات جهانی (UTM) تغییر یافت. قابل ذکر است که در این تحقیق از تصاویر مربوط به محصولات سطح اول سنجنده مودیس استفاده شده است که یک سری از تصحیحات از جمله تصحیح رادیومتری بر روی این تصاویر صورت گرفته است؛ لذا پس از ژئورفرنس کردن، تصحیح اتمسفری نیز بر روی این تصاویر نیز صورت گرفت (۳، ۱۲ و ۱۷). در ادامه طی فرآیند بازنمونه‌گیری مجدد، اندازه پیکسل‌های تصاویر مودیس به اندازه پیکسل لندست (۳۰ متر) تبدیل می‌شوند. علاوه بر آن، دو تصویر لندست زمان اول و دوم با روش نظارت نشده طبقه‌بندی و با استفاده از یک پنجره متحرک پیکسل‌های مشابه پیکسل مرکزی پنجره متحرک تعیین می‌شود. برای اینکه یک پیکسل مشابه پیکسل مرکزی باشد، باید قدر مطلق اختلاف آن پیکسل با پیکسل مرکزی در هر باند طیفی، کمتر یا مساوی دو برابر انحراف معیار آن باند تقسیم بر تعداد کلاس‌های (در این تحقیق تعداد کلاس‌ها برابر با ۸ کلاس بود) مورد مطالعه است. پیکسل‌هایی که در تمامی باند این شرط را داشته باشد، به‌عنوان پیکسل مشابه در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه، برای هر پیکسل، تعدادی پیکسل مشابه وجود دارد که با توجه به فاصله آن‌ها از پیکسل مرکزی و همچنین میزان همبستگی آن‌ها با پیکسل مرکزی بین صفر و

در این رابطه؛ N تعداد پیکسل‌های مشابه در پنجره متحرک شامل خود پیکسل مرکزی (هدف) با مختصات  $W_1 \times w/2, y_{w/2}$  وزن i امین پیکسل مشابه و  $\mathcal{G}_i$  ضریب تبدیل i امین پیکسل مشابه است. اندازه پنجره متحرک برای جست‌وجوی پیکسل‌های مشابه بر اساس همگنی منطقه، به‌صورت اندازه کوچک‌تر برای مناطق همگن و بزرگ‌تر برای مناطق ناهمگن، تعیین می‌شود. در این تحقیق اندازه پنجره متحرک به صورت پیش‌فرض و برابر با ۲۵ پیکسل در نظر گرفته شد. به‌منظور تعیین ضرایب رابطه ۱ و تعیین بازتابندگی پیکسل تصویر پیش‌بینی شده در مدل ESTARFM از دو زوج تصویر لندست و مودیس مربوط به دو زمان متفاوت و همچنین یک تصویر مودیس برای زمانی که قرار است تصویر لندست شبیه‌سازی شود استفاده می‌گردد (۹). در ابتدا به‌منظور تطابق مکانی و بازتابندگی سطحی تولیدشده از تصاویر، پیش‌پردازش‌های لازم از قبیل تصحیحات هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر لندست و مودیس در نرم‌افزار ENVI انجام شد. به‌منظور آماده‌سازی و پیش‌پردازش تصاویر ماهواره لندست با توجه به اینکه این تصاویر از قبل زمین مرجع بوده و RMSe آن‌ها کمتر از ۰/۵ (۰/۴۱) پیکسل است، لذا از مرحله تصحیح هندسی در این تحقیق صرف‌نظر شده است. در ادامه به‌منظور بهبود کیفیت تصاویر، افزایش وضوح و در نتیجه افزایش میزان اطلاعات قابل استخراج از تصاویر، تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری بر روی این تصاویر صورت گرفت. در این تحقیق تصحیح رادیومتریکی با استفاده از الگوریتم Calibration Radiometric بر روی تصاویر ماهواره لندست انجام شد (۷). به‌منظور تصحیح اتمسفری تصاویر لندست نیز از روش فلش (FLAASH) استفاده شد (۱۴). ذکر این نکته حائز اهمیت است که در روش‌هایی مانند تصحیح جوی خط تجربی انطباق (Model line Empirical) برای اعمال تصحیحات نیاز به بازتاب‌های زمینی دارد، این در

بعد برآورد می‌گردد (۲۸، ۳۰ و ۳۳). در شکل ۳ نمایی از مدل رگرسیونی خطی برآورد شده برای تعیین ضریب تبدیل پیکسل‌های مشابه نمایش داده شده است.

۱ وزندهی می‌شوند. برای به دست آوردن ضرایب تبدیل نیز از رگرسیون پیکسل‌های مشابه استفاده می‌شود و بازتابندگی پیکسل لندست مرکزی در زمان پیش‌بینی از طریق وزندهی زمانی بازتابندگی دو پیکسل لندست قبل و



شکل ۳. مدل رگرسیونی خطی پیکسل‌های مشابه توان تفکیک بالا داخل پیکسل توان تفکیک پایین مربوط به سال ۲۰۰۱

Fig. 3. Linear Regression model of similar pixels with high resolution in similar pixels with low resolution relate to 2001

### پایش وضعیت پوشش گیاهی

به‌منظور بررسی وضعیت پوشش گیاهی طی سال‌های مورد مطالعه، پس از موزاییک‌سازی فرم‌های شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل ESTARFM، محدوده مورد مطالعه با اعمال تابع subset برای باندهای شبیه‌سازی شده (۴ باند) جدا شد (۲۸). به‌منظور بررسی وضعیت پوشش گیاهی از شاخص گیاهی تعدیل شده بر حسب خاک (SAVI) و شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) به‌ترتیب از رابطه‌های ۳ و ۴ استفاده شد (۷ و ۱۴).

$$SAVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \times (1 + L) \quad [3]$$

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad [4]$$

در این رابطه؛ NIR برابر با ارزش بازتاب باند مادون قرمز نزدیک، R برابر با ارزش بازتاب باند قرمز و L برابر با ضریب تصحیح روشنایی خاک است که مقادیر این ضریب با توجه به

در این تحقیق از تصاویر با اختلاف زمانی ۱۵ و ۱۸ روز به دلیل نبود تصاویر با ابرناکی کم‌تر از ۵ درصد در طی بازه زمانی تغییرات پوشش گیاهی و نوسانات جریان‌های سیلابی طی سال‌های کم‌آبی، نرمال و پربابی استفاده شد. قابل ذکر است در مطالعات صورت گرفته همچون؛ توابه و فتهون (۲۳)، وانگ و همکاران (۲۴)، و ژو و همکاران (۳۲) این اختلاف زمانی ۱۶ روز در نظر گرفته شده است که نسبتاً مشابه با اختلاف زمانی در نظر گرفته شده در این تحقیق است. به‌منظور اعتبارسنجی دقت تصاویر شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل ESTARFM، نیز این تصاویر با تصاویر واقعی لندست با بکارگیری سنج‌های آماری مانند ضریب تعیین ( $R^2$ ) و مجذور مربعات میانگین خطا (RMSE) با استفاده از پکیج GGally در نرم افزار RStudio مورد ارزیابی قرار گرفت.

مورد مطالعه تهیه شد. به منظور ارزیابی صحت طبقه‌بندی صورت گرفته ضریب کاپا برای هر یک از تصاویر مورد استفاده بر اساس رابطه ۶ برآورد شد (۱۴).

$$Kappa = \frac{p_o - p_c}{1 - p_c} * 100 \quad [6]$$

در این رابطه؛  $p_o$  درستی مشاهده شده و  $p_c$  توافق مورد انتظار می‌باشد. با طبقه‌بندی نقشه پوشش گیاهی به منظور تعیین آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی از تابع cross tab در محیط ENVI استفاده شد. همچنین مساحت هر یک از کلاس‌ها با همپوشانی با نقشه کاربری‌های اراضی ارائه شده از سوی سازمان جنگل‌ها و مراتع با تبدیل نقشه‌های رستری به فرمت Shapefile در محیط ArcGIS برآورد شد.

### نتایج

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل سری زمانی داده‌های دبی ایستگاه مورد مطالعه در شکل ۴ و جدول ۲ ارائه شده است. با بررسی دستور (high. Spell. lengths) مقدار آستانه (high. spell. threshold) برای ایستگاه کهک برابر با ۱۵۷ متر مکعب بر ثانیه برآورد شد. بر اساس نتایج به دست آمده کل دوره‌های زمانی (برحسب روز) با دبی بالاتر از حد آستانه در طول دوره آماری مورد مطالعه (بر اساس دستور high. Spell. lengths) برابر با ۹۳ روز با میانگین دبی ۵۷۰/۳۴ متر مکعب بر ثانیه و مربوط به سال ۱۳۷۰ و در رتبه بعدی با فراوانی ۹۰ روز با میانگین ۳۴۰ متر مکعب و مربوط به سال ۱۳۹۸ است. با بررسی کل دوره‌های زمانی (برحسب روز) با دبی کمتر از حد آستانه در طول دوره آماری مورد مطالعه (بر اساس دستور Low. Spell. Lengths)، یافته‌ها بیانگر آن است که بیشترین دوره زمانی وقوع سیلاب‌های با دبی کمتر از حد آستانه برابر با ۳۵۵ روز با میانگین دبی ۴/۸ متر مکعب بر ثانیه و مربوط به سال ۱۳۸۰ می‌باشد.

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

مطالعات صورت گرفته برابر با ۰/۵ می‌باشد. دامنه تغییرات مقادیر عددی شاخص پوشش گیاهی (SAVI) و (NDVI) بین +۱ تا -۱ است.

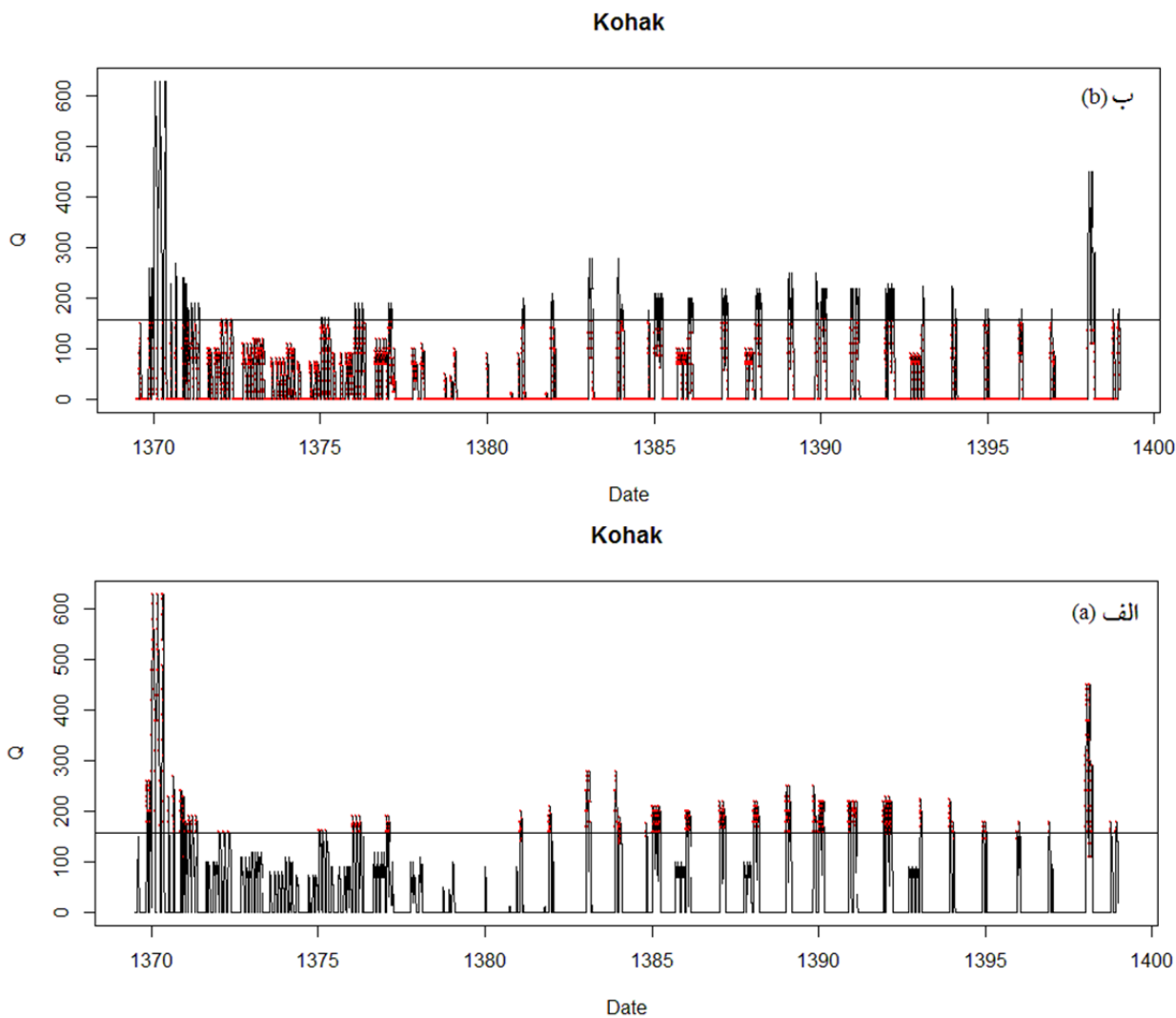
مناطق که دارای پوشش گیاهی متراکم باشند این شاخص به سمت +۱ و نواحی که از لحاظ تراکم گیاهی ضعیف باشد به سمت -۱ میل می‌کند. به منظور بررسی تغییرات پوشش گیاهی طی سال‌های کم‌آبی، نرمال و پرآبی در ابتدا به ارزیابی شاخص‌های گیاهی سازگار با منطقه مورد مطالعه پرداخته شد. بدین منظور با توجه به زمان اخذ تصویر ماهواره مربوط به دوره پرآبی (سال ۱۳۹۸) هم‌زمان طی عملیات میدانی اقدام به اندازه‌گیری خصوصیات پوشش گیاهی از جمله تاج پوشش گیاهی به روش ترانسکت خطی (۴ ترانسکت پنجاه متری) شد (۲۴). ابتدا در هر تیپ گیاهی بر اساس ابعاد پیکسل تصویر ماهواره‌ای و رابطه زیر (۵)، حداقل سطح نمونه‌برداری محاسبه شد.

$$A = [P \times (1 + 2L)]^2 \quad [5]$$

در این رابطه؛ مقادیر  $P$ ،  $L$ ،  $A$  ابعاد پیکسل تصویر ماهواره‌ای، میزان خطای تصحیح هندسی (برحسب پیکسل) و حداقل سطح نمونه‌برداری است (۲۵). از آنجائی‌که در این تحقیق از تصویر پیش‌بینی شده با استفاده از مدل ESTRFM با ابعاد پیکسل  $30 \times 30$  متر مربع استفاده شده است، لذا برای اطمینان بیشتر، در هر تیپ گیاهی منطقه به مساحت ۷۸۵۰ متر مربع نمونه‌برداری شد (۱۲). در ادامه به منظور بررسی همبستگی شاخص‌های گیاهی با میزان تاج پوشش گیاهی، با توجه به طول ترانسکت نمونه‌برداری (تهیه نقشه وکتوری به شعاع ۱۰۰ متر برای نمونه‌برداری نقاط) مطالعه تاج پوشش گیاهی از ارزش پیکسل‌های مذکور میانگین‌گیری شد. سپس میزان همبستگی داده‌های جمع‌آوری شده با شاخص‌های مورد مطالعه بررسی و شاخص با بالاترین همبستگی با تیپ‌های گیاهی تعیین و معادله رگرسیونی برآورد درصد پوشش گیاهی با شاخص سازگار با داده‌های زمینی برآورد و با استفاده از آن نقشه درصد پوشش گیاهی منطقه برای هر یک از سال‌های

متوسط حجم سیلاب‌های ورودی (۱۹۰۴/۱۲) به منطقه سیستان در طی دوره آماری ۲۹ ساله می‌باشد (قابل ذکر با توجه به طولانی بودن نتایج فقط بیشترین و کمترین دوره‌های آماره در طول دوره ۲۹ ساله ارائه شده است).

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 می‌باشد که حجم سیلابی‌های ورودی در این سال حدوداً برابر با



شکل ۴. گراف دبی روزانه طول دوره آماری ایستگاه کهک و دبی‌های کم‌تر (الف) و بیشتر از آستانه (ب)

Fig. 4. Daily discharge graph the statistical period of Kahak station and the discharges less (a) and more than the threshold (b)

جدول ۲. نتایج حاصل از برآورد بیشترین و کمترین دوره‌های زمانی (برحسب روز) از حد آستانه در دوره آماری مورد مطالعه ۲۹ ساله

Table 2. Results of estimating the maximum and minimum time periods (in terms of days) of the threshold in the statistical period of 29 years

ایستگاه کهک			
دوره پرآبی			
تعداد	years	high.spell.lengths (day)	Mean discharge (m <sup>3</sup> )
۱	۱۳۶۹	۹۰	۳۲۰
۲	۱۳۷۰	۹۳	۵۷۰
۳	۱۳۹۸	۹۰	۳۴۰
دوره کم‌آبی			
تعداد	سال	low.spell. lengths	Mean discharge
۱	۱۳۷۴	۳۶۵	۴۳/۸
۲	۱۳۷۸	۳۶۵	۳۳/۲
۳	۱۳۸۰	۳۶۵	۴/۸
دوره آبی نرمال			
(low.spell. lengths)		طول دوره‌های زمانی با دبی بیشتر از حد آستانه (high.spell.lengths)	میانگین حجم سیلاب‌های طی دوره آماری ۲۹ ساله (برحسب میلیون مترمکعب)
lengths.low.spell	Mean discharge	high.spell.lengths	Mean discharge
۳۰۵	۳۲	۶۰	۲۱۱
		حجم سیلاب‌های ورودی در سال ۱۳۸۷ (برحسب میلیون مترمکعب)	۱۹۳۷/۲
			۱۹۰۴/۱۲

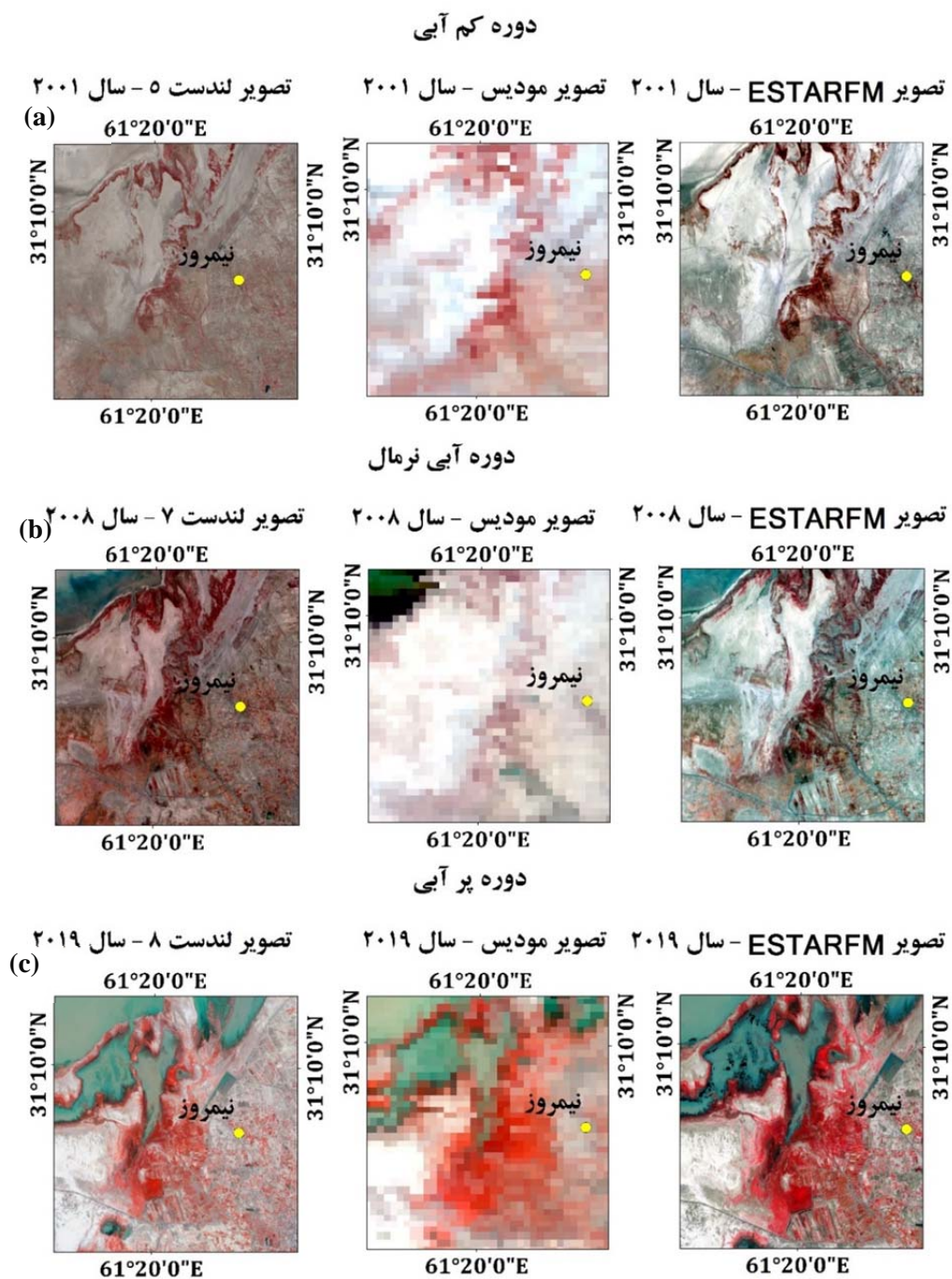
high.spell.lengths = دوره‌های زمانی بیشترین از حد آستانه، low.spell.lengths = دوره‌های زمانی کمتر از حد آستانه

#### ریز مقیاس نمایی تصاویر

نتایج حاصل از تصاویر شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل ESTARFM و تصاویر اصلی لندست و مودیس طی سال‌های مورد مطالعه در شکل (۵) ارائه شده است. با مقایسه بصری

تصاویر شبیه‌سازی شده با تصاویر لندست و مودیس این گونه استنباط می‌گردد که تصاویر شبیه‌سازی شده توسط مدل ESTARFM در حفظ جزئیات مکانی در کاربری‌های مختلف دقت قابل قبولی را نشان می‌دهد.





شکل ۵. نمایی از تصاویر پیش‌بینی شده با مدل ESTARFM در سال‌های کم آبی (a)، نرمال (b) و پر آبی (c)

Fig. 5. View of Predicted images with ESTARFM model related drought (a), normal (b) and wet (c) years

انجام شد. به‌گونه‌ای که تمامی پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه در محاسبه این پارامترهای آماری استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده مقادیر میانگین همبستگی برای باندهای آبی، سبز، قرمز و فروسرخ نزدیک به ترتیب برابر با ۰/۸۹، ۰/۹۲ و ۰/۹۱ و مجذور میانگین مربعات خطا نیز دارای مقادیر

در این تحقیق دو پارامتر آماری همبستگی و مجذور میانگین مربعات خطا برای ارزیابی پیش‌بینی مدل ESTARFM به کار رفت که نتایج در جدول (۳) ارائه شده است. برای محاسبه این پارامترها، مقایسه به صورت پیکسل به پیکسل

کم می‌باشد که نتایج بررسی پارامترهای آماری محاسبه شده حاکی از دقت قابل پذیرش نتایج پیش‌بینی شده با این مدل برای تصاویر پیش‌بینی شده با استفاده از مدل ESTARFM دارد.

جدول ۳. نتایج مقادیر پارامترهای همبستگی و مجذور میانگین مربعات خطا برای ارزیابی باندهای پیش‌بینی شده با استفاده از مدل

ESTARFM

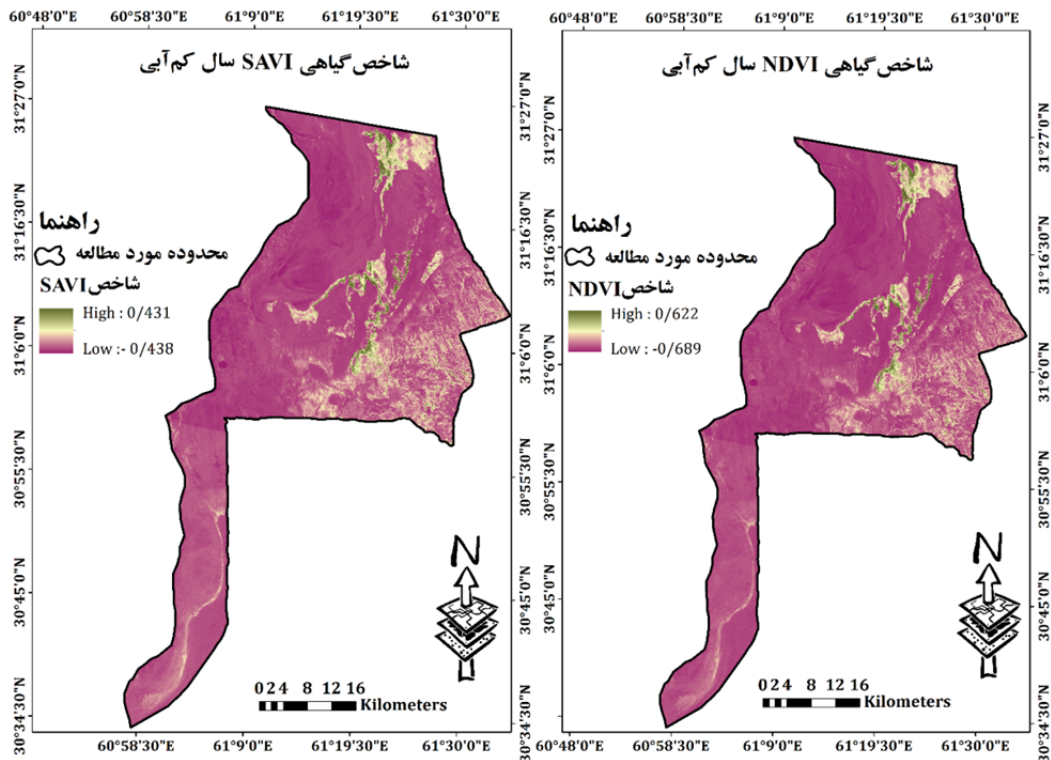
Table 3. Statistical parameters of the linear regression analysis and RMSE between simulated and observed reflectance

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	۲۰۰۱/۴/۲۵	R <sup>2</sup>	۰/۹۷۳	۰/۸۹۳	۰/۹۱۲	۰/۹۱۰	۰/۸۸۰
				RMSE	۰/۰۱	۰/۰۳۷	۰/۰۲۸	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲
Landsat-5	ESTARFM	۱۵۷-۳۹	۲۰۰۱/۴/۲۵	R <sup>2</sup>	۰/۹۳۱	۰/۸۸۳	۰/۹۰۱	۰/۹۰۱	۰/۸۷۰
				RMSE	۰/۰۱	۰/۰۳۴	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱	۰/۰۳۴
Landsat-7	ESTARFM	۱۵۷-۳۸	۲۰۰۸/۵/۲۰	R <sup>2</sup>	۰/۹۲۱	۰/۸۷۹	۰/۹۰۲	۰/۹۲۰	۰/۸۸۰
				RMSE	۰/۰۱	۰/۰۳۵	۰/۰۲۸	۰/۰۲۹	۰/۰۳۲
Landsat-7	ESTARFM	۱۵۷-۳۹	۲۰۰۸/۵/۲۰	R <sup>2</sup>	۰/۹۲۱	۰/۸۹۱	۰/۹۱۱	۰/۹۰۱	۰/۸۹۰
				RMSE	۰/۰۱	۰/۰۲۹	۰/۰۲۳	۰/۰۲۸	۰/۰۳۶
Landsat-8	ESTARFM	۱۵۷-۳۸	۲۰۱۹/۴/۲۵	R <sup>2</sup>	۰/۹۰۹	۰/۸۶۴	۰/۹۲۲	۰/۹۲۱	۰/۸۹۲
				RMSE	۰/۰۱	۰/۰۳۱	۰/۰۲۸	۰/۰۳۲	۰/۰۴۱
Landsat-8	ESTARFM	۱۵۷-۳۹	۲۰۱۹/۴/۲۵	R <sup>2</sup>	۰/۹۰۱	۰/۸۷۱	۰/۹۱۳	۰/۹۰۱	۰/۸۸۹
				RMSE	۰/۰۱	۰/۰۲۷	۰/۰۲۸	۰/۰۳۱	۰/۰۳۷

بررسی تغییرات پوشش گیاهی

نتایج حاصل از بررسی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI و SAVI در شکل‌های ۶ تا ۸ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده دامنه تغییرات پوشش گیاهی بر اساس شاخص گیاهی NDVI طی

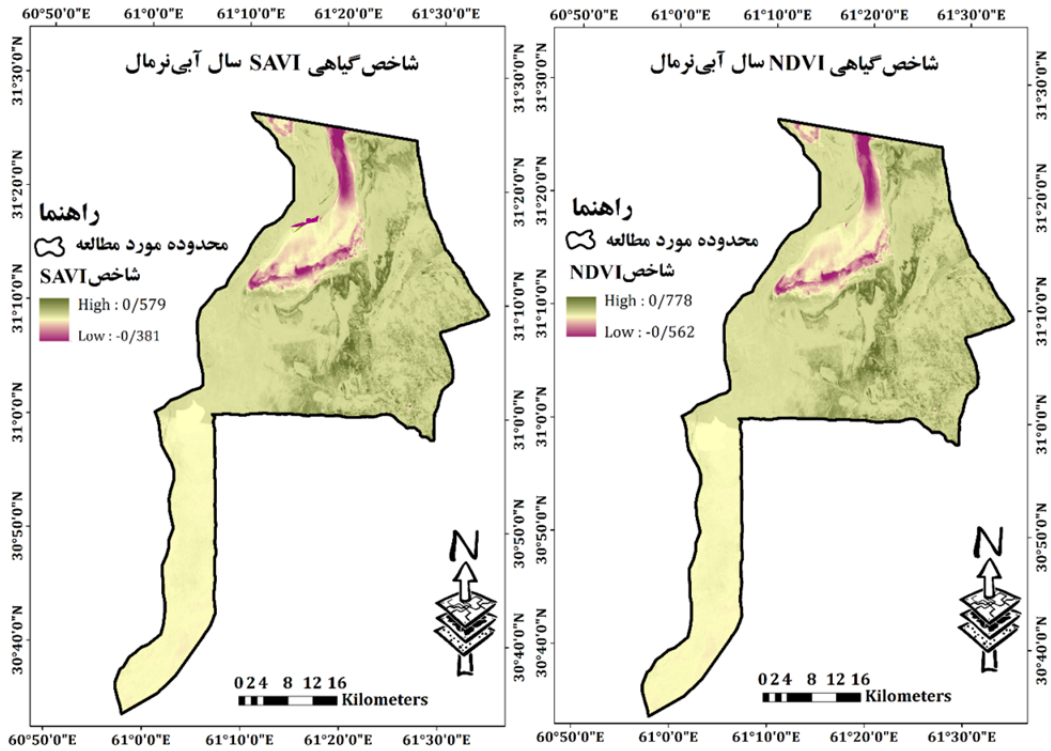
سال‌های کم‌آبی ۰/۷۸۹- تا ۰/۶۲۲، نرمال ۰/۵۴۲- تا ۰/۷۷۸ و در سال پرآبی ۰/۷۸۹- تا ۰/۸۸۱ می‌باشد. دامنه تغییرات پوشش گیاهی بر اساس شاخص SAVI طی سال‌های فوق الذکر به ترتیب برابر با ۰/۴۳۸- تا ۰/۴۳۱، ۰/۳۸۱- تا ۰/۵۷۹ و ۰/۲۲۱- تا ۰/۷۱۲ است.



شکل ۶. نقشه پوشش گیاهی بر اساس شاخص‌های گیاهی SAVI و NDVI طی سال کم‌آبی بر اساس تصاویر شبیه‌سازی شده با استفاده از

مدل ESTARFM

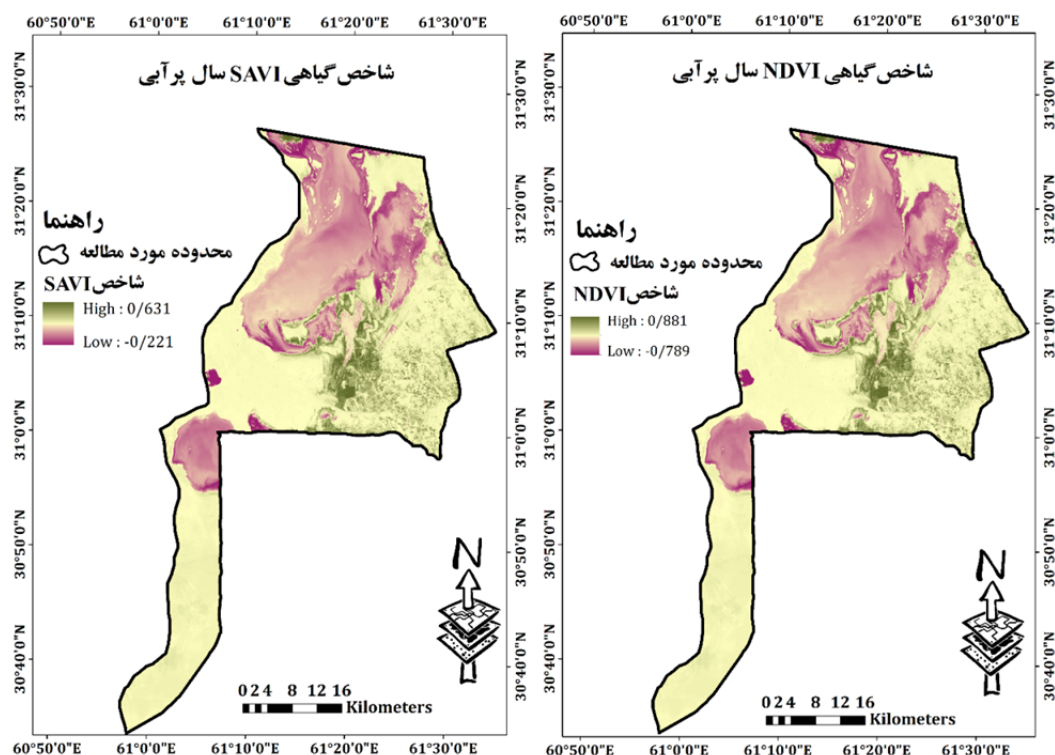
Fig. 6. Vegetation maps of simulated images (ESTARFM model) based on SAVI and NDVI during a drought year



شکل ۷. نقشه پوشش گیاهی بر اساس شاخص‌های گیاهی SAVI و NDVI مربوط به سال آبی نرمال بر اساس تصاویر شبیه‌سازی شده با

استفاده از مدل ESTARFM

Fig. 7. Vegetation map of simulated images (ESTARFM model) based on SAVI and NDVI index during normal year



شکل ۸. نقشه پوشش گیاهی بر اساس شاخص های گیاهی SAVI و NDVI طی سال پرآبی بر اساس تصاویر شبیه سازی شده با استفاده از مدل ESTARFM

Fig. 8. Vegetation map of simulated images (ESTARFM model) based on SAVI and NDVI index during wet year

درصد پوشش گیاهی با استفاده از شاخص SAVI و داده های زمینی برداشت شده محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است. به منظور تعیین کلاس های پوشش گیاهی با استفاده از شاخص SAVI، ۶ کلاس پوشش گیاهی بر مبنای طبقات پوشش گیاهی سال پرآبی به دست آمد که بر اساس آن نقشه پوشش گیاهی سال های نرمال و کم آبی نیز طبقه بندی شد که نتایج به دست آمده از ارزیابی صحت نقشه های تولید شده و نقشه پوشش گیاهی تهیه شده برای هر یک از سال های مورد مطالعه به ترتیب در جدول ۶ و شکل ۹ ارائه شده است.

نتایج به دست آمده از همبستگی شاخص های گیاهی SAVI و NDVI با داده های زمینی برداشت شده در هر یک از تیپ های گیاهی غالب در منطقه مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. با مقایسه همبستگی شاخص های پوشش گیاهی، یافته ها بیانگر آن است که شاخص SAVI همبستگی بیشتری نسبت به شاخص NDVI با پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه و همچنین نتایج به دست آمده از مطالعات میدانی را نشان می دهد. با توجه به همبستگی بالای شاخص گیاهی SAVI با تیپ های گیاهی منطقه مورد مطالعه، معادله رگرسیونی برآورد

جدول ۴. میزان همبستگی تیپ‌های گیاهی با شاخص‌های گیاهی مورد مطالعه

Table 4. Correlation of plant types with studied plant indices

تیپ گیاهی	روش نمونه‌برداری		شاخص گیاهی
	ترانسکت		
	مقادیر $r^2$	مقادیر p	
A-1 <sup>۱</sup>	۰/۸۸	۰/۰۰۲	SAVI
a-T <sup>۲</sup>	۰/۷۹	۰/۰۰۴	
C <sup>۳</sup>	۰/۸۰	۰/۰۰۳	
A-H <sup>۴</sup>	۰/۸۲	۰/۰۰۲	
B-H <sup>۵</sup>	۰/۸۵	۰/۰۰۲	
گندم	(mean ۰/۸۱)	۰/۰۰۳	
جو			
A-1 <sup>۱</sup>	۰/۷۸	۰/۰۰۴	NDVI
a-T <sup>۲</sup>	۰/۶۹	۰/۰۰۶	
C <sup>۳</sup>	۰/۵۶	۰/۰۰۷	
A-H <sup>۴</sup>	۰/۶۴	۰/۰۰۴	
B-H <sup>۵</sup>	۰/۷۱	۰/۰۰۵	
گندم	(mean ۰/۸۳)	۰/۰۰۲	
جو			

<sup>۱</sup> Aeluropus littoralis, <sup>۲</sup> Tamarix aphylla, <sup>۳</sup> Chenopodiace, <sup>۴</sup> Haloxylon aphyllum, <sup>۵</sup> Halostachys belangeriana

جدول ۵. نتایج برآورد مدل رگرسیونی حاصل از شاخص‌های گیاهی SAVI و NDVI با داده‌های زمینی برداشت شده طی سال پرآبی

Table 5. Results of linear regression analysis of SAVI and NDVI With filed data collected during a wet year

شاخص گیاهی	مدل پوشش گیاهی	$r^2$ مقادیر
SAVI	Y=178.2x+21.1	۸۴/۵
NDVI	Y=211x+31.2	۷۷

جدول ۶. نتایج صحت طبقه‌بندی نقشه درصد پوشش گیاهی طی سال‌های مورد مطالعه

Table 6. Results of the accuracy of the vegetation percentage classification map during the studied years

سال	ضریب کاپا	صحت کلی
کم‌آبی	۰/۸۸	۹۰/۱
نرمال	۰/۸۹	۹۱/۳
پرآبی	۰/۸۹	۹۰/۴

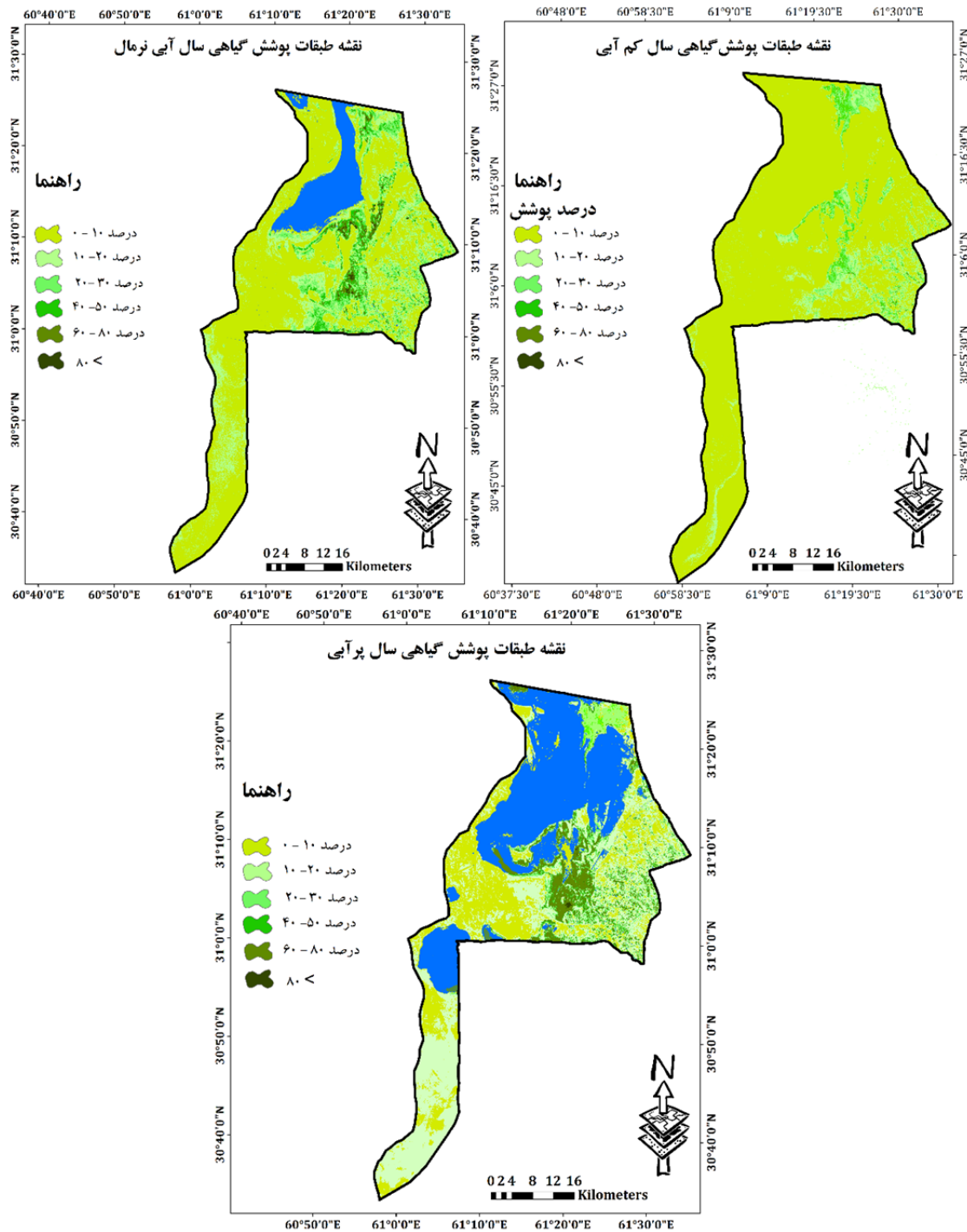
بخش اندکی از مساحت منطقه مورد مطالعه دارای پوشش گیاهی متراکم (< ۸۰) می‌باشد که مساحتی حدود ۲۱۲/۸۶ هکتار را شامل می‌شود. با مقایسه مساحت کلاس‌های طبقه‌بندی شده طی دوره‌های نرمال و پرآبی، یافته‌ها بیانگر آن

با توجه به نتایج به دست آمده طی دوره کم‌آبی، بیشترین وسعت اراضی دارای پوشش گیاهی ۰ تا ۱۰ درصد (۱۳۸۱۷۶/۳ هکتار) است. به طوری که ۷۰ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهد. در مقابل



هکتار (۴۸ درصد) و ۵۰۵۵۹/۷ هکتار (۳۰ درصد) کاهش یافته و در مقابل سایر کلاس‌های پوشش گیاهی روند افزایشی داشته است (شکل ۱۰).

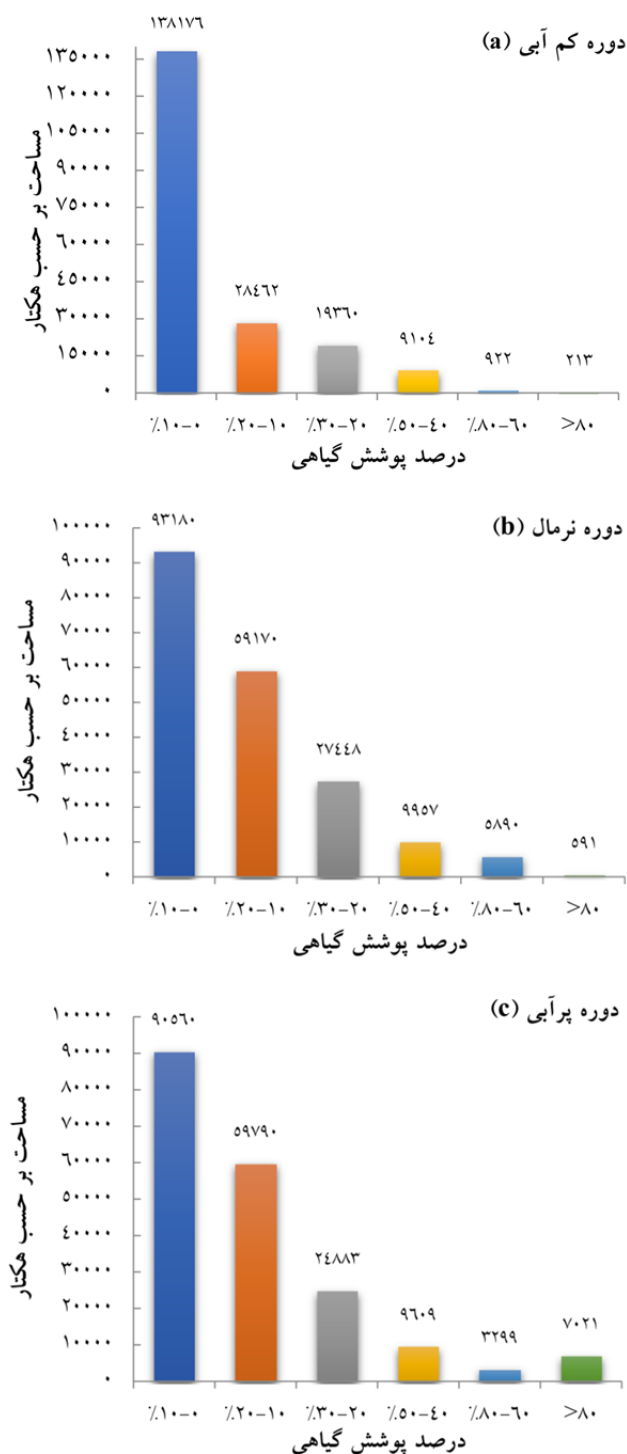
است که مساحت کلاس یک که بیشترین وسعت اراضی را طی دوره کم‌آبی شامل می‌شود به‌طور محسوسی کاهش یافته است. به‌طوری‌که در طی دوره پرآبی و نرمال به‌ترتیب به ۶۶۲۶۹/۹۸



شکل ۹. طبقه‌بندی نقشه پوشش گیاهی سال‌های کم‌آبی، نرمال و پرآبی بر اساس تصاویر شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل ESTARFM  
 Fig. 9. Classification of vegetation map of simulated images (ESTARFM model) related drought, normal and wet years



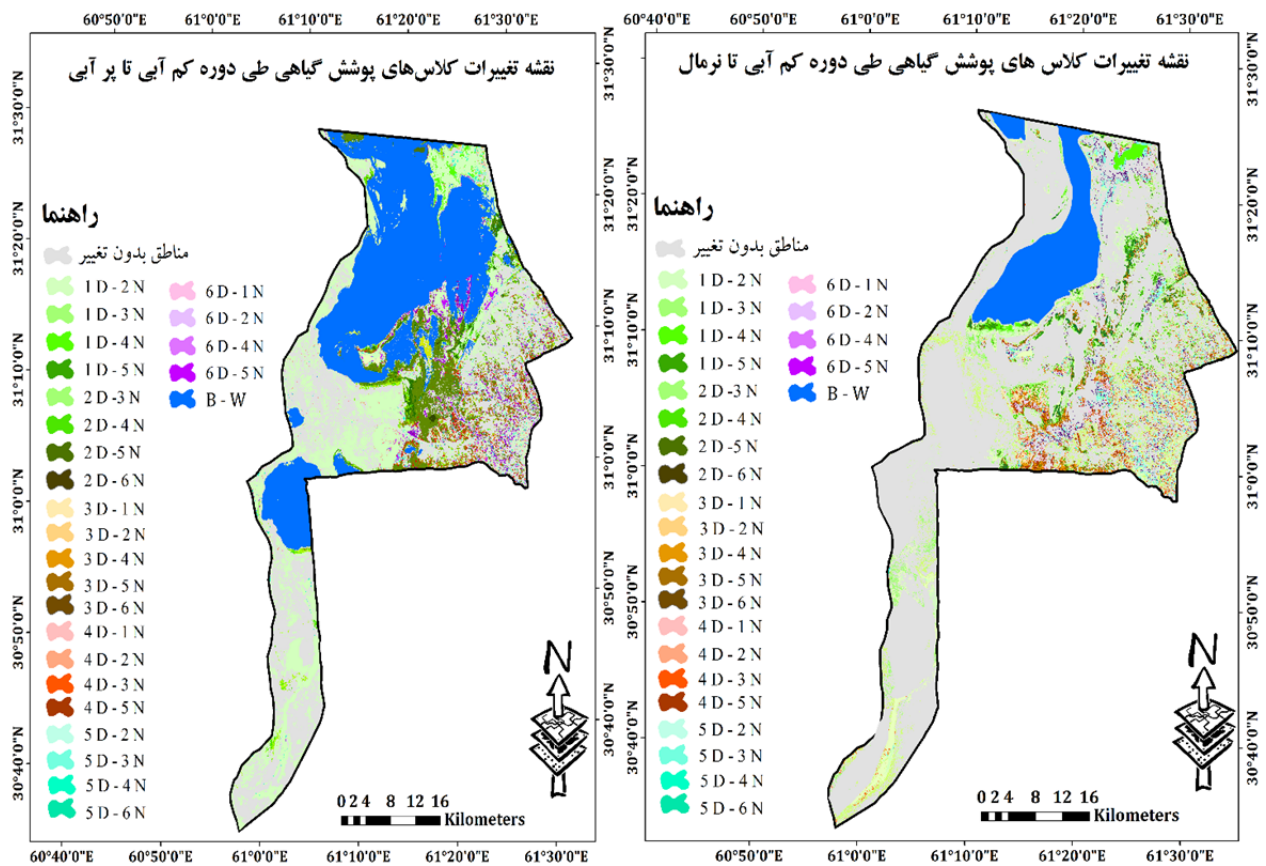
به‌منظور بررسی تغییرات کلاس‌های پوشش گیاهی طی دوره مورد مطالعه، روند تغییرات پوشش گیاهی برای دو بازه زمانی کم‌آبی تا نرمال و کم‌آبی تا پرآبی با عملیات آشکارسازی تغییرات با استفاده از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی برای دو بازه زمانی مورد بررسی انجام شد که نتایج آن در شکل ۱۱ و جدول‌های ۷ تا ۸ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، طی دوره کم‌آبی تا نرمال بیشترین درصد تغییرات برابر با ۲۴/۹ درصد و مربوط به تبدیل کلاس‌هایی ۱ به ۲ می‌باشد که به‌تبع آن ۳۴۴۷۵/۹ هکتار از اراضی با افزایش نسبی پوشش گیاهی نسبت به دوره کم‌آبی همراه بوده است. همچنین نتایج بیانگر آن است که علاوه بر تغییرات کلاس‌های ذکر شده بخش قابل توجهی از تغییرات مربوط به تبدیل کلاس‌های ۱ و ۲ به کلاس‌های ۳، ۴ و ۵ است. به‌طوری‌که ۱۱ و ۴۰ درصد تغییرات کلاس‌های ۱ و ۲ (به‌ترتیب معادل با ۱۴۹۸۴/۲۶ و ۱۱۴۷۱/۸۸ هکتار از اراضی) مربوط به تبدیل کلاس‌های فوق‌الذکر به کلاس‌هایی با درصد پوشش بالاتر است. در بررسی تغییرات پوشش گیاهی طی دوره کم‌آبی تا پرآبی نیز یافته‌ها بیانگر آن است که بیشترین تغییرات پوشش گیاهی مشابه با دوره کم‌آبی تا نرمال مربوط به تبدیل کلاس ۱ به ۲ است که طی آن ۳۰۴۴۳/۸ هکتار از اراضی با پوشش بسیار ضعیف با افزایش ۱۰ تا ۲۰ درصدی پوشش گیاهی همراه بوده است. همچنین بررسی تغییرات پوشش گیاهی طی این دوره بیانگر آن است که درصد افزایش نسبی کلاس‌هایی با درصد پوشش بالاتر نیز روند افزایشی داشته است. به‌گونه‌ای که طبقات پوشش گیاهی متراکم از جمله کلاس‌های با پوشش ۶۰ تا ۸۰ و بیش از ۸۰ درصد (کلاس‌های ۵ و ۶) نسبت به دوره کم‌آبی به‌ترتیب ۴ و ۳۳ برابر افزایش یافته است (به‌ترتیب از ۹۲۱/۷۳ و ۲۱۲/۸۶ هکتار در دوره کم‌آبی به ۳۲۹۹/۱۴ و ۷۰۲۰/۶۵ هکتار در سال پرآبی افزایش یافته است).



شکل ۱۰. مساحت درصد پوشش گیاهی تصاویر شبیه‌سازی

شده طی سه سال کم‌آبی، نرمال و پرآبی

Fig. 10. Area of vegetation percentage of simulated images during three years of drought (a), normal (b) and wet (c).



شکل ۱۱. نقشه تغییرات کلاس های پوشش گیاهی طی دوره های کم آبی - نرمال و کم آبی - پر آبی (D=کم آبی، N=نرمال و W=پر آبی، اعداد ۱ تا ۶ به ترتیب مربوط به کلاس های پوشش گیاهی است)

Fig. 11. Map of changes in vegetation classes during periods drought - normal and drought - wet years (D = drought, N= Normal, W=Wet, Numbers 1 to 6 refer to vegetation classes, respectively)

جدول ۷. ماتریس تغییرات کلاس های پوشش گیاهی طی دوره کم آبی تا نرمال

Table 7. Matrix of changes in vegetation classes during the period of drought to normal

دوره کم آبی							طبقات
جمع	۸۰ <	کلاس ۶۰-۸۰	کلاس ۴۰-۵۰	کلاس ۲۰-۳۰	کلاس ۱۰-۲۰	کلاس ۰-۱۰	
۹۳۱۸۰	-	۲۲/۸۲۵	۲۵۵/۶۵	۱۰۹۴/۳۶	۳۱۴۴/۸۵	۶۱۷۰۲/۳	کلاس ۰-۱۰
۵۹۱۶۹/۹	۲۵/۱	۲۵۰/۸۲	۳۱۰۸/۵۳	۷۵۰۹/۴۸	۲۲۱۴/۱	۳۴۴۷۵/۹	کلاس ۱۰-۲۰
۲۷۴۷۷/۸	۸۳/۸۲	۱۴۸/۰۴	۲۶۰۴/۴۹	-	۷۳۵۴/۲۹	۱۰۹۰۴/۱	کلاس ۲۰-۳۰
۹۹۵۷/۲۱	۲۵/۵۸	۲۰۴/۵۰۲	۲۱۰۱/۲	۳۲۳۷/۸۸	۱۴۸۳/۷۱	۲۶۰۲/۵۴	کلاس ۴۰-۵۰
۵۸۹۰/۰۷	۷۱/۲۳	-	۶۸۱/۵۶۵	۹۲۵/۷۹۶	۲۶۳۳/۸۸	۱۴۷۷/۶	کلاس ۶۰-۸۰
۵۹۱/۴۲۱	۵۲/۱۱	۱۹۵/۵۳۶	۵۰/۷۶	۱۹۴/۳۹	۴۴/۸۱	۵۳/۸۱۵	۸۰ <
۴۵۲۹۵/۷	۰/۰۰۵	۱۰۰	۳۰۱/۸۰۴	۶۳۹۸	۱۱۵۸۵/۹	۲۶۹۱۰	پوشش گیاهی در آب
۱۹۶/۲۳۶	۲۱۲/۸۶	۹۲۱/۷۳	۹۱۰۴	۱۹۳۵۹/۹	۲۸۴۶۱/۵	۱۳۸۱۷۶	جمع

جدول ۸. ماتریس تغییرات کلاس‌های پوشش گیاهی طی دوره کم‌آبی تا پرآبی

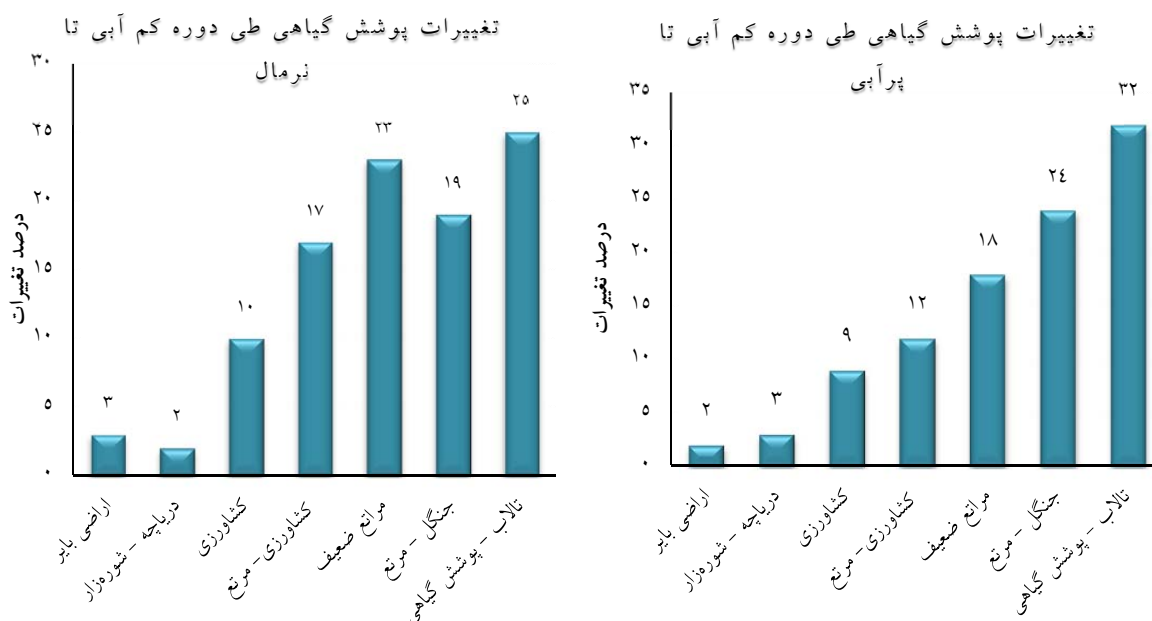
Table 8. The changes of vegetation during drought-Wet period based on transfer matrix

طبقات	دوره کم‌آبی						جمع
	کلاس ۰-۱۰	کلاس ۱۰-۲۰	کلاس ۲۰-۳۰	کلاس ۴۰-۵۰	کلاس ۶۰-۸۰	۸۰ <	
کلاس ۰-۱۰	۴۵۳۱۰/۴۸	۳۸۸۶/۴۳۲	۹۹۳/۴۹	۲۷۷/۲۷	۶۵/۳۹	۲۶/۵۹	۵۰۵۹/۶۸
کلاس ۱۰-۲۰	۳۰۴۴۳/۷	۱۱۰۰۳	۳۶۷۸/۴۶	۱۵۸۴/۸	۶۱/۹۴	۱۷/۴۹	۴۶۷۸۹/۶۵
کلاس ۲۰-۳۰	۱۳۷۸۷/۷۵	۷۳۰۳/۸۵	-	۳۵۵۹/۰۳	۲۱۹/۲۳	۱۲/۸۱	۲۴۸۸۲/۶۸
کلاس ۴۰-۵۰	۳۹۲۲/۰۸	۱۱۷۸/۸۵۸	۴۲۷۸/۶۴	-	۲۱۴/۶۳	۱۴/۸۱	۹۶۰۹/۰۳
کلاس ۶۰-۸۰	۱۸۷۰/۴۹	۵۷۱/۶۸۴	۵۱۶/۷۳	۳۳۰/۱۰۹	-	۱۰/۱۱	۳۲۹۹/۱۴
۸۰ <	۱۳۹۵/۵۵۲	۱۶۸۳/۱۵۸	۲۵۳۱/۵۱۸	۱۰۶۵/۴۰۴	۳۴۵/۰۱۵	-	۷۰۲۰/۶۴
پوشش گیاهی در آب	۴۱۴۴۶/۲	۲۸۳۴/۵۵	۷۳۶۰/۸۶	۲۲۸۷/۳۷۴	۱۵/۵	۱۳۱/۰۱۱	۵۴۰۷۵/۵
جمع	۱۳۸۱۱۷۶	۲۸۴۶۱/۵	۱۹۳۵۹/۹	۹۱۰۴	۹۲۱/۷۳	۲۱۲/۸۶	۱۹۶۲۳۶

دوره پرآبی

کاربردهایی تالاب-پوشش گیاهی، جنگل- مرتع، مراتع ضعیف و اراضی کشاورزی است. در مقابل پوشش گیاهی در کاربردهای دریاچه-شوره‌زار و اراضی بایر بدون تغییر و به‌طور عمده بیشترین وسعت این اراضی طی دوره‌های مورد مطالعه مربوط به کلاس اول و دوم می‌باشد.

در بررسی تغییرات پوشش گیاهی در کاربردهای مختلف، با توجه به نقشه کاربری اراضی ارائه شده از سوی سازمان جنگل‌ها و مراتع تغییرات پوشش گیاهی به تفکیک کاربری‌ها برآورد شد که نتایج آن در شکل ۱۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین تغییرات مربوط به



شکل ۱۲. تغییرات پوشش گیاهی به تفکیک کاربری اراضی طی دوره کم‌آبی - نرمال و دوره کم‌آبی - پرآبی

Fig. 12. vegetation changes based on land-use during drought - normal and drought - wet periods

## بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق که برای اولین بار در شهرستان نیمروز انجام شد ضمن تجزیه و تحلیل دوره‌های کم‌آبی و پرآبی با ترکیب تصاویر ماهواره لندست و سنجنده مودیس و شبیه‌سازی تصاویر لندست مانند در مقیاس روزانه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر با استفاده از مدل ESTARFM، تغییرات پوشش گیاهی طی سال‌های کم‌آبی، نرمال و پرآبی مورد بررسی قرار گرفت. در تجزیه و تحلیل دوره‌های کم‌آبی و پرآبی طی سال‌های مورد بررسی یافته‌ها نشان داد که نوسانات قابل توجهی در میزان حجم سیلاب ورودی به منطقه سیستان طی دوره‌های مورد مطالعه وجود دارد. به طوری که حجم سیلاب در سال کم‌آبی نسبت به سال‌های نرمال و پرآبی به ترتیب ۳۱ و ۸۲ درصد کاهش یافته است. از آنجا که تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی در یک اکوسیستم بیشتر متأثر از عوامل اقلیمی و هیدرولوژیکی و سپس توپوگرافی و عوامل زمین‌ساخت هست (۵ و ۱۹)، لذا نوسان در شرایط هیدرولوژیکی نقش بارزی در تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی ایفاء می‌نماید (۲۲). به طوری که طی سال کم‌آبی ۷۰ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه دارای پوشش گیاهی ۰ تا ۱۰ درصد (۱۳۸۱۷۶/۳ هکتار) است که طی دوره آبی نرمال و پرآبی با افزایش پوشش گیاهی به ترتیب ۳۰ (معادل با ۵۰۵۵۹/۷ هکتار) و ۴۸ درصد (معادل با ۶۶۲۶۹/۹۸ هکتار) کاهش یافته است. این فرآیند مطابق با مطالعات جهان تیغ و جهان تیغ (۱۴) به دلیل تأمین شدن نیاز آبی و رطوبت مورد نیاز برای احیاء پوشش و رشد گیاه در منطقه مورد مطالعه است که با احیاء پوشش گیاهی اثر بسزایی بر بیابان‌زدایی در منطقه مورد مطالعه دارد. با آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی طی دوره‌های کم‌آبی تا نرمال و کم‌آبی تا پرآبی نتایج نشان داد که بیشترین تغییرات با میانگین ۴۵/۹ درصد مربوط به تبدیل کلاس‌هایی ۱ به ۲ است که به تبع آن به طور متوسط ۳۲۱۲۵/۹ هکتار از اراضی با افزایش نسبی پوشش گیاهی نسبت به دوره کم‌آبی همراه بوده است. همچنین نتایج بیانگر آن است که بخش قابل توجهی از

تغییرات نیز مربوط به تبدیل کلاس‌های ۱ و ۲ به کلاس‌های ۴ و ۵ است که به ترتیب ۱۶۲۸۴/۲۶ و ۱۱۴۷۱/۸۸ هکتار از اراضی منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود (به ترتیب معادل با ۱۸ و ۲۷ درصد تغییرات در طی مورد مطالعه). این فرآیند بیانگر رویش تیپ‌هایی گیاهی با قابلیت ایجاد پوشش گیاهی بالا در منطقه مورد مطالعه است. به عبارتی با توجه به شرایط سخت اکولوژیکی و همچنین کمبود نزولات جوی برخی گونه‌های گیاهی نسبت به این شرایط سخت اقلیمی قابلیت سازگاری داشته و تحت شرایط رطوبتی کم استقرار یافته و با تأمین شدن نیاز رطوبتی طی دوره‌های پرآبی رشد و تکاملی گیاه ادامه می‌یابد (۱۰ و ۳۲)، که از جمله مهم‌ترین این گونه‌های گیاهی می‌توان به بونو (*Aeluropus littoralis*) و زرد تاغ (*Haloxylon persicum*) اشاره نمود که به طور عمده فرم رویشی علوفه‌ای و بوته‌ای دارند. علاوه بر آن گونه‌های گیاهی دیگر همانند گز شاهی (*Tamarix aphylla*) و سیاه تاغ (*Haloxylon aphyllum*) با فرم رویشی درختچه‌ای نیز با فراهم شدن نیاز رطوبتی گیاه قادر به تولید پوشش گیاهی قابل ملاحظه‌ای است که در مطالعات صورت گرفته همچون جهان تیغ و همکاران (۱۵) نیز به اهمیت این مهم اذعان شده است. یافته‌ها همچنین گویای این مهم است که طی سال‌های مورد مطالعه پوشش گیاهی در برخی عرصه‌های طبیعی بدون تغییر و به طور عمده دارای پوشش گیاهی ضعیف و مربوط به کلاس یک است. بیشترین تغییرات مربوط به کاربری‌هایی تالاب-پوشش گیاهی، جنگل-مرتع، مراتع ضعیف و اراضی کشاورزی است. در مقابل پوشش گیاهی در کاربری‌های دریاچه-شوره‌زار و اراضی بایر بدون تغییر و به طور عمده بیشترین وسعت این اراضی طی دوره‌های مورد مطالعه مربوط به کلاس اول و دوم است. با توجه به اثر عوامل هیدرولوژیکی نظیر شیب کم و تغییر در دبی جریان‌های سیلابی ورودی به منطقه سیستان (همان) بخش‌های از عرصه‌های طبیعی هموار تحت تأثیر سیلاب‌های ورودی از کشور افغانستان قرار می‌گیرند که به تبع آن باعث رشد و احیاء پوشش گیاهی در این مناطق می‌شود و از طرفی عرصه‌هایی که تحت تأثیر سیلاب

تصاویر سنجنده‌های OLI و MODIS با استفاده از مدل ESTARFM میانگین خطای مطلق و میزان همبستگی باندهای تصاویر شبیه‌سازی شده با تصاویر لندست را به ترتیب ۰/۰۲۸ (RMSE) و بیشتر از ۰/۹ ( $R^2$ ) گزارش کرده‌اند. همچنین وانگ و همکاران (۲۸) در مطالعه‌ای با هدف تهیه شاخص NDVI با ترکیب تصاویر سنجنده‌های OLI و MODIS با استفاده از مدل ESTARFM دریافتند که همبستگی بالا ( $R^2=0/84$ ) و میانگین خطای مطلق کمی ( $RMSE=0/32$ ) بین شاخص گیاهی تهیه شده از تصاویر پیش‌بینی شده و تصاویر لندست وجود دارد. باتوجه به نتایج ارزیابی شاخص‌های آماری مدل ESTARFM در پیش‌بینی بازتابندگی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از دقت مطلوبی برخوردار است و استفاده از تصاویر شبیه‌سازی شده به منظور تهیه شاخص‌های گیاهی و پایش تغییرات پوشش گیاهی نتایج قابل قبولی را ارائه می‌کند که با نتایج مطالعات صورت گرفته همچون چن و همکاران (۶)، کنائور و همکاران (۱۷)، وانگ و همکاران (۲۴) و یو و همکاران (۳۱)، همخوانی دارد. با توجه به مزایا این مدل استفاده از آن محدودیت‌هایی نیز دارد. در این الگوریتم در ابتدا باید دو پارامتر عرض پنجره جستجو و تعداد کلاس‌های منطقه با دقت بالا انتخاب شود و انتخاب نادرست این پارامترها باعث ایجاد خطای محاسباتی در فرآیند شبیه‌سازی تصاویر می‌شود. از دیگر محدودیت‌های این الگوریتم استفاده از دو جفت تصویر برای پیش‌بینی در یک زمان خاص می‌باشد که این موضوع برای مناطق ابری و همراه با طوفان‌های گرد و غبار از جمله منطقه مورد مطالعه برای تهیه دو تصویر بدون ابر با محدودیت همراه است.

نتایج به دست آمده از تحلیل دوره‌های خشکسالی و ترسالی و پایش تغییرات پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تغییر در شرایط هیدرولوژیکی جریان‌های ورودی به منطقه سیستان نقش بارزی در تغییرات پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه دارد و با توجه به شرایط سخت اقلیمی در این منطقه بخش قابل توجهی از مساحت این منطقه بدون پوشش گیاهی و یا دارای پوشش گیاهی فقیر هستند که با تخریب عرصه‌های طبیعی باعث گسترش

قرار ندارد به دلیل تأمین نشدن نیاز آبی این اکوسیستم‌ها رشد و احیاء پوشش گیاهی در این عرصه‌ها با محدودیت همراه است و به‌طور عمده سطح این اراضی فاقد پوشش گیاهی و یا دارای پوشش گیاهی فقیر است. از آنجاکه پوشش گیاهی با کاهش اثر عوامل فرساینده مانع از هم‌گسیختگی ذرات خاک و حرکت مواد با باد می‌شود (۱۹ و ۲۰)، لذا نبود آن در اراضی لخت از جمله عوامل مؤثر بر ایجاد پدیده فرسایش در مناطق خشک است (۱ و ۸). در مطالعات مبنی بر اثر خشکسالی بر تغییرات کاربری اراضی در منطقه سیستان نبود پوشش گیاهی مناسب و عدم وجود موانع طبیعی با توجه به هموار بودن و شیب ملایم در عرصه‌های طبیعی منطقه سیستان را متأثر از وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان با قدرت فرساینده بالا از جمله عوامل مؤثر بر گسترش کانون‌های بحرانی در این منطقه گزارش نموده‌اند (۱۴). همچنین اجرای اقدامات مکانیکی به منظور بهره‌برداری از سیلاب‌های ورودی به منطقه سیستان برای استقرار پوشش گیاهی با کشت گونه‌های گیاهی سازگار (از جمله گز شاهی، سیاه تاغ و زرد تاغ) با شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه را مهمترین راهکار برای تثبیت و کنترل کانون‌های فرسایش بادی در منطقه سیستان معرفی نموده‌اند که با توجه به نتایج به دست آمده و تغییرات محسوس پوشش گیاهی طی سال‌های مورد مطالعه اجرای آن بستری مناسب برای احیای پوشش گیاهی و بهبود شرایط زیست محیطی در منطقه سیستان را فراهم می‌نماید. علاوه بر موارد فوق‌الذکر در این مطالعه قابلیت استفاده از مدل ESTARFM برای به‌کارگیری از قابلیت‌های مکانی تصاویر لندست و زمانی سنجنده مودیس مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج ارزیابی شاخص‌های آماری میانگین همبستگی باندهای آبی، سبز، قرمز و فروسرخ نزدیک با تصاویر پیش‌بینی شده به ترتیب برابر با ۰/۹، ۰/۹۱، ۰/۹۱ و ۰/۸۵ و درصد خطای مطلق به ترتیب ۰/۰۱، ۰/۰۲۷، ۰/۰۲۸ و ۰/۰۳۱ می‌باشد که بیانگر همبستگی بالا بین باندهای تصاویر شبیه‌سازی شده با تصاویر لندست و همچنین کم‌ترین مقادیر خطا می‌باشد. در مطالعات صورت گرفته همچون وان و همکاران (۲۷) نیز در ترکیب

محصولات سنجش از دوری با توان تفکیک بالای مکانی و پوشش بالای زمانی است. پیشنهاد می‌شود به منظور بررسی بهتر عملکرد مدل ESTARFM، مطالعاتی برای مقایسه و ارزیابی اندازه‌ی پنجره جستجو و روش‌های طبقه‌بندی مختلف در کاربری‌های مختلف در منطقه سیستان انجام شود. همچنین، توانایی مدل در ریزمقیاس‌نمایی با سایر تصاویر ماهواره‌ای از جمله تصاویر سنتینل با تفکیک مکانی و زمانی بالاتر جهت تولید تصاویر با وضوح بیشتر مورد بررسی قرار گیرد.

کانون‌های بحرانی و تسریع سیر قهقرایی در این منطقه شده است. در این تحقیق با استفاده از قابلیت‌های داده‌های سنجش از دور و با ترکیب تصاویر با تفکیک مکانی ۳۰ متر در مقیاس روزانه با استفاده از مدل ESTARFM و تولید تصاویر با تفکیک مکانی و زمانی بالا، امکان پایش تغییرات پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه میسر شد. چنین ظرفیتی کمک بزرگی برای پایش تغییرات فصلی و پویای زیست محیطی با توجه به تسریع سیر قهقرایی در منطقه سیستان با تولید

## References

- Akumu CE, Amadi EO, Dennis S. 2021. Application of drone and worldview-4 satellite data in mapping and monitoring grazing land cover and pasture quality: Pre-and post-flooding. *Land*, 10(3): 321. <https://doi.org/10.3390/land10030321>.
- Aqil T, Shu H. 2020. CA-Markov chain analysis of seasonal land surface temperature and land use land cover change using optical multi-temporal satellite data of Faisalabad, Pakistan. *Remote Sensing*, 12(20): 3402. <https://doi.org/10.3390/rs12203402>.
- Bond N. 2015. Hydrostats: Hydrologic indices for daily time series data. R package version 02, 4: 16. <https://CRAN.R-project.org/package=hydrostats>.
- Boubacar S, Jarju AM, Sonko E, Yaffa S, Sawaneh M. 2021. Detection of recent changes in Gambia vegetation cover using time series MODIS NDVI. *Belgeo Revue belge de géographie*(1). <https://doi.org/10.4000/belgeo.47995>.
- Burrell A, Evans J, De Kauwe M. 2020. Anthropogenic climate change has driven over 5 million km<sup>2</sup> of drylands towards desertification. *Nature communications*, 11(1): 3853. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17710-7>.
- Chen Y, Cao R, Chen J, Zhu X, Zhou J, Wang G, Shen M, Chen X, Yang W. 2020. A new cross-fusion method to automatically determine the optimal input image pairs for NDVI spatiotemporal data fusion. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(7): 5179-5194. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2020.2973762>.
- Ebrahimikhusfi Z, Khosroshahi M, Naeimi M, Zandifar S. 2019. Evaluating and monitoring of moisture variations in Meyghan wetland using the remote sensing technique and the relation to the meteorological drought indices. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(2): 1-14. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1398.10.2.1.0>. (In Persian).
- Elhag M, Boteva S, Al-Amri N. 2021. Forest cover assessment using remote-sensing techniques in Crete Island, Greece. *Open Geosciences*, 13(1): 345-358. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0235>.
- Gao F, Hilker T, Zhu X, Anderson M, Masek J, Wang P, Yang Y. 2015. Fusing Landsat and MODIS data for vegetation monitoring. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 3(3): 47-60. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2015.2434351>.
- Gavrilescu M. 2021. Water, soil, and plants interactions in a threatened environment. *Water*, 13(19): 2746. <https://doi.org/10.3390/w13192746>.
- Guan X, Huang C, Zhang R. 2021. Integrating MODIS and Landsat data for land cover classification by multilevel decision rule. *Land*, 10(2): 208. <https://doi.org/10.3390/land10020208>.
- Hongwei Z, Wu B, Wang S, Musakwa W, Tian F, Mashimbye ZE, Poona N, Syndey M. 2020. A synthesizing land-cover classification method based on Google Earth engine: A case study in Nzhelele and Levhuvu Catchments, South Africa. *Chinese Geographical Science*, 30: 397-409. <https://doi.org/10.1007/s11769-020-1119-y>.
- Hu P, Sharifi A, Tahir MN, Tariq A, Zhang L, Mumtaz F, Shah SHIA. 2021. Evaluation of vegetation indices and phenological metrics using time-series modis data for monitoring vegetation change in Punjab, Pakistan. *Water*, 13(18): 2550. <https://doi.org/10.3390/w13182550>.
- Jahantigh M, Jahantigh M. 2019. Study effect of flood productivity on vegetation changes using field work and Landsat satellite images (Case study: Shandak of Sistan region). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(4): 57-73. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1398.10.4.4.7>. (In Persian).
- Jahantigh M, Najafi Nejad A, Jahantigh M, Hosienali Zadeh M. 2020. Investigating the effect of hydrological drought and traditional utilization (distribution and transmission) of water resources



- (flood streams) on land degradation and desertification in drylands: a case study of sistán plain. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 9(27): 25-46.  
<https://doi.org/10.22052/deej.2020.9.27.21>. (In Persian).
16. Kempf M. 2021. Monitoring landcover change and desertification processes in northern China and Mongolia using historical written sources and vegetation indices. *Climate of the Past Discussions*: 1-29. <https://doi.org/10.5194/cp-2021-5>.
  17. Knauer K, Gessner U, Fensholt R, Kuenzer C. 2016. An ESTARFM fusion framework for the generation of large-scale time series in cloud-prone and heterogeneous landscapes. *Remote Sensing*, 8(5): 425. <https://doi.org/10.3390/rs8050425>.
  18. Liu H, Gong P, Wang J, Clinton N, Bai Y, Liang S. 2020. Annual dynamics of global land cover and its long-term changes from 1982 to 2015. *Earth System Science Data*, 12(2): 1217-1243. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1217-2020>.
  19. Majeed M, Tariq A, Anwar MM, Khan AM, Arshad F, Mumtaz F, Farhan M, Zhang L, Zafar A, Aziz M. 2021. Monitoring of land use–Land cover change and potential causal factors of climate change in Jhelum district, Punjab, Pakistan, through GIS and multi-temporal satellite data. *Land*, 10(10): 1026. <https://doi.org/10.3390/land10101026>.
  20. Procházková E, Kincl D, Kabelka D, Vopravil J, Nerušil P, Menšík L, Barták V. 2020. The impact of the conservation tillage “maize into grass cover” on reducing the soil loss due to erosion. *Soil and Water Research*, 15(3): 158-165. <https://doi.org/10.17221/25/2019-SWR>.
  21. Sulimin V, Shvedov V, Lvova M. 2021. Natural resource potential and sustainable development of the regional system. In: *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, p 02034. <https://doi.org/02010.01051/e02033sconf/202129102034>.
  22. Tang Q. 2020. Global change hydrology: Terrestrial water cycle and global change. *Science China Earth Sciences*, 63(3): 459-462. <https://doi.org/10.1007/s11430-019-9559-9>.
  23. Tewabe D, Fentahun T. 2020. Assessing land use and land cover change detection using remote sensing in the Lake Tana Basin, Northwest Ethiopia. *Cogent Environmental Science*, 6(1): 1778998. <https://doi.org/10.1080/23311843.2020.1778998>.
  24. Wang Q, Zhang Y, Onojeghuo AO, Zhu X, Atkinson PM. 2017. Enhancing spatio-temporal fusion of MODIS and Landsat data by incorporating 250 m MODIS data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(9): 4116-4123. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2701643>.
  25. Wang SW, Gebru BM, Lamchin M, Kayastha RB, Lee W-K. 2020. Land use and land cover change detection and prediction in the Kathmandu district of Nepal using remote sensing and GIS. *Sustainability*, 12(9): 3925. <https://doi.org/10.3390/su12093925>.
  26. Wang Y, Luo X, Wang Q. 2021. A boundary finding-based spatiotemporal fusion model for vegetation index. *International Journal of Remote Sensing*, 42(21): 8236-8261. <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1976870>.
  27. Wang Y, Xie D, Zhan Y, Li H, Yan G, Chen Y. 2021. Assessing the accuracy of landsat-MODIS NDVI fusion with limited input data: A strategy for base data selection. *Remote Sensing*, 13(2): 266. <https://doi.org/10.3390/rs13020266>.
  28. Wang Y, Yan G, Hu R, Xie D, Chen W. 2020. A scaling-based method for the rapid retrieval of FPAR from fine-resolution satellite data in the remote-sensing trend-surface framework. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(10): 7035-7048. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2020.2978884>.
  29. Xiao R, Liu Y, Huang X, Shi R, Yu W, Zhang T. 2018. Exploring the driving forces of farmland loss under rapidurbanization using binary logistic regression and spatial regression: A case study of Shanghai and Hangzhou Bay. *Ecological Indicators*, 95: 455-467. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.07.057>.
  30. Yang J, Huang X. 2021. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019. *Earth System Science Data*, 13(8): 3907-3925. <https://doi.org/10.5194/essd-13-3907-2021>.
  31. Yu Q, Liu W, Gonçalves WN, Junior JM, Li J. 2021. Spatial Resolution Enhancement for Large-Scale Land Cover Mapping via Weakly Supervised Deep Learning. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 87(6): 405-412. <https://doi.org/10.14358/PERS.87.6.405>.
  32. Zhou X, Geng X, Yin G, Hänninen H, Hao F, Zhang X, Fu YH. 2020. Legacy effect of spring phenology on vegetation growth in temperate China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 281: 107845. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107845>.
  33. Zhu X, Helmer EH, Gao F, Liu D, Chen J, Lefsky MA. 2016. A flexible spatiotemporal method for fusing satellite images with different resolutions. *Remote Sensing of Environment*, 172: 165-177. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.016>.



Original  
paper

## Monitoring of vegetation changes using daily Landsat-Modis simulated images at in three years of wet, normal and drought in arid region (Case study: Nimroze city)

Moien Jahanthigh, Mansour Jahantigh

Received: 17 June 2021 / Received in revised form 12 September 2021 / Accepted: 15 October 2021  
Available online 15 October 2021 / Available print 21 March 2023

### Abstract

**Background and Objective** land degradation and desertification in arid areas are the most important environmental challenges in the world. This process due to the lack of precipitation and the occurrence of drought, while the unreasonable exploitation of natural and agricultural areas with increasing demand to provide human food needs, affects various environmental and socio-economic dimensions. So, the continuation of this condition during recent years with the destruction of vegetation and soil, wind and water erosion, soil salinity, soil compaction, and declining groundwater aquifers have significant consequences for the production of agricultural products and biodiversity in an arid region. Since the pattern and dimensions of vegetation changes are the most important factors in detecting land degradation, monitoring the vegetation changes is the best approach to analyzing land degrading and desertification trends

**M. Jahanthigh**✉<sup>1</sup>, **M. Jahanthigh**<sup>2</sup>

1. PhD. Student of Watershed Management Science and Engineering, Department of Watershed Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2. Associate Professor, Department of Soil Conservation and Water Management, Sistan Agriculture and Edition Natural Resources Research Center, AREEO, Zabol, Iran

e-mail: [moienja23@yahoo.com](mailto:moienja23@yahoo.com)

<https://doi.org/10.30495/GIRS.2023.685742>

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1402.14.1.6.1>

in an arid region. Therefore, according to the capabilities of remote sensing data due to the wide coverage and multi-timed, the use of satellite imagery to monitor vegetation changes by using vegetation index is one of the best methods that developed in recent years. Moreover, concurrent access to high spatial and temporal resolution imageries is one of the important factors that affect the monitoring of vegetation changes. To achieve this goal, It needs to incorporate different satellites with high spatial (e.g., Landsat satellite) and temporal (e.g., MODIS satellite) images. The purpose of this study is the monitoring vegetation changes using daily Landsat simulated images at 30 m Spatial Resolution in three years of wet, normal, and drought in the Nimroze area.

**Materials and Methods** The study area is located in the north of the Sistan and Baluchistan provinces. Low precipitation (50 mm), high temperature (48 °C), high evaporation (5 m), and 120-day winds are among the specific climatic conditions that characterize this region. In this study, at first, the hydrological drought status of the Hirmand River was investigated. Using the Hydrostats package in R software, the amount of threshold of flood by running the related codes (by running codes such: daily.cv, ann.cv, high. spell, and low. spell) during the statistical period of study (29 years) was calculated. To determine wet, normal, and drought years calculated the length of periods that flood is higher (high. spell. lengths) and lower (low.

spell. lengths) than the threshold. To increase the accuracy of monitoring vegetation changes, it needs to incorporate different satellites with high spatial (e.g., Landsat) and temporal (e.g., MODIS) images. To achieve this purpose, in this study, the Enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model (ESTARFM) was evaluated with actual satellite data (OLI, ETM<sup>+</sup>, TM image). For this purpose at first, pre-processing (geometric, radiometric, and atmospheric correction) was performed on satellite images, and by using the ESTRFM model, simulated daily Landsat images at 30 m spatial resolution for wet, normal, and drought years. In-field operations from different plant communities by GPS were sampled. Comparing filed data with the Normalized difference vegetation index (NDVI) and the soil-adjusted vegetation index (SAVI), the vegetation index that had the highest correlation with field data was selected. To investigate vegetation changes, using the vegetation index (the vegetation index with high correlation), the map of vegetation for each year was prepared (wet, normal, and drought years). After the classification maps of vegetation, by comparison, approach (cross tab), the map of vegetation changes was extracted.

**Results and Discussion** The results of analyzing wet and dry periods showed that, flood volume in dry years compare to normal and wet years decreased 31 and 82 percentages, respectively. To incorporation MODIS and Landsat (OLI, ETM<sup>+</sup>, TM) Images, using enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model (ESTARFM), finding indicate that this model improves the accuracy of predicted fine-resolution reflectance and preserves spatial details for heterogeneous landscapes too. So that the mean coefficient of determination ( $R^2$ ) of blue, green, red and near-infrared estimation bands with actual satellite images data is 0.91, 0.89, 0.92 and 0.91 respectively. Also the average Root-Mean-Square Error (RMSE) in four bands obtained 0.01, 0.027, 0.028 and 0.031 successively. Comparing the obtained field data with the Normalized difference vegetation index (NDVI) and the soil adjusted vegetation index (SAVI), indicate that SAVI index has the highest correlation ( $R^2=87$ ) with vegetation of study region. By calculate the regression model (using SAVI and field data) and classify the vegetation maps of wet, normal and drought years, 6 class obtained (class1=0-10%, class2=20-10%, class3=20-30%, class4=40-50%, class5=60-80% and class6=>80%). The results of investigation vegetation changes indicate that during the drought period 70% of study area has less than 10% vegetation (equal to 138176.3 hectares) and during normal and wet years by increasing vegetation, this area decreased by 30 and 48% respectively (equal to 66269.98 and 50559.7 hectares, respectively). According to the results during the study period, the most vegetation changes is relate to conversion of class 1 to class 2 (equivalent to 48.5%). moreover 18 and 27% of vegetation changes relate to class 1 and 2

to class 4 and 5 respectively (equal to 16284.26 and 11471.88 hectares, respectively). Also the finding indicates that the most vegetation changes occurrence in wetland-forest (28%), forest-rangeland (21%) and poor rangeland (19%) land uses respectively. Field study also showed that, the most important plant species that grows in this land-use such as the results of analyzing wet and dry periods showed that flood volume in dry years compare to normal and wet years decreased by 31 and 82 percent, respectively. To incorporation MODIS and Landsat (OLI, ETM<sup>+</sup>, TM) Images, using enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model (ESTARFM), the finding indicates that this model improves the accuracy of predicted fine-resolution reflectance and preserves spatial details for heterogeneous landscapes too. So that the mean coefficient of determination ( $R^2$ ) of blue, green, red, and near-infrared estimation bands with actual satellite images data is 0.91, 0.89, 0.92, and 0.91 respectively. Also, the average Root-Mean-Square Error (RMSE) in four bands obtained 0.01, 0.027, 0.028, and 0.031 successively. Comparing the obtained field data with the Normalized difference vegetation index (NDVI) and the soil-adjusted vegetation index (SAVI), indicate that the SAVI index has the highest correlation ( $R^2=87$ ) with the vegetation of the study region. By calculating the regression model (using SAVI and field data) and classifying the vegetation maps of wet, normal, and drought years, 6 classes obtained (class1=0-10%, class2=20-10%, class3=20-30%, class4=40-50%, class5=60-80% and class6=>80%). The results of the investigation of vegetation changes indicate that during the drought period, 70% of the study area has less than 10% vegetation (equal to 138176.3 hectares) and during normal and wet years by increasing vegetation, this area decreased by 30 and 48% respectively (equal to 66269.98 and 50559.7 hectares, respectively). According to the results during the study period, most vegetation changes are related to the conversion of class 1 to class 2 (equivalent to 48.5%). moreover, 18 and 27% of vegetation changes relate to class 1 and 2 to class 4 and 5 respectively (equal to 16284.26 and 11471.88 hectares, respectively). Also, the finding indicates that the most vegetation changes occur in wetland-forest (28%), forest-rangeland (21%), and poor rangeland (19%) land use respectively. The field study also showed that the most important plant species that grow in this land use such as *Aeluropus littoralis*, *Chenopodiace sp*, *Tamarix aphylla*, *Haloxylon aphyllum* are adaptive to climatic regime in study area.

**Conclusion** In this research for the first time in the Nimroz region of Sistan Vegetation changes were studied using Landsat simulated images during periods of low water, normal, and high water years. Due to low rainfall and harsh climate in the study area, floods in the Helmand River are the only source of water supply required in the study area. The results of

analyzing wet and dry periods showed that flood volume in dry years compared to normal and wet years has decreased by 31 and 82, respectively. According to the reduction of flood volume during a drought year, 70% of the study area has poor vegetation and during normal and wet years, providing plants with water needs and increasing vegetation, this area had decreased by 30% and 48%, respectively. According to the results of this study, change in

hydrological conditions of the Hirmand River has a significant role in vegetation changes in the study area by using simulated images with high spatial and temporal resolution can improve the accuracy of monitoring vegetation changes to control and management the desertification in Sistan area.

**Keywords:** Vegetation changes detection, LandSat, Modis, Nimrozre, ESTARFM model

Please cite this article as: Please cite this article as: Jahanthigh M, Jahanthigh M. 2023. Monitoring of vegetation changes using daily Landsat-Modis simulated images at in three years of wet, normal and drought in arid region (Case study: Nimroze city). Journal of RS and GIS for Natural Resources, 14(1): 101-130. <https://doi.org/10.30495/GIRS.2023.685742>