

بررسی عوامل تهدید جنگل‌های حرا به کمک داده‌های دورسنجی

بهزاد رایگانی،^۱ استادیار، دانشکده محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست.

پذیرش نهایی: ۱۸/۰۴/۱۳۹۸

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۱۶

چکیده

جنگل‌های حرا از منابع مهم و میراث با ارزش طبیعی هستند که نقش ارزنده‌ای در حفظ اکوسیستم ساحلی داشته و مکانی ایده آلی برای حمایت از اجزای شبکه‌های غذایی در دریا محسوب می‌شوند. با این حال به دلیل رشد سریع جمعیت، برنامه‌ریزی ضعیف و توسعه اقتصادی ناهماهنگ این جنگل‌ها در معرض تخریب هستند. این مطالعه با هدف بررسی روند کاهش پوشش گیاهی جنگل‌های حرا و شناسایی عوامل تخریب‌کننده این نواحی در منطقه حفاظت شده حرا صورت گرفته است. بدین منظور تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI مربوط به سال ۲۰۱۵ و تصاویر سنجنده ETM⁺ در سال ۲۰۰۱ برای این جنگلها دریافت گردید و چهار روش پایش تغییر بر روی این تصاویر اعمال شد. روش‌های پایش تغییر مورد استفاده در این مطالعه شامل روش‌های مقایسه پیکسل به پیکسل به صورت تفاضل، نسبت‌گیری و رگرسیون و مقایسه پس از طبقه‌بندی بوده‌اند. بر همین اساس مناطق دارای تغییرات کاهشی، افزایشی و بدون تغییر مورد بازدید میدانی قرار گرفت و جهت ارزیابی دقت روش‌های پایش تغییر، پس از برداشت واقعیات زمینی که از طریق بازدید میدانی و تصاویر ماهواره‌ای به دست آمد، دقت کل و ضرایب کاپا تعیین شد و مشخص گردید روش مقایسه پس از طبقه‌بندی با دقت کلی ۹۳٪ و کاپای بیش از ۰/۹ بیشترین دقت را در آشکارسازی تغییرات دارد. پس از آن روش تفاضل با آستانه دو برابر انحراف معیار با کاپا ۰/۷۶ و دقت کلی ۸۲٪ بالاترین دقت را نشان داد. همچنین بررسی‌های میدانی نشان داد قاچاق سوخت و ریزش ترکیبهای نفتی بخصوص گازوئیل به درون آب و چرای مستقیم شتر از حرا مهمترین عوامل تخریب این جنگلها به شمار می‌روند. در پایان پس از بررسی میزان تخریب این مناطق به منظور احیاء و بازسازی اولویت‌بندی شدند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد در صورتیکه از فن‌سنجش از دور به صورت علمی بهره‌برداری شود، می‌توان به راحتی در شناسایی عوامل تهدید جنگل‌های حرا و اولویت بندی پروژه های احیائی از آن استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تعیین تغییرات سنجش‌ازدوری، روش جبری تعیین تغییرات، مقایسه پس از طبقه‌بندی، تعیین آستانه‌ی تغییر.

مقدمه

جنگل های حرا با تولید روزانه ۲/۵ گرم کربن در هر مترمربع یکی از پرتولیدترین اکوسیستم ها بر روی زمین هستند. مواد غذایی و تولید اولیه بالا به همراه آب کم عمق باعث شده این اکوسیستمها مکانی ایده آل برای حمایت از اجزای مختلف شبکه های غذایی در انواع محیط های آبی باشند و خدمات زیادی را برای جوامع ارائه کنند، از آن جمله فراهم آوردن زیستگاه های مهم پرندگان و ماهی ها، حفظ کیفیت آب، کاهش فرسایش خط ساحلی، جلوگیری از سیل، تعدیل اقلیم و حمایت از فعالیت های اقتصادی مانند شکار، ماهیگیری و تفرج را می توان نام برد (Simard et al., ۲۰۰۸). با این حال این جنگل ها به دلیل رشد سریع جمعیت، برنامه ریزی ضعیف و توسعه اقتصادی ناهماهنگ در معرض خطر شدید هستند. افزایش مشکلات جنگل های حرا در سطح جهان یک مشکل جدی در اکوسیستم های ساحلی محسوب می شود. متأسفانه این جنگل ها تحت تأثیر سکونت گاه های انسان، آلودگی ها، طوفان ها و امواج دریا قرار دارند (Vaiphasa et al., ۲۰۰۶). تاکنون حدود ۳۵٪ از جنگل های حرا از بین رفته اند و پیش بینی می شود تا سال ۲۰۳۰ این تخریب به حدود ۶۰٪ برسد. کاهش تنوع زیستی، از بین رفتن منابع آب شیرین، رسوبگذاری بر روی صخره های مرجانی و اسیدی شدن خاک های ساحلی، کم شدن پایداری و ثبات خط ساحلی، رها شدن کربن بیشتر در اتمسفر و کاهش ماهی های تجاری، از جمله مهمترین اثرات تخریب و ناپدید شدن جنگل های حرا است (Simard et al., ۲۰۰۸). این مشکلات موجب افزایش تقاضا برای تولید نقشه های تفصیلی جنگل های حرا در سطح گونه ها و تنوع آن ها برای پایش اکوسیستم های این جنگل ها شده است به طوری که سازمان های بین المللی و دولتی به طور جدی در پی برنامه هایی برای اندازه گیری وسعت این بوم سازگان مهم هستند (Vaiphasa et al., ۲۰۰۶).

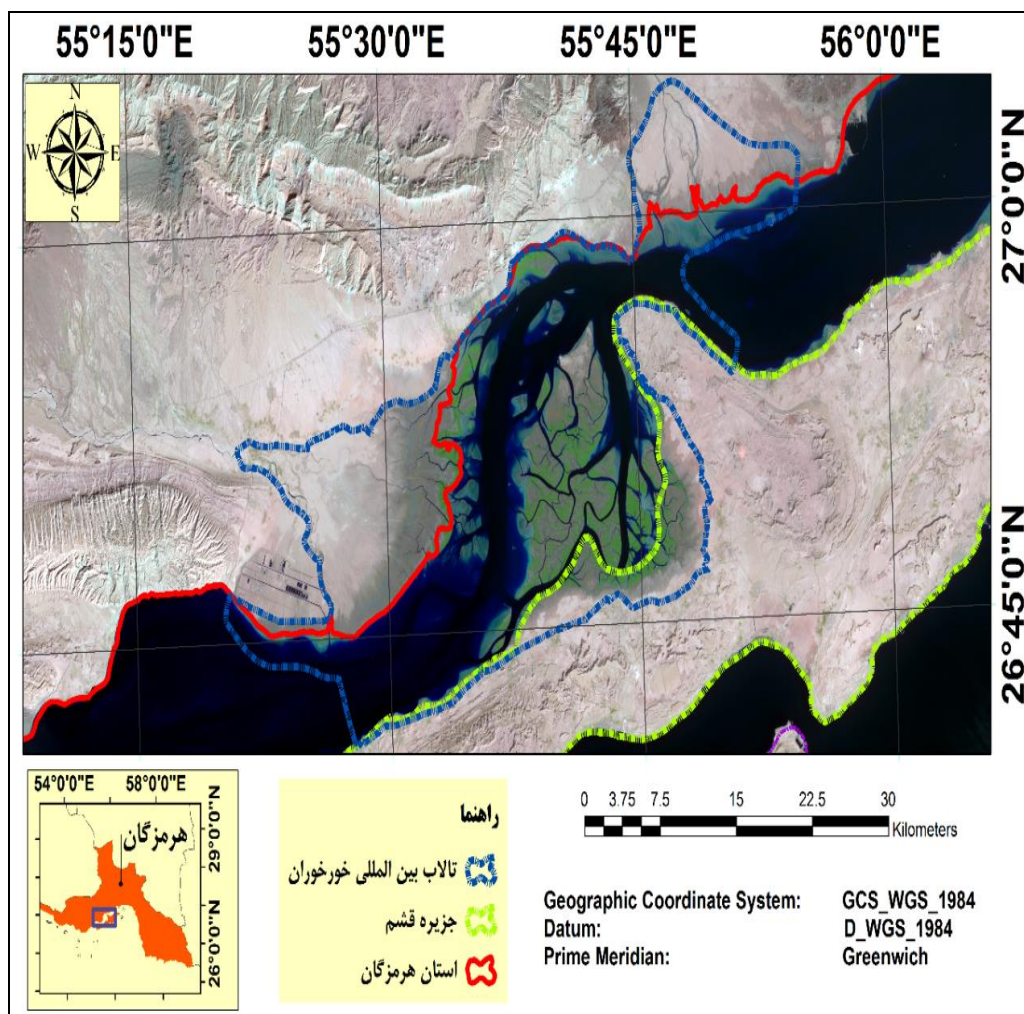
امروزه برای مدیریت مؤثر منابع دانستن وسعت و موقعیت منابع و اینکه در طول زمان چگونه تغییر کرده اند، ضروری است (Congalton and Green, ۲۰۰۸). بدین ترتیب اکنون مطالعات بوم شناختی هم نیازمند داده های بیوفیزیکی و زیستگاهی در طول زمان برای نواحی مشخص است، چیزی که سنجش از دور آن را به راحتی فراهم می کند (Kerr and Ostrovsky, ۲۰۰۳). سنجش از دور نمای گسترده ای از سیمای سرزمین فراهم می کند که در طول زمان مهیا است و این امر، سنجش از دور را به ابزار مهمی در پایش و مدیریت منابع بدل کرده است (Kennedy et al., ۲۰۰۹). در میان برنامه های سنجش از دوری، آشکارسازی تغییرات (Change Detection)، نقش تعیین کننده ای در این زمینه دارد (Gandhi et al., ۲۰۱۵; Pham and Yoshino, ۲۰۱۵; Xiaolu and Bo, ۲۰۱۱). آشکارسازی تغییرات، فرآیند استخراج، تحلیل و تعریف اطلاعات تغییر از تصاویر ماهواره ای است (Xiaolu and Bo, ۲۰۱۱). آشکارسازی تغییرات سنجش از دوری می تواند ابزاری مناسب را برای پایش جنگل های وسیع حرا که اغلب به سختی قابل دسترسی هستند، فراهم کند (Chen et al., ۲۰۱۳; Jahari et al., ۲۰۱۱; Kuenzer et al., ۲۰۱۱). آشکارسازی تغییرات سنجش از دوری به راحتی تغییرات کاهشی و تخریب را نمایان می سازد (Lu et al., ۲۰۱۵; Gandhi et al., ۲۰۱۱; Afify, ۲۰۱۱; Xiaolu and Bo, ۲۰۱۱). از اینرو شناسایی عامل تهدید و نیروی محرکه تخریب و مدیریت مخاطرات در اکوسیستم حرا امکان پذیر است (Chen et al., ۲۰۱۳; Kuenzer et al., ۲۰۱۱) و حتی نسبت به بررسی معمول این شناسایی آسان تر است زیرا بجای بررسی کل ناحیه مطالعاتی می توان برخی مناطق تخریب یافته را بررسی نمود.

متأسفانه در ایران جنگل های حرا کمتر مورد اهمیت قرار گرفته اند و اطلاعات ناچیزی از میزان تخریب این جنگل ها و روند اکوسیستمی در آنها وجود دارد. همچنین شیوه بررسی تغییرات دورسنجی در این جنگل ها هنوز استانداردسازی نشده است. بنابراین در این پژوهش سعی شده است به کمک روشهای سنجش از دور آشکارسازی تغییرات، تخریب در جنگل های حرا در منطقه حفاظت شده حرا مشخص شود و بر همان اساس به کمک بازدید میدانی عوامل تهدیدکننده این اکوسیستم مشخص شوند.

داده‌ها و روش کار

الف) منطقه مورد مطالعه

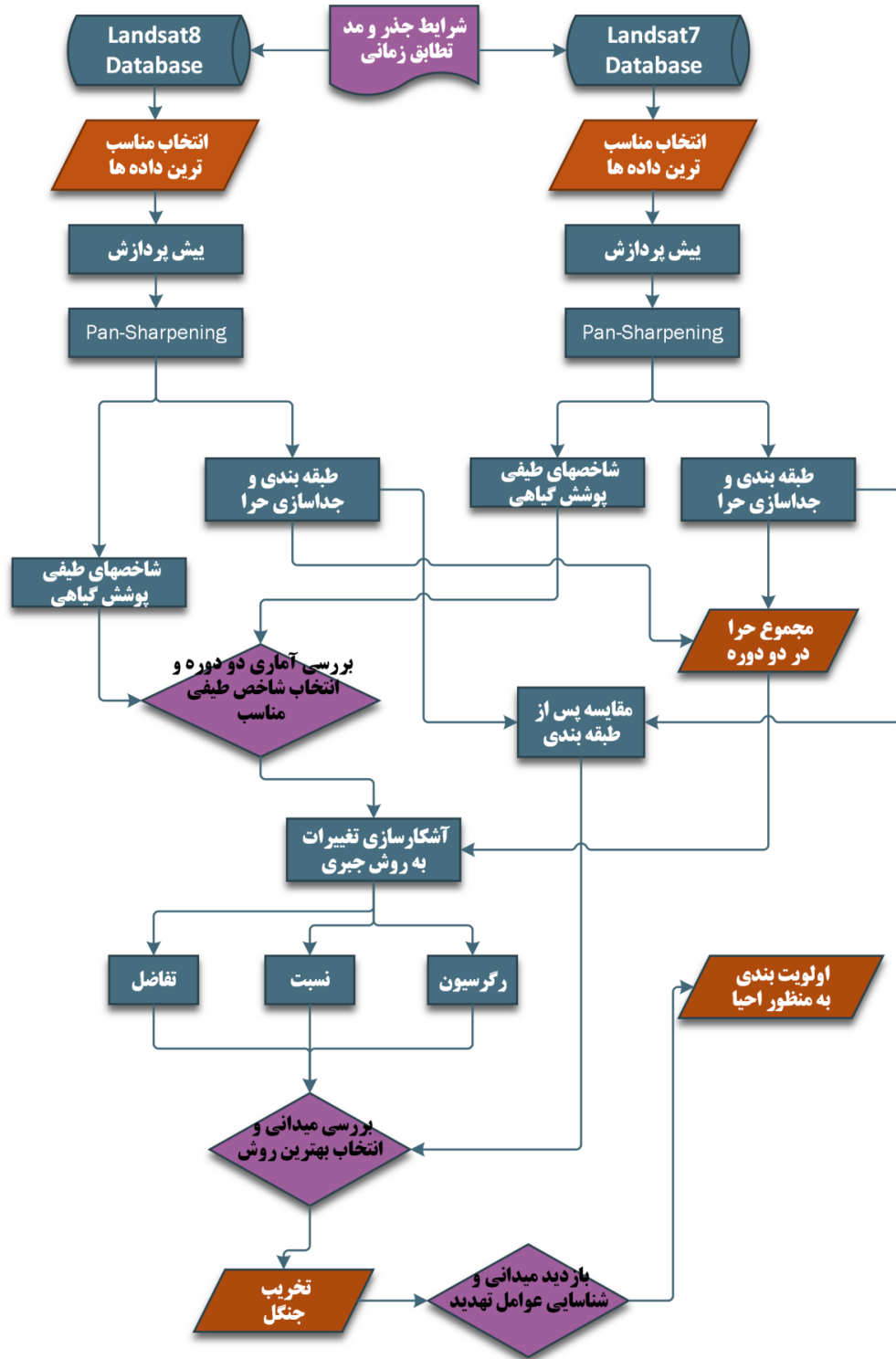
استان هرمزگان چهار منطقه حفاظت شده با پوشش جنگلی حرا دارد. از این میان منطقه حفاظت شده حرا، در فاصله بین شمال جزیره قشم و بندر خمیر قرار گرفته است که از نظر کیفیت جزء بهترین جنگل‌های حرا محسوب می‌شود، بنابراین تخریب جنگلهای این ناحیه در تغییر اکوسیستم منطقه بسیار تاثیرگذار خواهد بود. این جنگل‌ها در اقلیم نیمه‌حاره‌ای با بارش ۱۰۰-۳۰۰ میلی‌متر در سال و ارتفاع هم‌تراز سطح دریا و یا حداکثر ۶ متر بالاتر از سطح دریا قرار گرفته‌اند. این تالاب بر اساس آخرین مرز پیشنهادی اداره کل حفاظت محیط زیست استان هرمزگان بیش از ۱۰۰ هزار هکتار وسعت دارد (Rayegani, ۲۰۱۶). شکل ۱ موقعیت منطقه حفاظت شده حرا نسبت به استان هرمزگان و جزیره قشم را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

ب- روش مطالعه

شکل ۲ روش کلی این پژوهش را نشان می‌دهد. در ادامه هر یک از بخشهای تحقیق تشریح خواهد شد.



شکل ۲: روند کلی روش مطالعه

ب-۱) تهیه داده ها و انتخاب دوره زمانی

بر اساس مذاکراتی که با کارشناسان اداره کل حفاظت محیط زیست انجام شد، مشخص گردید تغییرات در منطقه حفاظت شده حرا در دهه اخیر شتاب گرفته است و عرض تغییرات در برخی نواحی کمتر از ۲۰ متر است. از این رو به دلیل نیاز به آرشیو طولانی مدت و قدرت تفکیک کمتر از ۲۰ متر داده های سنجنده OLI و ETM⁺ که دارای باند پانکروماتیک ۱۵ متری می باشند، برای این مطالعه مناسب تشخیص داده شدند. همچنین با بررسی آرشیو این دو

سنجنده و دوره زمانی بررسی میدانی، سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۵ جهت دریافت داده انتخاب شدند (سنجنده ETM+ از ۲۰۰۳ با مشکل از دست رفتن اطلاعات روبرو است). میزان جزرومد در زمان برداشت تصاویر ماهواره‌ای یکی از مشکلات و محدودیت‌های هر تحقیقی در زمینه بررسی جنگل‌های حرا است. میزان جزرومد بر مساحت‌های تخمین زده شده سطح پوشش حرا تأثیرگذار است و تمامی تحقیقاتی که در مورد جنگل‌های حرا انجام شده با این عامل محدود کننده روبرو بوده‌اند (Lee, ۲۰۱۴; Carney et al., ۲۰۰۹; Pham and Yoshino, and Yeh, ۲۰۰۹). بنابراین در این مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده مربوط به سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۰۱ به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که در مقایسه دو تصویر مربوط به دو مقطع زمانی ضمن نزدیکی تاریخ سالیانه، هر دو در وضعیت یکسان از منظر جزر یا مد قرار داشته باشند. همچنین پیش تحلیل‌های اولیه بر روی تصاویر نشان داد با تلفیق تصاویر مربوط به یک سال به صورت بیشینه، کمینه و میانه عددی آشکارسازی تغییرات (Jensen, ۲۰۰۵) با خطا مواجه می‌گردد. بر این اساس سعی شد تصویری در تحلیل نهایی مورد استفاده قرار گیرند که ضمن داشتن وضعیت جزر، پوشش گیاهی حرا نیز در اوج توان فنولوژیکی قرار داشته باشد. با توجه به درجه حرارت، جزر و مد و بررسی دیداری تصاویر لندست مشخص شد، بهترین زمان برای مقایسه فصل زمستان و حدود ماه اسفند است. بنابراین تصاویر زمستانه دارای جزر در هر زمان از منطقه مطالعاتی تهیه شده‌اند، بر این اساس داده سنجنده OLI مربوط به تاریخ ۲۰۱۵/۰۲/۱۴ و سنجنده ETM+ مربوط به تاریخ ۲۰۰۱/۳/۳ انتخاب و تهیه شد.

ب-۲) پیش پردازش داده‌های سنجش از دوری

سامانه‌های سنجش از دور بی نقص عمل نمی‌کنند. همچنین اتمسفر، زمین، آب و خاک، مواد مرکبی هستند که اجازه نمی‌دهند دستگاه‌های سنجش از دور که محدودیت‌هایی در توان طیفی، مکانی، زمانی و رادیومتری دارند، آنها را به خوبی ثبت کنند. در نتیجه در پروسه دریافت داده، خطاهایی وارد می‌شود که می‌تواند کیفیت داده جمع‌آوری شده توسط سنجنده را کاهش دهد. دو نوع خطای معمول در داده سنجش از دوری، خطاهای رادیومتری و خطاهای هندسی (geometric) هستند. در تصحیح رادیومتری (Radiometric correction) تلاش می‌شود دقت اندازه‌گیری‌های بازتابندگی، انتشار یا پراکنش طیفی ثبت شده توسط سامانه سنجش از دور بهبود داده شود. در تصحیح هندسی (Geometric Correction) هدف درست بودن مکان اندازه‌گیری‌های بازتابندگی، انتشار و پراکنش یا متناسب بودن مکان آنها با سایر اطلاعات جغرافیایی یا سیستم‌های تصمیم‌گیری مکانی می‌باشد (Jensen, ۲۰۰۵; Koch and Mather, ۲۰۱۳). در این پژوهش با توجه به چندزمانه بودن بررسی، تصحیح اتمسفری مطلق و استخراج مقادیر بازتابندگی (Jensen, ۲۰۰۵) به کمک افزونه ATCOR (Jensen, ۲۰۱۱; Campbell and Wynne, ۲۰۱۳; Al-Fares, ۲۰۱۲) در نرم‌افزار ۲۰۱۴ ERDAS IMAGINE صورت پذیرفت. به منظور تصحیح هندسی داده سنجنده به روز OLI به کمک نقاط کنترل زمینی تصحیح هندسی شد (Jensen, ۲۰۰۵; Koch and Mather, ۲۰۱۳) و سپس داده سنجنده ETM+ به آن ثبت داده شد (Jensen, ۲۰۰۵).

ب-۳) بارزسازی و پردازش داده‌های ماهواره‌ای

ب-۳-۱) افزایش قدرت تفکیک مکانی تصاویر ماهواره‌ای (Pan Sharpening)

در این پژوهش از داده‌های سنجنده ETM+ و OLI استفاده شده است که هر دو قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر دارند. در این سنجنده‌ها یک باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر وجود دارد که می‌تواند جهت بهبود قدرت تفکیک مکانی سایر باندها بکار برده شود. این بارزسازی معمولاً با نام ادغام قدرت تفکیک (Resolution Merge) یا بهبود قدرت تفکیک توسط باند پانکروماتیک (Fusion) شناخته می‌شود (Jensen, ۲۰۰۵). روش‌های زیادی جهت بهبود قدرت تفکیک مکانی توسط باند پانکروماتیک وجود دارد که در این پژوهش ابتدا چند تصویر با روش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت روش ادغام بروی (Brovey Resolution Merge) (Jensen, ۲۰۰۵; Jong and Meer, ۲۰۰۴; Li)

۲۰۱۲، Liang et al., ۲۰۰۸) برگزیده شد. تبدیل بروی به عنوان یکی از موفق ترین تکنیک های ادغام با پایه ریاضی به حساب می آید که با جمع و تفریق باندهای ورودی را نرمال می سازد (Pohl and van Genderen, ۲۰۱۶). این روش ادغام به این علت انتخاب شد که با مقایسه هیستوگرام تصویر خروجی آن در ناحیه جنگل های حرا با هیستوگرام تصویر اصلی، اختلاف ناچیزی مشاهده شد. به دلیل اهمیت شکل هیستوگرام در نتیجه روش عملیات جبری این روش مناسب تشخیص داده شد. در نهایت در مورد داده های ETM⁺ و OLI به منظور تشخیص بهتر جنگل های حرا از سایر عوارض موجود، باند پانکروماتیک با سایر باندهای موجود با این روش ادغام شد. با این روش باندهای چند طیفی، قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر را بدست آوردند و در ادامه تحلیلهای از این باندهای چند طیفی بهبود یافته استفاده گردید.

ب-۳-۲) اعمال شاخص های پوشش گیاهی

در دورسنجی، تفسیر و تشخیص عوارض گوناگون بر اساس ویژگی های و رفتارهای مختلف طیفی آنها است (Lyon et al., ۱۹۹۸). از این رو شناخت دقیق این گونه رفتارها ضروری به نظر می رسد. گیاهان به دلیل داشتن یک سری مواد خاص در برگ های خود، رفتارهای ویژه ای در باندهای مختلف از خود نشان می دهند که در متمایز ساختن آنها از سایر عوارض کمک بسیاری می کند (Rogan et al., ۲۰۰۲). حتی می توان از این ویژگی ها برای تشخیص گیاهان از یکدیگر و تعیین نوع آنها نیز استفاده کرد، چراکه هر نوع گیاه در نگاهی دقیق تر دارای ویژگی های طیفی خاص خود است. علاوه بر این در کنار ویژگی های طیفی، گیاهان دارای ویژگی های زمانی مختلفی نیز هستند که می تواند در تشخیص آنها از یکدیگر به ما کمک کند. در این تحقیق، به منظور بازسازی تصاویر، شاخص های طیفی مختلف پوشش گیاهی که متداول در مطالعات پوشش گیاهی می باشند (Liu et al., ۲۰۰۷; Giri et al., ۲۰۱۱; Barati et al., ۲۰۰۴; Lu et al., ۲۰۰۸) مانند NDVI، MCARI، PVI، MTVI^۱ و MTVI^۲ بر روی تصاویر اعمال شدند و پس از بررسی ظاهری نحوه نمایش جنگل های حرا و استخراج پارامتر آماری ضریب تغییرات آن در تصاویر تولید شده، عملکرد آنها در طبقه بندی نظارت نشده، از بین انواع شاخص های طیفی گیاهی، شاخص NDVI و سپس MTVI^۱ از سایر شاخص ها عملکرد بهتری نشان دادند. بر همین اساس شاخص NDVI که در مطالعات مشابه کارآمد نشان داده بود (Lee and Yeh, ۲۰۰۹; Liu et al., ۲۰۰۸; Lyon et al., ۱۹۹۸) در ادامه تحلیل ها مورد استفاده قرار گرفت.

ب-۴) بررسی تغییرات پوشش گیاهی

ب-۴-۱) بررسی تغییرات پوشش گیاهی در ۱۵ سال اخیر

آشکارسازی تغییرات سنجش از دوری در این پژوهش به دو روش صورت پذیرفت: مقایسه پس از طبقه بندی (Post-Classification Comparison) و مقایسه پیکسلی با عملیات جبری (Image Algebra Change Detection) (Ilsever and Unsalan, ۲۰۱۲; Jensen, ۲۰۰۵; Li et al., ۲۰۰۸). در هر دو روش از خروجی روش ادغام بروی استفاده شد تا بررسی ها در قدرت تفکیک بالاتر انجام شود و توان تشخیص تغییرات افزایش یابد. ابتدا طبقه حرا با استفاده از تصاویر چندطیفی بهبود یافته (خروجی بروی) به روش هیبرید و ترکیب دو روش طبقه بندی نظارت شده و نظارت نشده (Jensen, ۲۰۰۵) بر اساس شناختی که از منطقه مطالعاتی وجود داشت در هر دوره مورد بررسی جدا شد و بر همین اساس روش مقایسه پس از طبقه بندی انجام شد. سپس از لایه حرا در هر دو دوره یک ماسک مجموع به روش بولین "یا" (OR) حاصل شد. با توجه به تاثیر آب در فرآیند آشکارسازی تغییرات به روش جبری، این ماسک در استخراج پارامترهای آماری بکار گرفته شد تا هیستوگرام حاصل تابع جبری، نرمال شود. برای آشکارسازی تغییرات از سه روش تفاضل، نسبت گیری و رگرسیون استفاده شد (Eastman, ۲۰۱۲; Jensen, ۲۰۰۵). در روش تفاضل تصویر NDVI تاریخ دوم (OLI) از تصویر NDVI تاریخ اول (ETM⁺) کم شد (Eastman, ۲۰۱۲; Jensen, ۲۰۰۵; Lu et al., ۲۰۰۴) و ماسک حرا بر روی آن اعمال شد تا از هیستوگرام مقادیر میانگین و انحراف معیار صرفاً مربوط به پوشش حرا استخراج شود. برای جداسازی تغییرات واقعی از تغییرات طبیعی (Eastman, ۲۰۱۲) سه آستانه مرسوم در این قبیل مطالعات در نظر

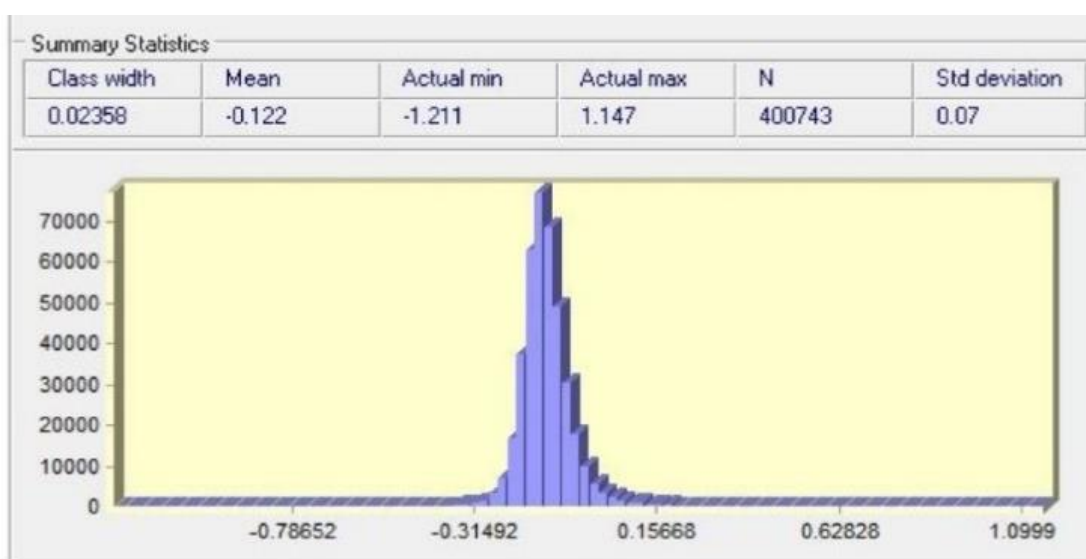
گرفته شد ($\mu \pm 2\sigma; \mu \pm 3\sigma; \mu \pm 1.5\sigma$) تا در بازدید میدانی برترین آستانه انتخاب شود. در روش نسبت‌گیری نتیجه حاصل از تقسیم تاریخ دوم بر تاریخ اول دارای ابهام است و اعداد تفسیر غیرخطی دارند. به عنوان مثال عدد ۱ در تصویر خروجی نشان می‌دهد که تغییری وجود نداشته است، در صورتیکه عدد ۲ نشان می‌دهد تاریخ دوم دو برابر تاریخ اول ارزش پیکسلی داشته، ولی عدد ۰/۵ نشان می‌دهد، تاریخ اول دو برابر تاریخ دوم ارزش داشته است. بنابراین تفکیک تغییرات در این روش با اعداد خام مشکل خواهد بود. اما اگر از خروجی لگاریتم گرفته شود، برای سه عدد ۰/۵، ۱ و ۲ مثال به ترتیب خروجی ۰/۶۹، ۰ و ۰/۶۹ بدست می‌آید که قابل تفسیرتر می‌باشد (Eastman, ۲۰۱۵). بنابراین در این مطالعه در روش نسبت‌گیری پس از تقسیم تصویر NDVI تاریخ دوم (OLI) از تصویر NDVI تاریخ اول برای خطی‌سازی، از داده‌ها لگاریتم گرفته شد (Eastman, ۲۰۱۵; Eastman, ۲۰۱۲) و همانند روش اول مقادیر آماری بر اساس اعمال ماسک حرا بدست آمد. در این روش نیز سه آستانه برای تغییر واقعی لحاظ شد. در روش رگرسیون تصویر NDVI تاریخ دوم (جدیدتر) از روی تصویر NDVI تاریخ اول (قدیمی‌تر) به کمک معادله رگرسیون خطی شبیه‌سازی شد. بدین منظور از خروجی طبقه‌بندی، منطقه حرا به عنوان ماسک جدا شد. سپس در این ناحیه ماسک، به کمک معادله رگرسیون خطی، NDVI تاریخ دوم به عنوان متغیر وابسته و NDVI تاریخ اول به عنوان متغیر مستقل در معادله رگرسیونی قرار گرفتند ($Y=bX+a$) و در نهایت به کمک ضرایب رگرسیون NDVI تاریخ دوم از NDVI تاریخ اول بازسازی یا شبیه‌سازی شد. سپس تصویر NDVI شبیه‌سازی شده از تصویر NDVI زمان دوم کم شد. همانند دو روش تفاضل و نسبت‌گیری برای تعیین آستانه‌ها از ماسک حرا استفاده و سه آستانه در نظر گرفته شد. در هر سه روش حد پایین آستانه به عنوان تخریب حرا در نظر گرفته شده است (مثال $\mu - 2\sigma$).

ب-۵ بازدید میدانی، ارزیابی دقت و شناسایی عوامل تهدید

در این مطالعه به روش تصادفی لایه‌بندی شده (Random Stratified Sampling) ۱۲۰ نقطه در منطقه حفاظت شده حرا انتخاب شد (Congalton and Green, ۲۰۰۸). بدین منظور مطابق توضیحات بند ب-۴، تصویر بهبودیافته ۱۵ متری ETM+ و OLI طبقه‌بندی شدند و تغییرات جنگل حرا در آنها مشخص شد، سپس ۴۰ نقطه در هر کلاس (بدون تغییر، کاهش، و افزایش) به صورت تصادفی پیاده‌سازی شد. این نقاط بر اساس بازدید میدانی از منطقه مطالعاتی و برای نقاطی که به دلیل صعب‌العبور بودن امکان بازدید نداشتند با تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای لندست و گوگل (بر اساس تجربه‌ای که از بازدید میدانی بدست آمده بود)، تحلیل شدند، تا داده‌های مرجع جهت تشکیل ماتریس خطا بدست آید. سپس ماتریس خطا تشکیل و دقت کل و ضریب کاپا جهت مشخص شدن بهترین روش و انتخاب آستانه مناسب تغییرات واقعی حرا بدست آمد (Jensen, ۲۰۰۸; Congalton and Green, ۲۰۱۱; Campbell and Wynne, ۲۰۰۵). بر همین اساس بهترین روش و آستانه مطلوب آشکارسازی تغییرات جنگلهای حرا مشخص گردید. آستانه‌ای برای تغییرات در عملیات جبری انتخاب شد که خروجی آن در هر یک از سه روش دقت کلی و کاپای کل بیشتری نشان داده بود. پس از مشخص شدن بهترین روش، نقشه تغییرات جنگلهای حرا با آن روش تهیه شد و مناطق تخریب یافته مورد بازدید میدانی قرار گرفتند تا عوامل تخریب شناسایی شوند و بر این اساس اولویت نواحی برای اجرای پروژه‌های احیاء مشخص گردید.

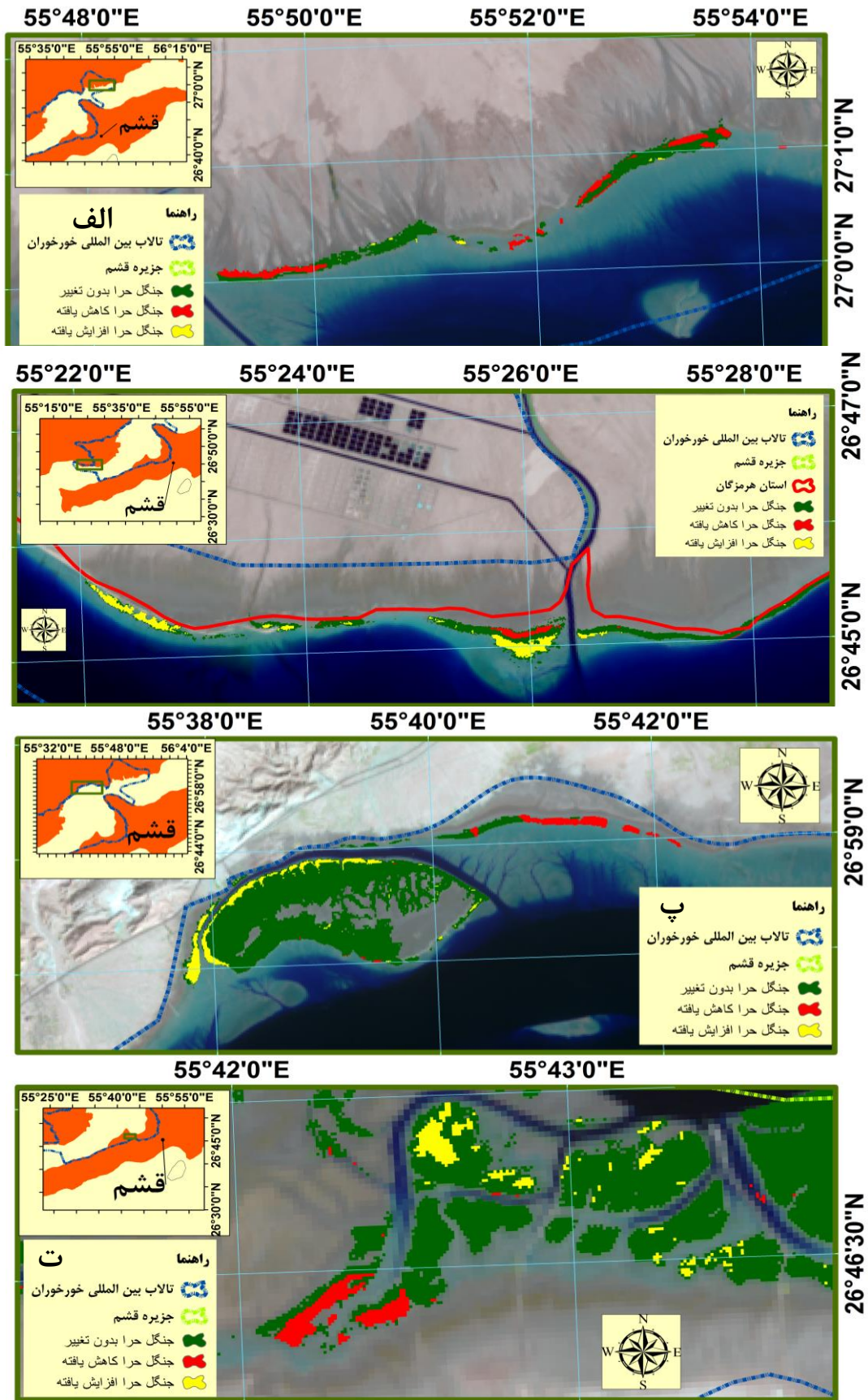
شرح و تفسیر نتایج

نتایج ارزیابی صحت نشان داد روش تفاضل با آستانه دو برابر انحراف معیار از روشهای دیگر عملیات جبری دقت بالاتری دارد (کاپا ۰/۷۶ و دقت کلی ۰/۸۲). با اعمال ماسک حرا، خروجی تابع تفاضل، شکل نرمال نشان داد (شکل ۳) بنابراین شرط لازم جهت استفاده از این روش تامین شده بود (Jensen, ۲۰۰۵) و دقت ارزیابی نیز مناسب نشان داد. در مورد روشهای دیگر عملیات جبری مقدار کاپا کمتر از ۰/۷ بدست آمد و هیستوگرام توضیح داده‌ها در آنها بر خلاف روش تفاضل (شکل ۳)، کامل نرمال نبود. با این وجود روش مقایسه پس از طبقه‌بندی با دقت کلی بیش از ۰/۹۳ و کاپای بیش از ۰/۹ بالاترین دقت را در روشهای آشکارسازی تغییرات نشان داد، بنابراین در بررسی نهایی و اولویت‌بندی مناطق از این روش استفاده شد.



شکل ۳: توزیع ارزشها در روش تفاضل

بر اساس روش آشکارسازی تغییرات به روش مقایسه پس از طبقه‌بندی بیش از ۱۹۰ هکتار از جنگلهای حرا بین سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ تخریب یافته است. نقشه‌های ارائه شده در شکل ۴ مناطق اصلی تخریب یافته جنگل حرا در منطقه حفاظت شده حرا را نشان می‌دهد.



شکل ۴: نقشه‌های مناطق اصلی تخریب یافته حرا به روش مقایسه پس از طبقه بندی

با اینکه بر اساس نتایج این مطالعه میزان تخریب قابل ملاحظه نیست ولی این تخریب در برخی از اکوسیستمها جدایی جمعیتی ایجاد نموده (شکل ۴ بخش الف و پ) و جمعیت حاضر را در خطر انقراض قرار داده است (Falk et al., ۲۰۰۶)، بنابراین ضرورت دارد، عوامل تهدید شناسایی و اولویت اجرا پروژه‌های احیا در این مناطق مشخص شود.

الف-تهدیدها و مخاطرات

در جهان بیشترین علت تخریب جنگلهای حرا برداشت و جنگل‌زدایی برای تامین سوخت و هیزم (Carney et al., ۲۰۱۴) و فعالیتهای پرورش میگو و تغییرات کاربری (Chen et al., ۲۰۱۳; Giri et al., ۲۰۱۵; Nguyen et al., ۲۰۱۳) می‌باشد. با این وجود شرایط منطقه باعث شده است تهدیدهای جنگلهای حرا در این منطقه متفاوت باشد.

الف-۱) چرای دام به خصوص شتر

در سال‌های اخیر، فشارهای ناشی از رشد جمعیت و بروز خشکسالی‌های متعدد در منطقه حفاظت‌شده حرا موجب شده که میزان برداشت محلی از این جنگل‌ها افزایش یابد. علوفه چینی از شاخ و برگ درختان حرا از عادی‌ترین این مصارف است. در منطقه‌ی حفاظت‌شده حرا، دامداران محلی برای تأمین علوفه مورد نیاز دام‌های خود از سرشاخه‌های درختان حرا استفاده می‌کنند. در بعضی از قسمت‌های نزدیک روستاها به جنگل سبب شده است که گله‌های شتر نیز خود را به جنگل برسانند و از سرشاخه‌ها تغذیه کنند. سرشاخه و برگ درختان حرا علاوه بر خوش خوراک بودن، دارای ارزش غذایی معادل یونجه و جو برای حیوانات است. متأسفانه چرای مستقیم دام از جنگل‌های حرا نقش مخرب‌تری از علوفه چینی دستی دارد زیرا دام ریشه‌های حرا را با لگدکوبی می‌شکنند یا به زیر خاک فرو می‌برد از آن‌رو با وجود حتی چرای سبک دام به دلیل حذف عامل تنفسی جنگل خشکیدگی وسیعی را تجربه خواهد کرد. شکل ۴ بخش ت تخریب مشاهده شده در اثر چرای شتر و قاچاق سوخت است که در ادامه به آن اشاره خواهد شد. شکل ۵ تصاویر تخریب پوشش گیاهی بر اثر چرای شتر را در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهند.



الف-۲) قاچاق سوخت به ویژه گازوئیل

افزایش رشد بیکاری و به تبع آن افزایش فقر در منطقه و وابستگی مردم محلی از لحاظ اقتصادی به این مناطق، اختلاف قیمت سوخت در ایران با کشورهای همسایه و قیمت جهانی آن منجر به افزایش فعالیت‌های اقتصادی جدید برای کسب درآمد مانند قاچاق سوخت به ویژه گازوئیل شده است. به دلیل ترس از نیروی‌های انتظامی و نبود قانون برای

جلوگیری از این اقدام ریزش سوخت در آب و جریمه‌های مربوطه باعث می‌شود اغلب قاچاقچیان سوخت در موارد احساس خطر کل، مخزن سوخت خود را در دریا و بعضاً در نزدیک جنگل‌های حرا تخلیه نمایند که این کار در دفعات طولانی موجب آسیب رساندن به ریشه‌های درختان حرا و خشک شدن آنها می‌شود. در صورتی که این سوخت‌ها به دور از جنگل‌های حرا نیز تخلیه شوند، زمان زیادی جهت خودپالایی دریا از آلودگی مشتقات نفت نیاز است و این آلودگی می‌تواند از طریق جریان باد و آب به سوی جنگل‌های حرا آورده می‌شوند و یا به صورت لکه‌های نفتی موجب آلودگی محیط آبی و از بین رفتن فون و فلور قسمتی از جنگل‌های حرا خواهد شد. شکل ۶ تصاویر نابودی جنگل‌های حرا را بر اثر قاچاق سوخت یا نشت سوخت در اثر تردد در دریا نشان می‌دهند. شکل ۴ بخش‌های الف، پ و ت همگی تحت تاثیر قاچاق سوخت قرار گرفته‌اند.

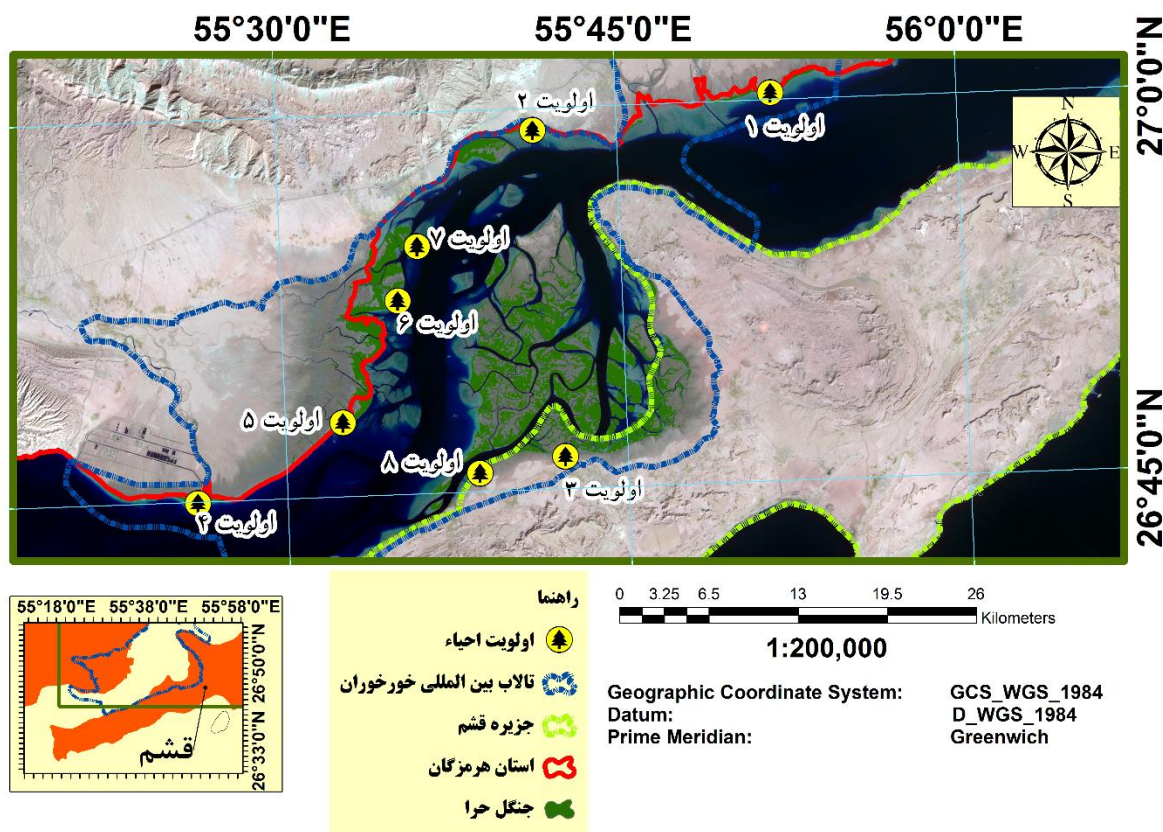


الف-۳) پساب‌های ناشی از استخرهای پرورش میگو

مطالعات مختلف نشان داده است که پساب پرورش میگو می‌تواند به جنگل‌های حرا آسیب برساند (Nguyen et al., ۲۰۱۳) هر چند در این مطالعه اغلب در حاشیه استخرهای پرورش میگو کاهش چشمگیر جنگل دیده نشد ولی همانگونه که در شکل ۴ بخش ب مشاهده می‌شود کاهش حرا در پایین دست یک استخر پرورش میگو مشهود است.

ب) اولویت‌بندی پوشش گیاهی تخریب یافته به منظور احیا و بازسازی

در این پروژه، اولویت‌بندی مناطق جنگلی تخریب یافته بر اساس میزان برخورداری از اهمیت منطقه‌ای، مساحت تخریب، جدایی جمعیت به دلیل میزان تخریب (Falk et al., ۲۰۰۶) و میزان تنک شدن جنگل در ۱۵ سال اخیر انجام گرفت. شکل ۷ نقشه اولویت‌بندی مناطق تخریب یافته جهت اجرای پروژه‌های احیا را نشان می‌دهد.



نتیجه گیری

بر اساس بررسی این مطالعه، بهترین روش آشکارسازی تغییرات در جنگلهای حرا استفاده کردن از شیوه مقایسه پس از طبقه بندی می باشد. بر اساس نتایج روش مقایسه پس از طبقه بندی با دقت کلی ۹۳٪ و کاپای بیش از ۰/۹ بیشترین دقت را در آشکارسازی تغییرات نشان می دهد. پس از آن روش تفاضل با آستانه دو برابر انحراف معیار با کاپا ۰/۷۶ و دقت کلی ۸۲٪ بالاترین دقت را نشان داد.

مطابق با نتایج مقایسه پس از طبقه بندی، بین سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ در حدود ۱۹۰ هکتار از جنگل های حرا در منطقه حفاظت شده حرا از بین رفته است. بنابراین ضرورت دارد تخریب در این جنگل ها کنترل شود.

الف: کنترل تخریب و احیا جنگل های حرا

پوشش جنگل های حرا در مقیاس های متفاوتی در سراسر دنیا روبه کاهش هستند و این روند نیز در ایران در سه منطقه سیستان و بلوچستان، هرمزگان و بوشهر متفاوت است. بنابراین می توان بیان کرد که در داخل کشور بسته به عوامل اثرگذار طبیعی یا انسانی این مقادیر در مناطق مختلف میزان کاهش متفاوتی داشته است. با توجه به بررسی های به عمل آمده مهم ترین عامل کاهش پوشش گیاهی جنگل های حرا، آلودگی نفتی، تغییر کاربری زمین (توسعه کشاورزی، توسعه استخراج پرورش میگو و سدسازی)، برداشت از پوشش گیاهی این مناطق یا چرای دام، تردد لنج و قایق های تندرو، صید و ساخت و سازهای انسانی است (Rayegani, ۲۰۱۶).

پایش تغییرات سطح آب دریا، پایش تغییرات وسعت جنگل ها و همچنین بررسی روند توسعه و دخلات های مستقیم انسان در نواحی ساحلی جهت آشکارسازی روند تغییرات گذشته این جنگل ها و پیش بینی آینده تغییرات آن ها و همچنین اتخاذ سیاست های مناسب جهت جلوگیری از روند نابودی آن ها الزامی است. این داده ها را می توان در بانک داده ذخیره نمود و اطلاعات بنیادی و نقشه های تصویری را در اختیار تصمیم سازان قرارداد.

بازسازی مناطق آسیب‌دیده، تخریب‌شده و یا رهاشده در اثر اعمال انسانی نیز می‌بایست در اولویت‌های مدیریتی این جنگل‌ها قرار گیرد. علاوه بر این، بهبود وضعیت معیشتی جوامع بومی نیز می‌تواند نقش بسیار مؤثری در این زمینه داشته باشد تا به این ترتیب نیاز این جوامع به برداشت الوار، قاچاق سوخت، تخریب به‌منظور افزایش اراضی زیر کشت محصولات کشاورزی، پرورش میگو، استفاده از سرشاخه‌ها به‌عنوان علوفه دام و غیره مرتفع گردد و تخریب به حداقل رسد.

ب: راهکارهای احیا

با توجه به شناختی که در بازدیدهای میدانی از منطقه مطالعاتی بدست آمد می‌توان جهت جلوگیری از تخریب بیشتر و احیا زیست‌بوم‌های حرا این موارد را توصیه نمود:

۱- کنترل چرای شتر و تعیین ظرفیت برداشت دستی علوفه دستی

- نادیده گرفتن نیاز مردم محلی به‌خصوص در شرایط حاد اقتصادی می‌تواند تعریف مستقیم و پنهانی دام را در جنگل‌های حرا تشدید کند. با توجه به اثر مستقیم لگدکوبی دام بر خشک شدن حرا برای جلوگیری از تخریب بیش از پیش جنگل‌های حرا ضرورت دارد ضمن تهیه دقیق ظرفیت تولید هر بخش و تدوین دستورالعمل شیوه برداشت از جنگل حرا، پروانه‌های بهره‌برداری دستی علوفه در اختیار دامداران قرار گیرد و شرایط تنبیه‌ای و جریمه‌ای در صورت مشاهده خشکیدن حرا برای دامداران تعریف شود.
- ضرورت دارد برداشت از سرشاخه‌ها به منظور تعریف دام خصوصاً شتر در فصول خشک سال جلوگیری شود.

۲- جلوگیری از قاچاق سوخت

- در بخش‌هایی که تغییرات کاهشی شدید دیده شده است و به خشکی نزدیک است باید مدیریت منطقه دقیق‌تر باشد یا پاسگاه‌های جدید محیط‌بانی احداث شود. در حال حاضر تنها یک محیط‌بان در بخش منطقه حفاظت شده حرا بخش جزیره قشم در حال فعالیت است که ضرورت دارد جهت جلوگیری از چرای مستقیم شتر از جنگل حرا یا ورود غیرقانونی به آن‌ها تعداد محیط‌بانان افزایش چشم‌گیری پیدا کند.

۳- کاشت گونه

با شروع پروژه‌های جنگل‌کاری در منطقه حفاظت شده حرا، پوشش گیاهی جنگل‌های حرا افزایش یافته است و در مناطقی که چرای دام از بین رفته یا کاشت دستی حرا انجام شده، بازگشت به شرایط بهتر در این زیست‌بوم‌ها مشهود است (شکل ۴). در تمامی موارد مشاهده شده در منطقه کاشت دستی حرا موفقیت آمیز نشان داده و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری هرمزگان در جنگل‌کاری مصنوعی، پروژه‌های موفق را در استان هرمزگان پشت سر گذاشته است و روند افزایشی سطح پوشش جنگل‌های حرا طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در بسیاری از موارد ناشی از این فعالیت‌ها است که توصیه می‌شود در مناطق تخریب شده کاشت هر چه سریع‌تر صورت پذیرد.

۴- کنترل بر استخرهای پرورش میگو

در این تحقیق با قطعیت در مورد تخریب حرا در اثر پساب استخرهای پرورش میگو نمی‌توان نظر داد و نیاز به پژوهش تکمیلی در این زمینه احساس می‌شود با این وجود توصیه می‌شود جهت کاهش آثار مخرب احتمالی این فعالیت‌ها صورت پذیرد:

- تعیین استاندارد مناسب و قطعی برای پساب خروجی استخرهای پرورش میگو.
- نظارت مستمر و لازم بر فعالیت اینگونه استخرها، الزام مالکان به رعایت استانداردهای خروجی پساب
- اتخاذ سیاست‌های تشویقی و تنبیهی مناسب برای مالکان استخرهای پرورش میگو.

- ۵- احیاء و بازسازی رویشگاههای آلوده به مواد نفتی
- پیشگیری از رسیدن نفت و فرآوردهای نفتی به رویشگاههای حرا از طریق ایجاد مسیرهای جایگزین تردد کشتی‌ها و قایق‌ها.
 - برداشت نفت از سطح آب و عملیات لایه‌گیری و جمع‌آوری نفت در آبراهه‌های موجود در جنگل‌های حرا و سپس کشت مجدد در این مکان‌ها.

سیاسگزاری

بدین وسیله از اداره کل حفاظت محیط زیست استان هرمزگان که منابع مالی این پروژه را تامین نمودند، جناب آقای مهندس قاسمی معاون محترم فنی اداره کل حفاظت محیط زیست استان هرمزگان که در تمامی مراحل این پروژه همراه و پشتیبان طرح بوده‌اند و جناب آقای سرودی محیط‌بان محترم قشم که در بازدیدهای میدانی به تیم پروژه کمکهای شایانی نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از سرکار خانم مهندس رحیمی و خانم مهندس آریامند به خاطر تلاشهای بی‌شمارشان در انجام این پروژه صمیمانه تشکر می‌شود.

منابع

- Afify, H.A. ۲۰۱۱. Evaluation of change detection techniques for monitoring land-cover changes: A case study in new Burg El-Arab area. *Alexandria Engineering Journal*, ۵۰: ۱۸۷-۱۹۵.
- Al-Fares, W. ۲۰۱۳. Historical land use/land cover classification using remote sensing : a case study of the Euphrates River Basin in Syria
- Barati, S.; B. Rayegani; M. Saati; A. Sharifi, and M. Nasri. ۲۰۱۱. Comparison the accuracies of different spectral indices for estimation of vegetation cover fraction in sparse vegetated areas. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, ۱۴: ۴۹-۵۶.
- Campbell, J.B., and R.H. Wynne. ۲۰۱۱. *Introduction to remote sensing*. Guilford Press, New York.
- Carney, J.; T.W. Gillespie, and R. Rosomoff. ۲۰۱۴. Assessing forest change in a priority West African mangrove ecosystem: ۱۹۸۶-۲۰۱۰. *Geoforum*, ۵۳: ۱۲۶-۱۳۵.
- Chen, C.-F.; N.-T. Son; N.-B. Chang; C.-R. Chen; L.-Y. Chang; M. Valdez; G. Centeno; C. Thompson, and J. Aceituno. ۲۰۱۳. Multi-Decadal Mangrove Forest Change Detection and Prediction in Honduras, Central America, with Landsat Imagery and a Markov Chain Model. *Remote Sensing*, ۵: ۶۴۰۸.
- Congalton, R.G., and K. Green. ۲۰۰۸. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC press ,
- Eastman, J. ۲۰۱۲. *IDRISI Selva Tutorial*
- Eastman, J.R. ۲۰۱۵. *TerrSet Tutorial. Clark Labs Clark University: Worcester, MA, USA*
- Falk, D.A.; M.A. Palmer, and J.B. Zedler. ۲۰۰۶. *Foundations of restoration ecology*. Island Press Washington, DC ,
- Gandhi, G.M.; S. Parthiban; N. Thummalu, and A. Christy. ۲۰۱۵. Ndvi: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and Gis-A Case Study of Vellore District. *Procedia Computer Science*, ۵۷: ۱۱۹۹-۱۲۱۰.
- Giri, C.; J. Long; S. Abbas; R.M. Murali; F.M. Qamer; B. Pengra, and D. Thau. ۲۰۱۵. Distribution and dynamics of mangrove forests of South Asia. *Journal of environmental management*, ۱۴۸: ۱۰۱-۱۱۱.
- Giri, C.; B. Pengra; Z. Zhu; A. Singh, and L.L. Tieszen. ۲۰۰۷. Monitoring mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from ۱۹۷۳ to ۲۰۰۰. *Estuarine, coastal and shelf science*, ۷۳: ۹۱-۱۰۰.
- Ilsever, M., and C. Unsalan. ۲۰۱۲. Two-dimensional change detection methods : remote sensing applications
- Jahari, M.; S. Khairunniza-Bejo; A.R.M. Shariff, and H.Z.M. Shafri. ۲۰۱۱. Change detection studies in Matang mangrove forest area, Perak. *Pertanika J. Sci. Technol*, ۱۹: ۳۰۷-۳۲۷.
- Jensen, J.R. ۲۰۰۵. *Introductory digital image processing : a remote sensing perspective*. (۳rd ed.). Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.

- Jong, S.M.d., and F.v.d. Meer. ۲۰۰۴. *Remote sensing image analysis : including the spatial domain*. Kluwer Academic, Dordrecht ; London.
- Kennedy, R.E.; P.A. Townsend; J.E. Gross; W.B. Cohen; P. Bolstad; Y. Wang, and P. Adams. ۲۰۰۹. Remote sensing change detection tools for natural resource managers: Understanding concepts and tradeoffs in the design of landscape monitoring projects. *Remote sensing of environment*, ۱۱۳: ۱۳۸۲-۱۳۹۶.
- Kerr, J.T., and M. Ostrovsky. ۲۰۰۳. From space to species: ecological applications for remote sensing. *Trends in Ecology & Evolution*, ۱۸: ۲۹۹-۳۰۵.
- Koch, M., and P. Mather. ۲۰۱۳. *Computer processing of remotely-sensed images : an introduction*. Wiley, Hoboken, N.J.
- Kuenzer, C.; A. Bluemel; S. Gebhardt; T.V. Quoc, and S. Dech. ۲۰۱۱. Remote Sensing of Mangrove Ecosystems: A Review. *Remote Sensing*, ۳: ۸۷۸.
- Lee, T.-M., and H.-C. Yeh. ۲۰۰۹. Applying remote sensing techniques to monitor shifting wetland vegetation: A case study of Danshui River estuary mangrove communities, Taiwan. *Ecological engineering*, ۳۵: ۴۸۷-۴۹۶.
- Li, Z.; J. Chen, and E. Baltsavias. ۲۰۰۸. *Advances in photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences: 2008 ISPRS congress book*. CRC Press ,
- Liang, S.; X. Li, and J. Wang. ۲۰۱۲. *Advanced remote sensing:: Terrestrial Information Extraction and Applications*. (1st ed.). Academic Press, Amsterdam ; Boston.
- Liu, K.; X. Li; X. Shi, and S. Wang. ۲۰۰۸. Monitoring mangrove forest changes using remote sensing and GIS data with decision-tree learning. *Wetlands*, ۲۸: ۳۳۶-۳۴۶.
- Lu, D.; M. Batistella, and E. Moran. ۲۰۰۸. Integration of Landsat TM and SPOT HRG images for vegetation change detection in the Brazilian Amazon. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, ۷۴: ۴۲۱.
- Lu, D.; P. Mause; E. Brondizio, and E. Moran. ۲۰۰۸. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, ۲۵: ۲۳۶۵-۲۴۰۱.
- Lyon, J.G.; D. Yuan; R.S. Lunetta, and C.D. Elvidge. ۱۹۹۸. A change detection experiment using vegetation indices. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, ۶۴: ۱۵۰-۱۴۳ :
- Nguyen, H.-H.; C. McAlpine; D. Pullar; K. Johansen, and N.C. Duke. ۲۰۱۳. The relationship of spatial-temporal changes in fringe mangrove extent and adjacent land-use: Case study of Kien Giang coast, Vietnam. *Ocean & coastal management*, ۷۶: ۱۲-۲۲.
- Pham, T.D., and K. Yoshino. Mangrove Mapping and Change Detection Using Multi-temporal Landsat imagery in Hai Phong city, Vietnam
- Pham, T.D., and K. Yoshino ۲۰۱۵. Mangrove Mapping and Change Detection Using Multi-temporal Landsat imagery in Hai Phong city, Vietnam. In, *International Symposium on Cartography in Internet and Ubiquitous Environments*
- Pohl, C., and J. van Genderen. ۲۰۱۶. *Remote Sensing Image Fusion: A Practical Guide*. CRC Press ,
- Rayegani, B. ۲۰۱۶. Monitoring Hormozgan Mangrove forest changes in the past three decades and prioritizing of degraded ecosystems in order to carry out restoration projects. In (p. ۲۸۰). Department of Environment: College of Environment
- Rogan, J.; J. Franklin, and D.A. Roberts. ۲۰۰۲. A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. *Remote sensing of environment*, ۸۰: ۱۴۳-۱۵۶.
- Simard, M.; V.H. Rivera-Monroy; J.E. Mancera-Pineda; E. Castañeda-Moya, and R.R. Twilley. ۲۰۰۸. A systematic method for 3D mapping of mangrove forests based on Shuttle Radar Topography Mission elevation data, ICESat/GLAS waveforms and field data: Application to Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Remote sensing of environment*, ۱۱۲: ۲۱۳۱-۲۱۴۴.
- Vaiphasa, C.; A.K. Skidmore, and W.F. de Boer . ۲۰۰۶ .A post-classifier for mangrove mapping using ecological data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, ۶۱: ۱-۱۰.
- Xiaolu, S., and C. Bo. ۲۰۱۱. Change detection using change vector analysis from Landsat TM images in Wuhan. *Procedia Environmental Sciences*, ۱۱: ۲۳۸-۲۴۴.

