



علوم محیطی

علوم محیطی سال هشتم، شماره اول، پاییز ۱۳۸۹  
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.8, No.1, Autumn 2011

۶۹-۸۴

## کاربرد شاخص‌های گیاهی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای IRS در تعیین سطح جنگل‌های حرای نایبند در مجاورت تأسیسات نفتی پارس جنوبی

سید نورالدین امیری<sup>۱\*</sup>، ژیلا سجادی<sup>۲</sup>، سید حسن صدوق ونینی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲- گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

### Application of Vegetation Indices Derived From IRS Data for Detecting the Avicennia Forest Area Near the South Pars Oil Apparatus

Seyed Nouroddin Amiri<sup>1\*</sup>, Jila Sajadi<sup>2</sup>, Seyed Hassan Sadough Vanini<sup>2</sup>

1- PhD. Student, Geography Urban Planning Geography, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University

2- Department of Geography, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University

#### Abstract

Changes in the detection of the mangrove area in Niband Bay adjacent to the South Pars industrial complexes by satellite imaging over different time periods can be a suitable indicator for assessment of possible environmental damage caused by the extensive activities of the aforementioned industry. Environmental damage from industrial activities, particularly with regard to the oil industry, has been inevitable ever since the industrial revolution. The importance of damage which often undermines the positive economic impacts of these industries has drawn attention to the use of different effective techniques for reducing the damage, such as analyzing satellite data since the 1960s. Hence, this paper attempts to investigate the mangrove area by using IRS data (in 2008) and analyzing them with ILWIS package. For this purpose, multi-bands color images 2, 3, 4 have been used for mapping the mangroves and identifying their location. GPS is used for ground veracity. The aim of this research is to consider the application of satellite data (IRS) along with the vegetation index for assessing the mangrove areas and for measuring the possible environmental damage caused by the above mentioned industry. The results show the application of vegetation indices, particularly those in IRS4/IIRS3, within the other four indices used for mapping the mangrove in this research. Mangrove areas measured in this research show considerable differences in comparison with those found in previous research studies.

**Keywords:** Avicennia forest, Gulf of Naiband, Vegetation indexes, IRS data.

#### چکیده

سنجش مساحت جنگل‌های حرای خلیج نایبند در مجاورت تأسیسات پارس جنوبی از طریق داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند به عنوان شاخصی در ارزیابی پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از این صنایع عظیم نفتی و گازی محسوب شود. خسارت‌های زیست‌محیطی به ویژه صنایع بزرگ نفتی از اجتناب ناپذیرترین پیامدهای ناشی از تأسیس آن‌ها بعد از انقلاب صنعتی بوده است. اهمیت این خسارت‌ها که گاهی اثرات مثبت اقتصادی این صنایع را مورد تردید قرار داده است، از سال‌های ۱۹۶۰ سبب توجه به کاهش میزان این خسارت‌ها از طریق استفاده از تکنیک‌های مؤثر گردیده است. هدف این پژوهش بررسی امکان استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای IRS و شاخص‌های گیاهی در مطالعه جنگل‌های حرا به عنوان شاخصی جهت اندازه‌گیری خسارت‌های احتمالی زیست‌محیطی تأسیسات عظیم نفتی منطقه پارس جنوبی بوده است. از جمله این تکنیک‌ها تحلیل داده‌های ماهواره‌ای می‌باشد. از این رو این مقاله با استفاده از داده‌های IRS سال ۲۰۰۸ و آنالیز داده‌ها با نرم افزار ILWIS موقعیت و شرایط جنگل‌های مزبور را مورد بررسی قرار داده است. در این راستا از ترکیب کاذب رنگی باندهای ۲ و ۳ و ۴ جهت تعیین موقعیت مکانی و تهیه نقشه Segment از جنگل حرا استفاده شده است و با کمک دستگاه GPS نقشه واقعیت زمینی تهیه گردید. نتایج بررسی نشان دهنده اهمیت شاخص‌های گیاهی در تهیه نقشه جنگل‌های حرا، به ویژه توانایی شاخص گیاهی RVI در میان چهار شاخص استفاده شده در این تحقیق می‌باشد. این شاخص با دقت تولید کننده ۸۳/۳۸٪ و دقت کاربری ۸۷/۴۶٪ و ضریب کاپای ۸۶/۲۴٪ بهترین شاخص در تعیین مساحت جنگل‌های حرای مورد مطالعه بوده است. مقایسه مساحت جنگل‌های حرای بدست آمده از این تحقیقات با بررسی‌های صورت گرفته قبلی تفاوت‌های چشمگیری دارد.

کلیدواژه‌ها: جنگل حرا، خلیج نایبند، شاخص‌های گیاهی، داده‌های IRS.

\* Corresponding author. E-mail Address: ???

## مقدمه

مانگروها اکوسیستم‌های مناطق گرمسیر هستند که به دلیل اهمیت بالا و شکنندگی و آسیب‌پذیریشان نیاز به حفاظت و مدیریت دارند. این اکوسیستم‌ها نه تنها از نظر بیولوژیک مهم هستند بلکه بافرهای مهم طبیعی نیز می‌باشند ولی افزایش جمعیت در مناطق ساحلی باعث افزایش تخریب منابع ساحلی شده است که نتیجه آن تپه شدن مناطق ساحلی وسیعی از مانگروها به خاطر برداشت بیش از حد، تغییر کاربری و آلودگی می‌باشد. در نتیجه، این نه تنها مناطق مانگرو را کاهش داده است بلکه از عملکردهای آن به عنوان بستر نوزادگاهی<sup>۱</sup> جهت موجودات دریایی، ذخیره‌گاه غذایی و حفاظت سواحل می‌کاهد (Primavera, 2005) (Naylor et al., 2000)

ادامه تخریب و تجزیه مانگروها باعث نگرانی بین المللی به خاطر نقش مهم آن‌ها در شیلات و اکولوژی سواحل شده است. پس تلاش‌های گسترده جهانی برای حفاظت و مدیریت پایدار مناطق مانگرو شروع شده است (Torio, 2007). از جمله می‌توان کاشت ۷۰۰ هزار نهال حرا به وسیله منطقه ویژه انرژی-اقتصادی پارس جنوبی در جنوب ایران و در خلیج نایبند را مثال زد. آنچه که در راستای مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی از جمله جنگل‌های مانگرو تاخیر و خلل ایجاد می‌کند در دسترس نبودن اطلاعات به هنگام و دقیق جهت مدیریت بهتر مانگروها می‌باشد.

کسب اطلاعات درباره وضعیت پوشش گیاهی از قبیل تراکم و میزان پراکنش آن‌ها، از اهمیت زیادی برخوردار است. گردآوری اطلاعات در مورد تغییرات پیوسته پوشش گیاهی توسط روش‌های معمولی بسیار مشکل و پرهزینه است. از این رو استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امکان مطالعه گسترده پوشش گیاهی را فراهم می‌سازد. جهت کاهش اثر عوامل ناخواسته روی

اطلاعات پوشش گیاهی و افزایش اطلاعات مربوط به آن، می‌توان حداقل دو باند را ترکیب کرده و شاخص مرکبی به نام شاخص پوشش گیاهی ایجاد نمود در واقع، هدف از ایجاد شاخص‌های پوشش گیاهی آن است که برخی ویژگی‌های پوشش گیاهی نظیر خصوصیات تاج پوشش، بیومس، تولید، سطح برگ یا درصد پوشش گیاهی برآورد و ارزیابی شود سه ویژگی مهم برگ مانند کلروفیل، ساختار فیزیولوژیک و میزان آب اثر مهمی در بازتاب طیفی آن دارد. با توجه به این مهم ترکیب باندهای طیفی نور مرئی و مادون قرمز نزدیک می‌تواند به متمایز ساختن پوشش گیاهی از سطح خاک و آب کمک کند (Alavipanah, 2003).

جنگل‌های مانگرو در سواحل جنوبی ایران با وسعت ۹۲۰۰ هکتار (Rashidi et al., 2005) در مناطق متعددی در حد فاصل مدارهای ۲۵ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۵۲ دقیقه گسترش یافته است.

این اجتماعات گیاهی که تنها رویش‌های چوبی ناحیه جزر و مدی سواحل گرمسیری می‌باشند در ایران تنها از دو گونه درختچه‌ای با نام درختچه حرا<sup>۲</sup> (*Avicennia marina*) و درختچه چندل (*Rhizophora mucronata*) تشکیل یافته‌اند که گونه اخیر تنها در خورهای منطقه سیریک با وسعت محدود وجود دارد و سایر رویشگاه‌ها به طور خالص از درختچه‌های حرا تشکیل یافته‌است. از این رو جنگل‌های مانگرو ایران به نام جنگل‌های حرا نامیده می‌شوند که این امر بدلیل غالب بودن درختچه‌های فوق در اکثر رویشگاه‌ها می‌باشد، اما واژه حرا معادل واژه مانگرو نبوده و هر یک از مفاهیم مستقلی برخوردارند.

حرا گیاهی درختچه‌ای با ریشه‌های تنفسی است که از خاک بیرون می‌آیند تا به تنفس گیاه کمک کنند. ریشه‌های این گیاه به خاطر رسوب کربنات کلسیم بر روی آن محکم می‌باشند. حرا دارای شاخه‌های گرد و

بند بند و برگ‌های ساده، سرنیزه ای یا مستطیلی - سرنیزه ای یا بیضوی است. برگ‌ها چرمی، کامل و بدون گوشوارک هستند.

جام گل استکانی - چرخه ای با ۴ پرچم و مادگی دوبرچه‌ای است، میوه کپسول و شکوفایی آن با دریچه است. تولید مثل این جنس به صورت زنده زایی است (Khosravi, 2005).

مطالعاتی که در آنها شاخص‌های گیاهی از داده‌های ETM+ و TM مشتق شده‌اند نشان داده است که این شاخص‌ها تحت تأثیر عواملی مانند توپوگرافی، میزان تراکم پوشش گیاهی و هتروژنی پوشش‌های گیاهی قرار می‌گیرند (Lyon et al., 1998) (Lunneta Ross and Elvidge, 2003). در مطالعات انجام شده بر روی جنگل‌های مانگرو، محققان عقیده دارند که قدرت تفکیک زمینی داده‌های ماهواره‌ای، فصل برداشت و نحوه تجزیه و تحلیل آن‌ها در تشخیص و تفکیک این جنگل‌ها مهم هستند و اصولاً داده‌هایی را برای انجام مطالعه پیشنهاد می‌دهند که قدرت تفکیک زمینی بالا داشته باشند و در فصل مناسب ریشی برداشت شده باشند (GAO, 2004) (Rashvand, 1997) (Safiri, 2002).

در بررسی جنگل‌های مانگرو در ماداگاسکار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای SPOT-1, SPOT-2 نتیجه گرفتند که میزان دقت کار به زمان برداشت داده‌های ماهواره‌ای و نحوه پردازش آن‌ها بستگی دارد (2004) (Rasolofoharinoro et al., 2004). برای جداسازی جنگل‌های مخروطدار از دیگر مناطق در سال از شاخص‌های TM, SAVI, TSAVI, GEMI, PVI استفاده کردند. این گروه معتقدند که بین شاخص‌ها و تاج پوشش جنگل رابطه خطی وجود ندارد و ارزش شاخص‌ها در شناسایی پدیده‌ها برای تمام مناطق یکسان نیست و توانایی شاخص‌ها را با سایه اندازی و میزان ناهمگنی در

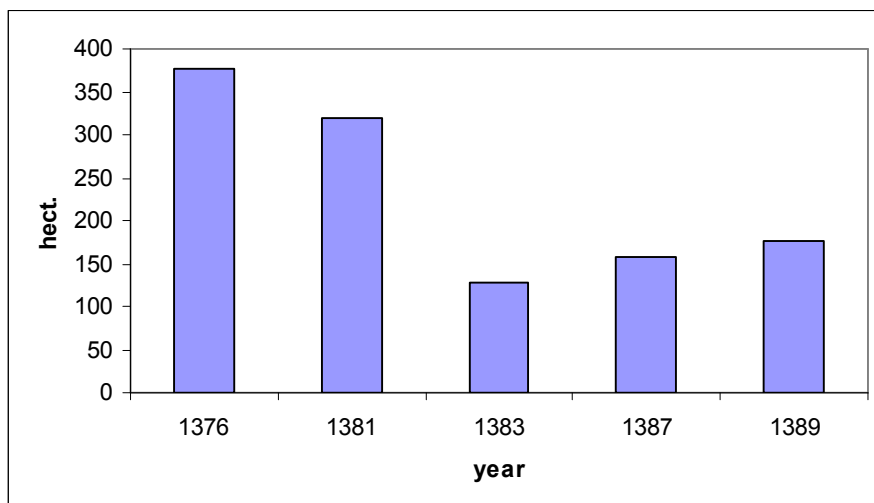
جنگل مرتبط می‌دانند (McDonald et al., 1998).

در ایران مطالعاتی انجام شده است که طی آن‌ها پوشش‌های گیاهی یک منطقه تفکیک و طبقه‌بندی شده‌اند. در این مطالعات به صورت عمده از داده‌های سنجنده ETM+ استفاده شده است. میزان تراکم پوشش گیاهی، قدرت تفکیک زمینی سنجنده‌های ماهواره‌ای و نوع پردازش انجام گرفته روی داده‌ها از عوامل اثر گذار در نتایج بدست آمده بوده است (Mirakhorlou et al., 2005) (Abdi and Hajighaderi et al., 2005).

در منطقه نایبند مطالعاتی در جهت تعیین مساحت جنگل‌های حرا انجام شده است. در این مطالعات از عکس‌های هوایی و یا داده‌های سنجنده ETM+ استفاده و گزارش‌های مختلفی در مورد مساحت این جنگل‌ها ارائه شده است. برآوردهای بدست آمده از تحقیقات قبلی نشانگر کاهش شدید مساحت این جنگل‌ها از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۳ می‌باشد. همان‌گونه که در شکل شماره ۱ نشان داده شد مساحت این جنگل‌ها از ۳۷۷ هکتار در سال ۱۳۷۶ به ۳۱۹ هکتار در سال ۱۳۸۱ و ۱۲۸ هکتار در سال ۱۳۸۳ تنزل یافته است در حالی که طبق بررسی‌های انجام گرفته در سال ۱۳۸۷ به ۱۵۸ هکتار و در تحقیق حاضر همان‌گونه که در قسمت نتایج خواهد آمد به ۱۷۱ هکتار افزایش یافته است (Rohanian et al., 2004) (Rashidi, 2002) (Rashidi et al., 2005) (Rasolofoharinoro et al., 2004).

### مواد و روش‌ها

خلیج نایبند با وسعت ۴۱/۳ کیلومتر مربع و عرض دهانه ۷۴۰۰ متر و خط ساحلی به طول ۲۰/۷۵ کیلومتر در ردیف خلیج‌های کوچک ساحلی قرار می‌گیرد. در این خلیج دو خور مهم وجود دارد خور عسلویه و خور بساتین. خور عسلویه ۵۲۵۰ متر طول دارد و در اراضی



شکل ۱- تغییرات سطح جنگل‌های حرای نایبند از سال ۱۳۷۶ تا سال ۱۳۸۹

می‌باشند و عملاً در مقیاس جهانی، آخرین محدوده پراکنش جهانی آنها در سواحل شمال غربی آسیا محسوب می‌گردند (Rashidi et al., 2005). آب و هوای منطقه نایبند نیمه گرمسیری است و شرایط اقلیمی همانند ساوان‌ها دارد. میانگین درجه حرارت در زمستان به طور متوسط ۱۲ تا ۱۶ درجه سانتیگراد و در تابستان ۳۶ تا ۴۲ درجه سانتیگراد است. میزان بارندگی در سال ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر و اغلب بصورت بارش زمستانه است ولی در برخی سال‌ها تا ۴۹۵ میلی‌متر نیز می‌رسد (Lar Consulting Engineers, 2006).

اطلاعات ماهواره‌ای مورد استفاده در این مطالعه IRS از ماهواره IRS-P6 می‌باشد که دارای ۴ باند از طیف مرئی تا مادون قرمز حرارتی است و قدرت تفکیک ۲۳/۵ متر و یک باند PAN با قدرت تفکیک ۵/۸ متر است. این اطلاعات مربوط به گذر ماهواره از منطقه مورد مطالعه در ۲۳ ژانویه ۲۰۰۸ برابر با ۱۹ اردیبهشت ۱۳۸۵ است. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه نایبند نیز از سازمان نقشه برداری کل کشور به صورت پلات خریداری شدند. تعداد نقشه‌ها ۷ برگ است که همگی در بلوک ۱۱۴

کم شیب شرق بخش عسلویه و جنوب دهستان بیدخون جریان دارد (Rashidi et al., 2005). این خور به واسطه تغییرات جریان آب تحت تأثیر جزر و مد پهنه‌ای تالابی به وسعت ۸۴۰۰ هکتار ایجاد نموده است که اجتماعات حرا در حاشیه آن رویش دارند. جنگل‌های حرا در این خور در مختصات ۲۶° و ۲۷° تا ۲۷° و ۲۷° شمالی و ۳۷° و ۵۲° تا ۴۱° و ۵۲° شرقی واقع شده‌اند. خور بساتین نیز که در ۲ کیلومتری شمال شرقی روستای بساتین واقع شده است، با ۳۱۰۰ متر طول، در جهت شمال شرقی قرار دارد و وسعت اراضی تالابی مجاور این خور ۵۶ هکتار است. اجتماعات حرای مستقر در حاشیه این خور در مختصات ۲۴° و ۲۷° تا ۲۵° و ۲۷° شمالی و ۴۰° و ۵۲° تا ۴۱° و ۵۲° شرقی جای گرفته‌اند. تراکم درختچه‌های این توده از خور عسلویه کمتر است، به واسطه میانگین سطح کم تاج این درختچه‌ها، درصد پوشش این منطقه کم و معادل ۲ درصد می‌باشد. رویشگاه‌های جنگل‌های حرا در خلیج نایبند آخرین نواحی پراکنش این اجتماعات درختی و درختچه‌ای کمیاب در ناحیه ساحلی شمالی خلیج فارس

"بیرم" قرار می‌گیرند. ۴ شاخص در این تحقیق محاسبه و نتایج حاصل از آن‌ها با هم مقایسه شدند. شاخص‌ها بر مبنای باند های قرمز، مادون قرمز نزدیک و سبز فرموله شده‌اند (جدول ۱). از آن‌جا که گیاهان امواج سبز و مادون قرمز نزدیک را بازتاب می‌کنند (Alavipannah, 2003) نگارنده جهت نشان دادن این امر و کیفیت شاخص حاصل از ترکیب آن‌ها شاخصی را که به وسیله \* مشخص شده است تعریف نمود.

#### جدول ۱- شاخص‌های محاسبه شده در این مطالعه

به همراه فرمول آن‌ها

نام شاخص	فرمول شاخص
RVI	NIR / RED
IRS4-IRS2*	NIR - GREEN
NDVI	(NIR- RED)/( NIR+ RED)
IPVI	NIR/ RED+RED

با اسکن برگ‌های نقشه به وسیله اسکنر طولی، تصویر مربوط به هر برگ نقشه وارد نرم افزار Adobe Photoshop 8CS گردید و قسمت‌های اضافی آن بریده و با دقت زیاد به هم چسبانده شدند تا یک نقشه واحد به دست آید. سپس این نقشه از طریق Geogateway به نرم‌افزار ILWIS 3.0 وارد و پس از دیجیتالی شدن با فرمت مخصوص این نرم افزار ذخیره گردید.

داده‌های ماهواره‌ای خریداری شده پس از تغییر فرمت در نرم افزار ENVI4.0 به صورت یک فایل با فرمت Tiff ذخیره و از طریق Geogateway به نرم افزار ILWIS 3.0 وارد و با فرمت مخصوص آن ذخیره شدند. برای زمین مرجع کردن داده‌های ماهواره ای و نقشه‌های توپوگرافی سیستم مختصات با عنوان Kangan 250000 تهیه شد که در آن سیستم تهیه نقشه به صورت UTM، حالت بیضوی به صورت International 1924 و داده‌ها به صورت غیر اختصاصی در منطقه ۳۹ از شبه کره بین

المللی در نیمکره شمالی تعریف شدند. با خواندن مختصات هر نقطه از روی نقشه های پلات و تعریف کردن آن برای نقشه ذخیره شده در نرم افزار، نقشه‌های توپوگرافی زمین مرجع شدند.

باند PAN و باندهای با محدوده جذب طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک جداگانه زمین مرجع شدند. باند PAN به تنهایی زمین مرجع شد و برای دیگر باندها ابتدا یک باند زمین مرجع و سپس اطلاعات آن برای باندهای دیگر کپی شده است. روش کار به این صورت بوده است که نقاط مشخص در یک تصویر انتخاب و طول و عرض همان نقاط به وسیله سایت Google earth مشخص شدند. لازم به ذکر است که قبل از استفاده از اطلاعات این پایگاه اینترنتی با مقایسه آن با نقشه‌های توپوگرافی از دقت آن اطمینان حاصل شد (Torio, 2007). قبل از وارد کردن مختصات نقطه مورد نظر سیستم مختصات آن‌ها از LATLON به Kangan 250000 ترجمه شد. پس از ترجمه سیستم مختصات، طول و عرض به دست آمده که حالت UTM داشت برای نقطه مورد نظر تعریف و ثبت شد.

پس از زمین مرجع کردن به دلیل اینکه ممکن است اندازه پیکسل‌ها تا حدود کمی تغییر کند و جهت جلوگیری از وارد شدن خطا به کار، باندها به میزان ۲۳/۵ متر که اندازه پیکسل واقعی است، نمونه‌گیری شدند و برای اینکه دامنه برد ارزش عددی پیکسل باندهای مختلف افزایش یابد و در نتیجه اطلاعات دریافتی از آن‌ها بیشتر گردد عملیات کشش خطی بر روی تمام باندها انجام شد.

جهت محاسبه شاخص‌ها از نرم افزار ILWIS3.0 استفاده شد. فرمول هر کدام از شاخص‌های مورد نظر با نام فایل باندی که دارای طول موج جذبی متناسب با طول موج ذکر شده در فرمول بود برای نرم افزار تعریف گردید به عنوان مثال برای نوشتن  $IPVI = NIR / RED + RED$  به جای NIR از فایل باند ۴ استفاده شد زیرا این باند دارای

محدوده جذب مادون قرمز نزدیک است و به جای RED از فایل باند ۳ استفاده شد زیرا این باند دارای محدوده جذب قرمز است.

برای بررسی میزان دقت طبقه بندی داده‌های ماهواره‌ای به وسیله شاخص‌ها در مقایسه با نقشه واقعیت زمینی دقت تولید کننده، دقت کاربر، دقت کلی و ضریب کاپا محاسبه شدند. هر چه مقدار دقت کاربر و دقت تولید کننده به هم نزدیک تر باشد و نیز ضریب کاپا به یک نزدیک شود نشان دهنده دقت طبقه بندی است. ضریب کاپا بین صفر و یک متغیر است.

جهت بررسی دقت شاخص‌ها در تشخیص و تفکیک محدوده جنگل‌های حرا نقشه واقعیت زمینی تهیه شد. برای تولید این نقشه ترکیب رنگی کاذب باندهای ۴ و ۳ و ۲ ایجاد و با حضور در عرصه مورد مطالعه و با استفاده از

تصویر این ترکیب رنگی و کنترل نقاط رویش حرا به صورت بصری و برداشت مختصات جغرافیایی نقاط رویش آن به وسیله GPS محدوده جنگل‌های حرا مشخص گردید. پس از آن با استفاده از ترکیب کاذب رنگی ۴-۳-۲ و اطلاعات حاصل از عملیات میدانی محدوده جنگل‌های حرا از سایر نقاط منطقه متمایز و از این طریق نقشه نقطه‌ای تهیه گردید. از روی نقشه نقطه‌ای، نقشه خطی تولید و با استفاده از آن و تعریف کردن قلمرو و سیستم مختصات مناسب نقشه Polygon ایجاد شد که در آن اراضی جنگلی حرا از سایر اراضی به صورت تفکیک شده مشخص شدند و با زمین مرجع کردن آن نقشه Raster از محدوده مورد نظر بدست آمد. تصویر ترکیب کاذب رنگی ۴-۳-۲ در شکل ۲ آمده است.



**شکل ۲-** تصویر ترکیب کاذب رنگی باند های ۴ و ۳ و ۲، این تصویر حاصل ترکیب باند ۴ به عنوان باند قرمز، باند ۳ به عنوان باند سبز و باند ۲ به عنوان باند آبی با هم است.

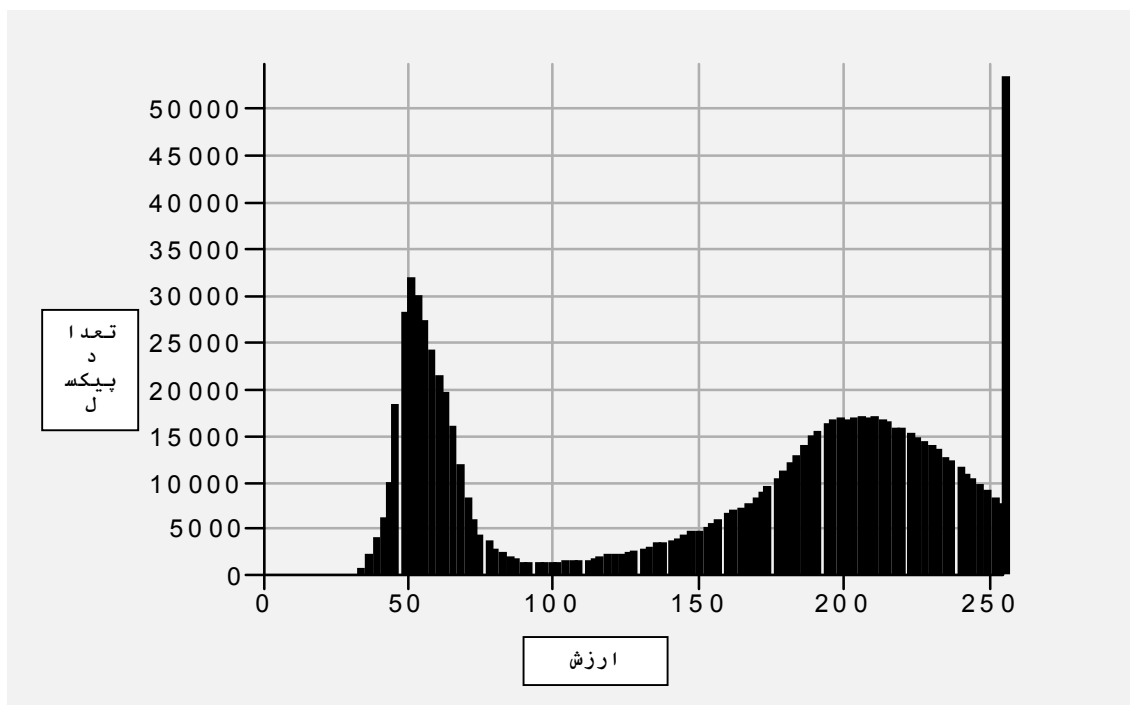
## نتایج

پس از زمین مرجع کردن نقشه‌های توپوگرافی، مجموع مربعات خطای پیکسل‌ها ۰/۰۶۸ به دست آمد (خطای کمتر از ۰/۱۰۰ مطلوب است). مجموع مربعات خطای پیکسل‌ها پس از زمین مرجع کردن برای باندها ۲ تا ۴، اول تا سوم ۰/۰۸۱ و برای باند PAN ۰/۰۷۴ بود. برای بررسی میزان دقت کار، تصاویر با نقشه توپوگرافی مقایسه شدند و بعد از اطمینان از دقت بودن ادامه عملیات نرم افزاری انجام شد.

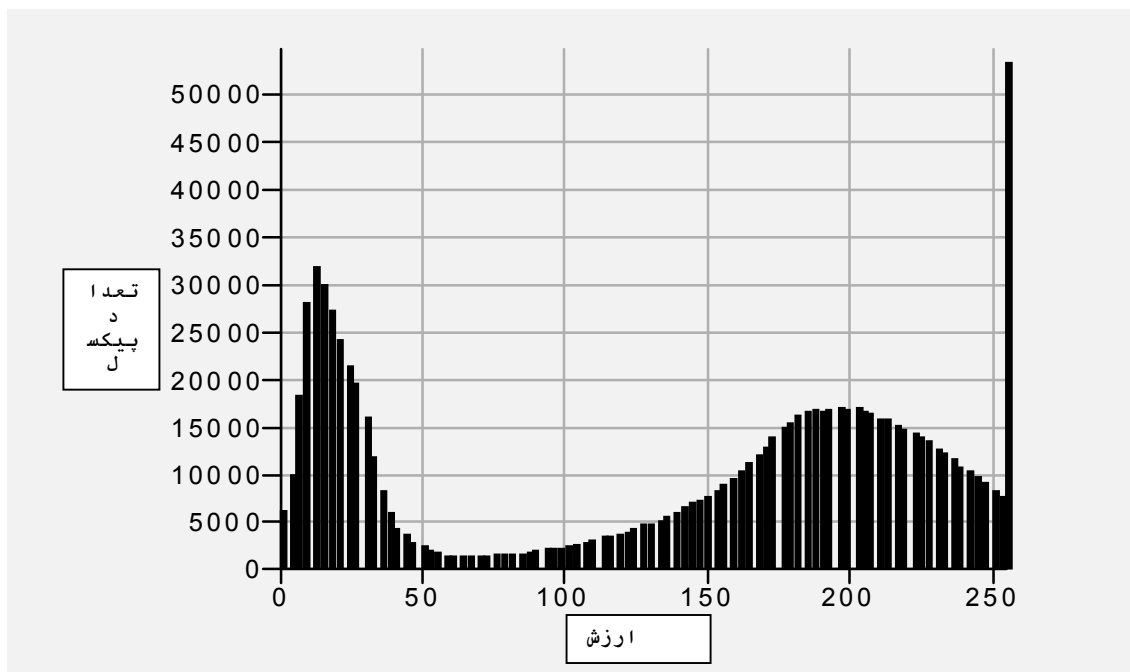
با انجام نمونه‌گیری مجدد بر روی باندها اندازه پیکسل باندهای چهارگانه که پس از زمین مرجع کردن کمی تغییر کرده بود مجدداً به ۲۳/۵ متر برگشت. برای افزایش دامنه برد ارزش عددی پیکسل‌های هر باند نیز کشش خطی بر روی تمام باندها اعمال شد. به عنوان نمونه هیستوگرام دامنه برد باند ۴ پیش و پس از کشش خطی در شکل ۳ و ۴ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر ارزش

عددی تعداد معینی پیکسل وجود دارد که نشان دهنده میزان جذب بازتاب‌های مشخص از پدیده‌های موجود در منطقه و میزان سطح آن پدیده‌ها است.

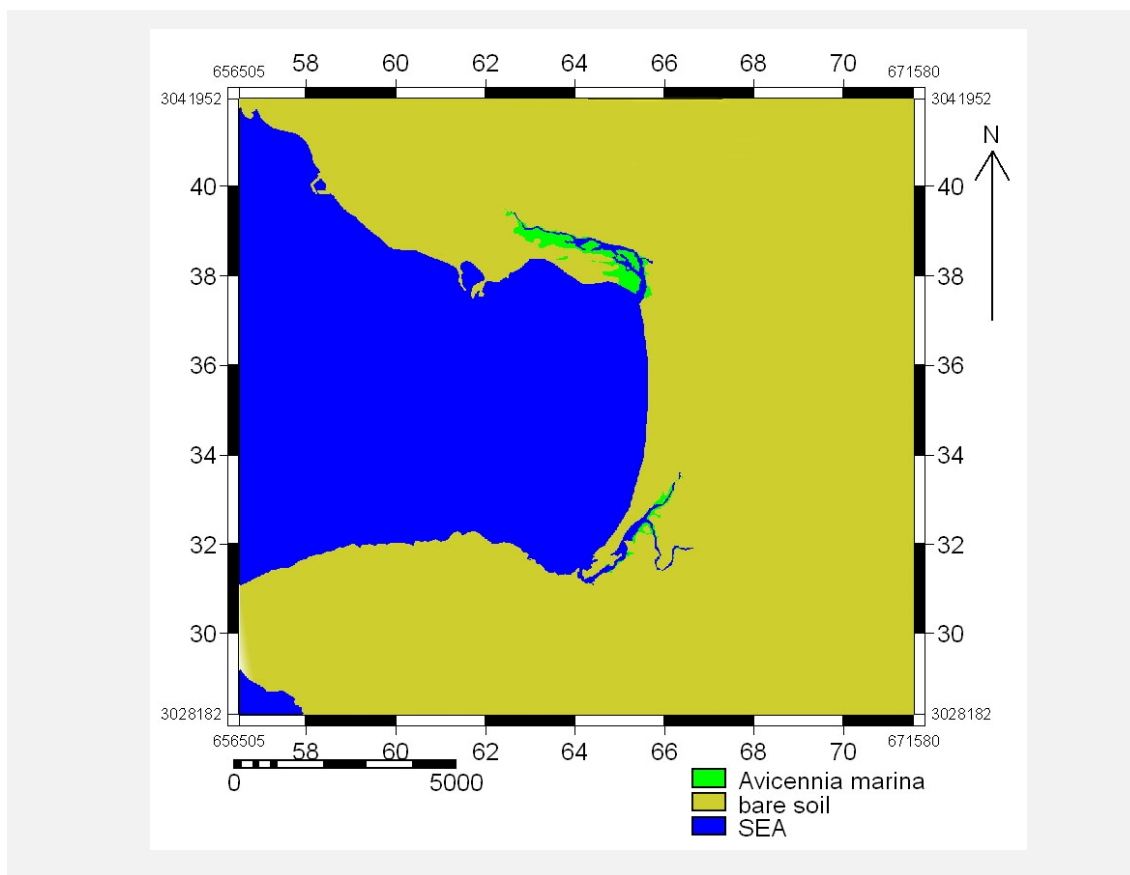
نقشه واقعیت زمینی که حاصل پولی گون کردن نقاط برداشت شده به وسیله GPS و کنترل بصری روی‌شگاه‌های حرا در عرصه مورد مطالعه به کمک ترکیب باندهای ۴ و ۳ و ۲ می‌باشد، مرجع اصلی بررسی میزان دقت شاخص‌ها است. در مطالعه میدانی با GPS نقاط متعددی در محدوده جنگل‌های حرا برداشته شد و با استفاده از ترکیب کاذب رنگی باندهای ۲، ۳، ۴ و مطابقت نقاط با تصویر مذکور نقشه واقعیت زمینی تهیه شده است. وسعت جنگل‌های حرا در این نقشه ۱۷۱۰۸۷۰ متر مربع است که مساحت دقیق جنگل‌های حرای منطقه می‌باشد. نمایی از این نقشه در شکل ۵ آمده است. تعداد پیکسل‌هایی که در نقشه واقعیت زمینی به عنوان حرا وجود دارند ۳۰۹۸ عدد است که مجموع مساحت آن‌ها ۱۷۱/۰۸۷ هکتار می‌گردد.



شکل ۳ - هیستوگرام ارزش عددی باند ۴ در منطقه نایبند



شکل ۴ - هیستوگرام ارزش عددی بانده ۴ پس از کَشش خطی

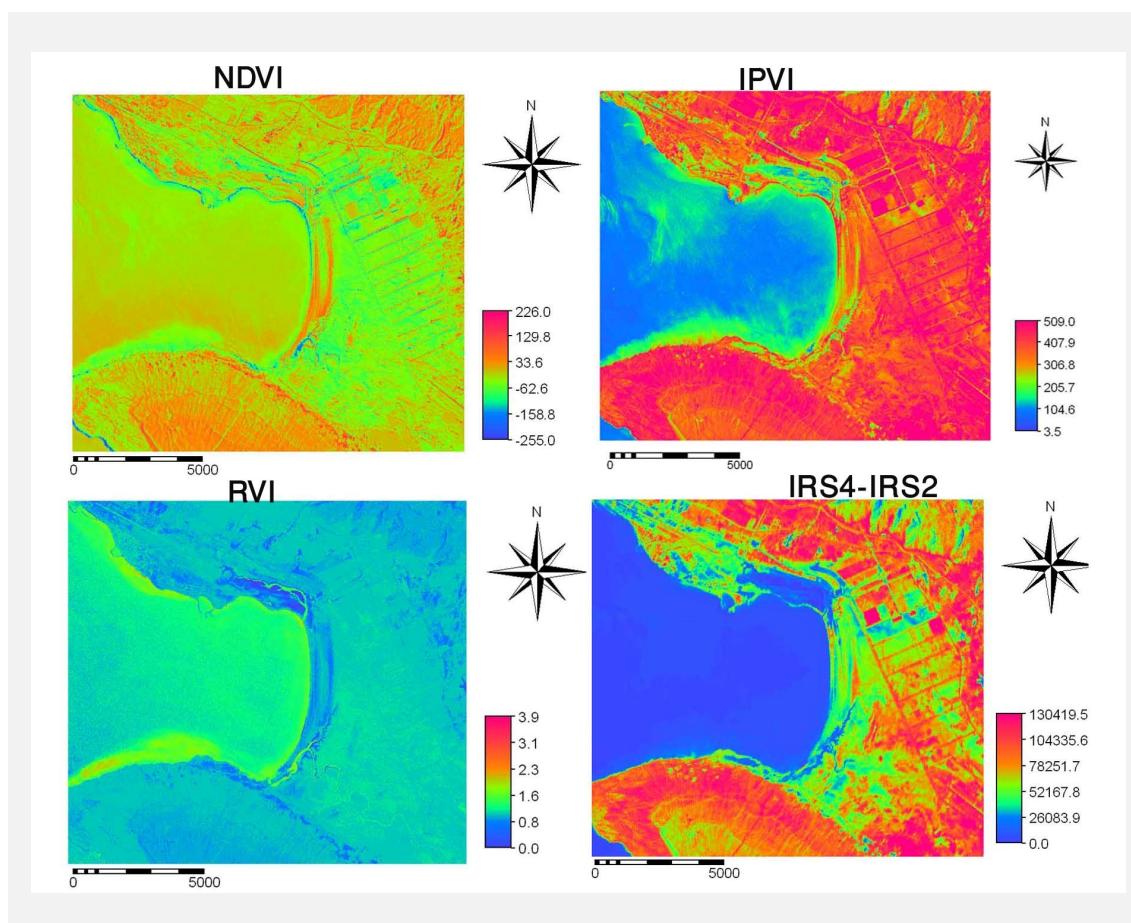


شکل ۵ - نقشه واقعیت زمینی، از این نقشه برای مقایسه دقت نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی شاخص‌ها استفاده شد.

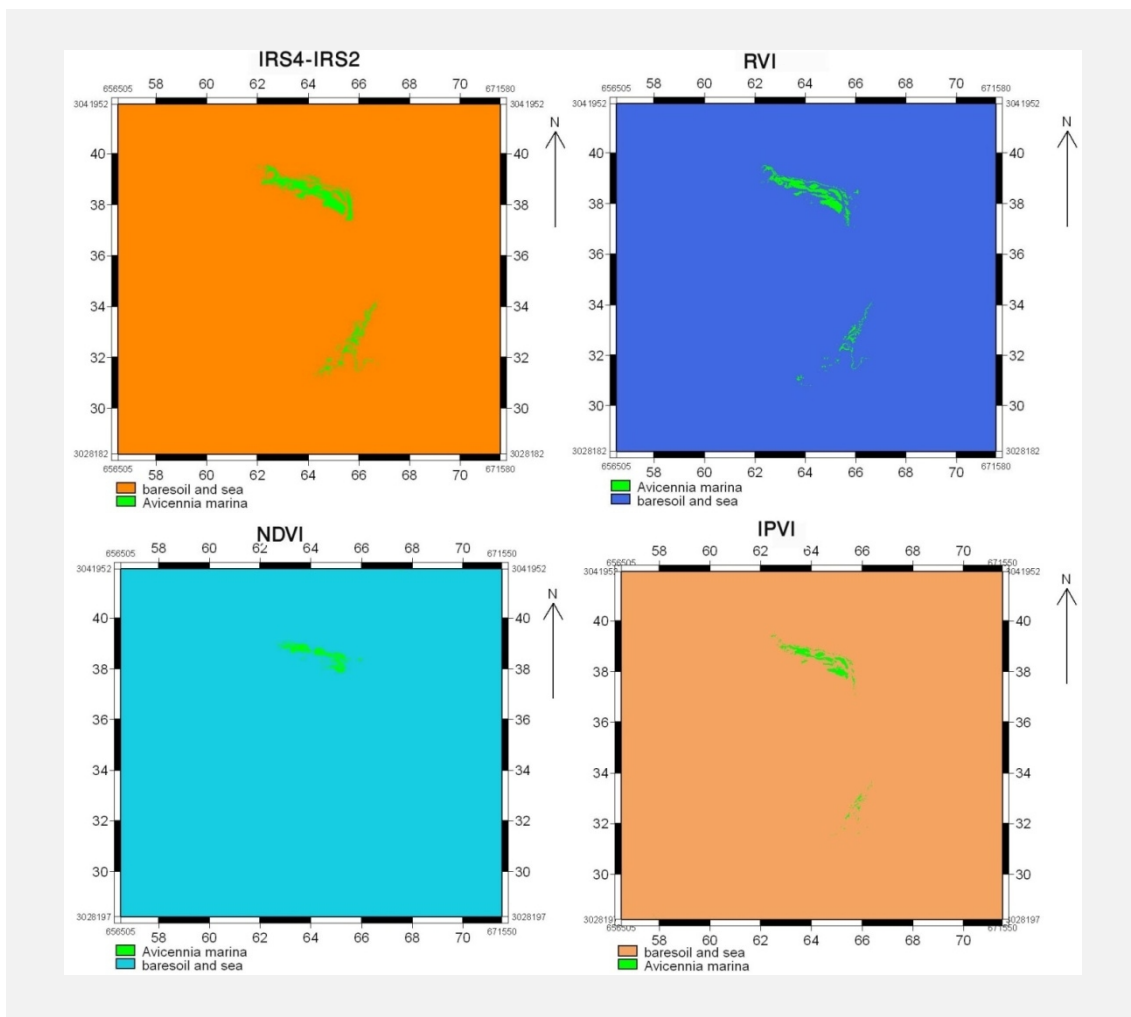


پیکسل‌های شناخته شده به عنوان حرا در مقایسه پیکسل به پیکسل با نقشه واقعیت زمینی و پیکسل‌هایی که به اشتباه در طبقه‌بندی حرا شناخته شده‌اند نیز آمده است. پس از طبقه‌بندی به دلیل آن که تمامی مناطق در تصویر به جز جنگل‌های حرا به عنوان یک کلاس دیگر در نظر گرفته شدند، تشخیص حرا از دیگر مناطق که احتمال تداخل طیفی با جنگل حرا را داشتند به راحتی انجام شد. پس از انجام طبقه‌بندی قابلیت هر کدام از شاخص‌ها در تشخیص جنگل‌های حرا با تعیین دقت‌های تولید کننده، کاربر، کلی و ضریب کاپا در مقایسه نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی شاخص‌ها با نقشه واقعیت زمینی مشخص گردید. نتایج این بررسی در جدول ۳ آمده است.

با انجام عملیات نسبت‌گیری بر روی باندها، شاخص‌های مورد نظر به دست آمد که برخی از آن‌ها دارای تداخل طیفی بالایی بودند و با بررسی بصری ملاحظه شد که در تشخیص جنگل‌های حرا چندان مناسب نیستند. شاخص‌ها پس از ایجاد، به روش تفکیک تار ۳ طبقه بندی شدند. در این طبقه‌بندی محدوده جنگل‌های حرا به عنوان یک کلاس و دریا و اراضی خشک روی هم به عنوان یک طبقه دیگر معرفی و مساحت آن‌ها محاسبه گردید. تصویر شاخص‌ها پیش از طبقه‌بندی در شکل ۶ و پس از طبقه‌بندی و ایجاد نقشه از آن‌ها در شکل ۷ آورده شده است. در جدول ۲ تعداد



شکل ۶ - نمایی از شاخص‌های مورد مورد مطالعه، با مقایسه بصری شاخص‌ها با نقشه واقعیت زمینی می‌توان موقعیت جنگل‌های حرا و تا حدودی به میزان دقت آن‌ها پی برد.



شکل ۲ - تصاویر شاخص‌ها پس از طبقه‌بندی، می‌توان با مقایسه این نقشه‌ها با هم و با نقشه واقعیت زمینی دقت آن‌ها را برآورد کرد.

جدول ۲- مقایسه پیکسل به پیکسل شاخص‌های طبقه‌بندی شده با روش تفکیک تاری با نقشه واقعیت زمینی محدوده مورد مطالعه

نام شاخص	تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده به عنوان حرا	تعداد پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به عنوان حرا	تعداد پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده به عنوان حرا
RVI	۲۹۶۵	۲۸۷۱	۶۴
IRS4-IRS2*	۳۷۱۶	۳۰۲۳	۶۹۳
NDVI	۲۴۲۸	۲۳۰۱	۱۲۷
IPVI	۲۸۸۱	۲۷۴۳	۱۳۸

جدول ۳ - مقایسه دقت تولید کننده، دقت کاربر، دقت کلی و ضریب کاپای شاخص‌های مختلف با هم

نام شاخص	دقت تولید کننده	دقت کاربر	دقت کلی	ضریب کاپا	مساحت کل پیکسل‌های طبقه بندی شده به عنوان حرا (m <sup>2</sup> )	مساحت کل پیکسل‌های صحیح طبقه بندی شده (m <sup>2</sup> )
RVI	٪۸۴/۳۸	٪۸۷/۴۶	٪۹۹/۶۲	۰/۸۶۲۴	۱۵۸۵۵۰۹	۱۶۳۷۴۲۱
IRS4-IRS2*	٪۸۱/۷۸	٪۸۰/۹۵	٪۹۹/۷۸	۰/۷۱۵۶	۱۶۶۹۴۵۱	۲۰۵۲۱۶۱
NDVI	٪۷۶/۴۹	٪۸۱/۲۲	٪۹۹/۶۵	۰/۷۲۹۹۰	۱۲۷۰۷۲۷	۱۳۴۰۸۶۳
IPVI	٪۸۲/۹۷	٪۸۳/۳۳	٪۹۹/۳۷	۰/۸۵۳۱	۱۵۱۴۸۲۱	۱۵۹۱۰۳۲

### بحث

جنگل حرا در نظر نگرفته اند. با وجود این که در این تحقیق نیز تعریف جنگل حرا با دیدگاه که رشیدی و همکاران و اسفندیاری و همکاران یکسان است ولی مساحت تعیین شده در این تحقیق متفاوت است، که می‌توان تفاوت نظر در تعیین محل‌های رویش حرا و هم‌چنین نحوه تعیین محدوده جنگل‌های حرا را از مهم‌ترین دلایل آن دانست (Rasolofoharinoro et al., 2004).

شاخص‌های IRS4-IRS2 و NDVI در تفکیک محدوده جنگل‌های حرا مناسب نیستند. می‌توان دلیل آن‌را نحوه نسبت‌گیری بین باندها دانست علاوه بر آن با مقایسه نقشه حاصل از عمل طبقه‌بندی با نقشه واقعیت زمینی می‌توان نتیجه گرفت که شاخص‌ها در تشخیص مناطق پرتراکم جنگل‌های حرا موفق بوده‌اند ولی در محل‌هایی که تراکم جنگل کم است به دلیل تداخل طیفی بین حرا و دیگر پدیده‌های اطراف مقداری خطا داشته‌اند. از مهم‌ترین موارد تداخل طیفی در شاخص‌ها می‌توان به تداخل طیفی بین جنگل‌های حرا با گیاهان شورپسند اطراف جنگل‌ها شامل *Suaeda sp.* و سگ لیس *Halocnemum stobilaceum* اشاره کرد که به دلیل فرصت طلبی این گیاهان، در صورت عقب نشینی آب در خورها به هر دلیلی، می‌توانند جایگزین

مساحتی که پس از تهیه نقش واقعیت زمینی اعلام می‌شود در واقع مساحت واقعی جنگل‌های حرا از نظر محقق است. ولی به هر حال تعیین این محدوده به دیدگاه فرد محقق در مورد جنگل و نوع تعریف وی از محدوده آن بستگی زیادی دارد به طوری که Rashvand در سال ۱۳۷۶ محدوده آنرا ۳۷۷ هکتار محاسبه نموده است (Rashidi et al., 2005) و Safiari در سال ۱۳۸۱ محدوده این جنگل‌ها را ۳۱۹ هکتار تعیین کرده است (Rasolofoharinoro et al., 2004). وسعت جنگل‌های حرا را در منطقه ناینند ۱۲۸/۷۳۴۷ هکتار تعیین نمودند (Rashidi, 2002) و در سال ۱۳۸۷ مساحت جنگل‌ها را ۱۵۸ هکتار تعیین کرده‌اند (Esfandiari, 2008). در حالی که در تحقیق حاضر مساحت جنگل‌های حرا در منطقه ناینند ۱۷۱ هکتار تعیین شده است (شکل شماره ۱). تمام محققین وسعت جنگل‌های حرا را با اختلاف معنی داری از هم و از نتیجه اعلام شده در این مطالعه تعیین نموده‌اند. تعریف صفیاری از جنگل حرا علاوه بر محدوده رویش درختچه‌های حرا، اراضی باتلاقی و مرطوب و آبراهه‌های اطراف آن‌ها نیز بوده است، در حالی که رشیدی و همکاران و اسفندیاری و همکاران اراضی باتلاقی و آبراهه‌های اطراف رویشگاه‌های حرا را به عنوان محدوده

درختچه‌های حرا در حاشیه خورهای مورد مطالعه ششوند. شاخص‌ها به صورت کلی در تشخیص و تفکیک جنگل‌های حرا در مناطق کم تراکم مشکل داشته‌اند چون به دلیل خشکیدگی جنگل‌های حرا در این مناطق میزان بازتاب‌های قابل جذب برای گیرنده ماهواره‌ای کاهش می‌یابد. در مجموع می‌توان گفت که شاخص‌های پر پایه باندهای ۳ و ۴ که محدوده جذب آن‌ها امواج قرمز و مادون قرمز نزدیک است در صورت نسبت‌گیری مناسب بین آن‌ها می‌توانند در تفکیک جنگل‌های حرا با طبقه‌بندی تفکیک تاری مناسب باشند.

بر اساس نتیجه تحقیقات لیون، شاخص NDVI حاصل از داده‌های ماهواره‌ای TM به عنوان مناسب‌ترین شاخص در راستای تعیین مساحت پوشش‌های گیاهی معرفی شد که تنها عامل تأثیر گذار بر آن توپوگرافی منطقه اعلام شده است (Lyon et al., 1998). توپوگرافی هر منطقه به زمین‌شناسی آن وابسته است و یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیر گذار بر داده‌های ماهواره‌ای و در نتیجه بر شاخص‌های حاصل از آن‌هاست و این امر مطالعه پوشش‌های گیاهی را با استفاده از شاخص‌های گیاهی تحت تأثیر قرار می‌دهد زیرا که بازتاب امواج از سطح زمین می‌تواند با بازتاب‌های ناشی از گیاهان تداخل پیدا کند و اگر توپوگرافی منطقه یکدست نباشد تأثیر آن بیشتر می‌گردد. در بررسی انجام شده در منطقه نایبند طی تحقیق حاضر بر روی جنگل‌های حرا از شاخص NDVI نتیجه مطلوب به دست نیامد، که می‌توان دلیل اختلاف نتایج به دست آمده را تفاوت پوشش‌های گیاهی مورد بررسی و تفاوت توپوگرافی دو منطقه از هم دانست.

در مطالعه‌ای که جهت تفکیک جنگل‌های مانگرو و نشان دادن قدرت دو سنجنده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای SPOT-HRV و TM انجام دادند نتیجه‌گیری نهایی این بوده است که داده‌های TM در ۹۵٪ از موارد

در تفکیک مانگروها از دیگر گیاهان دقیق بوده‌اند و فقط زمانی که باندهای PAN داده‌های SPOT برای طبقه‌بندی گیاهان استفاده شد این داده‌ها توانایی تفکیک گیاهان را از هم پیدا کردند (GAO, 2004). در تحلیل نتایج این گروه می‌توان گفت که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با قدرت تفکیک زمینی بالا در تفکیک پدیده‌های مختلف مناسب هستند ولی به نظر می‌رسد که تعداد باندهای هر سنجنده و محدوده جذبی هر کدام از باندها اهمیت بیشتری دارد، به طوری که در این مطالعه علیرغم اینکه قدرت تفکیک مکانی داده‌های SPOT بیشتر است ولی به دلیل باندهای کمتر در تفکیک و تعیین پوشش‌های گیاهی مختلف از هم از داده‌های TM ضعیف‌تر بوده است.

برای معرفی بهترین سنجنده از بین سنجنده‌های IKONOS, SPOT-HRVIR, ETM+ در جهت تشخیص رویش‌های گیاهی در سال (Soudani et al., 2006) مطالعه‌ای را روی جنگل‌های مخروطدار و خزان شونده انجام دادند و شاخص‌های گیاهی (RVI)SR, NDVI, SAVI, ARVI, EVI را نیز محاسبه نمودند. این گروه نتیجه گرفته‌اند در مناطقی که رویش وجود ندارد و یا کم است شاخص‌های حاصل از هر ۳ سنجنده به صورت یکسان و مطلوب عمل می‌کنند، ولی شاخص NDVI حاصل از داده‌های IKONOS در پوشش‌های متراکم ۱۰ متر خطا دارد (Saito et al., 2004). می‌توان گفت که جنگل‌های مخروطداران و پهن برگان به دلیل اینکه از نظر امواج بازتابی مقداری متفاوت هستند، سنجنده‌های ماهواره‌ای مورد مطالعه با داشتن قدرت تفکیک زمینی مناسب توانسته‌اند آن‌ها را از هم جدا کنند ولی وجود خطا در تشخیص و تفکیک مناطق پر تراکم جنگل به وسیله شاخص NDVI نشان‌دهنده توانایی کم این شاخص در تشخیص پوشش گیاهی بوده است زیرا با

وجود قدرت تفکیک مکانی بالای سنجنده IKONOS و تراکم بالای جنگل‌ها که تمام سنجنده‌ها و شاخص‌ها در تشخیص آن مشکلی ندارند، این شاخص ۱۰ متر خطا دارد.

در سال ۱۳۸۳ با استفاده از شاخص‌های گیاهی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای ETM+ وسعت جنگل‌های حرا را در منطقه ناینبد بررسی کردند. بر اساس نقشه واقعیت زمینی که این گروه تهیه نمودند سطح جنگل‌های حرا ۱۲۸/۷۳۴۷ هکتار برآورد شد و شاخص‌های IPVI و بعد از آن DVI به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها در راستای تعیین سطح این جنگل‌ها معرفی گردیدند، در تحقیقات این گروه شاخص NDVI نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه مناسبی از آن به دست نیامد (Rashidi et al., 2005). در تحقیق حاضر نیز که در منطقه ناینبد با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای IRS با هدف تعیین سطح جنگل‌های حرا صورت گرفت شاخص NDVI در تفکیک و تشخیص محدوده‌ها و مساحت این جنگل‌ها نتیجه مناسبی نداشته است، در مورد مطالعه آقای رشیدی و همکاران و مطالعه حاضر باید گفت با وجود اینکه قدرت تفکیک دو سنجنده برابر نیست و زمان برداشت داده‌ها و تکنولوژی ساخت سنجنده‌ها از هم تفاوت دارد ولی باید یادآور گردید که منطقه مورد مطالعه و روش کار دو گروه یکسان بوده و با توجه به این دلایل شباهت نسبی نتایج حاصل از مطالعات دو گروه چندان عجیب نیست.

در سال ۱۳۸۷ اسفندیاری و همکاران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ASTER و شاخص‌های گیاهی مساحت جنگل‌های حرا ناینبد را تخمین زدند که نتیجه اعلام شده ۱۵۸ هکتار بوده است (Rashidi et al., 2005). هم‌چنین آن گروه از شاخص‌های NDVI, IPVI نیز استفاده کرده‌اند آن‌ها نیز مانند تحقیق حاضر از شاخص NDVI نتیجه مناسبی نگرفته‌اند و با توجه به مطالعه حاضر

تحقیقات رشیدی و همکاران می‌توان نتیجه گرفت که شاخص مذکور جهت انجام مطالعات بر روی جنگل‌های حرای ناینبد نامناسب می‌باشد. شاخص IPVI نیز که به وسیله اسفندیاری و همکاران مورد محاسبه قرار گرفته بود تا حدودی نتیجه مطلوبی داشته است ولی در کل نتیجه حاصل از این شاخص در تحقیق حاضر بهتر بوده است که مهم‌ترین دلیل آن می‌تواند تفاوت داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده باشد. اختلاف مساحت اعلام شده از سوی اسفندیاری و همکاران با تحقیق حاضر علیرغم شباهت روش کار و تا حدودی نتایج حاصل از شاخص‌ها می‌تواند کشت درختچه‌های حرا در محدوده مورد مطالعه به وسیله منطقه ویژه اقتصادی-انرژی پارس جنوبی باشد.

یافته‌های این تحقیق علاوه بر کارکرد داده‌های ماهواره‌ای در تعیین مساحت جنگل‌های حرای خلیج ناینبد بر تفاوت‌های قابل توجهی در مساحت این جنگل‌ها که می‌تواند ناشی از اختلاف نظرها در تعریف از جنگل حرا و محدوده آن، فعالیت‌های نفتی و گازی پارس جنوبی در مجاورت این خلیج، روش‌های اندازه‌گیری متفاوت و خطاهای اندازه‌گیری دلالت دارد. اگرچه بپذیریم که پاره‌ای از این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از روش‌های اندازه‌گیری متفاوت و خطاهای اندازه‌گیری باشد ولی توجه مسئولین پارس جنوبی به احیای این اکوسیستم مهم را می‌توان تأییدی بر پیامدهای (خسارت‌های) زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های این تأسیسات بر جنگل‌های حرای خلیج فوق‌الذکر (فعالیت‌هایی چون تأسیس جاده و تأسیسات صنعتی...) تلقی نمود. در تأیید این ادعا می‌توان اقدام مسئولین شرکت در کاشت ۷۰۰ هزار نهال مانگرو در سال ۱۳۸۱ و واکاری مجدد بخشی از نهال‌های از دست رفته در سال ۱۳۸۲ نام برد. بدیهی است که روند افزایشی مساحت این

- area. Master's Degree Thesis. Khorramshahr University of marine science and Technology.
- GAO, J. (2004). A comparative study on spatial and spectral resolutions of satellite data in mapping mangrove forests. *International journal of remote sensing*, 20 (14): 2823-2833.
- Gilabert, M.A., J. Gonza'lez-Piqueras, F.J. Garcí'a-Haro and J. Melia (2002). a generalized soil-adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 82 : 303-310.
- Khosravi A. (2005). Plant Systematic Course Pamphlet. Shiraz: University Biology Department.
- Lar Consulting Engineers (2006). Park Management Plant of Naiband National Park, Boushehr Province Environmental Protection Department General, 1: 1-10 to 7-19.
- Ross S.L. and C. Elvidge (2003). Remote sensing change detection, environmental monitoring. methods and application. CRC Press.
- Lyon J.G., Y. Ding, R.S. Lunetta, C.D. Elvidge and D.Yuan (1998). A change detection experiment using vegetation indices, PE and RS, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64 (2):143-150.
- جنگل در سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ نسبت به سال ۱۳۸۳ نتیجه عملکرد مثبت محسوب نمود. بنابراین می توان نتیجه گرفت که مسئولین تأسیسات پارس جنوبی با آگاهی از بالا بودن احتمال خسارات ناخواسته این تأسیسات عظیم نفتی بر اکوسیستم حساس حراها به جبران این خسارتها قبل از گسترش آن پرداخته اند. از این رو پیشنهاد می گردد که مسئولین این تأسیسات سنجش مستمر از مساحت این جنگلها را از طریق داده های ماهواره ای به عنوان شاخصی در ارزیابی خسارت های احتمالی زیست محیطی فعالیت های گسترده خود مورد توجه قرار دهند.
- پی نوشت ها**
- 1- Nursery Ground
- ۲- نام این گونه به افتخار ابوعلی سینا دانشمند ایرانی که برای اولین بار آن را شرح داده است *Avicennia marina* می باشد. گل آذین انتهایی یا محوری است و شکل گرز دارد. گلها منظم و دو جنس می باشند و کاسه گل دارای کاسبرگ فرعی کاذب متشکل از برگه یا برگک های دوتایی است.
- 3- Density slicing
- منابع**
- Abdi, P. and T. Hajighaderi (2005). Identification and Evaluation of Forest Lands with the Use of RS-GIS in Zanjan Province, Set of Articles of Geomatic Conference.
- Alavipanah, K. (2003). Application of Remote Sensing in Geology (Soil Science). Tehran: Tehran University Press .
- Esfandiari, E. (2008). Using the satellite data for Naiband Gulf Mangrove mapping and define the suitable indices in estimation of forest

- Rashidi J., A. Mohammadi, A. Sarab and S. Babaei (2005). Separation of Avicennia Forests from Salty Coastal Lands of Boushehr Province, East, with the Use of ETM+ Satellite Data (in Assaluyeh and Naiband), Set of Articles Abstracts of the National Conference on the Future of Iranian Forests. Institute for Research on Forests and Pastures.
- Rashvand, S. (1997). Study of the Structure of Mangrove Forests of Boushehr Province, Master's Degree Thesis, Gorgan University of Plant Sciences and Natural Resources.
- Rasolofoharinoro, M., F. Blasco, M.F. Bellan, M. Aizpuru, T. Gauquelin and J. Denis (2004). A remote sensing based methodology for mangrove studies in Madagascar. International Journal of Remote Sensing, 19 (10): 1873-1886.
- Safiari, S.H. (2002). Mangrove Forests – Iranian Mangrove Forests, Institute for Research on Forests and Pastures, 2:384-423.
- Saito H., M.F. Bellan, A. Al-Habshi, M. Aizpuru and F. Blasco (2004). Mangrove research and coastal ecosystem studies with SPOT-4 HRVIR and TERRA ASTER in the Arabian Gulf. International Journal of Remote Sensing, 24 (21):4073-4092.
- Soudani, K., C. François, G. Le Maire, V. Le Dantec, E. Dufréne (2006). Comparative analysis of IKONOS, SPOT, and ETM+ data McDonald A.J., F.M. Gemmel and P.E. Lewis (1998). Investigation of the utility of spectral vegetation indices for determining information on coniferous forests, *Remote Sensing of Environment*, 66 (3): 250-272.
- Mirakhorlou K.H. and M. Amani (2005). Estimation of the Canopy of Forests with the Use of Satellite Data. *Iran Forest and Fir Research Quarterly*, 13 (3): 313 - 341.
- Naylor R.L., R.J. Goldberg, J. H. Primavera, N. Kautsky, M.C.M. Beveridge, J. Clay, C. Folke, J. Lubchenco, H. Mooney and M. Troell (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405:1017-1024.
- Primavera, J. H. (2005). Global Voices of Science: Mangroves, Fishponds, and the Quest for Sustainability. *Science*, 310:57-59.
- Rashidi, J. (2002). Provision of Vegetation Maps with the Use of ETM+ Data of Landsat 7 Satellite and GIS Geographical Information System in Kangan, Master's Degree Thesis, Gilan University.
- Rashidi J., A. Bonyad and M. Rohanian (2004). Determination of Avicennia Forests Area with the Use of Landsat 7 Satellite Data and Study of Plant Indices in Line with Optimal Management and Prevention from Environmental Crises of South Pars Gas Complex. Set of Article Abstracts of the National Conference on Iranian Environment and Approaches for its Improvement.

for leaf area index estimation in temperate coniferous and deciduous forest stands. *Remote Sensing of Environment*, 102: 161–175.

Torio, D.D. (2007). *Modeling Canopy Density Variations from Remotely Sensed Data: Implication on Monitoring Floristic and Macro-benthic Properties of Mangrove Ecosystems*, Master of Science Thesis, University of Southampton (UK).

