



علوم محیطی

علوم محیطی سال هفتم، شماره اول، پاییز ۱۳۸۸
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.7, No.1, Autumn 2009

۱-۲۰

بررسی تغییرات پوشش جنگلی در دامنه‌های شمالی البرز

(مطالعه موردی: حدفاصل دره هراز و دره چالوس، شهرستان‌های چالوس، نوشهر، نور و آمل)

محمد مهدی حسین زاده^{۱*}، رضا اسماعیلی^۲، احمد نوحه گر^۳، مهدی ثقفی^۴

۱- گروه جغرافیا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲- گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور

۳- گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان

۴- گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور بیرجند

A Survey of Changes to Forest Covering in the Northern Slopes of Alborz - A Case Study: the Distance between Harahz and Chalos River and Chalos, Noshar, Noor and Amol Cities

Mohammad Mahdi Hosseinzadeh^{1*}, Reza Esmaili², Ahmad Nohegar³, Mahdi Saghafi⁴

1- Department of Physical Geography, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University

2- Department of Geography, Azad University (Noor Branch)

3- Department of Range and Water Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University

4- Department of Physical Geography, Birjand Payam-e Noor University

Abstract

Population increase and the illogical use of the natural resources of special forest cover have led to natural hazards. The study area is located in the northern Alborz in Chalos, Noshar, Noor and Amol cities and in Mazandaran Province. In this study, we used the digital numbers from the landsat satellite TM and ETM+ data for two different dates (summer of 1988 and 2000). First of all, remote sensing images and the processing techniques were used in this study. Then, the images were analyzed using the NDVI index and Tasseled Cap transformations and, finally, the change detection process was studied. This research was analyzed using the trend of total land cover changes, thematic changes in each one and the forest cover area. The findings revealed that the forest cover area that, at the two different dates, it comprised 2719 Km² (total 5121 Km²) and the greatest changes in area had taken place between the two periods in the semi-crowded forest region. Local changes occurred in about 32 percent of the distribution of forest area. Investigations also mentioned show that there are vast changes in the spatial distribution of quantity accumulation, estimated on average at about 3.2 percent.

Keywords: Northern alborz, changes in forest covering, normalized difference vegetation index, TM and ETM+ satellite data.

چکیده

افزایش جمعیت و استفاده غیر منطقی منابع به ویژه پوشش جنگلی اثرات زیانباری را برای بشر در بر داشته است. در مناطق شمالی ایران نیز به دلیل تخریب پوشش جنگلی شاهد وقوع مخاطرات طبیعی متعددی در سال‌های اخیر بوده‌ایم. محدوده مورد مطالعه در شمال رشته کوه‌های البرز در استان مازندران و در محدوده شهرستان‌های چالوس، نوشهر، نور و آمل قرار دارد. در این بررسی از داده‌های اخذ شده توسط سنجنده‌های TM و ETM+ ماهواره لندست که در فصل تابستان سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۰۰ تهیه شده‌اند استفاده گردیده است. در این تحقیق ابتدا از اصول سنسجش از دور و تکنیک‌های پردازش رقومی تصاویر استفاده شد و سپس در ادامه با استفاده از شاخص های NDVI و تبدیلات Tasseled cap تجزیه و تحلیل شد و در ادامه فرآیند آشکارسازی تغییرات انجام گرفت. در نهایت با استفاده از تحلیل های فوق، روند کلی تغییرات پوشش، تغییرات موضوعی هر یک و پوشش جنگلی منطقه مورد بررسی قرار گرفت. بررسی انجام شده نشان داد که محدوده دارای پوشش جنگلی منطقه در طی دو دوره ۲۷۱۹ کیلومترمربع (کل ۵۱۲۱ کیلومترمربع) می‌باشد و در طی دو دوره بیشترین تغییرات مساحت در مناطق جنگلی نیمه انبوه صورت گرفته است و از نظر توزیع مکانی مساحت اراضی جنگلی نیز حدود ۳۲ درصد تغییرات مکانی را تجربه نموده‌اند. در ضمن بررسی تغییرات رخ داده در توزیع جغرافیایی تراکم پوشش گیاهی نیز نمایان‌گر بروز تغییرات افزایشی در توزیع جغرافیایی مقادیر تراکم در منطقه مورد مطالعه است که به طور متوسط حدود ۳/۲ درصد محاسبه شده است.

کلید واژه‌ها: تغییرات پوشش جنگلی، دامنه شمالی البرز، NDVI (شاخص تفاضلی نرمال شده)، داده‌های ماهواره‌ای TM و ETM+.

* Corresponding author. E-mail Address: mm.hosseinzadeh1@gmail.com

مقدمه

افزایش روزافزون و استفاده غیر منطقی از سرزمین و در چند دهه اخیر سبب نابودی منابع طبیعی، افزایش آلودگی‌ها، کاهش پوشش گیاهی و معضلات گوناگون شده است. تخریب و انهدام منابع طبیعی و کاهش سطح آنها از یک سو و افزایش بی‌رویه بهره‌برداری از سوی دیگر مسائل حادی را از جمله وقوع سیل‌های ویرانگر، کمبود آب شهرها، افزایش فرسایش خاک، کاهش حاصلخیزی اراضی، وقوع لغزش و نهایتاً تحول اشکال ژئومورفولوژیکی را بدنبال داشته است.

امروزه در بسیاری از مناطق کشور به ویژه مناطق شمالی ایران، شاهد وقوع مخاطرات طبیعی متعدد از جمله سیل، زمین لغزش، فرسایش بستر و کناره‌های کانال رود هستیم که بیشتر محققین، تخریب پوشش گیاهی و تغییرات سطح جنگل را یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار و تشدید کننده وقوع این مخاطرات قلمداد می‌کنند. بنابراین ضرورت دارد جهت مقابله با مخاطرات فوق، منابع طبیعی و شرایط زیستی منطقه مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا تحلیل و ارزیابی پوشش گیاهی کلیدی برای بررسی و مطالعه خصوصیات منابع طبیعی می‌باشد. برای نیل به این هدف، در حال حاضر بهترین ابزار در دسترس موجود جهت بررسی تغییرات پدیده‌های زمینی و نمایش محیطی، استفاده از داده‌های سنجش از دور است. مزیتی که در تفکیک طیفی و فضایی داده‌های سنجش از دور وجود دارد آنها را برای بررسی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین و اشکال سطحی بسیار مناسب نموده است.

تهیه نقشه پوشش گیاهی و تشخیص تغییرات آن با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در سال‌های اخیر گسترش زیادی یافته است و استفاده از این اطلاعات برای ارزیابی تغییرات مربوط به پوشش گیاهی که نشان‌دهنده موقعیت

فضایی آنهاست از اهمیت بسیاری برخوردار بوده است. در این مقاله نیز در راستای تهیه نقشه پوشش گیاهی منطقه و بررسی تغییرات آن در طی دوره زمانی مورد مطالعه صورت گرفته است.

پیشینه تحقیق

امکان استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای طبقه‌بندی پوشش گیاهی و تهیه نقشه پوشش گیاهی از اوایل دهه ۱۹۸۰ که تصاویر متوالی ماهواره‌ای امکان دیده‌بانی مستقیم پوشش گیاهی را فراهم آورد نشان داده شد. در حال حاضر نیز بهترین ابزار در دسترس موجود برای نمایش محیطی، سنجش از دور می‌باشد. اهم تحقیقات انجام شده در خصوص موضوع مورد می‌توان به استفاده از تکنیک‌های مختلف طبقه‌بندی برای تفکیک پوشش - گیاهی و کارایی شاخص پوشش گیاهی در کشف تغییرات اشاره کرد (Alavi Panah, 2004).

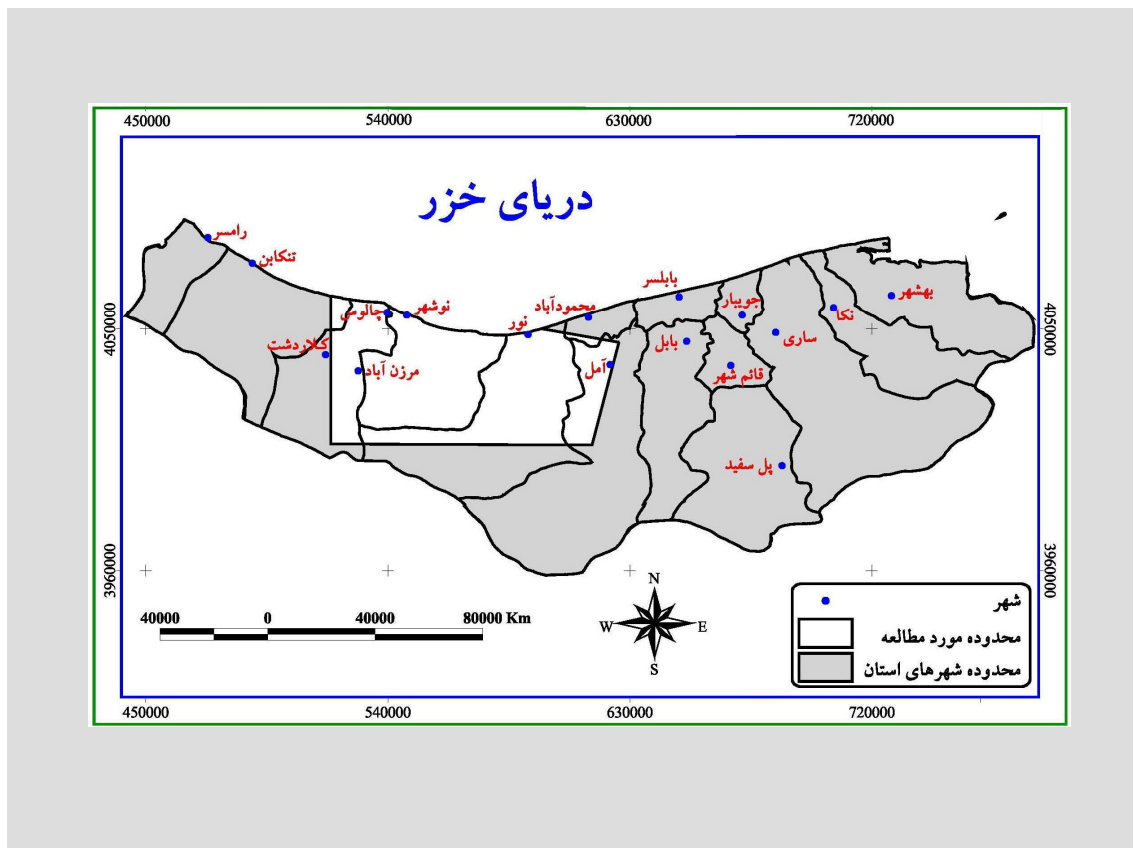
در خصوص کاربرد سنجش از دور در بررسی پوشش - گیاهی در ایران نیز در دو دهه اخیر کارهای متعددی صورت گرفته است. در این رابطه می‌توان به ارزیابی شرایط زیست محیطی جنگل به منظور طبقه بندی اراضی جنگلی حوضه کاظم رود با استفاده از GIS (Babaie, 2007)، تهیه نقشه انواع پوشش جنگلی را در جنگل‌های مرکزی شمال ایران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (Shataee Jouibary et al., 2007)، بررسی تغییرات گستره جنگل‌های زاگرس را با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در جنگل‌های آرمرده بانه (Amini et al., 2008) ارزیابی قابلیت تصاویر چند طیفی و ادغام شده ماهواره‌های لندست 7 و IRS-ID در تهیه نقشه گستره جنگل‌های جنوب کردکوی در استان گلستان (Shataee Jouibary et al., 2008)، بررسی کارایی داده‌های سنجنده ETM+ در تهیه نقشه کاربری اراضی در

۴۶ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). منطقه تحت بررسی جزء استان مازندران و در محدوده شهرستان‌های چالوس، نوشهر، نور و آمل قرار دارد. براساس اندازه‌گیری به عمل آمده از روی نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ (رقومی^۱ و ژئورفرنس^۲ شده در محیط نرم افزار آرک ویو^۳) مساحت محدوده مورد مطالعه ۴۹۱۷/۴۷ کیلومتر مربع می‌باشد. بر اساس اندازه‌گیری‌های به عمل آمده از مجموع مساحت منطقه، ۱۱۶۷/۷۴ کیلومتر مربع در بخش جلگه‌ای و دارای کاربری کشاورزی و مسکونی، ۲۳۸۷/۲۳ کیلومتر مربع در بخش میان‌بند و بالاتر دارای پوشش جنگلی و ۱۳۶۷/۸ کیلومتر مربع نیز دارای پوشش مرتعی می‌باشد.

مناطق کوهستانی زاگرس در حوضه سرخاب خرم آباد (Shataee Jouibary and Abdi, 2007)، بررسی امکان مدل‌سازی احتمال تخریب جنگل‌های غرب کشور با استفاده از GIS و RS با هدف امکان دستیابی به یک مدل توصیفی به منظور برآورد و پیش‌بینی پراکنش مکانی تخریب در جنگل‌های غرب ایران (Amini et al., 2008) اشاره کرد.

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال رشته کوه‌های البرز و در جنوب دریای خزر قرار دارد. این محدوده از نظر موقعیت جغرافیایی در ۵۱ درجه و ۱۵ دقیقه طول جغرافیای شرقی و ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

پراکندگی جغرافیایی منطقه جنگلی مورد مطالعه:

این منطقه جنگلی تحت عنوان جنگل‌های خزری در دامنه‌های شمالی البرز بین ارتفاعات البرز و سواحل دریای خزر محصور می‌باشد. منطقه جنگلی فوق به صورت نوار طویل به طول ۱۰۵ کیلومتر از کناره دریا و با دامنه ارتفاعی ۲۰- متر در سی‌سنگان تا ۲۵۰۰ متر در خط‌الراس شمالی دره رودخانه نور گسترش دارد.

براساس اندازه‌گیری‌های به عمل آمده بر روی نقشه پوشش اراضی تهیه شده از تصویر ماهواره‌ای TM سال ۱۹۸۸، مساحت جنگل‌های منطقه (شامل مساحت جنگل و اراضی جنگلی ۲۷۱۸/۶۸ کیلومتر مربع (۲۷۱۸۶۸ هکتار) است (شکل ۲).

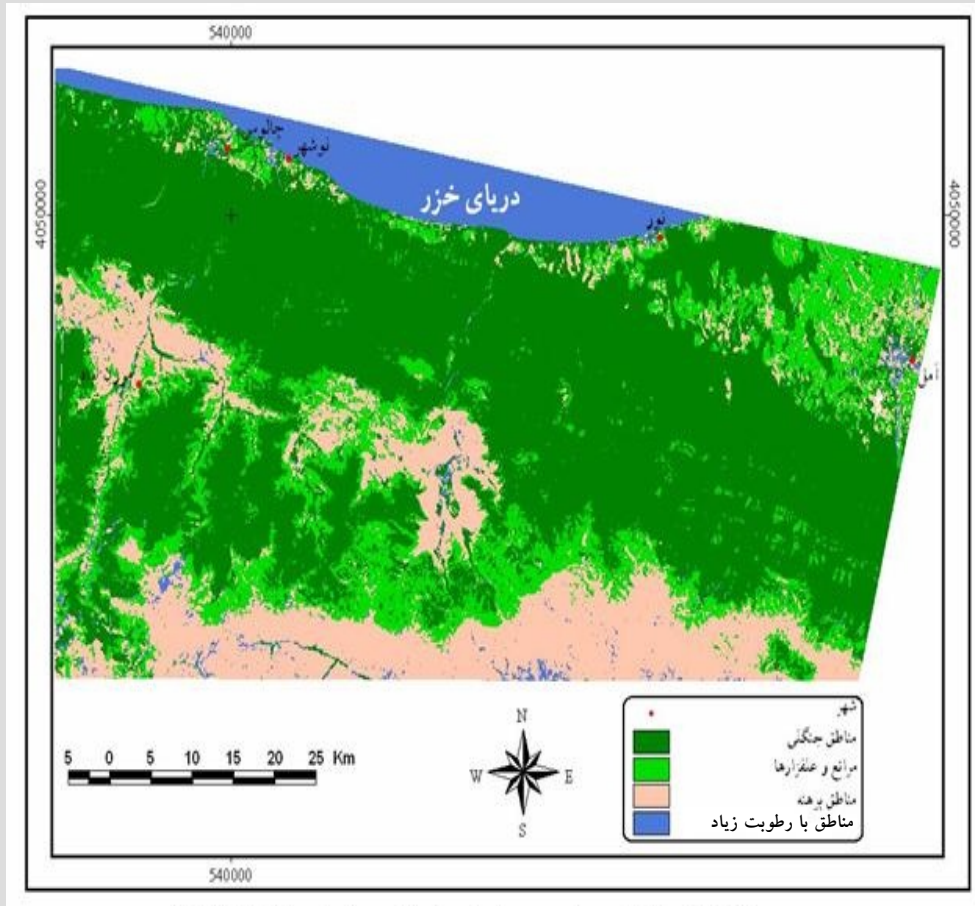
دوره رویش گیاهی در این منطقه نسبتاً طولانی و بین ۸- ۶ ماه در سال می‌باشد. فلور جنگل‌های خزری بسیار غنی است و تعداد گونه‌های درختی آن ۸۰ و درختچه‌های آن از ۵۰ گونه متجاوز می‌باشد (1994 Sabeti). از طرفی این جنگل‌ها فاقد توده‌های وسیع سوزنی برگ هستند. عدم حضور گونه‌های سوزنی برگ در جنگل‌های خزری ناشی از نبودن دوره یخبندان در رشته کوه البرز می‌باشد (Mahmoudi, 2006).

جنگل‌های منطقه جزء جنگل‌های صنعتی کشور بوده و از نظر تولید چوب وضعیت بسیار مناسبی را دارا می‌باشد. گونه‌های درختی غالب جنگل‌های شمال عبارتند از: راش، ممرز، بلوط، توسکای بیلاقی و قشلاقی، افرا، انجیلی، خرمنندی و... است (2003 Hedayati). دو گونه راش و ممرز ۵۴ درصد تعداد درختان جنگل‌های منطقه را تشکیل می‌دهند در حالی که امروزه گونه‌های توسکا و انجیلی در حال گسترش می‌باشند.

محدوده مورد مطالعه در داخل یک شیت نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ سری K۵۵۱ به شماره ۱۵-۳۹ NJ چاپ سازمان جغرافیایی ارتش قرار می‌گیرد. از آنجائیکه هدف اصلی مطالعه، پیرامون اثرات تخریب پوشش جنگلی بر روی فرآیندهای مرفولوژیک و تشکیل و تحول اشکال ناهمواری‌های سطحی (لندفرم‌ها) در منطقه دارای پوشش جنگلی می‌باشد، بنابراین در این مورد مرز منطقه مورد بررسی از تغییر شیب کوهستان با جلگه ساحلی (مرز پایین پوشش جنگلی) تا خط‌الراس شمالی دره رودخانه نور در ارتفاع ۳۰۰۰ متر می‌باشد که تقریباً منطبق بر مرز درخت و حدفاصل پوشش جنگلی و مرتعی تعیین شده است که مساحت آن (جنگل‌های منطقه مورد مطالعه شامل پوشش جنگلی و اراضی جنگلی) ۲۳۸۷/۲۳ کیلومتر مربع می‌باشد.

پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه

این پوشش در اوایل دوران چهارم در عرض‌های جغرافیایی بالاتر از ۴۰ درجه شمالی و یا ارتفاعات بالای ۳ تا ۴ هزارمتری در عرض‌های پایین‌تر یخچال‌های طبیعی تشکیل شده و با ظهور دوران یخبندان، جنگل‌های این نواحی مدفون و از بین رفته‌اند (ohajer, 2003). با این وجود مناطقی وجود داشته که از استیلای یخچال‌ها در امان مانده‌اند و آب و هوای ملایم و پر باران غلبه داشته و به مثابه پناهگاه گونه‌های جنگلی عمل کرده‌اند. این پناهگاه در ایران، جبهه شمالی البرز یا همان رویشگاه جنگل‌های هیرکانی (خزری) می‌باشد. در واقع منطقه جنگلی مورد مطالعه (خزری) باقیمانده جنگل‌های دوران سوم زمین‌شناسی است و گونه‌های مربوط به آن دوران نظیر انجیلی، بلند مازو، لرگ، لیلکی و سفید پلت در این جنگل‌ها به وفور یافت می‌شود (Mahmoudi, 2006).



شکل ۲- پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه تهیه شده از تصویر ماهواره‌ای MT سال ۱۹۸۸

▪ ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا : ممرز
Quercetum

از طرف دیگر پروفور تریگوبوف^۴ جوامع جنگلی
موجود در جنگل‌های خزری را به چهار طبقه ارتفاعی
تقسیم نموده است:

۱- جلگه (پایین‌بند)، مهم‌ترین جوامع این ناحیه عبارتند
از: بلوط - شمشادستان، توسکا - لرگستان، سفیدپلت -
لرگستان.

۲- میان‌بند، مهم‌ترین جوامع جنگلی این ناحیه عبارتند از:
بلوط - ممرزستان، انجیلی - ممرزستان، آزاد - بلوط ستان.

نیمرخ ارتفاعی دامنه شمالی البرز توام با
جوامع جنگلی به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شود
(Mossadegh, 1996):

▪ ۲۰- تا ۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا : بلوط -
شمشادستان
Carpinetu Buxetum

▪ ۵۰ تا ۴۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا : بلوط - ممرزستان
Fagetu-hyrcanum

▪ ۴۰۰ تا ۸۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا : انجیلی -
ممرزستان
Parrotio-carpinetum

▪ ۷۵۰ تا ۱۶۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا : جامعه راش
Querci-carpinetum

از مهم‌ترین منابع اطلاعاتی موجود در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است (شکل ۲). از این‌رو از دو تصویر ماهواره‌ای اخذ شده توسط سنجنده‌های TM و ETM+ ماهواره لندست که در فصل تابستان سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۰۰ تهیه شده‌اند استفاده گردیده است. مراحل مختلف پردازش رقومی تصاویر به صورت زیر بوده است:

مرحله اول: در این مرحله برای بارزسازی بیشتر تصاویر و کاهش دادن اثرات آتسفری بر روی آن‌ها، به کمک روش کاهش غبار آلودگی^۵، تصاویر تصحیح شدند (Richards and Jia, 1999).

برای ثبت مختصات تصاویر مورد استفاده در این مطالعه (تصحیح هندسی تصاویر) ابتدا محدود مورد مطالعه از کل باندهای تصاویر مربوط به دو دوره بررسی استخراج شدند. سپس با کمک نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ نقاط کنترل زمینی^۶ برای ثبت مختصات اولین باند از تصویر سال ۱۹۸۸ برداشت شد. پس از تبدیل مختصات باند مذکور سایر باندها و نیز باندهای مربوط به تصاویر سال ۲۰۰۰ با توجه به آن تبدیل مختصات شدند. در این قسمت از ۳۸ نقطه کنترل زمینی استفاده شده که حداکثر خطای محاسبه شده در زمینه ثبت مختصات کلیه تصاویر در حدود ۶۴ متر در جهت X و ۷۲ متر در جهت Y می‌باشد. سپس تمامی تصاویر مورد استفاده در پیکسل‌های ۲۵ متری جهت انجام فرآیند تصحیح هندسی بازچینی^۷ شدند.

در مرحله دوم: اطلاعات مربوط به خصوصیات سطح منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص‌های تهیه نقشه از مواد سطحی از قبیل شاخص‌های NDVI^۸ (شاخص تفاضلی نرمال شده) و تبدیلات Tasseld cap استخراج گردید. این تبدیلات معمولاً جهت بارزسازی^۹ داده‌های ماهواره‌ای و استخراج اطلاعات در زمینه شاخص‌های

۳- بالابند، مهم‌ترین جوامع جنگلی این ناحیه عبارتند از: جامعه راش خالص، راش همراه با سیاه پلت، راش همراه با سفید پلت، راش همراه با کوله خاس، راش همراه با علف شیر و شیر پنیر.

۴- بالاتر از بالابند (حد فوقانی)، مهم‌ترین جوامع جنگلی این ناحیه عبارتند از: جامعه آوری، جامعه ممرزستان (Mahmoudi, 2006).

پوشش مرتعی؛ مراتع منطقه مورد مطالعه به علت رطوبت زیاد و محیط جنگلی به صورت سرسبز و دائمی هستند. این مراتع از مراتع مرغوب کشور محسوب می‌شوند. مراتع دامنه شمالی البرز از نظر ارتفاع به سه ناحیه تقسیم می‌شوند (Pazoki, 2001) که عبارتند از:

۱- کمر بند پایین دامنه: شامل ارتفاع ۸۰۰-۱۰۰۰ متری است که دارای گیاهان علوفه‌ای یکساله است که بیشتر از تیره گندمیان شامل گرامینه، لگومینه، علف باغی و شبدر تشکیل شده‌اند.

۲- کمر بند جنگلی میانه: شامل ارتفاع ۲۰۰۰-۱۰۰۰ متری است. در این مناطق بخش‌هایی از جنگل که در آن نور آفتاب به زمین می‌رسد و جنگل تنک است گندمیانی مانند: علف باغ، نوعی اردو و از بقولات شبدر سفید و قرمز، اسپرس و غیره یافت می‌شود. با این وجود در قسمت عمده آن به دلیل انبوه بودن جنگل، گیاهان مرتعی کمتر رشد می‌کنند.

۳- کمر بند بالای جنگلی: ارتفاعات بین ۲۷۰۰-۲۰۰۰ متری است که عموماً شامل رستنی‌های علوفه‌ای فراوان و متنوع می‌باشد. از جمله علف باغی، علف پشمکی و نوعی چپ را از تیره گندمیان و شبدر سفید و قرمز، شبدرک، انواع گون و اسپرس را از تیره بقولات می‌توان نام برد.

مواد و روش

در این بررسی از داده‌های ماهواره لندست به عنوان یکی

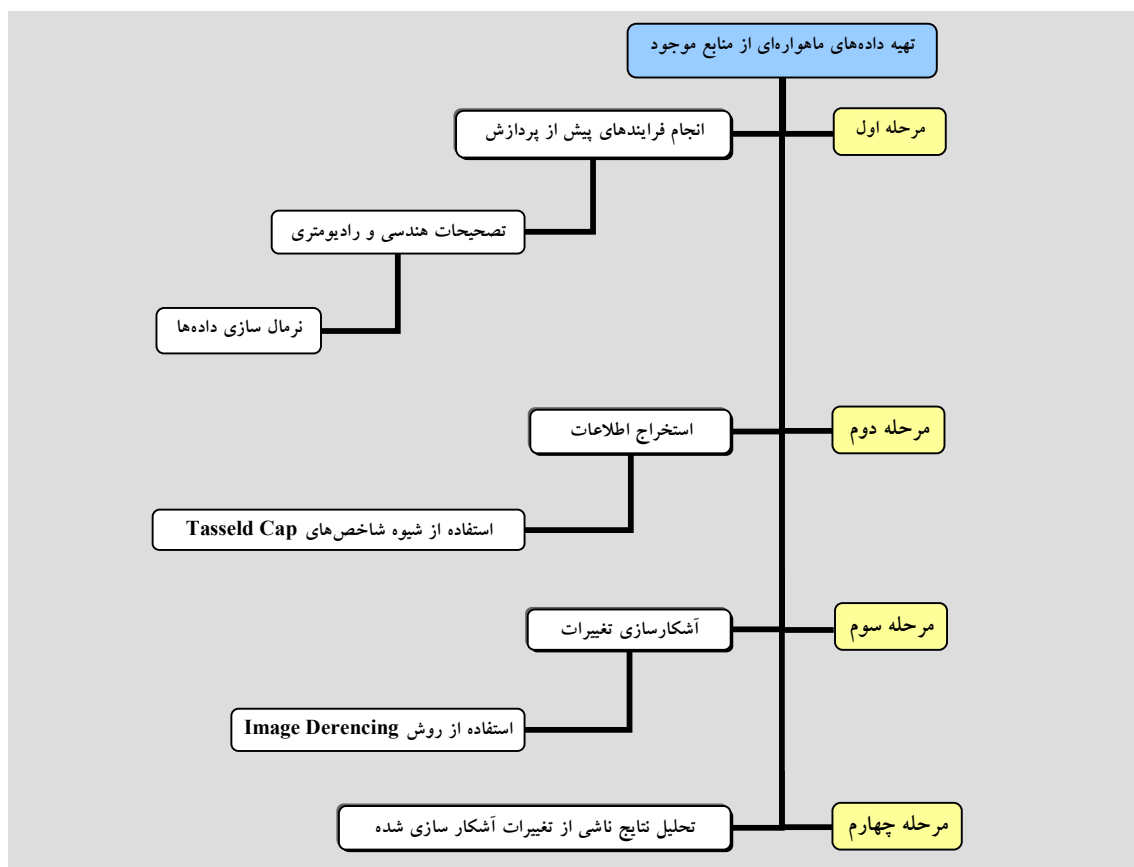
دارد، در این مطالعه از روش تفریق تصاویر جهت مقایسه نتایج حاصل از نقشه‌های تهیه شده از پوشش سطحی مورد استفاده قرار گرفته است. تفریق تصاویر بوسیله کم کردن مقادیر DN^{12} (اعداد رقومی) مربوط به یک باند خاص با تاریخ مشخص از مقادیر DN پیکسل‌های همان باند مربوط به زمان دیگر انجام می‌شود. مطالعات انجام شده حاکی از این موضوع است که در روش تفریق تصاویر در مقایسه با سایر روش‌های آشکارسازی تغییرات، خطاهای مربوط به آشکارسازی کمتر است (Hall, 1995).

در آخرین مرحله (چهارم) تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از تغییرات آشکار شده در محدوده مورد مطالعه مورد توجه قرار گرفته است (شکل ۳).

سبزی، رطوبت و درخشندگی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مرحله سوم: انجام فرآیند آشکارسازی تغییرات^{۱۱} با در نظر گرفتن سیستم سنجنده، خصوصیات طیفی و کنترل‌های ژئودتیکی^{۱۱} انجام می‌گیرد.

فرآیند شناسایی اختلافات در وضعیت یک موضوع، سطوح یا فرآیندها که توسط مشاهده اختلافات زمانی صورت می‌گیرد، آشکارسازی تغییرات نامیده می‌شود (Singh, 1989). روش‌های مختلف آشکارسازی تغییرات در سنجش از دور به تجزیه و تحلیل تصاویر متوالی یک منطقه می‌پردازند و مشتمل بر تعیین اختلافات و نمایش آنها در تصاویر فضایی می‌باشند. با توجه به اینکه شیوه‌های متعددی جهت آشکارسازی تغییرات وجود



شکل ۳- مراحل کار آشکارسازی تغییرات پس از تدوین اولیه مراحل کار

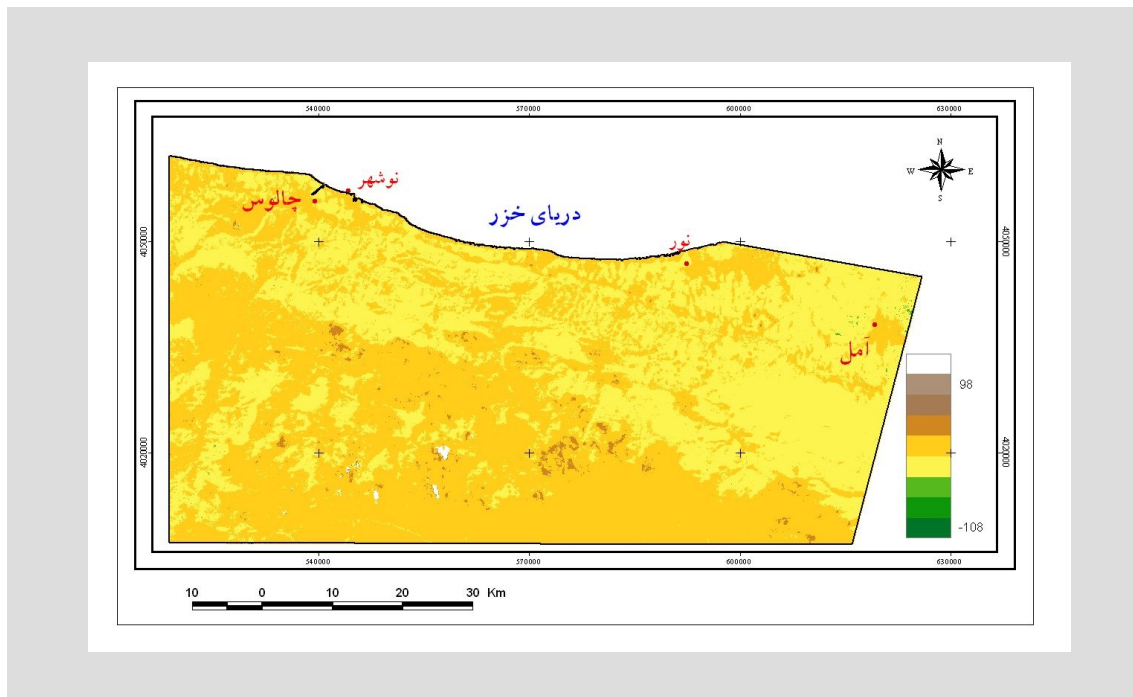
بحث و نتایج

نتایج حاصل از بررسی تغییرات شاخص‌های NDVI در دوره‌های زمانی مورد مطالعه، بیانگر مجموع تغییراتی است که در سه نوع پوشش سطحی مشاهده شده در منطقه ایجاد شده است. تفکیک دقیق این پوشش‌ها از یکدیگر با دقت زیاد به جهت وجود اختلاط‌های طیفی در فرایند اخذ اطلاعات از سطح زمین، غیر ممکن است. به علت ارتباط متقابل و نزدیک پوشش‌های سطح زمین با یکدیگر بررسی روند کلی تغییرات پوشش منطقه بدون تفکیک آنها از یکدیگر، مناسب‌تر می‌باشد. بنابراین در این تحقیق ابتدا روند کلی تغییرات پوشش سطحی منطقه بدون تفکیک آنها از یکدیگر مورد مطالعه قرار گرفته و سپس تغییرات موضوعی هر یک از پوشش‌ها و در نهایت پوشش جنگلی منطقه، مورد بحث قرار می‌گیرد.

روند تغییرات کلی در پوشش طبیعی

تجزیه و تحلیل شاخص پوشش گیاهی نرمال شده

(NDVI) حاوی اطلاعات مربوط به تمامی انواع پوشش‌های سطحی موجود در منطقه مورد مطالعه از دو جنبه مساحت تحت اشغال و نیز میزان و تراکم پوشش طبیعی، موضوع روند تغییرات کلی پوشش طبیعی می‌باشد. در این بررسی، ماهیت تغییرات رخ داده تفکیک نشده است از این رو تغییرات هم از نوع کاهشی و هم از نوع افزایشی بصورت یکجا مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مقایسه تغییرات این شاخص در طی دوره زمانی مورد بررسی نشان دهنده شباهت و همبستگی ۵۶ درصدی این شاخص در دوره زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰ است (جدول ۱). بنابراین میزان تغییرات این شاخص، که علاوه بر وضعیت پوشش گیاهی منطقه، حاوی اطلاعات دیگری در زمینه وضعیت مناطق با پوشش برهنه، مناطق با رطوبت زیاد^{۱۳} و مراتع در منطقه است، در حدود ۴۴ درصد می‌باشد. میزان تغییر برآورد شده در مجموع شامل جابجایی‌های مکانی صورت گرفته در انواع پوشش طبیعی و نیز تغییرات صورت گرفته در میزان و تراکم آنها می‌باشد.



شکل ۴- طبقه‌بندی تغییرات پوشش طبیعی منطقه مورد مطالعه بر حسب درصد

جغرافیایی از دو جنبه قابل بررسی است. در برخی موارد در وضعیت پوشش طبیعی جابه‌جایی‌های مکانی رخ می‌دهد و در برخی موارد نیز مقادیر، حجم، تراکم پوشش گیاهی دچار تغییر می‌شود. در این بخش تغییرات بوجود آمده در مساحت تحت اشغال هر یک از انواع پوشش‌های طبیعی در طی مدت مورد مطالعه بررسی می‌شود.

با توجه به اینکه مجموعه پوشش‌های طبیعی منطقه مورد مطالعه در چهار گروه (جنگل، مرتع، بایر و با رطوبت زیاد قرار می‌گیرد، افزایش و کاهش در مساحت تحت اشغال یک نوع پوشش، افزایش و کاهش در مساحت تحت اشغال سایر پوشش‌ها را باید به دنبال خواهد داشت (شکل ۵). از این‌رو بررسی تغییرات مساحت تحت اشغال پوشش‌های متعدد بر روی نقشه نشانگر این مطلب است که مساحت منطقه جنگلی در طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰ حدود ۱۰ درصد کاهش یافته و مساحت مناطق با رطوبت زیاد در منطقه مورد مطالعه ۳۲/۶ درصد افزایش یافته است. این موضوع به مفهوم

تغییرات افزایشی و کاهش‌ی انواع پوشش‌های طبیعی منطقه در دامنه مقادیر عددی بین ۱۰۰+ تا ۱۰۰- طبقه بندی شده‌اند.

جدول ۱- ماتریس همبستگی شاخص‌های NDVI در

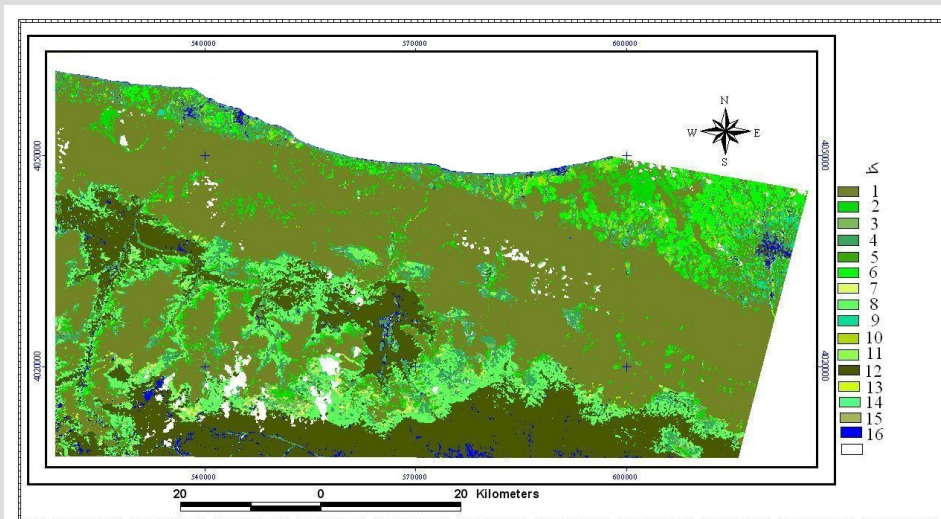
دوره‌های مورد بررسی

	۱۹۸۸NDVI	۲۰۰۰NDVI
۱۹۸۸ NDVI	۱۰۰	۵۶
۲۰۰۰ NDVI	۵۶	۱۰۰

نتایج بیانگر این موضوع هستند که از مجموع کل مساحت منطقه مورد مطالعه، حدود ۸۲ درصد مساحت (۳۷۹۸ کیلومتر مربع) تغییراتی از نوع افزایش و ۱۸ درصد مابقی آن (۸۳۱ کیلومتر مربع) تغییراتی از نوع کاهش را در طی دو دوره مورد بررسی، در مجموع انواع پوشش‌های طبیعی تجربه کرده‌اند (شکل ۴).

روند تغییرات موضوعی

بطور کلی موضوع تغییر در وضعیت پوشش طبیعی مناطق



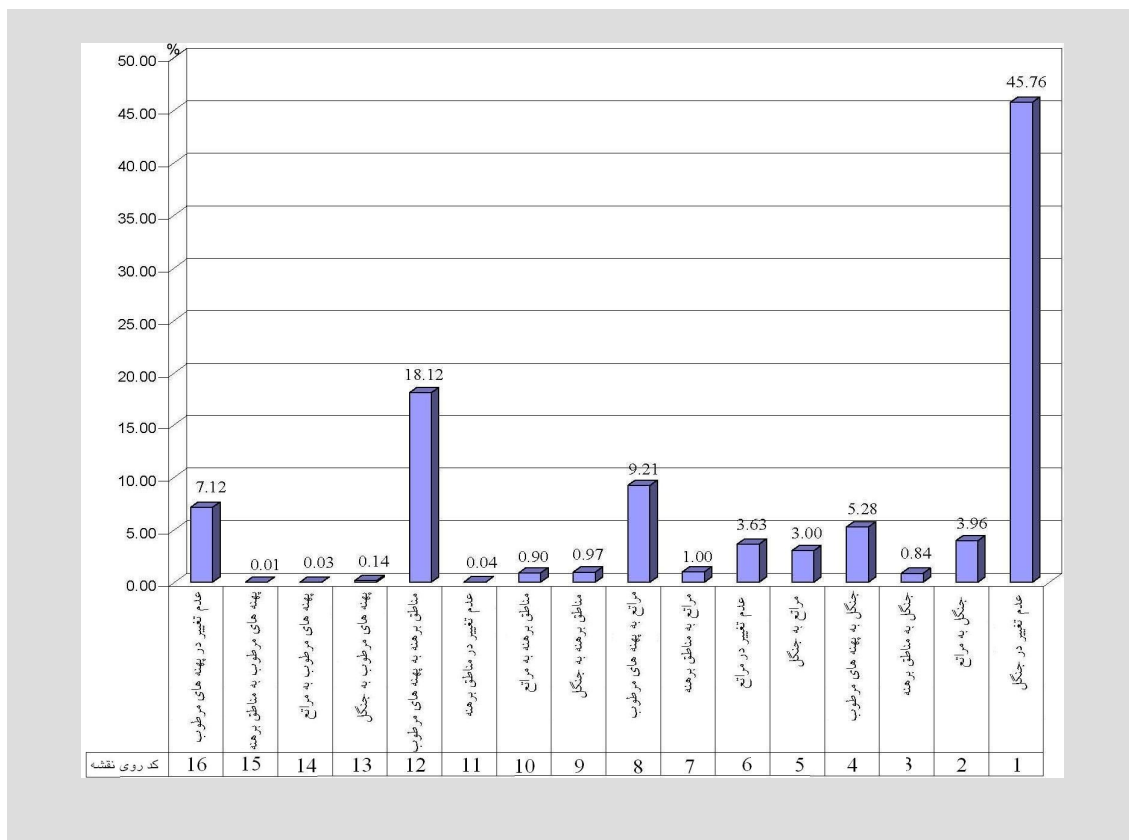
شکل ۵- موقعیت تغییرات انواع پوشش‌های طبیعی به یکدیگر در طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰ (کدهای نقشه در شکل تشریح شده‌اند)

در طی مجموع دو دوره مورد بررسی نشان می‌دهد.

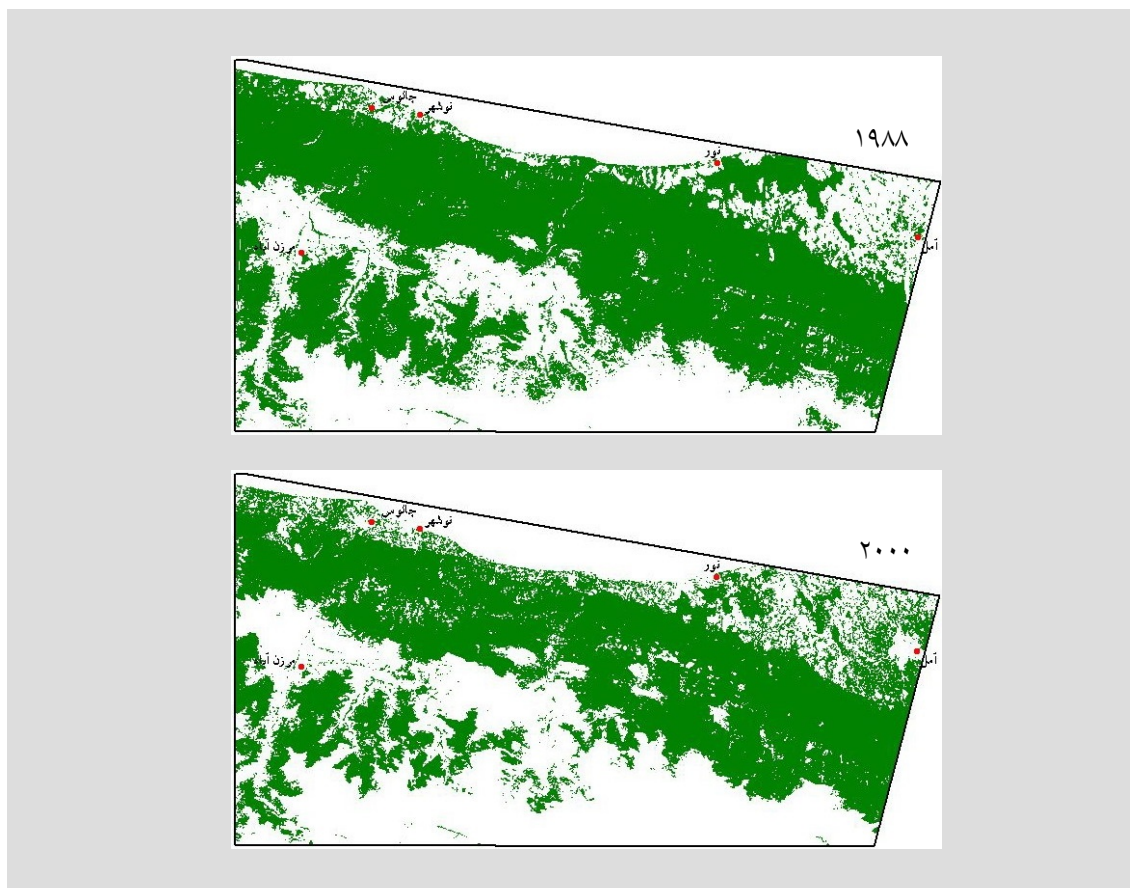
تغییرات پوشش جنگلی

چنان که در مبحث قبل ذکر شد پوشش جنگلی منطقه مورد مطالعه تغییرات کاهشی ۶ درصدی را در مساحت خود تجربه نموده‌اند. مقایسه تغییرات پوشش جنگلی دوره اول با پوشش جنگلی دوره دوم این موضوع را نشان می‌دهد که از جنبه مساحت، تغییرات پوشش جنگلی چندان شدید نبوده است. از مجموع مساحت پوشش جنگلی در دو دوره مورد بررسی (۵۱۲۱ کیلومتر مربع)، ۲۱۹۷ کیلومتر مربع که معادل ۴۵ درصد از کل محدوده مورد مطالعه می‌باشد دچار تغییر نشده و بطور ثابت تحت اشغال اراضی جنگلی بوده است (شکل ۷).

تبدیل ۱۰ درصد از مناطق جنگلی به پهنه‌های برهنه، با رطوبت زیاد و مراتع در طی این زمان است (شکل ۶). همچنین در طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰ در تمامی انواع پوشش‌ها غیر از پهنه‌های با رطوبت زیاد کاهش مساحت مشاهده می‌شود که بیانگر غلبه تبدیل سایر پوشش‌ها به این نوع پوشش در منطقه مورد مطالعه است. بیشترین نوسانات در تغییرات مساحت پوشش‌های منطقه مربوط به پوشش پهنه‌های با رطوبت زیاد بوده که مجموع مساحت‌ها دچار تغییر شده آن در دو دوره به ۲۲۶۶ کیلومتر مربع می‌رسد. در حالیکه مناطق برهنه با مجموع مساحت ۱۰۷۰ کیلومتر مربع طی دو دوره در منطقه نوسانات کمتری را در تغییرات مساحت خود داشته‌اند. همچنین در مدت زمان مورد مطالعه پوشش مرتعی منطقه مورد مطالعه کاهشی حدود ۹ درصد را در مساحت خود



شکل ۶- میزان تغییرات مساحت انواع پوشش‌های طبیعی به یکدیگر بر حسب درصد در طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰ (به شکل ۴ مراجعه شود)



شکل ۲- محدوده تحت نفوذ پوشش جنگلی در منطقه مورد مطالعه را به تفکیک سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۰۰ نشان می‌دهد.

۱۷۲۶/۶۷ کیلومتر مربع و پوشش ثابت جنگل‌های انبوه منطقه حدود ۳/۳ کیلومتر مربع می‌باشد. این مقادیر در مجموع عدم تغییرات در پوشش جنگلی منطقه را نشان می‌دهند که در مجموع برابر با ۱۷۳۰/۱۳ کیلومتر مربع است (جدول ۳ و شکل ۸).

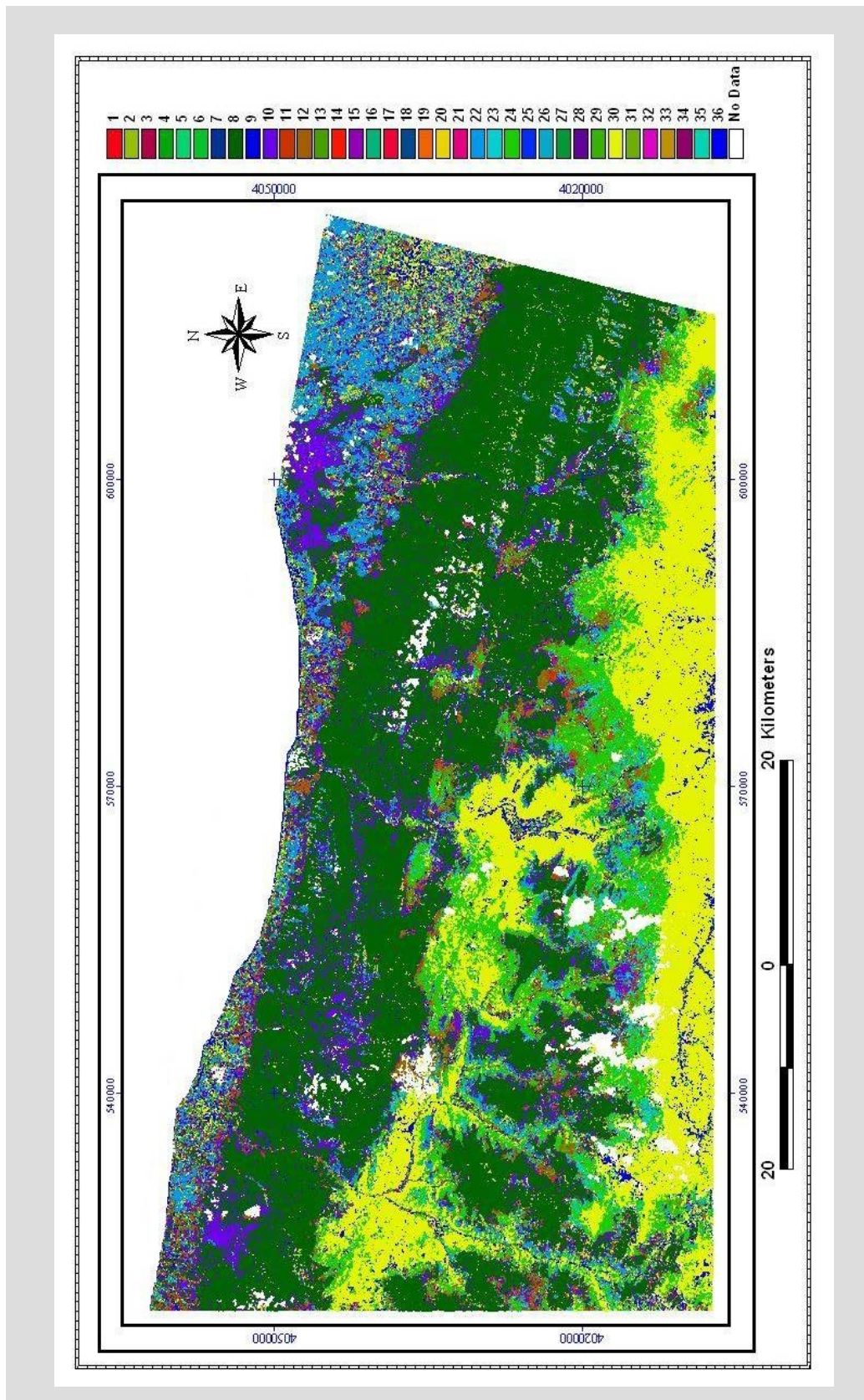
جدول ۲- ماتریس همبستگی میزان تراکم پوشش جنگلی منطقه در سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۰۰ از جنبه تغییرات در مساحت

اراضی جنگلی ۲۰۰۰	اراضی جنگلی ۱۹۸۸	
۶۷	۱۰۰	اراضی جنگلی ۱۹۸۸
۱۰۰	۶۷	اراضی جنگلی ۲۰۰۰

از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰، از نظر توزیع مکانی مساحت اراضی جنگلی ۶۷ درصد شباهت داشته‌اند یعنی حدود ۳۳ درصد تغییرات مکانی را تجربه نموده‌اند (جدول ۲). برای اینکه جزئیات مربوط به تغییرات صورت گرفته در مساحت تمامی انواع پوشش‌های طبیعی منطقه به یکدیگر مشخص گردد، با استفاده از الگوریتم آشکارسازی تغییرات در محیط GIS مقادیر این تغییرات در مساحت تعیین گردیده است (جدول ۳ و شکل ۸). با توجه به اینکه در این مقاله نگاه ویژه به پوشش جنگلی در منطقه است، ملاحظات انجام شده نشان می‌دهند که پوشش ثابت جنگل‌های تنک منطقه حدود ۰/۱۷ کیلومتر مربع، که پوشش ثابت جنگل‌های نیمه انبوه منطقه حدود

جدول ۳- تغییرات مساحت تمامی انواع پوشش‌های طبیعی منطقه به یکدیگر با استفاده از الگوریتم آشکارسازی در محیط GIS

طبقات	کد	مساحت به کیلومتر مربع	طبقات	کد	مساحت به کیلومتر مربع
عدم تغییر در پهنه های مرطوب	36	383.3982	جنگل انبوه به پهنه های مرطوب	18	8.4924
پهنه های مرطوب به مناطق برهنه	35	2.7531	جنگل انبوه به مناطق برهنه	17	0.8208
پهنه های مرطوب به مراتع	34	9.9693	جنگل انبوه به مراتع	16	2.5065
پهنه های مرطوب به جنگل انبوه	33	2.907	عدم تغییر در جنگل انبوه	15	3.285
پهنه های مرطوب به جنگل نیمه انبوه	32	6.7977	جنگل انبوه به جنگل نیمه انبوه	14	2.7459
پهنه های مرطوب به جنگل تنک	31	0.1476	جنگل انبوه به جنگل تنک	13	0.0387
مناطق برهنه به پهنه های مرطوب	30	881.5527	جنگل نیمه انبوه به پهنه های مرطوب	12	163.3707
عدم تغییر در مناطق برهنه	29	12.375	جنگل نیمه انبوه به مناطق برهنه	11	58.4442
مناطق برهنه به مراتع	28	74.502	جنگل نیمه انبوه به مراتع	10	341.9046
مناطق برهنه به جنگل انبوه	27	4.6656	جنگل نیمه انبوه به جنگل انبوه	9	34.2045
مناطق برهنه به جنگل نیمه انبوه	26	29.6793	عدم تغییر در جنگل نیمه انبوه	8	1726.6725
مناطق برهنه به جنگل تنک	25	0.828	جنگل نیمه انبوه به جنگل تنک	7	18.7524
مراتع به پهنه های مرطوب	24	471.582	جنگل تنک به پهنه های مرطوب	6	3.0654
مراتع به مناطق برهنه	23	96.291	جنگل تنک به مناطق برهنه	5	1.6758
عدم تغییر در مراتع	22	256.9716	جنگل تنک به مراتع	4	7.4799
مراتع به جنگل انبوه	21	11.511	جنگل تنک به جنگل انبوه	3	0.2196
مراتع به جنگل نیمه انبوه	20	108.3987	جنگل تنک به جنگل نیمه انبوه	2	5.6322
مراتع به جنگل تنک	19	4.2858	عدم تغییر در جنگل تنک	1	0.1728

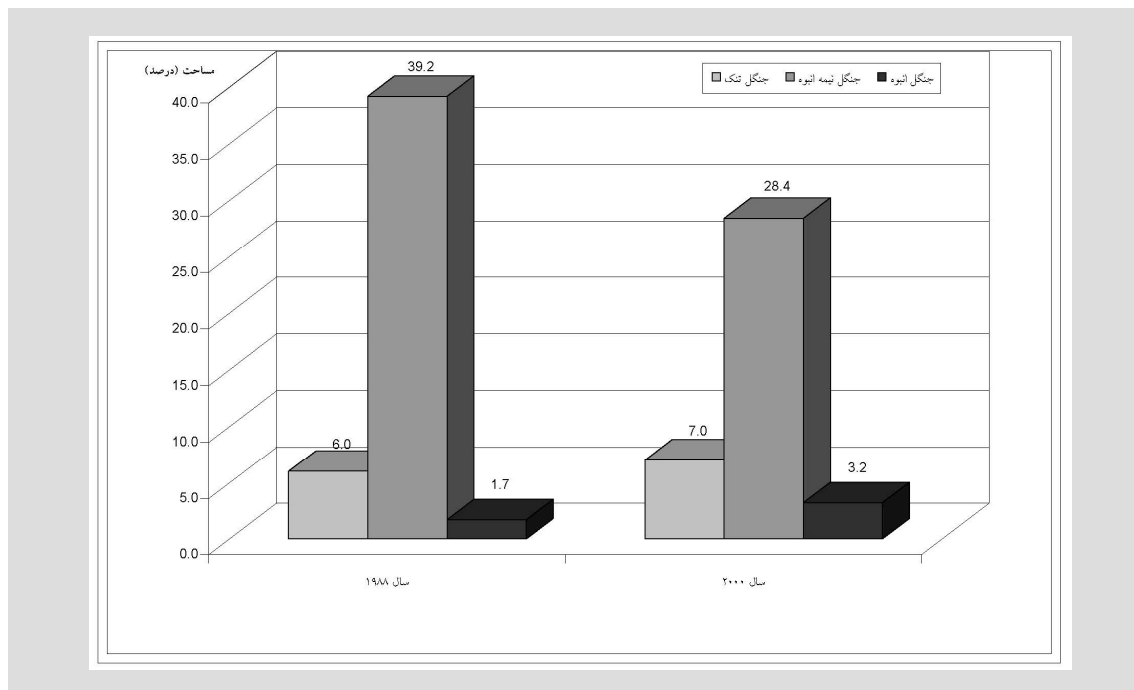


شکل ۸- تغییرات مساحت تمامی انواع پوشش های طبیعی منطقه به یکدیگر با استفاده از الگوریتم آشکارسازی در محیط GIS

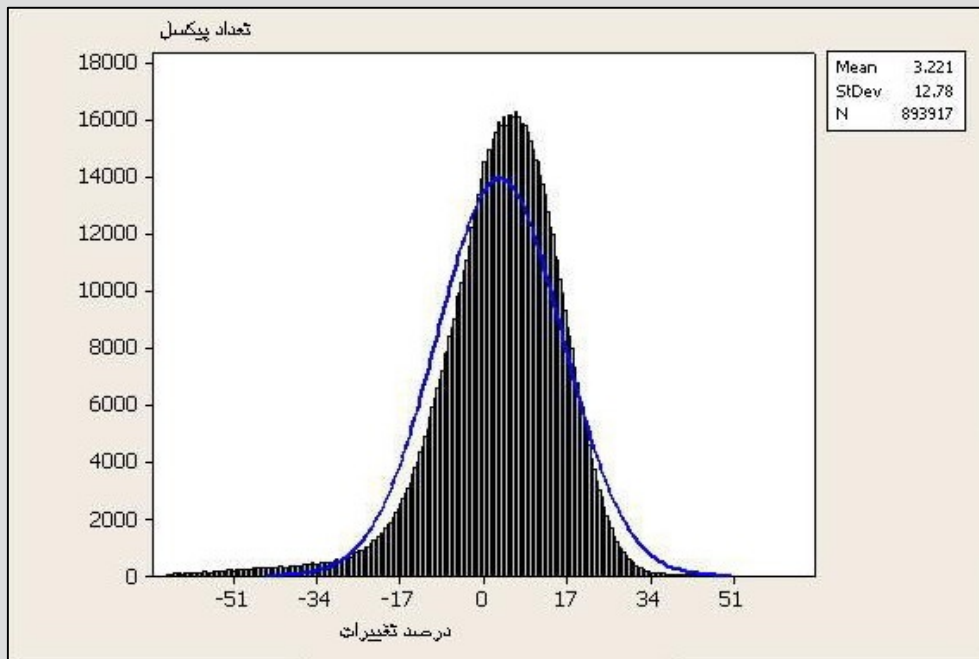
به طور متوسط تغییرات رخ داده در توزیع جغرافیایی پوشش جنگلی فارغ از هر گونه طبقه‌بندی حدود ۳/۲ درصد در مجموع منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۱۰). دامنه تغییرات در توزیع جغرافیایی بین ۶۵- تا ۶۵+ درصد است، و سهم تغییرات مقادیر کاهش‌ی تراکم پوشش گیاهی در توزیع جغرافیایی کم و سهم تغییرات مقادیر افزایشی تراکم در توزیع جغرافیایی در طی دوره مورد بررسی بیشتر بوده است. این توزیع در منطقه وضعیت نرمالی را نشان می‌دهد.

در نهایت تغییرات پوشش جنگلی منطقه در طی دو دوره مورد نظر از حیث شدت در سه گروه تغییرات کم، متوسط و زیاد در قالب افزایشی و کاهش‌ی طبقه‌بندی شده است (شکل ۱۱). از این میان بخش اعظم مساحت جنگلی منطقه در قلمرو تغییرات افزایشی کم است و سهم تغییرات کاهش‌ی در مقایسه کمتر می‌باشد. در این میان تغییرات کاهش‌ی کم بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است (شکل ۱۱).

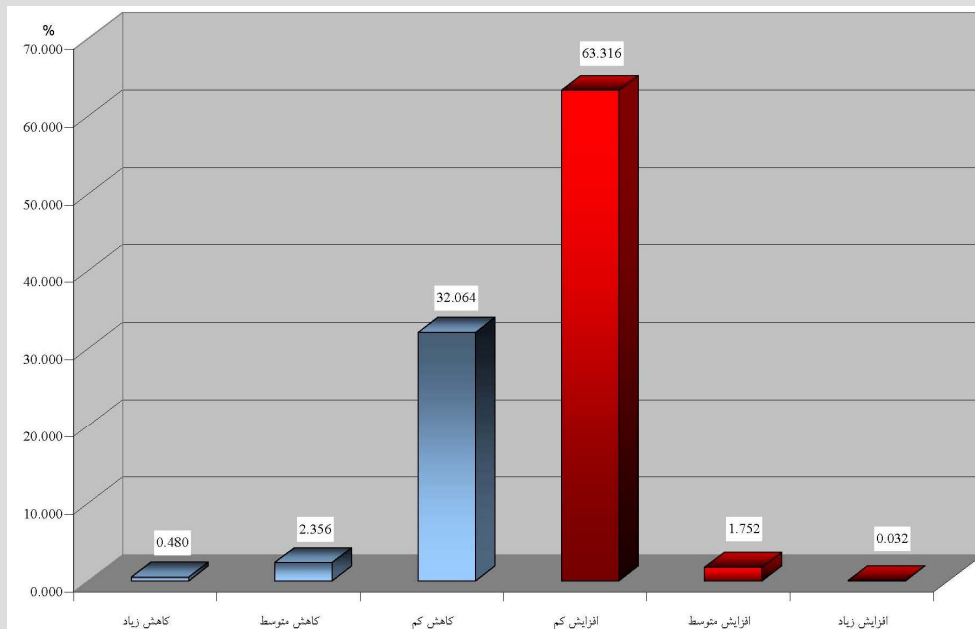
چنانچه تغییرات صورت گرفته در مساحت اراضی جنگلی منطقه را در قالب سه طبقه جنگل‌های تنک (با تراکم کمتر از ۴۰٪ تاج پوشش)، نیمه انبوه (۷۰٪ تا ۴۰٪) و انبوه (بیشتر از ۷۰٪) از جهت تراکم پوشش طبقه‌بندی نماییم، مشخص می‌شود که جنگل‌های نیمه انبوه در دوره‌های مورد بررسی بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند و بر این اساس جنگل‌های این منطقه غالباً از نوع نیمه انبوه می‌باشند (شکل ۹). بررسی تغییرات رخ داده در وضعیت اراضی جنگلی طبقه‌بندی شده منطقه نشانگر بروز بیشترین تغییرات در گستره جنگل‌های نیمه انبوه منطقه مورد مطالعه است. به طوری که در طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰ حدود ۱۰/۸ درصد از گستره جنگل‌های نیمه انبوه کاسته شد (شکل ۹). جنگل‌های تنک منطقه مورد مطالعه روند رشد ناچیزی را در مساحت تحت اشغال خود دارند. جنگل‌های انبوه نیز تغییرات افزایشی داشته‌اند، به این ترتیب که ۱/۵ درصد به مساحت تحت اشغال آنها افزوده شده است (شکل ۹).



شکل ۹- طبقه‌بندی پوشش جنگلی منطقه در قالب انبوه، نیمه انبوه و تنک و تغییرات مساحت تحت اشغال آنها در طی دو دوره زمانی ۱۹۸۸ و ۲۰۰۰



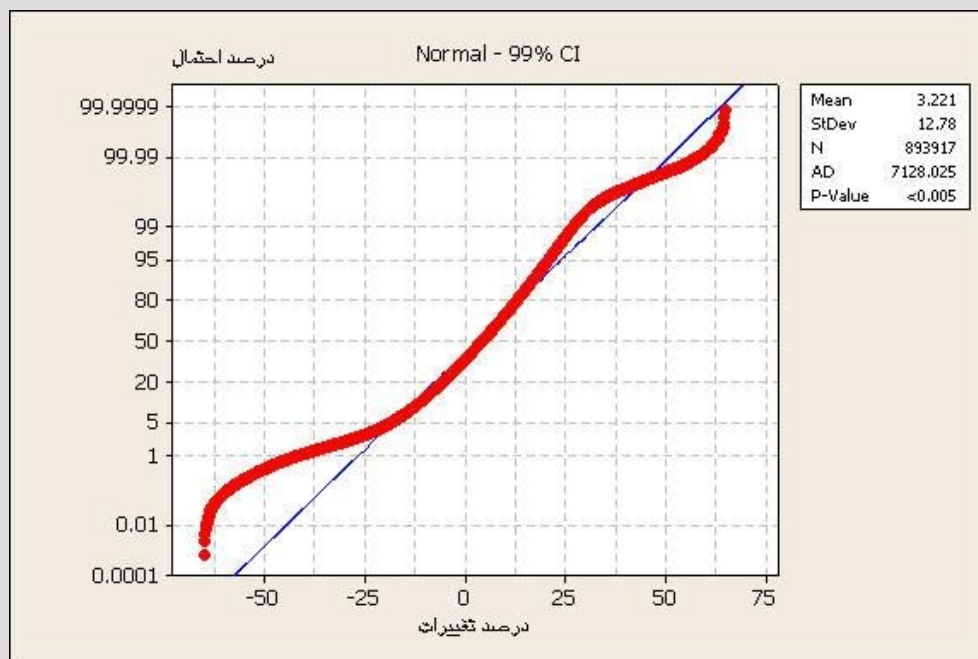
شکل ۱۰- توزیع جغرافیایی انواع تغییرات در تراکم جنگلی منطقه را نشان می دهد



شکل ۱۱- طبقه بندی مساحت متوسط تغییرات در پوشش جنگلی منطقه در طی سه دوره مورد نظر

در مجموع بررسی توزیع تغییرات در منطقه مورد مطالعه با وضعیت نرمال مورد انتظار مشخص می‌شود که علی‌رغم وجود وضعیتی نرمال در روند سیر قهقرایی و از بین بردن پوشش جنگلی منطقه مورد مطالعه تلاش‌های انجام شده جهت جبران این سیر نه تنها ناچیز بوده بلکه از توزیع غیر نرمالی برخوردار بوده است. بررسی وضعیت توزیع تغییرات کاهشی و افزایشی در منطقه گویای این مطلب است که مساحت، سرعت و توزیع مکانی روند جنگل تراشی و از میان بردن پوشش جنگلی در منطقه مورد مطالعه سرعت بیشتری داشته در حالیکه تغییرات افزایشی در منطقه با روند کندتری، در مساحت‌های کوچک و محدوده‌های محدود صورت گرفته است.

بررسی توزیع احتمال تغییرات رخ داده در پوشش جنگلی منطقه نشان می‌دهد که در دامنه تغییرات افزایشی از مقدار ۲۵ درصد، شروع ناهنجاری‌هایی در روند تغییرات افزایشی مشاهده می‌شود که به سمت ارقام بیشتر این ناهنجاری‌ها شدت پیدا می‌کنند (شکل ۱۲). بنابراین تغییرات افزایشی در دامنه ۰ تا ۲۵ درصد از احتمال وقوع بیشتری برخوردار بوده‌اند. این موضوع تبیین می‌نماید که تغییرات افزایشی و کاهشی در دامنه بیش از ۲۵ درصد در منطقه مورد مطالعه از وضعیت نرمال تبعیت نمی‌نمایند. از سویی در قلمرو تغییرات کاهشی، تغییرات در دامنه ۰ تا بیش از ۲۵- درصد احتمال وقوع زیادی دارند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- درصد احتمال وقوع تغییرات در توزیع جغرافیایی انواع تراکم‌های جنگلی منطقه مورد مطالعه

نتیجه گیری

با توجه به اینکه داده‌های مورد استفاده از نوع اطلاعات ماهواره‌ای لندست (سنجده‌های TM و ETM) هستند که در طول موج‌های متفاوت از سطح زمین فرآیند دریافت اطلاعات طیفی را ممکن می‌سازند و با توجه به اینکه خصوصیات طیفی هر باند اطلاعاتی، تهیه اطلاعات موضوعی در قالب ترکیب با سایر داده‌های طیفی را امکان‌پذیر می‌سازد. از این رو داده‌های سنجش از راه دور از منابع بسیار با اهمیت در مطالعات محیطی مناطق و بررسی تغییرات آن‌ها در طی زمان می‌باشند. این امر به دلیل تکراری بودن، پوشش وسیع و امکان دسترسی در اسرع وقت می‌تواند راه حل مناسبی جهت تهیه نقشه، ارزیابی، کنترل و پایش جنگل‌ها فراهم نمایند (Shataee, Jouibary and Abdi, 2007). به این ترتیب با مقایسه اطلاعات طیفی متناظر در دوره‌های زمانی متفاوت، مقادیر تغییرات بوجود آمده در آنها به سرعت و دقیق‌تر در دسترس قرار می‌گیرد.

تغییرات در پدیده‌ها با توجه به مفاهیم جغرافیایی در دو مبحث کاهش و افزایش مساحت و جابجایی در موقعیت، دارای اهمیت هستند. در مطالعات این مقاله مشخص شد که محدوده مشترک دارای پوشش جنگلی در منطقه مورد مطالعه در طی دو دوره مورد بررسی در حدود ۲۷۱۹ کیلومتر مربع است در صورتی که مجموع مساحت تحت سیطره این پوشش در دو دوره برابر با ۵۱۲۱ کیلومتر مربع بوده است. با طبقه‌بندی پوشش جنگلی منطقه از جهت تراکم در قالب انبوه، نیمه انبوه و تنک و نیز مقایسه تغییرات مساحت تحت اشغال آنها در دو دوره، بیشترین تغییرات مساحت در مناطق جنگلی نیمه انبوه در مقایسه با سایر مناطق جنگلی مشاهده می‌شود.

بررسی تغییرات رخ داده در توزیع جغرافیایی تراکم پوشش‌های جنگلی منطقه، شدت تغییرات بسیار شدیدی

را نشان می‌دهد. به طوری که در برخی مناطق متحول شدن میزان تراکم پوشش جنگلی مشاهده می‌شود. در این بررسی پیکسل‌های ۳۰ متر مربعی پوشش جنگلی با مقادیر تراکم‌های متفاوت بطور متناظر و برای دو دوره زمانی به شیوه تفریق تصاویر مورد تحقیق قرار گرفته‌اند. نتایج نمایانگر بروز تغییرات افزایشی در توزیع جغرافیایی مقادیر تراکم در منطقه مورد مطالعه است که بطور متوسط مقدار آن برای تمامی منطقه حدود ۳/۲ درصد محاسبه شده است. با توجه به دامنه نوسانات تغییرات کاهشی و افزایشی، میزان تراکم پوشش جنگلی در سراسر منطقه مورد مطالعه تغییرات شدیدی را در توزیع جغرافیایی خود نشان می‌دهد به نحوی که در این توزیع جغرافیایی سهم مناطق دارای افزایش تراکم در طی مدت مطالعه کمی بیشتر بود و احتمال وقوع کم و کاملاً نرمالی را نشان نمی‌دهد. در مجموع با این روش می‌توان پراکنش مکانی تخریب و سطوح افزوده شده به جنگل را مشخص کرد. این امر در مطالعه شتایی و عبیدی (Shataee Jouibary and Abdi, 2007) نیز اشاره شده است. در نهایت باید متذکر شد که شدت تغییرات کاهشی در میزان تراکم پوشش جنگلی منطقه بسیار شدید بوده و با توجه به سیر تغییرات آن در طی مدت مطالعه از احتمال وقوع بیشتری برخوردار می‌باشد و توزیع نرمالی را در سراسر منطقه پیدا کرده است. دلایل این موضوع را باید در اثرات ناشی از گسترش فعالیت‌های انسانی و نیز تا حدودی در وقوع برخی پدیده‌های طبیعی جستجو نمود. در ضمن با توجه به تراکم پوشش جنگل در منطقه مورد مطالعه و احتمال زیاد تداخل پیکسل‌ها (تداخل طیفی خاک و پوشش جنگلی)، داده‌های ETM+ قابلیت متوسطی جهت تهیه نقشه طبقات پوششی دارند (Shataee Jouibary et al., 2007)، بنابراین پیشنهاد می‌شود در کنار این داده‌ها از دیگر داده‌های سنجده‌های

- and M.H. Moaieri (2008). Changes in Zagros's forests extension using aerial photos and satellite imagery (Case study, Armerdeh forests of Baneh). *J. Agric. Sci. Natur. Resour*, 15(2): 431-443.
- Babaie, S. (2007). Environmental evaluation for forest land Classification by using of GIS Case study in Kazem-rood Watershed, North of Iran). *Journal of Agricultural Sciences Islamic Azad University*, 12(1):67-80.
- Hall, A. (1995). *Change Detection, ER Mapper5.0 Applications*. San Diego:Earth Resource Mapping.
- Hedayati, M. (2003). *Hyrceanian Forest, Vegetation and Plant Species*.Theran: Forest, Rangeland and Watershed Org of Iran.
- Mahmoudi, J. (2006). *An introduction of the natural resources (with emphasis on forest & rangeland)*. Nour: Islamic Azad University, Nour Branch.
- Mohajer, M. (2003). *Forest Creating, Kimiaye-Sabz*.Theran: Forest, Rangeland and Watershed Org. of Iran.
- Mossadegh, A. (1996). *Silviculture*.Theran: Theran University Pup.
- Pazoki, M. (2001). *Rangeland*.Theran: Nasher-e-Daneshgahi.
- Richards, J. A. and X. Jia (1999). *Remote Sensing Digital Image Analysis Third revised and enlarged*. Berlin: Springer.
- Sabeti, H. (1994). *Forst, Trees and Shrubs of Iran*. Theran: Yazd University.
- Shataee Jouibary, S.h., S. Najjarlou, S.h. Jabbari and H. Moaieri (2008). Investigation on capability of چند طیفی همانند ایکونوس، اسپات و IRS¹⁴ نیز به دلیل دارا بودن توان طیفی نسبتا خوب و تفکیک زمینی مناسب استفاده شود.
- این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی است که با حمایت مالی معاونت پژوهشی موسسه آموزش عالی طبرستان (چالوس) اجراء شده است.
- پی نوشت ها**
- 1- Digitized
 - 2- Dereference
 - 3- Arc view
 - 4-Trigobof
 - 5- Haze Reduction
 - 6- Ground Control Point
 - 7- Re sampling
 - 8- Normalized difference vegetation Index
 - 9- Enhancement
 - 10- Change detection
 - 11- Geodetic control
 - 12- Digital Number
- ۱۳- مناطق با رطوبت زیاد شامل اراضی شالیزاری، آب بندان و خاکهای مرطوب (به اختصار با عنوان مناطق یا پهنه مرطوب)
- 14-Indian Remote Sensing Satellite
- منابع**
- Alavi Panah, s.k. (2004). *Application of remote sensing in the earth sciences(soil)*. Tehran: University of Tehran press.
- Amini, M.R., S.h. Shataee Joybari, M.H. Moaieri and H. Ghazanfari (2008). Deforestation modeling and investigation on related physiographic and human factors using satellite images and GIS (Case study: Armerdeh forests of Baneh). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 16 (3):431-443.
- Amini, M.R., S.h. Shataee Joybari, H.O. Ghazanfari

multi spectral and fused LANDSAT-7 and IRS-1D data for forest extent mapping. *J. Agric. Sci. Natur. Resour*, 14(5): 13-22.

Shataee Jouibary, S.h. and O. Abdi (2007). Land cover mapping in mountainous lands of Zagros using ETM+ data . *J. Agric. Sci. Natur. Resour*, 14(1): 2-14.

Shataee Jouibary, S. h., A. A. Darvishsefat and H. Sobhani (2007). Comparison of pixel-based and object-based approaches for forest type mapping using satellite data. *Journal of the Iranian Natural Res*, 60 (3): 869-881.

Singh, A. (1989). Digital change detection techniques using remotely-sensed data, International. *Journal of Remote Sensing*, 10: 989-1003.

