

بررسی تغییرات پوشش اراضی استان مازندران با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین بین سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۶۳

محسن میرزایی^۱، علیرضا ریاحی بختیاری^{۱*}، عبدالرسول سلمان ماهینی^۲ و مهدی غلامعلی فرد^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۲۴)

چکیده

پوشش سرزمین در استان مازندران به‌علت تراکم جمعیت نسبتاً بالا، نرخ بالای مهاجران فصلی و دائمی، شرایط مساعد طبیعی و فرهنگی، تعدد واحدهای صنعتی، دارا بودن مرز ساحلی و بندرگاه‌ها و نیز سیر عظیم ساخت و ساز در سالیان اخیر با سرعت در حال تغییر است. تغییر پوشش سرزمین منجر به ایجاد پهروشدگی، سوراخ شدگی، بریدگی، فرورفتگی، سائیدگی و به هم آمیختگی در سیما می‌گردد که هر کدام دارای مفهوم‌های مهم در علم بوم‌شناسی سیمای سرزمین هستند. در مطالعه حاضر پس از تهیه نقشه‌های پوشش سرزمین و استخراج سنج‌ها در دو سطح کلاس و سیما، از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، جهت انتخاب سنج‌های مناسب در تحلیل تغییرات سیمای سرزمین شهرستان‌های استان مازندران در خلال سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۹ استفاده شد. در نهایت پنج سنج شامل، مساحت کلاس (CA)، تعداد لکه (NP)، شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، نسبت چولیدگی لبه (PAFRAC) و شاخص تنوع شانون (SHDI) به‌عنوان سنج‌های بهینه انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاکی از افزایش مساحت در پوشش‌های مسکونی، کشاورزی، مرتع، جاده (به‌ترتیب ۷۳۸۷، ۵۴۶۵۵، ۸۸۹۸۶، ۴۷۶۸ هکتار) و افت شدید در جنگل‌های استان (۱۶۲۸۶۷ هکتار) بوده، به‌طوری‌که در طول دوره مطالعه میزان سنج LPI در پوشش جنگلی شهرستان‌های نکا، سواد کوه، ساری و تنکابن به‌ترتیب ۱۷/۵، ۱۳/۸، ۸/۶ و ۴/۹ درصد کاهش یافت و تغییر بستر سیما در رامسر و بهشهر از جنگل به مرتع و کشاورزی دیده شده است. بیشتر تغییرات ناشی از هضم لکه‌های جنگل در میان پوشش‌های انسان ساخت به‌ویژه یک‌پارچه‌سازی اراضی کشاورزی بوده است.

واژه‌های کلیدی: پوشش سرزمین، سنج‌های سیمای سرزمین، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، استان مازندران

۱. گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، شهرستان نور

۲. گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: riahi@modares.ac.ir

مقدمه

بحث‌های علمی مربوط به بوم‌شناسی سیمای سرزمین با مفهوم ناحیه‌های بزرگ و ناهمگن، در دهه ۱۹۳۰ توسط کارل در جغرافیا و گیاه‌شناسی مطرح شد (۱۸). بوم‌شناسی سیمای سرزمین (Landscape Ecology) بر مبنای این تفکر شکل گرفته است که تغییر در الگوهای سیمای سرزمین به شدت ویژگی‌های بوم‌شناسی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۳). ساختار (نوع، شکل، اندازه قطعه زمین و ارتباطات بین لکه‌ها)، عملکرد (پویایی جانداران و زیستگاه‌ها، غذا و جریان آب و هوا) و تغییرات (اختلالات و تعارضات، تغییر اقلیم و خرد شدن زیستگاه‌ها) به عنوان سه اصل پایه در مطالعات بوم‌شناسی سیمای سرزمین هستند که دارای ارتباط متقابل با همدیگر می‌باشند (۱۴). سنجه‌های سیمای سرزمین (Landscape Metrics) ابزارهایی جهت اندازه‌گیری، کمی‌سازی و بیان وجهه‌های مختلف از الگوی سیمای سرزمین در یک لحظه از زمان هستند (۱۶ و ۲۰). تغییرات سیمای سرزمین می‌تواند به سبب عوامل طبیعی و انسانی به وجود آیند؛ احداث جاده، قطع درختان، تخریب جنگل‌ها، افزایش حجم ساخت و ساز و توسعه صنعتی را می‌توان از جمله فعالیت‌های انسانی نامبرد که ساختار سیمای سرزمین را تغییر داده و عملکرد آن را مختل می‌سازد (۱۸). به عنوان مثال ساخت و ساز در حواشی رودخانه‌ها و دامنه‌ها قادر است در فرم طبیعی و پوشش گیاهی منطقه تغییر ایجاد نماید و جریان‌ات آب و هوا از بالادست به پایین دست اکوسیستم را از حالت طبیعی خارج نماید و موجب افزایش در نرخ وقوع مخاطراتی از جمله سیل و رانش زمین گردد.

به دنبال توسعه سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و در دسترس قرار گرفتن تصاویر ماهواره‌ای، پیشرفت‌های زیادی در کمی‌سازی محیط زیست از نظر معیارهای سیمای سرزمین صورت گرفته است (۱۹ و ۲۴). در سال‌های اخیر مطالعات زیادی از مزایای سنجه‌های سیمای سرزمین جهت برنامه‌ریزی و مدیریت سرزمین بهره برده‌اند که بیشینه این مطالعات از سنجه‌های سیمای جهت بررسی تغییرات پوشش سرزمین به‌ویژه

در کشورهای آمریکا و چین استفاده نموده‌اند (۲۵). از این قبیل در مطالعه‌ای ستو و فرگکیاس (۲۴) در سال ۲۰۰۵ از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و سنجه‌های سیمای سرزمین جهت کمی‌سازی الگوی تغییرات چهار شهر در چین در طول سال‌های ۱۹۸۸ الی ۱۹۹۹ پرداختند. آنها تغییرات را در سه بافر از این شهرها تحلیل نمودند و بیان داشتند که سنجه‌های تراکم حاشیه، تعداد لکه‌ها، میانگین وزن دار شده چولیدگی ابعاد (Area Weighted Mean Patch Fractal Dimension) و ضریب تغییرات اندازه لکه‌های (Patch Size Coefficient of Variation) شهری، قادرند درک مناسبی از اشکال و محورهای گسترش شهری نمایش دهند و تأثیر متغیرهای اقتصادی، اجتماعی و سیاسی را به نحو مناسب‌تری تفسیر نمایند.

در مطالعه‌ای دیگر لائوسچ و هرزوغ (۱۷) از سنجه‌های سیمای سرزمین جهت بررسی تغییرات کاربری در شرق آلمان استفاده نمودند، نتایج مطالعه حاکی از آن است که سنجه‌های سیمای سرزمین شاخص مناسبی جهت بررسی سرزمین در طول دوره‌های زمانی است و باید در میان سنجه‌های موجود بهینه آنها انتخاب گردد و مورد استفاده قرار گیرد. دنگ و همکاران (۱۳) در سال ۲۰۰۹ از تکنیک‌های سنجش از دور، آشکارسازی تغییرات و سنجه‌های سیمای سرزمین از قبیل تعداد لکه، تراکم لکه، تراکم حاشیه، شاخص بزرگ‌ترین لکه، میانگین مساحت لکه، شاخص شکل سیمای سرزمین و شاخص تنوع شانون، به ارزیابی تغییرات سیمای سرزمین در ساله (۱۹۹۶ الی ۲۰۰۶) در شهر هانگزو (Hangzhou) واقع در سواحل شرقی چین پرداختند. نتایج آنها رشد سریع شهری را ناشی از تغییر لکه‌هایی از سایر کاربری‌ها (مرتع، کشاورزی و آب) به کاربری شهری نمایش داد و بیان داشتند در طول این ده سال، پس‌زمینه سیمای سرزمین از کشاورزی به شهری تغییر کرده‌است. در مطالعه‌ای دیگر دی‌باروس و همکاران (۱۲) با استفاده از سنجه‌های اندازه، شکل، تراکم، توزیع و همسایگی تخریب سریع جنگل‌های آمازون را در روندونیا (Rondonia) برزیل بررسی نمودند و اظهار داشتند در صورت ادامه این روند

مازندران به علت قرارگرفتن در نوار ساحلی دریای خزر، تراکم جمعیت نسبتاً بالا، نرخ بالای مهاجران فصلی و دائمی، شرایط مساعد طبیعی و فرهنگی، تعدد واحدهای صنعتی و سیر عظیم ساخت و ساز در طول سال‌های اخیر، پوشش سرزمین در این استان با سرعت در حال تغییر است. هر چه سیما به سوی تغییر و تحول پیش می‌رود، کمی‌سازی و تفسیر سیمای سرزمین ضرورت بیشتری پیدا خواهد کرد. بنابراین استفاده از ابزارهای مکانی جهت پایش، برنامه‌ریزی و مدیریت تغییرات در این استان می‌تواند به‌عنوان راهکاری مناسب جهت آگاهی از وضعیت موجود و به حداقل رساندن آسیب‌های زیست محیطی قلمداد نمود. مطالعه حاضر با هدف تحلیل تغییرات سیمای سرزمین شهرستان‌های استان مازندران در یک دوره ۲۶ ساله (۱۳۶۳ و ۱۳۸۹) و مقایسه وضعیت تخریب سیمای طبیعی در این شهرستان‌ها با تکیه بر پوشش جنگلی انجام شد. جهت دستیابی به این هدف از مزیت‌های سنج‌های سیمای سرزمین در بررسی تغییرات منطقه در سطح کلاس و سیما استفاده شده است.

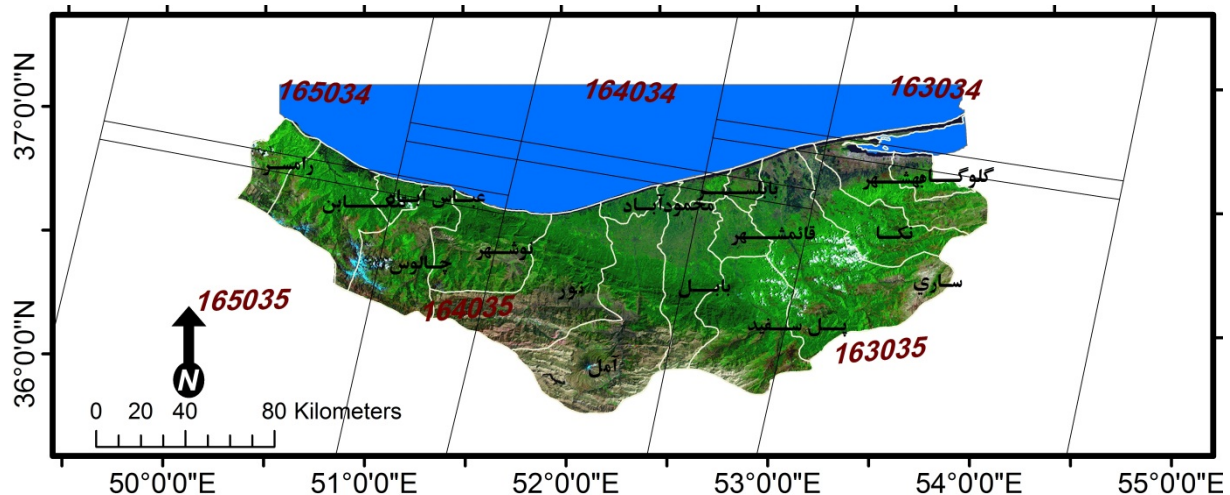
مواد و روش‌ها

۱. منطقه مورد مطالعه

تراکم نسبی جمعیت استان مازندران ۱۲۷ نفر در هر کیلومتر مربع است که نسبت به جمعیت کشور تراکم بالایی را در خود دارد. مازندران از امکانات و جاذبه‌های طبیعی و فرهنگی فراوانی در توسعه صنعت گردشگری و مبادلات فرهنگی در سطح منطقه‌ای و ملی برخوردار است و به‌دلیل موقعیت طبیعی و جغرافیایی مناسب، در بخش طبیعت‌گردی جزء استان‌های برتر کشور محسوب می‌شود. استان مازندران از غرب به شرق به ترتیب در برگیرنده شهرستان‌های رامسر، تنکابن، عباس‌آباد، چالوس، نوشهر، نور، محمودآباد، آمل، فریدون‌کنار، بابل، بابلسر، قائمشهر، سوادکوه، جویبار، ساری، نکا، بهشهر و گلوگاه می‌باشد. پوشش غالب در این استان جنگل بوده، میانگین بارندگی سالیانه در نوار ساحلی استان برابر با ۹۷۷ میلی‌متر است. توزیع مکانی آن از غرب به شرق با

تا سال ۲۰۲۰ وسعت چشمگیری از این جنگل‌ها رو به نابودی خواهند رفت.

هرولد و همکاران (۱۶) در سال ۲۰۰۲ با این توضیح که سنج‌های سیمای سرزمین قادرند تکیه شدگی در اجزای همگن سیمای سرزمین را نمایش دهند، به پردازش تصاویر ماهواره و استخراج سنج‌های سیمای سرزمین در منطقه سانتا باربارا پرداختند. آنها از سنج‌های مساحت لکه، شاخص بزرگ‌ترین لکه، تراکم لکه و فراوانی لکه‌ها برای تحلیل تغییرات (رشد شهری) استفاده نمودند. در ایران نیز مطالعاتی مبنی بر استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین صورت گرفته است. به‌طور مثال تحلیل تخریب سیمای سرزمین حوزه آبخیز نکا با استفاده از سنج‌های اکولوژی سیمای سرزمین توسط طالبی امیری و همکاران (۸) مورد بررسی قرار گرفت. تحقیق نشان داده با توجه به وقوع سیلاب‌های متعدد در حوزه آبخیز نکا احتمالاً تخریب پوشش گیاهی طبیعی، افزایش وسعت اراضی بایر و چرای بی‌رویه دام با افزایش سطوح اراضی نفوذناپذیر و کاهش قابلیت نگهداشت بارش، ضریب رواناب سطحی را در منطقه افزایش داده است. سلاجقه و همکاران (۶) در یک دوره ۱۴ ساله تغییرات کاربری و اثر آن بر کیفیت آب رودخانه کرخه را بررسی کردند. آذری دهکردی و خزاعی (۱) از سنج‌های سیمای سرزمین و پردازش تصاویر ماهواره‌ای جهت ارزیابی پیامدهای فعالیت‌های انسانی در حوزه آبخیز شفارود پرداختند. در تحقیقاتی دیگر نیز (۴، ۵ و ۹)، به طریقه‌های مختلف با استفاده از بوم‌شناسی سیمای سرزمین به تحلیل تخریب وارد شده به ساختار کولوژیکی در مناطق مختلف و کاربرد سنج‌ها در بارزنامایی این تخریب‌ها پرداختند. بنابراین، فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی سبب دگرگونی سیمای سرزمین می‌شوند، تغییر پوشش سرزمین منجر به ایجاد پهر و شدگی (Fragmentation)، سوراخ شدگی (Perforation)، بریدگی (Dissection)، فرورفتگی (Shrinkage)، سائیدگی (Attrition) و به هم آمیختگی (Coalescence) در سیما می‌گردد که هر کدام دارای مفهوم‌های مهم در زمینه‌های اکولوژیکی و مسائل انسانی هستند (۳).



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه، شهرستان‌های استان مازندران همراه با سطر و ستون تصاویر ماهواره لندست

(تصویر رنگی کاذب ماهواره لندست ۱۳۸۹)

نظارت شده و نظارت نشده و نیز تحلیل‌های Tasseled Cap، NDVI، Isocluster در محیط نرم‌افزارهای Google Earth، Erdas Imagine و Idrisi Taiga استفاده گردید و در نهایت بهترین نقشه‌های پوشش برای منطقه مورد مطالعه تهیه شدند (۷).

۳. استخراج و انتخاب سنجه‌های سیمای سرزمین

پس از تهیه نقشه‌های پوشش سرزمین از نرم‌افزار Fragstat 4.1 (۲۱) جهت استخراج سنجه‌های سیمای سرزمین در دو سطح کلاس و سیما استفاده شد. در مجموع ۲۸ سنجه جهت کمی‌سازی سیمای سرزمین در سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۹ اندازه‌گیری شدند که خصوصیات برخی از آنها در جدول شماره ۱ آورده شده است. یکی از مسائل در امر استفاده از این سنجه‌ها، انتخاب سنجه مناسب از میان تعدد سنجه‌ها است (۲۶، ۱۵ و ۱۷). باید توجه داشت سنجه‌ها در بسیاری از موارد دارای هم‌پوشانی هستند و اطلاعات مشابهی از وضعیت سیمای سرزمین ارائه می‌نمایند، برای مثال اطلاعات ارائه شده از سنجه‌های کل حاشیه و تراکم حاشیه روند تغییراتی کاملاً مشابه دارد و این امر مفسر را از دستیابی سریع به جنبه‌های مختلف تغییرات سیمای سرزمین باز می‌دارد. روش‌های تحلیل عاملی منجر به کاهش حجم داده‌ها و منجر به تعیین

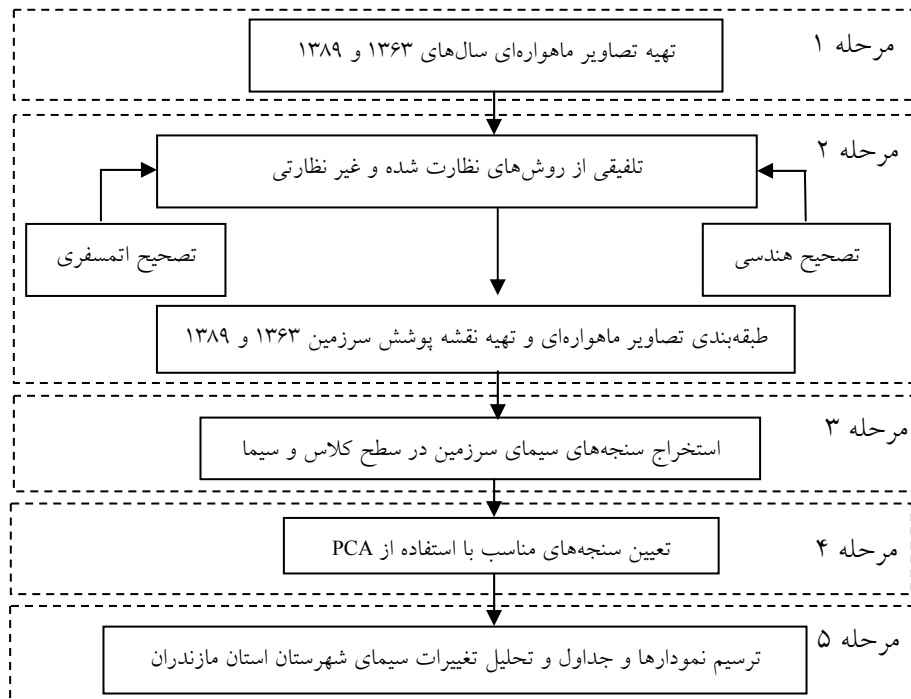
کاهش همراه است در حالی که توزیع زمانی آن وضعیتی منظم دارد. براساس طبقه‌بندی دومارتن نواحی غربی مازندران بسیار مرطوب، نواحی مرکزی مرطوب، نواحی شرقی مدیترانه‌ای و نواحی کوهستانی مازندران نیمه مرطوب می‌باشد، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه با وسعت ۲۳۶۷۴۵۰ هکتار در شکل ۱ نمایش داده شده است.

۲. تهیه نقشه پوشش سرزمین

جهت تهیه نقشه پوشش سرزمین، نخست تصاویر ماهواره لندست مربوط به استان مازندران، در ۶ فریم تهیه شدند و سیستم مختصات آنها به سیستم Lambert Conformal Conic جهت موزاییک‌سازی تصاویر و برش محدوده مطالعه معرفی گردید. در مرحله بعد، یک فرآیند ترکیبی چند مرحله‌ای همراه با بهره‌گیری از منابع متعدد شامل تصاویر سنجنده‌های TM و ETM⁺ ماهواره لندست، تصاویر رنگ مجازی Google Earth و نقشه‌های طبقه‌بندی سنجنده مودیس (International Geosphere-Biosphere Programme) (IGBP) ماهواره Terra جهت دستیابی به بالاترین صحت نقشه پوشش سرزمین مربوط به سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۹ استفاده شد. در این فرآیند از روش‌های تفسیر و مقایسه چشمی، طبقه‌بندی

جدول ۱. خلاصه اطلاعات مربوط به برخی سنجه‌های محاسبه شده در تحقیق (۱۸) (A:مساحت کل سیمای سرزمین، a: مساحت لکه، i،k: شماره لکه‌ها، j: شماره کلاس‌ها، n: تعداد لکه، m': کل تعداد لکه‌های موجود در سیما، cf: ارزش مجاورت، V: مجموع ارزش‌های قاب ۳×۳، e: محیط لکه‌ها، p: سهم لکه از کل سیما)

مخفف	نام سنجه	نام سنجه	واحد	فرمول محاسبه	دامنه تغییرات
CA	Class Area	مساحت کلاس	هکتار	A	$0 \leq$ بدون محدودیت
ED	Edge Density	تراکم حاشیه	متر در هکتار	$\frac{\sum_{i=1}^m e_{ik}}{A} (10000)$	$0 \leq$ بدون محدودیت
NumP	Number of Patches	تعداد لکه‌ها	ندارد	n_i	$0 \leq$ بدون محدودیت
TE	Total Edge	مجموع حاشیه	متر	$\sum_{i=1}^m e_{ik}$	$0 \leq$ بدون محدودیت
SHDI	Shannon's diversity index	شاخص تنوع شانون	ندارد	$-\sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)$	$0 \leq$ بدون محدودیت
PLAND	Percentage of Landscape	درصد از سیما	درصد	$\frac{\sum_{i=1}^m a_{ij}}{A} (100)$	$0 \leq \text{PLAND} \leq 100$
LPI	Largest Patch Index	شاخص بزرگ‌ترین لکه	درصد	$\frac{\text{Max}(a_{ij})}{A} (100)$	$0 < \text{LPI} \leq 100$
LSI	Landscape Shape Index	شاخص شکل سیما	ندارد	$\frac{0.25 \sum_{i=1}^m e_{ik}}{\sqrt{A}}$	\leq بدون محدودیت
SHAPE_M	Shape Index	شاخص شکل	ندارد	$\frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} (100)$	$\text{SHAPE} \leq 1$
MESH	Effective Mesh Size	اندازه شبکه تأثیرگذار	هکتار	$\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij}}{A}$	مساحت کل سیما \leq مساحت سلول
PAFRAC	Perimeter-Area Fractal Dimension	نسبت چولیدگی لبه	ندارد	$\frac{2}{\ln[(\sum_{i=1}^m L_{ip}) \cdot \ln(a_{ij})] - [(\sum_{i=1}^m L_{ip})][(\sum_{i=1}^m a_{ij})]}$ $\frac{2}{(n \sum_{i=1}^m p_i^2) - (\sum_{i=1}^m L_{ip})^2}$	$1 \leq \text{PAFRAC} \leq 2$
SPLIT	Splitting Index	شاخص سوراخ شدگی	ندارد	$\frac{A^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij}^2}$	تعداد $1 \leq \text{SPLIT} \leq$
CONTIG_M	Contiguity Index	شاخص مجاورت	ندارد	$\frac{[\sum_{i=1}^m a_{ij}]}{m-1}$	$0 \leq \text{CONTIG} \leq 1$



شکل ۲. خلاصه‌ای از مراحل انجام تحقیق

سنجه‌ها به‌عنوان سنجه‌های فرعی (کمکی) استفاده شد و نقشه‌ها، نمودارها و جداول مربوطه جهت تسهیل ارزیابی تغییرات ترسیم شد (شکل ۲).

نتایج

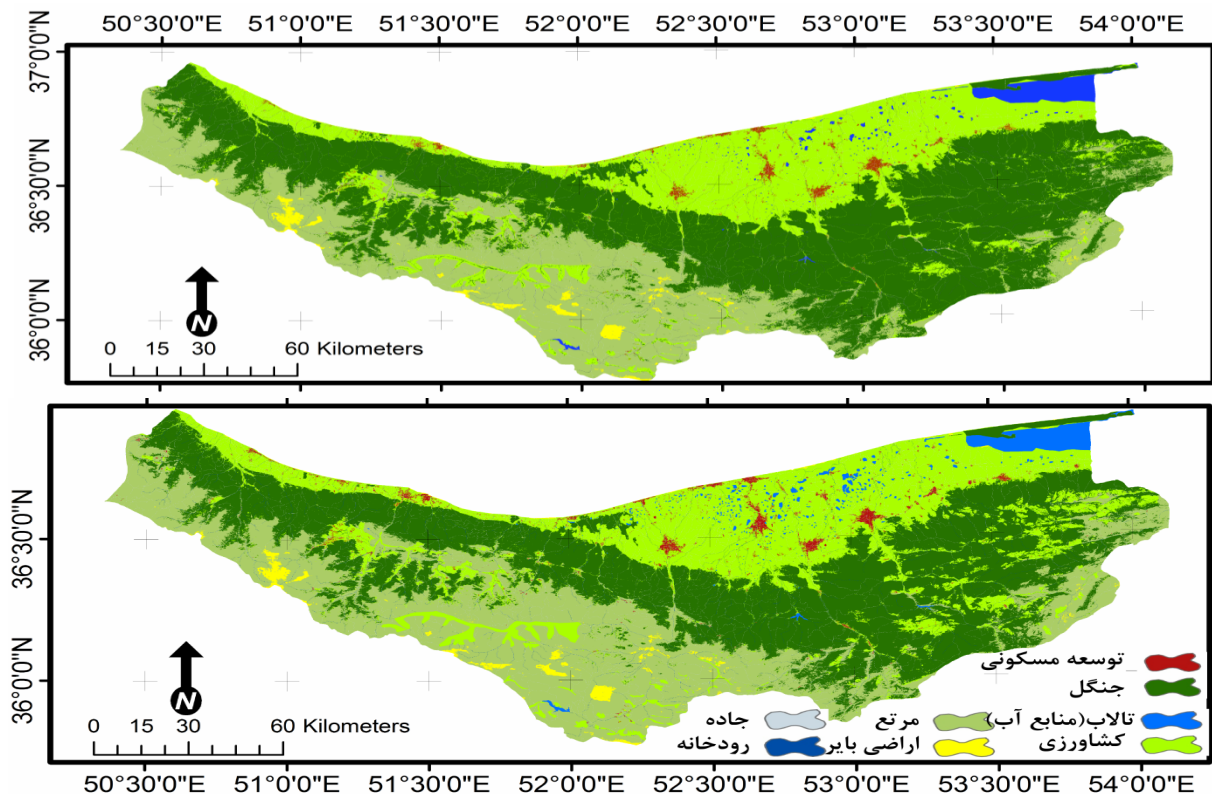
۱. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

طبقه‌بندی تصاویر توانست هشت کلاس کاربری شامل، توسعه مسکونی (شهر و روستا)، جنگل، کشاورزی، تالاب (منابع آب)، مرتع، اراضی بایر، جاده و رودخانه برای استان مازندران در یک دوره ۲۶ ساله (۱۳۶۳ و ۱۳۸۹) تفکیک نماید (شکل ۳). ضریب کاپا برای نقشه پوشش اراضی در سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۹ به ترتیب برابر با ۰/۸۹ و ۰/۹۱ بوده است که نمایانگر صحت بالای نقشه‌های تولید شده است.

۲. سنجه‌های سیمای سرزمین

تناسب سنجه‌ها برای ورود به آزمون PCA برآورد شد ($KMO = ۰/۶۵$) و چهار مؤلفه اصلی برای توصیف کل

مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در شکل‌گیری پدیده‌ها می‌شوند (۲۲). در این مطالعه از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) (Principle Components Analysis) در فضای نرم‌افزار SPSS 16.0 به منظور تعیین تعداد مؤلفه‌های غیر وابسته و در مرحله بعد تعیین سنجه‌های زیر گروه هرکدام از مؤلفه‌ها و مشخص نمودن مناسب‌ترین سنجه‌ها جهت تحلیل تغییرات سیمای سرزمین استفاده شده است. در این رویکرد ابتدا تناسب جامعه آماری برای انجام PCA به وسیله آزمون KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) سنجیده شد، سپس به منظور بهبود روابط بین متغیرها (سنجه‌های سیمای سرزمین) و مؤلفه‌های اولیه و بهبود توانایی تفکیک سنجه‌ها برای عضویت در مؤلفه‌ها از دوران Varimax استفاده شده است (۲۲)؛ در این مرحله تعداد مؤلفه‌های اصلی که قادر باشند توصیف جامعی از متغیرها داشته باشند تعیین می‌شوند و متغیرها با توجه به درجه عضویت در زیر گروه این عوامل قرار می‌گیرند. در نهایت از روی بیشینه درجه عضویت، متغیرهای اصلی در هر مؤلفه تعیین می‌شوند (۱۷). در مرحله بعد سنجه‌های مناسب تعیین شدند و از سایر



شکل ۳. نقشه‌های تهیه شده پوشش زمین مربوط به سال‌های ۱۳۶۳ (بالا) و ۱۳۸۹ (پایین)

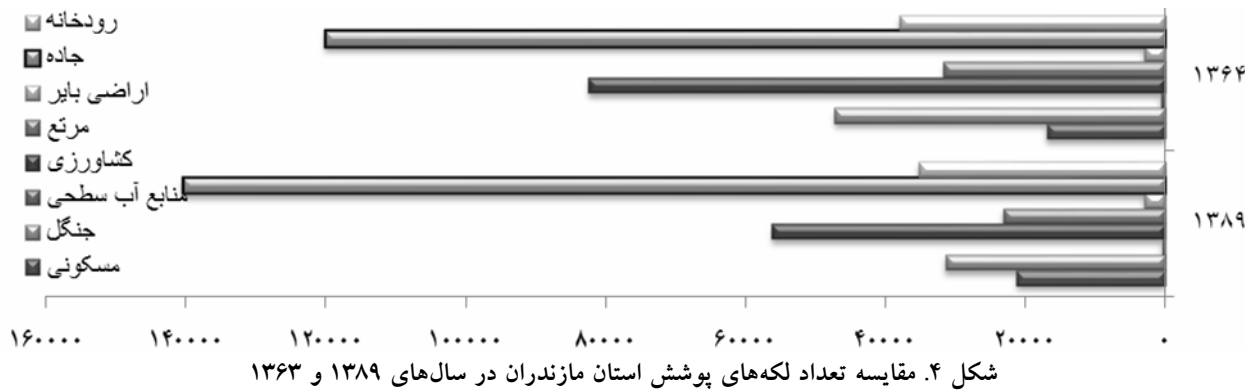
جدول ۲. بارهای عاملی چرخانده شده سنجه‌ها برای هریک از مؤلفه‌ها و درصد واریانس

درصد واریانس تجمعی	۴	۳	۲	۱	
۴۲/۲۱	۰/۸۶۲	۰/۸۸۰	۰/۲۸۰	۰/۳۶۳	CA
۶۴/۰۳	۰/۳۹۹	۰/۰۳۷	۰/۸۹۶	۰/۰۰۱	NP
۷۵/۰۵	۰/۳۵۳	۰/۱۵۷	۰/۰۴۶	۰/۹۰۱	LPI
۸۴/۰۶	۰/۱۱۱	۰/۹۴۵	۰/۰۷۱	۰/۰۷۱	PAFRAC

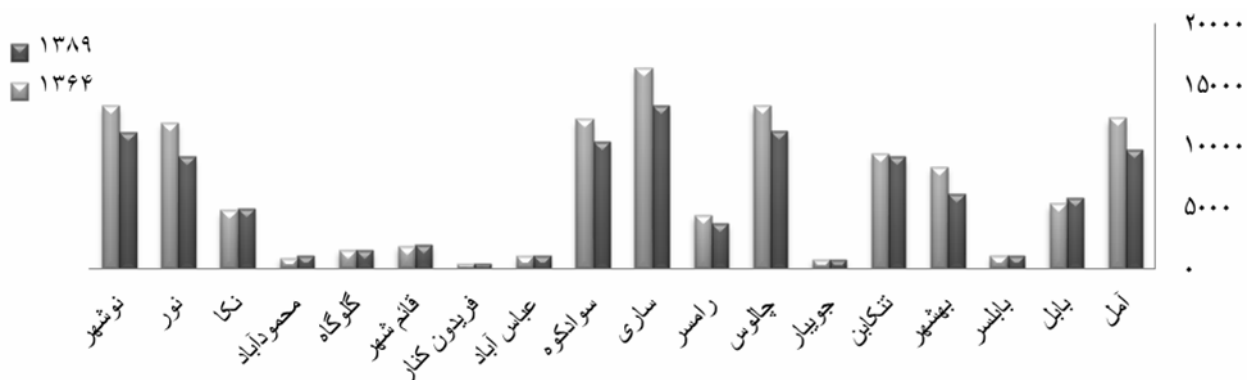
تمامی شهرستان‌ها بیشتر از ۱۰۰ بوده است، سنجه شاخص تنوع شانون (SHDI) (۱۳)، جهت ارزیابی تغییرات سیما در دوره مذکور انتخاب گردید (همواره میزان $SHDI \geq 0$ است و با افزایش تعداد لکه‌های ناهمگون در سیما این سنجه میزان بزرگ‌تری را نمایش می‌دهد) (جدول ۲).

مطابق با نتایج به‌دست آمده در خلال سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۹ تعداد لکه‌ها در کاربری جنگل، تالاب، مرتع، کشاورزی و رودخانه به‌ترتیب به میزان ۱۵۸۵۵، ۱۴۶، ۸۵۴۳، ۲۶۲۱۴ و ۲۷۶۳ عدد کاهش یافته است، این در حالیست که ۴۳۰۳ لکه به

سنجه‌ها تعیین گشت که در مجموع قادرند ۸۴/۰۶ درصد واریانس جامعه را توصیف نمایند (جدول ۲). سنجه اصلی شامل، مساحت کلاس (CA)، تعداد لکه (NP)، شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) و نسبت چولیدگی لبه (PAFRAC) (نشان‌دهنده پیچیدگی شکل لکه است، در صورتی که لکه منظم باشد ۱ و با افزایش پیچیدگی شکل تا ۲ افزایش می‌یابد) به‌عنوان مناسب‌ترین سنجه‌ها جهت تحلیل تغییرات پوشش شهرستان‌های مازندران در سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۹ معرفی کردند، در سطح سیما نیز با توجه به این‌که تعداد لکه‌ها در



شکل ۴. مقایسه تعداد لکه‌های پوشش استان مازندران در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۶۳



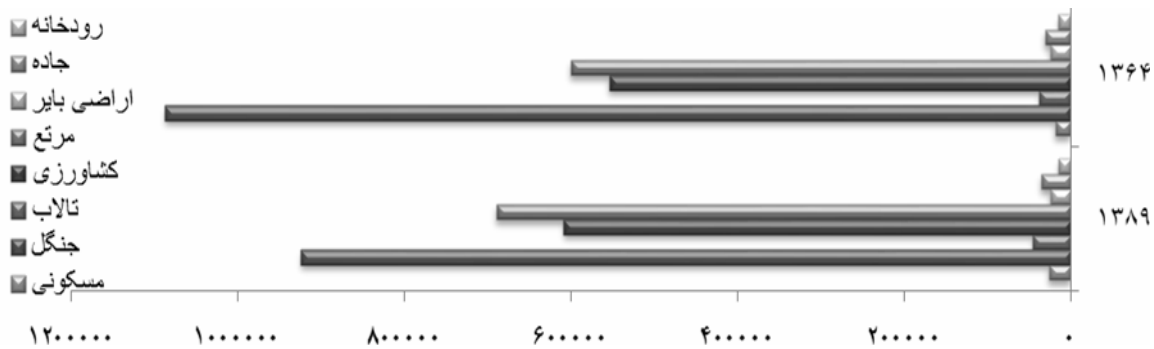
شکل ۵. مقایسه تعداد لکه‌های پوشش در شهرستان‌های استان مازندران در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۶۳

مطالعه تغییر مساحت در اراضی بایر و رودخانه نسبت به بقیه پوشش‌ها کمتر بوده است (شکل ۶). جهت بررسی تغییرات این سنجه در سطح شهرستان‌ها میزان تخریب در پوشش جنگلی و رشد در پوشش‌های مسکونی، کشاورزی و جاده‌ها نسبت به مساحت هر شهرستان مورد بررسی قرار گرفت و شهرستان‌ها براساس تخریب وارد شده به سیمای طبیعی و توسعه سیمای انسان‌ساز رتبه‌بندی شدند (شکل ۷). نتایج حاکی از آنست که به ترتیب شهرستان‌های آمل، ساری، چالوس، عباس آباد، نوشهر، تنکابن، بابل، پل سفید، رامسر، نور، بهشهر، قائمشهر، محمودآباد و نکا دارای بیشترین تخریب بوده و بابل، فریدون کنار، جویبار و گلرگاد تخریب کمتری داشته‌اند (شکل ۷).

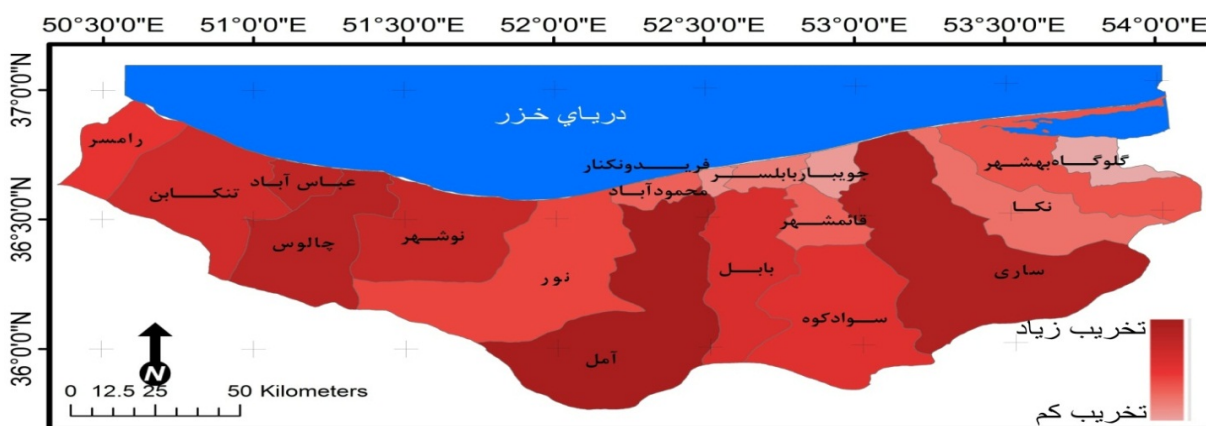
بررسی نتایج سنجه LPI نمایش دهنده بیشترین کاهش برای پوشش جنگلی در سطح استان بوده است، به طوری که میزان این سنجه برای جنگل‌ها در سال ۱۳۶۳ برابر با ۵۸۶ و در سال ۱۳۸۹ برابر با ۴۷۸ هکتار می‌باشد (شکل ۸). در طول دوره

توسعه مسکونی و ۲۰۳۳۷ لکه به جاده‌ها افزوده شده است (شکل ۴). نتایج حاصل از بررسی تعداد لکه‌ها در سطح شهرستان‌های آمل، بهشهر، تنکابن، چالوس، رامسر، ساری، سوادکوه، نور و نوشهر به ترتیب به میزان ۲۵۹۲، ۲۲۳۹، ۲۷۶، ۲۱۰۴، ۶۶۰، ۳۰۶۴، ۱۸۲۳ و ۲۷۹۵ و ۲۱۸۲ لکه کاهش نمایش دادند، از سوی دیگر در دوره مورد مطالعه تعداد لکه در شهرستان‌های بابل، بابل، عباس آباد، فریدون کنار، قائم شهر، محمودآباد و نکا دارای رشد اندک بوده است (شکل ۵).

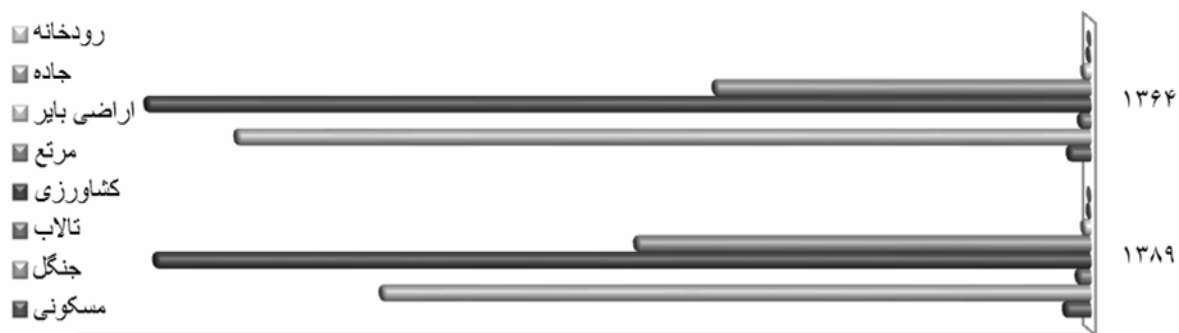
سنجه مساحت کاربری (کلاس) یکی از گویاترین سنجه‌ها در بررسی تغییرات سیمای سرزمین است، نکته قابل توجه در بررسی نتایج حاصل از این سنجه افزایش مساحت در پوشش‌های مسکونی (۷۳۸۷ هکتار)، تالاب (منابع آب سطحی) (۷۴۹۲ هکتار)، کشاورزی (۵۴۶۵۵ هکتار)، مرتع (۸۹۸۶ هکتار)، جاده (۴۷۶۸ هکتار) و افت شدید در جنگل‌های استان (۱۶۲۸۶۷ هکتار) است (شکل ۶). قابل ذکر است در طول دوره



شکل ۶. مقایسه مساحت پوشش اراضی استان مازندران در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۳ (برحسب هکتار)



شکل ۷. رده‌بندی شهرستان‌های استان مازندران براساس تخریب وارد شده در پوشش طبیعی و توسعه پوشش‌های انسان ساخت



شکل ۸. مقایسه مساحت بزرگ‌ترین لکه پوشش‌های استان مازندران در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۳ (برحسب هکتار)

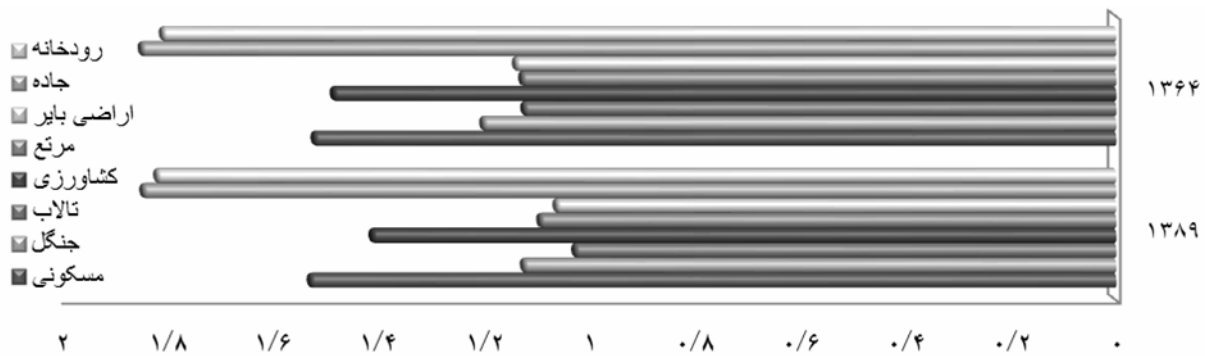
شهرستان‌های ساری، سوادکوه، تنکابن، عباس‌آباد، نکا و نوشهر می‌باشد (جدول ۳).

بررسی نتایج حاصل از سنجه PAFRAC حاکی از کاهش میزان این سنجه در پوشش‌های تالاب، جنگل، اراضی بایر و کشاورزی به ترتیب به میزان ۰/۰۹۶، ۰/۰۷۷، ۰/۰۷۵ و ۰/۰۷۳ و

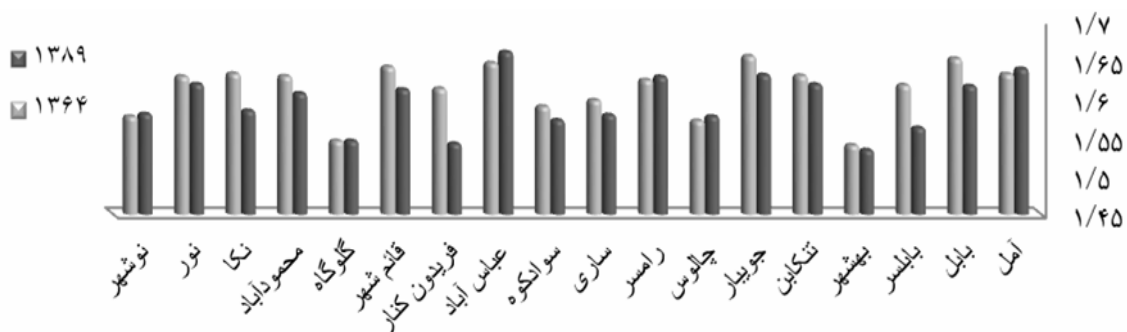
مورد مطالعه، پوشش مرتعی بیشترین یکپارچگی را داشته و اندازه بزرگ‌ترین لکه در این پوشش به میزان ۵۴ هکتار افزایش داشته است. بررسی LPI در سطح شهرستان‌ها نشان‌دهنده تغییر پوشش غالب در شهرستان‌های بهشهر و رامسر از جنگل به کشاورزی و مرتع و نیز افت غالبیت پوشش جنگل در

جدول ۳. مقایسه شاخص بزرگ‌ترین لکه شهرستان‌های استان مازندران در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۶۳ (درصد)

شهرستان	آمل	بابل	بابلسر	بهشهر	تنکابن	جویبار	چالوس	رامسر	ساری	سوادکوه	عباس آباد	فریدون کنار	قائم شهر	گلرگاه	محمودآباد	نکا	نور	نوشهر
۱۳۸۹	مرتع	کشاورزی	کشاورزی	کشاورزی	جنگل	کشاورزی	مرتع	مرتع	جنگل	جنگل	جنگل	کشاورزی	کشاورزی	جنگل	کشاورزی	جنگل	مرتع	جنگل
LPI	۵۶/۱	۳۸/۵	۸۲/۲	۲۸/۰	۴۲/۱	۸۶/۸	۳۴/۸	۴۶/۷	۵۰/۰	۵۷/۶	۶۵/۱	۸۴/۹	۷۴/۴	۴۰/۴	۸۶/۷	۵۹/۳	۵۰/۶	۳۱/۴
۱۳۶۳	مرتع	کشاورزی	کشاورزی	جنگل	جنگل	کشاورزی	مرتع	جنگل	جنگل	جنگل	جنگل	کشاورزی	کشاورزی	جنگل	کشاورزی	جنگل	مرتع	جنگل
LPI	۵۴/۱	۳۹/۳	۸۷/۹	۴۱/۱	۴۷/۰	۹۰/۷	۳۰/۲	۴۳/۱	۵۸/۶	۷۱/۴	۶۶/۹	۹۰/۶	۷۵/۲	۴۰/۴	۸۶/۹	۷۶/۸	۴۹/۵	۳۳/۶



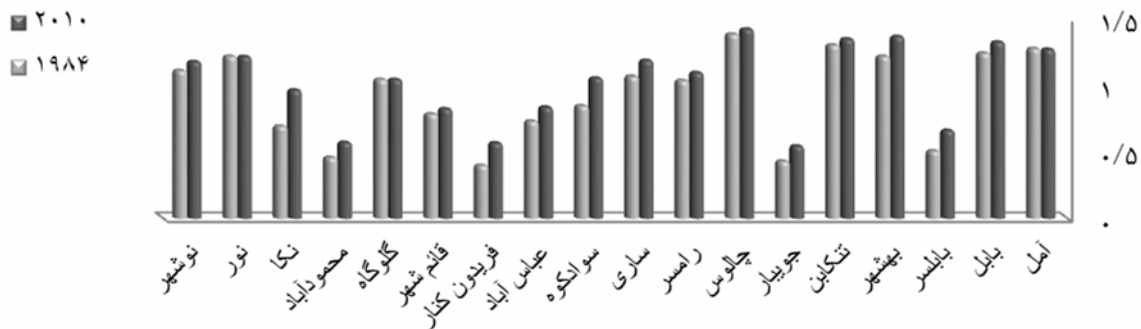
شکل ۹. مقایسه سنجه PAFRAC پوشش‌های استان مازندران در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۶۳



شکل ۱۰. مقایسه میانگین سنجه PAFRAC پوشش‌های استان مازندران در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۶۳

عباس آباد (۰/۰۱۴) نمایش داده است (شکل ۱۰). شاخص تنوع شانون در سطح سیما برای کل استان بررسی شد، مقدار این سنجه برای سال ۱۳۶۳ برابر ۱/۲۸ و در سال ۱۳۸۹ برابر با ۱/۳۴ بوده است. هم‌چنین مقدار این سنجه در

افزایش سنجه در پوشش رودخانه و مسکونی (۰/۰۱ و ۰/۰۰۷) بوده است (شکل ۹). مقایسه میانگین مقدار این سنجه کاهش را در شهرستان‌های فریدون کنار، بابلسر، نکا، بابل و قائم شهر (به ترتیب ۰/۰۷۱، ۰/۰۵۵، ۰/۰۴۸ و ۰/۰۳۵) و افزایش آن در



شکل ۱۱. مقایسه شاخص تنوع شهرستان‌های استان مازندران در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۳

اغلب شهرستان‌ها همراه با رشد بوده است (شکل ۱۱).

بحث و نتیجه‌گیری

از آنجا که سیمای سرزمین دارای الگوی پیچیده‌ای است، نیاز به سنج‌های متنوعی جهت کمی‌سازی و تحلیل این الگوها می‌باشد. استفاده از رویکردهای آماری جهت کاهش ورودی‌های (سنج‌ها) مشابه قادر است بررسی تغییرات را سرعت بخشد و تحلیل را هدفمند نماید (۲۶ و ۱۷). در مطالعه حاضر از روش تحلیل مولفه‌های اصلی جهت بررسی ارتباطات میان سنج‌ها استفاده شد، نتایج حاکی آنست که سنج‌ها دارای هم پوشانی بالایی هستند و از میان ۲۸ سنج استخراج شده، تنها پنج سنج مستقل بوده و برای امر تفسیر تغییرات مناسبتر هستند. کارایی سنج‌هایی مانند تعداد، مساحت، تراکم حاشیه، چولیدگی ابعادلکه، شاخص شکل و شاخص تنوع شانون جهت تحلیل و بررسی تغییرات کاربری سرزمین در مطالعات متعددی اثبات شده است (۱۳، ۲۴ و ۲۳).

مطابق مفاهیم ارائه شده توسط بورل و باثودری (۱۱) لکه‌ها از عناصر اصلی سیمای سرزمین می‌باشند (عناصر شامل لکه، کریدر و پس‌زمینه) و لکه‌های موجود در سیما را در دو دسته اصلی شامل لکه‌های با منشأ طبیعی و لکه‌های انسان ساخت (معرفی شده و تغییر یافته) تقسیم می‌شوند. در مطالعه حاضر نیز می‌توان لکه‌های جنگل، تالاب، رودخانه را به‌عنوان لکه‌های طبیعی و لکه‌های توسعه مسکونی، کشاورزی و جاده را در دسته لکه‌های انسان ساخت قلمداد نمود. تعدد و تنوع لکه‌های

طبیعی در سیما موجب ارتقاء روابط اکوسیستمی و افزایش تنوع بیولوژیکی می‌گردد؛ این درحالی است که افزایش لکه‌های انسان ساخت نمایه‌ای از تخریب سیمای سرزمین قلمداد می‌شود (۱۰). نتایج تحقیق حاضر حاکی از افزایش تعداد لکه‌های انسان ساخت و کاهش تعداد لکه‌های طبیعی بوده است، به طوری که در طول دوره ۲۶ ساله تعداد لکه‌های توسعه مسکونی به میزان ۲۵/۴۶ و جاده‌ها ۱۵/۶۳ درصد رشد داشته‌اند؛ این در حالی است که کاهش شدید در تعداد لکه‌های جنگل (۳۳/۵۳ درصد)، منابع آب سطحی (۲۳/۹۳ درصد) مشاهده شده است. بنابراین کاهش تعداد لکه‌ها طبیعی (به‌ویژه جنگلی) موجب افت شمار لکه‌ها در شهرستان‌های آمل، بهشهر، تنکابن، چالوس، رامسر، ساری، سوادکوه، نور و نوشهر شده است. از سوی دیگر در شرایطی که تعداد لکه‌های انسان ساخت زیاد شود، تراکم حاشیه این لکه‌ها (نسبت محیط به مساحت) افزوده شده و مرز مشترک بیشتری با باقی مانده لکه‌های طبیعی خواهند داشت. این امر منجر به نفوذ بیشتر و افزایش تخریب پوشش‌های طبیعی در این شهرستان‌ها خواهد شد (۱۶). بررسی نتایج حاصل از LPI که بیان‌کننده میزان غالبیت لکه‌ها (کاربری‌ها) در سیما است، اگر چه در هر دو دوره لکه‌های جنگلی را به‌عنوان پوشش غالب استان نمایش داده است اما میزان این شاخص برای سال ۱۳۸۹ با کاهش همراه بوده است. هم‌چنین در اغلب شهرستان‌ها میزان LPI جنگل با افت همراه بوده (ساری، سوادکوه، تنکابن، عباس آباد، نکا و نوشهر) و حتی در شهرستان‌های رامسر و بهشهر غالبیت

هندسی منظم این لکه‌ها منجر به افزایش سنجه PAFRAC برای این کاربری در طول دوره مطالعه شده است.

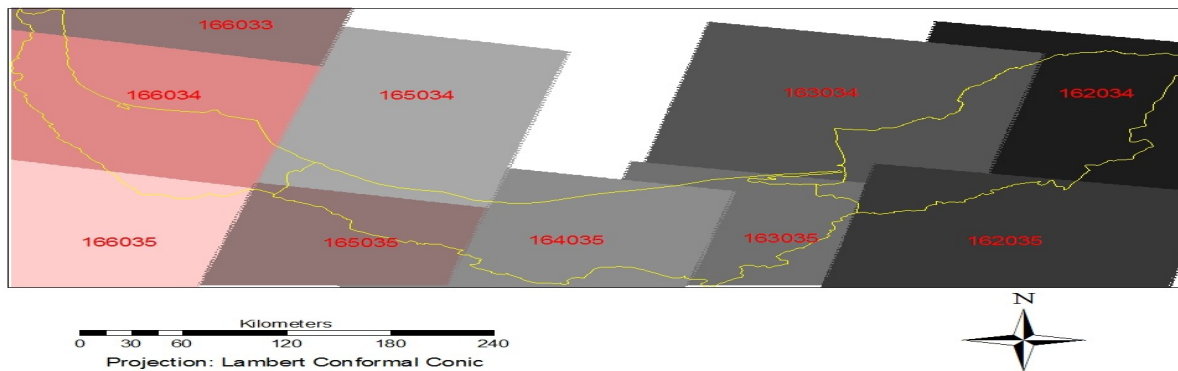
از آنجا که شاخص تنوع شانون حساسیت زیادی نسبت به لکه‌های نادر دارد (۹)، افزایش شاخص شانون، افزایش ناهمگونی در لکه‌های کاربری منطقه مطالعاتی را بازگو می‌نماید. اما به سبب این‌که نتایج تحقیق افزایش را در کاربری‌های انسان ساخت برآورد نمود، افزایش شاخص شانون را نمی‌توان به‌عنوان نمایه اکولوژیکی خوشایند به‌ویژه در شهرستان‌های نکا، سوادکوه، ساری، فریدون کنار و بابلسر قلمداد کرد. از طرفی افزایش تعداد و وسعت جاده‌ها علاوه بر این‌که در فاز ساختمانی آسیب‌های جدی به کاربری طبیعی منطقه وارد می‌نمایند، در فاز بهره‌برداری نیز صدمات قابل توجهی خواهند داشت. در تأیید این امر نارومالنی و همکاران (۲۰) بیان داشتند که میان دسترسی (نفوذ) انسان به سرزمین و نرخ تغییر و تخریب آن رابطه مستقیم وجود دارد و با افزایش جاده‌ها روند تغییرات با سرعت بیشتری پیش خواهد رفت.

کرمی و فقهی (۹) سنجه‌های سیمای سرزمین را در استان کهگیلویه و بویراحمد بررسی نمودند، نتایج آنها نشان‌دهنده گرایش سیمای این استان به ساختار ریزدانه‌ای است (ساختار ریزانه‌ای از تعداد زیاد لکه در ابعاد کوچک شکل می‌گیرد)، مشابه با این در تحقیق حاضر نیز سیمای استان مازندران گرایش به این ساختار داشته و رشد تعداد لکه‌های انسان ساخت در دوره مطالعه شده مؤید این امر است. استان مازندران نیازمند توجه ویژه در مدیریت پوشش‌های جنگلی به‌خصوص در شهرستان‌های آمل، ساری، چالوس، عباس‌آباد و نوشهر که دارای بیشترین مقادیر تخریب و توسعه‌اند دارند.

حذف و یا جابه‌جایی لکه‌ها بدون در نظر گرفتن اصول حاکم بر بوم‌شناسی سیمای سرزمین قادر است ساختار و تبادلات اکوسیستمی حاکم بر منطقه را تغییر دهد و چرخه مواد و انرژی را درون آن مختل سازد (۱۰). باید به این نکته توجه داشت که در رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین تنها موجودیت (مساحت) لکه‌ها شرط کافی نیست و علاوه بر این نظم فضایی

به مرتع و کشاورزی تغییر نموده است. قابل ذکر است سیمای سرزمین با میانگین اندازه لکه کوچک‌تر، تخریب شده‌تر تلقی می‌شود (۸). از سوی دیگر افزایش تعداد لکه‌های انسان ساز منجر به کاهش پیوستگی و سرایت بین پوشش‌های طبیعی می‌گردد (۱۸). مطابق با مطالعه انجام شده توسط طالبی امیری و همکاران (۸) در حوزه نکا واقع در استان مازندران، پس از تغییر کاربری جنگل به اراضی کشاورزی این زمین‌ها به‌علت پایین بودن پتانسیل تولید بعد از یک یا چند دوره کشت دچار افت بازدهی می‌شوند و در نتیجه مقرون به صرفه نیستند و رها خواهند شد. پس از رهاسازی اراضی کشاورزی زمین‌های بدون پوشش رها شده و مراتع جایگزین آنها می‌شوند. در دوره مطالعه شده رشد ۱۵ درصدی در مراتع منطقه مشاهده گردید که می‌توان علت امر را به این فرآیند ارتباط داد. قابل ذکر است که این فرآیند همچنان در منطقه ادامه دارد، در صورت ادامه روند کنونی که طی آن جنگل‌ها با نرخ تخریب معادل ۶۲۶۴ هکتار در سال رو به کاهش هستند و در صورت عدم اعمال برنامه‌های مناسب در زمینه حفاظت، بازگردانی و احیا، طی ۷۰ سال آینده وسعت این جنگل‌های ارزشمند به کمتر نصف موجودی فعلی خواهد رسید.

کاهش ۳۱ درصدی تعداد لکه‌های کشاورزی را می‌توان ناشی از هضم لکه‌های جنگلی موجود در لابه لای آنها به سبب افزایش وسعت و یکپارچه سازی اراضی کشاورزی، در نتیجه کاهش تعداد و افزایش وسعت در لکه‌های کشاورزی قلمداد نمود. در تصدیق این امر می‌توان به نتایج حاصل از سنجه PAFRAC اشاره نمود که تمایل پوشش‌های جنگل و کشاورزی به سمت اشکال منظم (مربعی) بوده است. از دیگر تغییرات قابل توجه در منطقه افزایش در وسعت منابع آب سطحی منطقه مطالعاتی در طی سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۹ می‌باشد. این امر را می‌تواند به سبب احداث سد‌ها (سد شهید رجایی ۱۳۷۵، شیاده بابل ۱۳۷۸، سنبل رود ۱۳۷۷، صلاح‌الدین کلا ۱۳۷۲، الیمات ۱۳۷۳، فریم صحرا ۱۳۷۹ و نظیر آن) و نیز راه‌اندازی استخرهای پرورش ماهی طی سال‌های اخیر دانست که شکل



شکل ۹. تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست و شماره مسیر (Path) و ردیف (Row) آنها که در این پژوهش استفاده شده‌اند.

اقدام به طبقه‌بندی کاربری و پوشش سرزمین منطقه گردید. به طور کلی در مطالعه حاضر برای طبقه‌بندی کاربری اراضی در سال ۱۳۸۹ (۲۰۱۰) از منابع زیرکمک گرفته شد:

- تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست
- تصاویر طبقه‌بندی شده سنجنده مودیس سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ در سه طبقه بایر، مرتع و کشاورزی و جنگل
- تصاویر ۱۰ ساله تراکم پوشش گیاهی متعلق به ماهواره اسپات
- طبقه‌بندی قبلی منطقه براساس ماهواره لندست
- طبقه‌بندی جهانی منطقه براساس ماهواره Terra و سنجنده مودیس روی آن
- طبقه‌بندی چشمی منطقه با استفاده از تصاویر Google Earth
- طبقه‌بندی جنگل‌ها و مراتع شمال توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور

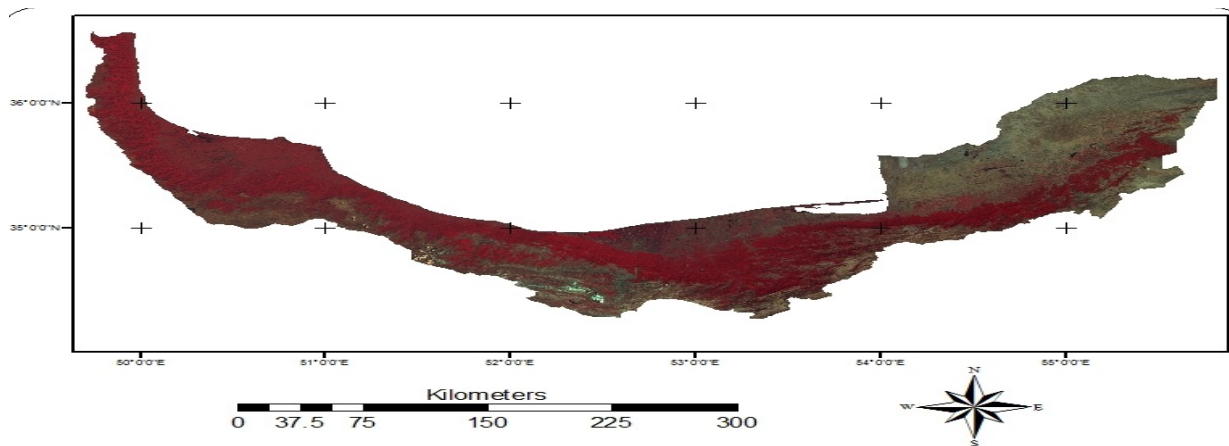
برای اینکار، نخست تصاویر ماهواره لندست که محدوده مطالعاتی در شمال را پوشش میداد در ۱۰ شیت یا تصویر کامل دانلود گردید (شکل ۹). سپس، تصاویر خوانده شده و سیستم مختصات آنها به سیستم Lambert Conformal Conic درآمد. این-کار برای موزاییک سازی تصاویر و برش آنها برای محدوده مطالعه ضروری بود (شکل ۱۰).

در مرحله بعد، یک فرآیند ترکیبی چند مرحله‌ای به کار گرفته شد تا این تصاویر طبقه‌بندی گردند. این فرآیند شامل موارد زیر بود:

و چیدمان بهینه لکه‌ها نسبت به هم نیز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای مثال لکه‌های کوچک جنگلی موجود در بین لکه‌های بزرگ و یکپارچه به‌عنوان جاپاهایی برای تبادلات اکولوژیکی محسوب می‌گردند، بنابراین حذف این قطعات علاوه بر این‌که منجر به کاهش مساحت لکه‌های جنگلی می‌شود، امکان برقراری اتصال میان سایر لکه‌ها (زیستگاه‌ها) بزرگ را کاهش می‌دهد و منجر به دور افتادگی (Isolation) لکه‌های طبیعی از هم خواهد شد. از آنجایی که درک تغییرات مکانی و زمانی الگوی سیمای سرزمین برای پیش‌بینی پروژه‌هایی با اهداف مختلف مانند ارزیابی و آمایش سرزمین، مدیریت منابع و حفاظت تنوع زیستی لازم است و با در نظر داشتن توانایی بالای سنجه‌ها در کمی‌سازی سیمای سرزمین پیشنهاد می‌شود از نتایج حاصل از این گونه مطالعات در برنامه‌ریزی و مدیریت در سطوح محلی، منطقه‌ای و ملی به‌ویژه در مناطق با نرخ تغییر بالا (مانند استان مازندران) استفاده گردد.

پیوست: گزیده از فرآیندها تولید نقشه پوشش سرزمین طبقه‌بندی پوشش و کاربری اراضی

اطلاعات درست زیر بنای هرفعالیت علمی و مدیریت سرزمین هستند. در خصوص طبقه‌بندی پوشش و کاربری اراضی منابع مختلفی موجود بوده‌اند که همگی مورد بررسی و توجه قرار گرفته‌اند، اما از آنجایی که همگی دارای خطا بوده‌اند و دقت مورد نظر در این پژوهش را برآورده نمی‌کردند، مجدداً

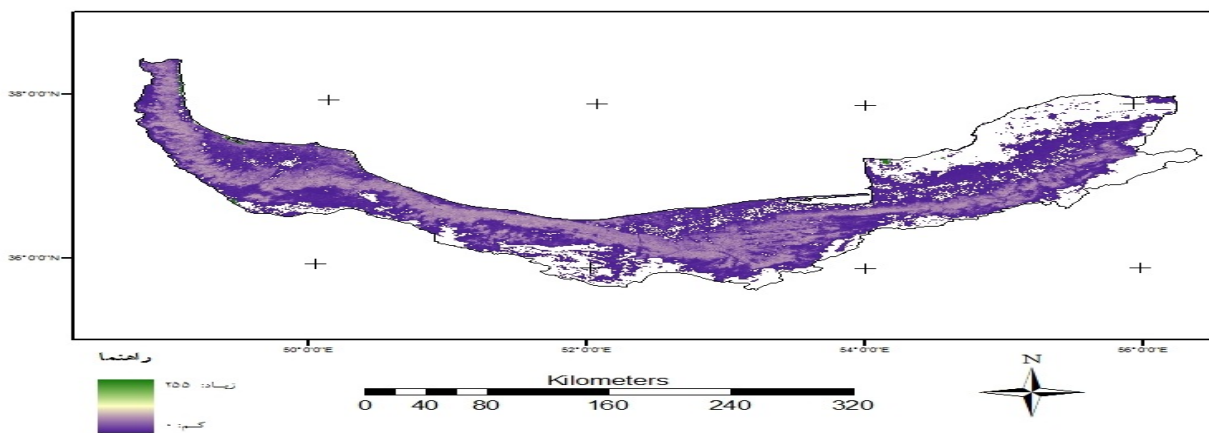


شکل ۱۰. تصویر موزاییک رنگ مجازی منطقه مطالعاتی

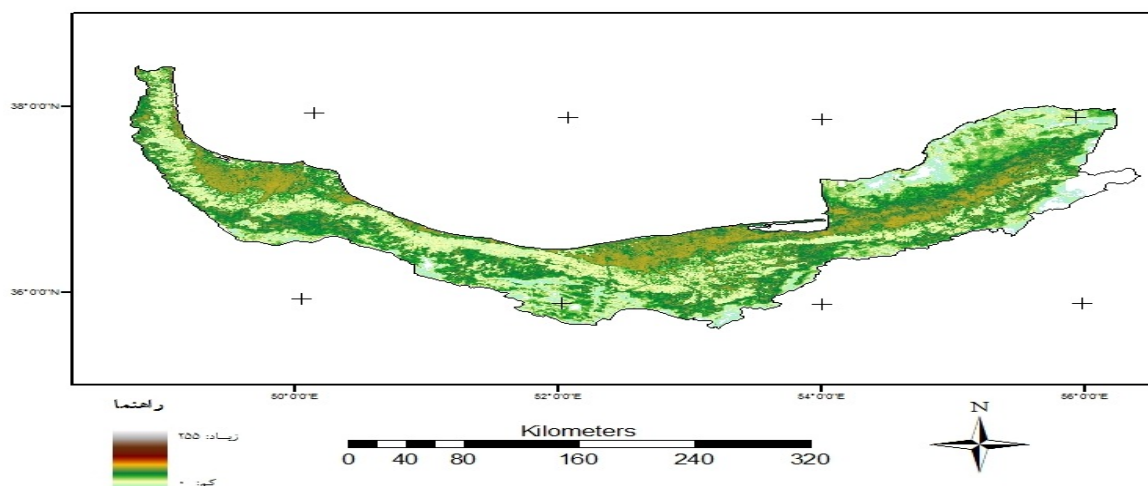
م) مقایسه باتصاویر تراکم جنگل و مرتع و بایر ماهواره Terra و سنجنده Modis آن
این فرآیند وقت گیر، شامل شناسایی چشمی تمامی شهرها و روستاها و پلی گون بندی آنها (بیش از ۱۰۰۰ پلی گون) روی تصاویر گوگل، جداسازی آنها روی باندهای تصاویر ماهواره لندست، طبقه بندی نظارت نشده آنها در نرم افزار Erdas Imagine (به دلیل توانایی بهتر آن نسبت به سایر نرم افزارها)، مقایسه چشمی طبقات با نقشه رنگ مجازی شهرها، و انتخاب طبقات معرف شهرها و روستاها و مقایسه آنها روی تصویر رنگ مجازی بود.

در بخش دیگر این فرآیند، مرز کلی جنگل‌ها به شکل چشمی جدا شدند و در معرض طبقه بندی نظارت شده و نظارت نشده و نیز استفاده از تحلیل Tasseled Cap قرار گرفتند و جنگل‌ها به شکل دقیق جدا شدند و روی تصاویر رنگ مجازی مورد بررسی و تصحیح نهایی قرار گرفتند.
مرز مناطق کشاورزی و مراتع که به سختی قابل جدا شدن بودند با استفاده از منابع ذکر شده در بالا و تفسیر چشمی و استفاده از قواعد حاکم بر مکان‌یابی مناطق کشاورزی تعیین شدند و روی تصاویر رنگ مجازی تدقیق گردیدند. نمونه‌ای از این قواعد این است که دره‌های منطقه هنگامی که پوشش گیاهی دارند و این پوشش شکل هندسی نسبتاً مشخص دارد، به احتمال زیاد مناطق کشاورزی هستند.

الف) طبقه بندی اتوماتیک جنگل‌ها
ب) طبقه بندی جداگانه شهرها به روش Isocluster در نرم افزار Erdas Imagine و مقایسه چشمی طبقات باتصویر رنگ مجازی شهرها
ج) طبقه بندی جداگانه روستاها به روش Isocluster در نرم افزار Erdas Imagine و مقایسه چشمی طبقات با تصویر رنگ مجازی روستاها
د) طبقه بندی چشمی آب‌ها و کمک گرفتن از الگوریتم Tasseled Cap و نیز لایه نسبت باند ۵ به ۲
ه) طبقه بندی جداگانه مرز مناطق کشاورزی و کمک گرفتن از تصویر رنگ مجازی
و) بررسی چشمی و اصلاح آخرین لایه جاده‌ها بر روی تصاویر Google Earth و تصاویر رنگ مجازی سال ۲۰۱۰
ز) بررسی چشمی و اصلاح آخرین لایه رودخانه‌ها یاصلی بر روی Google Earth و تصاویر رنگ مجازی سال ۲۰۱۰
ح) بررسی چشمی و جداسازی لکه‌های درختی و باغات روی تصاویر Google Earth و تصاویر رنگ مجازی سال ۲۰۱۰
ط) بررسی چشمی و جداسازی مرز تالاب‌ها و مصب رودها
ی) مقایسه طبقات با طبقه بندی مودیس (IGBP) و انجام اصلاحات
ک) مقایسه طبقات با طبقه بندی جنگل‌ها و مراتع و انجام اصلاحات
ل) مقایسه باتصاویر تراکم پوشش گیاهی ماهانه ماهواره اسپات با دقت ۱۰۰۰ متر



شکل ۱۱. تصویر تراکم پوشش جنگلی سنجنده مودیس

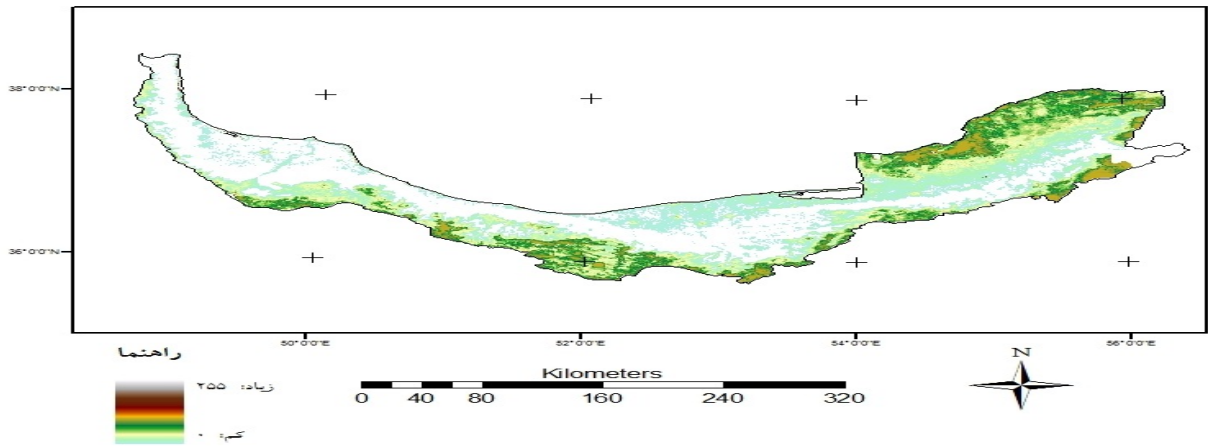


شکل ۱۲. تصویر تراکم پوشش کشاورزی و مرتع سنجنده مودیس

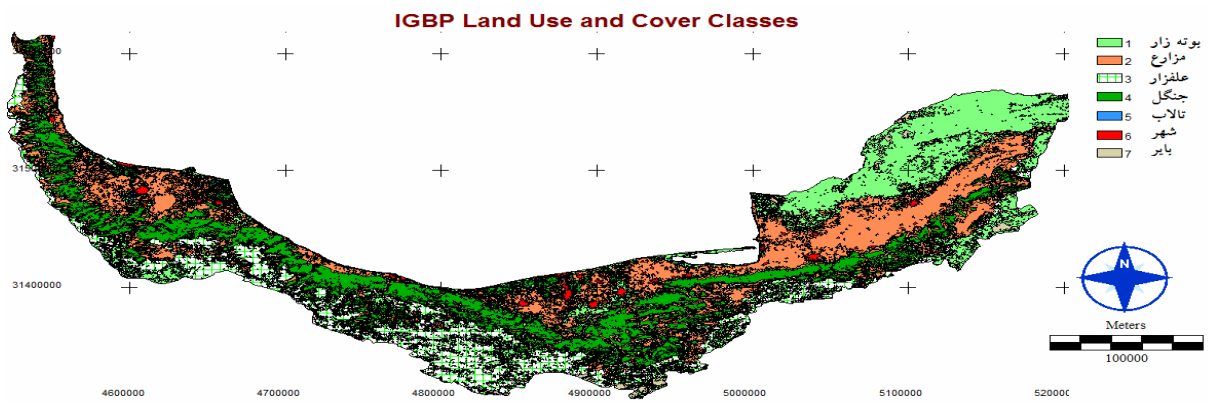
روی باندهای قرمز و مادون قرمز میانی به استفاده شدند تا مناطق بایر به دست آیند. هم‌چنین، تصاویر ۱۰ ساله ماهواره اسپات که برای هر ماه تراکم پوشش گیاهی رانشان می‌دادند نیز در خصوص جداسازی مناطق بایر به کار گرفته شدند. از ترکیب این لایه‌ها یک نقشه نیمه نهایی به دست آمد. لایه رودخانه‌ها نیز قبلاً روی تصاویر رنگ مجازی و تصاویر Google Earth اصلاح گردیده و برای استفاده نهایی آماده شدند.

برای تصحیح و تدقیق این نقشه از طبقه‌بندی جهانی تصاویر ماهواره مودیس (IGBP) (شکل ۱۴) و نیز طبقه‌بندی جنگل‌ها مراتع توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع (شکل ۱۵) استفاده شد و

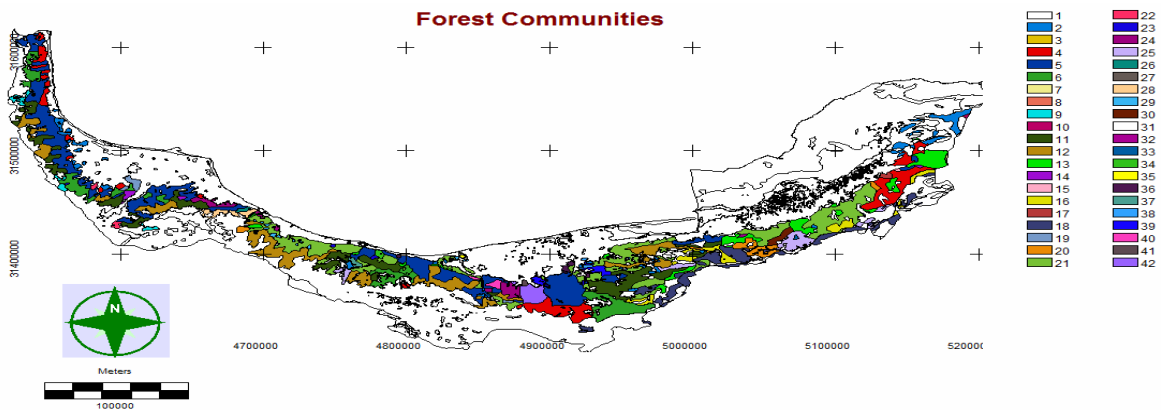
برای جداسازی آب‌ها از تحلیل Tasseled Cap و تقسیم باند ۵ سنجنده TM ماهواره لندست به باند ۲ و باز طبقه‌بندی آن به مناطق با ارزش زیر ۱ به عنوان آب و بالاتر از ۱ به عنوان غیر آب و تصحیح آن با نتایج تحلیل Tasseled Cap و تفسیر چشمی استفاده شد. لکه‌های درختی و باغ‌ها نیز به شکل چشمی روی تصویر جدا شدند و جاده‌ها نیز روی تصاویر GoogleEarth و نیز تصاویر رنگ مجازی منطقه مورد مرور چشمی قرار گرفتند و اصلاح گردیدند. تصاویر یک‌سال جمع‌بندی ماهواره مودیس در خصوص مناطق بایر، مراتع، کشاورزی و جنگل‌ها (اشکال ۱۱ تا ۱۳) به همراه تصاویر ماهواره لندست و تحلیل NDVI



شکل ۱۳. تصویر مناطق بایر سنجنده مودیس

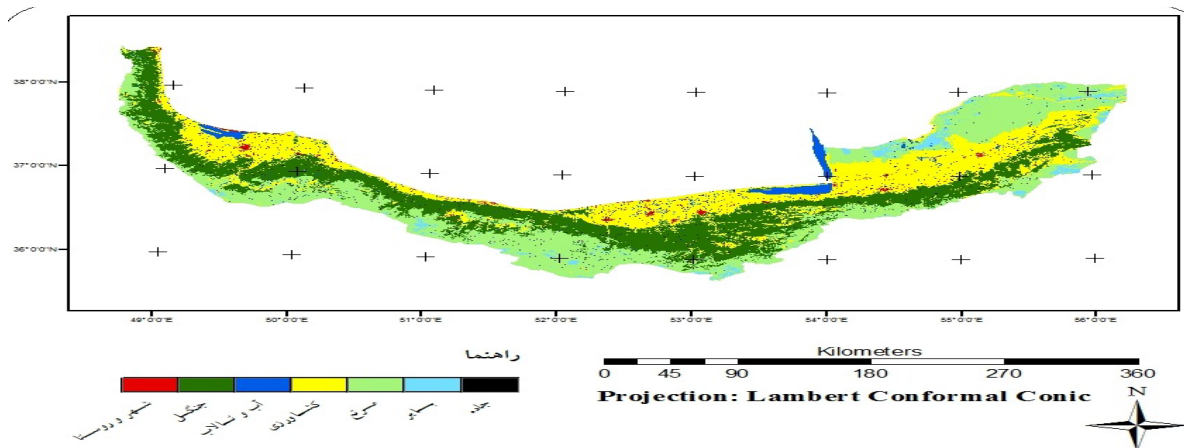


شکل ۱۴. تصویر طبقات کاربردی و پوشش اراضی ساده شده جهانی IGBP



- 1-non forest, 2-Unknown, 3-Coryllus avelana, 4-Carpinus betulus-Quercus castaneifolia, 5-Carpinus betulus -Parrotia persica, 6-Carpinus betulus -Fagus orientalis, 7-Juniperus excelsa - Acer monspessula, 8-Juniperus excelsa - Pistacia vera, 9-Fagus orientalis - Carpinus orientalis,10-Pyrus sp - Crataegus sp,11-Fagus orientalis - Carpinus betulus,12-Fagus orientalis, 13=Quercus castaneifolia - Carpinus betulus, 14=Carpinus betulus - Acer velutinum, 15=Quercus castaneifolia - Zelkova carpiniifolia, 16=Quercus castaneifolia - Carpinus orientalis, 17=Carpinus betulus -Zelkova carpiniifolia, 18-Juniperus excelsa,19=Carpinus betulus - Alnus sp, 20=Carpinus betulus - Carpinus orientalis, 21=Carpinus betulus, 22=Carpinus orientalis, 23=Buxus hyrcana,24=Carpinus betulus - Diospyrus lotus, 25=Carpinus orientalis - Quercus castaneifolia, 26=Acer velutinum - Diospyrus lotus, 27-Diospyrus lotus - Gleditschia caspica,28=Quercus castaneifolia - Parrotia persica,29-Alnus sp, 30=Carpinus betulus -Tilia begonifolia,31=Quercus macranthera - Carpinus orientalis,32=Parrotia persica - Acer velutinum,33=Thuja orientalis, 34=Parrotia persica,35-Alnus sp-Parrotia persica,36=Parrotia persica, 37=Cupressus sempervirens,38-Zelkova carpiniifolia, 39=Parrotia persica - Carpinus betulus,40=Parrotia persica - Gleditschia caspica,41-Diospyrus lotus,42=Gleditschia caspica - Diospyrus lotus

شکل ۱۵. تصویر جوامع گیاهی جنگل های شمال ایران (منبع: سازمان جنگل ها- با دستکاری و تنظیم)



شکل ۱۶. نقشه روزآمد پوشش و کاربری اراضی منطقه مطالعاتی برای سال ۲۰۱۰.

طبقه‌بندی به شکل رسمی موجود نبود، اما براساس نحوه کار و دقت به کار رفته، این نقشه به خصوص بسیار دقیق است. همه مراحل یاد شده دوباره برای تصاویر ماهواره لندست متعلق به سال‌های ۱۹۸۴، ۱۹۸۵ و ۱۹۸۶ انجام گردید. نبود تصاویر بدون ابر با کیفیت بالا برای بخش‌هایی از منطقه مطالعاتی در سال ۱۹۸۴ باعث گردید از تصاویر سال‌های ۱۹۸۵ و ۱۹۸۶ نیز استفاده شود.

همه این لایه‌های جداگانه با هم ترکیب گردیدند تا یک لایه نهایی کاربری و پوشش اراضی به روز شده برای سال ۲۰۱۰ فراهم شود. براساس اطلاعات ما، این نقشه دقیق‌ترین و به روزترین نقشه موجود در ایران است (شکل ۱۶). این نقشه به خصوص از نظر پراکنش جنگل‌ها، شهرها و روستاها دقت خوبی دارد و نیز در مورد کشاورزی صحت بالایی دارد. از آنجا که همه منابع موجود جهت این طبقه‌بندی به کار گرفته شده‌اند، به دلیل نداشتن تصاویر مستقل امکان ارزیابی درستی

منابع مورد استفاده

۱. آذری دهکردی، ف. و ن. خزاعی. ۱۳۸۶. بازگردانی جنگل‌های آبخیز سفارود با استفاده از رهیافت اکولوژی سیمای سرزمین. علوم محیطی ۴(۴):۳۲-۲۱.
۲. آذری دهکردی، ف. و ف. فتحی. ۱۳۸۸. بررسی رابطه بین توسعه شبکه راه‌ها و تخریب سیمای سرزمین اطراف تالاب انزلی. تالاب ۱۱(۱):۱۷-۳.
۳. آذری دهکردی، ف. ۱۳۸۶. اصول اکولوژی سیمای سرزمین در معماری سیمای سرزمین و برنامه‌ریزی کاربردی زمین. (ترجمه)، اتحاد-ادبستان، تهران. ص ۹۶.
۴. پریور، پ. ا. ر. یآوری، ش. فریادی و ا. ستوده. ۱۳۸۸. تحلیل ساختار اکولوژیک سیمای سرزمین شهر تهران برای تدوین راهکارهای ارتقای کیفیت محیط‌زیست. محیط‌شناسی ۳۵(۵۱):۶۵-۴۵.
۵. خزاعی، ن. و ف. آذری دهکردی. ۱۳۸۷. تحلیل توأم تخریب سیمای سرزمین در حوزه آبخیز سفیدرود با استفاده از سنجش‌های اکولوژیکی سیمای سرزمین. علوم محیطی ۶(۲):۶۴-۵۵.
۶. سلاجقه، ع.، س. رضوی‌زاده، ن. خراسانی، م. حمیدی فر و س. سلاجقه. ۱۳۸۹. تغییرات کاربری اراضی و آثار آن بر کیفیت آب رودخانه (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کرخه). محیط‌شناسی ۳۷(۵۸):۸۶-۸۱.

۷. سلمان ماهینی، ع. ح. فضلی، ر. دریانبرد، ح. کامیاب، ف. فندرسکی، ل. داور، ح. آذرمدل، الف. مهری و و. خیرآبادی. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی و تعیین درجه حساسیت اکولوژیکی نواحی ساحلی، سازمان حفات محیط‌زیست، ۲۳۱ص.
۸. طالبی امیری، ش.، ف. آذری دهکردی، س. ح. صادقی و س. ر. صوف باف. ۱۳۸۸. تحلیل تخریب سیمای سرزمین حوزه آبخیز نکا با استفاده از سنجه‌های اکولوژی سیمای سرزمین. علوم محیطی ۶(۳): ۱۴۴-۱۳۳.
۹. کرمی، آ. و ج. فقیهی. ۱۳۹۰. بررسی کمی سنجه‌های سیمای سرزمین در حفاظت از الگوی کاربری اراضی پایدار (مطالعه موردی استان کهگیلویه و بویراحمد). محیط‌شناسی ۳۷(۶۰): ۷۹-۸۸.
10. Botequilha, A. and J. Ahern. 2002. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning* 59(2): 65-93.
11. Burel, F. and J. Baudry. 2003. Landscape Ecology: Concepts, Methods, and Applications: Science Pub. Incorporated. United States of Amrica.
12. De Barros, S. F., C. A. Vettorazzi, D. M. Theobald and M. V. R. Ballester. 2005. Landscape dynamics of Amazonian deforestation between 1984 and 2002 in central Rondônia, Brazil: assessment and future scenarios. *Forest Ecology and Management* 204(1): 69-85.
13. Deng, J. S., K. Wang, Y. Hong and J. G. Qi. 2009. Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization. *Landscape and Urban Planning* 92(3-4): 187-198.
14. Forman, R. and Godron. M. 1986. Landscape Ecology (619 p.). New York, Chichester.
15. Herold, M., H. Couclelis and K. C. Clarke. 2005. The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. *Computers. Environment and Urban Systems* 29(4): 369-399.
16. Herold, M., J. Scepan and K. C. Clarke. 2002. The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. *Environment and Planning* 34(8): 1443-1458.
17. Lausch, A. and F. Herzog. 2002. Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological indicators* 2(1): 3-15.
18. McGarigal, K. and B. J. Marks. 1995. Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
19. Nagendra, H. 2000. Estimating landscape pattern from supervised and unsupervised classification: studies in the Western Ghats, India. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 33(7): 955-961.
20. Narumalani, S., D. R. Mishra and R.G. Rothwell. 2004. Change detection and landscape metrics for inferring anthropogenic processes in the greater EFMO area. *Remote Sensing of Environment* 91(3-4): 478-489.
21. Raines, G. L. 2002. Description and comparison of geologic maps with FRAGSTATS—a spatial statistics program. *Computers & Geosciences* 28(2): 169-177.
22. Riitters, K. H., R. O'Neill, C. Hunsaker, J.D. Wickham, D. Yankee, S. Timmins, K. Jones and B. Jackson. 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape ecology* 10(1): 23-39.
23. Schindler, S., K. Poirazidis and T. Wrbka. 2008. Towards a core set of landscape metrics for biodiversity assessments: A case study from Dardia National Park, Greece. *Ecological indicators* 8(5): 502-514.
24. Seto. K. C. and M. Fragkias. 2005. Quantifying spatiotemporal patterns of urban land-use change in four cities of China with time series landscape metrics. *Landscape Ecology* 20(7): 871-888.
25. Uemaa, E., U. Mander and R. Marja. 2013. Trends in the use of landscape spatial metrics as landscape indicators: A review. *Ecological Indicators* 28(0): 100-106.
26. Wickham, J. D., R. V. O'Neill, K. H. Riitters, T. G. Wade and K. B. Jones. 1997. Sensitivity of selected landscape pattern metrics to land-cover misclassification and differences in land-cover composition. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 63(4): 397-401.