

Analysis of Changes in the Scale of the Watershed Based on the Metrics and Spatial Patterns of the Landscape (Case Study: Anzali Watershed)

Mohammad Panahandeh^{1*}, Sadaf Feyzi²

1- Assistant Professor, Academic Center for Education, Culture, and Research (ACECR), Environmental Research Institute, Rasht, Iran

(*Corresponding Author Email: m1344_pannahandeh@yahoo.com)

2- Research Expert, Academic Center for Education, Culture, and Research (ACECR), Environmental Research Institute, Rasht, Iran

Extended abstract

Introduction: Human beings have extremely changed the shape, pattern, and function of nearly all landscapes. The cumulative effects of human activities on the environment have been the impetus for extensive research aimed at identifying guiding metrics to assess the quality of the environment in terms of planning, monitoring, and resource management purposes. In order to control and restrict human impacts scientists, planners, and natural resource managers are looking for holistic approaches to interpret the relation between land use and the quality of the environment. In this regard habitat fragmentation, alteration of the hydrologic system of the watershed, and water quality have attracted the most attention. Landscapes have been studied at different scales and various metrics have been introduced to measure the quality of the environment. In the past years, ecological recognition has introduced a big picture based on the main pattern and landscape ecology principles. The foundation of this big picture is based on the idea that there are indispensable patterns in the landscapes that if they are maintained the important functions are protected. In this regard, some of the ecosystem's attributes are not saved and important natural assets will be protected. A landscape is a mosaic including a mix of ecosystems and land uses that repeat in a similar form. The mosaic pattern of landscape or spatial arrangement of landscape elements determines the movement of material, energy, organisms, and humans between local ecosystems. Also the movement of animals, water, nutrient, and human determine the arrangement of mosaic patterns. Landscape ecologists identified five main ways in which human alter landscape spatially: perforation, dissection, fragmentation, shrinkage, and attrition. These changes result in different spatial patterning of landscape elements that can alter the ecological process and population distribution of plants and animals. So, the purpose of this study was to investigate the landscape pattern change of Anzali watershed in the north of Iran.

Methodology:

In this study, Landsat satellite imagery for 1994, 2008, and 2018 was used to determine land cover/land use using remote sensing. For landscape analysis, metrics of a number of patches (NP), class area (CA), patch density (PD), percentage of land (PLAND), and large patch index (LPI) were used. Based on how to change landscape metrics, landscape pattern change was examined through patterns of attrition, aggregation, creation, and dissection.

Discussion:

Findings indicated a 10 percent decrease in forest cover and a 5.8 percent increase in agricultural land use. Also, a large patch index decreased for forest cover. According to landscape pattern change, Attrition was a dominated pattern that occurred mainly in forest cover. The second pattern was Creation that occurred for agriculture land use. Findings indicated decreasing in Anzali watershed integrity and connectivity of the forest patches as the most important patches in the watershed. Forest patches decreased in the area through attrition, aggregation, and dissection. In contrast, agriculture land use developed through aggregation and direct convert of isolated natural patches.

Conclusion:

The pattern of land cover changes in the Anzali watershed indicated a shift in the balance towards the development of disturbed land cover, especially agriculture. However, forest cover as the most important land cover in the area has not been fragmented yet (simultaneous increase in the number of patches and drastic reduction of the area). The reason for this is based on the largest patch index of forest class. One of the forest patches alone, covering an area of 2071/34 hectares in 2018. Patterns of attrition, aggregation, creation, and dissection have provided the basis for the occurrence of disruption in forest cover. In this case, forest cover loses many of its capabilities, especially habitat services, water conservation, and decreasing soil erosion.

Keywords: Metrics, Attrition, Aggregation, Dissection, Land Cover, Land Use.



جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

سال ۳۱، پیاپی ۷۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹

وصول: ۱۳۹۸/۱۰/۸ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۱۰

صص ۳۵-۵۲

تحلیل تغییرات در مقیاس حوضه آبخیز براساس سنج‌ها و الگوهای فضایی

سیمای سرزمین؛ نمونه پژوهش: حوضه آبخیز انزلی

محمد پناهنده*، استادیار گروه پژوهشی - پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی

m1344_pannahandeh@yahoo.com

صدف فیضی، کارشناسی ارشد گروه پژوهشی - پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی

feyzi@acecr.ac.ir

چکیده

انسان‌ها به‌طور گسترده و فزاینده‌ای شکل، الگو و عملکرد تقریباً تمامی سیمای سرزمین را تغییر داده‌اند. اثرهای تجمعی فعالیت‌های انسانی بر محیط‌زیست، محرکی برای انجام پژوهش‌های گسترده با هدف شناسایی سنج‌های راهنما به‌منظور سنجش کیفیت محیط‌زیست در زمینه مقاصد برنامه‌ریزی، پایش و مدیریت منابع شده است. هدف از این پژوهش، بررسی الگوی تغییرات سیمای سرزمین در حوضه آبخیز انزلی است. بدین منظور از تصاویر ماهواره‌ای لندست برای تولید پوشش زمینی در سه مقطع زمانی ۱۹۹۴، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ استفاده شده است. در این بررسی برای تعیین میزان تغییر پوشش‌های زمینی، سنج‌های تعداد لکه‌ها، تراکم لکه‌ها، مساحت کلاس، شاخص بزرگ‌ترین لکه، درصد پوشش کلاس و تراکم لکه‌ها تجزیه و تحلیل شد؛ همچنین براساس چگونگی تغییرات سنج‌های سیمای سرزمین، الگوی تغییرات سیمای سرزمین در قالب‌های حذف، تجمیع، خلق یا ایجاد و نیمه‌شدن بررسی شد.

یافته‌های پژوهش در فاصله زمانی ۱۹۹۴-۲۰۱۸ نشان‌دهنده کاهش ۱۰ درصدی پوشش جنگلی و افزایش ۵/۸ درصدی پوشش کشاورزی است. شاخص بزرگ‌ترین لکه نشان‌دهنده کاهش بزرگ‌ترین لکه جنگلی بوده است؛ همچنین براساس تغییرات الگوی سیمای سرزمین، الگوی حذف در هر سه مقطع زمانی، الگوی غالب بوده که عمدتاً در سطح پوشش جنگلی رخ داده است. دومین الگوی غالب، الگوی خلق یا ایجاد است. این الگو به‌طور عمده در سطح کلاس پوشش کشاورزی روی داده و موجب توسعه این پوشش شده است.

نتایج پژوهش بیان‌کننده کاهش انسجام سرزمینی حوضه آبخیز انزلی و کاهش پیوستگی مهم‌ترین پوشش آن یعنی لکه‌های کلیدی جنگل است. لکه‌های جنگلی با وقوع همزمان الگوهای حذف، نیمه‌شدن و تجمیع کاهش سطح یافته و در پوشش اختلالی کشاورزی به دلیل ادغام یا تبدیل مستقیم لکه‌های جداافتاده طبیعی، پدیده خلق و ایجاد روی داده و از این راه سطح آن افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی: سنج‌ها، حذف، تجمیع، نیمه‌شدن، پوشش اراضی، کاربری اراضی

*نویسنده مسئول

Copyright©2017, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they can't change it in any way or use it commercially.

[10.22108/gep.2020.120800.1245](https://doi.org/10.22108/gep.2020.120800.1245)

۱. مقدمه

فعالیت‌های انسانی به‌طور گسترده و فزاینده‌ای شکل، الگو و عملکرد تقریباً تمامی سیمای سرزمین را تغییر می‌دهد. زندگی بشر به‌طور مستقیم و غیرمستقیم متأثر از این تغییرات است که آثار مخرب و منفی بسیاری بر بخش‌های مختلف محیط‌زیست در مقیاس محلی و جهانی بر جای می‌گذارد (Lambin & Meyfroidt, 2011: 3465). پیامدهای تجمعی ناشی از فعالیت‌های انسانی، محرکی برای انجام پژوهش‌های گسترده با هدف شناسایی سنجه‌های راهنما به‌منظور سنجش کیفیت محیط‌زیست در زمینه مقاصد برنامه‌ریزی، پایش و مدیریت منابع شده است (Moges & Bhat, 2018: 3317). به‌منظور کنترل و محدودکردن این پیامدها، متخصصان، برنامه‌ریزان و مدیران منابع طبیعی به‌دنبال روش‌هایی جامع برای تفسیر روابط بین کاربری‌های انسانی و کیفیت محیط‌زیست هستند که این امر نیازمند بررسی ساختار، عملکرد و تغییرات کاربری‌ها به‌مثابه اصول پایه در بررسی‌های بوم‌شناسی سیمای سرزمین است (کرمی و فقهی، ۱۳۹۰: ۷۹؛ Eskandari et al., 2011: 137). در این زمینه سیمای سرزمین مختلف در مقیاس‌های متفاوت با استفاده از علم سنجش از دور بررسی شده‌اند؛ همچنین ابداع و توسعه سنجه‌های سیمای سرزمین به‌مثابه نمایه‌های کمی سیمای سرزمین و امکان محاسبه این متریک‌ها از نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای برای سنجش کیفیت محیط‌زیست، تحولی شگرف در این زمینه ایجاد کرده است (Apan et al., 2002: 43). در این بررسی‌ها، کاربری‌های انسانی که موجب تخریب و ازهم‌گسیختگی زیستگاهی و تغییر نظام هیدرولوژی حوضه‌های آبخیز شده‌اند، بیشترین توجه را به خود اختصاص داده‌اند (نظرنژاد و همکاران، ۱۳۹۸: ۷۵). در این زمینه نوحه‌گر و همکاران (۱۳۹۴) ساختار سیمای سرزمین بخش مرکزی استان گیلان را با استفاده از سنجه‌های توزیع مکانی و ترکیب‌بندی تکه‌ها بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد تعداد لکه‌های انسان‌ساخت افزایش یافته، جنگل‌ها از هم گسسته و سطح آنها کاهش یافته است. برآثر فعالیت‌های انسانی، ساختار سیمای سرزمین تکه‌تکه شده و پیوستگی آنها کاهش یافته و چشم‌انداز منطقه به‌ویژه یکپارچگی اراضی کشاورزی متحول شده است. نظرنژاد و همکاران (۱۳۹۷) نیز پژوهشی درباره حوضه آبخیز قره‌سو انجام داده‌اند. آنها تغییرات را با استفاده از سنجه‌های تعداد لکه، تراکم لکه، درصد پوشش سیمای سرزمین و بزرگ‌ترین لکه در سطح کلاس و تعداد لکه، تراکم لکه، تنوع شانون و پیوستگی در سطح سیمای سرزمین ارزیابی کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد در سطح کلاس با افزایش کاربری انسان‌ساخت، اندازه بزرگ‌ترین لکه مرتعی در محدوده پژوهش کاهش یافته و در سطح سیمای سرزمین محدوده پژوهش تکه‌تکه و ناپیوسته‌تر شده است. همچنین پژوهش موگس و بهات^۱ (۲۰۱۸) با عنوان «بینش تغییرات (LU/LC) و آثار آنها بر حوضه آبخیز ریب^۲، ارتفاعات شمال غربی اتیوپی» نشان داد در طول دوره پژوهش، کاربری‌های کشاورزی و مسکونی افزایش چشمگیری داشته‌اند؛ در حالی که مراتع و چمنزارها در همان مدت‌زمان به‌تدریج کاهش یافته‌اند. این تغییرات در منطقه پژوهش موجب تخریب شدید محیط‌زیست است که به‌نوبه خود بر پایداری محیط‌زیستی، بهره‌وری کشاورزی، امنیت غذایی و معیشت روستایی تأثیرگذار خواهد بود.

^۱ Moges & Bhat

^۲ Rib

پاودیال و همکاران^۱ (۲۰۱۹) نیز آثار تغییرات سیمای سرزمین را بر حوضه آبخیز پهوا^۲ (نیپال) در عرضه خدمات اکوسیستم در طول چهل سال ارزیابی کمی و کیفی کردند. نتایج این پژوهش نیز نشان‌دهنده تبدیل جالب توجه اراضی کشاورزی، علفزارها و جنگل‌های تخریب‌شده به جنگل‌های انبوه و متراکم بود که این جنگل‌ها نسبت به سایر انواع پوشش اراضی تقریباً مزایای بیشتری دارند.

همچنین دینکا و چاکا^۳ (۲۰۱۹) پژوهشی در حوضه آدی^۴، ارتفاعات مرکزی اتیوپی، انجام داده‌اند. نتایج تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری و پوشش اراضی در این پژوهش نشان داد پوشش اراضی جنگلی کاهش و اراضی کشاورزی و بوته‌زار گسترش یافته است.

در جمع‌بندی این پژوهش‌ها باید گفت در آنها بر اهمیت محاسبه میزان تغییرات و پیش‌بینی‌های دقیق درباره الگوی تغییرات آینده سیمای سرزمین برای جلوگیری از تغییر نامطلوب سیمای سرزمین، حفظ ثبات و پایداری اکوسیستم در حوضه آبخیز تأکید شده است (Zhang et al., 2019: 6367).

طی دهه گذشته یک درک اکولوژیک از تصویر بزرگ براساس الگوهای کلی و اصول اکولوژی سیمای سرزمین ظاهر شده است. اساس این تصویر بزرگ بر این ایده استوار است که در سیمای سرزمین، الگوهای بی‌بديل و ویژه‌ای وجود دارند که حفاظت از آنها موجب حفظ بسیاری از عملکردهای اکولوژیکی مهم می‌شود. در این صورت ممکن است همه یا بعضی از مشخصه‌های یک اکوسیستم حفظ نشود، اما بیشتر دارایی‌های مهم طبیعی و اکولوژیک استحکام خود را حفظ می‌کنند (O2- planing and design, 2013).

یک سیمای سرزمین، موزاییکی از مخلوط اکوسیستم‌ها یا کاربری‌هاست که به شکل مشابهی تکرار می‌شوند (Richard & Forman, 1995: 150). الگوی موزاییکی سیمای سرزمین یا چینش فضایی و ساختار عناصر آن، تعیین‌کننده جابه‌جایی و حرکت مواد، انرژی و زیست‌مندان بین اکوسیستم‌های محلی است. جابه‌جایی و حرکت جانوران، آب و مواد غذایی و انسان‌ها بین سیمای سرزمین نیز، تعیین‌کننده چینش الگوی موزاییکی است.

در بیان الگوی تغییرات سیمای سرزمین، اکولوژیست‌های سیمای سرزمین، ریچارد و فورمن^۵ (۱۹۹۵)، پنج اصطلاح سوراخ‌شدگی، نیمه‌شدن، ازهم‌گسیختگی، سایش و حذف را به کار برده‌اند. این تغییرات باعث ایجاد الگوهای فضایی متفاوت از عناصر سیمای سرزمین می‌شود که به تغییر در فرایندهای اکولوژیک و توزیع جمعیتی گیاهان و جانوران می‌انجامد (Paudyal et al., 2019: 8).

بر این مبنا هدف از پژوهش حاضر، بررسی مقایسه‌ای تغییر در الگوهای فضایی سیمای سرزمین در مقیاس‌های مختلف زمانی تأثیرگذار بر حوضه آبخیز انزلی است. در این زمینه پژوهش‌های زیادی با اهدافی نظیر حفاظت از تنوع زیستی، انسجام زیستگاهی و حفاظت از حوضه‌های آبخیز انجام شده است.

جابلقی و همکاران (۱۳۹۶) تغییرات الگوی سیمای سرزمین لرستان را طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۳ پایش و

¹ Paudyal et al.

² Phewa

³ Dinka & Chaka

⁴ Adei

⁵ Richard & Forman

تحلیل کرده‌اند. در این پژوهش وقوع ده فرایند تغییر سیمای سرزمین شامل حذف، تجمع، دو تکه شدن، ایجاد، کاهش اندازه، سوراخ شدگی، تغییر جهت، تغییر شکل، گستردگی و تکه تکه شدن لکه‌ها بررسی شد. نتایج نشان داد در این مدت حدود هشت کیلومتر مربع از جنگل‌ها نابود شده و وسعت مناطق مسکونی بسیار افزایش یافته و میزان جنگل‌زدایی در این دوره، ۶۸/۱ درصد در سال بوده است؛ همچنین نتایج بررسی تغییرات الگوی سیمای سرزمین لرستان نشان داد چهار فرایند حذف، تجمع، ایجاد و دو تکه شدن در منطقه رخ داده است.

وانگ و همکاران^۱ (۲۰۱۹) نیز در پژوهشی دیگر، روند تغییرات الگوی سیمای سرزمین حوضه آبخیز رودخانه ماناس^۲ را بررسی کرده‌اند. نتایج بیان‌کننده این است که روند تکه تکه شدن چشم‌انداز با کاهش تعداد لکه‌ها و افزایش به هم پیوستگی کمتر شده است. هجوم جمعیت و احیای خاک شور-قلیایی، دو عامل مهم و اصلی برای تغییرات الگوی منظر در این منطقه بود.

همچنین عبدالعلی زاده و همکاران^۳ (۲۰۱۹) تغییرات الگوی سیمای سرزمین منطقه حفاظت‌شده مراکان را به‌مثابه یک کانون تنوع زیستی در شمال غربی کشور بررسی کردند. در این پژوهش نیز، مشهودترین روند افزایشی تغییرات در کاربری‌های اراضی^۴ و پوشش اراضی^۵ به مناطق متأثر از فعالیت‌های انسانی و در حال توسعه مربوط بوده است؛ همچنین در این منطقه تمایل بسیاری به تجمع لکه‌های پیشین و نوظهور وجود دارد و نتایج حاکی از حذف یا تبدیل مراتع کم‌کیفیت است. در سطح سیمای سرزمین از هم گسیختگی نیز کاهش یافته که ناشی از کاهش ویژه تعداد لکه‌ها و فرایند تجمع تصادفی آنها با سایر کاربری‌هاست. وجه تمایز پژوهش حاضر نسبت به سایر پژوهش‌های انجام‌شده در این محدوده، استفاده هدفمند از تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین در نقشه‌سازی تغییرات الگوی فضایی طی زمان است. در این پژوهش برای نخستین بار الگوهای سیمای سرزمین در مقیاس حوضه آبخیز، نقشه‌سازی و توزیع فضایی هریک از الگوها در مقاطع مختلف زمانی کمی شده و از این راه زمینه‌ای برای مقایسه تغییرات طی زمان فراهم آمده است.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲.۱. محدوده پژوهش

حوضه آبخیز انزلی در شمال کشور با مختصات جغرافیایی $49^{\circ} 12' 2''$ تا $49^{\circ} 35' 50''$ طول شرقی و $28^{\circ} 11' 0''$ تا $37^{\circ} 34' 26''$ عرض شمالی به‌لحاظ تقسیمات سیاسی اداری، شهرستان‌های انزلی، صومعه‌سرا، هشتپر، فومن و شفت را دربرمی‌گیرد (شکل ۱). جمعیت انسانی ساکن در این محدوده، ۴۶۲۳۷۲ نفر است. به‌لحاظ توپوگرافیک، بیشترین ارتفاع منطقه، ۳۰۳۹ متر و کمترین ارتفاع آن، ۹۰ متر زیر سطح تراز دریاست. تالاب انزلی، مهم‌ترین پدیده

1. Wang et al.

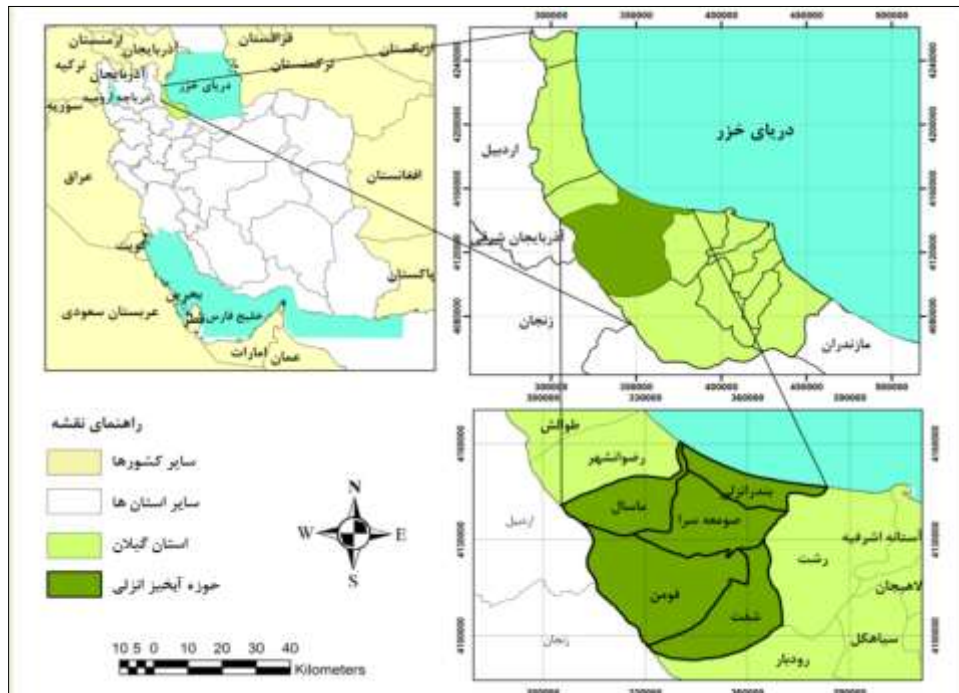
2. Manas

3. Abdolalizadeh et al.

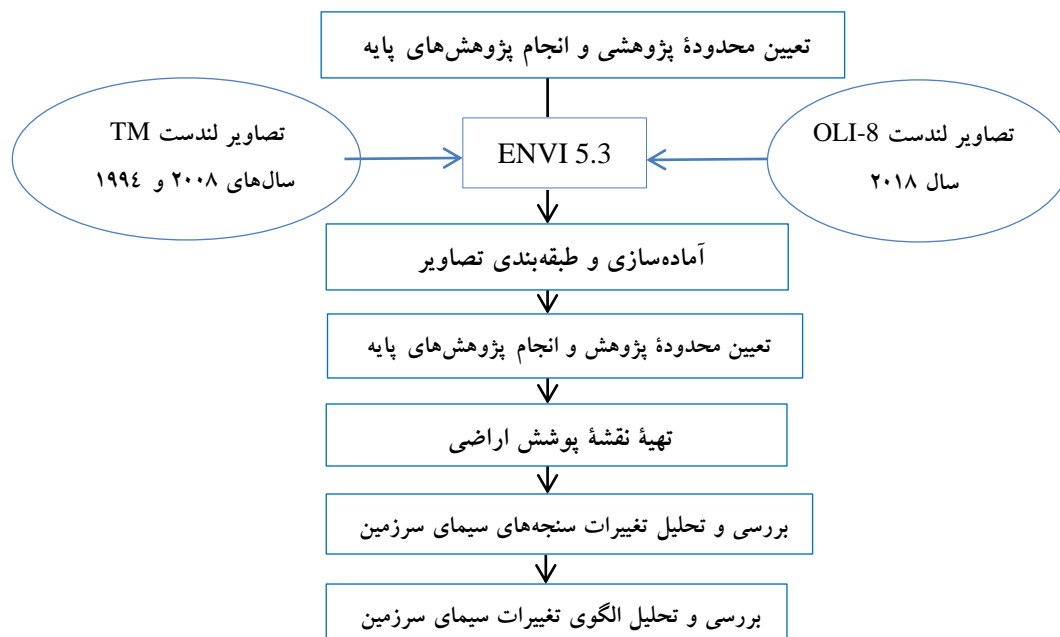
4. Land Use (LU)

5. Land Cover (LC)

طبیعی در این محدوده است. این تالاب در فهرست کنوانسیون رامسر قرار دارد و منطقه ثبت شده آن در این فهرست شامل تمام تالاب انزلی، تالاب سیاه کشیم، پناهگاههای حیات وحش سلکه، سرخانکل و سایر آب‌بندان‌های متعدد واقع در محدوده تالاب است. میانگین بیشینه دمای این محدوده، $17/5$ و کمینه دما حدود $8/2$ درجه سانتی‌گراد است. مراحل انجام پژوهش حاضر در شکل ۲ نشان داده شده و در ادامه هریک از گام‌های آن تشریح شده است.



شکل ۱. محدوده پژوهش (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)



شکل ۲. مراحل انجام پژوهش حاضر (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

۲.۲. تهیه نقشه پوشش اراضی و نقشه تغییرات سیمای سرزمین

در این پژوهش به منظور تهیه نقشه کلاس‌های پوشش اراضی در مقیاس محدوده حوضه آبخیز انزلی از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. براساس ویژگی‌های حوضه آبخیز انزلی، کلاس‌های مناطق انسان‌ساخت، اراضی مرتعی، اراضی کشاورزی، اراضی جنگلی، پهنه آبی و زمین‌های خالی برای نقشه‌سازی پوشش یا کاربری زمین تعریف شده است. تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده از سنجنده لندست TM برای سال‌های ۱۹۹۴ و ۲۰۰۸ و لندست OLI-8 برای سال ۲۰۱۸ در ماه June (ژوئن) از سایت زمین‌شناسی امریکا (USGS) دریافت شد. تصحیح هندسی و زمین مرجع کردن تصاویر استفاده شده در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 و به روش نزدیک‌ترین همسایه انجام شد؛ سپس تصحیح طیفی به منظور بارزکردن پدیده‌ها و افزایش سطح کیفی تصاویر و حذف تأثیرات نامطلوب نور و اتمسفر در تصاویر صورت گرفت. براساس هدف پژوهش، بازدید میدانی و آشنایی اولیه با منطقه، استفاده از تصویر عمومی گوگل ارث^۱ محدوده پژوهش به مثابه یک ابزار کمکی برای شناسایی عوارض، مطالعه چشمی تصاویر و نتایج حاصل از طبقه‌بندی نظارت‌نشده شش طبقه زمین خالی، کشاورزی، جنگل، مرتع، انسان‌ساخت و آب شناسایی و با روش نظارت‌شده حداکثر احتمال طبقه‌بندی شد. به منظور بررسی صحت و دقت طبقه‌بندی کلاس‌های تفکیکی از شاخص صحت کلی و ضریب کاپا استفاده شد. نتایج صحت کلی برای تصاویر سال ۱۹۹۴، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ به ترتیب ۹۱، ۹۸ و ۹۶ است و ضریب کاپا ۰/۸۹، ۰/۹۷ و ۰/۹۵ به دست آمده است. خروجی این مرحله یعنی لایه‌های رقومی پوشش/ کاربری اراضی (کلاس‌های سیمای سرزمین) به مثابه ورودی تجزیه و تحلیل متریک‌ها و الگوهای سیمای سرزمین استفاده شد.

۲.۳. بررسی روند تغییر سنجه‌ها و الگوهای سیمای سرزمین

- بررسی و تحلیل تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین

سنجه‌های سیمای سرزمین، شاخص‌هایی برای کمی کردن تغییرات ساختاری آن است. هدف نهایی بررسی سنجه‌ها، تجزیه و تحلیل و نقشه‌سازی تغییرات الگوی سیمای سرزمین طی زمان است. سنجه‌های بنیادی که در تجزیه و تحلیل و نقشه‌سازی تغییرات الگوی سیمای سرزمین به کار می‌رود، سنجه‌های تعداد لکه‌ها^۲ (NP) و مساحت کلاس^۳ (CA) هستند که در این پژوهش تغییرات آنها در کنار سایر سنجه‌هایی بررسی می‌شود که بارها در پژوهش‌های مشابه (بی‌همتای طوسی و همکاران، ۱۳۹۲: ۷۷؛ کیانی و فقهی، ۱۳۹۴: ۱۳۱؛ Smiraglia et al., 2019: 154) به کار رفته‌اند.

- بررسی و تحلیل الگوی تغییرات سیمای سرزمین

سیمای سرزمین به روش‌های مختلف طی زمان تغییر می‌یابد که این تغییرات بر جابه‌جایی و حرکت انرژی، مواد و جانوران تأثیر می‌گذارد. مهم‌ترین الگوی تغییرات سیمای سرزمین عبارت‌اند از:

الف. سوراخ‌شدگی: معمولاً در ابتدای فرایند تغییر الگوی سیمای سرزمین روی می‌دهد. این الگو در مناطقی

^۱ Google Earth

^۲ Number of Patches

^۳ Class area

شکل می‌گیرد که فرایند توسعه آغاز می‌شود. در این حالت لکه‌های کوچک بدون ارتباط ایجاد شده باعث ایجاد شکاف و حفره‌های کوچک در محدوده‌های دست‌نخورده می‌شود.

ب. نیمه‌شدن: همانند سوراخ‌شدگی، در اوایل فرایند تغییر سیمای سرزمین روی می‌دهد. هر عارضه یا پدیده خطی مانند راه یا خطوط انتقال نیرو که یک ناحیه دست‌نخورده را قطع می‌کند.

پ. ازهم‌گسیختگی: اغلب مانند سوراخ‌شدگی و نیمه‌شدن روی می‌دهد. ازهم‌گسیختگی با ایجاد لکه‌های جدا از هم باعث کاهش ارتباطات بین لکه‌های زیستگاهی دست‌نخورده می‌شود.

ت. سایش: سایش لکه‌ها پیرو ازهم‌گسیختگی روی می‌دهد. سایش هنگامی رخ می‌دهد که لکه‌های دست‌نخورده زیستگاهی از نظر وسعت کوچک‌تر شود.

ج. حذف: این پدیده به دنبال ازهم‌گسیختگی و سایش روی می‌دهد و طی آن، لکه‌های دست‌نخورده به طور کامل حذف می‌شوند (Richard & Forman, 1995: 150).

الگوهای تشریح شده به علاوه بعضی دیگر از الگوهای استفاده شده و ارتباط آنها با تغییرات سنج‌های سیمای سرزمین در جدول ۱ ارائه شده است. در این پژوهش، الگوهای تعریف شده نقشه‌سازی و تغییرات آنها در محدوده زمانی تعریف شده بررسی می‌شود.

جدول ۱. فرایندهای فضایی اصلی مؤثر بر تغییر الگوی سیمای سرزمین

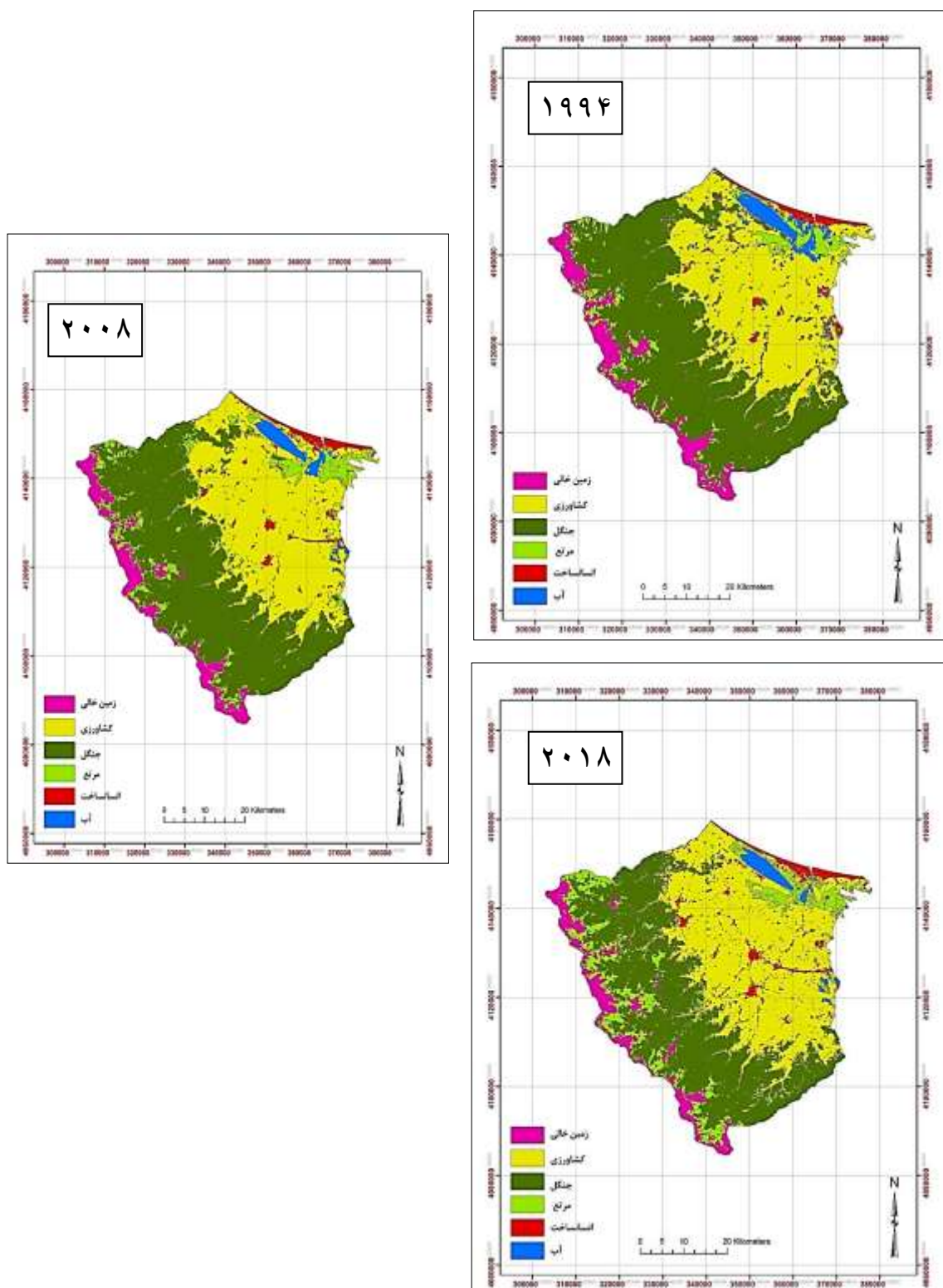
شکل	توضیح	معادل انگلیسی	نام فارسی
	تعداد لکه‌ها ثابت است، ولی مساحت لکه‌ها کاهش می‌یابد.	Perforation	سوراخ‌شدگی
	مساحت و محیط لکه‌ها کاهش می‌یابد و تعداد لکه‌ها ثابت است.	Shrinkage	کاهش یا سایش
	مساحت و تعداد لکه‌ها هر دو کاهش می‌یابد.	Attrition	حذف
	تعداد لکه‌ها ثابت است، اما مساحت آنها در حال افزایش است.	Enlargment	توسعه
	تعداد لکه‌ها کاهش می‌یابد، اما مساحت آنها ثابت یا در حال افزایش است.	Aggregation	تجمع
	تعداد لکه‌ها و مساحت لکه‌ها هر دو افزایش می‌یابد.	Creation	خلق و ایجاد
	تعداد لکه‌ها در حال افزایش است و مساحت آنها کاهش می‌یابد.	Desection	دو تکه شدن
	تعداد لکه‌ها در حال افزایش است و مساحت آنها به شدت کاهش می‌یابد.	Fragmentation	ازهم‌گسیختگی

۳. یافته‌های پژوهش

۳.۱. پوشش اراضی حوضه آبخیز انزلی و چگونگی تغییرات آن در دوره پژوهش

نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در قالب کلاس‌های پوشش مناطق انسان‌ساخت، اراضی مرتعی، اراضی کشاورزی، اراضی جنگلی، پهنه آبی و زمین‌های خالی در سه مقطع زمانی تعریف شده در شکل ۳ و مساحت هریک از پوشش‌های زمینی و درصد زیر پوشش آنها در کل محدوده و درصد تغییرات آنها در فواصل زمانی در نظر

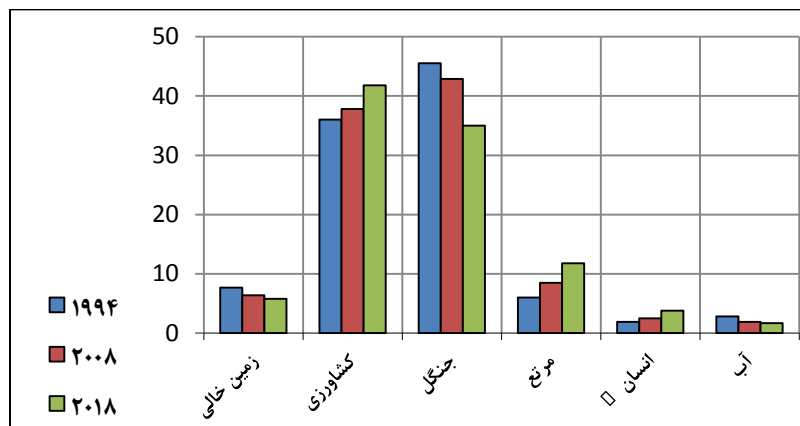
گرفته شده در جدول ۲ و شکل ۴ ارائه شده است؛ همچنین در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ و جدول ۳، چگونگی تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر و مقادیر هریک از این تبدیل‌ها ارائه شده است.



شکل ۳. پوشش اراضی حوضه آبخیز انزلی در دوره پژوهش (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

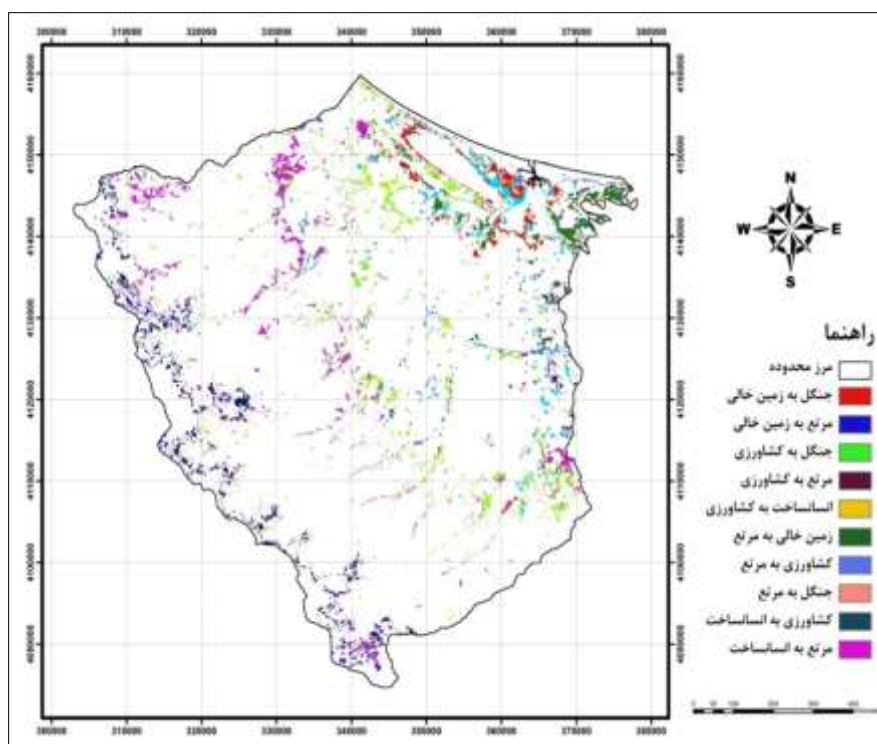
جدول ۲. نوع کاربری‌ها و مساحت آنها در حوضه آبخیز انزلی در دوره پژوهش (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

سال	۱۹۹۴	۲۰۰۸	۲۰۱۸	۱۹۹۴	۲۰۰۸	۲۰۱۸	تغییرات کاربری (درصد)
زمین خالی	۲۴۷۹۴	۲۰۴۳۹	۱۸۶۷۵	۷/۷	۶/۴	۵/۸	-۱/۹
کشاورزی	۱۱۵۸۷	۱۲۱۳۴۶	۱۳۴۰۶۲	۳۶	۳۷/۸	۴۱/۸	۵/۸
جنگل	۱۴۶۰۲	۱۳۷۹۲۸	۱۱۲۶۰۵	۴۵/۵	۴۲/۹	۳۵	-۱۰/۵
مرتع	۱۹۳۸۷	۲۷۲۵۴	۳۸۰۰۰	۶	۸/۵	۱۱/۸	۵/۸
انسان ساخت	۶۰۴۴	۸۰۱۱	۱۲۲۴۴	۱/۹	۲/۵	۳/۸	۱/۹
آب	۸۹۴۲	۶۰۸۴	۵۴۸۰	۲/۸	۱/۹	۱/۷	-۱/۱

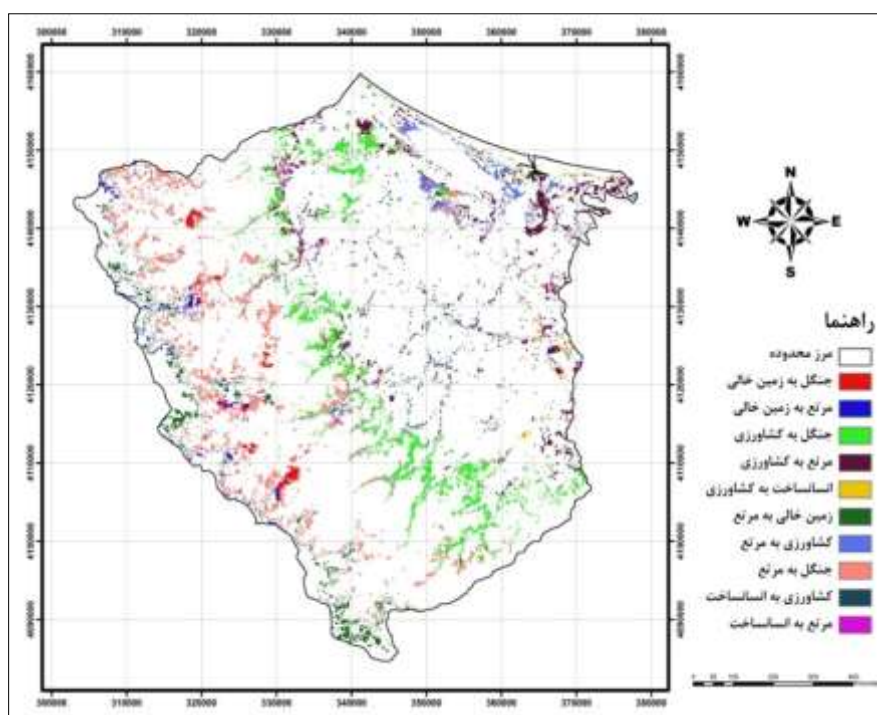


شکل ۴. مقایسه درصدی تغییر مساحت کاربری‌ها در حوضه آبخیز انزلی در بازه زمانی بررسی شده (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

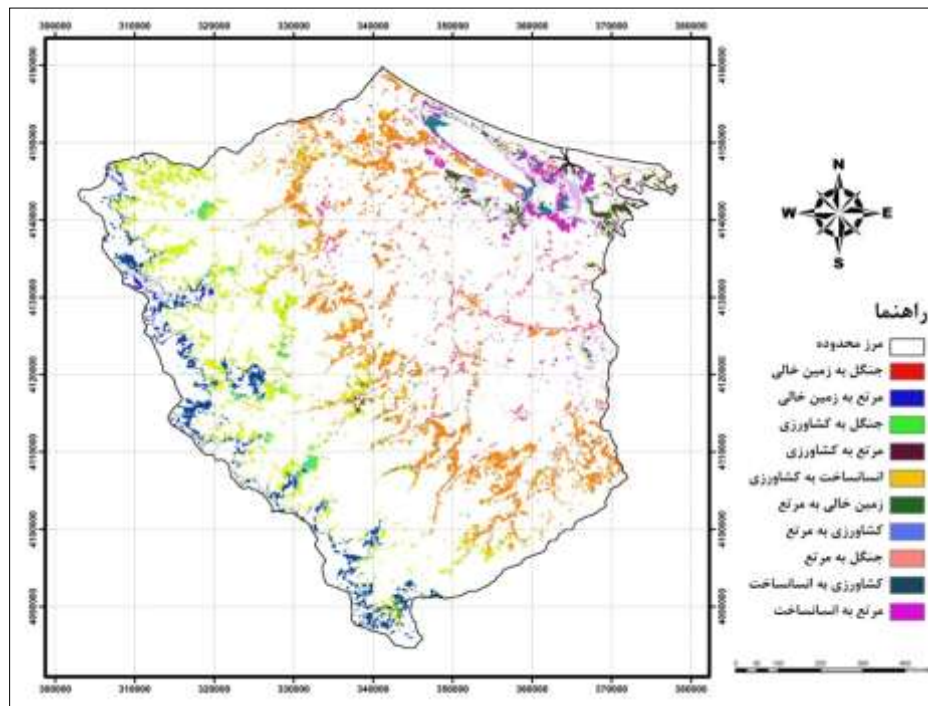
براساس رهیافت اکولوژی سیمای سرزمین، در هر محدوده سرزمینی زیرساخت‌های اکولوژیکی وجود دارد که اگر این زیرساخت‌ها حفظ شوند، انسجام سرزمین با وجود تغییر در سایر عوامل حفظ خواهد شد. در حوضه آبخیز شمال کشور، پوشش جنگلی از زیرساخت‌های مهم اکولوژیکی است که بسیاری از کارکردها و خدمات اکوسیستمی حوضه آبخیز به کمیت و کیفیت آن وابسته است. بررسی تغییرات پوشش زمینی در حوضه آبخیز انزلی در مقاطع زمانی بررسی شده بیان‌کننده آن است که در تمامی دوره‌ها مساحت پوشش جنگل روند کاهشی داشته است؛ به طوری که در بازه زمانی ۱۹۹۴-۲۰۰۸ کاهش ۲/۶ درصدی و در بازه زمانی ۲۰۰۸-۲۰۱۸ کاهش ۷ درصدی و در بازه زمانی گسترده ۱۹۹۴-۲۰۱۸ کاهش ۱۰/۵ درصدی داشته است. در مقابل پوشش زمینی اختلالی کشاورزی، روند معکوسی را طی مقاطع زمانی بررسی شده تجربه کرده است. پوشش کشاورزی طی این مقاطع به ترتیب رشد ۱/۸، ۴، ۵/۸ درصدی داشته است.



شکل ۵. چگونگی تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر در محدوده بررسی شده (۱۹۹۴ - ۲۰۰۸)؛ (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)



شکل ۶. چگونگی تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر در محدوده بررسی شده (۲۰۰۸ - ۲۰۱۸)؛ (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)



شکل ۷. چگونگی تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر در محدوده بررسی شده (۱۹۹۴-۲۰۱۸)؛ (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

جدول ۳. مساحت تبدیل کاربری‌ها در محدوده بررسی شده (۱۹۹۴-۲۰۱۸)؛ (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

سال	۲۰۰۸-۱۹۹۴	۲۰۱۸-۲۰۰۸	۲۰۱۸-۱۹۹۴	مساحت	نوع تغییر
طبقه	مساحت (هکتار)	نوع تغییر	مساحت (هکتار)	نوع تغییر	مساحت (هکتار)
۱	۱۲۷۶	مرتع به زمین خالی	۱۲۳۹/۵	جنگل به زمین خالی	۱۲۲۳/۲۵
۲	۶۸۹۴/۲۵	جنگل به کشاورزی	۱۴۶۵/۵	مرتع به زمین خالی	۱۱۰۲/۵
۳	۳۰۳۶/۵	مرتع به کشاورزی	۱۱۸۳۸/۷۵	جنگل به کشاورزی	۱۸۴۲۱
۴	۲۸۲۵	آب به کشاورزی	۶۱۶۱/۵	مرتع به کشاورزی	۳۴۰۵/۲۵
۵	۱۷۶۹/۷۵	کشاورزی به جنگل	۱۱۷۷	آب به کشاورزی	۲۹۶۳/۵
۶	۲۸۴۴/۲۵	مرتع به جنگل	۳۹۸۹/۵	زمین خالی به مرتع	۶۸۲۱/۲۵
۷	۴۵۲۵	زمین خالی به مرتع	۲۹۳۷	کشاورزی به مرتع	۲۷۷۱
۸	۴۳۳۴	کشاورزی به مرتع	۱۲۴۴۷	جنگل به مرتع	۱۳۴۵۳/۲۵
۹	۵۷۰۸	جنگل به مرتع	۳۴۴۶/۲۵	کشاورزی به انسانساخت	۱۴۱۳
۱۰	۱۹۱۵/۲۵	کشاورزی به انسانساخت	۱۲۴۵/۷۵	کشاورزی به انسانساخت	۴۴۷۹
۱۱	-	-	-	جنگل به انسانساخت	۱۷۴۹
	۵۲۹۲۴۸	جمع کل	۵۱۸۴۲۸/۲۵	جمع کل	۵۰۶۵۷۴

۳.۲. تجزیه و تحلیل سنجه‌ها و الگوهای سیمای سرزمین در دوره پژوهش

- تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین

در این پژوهش، تغییرات سنجه‌های مساحت کلاس، تعداد لکه، نسبت درصد هر کاربری، تراکم لکه و شاخص بزرگ‌ترین لکه بررسی شد. نتایج این بررسی به تفکیک مقاطع مختلف زمانی و برای هر کلاس پوشش به‌طور جداگانه در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین در محدوده پژوهش (۱۹۹۴-۲۰۱۸)؛ (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

سال	طبقه	CA	NP	PD ^۱	LPI ^۲	PLAND ^۳
۱۹۹۴	زمین خالی	۲۴۸۱۸/۷	۶۷۹	۰/۲۱۱۵	۲/۷۳۱۵	۷/۷۳۰۳
	کشاورزی	۱۱۵۸۱۵/۸	۳۰۷	۰/۰۹۵۶	۰/۵۶۸	۳۶/۰۷۳
	جنگل	۱۴۶۰۷۴	۳۵۷	۰/۱۱۱۲	۴۳/۵۸	۴۵/۴۹۷۶
	مرتع	۱۹۳۵۳/۷۵	۷۷۲	۰/۲۴۰۵	۰/۵۶۸	۶/۰۲۸۱
	انسان‌ساخت	۶۰۴۱/۲۵	۲۴۰	۰/۰۷۴۸	۰/۶۱۰۹	۱/۸۸۱۷
	آب	۸۹۵۵/۵	۱۶۴	۰/۰۵۱۱	۱/۴۵۰۲	۲/۷۸۹۴
۲۰۰۸	زمین خالی	۲۰۴۳۳/۷۵	۸۷۷	۰/۲۷۳۲	۳/۷۲۲۲	۶/۳۶۴۵
	کشاورزی	۱۲۱۳۶۱/۳	۴۳۱	۰/۱۳۴۲	۳۵/۹۲۷۶	۳۷/۸۰۰۶
	جنگل	۱۳۷۹۱۵/۵	۲۱۲	۰/۰۶۶	۴۲/۱۱۳۶	۴۲/۹۵۶۵
	مرتع	۲۷۲۶۴/۲۵	۸۷۲	۰/۲۷۱۶	۱/۱۸۶۴	۸/۴۹۲
	انسان‌ساخت	۸۰۰۳/۷۵	۴۰۵	۰/۱۲۶۱	۰/۷۱۹۶	۲/۴۹۲۹
	آب	۶۰۷۸/۲۵	۸۷	۰/۰۲۷۱	۱/۱۷۵۶	۱/۸۹۳۲
۲۰۱۸	زمین خالی	۱۸۶۷۷/۵	۵۷۸	۰/۱۸	۲/۶۵۳۴	۵/۸۱۷۴
	کشاورزی	۱۳۴۰۹۰/۵	۸۲۰	۰/۲۵۵۴	۴۰/۳۷۷۴	۴۱/۷۶۴۴
	جنگل	۱۱۲۵۹۲	۱۵۵	۰/۰۴۸۳	۳۴/۲۰۷۱	۳۵/۰۶۸۴
	مرتع	۳۷۹۹۲/۷۵	۷۶۵	۰/۲۳۸۳	۳/۶۴۲	۱۱/۸۳۳۴
	انسان‌ساخت	۱۲۲۴۲	۱۲۱۱	۰/۳۷۷۲	۰/۶۷۶۸	۳/۸۱۲۹
	آب	۵۴۶۹	۲۱۳	۰/۰۶۶۳	۱/۰۸۷۱	۱/۷۰۳۴

^۱ Patch density

^۲ Largest patch index

^۳ Percentage of Landscape

تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین بیان‌کننده تغییرات تخریبی در مقدار و توزیع پوشش کلیدی جنگل بوده است. سنجه کلاس مساحت پوشش جنگل در مقاطع زمانی ۱۹۹۴، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ به ترتیب ۱۴۶۰۷۴، ۱۳۷۹۱۵ و ۱۱۲۵۹۲ هکتار بوده است که کاهش وسعت این کلاس را طی زمان نشان می‌دهد. این میزان در سنجه تعداد لکه‌ها نیز در مقاطع زمانی بررسی شده روند کاهشی داشته و به ترتیب ۳۵۷، ۲۱۲ و ۱۵۵ بوده است. کاهش همزمان مساحت کلاس پوشش جنگل و کاهش تعداد لکه‌ها بیان‌کننده وقوع الگوی تخریبی حذف در این پوشش کلیدی سیمای سرزمین است. در مقابل سنجه مساحت کلاس پوشش اختلالی کشاورزی طی مقاطع بررسی شده به ترتیب روند افزایش ۱۱۵۸۱۵، ۱۲۱۳۶۱ و ۱۳۴۰۹۰ هکتاری داشته است؛ همچنین سنجه تعداد لکه‌ها به ترتیب ۳۰۷، ۴۳۱ و ۸۲۰ بوده که روند افزایشی داشته است. افزایش همزمان سنجه‌های مساحت کلاس و تعداد لکه‌ها برای پوشش کشاورزی بیان‌کننده وضوح الگوی خلق یا ایجاد برای این پوشش اختلالی است.

شاخص بسیار مهم بزرگ‌ترین لکه برای پوشش کلیدی جنگل بیان‌کننده کاهش چشمگیر این سنجه بوده است؛ به طوری که در سال ۱۹۹۴ یک لکه جنگلی به‌تنهایی ۴۳/۵۸ درصد حوضه آبخیز را به خود اختصاص داده بود؛ در حالی که در سال ۲۰۱۸ این سنجه با کاهش ۱۰ درصدی به ۳۴/۲ درصد کاهش یافته است.

- تغییرات الگوهای سیمای سرزمین

هدف نهایی بررسی سنجه‌ها، تجزیه و تحلیل و نقشه‌سازی تغییرات الگوی سیمای سرزمین طی زمان است. در شکل ۸، الگوی تغییرات سیمای سرزمین حوضه آبخیز انزلی در قالب‌های حذف^۱، تجمیع^۲، خلق و ایجاد^۳ و نیمه شدن^۴ ارائه و در جدول ۵، مساحت هریک از آنها آورده شده است؛ همچنین در شکل ۹، چگونگی تغییرات آنها با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول ۵. الگوی تغییرات سیمای سرزمین (هکتار) در محدوده پژوهش (۱۹۹۴-۲۰۱۸)؛ (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

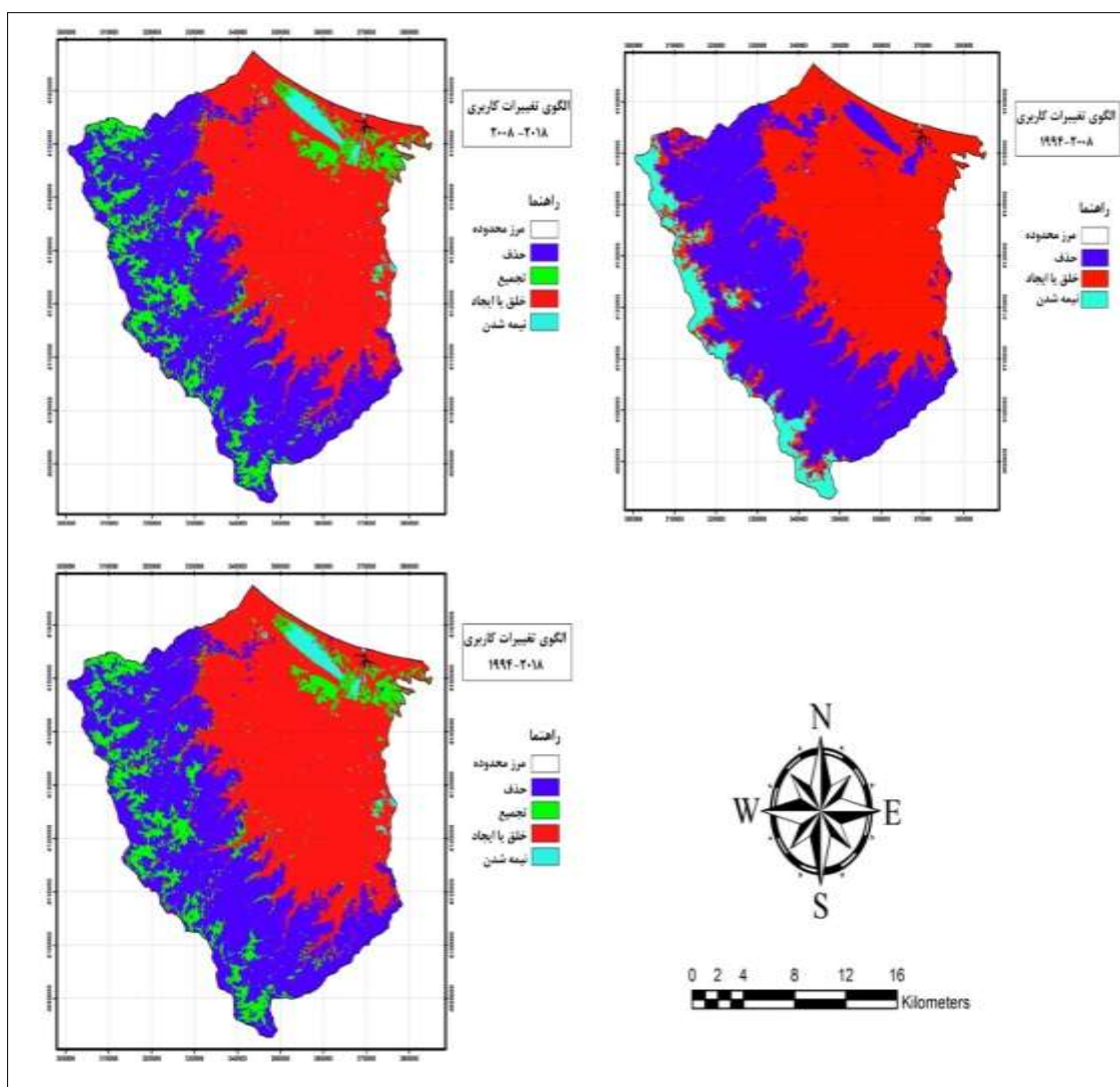
سال	۲۰۰۸-۱۹۹۴	۲۰۱۸-۲۰۰۸	۲۰۱۸-۱۹۹۴
الگوی تغییرات	مساحت به هکتار		
حذف	۱۴۳۹۵۲/۷۵	۱۳۱۰۳۱/۷۵	۱۳۱۰۷۳/۲۵
تجمیع	-	۳۷۹۶۶	۳۷۹۸۰
خلق یا ایجاد	۱۵۶۵۹۶/۵	۱۴۶۲۳۹	۱۴۶۲۹۵/۲۵
نیمه‌شدن	۲۰۳۰۱/۵	۵۴۶۶/۲۵	۵۴۶۷/۲۵

¹ Attrition

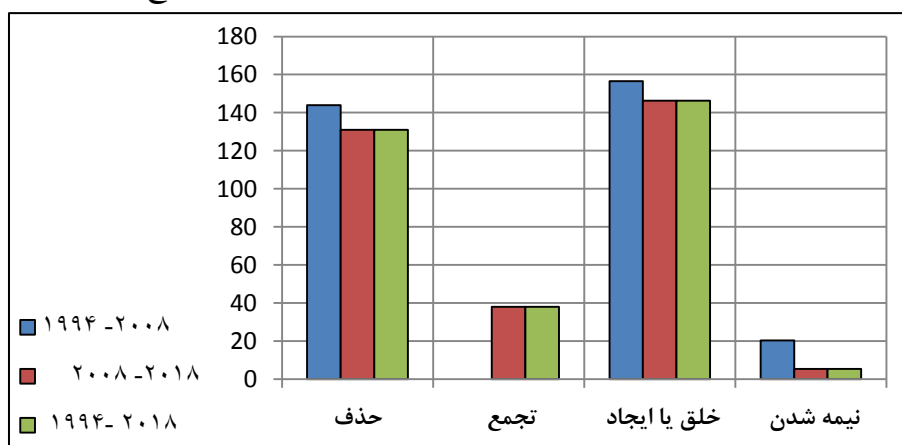
² Aggregation

³ Creation

⁴ Dissection



شکل ۸. الگوی تغییرات سیمای سرزمین در محدوده پژوهش (۱۹۹۴-۲۰۱۸)؛ (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)



شکل ۹. مقایسه الگوی تغییرات سیمای سرزمین (۱۰۰۰*هکتار) در حوضه آبخیز انزلی در بازه زمانی بررسی شده

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸) (۲۰۱۸-۱۹۹۴)

تغییرات الگوهای سیمای سرزمین در مقاطع زمانی بررسی شده بیان‌کننده آن است که در هر سه مقطع، الگوی حذف پدیده غالب بوده است. در تمام مقاطع زمانی، این الگو عمدتاً در پوشش جنگلی و در مقطع زمانی ۱۹۹۴، در پوشش آب نیز روی داده است. دومین پدیده غالب تغییرات الگوی سیمای سرزمین، پدیده خلق یا ایجاد بوده است که عمدتاً در پوشش کشاورزی روی داده است.

یافته‌های این پژوهش مبنی بر وقوع همزمان پدیده‌های حذف، نیمه‌شدن، خلق یا ایجاد و تجمع در حوضه آبخیز موجب تبدیل پوشش‌های طبیعی به پوشش‌های اختلالی می‌شود؛ عبدالعلی‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود این موضوع را تأیید کرده‌اند. براساس این پژوهش، ادغام لکه‌های نوظهور و پیشین، زمینه‌ای برای توسعه پوشش‌های اختلالی است. همسو با نتایج پژوهش‌های دینکا و چاکا (۲۰۱۹) و پایودیال و همکاران (۲۰۱۹)، براساس وقوع الگوهای مخرب سیمای سرزمین مانند الگوهای حذف و دو نیمه‌شدن در پوشش‌های طبیعی، سهم پوشش‌های کلیدی مانند جنگل در حوضه‌های آبخیز کم است و به سهم پوشش‌های اختلالی افزوده می‌شود. براساس نتایج پژوهش‌های یادشده، تغییرات شاخص بزرگ‌ترین لکه بیان‌کننده میزان تغییر در انسجام و پیوستگی حوضه آبخیز بوده است. در پژوهش نظرنازاد و همکاران (۱۳۹۷) این نتیجه‌گیری درباره لکه‌های مرتعی به دست آمده است.

در مجموع نتایج پژوهش حاضر بیان‌کننده کاهش انسجام سرزمینی حوضه آبخیز انزلی و کاهش پیوستگی و تعیین‌کنندگی مهم‌ترین پوشش آن برای لکه کلیدی جنگل است. لکه‌های جنگلی با وقوع همزمان الگوهای حذف، نیمه‌شدن و تجمع کاهش سطح پیدا می‌کند و درمقابل با ادغام لکه‌های جداافتاده جنگلی یا تبدیل مستقیم آنها، پوشش اختلالی کشاورزی گسترش می‌یابد.

۴. نتیجه‌گیری

در کنار نیروی محرکه تغییرات اقلیمی، تغییرات کاربری اراضی از مهم‌ترین عوامل تغییرات سیمای سرزمین است. در سطحی بالاتر، نیروی محرکه کلان افزایش جمعیت در دو بعد افزایش مطلق آحاد انسانی و متنوع‌شدن و افزایش شدت مصارف و تقاضاهای انسانی، عامل وقوع تغییرات کاربری اراضی در سیمای سرزمین است. افزایش تقاضاهای انسانی در زمینه‌های مختلف صنعتی، سکونت، زیرساخت‌ها، گردشگری و... سبب افزایش تقاضا برای زمین به‌منظور انجام این فعالیت‌ها شده و از این راه فشار بر عرصه‌های طبیعی بیشتر شده است. در حوضه آبخیز تالاب انزلی نیز پیرو افزایش تقاضاها و نیازهای انسانی، موازنه بین پوشش زمینی تغییر یافته است. ترکیب و توزیع پوشش زمینی شکل گرفته در حوضه آبخیز تالاب به‌طور عمده در راستای تأمین نیازهای فوری و بالفعل جوامع انسانی بدون توجه اصولی به الزامات پایداری حوضه آبخیز بوده است. بدین سبب تغییر ساختاری (ترکیب و توزیع پوشش زمینی) در سیمای سرزمین تالاب انزلی موجب تغییرات عملکردی حوضه شده که مصداق بارز آن، افزایش فرسایش و پیرو آن، افزایش رسوب‌گذاری در پیکره آبی تالاب انزلی است. نتیجه مشهود این روند، کاهش شدید عمق و وسعت پیکره آبی تالاب بوده که پیامد آن، کاهش توان تالاب در ارائه خدمات زیستگاهی به جانوران وابسته به تالاب است.

الگوی تغییرات پوشش زمینی حوضه آبخیز انزلی بیان‌کننده تغییر موازنه به سمت توسعه پوشش‌های غیرطبیعی

به‌ویژه کشاورزی است؛ اما هنوز مهم‌ترین پوشش زمینی حوضه یعنی پوشش جنگلی به مرحله‌ی اضمحلال گسیختگی (با وقوع همزمان افزایش تعداد لکه‌ها و کاهش شدید مساحت پوشش) نرسیده است. علت این موضوع مهم، گسترده‌گی شاخص بزرگ‌ترین لکه جنگلی بوده است؛ به طوری که یکی از لکه‌های جنگلی به‌تنهایی ۳۴/۲۰۷۱ هکتار از حوضه را در سال ۲۰۱۸ به خود اختصاص داده است.

بررسی شواهد بیان‌کننده آن است که اگر همین الگوی تغییرات استمرار یابد، نوع تغییر رخ داده در قالب‌های حذف، تجمیع، خلق یا ایجاد و نیمه‌شدن، زمینه را برای وقوع پدیده‌ی اضمحلال گسیختگی در پوشش جنگلی فراهم می‌کند؛ در این صورت پوشش جنگلی بسیاری از قابلیت‌های خود به‌ویژه ارائه خدمات زیستگاهی، حفاظت و ذخیره آب و کاهش فرسایش خاک را از دست خواهد داد.

منابع

- بی‌همتای طوسی، ندا، سفیانیان، علیرضا، فاخران، سیما، (۱۳۹۲). بررسی تغییرات پوشش اراضی در منطقه مرکزی اصفهان با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین، بوم‌شناسی کاربردی، دوره ۶، شماره ۲، ۷۷-۸۸.
- چاپلوقی، محسن، غلامعلی‌فرد، مهدی، شایسته، کامران، (۱۳۹۶). پایش و تحلیل الگوی سیمای سرزمین استان لرستان و فرایند تغییر آن در محیط GIS، محیط‌زیست طبیعی، دوره ۷۰، شماره ۱، ۱۵-۳۶.
- کرمی، آرش، فقهی، جهانگیر، (۱۳۹۰). بررسی کمی کردن سنجه‌های سیمای سرزمین در حفاظت از الگوی کاربری اراضی پایدار؛ مطالعه موردی: استان کهگیلویه و بویراحمد، محیط‌شناسی، دوره ۳۷، شماره ۶۰، ۷۹-۸۸.
- کیانی، واحد، فقهی، جهانگیر، (۱۳۹۴). بررسی ساختار پوشش / کاربری حوضه آبخیز سفیدرود با استفاده از سنجه‌های بوم‌شناسی سیمای سرزمین، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۷، شماره ۲، ۱۳۱-۱۴۱.
- نظرنژاد، حبیب، حسینی، مرتضی، ایرانی، طیب، (۱۳۹۷). استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در ارزیابی تغییرات ساختار چشم‌انداز حوضه آبخیز قره‌سوی کرمانشاه، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۷، شماره ۲، ۲۳-۳۶.
- نظرنژاد، حبیب، حسینی، مرتضی، مصطفی‌زاده، رئوف، (۱۳۹۸). تحلیل تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز بالانچ‌چای با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین، فصلنامه جغرافیا و توسعه، دوره ۱۷، شماره ۵۴، ۷۵-۹۰.
- نوحه‌گر، احمد، جباریان امیری، بهمن، افراخته، روشنگر، (۱۳۹۴). تحلیل کاربری سرزمین در بخش مرکزی گیلان با رویکرد اکولوژی سیمای سرزمین، فصلنامه جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای، دوره ۵، شماره ۱۵، ۱۹۷-۲۱۴.
- Abdolalizadeh, Z., Ebrahimi, A., Mostafazadeh, R., (2019). **Landscape pattern change in Marakan protected area, Iran**, Regional Environmental Change, Vol 19, Pp 1683- 1699.
- Apan, A., Raine, S., Paterson, M., (2002). **Mapping and Analysis of changes in the riparian landscape structure of the Lockyer valley catchment, Queensland, Australia**, Journal of Landscape and Urban Planning, Vol 59, Pp 43- 57.
- Dinka, M.O., Chaka D.D., (2019). **Analysis of land use/land cover change in Adei watershed, Central Highlands of Ethiopia**, Journal of Water and Land Development, Vol 41, Pp 146- 153.
- Eskandari, S., Moradi, A., Oladi, J., (2011). **Land use and landscape analysis of Gol-e-Sefid village from an environmental point of view, using RS and GIS**, Town and country planning, Vol 3, Pp

- 137- 162 (In Persian).
- Lambin, E.F., Meyfroidt, P., (2011). **Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity**, P. Natl. A. Sci. Vol 108, Pp 3465- 3472.
- Moges, D.M., Bhat, H.G., (2018). **An insight into land use and land cover changes and their impacts in Rib watershed, north-western highland Ethiopia**, Land degradation & development, Vol 29, Pp 3317- 3330.
- O2- planing and design, (2nd.may 2013). **Landscape Patterns Environmental Quality Analysis. Department Of National Defense**, Canadian forces base suffield u.s fish and wildlife service.
- Paudyal, K., Baral, H., Bhandari, S.P., Bhandari, A., Keenan, R.J., (2019). **Spatial assessment of the impact of land use and land cover change on supply of ecosystem services in Phewa watershed, Nepal**, Ecosystem Services, Vol 36, Pp 1- 49 (Article number 100895).
- Richard, T., Forman, T., (1995). **Land Mosaic, The ecology of landscape and reigons**, Pp 1- 656.
- Smiraglia, D., Tombolini, I., Canfora, L., Bajocco, S., Perini, L., Salvati, L., (2019). **The Latent Relationship Between Soil Vulnerability to Degradation and Land Fragmentation: A Statistical Analysis of Landscape Metrics in Italy, 1960–2010**, Environmental management, Vol 64, Pp 154- 165.
- Wang, B., Li, Y., Wang, S., Liu, C., Zhu, G., Liu, L., (2019). **Oasis Landscape Pattern Dynamics in Manas River Watershed Based on Remote Sensing and Spatial Metrics**, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Vol 47, Pp 153- 163.
- Zhang, X., Zhou, L., Zheng, Q., (2019). **Prediction of landscape pattern changes in a coastal river basin in south-eastern China**, International Journal of Environmental Science and Technology, Vol 16, Pp 6367- 6376.

