

Prediction of Land Use/Cover Changes in the Gorganrood Watershed Using Metrics and Land Change Processes

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Yaghoobi Bayekolaee M.¹ MSc,
Vafaenejad A.*² PhD,
Moradi Darabkalayi H.³ PhD,
Hashemi H.⁴ PhD

How to cite this article

Yaghoobi Bayekolaee M, Vafaenejad A, Moradi Darabkalayi H, Hashemi H. Prediction of Land Use/Cover Changes in the Gorganrood Watershed Using Metrics and Land Change Processes. Geographical Researches. 2022;37(3):381-389.

¹Department of Water Resources Management Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

²Department of Geotechnical and Transportation Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³Department of Watershed Management and Engineering, College of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

⁴Department of Water Resources Engineering and Center for Advanced Middle Eastern Studies, Lund University, Lund, Sweden

*Correspondence

Address: Address: Shahid Abbaspour Technical and Engineering Campus, Shahid Beheshti University, Bahar Bulevard, Hakimieh, Tehran, Iran. Postal Code: 16589-53571
Phone: +98 (21) 73932452
Fax: -
a_vafaei@sbu.ac.ir

Article History

Received: April 21, 2022
Accepted: June 17, 2022
ePublished: July 2, 2022

ABSTRACT

Aims The present study aimed to investigate and predict the changes in metrics and Landscape change processes in the Gorganrood watershed in Golestan province.

Methodology First, land cover maps were prepared in 1990, 2000, 2010, and 2020. Then predict land cover changes for future conditions, under two scenarios (1) continuation of the current trend of change for 2040 and (2) land cover changes for 2040 based on the ecological potential of the land, using land change modeling. Metrics and processes of land change in the studied years and scenarios were extracted using Fragstats software and their changes were analyzed during the study period (1990 to 2020). According to the results obtained during the study period, deforestation (279.53km²), reduction of rangeland lands (542.598km²), agricultural development (413 km²), and development of residential areas (133.81km²) have occurred in the Gorganrood watershed.

Findings According to the predicted land cover for 2040 under two management scenarios, the area of forest, agriculture, and rangeland in the first scenario (based on the current trend of change) with a change of -58.37, 35.8, 8.28 km² to 1364.98, 2396.09 and 3481.18km² will be reached. Meanwhile, in the second scenario (based on ecological potential), the area of forest, agriculture, and rangeland changed by 4.27, -100.86, and 96.58 km² to 1427.54, 2258.55 and 3567.49km² will receive.

Conclusion Increasing and decreasing the number of patches in human and natural uses, respectively, indicate the destructive trend of the landscape during the research period. Forest degradation, rangeland segregation and creation processes in agriculture and residential areas have occurred during the 30-year research period in the Gorganrood watershed.

Keywords Prediction of Land Cover Changes; LCM Model; Landscape Metrics; Ecological Potential; Gorganrood Watershed

CITATION LINKS

[Ahmadi Nadoushan M, et al; 2012] Predicting urban expansion ...; [Apan AA, et al; 2022] Mapping and analysis of ...; [Bihamta Toosi N, et al; 2014] Analysis of land cover changes ...; [Bogaert J, et al; 2004] Decision tree algorithm for ...; [Boongaling CGK, et al; 2018] Modeling land use change ...; [Braumoh AK; 2006] Random and systematic ...; [Buyantuyev A, et al; 2010] Multiscale analysis of the ...; [Feizizadeh B, et al; 2016] Extraction of land surface ...; [Fiener P, et al; 2011] Spatio-temporal patterns in ...; [Japelaghi M, et al; 2019] Spatio-temporal analysis ...; [Japolghy M, et al; 2017] Monitoring and analysis of landscape ...; [Joorabian Shooshtari S, et al; 2017] The role of landscape ...; [Joorabian Shooshtari Sh, et al, 2018] Land cover change ...; [Karami P, Mirsanjari M; 2018] Analysis of landscape degradation ...; [Kavian A, et al ; 2017] Flow discharge simulation ...; [Kiyani V, Fegghi J; 2015] Investigation of cover/land use ...; [Matsushita B, et al; 2006] Characterizing the changes in ...; [McGarigal K, Marks B; 2012] Fragstats: Spatial pattern analysis ...; [Megahed Y, et al; 2015] Land cover mapping analysis ...; [Mishra VN, et al; 2014] Prediction of land use changes ...; [Rajaei F, et al; 2017] Prediction the most ...; [Reddy CS, et al; 2017] Predictive modelling of ...; [Rodríguez N, et al; 2012] Land use and land cover ... [Romano G, et al; 2018] Modeling land use changes ... [Saffari A, et al; 2018] Investigation about the ... [Shooshtari S], Gholamalifard M; 2015] Scenario-based land cover ... [Su S, et al; 2014] Agricultural landscape pattern ... [Sun B, Zhou Q; 2016] Expressing the spatio-temporal ... [Talebi Amiri S, et al; 2009] Study on landscape ... [Tlapáková L, et al; 2013] An investigation about urban ... [Uemaa E, et al; 2013] Analysing the spatial structure ... [Yousefi S, et al; 2014] Comparison of different ... [Zabihi M, et al; 2019] Effects of land use/land ... [Zabihi M, et al; 2020] Landscape anagement through ... [Zebardast L, et al; 2020] Using landscape ecological ...

پیش‌بینی تغییرات کاربری/پوشش زمین در حوزه آبخیز گرگان‌رود با استفاده از سنج‌ها و فرآیندهای تغییر سیمای سرزمین

معصومه یعقوبی بایعکالی MSc

گروه مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران-آب-محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

علیرضا وفایی‌نژاد* PhD

گروه مهندسی ژئوتکنیک و حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران-آب-محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

حمیدرضا مرادی دارابکالی PhD

گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

حسین هاشمی PhD

مرکز مطالعات خاورمیانه و مهندسی منابع آب، دانشگاه لوند، لوند، سوئد

چکیده

اهداف: پژوهش حاضر با هدف بررسی و پیش‌بینی تغییرات سنج‌ها و فرآیندهای تغییر سیمای سرزمین در حوزه آبخیز گرگان‌رود در استان گلستان انجام شد. **روش‌شناسی:** نقشه‌های کاربری/پوشش زمین در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ میلادی تهیه شد. سپس پیش‌بینی تغییرات کاربری/پوشش زمین برای شرایط آینده، تحت دو سناریوی (۱) تداوم روند فعلی تغییر برای سال ۲۰۴۰ و (۲) تغییرات کاربری/پوشش زمین برای سال ۲۰۴۰ بر اساس توان اکولوژیکی سرزمین، با استفاده از مدل‌ساز تغییر سرزمین انجام پذیرفت. سنج‌ها و فرآیندهای تغییر سیمای سرزمین در سال‌های مورد مطالعه و سناریوهای مد نظر با استفاده از نرم افزار Fragstats استخراج و تغییرات آن‌ها طی دوره مورد مطالعه (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰) تحلیل شد.

یافته‌ها: طی دوره مورد بررسی، جنگل‌زدایی (۲۷۹/۵۳ کیلومتر مربع)، کاهش اراضی مرتعی (۵۴۲/۹۸ کیلومتر مربع)، توسعه کشاورزی (۴۱۳ کیلومتر مربع) و توسعه مناطق مسکونی (۱۳۳/۸۱ کیلومتر مربع) در آبخیز گرگان‌رود اتفاق افتاده بود. بر اساس نقشه پیش‌بینی‌شده کاربری اراضی برای سال ۲۰۴۰ تحت دو سناریوی مدیریتی، مساحت کاربری‌های جنگل، کشاورزی و مرتع در سناریوی اول (بر اساس روند تغییرات فعلی) با تغییر ۰۵۸/۳۷، ۳۵/۸، ۳۵/۸ کیلومتر مربع به ۱۳۶۶/۹۸، ۲۳۹۶/۰۹ و ۳۴۸۱/۱۸ کیلومتر مربع خواهد رسید. این در حالی است که در سناریوی دوم (بر اساس توان اکولوژیکی) مساحت کاربری‌های جنگل، کشاورزی و مرتع با تغییر ۴/۲۷، ۱۰۰/۸۶ و ۹۶/۵۸ کیلومتر مربع به ۱۴۲۷/۵۴، ۲۲۵۸/۵۵ و ۳۵۷۷/۴۹ کیلومتر مربع خواهد رسید.

نتیجه‌گیری: افزایش و کاهش تعداد لکه‌ها به‌ترتیب در کاربری‌های انسان‌ساخت و طبیعی بیانگر روند تخریب سیمای سرزمین طی دوره پژوهش است. فرآیندهای تنزل در جنگل، تفکیک در مرتع و ایجاد در کشاورزی و مناطق مسکونی طی دوره ۳۰ ساله پژوهش در آبخیز گرگان‌رود به وقوع پیوسته است.

کلیدواژگان: پیش‌بینی تغییرات کاربری/پوشش زمین، مدل LCM، سنج‌های سیمای سرزمین، توان اکولوژیکی، حوزه آبخیز گرگان‌رود

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۷

*نویسنده مسئول: a_vafaei@sbu.ac.ir

مقدمه

سیمای سرزمین، چیدمانی است که در آن ترکیبی از اکوسیستم‌های محلی یا کاربری‌های سرزمین در منطقه و در فرم مشابه تکرار شده‌اند [Apan et al., 2002]. آگاهی از انواع کاربری/پوشش سطح زمین

و فعالیت‌های انسانی در قسمت‌های مختلف آن و به بیان دیگر، نحوه استفاده از زمین، به عنوان اطلاعات پایه برای برنامه‌ریزی‌های مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [Matsushita et al., 2006]. کاربری/پوشش زمین یکی از متغیرهای سیمای سرزمین و محصول واکنش‌های محیط‌های انسانی و طبیعی است. کمی‌سازی ناهمگنی کاربری/پوشش زمین برای شفاف‌سازی ارتباط بین الگوهای مکانی و وقوع فرآیندهای مختلف طبیعی از جمله موارد مهم در بررسی سیمای سرزمین است [Braumoh et al., 2006].

بر همین اساس، بررسی، تحلیل و تفسیر الگوهای مکانی کاربری/پوشش زمین می‌تواند منجر به مدل‌سازی صحیح فرآیندهای طبیعی و در نتیجه مدیریت صحیح سیمای سرزمین شود. استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین روشی مناسب برای کمی‌کردن سیمای سرزمین است که به درک بهتر روابط بین الگوهای سیمای سرزمین و فرآیندهای آن کمک می‌کند. در حال حاضر طیف وسیعی از سنج‌های سیمای سرزمین برای بررسی روابط بین ساختار فضایی (مکانی) و توابع اکولوژیک سیمای سرزمین وجود دارد که نیازمند انتخاب مناسب‌ترین سنج‌ها برای وارد کردن در سیاست‌گذاری‌ها و تصمیم‌گیری‌ها است. انتخاب سنج‌های مناسب، به هدف مطالعه و خصوصیات سیمای سرزمین و ویژگی فرآیندهای اکولوژیک وابسته است [Buyantuyev et al. 2009]. بنابراین برای بررسی وضعیت تغییرات سیمای سرزمین نیاز است که با در نظر گرفتن هدف اجرای پروژه‌ها، از سنج‌های مناسب بهره گرفت.

سنج‌های سیمای سرزمین را می‌توان در سه سطح دسته‌بندی کرد [Uuemaa et al. 2001]. سنج‌ها در سطح لکه که برای لکه‌های منفرد تعریف شده و ویژگی‌های مکانی، نوع محتوا و بافت لکه‌ها را مشخص می‌کند. سنج‌ها در سطح طبقه که برای همه لکه‌هایی که از یک نوع هستند کاربرد داشته و منظور از کلاس، همه لکه‌هایی است که یک نوع کاربری یا یک نوع کاربری/پوشش را نشان می‌دهند؛ سنج‌ها در سطح سیمای سرزمین، انواع کلاسه‌ها و لکه‌های موجود در سیمای سرزمین را به صورت یکپارچه نشان می‌دهد [Buyantuyev et al. 2009].

در برخی از موارد برقراری ارتباط سنج‌های سیمای سرزمین با فرآیندهای طبیعی آبخیز به آسانی انجام‌پذیر نیست. ممکن است نتوان تغییر رفتارهای کاربری/پوشش زمین را با تعداد یا نوع مشخصی از سنج‌های سیمای سرزمین نشان داد و در واقع مجموعه‌ای از عوامل در آن نقش داشته باشند [Fiener et al., 2011; Su et al., 2014]. آشنایی‌نداشتن با نحوه تغییر و اثرهای ساختار و آرایش سیمای سرزمین بر اکوسیستم یکی از نگرانی‌های پژوهشگران و مدیران است [Tlapáková et al., 2013]. پیش‌بینی الگوهای سیمای سرزمین با لحاظ کردن فرآیندهای تغییر به وقوع پیوسته برای آگاهی از وضعیت و رفتار کاربری/پوشش زمین در آینده نقشه راهی است که می‌تواند کمک شایانی به تصمیم‌سازان کند.

(۱) مداوم روند فعلی تغییر برای سال ۲۰۴۰ و سناریوی (۲) تغییرات کاربری/پوشش زمین برای سال ۲۰۴۰ بر اساس توان اکولوژیکی سرزمین با استفاده از مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM و روش WLC) در آبخیز گرگان‌رود در استان گلستان انجام شد. هدف دیگر این پژوهش بررسی اثر حالت‌های ممکن تغییر کاربری/پوشش زمین بر سنج‌ها و فرآیندهای تغییر سیمای سرزمین بود.

روش‌شناسی

برای تهیه نقشه‌های کاربری/پوشش زمین حوزه آبخیز گرگان‌رود، تصاویرهای سنجنده TM ماهواره لندست در خرداد ۱۳۶۸ (ژوئن ۱۹۸۹)، تیر ۱۳۷۹ (ژوئیه ۲۰۰۰)، تیر ۱۳۸۹ (ژوئیه ۲۰۱۰) و تصویر سنجنده OLI در خرداد ۱۳۹۸ (ژوئن ۲۰۱۹) و از وبگاه سازمان زمین‌شناسی آمریکا گرفته شد. تصحیحات اتمسفری و رادیومتری این تصاویر به ترتیب با استفاده از روش‌های کاهش ارزش عددی نقطه‌های پیکسل‌های تیره و فلاش و در نرم‌افزار ENVI انجام شد. در روش کاهش ارزش عددی نقطه‌های تیره، مقدار ثابتی از ارزش کل نقطه‌ها در هر نوار کاسته می‌شود. فلاش اولین ابزار تصحیح اتمسفری است که طول موج مرئی و طول موج‌های فراسرخ و فرسرخ نزدیک تا ۳ میکرومتر را تصحیح می‌کند. از مزایای این روش طبقه‌بندی نوارهای تصاویرهای ماهواره‌ای است [Feizizadeh et al., 2016].

برای تشخیص بهتر عوارض روی تصویر در سنجنده‌های TM و OLI، در پیمایش‌های صحرایی، گوگل‌ارت و با استفاده از ترکیب‌های رنگی حقیقی و کاذب، نمونه‌های آموزشی کاربری/پوشش زمین (حداقل ۵۰ نمونه برای هر طبقه کاربری) برداشت شد. نمونه‌های آموزشی سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۷۹ نیز در نقاط بی‌تغییر در سال‌های پژوهش برداشته شد. پنج کاربری شامل مرتع، کشاورزی، جنگل، مناطق شهری و پهنه‌های آب مشخص شد. الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی تصاویرهای ماهواره‌ای به کار گرفته شد. ارزیابی صحت نقشه طبقه‌بندی‌شده با مقایسه نقطه‌های واقعیت زمینی برداشت شده (۳۰٪) با نقشه طبقه‌بندی‌شده و با استفاده از ضریب کاپا و صحت کلی انجام شد. صحت نقشه‌های تهیه‌شده در سال‌های پیشین (۱۳۶۸ و ۱۳۷۹) نیز با استفاده از تفسیر دیداری و نقطه‌های ثابت در طول زمان محاسبه شد [Joorabian Shooshtari et al., 2018; Yousefi et al., 2014].

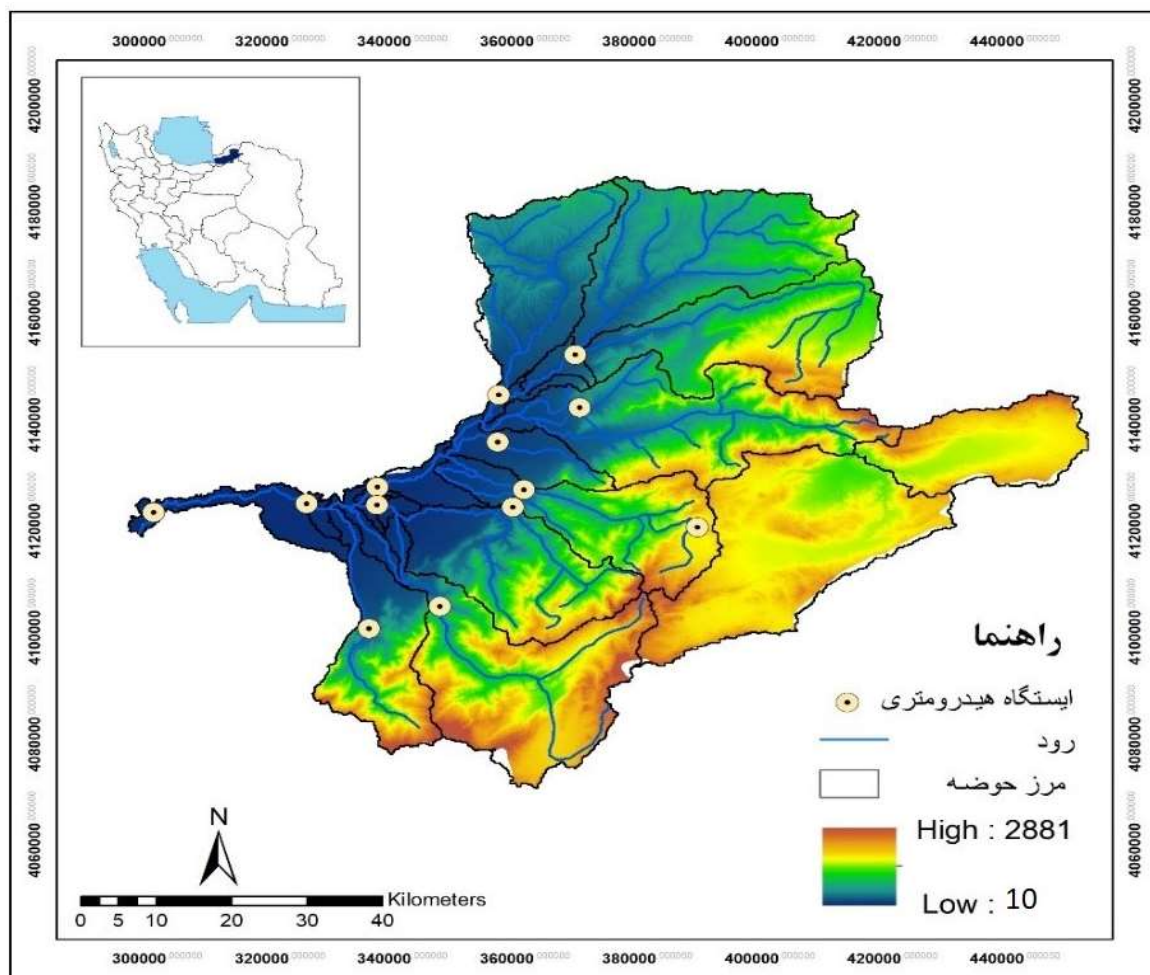
منطقه تحقیق، حوزه آبخیز گرگان‌رود تا ورودی سد وشمگیر به مساحت ۷۱۳۸ کیلومتر مربع است که در شمال ایران در حد فاصل طول جغرافیایی "۴۲° ۵۴ تا "۲۸° ۵۶ و عرض جغرافیایی "۴۳° ۳۶ تا "۴۹° ۳۷ واقع شده است. مرتفع‌ترین نقطه حوضه در منطقه خوش‌بیلان در جنوب غربی حوضه با ارتفاع ۲۸۹۸ متر و پست‌ترین نقطه، محل سد وشمگیر با ارتفاع ۱۰ متر از سطح دریا است. ارتفاع متوسط آبخیز گرگان‌رود ۸۹۰ متر و شیب متوسط آن ۱۸٪ است [Saffari et al., 2018]. طولانی‌ترین رودخانه حوضه به گرگان‌رود معروف است که به طول ۳۳۳ کیلومتر از ارتفاعات ۲۲۹۷ متری

پژوهش‌های متعددی با هدف بررسی و تحلیل رفتار سیمای سرزمین و اثرهای آن برای فرآیندهای مختلف انجام شده است. توسی و همکاران، به منظور آنالیز تغییرات شکل و اندازه کاربری‌های اراضی شهر اصفهان از سنج‌های سیمای سرزمین استفاده کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که تغییر در خصوصیات مکانی در کارکرد اکولوژیک منطقه تاثیرگذار است و باید در برنامه‌ریزی سرزمین مورد توجه قرار گیرد [Toosi Bihanta et al., 2014]. کیانی در بررسی ساختار کاربری زمین در آبخیز سفیدرود با استفاده از ۹ سنج سیمای سرزمین به این نتیجه رسیدند که بیشترین میزان تکه‌تکه‌شدن در کاربری کشاورزی رخ داده است [Kiyani, 2015]. شوشتری و همکاران با بررسی نقش سنج‌های سیمای سرزمین در ارزیابی کارایی مدل ژئومد در آبخیز نکارود (استان مازندران) به این نتیجه رسیدند که این رویکرد با کارایی زیادی که دارد می‌تواند درک جامع و کاملی از نبود قطعیت در صحت نتایج تولیدشده به دست دهد [Joorabian Shooshtari et al., 2017]. ضبیحی و همکاران تاثیر حالت‌های احتمالی تغییر کاربری/پوشش زمین بر مولفه‌های سیمای سرزمین در آبخیز تالار را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که روند تغییرات سنج‌های درصد کاربری/پوشش سیمای سرزمین، تعداد لکه، تراکم لبه، تراکم لکه، شاخص بزرگ‌ترین لکه و شاخص شکل سیمای در سال‌های بررسی شده در کاربری‌های جنگل و مرتع کاهش و در سایر کاربری‌ها افزایشی است [Zabihi et al., 2019]. کریمی و میرسنجری، تحلیل تخریب سیمای سرزمین در محدوده تالاب بزرگ هویزه در دوره‌ای ۲۵ ساله نشان دادند که مقدار سنج‌های تعداد لکه، تراکم لکه، شاخص بزرگ‌ترین لکه، شاخص شکل لکه کاهش و سنج تنوع شانون افزایش یافته است [Karami & Mirsanjari, 2018]. محققان با نشان‌دادن تغییرات زمانی و مکانی الگوهای زمین کشاورزی با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین (از جمله شاخص پراکندگی و مجاورت) در چین، بر موثر بودن روش به‌کاررفته برای بررسی توسعه زمین‌های کشاورزی در مقیاس آبخیز تاکید کردند [Sun & Zhou, 2016]. بونگالینگ و همکاران مدل‌سازی اثرهای تغییر کاربری زمین با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین و ویژگی‌های آب‌شناسی در آبخیز کالومپانگ (فیلیپین) نشان دادند که افزایش تراکم لکه و شاخص بزرگ‌ترین لکه کاربری‌های جنگل و کشاورزی، به ترتیب منجر به کاهش روان آب سطحی و تولید رسوب می‌شود [Boongaling et al., 2018]. ضبیحی و همکاران مدیریت منظر از طریق پایش فرآیندهای تغییر در ایران در حوزه آبخیز تالار را انجام دادند. این تحقیق به بررسی و پیش‌بینی فرآیندهای تغییر منظر (LCP) پرداخته است [Zabihi et al., 2020].

با وجود بررسی‌هایی که با هدف‌های متفاوت بر سنج‌های سیمای سرزمین انجام شده، تاکنون بررسی جامع و کاملی برای دانستن تاثیر حالت‌های ممکن مختلف تغییر کاربری/پوشش زمین بر تغییر سنج‌های سیمای سرزمین انجام نشده است. پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی نقشه کاربری/پوشش زمین در قالب دو سناریوی

سانتی‌گراد و بیشترین میزان دمای متوسط سالانه مربوط به ایستگاه تبخیرسنجی سد گرگان حدود ۱۸/۱ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۱).

سرچشمه می‌گیرد. بارش سالیانه حوضه از ۱۹۵/۲ تا ۹۶۷/۳ میلی‌متر متغیر است. کمترین میزان دمای متوسط سالانه حدود ۱۱ درجه



شکل ۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه

کاربری/پوشش زمین در آبخیز گرگان‌رود، در پژوهش حاضر دوره زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی (۱۳۹۸ تا ۱۴۲۰) مقطع پیش‌بینی گرفته شد. مدل‌سازی تغییرات کاربری/پوشش زمین در سه مرحله تحلیل تغییرات، توانایی انتقال و پیش‌بینی تغییرات در نرم افزار TerrSet انجام شد.

متغیرهای موثر بر تغییر کاربری/پوشش زمین با توجه به بررسی پیشینه پژوهش [Mishra et al., 2014] و همچنین در دسترس بودن داده‌ها انتخاب و به منظور مدل‌سازی توانایی انتقال بر اساس ضریب همبستگی Cramer مورد آزمون قرار گرفتند. ضریب همبستگی Cramer به تعیین میزان ارتباط متغیرهای مستقل با طبقات کاربری/پوشش زمین بر اساس آماره کای-اسکوئر می‌پردازد که مقادیر بالاتر از ۱۰٪ برای ضریب مورد اشاره در مدل‌سازی توانایی انتقال قابل قبول هستند [Reddy et al., 2017]. همین ارتباط، ارتفاع، فاصله از جنگل، فاصله از منطقه مسکونی، فاصله از

حل پیش‌بینی تغییرات کاربری/پوشش زمین برای شرایط آینده، تحت دو سناریوی تداوم روند فعلی تغییر برای سال ۲۰۴۰ و تغییرات کاربری/پوشش زمین سال ۲۰۴۰ بر اساس توان اکولوژیکی سرزمین انجام می‌پذیرد. به این صورت که ابتدا نقشه کاربری اراضی دوره آتی (۲۰۴۰) با به کارگیری مدل‌سازی تغییر سرزمین (LCM) تولید شده (سناریوی اول) و سپس توان اکولوژیکی پهنه‌های محتمل تغییر در آینده در حوزه آبخیز گرگان‌رود تعیین و سپس ۱۰ درصد مستعدترین پهنه‌های کاربری انتخاب و به نقشه کاربری ۲۰۴۰ اضافه شد [Rajaei et al., 2017]. نقشه‌های کاربری/پوشش زمین سال-های ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۹، ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ و ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ برای تجزیه و تحلیل و آشکارسازی تغییرات به محیط LCM معرفی شد. مقطع پیش‌بینی معمولاً (و نه الزاماً) در حدود طول دوره واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌سازی کاربری/پوشش زمین انتخاب می‌شود. بر همین اساس و به سبب وقوع محسوس و احتمالی تغییرات

سرزمین در نرم‌افزار TerrSet استخراج شد. در همین راستا، فرآیندهای تغییر (شکل، جابه‌جایی، کاهش سطح، افزایش سطح، جمع‌شدگی، تنزل، تجمع، ایجاد، تفکیک و تکه‌تکه‌شدن) طی یک دوره زمانی با استفاده از درخت تصمیم و بررسی دو نقشه کاربری/پوشش زمین در زمان‌های t1 و t2 و نحوه تغییرات سنج‌های مدنظر در تعریف فرآیندها و برای هر طبقه از کاربری/پوشش اراضی تعیین می‌شوند. استخراج فرآیندهای تغییر سیمای سرزمین در آبخیز گرگان‌رود در دوره‌های زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰، ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ (دو سناریو) با استفاده از نرم‌افزار TerrSet صورت پذیرفت.

جدول ۱) مشخصات سنج‌های استفاده‌شده در سطح سیما و طبقه در منطقه مورد مطالعه

نام سنج	علامت اختصاری	واحد	محدوده تغییرات
تعداد لکه	NP	-	NP≥1
تراکم لکه	PD	تعداد در هکتار	PD>۰
شاخص بزرگترین لکه	LPI	درصد	۰-۱۰۰
تراکم لبه	ED	متر بر هکتار	ED>۰
شاخص شکل سیما	LSI	-	LSI≥1
مساحت لکه	PA	هکتار	PA>۰
شاخص شکل	AWMSI	-	AWMSI≥1

یافته‌ها

نتایج مدل‌سازی تغییر سرزمین نشان می‌دهد، تغییرات مهمی بین سه کاربری عمده کشاورزی، مرتع و جنگلداری طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ به وجود آمده است (جدول ۲).

جدول ۲) مساحت طبقات کاربری اراضی آبخیز گرگان‌رود طی سال‌های مطالعاتی (کیلومتر مربع)

کاربری اراضی	۱۹۹۰	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۲۰
جنگل	۱۷۰۲/۸۸	۱۶۷۹/۲۴	۱۵۸۹/۰۳	۱۴۲۳/۳۵
کشاورزی	۱۸۱۷/۲۲	۱۷۵۰/۷۵	۲۱۲۴/۱۸	۲۳۶۰/۲۰
مرتع	۳۸۸۵/۹۰	۴۷۳۹/۴۶	۳۵۲۹/۷۱	۳۴۷۲/۹۰
مناطق مسکونی	۱۲۷/۴۲	۱۶۰/۲۵	۲۷۲/۱۲	۲۶۱/۴۹
پهنه آبی	۱۴/۶۸	۱۰/۴۵	۳۳/۳۲	۳۰/۳۹

دوره‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰، ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ به ترتیب به‌عنوان دوره‌های واسنجی، اعتبارسنجی و پیش‌بینی در آبخیز گرگان‌رود انتخاب شدند (جدول ۳).

جدول ۳) مقادیر ضریب همبستگی Cramer متغیرهای موثر بر تغییر کاربری اراضی آبخیز گرگان‌رود

متغیر	واستنجی اعتبارسنجی
مدل رقمی ارتفاع	۰/۳۳ - ۰/۳۲
فاصله از جنگل	۰/۴۱ - ۰/۴۱
فاصله از منطقه مسکونی	۰/۲۶ - ۰/۲۶
فاصله از کشاورزی	۰/۲۹ - ۰/۳۱
فاصله از رودخانه	۰/۱۸ - ۰/۲۱
فاصله از جاده	۰/۱۹ - ۰/۱۸
احتمال تجربی تغییر	۰/۴۰ - ۰/۳۲

کشاورزی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و احتمال تجربی تغییر به‌عنوان متغیرهای موثر در مدل‌سازی توانایی انتقال در پژوهش حاضر مدنظر قرار گرفتند.

در نهایت، روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) به‌عنوان یکی از روش‌های قدرتمند و رایج برای مدل‌سازی توانایی انتقال مورد استفاده قرار گرفت [Megahed et al., 2015; Romano et al., 2018]. به‌منظور ارزیابی صحت نتایج مدل‌سازی توانایی انتقال نیز از شاخص‌های خطای آموزش، خطای آزمایش و میزان صحت استفاده شد. در مرحله بعد، پیش‌بینی تغییرات کاربری/پوشش زمین برای شرایط آبی با روش زنجیره مارکوف انجام گرفت [Rodríguez Eraso et al., 2012]. ارزیابی نقشه پیش‌بینی‌شده کاربری اراضی نیز با روش‌های آماری و بصری و به‌ترتیب با استفاده از ضریب‌های مختلف کاپا و معیار شایستگی صورت پذیرفت [Ahmadi Nadoushan et al., 2012].

در سناریو دوم، تغییرات کاربری/پوشش زمین آینده بر اساس توان اکولوژیکی سرزمین با استفاده از روش ارزیابی خطی وزن‌دار (WLC) و بر اساس مدل‌های اکولوژیکی ایران صورت گرفت. در این پژوهش برای استفاده بجا از منابع سرزمین در توسعه تغییر کاربری اراضی، نقشه مطلوبیت سرزمین برای سه کاربری کلان جنگل، مرتع و کشاورزی که بیشترین تغییرات را طی دوره مورد مطالعه داشته‌اند، تهیه شد و سپس ۱۰٪ از مستعدترین مناطق برای هر کاربری که قرار است در سال ۲۰۴۰ تغییر یابد اختصاص یافت. اساس این روش انتخاب مناطقی است که بیشترین ارزش را برای هر کاربری داشته باشند و در ضمن ۱۰٪ مساحت تغییرات آینده را شامل شود. برای رسیدن به این هدف، معیارهای متعددی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند که چنین فرآیندی، ارزیابی چندمعیاره (MCE) نامیده می‌شود که در ادامه توضیح داده می‌شود [Rajaei et al., 2017]. تهیه نقشه مطلوبیت منطقه برای کاربری سه کاربری کلان به کمک روش ارزیابی چندمعیاره در چند مرحله به صورت جزئی بدین شرح بیان می‌شود:

۱. تعیین هدف، تعیین و شناسایی معیارهای موثر؛
۲. استانداردسازی معیارها (عامل و محدودیت)؛
۳. وزندهی عوامل؛
۴. تلفیق به کمک WLC.

برای بررسی پویایی و تغییرات سنج‌های سیمای سرزمین آبخیز گرگان‌رود، ۷ سنج (جدول ۱) در سطح طبقه و سیما برای هر یک از نقشه‌های تهیه‌شده در ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۰ و دو سناریوی مد نظر برای سال ۲۰۴۰، با استفاده از نرم‌افزار Fragstats و روش همسایگی ۸ سلولی و استراتژی بدون نمونه‌برداری [McGarigal & Marks, 2012] استخراج، بررسی و تحلیل شد. روش همسایگی ۸ سلولی از ۸ سلول مجاور سلول مرکزی برای تعیین و تشخیص لکه‌های موجود در سیمای سرزمین بهره می‌برد. در استراتژی بدون نمونه‌برداری نیز هر ورودی (نقشه کاربری اراضی) به نرم‌افزار به‌عنوان سیمای مجزا در نظر گرفته می‌شود. در ادامه فرآیندهای سیمای

اراضی بر اساس سناریوهای تهیه‌شده برای آینده در سطح سیمای (جدول ۵) ارائه شدند.

جدول ۵ نتایج محاسبه سنج‌های سیمای سرزمین در سطح سیمای مقیاس‌های آبخیز حوزه آبخیز گرگان‌رود

سال	NP	PD	LPI	ED	LSI	PA	AWMSI
۱۹۹۰	۲۴۸۴	۰/۱۳۲۲	۱۱/۳۶۴۲	۸/۳۷۶۵	۲۹/۷۱۱۷	۱۰۸۸۲۵	۱۸/۷۱۸۵
۲۰۰۰	۲۸۱۲	۰/۱۴۹۷	۱۱/۱۹۵۰	۸/۵۸۵۵	۳۰/۴۲۷۸	۱۱۳۱۹۰	۱۷/۳۱۷۶
۲۰۱۰	۳۲۳۶	۰/۱۷۲۳	۹/۳۶۴۵	۱۰/۴۲۴۲	۳۶/۷۲۲۷	۸۲۳۴۵/۶	۱۸/۳۷۶۵
۲۰۲۰	۲۳۹۱	۰/۱۲۷۳	۹/۳۹۹۷	۹/۹۰۵۰	۳۴/۹۴۳۸	۷۴۳۴۸/۸	۱۷/۵۲۴۶
سناریو ۱	۱۳۸۸۸	۰/۷۷۰۸	۷/۱۶۰۱	۱۴/۰۰	۴۸/۰۰	۵۵۱۲۵/۸	۱۸/۸۵۴۸
سناریو ۲	۳۲۰۱	۰/۱۷۷۷	۹/۶۵۳۴	۱۰/۵۲۰۲	۳۶/۳۱۴۱	۶۷۶۹۱/۴	۱۶/۰۹۷

یافته‌های به‌دست‌آمده از استخراج فرآیندهای تغییر سیمای سرزمین در دوره‌های مورد مطالعه برای هر یک از طبقات کاربری اراضی در منطقه مورد پژوهش در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶ فرآیندهای تغییر سیمای سرزمین در هر یک از طبقات کاربری اراضی طی دوره‌های مورد مطالعه حوزه آبخیز گرگان‌رود

کاربری اراضی	۲۰۰۰-۲۰۱۰	۲۰۱۰-۲۰۲۰	سناریو ۱ ۲۰۴۰-۱۹۹۰	سناریو ۲ ۲۰۴۰-۱۹۹۰
جنگل	توزیل	تفکیک	توزیل	تفکیک
کشاورزی	تفکیک	ایجاد	تجمع	ایجاد
مرتع	ایجاد	ایجاد	توزیل	تفکیک
منطقه مسکونی	ایجاد	ایجاد	توزیل	ایجاد
پهنه آبی	تفکیک	ایجاد	توزیل	ایجاد

بحث

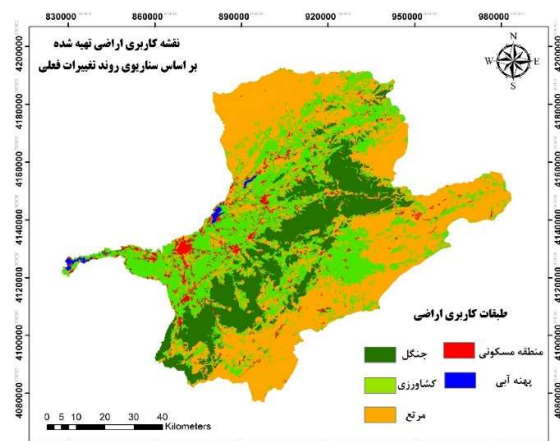
بررسی تغییرات کاربری/پوشش سرزمین حوزه آبخیز گرگان‌رود نشان داد در طول دوره مورد مطالعه (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰) بیشترین میزان تغییرات در زمینه تخریب کاربری/پوشش جنگلی و مرتع (۴۱۲/۶) و ۲۷۹/۵۳ کیلومتر مربع) صورت گرفته و بیشترین میزان افزایش مربوط به کاربری کشاورزی (۵۴۲/۹۸ کیلومتر مربع) است. همچنین بر اساس نقشه پیش‌بینی‌شده کاربری اراضی برای سال ۲۰۴۰ تحت دو سناریوی مدیریتی، مساحت کاربری جنگل، کشاورزی و مرتع در سناریوی اول (بر اساس روند تغییرات فعلی) با تغییر ۰۵۸/۳۷، ۳۵/۸، ۸/۲۸ کیلومتر مربع به ۱۳۶۴/۹۸، ۲۳۹۶/۰۹ و ۳۴۸۱/۱۸ کیلومتر مربع خواهد رسید. در همین ارتباط، کاهش مساحت اراضی جنگلی و افزایش مساحت اراضی کشاورزی، مرتعی و منطقه مسکونی بیانگر آن است که عامل انسانی در تغییر کاربری اراضی آبخیز گرگان‌رود نقش به‌سزایی خواهد داشت که لازم است تا تصمیمات لازم در خصوص مدیریت کاربری اراضی با اقدامات مختلف از جمله حفظ جنگل مانند جنگل‌کاری، حفظ اراضی آبی و همچنین اراضی مرتعی یا محدودنمودن توسعه کشاورزی در اراضی شیب‌دار یا ایجاد باغ در اراضی مرتعی بالادست و در نتیجه مدیریت پایدار آبخیز اتخاذ شود. این در حالی است که در سناریوی دوم (بر اساس توان اکولوژیک) مساحت کاربری جنگل، کشاورزی و مرتع

یافته‌های حاصل از پژوهش در خصوص ارزیابی روش MLP به‌منظور مدل‌سازی توانایی انتقال حاکی از میزان صحت (%، RMS آموزش، RMS آزمایش و مهارت‌سنجی، برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ۴ ارائه شده است.

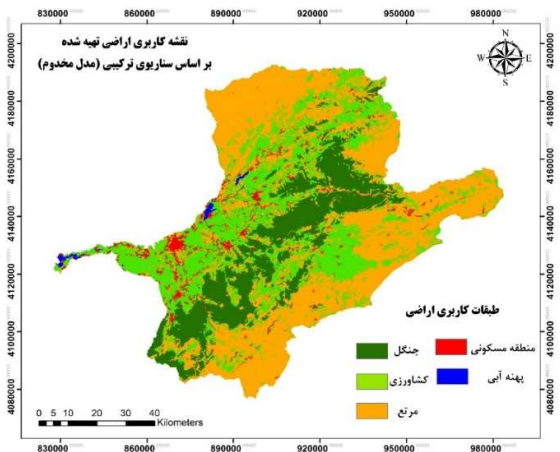
جدول ۴ یافته‌های حاصل از پژوهش در خصوص ارزیابی روش MLP

دوره	صحت (%)	RMS آموزش	RMS آزمایش	مهارت‌سنجی
واسنجی	۷۹/۲۹	۰/۳۳۳	۰/۳۳۷	۰/۶۳
صحت‌سنجی	۷۶/۳۶	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۵۹

نقشه پیش‌بینی‌شده کاربری اراضی آبخیز گرگان‌رود در سناریوی تداوم روند فعلی تغییر برای سال ۲۰۴۰ در شکل ۲ و سناریوی توان اکولوژیک سرزمین در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۲ نقشه کاربری اراضی آبخیز گرگان‌رود در سال ۲۰۴۰ (سناریوی روند تغییرات فعلی)



شکل ۳ نقشه پیش‌بینی‌شده نهایی برای سال ۲۰۴۰ (سناریوی توان اکولوژیک سرزمین)

نتایج حاصل از محاسبه سنج‌های سیمای سرزمین طی سال‌های مورد بررسی (۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰) و نیز در دو نقشه کاربری

تا ۲۰۲۰ شده است. دسترسی نقطه شروع پویایی سیمای سرزمین است که فرآیند تفکیک باعث افزایش دسترسی به سیمای سرزمین می‌شود. این امر می‌تواند با توجه به وقوع فرآیند تفکیک به‌عنوان نقطه شروع تغییر در سیمای سرزمین به‌عنوان هشدار در منطقه مطالعاتی مدنظر قرار گیرد. باید اشاره شود که فرآیندهای تفکیک، تنزل و تکه‌تکه‌شدن در طبقه فرآیندهای طبیعی تغییر سیمای سرزمین جای می‌گیرند و با تداوم تغییرات در بوم‌سازگان فرآیندهای انسانی تغییر سیمای سرزمین از جمله تجمع و ایجاد رخ خواهد داد [Bogaert et al., 2002]. در همین ارتباط، شاید فرآیندهای انسانی تغییر سیمای سرزمین را نوع تکامل‌یافته فرآیندهای طبیعی سیمای سرزمین دانست.

فرآیند ایجاد در کاربری‌های کشاورزی و منطقه مسکونی در آبخیز گرگان‌رود از طریق افزایش تعداد و مساحت لکه طی دوره پژوهش به‌وقوع پیوسته است. این امر بیانگر افزایش کاربری‌های مورد اشاره در آبخیز گرگان‌رود هستند که ناشی از تغییر کاربری سطوح وسیعی از بوم‌سازگان‌های طبیعی مانند جنگل‌ها و مراتع است. در همین راستا، ایجاد لکه‌های جدید و همچنین توسعه اراضی مسکونی نشان‌دهنده تخریب سیمای سرزمین در آبخیز گرگان‌رود است [Talebi amiri et al., 2009]. در آبخیز سفیدرود نشان دادند که افزایش تعداد لکه منجر به تنوع بیشتر سیمای سرزمین می‌شود. در همین مورد، لکه‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر شده و در معرض تخریب بیشتر قرار می‌گیرند. محققان در پارک ملی گلستان و در منطقه زاگرس مرکزی نیز بر وقوع فرآیند ایجاد در کاربری‌های کشاورزی و منطقه مسکونی اشاره و تاکید کردند که تخریب سیمای سرزمین منطقه مورد نظر از طریق افزایش تعداد لکه‌های کاربری اراضی را در پی داشته است [Zebardast et al., 2012; Japelaghi et al., 2019]. با توجه به روند تغییرات کاربری اراضی و بر اساس نقشه پیش‌بینی‌شده کاربری اراضی در سال ۲۰۴۰ در سناریوی ۱ انتظار می‌رود تا فرآیند تفکیک برای و ایجاد برای سایر کاربری‌ها در آبخیز گرگان‌رود به‌وقوع بپیوندد. این در حالی است که اگر اصول تغییر کاربری بر اساس توان سرزمین برای سال ۲۰۴۰ طبق سناریوی ۲ در نظر گرفته شود، ایجاد برای کاربری جنگل مرتع، تفکیک برای کشاورزی و جابه‌جایی برای مناطق مسکونی را خواهیم داشت؛ چرا که در سال‌های اخیر ویلاسازی و به تبع آن توسعه باغات در اراضی کوهستانی و بیابانی دامنه شمالی البرز روند رو به رشدی را نشان می‌دهد و باید تخریب شود و به کاربری مناسب خود بازگردانده شود.

نتیجه‌گیری

تحلیل نتایج فرآیندهای تغییر سیمای سرزمین حاکی از تکه‌تکه‌شدن و از هم‌گسیختگی سیمای سرزمین به‌ویژه در کاربری‌های تحت تأثیر مستقیم انسان در آبخیز گرگان‌رود است. بدین صورت که لکه‌های بزرگ بر اثر فعالیت‌های انسانی به لکه‌های کوچک‌تر تبدیل می‌شوند که نشان‌دهنده وضعیت تخریبی در آبخیز مطالعاتی است. با توجه به سطح زیاد کاربری مرتع در منطقه مورد

با تغییر ۴/۲۷، ۱۰۰/۸۶ و ۹۶/۵۸ کیلومتر مربع به ۱۴۲۷/۵۴، ۲۲۵۸/۵۵ و ۳۵۶۷/۴۹ کیلومتر مربع خواهد رسید.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از محاسبه ضریب همبستگی Cramer در دوره‌های مورد پژوهش (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰) بیشینه مقدار ضریب Cramer برابر با ۰/۴۱ برای متغیر فاصله از حاشیه جنگل و جاده با مقدار ۰/۱۸ اختصاص یافت که در تحقیقی در آبخیز نکارود نیز به نتیجه مشابهی دست یافتند [Shooshtari & Gholamalifard, 2015]. علاوه بر موارد ذکرشده، متغیر ارتفاع از سطح دریا با مقدار ضریب Cramer برابر با ۰/۳۳ نقش مهمی را در مدل‌سازی توانایی انتقال ایفا می‌نماید که در مطالعه کاویان و همکاران [Kavian et al., 2017] در آبخیز هراز در استان مازندران نیز به آن اشاره شده است.

بر اساس نتایج ارائه‌شده در بخش محاسبه سنج‌ها و فرآیندهای سیمای سرزمین مشخص شد که سنج‌های ED، LSI، NP و PD از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ روند افزایشی و سپس از ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ روند کاهشی را در سطح سیما در آبخیز گرگان‌رود دارند. سنج PA و شاخص LPI از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ روند کاهشی داشته است. سنج AWMSI روند کاهشی و افزایشی را در سطح سیما طی دوره‌های مورد مطالعه نشان داد. علاوه بر این، روند تغییرات سنج‌های ED، شاخص LSI، NP و PD برای شرایط آبی منطقه مطالعاتی در هر دو سناریو افزایشی خواهد بود با این تفاوت که شدت این افزایش در سناریو اول زیاد است. سنج PA نیز در هر دو سناریو روند کاهشی را تجربه خواهد کرد و شاخص LPI در سناریو اول روند کاهشی و در سناریو دوم روند افزایشی محدودی دارد.

نتایج پژوهش حاضر در بخش فرآیندهای سیمای سرزمین نشان داد که طی دوره‌های مطالعاتی فرآیندهای تنزل، ایجاد و تفکیک در آبخیز گرگان‌رود به وقوع پیوسته است. در همین ارتباط و طی دوره ۳۰ ساله پژوهش، فرآیند تنزل در جنگل، فرآیند تفکیک در مرتع و فرآیند ایجاد در کشاورزی و منطقه مسکونی رخ داده است. کاهش تعداد و مساحت لکه در کاربری جنگل منجر به وقوع فرآیند تنزل شده است که نمایه‌ای برای تخریب سیمای سرزمین ناشی از فعالیت‌های انسانی است [Bogaert et al., 2004]. در استان لرستان نیز به وقوع فرآیند تنزل در لکه‌های جنگلی اشاره شده است [Japolgthy et al., 2017]. تبدیل کاربری جنگل به سایر کاربری‌ها از جمله کشاورزی و منطقه مسکونی در پایین‌دست آبخیز مطالعاتی توسط عوامل انسانی و به‌ویژه در حاشیه لکه‌ها منجر به کاهش تعداد و مساحت لکه‌های جنگلی و وقوع فرآیند تنزل شده است. طالبی و همکاران بیان کردند که تبدیل زمین‌های با پتانسیل کم برای کشاورزی منجر به تغییر سریع آن‌ها به زمین‌های با حاصلخیزی اندک پس از یک تا دو سال خواهد شد [Talebi Amiri et al., 2009]. این درحالی است که انجام عملیات کشاورزی در آنجا غیرممکن است.

افزایش تعداد لکه که نشان‌دهنده تخریب است و کاهش اندک مساحت در کاربری مرتع منجر به وقوع فرآیند تفکیک در دوره ۱۹۹۰

- Japelaghi M, Gholamalifard M, Shayesteh K (2019). Spatio-temporal analysis and prediction of landscape patterns and change processes in the central Zagros region, Iran. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 15:100244.
- Japolyghy M, Gholamalifard M, Shayesteh K (2017). Monitoring and analysis of landscape pattern of Lorestan province and its change process in GIS environment. *Journal of Natural Environment*. 70(1):15-36. [Persian]
- Joorabian Shooshtari S, Shayesteh K, Gholamalifard M, Azari M, López-Moreno J (2017). The role of landscape metrics and spatial processes in performance evaluation of GEOMOD (Case study: Neka river basin). *Geography and Environmental Sustainability*. 7(3):63-80.
- Joorabian Shooshtari Sh, Shayesteh K, Gholamalifard M, Azari M, López-Moreno JI (2018). Land cover change modelling in hyrcanian forests, Northern Iran: A landscape pattern and transformation analysis perspective. *Cuadernos de Investigación Geográfica*. 44(2):743-761.
- Karami P, Mirsanjari M (2018). Analysis of landscape degradation in the Hawizeh wetland by using remote sensing. *Journal of Wetland Ecobiology*. 10(35):39-54. [Persian]
- Kavani A, Golshan M, Abdollahi Z (2017). Flow discharge simulation based on land use change predictions. *Environmental Earth Sciences*. 76(588).
- Kiyani V, Feghhi J (2015). Investigation of cover/land use structure of sefidrod watershed by landscape ecology metrics. *Journal of Environmental Science and Technology*. 17(2(65)):131-141. [Persian]
- Matsushita B, Xu M, Fukushima T (2006). Characterizing the changes in landscape structure in the lake Kasumigaura Basin, Japan using a high-quality GIS dataset. *Landscape and urban planning*. 78(3):241-250.
- McGarigal K, Marks BJ (2012). Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. *Open Journal of Ecology*. 2(3).
- Megahed Y, Cabral P, Silva J, Caetano M (2015). Land cover mapping analysis and urban growth modeling using remote sensing techniques in greater Cairo region-Egypt. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 4(3):1750-1769.
- Mishra VN, Rai PK, Mohan K (2014). Prediction of land use changes based on land change modeler (LCM) using remote sensing: A case study of Muzaffarpur (Bihar). *Environmental Science*. 64(1):111-127.
- Rajaei F, Esmaili Sari A, Salman Mahiny A, Delavar M, Gholipour M, Massah Bavani A (2017). Prediction the most suitable of agricultural zones in the tajan watershed using multi criteria evaluation (mce) approach. *Town and Country Planning*. 9(1):111-127. [Persian]
- Reddy CS, Singh S, Dadhwal VK, Jha CS, Rao NR, Diwakar PG (2017). Predictive modeling of the spatial pattern of past and future forest cover changes in India. *Journal of Earth System Science*. 126(8):137-152.
- Rodríguez N, Armenteras D, Retana J (2012). Land use and land cover change in the Colombian Andes: Dynamics and future scenarios. *Journal of Land Use Science*. 8:1-21.
- Romano G, Abdelwahab OM, Gentile F (2018). Modeling land use changes and their impact on sediment load in a Mediterranean watershed. *Catena*. 163:342-353.
- Saffari A, Noori A, Karami J (2018). Investigation about the influence of land-cover and land use changes on soil erodibility potential, case study: Gharehou, Gorganrood. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*. 5(1):83-96. [Persian]

پژوهش و وقوع فرآیند تفکیک در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ که در چرخه وقوع فرآیندهای تغییر به‌عنوان نقطه شروع مطرح است و همچنین وقوع فرآیند ایجاد برای شرایط آبی بر اساس نقشه‌های پیش‌بینی‌شده کاربری‌ها لزوم انجام اقدامات حفاظتی و جلوگیری از تغییرات کاربری بیش از پیش احساس می‌شود. علاوه بر این، تداوم روند کاهش در سطح کاربری جنگل می‌تواند حیات این منابع ارزشمند را به خطر انداخته و به‌عنوان هشدار برای دست‌اندرکاران بخش اجرا مورد توجه جدی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی: بدین وسیله از تمامی مسئولان دانشکده مهندسی عمران-آب محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی کمال سپاس و قدردانی را داریم.

تأییدیه اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: نگارش حاضر بخشی از رساله دکتری نویسنده اول است.

سهم نویسندگان: معصومه یعقوبی بایعقلایی (نویسنده اول)، نویسنده مقدمه/پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث (۷۰٪)؛ علیرضا وفایی‌نژاد (نویسنده دوم)، روش‌شناس/نگارنده بحث (۱۰٪)؛ حمیدرضا مرادی دارابکلایی (نویسنده سوم)، تحلیل‌گر آماری/پژوهشگر کمکی (۱۰٪)؛ حسین هاشمی (نویسنده چهارم)، پژوهشگر کمکی (۱۰٪)

منابع مالی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

- Ahmadi Nadoushan M, Soffianian A, Alebrahim A (2012). Predicting urban expansion in Arak metropolitan area using two land change models. *World Applied Sciences Journal*. 18(8):1124-1132. [Persian]
- Apan AA, Raine SR, Paterson MS (2002). Mapping and analysis of changes in the riparian landscape structure of the Lockyer Valley Catchment, Queensland, Australia. *Landscape and Urban Planning*. 59(1):43-57.
- Bihanta Toosi N, Safianian A, Fakheran S (2014). Analysis of land cover changes in the central part of Isfahan (Iran) using landscape metrics. *Iranian Journal of Applied Ecology*. 6:77-88. [Persian]
- Bogaert J, Ceulemans R, Salvador-Van Eysenrode D (2004). Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation. *Environmental Management*. 33(1):62-73.
- Boongaling CGK, Faustino-Eslava DV, Lansigan FP (2018). Modeling land use change impacts on hydrology and the use of landscape metrics as tools for watershed management: The case of an ungauged catchment in the Philippines. *Land use policy*. 72:116-128.
- Braimoh AK (2006). Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 113(1-4):254-263.
- Buyantuyev A, Wu J, Gric C (2010). Multiscale analysis of the urbanization pattern of the Phoenix metropolitan landscape of USA: Time, space and thematic resolution. *Landscape and Urban Planning*. 94(3-4):206-217.
- Feizizadeh B, Didehban K, Gholamnia K (2016). Extraction of land surface temperature (LST) based on Landsat satellite images and split window algorithm study area: Mahabad catchment. *Geographical Data*. 25(98):171-181. [Persian]
- Fiener P, Auerswald K, Van Oost K (2011). Spatio-temporal patterns in land use and management affecting surface runoff response of agricultural catchments-A review. *Earth-Science Reviews*. 106(1-2):92-104.

- landscape metrics are the most suitable for comparing different landscapes? *Estonian Journal of Ecology*. 60(1):70-80.
- Yousefi S, Tazeh M, Mirzaee S, Moradi H, Tavangar S (2014). Comparison of different classification algorithms in satellite imagery to produce land use maps (Case study: Noor city). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 5(3):67-76. [Persian]
 - Zabihi M, Moradi H, Gholamalifard M, Khaledi Darvishan A (2019). Effects of land use/land cover change scenarios on landscape metrics on the Talar watershed. *Watershed Management Researches (Pajouhesh-Va-Sazandegi)*. 32(1(122)):84-99. [Persian]
 - Zabihi M, Moradi H, Gholamalifard M, Khaledi Darvishan A, Fürst C (2020). Landscape management through change processes monitoring in Iran. *Sustainability*. 12(5):1753.
 - Zebardast L, Yavare A, Salehi E, Makhdoum M (2012). Using landscape ecological metrics to investigate impacts of road on structural changes in Golestan national park during 1987 to 2010. *Environmental Researches*. 2(4):11-20.
 - Shooshtari SJ, Gholamalifard M (2015). Scenario-based land cover change modeling and its implications for landscape pattern analysis in the Neka watershed, Iran. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 1:1-19.
 - Su S, Ma X, Xiao R (2014). Agricultural landscape pattern changes in response to urbanization at the ecoregional scale. *Ecological Indicators*. 40:10-18.
 - Sun B, Zhou Q (2016). Expressing the Spatio-temporal pattern of farmland change in arid lands using landscape metrics. *Journal of Arid Environments*. 124:118-127.
 - Talebi Amiri S, Azari Dehkordi F, Sadeghi S, Soufbaf S (2009). Study on landscape degradation in Neka watershed using landscape metrics. *Environmental Sciences*. 6(3):133-144. [Persian]
 - Tlapáková L, Stejskalová D, Karásek P, Podhrázká J (2013). Landscape metrics as a tool for evaluation landscape structure-case study Hustopeče. *European Countryside*. 5(1):52-70.
 - Uuemaa E, Roosaaare J, Oja T, Mander Ü (2011). Analyzing the spatial structure of the Estonian landscapes: Which