

Detection and Prediction of Land Use Changes Using Modeling Approach within a GIS Environment (Case Study: Hablehroud Watershed)

Mahin Naderi¹, Vahedberdi Sheikh^{*2}, Chooghi Bairam Komaki³,
Abdolreza Bahrehmand⁴, Abdul Azim Ghanghermeh⁵, Hamid Siroosi⁶

1. Ph.D. Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mahinnaderi70@yahoo.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: sheikh@gau.ac.ir
3. Assistant Prof., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: komaki@gau.ac.ir
4. Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: bahrehmand@yahoo.com
5. Associate Prof., Golestan University, Gorgan, Iran. E-mail: aghanghermeh@gmail.com
6. Ph.D. Graduate, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: h.siroosi@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Full Paper	Background and Objectives: Determining the type, extent, and spatio-temporal changes of land use and land cover is very important in determining the hydrological characteristics of watersheds. Satellite data are the fastest and cheapest tools available to researchers in this regard. The study area in this study is Hablehroud watershed, whose flow decline over the past decades resulted in intensification of the conflict between the upstream (the Tehran province) and downstream (the Semnan province) stakeholders. Since, the land use change is considered as one of the causes of the watersheds' hydrological regime, the aim of this study were detection, quantifying, and prediction of the land use changes as well as analysis the land surface vegetation cover in the Hablehroud watershed.
Article history: Received: 05.08.2022 Revised: 07.19.2022 Accepted: 07.23.2022	
Keywords: Google Earth Engine, Hablehroud Basin, NDVI, Remote Sensing, Supervised Classification	
	Materials and Methods: In this study, in order to identify the land use types of the Hablehroud basin, a supervised object-oriented classification of Landsat series images related to 1987, 2002 and 2019 was performed in Google Earth Engine software. To determine the classification performance, several ground truth points is required. In this study the ground truths were acquired through field visits and consultation of the high-resolution images of the Google map. The Markov chain and CA-Markov models within the MOLUSCE module, which is one of the software extensions of QGIS spatial information system software, were used to simulate land use changes and analyze their dynamics in the study area. Moreover, the NDVI index was calculated to assess the spatio-temporal changes of the vegetation status of the study area through using the Google Earth Engine software.
	Results: The results indicate that the classification method used in this research has an overall accuracy percentage of more than 88 and a Kappa coefficient of more than 0.86 in all the time periods investigated. It is also observed in 2019, compared to 1987, we see an increase in irrigated arable land by about 67.5 square kilometers, an increase in rainfed agricultural land by about 20 square kilometers and an increase in residential areas by about 21 square kilometers. However, the grade 1 and 2 rangelands have decreased, which is about 240 square kilometers in the grade 1 rangelands

and about 196 square kilometers in the grade 2 rangelands. While the extent of the poor rangelands has increased by about 327 square kilometers. If this trend continues, during 2019 - 2051, the extent of the irrigated areas, poor and medium class rangelands will increase about 20, 50, and 50 square kilometers, while the extent of the good rangelands will decrease about 127 square kilometers. The extent of the residential lands will increase too. The results also show a significant downward trend in the average NDVI index of the basin, indicating retrogression in the vegetation status of the basin. Vegetation retrogression is more intense around residential areas and rivers and downstream areas of the basin.

Conclusion: The study of land use change trends in Hablehroud basin shows that due to human interventions, in significant parts of the basin, natural vegetation has been replaced by agricultural, horticultural and residential areas. The quality of the dominant natural cover of the region (rangeland) has also undergone a significant retrogression process. Therefore, due to population growth, urbanization and development of industries and tourism, sharp decline in the discharge of the Hablehroud basin and the spread of conflict between stakeholders in the region, it is suggested that the main focus of the policies and management measures should be on effective planning, especially the management and optimization of human interventions through the development and implementation of land management plans and optimization strategies and save water consumption in this watershed.

Cite this article: Naderi, Mahin, Sheikh, Vahedberdi, Komaki, Chooghi Bairam, Bahrehmand, Abdolreza, Ghanghermeh, Abdul Azim, Siroosi, Hamid. 2022. Detection and Prediction of Land Use Changes Using Modeling Approach within a GIS Environment (Case Study: Hablehroud Watershed). *Journal of Water and Soil Conservation*, 29 (2), 113-134.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2022.20196.3551

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

آشکار سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از رویکرد مدل‌سازی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حبله‌رود)

مهین نادری^۱، واحد بردی شیخ^{۲*}، چوقی بایرام کمکی^۳، عبدالرضا بهره‌مند^۴،
عبدالعظیم قانقرمه^۵، حمید سیروسی^۶

۱. دانشجوی دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mahinnaderi70@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: sheikh@gau.ac.ir
۳. استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: komaki@gau.ac.ir
۴. استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: bahremand@yahoo.com
۵. دانشیار دانشگاه گلستان، گرگان، ایران. رایانامه: aghangermeh@gmail.com
۶. دانش‌آموخته دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: h.siroosi@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: تعیین نوع، حدود و تغییرات مکانی و زمانی کاربری اراضی و پوشش زمین در تعیین خصوصیات هیدرولوژیکی آبخیزها از اهمیت بسیاری برخوردار است. داده‌های ماهواره‌ای به‌عنوان سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین ابزارهای در اختیار پژوهش‌گران برای این منظور می‌باشند. منطقه مورد مطالعه این پژوهش، حوزه آبخیز حبله‌رود است که کاهش آبدهی آن در دهه‌های گذشته باعث تشدید تعارض بین ذینفعان بالادست (استان تهران) و پائین‌دست (استان سمنان) شده است. با توجه به این‌که تغییرات کاربری اراضی یکی از عوامل تغییرات رژیم هیدرولوژیکی آبخیزها است، هدف پژوهش حاضر آشکار سازی، کمی‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی سطح زمین در این حوزه است.
واژه‌های کلیدی: حوزه حبله‌رود، سنجش‌ازدور، شاخص NDVI، طبقه‌بندی نظارت‌شده، گوگل ارث انجین	مواد و روش‌ها: در این پژوهش برای شناسایی کاربری اراضی حوزه حبله‌رود، طبقه‌بندی نظارت‌شده شیء‌گرای تصاویر سری لندست مربوط به سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ در محیط سامانه گوگل ارث انجین انجام شد. برای بررسی عملکرد روش طبقه‌بندی، نقاط متعدد واقعیت زمینی نیاز است. در این پژوهش، نقشه واقعیت زمینی با بررسی میدانی و تفسیر تصاویر با تفکیک مکانی زیاد (بزرگ‌مقیاس) گوگل‌مپ ایجاد شد. از مدل زنجیره‌ای مارکوف و سلول‌های خودکار مارکوف در افزونه MOLUSCE که یکی از افزونه‌های نرم‌افزار سامانه اطلاعات مکانی QGIS است برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی و تحلیل وضعیت پویایی

منطقه مورد مطالعه استفاده شد. به علاوه، روند تغییرات شاخص NDVI برای ارزیابی تغییرات مکانی-زمانی وضعیت پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه در نرم افزار گوگل ارث انجین محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج بیانگر این است که روش و تکنیک طبقه‌بندی مورد استفاده در این پژوهش دارای درصد صحت کلی بیش از ۸۸ و ضریب کاپای بیش از ۰/۸۶ در تمام مقاطع زمانی مورد بررسی است. همچنین مشاهده می‌شود که حوزه حبله‌رود طی دوره ۱۹۸۷ الی ۲۰۱۹ شاهد افزایش مساحت اراضی زراعی آبی به میزان ۶۷/۵ کیلومترمربع، اراضی زراعی دیم در حدود ۲۰ کیلومترمربع و مناطق مسکونی در حدود ۲۱ کیلومترمربع بوده است. مساحت اراضی مرتعی درجه ۱ حدود ۲۴۰ کیلومترمربع و اراضی مرتعی درجه ۲ حدود ۱۹۶ کیلومترمربع کاهش یافته است. در حالی که مساحت اراضی مرتعی درجه ۳ افزایشی حدود ۳۲۷ کیلومترمربع داشته است. در صورت تداوم این روند، تا سال ۲۰۵۱ مساحت اراضی زراعی آبی در حدود ۲۰ کیلومترمربع دیگر افزایش و مساحت اراضی مرتعی درجه ۱ در حدود ۱۲۷ کیلومترمربع کاهش خواهد یافت. اما مساحت اراضی مرتعی درجه ۲ و ۳ هرکدام در حدود ۵۰ کیلومترمربع افزایش خواهد یافت. مساحت اراضی مسکونی نیز روند افزایشی خواهند داشت. همچنین نتایج بیانگر سیر نزولی معنادار متوسط شاخص NDVI حوزه است که نشان می‌دهد در طول زمان وضعیت پوشش گیاهی منطقه سیر قهقرایی را طی کرده است. سیر قهقرایی پوشش گیاهی در اطراف مناطق مسکونی و رودخانه‌ها و قسمت‌های پایین دست حوزه شدیدتر است.

نتیجه‌گیری: بررسی روند تغییرات کاربری اراضی حوزه حبله‌رود نشان می‌دهد که در اثر مداخلات انسانی، در بخش‌های فراوانی از سطح حوزه، پوشش گیاهی طبیعی با پوشش‌های زراعی، باغی و مسکونی جایگزین شده است. کیفیت پوشش طبیعی غالب منطقه (مرتعی) نیز سیر قهقرایی را طی کرده است. بنابراین با توجه به روند افزایش جمعیت، گسترش شهرنشینی، توسعه صنایع و گردشگری و پیامدهای ناشی از مداخلات انسانی در حوزه هم‌چون کاهش شدید آبدهی رودخانه‌های حوزه حبله‌رود و گسترش تعارض بین ذینفعان و ذی‌مدخلان پیشنهاد می‌گردد تمرکز اصلی سیاست‌ها و اقدامات مدیریتی در این حوزه آبخیز روی برنامه‌ریزی مؤثر به‌ویژه مدیریت و بهینه‌سازی مداخلات انسانی از طریق تدوین و اجرای برنامه آمایش سرزمین و راهکارهای بهینه‌سازی و صرفه‌جویی در مصرف آب باشد.

استناد: نادری، مهین، شیخ، واحدبردی، کمکی، چوقی بایرام، بهره‌مند، عبدالرضا، قانقرمه، عبدالعظیم، سیروسی، حمید (۱۴۰۱). آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از رویکرد مدل‌سازی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حبله‌رود). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۹ (۲)، ۱۳۴-۱۱۳.

DOI: 10.22069/jwsc.2022.20196.3551



© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

تعیین نوع و حدود کاربری اراضی^۱ و پوشش زمین^۲ در تعیین خصوصیات و فرایندهای محیطی از اهمیت بسیاری برخوردار است. با گسترش علم سنجش‌ازدور^۳، حجم وسیعی از تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین ابزارها در اختیار پژوهش‌گران جهت تهیه نقشه کاربری اراضی قرار گرفته‌اند (۱). استفاده از سامانه گوگل ارث انجین^۴ به‌منظور پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه کاربری اراضی، یکی از روش‌هایی است که اخیراً مورد توجه پژوهش‌گران در نقاط مختلف جهان قرار گرفته است. این سامانه، مبتنی بر وب است که توسط شرکت گوگل به‌منظور ذخیره‌سازی و تحلیل حجم عظیمی از داده‌ها راه‌اندازی شده است. گوگل ارث انجین (GEE) با ارائه یک محیط جامع، امکان طبقه‌بندی تصاویر را فراهم آورده است. این ابزار قابلیت‌هایی برای طبقه‌بندی نظارت‌نشده و نظارت‌شده، تجزیه و تحلیل داده‌های ورودی، ایجاد نمونه تعلیمی، یادگیری و طبقه‌بندی ارائه می‌کند (۲).

در تهیه نقشه کاربری اراضی، دقت بالای پهنه‌بندی بسیار ضروری است. خطایی که در این بخش از مطالعات رخ دهد می‌تواند به مراحل بعدی پژوهش سرایت کرده و نتایج نهایی را نیز متأثر سازد. روش طبقه‌بندی^۵ تصاویر ماهواره‌ای یکی از عوامل مؤثر در دقت تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین است (۳). طبقه‌بندی تصویر با شناسایی عارضه‌های سطح زمین اولین مرحله در بررسی تغییرات پوشش زمین است. این روش بسته به میزان دقت و صحت طبقه‌بندی، می‌تواند میزان تغییرات در طبقات عارضه‌های زمینی را تعیین کند و نقشه

تولیدشده در آن برای انواع مقاصد دیگر به‌عنوان یک نقشه پایه قابل‌استفاده خواهد بود (۴). برای تهیه نقشه‌های موضوعی از تصاویر ماهواره‌ای، روش‌های مختلفی وجود دارد که شامل طبقه‌بندی نظارت‌شده و نظارت‌نشده^۶ یا رویکردهای پیکسل‌پایه^۷ و روش‌های شیء‌گرا^۸ می‌باشند (۵). اصل کارکردی رویکرد شیء‌گرا، تقسیم تصویر به قطعات (سگمنت) مختلف براساس جزئیات طیفی و مکانی است (۶). روش‌های پردازش شیء‌گرا تصاویر ماهواره‌ای به جهت بهره‌مندی از الگوریتم‌های دانش‌پایه توانسته‌اند بر ضعف روش پیکسل‌پایه در فرایند طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای غلبه کنند (۷). تکنیک‌های شیء‌گرا در مقایسه با روش‌های سنتی طبقه‌بندی، از داده‌های بیش‌تری از جمله؛ اطلاعات هندسی مربوط به شکل عوارض و نحوه قرارگیری آن‌ها، اطلاعات جانبی مختلف (مدل‌های رقومی ارتفاع^۹، شاخص‌های متنوع تصویری) برای طبقه‌بندی پدیده‌ها و عوارض استفاده می‌کنند (۸). انتخاب مناسب‌ترین روش برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با توجه به تنوع منابع اطلاعاتی، داده‌های آموزشی و عوارض زمینی، متغیرهای قطعه‌بندی و هم‌چنین بازتاب‌های طیفی مختلف در شرایط متفاوت از عوارض زمینی مانع از انتخاب یک رویکرد واحد با پارامترهای مشخص برای طبقه‌بندی تصاویر شده است (۹). تاکنون پژوهش‌گران مختلفی به بررسی و مقایسه الگوریتم‌های مختلف در پردازش شیء‌گرا پرداخته‌اند. از جمله، چن و همکاران (۲۰۰۹) که به مقایسه روش‌های طبقه‌بندی پیکسل‌پایه و شیء‌گرا در استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای اقدام نمودند و به این نتیجه دست یافتند که الگوریتم طبقه‌بندی فازی در روش طبقه‌بندی شیء‌گرا با صحت کلی ۹۶ درصد در

6- Supervised and unsupervised classification

7- Pixel-Based

8- Object-oriented

9- Digital Elevation Model

1- Landuse

2- Landcover

3- Remote Sensing

4- Google Earth Engine

5- Classification

مقایسه با الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال در روش طبقه‌بندی پیکسل پایه با صحت کلی ۷۷ درصد، در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، از دقت بالاتری برخوردار است (۱۰). هم‌چنین لی و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی با استفاده از تصاویر پهپاد به مقایسه تکنیک‌های پردازش شیء‌گرا تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی کاربری اراضی در یک منطقه کشاورزی پرداخته و نتایج حاصل نشان‌دهنده دقت بسیار بالای طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان بوده است (۹). حاجی‌بیگلو و همکاران (۲۰۲۲) نیز با استفاده از شش الگوریتم طبقه‌بندی مبتنی بر پیکسل و شیء به بررسی تغییرات کاربری اراضی حوزه رودخانه گرگانرود در شمال‌شرق ایران پرداختند که نتایج به‌دست آمده بیانگر برتری روش شیء‌گرا نسبت به روش پیکسل پایه می‌باشد (۱۱).

علاوه بر تعیین نوع و حدود کاربری اراضی و پوشش زمین، بررسی تغییرات کاربری اراضی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا با بررسی تغییرات کاربری اراضی، روندهای مربوط به فرآیندهای جنگل‌زدایی، تخریب، بیابان‌زایی و از دست رفتن تنوع زیستی در یک منطقه مشخص می‌شود (۱۲). اطلاع از تغییرات کاربری اراضی و بررسی علل آن جهت برنامه‌ریزی و مدیریت منابع طبیعی امری ضروری می‌باشد. هم‌چنین با پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، می‌توان میزان گسترش و تخریب منابع را مشخص و این تغییرات را در مسیرهای مناسب هدایت کرد (۱۳). از جمله روش‌هایی که برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی وجود دارد می‌توان به مدل معادلات ریاضی، مدل سیستم، مدل آماری، مدل تکاملی، مدل سلولار و مدل هیبرید اشاره کرد. مدل سلولار شامل مدل‌های مارکوف و سلول‌های خودکار مارکوف است (۱۴). به منظور بررسی تبدیل کاربری‌های مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده از مدل زنجیره‌ای مارکوف استفاده می‌شود (۱۵).

در زمینه آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و نیز شبیه‌سازی تغییرات آینده مطالعات متعددی صورت گرفته است. از جمله: فیضی‌زاده (۲۰۱۷) در پژوهشی مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی را در حوزه آبخیز سد علویان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست انجام داد و به این نتیجه رسید که ضمن افزایش اراضی باغی، تخریب و تبدیل اراضی مرتعی خوب به ضعیف و اراضی دیم در سطح قابل‌توجهی صورت گرفته است (۱۶). در پژوهشی دیگر نیز اندریانی و همکاران (۲۰۱۸) در حوزه آبخیز زیلبرچای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری اراضی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در طول سال‌های آبی مساحت کاربری‌های مسکونی، زراعت آبی و باغات افزایش خواهد یافت (۱۷). شفیعی و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی در محور کلان شهر تهران- دماوند تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در ناحیه مورد مطالعه اکثر پوشش‌های گیاهی و زمین‌های کشاورزی تبدیل به شهرک‌های صنعتی و ویلاهای تفریحی شده است (۱۸). آقای و همکاران (۲۰۲۰) نیز در آبخیز کوزه‌تپراقی استان اردبیل با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف و LCM تغییرات کاربری اراضی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تغییر عمده کاربری کشاورزی دیم در بخش‌های مرکزی آبخیز، پوشش درختی در بخش جنوب غربی، مرتع در قسمت جنوب غربی و کشاورزی آبی در زیرحوزه‌های پایین‌دست آبخیز کوزه‌تپراقی است (۱۹). در پژوهشی دیگر وانگ و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از داده‌های سنجنش از دور، داده‌های اجتماعی- اقتصادی و مشاهدات میدانی، پویایی مکانی- زمانی تغییرات کاربری زمین را در شهر تیمفو

پایین‌دست حوزه را سبب شده است (۲۴). همانند سایر حوزه‌های آبخیز کشور، تغییرات گسترده کاربری اراضی در این حوزه باعث تغییر و تخریب وضعیت هیدرولوژیکی آن شده است.

بنابراین در پژوهش حاضر با توجه به ضرورت بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز حبله‌رود، علاوه بر تهیه نقشه کاربری اراضی اصلی (مرتع، کشاورزی و مسکونی) مربوط به سه دوره گذشته و حال از طریق طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر ماهواره‌ای و رویکرد شیء‌گرا در محیط سامانه گوگل‌ارث انجین و هم‌چنین پیش‌بینی وضعیت کاربری اراضی در دوره آتی نیز با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف و سلول‌های خودکار مارکوف در ماژول MOLUSCE، تغییرات وضعیت کاربری غالب حوزه آبخیز حبله‌رود که مرتع می‌باشد در طبقه‌های ریزتر شامل مرتع خوب، متوسط و فقیر و هم‌چنین طبقه‌های ریزتر کاربری کشاورزی یعنی کشاورزی دیم و آبی هم بررسی و پیش‌بینی شدند. به عبارتی علاوه بر بررسی تغییرات کمیت کاربری‌ها، تغییرات کیفیت آن‌ها نیز بررسی شده است. در همین راستا، روند تغییرات زمانی- مکانی شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده، تراکم پوشش گیاهی نیز در محیط سامانه گوگل‌ارث انجین مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

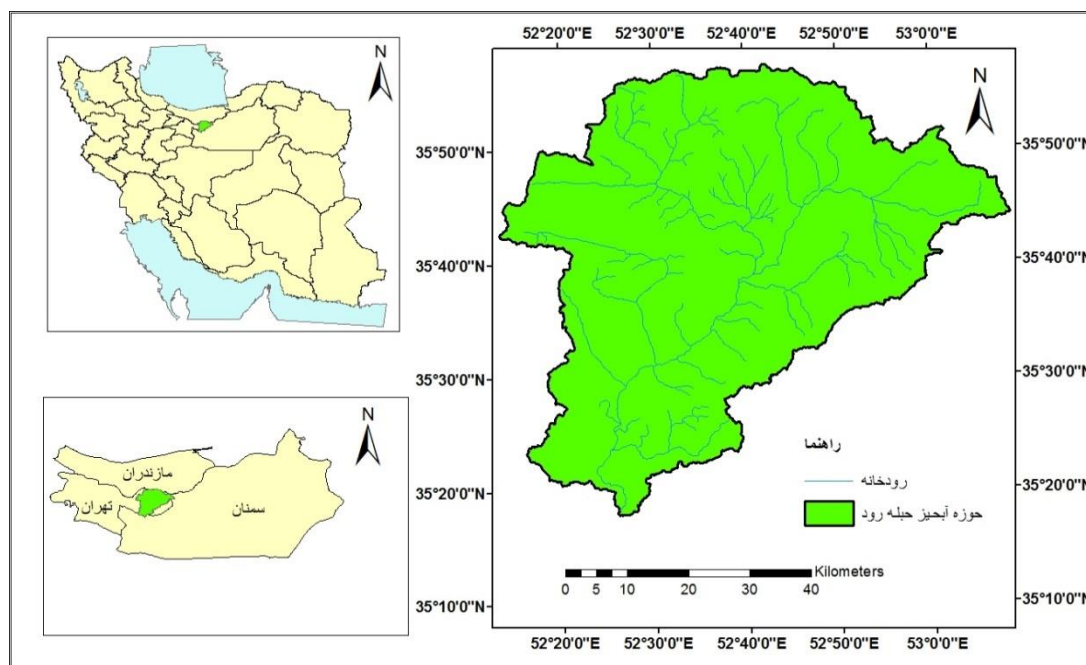
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل بخش بالادست حوزه آبخیز حبله‌رود تا ایستگاه آب‌سنجی بنکوه است که در محدوده استان تهران واقع شده است. این منطقه حدود ۳۲۰۰ کیلومتر مربع مساحت دارد و در محدوده طول جغرافیایی $19^{\circ} 11' 52''$ تا $40^{\circ} 8' 53''$ شرقی و عرض جغرافیایی $35^{\circ} 17' 54''$ تا $29^{\circ} 57' 35''$ شمالی واقع شده است (شکل ۱). تراکم جمعیتی و مناطق مسکونی حوزه نسبتاً کم است

شبهه‌سازی کردند. نتایج شبهه‌سازی آن‌ها نشان داد که چشم‌انداز شهر تیمفو به‌طور قابل توجهی در طول دوره مطالعه تغییر کرده است و پیش‌بینی می‌شود این روند تغییر تا سال ۲۰۵۰ ادامه یابد (۲۰). دوم و همکاران (۲۰۲۲) نیز در پژوهشی به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در بخش شمالی منطقه رودخانه‌های جنوبی، از پایین کازامانس تا رودخانه گبا (گیینه بیسائو) با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف پرداختند که کاهش شدید پوشش گیاهی تا سال ۲۰۳۵ در این منطقه را پیش‌بینی کردند (۲۱). محمد و همکاران (۲۰۲۲) نیز تغییرات مکانی و زمانی تغییرات کاربری اراضی را در آبخیز لینی در چین با استفاده از ماژول MOLUSCE انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که متغیرهای فیزیکی و اجتماعی- اقتصادی تأثیر قابل‌توجهی بر الگوهای کاربری اراضی دارند (۲۲). هم‌چنین دابا و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی کمی تغییرات کاربری اراضی و عوامل محرک آن‌ها در قسمت بالایی رودخانه آواش کشور اتیوپی با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف پرداختند و پیامدهای تغییرات کاربری اراضی را در مدیریت منابع آب بررسی کردند. نتایج این مطالعه تغییرات اساسی در کاربری اراضی این منطقه را طی سال‌های ۱۹۸۴-۲۰۱۹ نشان می‌دهد که دلیل اصلی این امر را گسترش کشاورزی و شهرنشینی بیان کرده‌اند (۲۳). منطقه مورد مطالعه در این پژوهش آبخیز حبله‌رود می‌باشد که یکی از آبخیزهای مهم و مشترک بین دو استان تهران و سمنان بوده که کاهش آب‌دهی و کیفیت آب، کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش محصولات کشاورزی و بدشدن کیفیت آن از مهم‌ترین مشکلات این حوزه آبخیز می‌باشد (۲۴). در چند دهه اخیر به دلیل افزایش جمعیت و برداشت گسترده از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، کاهش آب‌دهی آن چالش بروز تعارض بین ذینفعان بالادست و

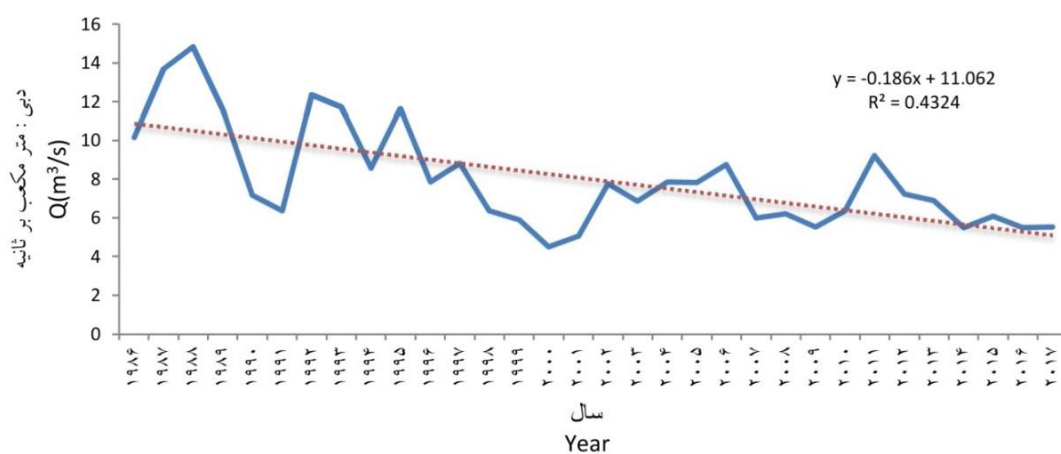
حوزه حبله‌رود در طول دهه‌های گذشته روند کاهش آبدهی شدیدی را تجربه کرده است (شکل ۲).

و اراضی زراعی نیز محدود به بستر دره‌ها و کنار رودخانه‌ها در بالادست و دشت‌های کوچک در پائین‌دست است و کاربری غالب منطقه مرتع است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان تهران و کشور ایران.

Figure 1. Location of the study area.



شکل ۲- روند کاهش آبدهی سالانه ایستگاه هیدرومتری بنکوه در خروجی حوزه مورد مطالعه.

Figure 2. Declining trend of annual discharge at the Bonekouh hydrometry station at the outlet of the study watershed.

دور باشند تا بتوانند تغییرات را نشان دهند. هم‌چنین با توجه به این امر که در مناطق خشک پوشش گیاهی وابسته به بارش است، بنابراین باید سال‌هایی را انتخاب کرد که تقریباً شرایط بارندگی یکسان باشد تا بتوان به تغییرات ناشی از دخالت انسانی در منطقه پی برد. هم‌چنین انتخاب ماه‌های می تا سپتامبر نیز با توجه به این امر صورت گرفته که این ماه‌ها کم‌ترین پوشش ابر دارند و وضوح تصاویر ماهواره‌ای بالاتر است و در این ماه‌ها پوشش گیاهی در اوج رشد برگی است.

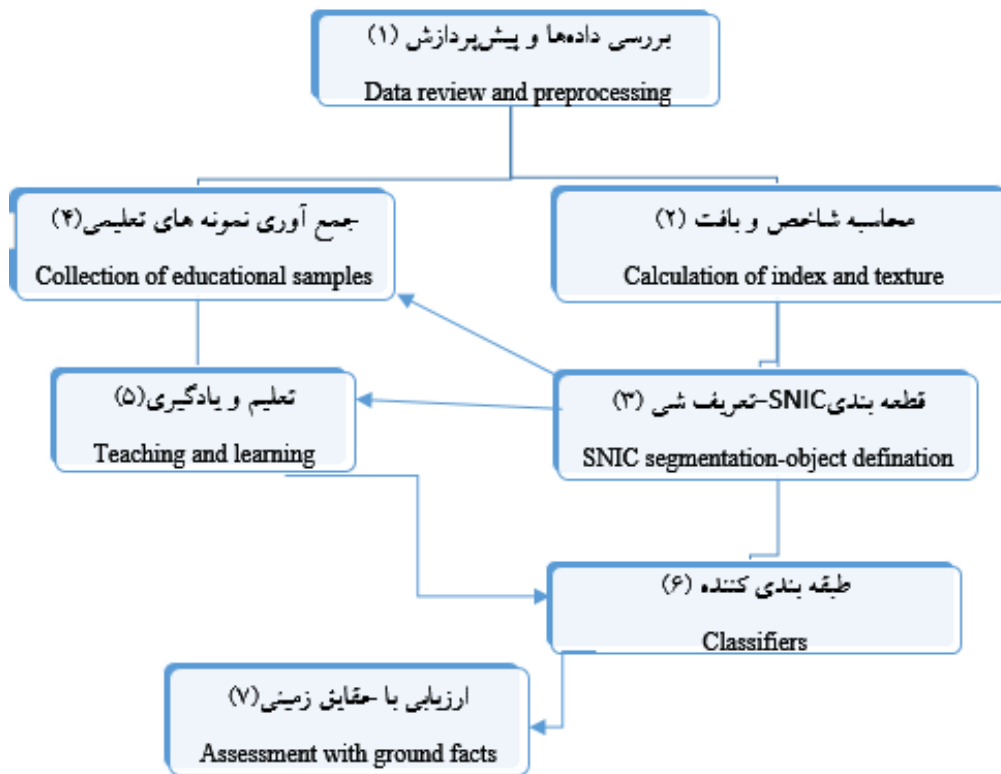
روند طبقه‌بندی یک فرایند چندمرحله‌ای است. سامانه گوگل ارث انجین (GEE) با ارائه یک محیط جامع، امکان طبقه‌بندی تصاویر را فراهم آورده است. این ابزار قابلیت‌هایی برای طبقه‌بندی نظارت‌نشده و نظارت‌شده، تجزیه و تحلیل داده‌های ورودی، ایجاد نمونه تعلیمی، یادگیری و طبقه‌بندی ارائه می‌کند. خلاصه مراحل انجام این بخش از پژوهش در شکل ۳ ارائه شده است. در شکل ۳، هدف از فرایند قطعه‌بندی^۶ گروه‌بندی پیکسل‌های مشابه براساس شباهت خصوصیات طیفی، مکانی و بافت است که با این روش عوارض مشابه به‌عنوان شیء ایجاد می‌گردد. یکی از روش‌های به‌کاررفته در این زمینه در سامانه GEE، روش قطعه‌بندی SNIC^۷ است که براساس جزئیات طیفی، جزئیات اطلاعات مکانی و حداقل تعداد پیکسل در هر قطعه، بخش‌های مشابه را به‌عنوان سگمنت (قطعه) شناسایی می‌کند. در این پژوهش، جزئیات طیفی و مکانی برابر ۴ و حداقل تعداد پیکسل برای هر قطعه، تعداد ۲۰ پیکسل (حدود ۱/۸ هکتار) است.

در این پژوهش، ابتدا سه طبقه کاربری اراضی اصلی شامل مناطق مسکونی، اراضی زراعی و اراضی مرتعی از طریق بازدید میدانی و استفاده از تصاویر گول‌ارث شناسایی شد و به‌صورت نمونه تعلیمی تعریف شدند و طبقه‌بندی طبقه‌های پوشش اراضی در سه مقطع زمانی با استفاده از طبقه‌بندی شیء‌گرا با فن طبقه‌بندی درخت تصادفی^۱ و با استفاده از تصاویر ماهواره لندست انجام شد. سپس، نقشه کاربری اراضی برحسب انواع طبقه‌بندی پراکنش کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه در طبقه‌های کاربری اراضی شامل اراضی زراعی آبی و دیم، اراضی مسکونی، اراضی مرتعی درجه ۱، ۲ و ۳ استخراج شد. اراضی مرتعی با انجام بازدید میدانی و استفاده از سامانه گول‌ارث برحسب میزان پوشش گیاهی منطقه، در سه سطح ضعیف، متوسط و خوب طبقه‌بندی شدند.

برای شناسایی کاربری اراضی با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده شیء‌گرا، از میانگین داده‌های تصاویر سری لندست (برگرفته از سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده^۲) در فصل تابستان (ماه می تا ماه سپتامبر) سال‌های ۱۹۸۷ (۱۹۸۷/۵/۱ تا ۱۹۸۷/۹/۱)، (سنجنده TM^۳)، ۲۰۰۲ (۲۰۰۲/۵/۱ تا ۲۰۰۲/۹/۱)، (سنجنده ETM^۴)، ۲۰۱۹ (۲۰۱۹/۵/۱ تا ۲۰۱۹/۹/۱)، (سنجنده OLI^۵) استفاده شد. با توجه به این‌که طول دوره آماری در این مطالعه حدود سه دهه (سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹) است، برای بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در این دوره حداقل باید سه نقشه کاربری تهیه شود تا بتوان روند تغییرات را بررسی نمود. فاصله زمانی این سه نقشه نیز باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که سال‌های انتخابی از لحاظ زمانی به‌اندازه کافی از هم

- 1- Random Forest
- 2- Earthexplorer.usgs.gov
- 3- Thematic Mapper
- 4- Enhanced Thematic Mapper Plus
- 5- Operational Land Imager

- 6- Segmentation
- 7- Simple Non-Iterative Clustering



شکل ۳- مراحل طبقه‌بندی نظارت‌شده.

Figure 3. The steps of supervised classification.

بررسی عملکرد یک طبقه‌بندی، باید دقت نقشه‌های پوشش زمینی حاصل از سنجنش‌ازدور ارزیابی گردد تا اعتبار آن مشخص گردد. جهت این کار به نقاط متعددی از واقعیت زمینی به عنوان نقشه حقایق زمینی^۵ نیاز است. در این پژوهش، نقشه حقایق زمینی با بررسی میدانی و تفسیر تصاویر با تفکیک مکانی زیاد (بزرگ مقیاس) یعنی گوگل‌مپ حاصل شد. برای تعیین دقت طبقه‌بندی روش طبقه‌بندی نظارت‌شده شیء‌گرا، ۳۰۰ نمونه تصادفی با پراکنش مناسب در منطقه مورد مطالعه انتخاب شد که به دو گروه (۷۰ درصد برای یادگیری و ۳۰ درصد برای ارزیابی) تقسیم شدند.

در طبقه‌بندی نظارت‌شده، نمونه‌های تعلیمی برای شناسایی طبقات (موضوعی) و محاسبه خصوصیات (علائم) آن‌ها استفاده می‌شوند. در هنگام تعریف نمونه تعلیمی، اندازه پیکسل در هر نمونه تعلیمی نباید بیش‌ازحد کوچک یا بزرگ باشد. برای طبقه‌بندی تصویر، ابزار طبقه‌بندی‌کننده جنگل تصادفی RF مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش از طبقه‌بندی شیء‌گرا براساس ویژگی‌هایی مانند اطلاعات طیفی، میانگین، انحراف معیار، میزان شباهت به دایره^۱ و شباهت به مربع^۲ بودن، اشیا استفاده شد. به‌طوری‌که، تابع طبقه‌بندی براساس دو معیار جزئیات طیفی (رنگ)^۳ و جزئیات مکانی (شکل^۴) تعیین گردید. برای

5- Ground Truth

1- Compactness
2- Rectangularity
3- Color
4- Shape

است، یعنی در آن هیچ دانش و آگاهی از موقعیت جغرافیایی کاربری‌های زمین وجود ندارد. برای پیش‌بینی موقعیت مکانی کاربری‌ها (نقشه پوشش و کاربری اراضی) در زمان آینده، مدل سلول خودکار به همراه این مدل به کار گرفته شد. بدین صورت که نقشه آینده کاربری اراضی با استفاده از نقشه شایستگی تبدیل کاربری تهیه می‌گردد. در واقع مدل سلول‌های خودکار مارکوف، مؤلفه‌های مکانی و دانش کاربر نسبت به توزیع مکانی احتمال تبدیل کاربری‌ها را به مدل زنجیره مارکوف اضافه می‌کند.

در این پژوهش، پس از آماده‌سازی داده‌های موردنیاز برای مدل، در ابتدا به منظور ارزیابی ماژول MOLUSCE در پیش‌بینی کاربری اراضی، با استفاده از نقشه کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲، ماتریس تغییرات و هم‌چنین متغیرهای مکانی^۴ (نقشه رستری احتمال انتقال کاربری‌ها) که در این مطالعه شامل نقشه مدل رقومی ارتفاع، نقشه شیب، نقشه فاصله از رودخانه و فاصله از جاده می‌باشد، نقشه کاربری سال ۲۰۱۹ پیش‌بینی شد. سپس نقشه پیش‌بینی شده با نقشه اصلی مربوط به سال ۲۰۱۹ مورد مقایسه قرار گرفت. ضرایب به‌دست آمده برای صحت کلی (۰/۸۴) و ضریب کاپا (۰/۷۸) بیانگر توانایی قابل‌قبول ماژول MOLUSCE (تلفیق سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف) در پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی دوره آتی بود. سپس به‌منظور پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی آتی نقشه کاربری پایه‌ای که باید براساس آن پیش‌بینی آینده صورت گیرد به مدل وارد شده که به ترتیب برای پیش‌بینی، نقشه کاربری سال ۱۹۸۷ به عنوان نقشه شروع و وضعیت مرحله اول، نقشه کاربری سال ۲۰۱۹ به‌عنوان وضعیت نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپس ماتریس تغییرات و

ارزیابی تغییرات کاربری اراضی براساس زنجیره مارکوف انجام گرفت. زنجیره مارکوف مدلی ریاضی برای بیان یک فرایند تصادفی گسسته با خاصیت مارکوف است که از یک وضعیت (موقعیت یا مجموعه ارزش‌ها) به وضعیت دیگر تغییر می‌یابد (۱۵). به‌عنوان مثال رفتار یک کاربری اراضی در یک زمین خاص می‌تواند دارای وضعیت‌های مختلفی باشد. برای مثال اگر زمینی به‌صورت زراعی باشد می‌تواند به صورت دیم یا آبی زیر کشت قرار گیرد و یا وضعیت آن به سایر کاربری‌ها مانند مناطق مسکونی، مرتعی و جنگلی تبدیل گردد. این رفتارها یک فضای وضعیت^۱ را تشکیل می‌دهند که فهرستی از وضعیت‌های ممکن است. احتمال تغییر یک وضعیت به وضعیت دیگر را ضریب انتقال^۲ گویند، زنجیره‌های مارکوف از مدل‌های مهم برای پیش‌بینی احتمالی فرآیندهای تصادفی هستند که در آن‌ها حالت آینده یک سیستم به حالت فعلی آن بستگی دارد. در این پژوهش از ماژول MOLUSCE^۳ (جیسموندی و همکاران، ۲۰۱۴) که یکی از افزونه‌های نرم‌افزار سامانه اطلاعات مکانی QGIS برای شبیه‌سازی تغییرات اراضی و تحلیل وضعیت پویایی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. این مدل از تلفیق سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف تشکیل شده است که برای پیش‌بینی تغییرات آینده پوشش و کاربری اراضی به کار می‌رود. در ابتدا با مدل زنجیره مارکوف احتمال تغییر طبقات نقشه کاربری به یکدیگر در قالب ماتریس احتمال تغییر وضعیت کاربری‌ها و بر مبنای تغییرات مساحتی به وقوع پیوسته بین دو زمان محاسبه می‌گردد. خروجی مدل مارکوف (ماتریس تغییر وضعیت کاربری‌ها) به لحاظ ماهیت غیرمکانی

1- State Space

2- Transition

3- Modules for Land Use Change Simulations

4- Spatial Variables

بررسی قرار گرفت و مطالعه جامع روی و همکاران (۲۰۱۶) به عنوان یک مطالعه پایه برای بررسی تفاوت‌های بین سنجنده‌های گروه لندست و معادلات همسان‌سازی آن‌ها مورداستفاده قرار گرفت (۲۵). هم‌چنین پیکسل‌های دارای ابرناکی با استفاده از کدهای محدودکننده از تصاویر استخراج شده به دست آمد تا تحلیل‌ها دچار عدم قطعیت کم‌تری باشد. در این مطالعه جهت بررسی روند تغییرات مکانی، در سامانه گوگل ارث انجین اقدام به پیاده‌سازی معادلات آماری شامل من کندال و تخمین‌گر slope Sen گردید تا روند تغییرات، شیب تغییرات و هم‌چنین معنی‌داری روند مورد بررسی قرار گرفته و به صورت مکانی نشان داده شود. آزمون Theil-Sen شیب میانه تغییرات در پیکسل‌ها را به صورت زوجی (بین دو تاریخ متوالی) محاسبه کرده و سری زمانی را با استفاده از یک روند خطی هموارسازی^۳ می‌کند. این آزمون یک آزمون ناپارامتریک است که برای سری‌های زمانی دارای نویز زیاد بسیار مؤثر و مناسب بوده که به داده‌های پرت حساس نیست (۲۶). در مطالعه حاضر نیز به دلیل وجود نویزهایی در سری زمانی که ناشی از عدم وجود تصاویر مناسب در برخی بازه‌های زمانی است، استفاده از این آزمون برای بررسی روند مناسب‌تر تشخیص داده شد. در این مطالعه به‌طورکلی ۲۸۵ تصویر ماهواره‌ای برای بررسی روند در بازه زمانی مطالعه مورداستفاده قرار گرفت. تصاویر در حد امکان به گونه‌ای انتخاب شدند که توزیع مناسبی در بین سال‌های مختلف داشته باشند.

هم‌چنین متغیرهای مکانی شامل نقشه مدل رقومی ارتفاع، نقشه شیب، نقشه فاصله از رودخانه و فاصله از جاده می‌باشد، وارد مدل شد. پس از اجرای مدل نقشه پیش‌بینی آینده (نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۵۱) تهیه شد.

بررسی روند تغییرات زمانی- مکانی شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی: در این مطالعه، برای بررسی و ارزیابی روند تغییرات زمانی- مکانی شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی در حوزه حبله‌رود، شاخص NDVI مورد استفاده قرار گرفته است. برای محاسبه شاخص NDVI از باندهای طیف مادون قرمز نزدیک (NIR) و قرمز (Red) استفاده می‌شود که دامنه تغییرات آن بین +۱ تا -۱ است و پوشش گیاهی سبز شاداب با ارزش‌های عددی مثبت نمایش داده می‌شود (۲۵).

در این مطالعه به منظور بررسی روند تغییرات زمانی- مکانی شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده از تصاویر ماهواره‌های لندست سری‌های ۵، ۷ و ۸ استفاده شد. به منظور دسترسی به این منابع اطلاعاتی و انجام همه مراحل پردازش و محاسبات آمار مکانی و استخراج روند تغییرات، سامانه گوگل ارث انجین مورد استفاده گرفت. از محصولات سطح دو بازتابش سطح ماهواره لندست^۱ (که تصحیح اتمسفری بر روی آن صورت گرفته) استفاده شد. همسان‌سازی^۲ تصاویر حسگرهای مختلف به دلیل تفاوت‌های موجود بین قدرت تفکیک رادیومتریک و ویژگی‌های سنجنده‌های مختلف لازم است تا تفاوت‌های طیفی موجود بین آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد و برای تشکیل یک سری زمانی پیوسته از آن‌ها باید بین آن‌ها یک همخوانی ایجاد گردد. بدین‌منظور منابع اطلاعاتی مختلف مورد

1- Level-2 Surface Reflectance Collection

2- Harmonization

3- Smoothing

نتایج و بحث

در این پژوهش طبقه‌بندی کاربری اراضی در سه مقطع زمانی با استفاده از طبقه‌بندی شیء‌گرا و استفاده از داده‌های ماهواره لندست برای سال ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ انجام شد (شکل ۴) و نقشه کاربری اراضی برحسب انواع طبقه‌بندی پراکنش کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه در طبقات کاربری اراضی شامل اراضی زراعی آبی و دیم، اراضی مسکونی، اراضی مرتعی درجه ۱، ۲ و ۳ استخراج شد. برای تعیین دقت طبقه‌بندی روش طبقه‌بندی نظارت‌شده شیء‌گرا، نمونه‌گیری تصادفی از نقشه حقایق زمینی صورت گرفت و به دو گروه (۷۰ درصد برای یادگیری و ۳۰ درصد برای ارزشیابی) تقسیم شدند، نتایج مربوط به بررسی دقت طبقه‌بندی در جدول ۱ بیان شده است. نتایج ارزیابی با حقایق زمینی نشان داد که روش و فن مورد استفاده دارای درصد صحت کلی بیش از ۸۸ و ضریب کاپای بیش از ۰/۸۶ در تمام مقاطع زمانی مورد بررسی است که بیانگر کارایی بالای فن مورد استفاده در این پژوهش است. نتایج به‌دست‌آمده در این بخش از پژوهش با نتایج مطالعات چن و همکاران (۲۰۰۹)، لی و همکاران (۲۰۱۶) و

حاجی‌بیگلو و همکاران (۲۰۲۲) که بیانگر برتری روش شیء‌گرا در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بوده است، مطابقت دارد. مساحت هر کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ برحسب کیلومتر مربع و نیز تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های مورد بررسی در جدول ۲ بیان شده است. پس از تهیه نقشه کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹، (شکل‌های ۴ و ۵)، با استفاده از ماژول MOLUSCE، نقشه کاربری اراضی مربوط به سال ۲۰۵۱ به‌دست آمد که در شکل ۶ مشاهده می‌شود. هم‌چنین تغییرات کاربری اراضی حوزه حبله‌رود طی دوره ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۱ بررسی شده است که نتایج مربوط به بررسی تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۵۱ نسبت به سال ۲۰۱۹ در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با توجه به نقشه پیش‌بینی‌شده و در صورت تداوم روند موجود، اراضی زراعی آبی، مناطق مسکونی، اراضی مرتعی درجه ۲ و ۳ دارای روند افزایشی خواهند بود. اما اراضی مرتعی درجه ۱ و اراضی زراعی دیم دارای روند کاهشی می‌باشند.

جدول ۱- دقت طبقه‌بندی نظارتی شیء‌گرا در برآورد انواع کاربری اراضی.

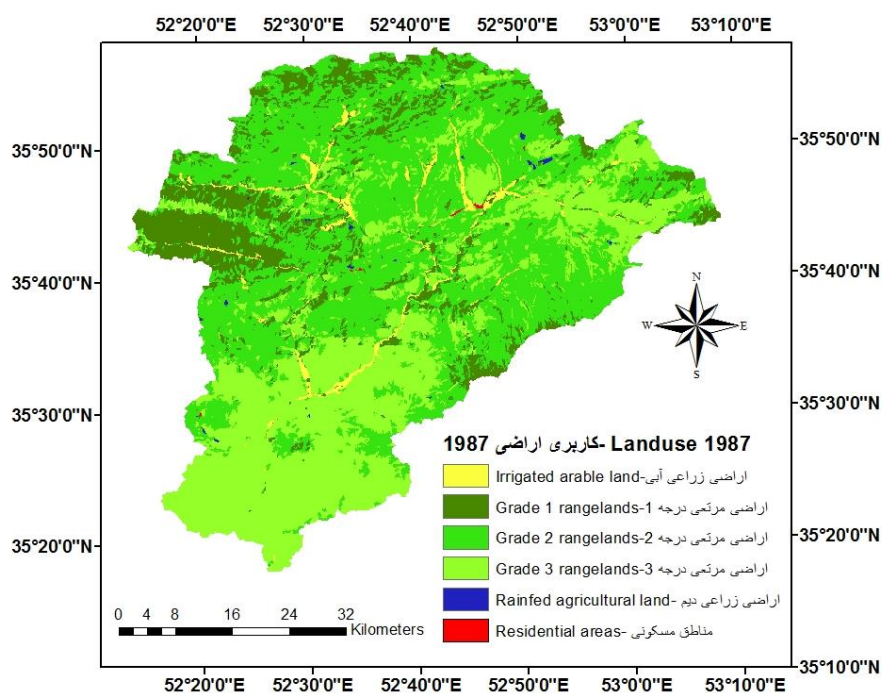
Table 1. Accuracy of object-oriented supervised classification in estimating land use types.

رویکرد شیء‌گرا Object-oriented approach			معیار ارزیابی Evaluation criteria
2019	2002	1987	
88.48	91.95	95.53	صحت کلی (درصد) Overall accuracy %
86.06	90.08	94.31	ضریب کاپا (درصد) Kappa coefficient

جدول ۲- مساحت سطح پوشش هر کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲، ۲۰۱۹ و ۲۰۵۱ برحسب کیلومتر مربع و تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های مورد بررسی در حوزه حبله‌رود.

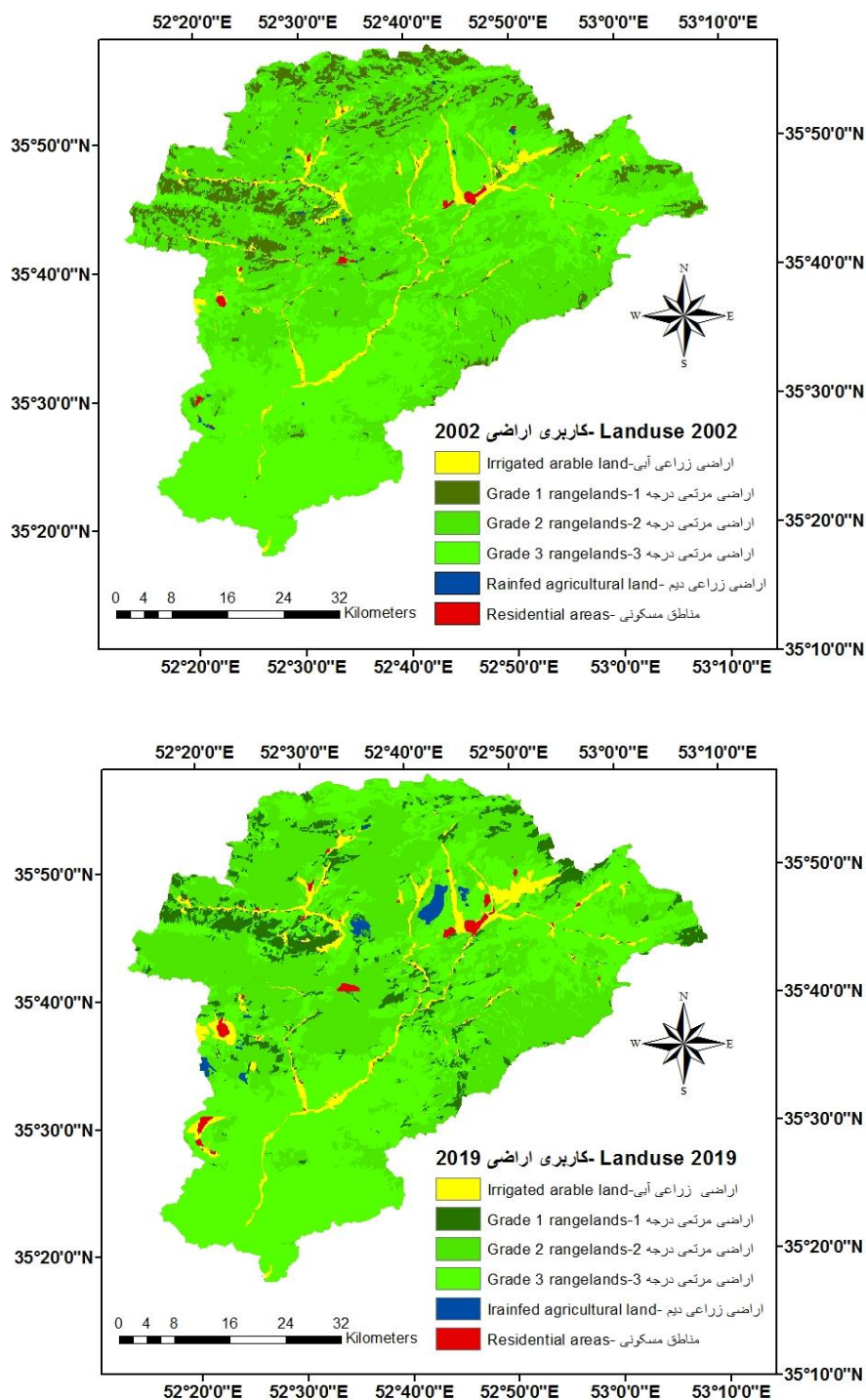
Table 2. Area coverage of each land use for the years 1987, 2002, 2019 and 2051 in terms of square kilometers and land use changes in the studied periods in the Hablehroud basin.

تغییرات (کیلومتر مربع) Changes (square kilometers)			مساحت (کیلومتر مربع) Area (square kilometers)				کاربری اراضی Land use
2051-2019	2019-2002	2002-1987	2051	2019	2002	1987	
19.88	38.11	29.34	162.32	142.41	104.3	74.96	اراضی زراعی آبی irrigated arable land
-2.16	21.71	-1.04	23.55	25.69	3.99	5.03	اراضی زراعی دیم rainfed agricultural land
-127.55	-36.29	-204.44	86.15	213.56	429.83	454.23	اراضی مرتعی درجه ۱ grade 1 rangelands
52.02	-98.27	-97.88	1436.83	1384.07	1482.31	1580.38	اراضی مرتعی درجه ۲ grade 2 rangelands
56.95	64.04	263.59	1499.81	1441.73	1377.59	1114	اراضی مرتعی درجه ۳ grade 3 rangelands
0.85	10.71	10.43	24.26	23.40	12.69	2.27	مناطق مسکونی residential areas



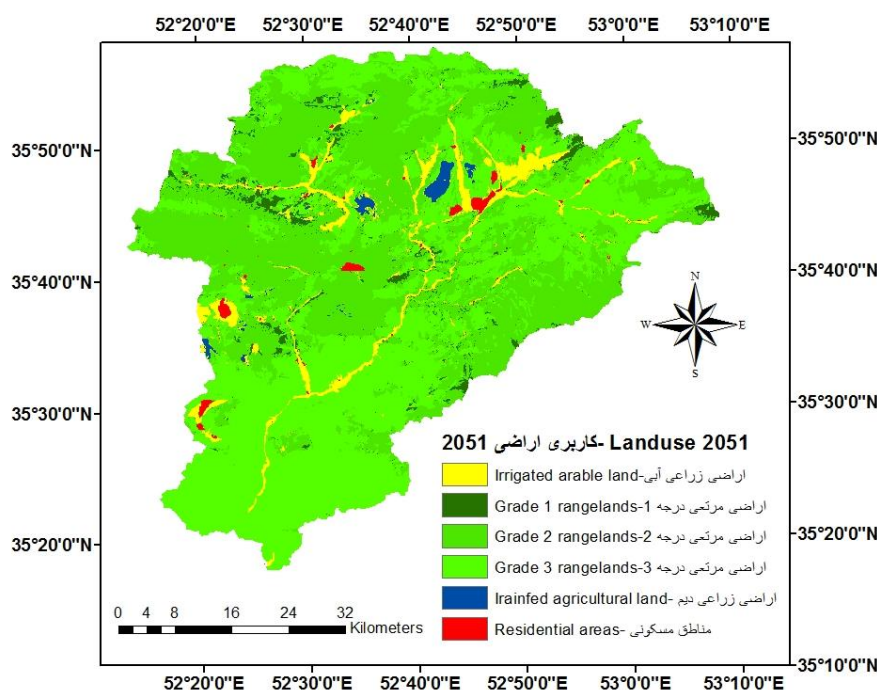
شکل ۴- نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۷.

Figure 4. Land use map of the study area on the year 1987.



شکل ۵- نقشه کاربری اراضی سال های ۲۰۱۹ و ۲۰۰۲.

Figure 5. Land use map of the study area on the years 2002 and 2019.



شکل ۶- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۵۱.

Figure 6. Land use map of the study area on the year 2051.

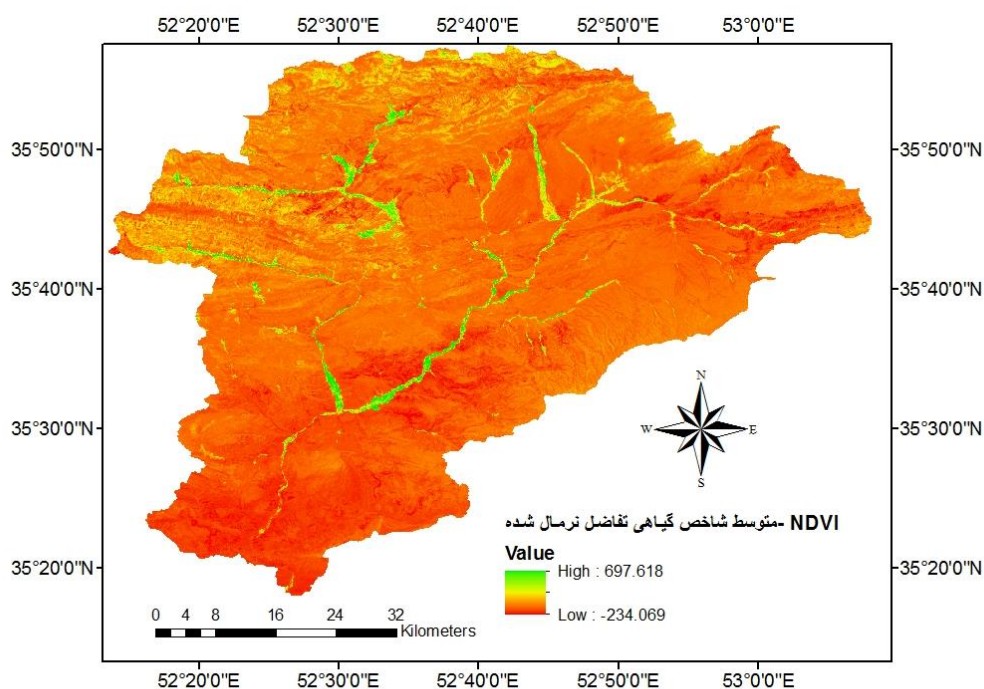
ارضی مسکونی نیز دارای روند افزایشی خواهند بود. نتایج به‌دست آمده در رابطه با تغییرات کاربری اراضی در این مطالعه با نتایج مطالعات پیشین در کشور از جمله فیضی‌زاده (۲۰۱۷) که در مطالعه خود در حوزه سد علویان افزایش اراضی باغی، تخریب و تبدیل اراضی مرتعی خوب را گزارش کرده است (۱۶)، مطالعه اندریانی و همکاران (۲۰۱۸) در حوزه آبخیز زیلبرچای که پیش‌بینی کرده است در طول سال‌های آتی مساحت کاربری‌های مسکونی، زراعت آبی و باغات افزایش خواهد یافت (۱۷) و شفیع و همکاران (۲۰۱۹) که در مطالعه خویش در محور کلان شهر تهران- دماوند کاهش پوشش‌های گیاهی و افزایش مناطق مسکونی را پیش‌بینی کرده‌اند (۱۸)، همخوانی دارد. هم‌چنین با نتایج مطالعات دَوم و همکاران (۲۰۲۲) که پیش‌بینی کرده‌اند در بخش شمالی منطقه رودخانه‌های جنوبی واقع در جنوب

همان‌طور که مشاهده می‌شود در سال ۲۰۱۹ نسبت به سال ۱۹۸۷ شاهد افزایش اراضی زراعی آبی در حدود ۵,۶۷ کیلومترمربع، افزایش اراضی زراعی دیم در حدود ۲۰ کیلومترمربع و افزایش مناطق مسکونی در حدود ۲۱ کیلومترمربع می‌باشیم؛ اما اراضی مرتعی درجه ۱ و ۲ کاهش یافته که این کاهش در اراضی مرتعی درجه ۱ حدود ۲۴۰ کیلومترمربع و در اراضی مرتعی درجه ۲ حدود ۱۹۶ کیلومترمربع می‌باشد. در حالی‌که اراضی مرتعی درجه ۳ افزایشی حدود ۳۲۷ کیلومترمربع داشته است. در صورت تداوم این روند در سال ۲۰۵۱ نسبت به سال ۲۰۱۹ شاهد افزایش اراضی زراعی آبی در حدود ۲۰ کیلومترمربع، کاهش اراضی زراعی دیم در حدود ۲ کیلومترمربع و کاهش اراضی مرتعی درجه ۱ در حدود ۱۲۷ کیلومترمربع خواهیم بود؛ اما اراضی مرتعی درجه ۲ و ۳ هرکدام در حدود ۵۰ کیلومترمربع افزایش می‌یابد.

که بیش‌ترین میزان تراکم پوشش گیاهی در اطراف آبراه‌های اصلی و مناطقی است که کشاورزی در آن مناطق رواج دارد (شکل ۷). به‌طورکلی حبله‌رود از نظر اقلیمی و پوشش گیاهی عمدتاً منطقه‌ای خشک و با پوشش گیاهی کم به حساب می‌آید، بنابراین تراکم پوشش گیاهی بستگی زیادی به وجود یا عدم وجود بدنه‌های آبی هم‌چون رودخانه‌ها و چشمه‌ها دارد.

غرب سنگال و گینه‌بیسائو، پوشش گیاهی تا سال ۲۰۳۵ کاهش شدیدی را تجربه خواهند کرد (۲۱) و دابا و همکاران (۲۰۲۲) در قسمت بالایی رودخانه آواش کشور اتیوپی گسترش کشاورزی و شهرنشینی را پیش‌بینی کرده‌اند (۲۳)، همخوانی دارد.

نتایج بررسی مکانی وضعیت شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده در حوزه حبله‌رود نشان می‌دهد



شکل ۷- متوسط سالانه شاخص NDVI برای حوزه حبله‌رود (۱۹۸۷-۲۰۱۹).

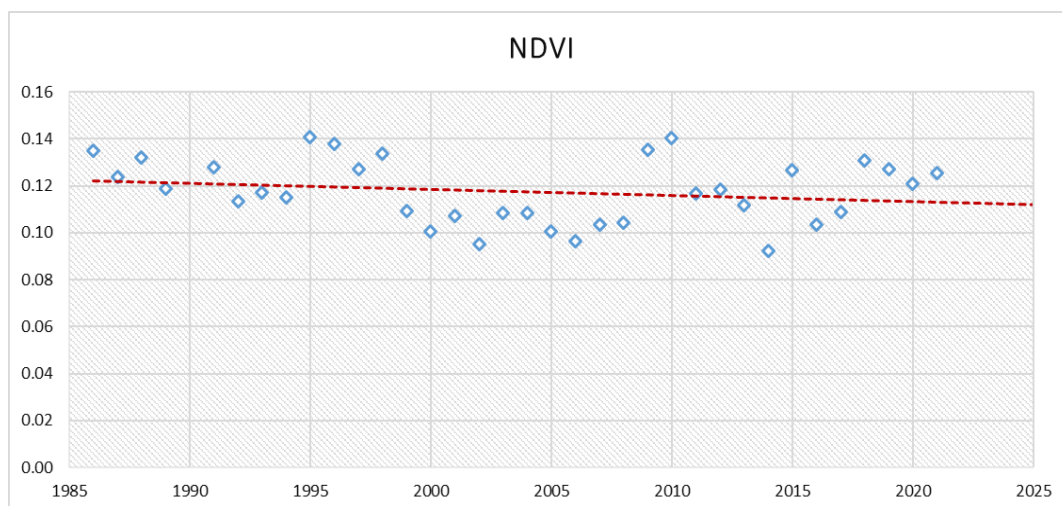
Figure 7. Annual mean values of NDVI index for the Hablehroud River basin (1987-2019).

گیاهی و رنگ قرمز نشان‌دهنده مناطق دارای روند تغییرات منفی پوشش گیاهی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در نیمه شمال‌غربی حوزه شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده تغییرات (چه مثبت و چه منفی) بیش‌تری را تجربه کرده است. شدیدترین کاهش‌ها در مسیر دره‌ها به‌ویژه در نیمه شمالی حوزه اتفاق افتاده است. این نتیجه شاید بیانگر از بین رفتن جوامع گیاهی رودکناری در اثر تجاوز به حریم

بررسی روند تغییرات زمانی شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده حوزه حبله‌رود نشان می‌دهد در طی زمان پوشش گیاهی حوزه روندی نزولی را تجربه کرده است (شکل ۸). روند تغییرات با استفاده از روش تخمین‌گر Sen's slope به‌صورت مکانی استخراج‌شده و روی نقشه نمایش داده‌شده است (شکل ۹). در طیف رنگی ارائه‌شده، رنگ سبز نشان‌دهنده مناطق دارای روند تغییرات مثبت پوشش

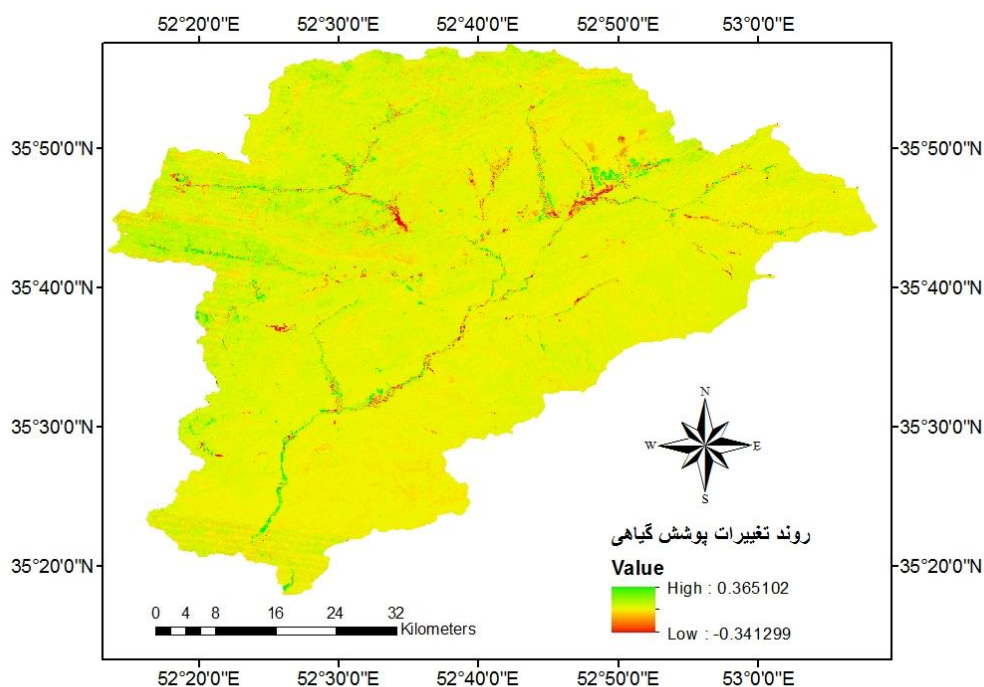
در نتیجه افزایش متوسط شاخص تفاضل گیاهی نرمال شده در طی زمان شده است. پیانو و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کرده‌اند که شدت بخشیدن به فعالیت‌های کشاورزی مانند کشت در مقاطع زمانی مختلف سال، آبیاری و استفاده از حاصلخیزکننده‌ها می‌تواند به افزایش پوشش گیاهی کمک کند (۲۹). همان‌طور که ملاحظه می‌شود مداخلات انسانی گسترده در آبخیزها علاوه بر تغییرات کاربری اراضی باعث سیر قهقرایی در وضعیت پوشش گیاهی طبیعی آبخیزها شده است که پیامدهای زیست‌محیطی متعددی هم‌چون افزایش سیلاب، تخریب خاک و تولید رسوب را به بار می‌آورد؛ بنابراین بهینه‌سازی وضعیت کاربری اراضی و پوشش گیاهی آبخیزها از طریق تدوین و اجرای برنامه آمایش سرزمین نیازمند آشکارسازی، کمی‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی آبخیزها می‌باشد (۳۰).

رودخانه‌ها باشد که نیازمند بررسی‌های بیشتر می‌باشد. تغییراتی که در پوشش گیاهی رخ می‌دهد عموماً به دلیل دخالت مستقیم انسان یا متغیرهای غیرمستقیم مثل تغییرات اقلیمی است (۲۷، ۲۸ و ۲۹). بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی نشان می‌دهد مناطقی که توسط انسان برای ساخت‌وساز یا احداث سد در نظر گرفته شده به شکل معنی‌داری دچار تغییرات منفی هستند. هم‌چنین روند تغییرات آبدی حوزة می‌تواند منعکس‌کننده روند نزولی بارش‌ها و در نتیجه تأثیر متغیرهای اقلیمی بر کاهش پوشش گیاهی در حوزة باشد. مداخلاتی مثل چرای بیش‌ازحد دام‌ها در دهه‌های گذشته، تغییرات طولانی‌مدت بارش و تغییرات اقلیمی از جمله متغیرهای مؤثر بر پوشش گیاهی در حبله‌رود هستند. در اطراف آبراهه‌های اصلی نیز به دلیل مناسب بودن شرایط رطوبتی و شیب کم اراضی اقدام به افزایش فعالیت‌های کشاورزی و



شکل ۸- نمودار روند تغییرات شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده حوزة حبله‌رود طی دهه‌های گذشته.

Figure 8. Trend chart of average changes in normalized vegetation index of Hablehroud basin during the past decades.



شکل ۹- توزیع مکانی تغییرات شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده حوزه حبله‌رود.

Figure 9. Spatial distribution of the changes for the normalized vegetation index across the Hablehroud basin.

دیم خیلی زیاد نیست. هرچند مساحت آن در طول زمان افزایش پیدا کرده و از ۵ کیلومترمربع در سال ۱۹۸۷ به ۲۵ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۹ رسیده است. به عبارتی مساحت آن در طول سه دهه ۵ برابر شده است. پوشش گیاهی طبیعی حوزه نیز که مرتعی است سیر قهقرایی را طی کرده است. به طوری که در طول زمان از مساحت مراتع مرغوب (درجه ۱) و متوسط (درجه ۲) کاسته شده و بر مساحت مراتع فقیر (درجه ۳) افزوده شده است. مساحت اراضی مسکونی حوزه اگرچه درصد بسیار ناچیزی از مساحت کل حوزه را تشکیل می‌دهد اما در طول سه دهه رشد ۱۰ برابری را طی کرده است. علاوه بر بررسی تغییرات طبقه‌های کاربری اراضی، روند تغییرات زمانی- مکانی شاخص تفاضل نرمال‌شده تراکم گیاهی (NDVI) در حوزه حبله‌رود مورد بررسی قرار گرفت. روند تغییرات شاخص NDVI در طول دوره آماری برای تک‌تک

نتیجه‌گیری کلی

منطقه مطالعاتی این پژوهش در بخش بالادست حوزه حبله‌رود تا ایستگاه بنکوه واقع شده است که یکی از مناطق مهم مرتعی بوده که در چند دهه اخیر شاهد افزایش جمعیت و فزونی تغییرات کاربری اراضی بوده است. تغییرات کاربری اراضی یکی از شاخص‌های اصلی برای اثبات مداخلات انسانی در حوزه‌های آبخیز است. نتایج بررسی تغییرات کاربری اراضی در این حوزه آبخیز نشان داد که مساحت اراضی زراعی در طول زمان افزایش بسیار زیادی داشته است به طوری که مساحت اراضی زراعی آبی از ۷۵ کیلومترمربع در سال ۱۹۸۷ به ۱۴۲ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۹ افزایش پیدا کرده است. به عبارتی در طول سه دهه مساحت اراضی زراعی آبی (زراعت آبی و باغات) تقریباً دو برابر شده است. با توجه به وضعیت اقلیمی و فیزیوگرافی منطقه، مساحت اراضی زراعی

تدوین و اجرای برنامه آمایش سرزمین و راهکارهای بهینه‌سازی و صرفه‌جویی در مصرف آب در این حوزه آبخیز باشد.

تقدیر و تشکر

این پژوهش در قالب رساله دکتری و طرح پژوهشی با حمایت شرکت آب منطقه‌ای تهران صورت گرفته است. نویسندگان از شرکت آب منطقه‌ای تهران و معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که موجبات تسهیل انجام این تحقیق را فراهم نموده‌اند تشکر می‌نمایند.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌های این پژوهش مربوط به رساله دکتری نویسنده اول است که با مکاتبه با نویسنده اول قابل دسترسی می‌باشند.

تضاد منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: تهیه و آماده‌سازی داده‌ها، تهیه نقشه‌ها، مدل‌سازی و انجام محاسبات و نگارش مقاله
 نویسنده دوم: راهنمایی و نظارت بر مبانی و مفاهیم پژوهش، ایده پردازی، بازبینی و اصلاح نگارش مقاله
 نویسنده سوم: ارائه مشاوره در خصوص مبانی و مفاهیم پژوهش
 نویسنده چهارم: ارائه مشاوره در خصوص مبانی و مفاهیم پژوهش
 نویسنده پنجم: مشاوره در انجام پژوهش
 نویسنده ششم: مشارکت در انجام محاسبات شاخص NDVI

سلول‌ها با استفاده از آزمون من- کندال و شیب سن محاسبه گردید. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر سیر نزولی معنادار متوسط شاخص NDVI حوزه است که نشان می‌دهد در طول زمان پوشش گیاهی منطقه سیر قهقرایی را طی کرده است. از نظر مکانی سیر قهقرایی پوشش گیاهی در اطراف مناطق مسکونی و قسمت‌های پایین‌دست (جنوب حوزه) حوزه شدیدتر است. البته مقدار این شاخص در اطراف آبراهه‌ها و رودخانه‌ها که زراعت آبی و کشت باغات گسترش پیدا کرده است سیر صعودی نشان می‌دهد. بیش‌ترین افزایش این شاخص در غرب حوزه اتفاق افتاده است. با بررسی روند تغییرات کاربری اراضی حوزه حبله‌رود مشاهده می‌شود که در اثر مداخلات انسانی گسترده، در بخش‌های قابل ملاحظه‌ای از سطح حوزه، پوشش گیاهی طبیعی با پوشش‌های زراعی، باغی و مسکونی جایگزین شده است. علاوه بر تغییرات در نوع کاربری اراضی، کیفیت پوشش طبیعی غالب منطقه (مرتع) نیز سیر قهقرایی معناداری را طی کرده است. مسلماً این تغییرات در نوع و کیفیت پوشش گیاهی منطقه که دارای اقلیم خشک و توپوگرافی شدید است تأثیر زیادی بر رژیم هیدرولوژیکی و ارائه خدمات بوم‌سازگانی متنوع حوزه گذاشته است. امروزه، پیامد این تغییرات در شرایط پوشش گیاهی طبیعی به همراه پیامدهای تغییرات اقلیمی به‌صورت کاهش شدید آبدهی رودخانه‌های حوزه حبله‌رود و گسترش تعارض بین ذینفعان و ذی‌دخلان در مقوله مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب بین دو استان تهران (بالادست) و سمنان (پایین‌دست) نمود پیدا کرده است؛ بنابراین با توجه به روند افزایش جمعیت، گسترش شهرنشینی و توسعه صنایع و گردشگری در منطقه پیشنهاد می‌گردد تمرکز اصلی سیاست‌ها و اقدامات مدیریتی روی برنامه‌ریزی مؤثر به‌ویژه مدیریت و بهینه‌سازی مداخلات انسانی از طریق

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای تهران در قالب یک طرح تحقیقاتی صورت گرفته است.

منابع

1. Pal, M., and Mather, P.M. 2005. Support Vector Machines for Classification in Remote Sensing. *International Journal of Remote Sensing*. 26: 5. 1007-1011.
2. Soltani, N., and Mohammadnejad, V. 2021. Efficiency of Google Earth Engine (GEE) system in land use change assessment and predicting it using CA-Markov model (Case study of Urmia plain). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 12: 3. 101-114.
3. Deilmai, B.R., Ahmad, B.B., and Zabihi, H. 2014. Comparison of two classification methods (MLC and SVM) to extract land use and land cover in Johor Malaysia. In *IOP conference series: Earth and environmental science*. 20: 1. 012052.
4. Jensen, J.R. 1996. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. Univ. of South Carolina, Columbus. 2. 318.
5. Blaschke, T. 2010. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 65: 1. 2-16.
6. Li, M., Zang, Sh., Zhang, B., Li, Sh., and Wu, Ch. 2014. A review of remote sensing image classification techniques: The role of spatio-contextual information. *European Journal of Remote Sensing*. 47: 389-411.
7. Liu, Q., Guo, Y., Liu, G., and Zhao, J. 2014. Classification of Landsat 8 OLI image using Support Vector Machine with Tasseled Cap transformation. In *2014 10th International Conference on Natural Computation (ICNC)*. pp. 665-69.
8. Szuster, B.W., Chen, Q., and Borger, M. 2011. A comparison of classification techniques to support land cover and land use analysis in tropical coastal zones. *Applied Geography*. 31: 2. 525-532.
9. Li, M., Ma, L., Blaschke, T., Cheng, L., and Tiede, D. 2016. A systematic comparison of different object-based classification techniques using high spatial resolution imagery in agricultural environments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 49: 87-98.
10. Chen, M., Su, W., Li, L., Zhang, C., Yue, A., and Li, H. 2009. Comparison of pixel-based and object oriented knowledge-based classification methods using SPOT5 imagery. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*. 3: 6. 477-489.
11. Hajibigloo, M., Sheikh, V., Memarian, H., Komaki, C.B. 2022. A comprehensive assessment and modeling of land use changes in a flood-prone watershed, northeast of Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 50: 6. 1101-1118.
12. Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., ... and Xu, J. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*. 11: 4. 261-269.
13. Brown, D.G., Pijanowski, B.C., and Duh, J.D. 2000. Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. *Journal of Environmental Management*. 59: 4. 247-263.
14. Shaabani, H.M. 2003. Investigating the impact of land use change on sedimentation in watersheds (case study: Taleghan watershed). Master thesis, Natural Resources faculty, Tehran University. 145p. (In Persian)
15. Muller, M.R., and Middleton, J. 1994. A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada. *Landscape Ecology*. 9: 2. 151-157.

16. Feizizadeh, B. 2017. Modeling the Trends of the Land Use/Cover Change and Its Impacts on the Erosion System of the Allavian Dam Based on the Remote Sensing and GIS Techniques. *Hydrogeomorphology*. 4: 11. 21-38. (In Persian)
17. Andriani, S., Nikjo, M., Rezai Moghadam, M.H., and Mokhtari, D. 2018. Analysis of land use changes using object-oriented methods and Markov chain in Zilbirchai watershed located in East and West Azerbaijan. *Geography and Development Quarterly*. 16: 53. 37-50.
18. Shafiee Sabet, N., Mohammadi, Sh., and Ashkan. 2019. Detection and prediction of land use changes using CA-Markov model (case study: Tehran-Damavand). *Journal of Geographical Information*. 28: 111. 175-190. (In Persian)
19. Aghaei, M., Khavarian, H., and Mostafazadeh, R. 2020. Prediction of Land Use Changes Using the CA-Markov and LCM Models in the Kozehtopraghi Watershed in the Province of Ardabil. *Watershed Management Research Journal*. 33: 3. 91-107. (In Persian)
20. Wang, S.W., Munkhnasan, L., and Lee, W.K. 2021. Land use and land cover change detection and prediction in Bhutan's high altitude city of Thimphu, using cellular automata and Markov chain. *Environmental Challenges*, 2, 100017.
21. Dome, T.I.N.E., Gayane, F.A.Y.E., Guilgane, F.A.Y.E., Ndour, M.M.M.E., and Mbagnick, F.A.Y.E. 2022. Detection and predictive modeling of land use changes by CA-Markov in the northern part of the Southern rivers: From Lower Casamance to Geba river (Guinea Bissau). *Journal of Ecology and the Natural Environment*. 14: 1. 1-14.
22. Muhammad, R., Zhang, W., Abbas, Z., Guo, F., and Gwiazdzinski, L. 2022. Spatiotemporal change analysis and prediction of future land use and land cover changes using QGIS MOLUSCE plugin and remote sensing big data: A case study of Linyi, China. *Land*. 11: 3. 419.
23. Daba, M., Ekonnen H., and Songcai, Y. 2022. Quantitatively assessing the future land use/land-cover changes and their driving factors in the upper stream of the Awash River based on the CA-Markov model and their implications for water resources management. *Sustainability*. 14: 3. 1538.
24. Sheikh, V., Zare Garizi, A., Elwandi, E., Asadi Nelivan, O., Khosravi, G., Saaduddin, A., and Ong, M. 2018. Collaborative location of proposed solutions to manage the Hablehroud watershed. *Watershed Research*. 32: 4. 2-18. (In Persian)
25. Roy, D.P., Kovalsky, V., Zhang, H.K., Vermote, E.F., Yan, L., Kumar, S.S., and Egorov, A. 2016. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. *Remote sensing of Environment*. 185: 57-70.
26. Wingate, V.R., Phinn, S.R., and Kuhn, N. 2019. Mapping precipitation-corrected NDVI trends across Namibia. *Science of the Total Environment*. 684: 96-112.
27. Song, X.P., Hansen, M.C., Stehman, S.V., Potapov, P.V., Tyukavina, A., Vermote, E.F., and Townshend, J.R. 2018. Global land change from 1982 to 2016. *Nature*. 560: 7720. 639-643.
28. Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., ... and Cobb, N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest ecology and management*. 259: 4. 660-684.
29. Piao, S., Wang, X., Park, T., Chen, C., Lian, X.U., He, Y., ... and Myneni, R.B. 2020. Characteristics, drivers and feedbacks of global greening. *Nature Reviews Earth and Environment*. 1: 1. 14-27.
30. Sheikh, V., Salmani, H., Salman Mahiny, A., Ownegh, M., and Fathabadi, A. 2021. Land use optimization through bridging multiobjective optimization and multicriteria decision-making models (case study: Tilabad Watershed, Golestan Province, Iran). *Natural Resource Modeling*. 34: 2. 1-28.