

Investigating changes in agricultural land use in Ahvaz county between 2000 and 2020 using using landsat satellite images

ABSTRACT

Land use change is a major challenge in natural resource management and can have significant environmental, economic, social, and cultural consequences. The aim of this Study is to investigate land use changes in Ahvaz County from 2000 to 2020 using remote sensing, in order to provide an overview of land use changes for land management and urban planning. Images were acquired from Landsat satellites, and land classification into four land use types, including agricultural lands, built-up areas, barren lands, and water bodies, was performed for the years 2000, 2007, 2014, and 2020 using spectral indices and the maximum likelihood classification algorithm. The Kappa coefficient for the years 2000, 2007, 2014, and 2020 were 87.23%, 88.59%, 91.26%, and 93.23%, respectively, and the overall accuracy index was 89.56%, 91.35%, 93.58%, and 94.89%, respectively. The results showed that, during the study period, the area of land agriculture and built-up land use increased by 2.77 and 2.96 times, respectively. The increase in agricultural land was mainly due to the conversion of barren lands to agriculture. The increase in built-up areas has led to a decrease in the fertile agricultural lands around cities. The drastic changes in land use in the last two decades indicate the need for careful, scientific, and participatory planning by all agencies involved in land use change and those in charge of affairs, in order to reduce the negative environmental, social, and economic consequences and to preserve the natural resources of the region.

Key Words: *Agricultural lands, Ahvaz county, land use changes, Maximum likelihood, remote sensing,*

Introduction

Land represents a fundamental, finite, and irreplaceable natural resource that must be conserved and sustained for future generations. This critical resource is susceptible to pressures arising from both anthropogenic factors, such as population growth, and natural processes, including drought and erosion. Land use and land cover change (LULCC) are recognized as key drivers influencing global environmental change, impacting a wide array of environmental and natural resource attributes, including water quality, air and land resources, and ecosystem functions (Canaz et al., 2017). Timely and accurate detection of LULCC is therefore essential for enabling effective natural resource management and promoting sustainable land use practices. In recent decades, the increasing demand for food, energy, and living space driven by a growing global population has placed considerable strain on Earth's limited resources. The escalating exploitation of natural resources to meet the needs of an expanding population represents a major challenge facing humanity today (Jiang et al., 2020). This intensifies pressure on ecosystems, leading to climate change, alterations in biogeochemical cycles (e.g., water and nutrient cycles), biodiversity loss, and significant LULCC (Yi-ming et al., 2022). Ahvaz County, one of Iran's most important industrial and agricultural regions, and a major oil production hub, has faced numerous environmental, social, and economic challenges in recent years. A major contributing factor to this situation is the change in LULCC.

Method

This study investigated land use and land cover (LULC) within Ahvaz County, classifying the area into four primary categories: built-up areas, barren lands, agricultural lands, and water bodies. Landsat satellite imagery was employed as the primary data source, utilizing Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI imagery acquired for four distinct time points: 2000, 2007, 2014, and 2020. The satellite images underwent rigorous preprocessing steps, including radiometric and atmospheric

correction, to minimize distortions and enhance data quality. Subsequently, LULC classification was performed using the Maximum Likelihood Classification (MLC) algorithm. MLC was selected due to its demonstrated effectiveness and high accuracy in land cover mapping applications. Analysis of historical weather patterns indicated that March typically exhibits stable and favorable weather conditions in Khuzestan province. Therefore, satellite imagery acquired during March was preferentially used to facilitate consistent monitoring of LULC throughout the study period. The initial image preprocessing involved converting digital numbers to spectral radiance and correcting the images using the Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH) atmospheric correction model. FLAASH is particularly effective for correcting visible, near-infrared, and shortwave infrared wavelengths. Following atmospheric correction, images were mosaicked and cropped to the extent of the study area using ENVI 5.6 software. The classification accuracy was assessed using the Kappa coefficient and Overall Accuracy index, with values ranging from 87.23% to 93.23% for Kappa and 89.56% to 94.89% for Overall Accuracy, confirming the reliability of the classification results. These two metrics provide valuable information in evaluating classification models. Considering both metrics allows for a more comprehensive understanding of the models' accuracy and predictive power, leading to more accurate and reliable results.

Results

The classified LULC maps for the years 2000, 2007, 2014, and 2020 are presented in Figures 2 to 4. Analysis of these maps reveals notable changes in LULC patterns over the study period. In 2000, agricultural land cover was less extensive and more fragmented compared to subsequent years. Between 2000 and 2020, agricultural land increased by approximately 277%, built-up areas expanded by 297%, and water bodies slightly increased by 6%. In contrast, barren land decreased by 33%. The sharp increase in urban areas led to the loss of high-quality agricultural lands around cities. Specifically, the area of agricultural land in Ahvaz County increased from approximately 115 thousand hectares in 2000 to 319, 362, and 319 hectares in 2007, 2014, and 2020, respectively. This increase was primarily attributed to the conversion of barren land into agricultural land. However, in 2020, the trend of agricultural land expansion stopped and the area under cultivation of agricultural land decreased compared to 2014. This decline can be attributed to factors such as severe droughts, reduced availability of irrigation water resources, and continued expansion of urban areas. A more in-depth analysis of the factors influencing agricultural development during this period, including droughts, water policies and urban planning, is crucial for a better understanding of this phenomenon and future projections. Throughout the study period, built-up areas increased from 1.24% of Ahvaz county in 2000 to 3.27% in 2020. The majority of new construction occurred in the vicinity of urban area, often encroaching upon barren and agricultural land. These findings are consistent with other studies. For example, Ahmed et al. (2014) reported a 41.27% expansion of Lahore's urban area between 2000 and 2020 accompanied by a 13.42% decrease in vegetation cover, 31.2% decrease in barren land, and 51.6% decrease in water water bodies. Similarly, Salem et al. (2020) found that approximately 9,600 hectares of agricultural land around Cairo, Egypt, were converted to urban use between 2010 and 2018, representing an average annual loss of 1,200 hectares.

Conclusions

Remote sensing technologies provide a cost-effective and accurate means for monitoring LULCC over extensive areas. These tools have become indispensable for natural resource management and environmental monitoring applications. The results of this study, covering the period from 2000 to 2020, indicate substantial LULCC in Ahvaz County. Specifically, compared to 2000, agricultural and built-up areas land increased by approximately 277 and 297 percent, respectively, while barren land decreased by 33 percent. These changes have resulted in alterations to land cover composition, landscape structure, and potentially ecosystem functions. The expansion of agricultural land has led to increased demand on natural resources, particularly water, placing strain on available water

supplies. This limitation has likely contributed to the observed decrease in agricultural land area in 2020 compared to 2014. Concurrently, the expansion of built-up areas has resulted in the loss of valuable agricultural land, particularly in areas surrounding urban centers. The findings highlight the need for sustainable land use planning and water resource management to mitigate the negative impacts of rapid urbanization and agricultural expansion. Improved water resource management, including the implementation of efficient irrigation techniques, sustainable agricultural practices (utilizing precision agriculture techniques, soil and salinity management, etc.), and controlled urban development through regulations restricting urban expansion into agricultural lands, are key solutions to prevent the decline of agricultural land, mitigate agricultural environmental impacts, and ensure food security. This study provides valuable insights for policymakers to implement regulations that balance urban development with agricultural sustainability. Based on the findings of this research, it is suggested that future studies utilize machine learning models to predict future land use changes. Furthermore, assessing the impact of land use change on the regional microclimate, soil quality and erosion, quantity and quality of surface and groundwater resources, biodiversity, and the consequences for rural-urban migration patterns and demographic shifts is deemed essential.

Author Contributions

Conceptualization, K.A., A.A and S.H.; methodology, K.A. and A.A; software, K.A. and S.H; validation, K.A., A.A and S.H.; formal analysis, K.A and A.A.; investigation, K.A.; resources, K.A. and A.A; data curation, A.A.; writing—original draft preparation, K.A; writing—review and editing, A.A and S.H; visualization, K.A.; supervision, A.A.; project administration, A.A.; funding acquisition, A.A. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript. All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

All data generated or analyzed during this study are available from the corresponding author on request

Acknowledgements

The authors express their gratitude to the Vice Chancellor for Research and Technology of Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran, for providing financial support through the research grant (No. SCU.AA98.29747).

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

بررسی تغییرات کاربری اراضی کشاورزی شهرستان اهواز در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست

چکیده

تغییرات کاربری اراضی یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت منابع طبیعی است و می‌تواند پیامدهای جدی زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی به همراه داشته باشد. هدف از این پژوهش بررسی تغییرات کاربری اراضی شهرستان اهواز از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی با استفاده از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، جهت ارائه دید کلی در زمینه تغییرات کاربری اراضی جهت مدیریت تغییرات اراضی و برنامه‌ریزی شهری است. در این راستا، تصاویر ماهواره لندست مورد استفاده قرار گرفت و طبقه‌بندی اراضی در چهار کاربری شامل اراضی کشاورزی، مناطق انسان ساخت، اراضی بایر و پهنه‌های آبی برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۰ میلادی با بهره‌گیری از شاخص‌های طیفی و الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال انجام شد. مقادیر ضریب کاپا برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۰ به ترتیب برابر با ۸۷/۲۳، ۸۸/۵۹، ۹۱/۲۶ و ۹۳/۲۳ درصد و شاخص دقت کلی به ترتیب برابر با ۸۹/۵۶، ۹۱/۳۵، ۹۳/۵۸ و ۹۴/۸۹ درصد محاسبه گردید. نتایج نشان داد که در دوره مورد مطالعه، مساحت اراضی با کاربری کشاورزی و مناطق انسان ساخت به ترتیب با ۲/۷۷ و ۲/۹۷ برابر افزایش یافته است. افزایش اراضی کشاورزی عمدتاً ناشی از تبدیل اراضی بایر به کشاورزی بوده است. همزمان با این تغییرات، گسترش اراضی انسان ساخت منجر به کاهش اراضی کشاورزی مرغوب در حاشیه شهرها شده است. این تغییرات شدید در کاربری اراضی طی دو دهه اخیر، نشان‌دهنده ضرورت برنامه‌ریزی دقیق، علمی و مبتنی بر مشارکت تمامی ارگان‌های دخیل در تغییر کاربری اراضی در راستای کاهش پیامدهای منفی زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی ناشی از تغییرات کاربری اراضی و حفظ منابع طبیعی منطقه است.

کلیدواژه‌ها: اراضی کشاورزی، تغییرات کاربری اراضی، حداکثر احتمال، سنجش از دور، شهرستان اهواز

مقدمه

زمین به عنوان یک منبع طبیعی حیاتی، محدود و غیرقابل تجدید، نقش بنیادینی در تداوم حیات و توسعه پایدار ایفا می‌کند (FAO, 2015). این منبع ارزشمند، بستر اصلی فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، سکونتگاهی و زیست‌محیطی است و به‌طور مستقیم تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله افزایش جمعیت، تغییرات اقلیمی، خشکسالی، فرسایش، توسعه شهری و سیاست‌های اقتصادی قرار دارد (Lambin et al., 2001). تغییرات کاربری اراضی^۱ (LUC) و پوشش گیاهی^۲ (LCC) به عنوان یکی از مهم‌ترین و بارزترین پیامدهای این عوامل، اثرات گسترده‌ای بر محیط زیست جهانی، تنوع زیستی، چرخه‌های بیوژئوشیمیایی، و کارکرد اکوسیستم‌ها دارند. این تغییرات می‌توانند منجر به تخریب زیستگاه‌ها، کاهش حاصلخیزی خاک، افزایش فرسایش، تغییر الگوهای بارش، و انتشار گازهای گلخانه‌ای شوند (IPCC, 2019). از این رو، پایش و ارزیابی دقیق و به‌موقع تغییرات کاربری اراضی، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر برای برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع طبیعی، توسعه پایدار و کاهش اثرات منفی این تغییرات است (Canaz et al., 2017).

در دهه‌های اخیر، افزایش جمعیت جهان و نیاز روزافزون به تأمین غذا، انرژی و مسکن، فشارهای فزاینده‌ای را بر منابع محدود زمین وارد کرده است که یکی از چالش‌های بزرگ پیش روی بشر امروزی است (Jiang et al., 2020). این امر منجر به تبدیل گسترده اراضی طبیعی به اراضی کشاورزی و شهری، و همچنین تغییر در الگوهای کشت و مدیریت اراضی کشاورزی شده است (Ramankutty et al., 2008). این تغییرات، به نوبه خود، پیامدهای منفی متعددی از جمله تغییرات آب و هوایی، تغییر چرخه آب و تغذیه، از دست دادن تنوع زیستی، و تغییرات کاربری و پوشش زمین را به همراه داشته‌اند (Yi-Ming et al., 2022). از این رو، نظارت بر تغییرات کاربری اراضی برای درک ارتباط بین تصمیمات مدیریتی و تغییرات بعدی در فعالیت‌های کاربری اراضی بسیار حائز اهمیت است (Sreenivas et al., 2015).

داده‌های دقیق و قابل اعتماد در مورد الگوهای کاربری اراضی و تغییرات آن‌ها در طول زمان، اطلاعات ارزشمندی را برای برنامه‌ریزان، سیاست‌گذاران و مدیران منابع طبیعی فراهم می‌کنند. این اطلاعات می‌توانند در تصمیم‌گیری‌های مربوط به تخصیص اراضی، مدیریت منابع آب، حفاظت از تنوع زیستی، و کاهش اثرات تغییرات اقلیمی مورد استفاده قرار گیرند (Campbell, 2002). روش‌های سنتی جمع‌آوری اطلاعات مربوط به کاربری اراضی، مانند بررسی‌های میدانی و نقشه‌برداری دستی، اغلب زمان‌بر، پرهزینه و فاقد پوشش مکانی و زمانی کافی هستند (Zhang et al., 2021). در مقابل، فناوری‌های سنجنش از دور^۳ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و هوایی، امکان جمع‌آوری اطلاعات دقیق، به‌روز و با پوشش گسترده را فراهم می‌کند (Lillesand et al., 2015). بنابراین، به‌کارگیری روش‌های نوین سنجنش از دور در شناسایی تغییرات کاربری اراضی با هدف سازماندهی حفظ محیط زیست امری ضروری است (Ju & Masek, 2016).

^۱ Land Use Change- LUC

^۲ Land Cover Change

^۳ Remote Sensing

سنجش از دور، به عنوان یک تکنیک قدرتمند برای جمع‌آوری اطلاعات از سطح زمین بدون تماس فیزیکی، نقش مهمی در پایش و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی ایفا می‌کند. این تکنیک با استفاده از حسگرهایی که بر روی سکوها (ماهواره‌ها، هواپیماها، پهپادها) نصب شده‌اند، انرژی الکترومغناطیسی بازتابیده یا ساطع‌شده از سطح زمین را اندازه‌گیری کرده و در نهایت اطلاعات به صورت تصویر دیجیتال یا عکس نمایش داده می‌شود (Da Silva Cruz et al, 2022). داده‌های سنجش از دور می‌توانند برای شناسایی، طبقه‌بندی و نقشه‌برداری از انواع کاربری اراضی، و همچنین تشخیص و پایش تغییرات آن‌ها، برنامه‌ریزی شهری و مدیریت اراضی در طول زمان مورد استفاده قرار گیرند (Murugan et al, 2022).

پیشینه پژوهش

مطالعات متعددی در زمینه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی تغییرات کاربری اراضی در نقاط مختلف جهان انجام شده است. Da Silva Cruz et al (2022) با استفاده از مدل سازی پویایی تغییر کاربری و پوشش زمین در منطقه آمازون، روند تبدیل جنگل به مرتع و اراضی کشاورزی را پیش‌بینی کردند. Wang et al (2022) نشان دادند که به‌کارگیری روش‌های یادگیری ماشین می‌تواند دقت و سرعت تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی را به طور قابل توجهی افزایش دهد. فرهادی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای در ایران، به این نتیجه رسیدند که استفاده از سنجش از دور، قدرت تفکیک‌پذیری مکانی را برای شناسایی اهداف و تغییرات کاربری اراضی افزایش می‌دهد. Liping et al (2018) در یک مطالعه موردی در جیانگل چین، با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS، به پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش زمین پرداختند و الگوهای کاربری اراضی را برای سال‌های آتی تعیین کردند. ممبینی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای در جنوب خوزستان، روش‌های حداکثر احتمال و فازی را در تهیه نقشه کاربری/پوشش اراضی با استفاده از تصاویر لندست مقایسه کردند و دریافتند که روش طبقه‌بندی فازی دقت بالاتری دارد. Zhang et al, 2021 (2021) در بررسی تغییرات کاربری اراضی در منطقه سرادو برزیل، گزارش دادند که کشت محصولات زراعی با سرعت بالایی در حال گسترش است و سایر کاربری‌ها، از جمله محیط‌های شکننده، به کشاورزی تبدیل شده‌اند. El-awy et al (2011) در مطالعه‌ای در غرب دلتای نیل مصر، با استفاده از داده‌های سنجش از دور، تغییر اراضی بایر به اراضی کشاورزی را به عنوان یک روند غالب شناسایی کردند.

در ایران، آمار مربوط به تغییرات اراضی کشاورزی اغلب از طریق روش‌های سنتی و کارشناسی به دست می‌آید که زمان‌بر و پرهزینه هستند. یکی از چالش‌های مهم در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، تبدیل زمین‌های مرغوب کشاورزی به کاربری‌های انسان‌ساخت و تبدیل سایر اراضی (مانند اراضی بایر، مراتع و جنگل‌ها) به اراضی کشاورزی است که می‌تواند منجر به کاهش اراضی کشاورزی مرغوب و تخریب محیط زیست شود. استان خوزستان، به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی ایران، نقش مهمی در تولید محصولات راهبردی و تأمین امنیت غذایی کشور ایفا می‌کند. با این حال، این استان نیز با چالش‌های متعددی در زمینه تغییرات کاربری اراضی مواجه است. به عنوان مثال، بر اساس اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان، در سال ۱۴۰۳، تعداد قابل توجهی از موارد تغییر کاربری غیرمجاز در اراضی کشاورزی استان شناسایی شده است. با توجه به اهمیت شناسایی و پایش تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در برنامه‌ریزی و مدیریت توسعه منطقه، استفاده از روش‌های کم‌هزینه، سریع و قابل اعتماد برای این منظور ضروری است.

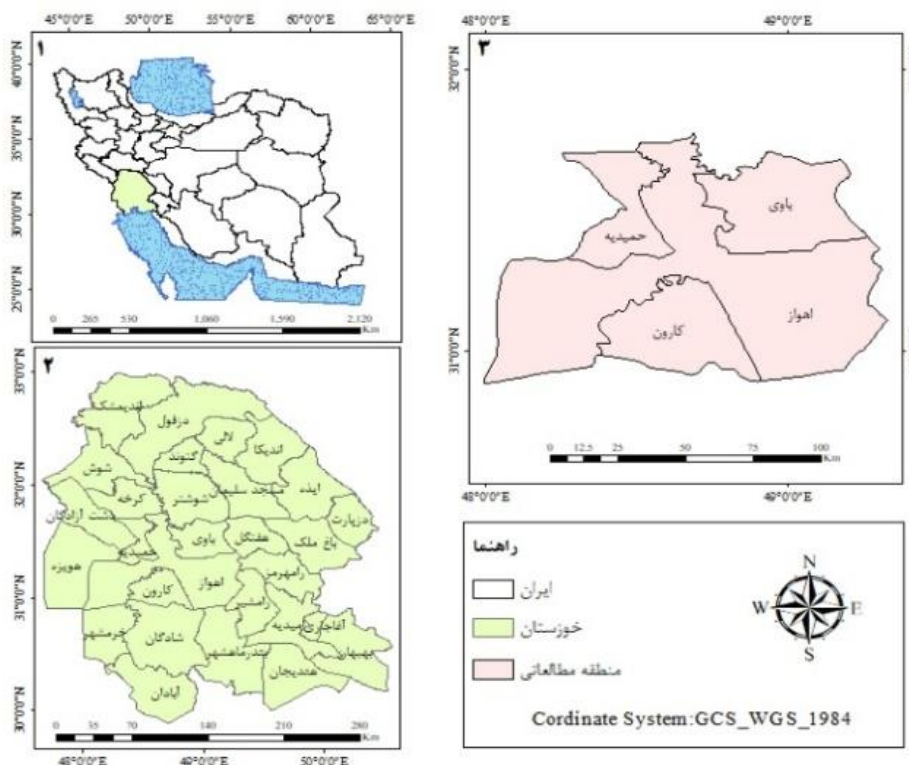
بنابراین، مطالعه حاضر با هدف شناسایی و بررسی تغییرات کاربری اراضی کشاورزی در شهرستان اهواز در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و تکنیک‌های سنجش از دور انجام شده است. داده‌های سنجش از دور، به ویژه تصاویر ماهواره‌های لندست (Landsat)، به دلیل دسترسی رایگان، پوشش زمانی طولانی و قدرت تفکیک مکانی مناسب، به طور گسترده‌ای در مطالعات مربوط به تغییرات کاربری اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Wulder et al., 2012). بررسی تغییرات کاربری اراضی در شهرستان اهواز، به دلیل موقعیت حساس و نقش آن در کشاورزی ایران، از اهمیت بسزایی برخوردار است. این تغییرات، اکوسیستم‌های منطقه را تهدید کرده، تنوع زیستی را کاهش داده، و آلودگی محیط زیست را افزایش می‌دهند. از نظر

اقتصادی و اجتماعی، امنیت غذایی، اشتغال، و معیشت جوامع محلی به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرند. علاوه بر این، توسعه بی‌رویه شهری نیز نیازمند برنامه‌ریزی دقیق‌تری است تا از تخریب اراضی ارزشمند جلوگیری شود. مطالعه علمی در این زمینه به مدیران کمک می‌کند تصمیمات آگاهانه‌تری بگیرند، اثربخشی سیاست‌ها را ارزیابی کنند، و برای چالش‌های آینده برنامه‌ریزی کنند، در نهایت منجر به مدیریت پایدار اراضی و حفاظت از محیط زیست می‌شود.

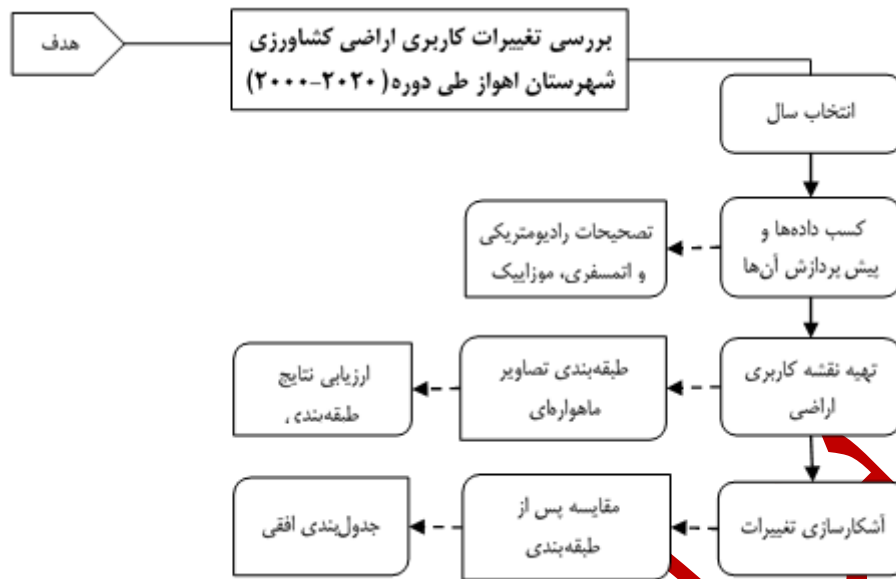
روش‌شناسی پژوهش

موقعیت جغرافیایی منطقه

شهرستان اهواز، واقع در بخش جلگه‌ای استان خوزستان (شکل ۱)، از مهم‌ترین مناطق این استان به شمار می‌رود. زمین‌های این شهرستان به طور کلی حاوی صلیخیز بوده، اگرچه بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی آن، جلگه‌های خشک و کم‌بهره را شامل می‌شود. گندم، نیشکر، جو و برنج، از جمله مهم‌ترین محصولات راهبردی تولیدی در این شهرستان هستند. در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۱، بخش‌های باوی و حمیدیه از شهرستان اهواز جدا شده و به شهرستان‌های مستقل تبدیل شدند. به همین ترتیب، بخش کارون نیز به شهرستان کارون ارتقا یافت و از اهواز منفک گردید. در مطالعه حاضر، تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی مورد بررسی قرار گرفته است. انتخاب این بازه زمانی به دلیل دسترسی به داده‌های با کیفیت، وجود تغییرات قابل توجه در روندهای توسعه شهری و کاربری اراضی منطقه، و همچنین اهمیت وقایع کلیدی در این دوره بوده است. به عنوان مثال، سال ۲۰۰۷ میلادی با تغییرات مهم در سیاست‌های کشاورزی و توسعه شهری منطقه همزمان بود، در حالی که سال ۲۰۱۴ میلادی با افزایش پروژه‌های صنعتی در استان خوزستان مصادف بوده است. سال ۲۰۲۰ نیز به عنوان نماینده آخرین داده‌های قابل اتکا، شرایط جدید شهری و اقلیمی را منعکس می‌کند. به منظور بررسی جامع و دقیق، اثرات این تغییرات در شهرستان‌های باوی، حمیدیه و کارون (که سابقاً بخشی از شهرستان اهواز بوده‌اند) نیز در تحلیل‌ها مدنظر قرار گرفته‌اند. حضور رودخانه‌های کارون، کرخه و دز در منطقه مورد مطالعه، نقش بسزایی در رونق کشاورزی و تبدیل این ناحیه به یک قطب کشاورزی ایفا کرده است. فلوجارت مراحل کلی پژوهش در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی



شکل ۲- نمای مراحل کلی پژوهش

جمع‌آوری داده‌ها

در این مطالعه کاربری اراضی شهرستان اهواز به چهار دسته اراضی انسان ساخت، اراضی بایر، اراضی کشاورزی و پهنه‌های آبی طبقه‌بندی شدند. دسته انسان ساخت شامل همه سازه‌های ساخت انسان مانند مناطق مسکونی، صنعتی، آموزشی و زیرساخت‌ها می‌باشد. اراضی کشاورزی شامل اراضی کشاورزی آبی می‌باشد. کشت دیم نیز در منطقه مورد مطالعه انجام می‌شود ولی به دلیل بارندگی کم به خصوص در سال‌های اخیر به ندرت صورت می‌گیرد. از این رو تنها اراضی با کشت آبی و باغات به عنوان اراضی با کاربری کشاورزی در نظر گرفته شدند. مرتع، بوته‌زار، تپه ماهور، اراضی شنی و سایر پوشش‌های گیاهی مشابه به عنوان اراضی بایر در نظر گرفته شدند. طبقه‌بندی اراضی برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۰ میلادی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat انجام گردید. تصاویر ماهواره‌ای Landsat ثبت شده از منطقه مورد مطالعه شامل سنجنده‌های نقشه‌نگار موضوعی پیشرفته (ETM) و تصویرگر زمین عملیاتی (OLI^۲) از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با بازه زمانی هفت ساله از تارنمای سازمان زمین شناسی ایالات متحده آمریکا دریافت شد. روشن است که نتایج به دست آمده در سنجش از دور تحت تأثیر نوع سنجنده قرار خواهد گرفت. به عنوان مثال تفاوت در باندهای طیفی ممکن است منجر به شناسایی نادرست پوشش‌های زمین و تفکیک نادرست بین اراضی کشاورزی و فضای سبز شهری شود. قدرت تفکیک مکانی پایین نیز ممکن است جزئیات کوچک مقیاس مانند قطعات کوچک زمین‌های کشاورزی را نادیده بگیرد و بر دقت تحلیل‌ها تأثیر بگذارد. با این حال در این پژوهش سعی شد که کلاس‌های کاربری اراضی در طبقات کلی در نظر گرفته شوند که طبقه‌بندی با خطای کمتری استخراج شود و همچنین از شاخص‌های طیفی مختلفی نیز استفاده گردید تا دقت نتایج افزایش یابد. با این وجود تفاوت در نتایج وجود خواهد داشت که به صورت شاخص ضریب کاپا و صحت کلی در این مطالعه گزارش گردیدند. تصاویر ثبت شده توسط ماهواره لندست برای سنجنده‌های مورد استفاده از قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری برخوردار می‌باشند. تصاویر ماهواره لندست ۷ با سنجنده ETM^۱ و لندست ۸ دارای باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر است که می‌توان بر اساس آن باندهای بازتابی با قدرت تفکیک ۳۰ متر را به ۱۵ متر تبدیل کرد. در این مطالعه جهت افزایش دقت طبقه‌بندی، قدرت تفکیک مکانی تصاویر بازتابی لندست با استفاده از باند پانکروماتیک در نرم افزار ENVI به ۱۵ متر تبدیل گردیدند. جدول ۱ مشخصات تصاویر دریافتی را نشان می‌دهد که با توجه به قرار گرفتن منطقه مطالعاتی در سه فریم تصویر، برای هر سال مطالعاتی سه تصویر و در مجموع ۱۲ تصویر دریافت شد. در این پژوهش، تصاویر ماهواره‌ای

^۱ Enhanced Thematic Mapper

^۲ Operational Land Imager

ثبت شده در اسفندماه به عنوان بازه زمانی بهینه برای بررسی تغییرات کاربری اراضی انتخاب شد. این انتخاب مبتنی بر دو عامل کلیدی بود: (۱) کاهش چشمگیر اختلالات جوی (شامل ابرناکی، گردوغبار و رطوبت) که وضوح و دقت تصاویر را به حداکثر می‌رساند؛ و (۲) فعالیت حداکثری اکوسیستم (مانند رشد پوشش گیاهی بومی و کشت‌های زمستانه) که امکان تفکیک دقیق مرزهای کاربری‌های اراضی را فراهم می‌سازد.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای دریافت شده

شماره	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	ماهواره	سنجنده	ردیف	مسیر
۱	۲۰۰۰/۰۳/۱۹	۱۳۷۸/۱۲/۲۹	Landsat-7	ETM ⁺	۳۸	۱۶۵
۲	۲۰۰۰/۰۳/۱۹	۱۳۷۸/۱۲/۲۹	Landsat-7	ETM ⁺	۳۹	۱۶۵
۳	۲۰۰۰/۰۳/۲۶	۱۳۷۹/۰۱/۰۷	Landsat-7	ETM ⁺	۳۸	۱۶۶
۴	۲۰۰۷/۰۳/۱۷	۱۳۸۵/۱۲/۲۸	Landsat-7	ETM ⁺	۳۸	۱۶۵
۵	۲۰۰۷/۰۳/۱۷	۱۳۸۵/۱۲/۲۸	Landsat-7	ETM ⁺	۳۹	۱۶۵
۶	۲۰۰۷/۰۳/۲۰	۱۳۸۵/۱۲/۰۱	Landsat-7	ETM ⁺	۳۸	۱۶۶
۷	۲۰۱۴/۰۲/۱۱	۱۳۹۲/۱۱/۲۲	Landsat-7	ETM ⁺	۳۸	۱۶۵
۸	۲۰۱۴/۰۲/۱۱	۱۳۹۲/۱۱/۲۲	Landsat-7	ETM ⁺	۳۹	۱۶۵
۹	۲۰۱۴/۰۳/۰۶	۱۳۹۲/۱۲/۱۵	Landsat-7	ETM ⁺	۳۸	۱۶۶
۱۰	۲۰۲۰/۰۳/۰۲	۱۳۹۸/۱۲/۱۳	Landsat-8	OLI-TIRS	۳۸	۱۶۵
۱۱	۲۰۲۰/۰۳/۰۲	۱۳۹۸/۱۲/۱۳	Landsat-8	OLI-TIRS	۳۹	۱۶۵
۱۲	۲۰۲۰/۰۳/۰۹	۱۳۹۸/۱۲/۱۹	Landsat-8	OLI-TIRS	۳۸	۱۶۶

* در پژوهش حاضر، فقط از باندهای موجود در محدوده مرئی و مادون قرمز بازتاب استفاده شد که برای سنجنده ETM⁺ باندهای (۵ تا ۷) و برای سنجنده OLI باندهای (۱ تا ۷) را شامل می‌شود.

پیش پردازش و آماده سازی تصاویر

پیش پردازش تصاویر به منظور آماده سازی آن‌ها برای ورود به طبقه بندی انجام می‌شود؛ پیش پردازش‌های اصلی تصاویر در طبقه بندی عبارت‌اند از: تصحیح رادیومتریکی و اتمسفری، تصحیح هندسی، تفکیک باندها، انجام محاسبات تصویری و اعمال فیلتر. بررسی اولیه تصاویر نشان داد که مقدار پارامتر جذر میانگین مربعات خطا کمتر از ۰/۵ پیکسل است، بنابراین تصاویر دریافتی نیاز به اعمال تصحیح هندسی نداشتند. تصحیح رادیومتری یکی از مراحل حیاتی در پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای است که هدف آن اصلاح و بهبود کیفیت نوری تصاویر است. این نوع تصحیح به منظور حذف یا کاهش خطاهایی انجام می‌شود که به دلیل تغییرات در شدت نور، شرایط جوی (مانند ابر، مه و بخار آب)، تجهیزات سنسور، زاویه تابش نور خورشید و عوامل دیگر به وجود می‌آیند. بنابراین در این مطالعه، ابتدا ارزش‌های رقومی پیکسل‌های تصاویر به تابش طیفی تبدیل و در ادامه تصاویر با استفاده از مدل تصحیح اتمسفری فلش (روش تحلیل سریع اتمسفر خط دید مدل هاپر مکعب طیفی (FLAASH) تصحیح شدند. این روش یک الگوریتم پیشرفته برای تصحیح جوی تصاویر ابرطیفی و چندطیفی به منظور حذف یا کاهش اثرات جوی از تصاویر، مانند جذب و پراکندگی نور توسط ذرات معلق، بخار آب و سایر گازهای موجود در جو است که توسط شرکت RS^۲ توسعه داده شده است. الگوریتم فلش در تصحیح تصاویر اتمسفری ماهواره‌ای جهت کاربردهای کشاورزی، محیط زیست، زمین شناسی، مدیریت منابع طبیعی و مطالعات شهری استفاده می‌شود. این روش سایه حاصل از کوه‌ها و دامنه‌ها و ایمیج‌های دامنه انعکاسی را در نظر نمی‌گیرد و از این جهت نسبت به روش ACTOR ضعیف‌تر است ولی برای اراضی دشت مانند منطقه مورد مطالعه که سایه اندازی وجود ندارد، مناسب است. در مطالعات معتبر از این الگوریتم قدرتمند استفاده شده است (Andreu et al., 2019; Ilori et al., 2019; Chen et al., 2022; Liu et al., 2023). الگوریتم فلش به عنوان یک ماژول در نرم

^۱ Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes

^۲ Research Systems, Inc

افزار ENVI ارائه شده است. در نهایت تصاویر در محیط نرم افزار ENVI 5.6 موزاییک و بر اساس آخرین شیپ فایل^۱ شهرستان‌های اهواز، حمیدیه، باوی و کارون که همگی جزو شهرستان اهواز بودند، مرز منطقه مطالعاتی برش داده شد.

شاخص‌های طیفی

جهت طبقه‌بندی از شاخص‌های طیفی (شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی و غیرگیاهی) استفاده گردید. شاخص‌های طیفی در واقع ترکیب باندهای طیفی تصاویر ماهواره‌ای هستند که از طریق عملگرهای ریاضی با یکدیگر تلفیق و ترکیب می‌شوند. شاخص‌های مختلفی در طبقه‌بندی استفاده می‌شود که در بررسی مقدماتی شاخص‌های طیفی مختلفی استفاده شدند و بر اساس نتایج اولیه و خلاصه‌سازی، شاخص‌های NDVI (پوشش گیاهی نرمال شده)، RVI (شاخص نسبت پوشش گیاهی)، TVI (شاخص انتقال پوشش گیاهی)، و OSAVI (شاخص پوشش گیاهی پهنه سازی شده با خاک)، NDWI (شاخص پوشش آب)، NDBI (شاخص پوشش ساختمان)، UI، BU=NDVI-NDBI (شاخص شهری)، IBI (شاخص ساخت و ساز پیشرفته و برهنگی) استفاده گردید. شاخص OSAVI، RVI و NDVI برای شناسایی اراضی کشاورزی، شاخص TVI برای شناسایی و تغییر زمین‌های کشاورزی به اراضی دیگر، شاخص NDBI و BU برای شناسایی اراضی انسان ساخت و شاخص NDWI برای شناسایی پهنه‌های آبی استفاده شد (Chen et al., 2021). در بین شاخص‌های پوشش گیاهی شاخص NDVI عملکرد بهتری از سایر شاخص‌ها از خود نشان داد. استفاده از شاخص‌های بیشتر مانند EVI (شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده)، RVI (شاخص زمین) NDBI (شاخص بیابانی) و SAVI با وجود افزایش محاسبات و پیچیدگی، موجب ارتقاء قابل توجه دقت نشدند. از این رو به منظور کاهش پیچیدگی، برخی از شاخص‌ها در نظر گرفته نشدند. روابط، دامنه مقادیر شاخص‌ها و تفسیر مقادیر مختلف آن‌ها در مطالعات و منابع بیان شده است (Xue and Su, 2017; Talukdar et al., 2020; Pôças et al., 2020; Javed et al., 2021; Tran et al., 2022; Wang et al., 2022).

الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال

الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال یکی از مهمترین و قوی‌ترین الگوریتم‌های طبقه‌بندی اراضی می‌باشد. این الگوریتم پس از آزمون نرمال بودن داده‌ها در هر طبقه، میانگین داده‌ها را محاسبه می‌کند، سپس پیکسل‌های طبقه‌بندی نشده را در طبقه‌ای قرار می‌دهد که با حداکثر احتمال به آن طبقه تعلق دارد (Ahmad et al., 2023). مطالعات نشان داده است که روش حداکثر احتمال توانایی بالایی در طبقه‌بندی اراضی دارد (گودرزی مهر، ۱۳۸۹). در مطالعه کنونی بررسی مقدماتی نشان داد که روش حداکثر احتمال توانایی خوبی در طبقه‌بندی اراضی منطقه دارد. از این رو از این روش برای طبقه‌بندی استفاده گردید. در این روش میزان کمی واریانس و همبستگی ارزش‌های طیفی باندهای مختلف برای مناطق نمونه محاسبه می‌شود و از همین خاصیت برای ارتباط یک پیکسل طبقه‌بندی نشده به یکی از گروه‌ها یا نمونه‌های طیفی استفاده می‌شود. به بیان دیگر برای بررسی نحوه توزیع ارزش‌های طیفی و احتمال آماری ارتباط یک پیکسل با یکی از گروه‌های نمونه از ماتریس واریانس و بردار میانگین که خود واریانس و همبستگی ارزش‌های طیفی را تعریف می‌کنند، استفاده می‌شود (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۳). منطق روش حداکثر احتمال به شرح رابطه ۲ است (نوروزی، ۱۳۹۷).

$$x \in w_i \text{ if } P(w_i|x) > P(w_j|x) \quad \text{for all } j \neq i \quad \text{رابطه ۲}$$

رابطه ۲ نشان می‌دهد که پیکسل با بردار مقادیر طیفی x به کلاس w_i تعلق خواهد داشت اگر مقدار احتمال تعلق آن به این کلاس یعنی $P(w_i|x)$ بزرگتر از دیگر کلاس‌ها باشد. برای محاسبه این احتمالات از قانون بیز کمک گرفته می‌شود. این قانون به صورت رابطه ۳ است.

$$p(w_i|x) = \frac{P(x|w_i)P(w_i)}{P(x)} \quad \text{رابطه ۳}$$

^۱ Shapefile

در رابطه ۳، $P(w_i|x)$ احتمال ثانویه کلاس w_i ، x بردار مقادیر طیفی، w_i کلاس طیفی λ_i ، $P(x|w_i)$ احتمال یافتن پیکسلی از کلاس w_i در موقعیت x در فضای چند طیفی و $P(w_i)$ احتمال اولیه کلاس w_i است. پس از محاسبه اجزای قانون بیز، می‌توان بردار احتمالات $P(w_i|x)$ را تولید کرد که سرانجام بر طبق آن تصمیم‌گیری انجام خواهد شد. بنابراین الگوریتم این طبقه‌بندی عبارت از محاسبه این اجزا و در نهایت مقایسه احتمالات ثانویه کلاس‌های مختلف با یکدیگر است. برای محاسبه پارامتر $P(x|w_i)$ ، توزیع احتمال کلاس‌ها به صورت توزیع نرمال چند بعدی فرض و تعریف می‌شود (رابطه ۴).

$$P(x|w_i) = ((2\pi)^{-\frac{f}{2}} (|x_i|)^{-\frac{1}{2}}) \exp\left(-\frac{1}{2} (x - m_i)^t x_i^{-1} (x - m_i)\right) \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن m_i بردار میانگین، $|x_i|$ دترمینان ماتریس کواریانس داده‌های کلاس w_i و f تعداد باندها است. محاسبه میانگین و واریانس بر اساس پیکسل‌های معلوم هر کلاس، انجام می‌پذیرد. احتمال اولیه $P(w_i)$ برای کلاس جداگانه تعیین می‌گردد. معمولاً احتمالات اولیه از اطلاعات کلی منطقه که به صورت گزارش یا نقشه موجود است، به دست می‌آید. اگر چنین اطلاعاتی در دست نباشد تمامی احتمالات اولیه مساوی فرض می‌شوند (رابطه ۵).

$$P(w_i) = P(w_2) = P(w_n) = \frac{1}{N} \quad (\text{رابطه ۵})$$

پس از محاسبه احتمال اولیه، در نهایت محاسبه احتمال $P(x)$ باقی می‌ماند. این پارامتر تنها نقش نرمالیزه کردن احتمالات ثانویه را بر عهده دارد. اگر جمع تمامی احتمالات ثانویه یک فرض شود. آنگاه از رابطه ۳ می‌توان رابطه ۶ را نتیجه‌گیری کرد (Norouzi et al, 2019).

$$p(x) = \sum_{i=1}^N p(x/w_i) p(w_i) \quad (\text{رابطه ۶})$$

همانطور که مشخص است $P(x)$ بدون وابستگی به کلاس خاصی محاسبه شده است و بنابراین برای تمامی کلاس‌ها برابر خواهد بود. در این مرحله تمامی اجزای قانون بیز موجودند و می‌توان احتمال ثانویه هر کلاس را با استفاده از رابطه (۶) محاسبه کرد.

در مرحله طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با تفسیر بصری تصاویر و بکارگیری شاخص‌های طیفی، تعداد ۴ کلاس کاربری اراضی (اراضی انسان ساخت، بایر، کشاورزی و پهنه‌های آبی) در نظر گرفته شد و سپس نمونه‌های واقعیت‌زمینی برای استخراج این کلاس‌ها با ایجاد ترکیب رنگی کاذب و با توجه به شناخت منطقه و تصاویر گوگل ارث به صورت تصادفی از سراسر تصویر اخذ شد. در جدول ۲ نمونه‌های واقعیت‌زمینی اخذ شده برای ارزیابی دقت نتایج طبقه‌بندی نشان داده شده است.

جدول ۲- تعداد نمونه‌های تعلیمی و واقعیت‌زمینی

مرحله/کاربری اراضی	سال	انسان ساخت	بایر	کشاورزی	پهنه‌های آبی
پردازش داده‌ها	۲۰۰۰	۲۰۰۹	۲۴۶۴	۱۷۹۲	۵۶۰
ارزیابی نتایج طبقه‌بندی		۸۶۱	۱۰۵۶	۷۶۸	۲۴۰
پردازش داده‌ها	۲۰۰۷	۱۶۸۰	۲۱۸۸	۱۱۰۷	۴۲۰
ارزیابی نتایج طبقه‌بندی		۷۲۰	۹۳۷	۴۷۲	۱۸۰
پردازش داده‌ها	۲۰۱۴	۲۰۳۰	۱۳۳۰	۱۰۲۰	۲۸۰
ارزیابی نتایج طبقه‌بندی		۸۷۰	۵۷۰	۴۳۷	۱۲۰
پردازش داده‌ها	۲۰۲۰	۲۱۰۰	۱۳۳۰	۷۰۰	۲۴۵
ارزیابی نتایج طبقه‌بندی		۹۰۰	۵۷۰	۳۰۰	۱۰۵

برای بررسی صحت کاربری‌های تعیین شده از شاخص‌های ضریب کاپا^۱ (رابطه ۷) و صحت کلی^۲ (رابطه ۸) استفاده گردید. این دو معیار در ارزیابی مدل‌های طبقه‌بندی، اطلاعات ارزشمندی ارائه می‌کنند. با بررسی همزمان هر دو معیار، می‌توان به درک کامل‌تری از اعتبار و توانایی پیش‌بینی مدل‌ها دست یافت و در نتیجه، به نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتری رسید. ضریب کاپا نشان دهنده توافق حاصل طبقه‌بندی با داده‌های واقعیت زمینی می‌باشد. دامنه این ضریب بین عدد صفر و یک است که عدد یک بیان‌گر همسویی یا توافق صد درصد نقشه طبقه‌بندی شده با واقعیت زمینی می‌باشد؛ دقت کلی، میانگینی از دقت طبقه‌بندی است که نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به جمع کل پیکسل‌های معلوم را نشان می‌دهد (ریاحی و همکاران، ۱۳۹۷).

$$OA = \frac{1}{N} \times \sum P_{ii} \quad (\text{رابطه ۷})$$

جایی که $\sum P_{ii}$ مجموع پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده اند، N تعداد کل پیکسل‌های تصویر و OA شاخص صحت کلی را نشان می‌دهد.

$$K = (OA - \frac{1}{q}) \times (1 - \frac{1}{q}) \quad (\text{رابطه ۸})$$

در رابطه ۸، K ضریب کاپا و Q پیکسل‌های درست طبقه‌بندی نشده را نشان می‌دهد.

آشکارسازی تغییرات

برای مشخص شدن سهم کاربری‌های اراضی در سال‌های مورد بررسی از مدل ماتریس کراس تب^۳ یا جدول متقاطع استفاده شد. در تحلیل‌های آماری، جدول متقاطع ابزاری برای نمایش اطلاعات ماتریسی است که برطبق فراوانی دو طرفه یا برحسب دو یا چند متغیر کیفی، تنظیم می‌گردد. در این گونه تحلیل‌ها، محاسبات زیادی براساس جدول متقاطع به‌خصوص روی داده‌های کیفی و طبقه‌ای صورت می‌گیرد (Ziaul Hoque et al, 2020). با استفاده از این ماتریس می‌توان تبدیل کاربری اراضی و درصد تغییر کاربری اراضی در هر سال را نشان داد. در این مدل هم محاسبه تعداد پیکسل‌هایی که بین دو تاریخ تصویربرداری تغییر یافته امکان‌پذیر است و هم می‌توان ماهیت تغییرات را مشخص کرد (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۸).

یافته‌ها و بحث

نتایج طبقه‌بندی تصاویر و ارزیابی دقت طبقه‌بندی‌ها

دقت نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، نقشی اساسی در تحلیل‌های دقیق و قابل اعتماد تغییرات کاربری اراضی دارد، به طوری که افزایش دقت طبقه‌بندی، امکان استخراج اطلاعات صحیح‌تر و انجام تجزیه و تحلیل‌های مطمئن‌تر از نقشه‌های کاربری اراضی را فراهم می‌سازد. در این راستا، دقت کلی برای نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۸۹/۵۶، ۹۱/۳۵، ۹۳/۵۸ و ۹۴/۸۹ درصد و ضریب کاپا به ترتیب ۸۷/۲۳، ۸۸/۵۹، ۹۱/۲۶ و ۹۳/۲۳ درصد محاسبه شد. این مقادیر با نتایج مطالعات پیشین همخوانی دارد؛ به عنوان مثال، نوروزی (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای با عنوان "پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی کانون‌های ریزگرد در جنوب شرق اهواز"، مقادیر ضریب کاپا برای سال‌های ۱۹۸۶-۱۹۸۵، ۲۰۰۲-۲۰۰۱ و ۲۰۱۶-۲۰۱۵ میلادی را به ترتیب ۸۹/۹۷، ۹۰ و ۹۲ درصد و شاخص دقت کلی را به ترتیب ۸۸/۵۳، ۹۱/۲۳ و ۹۲/۶۸ درصد گزارش کرده است. همچنین، عبیات و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای پیرامون روند تغییرات زمانی- مکانی کاربری اراضی و توسعه شهری اهواز، ضریب کاپا

^۱ Kappa Coefficient

^۲ Overall Accuracy

^۳ Cross Tabulation

برای سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ را به ترتیب ۷۴، ۷۸ و ۸۸ درصد و شاخص دقت کلی را به ترتیب ۷۶، ۸۵ و ۹۳ درصد گزارش کردند.

نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۰ در شکل ۳ و مساحت هر یک از طبقات در جدول ۴ ارائه شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در طول دوره زمانی مورد مطالعه، بیشترین مساحت مربوط به اراضی بایر (شامل مرتع، بوته‌زار، تپه ماهور، اراضی شنی و سایر پوشش‌های گیاهی مشابه) و کمترین مساحت به پهنه‌های آبی اختصاص داشته است. با این حال، تحلیل داده‌ها بیانگر کاهش چشمگیر مساحت اراضی بایر و تبدیل آن‌ها به سایر کاربری‌ها، به ویژه کشاورزی است. به طوری که، در سال ۲۰۰۰، اراضی بایر حدود ۸۳ درصد مساحت شهرستان را تشکیل می‌دادند؛ این میزان در سال‌های ۲۰۰۷ به ۵۶/۸، در سال ۲۰۱۴ به ۵۲/۷ و در سال ۲۰۲۰ به ۵۵/۸ درصد کاهش یافته است (جدول ۴). در مقابل، اراضی کشاورزی در سال ۲۰۰۰ کمترین مساحت و پراکندگی را داشته‌اند، اما با گذشت زمان، گسترش قابل توجهی یافته‌اند.

در دوره ۲۰۰۰-۲۰۰۷، با اجرای سیاست‌های توسعه زمین‌های کشاورزی، توسعه زیرساخت‌ها (مانند کانال‌های آبیاری) و افزایش تعداد ماشین‌های کشاورزی، اراضی بایر به میزان زیادی به زیرکشت محصولات کشاورزی رفته و به اراضی کشاورزی تبدیل شدند. همچنین، اجرای طرح ۵۵۰ هزار هکتاری (که بخشی از آن در منطقه، به ویژه در شهرستان حمیدیه، قرار دارد) نیز موجب افزایش سطح زیرکشت اراضی کشاورزی شد. در این دوره، اراضی کشاورزی با افزایشی ۲/۷۷ برابری، از حدود ۱۱۵۱۵۱ هکتار (۱۳/۷۲ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه) به ۳۱۸۷۶۷ هکتار (۳۷/۹۸ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه) رسید. در همین دوره، اراضی انسان‌ساخت نیز با حدود ۴۹/۵ درصد افزایش، از ۱/۲۴ درصد مساحت کل منطقه مورد مطالعه به ۱/۸۶ درصد افزایش یافت. پهنه‌های آبی نیز حدود ۱/۰۵ درصد مساحت منطقه افزایش یافتند که عمدتاً به دلیل افزایش کانال‌های آبیاری و افزایش اراضی ماندابی ناشی از تجمع زه آب اراضی کشاورزی بوده است. لازم به ذکر است که در سال‌های پرباران، وسعت اراضی باتلاقی و ماندابی افزایش می‌یابد.

در دوره ۲۰۰۷-۲۰۱۴ نیز وسعت اراضی کشاورزی افزایش یافته است، اما شدت این افزایش نسبت به دوره ۲۰۰۰-۲۰۰۷ کمتر بوده است. در این دوره، سطح زیر کشت اراضی با افزایش ۴۳۸۲۴ هکتاری، به ۴۳/۲۰ درصد مساحت کل منطقه مورد مطالعه رسید که نسبت به سال ۲۰۰۷ حدود ۱۳/۷۵ درصد افزایش یافته است. این افزایش، ۵/۲۲ درصد کل مساحت منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود، در حالی که برای دوره ۲۰۰۰-۲۰۰۷ افزایش مساحت اراضی کشاورزی برابر با ۲۶/۲۴ درصد (۲۰۳۶۱۶ هکتار) مساحت کل منطقه بوده است. کاهش شدت افزایش اراضی کشاورزی، بیشتر به دلیل محدودیت اراضی و منابع آبی می‌باشد. در ابتدای سیاست توسعه زمین‌های کشاورزی، به دلیل وجود زمین‌های مسطح و مستعد و منابع آبی فراوان، تبدیل اراضی بایر به اراضی کشاورزی به سرعت و با هزینه کم امکان‌پذیر بود؛ اما با گذشت زمان و کاهش اراضی مسطح و مستعد و منابع آبی، تبدیل اراضی بایر به کشاورزی دشوارتر و پرهزینه‌تر شده است. لازم به ذکر است که در این دوره نیز افزایش اراضی کشاورزی بیشتر در نتیجه تبدیل اراضی بایر به اراضی کشاورزی بوده است، به طوری که در دوره ۲۰۰۷-۲۰۱۴ اراضی بایر از ۵۶/۷۶ درصد مساحت کل منطقه مورد مطالعه به ۵۲/۶۸ درصد کاهش یافته است. در دوره ۲۰۰۷-۲۰۱۴ اراضی انسان‌ساخت در حدود ۰/۳۸ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه افزایش یافته و به ۲/۲۴ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه رسیده است. این در حالی است که در دوره ۲۰۰۰-۲۰۰۷ افزایش اراضی انسان‌ساخت برابر با ۰/۶۲ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه بوده است. عمده افزایش اراضی انسان‌ساخت در محدوده‌های شهرها و پیرامون آن‌ها، به خصوص شهر اهواز، رخ داده است. در این بین، اراضی کشاورزی در اطراف شهرها یا روستاها که معمولاً اراضی حاصلخیزی بودند، تغییر کاربری داده و به اراضی انسان‌ساخت تبدیل شدند. کاهش بارندگی و افزایش اراضی کشاورزی آبی در دوره ۲۰۰۷-۲۰۱۴ موجب کمبود آب آبیاری برای اراضی کشاورزی شده است، به طوری که کشاورزان از آب زهکشی برای آبیاری برخی اراضی استفاده می‌کردند. این امر موجب کاهش سطح تالاب‌های محلی و اراضی باتلاقی (که با آب زهکشی، بارندگی و سیلاب تغذیه می‌شوند) شده است. در این دوره، سطح پهنه‌های آبی به ۱/۸۸ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه رسیده است که نسبت به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۷ به ترتیب ۱۹/۶۶ و ۴۴/۵۴ درصد کاهش یافته است.

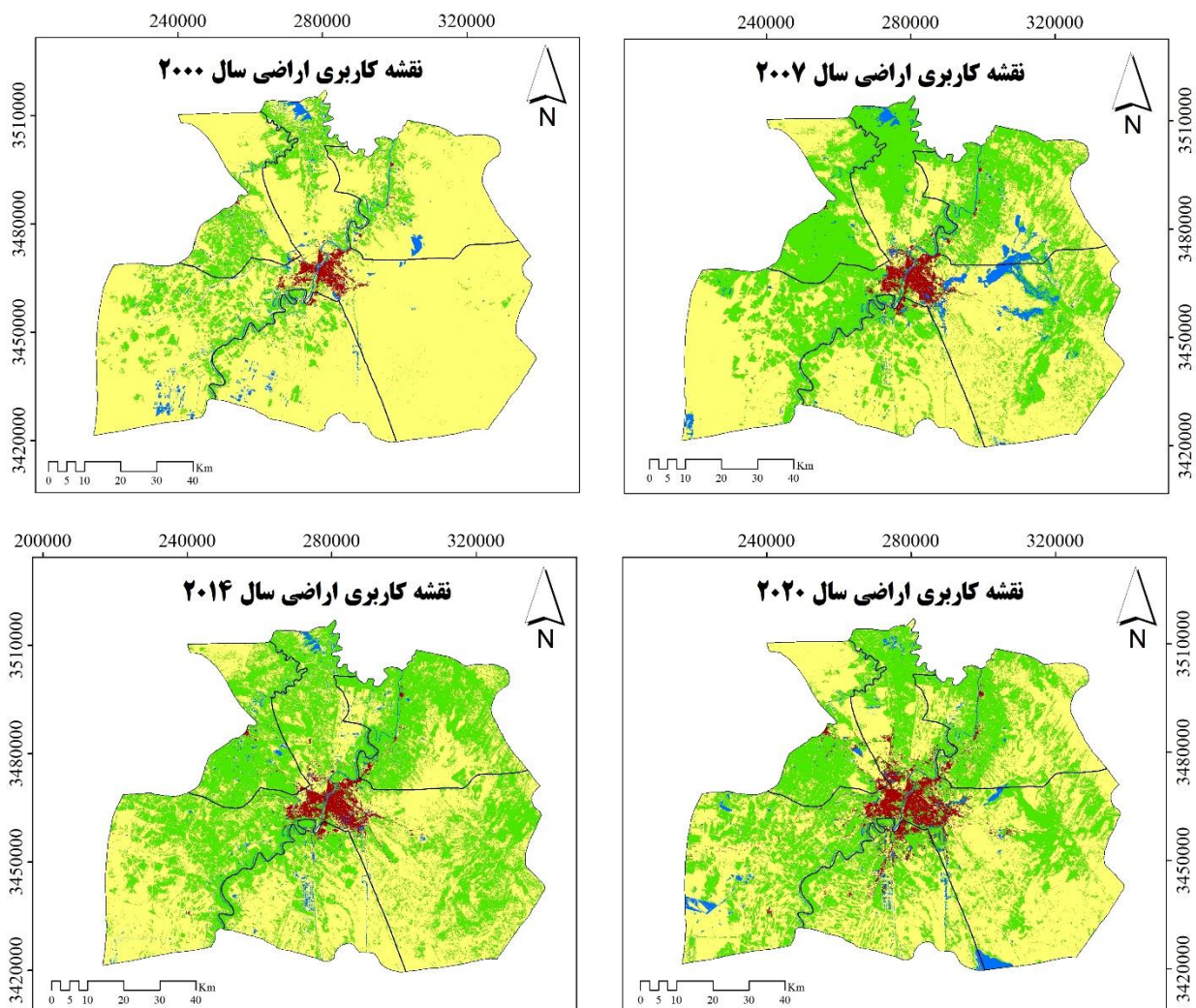
در دوره ۲۰۱۴-۲۰۲۰، اراضی کشاورزی با کاهش نسبی مواجه شدند، در حالی که اراضی بایر افزایش یافتند. در سال ۲۰۲۰،

مساحت اراضی کشاورزی حدود ۳۱۹ هزار هکتار برآورد شد که در مقایسه با سال ۲۰۱۴، کاهش حدود ۴۳ هزار هکتاری را نشان می‌دهد. از جمله علل اصلی این کاهش می‌توان به خشکسالی‌های مکرر و شدید، کمبود منابع آب آبیاری و توسعه مناطق مسکونی اشاره کرد. در همین دوره، اراضی انسان‌ساخت نسبت به دوره‌های قبلی، با افزایشی معادل ۱/۴۶ درصد کل مساحت مورد مطالعه (حدود ۳۱ هزار هکتار)، گسترش چشمگیری داشته‌اند که عمدتاً از اراضی کشاورزی حاصل شده است. شایان ذکر است که در دوره‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۷ و ۲۰۱۴-۲۰۰۷، افزایش اراضی انسان‌ساخت به ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۳۸ درصد کل مساحت منطقه مورد مطالعه بوده است.

مطالعات متعددی در نقاط مختلف جهان، روند مشابهی را در تغییرات کاربری اراضی نشان می‌دهند. برای مثال، Salem et al (2020) در پژوهشی گزارش کردند که در کشور مصر، طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۸، حدود ۹۶۰۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی اطراف قاهره به کاربری شهری تبدیل شده است که به معنای میانگین سالانه از دست رفتن حدود ۱۲۰۰ هکتار زمین کشاورزی است. این محققان، افزایش شهرنشینی و گسترش شهری را به عنوان عوامل اصلی کاهش اراضی کشاورزی معرفی کردند و ضعف اقتدار اجرایی، رشد سریع جمعیت، سفته‌بازی در بازار املاک و مستغلات و قطعه‌بندی اراضی کشاورزی را از جمله عوامل تسهیل‌کننده این روند دانستند. در منطقه لاهور هند نیز نتایج یک مطالعه نشان داد که در دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۰، اراضی شهری ۲۷/۴۱ درصد افزایش یافته و این امر منجر به کاهش اراضی بایر، پهنه‌های آبی و اراضی با پوشش گیاهی شده است (Ahmad et al., 2023). بررسی تغییرات کاربری اراضی در دلتای گنگ نیز نشان داد که در یک بازه زمانی ۲۸ ساله، زمین‌های کشاورزی تقریباً ۵۰ درصد کاهش یافته و تالاب‌ها بیش از ۵۰ درصد افزایش یافته‌اند که عمدتاً ناشی از رواج روزافزون پرورش میگو با آب شور است. در این منطقه، کاربری اراضی سکونتگاهی نیز تقریباً ۵ درصد افزایش داشته است (Islam et al., 2015). مطالعه تغییرات کاربری اراضی در یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۰) در نیجریه حاکی از آن است که افزایش اراضی کشاورزی عمدتاً به قیمت کاهش اراضی چمن‌زارها، بوته‌زارها و جنگل‌ها تمام شده است (Arowolo and Deng, 2018). بررسی سه دهه (۱۹۹۱-۲۰۲۱) تغییرات کاربری اراضی در غرب بنگال نشان داد که زمین‌های کشاورزی ۶/۳۱ درصد و مناطق مسکونی ۵/۱۸ درصد افزایش یافته‌اند که این امر عمدتاً منجر به کاهش پوشش گیاهی (۱۰/۸۱ درصد) شده است (Saha and Gayen, 2025). مطالعه تغییرات کاربری اراضی در پناهگاه حیات وحش بالوخلاند-کونارک^۱ در هند نیز نشان می‌دهد که پوشش گیاهی مترام از ۴۱/۸ درصد در سال ۱۹۹۳ به ۳۸/۱ درصد در سال ۲۰۲۳ کاهش یافته، در حالی که پوشش گیاهی پراکنده افزایش یافته است (Mishra et al., 2025). در یک مطالعه در شمال تایلند نیز گزارش شد که از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۳، کشت درختان کائوچو و مناطق مسکونی گسترش یافته و این امر منجر به کاهش پوشش جنگلی شده است (Arunyawat and Shrestha, 2016). در ایران نیز مطالعات متعددی اثرات تغییرات کاربری اراضی را نشان داده‌اند. فروتن و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند که تبدیل زمین‌های بایر، کشاورزی و فضای سبز شهری به کاربری‌های مسکونی، بیشترین شدت خسارت زیست‌محیطی را در شهر ری به همراه داشته است؛ به طوری که این تغییرات، به‌ویژه از بین رفتن پوشش گیاهی، تأثیر منفی قابل توجهی بر سیمای سرزمین گذاشته و منجر به تخریب زیستگاه‌های طبیعی، کاهش تنوع زیستی و افزایش آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های منطقه شده است. در بررسی تغییرات کاربری اراضی در تهران طی دوره ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ نیز گزارش شده که گسترش مناطق مسکونی و شهری با کاهش فضاهای سبز شامل باغات، درختزارها و پارک‌ها همراه بوده و گسترش مناطق مسکونی در درجه اول در خاک‌های کم‌توان و بایر و سپس در باغات و فضای سبز رخ داده است (خزایی و همکاران، ۱۴۰۲).

به طور کلی، مطالعات نشان می‌دهند که تغییرات کاربری اراضی در مناطق مختلف، تحت تأثیر عوامل گوناگون، الگوهای متفاوتی دارند، اما در اکثر موارد، مناطق انسان‌ساخت افزایش یافته‌اند که افزایش جمعیت و شهرنشینی به عنوان مهم‌ترین عامل این تغییرات شناخته می‌شوند. در شهرستان اهواز نیز، افزایش جمعیت و شهرنشینی، سیاست‌های توسعه کشاورزی و صنعتی، محدودیت منابع، قوانین و مقررات (و همچنین ضعف در اجرای قوانین تغییر کاربری) و تغییرات اقلیمی را می‌توان از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تغییرات کاربری اراضی برشمرد.

^۱ Balukhand-Konark



راهنما

■ سطوح آبی ■ کشاورزی ■ بایر ■ انسان ساخت

شکل ۳- نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه (الف: سال ۲۰۰۰؛ ب: سال ۲۰۰۷؛ ج: سال ۲۰۱۴ و د: سال ۲۰۲۰)

جدول ۴- مساحت هر یک از کاربری‌ها در سال‌های مورد مطالعه

۲۰۲۰		۲۰۱۴		۲۰۰۷		۲۰۰۰		کاربری
درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	
۳,۷۰	۳۱۰۱۶,۶	۲,۲۴	۱۸۷۶۱,۱	۱,۸۶	۱۵۶۱۸,۸	۱,۲۴	۱۰۴۴۴,۸	انسان ساخت
۵۵,۷۹	۴۶۸۲۴۰	۵۲,۶۸	۴۴۲۱۸۱	۵۶,۷۶	۴۷۶۴۳۶	۸۲,۶۹	۶۹۴۰۷۰	بایر
۳۸,۰۳	۳۱۹۲۳۱	۴۳,۲۰	۳۶۲۵۹۱	۳۷,۹۸	۳۱۸۷۶۷	۱۳,۷۲	۱۱۵۱۵۱	کشاورزی
۲,۴۸	۲۰۸۲۷,۴	۱,۸۸	۱۵۷۸۱,۹	۳,۳۹	۲۸۴۹۳,۲	۲,۳۴	۱۹۶۴۹,۲	آب

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی

به منظور تحلیل تغییرات کاربری اراضی در دوره زمانی مورد مطالعه، تصاویر طبقه‌بندی‌شده با استفاده از ماتریس‌های تقاطعی مورد مقایسه قرار گرفتند. این روش، علاوه بر شناسایی پیکسل‌های تغییر یافته بین دو تاریخ تصویربرداری، ماهیت تغییرات کاربری را نیز مشخص می‌کند. مساحت و نقشه‌های مربوط به تبدیلات کاربری‌های اراضی در طی دوره‌های مطالعاتی به ترتیب در جدول ۵ و شکل ۴ ارائه شده است. نتایج آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی نشان داد که طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۰۷، مقدار ۶۲۷۵ هکتار از اراضی بایر به اراضی انسان‌ساخت و ۲۱۸۰۴۰ هکتار از اراضی بایر به اراضی کشاورزی تبدیل شده‌اند. همچنین، در این دوره به ترتیب حدود ۳۹۶ و ۴۳۸ هکتار از اراضی کشاورزی و پهنه‌های آبی به اراضی انسان‌ساخت تغییر کاربری دادند (جدول ۵). یافته‌های عیبات و همکاران (۱۴۰۰) نیز نشان می‌دهد که در بازه‌های زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲، به میزان ۲۶۰۵ هکتار و در بازه ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹، به میزان ۳۱۷۵ هکتار به نواحی انسان‌ساخت در شهرستان اهواز افزوده شده است. در دوره ۲۰۰۰-۲۰۰۷ مطالعه حاضر نیز حدود ۵۱۷۰ هکتار افزایش در اراضی انسان‌ساخت مشاهده شد. به دلیل توسعه اراضی کشاورزی و افزایش نیاز به آب جهت آبیاری، پهنه‌های آب سطحی (مانند تالاب‌های محلی که از آب رودخانه‌ها تغذیه می‌کردند و دارای آب شیرین بودند) کاهش یافتند و بیشتر به اراضی کشاورزی یا بایر تبدیل شدند. در مقابل، در بخش‌های دیگر، به دلیل تجمع آب زهکشی اراضی کشاورزی و مناطق شهری، اراضی بایر به پهنه‌های آبی تبدیل گردیدند.

طی دوره ۲۰۰۷-۲۰۱۴، حدود ۲۶۱۸ هکتار از اراضی بایر و ۲۵۴۵ هکتار از اراضی کشاورزی به اراضی انسان‌ساخت و ۱۱۸۸۳۲ هکتار از اراضی بایر به اراضی کشاورزی تبدیل شده است. در این دوره، همچنین ۱۵۸۴۶ هکتار از پهنه‌های آبی به اراضی بایر تبدیل شدند. در مقایسه با دوره قبل، در این دوره اراضی بایر کمتری به اراضی انسان‌ساخت تبدیل شدند، اما تبدیل اراضی کشاورزی به اراضی انسان‌ساخت افزایش چشمگیری داشته است. این مسئله می‌تواند به کاهش اراضی بایر در اطراف شهرها و در نتیجه، تبدیل اراضی کشاورزی نزدیک به مناطق مسکونی و شهری به اراضی شهری نسبت داده شود. همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شد، در این دوره، وسعت اراضی کشاورزی به حداکثر و وسعت پهنه‌های آبی به حداقل مقدار خود در کل دوره مورد مطالعه رسید. این وضعیت، به همراه کاهش نزولات جوی و خشکسالی، موجب فشار به منابع آبی شده و بیشترین میزان تبدیل پهنه‌های آبی به اراضی بایر، با اختلاف چشمگیر نسبت به سایر دوره‌ها، در این دوره رخ داده است.

در دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۴ مساحت اراضی انسان‌ساخت افزایش یافت و حدود ۱۰/۷ هزار هکتار از اراضی بایر و ۳/۹ هزار هکتار از اراضی کشاورزی به این کاربری تبدیل شدند. در مقایسه با دوره قبل، مساحت اراضی بایر افزایش و اراضی کشاورزی کاهش یافتند. درودیان و درودیان (۱۳۹۷) در پژوهشی با عنوان "پیامدهای اجتماعی و بوم‌شناختی تغییرات کاربری اراضی کشاورزی به این نتیجه رسیدند که تغییر کاربری اراضی کشاورزی پس از کم‌آبی، دومین چالش اساسی کشاورزی در ایران محسوب می‌شود و نمونه‌ای از شکست سازوکار بازار در حفظ محیط زیست است. این امر به نابودی بخش قابل توجهی از زمین‌های کشاورزی منجر شده و از منظر امنیت غذایی، خودکفایی و اشتغال پایدار در جامعه روستایی، پیامدهای اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی قابل توجهی به دنبال دارد.

در کل دوره مطالعاتی (۲۰۲۰-۲۰۰۰)، اراضی انسان‌ساخت روند افزایشی داشته و در تمامی دوره‌ها، اراضی بایر، کشاورزی و پهنه‌های آبی به اراضی انسان‌ساخت تبدیل شده‌اند. در مجموع، ۱۸/۹ هزار هکتار از اراضی بایر، ۸/۸ هزار هکتار از اراضی کشاورزی و ۱/۶ هزار هکتار از پهنه‌های آبی به اراضی انسان‌ساخت تغییر کاربری داده‌اند. اراضی کشاورزی در ابتدا افزایش یافتند، در حالی که اراضی بایر کاهش نشان دادند. اما بررسی دوره‌های هفت ساله نشان می‌دهد که افزایش اراضی کشاورزی، به دلیل محدودیت منابع آبی و اراضی مستعد، متوقف شده یا کاهش یافته است. همچنین، روند کاهش اراضی بایر، که عمدتاً ناشی از تبدیل آن‌ها به اراضی کشاورزی بود، نیز متوقف یا کند شده و بیشتر تحت تأثیر تبدیل به اراضی انسان‌ساخت قرار گرفته است.

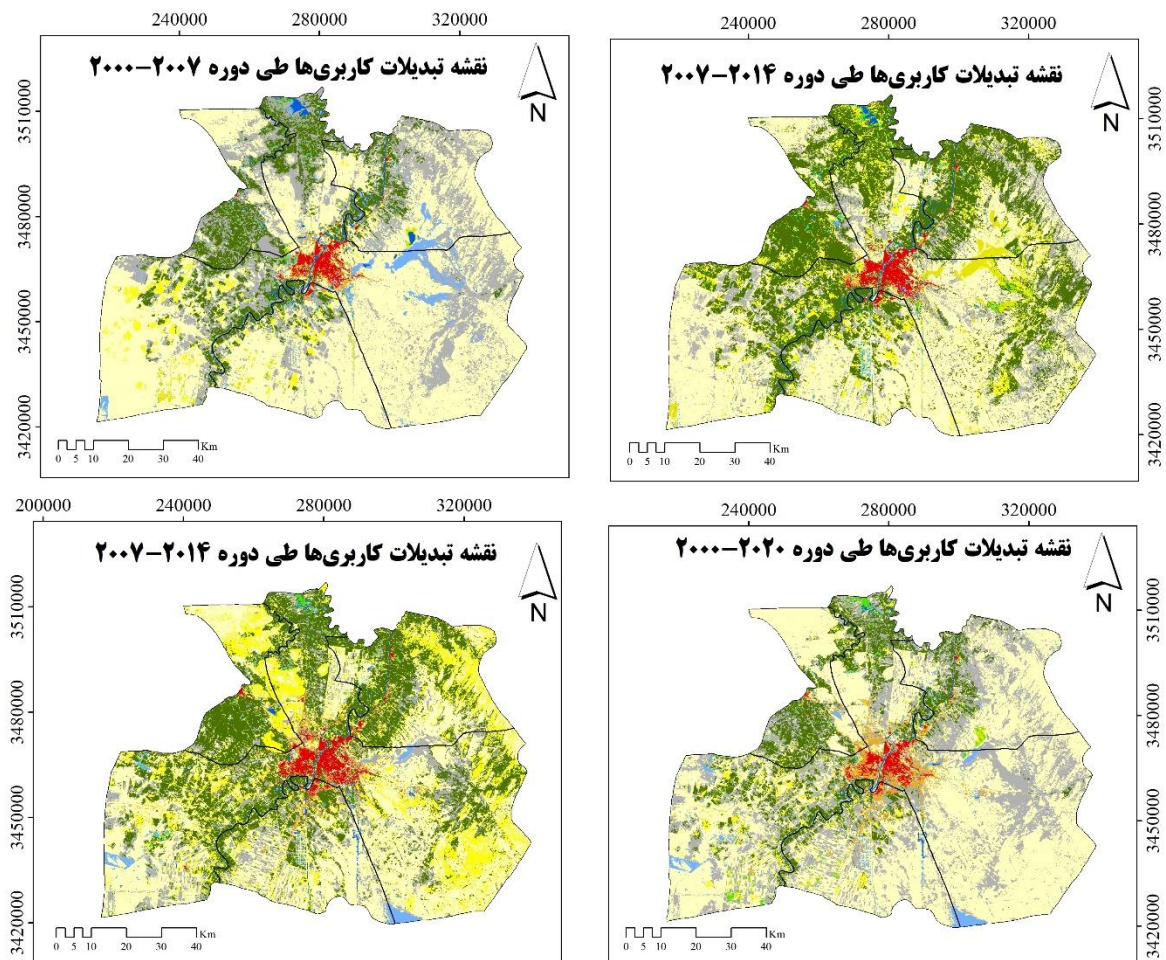
سیستم آبیاری غالب در اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه، به ویژه برای محصولات زراعی عمده مانند گندم، جو، برنج و باغات (نخلستان‌ها)، آبیاری غرقابی کرتی است که دارای پایین‌ترین بازده آبیاری می‌باشد. بهبود مدیریت منابع آبی در بخش

کشاورزی و استفاده از روش‌های آبیاری با بازده بالاتر (آبیاری قطره‌ای، بارانی، زیرسطحی و غیره) می‌تواند نقش مؤثری در مقابله با کمبود منابع آبی ایفا کند. برای مثال، استفاده از آبیاری جوی و پشته‌ای می‌تواند راندمان آبیاری را در مقایسه با روش آبیاری غرقابی کرتی تا ۳۰ درصد افزایش دهد (Fahong et al., 2004). بر اساس گزارش طرح ارزیابی و مقایسه روش‌های گوناگون خشکه‌کاری و نشاکاری ارقام برنج در کشور (گزارش استان خوزستان)، از نظر بهره‌وری مصرف آب، ظرفیت مزرعه‌ای و هزینه‌ها، روش‌های خشکه‌کاری برنج در استان خوزستان نسبت به روش نشاکاری سنتی ارجحیت دارند. در میان روش‌های خشکه‌کاری، روش کاشت جوی و پشته‌ای، کمترین نیاز آبی و بیشترین بهره‌وری مصرف آب را دارا است.

استفاده از روش‌های علمی برای تعیین زمان و مقدار مناسب آبیاری (مانند استفاده از حسگرهای رطوبت خاک و مدل‌های پیش‌بینی آب و هوا و داده‌های هواشناسی) و تسطیح اراضی کشاورزی موجب کاهش تلفات ناشی از رواناب و افزایش بازده مزرعه می‌شود. افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک با افزایش مواد آلی خاک (استفاده از کود دامی و کمپوست) و به کارگیری روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی موجب حفظ رطوبت خاک و کاهش نیاز آبی برای آبیاری می‌شود. استفاده کارآمد از نهاده‌های کشاورزی و افزایش عملکرد و بازدهی تولید محصولات کشاورزی بدون افزایش مصرف آب، می‌تواند در راستای بهره‌برداری پایدار از اراضی کشاورزی باشد. مدیریت خاک، به ویژه مدیریت شوری خاک و حفظ و افزایش مواد آلی خاک، در منطقه مورد مطالعه که با مشکل شوری خاک و آب آبیاری و فقر مواد آلی خاک مواجه است، بسیار حائز اهمیت است. زهکشی اراضی کشاورزی و آیشویی اراضی از راهکارهای مهم برای کاهش شوری مزارع کشاورزی و افزایش عملکرد تولید به شمار می‌روند. روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، علاوه بر حفظ رطوبت خاک، می‌توانند در کاهش فرسایش خاک مؤثر باشند. همچنین، توسعه کشاورزی پایدار از طریق ترویج روش‌های مقاوم به خشکسالی و کم‌آبی و بهره‌گیری از فناوری‌های سنجش از دور برای پایش و مدیریت بهینه اراضی کشاورزی می‌تواند در دستور کار قرار گیرد. توسعه عمودی شهرها به جای توسعه افقی، تدوین طرح‌های جامع شهری و منطقه‌ای جهت شناسایی و حفاظت از اراضی کشاورزی ارزشمند، وضع قوانین سخت‌گیرانه محدود کننده توسعه شهرها در اراضی کشاورزی و تعیین جرمه‌های سنگین برای متخلفان، ایجاد سازوکارهای قانونی برای نظارت دقیق بر تغییر کاربری اراضی، ایجاد کمرندهای سبز و حائل بین مناطق شهری و کشاورزی و تقویت نظارت مردمی از راهکارهای مهمی هستند که می‌توان با اجرای آن‌ها از تبدیل اراضی کشاورزی به کاربری شهری جلوگیری کرد.

جدول ۵- جدول ماتریسی تغییرات کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه در دوره‌های مطالعاتی (هکتار)

تبدیلات کلاس‌ها	۲۰۰۷-۲۰۰۰	۲۰۱۴-۲۰۰۷	۲۰۲۰-۲۰۱۴	۲۰۲۰-۲۰۰۰
بایر به انسان ساخت	۶۳۷۵/۷	۳۶۱۸/۶	۱۰۲۰۴/۸	۱۸۸۸۵/۱
بایر به کشاورزی	۲۱۸۰۴۰	۱۱۸۸۳۲/۵	۹۸۸۴۷/۳	۲۱۹۳۳۳/۲
بایر به پهنه‌های آبی	۱۹۶۷۸/۴	۴۰۰۷/۳	۱۱۵۲۱/۵	۱۴۶۲۸/۹
کشاورزی به انسان ساخت	۳۶۹/۲	۲۵۴۵/۹	۳۸۸۹/۳	۸۷۹۴/۸
کشاورزی به بایر	۱۹۶۸۷/۷	۷۴۱۸۶/۸	۱۴۳۱۳۸/۴	۲۱۱۶۸/۹
پهنه‌های آبی به انسان ساخت	۴۳۸/۰	۷۹۵/۸	۱۱۶۸/۸	۱۵۸۳/۹
پهنه‌های آبی به بایر	۵۹۶۱/۲	۱۵۸۴۶/۷	۳۰۰۱/۴	۵۳۹۹/۱
پهنه‌های آبی به کشاورزی	۵۵۷۴/۵	۵۰۵۳/۵	۴۳۵۴/۴	۷۳۹۴/۰



راهنما

1 1	1 2	1 3	1 4	کد کاربری‌ها ۱: انسان ساخت ۲: بایر ۳: کشاورزی ۴: سطوح آبی
2 1	2 2	2 3	2 4	
3 1	3 2	3 3	3 4	
4 1	4 2	4 3	4 4	

شکل ۴- نقشه تبدیلات کاربری اراضی در دوره مطالعاتی (۲۰۰۰-۲۰۲۰)

نتیجه‌گیری نهایی

سنجش از دور امکان پایش سریع تغییرات زمانی و مکانی کاربری‌های اراضی در مساحت‌های وسیع را با بالاترین دقت و کمترین هزینه فراهم کرده و به ابزاری مهم در مدیریت منابع طبیعی تبدیل شده است. با توجه به نتایج پژوهش، در دوره مطالعاتی ۲۰۰۰-۲۰۲۰، کاربری‌های اراضی کشاورزی و مناطق انسان‌ساخت به ترتیب ۲۷۷ و ۲۹۷ درصد افزایش و در مقابل، زمین‌های بایر ۳۳ درصد کاهش داشته‌اند. تغییر کاربری اراضی در دوره مطالعاتی قابل توجه بوده و موجب تغییر پوشش زمین و چشم‌اندازها شده و به تبع آن، زیست‌بوم را تحت تأثیر قرار داده است. افزایش اراضی کشاورزی موجب استفاده بیش از حد از منابع طبیعی و آب شده است، به طوری که منابع آبی موجود پاسخگوی افزایش سطح زیر کشت نبوده و این امر یکی از مهم‌ترین عوامل عدم افزایش سطح زیر کشت اراضی کشاورزی در سال ۲۰۲۰ نسبت به ۲۰۱۴ بوده است. از سوی دیگر، افزایش اراضی با کاربری انسان‌ساخت موجب کاهش اراضی کشاورزی مرغوب اطراف شهرها و مناطق مسکونی شده است. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده تغییرات مهم در کاربری اراضی طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۴ و پس از آن است. در این بازه زمانی، افزایش زمین‌های کشاورزی و کاهش

زمین‌های بایر نشان‌دهنده‌ی توسعه‌ی فعالیت‌های کشاورزی بوده است. با این حال، از سال ۲۰۱۴ به بعد، کاهش زمین‌های کشاورزی و افزایش مجدد زمین‌های بایر به دلیل خشکسالی و کمبود منابع آبی، نشان‌دهنده‌ی تأثیرات منفی تغییرات اقلیمی و فشار فزاینده بر منابع طبیعی است. این روند می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به همراه داشته باشد. از دست رفتن زمین‌های کشاورزی مرغوب در اثر گسترش مناطق انسان‌ساخت، امنیت غذایی را در بلندمدت تهدید می‌کند. از سوی دیگر، کاهش منابع آبی نیز تولیدات کشاورزی را تحت تأثیر قرار داده و ممکن است به افزایش قیمت مواد غذایی و وابستگی بیشتر به واردات منجر شود. برای مقابله با این چالش‌ها، اجرای سیاست‌های مدیریت یکپارچه منابع آب به منظور جلوگیری از برداشت بی‌رویه و توسعه روش‌های آبیاری کارآمد با استفاده از فناوری‌های نوین برای کاهش مصرف آب در کشاورزی ضروری است. حفاظت از زمین‌های کشاورزی مرغوب نیز از اهمیت بالایی برخوردار است که می‌توان با ایجاد محدودیت‌های قانونی برای جلوگیری از تبدیل این زمین‌ها به مناطق انسان‌ساخت و تشویق به توسعه عمودی شهرها به جای توسعه افقی، به این هدف دست یافت. در نهایت، برنامه‌ریزی بلندمدت برای سازگاری با تغییرات اقلیمی از جمله اقداماتی است که باید توسط مدیران و برنامه‌ریزان مورد توجه جدی قرار گیرد. بر اساس یافته‌های این پژوهش، پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی، از مدل‌های یادگیری ماشین به منظور پیش‌بینی تغییرات آبی کاربری اراضی بهره گرفته شود. افزون بر این، ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر میکروکلیمای منطقه، کیفیت و فرسایش خاک، کمیت و کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی، تنوع زیستی و نیز بررسی پیامدهای آن بر الگوهای مهاجرت روستایی-شهری و تحولات جمعیتی، امری ضروری به نظر می‌رسد. انجام این بررسی‌ها، ضمن فراهم نمودن درکی جامع‌تر از تبعات تغییر کاربری اراضی، زمینه را برای تدوین و ارائه راهکارهای مؤثر در راستای مدیریت پایدار منابع طبیعی مهیا خواهد ساخت.

فهرست منابع

- احمدپور، امیر؛ سلیمانی، کریم؛ شکری، مریم و قربانی، جمشید (۱۳۹۳). مقایسه میزان کارایی سه روش رایج طبقه‌بندی نظارت شده داده‌های ماهواره‌ای در مطالعه پوشش گیاهی. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۵ (۳)، ۷۷-۸۹.
- خزایی، عادل؛ عباسپور، مجید؛ بابایی کفاکی، ساسان؛ تقوی، لعبت و رشیدی، یوسف (۱۴۰۲). بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی کلانشهر تهران با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور. *فصلنامه علوم محیطی*، ۲۱ (۲)، ۱۳۸-۱۲۱.
- درویدیان، حمید رضا و درویدیان، عاطفه (۱۳۹۷). پیامدهای اجتماعی و اکولوژیکی تغییر بی‌رویه کاربری اراضی کشاورزی. *مدیریت اراضی*، ۵ (۲)، ۸۱-۹۷.
- ریاحی، وحید؛ ضیائی‌ان فیروزآبادی، پرویز؛ عزیزپور، فرهاد و دارویی، پرستو (۱۳۹۷). تعیین و بررسی سطح زیرکشت محصولات زراعی در ناحیه لنجان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۹ (۵۲)، ۱۴۷-۱۶۹.
- عبیات، محمد؛ عبیات، مصطفی و عبیات، مرتضی (۱۴۰۰). مدل سازی روند تغییرات زمانی- مکانی کاربری اراضی و توسعه شهری اهواز مبتنی بر رویکرد آمایشی. *آمایش سرزمین*، ۱ (۱۳)، ۲۱۵-۲۴۵.
- فروتن، سارا؛ شریعت، محمود؛ خیرخواه زرکش، میر مسعود و سرور، رحیم (۱۳۹۹). بررسی روند تغییرات کاربری اراضی شهری با استفاده از داده‌های سنجش از دور. *پژوهش و فناوری محیط زیست*، ۷ (۵)، ۵۵-۶۶.
- فرهادی، نیما؛ کیانی، عباس و عبادی، حمید (۱۳۹۸). شناسایی اهداف در تصاویر سنجش از دوری با قدرت تفکیک بالا با استفاده از روش‌های یادگیری عمیق. *سنجش از دور و GIS/ایران*، ۱۱ (۱)، ۳۳-۴۸.
- گودرزی مهر، سعید (۱۳۸۹). مقایسه روش‌های طبقه‌بندی MLC، SVM، SAM، BEC و شبکه‌های عصبی برای تفکیک مزارع با استفاده از تصویر سنجنده ETM+. *دومین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار (فرصت‌ها و چالش‌های پیش رو)*. ۱۱ صفحه.
- ممبینی، مریم؛ آسیابی، مریم و کرم شاهی، عبدالعلی (۱۳۹۲). مقایسه روش حداکثر احتمال و فازی در تهیه نقشه کاربری/پوشش اراضی جنوب خوزستان با استفاده از تصاویر لندست. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۴ (۲)، ۶۹-۷۷.

نوروزی، آذین (۱۳۹۷). پایش و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با تکنیک سنجش از دور (مطالعه موردی: کانون های ریزگرد، جنوب شرق اهواز). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، دانشکده کشاورزی. ملاثانی.

1. Abiyat, M., Abiyat, M., & Abiyat, M. (2021). Modeling the Process of Spatio-Temporal Changes in LandUse and Urban Development of Ahvaz Based on Spatial Planning Approach. *Town and Country Planning*, 13 (1), 215-245. Doi: 10.22059/jtcp.2020.313706.670174. (in Persian).
2. Ahmad, MN., Shao, Z., & Javed, A. (2023). Modelling land use/land cover (LULC) change dynamics, future prospects, and its environmental impacts based on geospatial data models and remote sensing data. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(12), 32985-33001. DOI:10.1007/s11356-022-24442-2.
3. Ahmadpour, A., Solaimani, K., Shokri, M., & Ghorbani, J. (2014). Comparison of three common methods in supervised classification of satellite data for vegetation studies. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(3), 77-89. (in Persian).
4. Andreu, A., Dube, T., Nieto, H., Mudau, A.E., González-Dugo, M.P., Guzinski, R., & Hülsmann, S., (2019). Remote sensing of water use and water stress in the African savanna ecosystem at local scale—Development and validation of a monitoring tool. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 112, 154-164.
5. Arowolo, AO., & Deng, X. (2018). Land use/land cover change and statistical modelling of cultivated land change drivers in Nigeria. *Regional environmental change*, 18, 247-259.
6. Arunyawat, S., & Shrestha, RP. (2016). Assessing land use change and its impact on ecosystem services in Northern Thailand. *Sustainability*, 8(8), 768.
7. Campbell, JB. (2002). Introduction to remote sensing. Guilford Press.
8. Canaz, S., Aliefendioglu, Y., & Tanrivermis, H. (2017). Change detection using Landsat images and an analysis of the linkages between the change and property tax values in the Istanbul Province of Turkey. *Journal of Environmental Management*, 200, 446-455. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.008>.
9. Chen, D., Lu, X., Hu, W., Zhang, Ch., & Lin, Y. (2021). How urban sprawl influences eco environmental quality: Empirical research in China by using the Spatial Durbin model. *Ecological Indicators*, 131, 108-113.
10. Chen, L., Huang, H., Han, D., Wang, X., Xiao, Y., Yang, H. & Du, J. (2023). Investigation on the spatial and temporal patterns of coupling sustainable development posture and economic development in World Natural Heritage Sites: A case study of Jiuzhaigou, China. *Ecological Indicators*, 146, 109920.
11. Da silva cruz, J., Cavalcante Blanco, C., & de Oliveira Júnior, J. (2022). Modeling of land use and land cover change dynamics for future projection of the Amazon number curve. *Science of the Total Environment*, 811, 152348. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152348>.
12. Dorodian, H., & Drodian, A. (2017). Social and Ecological Impacts of Agricultural Land Use Change. *Journal of Land Management*, 5(2), 81-97. Doi: 10.22092/lmj.2018.115849. (in Persian).
13. Fahong, W., Xuqing, W., & Sayre, K. (2004). Comparison of conventional, flood irrigated, flat planting with furrow irrigated, raised bed planting for winter wheat in China. *Field Crops Res*, 87, 35–42.

14. FAO. (2015). The state of food and agriculture: Social protection and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
15. Farhadi, N., Kiyani, A., & Ebadi, H. (2019). Target detection from high-resolution remote sensing images using deep learning methods. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 11(1), 48-64. Doi: 10.52547/gisj.11.1.48. (in Persian).
16. Foroutan, S., Shariat, M., Kheirkhah zarkesh, M., Sarvar, R. (2020). Investigation of the trend of land use changes in Rey city using remote sensing data. *Journal of Environmental Research and Technology*, 7(5), 55-66. (in Persian).
17. Goodarzi Mehr, S. (2010). Comparison of BEC, SAM, SVM, MLC and neural network classification methods for field separation using ETM+ sensor images. The Second National Conference on Agriculture and Sustainable Development (Opportunities and Challenges Ahead). 11 pages. (in Persian).
18. Ilori, CO., Pahlevan, N., & Knudby, A. (2019). Analyzing performances of different atmospheric correction techniques for Landsat 8: Application for coastal remote sensing. *Remote Sensing*, 11(4), 469.
19. IPCC. (2019). Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.
20. Islam, GT., Islam, AS., Shopan, AA., Rahman, MM., Lázár, AN., & Mukhopadhyay, A. (2015). Implications of agricultural land use change to ecosystem services in the Ganges delta. *Journal of environmental management*, 161, 443-452.
21. Javed, A., Cheng, Q., Peng, H., Altan, O., Li, Y., Ara, I., Huq, E., Ali, Y., & Saleem, N. (2021). Review of spectral indices for urban remote sensing. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 87(7), 513-524.
22. Jiang, H., Hu, H., Zhong, R., Xu, J., Xu, J., Huang, J., & Lin, T. (2020). A deep learning approach to conflating heterogeneous geospatial data for corn yield estimation: a case study of the US Corn Belt at the county level. *Global Change Biology*, 26 (3), 1754–1766. Doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.14885>.
23. Jiang, H., Hu, H., Zhong, R., Xu, J., Xu, J., Huang, J., & Lin, T. (2020). A deep learning approach to conflating heterogeneous geospatial data for corn yield estimation: a case study of the US Corn Belt at the county level. *Glob. Chang. Biol*, 26 (3), 1754–1766.
24. Ju, J., & Masek, J.G. (2016). The vegetation greenness trend in Canada and US Alaska from 1984–2012 Landsat data. *Remote Sensing Environment*, 176, 1–16. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.01.001>.
25. Khazaei, A., Abbaspour, M., Babaei Kafaky, S., Taghavi, L., & Rashidi, Y. (2023). Investigating and predicting land use changes in Tehran metropolis using remote sensing technology. *Environmental Sciences*, 21(2), 121-138. (in Persian).
26. Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., Skanes, H., Staffen, W., Stone, G. D., Svdin, U., Veldkamp, T., Vogel, C., & Xu, W. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11, 261-269. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3).
27. Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons.

28. Liu, Z., Wu, Y., Zhang, X., Li, M., Liu, C., Li, W., ., Fu, M., Qin, S., Fan, Q., Luo, H., & Lu, C. (2023). Comparison of variable extraction methods using surface field data and its key influencing factors: A case study on aboveground biomass of *Pinus densata* forest using the original bands and vegetation indices of Landsat 8. *Ecological Indicators*, 157, 111307.
29. Mishra, M., Bhattacharyya, D., Mondal, B., Paul, S., da Silva, R.M., Santos, CAG., & Guria, R., 2025. Forecasting shoreline dynamics and land use/land cover changes in Balukhand-Konark Wildlife Sanctuary (India) using geospatial techniques and machine learning. *Science of The Total Environment*, 975, 179207.
30. Mombeini, M., Asiae, M., & Karamshahi, A. (2013). Comparison of maximum likelihood and fuzzy methods in the preparation of the land use/cover map of southern Khuzestan using Landsat images. *Remote Sensing and Geographical Information System in Natural Resources*, 4 (2), 69-79. <https://www.sid.ir/paper/189619/en>. (in Persian).
31. Murugan, M., Selvaraj, R., & Nagarajan, S. (2022). Assessment of land use land cover change detection in multitemporal satellite images using machine learning algorithms. In *Cognitive Systems and Signal Processing in Image Processing* (pp. 27-45). Academic Press. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824410-4.00006-4>.
32. Nourozi, A. (2019). Monitoring and prediction of land use changes by remote sensing technique (case study: Dust sources of south-east alhwaz). Msc Thesis, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. Molasani, (in Persian).
33. Pôças, I., Calera, A., Campos, I., & Cunha, M. (2020). Remote sensing for estimating and mapping single and basal crop coefficients: A review on spectral vegetation indices approaches. *Agricultural Water Management*, 233, 106081.
34. Ramankutty, N., Evan, A.T., Monfreda, C., & Foley, J.A. (2008). Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Global biogeochemical cycles*, 22(1).
35. Riyahi, V., Ziyaeen, F., Azizpor, F., & Daroeei, P. (2018). Determining and checking the cultivated area of crops in Lanjan area using satellite images. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 19 (52), 147-169. Doi: 10.29252/jgs.19.52.147. (in Persian).
36. Saha, P. & Gayen, S.K. (2025). A geospatial assessment of land use changes and their influence on land surface temperature in Koch Bihar district, West Bengal. *Results in Earth Sciences*, 100089.
37. Salem, M., Tsurusaki, N., & Divigalpitiya, P. (2020). Remote sensing-based detection of agricultural land losses around Greater Cairo since the Egyptian revolution of 2011. *Land Use Policy*, 97,104744.
38. Sreenivas, K., Sekhar, N. S., Saxena, M., Paliwal, R., Pathak, S., Porwal, M. C., Fyzee, M. A., Rao, S. V. C. K., Wadodkar, M., Anasuya, T., Murthy, M. S. R., Ravisankar, T., & Dadhwal, V. K. (2015). Estimating inter-annual diversity of seasonal agricultural area using multi-temporal resourcesat data. *Journal of Environmental Management*, 161, 433-442. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.031>.
39. Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Pal, S., Liou, Y.A. & Rahman, A. (2020). Land-use land-cover classification by machine learning classifiers for satellite observations—A review. *Remote sensing*, 12(7), 1135.
40. Tran, T.V., Reef, R., & Zhu, X. (2022). A review of spectral indices for mangrove remote sensing. *Remote Sensing*, 14(19), 4868.

41. Wang, J., Bretz, M., Dewan, MAA., & Delavar, MA. (2022). Machine learning in modelling land-use and land cover-change (LULCC): Current status, challenges and prospects. *Science of the Total Environment*, 822, 153559.
42. Wulder, MA., Masek, JG., Cohen, WB., Loveland, TR., & Woodcock, CE. (2012). Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment*, 122, 2-10
43. Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of sensors*, 1, 1353691.
44. Yi-Ming, L., Lei, Zh., Mei, Zh., Jian, L., Yan, W., Li, S., & Quing-Li, L. (2022). A neural networks based method for suspended sediment concentration retrieval from GF-5 hyperspectral images. *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 41, 10.11972. Doi: 10.11972/j.issn.1001-9014.2022.01.029.
45. Zhang, X., Liu, L., Chen, X., Gao, Y., Xie, S., & Mi, J. (2021). Glc fcs30: global land-cover product with fine classification system at 30 m using time-series landsat imagery. *Earth Syst. Sci. Data*, 13 (6), 2753–2776.
46. Ziaul Hoque, M., Cui, Sh., Islam, I., Xu, L., & Tang, J. (2020). Future Impact of Land Use/Land Cover Changes on Ecosystem Services in the Lower Meghna River Estuary, Bangladesh. *Sustainability*. 1-18.