

Research Paper



Investigating the impact of land use/land cover change trends on the status of groundwater resources using satellite images, GIS, and GS+



Batool Zeinali ¹ , Maryam Mohammadzadeh shishehgaeen

1. Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Zeynali.b@uma.ac.ir

2. Phd student, Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. mmohamadzadeh23@gmail.com

Keywords

Object-oriented classification, groundwater, geostatistical methods, Marand County, Iran.

ABSTRACT

Introduction

The limitation of surface water resources, the increase in water consumption demand along with the industrial and economic development of societies and the increase in agriculture have made groundwater a valuable natural resource to meet the relevant needs. On the other hand, the excessive extraction of groundwater has become a serious global problem, especially in developing countries (Koniko and Kennedy, 2005: 318). Therefore, in order to protect and manage these valuable resources properly and effectively, the study and investigation of groundwater level changes is of particular importance. Given the complex and unobservable conditions of the subsurface environment, groundwater modeling is a powerful tool for developing feasible management plans for groundwater and protecting this vital resource. (Ja and Sahu, 2015: 672).

Methodology

The research steps were as follows: after preparing piezometric well statistics, the data highlighting method was used to eliminate the deficiencies in the study data. The highlighting method used was the interpolation method, which was performed by Neural Power software (based on artificial neural networks), to eliminate the deficiencies in the data. Logarithmic transformation was used in SPSS software to normalize the data, and GS+ software was used for geostatistical analyses. ENVI5.3 software and radiance and flash methods were used for atmospheric, radiometric, and geometric corrections, and GIS10.5 software was used to extract the desired maps. Object-oriented classification method was used in eCognition Developer64 software to classify land use. In the object-oriented classification method, spectral information is combined with spatial information and pixels are segmented based on shape, texture and gray tone in the image surface with a specific scale and image classification is performed based on these segments (Faizizadeh & Hilali, 2010: 77). In segmentation, pixels are segmented by different algorithms in different sizes, with different spectral and shape ratios and are classified into various objects based on spectral and spatial characteristics. During this process, image objects are created according to their homogeneity or heterogeneity based on scale, color, shape, smoothness coefficient and compression shape parameters.

Received: 2025/05/11

Accepted: 2025/09/20

Published: 2026/04/12

*Correspondin Author: Batool Zeinali. Email: Zeynali.b@uma.ac.ir

How to cite this article: Zeinali, Batool., Maryam Mohammadzadeh shishehgaeen. (2025). Investigating the impact of land use/land cover change trends on the status of groundwater resources using satellite images, GIS, and GS+ Hydrogeomorphology, 13(46): 20 – 40.

DOI10.22034/hyd.2025.66746.1790



Copyright: © by the authors

Publisher: University of Tabriz

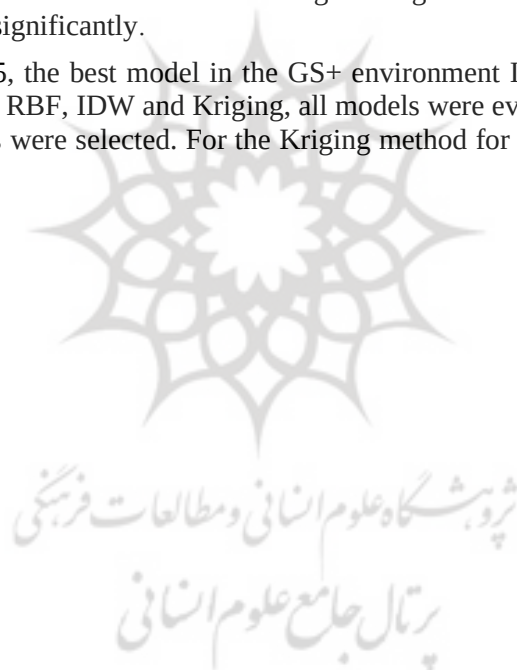
Results and Discussion

Groundwater level map The highest average water level in 2003 was recorded for the water area use with 12.53 meters and the residential area with 17.48 meters, and the lowest average water level was recorded for the agricultural land area with 48.45 meters. Considering the land use map and the groundwater level map of 2023, the highest average water level in this year also belongs to the water area use with 89.36 meters of gardens with a value of 78.32, and the lowest average water level recorded is related to the residential area use with 16.24 meters. It is clear that if the water level of both years related to the study area is compared, it can be inferred that the average level of all uses in 2023 decreased significantly compared to 2002, which indicates the critical situation of groundwater and excessive use of these resources.

Conclusions

Knowing the ratio of uses and how it changes over time is one of the most important issues in planning and policy-making. For this reason, in this research, in the first step, an attempt was made to classify and then examine the changes that occurred in a specific time period in Parsabad County. For this reason, in this research, in the first step, in order to classify and record changes in a 20-year period, an attempt was made to classify images using an object-oriented method in eCognition software and output maps were extracted in ArcGIS10.5 software. The largest area in 2003 belonged to the agricultural land class with an area of 1153.880 hectares. The second area belonged to the pasture class, which had the largest area with 456.205 km. The smallest area belonged to water use with 1.224 km. For the year 2023, agricultural land with 327.752 km² was the largest, followed by orchards with 647.561 km². Looking at the land uses, the results show a significant difference. Agricultural land use had the highest degree in 2023, which has changed over time. The residential area has also increased significantly.

According to the values in Table 5, the best model in the GS+ environment In order to select the best interpolation model among the different models, RBF, IDW and Kriging, all models were evaluated and only those models that had greater accuracy than other models were selected. For the Kriging method for the year 2003, K-Bissell was Gaussian for the year 2023.



مقاله پژوهشی



بررسی تاثیر روند تغییرات کاربری اراضی / پوشش زمین بر وضعیت منابع آب زیرزمینی با استفاده از تصاویر ماهواره ای، GIS و GS+

بتول زینالی^{۱*}، مریم محمدزاده شیشه گران^۲

۱- استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. Zeynali.b@uma.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. mmohamadzadeh23@gmail.com

چکیده

کلیدواژه‌ها

هدف اصلی این تحقیق پایش سطح آب‌های زیرزمینی با استفاده از علم سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای و رابطه آن با کاربری اراضی می‌باشد. به همین منظور ابتدا تصاویر مربوطه اخذ و پیش‌پردازش‌های لازم بر روی هر کدام اعمال شد. سپس نسبت به مدل‌سازی و طبقه‌بندی تصاویر اقدام شد. به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی، نقشه طبقه‌بندی شده کاربری اراضی برای هر دو سال ۱۳۸۲ و ۱۴۰۲ با استفاده از روش طبقه‌بندی شی‌گرا استخراج شد و سپس به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی نقشه تغییرات کاربری اراضی برای بازه زمانی ۲۰ ساله استخراج شد. بعد از استخراج نقشه تغییرات کاربری اراضی به منظور انتخاب بهترین مدل درون‌یابی سطح آب‌های زیرزمینی از بین مدل‌های مختلف، RBF، IDW و Kriging تمامی مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند و مدل Kriging به جهت صحت و دقت بالا انتخاب شد. در میان کاربری‌های تغییر یافته، کاربری مسکونی یا همان منطقه شهری و روستایی افزایش داشته است. تقریباً در اکثر کاربری‌ها مناطق مسکونی رقم چشم‌گیری در حد خود بوده است که این نشان‌دهنده توسعه شهری و همچنین دخالت و تخریب انسان به منابع طبیعی را نشان می‌دهد. نتایج بررسی آب‌های زیرزمینی نشان داد بیشترین میانگین تراز آب در سال ۱۳۸۲ برای کاربری منطقه آبی با ۵۳/۱۲ متر و منطقه مسکونی با ۴۸/۱۷ متر ثبت شده است و کمترین میانگین تراز آب نیز برای محدوده زمین کشاورزی ۴۵/۴۸ متر ثبت شده است. و در سال ۱۴۰۲، بیش‌ترین میانگین تراز آب متعلق به کاربری منطقه آبی با ۳۶/۸۹ مترو باغات با مقدار ۳۲/۷۸ می‌باشد و کمترین میانگین تراز آب ثبت شده مربوط به کاربری منطقه مسکونی با ۲۴/۱۶ متر می‌باشد. چنین استنباط می‌شود که میانگین تراز کاربری‌ها در سال ۱۴۰۲ همه کاربری‌ها نسبت به سال ۱۳۸۲ افت چشمگیری داشته است که این امر نشان‌دهنده وضعیت بحرانی آب‌های زیرزمینی و استفاده بیش از حد از این منابع می‌باشد.

طبقه‌بندی شی‌گرا،
آب‌های زیرزمینی،
روش‌های زمین‌آمار،
شهرستان مرند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۲۳

ارجاع به این مقاله: زینالی، بتول؛ محمدزاده شیشه گران، مریم (۱۴۰۴). بررسی تاثیر روند تغییرات کاربری اراضی پوشش زمین بر وضعیت منابع آب زیرزمینی با استفاده از تصاویر ماهواره ای، GIS و GS+. هیدروژئومورفولوژی، ۱۳ (۴۶): ۲۰-۴۰.

*نویسنده مسئول: بتول زینالی
Zeynali.b@uma.ac.ir
رایانامه:

شناسه دیجیتال مقاله: DOI10.22034/hyd.2025.66746.1790



Copyright: ©2025 by the authors

Publisher: University of Tabriz

مقدمه

محدودیت منابع آب سطحی، افزایش تقاضای مصرف آب همزمان با توسعه‌ی صنعتی و اقتصادی جوامع و افزایش کشاورزی، آب‌های زیرزمینی را به یک منبع طبیعی ارزشمند در جهت تأمین نیازهای مربوطه تبدیل کرده است. از طرفی استخراج بی‌رویه‌ی آب‌های زیرزمینی به یک مسأله‌ی جدی جهانی خصوصاً در کشورهای در حال توسعه گردیده است (کونیکو و کندی، ۲۰۰۵: ۳۱۸). بنابراین، به منظور حفاظت و مدیریت صحیح و مؤثر این منابع ارزشمند، مطالعه و بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. با توجه به شرایط پیچیده و غیرقابل مشاهده‌ی محیط زیرسطحی، مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی به عنوان ابزاری قدرتمند برای توسعه‌ی برنامه‌ریزی‌های مدیریتی قابل اجرا در مورد آب‌های زیرزمینی و محافظت از این منبع حیاتی می‌باشد. با توجه به برخی محدودیت‌های مدل‌های عددی و فیزیکی مانند وقت‌گیر بودن، پیچیده بودن، پرهزینه بودن و نیاز داشتن به داده‌های زیاد، مدل‌های تجربی از جمله روش‌های هوش مصنوعی می‌توانند در زمانی کوتاه‌تر با صرف هزینه‌ی کمتر و با داده‌های در دسترس محدود، نتایج ارزشمندی را ارائه دهند (جا و ساهو، ۲۰۱۵: ۶۷۲).

به دلیل تنوع و پیچیدگی شرایط زیرسطحی و استفاده از داده‌های صحرایی محدود، عدم قطعیت بالایی در رابطه با ورودی‌ها و خروجی‌های مدل وجود دارد. مجموعه‌های فازی به دلیل دارا بودن مرزهای مبهم و تدریجی بین مجموعه‌های تعریف شده، دارای قابلیت غلبه بر عدم قطعیت ذاتی سیستم و کنترل خطای انسانی می‌باشند (کالو و استرادا، ۲۰۰۹: ۲۰۳). با توجه به اینکه پیش‌بینی‌های نوسانات آب زیرزمینی نیز با عدم قطعیت همراه می‌باشد، منطق فازی به عنوان ابزاری مناسب برای مقابله با عدم قطعیت‌های موجود از اهمیت خاصی برخوردار است. شبکه‌ی عصبی مصنوعی نیز به عنوان یک تقریبگر جهانی می‌تواند در پیش‌بینی و بررسی مسایل غیرخطی مفید باشد (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۳۰). برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی شبکه‌ی عصبی مصنوعی به دلیل تنوع و پیچیدگی شرایط زیرسطحی و استفاده از داده‌های صحرایی محدود، عدم قطعیت بالایی در رابطه با ورودی‌ها و خروجی‌های مدل وجود دارد (کوپولا و همکاران، ۲۰۰۳: ۳۴۸). مجموعه‌های فازی به دلیل دارا بودن مرزهای مبهم و تدریجی بین مجموعه‌های تعریف شده، دارای قابلیت غلبه بر عدم قطعیت ذاتی سیستم و کنترل خطای انسانی می‌باشند (کالو و استرادا، ۲۰۰۹: ۲۰۳). با توجه به اینکه پیش‌بینی‌های نوسانات آب زیرزمینی نیز با عدم قطعیت همراه می‌باشد، منطق فازی به عنوان ابزاری مناسب برای مقابله با عدم قطعیت‌های موجود از اهمیت خاصی برخوردار است. شبکه‌ی عصبی مصنوعی نیز به عنوان یک تقریبگر جهانی می‌تواند در پیش‌بینی و بررسی مسایل غیرخطی مفید باشد (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۳۰).

در ایران به دلیل شرایط متفاوت جغرافیایی و اقلیمی، آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین و عمده‌ترین تأمین‌کنندگان آب برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت محسوب می‌شوند. بنابراین، شناخت منابع آب، به ویژه آب‌های زیرزمینی، منجر به مدیریت صحیح مصرف و حفظ این منابع ارزشمند می‌شود. از سوی دیگر، در حال حاضر تغییر کاربری اراضی به صورت غیراصولی یکی از مهم‌ترین مشکلات کشور است، زیرا اغلب تغییرات کاربری اراضی بدون برنامه‌ریزی و بدون در نظر گرفتن بسیاری از محدودیت‌های زیست‌محیطی انجام می‌شود (جواهریان امیر، ۱۳۸۸: ۲۰). آبخوان‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک همواره مورد توجه بوده‌اند. کمبود منابع آب سطحی منجر به برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی و کاهش شدید سطح آب‌های زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان شده است. با افزایش روزافزون جمعیت، بهره‌برداری بیش از حد از این منابع نیز افزایش یافته و این ذخایر طبیعی در معرض تهدید جدی قرار گرفته‌اند. برای درک بهتر وضعیت آبخوان‌ها و مدیریت بهینه آنها، آگاهی از تغییرات سطح آب ضروری است. با ارزیابی میزان نوسانات سطح آب زیرزمینی، می‌توان از آن در مدیریت آب استفاده کرد. (سلام مهینی و راحل نمینی، ۲۰۱۳: ۳). مدیران منابع آب دائماً با وظیفه سنگین تأمین تقاضای فزاینده برای آب سالم برای مردم مواجه هستند، در حالی که منابع آب ثابت مانده و در برخی موارد حتی کاهش می‌یابند.

آب‌های زیرزمینی اغلب به عنوان یک منبع مناسب و سهل‌الوصول برای تأمین نیازهای آبی، به ویژه در زمان خشکسالی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. (جانس^۱، ۲۰۱۵: ۸۲). در این میان، بررسی وضعیت کمی و کیفی آبخوان‌ها با استفاده از روش‌های مرسوم، زمان‌بر و پرهزینه است. بنابراین، روش‌های زمین‌آماری به دلیل قابلیت‌هایی که دارند، مانند: ب. کاهش تعداد نمونه‌ها، استفاده ترکیبی و ارائه تخمین‌های دقیق‌تر از وضعیت مکانی متغیرها، کاهش هزینه‌ها و افزایش دقت تخمین‌ها از نظر کاربرد، می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند (جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۸۴). امروزه، حدود ۶۰ درصد از خدمات اکوسیستمی مورد بحث در ارزیابی اکوسیستم هزاره سازمان ملل متحد در وضعیت تخریب قرار دارند یا به صورت پایدار مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. تخریب این خدمات در نیمه اول این قرن به نقطه بحرانی خواهد رسید (فتحی و عراقی، ۱۳۹۲: ۵۷). در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، آب مهم‌ترین عامل رشد کشاورزی است. در این مناطق، آب‌های زیرزمینی به دلیل کمبود بارش و رواناب سطحی در معرض بیشترین آلودگی قرار دارند (گونر^۲ و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۴۵). آب‌های زیرزمینی نسبت به آب‌های سطحی مزایای متعددی دارند، از جمله کیفیت بالاتر و آلودگی کمتر. بررسی کمیت و کیفیت این منابع و ارتباط خاص آنها با ویژگی‌های سطح زمین، کمترین و کم‌ارزش‌ترین تلاش برای حفاظت از این منابع خواهد بود (توماس و تالام، ۲۰۰۵: ۱۵۹). برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی، لازم است بدانیم که کیفیت این آب‌ها از نظر مکانی چگونه تغییر می‌کند. به دلیل عدم آگاهی یا درک کافی از زوال سریع آب‌های زیرزمینی، اشتباهات بسیار زیادی در نگهداری صحیح آن رخ داده است. این موارد شامل نشت بنزین و سایر مایعات مضر از مخازن زیرزمینی به آب‌های زیرزمینی، نفوذ آلاینده‌ها از محل‌های دفن زباله یا سیستم‌های فاضلاب با طراحی ضعیف، آلودگی آب‌های زیرزمینی توسط رواناب‌هایی که توسط مزارع کشاورزی کوددهی شده و مناطق صنعتی و نفوذ فاضلاب خانگی می‌شود (آلبهایسی^۳ و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۱۲).

اصغری و محمدزاده شیشه‌گران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای رابطه بین کاربری اراضی و افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت آذرشهر را برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان تغییر در تبدیل باغ‌ها به مناطق مسکونی، تبدیل باغ‌ها به مرتع و تبدیل مرتع به مناطق مسکونی مشاهده شده است. بر اساس نقشه کاربری اراضی و نقشه سطح آب‌های زیرزمینی برای سال ۲۰۲۰، بالاترین میانگین سطح آب در این سال، با ۳۸.۹ متر، نیز متعلق به کاربری مناطق ساحلی و پایین‌ترین میانگین سطح آب، با ۶۵.۶ متر، متعلق به کاربری باغات است.

میثاقی و محمدی (۱۳۸۷: ۳۲) با استفاده از روش‌های مرسوم درون‌یابی، سطح آب زیرزمینی را تخمین زده و با تکنیک‌های زمین‌آماری در دشت ایرانشهر-بمپور مقایسه کردند. نتایج نشان‌دهنده دقت قابل قبول روش زمین‌آماری و تخمین‌گر کریجینگ در مقایسه با سایر روش‌های آماری کلاسیک بود. اکبری و همکاران. (۲۰۱۲: ۶۵) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، افت آب‌های زیرزمینی را بررسی کردند. آنها با استفاده از روش‌های درون‌یابی قطعی، نقشه سطح آب زیرزمینی را تهیه کردند و روند افت آب زیرزمینی را با استفاده از هیدروگراف معرف دشت مشهد بررسی نمودند. صادقی و همکاران. (۲۰۱۴: ۹۴) تأثیرات کاربری اراضی بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی در حوضه آبریز دریاچه زیبار را بررسی کرد. آنها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و روش‌های زمین‌آماری به این نتیجه رسیدند که تغییر کاربری اراضی از جنگل به کشاورزی بیشترین تأثیر را بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی، به‌ویژه در شمال منطقه مورد مطالعه، داشته است. عباس نژاد و شاهین دشت اکبری (۱۳۹۲: ۹۶۹۰)، در مطالعه خود در مورد آسیب‌پذیری دشت سیرجان ناشی از استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی در منطقه، به این نتیجه رسیدند که سطح آب‌های زیرزمینی این دشت در سال‌های اخیر رو به کاهش بوده و بین سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۰ به طور متوسط سالانه حدود ۸۰ سانتی‌متر کاهش بسیار شدیدی داشته است. شکبیا و همکاران (۲۰۱۰: ۱۲۲) در مطالعه خود در مورد تأثیر خشکسالی‌ها بر منابع آب زیرزمینی در شرق کرمانشاه به این نتیجه رسیدند که علت بارز خشکسالی‌های این منطقه تأثیر قابل توجهی بر افت آب‌های زیرزمینی داشته است. از آنجایی که نوع مختلف کاربری اراضی و وقوع خشکسالی از عوامل مؤثر بر سطح آب‌های زیرزمینی در هر منطقه است و درک این روابط برای برنامه‌ریزی‌های آینده، به‌ویژه برای اکوسیستم‌های حساس و شکننده، ضروری است.

3 - Albhaisi

1 - Jones

2 - Guner

با توجه به اهمیت آب‌های زیرزمینی مطالعات فراوانی در متون علمی جهان و ایران انجام شده است. از جمله می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود.

سلیمانپور و همکاران (۱۴۰۴) در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی روند تغییرات دوره‌ای سطح آب زیرزمینی حوزه آبخیز بهادران استان یزد نتایج نشان داد به‌طوری که کم‌ترین عمق آب زیرزمینی در هر دو آبخوان به حدود ۱۱/۸ متر می‌رسد. هم‌چنین بیش‌ترین سطح تراز آب زیرزمینی در آبخوان‌های محدوده‌ی بهادران در سال ۱۳۹۷ مربوط به نواحی جنوب غربی و غرب آبخوان‌ها و حدود ۱۵۳۸/۹۱ متر است؛ به‌طوری که در بخش شرقی آبخوان بهادران به ۱۴۴۷/۳ متر و در بخش جنوبی آبخوان شمس به ۱۱۹۰ متر در این سال می‌رسد. تراز آب زیرزمینی در سال‌های ۹۲ و ۸۷ نسبت به سال ۱۳۹۷ بالاتر می‌باشد که تغییر چندانی نداشته است. میزان افت تراز آب زیرزمینی در بازه‌ی زمانی ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲ و ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۷ به ترتیب حدود ۱۳/۱۴ و ۶/۶۸ متر بوده است. نتایج این پژوهش اطلاعاتی از روند تغییرات منابع آب زیرزمینی در آبخوان‌ها را در اختیار سیاست‌مداران و مدیران قرار می‌دهد که می‌تواند در راستای مدیریت بهینه به کار برده شود.

قهرمانی و همکاران (۱۴۰۴) در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی تغذیه آب زیرزمینی با استفاده از مدل WetSpa-M در آبخوان ارومیه با توجه به وجود آمار چاه‌های مشاهداتی برای دوسال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ اعتبارسنجی انجام گرفت. کارایی مدل بر اساس معیارهای KGE و Dr به عنوان مناسب‌ترین معیارهای ارزیابی نشان داد که مقادیر تغذیه WetSpa و مقادیر تغذیه‌ای مشاهده‌ای روش Scanlon نزدیک به هم می‌باشند.

چمن پیرا و همکاران (۱۴۰۴) در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های هیبریدی (مطالعه موردی: دشت خرم‌آباد) در این پژوهش بمنظور شبیه سازی سطح آب زیرزمینی دشت خرم آباد عملکرد مدل‌های هیبریدی شبکه عصبی مصنوعی- موجک، شبکه عصبی مصنوعی-خفاش، شبکه عصبی مصنوعی- گرگ خاکستری برای چهار چاه پیرومتری با استفاده از پارامترهای دما، بارش و برداشت از آبخوان‌ها در طی دوره آماری ۱۴۰۲-۱۳۸۲ مورد بررسی قرار گرفت. معیارهای ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین قدر مطلق خطا و ضریب نش سائکلیف برای ارزیابی و نیز مقایسه عملکرد مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد سناریو ترکیبی در کلیه مدل‌های مورد بررسی عملکرد بهتری نسبت به سایر سناریوها ارائه می‌دهد. هم‌چنین نتایج نشان داد مدل شبکه عصبی مصنوعی- موجک ($R=0.978-0.985$ ، $MAE=0.011/0-0.007/0$ ، $RMSE=0.221/0-0.101/0$ ، $NS=995/0-985/0$) نسبت به سایر مدل‌ها از توانایی مطلوبی برخوردار است.

طهمورسی و همکاران (۱۴۰۴) در مطالعه‌ای با عنوان برآورد شار خالص آب سطحی و ارتباط آن با پارامترهای هیدرولوژیکی و اکولوژیکی در حوضه دریاچه ارومیه نتایج به دست آمده حاکی از آن است که میانه NWF در حدود ۰.۵ سانتی‌متر در روز است و دامنه بین چارکی (IQR) معمولاً بین ۰.۵ تا ۱.۵ سانتی‌متر در روز قرار دارد. تحلیل همبستگی رابطه قابل توجهی بین NWF و متغیرهای محیطی مانند رطوبت خاک (همبستگی ۰.۵۷)، شاخص پوشش گیاهی (NDVI) (همبستگی ۰.۳۳-) و دمای سطح زمین (LST) (همبستگی ۰.۵۷-) را نشان می‌دهد. این تحقیق بر اهمیت مدیریت دقیق منابع آب در حوضه دریاچه ارومیه و استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ابزارهای مدل‌سازی برای تحلیل و مدیریت منابع آب تأکید دارد. این مطالعه نشان می‌دهد که درک دقیق از تعاملات بین پارامترهای هیدرولوژیکی و اکولوژیکی می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مؤثر برای حفاظت از منابع آب و اکوسیستم‌های مرتبط کمک کند.

اسمعیلی و مجرب در مطالعه‌ای با عنوان بررسی پایداری سطح آب زیرزمینی در دشت اسلام‌آباد غرب (استان کرمانشاه) و ارزیابی وضعیت آینده با مدل‌های گردش عمومی جو نتایج نشان داد که بیشترین ضریب همبستگی معنی‌دار بین شاخص SPI 48 ماهه و شاخص GRI 48 ماهه در شرایط تأخیر زمانی ۱۲ ماهه مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تأثیر بارش بر تغییرات سطح آب زیرزمینی در مقیاس‌های میان مدت و بلندمدت است. نتایج پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی برای دوره آتی بیانگر افت سطح آب به-ترتیب به میزان ۵/۱۷، ۶/۰۲ و ۸/۰۸ متر تحت سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 است.

اصغری و ریاحی (۱۴۰۳) در مطالعه‌ای با عنوان پیش‌بینی ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی در دشت خرم آباد بر اساس شبکه‌های عصبی کانولوشن نتایج مطالعات نشان داد که تجزیه و تحلیل نقشه پتانسیل آب زیرزمینی مدل شبکه عصبی کانولوشن نشان می‌دهد که حدود ۵۷ درصد منطقه در شرایط کم آب زیرزمینی و ۴۳ درصد منطقه در شرایط خوب آب زیرزمینی قرار دارد.

قلی زاده سرابی و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای با عنوان روش‌شناسی ارزیابی و بازطراحی شبکه پایش سطح آب‌زیرزمینی، بخش دوم: ارزیابی شبکه پایش توسط روش احتمال پذیرش (مطالعه موردی: آبخوان شیروان، خراسان شمالی) نتایج نشان داد با شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود، ۲/۱۹ درصد از سطح آبخوان دقت پذیرش بسیار بالایی دارد. از سوی دیگر، با اصلاح شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود و اضافه شدن نقاط پیشنهادی، ۷/۴۶ درصد از سطح آبخوان دقت پذیرش بسیار بالایی خواهد داشت. بنابراین، به نظر می‌رسد ایجاد چاه‌های مشاهده‌ای جدید در نقاط پیشنهادی و یا جابه‌جایی چاه‌های کم اهمیت به این نقاط، باعث افزایش دقت پذیرش و بهبود کارایی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود می‌شود.

پیرعلیلو و همکاران (۱۴۰۳) در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی نقش مدیریت شهری با رویکرد برنامه ریزی راهبردی مطالعه موردی مرند نتایج به‌دست‌آمده، نشان می‌دهد به منظور رسیدن به چشم انداز مطلوب شهر باید بر روی سه اصل مدیریت مناسب شهری، پرداختن به نظر شهروندان و مشارکت اجتماعی و همچنین توسعه و عمران شهری استوار شد.

نجیب و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی و پهنه بندی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت مرند جهت مصارف شرب، صنعت و کشاورزی نتایج نشان داد آب‌های زیرزمینی با کیفیت نامناسب بدلیل وجود سازندهای مارنی گچدار ائوسن در شمال دشت و سنگ‌های آواری غالباً از مارن، ماسه سنگ، کنگلومرا و میان لایه‌هایی از نمک و ژئپس میوسن به طور عمده در نواحی غرب و جنوب غربی دشت می باشد.

نیکوخصال و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای با عنوان تحلیل روابط تغییرات بارش و سطح آب‌های زیرزمینی دشت مرند با روش NRMC نتایج نشان داد که بارش و سطح آب‌های زیرزمینی در سال‌های مورد بررسی نوسانات زیادی داشته است که البته با توجه به نوسانات بیشتر آب‌های زیرزمینی نسبت به بارش، عوامل انسانی از جمله برداشت بی رویه از چاه‌ها می تواند عامل تاثیر گذار بر سطح آب‌های زیرزمینی دشت مرند باشد. محاسبات نشان داد که مقدار همبستگی برای دو شاخص SPI و SWI در معادله چند متغیره غیر خطی بیشتر از مقدار معادله ی خطی است که بیانگر تاثیر عوامل متعدد دیگر علاوه بر نوسانات بارش بر سطح آب‌های زیرزمینی است.

نجیب و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت مرند با استفاده از روش ترکیب غیرنظارت شده (شاخص GWQI و GQI) نتایج پژوهش گویای این است که روش غیرنظارت شده Unsupervised method با داشتن CI بالاتر نسبت به دو شاخص یادشده، روش ایده‌آل تری برای ارزیابی کیفیت منابع آبی منطقه و تعیین صحیح تر رده‌های قابلیت شرب است. نتایج نشان داد دشت مرند در کلاس‌های متوسط و قابل قبول از نظر شاخص GWQI و GQI قرار دارد. بیشترین و کمترین مقدار شاخص GWQI و GQI به ترتیب در جنوب و شمال غربی دشت مشاهده شد. مقایسه نقشه‌های شاخص کیفیت آب شرب در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸ نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب طی ۵ سال اخیر است.

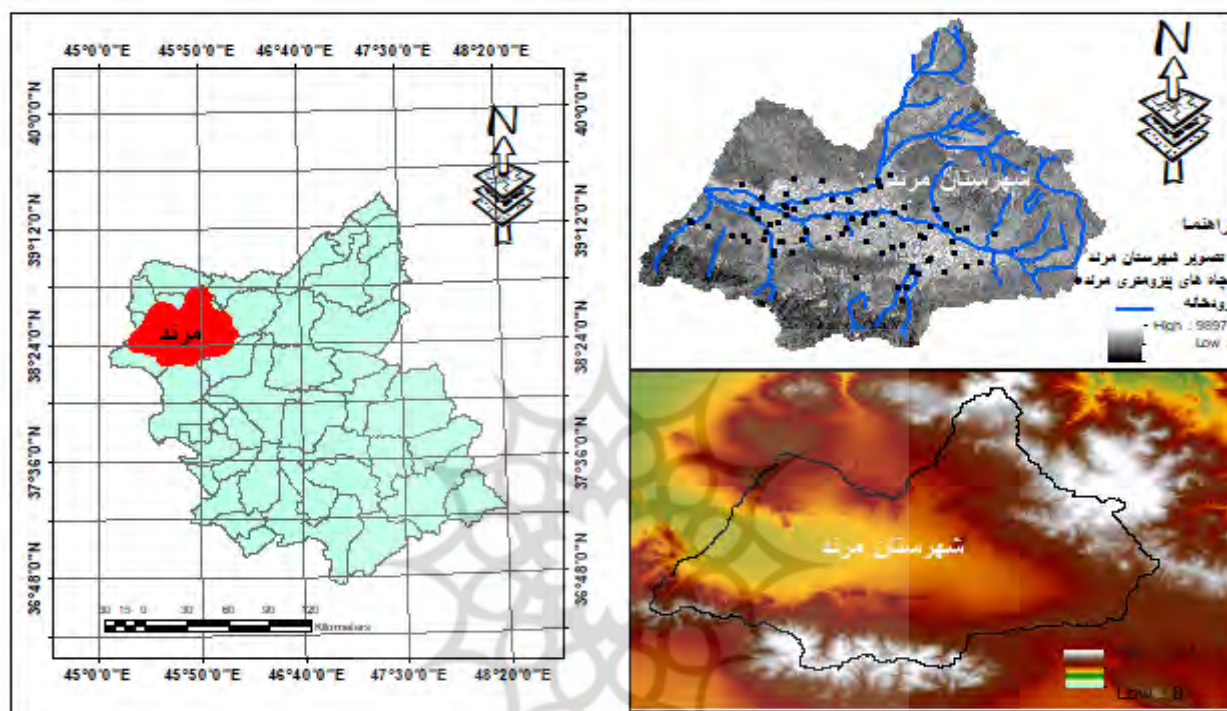
گونر و همکاران (۱۴۷: ۲۰۱۳) در مطالعه‌ای برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در برابر آلودگی ناشی از منابع انتشار در منطقه ساحلی مدیرانه‌ای ترکیه تحت کاربری نامناسب زمین با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، مشخص شد که همبستگی معنی‌داری بین غلظت نیترات و فاصله از نوع پوشش زمین و استفاده از مزارع مرکبات، مزارع، مجتمع‌های صنعتی و مجتمع‌های مسکونی تعیین شده وجود دارد. تحقیق توسط رنجان و همکاران (۵: ۲۰۰۷) نشان داد که مناطق با آسیب‌پذیری بسیار بالا در حوضه رودخانه والا در سریلانکا دارای سطح آب زیرزمینی پایین، شیب بسیار کم و رسوبات آبرفتی هستند و الگوی کاربری زمین (میزان کوددهی و نوع استفاده) از آسیب‌پذیری و آلودگی آب‌های زیرزمینی پیروی می‌کند. ری و کوماری (۴۰: ۲۰۱۲) مطالعه‌ای برای بررسی تأثیر تغییرات و انواع کاربری زمین در مناطق شهری و روستایی بر آلودگی آب‌های زیرزمینی در دهلی هند انجام دادند. نتایج نشان داد که حذف کاربری‌های صنعتی و کشاورزی و مناطقی با نیاز آبیاری بالا منجر به کاهش آلودگی بسیار بالای آب‌های زیرزمینی شده و تغییرات در کاربری‌های کشاورزی،

صنعتی و مسکونی با استفاده از کودهای شیمیایی محدود می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که کمیت و سرعت آب‌های زیرزمینی به دلیل تغییرات در الگوهای کاربری و پوشش زمین (افزایش زمین‌های قهوه‌ای) از طریق تغذیه طبیعی و مصنوعی افزایش یافته است. مناطق شهری و صنعتی به عنوان علت اصلی ذکر شده‌اند. سایر مطالعات انجام شده در این زمینه عبارتند از: با توجه به اینکه تغییرات در کاربری اراضی و پوشش گیاهی ناشی از فعالیت‌های انسانی تأثیرات مستقیمی بر کیفیت سفره آب زیرزمینی دارد. هدف اصلی این تحقیق پایش سطح آب‌های زیرزمینی با استفاده از علم سنجش از دور GIS و تصاویر ماهواره‌ای و رابطه آن با کاربری اراضی می‌باشد. به همین منظور ابتدا تصاویر مربوطه اخذ و پیش‌پردازش‌های لازم بر روی هر کدام اعمال شد. سپس نسبت به مدل‌سازی و طبقه‌بندی تصاویر اقدام شد. سفره‌های آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک همواره مورد توجه بوده است. کمبود منابع آب سطحی سبب برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان و افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی شده است. با افزایش روزافزون جمعیت برداشت بی‌رویه از این منابع بیش‌تر شده است و این ذخایر طبیعی با تهدید جدی مواجه بوده‌اند. آگاهی از تغییرات تراز آب به منظور شناخت بیش‌تر از وضعیت سفره‌های آب‌های زیرزمینی و مدیریت بهینه آن ضرورت دارد. با ارزیابی نوسانات سطح آب زیرزمینی می‌توان از آن در مدیریت آب استفاده نمود. تهیه نقشه تغییرات پوشش و کاربری اراضی برای بازه‌ی زمانی سال ۱۳۸۲ و ۱۴۰۲ و ارزیابی و بررسی و ارتباط آنها با بررسی سطح تراز آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های مختلف در سامانه اطلاعات جغرافیایی در شهرستان مریند می‌باشد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

مرند در دشت مسطحی با توپوگرافی چاله مریند می‌باشد که دارای یک شیب ملایم در جهت جنوب به شمال می‌باشد که شیب اصلی شهر را تشکیل می‌دهد و کوه‌ها از چهار طرف شهر را احاطه کرده‌اند، به طور کلی، شهر مریند در میان کوه‌ها و ارتفاعات اطراف که مانند کمربندی شهر را احاطه کرده‌اند واقع گشته و آن را بصورت رشته میان کوهی درآورده است. کوه‌های اطراف شهر مریند عبارتند از: ایری داغ، سلطان جهانگیر، کیامکی، دیوان داغ، میشو، علی علمدار و فلخ، بطور کلی از مهم‌ترین ارتفاعات منطقه مریند می‌توان در قسمت شمال غربی کوه سامبوران و در قسمت جنوب شرقی تپه تاریخی ماندگارانا و در قسمت جنوب غربی تپه امامزاده احمد را نام برد. ارتفاع متوسط از سطح دریای آزاد ۱۴۰۰ متر است. سطح کل منطقه مورد مطالعه حدود ۲۱۰۰ کیلومتر مربع و سطح خود دشت مریند حدود ۸۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد (پاک نیت، ۱۳۹۰: ۷۰). نتایج حاصل از مطالعات ژئوفیزیک و لاگ‌های زمین شناسی، دشت مریند دارای سه نوع آبخوان آزاد، تحت فشار و نیمه تحت فشار می‌باشد. آبخوان آزاد اکثراً از تراسهای آبرفتی قدیمی، تراسهای آبرفتی جدید، مخروط افکنه‌ها و رسوبات رودخانه‌ای تشکیل یافته و مواد اصلی تشکیل دهنده رسوبات شن، ماسه، سیلت و رس است. ضخامت آبخوان آزاد در قسمتهای مختلف دشت متغیر است. در قسمت جنوبی دشت که از جنس کنگلومرای نیمه سخت با قلوه سنگ‌های پلئوپلیتوسن است، به علت وجود لایه‌های رس و مارن باید آنها را جزء لایه‌های کم تراوا و نیمه‌تراوا منظور نمود. آبخوان تحت فشار به صورت رسوبات آبرفتی قدیمی توسط لایه‌های رسی و مارنی به ضخامتهای متغیر ۱۰ تا ۳۰ متری از رسوبات آبرفتی بالاتر از خود جدا می‌شود و ضخامت آن در برخی مناطق دشت به ۱۷۰ متر نیز می‌رسد. این آبخوان در نواحی مرکزی و غربی دشت و حتی در بعضی مناطق رودخانه‌های زلیبیرچای و زوزچای گسترش دارد. آبخوان نیمه تحت فشار هم در بخش غربی دشت قرار می‌گیرد (پاک نیت، ۱۳۹۰: ۷۰). با توجه به اینکه قسمت قابل توجهی از محدوده قانونی شهر مریند را باغات تشکیل می‌دهند ولی با در نظر گرفتن متوسط سرانه فضای سبز در شهرهای ایران که در حدود سه متر مربع است، این شهر با کمبود فضای سبز و پارک روبه‌رو است و این سرانه در شهر مریند به حدود ۷ متر مربع می‌رسد. بسیاری از فضاهای سبز و پارک‌های پیش‌بینی شده در طرح جامع قبلی تحقق نیافته و همین عامل نیز موجب کمبود سرانه فوق در شهر مریند گردیده است. چرخه آب در طبیعت رابطه مستقیم با اقلیم آن منطقه دارد و برای استفاده

منطقه‌ای و صحیح از منابع آبی، مستلزم شناخت دقیق و کمی و کیفی اقلیمی می‌باشد. به طور کلی بارش‌های جوی منبع اصلی آب‌های سطحی و زیرزمینی را تشکیل می‌دهد. منطقه مورد مطالعه از نظر بارش جوی فقیر است. بر اساس داده‌های هواشناسی موجود در یک دوره ۵۰ ساله میانگین بارش سالانه $286/3$ میلی‌متر می‌باشد. متوسط رطوبت نسبی دشت مرند ۵۸ و متوسط سالانه تبخیر از تعرق کلاس A $1417/55$ میلی‌متر به دست آمده است (علمی و همکاران: ۵۸). میانگین دمای متوسط سالانه در ماه مرداد با متوسط ۲۴ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین ماه و در دی ماه با متوسط $2/20$ سردترین ماه سال است. آب و هوای منطقه بر اساس طبقه‌بندی دوماترن از نوع خشک و سرد زمستانی است و تحت تاثیر هوای مدیترانه‌ای قرار دارد (پاک نیت، ۱۳۹۰: ۷۰).



شکل (۱): نقشه محدوده مورد مطالعه و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure (1): Map of the study area and geographical location of the study area

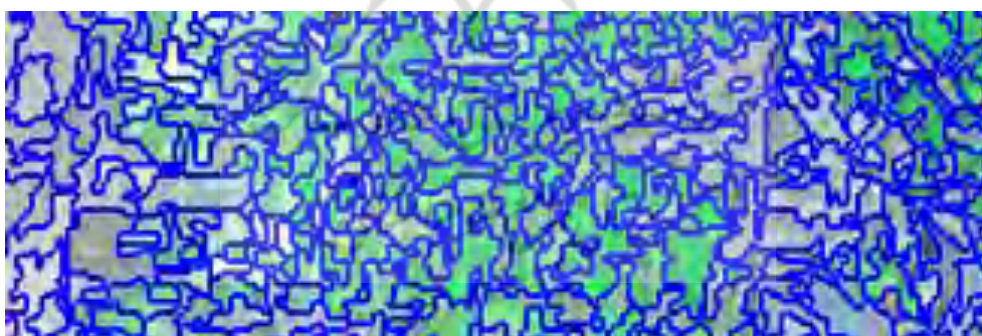
روش پژوهش

در این مطالعه، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ برای استخراج نقشه تغییرات کاربری اراضی سال ۲۰۲۳ استفاده گردید. علاوه بر این، از تصویر سنجنده لندست ۵ TM برای ایجاد نقشه کاربری اراضی مرئی و مادون قرمز برای سال ۲۰۰۳ استفاده شد.

علاوه بر این، داده‌های سطح آب زیرزمینی از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ متغیر بود. مراحل تحقیق به شرح زیر بود: پس از تدوین آمار چاه‌های پیژومتری، از روش برجسته‌سازی داده‌ها برای رفع نواقص موجود در داده‌های بررسی استفاده شد. روش برجسته‌سازی که منحصراً برای اصلاح نقص داده‌ها استفاده می‌شود، روش درون‌یابی است که با استفاده از نرم‌افزار Neural Power (مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی) انجام می‌شود. برای نرمال‌سازی داده‌ها از تبدیل لگاریتمی در نرم‌افزار SPSS و برای تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماري از نرم‌افزار GS+ استفاده شد. از نرم‌افزار ENVI5.3، روش‌های تابش و رعد و برق برای تصحیحات اتمسفری، رادیومتری و هندسی و از نرم‌افزار GIS10.5 برای استخراج نقشه‌های مورد نظر استفاده شد. برای طبقه‌بندی پوشش کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی شیء‌گرای نرم‌افزار eCognition Developer64 استفاده شد.

در نوع طبقه‌بندی شیء‌گرا، اطلاعات طیفی را با اطلاعات مکانی ترکیب می‌کند و پیکسل‌ها را در سطح تصویر بر اساس شکل، بافت و سطح خاکستری آنها در یک مقیاس مشخص، قطعه‌بندی می‌کند. سپس طبقه‌بندی تصویر بر اساس این بخش‌ها انجام می‌شود (فیضی‌زاده و حایری، ۱۳۸۹: ۷۷). در طول قطعه‌بندی، پیکسل‌ها با استفاده از الگوریتم‌های مختلف به سائزها و اندازه‌ها و نسبت‌های طیفی و شکلی مختلف قطعه‌بندی می‌شوند و بر اساس انواع ویژگی‌های اطلاعات فرایند طیفی و مکانی به اشیاء مختلف طبقه‌بندی می‌شوند. اشیاء تصویر بر اساس همگنی یا ناهمگنی خود با استفاده از پارامترهای مقیاس، رنگ، شکل، ضریب همواری و فرم فشرده‌سازی و متراکم سازی ایجاد شدند (شکل ۲). سپس بهترین اندازه که نمایانگر اشیاء با ابعاد مختلف است، از طریق آزمون و خطا تعیین شد. پس از تعیین تعداد و اندازه‌ی کلاس‌های مورد نیاز برای طبقه‌بندی، اشیاء نمونه‌های آموزشی شناسایی و در نرم‌افزار بر روی سطح تصویر اعمال شدند. در ادامه، مراحل طبقه‌بندی با استفاده از روش بسیار مناسب نزدیکترین همسایه و درخت تصمیم انجام شد. پارامتر مقیاس در این مطالعه ۲ و معیارهای همگنی و فشرده‌گی هر دو ۰/۵ هستند. پیش نیاز استفاده از هر نوع اطلاعات تخصصی، آگاهی از صحت و سقم آن است (فیضی‌زاده و حایری، ۱۳۸۹: ۷۷). این مطالعه برای ارزیابی دقت داده‌های خاک واقعی بر اساس Google Earth انجام شد. برای این منظور، دقت کاربر، دقت و صحت کلی نتایج بخش‌ها و رقم ضریب کاپا برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی محاسبه شدند. در فرایند دقت کلی معادل نسبت تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی‌شده در یک کلاس به تعداد کل پیکسل‌های درست طبقه‌بندی‌شده در تمام کلاس‌ها است.

ماتریس خطا، میزان تطابق هر کلاس طبقه‌بندی‌شده با وضعیت واقعی در محل را نشان می‌دهد. این نشان می‌دهد که یک کلاس تا چه حد به اشتباه در کلاس‌های دیگر طبقه‌بندی شده است. قطر ماتریس خطا، درصد کلاس‌های درست طبقه‌بندی‌شده و سایر سلول‌های آن، میزان خطای کمیسیون (سطر هر کلاس در ماتریس خطا) و خطای انتشار (ستون هر کلاس در ماتریس خطا) را نشان می‌دهند. ضریب کاپا همچنین میزان توافق بین نتایج طبقه‌بندی و وضعیت واقعی را بدون در نظر گرفتن توافقات تصادفی توصیف می‌کند. دقت طبقه‌بندی در سال ۲۰۰۳ دارای دقت کلی به مقدار ۰/۹۲ و ضریب کاپا به مقدار ۰/۹۵ است. در حالی که طبقه‌بندی در سال ۲۰۲۳ با دقت کلی به میزان ۰/۹۱٪ و ضریب کاپا به میزان ۰/۹۲، دقت نسبتاً کمتری را ارائه داد.



شکل (۲): نمونه تصویر قطعه‌بندی شده مرند (مقیاس: ۱۶۰ شکل ۰/۵ ضریب فشرده‌گی ۰/۵)

Figure (2): Sample image of Marand city (Scale: 160 figure 0.5 compression coefficient 0.5)

روش‌های مورد استفاده در این مطالعه از نرم افزار GIS برای انجام درون‌یابی داده‌های عمق آب زیرزمینی (اخذ داده از آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی) شامل مدل‌های جبری و زمین‌آماري است که در زیر تمامی موارد توضیح داده شده‌اند (کریوروچکو^۱، ۲۰۱۱: ۹۲۸).

¹ - Krivoruchko

این یک روش تخمین مبتنی بر منطق میانگین متحرک وزنی خط استوا است و بهترین تخمین گر ناریب محسوب می شود. این معادله به صورت زیر بیان می گردد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

در این رابطه، $\gamma(h)$ مقدار نیم تغییرنا برای یک جفت نقطه با فاصله h است؛ $n(h)$ تعداد جفت نقاطی است که به اندازه h از هم فاصله دارند؛ $z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر X در موقعیت i و مقدار مشاهده شده متغیر در فاصله h از x_i است. تخمین گر کریجینگ یکی از مهم ترین تخمین گرهای ناریب است، زیرا اولاً عاری از خطاهای سیستماتیک است و ثانیاً واریانس تخمین آن حداقل است. شرط اول مستلزم آن است که میانگین خطای تخمین صفر باشد. (کریوروچکو^۱، ۹۲۸:۲۰۱۱)

روش دوم وزن دهی عکس فاصله^۲ (IDW)

در این روش دیگر احتیاجی به تعیین الگوی تغییرات مکانی، یعنی نقشه تغییرات، نیست. فاصله معکوس یک روش وزن دهی میانگین است که در آن داده ها با استفاده از گره های شبکه با نسبت انحراف معیار یک نقطه به سایر نقاط وزن دهی می شوند (تقی زاده و همکاران، ۱۳۸۷: ۶۷). در این روش، وزن ها تنها بر اساس فاصله هر نقطه معلوم تا نقطه نامعلوم، بدون در نظر گرفتن نحوه پراکندگی نقاط در اطراف نقطه تخمین زده شده، تعیین می شوند. نقاط نزدیک تر وزن بیشتری و نقاط دورتر وزن کمتری دریافت می کنند (دلبری و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۶۷).

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (2)$$

روش توابع پرتو شعاعی (RBF)

توابع پایه شعاعی به ما امکان می دهند سطوحی ایجاد کنیم که هم روندهای کلی و هم تغییرات محلی را در بر می گیرند. این روش می تواند برای داده های نوپزی که به طور نامنظم در یک محدوده توزیع شده اند، در نرم افزار GIS اعمال شود و درونیابی چند متغیره همواری از داده ها انجام دهد. به عبارت دیگر، روش RBF تابعی را پیدا می کند که شبیه یک ورق فلزی نازک و به آرامی خم شده است و مجبور می شود تمام داده ها را پیمایش کند. این روش تابعی $f(x,y)$ را پیدا می کند که نه تنها تمام داده های موجود را پیمایش می کند، بلکه مقدار تابع انحنا را که همواری تابع $f(x,y)$ را اندازه گیری می کند، کمینه می کند (اسفندیاری و همکاران، ۲۰۱۴: ۵۰). در روش RBF، تابعی که تابع انحنا برای آن کمینه می شود، فرم کلی زیر را دارد و تفاوت روش های مختلف RBF در نحوه تعریف تابع RBF، رابطه زیر است:

$$f(x,y) = \sum_{j=1}^n a_j E(\|x - x_j, y - y_j\|) + b_0 + b_1 x + b_2 y \quad \text{رابطه (۳)}$$

² Inverse Distance Weighted

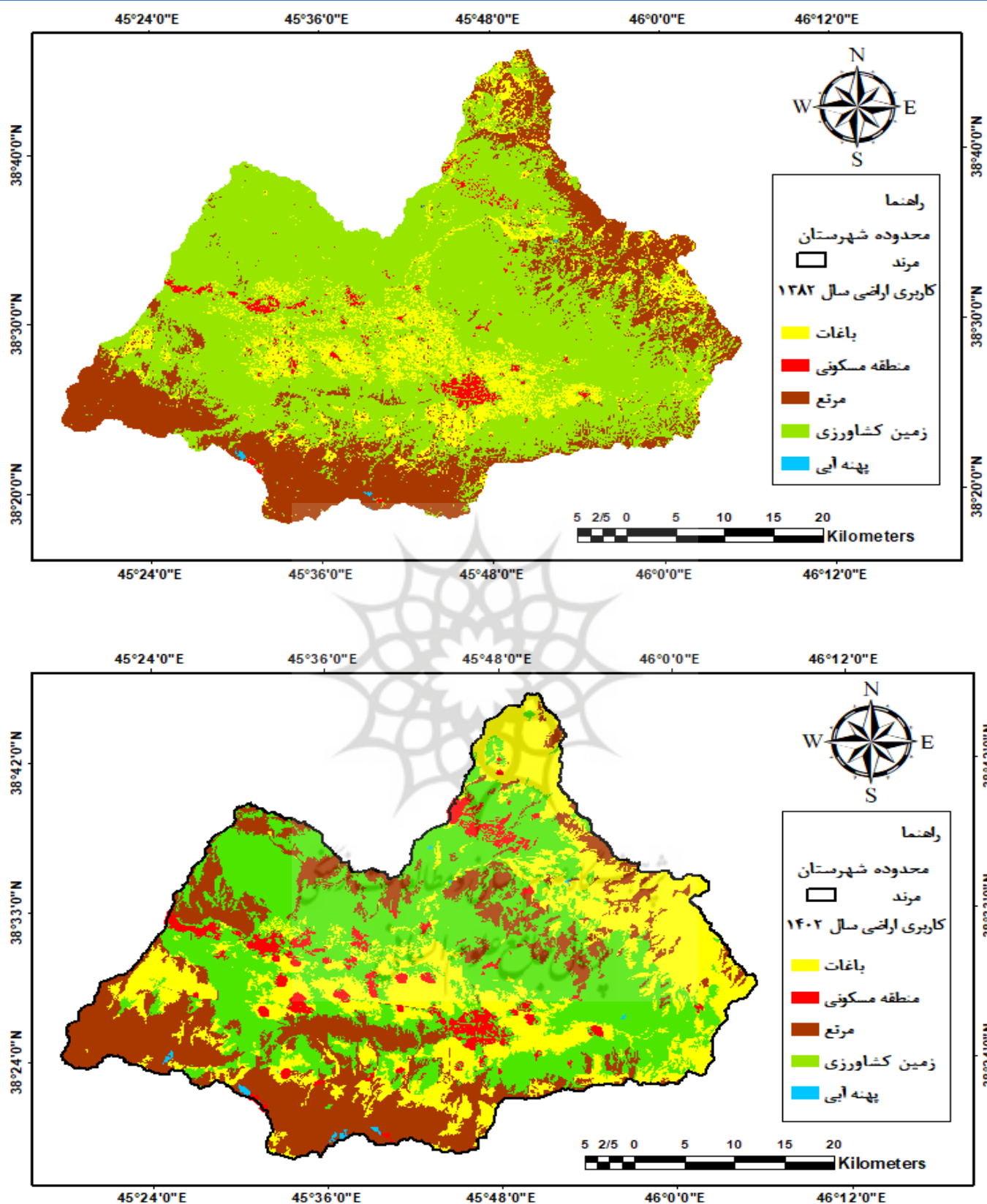
¹ - Krivoruchko



شکل (۳): فلوچارت مراحل انجام تحقیق
Figure (3): Flowchart of research steps

نتایج و بحث

در این مطالعه سعی شده است تا با استفاده از تصاویر سنجنده های OLI و TM ماهواره لندست، رابطه بین کاربری اراضی و تغییرات آب های زیرزمینی بررسی شود. شکل (۴) نقشه کاربری اراضی را برای دوره های مشخص نشان می دهد.



شکل (۴): نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی سال ۱۳۸۲ و ۱۴۰۲

Figure (4): Land use classification map of 2003 . 2025

همانطور که از جدول (۲) مشاهده می‌شود، بیشترین مساحت در سال ۱۳۸۲ با مساحت ۱۱۵۳/۸۸۰ هکتار، مربوط به طبقه زمین‌های کشاورزی بوده است. منطقه دوم به طبقه مراتع اشاره دارد که با مساحت ۲۰۵۴۵۶ کیلومتر مربع، بیشترین مساحت را دارد. کوچکترین منطقه، به مساحت ۱/۲۲۲۴ کیلومتر مربع، برای مصارف آبی استفاده می‌شود. در سال ۱۴۰۲، زمین‌های کشاورزی با ۷۵۲/۳۲۷ کیلومتر مربع بیشترین مساحت را داشتند و پس از آن باغ‌ها با ۵۶۱/۶۴۷ کیلومتر مربع قرار داشتند. وقتی کاربری زمین را در نظر می‌گیریم، نتایج تفاوت قابل توجهی را نشان می‌دهند. در سال ۱۴۰۲، کشاورزی بالاترین سطح استفاده از زمین‌های کشاورزی را داشته است که این میزان در طول زمان تغییر کرده است. فضای زندگی نیز به طور قابل توجهی افزایش یافته است.

جدول (۲): مساحت کاربری‌های اراضی در سال ۱۳۸۲ و ۱۴۰۲

Table(2): Land use area in 2003 and 2023

نوع کلاس	۲۰۰۳ (هکتار)	۲۰۲۳ (هکتار)
باغات	۲۲۴/۷۳۹	۵۶۱/۶۴۷
منطقه مسکونی	۳۵/۰۰۹	۵۶/۶۱۹
مرتع	۴۵۶/۲۰۵	۴۹۶/۸۷۹
زمین کشاورزی	۱۱۵۳/۸۸۰	۷۵۲/۳۲۷
منطقه آبی	۱/۲۲۴	۳/۶۰۴

جدول (۳): مساحت کاربری‌های تغییر یافته شهرستان مرند در بازه زمانی ۲۰ ساله

Table(3): The area of changed uses of Marand city in a period of 20 years

کاربری‌های تغییر یافته	مساحت (کیلومتر)
باغات به زمین کشاورزی	۲۱ / ۳۵۱۵
باغات به منطقه مسکونی	۰ / ۷۲۴۲
باغات به مرتع	۰ / ۷۴۳۴
باغات به منطقه آبی	۰
منطقه مسکونی به زمین کشاورزی	۰
منطقه مسکونی به مرتع	۰
منطقه مسکونی به منطقه آبی	۰
منطقه مسکونی به باغات	۰
زمین کشاورزی به باغات	۱۸۷/ ۲۷۲۰
زمین کشاورزی به منطقه مسکونی	۲۶/۱۵۱۱
زمین کشاورزی به مرتع	۲۲۱/۳۰۵
زمین کشاورزی به آب	۰ / ۰۱۰
مرتع به باغات	۱۷۱/۶۶۴۰
مرتع به زمین کشاورزی	۸ / ۳۰۵۳
مرتع به منطقه مسکونی	۰/۳۳۰۶
مرتع به منطقه آبی	۰ / ۰۲۰۶
آب به مرتع	۰ / ۰۲۵۲
آب به باغات	۰ / ۲۱۰۶

طبق جدول (۳) و شکل (۵)، بیشترین میزان تغییر در تبدیل زمین‌های کشاورزی به مرتع (۲۲۱/۳۰۵) و همچنین در تبدیل زمین‌های کشاورزی به باغات (۱۸۷/۲۷۲۰) و مرتع به باغات (۱۷۱/۶۶۴۰) مشاهده می‌شود. تغییرات در کاربری زمین شامل افزایش کاربری مسکونی و اختلاط مناطق شهری و روستایی می‌شود.

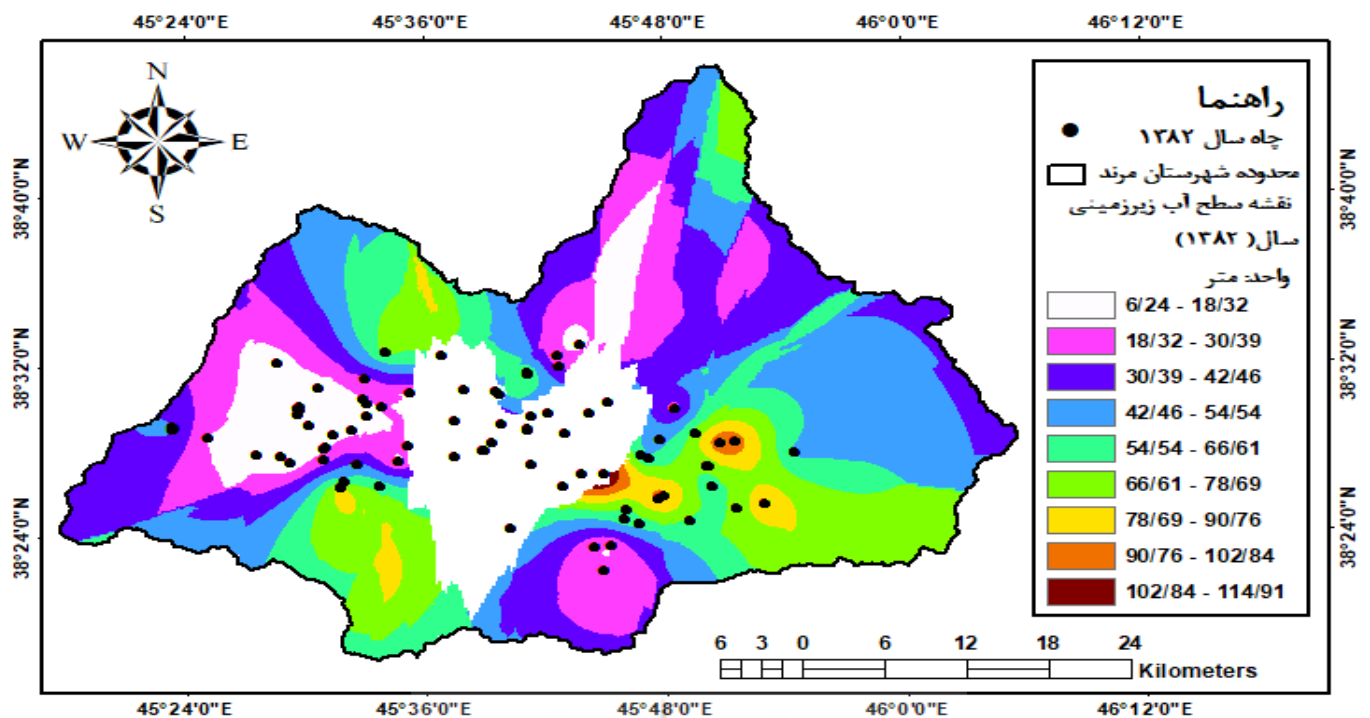
مناطق مسکونی تقریباً در تمام کاربری‌ها نقش بسزایی داشتند که هم نشان دهنده توسعه شهری و هم دخالت انسان و تخریب منابع طبیعی است. پس از استخراج نقشه تغییرات کاربری اراضی، به منظور انتخاب بهترین مدل درونیابی از بین مدل‌های مختلف RBF، IDW و Kriging، تمامی مدل‌ها ارزیابی شدند و تنها مدل‌هایی که دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها داشتند، انتخاب شدند. برای روش کریجینگ در سال ۱۳۸۲، کابسل و برای سال ۱۴۰۲، گوسین بود (تمام اطلاعات مدل استخراج و در جدول ۴ فهرست شده است). نتایج حاصل از اجرای هر سه مدل درونیابی در جدول (۴) نشان داده شده است. خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) به داده‌های پرت حساس است. شاخص کوچکتر نشان دهنده دقت بیشتر تخمین‌ها یا تفاوت کم بین مقادیر واقعی و تخمینی است. اطلاعات جدول (۳) نشان می‌دهد که روش کریجینگ با توجه به مقادیر ME و RMSE از دقت بسیار بالاتری نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده برخوردار است. در بین حالت‌های مختلف روش کریجینگ، مدل کابسل برای سال ۱۳۸۲ و مدل گوسی برای سال ۱۴۰۲ بالاترین دقت را دارند. با استفاده از نرم‌افزار GS+، روش‌های مختلف مدل کریجینگ مورد تجزیه و تحلیل و ارزیابی قرار گرفتند. نتایج در جدول (۴) نشان داده شده است.

نتایج حاصل از اجرای هر سه مدل درونیابی در ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) نسبت به داده‌های پرت حساس است. کوچک‌تر بودن این شاخص دلیلی بر دقت بالاتر تخمین‌ها و یا اختلاف کم بین مقادیر واقعی و مقادیر تخمین زده شده است. در صورتی که RMSE مدل به کاررفته بالاتر از ۷۱ درصد باشد، به معنی عدم دقت قابل قبول برای آن مدل می‌باشد. با توجه به مقادیر ME و RMSE روش کریجینگ از دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است که از بین حالت‌های مختلف روش کریجینگ نیز مدل کابسل و مدل گوسی دارای بیشترین دقت می‌باشد.

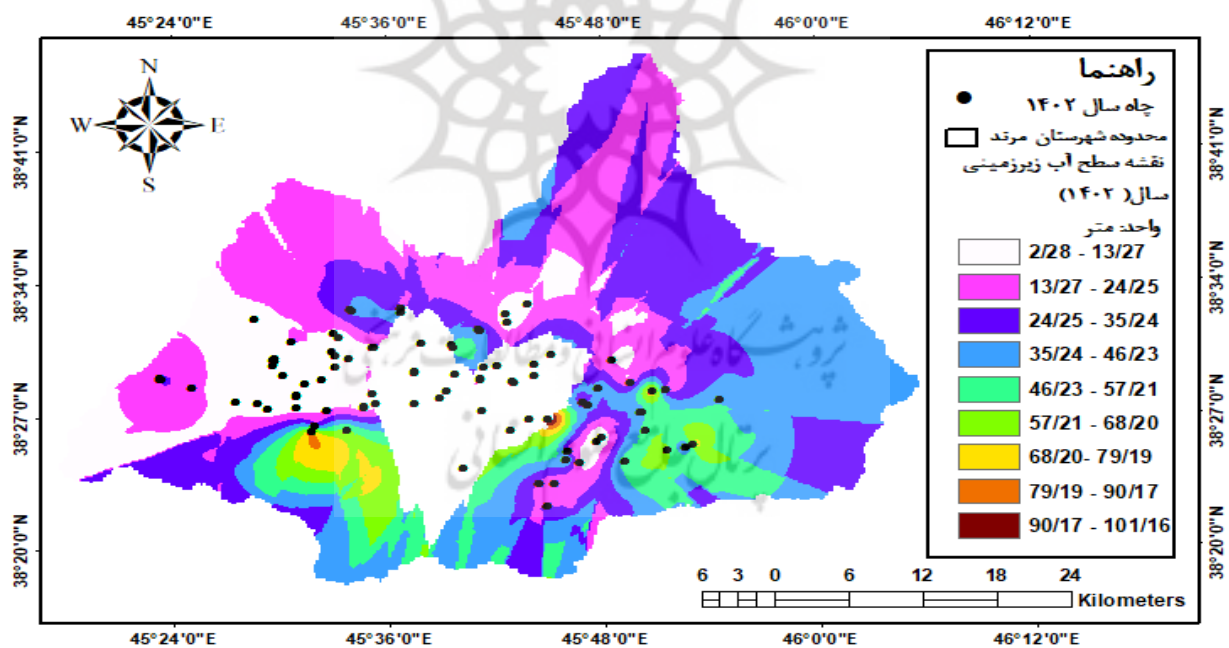
با استفاده از نرم‌افزار GS+ نیز مدل‌های مختلف روش کریجینگ مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت. در بین حالت‌های مختلف روش کریجینگ، مدل کابسل برای سال ۱۳۸۲ و مدل گوسی برای سال ۱۴۰۲ بالاترین دقت را دارند. با استفاده از نرم‌افزار GS+، روش‌های مختلف مدل کریجینگ مورد تجزیه و تحلیل و ارزیابی قرار گرفتند. نتایج در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول (۴): آماره‌های RMSE و ME در روش‌های مختلف درونیابی شهرستان مرند برای سال ۱۳۸۲ و ۱۴۰۲
Table (4): RMSE and ME statistics in different interpolation methods of Marand city for 2003 and 2023

سال	روش زمین‌آمار	مدل واریوگرام	ریشه دوم میانگین مربع خطا	ME
۲۰۰۳	کریجینگ	دایره‌ای	۰/۱۱۲۳	۰/۰۰۰۲
۲۰۲۳	کریجینگ	دایره‌ای	۰/۰۷۰۴۰	-۰/۰۰۷۶
۲۰۰۳	کریجینگ	گوسین	۰/۱۲۷۶	-۰/۰۰۰۰
۲۰۲۳	کریجینگ	گوسین	۰/۰۷۶۵	-۰/۰۰۲۵
۲۰۰۳	کریجینگ	کا-بسل	۰/۱۱۳۴	۰/۰۰۰۲
۲۰۲۳	کریجینگ	کا-بسل	۰/۰۷۴۵	-۰/۰۰۳۴



شکل (۷): نقشه درون یابی سال ۱۳۸۲
Figure (7): Introduction map 2003



شکل (۸): نقشه درون یابی سال ۱۴۰۲ شهرستان مرند
Figure (8): Introduction map 2023of Marand city

تحلیل ارتباط بین نقشه کاربری اراضی و نقشه سطح آب زیرزمینی

همانطور که در شکل ۶ نقشه سطح آب زیرزمینی نشان می دهد. مشخص است که، بالاترین میانگین سطح آب ثبت شده در سال ۱۳۸۲، ۵۳/۱۲ متر برای مصارف آبی و ۴۸/۱۷ متر برای مصارف مسکونی و پایین ترین میانگین سطح آب ۴۵/۴۸ متر برای مصارف کشاورزی

بوده است. با در نظر گرفتن نقشه تغییرات کاربری اراضی و نقشه تغییرات پیوسته سطح آب زیرزمینی در سال ۱۴۰۲، بالاترین میانگین سطح آب در این سال، با ۳۶/۸۹ متر، نیز متعلق به کاربری پهنه آبی، باغداری با مقدار ۳۲/۷۸ متر و پایین‌ترین میانگین سطح آب، با ۲۴/۱۶ متر، متعلق به کاربری منطقه مسکونی است. همانطور که از جداول (۶ و ۷) مشاهده می‌شود، با مقایسه سطح آب دو سال در منطقه مورد مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که میانگین سطح تمام کاربری‌ها در سال ۱۴۰۲ نسبت به سال ۱۳۸۲ کاهش قابل توجهی داشته است که نشان دهنده وضعیت بحرانی آب‌های زیرزمینی و استفاده بیش از حد از این منابع است. با کاهش میزان تراز آب مواجهه بوده‌اند که این امر باعث تسریع در تخریب این منابع شده و مخاطرات هولناکی در پی خواهد داشت که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به بحث فرونشست زمین اشاره کرد.

جدول (۶): مشخصات آماری سطح آب زیرزمینی کاربری‌های شهرستان مرند سال ۲۰۰۳

Table (6): Statistical characteristics of groundwater level of Marand city uses in 2003

کاربری	تراز آب حداقل (m)	تراز آب حداکثر (m)	میانگین تراز آب (m)
باغات	۷/۲۵	۱۱۰/۲۸	۴۷/۲۶
زمین کشاورزی	۶/۲۵	۱۱۴/۹۱	۴۵/۴۸
مرتع	۷/۵۴	۸۳/۴۳	۴۶/۷۹
منطقه مسکونی	۱۱/۳۰	۱۱۲/۹۶	۴۸/۱۷
منطقه آبی	۳۲/۰۲	۷۴/۰۸	۵۳/۱۲

جدول (۷): مشخصات آماری سطح آب زیرزمینی کاربری‌های شهرستان مرند سال ۲۰۲۳

Table (7): Statistical specifications of groundwater level of Marand city uses in 2023

کاربری	تراز آب حداقل (m)	تراز آب حداکثر (m)	میانگین تراز آب (m)
باغات	۳/۸۳	۹۳/۲۶	۳۲/۷۸
زمین کشاورزی	۲/۲۸	۱۰۱/۱۶	۲۹/۱۱
مرتع	۵/۴۹	۸۱/۲۶	۳۰/۳۳
منطقه مسکونی	۲/۸۱	۹۲/۶۵	۲۴/۱۶
منطقه آبی	۱۲/۵۰	۵۴/۲۹	۳۶/۸۹

نتیجه‌گیری

بررسی و ارزیابی میزان تغییرات پوشش‌ها و چگونگی تغییر آنها در طول زمان، یکی از مهمترین مسائل در برنامه ریزی و تصمیم‌گیری و اقدام برای اصلاح است. به همین دلیل، گام اول این مطالعه، طبقه‌بندی و سپس بررسی تغییراتی بود که در یک دوره زمانی خاص در منطقه مرند رخ داده است. به همین منظور، در فاز اول این مطالعه، تصاویر لندست در محل مورد مطالعه با استفاده از روش شیء‌گرا در نرم‌افزار eCognition طبقه‌بندی و نقشه‌های خروجی در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 استخراج شدند تا تغییرات در یک دوره ۲۰ ساله طبقه‌بندی و ثبت شوند. در سال ۱۳۸۲، بیشترین سهم از این منطقه مربوط به زمین‌های کشاورزی با مساحت ۱۱۵۳/۸۸۰ هکتار بود.

منطقه دوم به طبقه مراتع اشاره دارد که با مساحت $456/205$ کیلومتر مربع، بیشترین مساحت را دارد. کوچکترین منطقه، به مساحت $1/224$ کیلومتر مربع، برای مصارف آبی استفاده می‌شود. در سال 1402 ، زمین‌های کشاورزی با $752/327$ کیلومتر مربع بیشترین مساحت را داشتند و پس از آن باغ‌ها با $561/647$ کیلومتر مربع قرار داشتند. وقتی کاربری زمین را در نظر گرفته شد، نتایج تفاوت قابل توجهی را نشان می‌دهند. در سال 1402 ، کشاورزی بالاترین سطح استفاده از زمین‌های کشاورزی را داشته است که این میزان در طول زمان تغییر کرده است. فضای مسکونی زندگی نیز به طور قابل توجهی افزایش یافته است.

با توجه به مقادیر جدول ۵، بهترین مدل در محیط GS+، بهترین مدل درون‌یابی است. برای انتخاب بهترین مدل درون‌یابی از بین مدل‌های مختلف RBF، IDW و Kriging، همه مدل‌ها ارزیابی شدند و تنها مدل‌هایی که دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها Kriging می‌باشد. که خود شامل انواع مختلف می‌باشد که برای سال 1382 از روش کابیس و برای سال 1402 از روش گوسی استفاده شد. نقشه سطح آب زیرزمینی در شکل (۶) نشان داده شده است. همانطور که از نقشه بالا مشخص است، بالاترین میانگین سطح آب ثبت شده در سال 1382 ، $53/12$ متر برای مصارف آبی و $48/17$ متر برای مصارف مسکونی و پایین‌ترین میانگین سطح آب $45/48$ متر برای مصارف کشاورزی بوده است. با در نظر گرفتن نقشه کاربری اراضی و نقشه سطح آب زیرزمینی برای سال 1402 ، بالاترین میانگین سطح آب در این سال، با $36/89$ متر، نیز متعلق به کاربری پهنه آبی و کاربری باغات با مقدار $32/78$ متر و پایین‌ترین میانگین سطح آب، با $24/16$ متر، متعلق به کاربری منطقه مسکونی است. همانطور که از جداول (۶ و ۷) مشاهده می‌شود، با مقایسه سطح آب دو سال در منطقه مرنده می‌توان نتیجه گرفت که میانگین سطح کاربری‌ها در سال 1402 نسبت به سال 1382 در برخی کاربری کاهش و افزایش داشته است، که نشان دهنده وضعیت بحرانی آب‌های زیرزمینی و استفاده بیش از حد از این منابع علت آن را می‌توان در عامل برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی برای محصولاتی آبی که نیاز بیشتری به آبیاری دارند، دانست. اما در این بین نباید تغییرات اقلیمی (میزان بارش و خشکسالی) و اثرات آن، عوامل انسانی از جمله برداشت از چاه و ایجاد چاه‌های غیرمجاز را نادیده گرفت. علت آن را می‌توان در عامل برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی برای محصولاتی آبی که نیاز بیشتری به آبیاری دارند، دانست.

از محدودیت تحقیق می‌توان به مشکلات مربوط به نرمال سازی داده‌های به دست آمده در نرم‌افزار GS+ که در مواقعی موجب سختی کار در مدل کرچینگ در GIS و خروجی اشاره کرد.

مشابه این پژوهش توسط همچنین اسفندیاری و همکاران (2014) به ارزیابی و برآورد تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی در دشت سراب با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی پرداختند. مطالعات آن‌ها نشان داد که روش کرچینگ (مدل Rational Quadratic) با خطای RMSE و MBE به ترتیب $9/79$ و $-0/76$ و R^2 برابر با $0/31$ در مقایسه با سایر مدل‌های مورد آزمون از بیشترین دقت و کارایی در برآورد مکانی سطح آب زیرزمینی برخوردار است؛ بنابراین روش کرچینگ را به عنوان روش بهینه، برای پهنه بندی سطح آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه توصیه کردند. با توجه به نقشه‌های پهنه بندی مشخص شد که سطح آب‌های زیرزمینی در قسمت جنوبی محدوده مورد مطالعه نسبت به بخش‌های دیگر بالاتر بوده؛ بنابراین از لحاظ مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی درخور توجه اساسی است.

مشابه این پژوهش توسط کوییز و باک (2019 : 187) در لهستان، ضعف این ارتباط می‌تواند به تاثیر عواملی غیر از بارندگی، مانند برداشت بی‌رویه سفره‌های آب زیرزمینی از طریق چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق برای مصارف مختلف کشاورزی، صنعتی و شرب مربوط می‌شود. در نتیجه در صورت عدم توجه مستمر در آینده دچار افت شدید خواهند شد. از این رو توجه مستمر و مداوم مسئولان و دستگاه‌های اجرایی به کاهش آثار عوامل انسانی در افت سطح آب زیرزمینی و انجام مطالعات در این زمینه کاملاً ضروری است.

پیشنهاد پژوهشی: نویسندگان مقاله پیشنهاد می‌کنند در تحقیقات بعدی پژوهشگران تراز آب زیرزمینی را همراه با داده‌های کمی آب زیرزمینی باهم مقایسه و میزان آلاینده‌گی را در کاربری‌های متفاوت مقایسه کنند.

References

- Asghari Saraskanrood, S. and Riahinia, M. (2024). Prediction of underground water potential in Khorramabad plain based on convolutional neural networks. *Journal of Hydrogeomorphology*, 11(38), 18-1. <https://doi: 10.22034/hyd.2023.56400.1691> (in persian).
- Asghari Moghaddam, A. , Nadiri, A. and Fijani, E. (2010). Spatial Prediction of Fluoride Concentration Using Artificial Neural Networks and Geostatic Models. *Water and Soil Science*, 19(2), 129-145. https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_1483.html (in persian).
- Dinpasho, Y. , Fakhari Fard, A. , Hassanpoor Eghdam, M. A. and Beheshtee Vayghan, V. (2015). Trend Analysis of Groundwater Quality of Shabestar- Soofian Plain. *Irrigation Sciences and Engineering*, 38(1), 55-69. <https://doi: 10.22055/jise.2015.11153> (in persian).
- Asghari Saraskanrood, S. and Mohamadzadeh Shishegaran, M. (2021). Investigation of land use changes and its relationship with groundwater level Case study: Azarshahr city. *Journal of Environmental Science Studies*, 6(3), 3913-3926. https://www.jess.ir/article_134670.html (in persian).
- Abbas Nejad, A., Shahidast, W., (2013), "Investigate the susceptibility of Sirjan plan due ti excessive withdrawals from the aquifer area", *Geography and Urban Planning Regional*, 7: 85-96. <https://doi: 10.22111/gaij.2013.1090> (in persian).
- Akbari, M., Jorgeh, M., Madani Sadat, H., (2012), "Assessment of decreasing of groundwater-table using Geographic Information System (GIS) (Case study: Mashhad Plain Aquifer)", *Journal of Water and Soil Conservation*, 16 (4): 63-78. <https://doi: 20.1001.1.23222069.1388.16.4.4.0> (in persian).
- Albhaisi, M., Brendonck, L., Batelaan, O., (2013), "Predicted impact of land use change on groundwater recharge of the upper Berg catchment, South Africa", *Water SA*, 39 (2): 211-220. <https://doi:10.4314/wsa.v39i2.4>.
- Calvo, P.I., and Estrada, G.J.C., (2009), "Improved Irrigation Water Demand Forecasting- Using a Soft-computing Hybrid Model", *Biosystems Engineering*, Vol. 102, No. 2, 202–218. <https://doi:10.1007/s10661-023-10992-6>.
- Coppola, E., A., Duckstein, L., and Davis, D., (2002), "Fuzzy Rule-based Methodology for Estimating Monthly Groundwater Recharge in a Temperate Watershed", *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 4, PP: 326-335.
- Chamanpira, R. , Dehghani, R. and Veyskarami, I. (2025). Evaluation of Ground Water Level using Hybrid Models(Case Study:Khorramabad Plain). *Water and Soil Management and Modelling*, 5(2), 124-137. <https://doi: 10.22098/mmws.2024.15077.1459> (in persian).
- Chowdhury, A., (2016), "Assessment of spatial groundwater level variations using Geostatistics and GIS in Haringhata Block, Nadia District, West Bengal", *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5 (5): 276-280. <http://ijret.esatjournals.org>.
- Di Piazza, F., Lo Conti, L.V., Noto, F., Viola, G., La Loggia, C., (2011), "Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13: 396-408. <https://doi: 10.1016/j.jag.2011.01.005>.
- Elmi, Ali & Ezatpanah, Bakhtyar (2023). Policymaking of Green Cities Compatible with Environmental Standards (Case Study: Marand City). *Urban and Regional Policy*, 2(7), 53_70 https://journals.iau.ir/article_708504.html (in persian).

- Esfandiyari Darabad, F., Alijahan, M., Rahimi, M., (2014), "Evaluation of algebraic and statistical models in estimating the spatial distribution of Ardabil plain water table", Journal of Quantitative Geomorphological Researches, 3 (2): 46-62. <https://doi.20.1001.1.22519424.1393.3.2.4.2> (in persian).
- Esmaili, S. and Mojarad, F. (2025). Investigating the stability of the groundwater level in the Eslamabad-e Gharb plain (Kermanshah province) and evaluating the future situation with atmospheric general circulation models. Journal of Hydrogeomorphology, 11(41), 134-115. <https://doi.10.22034/hyd.2024.62351.1747>(in persian).
- Fathi, H., Arkhi, S., (2013), "Different methods of land use change detection using satellite image (Case study: M. dry area)", Journal of arid ecosystems, 3 (1): 56-6. <https://doi.20.1001.1.2008790.192.3.1.6.8>(in persian).
- Guler, C., Kurt, M. A., Korkut, R. N., (2013), "Assessment of groundwater vulnerability to nonpoint source Pollution in a Mediterranean coastal zone (Mersin Turkey) under conflicting Land use practices", Ocean & Coastal Management, 71: 141-152. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.10.010>.
- Gholizadeh sarabi, S. , Joodavi, A. , Majidi, M. , Ebrahimi, A. and Ronaghi, A. (2022). Methodology for Groundwater Monitoring Network Assessment and Design, Part 2: Iran Evaluation of Monitoring Network by Acceptance Probability Method; Case Study: Shirvan Aquifer, North Khorasan, Iran. Journal of Water and Sustainable Development, 9(3), 1-10. <https://doi.10.22067/jwsd.v9i3.2203.1131>(in persian).
- Jahanshahi, A., Roohi Moghadam, A., Dehvari, A., (2014), "Evaluation of groundwater quality parameters using gis and land statistics (Case study: Aquifer in shahrbabak Plain)", Water and Soil Journal, 24 (2): 197-183. <https://doi.10.22059/JRWM.2018.257186.1259> (in persian).
- Jha, M.K., and Sahoo, S., (2015), "Efficacy of Neural Network and Genetic Algorithm Techniques in Simulating Spatio-temporal Fluctuations of Groundwater, Hydrological Processes, Vol. 29, PP: 671-691. <https://doi.10.1002/hyp.10166> .
- Javaherian Amir (2009), Estimating groundwater recharge using water balance and geostatistics method (Case study: Ghaemshahr aquifer). MSc thesis, Zabol University. <https://doi.10.1590/01000683rbc20140740>(in persian).
- Kubicz, J., & Bak, B. (2019). The Reaction of Groundwater to Several Months' Meteorological Drought in Poland. Polish Journal of Environmental Studies, 28 (1), 187-195. <https://doi.org/10.15244/pjoes/81691>.
- Najib, M. , Asghari Moghadam, A. , Nadiri, A. A. and Fijani, E. (2023). Assessing and quality zoning of groundwater resources of Marand plain for drinking, agriculture, and industrial purposes. Advanced Applied Geology, 13(1), 238-260. <https://doi.10.22055/aag.2022.40612.2293>(in persian).
- Najib, M. , Asghari Moghaddam, A. , Nadiri, A. A. and Fijani, E. (2021). Evaluating Quality Variation of Groundwater Resources in Marand Plain Using Unsupervised Combination Approach (GQI and GWQI Index). Journal of Ecohydrology, 8(4), 1061-1080. <https://doi.10.22059/ije.2022.326865.1525>.
- Nikookhesal, Y. , Rasouli, A. A. , Mokhtari, D. and Valizadeh Kamran, K. (2022). Analysis of the relationship between precipitation changes and groundwater level in Marand plain with NRMC method. Journal of Geography and Planning, 26(81), 276-265. <https://doi.10.22034/gp.2020.40649.2647>(in persian).
- Pir Alilou H, Beg Babaei B, Norouzi sani P. (2024). Foresight of urban management of Marand through the Oregon Model. jgs. 24(72), 171-187. <https://doi.10.52547/jgs.24.72.171>(in persian).
- Rostamzadeh, H., Asadi, E., Jafarzadeh, J., (2015), "Surface water level monitoring in Ardebil Plain", Environmental Spatial Situation Analysis, 2 (1): 71-90. <https://doi.10.18869/acadpub.jsaeh.2.1.31> (in persian).
- Sadeghi, A., Zahtabian, G.H., Malekian, A., Khosravi, H., (2014), "Effect of land use change on ground water quality in Zaribar lake, Watershed studies, 27 (4): 90-97. <https://doi.org/10.22092/wmej.2015.106962>(in persian).
- Saghafian, B., Danesh kar arasteh, P., Rahimi Bandarabadi, S., Fattahi, E., Mohammadzadeh, M., (2010), "Draft guide climatic factors using methods of spatial distribution data point", Ministry of Energy and Water Affairs Office engineering and technical standards, 12: 368-381.

- Salman Mahini, A., Rahele Namin, B., (2013), "Prediction of the effect of land use change on groundwater quality in the Qarshoo watershed using GIS and artificial neural network", Journal of Remote Sensing in Natural Resources, 3 (4): 1-12. (in persian).
- Samadi, J., (2016), "Site selection modeling for artificial recharge in Kashan aquifer using statistical methods, ahp and groundwater environmental considerations, Iran-Water Resources Research, 12 (1): 84-94. https://www.iwrr.ir/article_15650.html?lang=en (in persian).
- Shakiba, A., Mirbagheri, B., Khyri, A., (2010), "Drought and its impact on groundwater resources in the East of Kermanshah using SPI", Geography (Journal Research of Iran Geographic Society), 6 (25): 104-124. (in persian).
- Soleimanpour, S. M. , Zandifar, S. , Rahmati, O. and Motamednia, M. (2025). Evaluation of periodic changes in groundwater level in Bahadoran watershed yazd Provance. Water and Soil Management and Modelling, 5(1), 29-44. <https://doi: 10.22098/mmws.2024.14395>. (in persian).
- Tahmouresi, M. S. , Niksokhan, M. H. and Ehsani, A. H. (2025). Estimation of surface net water flow and its relationship with hydrological and ecological parameters in the Urmia Lake basin. Water and Soil Management and Modelling, 5(2), 16-33. <https://doi: 10.22098/mmws.2024.14929.1450>. (in persian).
- Taghizadeh Mehrjardi, R., Zareian Jahromi, M., Mahmoodi, S., Heidari, A., Sarmadian, F., (2009), "Investigation of interpolation methods to determine spatial distribution of groundwater quality in rafsanjan", Journal of Watershed Management Science, 2 (5): 63-70. <https://Doi.20.1001.1.20089554.1387.2.5.7.4>(in persian).

