



Analysis of the Impact of Land Use Changes on Groundwater Level Fluctuations (Case Study: Qorveh-Dehgolan Plains)

P. Tahmasebi*  and H. Zare Abyaneh

PhD Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. p.tahmasebi@agr.basu.ac.ir

Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. zare@basu.ac.ir

Article Info	Abstract
Research Article	The present study was conducted with the objective of examining the impacts and interrelations between land use/land cover (LULC) changes and groundwater level fluctuations in the Qorveh–Dehgolan Pplain, Kurdistan Province, over a 26-year period, covering two time intervals: 1997–2001 and 2019–2023. Using Landsat-5 and Landsat-8 satellite imagery and employing the Random Forest Machine Learning Algorithm, land use in the region was classified into four categories: rainfed agriculture, irrigated agriculture, built-up areas, and barren lands. These analyses quantitatively revealed changes in the type and extent of land use. Subsequently, based on observational well data and through ArcMap software, groundwater level zoning maps were prepared and visualized using the Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation method. These maps enabled the comparison and analysis of groundwater level change trends. The findings of the study indicate that, during the second investigation period, rainfed agricultural lands in the region decreased by 13.36%, while irrigated agricultural lands increased by 11.07%. Simultaneously, groundwater levels exhibited a sharp declining trend during this interval, with drawdowns of up to 99 meters reported in the central, western, and southwestern parts of the plain. This decline was temporally and spatially consistent with the conversion of rainfed agricultural lands into irrigated farmlands. The results demonstrate that unstable changes in land use patterns, combined with excessive groundwater exploitation, have led to the emergence of a vicious cycle- one that not only jeopardizes the balance of regional water resources but also poses a fundamental threat to long-term environmental sustainability. In conclusion, the study emphasizes that unsustainable groundwater use and inappropriate land use transitions drive aquifer depletion and land degradation in the region. Therefore, to mitigate water and environmental crises and ensure regional sustainability some strategies are recommended.
Received: July 03, 2025	
Accepted: September 22, 2025	
Keywords: Remote Sensing, Landsat-5 and Landsat-8, Rainfed lands, Irrigated	
Corresponding author's email: p.tahmasebi@agr.basu.ac.ir	

Cite this article: Tahmasebi, P. and Zare Abyaneh, H., 2025. Analysis of the Impact of Land Use Changes on Groundwater Level Fluctuations (Case Study: Qorveh-Dehgolan Plains). *Journal of Water Research in Agriculture*, 39(3), pp.261-277



DOI: <https://doi.org/10.22092/jwra.2025.369800.1083>

اثر تغییرات کاربری اراضی بر نوسان سطح آب زیرزمینی: مطالعه موردی دشت قروه- دهگلان

پیمان طهماسبی*  و حمید زارع ایبانه

دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. p.tahmasebi@agr.basu.ac.ir

استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. zare@basu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
مقاله پژوهشی دریافت: ۱۴۰۴/۴/۱۲ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۳۱ واژه های کلیدی: سنجش از دور، لندست-۵، لندست-۸، کاربری کشاورزی دیم و کشاورزی آبی آدرس ایمیل نویسنده مسئول: p.tahmasebi@agr.basu.ac.ir	پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات و ارتباط میان تغییرات کاربری اراضی و نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت قروه- دهگلان، استان کردستان، طی یک دوره ۲۶ ساله، در دو بازه زمانی ۱۳۷۶-۱۳۸۰ و ۱۳۹۸-۱۴۰۲ انجام شد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست-۵ و لندست-۸ و با بهره‌گیری از الگوریتم یادگیری ماشین جنگل تصادفی، کاربری اراضی منطقه در چهار کلاس شامل کشاورزی دیم، کشاورزی آبی، اراضی ساخته شده، و اراضی بایر طبقه‌بندی شد. این تحلیل‌ها تغییرات در نوع و میزان کاربری اراضی را به صورت کمی نشان می‌دهند. سپس، با استفاده از آمار چاه‌های مشاهده‌ای و نرم‌افزار ArcMap، نقشه‌های پهنه‌بندی سطح تراز آب زیرزمینی با روش درونیابی IDW تهیه و ترسیم گردید. این نقشه‌ها امکان مقایسه و تحلیل روندهای تغییر سطح آب زیرزمینی را فراهم ساختند. یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که در دوره دوم بررسی، کاربری کشاورزی دیم در منطقه با کاهش ۱۳/۳۶٪ مواجه بود، در حالی که کاربری کشاورزی آبی به میزان ۱۱/۰۷٪ افزایش یافت. به طور هم‌زمان، سطح تراز آب زیرزمینی طی این بازه زمانی روندی کاهشی و چشم‌گیر را داشت؛ به گونه‌ای که در نواحی مرکزی، غربی و جنوب‌غربی دشت، افت سطح آب زیرزمینی تا حدود ۹۹ متر نیز گزارش شد. این افت با تغییر کاربری از اراضی دیم به اراضی آبی، هم‌زمان و هم‌راستا بود. این نتایج نشان‌دهنده آن است که تغییرات ناپایدار در الگوهای کاربری اراضی، همراه با بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، به شکل‌گیری چرخه‌ای معیوب منجر شده است؛ چرخه‌ای که نه تنها تعادل منابع آب منطقه را با چالش جدی مواجه می‌سازد، بلکه تهدیدی اساسی برای پایداری زیست‌محیطی در بلندمدت به شمار می‌آید. در مجموع، این پژوهش تأکید دارد که بهره‌برداری ناپایدار و تغییرات نامناسب کاربری اراضی، افت منابع آب زیرزمینی و تخریب سطح سرزمین را در منطقه به دنبال دارد. بر این اساس، چند راه‌کار توصیه شده است.

استناد: طهماسبی، پیمان و زارع ایبانه، حمید، ۱۴۰۴. اثر تغییرات کاربری اراضی بر نوسان سطح آب زیرزمینی: مطالعه موردی دشت قروه- دهگلان. نشریه

پژوهش آب در کشاورزی، ۳۹ (۳)، صص ۲۶۱-۲۷۷



DOI: <https://doi.org/10.22092/jwra.2025.369800.1083>

مقدمه

آب‌های زیرزمینی جهت تأمین نیازهای اجتماعی مختلف، از جمله شرب، کشاورزی و حفظ سلامت اکوسیستم‌ها، بسیار ضروری هستند (سیبرت و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین، یکی از اصلی‌ترین تأمین‌کنندگان آب شیرین در کره زمین به‌شمار می‌روند (گلیسون و همکاران، ۲۰۱۶) و می‌توانند در برابر تغییرات بارشی مقاومت کرده و در زمان خشکسالی آب مورد نیاز را تأمین کنند (فائو، ۲۰۱۶). با افزایش جمعیت کره زمین، به‌کارگیری روش‌های پیشرفته آبیاری و گسترش شهرنشینی، تقاضا برای آب‌های زیرزمینی به‌طور مدام در حال افزایش است (وبر و سیوبا، ۲۰۱۸؛ پاترا و همکاران، ۲۰۱۸) که این امر منجر به کاهش سرعت تغذیه این منابع می‌شود. تغذیه آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله توپوگرافی، زمین‌شناسی، نوع خاک، پوشش اراضی و اقلیم قرار دارد. در این میان، فعالیت‌های انسانی که منجر به تغییر کاربری زمین می‌شوند، تأثیر بیشتری دارند (وورسمارتی و همکاران، ۲۰۰۰؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۸). تغییرات سریع در پوشش زمین و شیوه‌های آبیاری باعث افزایش تبخیر و تعرق و کاهش تغذیه آب می‌شود (ایمرزیل و همکاران، ۲۰۰۸). بیشترین تأمین منابع آب‌های زیرزمینی معمولاً از طریق نفوذ بارش‌های اضافی به خاک و ورود آن به سفره‌های زیرزمینی صورت می‌گیرد؛ بنابراین، تغییر کاربری زمین تأثیر قابل توجهی بر میزان، کیفیت و کمیت تغذیه آب زیرزمینی دارد (لیندکوئیست و همکاران، ۲۰۱۹). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، منابع آب زیرزمینی همواره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده‌اند. کمبود منابع آب سطحی در این مناطق منجر به برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و کاهش شدید سطح آب شده است (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۳). همچنین، با افزایش جمعیت و استفاده از روش‌های نوین آبیاری، برداشت از این منابع طبیعی بیشتر شده است (حسین و همکاران، ۲۰۲۴). آگاهی از عوامل مؤثر بر تغذیه آب زیرزمینی می‌تواند به‌ذی‌نفعان در برنامه‌ریزی مناسب و استفاده بهینه از زمین و شیوه‌های کشاورزی کمک کند و

از آثار منفی بر این منابع ارزشمند جلوگیری نماید (وانگ و همکاران، ۲۰۰۸)؛ بنابراین، ارزیابی اثرات آب زیرزمینی و پیش‌بینی تغییرات آن، چالشی بزرگ و ضروری برای نسل آینده است (تانگ و لیو، ۲۰۰۶). شناسایی این منابع ارزشمند به دلیل وابستگی شدید به عوامل متعدد محیطی نظیر اقلیم، توپوگرافی، ویژگی‌های زمین‌شناسی، نوع خاک و الگوی کاربری اراضی، فرآیندی پیچیده و چالش‌برانگیز به‌شمار می‌رود. به‌منظور درک بهتر رفتار این منابع و برآورد دقیق‌تر ظرفیت‌های آن‌ها، تاکنون مدل‌سازی‌های عددی گوناگونی توسعه یافته و مورد استفاده قرار گرفته است (سنفورد، ۲۰۰۲؛ سیمرس، ۱۹۹۷).

در طول تاریخ بشریت، بهره‌برداری از منابع زمین همواره نقش مهمی در شکل‌گیری توسعه‌های انسانی ایفا نموده است. با این حال، در دهه‌های اخیر، فعالیت‌های انسان در فرآیندهای تغییر کاربری اراضی، به‌طور فزاینده‌ای منابع طبیعی را تحت تأثیر قرار داده و ویژگی‌های زیستی و فرآیندهای اکوسیستمی را در سطوح محلی، منطقه‌ای و جهانی دچار تحول نموده است (یاندا و مونیشی، ۲۰۰۷). شدت تغییرات در کاربری زمین در بسیاری از نواحی جهان به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزوده شده است که این امر منجر به تحولات اساسی در ساختار و کارکردهای اکوسیستم‌ها و فرآیندهای محیطی شده است (برونسترت و همکاران، ۲۰۰۴؛ الیس، ۲۰۱۳). از جمله تغییرات عمده در کاربری زمین، می‌توان به گسترش فعالیت‌های کشاورزی، توسعه فضای شهری، بیابان‌زایی، جنگل‌زایی و سایر الگوسازی‌های تغییر کاربری اشاره نمود (وگلن و همکاران، ۲۰۱۶). روش‌های سنتی و مرسوم تحلیل و ارزیابی وضعیت کمی سفره‌های آب زیرزمینی و پوشش‌های اراضی به دلیل نیاز به مجموعه داده‌های فراوان و عملیات اجرایی پیچیده، معمولاً زمان‌بر و پرهزینه هستند. این رویکردها، اغلب نیازمند نمونه‌برداری‌های گسترده و تحلیل‌های حضوری می‌باشند که در بسیاری از موارد، محدودیت‌های زمانی و مالی، دستیابی به نتایج سریع و دقیق را دشوار می‌سازد (صدیق و همکاران، ۲۰۲۲). در

مقابل، ادغام داده‌های حاصل از سنجش‌ازدور با اطلاعات هیدرولوژیکی، یک رویکرد نوین و مؤثر است که می‌تواند به‌عنوان یک الگوی پیشرفته در بررسی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر سطح تراز آب زیرزمینی در سطوح منطقه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. این رویکرد، نه تنها قادر است تحلیل‌های پیوسته و در مقیاس بزرگ را آسان کند، بلکه با کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در زمان، امکان ارزیابی سریع‌تر و کارآمدتر وضعیت منابع آب زیرزمینی و تغییرات پوشش اراضی را فراهم می‌سازد. به‌طور خاص، این روش ترکیبی می‌تواند در فرآیندهای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع صورت‌های مختلف تغییرات محیطی را به‌طور هم‌زمان و جامع تحلیل نموده و بر اساس این تحلیل‌ها، سیاست‌ها و راه‌کارهای مؤثر در راستای حفظ پایداری منابع آب و سرزمین اتخاذ شود (وارکو و همکاران، ۲۰۲۱؛ آشانولو و همکاران، ۲۰۱۹؛ منگیستو و همکاران، ۲۰۲۲).

در برخی تحقیقات، تأثیر تغییرات پوشش اراضی بر سطح تراز آب‌های زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گرفته است (المهدی و محمد، ۲۰۱۳؛ وزارت محیط‌زیست و آب، ۲۰۱۵؛ المهدی و محمد، ۲۰۱۶). این مطالعات بر پایه فرضیه‌ای استوار است که کاهش قابل توجه سطح آب زیرزمینی عمدتاً ناشی از تغییرات گسترده در کاربری زمین (مانند توسعه مناطق شهری و کاهش پوشش گیاهی) و تغییرات اقلیمی (از جمله افزایش دما و کاهش میزان بارش) کنترل می‌شود (ناس و برکلی، ۲۰۰۸؛ محمد و المهدی، ۲۰۱۵؛ بلوت و همکاران، ۲۰۱۵؛ نوبرگا و همکاران، ۲۰۱۸)؛ بنابراین نتایج این مطالعات نشان دادند که توسعه مناطق شهری، کاهش پوشش گیاهی و تغییرات اقلیمی از جمله عوامل اصلی کاهش نفوذ آب سطحی و افت سطح آب زیرزمینی در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای هستند. دیاس و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تأثیر تغییرات LULC بر تبخیر و تعرق و ذخیره آب زیرزمینی پرداختند و نشان دادند که تبدیل پوشش گیاهی طبیعی به کاربری کشاورزی باعث تغییرات

چشمگیری در تبخیر و تعرق و جریان دبی در حوزه‌های آبریز کوچک می‌شود. آن‌ها گزارش کردند که میانگین سالانه دبی در حوزه‌های کشاورزی بیش از دو برابر میزان دبی در حوزه‌های جنگلی بوده است. همچنین، میانگین تبخیر و تعرق سالانه مدل‌شده در اکوسیستم‌های کشاورزی (مراعت و زمین‌های زیر کشت سویا) نسبت به اکوسیستم‌های طبیعی (جنگل‌های بارانی گرمسیری) کم‌تر بود؛ بنابراین، با تغییر کاربری از جنگل به کشاورزی، نفوذ آب سطحی کاهش یافته و باعث افت سطح آب زیرزمینی شده است. هادلاند و همکاران (۲۰۱۴) اثرات مستقیم مداخلات انسانی و تغییرات اقلیمی را بر چرخه آب خاک بررسی کردند و نتیجه گرفتند که رابطه منفی میان تغییرات در کاربری اراضی، تغذیه سفره آب زیرزمینی و سطح تراز آب زیرزمینی وجود دارد. همچنین، مطالعه‌ای با هدف مدل‌سازی تأثیر تغییرات کاربری زمین و اقلیم بر آب‌های زیرزمینی توسط آییکو و همکاران (۲۰۲۴) با بهره‌گیری از مدل SWAT و روش لوگان انجام شد. نتایج نشان داد که در سال ۲۰۲۰، رواناب به میزان ۶/۳ درصد و در سال ۲۰۳۰، ۱۳/۷ درصد افزایش می‌یابد، درحالی‌که تغذیه آب زیرزمینی به ترتیب پنج و سه درصد کاهش خواهد داشت. در صورت ادامه روند افزایش شهرنشینی تا سال ۲۰۳۰ که حدود ۱۲ درصد است و کاهش نه درصدی پوشش گیاهی در شرایط آب‌وهوایی مشابه، رواناب به میزان ۱۲ درصد افزایش می‌یابد. این تغییرات منجر به کاهش نفوذ آب سطحی و کاهش سطح تراز آب زیرزمینی می‌شود. در نتیجه، یافته‌ها نشان دادند که همبستگی منفی میان تغییرات کاربری اراضی و سطح تراز آب زیرزمینی برقرار است. در پایان، پیشنهاد شد که حفظ چمن‌های رویشی در مناطق شهری به دلیل نفوذپذیری بیشتر، برای تأمین تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی ضروری است. سالم و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای اثرات تغییرات کاربری اراضی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ را بر سطح آب زیرزمینی دشت سیلابی دروا، مجارستان که در آن دخالت انسان به یک وضعیت زیست‌محیطی بحرانی منجر شده است، ارزیابی کردند.

نتایج نشان داد که گسترش متوسط مناطق ساخته شده باعث افزایش رواناب سطحی شد، درحالی که جنگل کاری، زمین های زراعی و علفزارها و رشد بیش از حد گلزارهای برهنه با درختچه های بید باعث افزایش تبخیر و تعرق شد. در نتیجه، کل تغذیه سالانه آب زیرزمینی در سال های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۸ حدود ۳۱۷ میلی متر در سال کاهش یافت. علاوه بر این، میانگین کاهش سطح آب زیرزمینی به میزان ۰/۱ متر در همین دوره مشاهده شد. کاهش تغذیه آب زیرزمینی، افزایش رواناب و تبخیر و تعرق تأثیر منفی بر منابع آب در حوزه دروا داشته است. اسداللهی و همکاران (۲۰۲۴) تأثیر تغییرات اقلیمی و تغییرات کاربری زمین را بر سطح تراز آب زیرزمینی با استفاده از داده های هیدرولوژیکی و تصاویر ماهواره ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اراضی کشاورزی و مناطق ساخته شده (شهرنشینی) نقش مهم ترین عوامل در تغییر سطح تراز آب زیرزمینی را دارند، به طوری که افزایش ۱۰ درصدی در اراضی کشاورزی و ساخته شده به ترتیب باعث کاهش ۴/۵ و ۵/۵ درصدی در سطح تراز آب زیرزمینی می شود. همچنین، پیش بینی کردند که تا سال ۲۰۳۰ سطح تراز آب زیرزمینی در منطقه مطالعه شده حدود ۷۷ میلی متر کاهش خواهد داشت. اسکندری و همکاران (۱۳۹۷) جهت ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر منابع آب زیرزمینی در بازه زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۴، از تصاویر ماهواره ای لندست و داده های چاه های آب زیرزمینی در حوزه غرب تالاب جازموریان بهره گرفتند. نتایج نشان داد که در این سال ها، وسعت مناطق مسکونی و کشاورزی افزایش یافته است؛ درحالی که وسعت کاربری های خشکه رود، سد، مراتع، اراضی بایر و کوهستانی کاهش یافته بود. این تغییرات بیانگر افزایش تخریب و وضعیت ناپایدار در منطقه بوده و به عنوان عوامل مستقیم مؤثر بر منابع آب زیرزمینی شناخته شدند. به دنبال این تغییرات، در بخش های جنوبی حوزه مطالعاتی، کمیت و کیفیت آب زیرزمینی کاهش یافته است که دلیل آن را می توان در ساخت سد جیرفت روی رودخانه دائمی هلیل رود، عدم تخصیص حق آبه و افزایش وسعت

کاربری های شهری و کشاورزی جستجو کرد که همگی موجب کاهش تدریجی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی در این مناطق شده است. یوسفی مبرهن و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی روند تغییرات افت سطح آب زیرزمینی دشت قروه-دهگلان در طول سه دوره زمانی (۱۳۸۷-۱۳۸۰، ۱۳۹۲-۱۳۸۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۲) با استفاده از آمار ۱۰۴ حلقه چاه مشاهده ای پرداختند. نتایج به دست آمده از نقشه های پهنه بندی افت آب زیرزمینی نشان داد که بیشترین سطح آب زیرزمینی در دوره زمانی سوم (۱۳۹۲-۱۳۹۷) در بخش جنوبی آبخوان به اندازه ۷/۳ متر، در دوره زمانی دوم (۱۳۹۲-۱۳۸۷) در بخش مرکزی آبخوان به اندازه ۵/۷ متر و در دوره زمانی اول (۱۳۸۷-۱۳۸۰) در بخش های شمالی و میانی به اندازه ۳/۳ متر افت کرده است. هیدروگراف های تراز آب زیرزمینی نشان می دهند که در مدت ۲۰ سال، افت سطح آب در دشت قروه ۱۳/۸ متر است که به طور متوسط هر سال ۰/۷ متر سطح آب افت کرده است. با وجود این، اکثر تحقیقات پیشین بر مناطق خاصی در خارج از کشور یا حوزه های محدود در ایران متمرکز بوده اند و کم تر به بررسی هم زمان اثرات تغییرات کاربری زمین بر آبخوان های حیاتی مناطق نیمه خشک ایران از جمله دشت قروه- دهگلان پرداخته اند. نوآوری اصلی پژوهش حاضر در تمرکز بر دشت قروه-دهگلان به عنوان یکی از مناطق راهبردی کشاورزی غرب کشور، بهره گیری از داده های بلندمدت ۲۰ ساله (۱۳۸۰-۱۳۹۷) و ترکیب داده های هیدرولوژیکی با تحلیل تصاویر ماهواره ای برای ارزیابی تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی است.

امروزه، با رشد جمعیت و توسعه سامانه های نوین آبیاری در دشت قروه- دهگلان، تغییرات کاربری زمین با شتاب قابل توجهی افزایش یافته است. در این منطقه، بخش زیادی از زمین های بایر و مراتع به طور غیرمعتدل به اراضی زراعی آبی تبدیل شده و با سامانه های تحت فشار (بارانی و قطره ای) تجهیز گردیده اند. این تغییر کاربری از اراضی دیم و مرتعی به اراضی آبی، همراه با افزایش سطح زیر کشت محصولات آبر و حفر چاه های

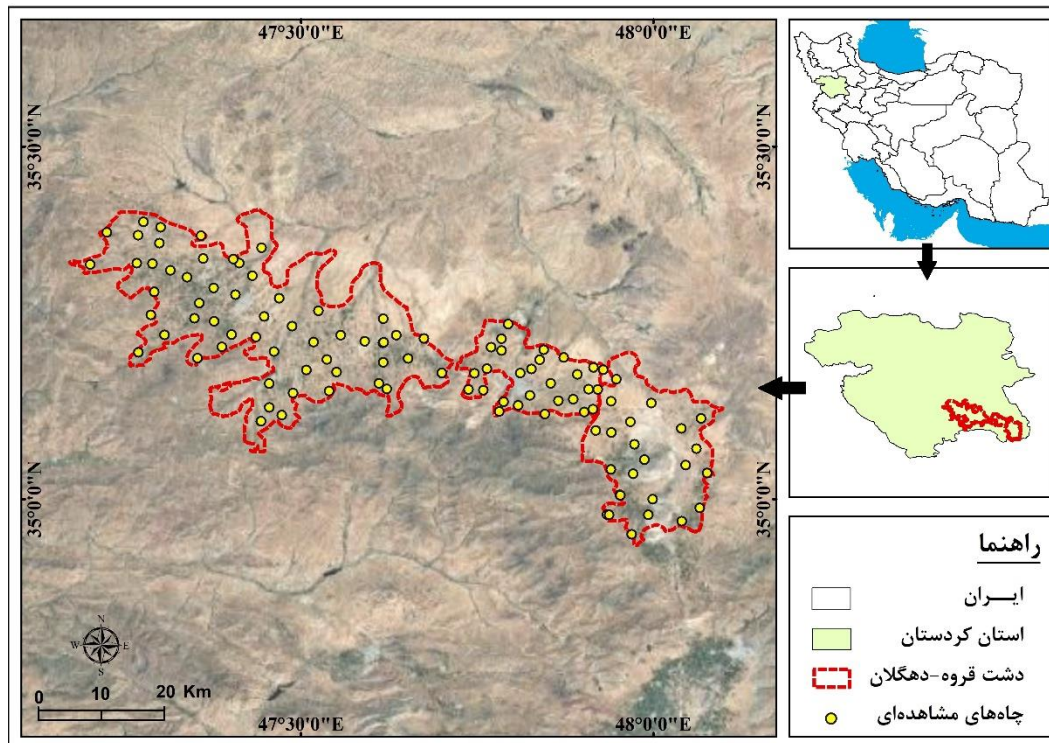
غیرمجاز، فشار مضاعفی بر منابع محدود آب زیرزمینی که تنها منبع آب مصرفی جهت آبیاری مزارع به‌شمار می‌آید وارد کرده است. به بیان دیگر، توسعه سامانه‌های نوین آبیاری بدون برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح، به‌جای کاهش مصرف آب، موجب برداشت بی‌رویه و افت سطح آب زیرزمینی در دشت قروه-دهگلان شده است؛ که اثرات منفی بر منابع ارزشمند آب زیرزمینی داشته و توجه به مدیریت منابع آب تحت تأثیر تغییر کاربری زمین بیش-ازپیش به چشم می‌خورد. از طرفی، با توجه به موقعیت ایران و قرارگیری آن در کمربند خشک جهان، موجب شده که مدیران و کارشناسان مربوط به بخش آب، به تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی و ارزیابی اثرات آن به‌منظور کنترل و کاهش اثرات آن بر منابع آب، به‌خصوص آب‌های زیرزمینی، بپردازند. وابستگی زیاد به منابع آب زیرزمینی در ایران و تعادل بخشی به این منبع مهم، موجب شده تا پژوهش حاضر به بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر سطح تراز آب زیرزمینی دشت قروه-دهگلان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای از سال ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۲ بپردازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت قروه-دهگلان یکی از ۱۱ محدوده اصلی حوزه آبریز بزرگ سفیدرود به‌شمار می‌رود که در استان کردستان قرار دارد و نقش مهمی در تأمین منابع آب و توسعه کشاورزی منطقه ایفا می‌کند (طهماسبی و همکاران،

۱۴۰۴). این دشت با متوسط بارندگی سالانه ۳۵۲ میلی‌متر و اقلیم نیمه مرطوب و سرد، در شرق شهرستان سنندج و شمال غرب همدان واقع شده است. از نظر جغرافیایی، در طول‌های جغرافیایی $47^{\circ}17'$ تا $48^{\circ}09'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $34^{\circ}93'$ تا $35^{\circ}41'$ شمالی قرار گرفته و موقعیت آن در شکل ۱ نشان داده شده است. از نظر زمین‌شناسی، دشت قروه-دهگلان بخشی از زون ساختمانی سنندج-سیرجان است که یکی از فعال‌ترین زون‌های تکتونیک ایران محسوب می‌شود. این منطقه با ارتفاعات جنوبی شامل سنگ‌های دگرگونی مانند شیست، مرمر، آمفیبولیت و گنیس و توده‌های آذرین مشخص شده است. فعالیت‌های تکتونیک و ماگمایی در نیمه شمالی منطقه نقش به‌سزایی در شکل‌گیری ساختارهای زمین‌شناسی داشته است. مرزهای منطقه توسط ارتفاعات ماسه‌سنگ قرمز، آهک‌های دولومیتی، تشکیلات پلیوستوسن و آذرین محدود شده است. دمای منطقه، حداقل ۲۳- و حداکثر ۴۱ درجه سانتی‌گراد است. درحالی‌که میانگین رطوبت نسبی حدود ۴۵ درصد است و تبخیر در تیرماه به بیش از ۳۵۰ میلی‌متر می‌رسد. خاک‌های منطقه غالباً عمیق، با بافت متوسط تا سنگین و توانایی نگهداری آب زیاد هستند که امکان کشاورزی و زراعت با هزینه کم را فراهم می‌کند (یوسفی مبرهن و همکاران، ۱۴۰۲). این ویژگی‌ها، همراه با اقلیم و موقعیت مناسب، دشت قروه-دهگلان را به منطقه‌ای مستعد برای توسعه کشاورزی و فعالیت‌های انسانی تبدیل کرده است.

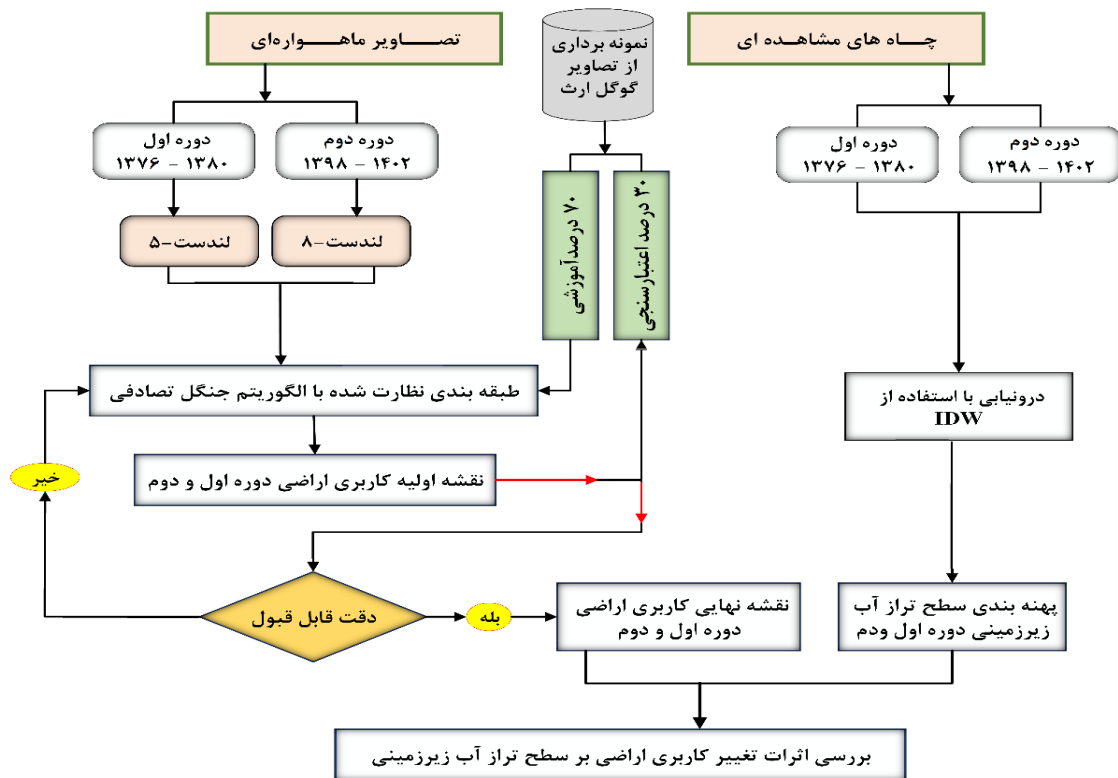


شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی دشت قروه-دهگلان

داده‌ها، تحلیل کاربری اراضی، تفسیر تغییرات، اعتبارسنجی و ارزیابی سطح تراز آب زیرزمینی در شکل ۲ ارائه شده و در بخش‌های بعدی به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است.

روش تحقیق

روش به کار رفته برای جمع‌آوری و پردازش



شکل ۲- روند نمای مراحل انجام تحقیق

تغییرات کاربری اراضی

انتخاب و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

در این پژوهش، تغییرات کاربری اراضی دشت قروه-دهگلان در بازه زمانی ۲۶ سال (از سال ۱۳۷۶ تا ۱۴۰۲) در دو دوره زمانی مجزا (۱۳۷۶-۱۳۸۰ و ۱۳۹۸-۱۴۰۲) بررسی شد. به دلیل طولانی بودن این دوره، از تصاویر ماهواره‌ای سری لندست که بیش از ۴۰ سال سابقه دارد و دارای دقت مکانی متوسط ۳۰ متر (و ۶۰ متر برای باندهای حرارتی) است بهره‌گیری شد، به گونه‌ای که در دوره اول (۱۳۷۶-۱۳۸۰) از تصاویر لندست-۵ (TM) و در دوره دوم (۱۳۹۸-۱۴۰۲) از تصاویر لندست-۸ (OLI/TIRS) استفاده شد (از داده‌های لندست-۷ به دلیل خطای Scan Line Corrector صرف‌نظر شد (فوگا و همکاران، ۲۰۱۷)). در ادامه، با بهره‌گیری از الگوریتم یادگیری ماشین جنگل تصادفی به دلایل کارایی و دقت بالا (تیان و همکاران، ۲۰۱۶؛ تیکوی و همکاران، ۲۰۲۳)، این تصاویر در چهار کلاس: کشاورزی فاریاب، کشاورزی دیم، اراضی بایر و مناطق ساخته‌شده طبقه‌بندی شدند. در این مطالعه، برای مدل‌سازی و پیش‌بینی، از الگوریتم جنگل تصادفی (Random Forest) به عنوان یکی از روش‌های یادگیری نظارت‌شده استفاده گردید. جنگل تصادفی مجموعه‌ای از درخت‌های تصمیم است که هر یک روی یک نمونه تصادفی با جایگزینی (Bootstrap Sampling) از داده‌های آموزشی ساخته می‌شود و در هر گره، تقسیم‌بندی با استفاده از یک زیرمجموعه تصادفی از ویژگی‌ها انجام می‌گیرد. این فرآیند باعث کاهش همبستگی بین درخت‌ها و بهبود دقت کلی مدل می‌شود. در این روش، پیش‌بینی نهایی از طریق رأی‌گیری اکثریت (برای طبقه‌بندی) یا میانگین‌گیری (برای رگرسیون) از نتایج درخت‌ها انجام می‌گیرد. پارامترهای کلیدی مدل شامل تعداد درخت‌ها ($n_estimators$)، تعداد ویژگی‌های انتخاب‌شده در هر تقسیم ($max_features$) و حداکثر عمق درخت‌ها (max_depth)، بر اساس جستجوی

شبکه‌ای (Grid search) و اعتبارسنجی متقاطع (Cross-validation) بهینه‌سازی شدند. پیاده‌سازی الگوریتم با استفاده از کتابخانه scikit-learn در محیط Python انجام گرفت و عملکرد مدل با استفاده از مجموعه داده‌ی آزمون و معیارهایی نظیر دقت (Accuracy)، ضریب کاپا (Cohen's Kappa) و مساحت زیر منحنی ROC (AUC) ارزیابی گردید.

نمونه‌برداری جهت آموزش و اعتبارسنجی مدل طبقه‌بندی

به منظور آموزش و اعتبارسنجی مدل طبقه‌بندی، نمونه‌برداری در هر دوره مطالعاتی به صورت مستقل و با استفاده از روش‌های متناسب با داده‌های در دسترس انجام شد. به گونه‌ای که در دوره دوم (۱۳۹۸-۱۴۰۲)، با بهره‌گیری از تصاویر با وضوح بالای Google Earth، نقاط نمونه‌برداری به صورت دقیق انتخاب و برداشت شدند. این تصاویر امکان شناسایی بهتر ویژگی‌های زمینی و تعیین موقعیت دقیق نمونه‌ها را فراهم کردند. در مقابل، در دوره اول (۱۳۷۶-۱۳۸۰)، به دلیل عدم دسترسی به تصاویر Google Earth با کیفیت مناسب برای منطقه مورد مطالعه، تعیین نقاط نمونه‌برداری به صورت بصری و مستقیم از روی تصاویر ماهواره‌ای موجود صورت گرفت. با وجود محدودیت‌های موجود در آن دوره، تلاش شد تا با دقت کافی، نمونه‌ها به گونه‌ای انتخاب شوند که نماینده مناسبی از طبقات مختلف باشند. این نقاط به گونه‌ای انتخاب شدند که هر چهار کلاس: کشاورزی فاریاب، کشاورزی دیم، اراضی بایر و مناطق ساخته‌شده را به خوبی پوشش دهند. نهایتاً، ۷۰ درصد از مجموع نقاط نمونه‌برداری شده برای آموزش مدل طبقه‌بندی و ۳۰ درصد باقی‌مانده جهت ارزیابی دقت مدل بهره‌برداری شد (تیکوی و همکاران، ۲۰۲۳). در این تحقیق، برای ارزیابی صحت نقشه طبقه‌بندی نهایی از شاخص کاپا^۱ (K) استفاده شد. مقادیر شاخص کاپا عموماً بین صفر تا یک متغیر بوده که مقدار یک نشان‌دهنده دقت ۱۰۰ درصد است. در واقع، مقدار کاپای بزرگ‌تر از

۰/۸ نشان‌دهنده پیش‌بینی قوی و دقت قابل قبول و مقادیر بین ۰/۴ تا ۰/۸ (۴۰ تا ۸۰ درصد) دقت متوسط و کمتر از ۰/۴ دقت کم را نشان می‌دهد (کونگالتون، ۱۹۹۱).

بررسی سطح تراز آب زیرزمینی

با استناد به داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای موجود در دشت قروه-دهگلان، نقشه‌های پهنه‌بندی سطح تراز آب زیرزمینی برای دوره اول (۱۳۷۶-۱۳۸۰) و دوره دوم (۱۳۹۸-۱۴۰۲)، هم‌زمان با تاریخ برداشت تصاویر ماهواره‌ای، تهیه گردید. فرآیند تهیه این نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcMap 10.5.1 و به‌کارگیری روش درونیابی وزنی معکوس فاصله^۲ (IDW) انجام شد. به‌منظور تحلیل روند تغییرات، نقشه‌های حاصل برای هر دو دوره با یکدیگر مقایسه شدند تا میزان نوسانات سطح تراز آب زیرزمینی و افت احتمالی آن در بازه مورد بررسی مشخص شود.

یافته‌ها

پایش تغییرات کاربری اراضی

ارزیابی دقت

نتایج حاصل از ارزیابی مدل طبقه‌بندی نشان داد که مقدار شاخص کاپا در دوره‌های اول و دوم به‌ترتیب برابر با ۸۹/۲۴ و ۹۱/۰۶ درصد بوده است. این مقادیر بیانگر میزان دقت زیاد و قابل قبول طبقه‌بندی هستند. عملکرد مطلوب مدل نشان می‌دهد که تصاویر ماهواره‌ای لندست در ترکیب با الگوریتم جنگل تصادفی از توان تفکیک و طبقه‌بندی بالایی برخوردار بودند؛ بنابراین، نتایج حاصل از این مدل می‌تواند به‌عنوان مبنایی معتبر و قابل اتکا برای تحلیل‌های تکمیلی در مراحل بعدی مورد استفاده قرار گیرد.

تغییرات مکانی کاربری اراضی

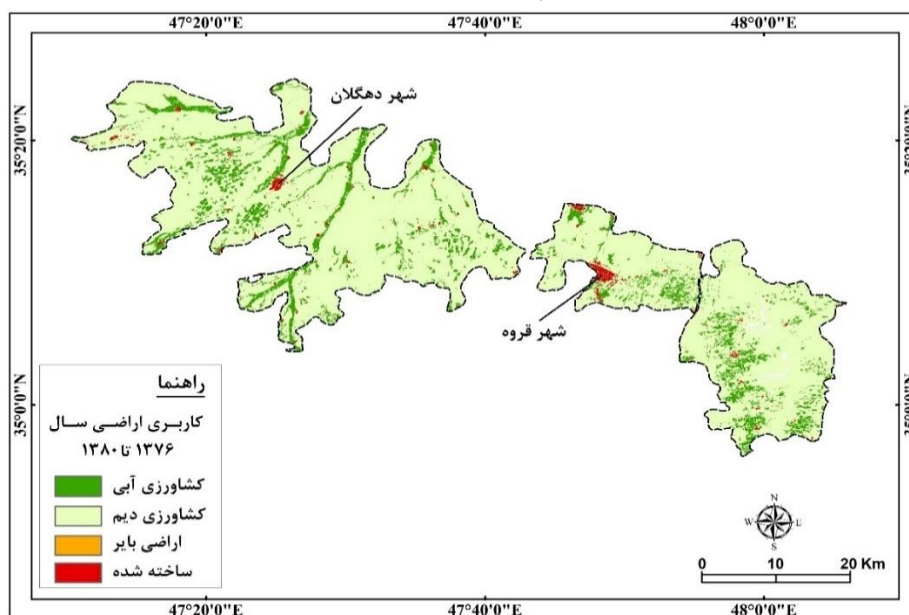
الگوهای تغییرات مکانی و زمانی کاربری اراضی بین سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۴۰۲ به‌ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴

در طبقات: کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، اراضی بایر و ساخته شده آورده شده است. مطابق با جدول ۱ و شکل ۵، از بیشترین به کمترین مساحت به‌ترتیب در دوره اول: کشاورزی دیم ۱۵۲۶۸/۸۶ هکتار (۸۶/۲۹ درصد)، کشاورزی آبی ۱۵۲۶۸/۸۶ هکتار (۱۲/۰۲ درصد)، ساخته شده ۱۵۹۱۷/۴ هکتار (۱/۲۵ درصد) و اراضی بایر ۵۲۲/۸۷ هکتار (۰/۴۴ درصد) و در دوره دوم: کشاورزی دیم ۹۲۶۲۷/۳۳ هکتار (۷۲/۹۳ درصد)، کشاورزی آبی ۳۰۱۸۳/۲۵ هکتار (۲۳/۷۷ درصد)، اراضی بایر ۲۲۵۶/۵۷ هکتار (۱/۷۸) و ساخته شده ۱۹۳۴/۹۱ هکتار (۱/۵۲ درصد) است.

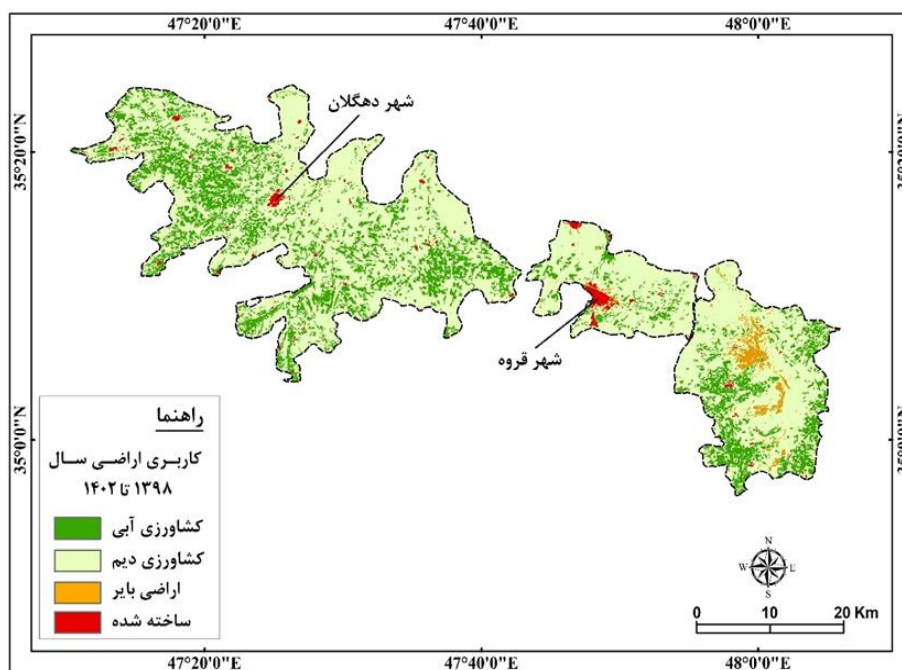
بررسی و مقایسه نقشه‌های کاربری اراضی در دو دوره زمانی (۱۳۷۶-۱۳۸۰ و ۱۳۹۸-۱۴۰۲) نشان می‌دهد که طی این بازه، تغییرات قابل توجهی در الگوی بهره‌برداری از زمین در منطقه مورد مطالعه به وقوع پیوسته است. یکی از بارزترین تغییرات، کاهش قابل ملاحظه کاربری کشاورزی دیم به میزان ۱۳/۳۶ درصد در دوره دوم نسبت به دوره اول است. از این میزان، حدود ۱۱/۷ درصد (معادل ۱۴۱۴/۳۹ هکتار) به اراضی کشاورزی آبی تبدیل شده که عمدتاً در نواحی مرکزی، غربی و جنوب غربی منطقه متمرکز است. این تغییر گویای تمایل رو به رشد بهره‌برداران محلی به سمت توسعه فعالیت‌های کشاورزی آبی در پاسخ به نیازهای اقتصادی یا افزایش بازده تولید است. با این حال، باید توجه داشت که کشاورزی آبی، به‌عنوان یکی از پرمصرف‌ترین فرم‌های کاربری زمین از منظر مصرف منابع آب زیرزمینی، دارای پیامدهای زیست‌محیطی قابل توجهی است. توسعه این نوع کاربری، به‌ویژه در مناطقی با منابع آب محدود، می‌تواند منجر به افت سطح تراز آب زیرزمینی، کاهش کیفیت آب و اختلال در پایداری اکوسیستم‌های منطقه‌ای شود. تداوم این روند، در صورت عدم مدیریت مناسب، ممکن است چالش‌های جدی در حوزه منابع آب، به‌ویژه در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک کشور، به‌دنبال داشته باشد. افزون بر این، نتایج

افزایشی معادل ۱/۳۴ درصد همراه بوده است. این تغییر عمدتاً در بخش شرقی منطقه روی داده و ممکن است ناشی از عواملی چون ناکامی در بهره‌برداری‌های کشاورزی، شرایط اقلیمی نامساعد، تخریب خاک یا کاهش پوشش گیاهی طبیعی باشد. تداوم گسترش این نوع کاربری می‌تواند نشانه‌ای از روند بیابان‌زایی یا تخریب سرزمین در منطقه تلقی شود.

حاکی از رشد تدریجی کاربری اراضی ساخته‌شده (شامل مناطق شهری و توسعه‌های عمرانی) به میزان ۰/۲۷ درصد در دوره دوم است. این رشد عمدتاً در محدوده شهرهای قروه و دهگلان مشاهده‌شده و بازتابی از گسترش شهرنشینی و توسعه فیزیکی سکونتگاه‌ها در منطقه است. چنین روندی می‌تواند آثار متقابلی بر کاربری‌های پیرامونی، الگوهای مهاجرتی و نیاز به زیرساخت‌های شهری جدید داشته باشد. در نهایت، کاربری اراضی بایر در دوره دوم با



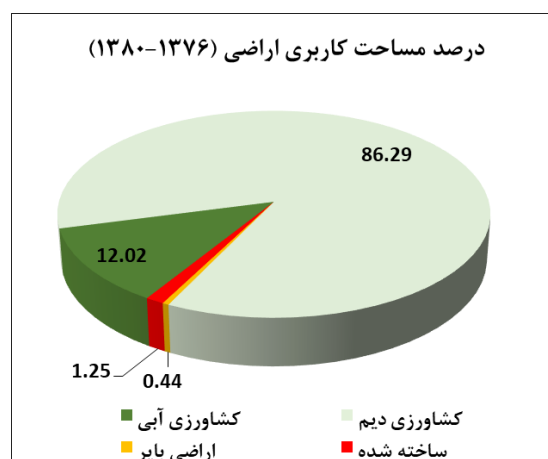
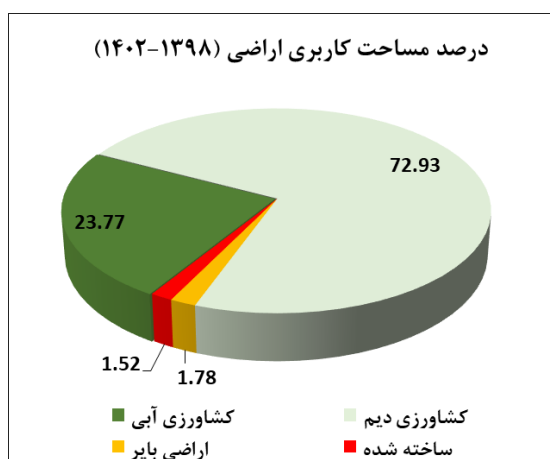
شکل ۳- کاربری اراضی دشت قروه- دهگلان از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۰



شکل ۴- کاربری اراضی دشت قروه- دهگلان از سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲

جدول ۱- تغییرات مساحت کاربری اراضی دشت قروه- دهگلان

کاربری اراضی	1380-1376		1402-1398		میزان تغییرات (1402-1376)	
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد
کشاورزی آبی	1526.86	12.02	30183.25	23.77	14914.39	11.74
کشاورزی دیم	109588.59	86.29	9262.33	72.93	-16961.26	-13.36
اراضی بایر	522.87	0.44	2256.57	1.78	1703.70	1.34
ساخته شده	1591.74	1.25	1934.91	1.52	1.52	0.27



شکل ۵- درصد مساحت کاربری اراضی دشت قروه-دهگلان

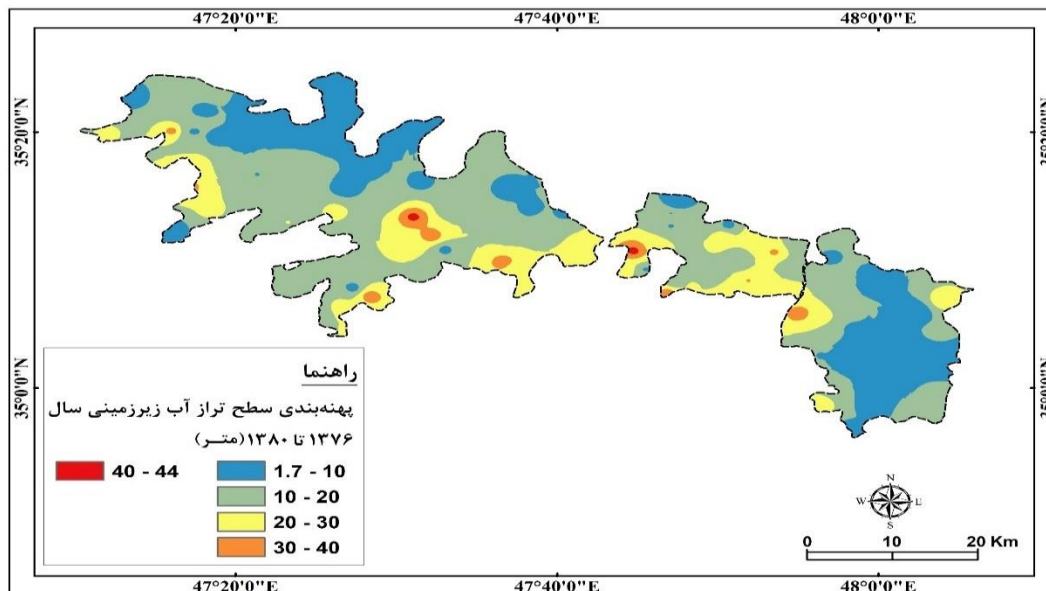
بررسی تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی

با توجه به پراکنش مناسب و گسترده چاه‌های مشاهده‌ای در دشت قروه- دهگلان، پهنه‌بندی سطح تراز آب زیرزمینی این منطقه در دو دوره زمانی اول (۱۳۷۶-۱۳۸۰) و دوم (۱۳۹۸-۱۴۰۲)، هم‌زمان با برداشت تصاویر ماهواره‌ای، تهیه شد (شکل‌های ۶ و ۷). سپس این نقشه‌ها در طول این بازه‌های زمانی مقایسه شدند تا نوسانات سطح تراز آب زیرزمینی و میزان افت آن مشخص و تحلیل گردد. مطابق با جدول ۲ و شکل ۸، تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی منطقه در دو دوره زمانی مورد بررسی نمایانگر روندی قابل توجه در وضعیت منابع آب زیرزمینی است. در دوره اول (۱۳۷۶-۱۳۸۰)، سطح تراز آب زیرزمینی در منطقه در پنج طبقه مختلف پهنه‌بندی شد. کمترین و بیشترین مقدار سطح تراز به‌ترتیب برابر با ۱/۷ متر و ۴۴ متر است. بیشترین سهم مساحت، معادل ۵۲/۴۴ درصد، در طبقه سطح تراز ۱۰-۲۰ متر قرار دارد که نشان می‌دهد بیش از نیمی از منطقه در این بازه قرار گرفته است. برعکس، کمترین مساحت، یعنی ۰/۱۳ درصد، متعلق به

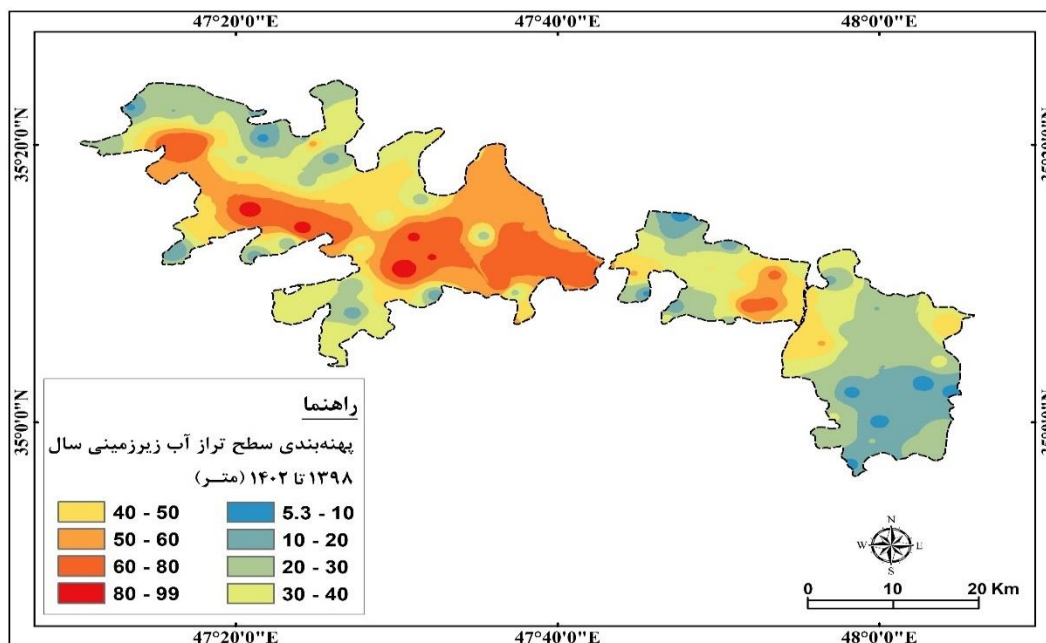
طبقه سطح تراز ۴۰-۴۴ متر بوده که عمدتاً در ناحیه مرکزی منطقه مشاهده می‌شود. این یافته‌ها حاکی از آن است که در این دوره، سطح تراز آب زیرزمینی منطقه از وضعیت نسبتاً مطلوب و پایداری برخوردار بوده و ناپایداری‌های شدید دیده نمی‌شود؛ اما در دوره دوم (۱۳۹۸-۱۴۰۲)، تغییرات بسیار قابل توجهی در وضعیت سطح تراز آب زیرزمینی رخ داده است. روند کاهش سطح تراز آب که در دوره اول در حدی نسبی طبیعی بود، حال به‌شدت ادامه یافته است. بر این اساس، منطقه در هشت طبقه پهنه‌بندی شد و سطح تراز در برخی نواحی تا ۹۹ متر نیز رسیده است. از این‌رو، سطوح تراز ۵۰ تا ۱۰۰ متر در این دوره در منطقه گسترش یافته است و نشان‌دهنده کاهش محسوس سطح تراز آب است. به‌طورکلی، سطح تراز آب زیرزمینی نسبت به دوره قبلی از ۱/۷ به ۵/۳ متر و از ۴۴ به ۹۹ متر افزایش یافته که نشان می‌دهد آب در عمق‌های بسیار بیشتری قرار گرفته است. این کاهش، در نواحی شرقی نسبت به سایر بخش‌ها با شدت کمتری رخ داده است. ولی در بخش‌های مرکزی، غربی و جنوب غربی، مساحت نواحی با عمق‌های ۴۰-۵۰،

تهدیدی جدی برای کاهش منابع آب در آینده به شمار می‌رود؛ بنابراین، روند رو به کاهش سطح آب زیرزمینی، ضرورت فوری برنامه‌ریزی‌های مدیریت پایدار منابع آب و اصلاح الگوهای مصرف را نشان می‌دهد تا بتوان از بروز بحران‌های احتمالی جلوگیری شده و وضعیت منابع آب را تثبیت نمود.

۵۰-۶۰ و ۶۰-۸۰ متر که بالغ بر ۵۰ درصد از منطقه را تشکیل می‌دهند، به شدت افزایش یافته است. این تغییر وضعیت، نتیجه مستقیم تغییر کاربری اراضی و افزایش مصرف آب در این نواحی است، به خصوص کاربری زمین از کشاورزی دیم به کشاورزی آبی تغییر یافته که نشان‌دهنده نیازهای شدیدتر به آب زیرزمینی است. این عامل موجب کاهش قابل ملاحظه سطح تراز آب زیرزمینی شده و



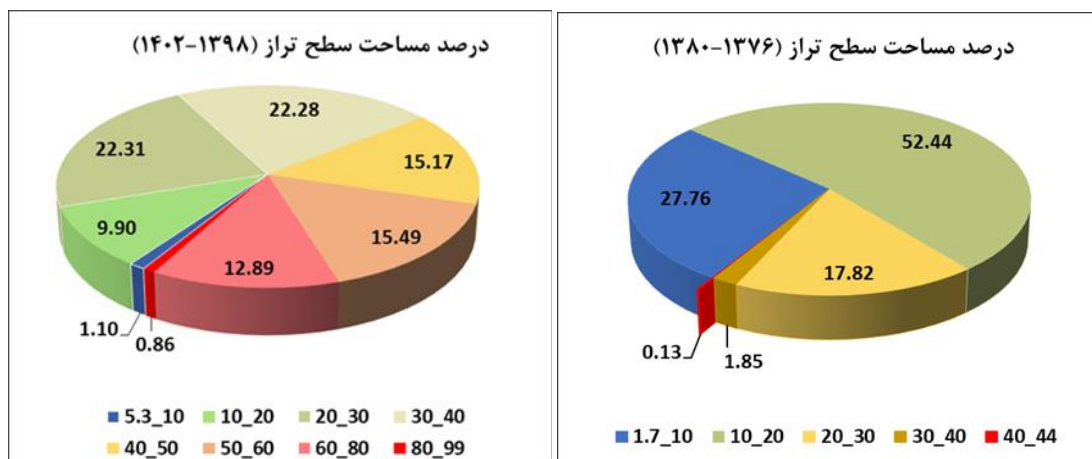
شکل ۶- پهنه‌بندی سطح تراز آب زیرزمینی دشت قروه-دهگلان از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۰



شکل ۷- پهنه‌بندی سطح تراز آب زیرزمینی دشت قروه-دهگلان از سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲

جدول ۲- مساحت و درصد مساحت پهنه‌های سطح تراز آب زیرزمینی

طبقه	سال ۱۳۸۰-۱۳۷۶			سال ۱۴۰۲-۱۳۹۸		
	سطح تراز (متر)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	سطح تراز (متر)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
1	1.7-10	35252.82	27.76	5.3-10	1394.01	1.10
2	10-20	66605.85	52.44	10-20	12576.87	9.90
3	20-30	22634.10	17.82	20-30	28332.90	22.31
4	30-40	2345.31	1.85	30-40	28296	22.28
5	40-44	163.98	0.13	40-50	19267.29	15.17
6	---	---	---	50-60	19666.62	15.49
7	---	---	---	60-80	16371.27	12.89
8	---	---	---	80-99	1097.10	0.86



شکل ۸- درصد مساحت پهنه‌های تراز آب زیرزمینی دشت قروه- دهگلان

بررسی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر سطح تراز آب زیرزمینی

در طول سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۴۰۲، تغییرات چشم‌گیری در کاربری اراضی دشت قروه-دهگلان رخ داده است. این تغییرات عمدتاً در راستای تبدیل اراضی کشاورزی دیم به کشاورزی آبی صورت گرفته که نشان‌دهنده توسعه فعالیت‌های کشاورزی و افزایش فشار بر منابع آب منطقه است. این روند در کل سطح منطقه مشهود است؛ اما در مناطق مرکزی، غربی و جنوب غربی شدت بیشتری داشته است. این نواحی به دلیل گسترش فعالیت‌های کشاورزی آبی، نیاز روزافزون به منابع آب جهت آبیاری پیدا کرده‌اند که منجر به افزایش برداشت و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی شده است. نتیجه این روند، افزایش سطح تراز آب زیرزمینی در سراسر منطقه است، به‌طوری‌که رابطه مستقیمی میان توسعه کاربری کشاورزی آبی و افزایش سطح تراز زیرزمینی برقرار است.

هرچه میزان کاربری آبی در منطقه بیشتر شود، سطح تراز آب زیرزمینی افزایش می‌یابد، زیرا منابع آب به‌صورت بی‌رویه و بدون بهره‌وری صحیح استفاده می‌شوند. این وضعیت، هشداردهنده است، زیرا ادامه این روند ممکن است منجر به تخلیه کامل سفره‌های زیرزمینی، کاهش شدید آب قابل برداشت و بروز بحران‌های آب در آینده گردد. نتایج یافت شده در این تحقیق با مطالعات انجام‌شده در این خصوص از جمله: تمسگن و همکاران (۲۰۱۴) در حوزه درآ، دیابا و همکاران (۲۰۱۶)، تاکله و همکاران (۲۰۲۲) در حوزه آبریز نیل، اسکندری و همکاران (۱۳۹۷) در حوزه غرب تالاب جازموریان، اسکندری و همکاران (۱۴۰۰) در شهرستان آذرشهر، سالم و همکاران (۲۰۲۳) در آبخوان دراوا، آییگو و همکاران (۲۰۲۴) در زیرحوزه امباگاتی و تولا و دیاسا (۲۰۲۴) در حوزه آبریز امو مطابقت دارد.

نتیجه گیری

آب زیرزمینی منبعی حیاتی برای تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعت و پایداری اکوسیستم‌هاست و نقش مهمی در امنیت غذایی و زیست‌محیطی ایفا می‌کند. این منبع ارزشمند به دلیل بهره‌برداری بیش از حد و عوامل طبیعی و انسانی، با کاهش کمیت و کیفیت مواجه شده و مدیریت پایدار آن به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی حال حاضر جوامع مطرح است. کاهش میزان آب زیرزمینی، نه فقط یک مشکل فنی، بلکه یک مسئله‌ای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی است که می‌تواند پیامدهای جدی و غیرقابل جبرانی را برای نسل‌های حاضر و آینده به دنبال داشته باشد. یکی از مهم‌ترین دلایل افزایش سطح تراز آب زیرزمینی، بهره‌برداری بی‌رویه و ناپایدار از منابع آب زیرزمینی است که در پی تغییرات کاربری اراضی رخ می‌دهد. تغییرات کاربری اراضی، به‌ویژه در مناطق کشاورزی، می‌تواند تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر میزان آب زیرزمینی داشته باشد. در بسیاری از موارد، تبدیل اراضی طبیعی و جنگلی یا اراضی زراعی دیم به اراضی کشاورزی آبی، شناخت صحیح و مدیریت پایدار منابع آب را به هم می‌زند. این تغییرات باعث افزایش مصرف آب در بخش کشاورزی، تغییر در سامانه‌های آبیاری و در نتیجه افزایش عمق آب زیرزمینی می‌شود. در مطالعه حاضر، تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر سطح تراز آب زیرزمینی در دشت قروه-دهگلان، واقع در استان کردستان، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. این منطقه به خاطر اهمیت کشاورزی و منابع آب، یکی از نمونه‌های ویژه برای بررسی این تأثیرات است. در این تحقیق، از داده‌های مربوط به دو دوره اول (۱۳۷۶-۱۳۸۰) و دوم (۱۳۹۸-۱۴۰۲)، جهت مقایسه و مشاهده روند تغییرات کاربری اراضی و وضعیت منابع آب زیرزمینی استفاده شده است. در فرآیند پایش تغییرات کاربری اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۵ و لندست-۸ بهره گرفته شده است. این تصاویر با استفاده از مدل یادگیری ماشین جنگل تصادفی، تجزیه و تحلیل شدند تا بتوان تغییرات دقیق، هم‌جهت و کمی در نوع و میزان

کاربری‌ها در طول زمان را شناسایی و ترسیم کرد. این رویکرد، قابلیت پایش و ارزیابی مستمر تغییرات اراضی را فراهم می‌سازد و امکان تحلیل‌های مرتبط با تغییرات محیط زیستی و منابع آب را به شکل جامع و عمیق فراهم می‌آورد. همچنین، جهت تعیین تغییرات و نقشه‌های مکانی سطح تراز آب زیرزمینی، از آمار چاه‌های مشاهده‌ای و داده‌های موجود استفاده شد که پس از تحلیل‌های لازم، با بهره‌گیری از روش درونیابی IDW در نرم‌افزار ArcGIS، منطقه به‌صورت دقیق و قابل اعتماد پهنه‌بندی شد.

نتایج این مطالعه نشان داد که در طول ۲۶ سال، دشت قروه-دهگلان دستخوش تغییرات قابل توجه در نوع و میزان کاربری‌های اراضی شده است. به‌طور خاص، تغییر کاربری از کشاورزی دیم به کشاورزی آبی، تغییراتی مهم و قابل توجه در ساختار کاربری اراضی منطقه ایجاد کرده است. این تغییرات شامل کاهش کشاورزی دیم به میزان حدود ۱۳/۳۶ درصد و جایگزینی آن با کشاورزی آبی به میزان ۱۱/۷۴ درصد است. این فرآیند نشان‌دهنده گرایش به سمت بهره‌برداری‌های کشاورزی مدرن و بهره‌برداری بیشتر از آب‌های سطحی و زیرزمینی است. ولی درعین حال، این امر تهدیداتی همچون تخریب منابع آب زیرزمینی، افزایش عمق آب و بی‌ثباتی اراضی را به همراه دارد. بخش اعظم این تغییرات، در قسمت‌های مرکزی، غربی و جنوب غربی منطقه رخ داده است که به‌وضوح نشان می‌دهد این قسمت‌ها بیشترین فشار را بر منابع آب زیرزمینی وارد کرده‌اند. روند نزولی سطح آب زیرزمینی در این مناطق به‌سرعت افزایش‌یافته که نتیجه مستقیم تغییر کاربری‌ها و بهره‌برداری ناپایدار از منابع آب زیرزمینی است. در مجموع، این مطالعه نشان می‌دهد که تغییرات ناپایدار در کاربری اراضی و بهره‌برداری ناپایدار از منابع آب زیرزمینی، یک چرخه معیوب است که نیازمند مدیریت استراتژیک، برنامه‌ریزی دقیق و سیاست‌گذاری‌های هوشمندانه در حوزه آب و کشاورزی است. در صورت ادامه روند فعلی، خطرات جدی در کمبود آب و کاهش پایداری اکوسیستم‌های منطقه احساس خواهد شد که ضرورت اقدام

اصولی و جامع را بیش از پیش نشان می‌دهد. از این رو، برای جلوگیری از بروز فاجعه‌های زیست‌محیطی و تضمین آینده‌ای پایدار، برنامه‌ریزی حفاظت و مدیریت منطقی منابع آب زیرزمینی امری اجتناب‌ناپذیر است.

پیشنهادهای

در مجموع، این پژوهش تأکید دارد که بهره‌برداری ناپایدار و تغییرات نامناسب کاربری اراضی، افت منابع آب زیرزمینی و تخریب سطح سرزمین را در منطقه به دنبال دارد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود:

- اصلاح الگوی کشت بر مبنای ظرفیت‌های اقلیمی و منابع آب تجدیدپذیر منطقه، از طریق جایگزینی محصولات پرمصرف آبی با گونه‌های کم‌آب‌بر و مقاوم به خشکی و همچنین تنوع بخشی به الگوی کشت به منظور افزایش بهره‌وری آب و کاهش فشار بر منابع زیرزمینی منطقه مذکور.

- توسعه سامانه‌های آبیاری با راندمان بالا (مانند آبیاری تحت فشار هوشمند و قطره‌ای کنترل شده) همراه با آموزش بهره‌برداران در خصوص مدیریت صحیح منابع آب.

- کنترل و پایش تغییر کاربری اراضی از طریق

ابزارهای نظارتی و قانونی، به‌ویژه جلوگیری از تبدیل غیرمعتقول اراضی مرتعی و دیم به اراضی آبی.

- تقویت مدیریت مشارکتی منابع آب با دخالت دادن جوامع محلی، کشاورزان و نهادهای تصمیم‌گیر در سیاست‌گذاری و اجرای طرح‌های تعادل‌بخشی.

- استفاده از روش‌های کشاورزی حفاظتی (Conservation Agriculture)، کشت گلخانه‌ای و تکنیک‌های آبیاری دقیق (Precision Irrigation) برای افزایش بهره‌وری مصرف آب.

- بهره‌گیری از پساب تصفیه‌شده شهری، کشاورزی، آبی‌پروری و صنعتی برای مصارف کشاورزی و فضای سبز، با رعایت استانداردهای کیفی، به‌منظور کاهش فشار بر منابع آب زیرزمینی.

اجرای این اقدامات می‌تواند به مهار روند افت منابع آب زیرزمینی، جلوگیری از تخریب سرزمین و تضمین پایداری زیست‌محیطی و امنیت آبی دشت قروه- دهگلان کمک کند.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید نویسندگان مقاله است.

فهرست منابع

۱. اسکندری دامنه، حامد، زهتابیان، غلامرضا، سلاجقه، علی، قربانی، مهدی و خسروی، حسن، (۱۳۹۷). تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی حوضه غرب تالاب جازموریان. نشریه مرتع و آبخیزداری. ۷۱(۳)، صص. ۵۶۳-۵۷۸. doi: 10.22059/jrwm.2018.257186.1259
۲. طهماسبی، پیمان، دالوند، فاطمه، حسینی، سید ابوالفضل، کریمی، بختیار، و قدرشناس، هیرش، (۱۴۰۳). بررسی مقایسه‌ای کارایی انرژی دو سامانه آبیاری بارانی در کشت گندم (مطالعه موردی: دشت‌های دهگلان، استان کردستان). آب و خاک ۳۸(۶)، صص. ۶۸۳-۶۹۷. doi: 10.22067/jsw.2025.90134.1439
۳. طهماسبی، پیمان، مقدم‌نیا، آرمان، گل محمدی قانع، پگاه، فتحی، آرام، کریمی، بختیار و قدرشناس، هیرش، (۱۴۰۴). ارزیابی کارایی انرژی مصرفی مزارع سیب‌زمینی و گندم تحت سامانه آبیاری بارانی (مطالعه موردی: پایاب سد مخزنی سورال، استان کردستان)، نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۵(۳)، صص. ۱۹-۳۷. doi: 10.22125/iwe.2025.501965.1852
۴. یوسفی مبرهن، ابراهیم و زندی فر، سمیرا، (۱۴۰۲). پهنه‌بندی تغییرات افت سطح آب زیرزمینی و پایش زمانی

خشک‌سالی در دشت قروه-دهگلان. سامانه‌های سطوح آبیگر باران. ۱۱(۱)، صص. ۳۵-۱۷.

5. Asadollahi, A., VB, M.K., Ghimire, A.B., Poudel, B. and Shin, S., 2024. The impact of climate change and urbanization on groundwater levels: A system dynamics model analysis. *Environmental Protection Research*, pp.1-15.
6. Ashaolu, E.D., Olorunfemi, J.F. and Ifabiyi, I.P., 2019. Effect of land use/land cover change on groundwater recharge in Osun Drainage Basin, Nigeria. *Journal of geology, geography and geoecology*, 28(3), pp.381-394.
<https://doi.org/10.15421/111936>
7. Ayieko, A., Moses, G., Godfrey, M., Kimwatu, D. and Mwangi, A., 2024. Spatial modeling of groundwater across land use land cover and climate change gradient using SWAT and Logan's method: a case study of Mbagathi sub-catchment. *Modeling Earth Systems and Environment*, 10(1), pp.285-301.
8. Bronstert, A., 2004. Rainfall-runoff modelling for assessing impacts of climate and land-use change. *Hydrological Processes*, 18(3), pp.567-570.
<https://doi.org/10.1002/hyp.5500>
9. Congalton, R.G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote sensing of environment*, 37(1), pp.35-46.
[https://doi.org/10.1016/00344257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/00344257(91)90048-B)
10. Devia, G.K., Ganasri, B.P. and Dwarakish, G.S., 2015. A review on hydrological models. *Aquatic procedia*, 4, pp.1001-1007.
<https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.126>
11. Dias, L.C.P., Macedo, M.N., Costa, M.H., Coe, M.T. and Neill, C., 2015. Effects of land cover change on evapotranspiration and streamflow of small catchments in the Upper Xingu River Basin, Central Brazil. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, pp.108-122.
12. Takala, W., Adugna, T. and Tamam, D., 2016. The effects of land use land cover change on hydrological process of Gilgel Gibe, Omo Gibe Basin, Ethiopia. *Int. J. Sci. Eng. Res*, 7(8), pp.117-128.
13. Ellis, E. and Pontius, R., 2007. Land-use and land-cover change. *Encyclopedia of earth*, 1, pp.1-4.
14. Elmahdy, S.I. and Mohamed, M.M., 2015. Automatic detection of near surface geological and hydrological features and investigating their influence on groundwater accumulation and salinity in southwest Egypt using remote sensing and GIS. *Geocarto International*, 30(2), pp.132-144.
15. Elmahdy, S.I. and Mohamed, M.M., 2016. Factors controlling the changes and spatial variability of *Junipers phoenicea* in Jabal Al Akhdar, Libya, using remote sensing and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(6), pp.478.
16. Elmahdy, S.I. and Mohamed, M.M., 2013. Influence of geological structures on groundwater accumulation and groundwater salinity in Musandam Peninsula, UAE and Oman. *Geocarto International*, 28(5), pp.453-472.
17. FAO. (2016). Global diagnostic on groundwater governance (p. 210). FAO, Rome, Italy (Retrieved from). **<https://www.fao.org/documents/card/en/c/be747191-6523-3b-8e97-54db762032a7/>**.
18. Foga, S., Scaramuzza, P.L., Guo, S., Zhu, Z., Dilley Jr, R.D., Beckmann, T., Schmidt, G.L., Dwyer, J.L., Hughes, M.J. and Laue, B., 2017. Cloud detection algorithm comparison and validation for operational Landsat data products. *Remote sensing of environment*, 194, pp.379-390.
19. Gleeson, T., Befus, K.M., Jasechko, S., Luijendijk, E. and Cardenas, M.B., 2016. The global volume and distribution of modern groundwater. *Nature geoscience*, 9(2), pp.161-167.
20. Haddeland, I., Heinke, J., Biemans, H., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Konzmann, M., Ludwig, F., Masaki, Y., Schewe, J. and Stacke, T., 2014. Global water resources affected by human interventions and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), pp.3251-3256.
21. Hussain, S., Wang, Y., Awais, M., Sajjad, M.M., Ejaz, N., Javed, U., Waqas, M., Zhe, X.

- and Iqbal, J., 2024. Integrated assessment of groundwater quality dynamics and Land use/land cover changes in rapidly urbanizing semi-arid region. *Environmental Research*, 260, p.119622.
22. Immerzeel, W., 2008. Historical trends and future predictions of climate variability in the Brahmaputra basin. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 28(2), pp.243-254.
23. Lindquist, L.W., Palmquist, K.A., Jordan, S.E. and Lauenroth, W.K., 2019. Impacts of climate change on groundwater recharge in Wyoming big sagebrush ecosystems are contingent on elevation. *Western North American Naturalist*, 79(1), pp.37-48.
24. Mengistu, T.D., Chung, I.M., Kim, M.G., Chang, S.W. and Lee, J.E., 2022. Impacts and implications of land use land cover dynamics on groundwater recharge and surface runoff in East African Watershed. *Water*, 14(13), p.2068.
<https://doi.org/10.3390/w14132068>
25. Ministry of Environment and Water (MEW). UAE State of Environment Report; Ministry of Environment and Water (MEW): Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2015.
26. Mohamed, M.M. and Elmahdy, S., 2018. Land use/land cover changes monitoring and analysis of Dubai Emirate, UAE using multi-temporal remote sensing data. *EPiC Series in Engineering*, 3, pp.1435-1443.
27. Mohamed, Mohamed Mostafa, and Samy Ismail Elmahdy. "Natural and anthropogenic factors affecting groundwater quality in the eastern region of the United Arab Emirates." *Arabian Journal of Geosciences* 8, no. 9 (2015): 7409-7423.
28. Nas, B. and Berktaş, A., 2010. Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. *Environmental monitoring and assessment*, 160(1), pp.215-227.
29. Nóbrega, R.L., Guzha, A.C., Lamparter, G., Amorim, R.S., Couto, E.G., Hughes, H.J., Jungkunst, H.F. and Gerold, G., 2018. Impacts of land-use and land-cover change on stream hydrochemistry in the Cerrado and Amazon biomes. *Science of the Total Environment*, 635, pp.259-274.
30. Patra, S., Sahoo, S., Mishra, P. and Mahapatra, S.C., 2018. Impacts of urbanization on land use/cover changes and its probable implications on local climate and groundwater level. *Journal of urban management*, 7(2), pp.70-84.
31. Salem, A., Abduljaleel, Y., Dezső, J. and Lóczy, D., 2023. Integrated assessment of the impact of land use changes on groundwater recharge and groundwater level in the Drava floodplain, Hungary. *Scientific Reports*, 13(1), p.5061.
32. Sanford, W., 2002. Recharge and groundwater models: an overview. *Hydrogeology journal*, 10(1), pp.110-120.
<https://doi.org/10.1007/s10040-001-0173-5>
33. Siddik, M.S., Tulip, S.S., Rahman, A., Islam, M.N., Haghighi, A.T. and Mustafa, S.M.T., 2022. The impact of land use and land cover change on groundwater recharge in northwestern Bangladesh. *Journal of Environmental Management*, 315, p.115130.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115130>
34. Siebert, J. Burke, J.M. Faures, K. Frenken, J. Hoogeveen, P.D.öll, and F.T. Portmann, 2010 *global gw inventory*. https://www.academia.edu/4351439/Siebert_et_al_2010_global_gw_inventory.
35. Simmers, I., 1997. Recharge of Phreatic Aquifers in (Semi-) Arid Areas. In: IAH Int. Contrib. Hydrogeol, 19. AA Balkema, Rotterdam, p. 277.
36. Takele, G.S., Gebre, G.S., Gebremariam, A.G. and Engida, A.N., 2022. Hydrological modeling in the Upper Blue Nile basin using soil and water analysis tool (SWAT). *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(1), pp.277-292.
37. Temesgen, G., Amare, B. and Abraham, M., 2014. Evaluations of land use/land cover changes and land degradation in Dera district, Ethiopia: GIS and remote sensing based analysis. *Int J Sci Res Environ Sci*, 2(6), pp.199-208.
38. Tian, S., Zhang, X., Tian, J. and Sun, Q., 2016. Random forest classification of wetland landcovers from multi-sensor data in the arid region of Xinjiang, China. *Remote Sensing*, 8(11), p.954.
39. Tikuye, B.G., Rusnak, M., Manjunatha, B.R. and Jose, J., 2023. Land use and land cover

- change detection using the random forest approach: the case of the Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia. *Global Challenges*, 7(10), p.2300155.
40. Tola, B. and Deyassa, G., 2024. A modeling approach for evaluating and predicting the impacts of land use land cover changes on groundwater recharge in Walga Watershed, Upper Omo Basin, Central Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 51, p.101659.
41. Tong, S., Liu, A., 2006. Modelling the hydrologic effects of land-use and climate changes. *Int. J. Risk Assess. Manag. - Int. J. Risk Assess. Manag.* 6, pp. 344–368.
<https://doi.org/10.1504/IJRAM.2006.009543>
42. Vogelmann, J.E., Gallant, A.L., Shi, H. and Zhu, Z., 2016. Perspectives on monitoring gradual change across the continuity of Landsat sensors using time-series data. *Remote Sensing of Environment*, 185, pp.258-270.
43. Vorosmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J. and Lammers, R.B., 2000. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science*, 289(5477), pp.284-288.
<https://doi.org/10.1126/science.289.5477.284>
44. Wang, S., Kang, S., Zhang, L. and Li, F., 2008. Modelling hydrological response to different land-use and climate change scenarios in the Zamu River basin of northwest China. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(14), pp.2502-2510.
<https://doi.org/10.1002/HYP.6846>
45. Warku, F., Korme, T., Wedajo, G.K. and Nedow, D., 2022. Impacts of land use/cover change and climate variability on groundwater recharge for upper Gibe watershed, Ethiopia. *Sustainable Water Resources Management*, 8(1), p.2.
<https://doi.org/10.1007/s40899-021-00588-8>
46. Weber, H. and Sciubba, J.D., 2019. The effect of population growth on the environment: evidence from European regions. *European Journal of population*, 35(2), pp.379-402.
47. Wingate, V., 2015. Mapping decadal land cover changes in the woodlands of north eastern Namibia.
48. Yanda, P.Z. and Munishi, P.K.T., 2007. Hydrologic and land use/cover change analysis for the Ruvu River (Uluguru) and Sigi River (East Usambara) watersheds. *For WWF/CARE Dar es Salaam, Tanzania*.