



Assessment of the impacts of land-use change through monitoring actual evapotranspiration in future periods (Case study: Varamin plain)

Behzad Azadegan¹ | Zahra Moslemi² | Ali Reza Massah Bavani³

1. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology (Aburihan), University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: bazad@ut.ac.ir
2. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology (Aburihan), University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: Zashra.moslemi11@ut.ac
3. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology (Aburihan), University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: armassah@ut.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received 8 July 2026 Received in revised form 28 July 2026 Accepted 19 August 2026 Published online 22 August 2026 Keywords: <i>Actual evapotranspiration</i> <i>Algorithm</i> <i>Land-use change</i> <i>Remote sensing</i>	The objective of this study was to assess the impacts of land-use change by monitoring actual evapotranspiration in future periods in the Varamin Plain. Evapotranspiration was investigated from May to August during 2007–2009 using four single-source remote-sensing algorithms: the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL), Mapping Evapotranspiration at High Resolution with Internalized Calibration (METRIC), the Surface Energy Balance System (SEBS), and the Simplified Surface Energy Balance (SSEB), together with MODIS sensor imagery. To evaluate the effects of land-use change, Landsat images from 1999, 2009, and 2019 were classified using the maximum likelihood algorithm. The corresponding Kappa coefficients were 0.807, 0.837, and 0.801, respectively, with classification accuracies of 87.12%, 90.49%, and 99.88%. The land-use classes included water bodies, vegetation cover, rocky areas, built-up areas, barren lands, and agricultural lands. Using the Land Change Modeler (LCM) and the integrated Cellular Automata–Markov Chain (CA–Markov) model, land-use maps for 2030 and 2059 were simulated. The results showed a declining trend in agricultural land area, from 44.8 thousand hectares in 1999 to 39.3 thousand hectares in 2009 and 38.6 thousand hectares in 2019. Urban, rural, and industrial areas exhibited an increasing trend: these land uses covered 6.57% of the total study area in 1999, increasing to 18.48% by 2019. Rangeland vegetations cover also declined, from 14.9 thousand hectares in 1999 to 11.6 thousand hectares in 2009 and 6.4 thousand hectares in 2019. Based on the data results, an increasing trend is predicted for land use change and actual evapotranspiration in future periods.

Cite this article: Azadegan, B., Moslemi, Z., & Massah Bavani, A. R. (2026). Assessment of the impacts of land-use change through monitoring actual evapotranspiration in future periods (Case study: Varamin plain). *Journal of Water and Irrigation Management*, 16 (2), 447-460. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2026.418148.1320>





ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی با پایش تبخیر-تعرق واقعی در دوره‌های آبی (مطالعه موردی: دشت ورامین)

بهزاد آزادگان^۱ | زهرا مسلمی^۲ | علیرضا مساح بوانی^۳

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی (ابوریحان)، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: bazad@ut.ac.ir

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی (ابوریحان)، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: Zashra.moslemi11@ut.ac

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی (ابوریحان)، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: armassah@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۸ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۵/۳۱ کلیدواژه‌ها: تغییر کاربری اراضی الگوریتم سنجش از دور تبخیر-تعرق واقعی	هدف این پژوهش، ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی، با پایش تبخیر-تعرق واقعی، در دوره‌های آبی دشت ورامین، می‌باشد. تبخیر-تعرق، با چهار الگوریتم تک‌منبعی سنجش از دور: تعادل انرژی سطحی زمین (SEBAL)، نقشه‌برداری تبخیر-تعرق در وضوح بالا با کالیبراسیون داخلی (METRIC)، سیستم تعادل انرژی سطحی (SEBS)، تراز انرژی سطحی ساده‌شده (SSEB) و تصاویر سنجنده MODIS، از ماه می تا آگوست سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۷، بررسی شد. اثر تغییر کاربری اراضی تصاویر Landsat سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ با الگوریتم حداکثر احتمال و ضریب کاپا، به ترتیب ۰/۸۳۷، ۰/۸۰۱ و ۰/۸۰۱ و دقت ۸۷/۱۲، ۹۰/۴۹ و ۸۸/۹۹ درصد، به کاربری پهنه‌های آب، پوشش گیاهی، صخره، مناطق ساخته‌شده، اراضی بایر و اراضی کشاورزی، طبقه‌بندی و با مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM) و مدل تلفیقی اتوماتای سلولی-زنجیره مارکوف (CA-Markov)، نقشه کاربری اراضی سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۹، شبیه‌سازی، گردید. نتایج نشان داد، کاربری اراضی کشاورزی، از مساحت ۴۴/۸ هزارهکتار در سال ۱۹۹۹ به ۳۹/۳ هزارهکتار در سال ۲۰۰۹ و به ۳۸/۶ هزارهکتار در سال ۲۰۱۹، کاهش یافت. وسعت کاربری مناطق شهری، روستایی و صنعتی در سال ۱۹۹۹، مقدار ۶/۵۷ درصد از کل منطقه بوده است، اما در سال ۲۰۱۹ به ۱۸/۴۸ درصد افزایش یافت. کاربری پوشش گیاهی مرتعی از مقدار ۱۴/۹ هزارهکتار در سال ۱۹۹۹ به ۱۱/۶ هزارهکتار در سال ۲۰۰۹ و به ۶/۴ هزارهکتار در سال ۲۰۱۹، کاهش یافت. براساس نتایج داده‌ها، برای تغییر کاربری اراضی و تبخیر-تعرق واقعی دوره‌های آبی، روند افزایشی، پیش‌بینی می‌شود.

استناد: آزادگان، بهزاد؛ مسلمی، زهرا و مساح بوانی، علیرضا (۱۴۰۵). ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی با پایش تبخیر-تعرق واقعی در دوره‌های آبی (مطالعه موردی: دشت ورامین). نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۶ (۲)، ۴۴۷-۴۶۰. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2026.418148.1320>



۱. مقدمه

تبخیر-تعرق واقعی یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان آب و انرژی در سطح زمین است. این فرایند، پیوند میان بیلان انرژی سطح و چرخه هیدرولوژیکی را برقرار می‌کند، از اجزای چرخه هیدرولوژیک و از فرایندهای فیزیکی سطح زمین می‌باشد که در اثر تغییرات اقلیم و کاربری اراضی تغییر می‌کند و برای مدیریت کارآمد آب آبیاری، اهمیت زیادی دارد (Jahangir *et al.*, 2020). تبخیر-تعرق واقعی (ETA)^۱، پدیده‌ای است که در آن تقاضای محصول برای آب بیش‌تر از طریق وضعیت برگ‌ها و روزنه‌های گیاه، شرایط اقلیمی، تنش‌های محیطی و ویژگی‌های خاک کنترل می‌شود (Pavanelli *et al.*, 2014). تغییر اقلیم، برای مدیریت منابع آب در کشورهای خشک و نیمه‌خشک و کمبود آب، یک چالش جدی در توسعه پایدار است پژوهش‌های آینده باید سناریوهای پویای کاربری زمین و کشت، محدودیت رطوبت خاک و دوره‌های طولانی‌تر اعتبارسنجی را در مدل‌سازی لحاظ کنند (Doost *et al.*, 2025). اثرات تغییر کاربری اراضی کشاورزی باعث کاهش پتانسیل توان تولیدی خاک، کاهش حاصل‌خیزی، تجمع رسوب در کانال‌های آب، آلودگی خاک و منابع آب، کاهش سرعت نفوذ آب، افزایش رواناب، فرسایش خاک، شوری و تخریب خاک می‌گردد (Lazaro *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2024). تخمین تبخیر-تعرق واقعی به متغیرهای مختلف هیدرولوژیکی خاک، گیاهی-فیزیولوژیکی و هواشناسی، بستگی دارد (Christou *et al.*, 2017). زمین و منابع طبیعی اجزای اساسی یک اکوسیستم هستند که عملکردهای اجتماعی-اقتصادی و اکولوژیکی را برای انسان فراهم می‌کنند (Gessesse *et al.*, 2015). با گذشت زمان تغییراتی در کاربری/پوشش اراضی در سطوح محلی، منطقه‌ای و جهانی رخ می‌دهد که بر توپوگرافی، توزیع خاک و اکولوژی، تأثیر می‌گذارد و منجر به تغییر در ویژگی‌ها و فرایندهای هیدرولوژیکی می‌شود (Awotwi *et al.*, 2015). نتایج پژوهشی نشان داد، تغییر کاربری اراضی سبب افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک، کاهش پایداری خاکدانه‌ها هدایت هیدرولیکی و مواد آلی خاک گردیده است (Kizilkaya & Dengi, 2010). در اثر تغییر کاربری اراضی کشاورزی به کاربری شهری، وضعیت کیفی آب نامطلوب شده و باعث کاهش شدید کیفیت منابع آب، می‌گردد (Chessman & Townsend, 2010). شناخت آثار تغییر کاربری اراضی حوضه آبخیز، در تعیین استراتژی مناسب تغییرات پوشش و کاربری زمین در اقلیم و بیوسفر تأثیر مستقیمی دارند (Afzal & Ragab, 2020; Montesinos *et al.*, 2026). تغییر کاربری اراضی سبب فرسایش خاک، تخریب پوشش گیاهی، کاهش تنوع زیستی، بیابان‌زایی و تهدید امنیت غذایی گردد (Mahmoud *et al.*, 2023). شناسایی روند تغییرات کاربری اراضی و پوشش سطحی، دانش سنجش از دور و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای در بازه‌های زمانی مختلف امکان مشاهده تغییرات اقلیمی، تحلیل و تفسیر تغییرات کاربری اراضی را تسهیل می‌کند (Han *et al.*, 2009; Fu *et al.*, 2025). پژوهش‌گران، بر این باورند که کاهش مساحت زمین‌های زراعی حومه‌ای، تخریب پوشش گیاهی و افزایش دمای سطحی زمین در مناطق شهری پیامدهای منفی توسعه شهری هستند (Moutrakis *et al.*, 2011). تغییر کاربری اراضی کشاورزی به کاربری مناطق شهری باعث تغییر شرایط هیدرولوژی طبیعی در حوضه آبخیز، افزایش حجم رواناب سطحی، کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی و آب پایه رودخانه‌ها و تغییر در مقدار فرسایش و رسوب می‌گردد (Ghaffari *et al.*, 2010; Fakhari & Kaviani, 2024). تغییر کاربری اراضی، عامل کنترل‌کننده واکنش‌های هیدرولوژیکی، تغییر اقلیم نتیجه اثر ترکیبی فعالیت‌های انسانی و تغییرات طبیعی محیطی است و نقش مهمی در تغییرات محیطی جهانی و توسعه پایدار دارد (Berihun *et al.*, 2019; Liu & Hu, 2019). در سال‌های اخیر، توسعه فناوری سنجش از دور ماهواره‌ای نظارت بر پوشش گیاهی سطح و رطوبت سطحی خاک استفاده از داده‌های سنجش از دور تشخیص نوع کاربری اراضی را آسان‌تر کرده است

(Li et al., 2021; Puttinaovar et al., 2025) با توجه به این که بخش وسیعی از اراضی کشاورزی در سال‌های اخیر تغییر کاربری داده شده‌اند، منابع آب در سراسر جهان به دلیل رشد جمعیت، تغییرات کاربری اراضی و تغییرات اقلیمی تحت فشار قرار دارند (Murray et al., 2012). نتایج پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم و کاربری زمین بر تبخیر-تعرق واقعی در حوضه رودخانه نارمادا در هند، نشان‌دهنده تغییر در ETa فصلی با تغییر کاربری زمین است. ETa بالا در مناطق جنگلی و زمین‌های زراعی گزارش شده است (Kundu et al., 2018). کاهش ETa، در زمین‌های زراعی پس از برداشت محصول، اثرات ترکیبی استفاده از زمین و تغییرات اقلیمی، نشان‌دهنده کاهش ETa در سال‌های آتی است (Lu et al., 2024). نتایج ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی کاربری اراضی و تأثیر آن بر پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه آبریز رودخانه Chongwe نشان داد وسعت اراضی آبی در مزارع/مراعت/علفزار دیم/جنگل، باعث کاهش بدنه‌های آبی و کاهش تبخیر-تعرق واقعی سالانه از ۸۴۰/۶ به ۷۹۶/۳ میلی‌متر و افزایش برداشت سالانه آب از ۸/۹۴ به ۲۳/۲ میلی‌متر می‌شود (Tena et al., 2019). تغییرات کاربری اراضی اثرات نامطلوبی بر اجزای هیدرولوژیکی حوضه آبخیز، تبخیر-تعرق و منابع آب داشته است (Banjara et al., 2024). نتایج اثرات تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی بر پاسخ‌های هیدرولوژیکی در حوضه آبریز Bilate اتیوپی نشان داد که اثرات مشترک تغییرات اقلیم و کاربری اراضی بر پاسخ‌های هیدرولوژیکی در آینده بیش‌تر از روند تغییرات آن‌ها به‌تنهایی می‌باشد (Kuma, et al., 2021). پژوهش‌گران همبستگی مکانی و زمانی بین تبخیر-تعرق واقعی به‌دست به‌دست‌آمده از الگوریتم سیستم تعادل انرژی سطحی (SEBS)^۲ و کاربری و پوشش زمین در حوضه دریاچه ارومیه را از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ بررسی نمودند. براساس طبقه‌بندی، علفزار از ۴۳ درصد به ۴۱ درصد، زمین‌های زراعی از ۱۷ درصد به ۱۵ درصد، بدنه‌های آبی از ۴ درصد به ۵ درصد و تالاب از ۲ به ۱/۵ درصد تغییر کرده است (Khoshnood et al., 2023). اولین ارزیابی در مقیاس ملی از اثرات تغییر کاربری و پوشش زمین (LULC) بر رواناب و خشک‌سالی هیدرولوژیکی در ۵۷۶ حوزه آبخیز ایران (۴۱۰,۰۰۰ کیلومترمربع) از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ را با استفاده از ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT+) انجام گردید، در این تجزیه و تحلیل از یک چارچوب جدید SWAT+ استفاده می‌شود که واسنجی‌های خاص محصول (مانند گندم، جو و برنج) و مداخلات انسانی (آبیاری، عملیات مخزن، انحراف بین حوضه‌ای) را با هم تلفیق می‌کند (Jahanshahi et al., 2025; Ahmadzadeh et al., 2022). هدف این پژوهش، ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی با پایش تبخیر-تعرق واقعی در دوره‌های آتی دشت ورامین، می‌باشد که در سال ۱۴۰۳ در دانشکده فناوری کشاورزی (دانشگاه تهران) اجرا شده است.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

دشت ورامین، در فاصله ۴۵-۴۰ کیلومتری جنوب تا جنوب‌شرقی استان تهران و بین دامنه‌های کوهستان البرز و نمک‌زارهای دشت کویر، با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و در ارتفاع تقریبی ۱۰۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). این دشت با وسعت بیش از ۱۵۰ هزارهکتار، از نظر اقلیمی در تقسیمات آب‌وهوایی خشک تا نیمه‌خشک قرار دارد. از ویژگی‌های آن بارندگی کم، گرمای زیاد و دوره‌های خشک طولانی است. میانگین سالانه بارندگی ۱۵۰-۱۴۰ میلی‌متر و میانگین روزانه دما ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

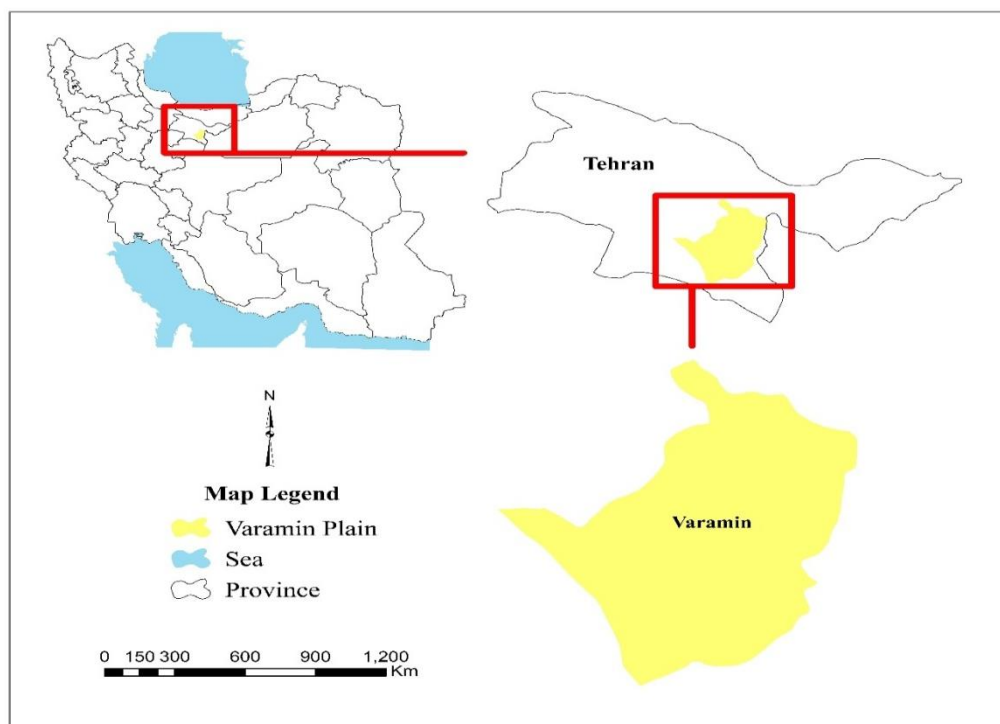


Figure 1. Location Map of the Varamin Plain

۲.۲. روش پژوهش

در این پژوهش از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی فرودگاه‌های امام خمینی و مهرآباد، شهرستان‌های ری و ورامین (۱۳۹۹-۱۴۰۱) استفاده گردید. تبخیر-تعرق با چهار الگوریتم تک‌منبعی سنجش از دور: تعادل انرژی سطحی زمین (SEBAL)^۳، نقشه‌برداری تبخیر-تعرق در وضوح بالا با کالیبراسیون داخلی (METRIC)^۴، سیستم تعادل انرژی سطحی (SEBS)، تراز انرژی سطحی ساده‌شده (SSEB)^۵ و پرتوسنج طیفی تصویربرداری با توان تفکیک متوسط (MODIS)^۶ از ماه می تا آگوست سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۹ بررسی گردید. با بازدیدهای میدانی و شناخت کافی از منطقه، مصاحبه با کشاورزان محلی و کارشناسان بومی، وضعیت‌های ایجادشده و فشارهای واردشده بر محیط‌های انسانی و محیط‌های طبیعی منطقه در اثر تغییر کاربری اراضی و معیارهای مطالعاتی مربوط به آن در مطالعات گذشته دشت ورامین پژوهش شد. از مدل منطق بولین (Boolean)، برای تلفیق اطلاعات در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های کاربری اراضی و نرم‌افزارهای GIS^۷ و ENVI استفاده گردید. در این مدل نقشه‌های ورودی به‌صورت اعداد صفر و یک تعریف می‌شوند. عدد یک، در هر واحد پیکسلی از یک نقشه ورودی نشان‌دهنده مناسب بودن و عدد صفر نشان‌دهنده نامناسب بودن آن پیکسل است. نقشه‌های ورودی با استفاده از اپراتورهای منطقی OR، AND، XOR و NOT با یکدیگر تلفیق شده و نقشه خروجی را به‌وجود می‌آورند. پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست با طبقه‌بندی تصاویر از روش نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال با سایر نقشه‌های موجود به‌کمک نرم‌افزار ENVI و کاربری اراضی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) روشی مناسب برای بررسی تغییرات کاربری اراضی است. در این پژوهش از نرم‌افزارهای تخصصی ENVI، ILWIS، TerrSet، ArcGIS، نرم‌افزار آماری Minitab و نرم‌افزارهای Google Earth و صفحه گسترده Excel استفاده شده است. نمودار روش پژوهش در شکل (۲) ترسیم و ارائه شده است.

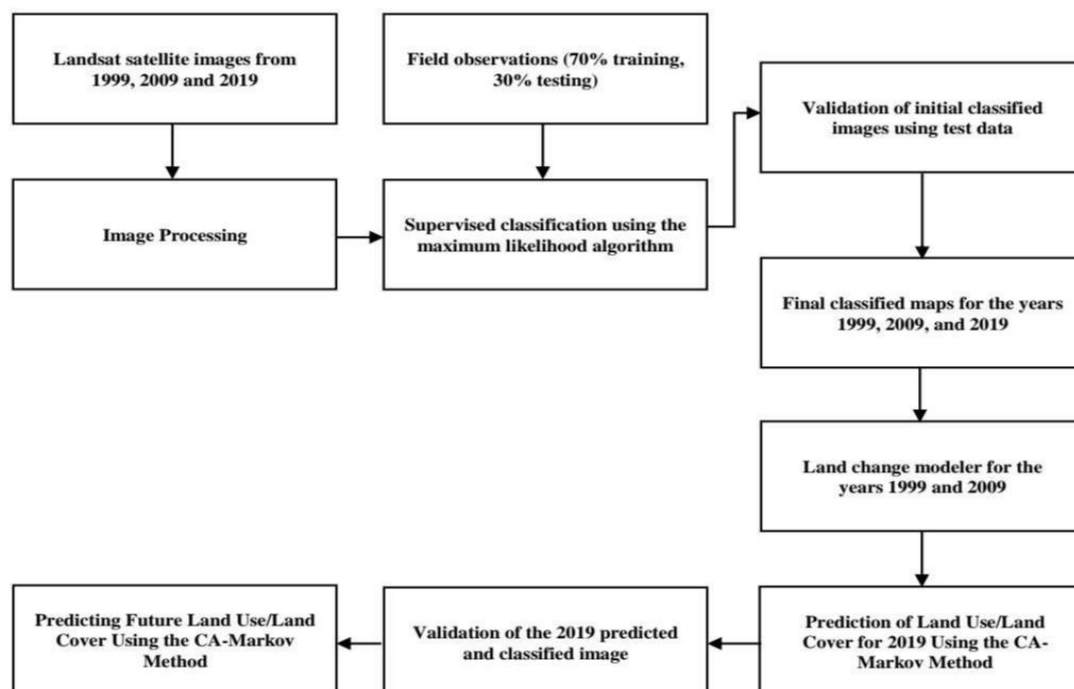


Figure 2. Flowchart of change land use research method

۳. نتایج و بحث

۳.۱. مدل سازی تغییرات کاربری اراضی

تغییر کاربری/ پوشش اراضی مانند تغییرپذیری آب و هوا عامل اصلی کنترل کننده واکنش های هیدرولوژیکی می باشد (Berihun *et al.*, 2019). تغییر کاربری/پوشش اراضی نتیجه اثر ترکیبی فعالیت های انسانی و تغییرات طبیعی محیطی است که نقش مهمی در تغییرات محیطی جهانی و توسعه پایدار کشاورزی دارد (Liu & Hu, 2019). در سال های اخیر، توسعه فناوری سنجش از دور ماهواره ای، نظارت بر پوشش گیاهی سطح و نوع سطح زمین را امکان پذیر کرده است. بنابراین، منطقی است که از داده های سنجش از دور، برای بررسی تأثیر نوع کاربری زمین بر تبخیر-تعرق واقعی، استفاده شود (Li *et al.*, 2021).

۳.۲. تهیه نقشه های کاربری اراضی

به منظور پیش بینی تغییرات کاربری اراضی لازم است از تصاویر ماهواره ای مقاطع مختلف زمانی استفاده گردد. در این پژوهش، برای تهیه نقشه های کاربری اراضی از تصاویر سال های ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ ماهواره Landsat استفاده گردید (جدول ۱). تصاویر اخذ شده از ماهواره لندست (Landsat) از نوع مجموعه دو (Collection2) سطح یک (Level1) بودند که بر روی آن ها تصحیحات رادیومتریکی و تصحیحات اتمسفری انجام شده است.

Table 1. Characteristics of satellite images used to prepare land use maps, <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Satellite type	Sensor	Pass number	Row number	Imaging time
Landsat 5	TM	035&036	164	June 6, 1999
Landsat 5	TM	035&036	164	June 1, 2009
Landsat 8	OLI	035&036	164	June 13, 2019

پس از موزاییک کردن دو تصویر دانلودشده برای هر تاریخ و برش تصویر به اندازه وسعت محدوده مورد مطالعه به منظور حذف خطاهای تصویر، تصحیحات اتمسفری در نرم افزار ENVI بر روی تصاویر انجام شد. سپس با ایجاد ترکیب باندی کاذب، جهت تشخیص بهتر عوارض و پدیده‌ها و برداشت نقاط نمونه با کمک Google Earth (۷۰ درصد آموزشی و ۳۰ درصد آزمایشی) تصاویر با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال و نقاط آموزشی در نرم افزار ENVI، به شش کاربری شامل اراضی کشاورزی، اراضی پوشش گیاهی، اراضی بایر، مناطق ساخته شده، صخره و پهنه‌های آب طبقه‌بندی شدند. از روش حداکثر احتمال در بین روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده به عنوان دقیق ترین و پراستفاده ترین روش یاد می‌شود. پس از تهیه نقشه‌های کاربری نتایج با استفاده از ۳۰ درصد نمونه آزمایشی توسط ماتریس خطا و ضریب کاپا ارزیابی و صحت سنجی گردید.

۳.۳. تجزیه و تحلیل تغییرات

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی، برای تجزیه و تحلیل‌های محیط زیست، برنامه‌ریزی و مدیریت حوضه‌ها ضروری است (Abdollahi et al., 2020). در این پژوهش از نقشه‌های کاربری اراضی تولیدشده برای بررسی تغییرات پوشش زمین سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۹۹ از مدل ساز تغییر سرزمین (LCM)^۱ در محیط نرم افزار TerrSet استفاده شد.

۳.۴. مدل سازی پتانسیل انتقال کاربری‌ها

مدل ساز تغییر زمین (LCM)، یک سیستم برنامه‌ریزی و پشتیبانی تصمیم است که به طور کامل در نرم افزار TerrSet ادغام شده است. این مدل ساز، پیچیدگی‌های تجزیه و تحلیل تغییرات را ساده نموده و امکان شبیه سازی تغییر کاربری اراضی در آینده را فراهم می‌کند. برای مدل سازی پتانسیل انتقال کاربری‌ها در مدل ساز تغییر زمین (LCM) به دو نقشه کاربری اراضی به عنوان ورودی مدل نیاز است. همچنین، نیاز به انتخاب زیرمدل و متغیرهای محرک می‌باشد. در این پژوهش از نه متغیر مدل رقومی ارتفاع (DEM)^۲، شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از مناطق شهری-روستایی، فاصله از مزرعه، فاصله از پوشش گیاهی و نقشه کیفی تغییرات استفاده گردید. اکثر متغیرها به استثنای متغیر نقشه کیفی متغیرهای کمی هستند. نقشه کیفی با استفاده از ابزار تغییر شکل احتمال (Evidence Likelihood) و نقشه کاربری اراضی قدیمی تر در ورودی مدل تولید شد. این متغیرها با ضریب Cramer's V که نشان دهنده میزان ارتباط بین متغیرها و طبقات کاربری اراضی می‌باشد، ارزیابی گردید. ضریب همبستگی Cramer's V در محدوده بین صفر و یک متغیر است، هرچه به یک نزدیک تر باشد میزان همبستگی بالایی را نشان می‌دهد. ضریب بیش از ۰/۱۵ برای ورودی مدل مناسب و ضریب بیش از ۰/۴ خوب است.

۳.۵. پیش بینی تغییرات کاربری اراضی

پیش بینی تغییرات کاربری سال ۲۰۱۹ با استفاده از زنجیره CA-Markov و بر مبنای تغییرات مشاهده شده سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۹ شبیه سازی شد. مدل زنجیره Markov، فقط بیانگر پویایی زمان است و اطلاعاتی از مکان نمی‌دهد، درحالی که مدل تلفیقی CA-Markov علاوه بر زمان، مؤلفه مکان را در برمی گیرد و تغییر در آینده را با قانون‌های خاصی از سلول‌های همسایه، به دست می‌آورد (Aghaei et al., 2020).

۳.۶. تهیه نقشه‌های پوشش کاربری و آشکارسازی تغییرات

برای صحت‌سنجی نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده سال ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ از شاخص کاپا و داده‌های آزمایشی استفاده گردید که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است.

Table 2. Results of assessing the accuracy of classified maps

	1999	2009	2019
Overall Accuracy	87.12%	90.49%	88.99%
Kappa coefficient	0.807	0.837	0.801

نتایج به‌دست آمده ضریب کاپا ۰/۸۰۷، ۰/۸۳۷ و ۰/۸۰۱ به‌ترتیب برای سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ می‌باشد که نشان‌دهنده صحت قابل‌قبول برای نقشه‌های تهیه شده است (جدول ۲). نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ مقادیر مساحت‌های هر کاربری اراضی در جدول (۳) ارائه شده است.

Table 3. Area of land use classes in 1999, 2009, and 2019

Land use	1999		2009		2019	
	(hectare)	%	(hectare)	%	(hectare)	%
Water bodies	3501.144	2.211	5193.822	3.280	5884.282	3.715
Vegetation	4985.493	3.148	11616.471	7.335	6403.585	4.043
Rock	38151.872	24.090	35852.732	22.638	33844.416	21.370
Built-up areas	10401.805	6.568	25836.414	16.314	29264.786	18.479
Wasteland	44884.401	28.341	39343.098	24.842	38679.566	24.423
Agricultural lands	56447.303	35.642	40529.483	25.591	44295.382	27.969

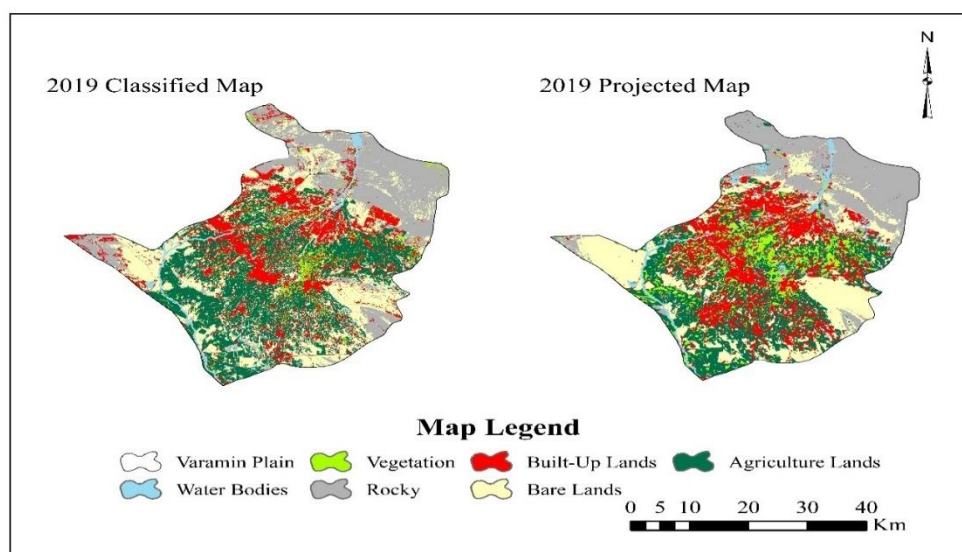


Figure 3. Simulation of Classified maps in 1999, 2009 and 2019

براساس نتایج جدول (۳) کاربری غالب منطقه کاربری اراضی کشاورزی است. در سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۹ کاربری اراضی کشاورزی دارای روند کاهشی بوده اما در دوره ۲۰۰۹-۲۰۱۹ کاربری کشاورزی روند افزایشی داشته است. کاربری اراضی بایر در سال‌های فوق روند کاهشی داشته و از مساحت ۴۴/۸ هزارهکتار در سال ۱۹۹۹ به ۳۹/۳ هزارهکتار در سال ۲۰۰۹ و ۳۸/۶ هزارهکتار در سال ۲۰۱۹ تغییر یافته است. مناطق ساخته‌شده شامل مناطق شهری، روستایی و

صنعتی روند افزایشی داشته و در سال ۱۹۹۹ این کاربری ۶/۵۷ درصد از کل منطقه را پوشش داده اما در سال ۲۰۱۹ به ۱۸/۴۸ درصد افزایش یافته است (شکل ۳). کاربری صخره روند کاهشی داشته، این کاربری از ۳۸/۱ هزارهکتار در سال ۱۹۹۹ به ۳۳/۸ هزارهکتار در سال ۲۰۱۹ کاهش یافته است. کاربری پوشش گیاهی مانند کاربری اراضی کشاورزی روندی نامشخص داشته، به‌طوری‌که از مقدار ۴/۹ هزارهکتار در سال ۱۹۹۹ به ۱۱/۶ هزارهکتار در سال ۲۰۰۹ افزایش داشته، اما در سال ۲۰۱۹ به ۶/۴ هزارهکتار کاهش یافته است. کاربری پهنه‌های آب بعد از احداث سد ماملو در سال ۲۰۰۸ روند افزایشی در سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ داشته است. مساحت این کاربری در سال ۱۹۹۹ در حدود ۳/۵ هزارهکتار بوده و در سال ۲۰۱۹ به ۵/۸ هزارهکتار، افزایش یافته است (شکل ۳).

۳.۷. پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی آینده

پس از بررسی صحت مدل در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تصویر سال ۲۰۳۰ براساس تغییرات اتفاق افتاده در دوره ۲۰۰۹-۲۰۱۹ و تصویر سال ۲۰۵۹ براساس تغییرات دوره ۲۰۱۹-۲۰۳۰ تولید شده است که نتایج آن در شکل (۴) مشاهده می‌گردد.

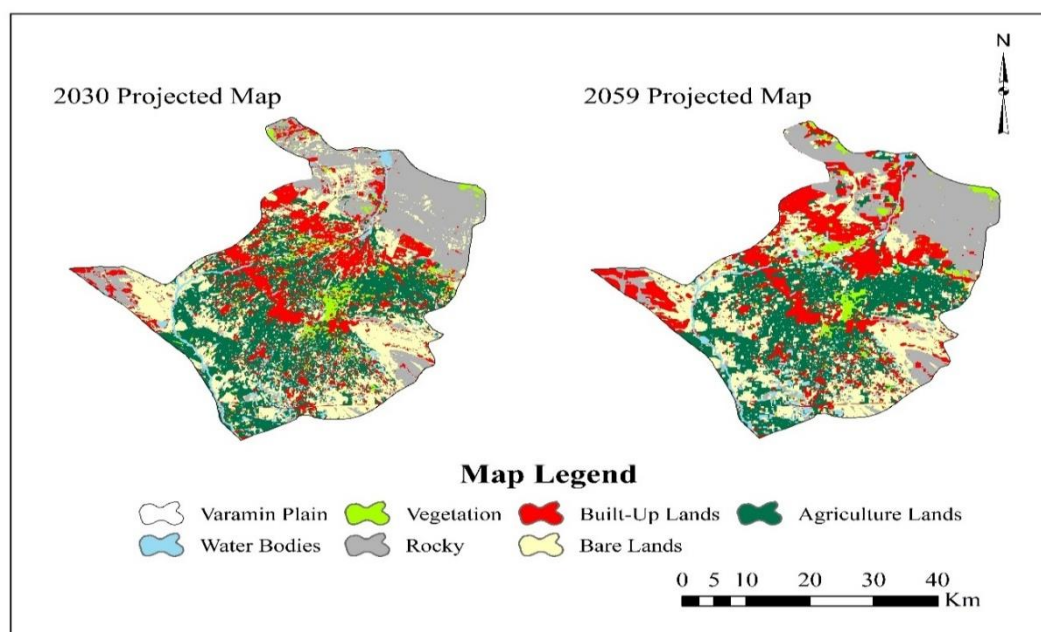


Figure 4. Simulation of Predicted maps for 2030 and 2059

Table 4. Area of land use classes projected for 2030 and 2059 (hectares)

Land use	2030	2059
Water bodies	6140.330	6466.478
Vegetation	6501.646	7081.493
Rock	32017.821	27733.959
Built-up areas	31143.091	35604.202
Wasteland	38869.212	38893.259
Agricultural lands	43699.919	42592.628

براساس نتایج داده‌های پیش‌بینی‌شده، کاربری‌های پهنه‌های آب، پوشش گیاهی، مناطق ساخته شده در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۹ نسبت به سال ۲۰۱۹ افزایش می‌یابد. کاربری اراضی بایر نسبت به سال ۲۰۱۹ روند نسبتاً ثابتی دارد، اما

وسعت کاربری اراضی کشاورزی و کاربری صخره کاهش خواهند یافت (جدول ۴). در پژوهشی، چگونگی پاسخ تبخیر-تعرق سطحی به تغییرات اقلیم، کاربری اراضی/پوشش زمین و روند تغییرات مکانی و زمانی تبخیر-تعرق، در حوضه رودخانه هوآی چین بررسی شد. میانگین تبخیر-تعرق سالانه، ارتباط نزدیکی با انواع کاربری زمین داشته به گونه‌ای که جنگل‌ها <علفزارها <زمین‌های زراعی <تالاب‌ها <بدنه‌های آبی <شهری/ساخته‌شده <بایر بوده و روند نزولی قابل توجهی را نشان داده اند، تغییر کاربری اراضی تأثیر کم‌تری بر تبخیر-تعرق نسبت به تغییرات اقلیم داشته است (Li *et al.*, 2021). پژوهش‌گران در پژوهشی، رابطه بین تغییرات کاربری اراضی کشاورزی و کاهش سطح آب حوضه دریاچه ارومیه را با محاسبه تبخیر-تعرق واقعی و رهگیری (ETa) در اراضی کشاورزی و غیرکشاورزی بررسی کردند، نتایج نشان داد که مساحت اراضی کشاورزی از سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۱۳ به میزان ۴۸ درصد افزایش یافت. وقتی که سطح آب دریاچه ارومیه ۷/۴ متر کاهش یافته و پایین رفت، در نتیجه بیش از ۸۰ درصد مساحت آن خشک شد. افزایش تبخیر-تعرق واقعی کاهش بارندگی و افزایش میانگین دمای سالانه از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۰، ۱/۱ درجه سانتی‌گراد، باعث کاهش سطح کاربری اراضی کشاورزی شده است (Barideh & Nasimi, 2022). نتایج این پژوهش با نتایج مطالعه Barideh & Nasimi (۲۰۲۲) همخوانی دارد.

۳.۸. مدل‌سازی پتانسیل انتقال و پیش‌بینی تغییرات سال ۲۰۱۹

به‌منظور مدل‌سازی پتانسیل انتقال، ارتباط بین متغیرهای محرک و تغییرات کاربری براساس ضرایب Cramer's V برای استفاده رویکرد شبکه عصبی ارزیابی گردید که نتایج آن در جدول (۵) آورده شده است.

Table 5. Cramer's correlation coefficients for each variable

Variable name	Correlation coefficient Cramer's V	Variable name	Correlation coefficient Cramer's V
Qualitative map of changes	0.4674	Distance from farm	0.1901
Digital elevation model	0.3584	Distance from vegetation	0.1833
Distance from urban-rural areas	0.2381	Distance from the waterway	0.1486
Slope	0.2283	Slope direction	0.0425
Distance from the road	0.1926		

متغیرهای جدول (۵)، در اغلب مطالعات پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، استفاده می‌شود. در جدول (۵)، مشاهده می‌گردد که در میان متغیرها، متغیر کیفی نقشه تغییرات با ضریب همبستگی Cramer's، ۰/۴۶۷۴ بیش‌ترین تأثیر و متغیر جهت شیب با ضریب ۰/۰۴۲۵ کم‌ترین تأثیر را بر الگوی تغییرات محدوده مطالعاتی داشته‌اند.

۳.۹. اثرات تغییر کاربری اراضی بر تبخیر-تعرق واقعی

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق واقعی، رابطه رگرسیونی بین مقادیر تبخیر-تعرق واقعی ماهانه (ETa) و دمای حداقل ماهانه و دمای حداکثر ماهانه به‌عنوان تأثیرگذارترین پارامترهای اقلیمی بر تبخیر-تعرق واقعی به کمک نرم‌افزار Minitab محاسبه شد (Kundu *et al.*, 2018). برای اثرات تغییر اقلیم، بر تبخیر-تعرق واقعی، از روش میانگین مساحت هر کاربری (رابطه ۱) استفاده شد.

$$\overline{ETa} = \frac{\sum_{i=1}^n ETa_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در این رابطه، ETa: میانگین تبخیر-تعرق واقعی ماهانه، A_i: مساحت هر کاربری، ETa_i: تبخیر-تعرق واقعی هر کاربری است.

Table 6. Effects of land use change on actual evapotranspiration (mm)

Month	2009	2019	2030	2059
January	25.27	25.31	25.40	25.72
February	33.33	33.22	33.33	33.76
March	63.83	63.61	63.83	64.66
April	52.44	52.26	52.44	53.12
May	130.47	130.66	131.41	133.64
June	178.16	178.29	178.77	180.36
July	215.09	215.51	216.56	219.55
August	161.35	161.45	162.24	164.42
September	118.45	119.38	120.50	123.47
October	56.23	56.67	57.20	58.61
November	46.31	46.67	47.11	48.27
December	21.76	21.93	22.14	22.68
Year	1090.51	1090.86	1096.94	1114.60

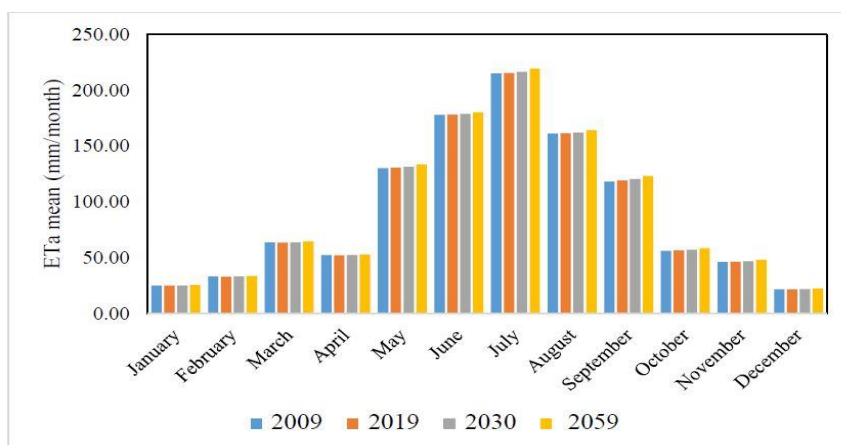


Figure 5. Actual monthly evapotranspiration(mm), in 2009, 2019, 2030, and 2050

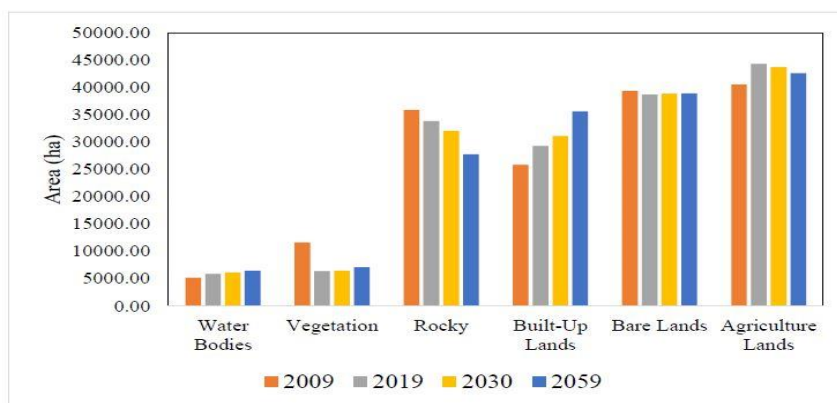


Figure 6. Changes in land use types(hectare), in 2009, 2019, 2030, and 2050

در ابتدا مقادیر میانگین تبخیر-تعرق واقعی (میلی‌متر) در هر کاربری محاسبه و با استفاده از رابطه (۱)، تأثیر تغییرات کاربری بر تبخیر-تعرق واقعی ارزیابی شد (جدول ۶). براساس نتایج جدول (۶)، بیش‌ترین تبخیر-تعرق واقعی مربوط به کاربری پوشش گیاهی و بعد از آن به‌ترتیب اراضی کشاورزی، مناطق ساخته‌شده، پهنه‌های آب، اراضی بایر و کم‌ترین مقدار تبخیر-تعرق واقعی مربوط به کاربری صخره می‌باشد. براساس نتایج جدول‌های (۵) و (۶)، مساحت کاربری‌های سال ۲۰۰۹، پیش‌بینی می‌شود تبخیر-تعرق واقعی در آینده، تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی افزایش یابد، زیرا مساحت پوشش گیاهی به‌عنوان کاربری دارای بیش‌ترین مقدار تبخیر-تعرق واقعی در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۹ نسبت به سال ۲۰۰۹ کمتر است. کاربری پوشش گیاهی

در مقیاس محدوده مورد مطالعه (دشت ورامین)، دارای مساحت قابل توجهی نمی باشد، لذا تأثیر قابل ملاحظه ای، بر مقادیر تبخیر-تعرق واقعی، ندارد (شکل ۵). از سوی دیگر، کاربری اراضی کشاورزی به عنوان کاربری غالب منطقه بعد از کاربری پوشش گیاهی بیشترین تبخیر-تعرق واقعی را دارد و مساحت آن نسبت به سال ۲۰۰۹ افزایش یافته است. تغییر کاربری اراضی کشاورزی و کاهش وسعت اراضی کشاورزی، سبب افزایش مقادیر تبخیر-تعرق واقعی شبیه سازی شده برای آینده گردیده است. نتایج مقایسه کاربری های مختلف نشان می دهد که تأثیر تغییر کاربری اراضی بر تبخیر-تعرق واقعی، نسبت به تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق واقعی کم است (شکل ۶). نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش های در حوضه شمالی و جنوبی پان جیانگ (Li et al., 2021) در حوضه رودخانه هوآی چین در حوضه رودخانه هان چین (Chen et al., 2024) و در اتیوپی، حوضه آبخیز Bilate (Kuma et al., 2021) مطابقت دارد.

۴. نتیجه گیری

افزایش جمعیت، نیاز به اسکان در مناطق شهری، عوامل طبیعی و انسانی و تغییر اقلیم باعث تغییر کاربری اراضی کشاورزی حاشیه شهرها و روستاها می گردد. با تفسیر نقشه های کاربری اراضی، پردازش تصاویر ماهواره ای و بررسی آمارهای تغییرات کاربری اراضی دشت ورامین نتایج نشان داد، کاربری اراضی کشاورزی از مساحت ۴۴/۸ هزارهکتار در سال ۱۹۹۹ به ۳۹/۳ هزارهکتار در سال ۲۰۰۹ و ۳۸/۶ هزارهکتار در سال ۲۰۱۹ (سال های ۲۰۰۹-۱۹۹۹ و سال های ۲۰۱۹-۲۰۰۹)، روند کاهشی دارد (جدول ۳). مناطق ساخته شده شامل مناطق شهری، روستایی و صنعتی روند افزایش داشته و در سال ۱۹۹۹ این کاربری ۶/۵۷ درصد از کل منطقه را پوشش داد، اما در سال ۲۰۱۹ به ۱۸/۴۸ درصد افزایش یافته است. کاربری پوشش گیاهی مانند کاربری اراضی کشاورزی از مقدار ۱۴/۹ هزارهکتار در سال ۱۹۹۹، به ۱۱/۶ هزارهکتار در سال ۲۰۰۹ و در سال ۲۰۱۹، به ۶/۴ هزارهکتار کاهش یافته است. کاربری پهنه های آب بعد از احداث سد ماملو در سال ۲۰۰۸، در سال های ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹، روند افزایشی داشته، به طوری که در سال ۱۹۹۹، مساحت آن ۳/۵ هزارهکتار بوده اما در سال ۲۰۱۹ به ۵/۸ هزارهکتار افزایش یافته است. شکل (۶)، اثر تغییر کاربری اراضی را در سال های مختلف نشان می دهد. کاهش تغییر کاربری اراضی کشاورزی و کاهش اثرات زیست محیطی، اقتصادی و فرهنگی- اجتماعی آن اجرای برنامه های کوتاه مدت و بلندمدت آبخیزداری و آبخوانداری، ترویج روش های جدید آبیاری سطحی و تحت فشار، استفاده از روش های نوین کشاورزی، اعمال مدیریت مطلوب آب و خاک پیشنهاد می شود.

۵. پی نوشت ها

1. Eta (Actual Evapotranspiration)
2. SEBS (Surface Energy Balance System)
3. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land)
4. METRIC (Mapping Evapotranspiration at High Resolution with Internalized Calibration)
5. SSEB (Mapping Evapotranspiration at High Resolution with Internalized Calibration)
6. MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)
7. GIS (Geographic Information System)
8. LCM (Land Chang Modeler)
9. DEM (Digital Elevation Model)

۶. تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Abdollahi, A. A., Khabazi, M., & Dorani, Z. (2020). Modeling and Predicting Land Use Changes in Lahijan City With a sustainable development approach. *Journal of sustainable City*, 2(4), 17-30.
- Ahmadzadeh, H., Fakheri Fard, A., Ghorbani, M. A., & Tajrishy, M. (2022). Evaluation of the Simultaneous Effect of Changes of Climatic Variables and Land Use on the Actual Evapotranspiration Trend Using the SWAT Model in the Ajichi Basin. *Journal of Water and Soil Science*, 26 (3), 15-34. (In Persian).
- Afzal, M. & Ragab, R. (2020). Assessment of the potential impacts of climate change on hydrology at catchment scale: modelling approach including prediction of future drought events using drought indices. *Applied Water Science*, 10(10), 1-19. Doi: 0.1007/s13201-020-01293-1.
- Aghaei, M., Khavarian, H., & Mostafazadeh, R. (2020). Prediction of Land Use Changes Using the CA-Markov and LCM Models in the Kozehtopraghi, Watershed in the Province of Ardabil. *Watershed Management Research Journal*, 33(3), 91-107. (In Persian).
- Awotwi, A., Yeboah, F., & Kumi, M. (2015). Assessing the impact of land cover changes on water balance components of White Volta Basin in West Africa. *Water and Environment Journal*, 29(2), 259-267.
- Banjara M., Bhusal A., Ghimire A. B., & Kalra, A. (2024). Impact of land use and land cover change on hydrological processes in urban watersheds: analysis and forecasting for flood risk management. *Geosciences*, 14, 40. doi: 10.3390/geosciences14020040
- Barideh, R., & Nasimi, F. (2022). Investigating the changes in agricultural land use and actual evapotranspiration of the Urmia Lake basin based on FAO's WaPOR database. *Agricultural Water Management*, Elsevier, 264(C). DOI: 10.1016/j.agwat.2022.107509
- Berihun, M.L., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Meshesha, D.T., Adgo, E., Tsubo, M., Masunaga, T., Fenta, A.A., Sultan, D., Yibeltal, M., & Ebabu, K. (2019). Hydrological responses to land use/land cover change and climate variability in contrasting agro-ecological environments of the Upper Blue Nile basin, Ethiopia. *Science of the Total Environment*, 689, 347-365.
- Chessman, B.C., & Townsend, S.A. (2010). Differing effects of catchment land use on water chemistry explain contrasting behaviour of a diatom index in tropical northern and temperate southern Australia, *Ecological Indicators*, 10, 620-626.
- Chen, Z., Nong, X., Zang, C., Ou, W. & Qiu, L. (2024). Evolution of evapotranspiration in the context of land cover/climate change in the Han River catchment of China. *Hydrological Processes*, 38(8). doi: 10.1002/hyp.15265
- Christou, A., Dalias, P., & Neocleous, D. (2017). Spatial and temporal variations in evapotranspiration and net water requirements of typical Mediterranean crops on the island of Cyprus. *The Journal of Agricultural Science*; 155(8), 1311-1323.
- Doost, Z. H. & Yaseen, Z. M. (2025). The impact of land use and land cover on groundwater fluctuations using geographical remote sensing and information systems: Representative case study in Afghanistan. *Environment, Development Sustainability*, 27(4), 9515-9538. doi: 10.1007/s10668-023-04253-2
- Fakhar, M.S., & Kaviani, A. (2024). Estimation of actual evapotranspiration using remote sensing data for improved water management. *J. of water and irrigation management*, 14(3), 629-648. doi: 10.22059/jwim.2024.369438.1123. (In Persian).
- Fu, W., Tang, B., Member, S., Ma, X., Zhu, X., Li, Y. & Cheng, L. (2025). Assessing Terrain Effect on Evapotranspiration Using the SEBAL Model in Mountainous Regions. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 18, 60176040. doi: 10.1109/JSTARS.2025.3539822
- Gessesse, B., Bewket, W., & Bräuning, A. (2015). Model-based characterization and monitoring of runoff and soil erosion in response to land use/land cover changes in the Modjo watershed, Ethiopia. *Land degradation & development*; 26(7), 711-724.
- Ghaffari, G. Ghodousi, J., & Ahmadi, H. (2010). Investigating the hydrological effects of land use change in catchment (Case study: Zanjanrood Basin). *Journal of Water and Soil Conservation*, Volume 16, 1(1), 163-180. (In Persian).
- Han, J., Hayashi, Y., Cao, X., & Imura, H. (2009). Application of an integrated system dynamics and cellular automata model for urban growth assessment: A case study of Shanghai, *China Landscape and Urban Planning*. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.12.002>

- Kizilkaya, R., & Dengi, O. (2010). Variation of land use and land cover effects on soil some physico-chemical characteristics and soil enzyme activity. *Zemdirbyste-Agriculture*, 97(2), 15-24.
- Khoshnood, S., Lotfata, A., Mombeni, M., Daneshi, A., Verrelst, J., & Ghorbani, K. (2023). A spatial and temporal correlation between remotely sensing evapotranspiration with land use and land cover. *Water*, 15(6), 1068; <https://doi.org/10.3390/w15061068>.
- Kuma, H.G., Feyessa, F.F., & Demissie, T.A. (2021). Hydrologic responses to climate and land-use/land-cover changes in the Bilate catchment, Southern Ethiopia. *Journal of Water and Climate Change*; 12(8), 3750-3769.
- Kundu, S., Mondal, A., Khare, D., Hain, C., & Lakshmi, V. (2018). Projecting climate and land use change impacts on actual evapotranspiration for the Narmada river basin in central India in the future. *Remote Sensing*, 10(4), 578.
- Lazaro, V.Z., Osni J.P., Marcilene D.F., & Janaina, B.P. (2009). Environmental degradation related to mining, urbanization and pollutant sources: Poc os de Caldas, Brazil. *J. Bull Eng Geol Environ*, 68, 317-329.
- Liu, M., & Hu, D. (2019). Response of wetland evapotranspiration to land use/cover change and climate change in Liaohe River Delta, China. *Water*, 11(5), 955.
- Li, M., Chu, R., Islam, A.R.M.T., & Shen, S. (2021). Characteristics of surface evapotranspiration and its response to climate and land use and land cover in the Huai River Basin of eastern China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 683-699.
- Lu, Z., Li, C., Zhang, J., Lei, G., Yu, Z. & Dong, Z. (2024). Impact of land use change on actual evapotranspiration in the Songnen Plain, China. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Volume 54. doi: 10.1016/j.ejrh.101854
- Jahanshahi, A., Martijn, J. B., Sopan, D. P., & Hoshin, G. (2025). Impact of land use land cover change on catchment hydrological response in 576 Iranian catchments. *Journal of Arid Environments*, 231, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.105463>
- Jahangir, M.H., & Arast, M. (2020). Remote sensing products for predicting actual evapotranspiration and water stress footprints under different lands cover. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121818.
- Mahmoud, S.H., Gan, T.Y., & Zhu, D.Z. (2023). Impacts of climate change and climate variability on water resources and drought in an arid region and possible resiliency and adaptation measures against climate warming. *Climate Dynamics*, 61, 4079-4105.
- Montesinos, C., Saavedra, D., Bourrel, L., Rau, P., Diaz, R. D., & Lavado-Casimiro, W. (2026). Understanding the Impacts of Climate Change and Landcover/Land Use Transformations on Highlands Hydrological Ecosystem Services in the Piuray–Ccorimarca Watershed (Andean Cordillera of Peru). *Climate*, 14(2), 49. <https://doi.org/10.3390/cli14020049>
- Moutrakis, G., Im, J., & Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Volume 66, pp. 274-259.
- Murray, S.J., Foster, P.N., & Prentice, I.C. (2012). Future global water resources with respect to climate change and water withdrawals as estimated by a dynamic global vegetation model. *Journal of Hydrology*, 448, 14-29.
- Pavanelli, D., & Capra, A. (2014). Climate change and human impacts on hydroclimatic variability in the Reno River catchment, Northern Italy. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 42(5), 535-545.
- Puttinaovararat, S., Khaimook, K. & Horkaew, P. (2025). Land use and land cover classification from satellite images based on ensemble machine learning and crowdsourced data verification. *International Journal of Cartography*, 11(1), 3-23. doi: 10.1080/23729333.2023.2166252.
- Solaimani, K., & Azmoudeh, A. (2011). Investigation of Land Use Change Effects on some Physical and Chemical Properties, as well as the soil Erodibility. *Physical Geography Research*, 42(4), 111-123. (In Persian).
- Tena, T.M., Mwaanga, P., & Nguvulu, A. (2019). Impact of land use/land cover change on hydrological components in Chongwe River Catchment. *Sustainability*, 11(22), 6415.