



University of Tehran

Modeling the Spatial Distribution of the Supply and Demand of Water Provision Ecosystem Service in Ilam Watershed

Fatemeh Mohammadyari¹ | Mohsen Tavakoli^{2*} | Ardavan Zarandian³

1. Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agricultural, Ilam University, Ilam, Iran. Email: m.fatima.1364@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agricultural, Ilam University, Ilam, Iran. Email: m.tavakoli@ilam.ac.ir
3. Research Group of Environmental Assessment and Risks, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, Iran. Email: azarandian@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Article type: Research Article</p> <p>Article History: Received February 10, 2023 Revised March 27, 2023 Accepted April 04, 2023</p> <p>Keywords: <i>Ecosystem provision services,</i> <i>Land use change,</i> <i>Water supply,</i> <i>Water demand,</i> <i>InVEST.</i></p>	<p>Water provision service is one of the most valuable ecosystem services that is important as a key service for the healthfulness and management of water resources. In this study, using the Water Yield model of InVEST software, the water supply and demand in Ilam watershed was modeled. The data related to average annual precipitation, annual evaporation and transpiration, root limiting depth, water available for plants, land use map, water consumption and estimation of water provision quantity, basin boundary, and subbasins of the watershed were the inputs of this model. The results of model application showed that in Ilam watershed, 45 million cubic meters of water provided annually, with the highest and lowest water provision volumes being in Arghavan (7 million cubic meters) and Chalimar (802 thousand cubic meters) subbasins, respectively. According to results, there are great differences in the water supply and demand in the subbasins of this watershed. Therefore, planner and policymakers should pay attention to this important issue in the layout of land uses and foresee sustainable use of rich forests in the high yield subbasins such as Arghavan subbasin. The results provided in this study, along with showing the importance of modeling surface water demand and its used in macro-policies of water allocation, can function as a guideline and help the managers and planners of Ilam city to adopt reasonable decisions in managing ecosystem and correctly using land in this area.</p>

Cite this article: Mohammadyari, F.; Tavakoli, M.; Zarandian, A. (2023). Spatial Distribution Modeling of Supply and Demand of Water Yield Ecosystem Service in Ilam Watershed. *Town and Country Planning*.15 (1), 131-145. Doi: 10.22059/jtcp.2023.355169.670377



© Fatemeh Mohammadyari, Mohsen Tavakoli, Ardavan Zarandian **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2023.355169.670377>



دانشگاه تهران

آمایش سرزمین

شاپا الکترونیکی: ۶۲۶۸-۲۴۲۳

سایت نشریه: <https://jtcp@ut.ac.ir/>

مدل سازی توزیع مکانی عرضه و تقاضای خدمت اکوسیستمی تولید آب در حوضه آبخیز ایلام*

فاطمه محمدیاری^۱ | محسن توکلی^{۲*} | اردوان زرندیان^۳

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: m.fatima.1364@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: m.tavakoli@ilam.ac.ir
۳. گروه ارزیابی و مخاطرات محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران. رایانامه: azarandian@gmail.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۲/۰۶

کلیدواژه:

تغییرات کاربری اراضی،

تقاضای آب،

خدمات تولیدی اکوسیستم،

عرضه آب،

InVEST

تولید آب یکی از خدمات بارزش اکوسیستم است که به منزله فعالیتی کلیدی برای سلامت و مدیریت منابع آب لازم است. در این مطالعه، با استفاده از مدل Water yield نرم افزار InVEST عرضه و تقاضای آب در حوضه آبخیز ایلام مدل سازی شد. داده های میانگین بارش سالیانه، تبخیر و تعرق سالیانه، عمق محدودکننده ریشه، آب در دسترس گیاه، نقشه کاربری اراضی، مصرف آب و برآورد کمیت آب تولیدشده، مرز حوضه، و زیرحوضه های آبخیز ورودی های این مدل هستند. نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد در حوضه آبخیز ایلام سالیانه ۴۵ میلیون متر مکعب آب تولید می شود و بیشترین و کمترین مقدار تولید آب به ترتیب در زیرحوضه های ارغوان با ۷ میلیون متر مکعب در سال و چالیمار با ۸۰۲ هزار متر مکعب در سال است. بر اساس نتایج، تفاوت های عمده در عرضه و تقاضای آب در زیرحوضه های این حوضه آبخیز وجود دارد. بنابراین برنامه ریزان و سیاست گذاران باید در چیدمان آمایشی کاربری ها به این موضوع مهم توجه داشته باشند و استفاده پایدار از جنگل های غنی در زیرحوضه های با عرضه بیشتر، مانند زیرحوضه ارغوان، را در دستور کار خود قرار دهند. نتایج ارائه شده در این پژوهش ضمن نشان دادن اهمیت مدل سازی تقاضای آب سطحی و استفاده از آن در سیاست های کلان تخصیص آب، به مثابه یک دستورالعمل، می تواند به مدیران و برنامه ریزان شهر ایلام در اتخاذ تصمیمات معقول در مدیریت اکوسیستم و استفاده صحیح از زمین در منطقه کمک کند.

استناد: محمدیاری، فاطمه؛ توکلی، محسن؛ زرندیان، اردوان (۱۴۰۲). مدل سازی توزیع مکانی عرضه و تقاضای خدمت اکوسیستمی تولید آب در حوضه آبخیز ایلام. *آمایش سرزمین*، ۱۵ (۱) ۱۳۱-۱۴۵.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2023.355169.670377>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© فاطمه محمدیاری، محسن توکلی، اردوان زرندیان

DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2023.355169.670377>



*مقاله حاضر با حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF)، برگرفته از طرح شماره ۴۰۰۶۴۰۵، انجام شده است.

مقدمه / بیان مسئله

خدمات اکوسیستم مزایایی هستند که مردم می‌توانند به صورت مستقیم یا غیر مستقیم از اکوسیستم‌ها به دست آورند. این خدمات برای معیشت و رفاه انسان‌ها ضروری است و در چهار طبقه خدمات تولیدی^۱، تنظیمی^۲، فرهنگی^۳، و حمایتی^۴ قرار می‌گیرند (1: Mirsanjari et al., 2020; 2: Tavakoli & Mohammadyari, 2022). تولید آب در دسته خدمات تولیدی قرار دارد که خدمتی کلیدی برای سلامت و رفاه جمعیت شهری و مدیریت منابع آب است (Mohammadyari et al., 2023: 2). اخیراً خدمات اکوسیستمی چرخه آب شهری در مناطقی که دچار کمبود آب یا آلودگی جدی آب هستند مورد توجه قرار گرفته است (45: Yang et al., 2015). تأمین آب تحت تأثیر بسیاری از عوامل- از جمله روندهای اجتماعی و جمعیتی، تنوع آب‌وهوایی، فعالیت‌های اقتصادی، تغییرات در کاربری زمین- است (Daneshi et al., 2021). در میان این عوامل، تغییر سریع کاربری زمین همراه با تغییرات آب‌وهوایی خدمات اکوسیستم مربوط به آب را بسیار تحت تأثیر قرار داده است (Hoyer & Lyu et al., 2019: 708; Song et al., 2017: 408; Chang, 2014). بنابراین، مدیریت آب برای شهرها به‌ویژه در زمان تغییرات آب‌وهوایی بسیار مهم است (235: Sadeghian & Vardanyan, 2013). افزایش نفوذ آب موجب افزایش تغذیه آب‌های زیرزمینی و تبخیر و تعرق از سطوح گیاهی می‌شود و به همین دلیل به بهبود شرایط آب‌وهوایی در شهر کمک می‌کند (29: Pataki et al., 2011). بر این اساس مدل‌سازی تولید آب در مناطق شهری حائز اهمیت است که با استفاده از روش‌های مختلف، از جمله استفاده از نرم‌افزار InVEST^۵، مورد توجه محققان قرار گرفته است. ابزار مدل‌سازی InVEST برای اطلاع‌رسانی تصمیمات درباره مدیریت منابع طبیعی طراحی شده است و اطلاعاتی در مورد چگونگی تغییرات در اکوسیستم‌ها، که احتمالاً منجر به تغییر در منافع انسان‌ها می‌شود، ارائه می‌کند (3: Zarandian et al., 2023). این مدل در پروژه سرمایه طبیعی (64: Cunha et al., 2018) به طور مشترک توسط دانشگاه استنفورد و حفاظت از طبیعت و صندوق سرمایه جهانی طبیعت (17: Liu et al., 2017) با هدف هم‌سویی پتانسیل‌های اقتصادی با اهداف حفاظت ارائه شده است. این نرم‌افزار مجموعه‌ای از مدل‌های فضایی است که با توجه به نقشه‌های کاربری زمین و بیوفیزیکی مرتبط تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی خدمات اکوسیستم را انجام می‌دهد (3: Zarandian et al., 2023) و به منظور ارزیابی آثار تغییر کاربری زمین برای چندین خدمات اکوسیستم مناسب شناخته شده است (2017: Gao et al.). بنابراین با تغییر مدیریت کاربری اراضی و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از InVEST می‌توان اطلاعاتی را در اختیار سیاست‌گذاران قرار داد که مبادلات تجاری در خدمات اکوسیستم و حفاظت از تنوع زیستی و سایر اهداف استفاده از زمین را ارزیابی کنند.

در حوضه آبخیز شهری ایلام، تغییرات کاربری اراضی به سرعت در حال انجام گرفتن است که به بحران‌های مختلف زیست‌محیطی منجر شده است و به دنبال آن آثار منفی بر خدمات اکوسیستم منطقه، از جمله خدمت تولید آب، دارد. بنابراین، ارزیابی و مدل‌سازی تعادل آب در حوضه آبخیز مورد مطالعه برای افزایش آگاهی عمومی و طراحی سیاست‌های توسعه پایدار شهری درباره این خدمت اکوسیستم ضروری است. بر این اساس، هدف مطالعه حاضر ارزیابی تعادل بین عرضه و تقاضای آب در منطقه مورد مطالعه و اثر شهرنشینی بر آن با استفاده از مدل Water yield نرم‌افزار InVEST در سال ۱۴۰۰ با عنوان وضعیت جاری است.

پیشینه نظری پژوهش

فراگیر شدن جهانی تغییر پوشش زمین در نتیجه استفاده انسان، به دلیل تغییر در ساختار اکوسیستم‌های طبیعی و عرضه خدمات اکوسیستم، نگرانی‌هایی را در مورد پیامدهای روند فعلی استفاده از زمین ایجاد کرده است (2021: Xie et al.). بنابراین تغییر کاربری اراضی عامل غالبی است که با تخریب توابع اکوسیستم توانایی آن‌ها را برای ارائه این خدمات تغییر می‌دهد و باعث

1. provisioning
2. regulating
3. cultural
4. supporting
5. Integrated valuation of ecosystem services and tradeoffs

تغییرات برگشتناپذیر در محیط‌زیست می‌شود (محمدیاری و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۴۲). در این زمینه، نقشه‌های کاربری اراضی یکی از فاکتورهای پایه برای مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی است که می‌تواند به شناسایی آسیب‌پذیرترین مکان‌های عرضه خدمات اکوسیستم در سطح سیمای سرزمین و به دنبال آن مدیریت زمین در آینده کمک کند. مدل‌سازی خدمات تولید آب به دلیل اهمیت آن در توسعه پایدار و برنامه‌ریزی‌های آمایش سرزمین و رفاه انسان‌ها بیش از سایر خدمات مورد توجه محققان قرار گرفته است که در جدول ۱ به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود. در این مطالعات خدمات اکوسیستمی تولید آب با استفاده از نرم‌افزار InVEST مدل‌سازی شده است. مرور منابع نشان می‌دهد در بیشتر مطالعات داخلی و خارجی خدمات تولید آب در اکوسیستم‌های طبیعی مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به وقوع گسترش شهری در بیشتر کشورهای در حال توسعه و توسعه‌نیافته، مدل‌سازی این خدمات اکوسیستمی در شهرها دارای اهمیت است. بنابراین، در پژوهش حاضر به مدل‌سازی خدمات تولید آب در یک محیط شهری و اثر تغییر کاربری به‌خصوص گسترش شهری بر عرضه و تقاضای آب در آن پرداخته شده است.

جدول ۱. نمای کلی پیشینه پژوهش

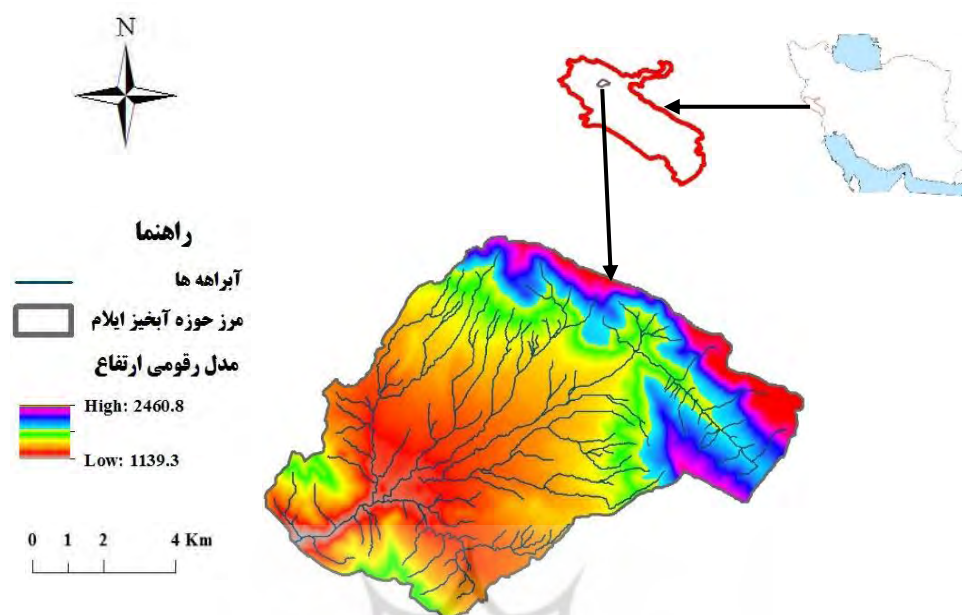
پژوهشگر	سال	شرح پژوهش
مطالعات داخل کشور		
حق‌دادی و همکاران	۱۳۹۷	به مدل‌سازی تولید آب در حوضه آبخیز دلیچای پرداختند. نتایج نشان داد زمین‌های بابر بیشترین نقش را در تولید آب دارند.
شفیع‌زاده و زارع چاهوکی	۱۳۹۹	پژوهشی در حوضه آبخیز طالقان میانی انجام دادند. بر اساس نتایج، پوشش گیاهی نقش مهمی در تولید آب دارد.
نیکوی و همکاران	۱۴۰۰	نقش خدمات تولید آب در تأمین منابع آب در دریاچه ارومیه را بررسی و بیان کردند این اکوسیستم سهم مهمی در تأمین منابع آب دارد.
Tavakoli & Mohammadyari	۲۰۲۲	تولید آب در حوضه آبخیز سد ایلام را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد بین عرضه و تقاضای آب تعادل وجود دارد.
Mohammadyari et al.	۲۰۲۳	عملکرد آب در کلان‌شهر کرج را مدل‌سازی و به اثر شهرنشینی بر عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب اشاره کردند.
مطالعات خارج از کشور		
Gong et al.	۲۰۱۹	تغییرات تولید آب را در یک حوضه کوهستانی در غرب چین ارزیابی کردند. نتایج حاکی از افزایش تولید آب در سناریوهای مورد بررسی بود.
Ávila-García et al.	۲۰۲۰	تأثیر سیاست‌های جایگزین استفاده از زمین بر خدمات اکوسیستم آب در یک حوضه آبخیز در مراکش را بررسی کردند.
Li et al.	۲۰۲۱	تأثیر تغییرات اقلیمی و کاربری زمین بر عملکرد آب در حوضه رودخانه زرد را مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد تغییرات کاربری اراضی منجر به افزایش این خدمت شده است.
Wang et al.	۲۰۲۲	تغییرات تولید آب در پاسخ به شهرنشینی را در یک منطقه شهری در چین ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که بین شهرنشینی و عملکرد آب رابطه مستقیم وجود دارد.
Kusi et al.	۲۰۲۳	اثر کاربری زمین و تغییرات اقلیم بر خدمات اکوسیستم آب در یک حوضه آبخیز در مراکش را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد تغییرات اقلیم بر عملکرد آب اثر بیشتری دارد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز ایلام با مساحت ۱۳۱۸۵ هکتار بین طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی در شمال استان ایلام قرار دارد (شکل ۱). اقلیم منطقه نیمه‌خشک مدیترانه‌ای با میانگین بارندگی سالانه ۵۷۱/۶ میلی‌متر و دمای سالانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. کمترین ارتفاع

منطقه ۱۱۳۹ و بیشترین ارتفاع آن ۲۴۶۱ متر از سطح دریا است. شهر ایلام و روستاهای سرطاف، هفت‌چشمه، بانقلان، فاطمیه، و مهدی‌آباد شهر و روستاهای واقع در محدوده مطالعاتی هستند (توکلی و حیدری، ۱۳۹۷).



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی در استان ایلام و کشور (ترسیم: نگارندگان)

مدل‌سازی تولید آب

این مدل در نرم‌افزار InVEST با استفاده از داده‌های میانگین بارش سالیانه، تبخیر و تعرق سالیانه، فاکتور اصلاح‌کننده مربوط به پوشش گیاهی، عمق لایه محدودکننده ریشه، آب در دسترس گیاه، عمق ریشه، ارتفاع، هدایت اشباع‌شده هیدرولوژیک، مصرف آب، و برآورد کمیت آب تولیدشده اجرا می‌شود (Früh-Müller et al., 2016). در واقع این مدل نشان می‌دهد چگونه تغییرات در الگوهای کاربری زمین بر عملکرد آب سالیانه تأثیر می‌گذارد (Sun et al., 2018: 981). مدل‌سازی وابستگی‌های بین تغییرات لندسکیپ و فرایندهای هیدرولوژیکی کار ساده‌ای نیست. بنابراین برای فراهم کردن زمینه کار و استفاده از داده‌هایی که به صورت آماده موجود است InVEST میانگین سالیانه محصول آبی یک لندسکیپ را با تعیین سهم نسبی هر پارسل از لندسکیپ به نقشه و مدل تبدیل می‌کند. این مدل روی یک نقشه شبکه‌ای اجرا می‌شود. مدل کمیت تولید آب در هر زیرحوضه را در ناحیه مورد نظر برآورد می‌کند. بنابراین، در هر پیکسل مقدار رواناب موجود (ناشی از بارندگی و منهای کسری از آب که به واسطه تبخیر و تعرق تغییر می‌کند) برآورد می‌شود. در این مدل بین جریان پایه، آب سطحی و آب زیرزمینی هیچ تفاوتی وجود ندارد، اما فرض بر این است که همه محصول آبی حاصل از یک پیکسل از طریق یکی از این مسیرها به نقطه مورد نظر رسیده است. سپس حاصل جمع و میانگین محصول آبی را در سطح زیرحوضه آبی برآورد می‌کند. تئوری مورد استفاده در این مدل به مثابه یک زیربنا در مقیاس‌های زیرحوضه تا حوضه آبخیز بسط یافته است. تعادل آبی در این مدل از طریق محاسبه مقدار بارش جابه‌جاشده توسط باد^۱ و تجمع آن با مه^۲ و سپس تفریق مقدار واقعی تبخیر و تعرق از آن دو و بر اساس اطلاعات اقلیمی و داده‌های مربوط به پوشش گیاهی حاصله از دورسنجی محاسبه می‌شود. تفاوت بارش با بارش جابه‌جاشده توسط باد نشان‌دهنده تأثیر سرعت باد در توزیع بارندگی در یک ناحیه است. زیرا نواحی در معرض جریان باد میزان بارش بیشتری دریافت می‌کنند. همچنین اثر برف و یخ بر بارندگی و دما و سهم آن در میزان آب حاصله از ذوب برف و یخ شبیه‌سازی می‌شود (Sharp et al., 2020). در این مدل ابتدا محصول سالیانه آب $y(x)$ برای هر پیکسل در لندسکیپ x از رابطه ۱ به دست می‌آید:

1. wind-driven rainfall
2. fog

$$Y(x) \left(1 - \frac{AET(x)}{P(x)} \right) \cdot P(x) \quad (1)$$

که در آن $AET(x)$ تبخیر و تعرق واقعی سالیانه برای پیکسل x و $P(x)$ بارش سالیانه در پیکسل x است (Hu et al., 2020). نسبت تبخیر و تعرق AET/P بر اساس منحنی بادیکو (Zhang et al., 2004) برآورد می‌شود (رابطه ۲):

$$\frac{AET(x)}{P(x)} = 1 + \frac{PET(x)}{P(x)} - \left[1 + \left(\frac{PET(x)}{P(x)} \right)^\omega \right]^{1/\omega} \quad (2)$$

که در آن $PET(x)$ پتانسیل تبخیر و تعرق و $W(x)$ یک پارامتر غیر فیزیکی است که به ویژگی‌های اقلیمی خاک مربوط می‌شود.

$PET(x)$ پتانسیل تبخیر و تعرق به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود:

$$PET(x) = K_C(\xi_x) \cdot ETO(x) \quad (3)$$

که در آن $ETo(x)$ تبخیر و تعرق مرجع در پیکسل x و $K_C(\xi_x)$ ضریب تبخیر و تعرق گیاه در ارتباط با پوشش / کاربری ξ_x در پیکسل x است. $ETo(x)$ بازتاب‌دهنده شرایط محلی-اقلیمی بر مبنای تبخیر و تعرق از پوشش گیاهی رشدیافته در محل است. $K_C(\xi_x)$ به واسطه ویژگی‌های پوشش گیاهی در پوشش / کاربری موجود در یک پیکسل تعیین می‌شود. K_C مقدار ارزشی ETo را برای محصول زراعی یا نوع پوشش گیاهی در هر پیکسل از نقشه کاربری / پوشش را تعدیل یا اصلاح می‌کند. $W(x)$ یک پارامتر غیر فیزیکی است که خصوصیات طبیعی آب و هوا و خاک را مشخص می‌کند و به صورت رابطه ۴ تعریف می‌شود (Li et al., 2021):

$$\omega(x) + 1.25(x) = Z \frac{AWC(x)}{P(x)} \quad (4)$$

که در آن $AWC(x)$ آب در دسترس گیاه (میلی‌متر) است. مقدار آن بر اساس بافت خاک و عمق مؤثر ریشه تعریف می‌شود. این مقدار به منزله ظرفیت آبی در دسترس گیاه (PAW) و حداقل عمق لایه محدودکننده ریشه و عمق پوشش گیاهی برآورد می‌شود (Lang et al., 2017: 105). Z یک ثابت تجربی است که گاهی اوقات فاکتور فصلی در نظر گرفته می‌شود و به الگوهای محلی بارش و سایر ویژگی‌های هیدرولوژیکی مربوط است. این فاکتور به طور مثبت دارای همبستگی با N و تعداد رویدادهای بارندگی در هر سال است. حداقل ارزش W_x برابر $1/25$ است که می‌تواند یک ارزش برای خاک لخت (زمانی که عمق ریشه صفر است) در نظر گرفته شود. در برخی مقالات این مقدار تا ۵ نیز تعیین شده است (Lang et al., 2017: 106). اطلاعات لازم برای اجرای این مدل در نرم‌افزار $INVEST$ بدین صورت است:

• تعیین عمق لایه محدودکننده ریشه

عبارت است از عمقی از خاک که در آن نفوذ ریشه گیاهان به واسطه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به طور ملموس با محدودیت مواجه می‌شود. با توجه به فقدان اطلاعات موجود در محدوده مورد مطالعه، خود عمق خاک به عنوان پروکسی در نظر گرفته شد (Sharp et al., 2020). در محدوده مورد مطالعه، ارزش میانگین عمق لایه محدودکننده ریشه برای کاربری‌های جنگل ۸۰۰ میلی‌متر، برای کاربری کشاورزی ۲۵۰ میلی‌متر، برای کاربری باغی ۷۵۰ میلی‌متر، برای کاربری مرتع ۴۰۰ میلی‌متر، و برای کاربری پارک ۳۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد.

• بارندگی

داده‌های بارش سالیانه در محدوده مورد مطالعه از پژوهشکده هواشناسی استان ایلام گرفته شد. بر این اساس میانگین بارش سالیانه در محدوده مورد مطالعه ۷۱۵/۴۵ میلی‌متر برآورد شد.

• نقشه کاربری اراضی

یک تصویر بدون ابر از سنجنده OLI لندست ۸ برای سال ۱۴۰۰ از سایت USGS اخذ و پس از پیش‌پردازش و پردازش‌های لازم تصویر با روش ماشین بردار پشتیبان در نه کلاس - جنگل پرتراکم، جنگل کم‌تراکم، کشاورزی، باغ، مرتع، مناطق شهری، پارک، رودخانه، جاده - طبقه‌بندی شد.

• میانگین سالیانه تبخیر و تعرق مرجع

به پتانسیل اتلاف آب از خاک از طریق تبخیر از خاک و تعرق گیاهی در شرایطی که آب کافی در دسترس باشد تبخیر و تعرق مرجع می‌گویند. در این پژوهش برای تخمین میانگین تبخیر و تعرق سالیانه از معادله اصلاح‌شده هارگریوز استفاده شد. در این روش از میانگین دمای حداکثر و حداقل روزانه، تفاوت بین میانگین دمای حداکثر و حداقل روزانه، و تابش فرازمینی ($\text{MJ}_m^{-2} \text{d}^{-1}$) استفاده می‌شود (Zarandian et al., 2017: 488). داده‌های مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک ایلام گرفته شد. با توجه به محاسبات انجام‌شده حداکثر و حداقل و متوسط سالیانه تبخیر و تعرق پتانسیل برای محدوده مورد مطالعه به ترتیب ۱۰۵۱ و ۷۱۹/۴ و ۸۸۵/۲ میلی‌متر برآورد شد.

• مقدار (گنجایش) آبی در دسترس گیاه

به کسری از آب که می‌تواند در پروفایل خاک ذخیره شود تا برای استفاده گیاه در دسترس باشد گفته می‌شود. مقدار عددی و کسری این پارامتر از طریق تقسیم مقدار حجمی آب در دسترس گیاه بر عمق خاک محاسبه می‌شود (Sharp et al., 2020). ظرفیت حجمی آب در دسترس گیاه معمولاً به صورت میلی‌متر در داده‌های مربوط به حوضه خاک‌شناسی در دسترس است. در این مطالعه جهت تدارک داده‌های مربوط به این پارامتر از نقشه پایگاه جهانی داده‌های خاک ارائه‌شده توسط فائو استفاده شد (Mohammadyari et al., 2023: 8). با توجه به داده‌های خاک، در ارتفاعات بالادست منطقه مورد مطالعه خاک از نوع لومی و شنی - لومی است که با عمق ۱۰۰ سانتی‌متر ظرفیت نگهداری آب به مقدار ۱۵۰ میلی‌متر را دارد. همچنین خاک منطقه در ارتفاعات پایین‌دست از نوع خاک‌های شنی و لومی با عمق مرجع ۱۰۰ سانتی‌متر و مقدار حجمی آب در دسترس آن ۱۵۰ میلی‌متر است. بر این اساس عدد کسری مربوط به گنجایش آبی در دسترس گیاه برای محدوده‌های ارتفاعی مورد نظر با در نظر گرفتن عمق خاک برای کاربری‌های جنگل ۰/۱۲۵ میلی‌متر، برای کاربری کشاورزی ۰/۳۴ میلی‌متر، برای کاربری باغی ۰/۱۱۳ میلی‌متر، برای کاربری مرتع ۰/۲۵ میلی‌متر، و برای کاربری پارک ۰/۲۸ میلی‌متر برآورد شد.

• جدول بیوفیزیکی

این جدول حاوی اطلاعات مربوط به حداکثر عمق ریشه‌دوانی و ضریب تبخیر و تعرق گیاهی برای هر یک از طبقات کاربری اراضی دارای پوشش گیاهی است. طبقاتی که فاقد پوشش گیاهی هستند کمترین مقدار را می‌گیرند.

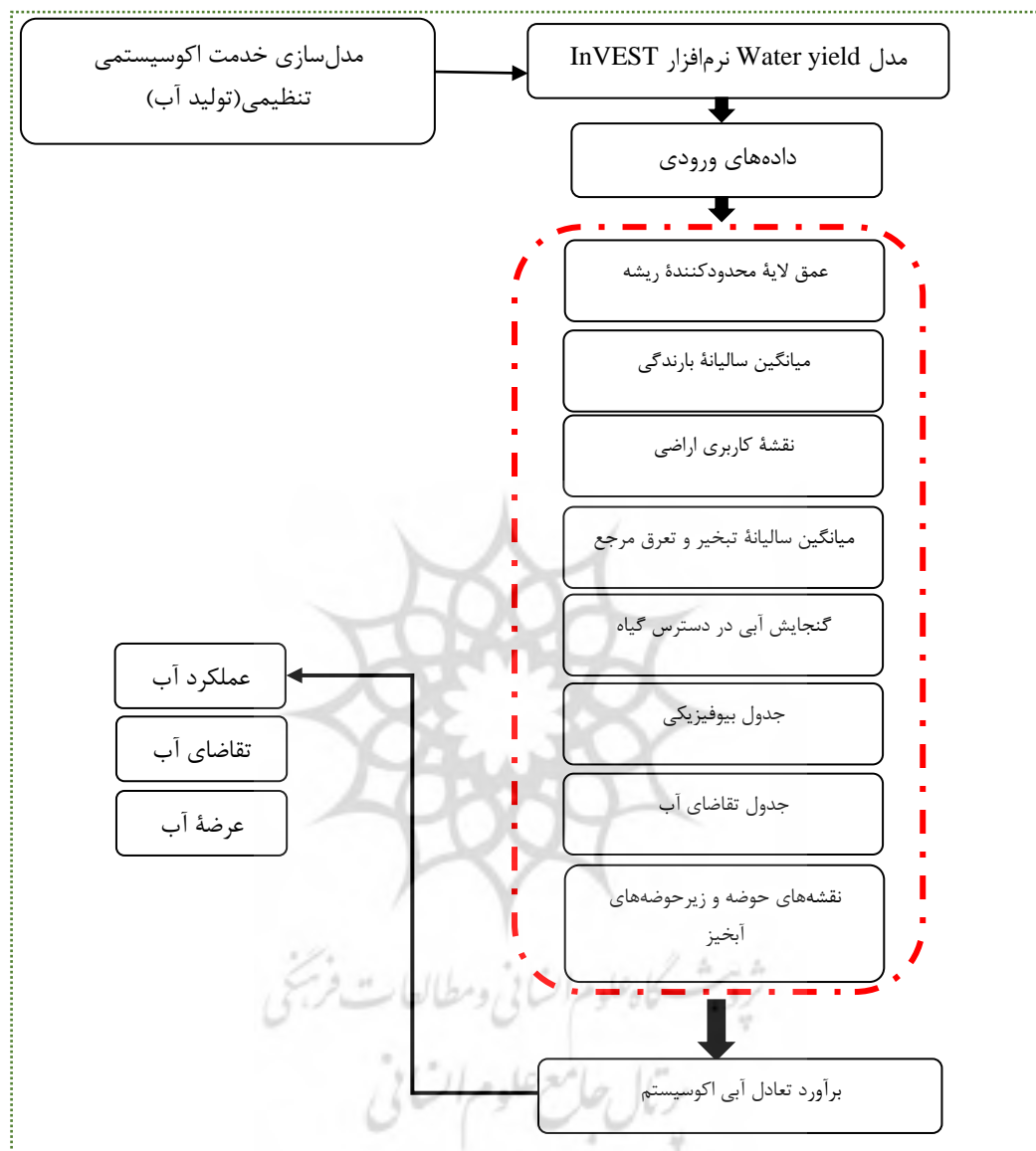
• جدول تقاضای آب

این جدول شامل اطلاعات مربوط به تقاضای آب به تفکیک هر کاربری است. کاربری‌های مناطق شهری، پارک، کشاورزی، و باغ بیشترین مقدار تقاضای آب و سایر کاربری‌ها مقدار صفر می‌گیرند.

• نقشه‌های وکتوری حوضه ۱ و زیرحوضه‌های آبخیز

با توجه به اینکه فرضیات مدل بر مبنای فرایندهای هیدرولوژیکی قابل درک در مقیاس زیرحوضه بنا شده است، به‌رغم تدارک نقشه رستری ظرفیت تولید آب در هر پیکسل، نتایج آن باید در مقیاس زیرحوضه تفسیر شود. بنابراین شیپ فایل‌های پلی‌گونی مربوط به حوضه آبخیز و زیرحوضه‌های مربوطه با استفاده از الحاقیه Arc Hydro در نرم‌افزار Arc GIS و همچنین مدل رقومی

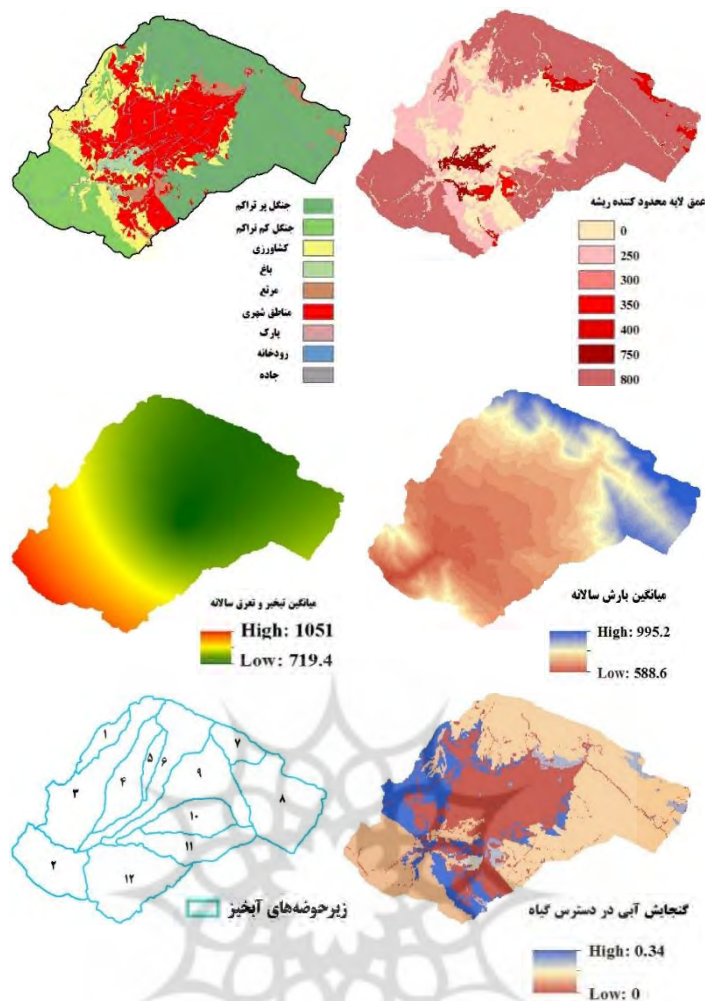
ارتفاع استخراج شد. بر این اساس منطقه مورد مطالعه به یک حوضه و دوازده زیرحوضه (غرب بان جو، جاده صالح آباد، بان جو، شرق بان جو، چالیمار، بالادست میدان میلاد، کل انار، ارغوان، میان حوزه، شرق شهر ایلام، شمال چغاسبز، مهدی آباد- فرودگاه به ترتیب با کدهای ۱ تا ۱۲) تقسیم شد. روند کلی تحقیق در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲. نمودار روند تحقیق

یافته های تحقیق

پس از تهیه داده های ورودی مورد نیاز (شکل ۳)، مدل سازی تولید آب در نرم افزار InVEST اجرا شد. نتایج حداقل و حداکثر و متوسط تولید آب و حجم کل تولید آب و تأمین و تقاضای واقعی آب در چشم انداز جاری (سال ۱۴۰۰) در حوضه آبخیز شهر ایلام در جدول ۲ نشان داده شده است.

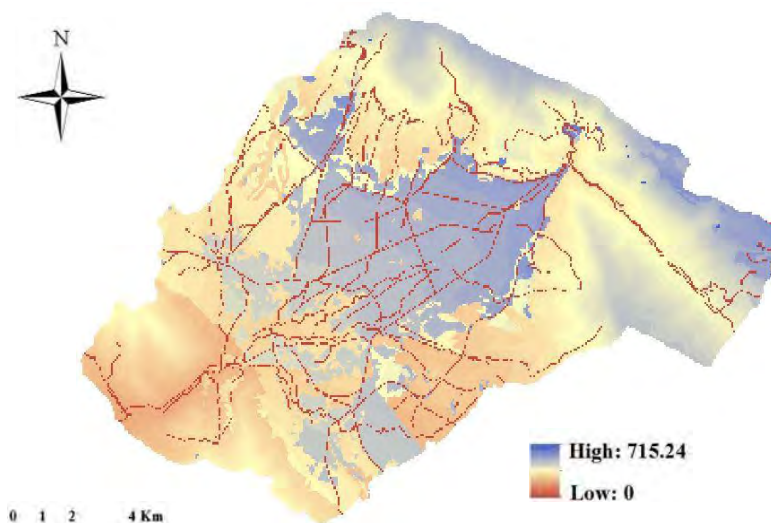


شکل ۳. داده‌های ورودی جهت مدل‌سازی تولید آب

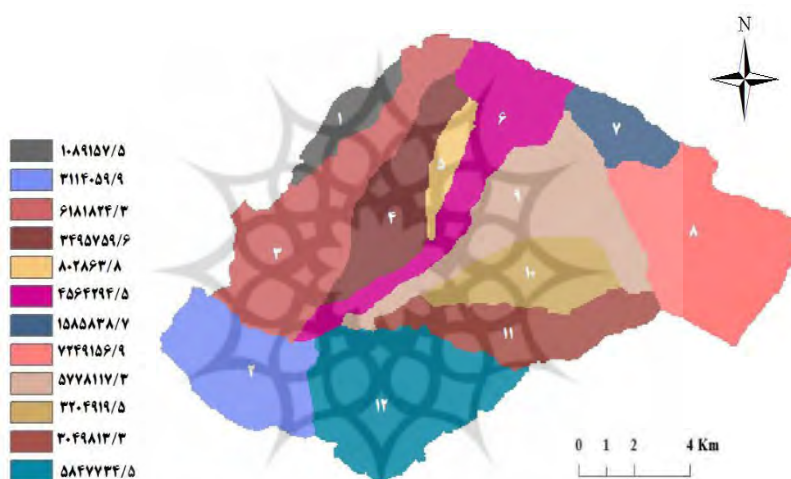
جدول ۲. اثر تغییر بارش و تبخیر و تعرق بر عملکرد آب در چشم‌انداز جاری

وضعیت	میانگین بارش (میلی‌متر)	میانگین تبخیر و تعرق (میلی‌متر)	عملکرد آب (پیکسل)		تغییرات کمی در خدمات آب (متر مکعب)	
			حداقل	حداکثر	تولید آب	عرضه تقاضا
جاری	۷۱۴/۹۷	۳۶۲/۵۴	۰	۷۱۵/۴	۴۵۹۶۳۵۴۰/۴	۳۶۰۹۴۳۰

برآورد تعادل آبی سرزمین مورد مطالعه در مقیاس پیکسل در شکل ۴ نشان داده شده است. تعادل آبی در این نقشه به مفهوم مجموع ظرفیت تولید آب ناشی از بارندگی، مه، ذوب برف و یخ منهای تبخیر و تعرق واقعی است. همچنین شکل ۵ حجم تولید آب بر اساس متر مکعب در سال در هر یک از زیرحوضه‌های آبی دوازده‌گانه در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، در حوضه آبخیز شهر ایلام سالیانه ۴۵۹۶۳۵۴۰/۴ متر مکعب آب تولید می‌شود. اطلاعات تفکیکی مربوط به حجم تولید آب و سایر متغیرهای مربوطه در زیرحوضه‌های آبی سیمای سرزمین حوضه آبخیز شهر ایلام در جدول ۳ نشان داده شده است.



شکل ۴. تعادل آبی اکوسیستم در سطح سیمای سرزمین حوضه آبخیز شهر ایلام در چشم‌انداز جاری



شکل ۵. حجم تولید آب در زیرحوضه‌های آبی بر اساس متر مکعب در چشم‌انداز جاری

جدول ۳. مقایسه حجم تولید آب و سایر متغیرهای مربوطه در زیرحوضه‌های آبی بر اساس محاسبات حاصل از مدل‌سازی

زیر حوضه	مساحت (هکتار)	میانگین بارش (میلی متر در سال)	تبخیر و تعرق واقعی (میلی متر در پیکسل)	حجم تولید آب	عرضه آب	تقاضای آب	عملکرد آب (متر مکعب در سال)
۱	۳۴۵/۸۶	۶۹۶/۷	۳۶۶/۳	۱۰۸۹۱۵۷/۵	۸۵۹۷۶۲/۵	۲۲۹۳۹۵	۲۲۹۳۹۵
۲	۱۱۵۲/۳۱	۶۶۶/۸	۳۹۲/۱	۳۱۱۴۰۵۹/۹	۳۰۴۷۴۳۴/۹	۶۶۶۲۵	۶۶۶۲۵
۳	۱۸۶۹/۲۳	۶۷۸/۷	۳۴۴	۶۱۸۱۸۲۴/۳	۴۹۰۰۰۰۴/۳	۱۲۸۱۸۲۰	۱۲۸۱۸۲۰
۴	۹۳۸/۲۱	۶۷۹/۱	۳۰۶/۶	۳۴۹۵۷۵۹/۶	۳۱۹۰۱۲۹/۶	۳۰۵۶۳۰	۳۰۵۶۳۰
۵	۲۴۲/۸۹	۷۰۸/۵	۳۷۸/۷	۸۰۲۸۶۳/۸	۷۶۲۵۲۸/۸	۴۰۳۳۵	۴۰۳۳۵
۶	۱۲۵۷/۵	۷۴۳/۸	۳۷۴/۴	۴۵۶۴۲۹۴/۵	۴۳۲۷۵۲۹/۵	۲۳۶۷۶۵	۲۳۶۷۶۵
۷	۴۴۱/۱	۸۰۹/۱	۴۲۸	۱۵۸۵۸۳۸/۷	۱۵۸۳۱۰۸/۷	۲۷۳۰	۲۷۳۰
۸	۱۸۴۰	۸۴۱/۳	۴۴۱/۲	۷۲۴۹۱۵۶/۹	۷۲۴۸۷۶۶/۹	۳۹۰	۳۹۰
۹	۱۵۰۸/۷۲	۷۱۱/۳	۳۲۸/۱	۵۷۷۸۱۱۷/۳	۵۵۱۳۶۶۷/۳	۲۶۴۴۵۰	۲۶۴۴۵۰
۱۰	۸۱۹/۸۴	۶۹۰/۴	۳۰۰	۳۲۰۴۹۱۹/۵	۲۹۵۳۷۷۴/۵	۲۵۱۱۴۵	۲۵۱۱۴۵
۱۱	۹۷۷/۸۳	۶۹۷/۴	۲۸۳/۳	۳۰۴۹۸۱۳/۳	۲۸۹۶۱۳۳/۳	۱۵۳۶۸۰	۱۵۳۶۸۰
۱۲	۱۷۹۰/۲۷	۶۵۷/۴	۳۲۹/۸	۵۸۴۷۷۳۴/۵	۵۰۷۱۲۶۹/۵	۷۷۶۴۶۵	۷۷۶۴۶۵

محاسبات مدل نشان می‌دهد میزان تولید آب در زیرحوضه‌های مختلف با هم متفاوت‌اند که به دلیل ویژگی‌های هیدرولوژیکی و کاربری‌های مختلف هر حوضه آبخیز است. بیشترین حجم تولید آب به مقدار $7249156/9$ متر مکعب در زیرحوضه ۸ مشاهده شد. پوشش غالب این زیرحوضه کاربری‌های جنگلی است که به دلیل وجود درختان و درختچه‌های فراوان و نبود کاربری‌های کشاورزی و مسکونی پتانسیل بالایی برای کنترل سیل در منطقه خواهد داشت. در صورت جنگل‌زدایی در این زیرحوضه و تبدیل پوشش درختی به سایر انواع کاربری، مانند کشاورزی و سکونتگاه انسانی، توان آن در ارائه خدمت کنترل سیل کاهش خواهد یافت. از طرف دیگر کمترین حجم تولید آب به مقدار $802863/8$ متر مکعب در زیرحوضه ۵ مشاهده می‌شود. این زیرحوضه تحت پوشش کاربری‌های کشاورزی و شهری قرار گرفته است که بیشترین تولید رواناب و به دنبال آن کاهش توان این زیرحوضه در ارائه خدمت کنترل سیل را دارد.

بحث و نتیجه

مدل عملکرد آب InVEST برای مدل‌سازی این خدمت در مقایسه با سایر مدل‌ها به طور گسترده استفاده می‌شود و از نظر مدیریت منابع آب نتایج خوبی ارائه می‌دهد (Pan et al., 2015). با توجه به نتایج، سه پارامتر تبخیر و تعرق، بارش، و نوع کاربری اراضی بر عملکرد آب تأثیرگذار است. در مدل InVEST، با فرض ثابت بودن بارش، تبخیر و تعرق عامل اصلی در تعیین عملکرد آب است (Li et al., 2021). تبخیر و تعرق با تعرق از طریق گیاهان صورت می‌گیرد (Seneviratne et al., 2010: 135). گیاهان با ایجاد سایه بر سطح زمین باعث کاهش شارهای گرمایی واردشده به خاک می‌شوند و به دنبال آن تبخیر را کاهش می‌دهند (Cascone et al., 2019: 343). بر این اساس تغییر ماهیت زمانی-مکانی کاربری اراضی بر عملکرد آب تأثیر می‌گذارد (Chen et al., 2019: 389). بر پایه نتایج (جدول ۳)، زیرحوضه‌های شماره ۸ و ۹ و ۱۲ با بیش از ۵ میلیون متر مکعب در سال به ترتیب بیشترین میزان عرضه و زیرحوضه‌های شماره ۳ و ۱۲ با بیش از ۷۰۰ هزار متر مکعب در سال بیشترین تقاضای آب را دارند. همچنین کمترین میزان عرضه و تقاضای آب بین سایر زیرحوضه‌ها به ترتیب متعلق به زیرحوضه ۵ (چالیمار) و زیرحوضه ۸ (ارغوان) است. زیرحوضه ۸، که بیشترین میزان عرضه آب و کمترین تقاضا را بین سایر حوضه‌ها دارد، دارای بیشترین مساحت و بیشترین میانگین بارش سالیانه و حجم تولیدی آب بین سایر زیرحوضه‌ها است. همچنین با توجه به شکل ۴ عملکرد آب در بالادست منطقه بیشتر از سایر قسمت‌هاست. در واقع عملکرد آب در این مناطق تحت تأثیر بارندگی زیاد و نوع پوشش گیاهی قرار گرفته است که با نتایج برخی مطالعات مطابقت دارد (Yang et al., 2015; Sahle et al., 2019; Kusi et al., 2020; Aghsaei et al., 2020; Chemura et al., 2020; Ma et al., 2021; Tavakoli & Mohammadyari, 2022; Mohammadyari et al., 2023). از طرف دیگر در قسمت‌های میانی، شامل شهر ایلام و مناطق شهری، عملکرد آب بالاست. گسترش ناحیه مناطق ساخته‌شده توسط انسان ناحیه نفوذناپذیر را افزایش می‌دهد و مقدار زیادی از باران به صورت رواناب سطحی جمع‌آوری و ذخیره می‌شود که باعث کاهش تبخیر سطح زمین و در نتیجه عملکرد بالای آب در مناطق شهری می‌شود. در نتیجه گسترش شهری به افزایش عملکرد آب و کاهش تعادل آب در این بخش منجر شده است. در واقع گسترش شهری و افزایش مناطق ساخته‌شده با از دست دادن پوشش گیاهی و مرتعی باعث افزایش میزان رواناب و سیلاب می‌شود که این نتیجه با برخی دیگر از مطالعات مطابقت دارد (Mohammadyari; Yang et al., 2015; Zhan et al., 2011; Mohammadyari et al., 2023). بر این اساس تغییرات کاربری اراضی باعث تغییرات در تولید آب می‌شود. بنابراین، مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی تولید آب در آینده گامی مؤثر در مدیریت و تصمیم‌گیری‌های زیست‌محیطی در منطقه خواهد بود. نتایج مطالعه نشان داد به دلیل تعادل بین عرضه و تقاضای آب در حوضه آبخیز شهر ایلام تعادل آبی رعایت شده است؛ اما، به دلیل اینکه تغییرات کاربری اراضی و نوع پوشش یکی از عوامل مهم تغییر در ارزش خدمت اکوسیستمی تولید آب است و در حال حاضر منابع طبیعی موجود در زیرحوضه‌های طبیعی منطقه به‌ویژه زیرحوضه ۲ و ۸ به دلیل صنعتی شدن و در نظر نگرفتن برنامه‌های اکولوژیکی و آمایشی برای پایداری محیطی در معرض تهدید قرار دارد، سیاست‌گذاری‌های مناسب و مؤثر به مثابه یک استراتژی یکپارچه اقتصادی-اجتماعی و اکولوژیکی می‌تواند تا حد زیادی بر برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در مورد توسعه آینده شهر ایلام و استفاده صحیح از زمین به سمت پایداری شهری تأثیر بگذارد. بر

پایه نتایج، تفاوت‌های عمده در عرضه و تقاضای آب در زیرحوضه‌های آبخیز حوضه آبخیز شهر ایلام وجود دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران در چیدمان آمایشی کاربری‌ها به این موضوع مهم توجه داشته باشند و استفاده پایدار از جنگل‌های غنی در زیرحوضه‌های با عرضه بیشتر مانند زیرحوضه ۸ را مورد توجه قرار دهند. از طرف دیگر، مدیران و برنامه‌ریزان شهری باید حفاظت از زیرحوضه‌های ۳ و ۱۱ و ۱۲ را که در آینده امکان دارد تحت پوشش غالب انسانی قرار گیرند در دستور کار خود داشته باشند. همچنین، با توجه به هدف‌گیری‌های اخیر بین‌المللی و ملی برای ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستمی از جمله تولید آب پیشنهاد می‌شود ارزش‌گذاری این خدمات جهت تصمیم‌گیری بهینه تغییر کاربری زمین برای توسعه از طریق سنجش دقیق هزینه-فایده اقتصادی این تغییرات در منطقه مورد مطالعه اجرا شود.

به طور کلی، نتایج ارائه‌شده در این پژوهش ضمن نشان دادن اهمیت مدل‌سازی تقاضای آب سطحی و استفاده از آن در سیاست‌های کلان تخصیص آب، به منزله یک دستورالعمل، می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان شهری ایلام در اتخاذ تصمیمات معقول در مدیریت اکوسیستم و کاهش آسیب به اکوسیستم‌ها و در نتیجه افزایش خدمات اکوسیستم در حوضه آبخیز شهر ایلام کمک کند.



منابع

- املائی، زهرا؛ شراره پورابراهیم؛ مجید مخدوم (۱۴۰۰). «مدل‌سازی مکانی عرضه و تقاضای خدمت تولید آب سطحی در حوضه آبریز هراز». محیط زیست طبیعی، ۷۴(۳)، ص ۴۷۵ - ۴۸۹.
- توکلی، محسن؛ حیدر ابراهیمی (۱۳۹۷). «بازنگری مطالعه تفصیلی- اجرایی منابع طبیعی و آبخیزداری حوزه آبخیز شهر ایلام». دانشگاه ایلام و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان ایلام.
- حق‌دادی، مهرناز؛ غلام‌علی حشمتی؛ مژگان سادات عظیمی (۱۳۹۷). «بررسی خدمت اکوسیستم تولید آب با استفاده از نرم‌افزار InVEST (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دلپچای)». پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۵(۴)، ص ۲۷۵ - ۲۹۰.
- شفیع‌زاده، مرجان؛ محمدعلی زارع چاهوکی (۱۳۹۹). «مدل‌سازی خدمات تولید اکوسیستم (تولید آب) در حوزه آبخیز طالقان میانی». اکوهیدرولوژی ایران، ۷(۲)، ص ۴۱۱ - ۴۱۹.
- محمدیاری، فاطمه؛ میرمهرداد میرسنجری؛ اردوان زرنیدیان (۱۳۹۹). «ارزیابی و مدل‌سازی اثرات گسترش شهری بر الگوهای سیمای سرزمین در کلان‌شهر کرج». آمایش سرزمین، ۱۳(۱)، ص ۱۴۱ - ۱۶۶.
- نیکوی، فاطمه؛ شراره پورابراهیم؛ بهمن جباریان امیری؛ داوودرضا عرب (۱۴۰۰). «نقش خدمت اکوسیستمی تولید آب در تأمین منابع آب حسابداری WA⁺ (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دریاچه ارومیه)». اکوهیدرولوژی، ۸(۱)، ص ۴۵ - ۵۶.
- Aghsaei, H., Dinan, N. M., Moridi, A., Asadolahi, Z., Delavar, M., Fohrer, N., & Wagner, P. D. (2020). "Effects of dynamic land use/land cover change on water resources and sediment yield in the Anzali wetland catchment, Gilan, Iran", *Science of the Total Environment*, 712, 136449.
- Ávila-García, D., Morató, J., Pérez-Maussán, A. I., Santillán-Carvantes, P., Alvarado, J., & Comín, F. A. (2020). "Impacts of alternative land-use policies on water ecosystem services in the Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello watershed, Mexico", *Ecosystem Services*, 45, 101179.
- Cascone, S., Coma, J., Gagliano, A., & Pérez, G. (2019). "The evapotranspiration process in green roofs: A review", *Building and environment*, 147, pp. 337-355.
- Chen, Y., Wang, S., Ren, Z., Huang, J., Wang, X., Liu, S., ... & Lin, W. (2019). "Increased evapotranspiration from land cover changes intensified water crisis in an arid river basin in northwest China", *Journal of Hydrology*, 574, pp. 383-397.
- Chemura, A., Rwasoka, D., Mutanga, O., Dube, T., & Mushore, T. (2020). "The impact of land-use/land cover changes on water balance of the heterogeneous Buzi sub-catchment, Zimbabwe", *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100292.
- Cunha, J., Elliott, M., & Ramos, S. (2018). "Linking modelling and empirical data to assess recreation services provided by coastal habitats: The case of NW Portugal", *Ocean & coastal management*, 162, pp. 60-70.
- Daneshi, A., Brouwer, R., Najafinejad, A., Panahi, M., Zarandian, A., & Maghsood, F. F. (2021). "Modelling the impacts of climate and land use change on water security in a semi-arid forested watershed using InVEST", *Journal of Hydrology*, 593, 125621.
- Donohue, R. J., Roderick, M. L., & McVicar, T. R. (2012). "Roots, storms and soil pores: Incorporating key ecohydrological processes into Budyko's hydrological model", *Journal of Hydrology*, 436, pp. 35-50.
- Emlaei, Z., Pourebrahim, S., & Makhdoum, M. (2021). "Spatial modelling of supply and demand for water yield service in the Haraz Watershed", *Journal of Natural Environment*, 74(3), pp. 475-489. (in Persian)
- Früh-Müller, A., Hotes, S., Breuer, L., Wolters, V., & Koellner, T. (2016). "Regional patterns of ecosystem services in cultural landscapes", *Land*, 5(2), 17.
- Gao, J., Li, F., Gao, H., Zhou, C., & Zhang, X. (2017). "The impact of land-use change on water-related ecosystem services: a study of the Guishui River Basin, Beijing, China", *Journal of Cleaner Production*, 163, S148-S155.
- Gong, J., Liu, D., Zhang, J., Xie, Y., Cao, E., & Li, H. (2019). "Tradeoffs/synergies of multiple ecosystem services based on land use simulation in a mountain-basin area, western China", *Ecological Indicators*, 99, pp. 283-293.
- Gunnarsdottir, M. J., Persson, K. M., Andradottir, H. O., & Gardarsson, S. M. (2017). "Status of small water supplies in the Nordic countries: characteristics, water quality and challenges", *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220(8), pp. 1309-1317.
- Haghdadi, M., Heshmati, G. A., & Azimi, M. S. (2018). "Assessment of Water yield service on the basis of InVEST tool (case study: Delichai watershed)", *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(4), pp. 275-290. (in Persian)
- Hoyer, R. & Chang, H. (2014). "Assessment of freshwater ecosystem services in the Tualatin and Yamhill basins under climate change and urbanization", *Applied Geography*, 53, pp. 402-416.

- Hu, W., Li, G., Gao, Z., Jia, G., Wang, Z., & Li, Y. (2020). "Assessment of the impact of the Poplar Ecological Retreat Project on water conservation in the Dongting Lake wetland region using the InVEST model", *Science of the Total Environment*, 733, 139423.
- Kusi, K. K., Khattabi, A., Mhammdi, N., & Lahssini, S. (2020). "Prospective evaluation of the impact of land use change on ecosystem services in the Ourika watershed, Morocco", *Land Use Policy*, 97, 104796.
- Kusi, K. K., Khattabi, A., & Mhammdi, N. (2023). "Evaluating the impacts of land use and climate changes on water ecosystem services in the Souss watershed, Morocco", *Arabian Journal of Geosciences*, 16(2), 126.
- Lang, Y., Song, W., & Zhang, Y. (2017). "Responses of the water-yield ecosystem service to climate and land use change in Sancha River Basin, China", *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 101, pp. 102-111.
- Li, G., Jiang, C., Zhang, Y., & Jiang, G. (2021). "Whether land greening in different geomorphic units are beneficial to water yield in the Yellow River Basin?", *Ecological Indicators*, 120, 106926.
- Liu, J., Zhang, G., Zhuang, Z., Cheng, Q., Gao, Y., Chen, T., Qiu hao, H., Lang, X., & Chen, D. (2017). "A new perspective for urban development boundary delineation based on SLEUTH-InVEST model", *Habitat International*, 70, pp. 13-23.
- Lyu, L., Wang, X., Sun, C., Ren, T., & Zheng, D. (2019). "Quantifying the effect of land use change and climate variability on Green water resources in the Xihe River Basin, Northeast China", *Sustainability*, 11(2), 338.
- Ma, S., Wang, L. J., Zhu, D., & Zhang, J. (2021). "Spatiotemporal changes in ecosystem services in the conservation priorities of the southern hill and mountain belt, China", *Ecological Indicators*, 122, 107225.
- Mirsanjari, M. M., Zarandian, A., Mohammadyari, F., & Visockiene, J. S. (2020). "Investigation of the impacts of urban vegetation loss on the ecosystem service of air pollution mitigation in Karaj metropolis, Iran", *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, pp. 1-23.
- Mohammadyari, F., Mirsanjari, M. M., & Zarandian, A. (2021). "The Evaluation and Modeling of the Impacts of Urban Development on Landscape Patterns in Karaj Metropolis", *Town & Country Planning (2008-7047)*, 13(1). (in Persian)
- Mohammadyari, F., Zarandian, A., Mirsanjari, M. M., Suziedelyte Visockiene, J., & Tumeliene, E. (2023). "Modelling Impact of Urban Expansion on Ecosystem Services: A Scenario-Based Approach in a Mixed Natural/Urbanised Landscape", *Land*, 12(2), 291.
- Nikooy, F., Pourebrahim, S., Jabbarian Amiri, B., & Arab, D. R. (2021). "Investigating the Role of Water Yield Ecosystem Service in WA+ Resource Base Sheet (Case of Urmia Lake Basin)", *Iranian journal of Ecohydrology*, 8(1), pp. 45-56. (in Persian)
- Pan, T., Wu, S., & Liu, Y. (2015). "Relative contributions of land use and climate change to water supply variations over yellow river source area in Tibetan plateau during the past three decades", *PloS one*, 10(4), e0123793.
- Pataki, D. E., Carreiro, M. M., Cherrier, J., Grulke, N. E., Jennings, V., Pincetl, S., ... & Zipperer, W. C. (2011). "Coupling biogeochemical cycles in urban environments: ecosystem services, green solutions, and misconceptions", *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(1), pp. 27-36.
- Sadeghian, M. M. & Vardanyan, Z. (2013). "The benefits of urban parks, a review of urban research", *Journal of Novel Applied Sciences*, 2(8), pp. 231-237.
- Sahle, M., Saito, O., Fürst, C., & Yeshitela, K. (2019). "Quantifying and mapping of water-related ecosystem services for enhancing the security of the food-water-energy nexus in tropical data-sparse catchment", *Science of the Total Environment*, 646, pp. 573-586.
- Sharp, R., Tallis, H. T., Ricketts, T., Guerry, A. D., Wood, S. A., Chaplin-Kramer, R., ... & Vogl, A. L. (2020). "InVEST user's guide", *The Natural Capital Project: Stanford, CA, USA*.
- Seneviratne, S. I., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E. B., Lehner, I., ... & Teuling, A. J. (2010). "Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review", *Earth-Science Reviews*, 99(3-4), pp. 125-161.
- Shafizadeh, M. & Zare Chahouki, M. A. (2020). "Modeling Ecosystem Production Services (Water Production) in Taleghan Middel Watershed", *Iranian journal of Ecohydrology*, 7(2), pp. 411-419. (in Persian)
- Song, W. & Deng, X. (2017). "Land-use/land-cover change and ecosystem service provision in China", *Science of the Total Environment*, 576, pp. 705-719.
- Sun, X., Crittenden, J. C., Li, F., Lu, Z., & Dou, X. (2018). "Urban expansion simulation and the spatio-temporal changes of ecosystem services, a case study in Atlanta Metropolitan area, USA", *Science of the Total Environment*, 622, pp. 974-987.
- Tavakoli, M. & Ebrahimi, H. (2017). "Revision of the detailed-executive study of natural resources and watershed management of Ilam city watershed", Ilam Department of Natural Resources and Watershed Management. (in Persian)
- Tavakoli, M. & Mohammadyari, F. (2022). "Modeling the spatial distribution of multiple ecosystem services in Ilam dam watershed, Western Iran: Identification of areas for spatial planning", *Urban Ecosystems*, pp. 1-20.

- Wang, S., Hu, M., Wang, Y., & Xia, B. (2022). "Dynamics of ecosystem services in response to urbanization across temporal and spatial scales in a mega metropolitan area", *Sustainable Cities and Society*, 77, 103561.
- Xie, Z., Li, X., Chi, Y., Jiang, D., Zhang, Y., Ma, Y., & Chen, S. (2021). "Ecosystem service value decreases more rapidly under the dual pressures of land use change and ecological vulnerability: A case study in Zhujiajian Island", *Ocean & Coastal Management*, 201, 105493.
- Yang, L., Zhang, L., Li, Y., & Wu, S. (2015). "Water-related ecosystem services provided by urban green space: A case study in Yixing City (China)", *Landscape and urban planning*, 136, pp. 40-51.
- Zarandian, A., Baral, H., Stork, N. E., Ling, M. A., Yavari, A. R., Jafari, H. R., & Amirnejad, H. (2017). "Modeling of ecosystem services informs spatial planning in lands adjacent to the Sarvelat and Javaherdasht protected area in northern Iran", *Land Use Policy*, 61, pp. 487-500.
- Zarandian, A., Mohammadyari, F., Mirsanjari, M. M., & Visockiene, J. S. (2023). "Scenario modeling to predict changes in land use/cover using Land Change Modeler and InVEST model: a case study of Karaj Metropolis, Iran", *Environmental monitoring and assessment*, 195(2), 273.
- Zhan, C., Xu, Z., Ye, A., & Su, H. (2011). "LUCC and its impact on run-off yield in the Bai River catchment—upstream of the Miyun Reservoir basin", *Journal of Plant Ecology*, 4(1-2), pp. 61-66.
- Zhang, L., Hickel, K., Dawes, W. R., Chiew, F. H., Western, A. W., & Briggs, P. R. (2004). "A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration", *Water resources research*, 40(2).

