



Economic valuation of water production in Hyrcanian forests using InVEST

Azim Hashemnejad Rahimabadi¹ | Amir Mohammadinejad² | Hamid Amirnejad³ |
Reza Moghadas⁴

1. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture and Food Industry, Azad University, Tehran Science and Research Unit, Tehran, Iran. E-mail: a.hashemnejad50@gmail.com

2. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture and Food Industry, Azad University, Tehran Science and Research Unit, Tehran, Iran. E-mail: a.mohamadinejad@srbiau.ac.ir

3. Corresponding Author, Department of Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. E-mail: hamidamirnejad@yahoo.com

4. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture and Food Industry, Azad University, Tehran Science and Research Unit, Tehran, Iran. E-mail: r.moghaddasi@srbiau.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Forests play an important role in the production and regulation of water flow, among which forest watersheds are an inevitable necessity in water conservation. In this research, the water performance model in InVEST has been used to quantify the water production service. The required data of this model includes vegetation maps, annual average precipitation and evapotranspiration potential, soil and root depth, plant accessible water, watershed boundaries and bio-physical table. Based on the calculations made in three forestry areas - Gilan, Mazandaran and Golestan, 276416798 cubic meters of water are produced annually, and the highest amount of water production belongs to the forestry community of Rashtistan in forestry area 7 Aslam, Gilan with a value of 4479 cubic meters per hectare and the lowest amount belongs to the forest community of Mamrazistan in the forestry area of 91 Golestan and the average water production in the entire studied area is 3558 cubic meters per hectare. The studied areas are completely different from each other in terms of the economic value of water production service to ecosystems and do not have the same value. The value of each forest community was estimated from 240 million Rials to 367 million Rials and the average value of each hectare of the studied forests was 292 million Rials. Also, the total value of the region with an area of 77683 hectares was estimated to be equal to 22666177 million Rials. The results of spatial evaluation showed that the type of forest type and communities is very important in determining the value of water production service because the change in vegetation will significantly affect the value of water production service. The economic valuation of water production can encourage the participation of local residents for the protection and management of ecosystems, so that the cost of the services provided by the beneficiaries is paid, and as a result, the ecosystems suffer less damage and more protection.
Article history: Received 27 October 2024 Received in revised form 08 December 2024 Accepted 31 January 2025 Published online 28 June 2025	
Keywords: <i>Forest communities,</i> <i>Quantification,</i> <i>Replacement cost method,</i> <i>Spatial valuation,</i> <i>Water performance model.</i>	

Cite this article: Hashemnejad Rahimabadi, A., Mohammadinejad, A., Amirnejad, H., & Moghadas, R. (2025). Economic valuation of water production in Hyrcanian forests using InVEST. *Journal of Natural Environment*, 77 (4), 577-590. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.384483.2719>



ارزش گذاری اقتصادی تولید آب در جنگل های هیرکانی با استفاده از InVEST

عظیم هاشم نژاد رحیم آبادی^۱ | امیر محمدی نژاد^۲ | حمید امیرنژاد^۳ | رضا مقدسی^۴

۱. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران. رایانامه: a.hashemnejad50@gmail.com

۲. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران. رایانامه: a.mohamadinejad@srbiau.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: h.amirnejad@sanru.ac.ir

۴. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران. رایانامه: r.moghaddasi@srbiau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	جنگل ها نقش مهمی در تولید و تنظیم جریان آب دارند که در این میان، حوضه های آبخیز جنگلی ضرورتی اجتناب ناپذیر در حفظ آب هستند. در این پژوهش، برای کمی سازی خدمت تولید آب از مدل عملکرد آب در InVEST استفاده شد. داده های مورد نیاز این مدل شامل نقشه های پوشش گیاهی، میانگین بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه، عمق خاک و ریشه، آب قابل دسترس گیاه، مرزهای حوضه آبخیز و همچنین جدول زیست-فیزیکی می باشد. براساس محاسبات انجام شده در سه حوزه جنگلداری-گیلان، مازندران و گلستان، سالانه ۲۷۶۴۱۶۷۹۸ مترمکعب آب تولید می شود که بیشترین میزان تولید آب متعلق به جامعه جنگلی رانشستان در حوزه جنگلداری ۷ اسالم گیلان با مقدار ۴۴۷۹ مترمکعب در هکتار و کمترین مقدار مربوط به جامعه جنگلی ممرزستان در حوزه جنگلداری ۹۱ گلستان و متوسط تولید آب در کل سطح مورد مطالعه، ۳۵۵۸ مترمکعب در هکتار است. مناطق مورد مطالعه از نظر میزان ارزش اقتصادی خدمت بوم سازگان تولید آب، کاملاً با یکدیگر متفاوت بوده و ارزش یکسانی ندارند. ارزش هر یک از جوامع جنگلی از ۲۴۰ میلیون ریال تا ۳۶۷ میلیون ریال و متوسط ارزش هر هکتار از جنگل های مورد مطالعه ۲۹۲ میلیون ریال برآورد شد. همچنین، ارزش کل منطقه با مساحت ۷۷۶۸۳ هکتار، معادل ۲۲۶۶۶۱۷۷ میلیون ریال برآورد گردید. نتایج ارزش گذاری مکانی نشان داد که نوع تیپ و جوامع جنگلی در تعیین ارزش خدمت تولید آب بسیار مهم است زیرا تغییر در پوشش گیاهی به میزان قابل توجهی بر ارزش خدمت تولید آب مؤثر خواهد بود. ارزش گذاری اقتصادی تولید آب می تواند سبب تشویق مشارکت ساکنین محلی برای حفاظت و مدیریت بوم سازگان شد تا هزینه مربوط به خدمات ارائه شده توسط ذی نفعان پرداخت شده و در نتیجه بوم سازگان دچار آسیب کم تر و حفاظت بیشتری شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۶	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۱۸	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۲	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۷	
کلیدواژه ها:	
ارزش گذاری مکانی،	
جوامع جنگلی،	
روش هزینه جایگزین،	
کمی سازی،	
مدل عملکرد آب.	

استناد: هاشم نژاد رحیم آبادی، عظیم، محمدی نژاد، امیر؛ امیرنژاد، حمید؛ و مقدسی، رضا (۱۴۰۳). ارزش گذاری اقتصادی تولید آب در جنگل های هیرکانی با استفاده

از InVEST. محیط زیست طبیعی، ۷۷ (۴)، ۵۷۷-۵۹۰.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.384483.2719>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

جنگل‌ها نقش مهمی در تولید و تنظیم جریان آب داشته و حوضه‌های آبخیز^۱ جنگلی برای حفظ آب ضروری هستند. در نظر گرفتن مسائل مربوط به آب برای بهینه‌سازی^۲ خدمات حوضه آبخیز مانند تصفیه آب^۳، تنظیم جریان سطحی^۴ و کنترل فرسایش^۵ در مدیریت و برنامه‌ریزی جنگل نقش به‌سزایی دارد. چنین نوآوری‌هایی نیازمند چارچوب قانونی توانمند و همچنین تصمیم‌گیرندگانی دارد که اهمیت پرداختن به طرح‌های خدمات اکوسیستمی (PES^۶) در زمینه جنگل‌ها و آب را درک کنند (UNECE, 2018). بین پوشش جنگلی و دسترسی به آب در حوضه‌های آبخیز همبستگی^۷ وجود دارد. نمونه‌ای از این تعامل، ذخیره آب توسط جنگل‌هاست. جنگل‌ها مقدار نسبتاً بالایی آب را حفظ می‌کنند که معمولاً به‌دلیل فرآیندهای تصفیه طبیعی^۸ و استفاده محدود از آفت‌کش‌ها و کودها در مناطق جنگلی کمتر آلوده است (UNECE, 2018). پایگاه داده حساب آب آژانس محیط‌زیست اروپا (EEA^۹) شامل ۲۸۷ زیرحوضه است که دارای بیش از ۶۵۰۰۰ حوضه آبریز است. این زیرحوضه‌ها و حوضه‌های آبریز برای ارزیابی چگونگی تأثیر پوشش و نوع جنگل بر مقدار آب حفظ شده توسط اکوسیستم‌های جنگلی انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفت. تجزیه و تحلیل آنها نشان داد که زیرحوضه‌های آبی جنگلی با بیش از ۳۰ درصد پوشش جنگلی، ۲۵ درصد آب بیشتری نسبت به زیرحوضه‌هایی که پوشش جنگلی کمتری دارند، حفظ کرده‌اند. در زیرحوضه‌هایی که پوشش جنگلی آنها ۷۰ درصد است، ذخیره آب ۵۰ درصد بیشتر از زیرحوضه‌هایی است که پوشش جنگلی آنها تنها ۱۰ درصد است. همچنین، مطالعه EEA نشان داد که نوع جنگل بر میزان ذخیره آب تأثیر می‌گذارد (Gauthier et al., 2015). با این حال، تأثیر جنگل بر تعادل آب تا حد زیادی بستگی به سن جنگل، ترکیب گونه‌ها، ویژگی‌های خاک، شیب، موقعیت جنگل در حوضه آبخیز و شرایط هواشناسی دارد. از این‌رو، نوع و تنوع پوشش گیاهی و کاربری‌های مختلف از جمله جنگل، اراضی جنگلی و مرتع بر میزان تولید و عرضه آب تأثیر گذارند. تنوع اقلیمی و نوع پوشش زمین/کاربری زمین، رژیم‌های عرضه و جریان آب را کنترل می‌کند (Zhou et al., 2015). درختان شبکه ریشه‌ای گسترده‌ای در خاک‌های جنگلی ایجاد نموده و توانایی زیادی در تولید خاک‌های متخلخل^{۱۰} دارند. جنگل‌ها و خاک‌های جنگلی مانند فیلترهای طبیعی عمل نموده، فرسایش و رسوب مسیرهای آب را کاهش داده و از ورود بسیاری از مواد شیمیایی ممانعت می‌نمایند. به‌طور متوسط، حداقل ۴۰ درصد بارندگی از تبخیر و تعرق سرچشمه می‌گیرد و جنگل‌ها نقش مهمی در تنظیم جریان‌های رطوبت جو و الگوهای بارندگی بر روی زمین دارند. تعرق، سهم بیشتری از مجموع تبخیر و تعرق را به‌خود اختصاص داده و بخشی از بخار آب مورد نیاز برای تشکیل ابر و وقوع بارندگی را فراهم می‌کند (Jasechko et al., 2013; Schlesinger and Jasechko, 2014).

با وجود گسترش انجام مطالعات ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستمی، در ایران ارزش‌گذاری مکانی در زمینه خدمت تولید آب در جوامع جنگلی با توجه به تفاوت تیپ‌ها و گونه‌های جنگلی کمتر انجام شده است. بنابراین، در این تحقیق با توجه به تنوع گونه‌ای و تفاوت تیپ‌ها و جوامع جنگلی، میزان خدمات اکوسیستمی تولید آب در جوامع جنگلی موجود در سه حوزه جنگلداری ۷ اسالم گیلان، ۵۱ مازندران-ساری و ۹۱ گلستان تعیین و برآورد شد. این امر آگاهی نسبت به ارزش منابع ذی‌قیمت موجود یعنی جنگل‌های طبیعی را افزایش داده و بر ضرورت حفظ آنها به‌لحاظ اینکه ایجاد جنگل‌کاری در مناطق مستعد ارزان‌ترین روش برای تنظیم و ذخیره آب محسوب می‌شوند، تأکید دارد. برای اولین بار مفاهیم کارکردها، کالاها، خدمات منابع طبیعی و محیط‌زیست و ارزش‌های اقتصادی آنها در دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی مطرح شد. طی چند دهه گذشته، محققان جهت ارزش‌گذاری کالاها و خدمات تلاش‌های زیادی انجام دادند. Costanza و همکاران (۱۹۹۷) ارزش کل اقتصادی خدمات ۱۷ اکوسیستم جهان را حدود

¹Watersheds²Optimization³Water Purification⁴Setting the Surface Current⁵Erosion Control⁶Payments Approach Services⁷Correlation⁸Natural Purification⁹European Environment Agency¹⁰Porous Soils

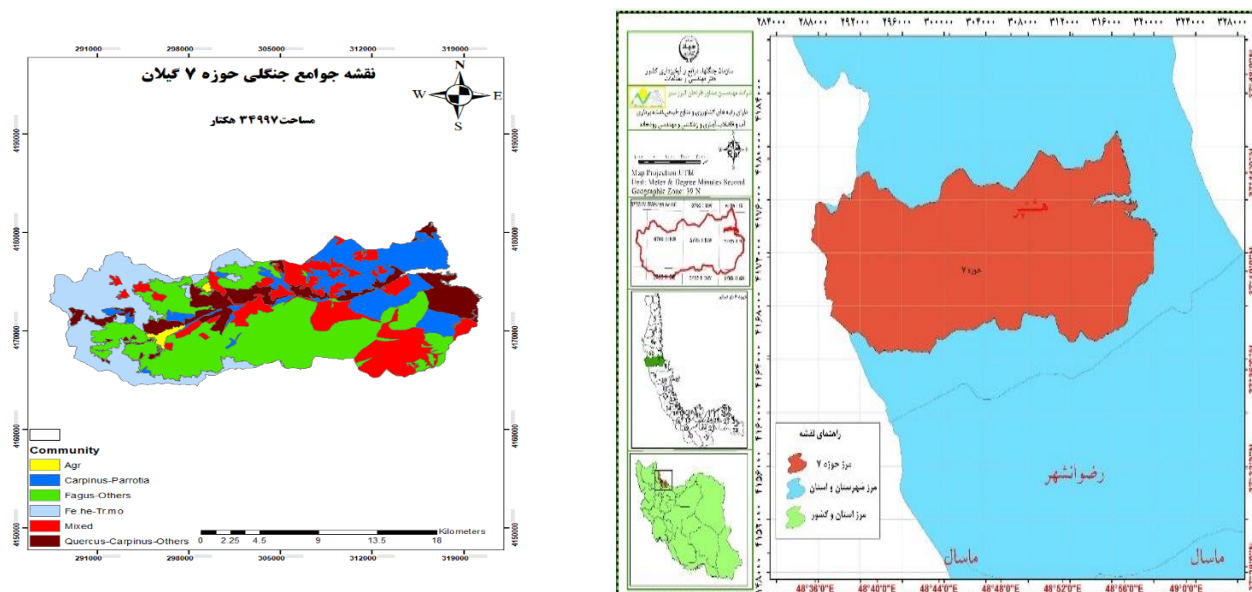
۳۳ تریلیون دلار در سال برآورد نمودند. در این مطالعه ۶۳ درصد از ارزش کل تعیین شده مربوط به اکوسیستم‌های آبی جهان و ۳۷ درصد آن مربوط به اکوسیستم‌های خشکی می‌باشد. همچنین، ارزیابی‌های متعددی در قالب کمی‌سازی، تهیه نقشه و ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستمی با استفاده از مدل‌های InVEST انجام شد (Martinez-Harms et al., 2016). در این میان، Gao و همکاران (۲۰۱۶) خدمات مرتبط با آب را تحت ۴ سناریوی مدیریتی (حفاظت خاک، حفاظت آب، گسترش کشاورزی و ترکیبی) در کشور چین ارزیابی نمودند. Minga-León و همکاران (۲۰۱۸) برای برآورد تولید آب در حوزه‌های آبخیز در جنوب اکوادور از ارزش‌گذاری یکپارچه خدمات اکوسیستمی و مبادله (InVEST^{۱۱}) استفاده نمودند. Sahle و همکاران (۲۰۱۹) برای کمی‌سازی و نقشه‌سازی خدمات اکوسیستم مرتبط با آب در شرق آفریقا نیز از نرم‌افزار InVEST استفاده نمودند. در ایران نیز مطالعاتی زیادی در زمینه ارزش‌گذاری تولید و عرضه آب توسط اکوسیستم‌های جنگلی صورت گرفت. از جمله Henareh Khalyani و همکاران (۲۰۲۱) ارزش کارکرد حفاظت و ذخیره آب بوم‌سازگان جنگلی زاگرس را با رویکرد هزینه جایگزین برآورد نمود. نتایج نشان داد کارکرد حفاظت آب بیش‌ترین ارزش اقتصادی سالانه را در میان خدمات ارزش‌گذاری شده به‌خود اختصاص داد (۷۸۲۴۸۸۸/۹ ریال در هر هکتار) که دارای ارزشی بالغ بر ۲۵۲۷/۴۰ میلیون ریال برای کل حوزه می‌باشد. در مطالعه‌ای دیگر Hosseini و همکاران (۲۰۱۷) ارزش خدمت حفاظت آب پارک ملی کیاسر را به روش هزینه جایگزین برآورد نمودند. نتایج نشان داد کارکرد حفاظت آب با ارزشی معادل ۲۴۲/۷۹ میلیون ریال در هر هکتار بیش‌ترین سهم را داشته است. Haghdadi و همکاران (۲۰۱۸) نیز به بررسی و نقشه‌سازی میزان تولید آب در کاربری‌های مختلف زمین در حوزه آبخیز دلیچای با استفاده از InVEST پرداختند. Amirnejad و همکاران (۲۰۱۸) ارزش اقتصادی کارکرد بوم‌سازگانی تهیه و تنظیم آب توسط بوم‌سازگان‌های جنگلی و مرتعی پارک ملی بمر را برآورد نمودند. همچنین Bostan و دیگران (۲۰۱۸) ارزش اقتصادی کارکرد تنظیمی آبی بوم‌سازگان‌های مرتعی شیخ موسی شهرستان بابل را به روش هزینه جایگزین معادل ۹۵۷۰ میلیون ریال (۲۳۴۹۶۸/۷۵ دلار) و برای هر هکتار معادل ۹۱۹۶۰۰ ریال (۲۲/۵ دلار) برآورد کردند. Dahmardeh و همکاران (۲۰۱۸) ارزیابی اقتصادی خسارت محیط‌زیستی ناشی از خشکی تالاب هامون بر بوم‌سازگان منطقه سیستان را مورد بررسی قرار دادند.

به‌دلیل فقدان سنجش جریان‌های خدمات بوم‌سازگان امکان نمایش دقیق فضایی ارزش اقتصادی این خدمات در مطالعات گذشته فراهم نشد؛ بنابراین در کار نقشه‌سازی ارزش‌های اقتصادی، افراد در مطالعات انجام‌شده قبلی تمایزی بین پهنه‌های فضایی مختلف که واجد عناصر زیست-فیزیکی متفاوتی بودند، قائل نمی‌شدند. چنانچه با وجود گسترش انجام تحقیقات ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستمی، در ایران ارزش‌گذاری مکانی در زمینه ارزش‌گذاری تولید و عرضه آب توسط اکوسیستم‌های جنگلی در جوامع جنگلی با توجه به تفاوت تیپ‌ها و گونه‌های جنگلی کمتر مشاهده شده است؛ بنابراین در این تحقیق با توجه به تنوع گونه‌ای و تفاوت تیپ‌ها و جوامع جنگلی با اساس تغییر در ارتفاع از سطح دریا و خاک و مقدار بارش، میزان خدمات اکوسیستمی در جوامع جنگلی موجود در سه حوزه جنگلداری ۷ اسالم گیلان، ۵۱ مازندران-ساری و ۹۱ گلستان تعیین و برآورد می‌شود. این امر آگاهی نسبت به ارزش منابع ذی‌قیمت موجود یعنی جنگل‌های طبیعی را به‌عنوان ارزش اقتصادی خدمت بوم‌سازگان تولید آب افزایش داده و بر ضرورت حفظ آنها تأکید دارد.

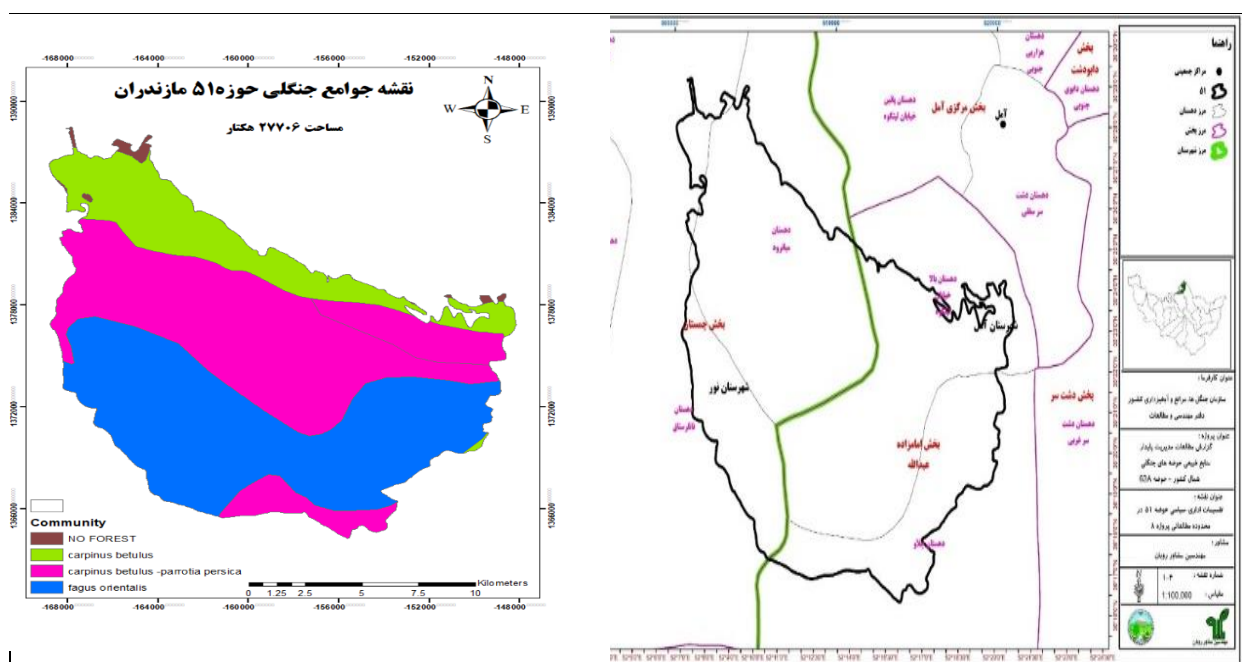
روش‌شناسی پژوهش

مناطق مورد مطالعه در این تحقیق در سه حوزه جنگلداری شماره ۷ اسالم گیلان، شماره ۵۱ نور-چمستان مازندران و شماره ۹۱ آزادشهر-مینودشت گلستان مربوط به جنگل‌های هیرکانی یا خزری شمال ایران می‌باشند. حوزه ۷ اسالم با وسعت ۳۴۹۹۶/۸۹ هکتار در شهرستان هشتمین استان گیلان قرار دارد. حوزه ۵۱ نور-چمستان با مساحت ۲۷۷۰۷ هکتار در استان مازندران و حوزه ۹۱ با مساحت ۲۵۳۱۴ هکتار در استان گلستان و در شهرستان‌های آزادشهر و مینودشت قرار گرفته است. شکل‌های ۱، ۲ و ۳ موقعیت و جوامع جنگلی موجود در حوزه‌های جنگلداری مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

^{۱۱}Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs



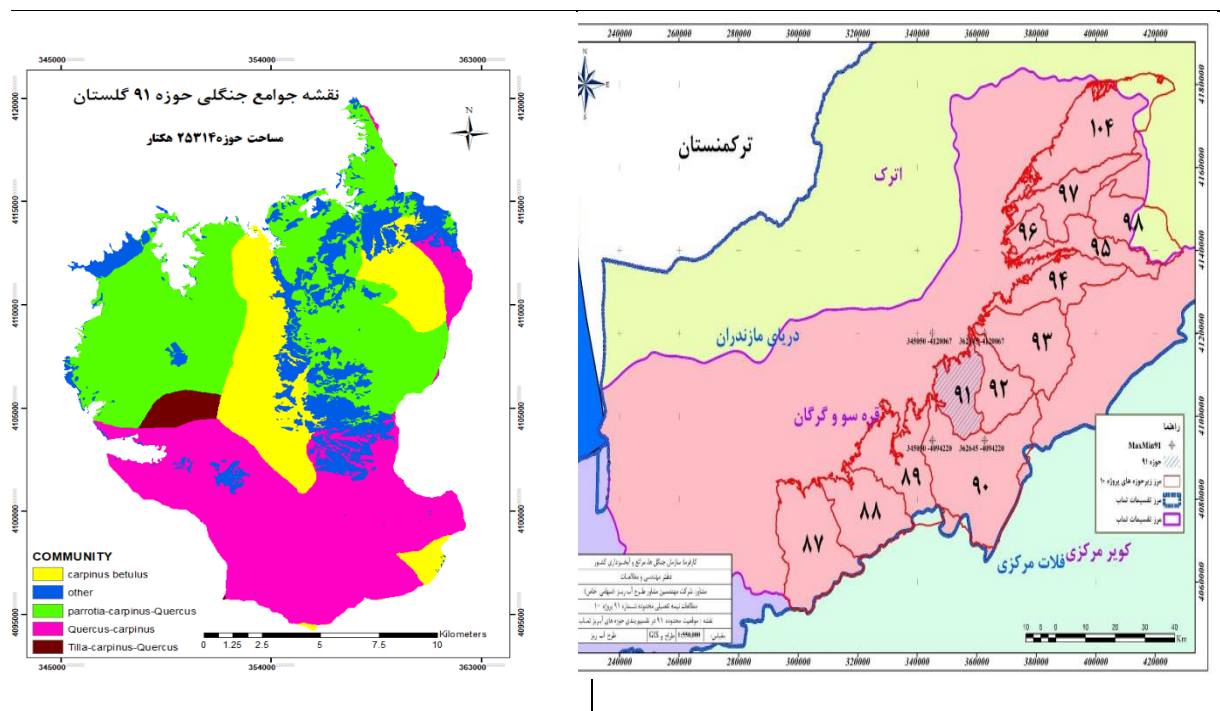
شکل ۱- موقعیت و جوامع جنگلی موجود در حوزه جنگلداری ۷ گیلان



شکل ۲- موقعیت و جوامع جنگلی موجود در حوزه جنگلداری ۵۱ مازندران

برای تعیین میزان تولید آب در حوضه‌های مورد مطالعه از مدل عملکرد آب بر مبنای مدل‌های ارائه‌شده در نرم‌افزار InVEST استفاده شد. InVEST یک ابزار ارزیابی خدمات اکوسیستم برای حمایت از تصمیم‌گیری‌های محیط‌زیستی است که در سال ۲۰۰۷ توسط پروژه سرمایه طبیعی و حفاظت از طبیعت^{۱۲} ایجاد شد (Zhang et al., 2012). این الگو از الگوی استفاده زمین و کاربری اراضی برای برآورد سطح و ارزش اقتصادی خدمات اکوسیستم، حفاظت از تنوع‌زیستی و ارزش بازار کالاهای ارائه‌شده توسط یک سرزمین استفاده می‌کند (Nelson et al., 2009).

¹²Natural Capital Project and The Nature Conservancy



شکل ۳- موقعیت و جوامع جنگلی موجود در حوزه جنگلداری ۹۱ گلستان

مدل عملکرد آب، میزان آب را در نقاط مختلف یک چشم‌انداز تخمین و نشان می‌دهد که چگونه تغییر در جوامع جنگلی به‌عنوان یک کاربری متفاوت میزان تولید آب را در بخش‌های مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد. مدل عملکرد سالانه آب بر مبنای منحنی بودیکو^{۱۳} و میانگین بارش سالیانه در نظر گرفته شده است که تعیین عملکرد آب Y_x برای هر پیکسل در چشم‌انداز X براساس رابطه ۱ برآورد می‌شود (Pirikiya et al., 2021).

$$Y_x = \left(1 - \frac{AET_x}{P_x}\right) P_x \quad \text{رابطه ۱}$$

که در رابطه Y_x : تولید آب برای پیکسل x ، AET_x : تبخیر و تعرق واقعی سالیانه برای پیکسل x و P_x : بارش سالیانه در پیکسل x است. طبق تعریف این مدل، تولید آب میزان آبی است که از خروجی حوضه خارج می‌شود و از تفریق میزان بارش از تبخیر و تعرق و نفوذ سطحی حاصل می‌شود. در عمل، اندازه‌گیری تبخیر و تعرق واقعی سالیانه در مقیاس حوضه آبخیز بسیار دشوار است که مدل عملکرد آب در InVEST برای محدوده‌هایی که دارای پوشش گیاهی هستند میزان تبخیر و تعرق واقعی (AET) را به تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) که روشی ساده‌تر و بر مبنای منحنی بودیکو پیشنهاد شده است (Fu, 1981)، مطابق رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$\frac{AET_x}{P_x} = 1 + \frac{PET_x}{P_x} - \left[1 + \left(\frac{PET_x}{P_x}\right)^{w_x}\right]^{\frac{1}{w_x}} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در رابطه PET_x پتانسیل تبخیر و تعرق است که به‌صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود:

$$PET_x = K_c(l_x) \times ET_{O_x} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در رابطه ET_{O_x} میزان تبخیر و تعرق مرجع در پیکسل x است که وابسته به مشخصه‌های ارتفاع، رطوبت، شیب و عرض جغرافیایی می‌باشد و $K_c(l_x)$ ضریب تبخیر و تعرق گیاه در ارتباط با پوشش/کاربری I_x در پیکسل x است که عمدتاً توسط

¹³Boudico's Curve

¹⁴Budyko Curve

مشخصه‌های روبشی x ها تعیین می‌شود. w_x پارامتری تجربی است که با زمینه آبی در دسترس گیاه، میزان بارندگی و ضریب ثابت Z رابطه دارد (Pirikiya et al., 2021) و مطابق رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$w = Z \times \frac{AWC_x}{P_x} + 1.25 \quad \text{رابطه ۴}$$

نسبت تبخیر و تعرق از تعادل آبی منطقه با استفاده از رابطه ۵ برآورد می‌شود. AET_x/P_x یک تقریب از معادله بادیکو^{۱۵} است که توسط Zhang و همکاران (۲۰۰۱) گسترش یافته است.

$$\frac{AET(x)}{P(x)} = \frac{1 + W_x R_{xj}}{1 + W_x R_{xj} + 1/R_{xj}} \quad \text{رابطه ۵}$$

که در رابطه ۵، R_{xj} شاخص خشکی بادیکو بدون واحد است که با توجه به نسبت تبخیر و تعرق به بارندگی تعریف می‌شود. w_x که با استفاده از رابطه ۶ تخمین زده می‌شود، یک پارامتر غیرفیزیکی است که به ویژگی‌های اقلیمی خاک بستگی دارد و توسط Zhang و همکاران (۲۰۰۱) ارائه شد.

$$W_x = Z \frac{AWC(x)}{P(x)} + 1.25 \quad \text{رابطه ۶}$$

که در رابطه AWC_x حجم آب قابل دسترس گیاه است که می‌تواند در خاک برای استفاده توسط گیاهان نگهداری و آزاد شود. AWC_x می‌تواند به عنوان محصولی از تفاوت بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی و حداقل عمق خاک و عمق ریشه برآورد شود. عدد ثابت Z که یک پارامتر تجربی است که تابعی از ویژگی‌های حوزه آبخیز مانند آب و هوا، شدت بارندگی و توپوگرافی می‌باشد (Haghdadi et al., 2018). به منظور اجرای مدل عملکرد آب، یک جدول زیست‌فیزیکی لازم است که ویژگی‌های هر کدام از کاربری زمین و پوشش زمین (LULC) و شامل کد کاربری، اطلاعات توصیفی، عمق ریشه‌دوانی به میلی‌متر، ضریب تبخیر و تعرق گیاه برای هر کاربری و وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی (۰ و ۱) می‌باشد. همچنین، یک پارامتر تجربی ثابت Z باید انتخاب شود که بیانگر توزیع فصلی بارندگی می‌باشد که مقدار آن عددی بین ۱ تا ۱۰ می‌باشد. مقدار Z در سه حوزه با توجه به مطالعات نیمه‌تفصیلی موجود و عدد محاسبه‌شده کالیبره می‌شود. بر همین اساس، مقدار Z از ۳ تا ۶ تغییر و با داده‌های موجود در مطالعات نیمه‌تفصیلی مقایسه می‌شود (جدول ۱) تا مناسب‌ترین مقدار برای کل حوزه محاسبه شود (Haghdadi et al., 2018).

پارامتر Z می‌تواند به عنوان مقداری ثابت برای کالیبراسیون استفاده شود تا شبیه‌سازی را برای فرآیندهایی خاص که مدل InVEST در نظر نمی‌گیرد، تصحیح کند. به عنوان مثال؛ برخی از این اثرات عبارتند از فراوانی وقایع طبیعی سالانه، تغییرات مکانی در ظرفیت ذخیره آب در خاک در مقیاس زیرحوزه و همزمانی چرخه‌های انرژی-بارش. هرچه تعداد روزهای بارانی در یک منطقه کمتر باشد مقدار Z نیز کاهش می‌یابد. با تست آنالیز حساسیت پارامتر Z مقدار حساسیت مدل به این پارامتر تعیین شد. مطابق این آنالیز مشخص گردید پارامتر Z تأثیر به‌سزایی در خروجی مدل دارد و بر این اساس مدل با این پارامتر کالیبره شد.

جدول ۱- میزان تولید آب با مقادیر متفاوت پارامتر Z

حوزه	Z	تولید آب (مترمکعب) محاسبه‌شده	تولید آب (مترمکعب) مطالعات نیمه تفصیلی	درصد تفاوت
حوزه ۷ گیلان	۵/۸	۲۲۲۸۹۵۱۹۰	۲۲۲۹۴۰۰۰۰	-۴۴۸۱۰
حوزه ۵۱ مازندران	۴/۶	۱۱۱۴۸۳۳۴۴	۱۱۱۴۰۰۰۰۰	+۸۳۳۴۴
حوزه ۹۱ گلستان	۳/۶	۶۸۳۶۷۶۸۰	۶۸۴۶۷۸۵۱	-۱۳۳۳۲۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

^{۱۵}Badico

به منظور تعیین ارزش اقتصادی تولید آب در منطقه مورد مطالعه از روش هزینه جایگزین^{۱۶} استفاده شد. در این مطالعه پس از تعیین مقدار آب حفظ شده در منطقه مورد مطالعه، ارزش اقتصادی خدمت تولید آب با استفاده از روش هزینه جایگزین و قیمت هر مترمکعب آب بر مبنای قیمت استحصال و فروش در پای سد از رابطه ۷ برآورد شد.

$$Ve = Fe \times Pe$$

رابطه ۷

که Ve ارزش اقتصادی کارکرد بوم‌سازگان برای حفظ آب بر حسب واحد پولی، Fe تأثیر ناشی از بوم‌سازگان در حفظ آب (مقدار آب حفاظت شده بر حسب مترمکعب در سال) و Pe قیمت اثر اقتصادی (قیمت هر مترمکعب آب حفظ شده بر حسب واحد پولی) است.

داده‌های مختلف در این مطالعه شامل نقشه‌های کاربری اراضی (جوامع جنگلی)/پوشش گیاهی، بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه، آب قابل دسترس گیاه، عمق محدودکننده ریشه در قالب فرمت رستری، مرز حوضه آبخیز در قالب نقشه وکتوری، یک جدول زیست‌فیزیکی منعکس‌کننده ویژگی‌های هر کاربری زمین و پوشش زمین با فرمت CVS و ثابت تجربی Z می‌باشد. برای تهیه نقشه کاربری اراضی در حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه از نقشه‌های موجود در دفتر مهندسی و مطالعات سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور در قالب مختصات جغرافیایی UTM^{17} استفاده شد. برخی از نقشه‌ها مانند تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه، آب قابل دسترس گیاه، عمق محدودکننده ریشه در قالب فرمت رستری با استفاده از اطلاعات و آمار موجود در طرح‌های نیمه‌تفصیلی سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور (۲۰۲۱) تولید و تهیه شد. با استفاده از داده‌های موجود طرح نیمه‌تفصیلی مصوب سال ۱۴۰۰ و نقشه تبخیر و تعرق استانی تهیه شده توسط سازمان هواشناسی، نقشه پتانسیل تبخیر و تعرق حوزه‌های ۷ گیلان، ۵۱ مازندران-ساری و ۹۱ گلستان در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS^{18} تهیه شد.

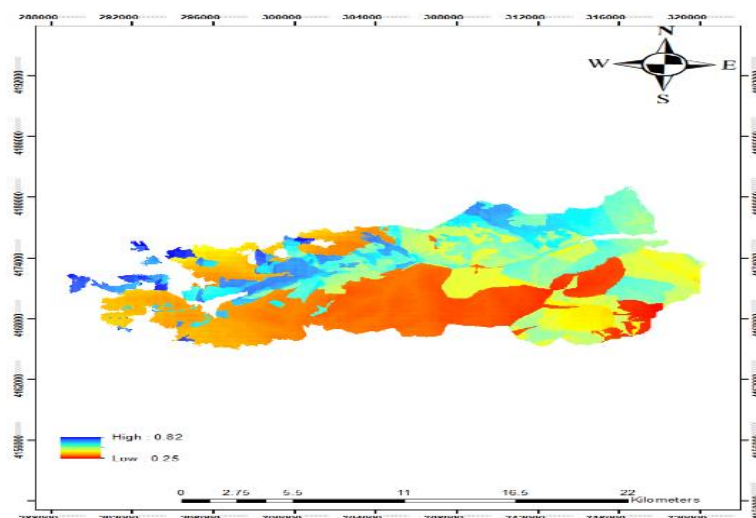
یافته‌های پژوهش

در شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب نقشه درصد و نقشه تولید آب در حوزه جنگلداری ۷ گیلان، ۵۱ مازندران و ۹۱ گلستان گزارش شده است. با استفاده از مدل عملکرد آب در InVEST، تولید آب در سطح پیکسل، برای هریک از حوضه‌ها به دست آمد. براساس محاسبات انجام شده، در مجموع به واسطه عملکرد حوضه آبی تعریف شده در محدوده‌های مطالعاتی، سالیانه ۲۷۶۴۱۶۷۹۷ مترمکعب آب تولید می‌شود. آمار تفکیکی جوامع جنگلی موجود مربوط به هریک از حوضه‌های جنگلی در جدول ۲ قابل مشاهده است که مطابق آن جامعه جنگلی راشستان در حوضه جنگلداری ۷ اسالم گیلان با متوسط تولید آب ۴۴۷۹ مترمکعب در هکتار در سطح ۱۲۰۹۲ هکتار با حجم تولید آب ۵۴۱۶۲۷۳۴ مترمکعب در سال بیش‌ترین تولید آب را به خود اختصاص داده است. همچنین، جامعه جنگلی ممرزستان در حوضه جنگلداری ۹۱ گلستان با متوسط تولید آب ۲۹۲۹ مترمکعب در هکتار در سطح ۴۰۴۴ هکتار با حجم تولید آب ۱۱۸۴۶۸۴۸ مترمکعب در سال کم‌ترین تولید آب را به خود اختصاص داده است. با توجه به مساحت و میزان بارندگی و تبخیر و تعرق در حوضه‌های جنگلداری، به ترتیب حوضه‌های ۷، ۵۱ و ۹۱ بیش‌ترین حجم تولید آب در هر هکتار برحسب مترمکعب در سال را به خود اختصاص دادند.

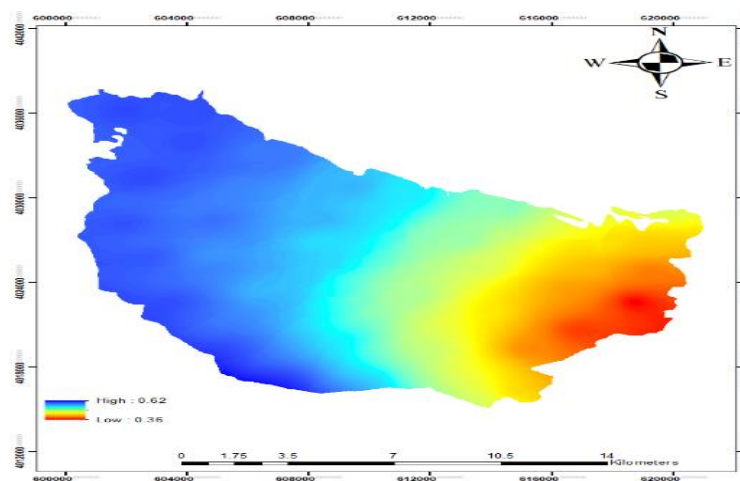
¹⁶Replacement Cost Approach

¹⁷Universal Transverse Mercator

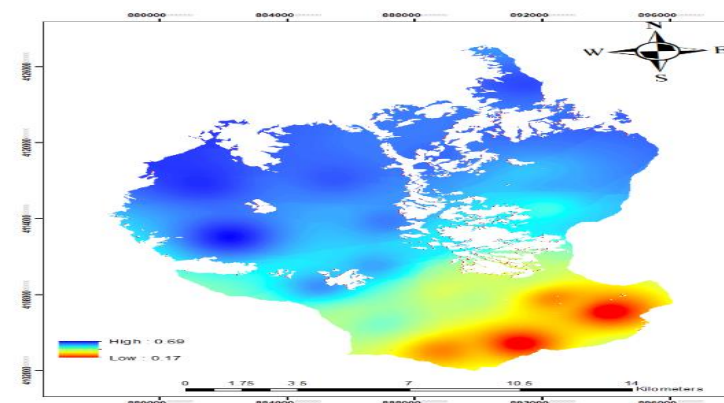
¹⁸Geographic Information System



الف) حوزه ۷ گیلان (حداقل: ۰/۲۵ و حداکثر: ۰/۸۲)

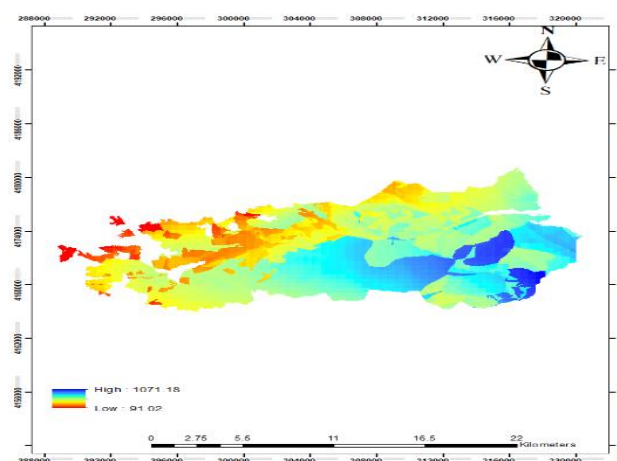


ب) حوزه ۵۱ مازندران (حداقل: ۰/۳۶ و حداکثر: ۰/۶۲)

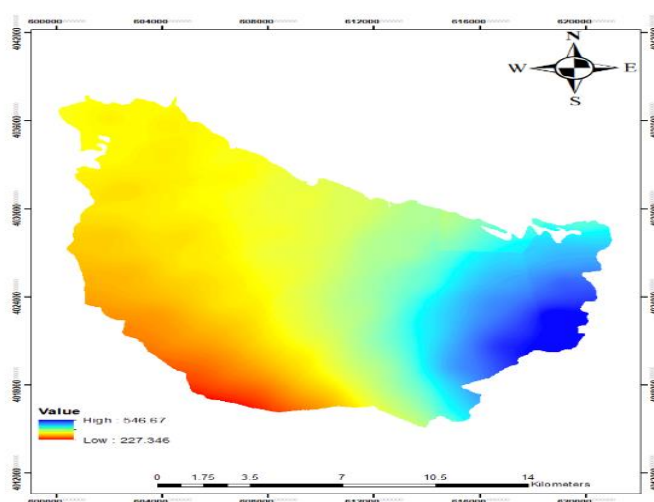


پ) حوزه ۹۱ گلستان (حداقل: ۰/۱۷ و حداکثر: ۰/۶۹)

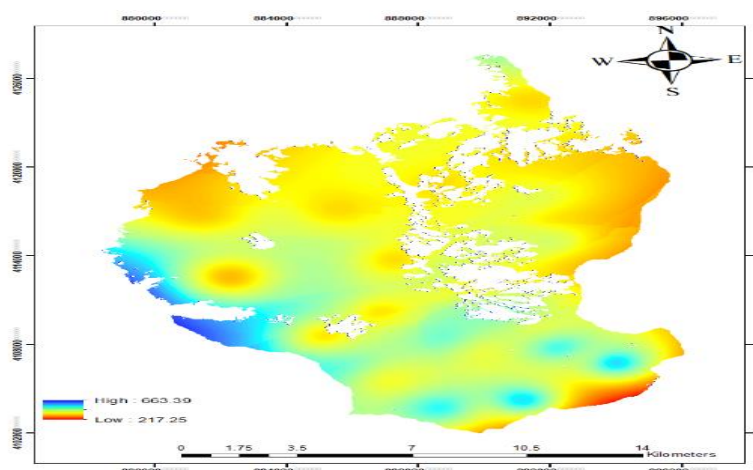
شکل ۴- نقشه درصد تولید آب در سطح پیکسل در حوزه جنگلداری: الف) ۷ گیلان، ب) ۵۱ مازندران و پ) ۹۱ گلستان



الف) حوزه ۷ گیلان (حداقل: ۹۱/۰۲ و حداکثر: ۱۰۷۱/۱۸)



ب) حوزه ۵۱ مازندران (حداقل: ۲۲۷/۳۵، حداکثر: ۵۴۶/۷)



پ) حوزه ۹۱ گلستان (حداقل: ۲۱۷/۲۵، حداکثر: ۶۶۳/۳۹)

شکل ۵- نقشه تولید آب در سطح پیکسل در حوزه جنگلداری: الف) ۷ گیلان، ب) ۵۱ مازندران و پ) ۹۱ گلستان

جدول ۲- میزان آب تولیدی (مترمکعب) و ارزش آن (میلیون ریال) (قیمت تمام‌شده ۸۲۰۰۰ ریال) در هر یک جوامع جنگلی

ردیف	جامعه جنگلی	سطح (هکتار)	متوسط تولید آب (مترمکعب در هکتار)	تولید آب در هر جامعه جنگلی	ارزش تولید آب هر جامعه جنگلی (میلیون ریال)	متوسط ارزش هر جامعه جنگلی (میلیون ریال)
۱	راشستان ۷	۱۲۰۹۲	۴۴۷۹/۲۹	۵۴۱۶۲۷۳۴	۴۴۴۱۳۴۴	۳۶۷
۲	آمیخته ۷	۶۱۹۴	۳۸۶۲/۲۵	۲۳۹۲۰۸۶۶	۱۹۶۱۵۱۱	۳۱۷
۳	راشستان ۵۱	۱۱۲۶۷	۳۶۰۷/۶۲	۴۰۶۴۷۱۰۷	۳۳۳۳۰۶۳	۲۹۶
۴	ممرز-انجیلی-لیلکی ۵۱	۱۱۷۱۸	۳۶۰۷/۵۶	۴۲۲۷۳۳۶۰	۳۴۶۶۴۱۵	۲۹۶
۵	ممرز-انجیلی ۷	۵۸۱۲	۳۴۸۵/۳۹	۲۰۲۵۶۰۳۰	۱۶۶۰۹۹۴	۲۸۶
۶	ممرزستان ۵۱	۴۵۲۸	۳۴۴۱/۱۳	۱۵۵۸۱۴۳۸	۱۲۷۷۶۷۸	۲۸۲
۷	بلوط-ممرزستان ۷	۴۲۹۰	۳۳۶۲/۲۹	۱۴۴۲۲۸۸۶	۱۱۸۲۶۷۷	۲۷۶
۸	بلوط-ممرزستان ۹۱	۸۴۰۵	۳۰۷۳/۵۷	۲۵۸۳۳۵۰	۲۱۱۸۳۳۵	۲۵۲
۹	نمدار-ممرز-بلوطستان ۹۱	۴۵۶	۲۹۹۲/۱۲	۱۳۶۴۴۰۷	۱۱۱۸۸۱	۲۴۵
۱۰	انجیلی-ممرز-بلوطستان ۹۱	۸۸۷۸	۲۹۴۰/۷۳	۲۶۱۰۷۷۷۳	۲۱۴۰۸۳۷	۲۴۱
۱۱	ممرزستان ۹۱	۴۰۴۴	۲۹۲۹/۴۹	۱۱۸۴۶۸۴۸	۹۷۱۴۴۲	۲۴۰
۱۲	جمع	۷۷۶۸۳	۳۵۵۸	۲۷۶۴۱۶۷۹۸	۲۲۶۶۶۱۷۷	۲۹۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به تعیین کمیت آب تولیدشده در حوضه‌های جنگلداری مورد مطالعه براساس اجرای مدل مربوطه، در مجموع معادل ۲۷۶۴۱۶۷۹۸ مترمکعب آب در سال تولید می‌شود. بنابراین، هر هکتار از حوضه آبخیز به‌طور متوسط ۳۵۵۸ مترمکعب آب در سال تولید می‌کند. قیمت تمام‌شده یک مترمکعب آب در سال ۱۳۹۸ براساس محاسبات وزارت نیرو معادل ۱۰۹۶۶ ریال بوده است که معادل ۴۷۳۰۰۰ ریال در سال ۱۴۰۰ می‌باشد. لازم به ذکر است که براساس مطالعه Erfani و همکاران در سال ۲۰۲۳، قیمت‌های سایه‌ای آب کشاورزی، صنعت و شرب برای هر مترمکعب در زیر حوضه‌های شمالی استان کرمان به روش داده-ستاده، به‌ترتیب برابر با ۱۲۹۹۰ ریال، ۲۵۵۷۰ ریال و ۲۵۶۶۰ ریال برآورد شد که نشان‌دهنده قیمت حقیقی آب در سال است. با اعمال نرخ تورم از طریق محاسبه گر نرخ تورم درگاه ملی آمار ایران با واردکردن سال و مبلغ مربوط به قیمت، هزینه آب کشاورزی برای سال ۱۴۰۰ طبق معادله زیر در این مطالعه محاسبه شد.

مبلغ ریالی × (عدد شاخص در مقطع زمانی اول / عدد شاخص در مقطع زمانی مورد نظر) = ارزش ریالی در مقطع زمانی مورد نظر
در نهایت، هزینه آب برای LULC کشاورزی، مبلغ ۸۱۹۴۹ ریال (۸۲۰۰۰ ریال) برای هر مترمکعب آب در سال ۱۴۰۰ جهت ارزش‌گذاری در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان تولید آب در حوضه جنگلداری ۷ اسالم گیلان با مقدار ۲۲۲۸۹۵۱۹۰ مترمکعب در هکتار است و پس از آن حوضه جنگلداری ۵۱ ساری-مازندران با مقدار ۱۱۱۴۸۳۳۴۴ مترمکعب در هکتار و در نهایت حوضه جنگلداری ۹۱ گلستان با مقدار ۶۸۳۶۷۶۸۰ مترمکعب در هکتار تولید آب را به‌خود اختصاص داده است. طبق نتایج به‌دست‌آمده در حوضه‌های جنگلداری مورد مطالعه تفاوت معنی‌دار و قابل‌توجه در بین نواحی وجود دارد. به‌طوری‌که ارزش جوامع جنگلی از ۲۴۰ میلیون ریال در هکتار تا ۳۶۷ میلیون هکتار در ۱۱ طبقه برآورد شد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه با توجه به تنوع گونه‌ای و تفاوت تیپ‌ها و جوامع جنگلی با اساس تغییر در ارتفاع از سطح دریا و خاک و مقدار بارش، ارزش اقتصادی تولید آب در جنگل‌های هیرکانی در جوامع جنگلی موجود در سه حوزه جنگلداری ۷ اسالم گیلان، ۵۱ مازندران-ساری و ۹۱ گلستان تعیین و برآورد شد. در ایران Haghdadi و همکاران (۲۰۱۸) نسبت به ارزش‌گذاری تولید آب در منطقه دلیچای استان گلستان پرداختند که میزان کل تولید رواناب را ۴۲ میلیون مترمکعب در سطح ۳۴۰ کیلومترمربع برآورد نمودند همچنین، Pirikiya و همکاران (۲۰۲۱) به ارزش‌گذاری تولید آب در منطقه داربکلای مازندران اقدام نموده که براساس محاسبات انجام‌شده توسط مدل در کل حوزه آبخیز داربکلا، سالانه ۱۲۸۰۶۵۸۳ مترمکعب آب تولید شد. در این تحقیق با توجه به تعیین کمیت آب تولیدشده در جوامع جنگلی براساس اجرای الگوی مربوطه، مشخص شد که در مجموع معادل ۲۷۶۴۱۶۷۹۸ مترمکعب آب در سال

توسط سه حوضه جنگلداری ۷ گیلان، ۵۱ مازندران و ۹۱ گلستان تدارک می‌شود. بنابراین، هر هکتار از جامعه جنگلی معادل ۳۵۵۸ مترمکعب آب را در سال تولید می‌کند. قیمت تمام‌شده یک مترمکعب آب در سال ۱۳۹۸ براساس محاسبات وزارت نیرو معادل ۱۰۹۶۶ ریال بوده است. بنابراین، براساس روش ارزش‌گذاری هزینه جایگزین، ارزش اقتصادی هر هکتار از جامعه جنگلی برای خدمت تولید آب معادل ۳۹ میلیون ریال و ارزش کل بوم‌سازگان‌های حوضه‌های مورد مطالعه ۷۷۸۶۳ هکتار برای خدمت تولید آب معادل ۳۰۳۱۱۸۷ میلیون ریال برآورد می‌شود. مناطق مورد مطالعه از نظر میزان ارزش خدمت بوم‌سازگان تولید آب از غرب به شرق کاهش یافته و در جوامع جنگلی با توجه به نوع گونه‌های جنگلی و میزان تبخیر و تعرق و بارش در ۱۱ طبقه متفاوت از ارزش قرار گرفته است. این طبقات از حداقل ۳۲ میلیون ریال در گلستان تا حداکثر ۴۹ میلیون ریال در گیلان در هر هکتار تفاوت دارند. چنانچه سطح جنگل‌های شمال ایران را $\frac{2}{3}$ میلیون هکتار در نظر گرفته شود و در متوسط تولید آب ضرب شود عددی معادل ۸۱۸۴ میلیون مترمکعب توانایی تولید آب را خواهد بود که دارای ارزشی معادل ۸۹۷۴۶ میلیارد ریال می‌باشند. نتایج این پژوهش تفاوت میزان ارائه تولید آب را در جوامع جنگلی مختلف نشان داد. نظر به فراهم‌سازی آب و مشکلات موجود در تأمین آب برای مردم ساکن در منطقه و با توجه به این موضوع که تولید آب در بالادست حوزه از پایین‌دست بیش‌تر است باید تصمیم‌گیری و مدیریت پوشش به‌گونه‌ای باشد که تولید آب در هر بخش با مقدار مورد نیاز منطقه مطابقت داشته باشد. همچنین، پس از ارزیابی اکولوژیک این خدمت بوم‌سازگان با ارزش‌گذاری اقتصادی تولید آب می‌توان سبب تشویق مشارکت ساکنین محلی برای حفاظت و مدیریت بوم‌سازگان شد تا هزینه مربوط به خدمات ارائه شده توسط ذی‌نفعان پرداخت شده و در نتیجه بوم‌سازگان دچار آسیب کم‌تر و بهتر حفاظت شود.

تاج‌پوشش درختان جنگلی و چگونگی توزیع مکانی آنها اثر مهمی بر افزایش نفوذ آب در خاک و کاهش تولید آب دارند. هر چه جنگل‌ها پوشش غنی‌تری داشته باشند این قابلیت را دارند که آب بیش‌تری را نفوذ دهند و خود پوشش گیاهی مانع سیلاب می‌شود؛ زیرا سیل زمانی به‌وجود می‌آید که آب به سرعت از حوضه آبخیز خارج شود. همچنین، لاشبرگ‌های کف جنگل مانند اسفنج عمل می‌کنند و سبب نگهداری آب می‌شوند و علاوه بر این، آب را به لایه‌های پایینی خاک نفوذ می‌دهند که با نتایج Haghdadi و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد. در این مطالعه اگرچه ارزش‌گذاری جامع خدمات بوم‌سازگان صورت نپذیرفت، اما نشان داده شد که چگونه با تلفیق داده‌های اقتصادی در مدل‌های زیست‌فیزیکی موجود می‌توان ارزش‌گذاری اقتصادی خدمت تولید آب را بر مبنای توزیع فضایی و مکانی به‌صورت نقشه درآورد که در ممانعت از بروز بسیاری از خطاهای ناشی از یکسان‌پنداری عرصه و استفاده از برآوردهای میانگین مؤثر است. آگاهی از این ارزش‌ها می‌تواند نقش مؤثری در جلب توجه مردم، مسئولان و سیاست‌گذاران به مسائل محیط‌زیست ایفا کند، زیرا دستیابی به ارقام کمی همواره به درک ملموس‌تر مسئله کمک کرده و امکان مقایسه را به‌راحتی فراهم می‌سازد.

در مجموع، کاربرد ابزار InVEST در بسیاری از نقاط دنیا در شرایطی که هیچ داده‌ای از شرایط پایه خدمات بوم‌سازگان موجود نیست و یا داده‌های موجود غیرقابل‌دسترس، نامناسب و گران هستند و انجام ارزیابی مقرون به‌صرفه در کوتاه‌ترین زمان ممکن مد نظر است، مناسب است. یکی از مشکلات اولیه در ارزیابی محیط‌زیستی این است که برای بسیاری از حوزه‌های آبخیز داده‌های مربوط به شرایط پایه هیدرولوژیکی در دسترس نیست. بنابراین، کاربرد این مدل به‌لحاظ اتکا به پایگاه‌های مختلف داده‌ای بین‌المللی می‌تواند به رفع این مشکل بزرگ کمک کند. بر همین اساس، مدل می‌تواند خروجی‌های مفیدی در زمینه این خدمت بوم‌سازگان (تولید آب) در اختیار کاربر قرار دهد. از نقشه به‌دست‌آمده می‌توان در ارزیابی و آمایش سرزمین رایانه‌ای استفاده نمود تا بدین ترتیب تعیین مکان‌یابی کاربری‌ها از هوشمندی بیش‌تری برخوردار باشد. از سوی دیگر، به‌واسطه فراهم‌کردن داده‌های کمی مورد نیاز برای ارزش‌گذاری اقتصادی خدمات بوم‌سازگان سبب ارتقاء کیفیت مطالعات اقتصاد محیط‌زیستی کشور می‌شود.

نتایج نشان داد که خدمت غیربازاری تولید آب، دارای ارزش بالایی است. ارزش این خدمت در حساب‌های ملی به‌علت عدم توانایی بازار در تعیین ارزش آنها وارد نمی‌شود، بنابراین ضروری است ارزش واقعی آنها در حساب‌های ملی و برنامه‌ریزی‌های محیط‌زیستی محاسبه شود، چرا که هر نوع تصمیم‌گیری براساس ارزش‌های تولیدی اکوسیستم سبب نتایج و تصمیم‌گیری‌های اشتباه خواهد شد.

جهت استفاده از خدمات جنگل‌های منطقه، از تغییر کاربری آنها به سایر کاربری‌ها از جمله زراعت، ساخت و ساز انسانی و یا اختصاص آنها برای اجرای فعالیت‌های صنعتی جلوگیری شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود که قبل از اجرای هر طرحی که دارای آثار چندبعدی می‌باشند از طریق محاسبه ارزش خدمات چندگانه محیط‌زیستی، نسبت منفعت به هزینه این طرح‌ها محاسبه شده و در صورت توجیه اقتصادی و اجتماعی این طرح‌ها را به مرحله اجرا برسانند.

References

- Asadolahi, Z., Salmanmahiny, A., Mirkarimi, S.H., Azimi, M., 2015. Modeling sediment retention ecosystem service using InVEST software (case study: eastern part of Gorgan-Rud watershed). *Journal of Environmental Erosion Research* 3(19), 61-75. (In Persian)
- Amirnejad, H., Ataie Solout, K., Zarandian, A., 2018. Determining The Economic Value of Water Regulation Function By The Vegetation of Bamou National Park. *Iranian Journal of Range And Desert Research* 25(1), 216-226. (In Persian)
- Bostan, Y., Fattahi, A., Sadeghinia, M., Fehrest, M., 2018. Estimating the economic value of soil and water regulatory services of rangeland ecosystems (Case study: Sheykh Musa rangeland of Babol). *Journal of Pasture* 12(4), 464-480. (In Persian)
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van der Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253-260.
- Dahmardeh, M., Shahraki, J., Akbari, A., 2018. Economic Assessment of Environmental Damages Caused by Drying up of Hamoon Wetland in Sistan Region. *Journal of Natural Environmental Hazards* 19(1), 209-228. (In Persian)
- Fu, B., 1981. On the calculation of the evaporation from land surface [in Chinese]. *Sciences Atmospheric Sin*, 1(5), 23-31.
- Gao, J., Li, F., Gao, H., Zhou, C., Zhang, X., 2016. 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, 5148-5155.
- Erfani, M., Joorabian Shooshtari, S., Ardakani, T., Jahanishakib, F., 2023. Spatial Gradient Modeling Of Water Yield Service Using Invest In Northern Sub-Basins of Kerman Province. *Journal of Water And Irrigation Managemen* 13(1), 63-81. (In Persian)
- Gauthier, S., Bernier, P., Kuuluvainen, T., Shvidenko, A.Z., Schepaschenko, D.G., 2015. Boreal forest health and global change. *Science* 349(6250), 819-822.
- Henareh Khalyani, J., Ghanbari, S., Haidari, M., Javanmiri Pour, M., 2021. Using Contingent Valuation Method To Valuation Conservation of Habitat Function In North Zagros Forests. *Renewable Natural Resources Research* 11(2), 29-43. (In Persian)
- 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 (Journal Of Agricultural Sciences And Natural Resources)* 25(4), 275-290. (In Persian)
- Hosseini, S., Amirnejad, H., Oladi, J., 2017. The Valuation of Functions And Services of Forest Ecosystem Of Kiasar National Park. *Agricultural Economics: Iranian Journal of Agricultural Economics (Economics And Agriculture Journal)* 11(1), 211-239. (In Persian)
- Jasechko, S., Sharp, Z.D., Gibson, J.J., Birks, S.J., Yi, Y., Fawcett, P.J., 2013. Terrestrial water fluxes dominated by transpiration. *Nature* 496(2013), 347-350.
- Pirikiya, M., Fallah, A., Amirnejad, H., Mohamadi, J., 2021. Economic valuation of water production service in forest ecosystems (case study: Darabkola watershed). *Ecological Iran Forest* 9(18), 22-33.
- Martínez-Harms M. J., Quijas S., A.M. Merenlender, P Balvanera. 2016. Enhancing ecosystem services maps combining field and environmental data. *Ecosystem Services* 22, Part A, 32-40.
- Minga-León, S., Gómez-Albores, M.A., Bâ, K.M., Balcázar, L., Manzano-Solís, L.R., Cuervo-Robayo, P. A., Mastachi-Loza, C.A., 2018. Estimation of water yield in the hydrographic basins of southern Ecuador. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 529, 1-18.
- Natural Resources and Watershed Organization of the country, 1400. Studies on the detailed plan of sustainable management of natural resources in the forest areas of the north of the country in area 7.

- Natural Resources and Watershed Organization of the country, 1400. Studies on the detailed plan of the sustainable management of natural resources in the forest areas of the north of the country in area 51.
- Natural Resources and Watershed Organization of the country, 1400. Studies on the detailed plan of sustainable management of natural resources in the forest areas of the north of the country in area 91.
- Sahle, M., Saito, O., Furst, 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, 573-586.
- Schlesinger, WH., Jasechko, S., 2014. Transpiration in the global water cycle. *Agricultural and Forest Meteorology* 189(190), 115-117.
- Nelson, E., Mendoza, G., Regetz, J., Polasky, S., Tallis, H., Cameron, D., Chan, M., Daily, G., Goldstein, J., Kareiva, P., Lonsdorf, E., Naidoo, R., Ricketts, T., Shaw, M., 2009. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7(1), 4-11.
- UNECE, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018. *Forests and Water: Valuation and Payments for Forest Ecosystem Service*. 2018 United Nations. ISBN 978-92-1-117175-4.
- Zhang, C., Li, W., Zhang B., Liu, M., 2012. Water yield of Xitiaoxi river basin based on InVEST modeling. *Journal of Resources and Ecology* 3(1), 50-54.
- Zhang, L., Hickel, K., Dawes, W., Chiew, F., Western, A., Briggs, P., 2004. A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration. *Water Resource*. 40(2), 1-14.
- Zhou, G., Wei, X., Chen, X., Zhou, P., Liu, X., Xiao, Y., Sun, G., Scott, DF., Zhou, S., Han, L., Su, Y., 2015. Global pattern for the effect of climate and land cover on water yield. *Nature Communications* 6, 5918.