



Ecosystem Water Production Modeling in the Rangelands of Daryan Watershed, Semnan, Using InVEST Software

Nikoo Taheri Mohammad Abadi¹, Mohammad Ali Zare Chahouki^{*2}, Hossein Azarnivand³

1. Ph.D. Rangeland Sciences, Department of Arid and Mountains Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Corresponding author; Prof., Department of Arid and Mountains Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mazare@ut.ac.ir
3. Prof., Department of Arid and Mountains Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

2025; Vol 19, Issue 1

Article history:

Received: 31.01.2022
Revised: 27.04.2025
Accepted: 04.05.2025

Keywords:

Ecosystem services,
hydrological modeling,
water production,
InVEST,
Semnan,
Daryan watershed.

Abstract

Background and objectives: Water resources are among the most essential ecosystem services provided by natural landscapes, particularly rangelands and watersheds. As critical components of hydrological cycles, rangelands contribute significantly to regulating surface and subsurface water flow, minimizing erosion, and enhancing water quality. The vegetation cover in rangelands plays a pivotal role in water conservation by increasing soil permeability, reducing runoff, and limiting evaporation losses. In arid and semi-arid regions such as Iran, where water availability is constrained and unevenly distributed, assessing the role of rangelands in water production and evaluating the impacts of land-use changes on hydrological processes is of utmost importance. This study employs the InVEST software to model water production in the Daryan watershed, Semnan Province.

Methodology: Spatial datasets, including maps of average annual precipitation, land cover, plant-available water capacity, and root-restricting layer depth, were compiled and processed within the InVEST software framework. Using these inputs, the volume of producible water ($m^3/year$) was estimated for each sub-watershed within the study area.

Results: The findings indicate that the Daryan watershed generates approximately 95.82 million cubic meters of water annually. Among the sub-watersheds, C2 exhibited the highest water production (7 million cubic meters per year), while C15 recorded the lowest (0.48 million cubic meters per year). A comparative analysis of water production volumes across baseline, current, and future scenarios suggests that by the year 1410 (2031), water production across all sub-watersheds will decline by 13.5% relative to the present conditions.

Conclusion: Given the prevailing climatic and physiographic conditions, future projections indicate a decline in water production in the Daryan watershed, accompanied by increased evapotranspiration rates. These environmental shifts pose significant risks to local water resources and vegetation stability, potentially exacerbating land degradation. The quantitative assessment of water production as an ecosystem service provides a valuable framework for regional land management planning. By integrating long-term ecosystem service evaluations, sustainable land-

use strategies can be formulated in alignment with regional capacities, ensuring effective water resource conservation in similar arid landscapes.

Cite this article: Taheri Mohammad Abadi, N., M.A. Zare Chahouki, H. Azarnivand, 2025. Ecosystem Water Production Modeling in the Rangelands of Daryan Watershed, Semnan, Using InVEST Software. Journal of Rangeland, 19(1): 14-31.



© The Author(s).

Publisher: Iranian Society for Range Management

DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5

مدل‌سازی تولید آب زیست‌بوم مرتع حوزه آبخیز دریان سمنان با استفاده از نرم‌افزار InVEST

نیکو طاهری محمدآبادی^۱، محمدعلی زارع چاهوکی^{۲*}، حسین آذرنیوند^۳

۱. دکتری علوم مرتع، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۲. نویسنده مسئول، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایان نامه: mazare@ut.ac.ir
۳. استاد گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل – پژوهشی	سابقه و هدف: منابع آب یکی از مهم‌ترین خدمات زیست‌بومی است که از اکوسیستم‌های طبیعی، بهویژه مرتع و حوزه‌های آبخیز تأمین می‌شود. مرتع به عنوان یکی از اجزای کلیدی اکوسیستم‌های طبیعی، نقشی اساسی در حفظ تعادل هیدرولوژیکی، تنظیم جریان‌های سطحی و زیرسطحی، کنترل فرسایش و بهبود کیفیت منابع آبی ایفا می‌کنند. پوشش گیاهی مرتع، با افزایش نفوذپذیری خاک، کاهش رواناب و کنترل تبخیر سطحی، در حفظ منابع آب و افزایش تولید آب در حوزه‌های آبخیز نقش مهمی دارد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، که منابع آب محدود و توزیع آن نامتوارن است، بررسی نقش مرتع در تولید آب و ارزیابی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر فرآیندهای هیدرولوژیکی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این تحقیق، مدل‌سازی تولید آب در حوزه آبخیز دریان سمنان با استفاده از نرم‌افزار InVEST انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۴	مواد و روش‌ها: نقشه‌های میانگین بارندگی سالانه، پوشش اراضی، مقدار آب در دسترس گیاه و عمق لایه محدود کننده ریشه تهیه و وارد نرم‌افزار InVEST شد و بر مبنای آن‌ها مقدار حجم آب قابل تولید در هر زیرحوزه (مترمکعب/ سال) بدست آمد.
واژه‌های کلیدی: خدمات زیست‌بوم، مدل‌سازی، تولید آب، .InVEST حوزه آبخیز دریان سمنان.	نتایج: در حوزه آبخیز دریان سالانه، ۹۵/۸۲ میلیون مترمکعب در سال آب تولید می‌شود که بیشترین مقدار تولید آب، در زیرحوزه C ₂ با ۷ میلیون مترمکعب در سال و کمترین میزان تولید آب، در زیرحوزه C ₁₅ با ۰/۴۸ میلیون مترمکعب آب در سال بود. نتایج مقایسه حجم میزان آب تولید شده در زیرحوزه‌ها در سه وضعیت پایه، فعلی و آینده نشان داد که حجم آب تولیدی در تمام زیرحوزه‌ها در سال ۱۴۱۰، ۱۳/۵ درصد نسبت به وضعیت فعلی کاهش خواهد یافت.
	نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که با توجه به شرایط اقلیمی و توپوگرافی، میزان تولید آب در حوزه آبخیز دریان در آینده کاهش و تبخیر و تعرق در این منطقه افزایش خواهد یافت. این تغییرات بر بر منابع آبی و پوشش گیاهی تأثیر منفی دارد و سبب ایجاد تهدیدات جدی می‌شود. ارزیابی کمی خدمت تولید آب، می‌تواند به عنوان یک الگو در سایر مناطق برای برنامه‌ریزی مدیریت سرزمین مفید باشد و با بررسی خدمت زیست‌بوم در یک دوره زمانی قابل قبول و ارائه چشم‌اندازی از آینده، می‌توان نوع بهره‌برداری از سرزمین را متناسب با توان منطقه مشخص کرد.

استناد: طاهری محمدآبادی، ن.، بع. زارع چاهوکی، ح. آذرنیوند، ۴. ۱۴۰۰. مدل سازی تولید آب زیست بوم مراتع حوزه آبخیز دریان سمنان با استفاده از نرم افزار InVEST مرتع، (۱۹)۱۴-۳۱.



DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5

© نویسنده‌گان

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران

مقدمه

منابع آب یکی از مهم‌ترین خدمات زیست‌بومی است که از اکوسیستم‌های طبیعی، بهویژه مراتع و حوزه‌های آبخیز تأمین می‌شود. مراتع به عنوان یکی از اجزای کلیدی اکوسیستم‌های طبیعی، نقشی اساسی در حفظ تعادل هیدرولوژیکی، تنظیم جریان‌های سطحی و زیرسطحی، کنترل فرسایش و بهبود کیفیت منابع آبی ایفا می‌کند (۲۹). پوشش گیاهی مراتع، با افزایش نفوذپذیری خاک، کاهش رواناب و کنترل تبخیر سطحی، در حفظ منابع آب و افزایش تولید آب در حوزه‌های آبخیز نقش مهمی دارد (۸). در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، که منابع آب محدود و توزیع آن نامتوافق است، بررسی نقش مراتع در تولید آب و ارزیابی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر فرآیندهای هیدرولوژیکی از اهمیت بالایی برخوردار است. پوشش گیاهی مراتع تأثیر مستقیمی بر چرخه آب در اکوسیستم دارد. ریشه‌های گیاهان مرتعی با نفوذ به خاک، موجب افزایش تخلخل و ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود که این امر به کاهش رواناب سطحی و افزایش تعذیه سفره‌های آب زیرزمینی کمک می‌کند (۶). همچنین، پوشش گیاهی نقش مهمی در جلوگیری از فرسایش خاک دارد که در نتیجه، میزان رسوب در منابع آبی کاهش یافته و کیفیت آب حفظ می‌شود (۱۳). پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که در مناطقی که پوشش مرتعی به دلیل چرای بیش از حد یا تغییرات کاربری اراضی کاهش یافته است، رواناب سطحی افزایش یافته و نفوذپذیری خاک کاهش می‌یابد که این امر به کاهش ذخیره آب در سفره‌های زیرزمینی منجر می‌شود (۲۴)، بنابراین، ارزیابی نقش مراتع در حفظ و تولید منابع آبی، بهویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ضروری است.

مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی و برآورد تولید آب در حوزه‌های آبخیز می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان منابع طبیعی کمک کند تا تصمیمات آگاهانه‌ای برای حفظ و بهره‌برداری پایدار از منابع آب اتخاذ کنند. در این میان، Integrated Valuation of Ecosystem (InVEST) نرم‌افزار (Services and Tradeoffs) یکی از ابزارهای قدرتمند در ارزیابی خدمات زیست‌بومی مرتبط با منابع آب است. این مدل قادر است با استفاده از داده‌های مکانی و اطلاعات

محیطی، تولید آب در سطح حوزه آبخیز را تخمین زده و تأثیر عوامل مختلف از جمله پوشش گیاهی، کاربری اراضی و تغییرات اقلیمی را بر منابع آبی تحلیل کند (۲۰). مدل‌سازی تولید آب می‌تواند بر مدیریت و پیش‌بینی آثار سیاست‌های توسعه اقتصادی و پیامدهای تغییرات کاربری اراضی در راستای برنامه‌ریزی سرزمین مؤثر باشد (۱۶). عدم قطعیت زیادی در برآورد آب قابل تولید وجود دارد، بهویژه تغییرات زیاد مکانی‌زمانی در تولید آب می‌تواند تحت تأثیر شرایط تغییر اقلیم باشد (۱۸). بنابراین برآورد دقیق و کمی‌سازی عوامل مؤثر بر آب قابل تولید نیازمند تصمیمات مناسب خدمات زیست‌بوم مانند احیای اجتماعی و امنیت تقاضای آب در سیستم اقتصادی-پوشش گیاهی و امنیت تقاضای آب در سیستم اقتصادی-اجتماعی است (۱۵).

در مطالعات مختلفی آثار پارامترهای اقلیمی بر آب قابل تولید ارزیابی شده است که بیانگر همبستگی مثبت بین بارش و آب قابل تولید (۱۷) و روابط مختلف بین کاربری و آب قابل تولید است (۲۷)، از این رو مطالعه و برآورد آبی که در زیست‌بوم‌های طبیعی مانند مراتع و جنگل‌ها تولید می‌شود، از اهمیت بالایی برخوردار است. مدل‌سازی سیستم‌های منابع آب از اجزای ضروری فرآیند برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب است. ابزارهای متعددی برای مدل‌سازی منابع آب در سراسر جهان استفاده می‌شود و اغلب براساس استفاده از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل پیچیده و نرم‌افزارهای کامپیوترا توسعه یافته است که رفتار سیستم‌های منابع آب را با اصول ریاضی شبیه‌سازی می‌کنند. لانگ و همکاران (۲۰۱۷) آثار توسعه ساریوهای آینده مربوط به عملکرد آب و بررسی تأثیر تغییرات گذشته و فعلی کاربری اراضی از طریق مدل ارزش یکپارچه خدمات زیست‌بوم InVEST و آثار تغییر کاربری اراضی بر تولید آب را ارزیابی کردند. در سال‌های اخیر در ایران پژوهش‌هایی در زمینه خدمات زیست‌بوم‌ها صورت گرفته است، اما بیشتر این پژوهش‌ها در زیست‌بوم‌های جنگلی انجام شده و پژوهش‌های زیادی در مراتع انجام نشده است. این در حالی است که مراتع در ایران با پوشش حدود ۵۵ درصد سطح کشور و همچنین ۷۰ درصد از سطح خشکی‌های کره زمین، وسیع‌ترین زیست‌بوم کشور و کره زمین قلمداد می‌شوند (۱). ارزیابی وضعیت زیست‌بوم‌های مرتعی از نظر تولید

میلیون مترمکعب آب تولید می‌شود که بیشترین مقدار تولید آب، در زیرحوزه حسنجون با $59/3$ میلیون مترمکعب در سال و کمترین میزان تولید آب، در زیرحوزه‌های دنبليد، زيدشت ۱ و زيدشت ۲ است. بچتو و همكاران (۲۰۲۱) به ارزيايي و کمي‌سازى توليد آب زيست‌بوم در ايتاليا با نرم‌افزار InVEST پرداختند. نتایج کمي‌سازى نشان داد که اين مدل برای مدیریت حفظ و نگهداری جنگل به عنوان راهی برای ترسیم و برنامه‌ریزی آينده به تصمیم‌گیران برای حفظ مناطق با اولویت بیشتر (تولید حجم آب بیشتر) بسیار کمک خواهد کرد. بنابر اهمیت روزافزون تولید آب از گذشته تا به امروز و فشار زیادی که در اثر تغییرات کاربری اراضی، افزایش جمعیت و تصمیمات مدیریتی بر منابع آب وارد می‌شود، ارزيايي این خدمت زيست‌بوم از اهمیت بالايی برخوردار است.

با توجه به اينکه مراتع حوزه آبخیز دريان سمنان تحت تأثیر فشارهای انسانی، تغییرات اقلیمی و مدیریت ناپایدار منابع قرار دارند، ارزيايي نقش آن‌ها در تولید آب و بررسی تأثیر عوامل مختلف بر این فرآيند ضروری است. استفاده از مدل InVEST در این حوزه آبخیز می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره تأثیر پوشش گیاهی مراتع بر منابع آب ارائه دهد که در مدیریت بهینه منابع طبیعی و تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری مفید خواهد بود.

مواد و روش‌ها

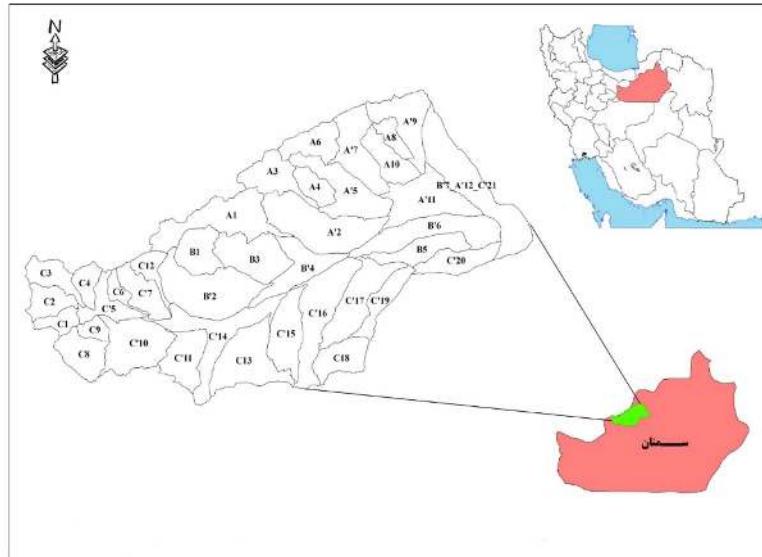
منطقه مورد مطالعه، حوزه آبخیز دريان سمنان است که در ۳۲ کیلومتری شمال شرق شهر سمنان واقع شده است. مساحت این حوزه آبخیز 288105 هکتار است (شکل ۱). این منطقه از شمال غرب به سمنان، از شمال شرق به دامغان، از جنوب شرق به شهریزد و از جنوب به جاده معلمان محدود می‌شود. موقعیت جغرافیایی آن بین "۵۳° ۲۳' ۲۱" تا "۱۳° ۲۳' ۳۵" طول شرقی و "۴۹° ۴۲' ۲۸" شمالی قرار گرفته است. حوزه آبخیز دريان دارای اقلیم فراخشک سرد در شرق حوزه، نیمه‌خشک سرد در غرب حوزه و اکثر منطقه دارای اقلیم خشک سرد و متواتسط دمای $13/53$ درجه سانتی‌گراد است. حداقل ارتفاع حوزه مورد مطالعه 3274 متر و حداقل ارتفاع آن 1032 متر از سطح دریاست. میانگین بارندگی سالانه حوزه آبخیز مورد مطالعه

خدمات زيست‌بوم مختلف برای بهره‌برداران زيست‌بوم‌ها (دامداران یا ساکنین محلی) از اهمیت بالایی برخوردار است. برای ترکیب خدمات زيست‌بوم‌ها با تصمیم‌گیری‌ها و اقدام‌ها، نیاز به نقشه‌بندی و اندازه‌گیری دقیق خدمات زيست‌بوم می‌باشد. با توجه به اهمیت خدمات زيست‌بوم مربوط به آب، ابزارها و مدل‌های مختلفی برای مطالعه و بررسی این خدمات توسعه یافته تا به کمک آنها تصمیماتی مناسب برای مدیریت زيست‌بوم‌ها اتخاذ شود. InVEST فضایی مناسبی از نوع مدل‌های منبع باز است که توسط دانشگاه استنفورد توسعه یافته و برای نقشه‌بندی و کمي‌سازى خدمات زيست‌بوم استفاده می‌شود (۲۱).

InVEST قابلیت ساده‌سازی مسائل پیچیده، تولید داده‌های خروجی متعدد و در نتیجه، افزایش توانایی حل مسئله را دارد. این ابزار تا امروز بهطور گستره‌ای در سراسر دنیا در پژوهش‌ها و برنامه‌های مدیریتی متنوع به کار گرفته شده است و مورد آنالیز و ارزیابی قرار گرفته است (۲۷). شارپ و همكاران (۲۰۲۳) در آخرین نسخه از مدل‌های InVEST نقش داده‌های سنجش از دور و مدل‌سازی مکانی در بهبود دقت برآورد تولید آب را بررسی کرده و نشان داده‌اند که استفاده از این مدل می‌تواند تأثیر پوشش گیاهی بر هیدرولوژی حوزه‌های آبخیز را با دقت بالا شبیه‌سازی کند. جعفرزاده و همكاران (۲۰۱۹) با بررسی خدمات زيست‌بوم مرتعی در حوزه آبخیز میشخاص ایلام، نشان دادند که تولید آب دارای بیشترین ارزش بین سایر خدمات زيست‌بوم است، همچنین نتایج تحقیق آنها نشان داد که مرتع مورد مطالعه از لحاظ خدمت تولید آب از اهمیت بیشتری نست به تولید علوفه برخوردار است و حفظ و ارتقا تأمین این خدمت در مراتع منطقه از جنبه‌های انسانی و اقتصادی بسیار مهم می‌باشد. صادقی‌نیا و همكاران (۲۰۱۹) با بررسی ارزش اقتصادی خدمت تولید آب زيست‌بوم‌های مرتعی شیخ موسی بابل به این نتیجه رسیدند که مدیران و مسئولان باید به خدمات زيست‌بوم‌های مرتعی در حوزه حفاظت و تولید آب در راستای تهیه آب شرب و کشاورزی پایدار اهمیت بیشتری بدهند. زارع‌چاهوکی و شفیع‌زاده (۲۰۲۰) به مدل‌سازی تولید آب در حوزه آبخیز طالقان میانی پرداختند. نتایج تحقیق توسط مدل InVEST نشان داد در مجموع در حوزه آبخیز طالقان میانی، سالانه $200/9$

مدل‌سازی تولید آب زیست‌بوم مراتع حوزه آبخیز دریان سمنان ... / طاهری محمدآبادی و همکاران

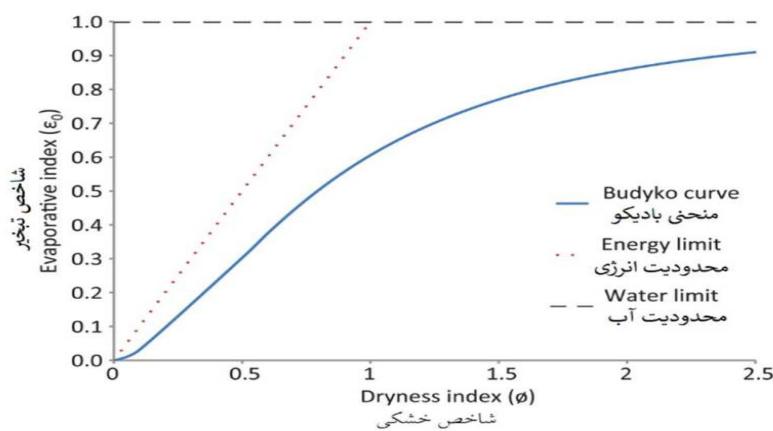
اینسپتی‌سول‌ها (Inceptisols) و اریدی‌سول‌ها (Aridisols) قرار می‌گیرد (۷). مقدار ۱۱۶ میلی‌متر (در یک دوره آماری ۳۰ ساله) است. از این خاک در حوزه آبخیز دریان در رده انتی‌سول‌ها (Entisols)،



شکل ۱: موقعیت حوزه آبخیز دریان

از خروجی حوزه خارج می‌شود و از تفریق میزان بارش از تبخیر و تعرق و نفوذ سطحی حاصل می‌شود. منحنی بادیکو یکتابع تجربی است که ارتباط نسبت تبخیر و تعرق واقعی به بارش را نسبت به تبخیر و تعرق پتانسیل به بارش نشان می‌دهد (۲۸).

مدل‌سازی تولید آب در منطقه مورد مطالعه: برای تعیین میزان تولید آب در منطقه مورد مطالعه از مدل تولید آب موجود در مجموعه نرم‌افزاری InVEST3.9.0 استفاده شد. این مدل میزان آب را در نقاط مختلف یک چشم‌انداز تخمین می‌زند (۲۶). مدل تولید آب بر پایه منحنی بادیکو (شکل ۲) و طبق تعریف آن، تولید آب، میزان آبی است که



شکل ۲- منحنی بادیکو برای تعیین تبخیر و تعرق واقعی نسبت به تبخیر و تعرق پتانسیل

تولید آب (y) برای هر پیکسل در چشم انداز x از رابطه
(۱) به دست می‌آید:

رابطه (۱):

$$Y(x) = \left(1 - \frac{AET(x)}{P(x)}\right) * P(x)$$

که در رابطه بالا، $AET(x)$: تبخیر و تعرق واقعی سالانه
برای پیکسل x و $P(x)$: بارش سالانه در پیکسل x است.

نسبت تبخیر و تعرق از تعادل آبی منطقه با استفاده از
رابطه (۲) برآورد می‌شود. AET_x/P_x : یک تقریب از معادله
بادیکو است که توسط ژانگ و همکاران (۲۰۰۱) بسط داده
شده است.

رابطه (۲):

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

که در این رابطه، $P(x)$: تبخیر و تعرق پتانسیل و $\omega(x)$:
پارامتر غیرفیزیکی است که به نوع خاک بستگی دارد.
 $PET(x)$ یا تبخیر و تعرق پتانسیل بر اساس رابطه (۳)
تعريف می‌شود (۲۶):

رابطه (۳):

$$PET(x) = K_c(l_x) * ET_0(x)$$

که در رابطه بالا، $ET_0(x)$: تبخیر و تعرق مرجع در
پیکسل x و $K_c(l_x)$: ضریب تبخیر و تعرق گیاه یا پوشش
در ارتباط با کاربری اراضی x در پیکسل x است.
 $ET_0(x)$: نشان‌دهنده شرایط اقلیمی محلی بر مبنای تبخیر
و تعرق از پوشش گیاهی در محل است. $K_c(l_x)$ بر اساس
ویژگی‌های پوشش گیاهی در کاربری اراضی در یک پیکسل
تعیین می‌شود. ET_0 : مقدار عددی ET_0 برای هر نوع پوشش
گیاهی در هر پیکسل نقشه کاربری اراضی تعديل می‌کند.
(۴) پارامتر تجربی است که می‌تواند به صورت تابع خطی
 $\frac{AWC*N}{P}$ بیان شود که در آن N : تعداد رویداد بارندگی در هر
سال است و AWC : میزان آب در دسترس گیاه می‌باشد. در
تحقیق حاضر رابطه پیشنهاد شده توسط دونوه و همکاران
(۲۰۱۲) در مدل InVEST اجرا شد:

رابطه (۴):

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

که در رابطه بالا، $AWC(x)$: آب در دسترس گیاه
(میلی‌متر) است که مقدار آن بر اساس بافت خاک و عمق
موثر ریشه‌دانی تعریف می‌شود و به معنی مقدار آبی است
که در خاک نگهداری شده و مورد استفاده گیاه قرار گیرد.

بر این اساس، گنجایش آبی در دسترس گیاه برای کاربری مراتع ۱۴۵/۰ و کاربری توده سنگی صفر محاسبه شد.

تهیه نقشه پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه: این نقشه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و در نرم افزار Google Earth و سپس در نرم‌افزار Arc GIS ۱۰.۸ برای منطقه مورد تهیه شد که دارای کاربری‌های اراضی شور، توده سنگی، تپه شنی، مراتع و اراضی کشاورزی بود که بیشترین قسمت حوزه آبخیز دریان را مراتع با درصد وسعت تشکیل می‌دهد.

تهیه نقشه حوزه و زیرحوزه‌ها: با توجه به اینکه فرضیات مدل بر مبنای فرآیندهای هیدرولوژیکی قابل درک در مقیاس زیرحوزه بنا شده است، علیرغم تدارک نقشه رستری ظرفیت تولید آب در هر پیکسل، نتایج آن باید در مقیاس زیرحوزه تفسیر شود. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و مدل رقومی ارتفاع DEM منطقه مورد مطالعه دارای ۳۸ زیرحوزه است.

تهیه جدول زیست فیزیکی: جدولی از کلاس‌های کاربری اراضی که شامل اطلاعات مربوط به ضرایب بیوفیزیکی (حداکثر عمق ریشه‌دانی و K_e : ضریب تبخیر و تعرق گیاه برای هر کلاس کاربری اراضی است، تشکیل شد.

تعیین پارامتر Z : یک ثابت تحریک است که با توجه به الگوهای معمول بارش و ویژگی‌های هیدرولوژیکی تعیین می‌شود و مقدار آن مربوط به توزیع فصلی بارش است که $2n/40$ در نظر گرفته می‌شود (n : تعداد رویدادهای بارش در سال است که در این تحقیق تعداد کل رویداد بارش سالانه حداکثر ۷۷ بود).

در نهایت داده‌های بالا در قالب شکل‌های ۳ تا ۸ تهیه و در نرم‌افزار InVEST وارد شد. بعد از تجزیه و تحلیل اطلاعات در خروجی نرم‌افزار ارائه شد که در ادامه در بخش نتایج توضیح داده می‌شود.

در بیرون و داخل منطقه مورد مطالعه استفاده شد. بر این اساس در محدوده مورد مطالعه عدد میانگین ۱۳۴/۸ میلی‌متر به عنوان متوسط بارندگی سالیانه برآورد شد. در نهایت نقشه بارندگی سالیانه با فرمت رستری وارد نرم‌افزار شد.

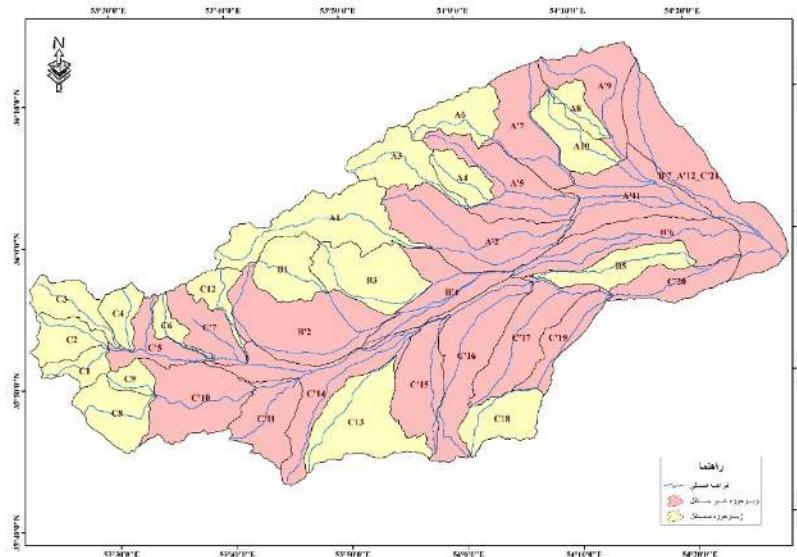
محاسبه میانگین تبخیر و تعرق سالیانه: تبخیر و تعرق پتانسیل عبارت است از پتانسیل اتفاق آب از خاک هم از طریق تبخیر از خاک و هم از طریق تعرق گیاهی در شرایطی که آب کافی در دسترس باشد. روش‌های تجربی زیادی برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل ارائه شده است که از بین آنها می‌توان به روش‌های پنمن مانیث، تورنت وایت، بلانی کریدل و هارگروس‌مانی اشاره کرد، بسیاری از روش‌ها احتیاج به پارامترهای مختلف هواشناسی دارد و با توجه به پارامترهای موجود در منطقه مورد مطالعه، روش بلانی کریدل به عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب شد. در این روش توان تبخیر و تعرق از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۲۸):

رابطه (۶):

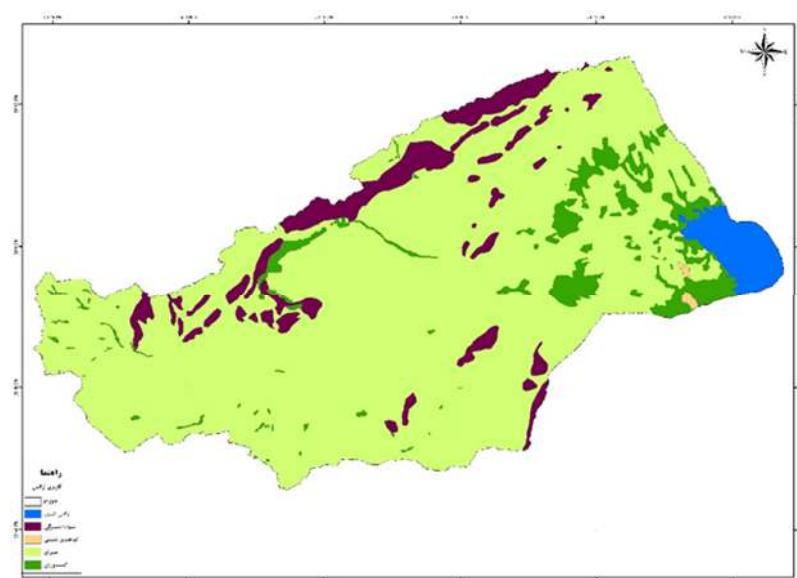
$$ETP = P(0.46T + 8.13)$$

که در آن، P ضریب روشنایی یا درصد متوسط ساعت روشنایی روزانه در هر ماه است و T دمای متوسط ماهانه به درجه سانتی‌گراد است. براساس محاسبه میزان سالانه این پارامتر در حوزه مورد مطالعه ۱۲۵/۳۵ میلی‌متر برآورد شده است و در نهایت نقشه با فرمت رستری وارد نرم‌افزار شد.

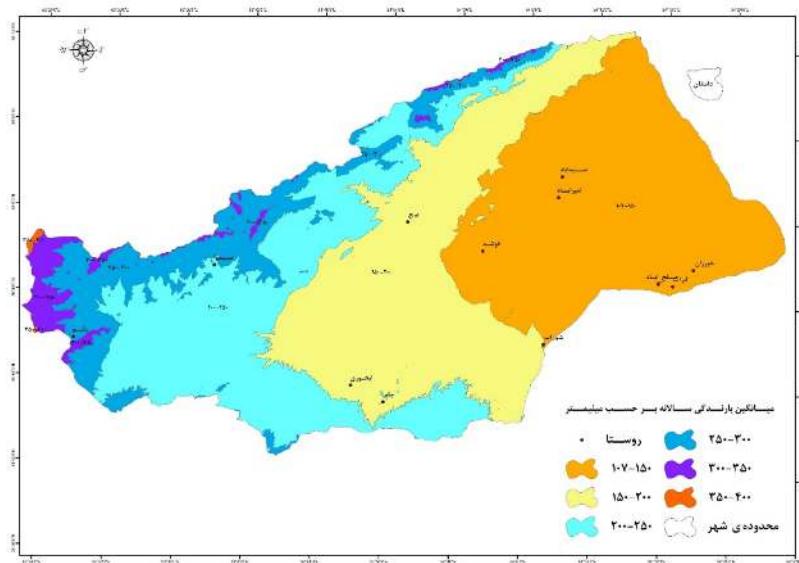
تعیین مقدار آب در دسترس گیاه: آب قابل دسترس گیاه مقدار آبی است که می‌تواند در پروفیل خاک ذخیره شود و برای استفاده گیاهان قابل دسترس است. مقدار عددی و کسری این پارامتر (که بین صفر و یک است)، می‌تواند از طریق تقسیم مقدار حجمی آب در دسترس گیاه بر عمق خاک محاسبه شود (۲۱). ظرفیت حجم آب در دسترس گیاه به صورت میلی‌متر، براساس نتایج مطالعات خاکشناسی (داده‌های مربوط به بافت خاک؛ درصد شن، رس و سیلت) و گروه‌های هیدرولوژیک خاک مشخص شد.



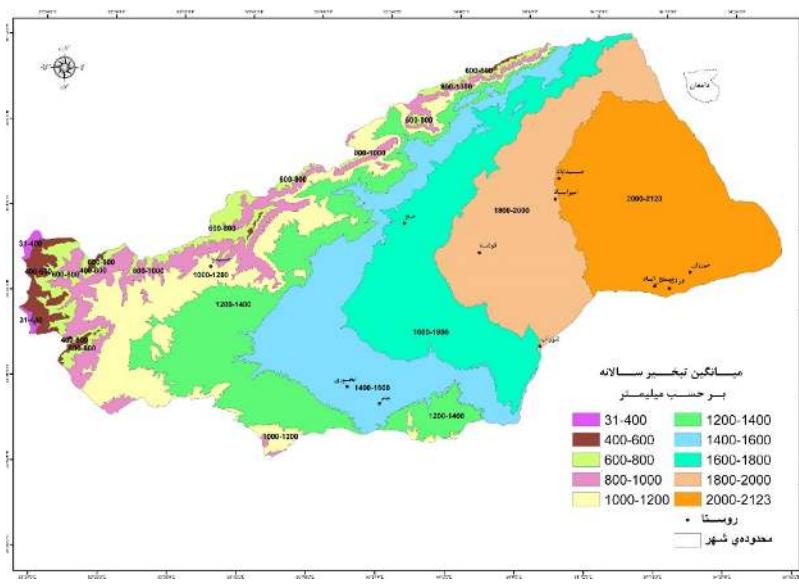
شکل ۳: مرز حوزه و زیرحوزه‌های حوزه آبخیز دریان



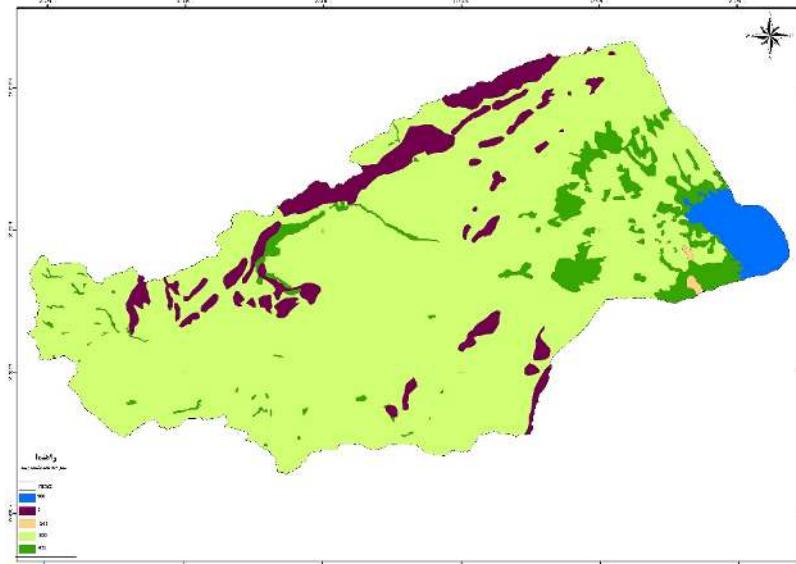
شکل ۴: نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز دریان



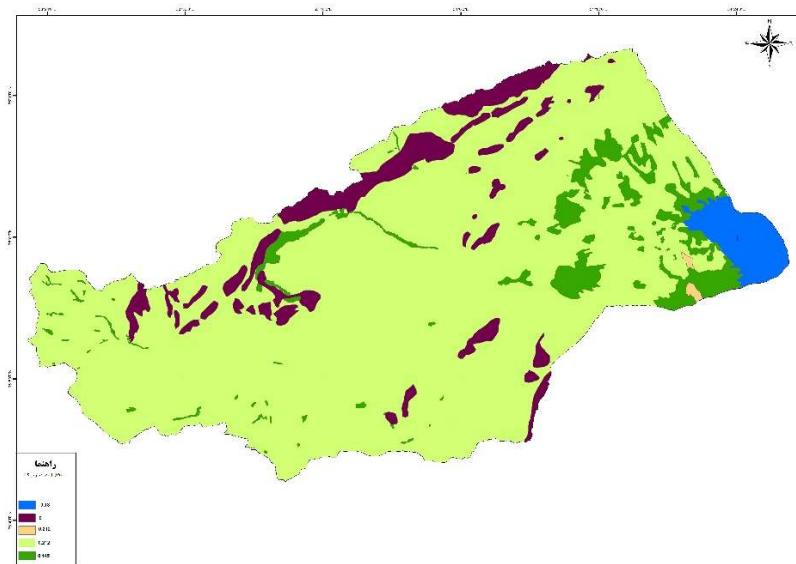
شکل ۵: نقشه میانگین بارش سالیانه حوزه آبخیز دریان



شکل ۶: نقشه میانگین تبخیر سالیانه حوزه آبخیز دریان



شکل ۷: نقشه عمق لایه محدود کننده ریشه گیاهان در حوزه آبخیز دریان



شکل ۸: نقشه مقدار آب در دسترس گیاه حوزه آبخیز دریان

این عوامل در نظر گرفته شد. با توجه به خروجی مدل و حجم آب تولید شده مشاهده می شود که بیشترین میزان تولید آب مربوط به زیرحوزه C2 با ۷ میلیون متر مکعب در سال بود، البته این زیرحوزه بیشترین میزان بارندگی را نیز دارد، زیرحوزه های A1 و C3 به ترتیب با ۶/۵ و ۶ میلیون متر مکعب تولید آب، دومین زیرحوزه ها با بیشترین میزان تولید آب هستند که زیرحوزه C3 بارندگی بیشتری نسبت به زیرحوزه A1 دریافت می کند. همچنین کمترین میزان

نتایج

براساس نتایج مدل سازی تولید آب در حوزه آبخیز دریان سمنان، سالانه ۹۵/۸۲ میلیون متر مکعب در سال آب تولید می شود. حجم آب تولید شده و سایر اطلاعات به دست آمده توسط مدل، در هر یک از زیرحوزه ها در جدول (۱) آورده شده است. حجم تولید آب در هر زیرحوزه به عوامل زیادی از جمله مساحت زیرحوزه، میزان بارندگی، نوع خاک، میزان تبخیر و تعرق و ... بستگی دارد که در این مدل تمام

مدل‌سازی تولید آب زیست‌بوم مراتع حوزه آبخیز دریان سمنان ... / طاهری محمدآبادی و همکاران

زیرحوزه‌های C1، C12 و C4 با میزان ۱۳۰، ۱۳۰ و ۱۳۲ میلی‌متر برآورد و پیش‌بینی شد. همچنین با به دست آوردن نتایج مدل تولید آب با توجه به اطلاعات پایه موجود از منطقه مورد مطالعه (گزارش طرح جامع مطالعات آبخیزداری، ۱۳۹۰)، مدل‌سازی تولید آب در حوزه آبخیز دریان در سه وضعیت پایه (سال ۱۳۹۰) و وضعیت فعلی (سال ۱۴۰۰) و وضعیت آینده (سال ۱۴۱۰) نیز با استفاده از ابزار سناریو‌ساز InVEST به دست آمد. در جدول (۲) نتایج مقایسه حجم میزان آب تولید شده در زیرحوزه‌ها در سه وضعیت پایه، فعلی و آینده ارائه شده است. با توجه به این جدول، حجم آب تولیدی در تمام زیرحوزه‌ها در سال ۱۴۱۰ درصد نسبت به وضعیت فعلی کاهش خواهد یافت.

تولید آب مربوط به زیرحوزه‌های C10، C11، C12 و C14 به ترتیب ۰/۵۶، ۰/۵۴ و ۰/۴۸ میلیون مترمکعب در سال بوده است. براساس نتایج بدست آمده از مدل تولید آب زیست‌بوم توسط مدل InVEST، بیشترین میزان بارندگی مربوط به زیرحوزه‌های C1، C2 و C3 به ترتیب با ۲۸۴، ۲۸۴ و ۲۷۵ میلی‌متر و کمترین میزان بارندگی مربوط به زیرحوزه‌های A11، B7-A12-C21 و C20 با میزان بارندگی ۱۰۵، ۱۰۶ و ۱۰۶ میلی‌متر بوده است.

بیشترین حجم آب تولید شده مربوط به زیرحوزه C2 با ۷ میلیون مترمکعب در سال و کمترین حجم آب قابل تولید مربوط به زیرحوزه C15 با ۰/۴۸ میلیون مترمکعب در سال است. میزان تبخیر و تعرق واقعی به دست آمده توسط مدل InVEST برای زیرحوزه‌های A6، A11، B6، C20 و B7-C21 با کمترین میزان و به ترتیب برابر با ۷۶، ۷۶، ۷۶ و ۷۷ میلی‌متر و بیشترین میزان تبخیر و تعرق برای

جدول ۱: نتایج مدل‌سازی تولید آب توسط مدل InVEST در هر یک از زیرحوزه‌های حوزه آبخیز دریان

زیرحوزه	مساحت (هکتار)	میانگین بارش (میلی‌متر در سال)	تبخیر و تعرق واقعی سالانه (میلی‌متر در پیکسل)	تولید آب (میلی‌متر در پیکسل)	حجم تولید آب (میلیون مترمکعب در سال)
A1	۱۲۸۹۳/۵۲	۲۲۷/۱۲۱	۱۲۶	۱۰۱/۱۲۱	۶/۵
A'2	۱۵۱۸۷/۵۶	۱۴۲/۹۶۰	۹۲	۴۹/۹۶	۵
A3	۶۶۵۴/۹۱	۲۱۱/۵۴۶	۱۲۲	۸۹/۵۴۶	۲/۱
A4	۳۵۵۶/۱۲	۱۵۷/۵۴۲	۱۰۴	۵۳/۴۵۲	۲/۱
A'5	۱۰۰۱۰/۱۷	۱۳۷/۱۵۲	۹۲	۴۵/۱۵۲	۲
A6	۵۶۳۶/۰۵	۲۱۷/۵۶۴	۱۲۳	۹۴/۵۶۴	۳
A'7	۹۰۵۹/۲۳	۱۶۱/۲۹۹	۱۰۱	۶۰/۲۹۹	۲
A8	۲۵۷۲/۹۷	۱۲۷/۴۵۳	۸۸	۳۹/۴۵۳	۰/۵۷
A'9	۸۳۳۰/۰۹	۱۳۵/۲۶۹	۹۲	۴۲/۴۶۹	۲
A10	۵۴۰۳/۸۰	۱۲۸/۸۷۴	۸۵	۴۳/۸۷۴	۱/۵
A'11	۱۱۱۴۵/۲۲	۱۰۶/۰۵۵	۷۶	۳۰/۰۵۵	۱/۸۷
B1	۶۱۰۸/۰۱	۲۲۳/۱۲۷	۱۲۳	۱۰۰/۱۲۷	۵/۷
B'2	۱۵۰۰۳/۳۳	۱۹۷/۲۳۵	۱۱۷	۸۰/۲۳۵	۴/۹
B3	۹۵۹۴/۷۶	۱۷۴/۲۲۴	۱۱۵	۵۹/۲۲۴	۴
B'4	۷۶۷۳/۶۴	۱۴۲/۸۶۵	۹۸	۴۴/۸۶۵	۲/۹
B5	۵۹۰۱/۸۲	۱۱۱/۲۳۵	۸۰	۳۱/۲۳۵	۱

ادامه جدول ۱

زیرحوزه	مساحت (هکتار)	میانگین بارش (میلی متر در سال)	تبخیر و تعرق واقعی سالانه (میلی متر در پیکسل)	تولید آب (میلی متر در پیکسل)	حجم تولید آب (میلیون مترمکعب در سال)
B'6	۱۱۳۶/۸۵	۱۰۷/۶۱۱	۷۴	۳۳/۶۱۱	۲/۳
B'7_A'12_C'21	۱۶۵۳۳/۰۲	۱۰۵/۳۲۱	۷۷	۲۸/۳۲۱	۲/۵
C1	۲۶۱۴/۱۴	۲۷۵/۱۲۵	۱۳۲	۱۴۳/۱۲۵	۵/۵
C2	۴۲۴۲/۳۱	۲۸۴/۱۵۲	۱۲۹	۱۵۵/۱۵۲	۷
C3	۴۵۱۳/۴۱	۲۸۳/۸۵۷	۱۲۷	۱۵۶/۸۵۷	۶
C4	۲۹۶۲/۸۲	۲۵۰/۶۹۳	۱۳۰	۱۲۰/۶۹۳	۴
C'5	۴۵۹۲/۰۴	۲۲۹/۳۴۱	۱۲۸	۱۰۱/۳۴۱	۱/۸
C6	۱۸۶۴/۹۳	۲۳۳/۵۶۷	۱۲۹	۱۰۴/۵۶۷	۱/۲
C'7	۵۴۱۵/۲۵	۲۲۲/۰۵۴	۱۲۵	۹۷/۰۵۴	۰/۷۸
C8	۶۲۶۳/۱۳	۲۴۲/۴۷۱	۱۲۹	۱۱۳/۴۷۱	۲
C9	۱۹۵۸/۳۳	۲۲۹/۸۶۵	۱۲۷	۱۰۲/۸۶۵	۱/۳
C'10	۱۰۸۴۳/۰۷	۲۱۰/۱۳۶	۱۲۵	۸۵/۱۳۶	۰/۱۴
C'11	۶۹۰۲/۴۸	۲۰۰/۴۱۶	۱۲۰	۸۰/۴۱۶	۰/۷۸
C12	۳۰۰۱/۳۳	۲۳۳/۵۶۴	۱۳۰	۱۰۲/۵۶۴	۱
C13	۱۱۷۹۶/۷۸	۱۸۸/۸۷۱	۱۱۶	۷۷/۸۷۱	۱
C'14	۱۱۱۵۱۹/۹۴	۱۸۵/۰۲	۱۱۵	۷۰/۰۲	۰/۱۵۶
C'15	۸۱۰۲/۷۷	۱۶۹/۸۲۱	۱۰۸	۶۱/۸۲۱	۰/۱۴۸
C'16	۱۲۸۴۶/۳۷	۱۵۵/۴۱۲	۱۰۲	۵۳/۴۱۲	۰/۱۶۴
C'17	۹۹۵۱/۶۹	۱۳۵/۲۱۰	۹۵	۴۰/۲۰	۲
C18	۵۸۳۴/۵۷	۱۸۱/۲۲۴	۱۱۳	۶۸/۲۲۴	۱/۵
C'19	۴۶۹۹/۸۶	۱۳۰/۲۱۳	۸۹	۴۱/۲۱۳	۲/۱
C'20	۵۵۵۴/۹۶	۱۰۶/۷۳۲	۷۶	۳۰/۷۳۲	۱/۷
کل حوزه آبخیز	۲۸۸۱۰۵	۱۸۳/۲۰	۱۱۴	۶۹/۲۰	۹۵/۸۲

جدول ۲: مقایسه حجم تولید آب حوزه آبخیز دریان در سه وضعیت پایه، فعلی و آینده (بر حسب میلیون مترمکعب در سال)

وضعیت آینده (۱۴۲۰)	وضعیت فعلی	وضعیت پایه (۱۳۹۰)	زیرحوزه
۶	۶/۵	۸	A1
۴/۹	۵	۵/۴	A'2
۳	۳/۱	۳/۵	A3
۱/۸	۲/۱	۳	A4
۱/۵	۲	۲/۵	A'5
۲/۹	۳	۳/۳	A6
۱/۵	۲	۳	A'7
۰/۴۹	۰/۵۷	۱	A8
۱/۸	۲	۲/۱	A'9
۱/۳	۱/۵	۱/۳	A10
۱/۵	۱/۸۷	۲	A'11
۵	۵/۷	۶	B1
۴/۵	۴/۹	۵/۱	B'2
۳/۶	۴	۵	B3
۳	۳/۹	۵	B'4
۰/۷۸	۱	۱	B5
۲	۲/۳	۲	B'6
۲	۲/۵	۴	B'7_A'12_C'21
۴/۸	۵/۵	۶	C1
۶	۷	۸/۲	C2
۵/۵	۶	۶/۵	C3
۳/۹	۴	۶	C4
۱/۵	۱/۸	۲	C'5
۱	۱/۲	۲	C6
۰/۵	۰/۷۸	۲	C'7
۱/۸	۲	۲/۳	C8
۱	۱/۳	۱/۵	C9
۰/۴۹	۰/۵۴	۱	C'10
۰/۶	۰/۷۸	۱/۵	C'11
۰/۷۸	۱	۱/۸	C12
۰/۹۵	۱	۱/۵	C13
۰/۵۳	۰/۵۶	۱	C'14
۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۵۲	C'15
۰/۵۹	۰/۶۴	۰/۹۸	C'16
۱/۸	۲	۲/۵	C'17
۱/۴	۱/۵	۲	C18
۲	۲/۱	۲/۵	C'19
۱/۳	۱/۷	۳	C20
۸۴/۴۶	۹۵/۸۲	۱۱۸	کل حوزه آبخیز

بیشترین میزان بارندگی و رواناب پیش‌بینی شده است. این امر با توجه به شرایط فیزیوگرافی منطقه که شامل شبکه‌های زیاد و عمق کم خاک است، منطقی به نظر می‌رسد (۲۹). این شرایط، همراه با ظرفیت پایین خاک برای ذخیره‌سازی آب، موجب می‌شود که این نواحی بیشترین رواناب را تولید کرده و در نتیجه فرسایش خاک در این بخش‌ها بیشتر باشد. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که کاهش پوشش گیاهی در مناطق مرتعی می‌تواند به کاهش

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، میزان تولید آب حوزه آبخیز دریان با استفاده از مدل‌سازی InVEST براساس متغیرهای محیطی مختلف مانند بارش، تبخیر و تعرق، نوع پوشش گیاهی و ظرفیت نگهداری آب خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه تغییرات کاربری اراضی و شرایط توپوگرافی در تولید آب است. بهویشه در زیرحوزه‌های واقع در مناطق کوهستانی غرب و شمال غرب،

بشر طی ۵۰ سال گذشته تغییرات در خدمات زیستبوم را سریع‌تر از هر دوره‌ای سرعت بخشیده است. در نتیجه با مدل‌سازی خدمات تولید آب در حوزه آبخیز می‌توان از طریق برنامه‌ریزی و مدیریت اصولی و صحیح، توسعه و تغییرات در زیستبوم و خدمات آنها را ارزیابی نمود و با توجه به تغییراتی که در آینده به وجود می‌آید، به مدل‌سازی و برنامه‌ریزی سرزمین برای آینده پرداخت.

در این تحقیق، کاهش تولید آب در آینده بهویژه از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۱۰ پیش‌بینی شده است. این کاهش با توجه به پیش‌بینی‌های انجام‌شده در مورد افزایش تبخیر و تعرق و کاهش بارش در منطقه به وضوح قابل مشاهده است. مطالعات اخیر نشان می‌دهند که تغییرات اقلیمی می‌تواند اثرات منفی بلندمدتی بر منابع آبی داشته باشند و این تغییرات بهویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک به‌شدت محسوس خواهد بود (۲۹ و ۳۳).

از آنجا که تولید آب نیز به شرایط طبیعی جغرافیای منطقه و فعالیت‌های انسانی ارتباط دارد (۲۲)، فعالیت‌های انسانی به‌طور مستقیم بر حجم این منابع تأثیر خواهد گذاشت، همچنین فعالیت‌های انسانی بر کارآیی و در دسترس بودن این منابع، با اثر بر آب و هوا، کاربری اراضی و کیفیت آب تأثیر می‌گذارد (۱۴). همانطور که بیان شد تولید آب تحت تأثیر متغیرهای متعددی قرار دارد. برای مثال میزان تولید آب به حجم بارش سالانه، پراکنش زمانی آن، نوع پوشش اراضی و ظرفیت نگهداری آب خاک بستگی دارد.

با توجه به این‌که نقشه‌ها ابزار قدرتمندی برای پردازش پیچیدگی فضایی و زمانی داده‌ها هستند و می‌توانند یک ابزار پشتیبان برای مدیریت منابع، محیط زیست و برنامه‌ریزی سرزمین باشند، از این‌رو شناسایی نواحی کلیدی عرضه خدمات زیستبوم و نمایش آنها بر روی نقشه در سال‌های اخیر در حال افزایش است (۱۶)، بنابراین می‌توان با درک روند تغییرات در خدمات زیستبوم در مدیریت جامع این خدمات و اطلاع‌رسانی به تصمیم‌گیران برای توسعه، گام اساسی برداشت (۹). با توجه به این‌که InVEST یک ابزار برای بررسی چگونگی تغییرات در خدمات زیستبوم‌هاست و به بررسی تغییرات مزایابی که به مردم ارائه می‌شود، می‌پردازد و رویکرد تولید را برای

نفوذ آب به خاک و افزایش رواناب منجر شود (۱۳ و ۲۹). این امر در درازمدت نه تنها به فرسایش خاک و کاهش حاصلخیزی اراضی منجر می‌شود، بلکه می‌تواند منابع آب زیرزمینی را تهدید کرده و به کاهش سطح و کیفیت آب در پایین‌دست حوزه آبخیز نیز منجر شود. در مناطق کوهستانی که حساسیت زیادی به تغییرات اقلیمی دارند، استفاده از رواناب تولیدی برای تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌تواند به حفظ منابع آبی در بلندمدت کمک کند (۶).

با توجه به کاهش بارندگی و تغییرات اقلیمی در سال‌های آینده، بهویژه در زیرحوزه‌های جنوبی و شرقی، خطر خشکسالی و شور شدن خاک در این مناطق به شدت افزایش خواهد یافت. تحقیقات نشان داده‌اند که تغییرات اقلیمی می‌توانند تأثیرات منفی شدیدی بر میزان تولید آب و الگوهای بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک بگذارد (۱۳). این وضعیت می‌تواند شرایط بحرانی تری را برای منابع آبی ایجاد کند و به آسیب‌های جدی به اکوسیستم‌های مرتعی منجر شود. به همین دلیل، مدیریت منابع آبی در این مناطق باید به‌طور خاص با توجه به پدیده‌های خشکسالی و کاهش بارندگی برنامه‌ریزی شود.

در دسترس بودن منابع آب می‌تواند توسط عملکرد و تولید آب به عنوان تفاوت بین بارش و تبخیر و تعرق تعریف شود که ناشی از عملکرد بسیاری از عوامل محیطی مانند آب و هوا، کاربری اراضی و نوع خاک است (۲۲). تولید آب یکی از خدمات مهم زیستبوم است که در رفاه جامعه به شیوه‌های گوناگون از جمله تدارک آب شرب، آب برای آبیاری مزارع تأثیر دارد. این خدمت زیستبوم در برابر تغییرات ناشی از کاربری اراضی آسیب‌پذیر است (۲۳)، بنابراین مدل‌سازی خدمت تولید آب در حوزه آبخیز و زیرحوزه‌ها توسط InVEST می‌تواند گامی مؤثر در برنامه‌ریزی و مدیریت سرزمین باشد. می‌توان با در نظر گرفتن شرایط وضعیت آینده برای سال‌های آتی به مدل‌سازی تولید آب در زیرحوزه‌های آبخیز پرداخت و زیرحوزه‌هایی که شرایط تولید آب بیشتری را دارند، شناسایی و برای آینده سرزمین برنامه‌ریزی مناسبی ارائه کرد. همچنین می‌توان با شناسایی زیرحوزه‌هایی که تولید آب کمتر و تبخیر و تعرق بیشتری دارند، گامی مؤثر در حفاظت از منابع آبی و مدیریت صحیح منابع آب برداشت.

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به شرایط اقلیمی و توپوگرافی، میزان تولید آب در حوزه آبخیز دریان در آینده کاهش و تبخیر و تعرق در این منطقه افزایش خواهد یافت. این تغییرات می‌تواند آثار منفی بر منابع آبی و پوشش گیاهی بگذارد و تهدیدات جدی ایجاد کند، بنابراین، استفاده از مدل‌های پیشرفت‌های مانند InVEST برای شبیه‌سازی این تغییرات و برنامه‌ریزی‌های دقیق برای مدیریت منابع آب در بلندمدت بسیار ضروری است. با توجه به موارد مذکور، نتایج این پژوهش، افزون بر ارزیابی کمی خدمت تولید آب، می‌تواند به عنوان یک الگو در سایر مناطق برای برنامه‌ریزی مدیریت سرزمین مفید باشد و با بررسی خدمت زیست‌بوم در یک دوره زمانی قابل قبول و رائمه چشم‌اندازی از آینده، می‌توان نوع بهره‌برداری از سرزمین را متناسب با توان منطقه مشخص کرد.

اندازه‌گیری و ارزیابی خدمات زیست‌بوم استفاده می‌کند، می‌تواند برای تولید تابع خروجی خدمات زیست‌بوم ارائه شده توسط محیط با توجه به شرایط و فرایندهای آن مورد استفاده قرار گیرد.

مدل‌سازی خدمات زیست‌محیطی مانند تولید آب به ویژه در مقیاس‌های فضایی مختلف، امکان شبیه‌سازی آثار تغییر کاربری اراضی و تغییرات اقلیمی را فراهم می‌ورد. این ابزارها به محققان کمک می‌کند تا نواحی حساس به تغییرات اقلیمی را شناسایی کنند و برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تری برای حفاظت از منابع آبی داشته باشند. به عنوان مثال، در این تحقیق با شبیه‌سازی سناریوهای مختلف، مناطق حساس به کاهش تولید آب شناسایی شدند که می‌توانند به عنوان اولویت‌های مدیریتی در نظر گرفته شوند (۲۹ و ۳۰).

References

1. Azarnivand, H. & M.A. Zare Chahouki, 2015. Rangeland Ecology. 12th edition, University of Tehran Press, 364 pages.
2. Brisbane, D., 2007. The Brisbane Declaration: Environmental flows are essential for freshwater ecosystem health and human well-being. In 10th International River Symposium, Brisbane, 3-6.
3. Capriolo, A., R.G. Boschetto, R.A. Mascolo, S. Balbi & F. Villa, 2021. Biophysical and economic assessment for four ecosystem services for natural capital accounting in Italy. *Journal of Ecosystem Services*, 46: 40-50.
4. De Groot, R. S., R. Alkemade, L. Braat, L. Hein & L. Willemen, 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning management and decision making. *Ecological Complexity*, 7(3): 260-272.
5. Donohue, R.J., M.L. Roderick, & T.R. McVicar, 2012. Roots, storms and soil pores. Incorporating key ecohydrological processes into Budyko hydrological model. *Journal of Hydrolgy*, 436: 35-50.
6. Fang, L., J. Yang, Y. Chen & C. Zammit, 2020. Assessing the impacts of climate change and land use/cover change on terrestrial ecosystem services in China. *Science of the Total Environment*, 725: 138533.
7. Golkarlarian, A., A.A. Mohammadian & A. Abdollahi, 2017. Prioritization of Sub-Watersheds for Watershed Management Measures- Case Study: Daryan Watershed, Semnan. *Journal of Rangeland and Watershed Management*, 70(3): 479-777.
8. Guswa, A.J., K.A. Brauman, C. Brown, P. Hamel, B.L. Keeler & S.S. Sayre, 2021. Ecosystem services: Challenges and opportunities for hydrologic modeling to support decision making. *Water Resources Research*, 57(3): e2020WR028326.
9. Hao, R., D. Yu, Y. Liu, Y. Liu, J. Qiao, Y. Wang & J. Du, 2017. Impacts of change in climate and landscape pattern on ecosystem services. *Scientific Total Environment*, 579: 718-728.
10. Jafarzadeh, A.K., A. Mahdavi, S.R. Fallahshamsi & R. Yousefpour, 2019. Economic evaluation of some ecosystem services of Zagros rangelands in Ilam province. *Journal of Rangeland*, 13(3): 436-449. (In Persian)
11. Lang, Y., W. Song & X. Deng, 2017. Projected land use changes impacts on water yields in the karst mountain areas of China. *Physics and Chemistry of the Earth*, 104: 66-75.
12. Liang, X., D.P. Lettenmaier, E.F. Wood & S.J. Burges, 1994. A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 99(14).
13. Liu, Y., M. Kumar, G.G. Katul & A. Porporato, 2021. Reduced resilience as an early warning signal of forest mortality. *Nature Climate Change*, 11(6): 501-505.
14. Liu, Y., W. Song & F. Mu, 2017. Changes in ecosystem services associated with planting structures of cropland: A case study in Minle County in China. *Physics and chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 102: 10-20.

15. Lu, N., G. Sun, X.M. Feng & B.J. Fu, 2013. Water Yield responses to climate change and variability across the North-South Transect of Eastern China (NSTEC). *Journal of Hydrology*, 481: 96-105.
16. Martinez-Harms, M.J. & P. Balvanera, 2012. Methods for mapping ecosystem services supply: a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8(1-2): 17-25.
17. Pessacq, N., S. Flaherty, L. Brandizi, S. Solman & M. Pascual, 2015. Getting water right: A case study in water yield modelling based on precipitation data. *Science of the Total Environment*, 537: 225-234.
18. Piao, S., P. Ciais, Y. Huang, Z. Shen, S. Peng, J. Li, L. Zhou, H. Liu, Y. Ma & Y. Ding, 2010., The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. 467: 43-51.
19. Sadeghinia, M., Y. Bostan, A. Fattahi Ardekani & M. Fehresti Sani, 2019. Estimating the economic value of regulatory services of soil and water yield rangeland ecosystems (Case study: Sheikh Musa rangeland ecosystem of Babol city). *Journal of Rangeland*, 12(4): 464-480. (In Persian)
20. Sharp, R., R. Chaplin-Kramer, S.A. Wood, D.A. Guerry, H. Tallis, T. Ricketts & J.M. Douglass, 2023. InVEST 3.9.0 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University.
21. Sharp, R., H.T. Tallis, T. Ricketts, A.D. Guerry, S.A. Wood & R. Chaplin- Kramer, 2019. InVEST 3.7.0 Users Guide. The Natural Capital Project. Stanford University, University of Minnesota, the Nature Conservancy and Word Wildlife Fund.
22. Sun, S., G. Sun, E. Cohen, S.G. McNulty, P.V. Caldwell, K. Duan & Y. Zhang, 2016. Projecting water yield and ecosystem productivity across the United States by linking an ecohydrological model to WRF dynamically downscaled climate data. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, 20(2): 925-935.
23. Tao, J.I.N., G. Xiaoyu & H. Liyan, 2016. Changes in grain production and the optimal spatial allocation of water resources in China. *Journal of Resources and Ecology*, 7(1): 28-35.
24. Wang, S., B. Fu, S. Piao, Y. Lü, P. Ciais, X. Feng & Y. Wang, 2022. Reduced sediment transport in the Yellow River due to anthropogenic changes. *Nature Geoscience*, 9(1): 38-41.
25. Xu, X., W. Liu, B.R. Scanlon, L. Zhang & M. Pan, 2013. Local and global factors controlling water-energy balances within the Budyko framework. 40(23).
26. Zare Chahouki, M.A. & M. Shafizadeh, 2020. Ecosystem Services Modelling (water yield) in the middle Taleghan watershed. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 7(2): 411-419. (In Persian)
27. Zhang, L., L. Cheng, F. Cheiw & B. Fu, 2018. Understanding the impacts of climate and land use changes on water yield. 33: 167-174.
28. Zhang, L., W.R. Dawes & G.R. Walker, 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research*, 37(3): 701-708.
29. Zhang, Q., X. Li, X. Liu, S. Liu, M. Zhang, Y. Liu, C. Zhu & K. Wang, 2022. Correction: The effect of non-invasive brain stimulation on the downregulation of negative emotions: A meta-analysis. *Brain Sciences*, 12(8): 1107.