Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891

Online ISSN: 2676-5039

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

Nikoo Taheri Mohammad Abadi[1], Mohammad Ali Zare Chahouki*[2], Hossein Azarnivand[3]

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-

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]

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).
DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5
Publisher: Iranian Society for Range Management

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

مدل‌سازی تولید آب زیست‌بوم مراتع حوزۀ 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. رایان‌نامه: mazare@ut.ac.ir

۳. استاد گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل – پژوهشی

۱۴۰۴؛ جلد ۱۹، شماره ۱

تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۱۱/۱۱
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۴

واژه‌های کلیدی:
خدمات زیست‌بوم،
مدل‌سازی،
تولید آب،
InVEST،
حوزۀ آبخیز دریان سمنان.

چکیده

سابقه و هدف: منابع آب یکی از مهم‌ترین خدمات زیست‌بومی است که از اکوسیستم‌های طبیعی، به‌ویژه مراتع و حوزه‌های آبخیز تأمین می‌شود. مراتع به‌عنوان 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 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.. در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، که منابع آب محدود و توزیع آن نامتوازن است، بررسی نقش مراتع در تولید آب و ارزیابی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر فرآیندهای هیدرولوژیکی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این تحقیق، مدل‌سازی تولید آب در حوزۀ آبخیز دریان سمنان با استفاده از نرم‌افزار InVEST انجام شد.

مواد و روش‌ها: نقشه‌های میانگین بارندگی سالانه، پوشش اراضی، مقدار آب در دسترس گیاه و عمق لایۀ محدودکنندۀ ریشه تهیه و وارد نرم‌افزار InVEST شد و بر مبنای آن‌ها مقدار حجم آب قابل تولید در هر زیرحوزه (مترمکعب/ سال) به‌دست آمد.

نتایج: در حوزه آبخیز دریان سالانه، ۹۵/۸۲ میلیون‌مترمکعب در سال آب تولید می‌شود که بیشترین مقدار تولید آب، در زیرحوزۀ C_2 با ۷ میلیون‌مترمکعب در سال و کمترین میزان تولید آب، در زیرحوزۀ 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 حوزۀ 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 به‌عنوان 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.

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]

استناد: طاهری محمدآبادی،ن.، .ع. زارع چاهوکی، ح. آذرنیوند، ۱۴۰۴. مدل‌سازی تولید آب زیست‌بوم مراتع حوزهٔ آبخیز دریان سمنان با استفاده از نرم‌افزار InVEST. مرتع، ۱۹(۱): ۱۴-۳۱.

DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5

© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]

مقدمه

منابع آب یکی از مهم‌ترین خدمات زیست‌بومی است که از اکوسیستم‌های طبیعی، به‌ویژه مراتع و حوزه‌های آبخیز تأمین می‌شود. مراتع به‌عنوان 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 (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 نامتوازن 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 چرخهٔ آب در اکوسیستم دارد. ریشه‌های گیاهان مرتعی با نفوذ به خاک، موجب افزایش تخلخل و ظرفیت نگه‌داشت آب در خاک می‌شود که این امر به کاهش رواناب سطحی و افزایش تغذیهٔ 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 به‌دلیل 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 ذخیرهٔ 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، نرم‌افزار InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem 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 حوزهٔ 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 توسعهٔ 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 مکانی-زمانی 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 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 کامپیوتری توسعه یافته است که رفتار سیستم‌های منابع آب را با اصول ریاضی شبیه‌سازی می‌کنند. لانگ و همکاران (۲۰۱۷) آثار توسعهٔ سناریوهای 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 زمینهٔ 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

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]

خدمات زیست‌بوم مختلف برای بهره‌برداران زیست‌بوم‌ها (دامداران یا ساکنین محلی) از اهمیت بالایی برخوردار است. برای ترکیب خدمات زیست‌بوم‌ها با تصمیم‌گیری‌ها و اقدام‌ها، نیاز به نقشه‌بندی و اندازه‌گیری دقیق خدمات زیست‌بوم می‌باشد. با توجه به اهمیت خدمات زیست‌بوم مربوط به آب، ابزارها و مدل‌های مختلفی برای مطالعه و بررسی این خدمات توسعه یافته تا به کمک آنها تصمیماتی مناسب برای مدیریت زیست‌بوم‌ها اتخاذ شود. InVEST ابزار فضایی مناسبی از نوع مدل‌های منبع باز است که که توسط دانشگاه استنفورد توسعه یافته و برای نقشه‌بندی و کمی‌سازی خدمات زیست‌بوم 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 گسترده‌ای 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 همکاران (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 همکاران (۲۰۱۹) با بررسی خدمات زیست‌بوم مرتعی در حوزه آبخیز میشخاص ایلام، نشان دادند که تولید آب دارای بیشترین ارزش بین سایر خدمات زیست‌بوم 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 همکاران (۲۰۱۹) با بررسی ارزش اقتصادی خدمت تولید آب زیست‌بوم‌های مرتعی شیخ موسی بابل به این نتیجه رسیدند که مدیران و مسئولان باید به خدمات زیست‌بوم‌های مرتعی در حوزهٔ حفاظت و تولید آب در راستای تهیهٔ آب شرب و کشاورزی پایدار اهمیت بیشتری بدهند. زارع‌چاهوکی و شفیع‌زاده (۲۰۲۰) به مدل‌سازی تولید آب در حوزهٔ آبخیز طالقان میانی پرداختند. نتایج تحقیق توسط مدل InVEST نشان داد در مجموع در حوزهٔ آبخیز طالقان میانی، سالانه ۲۰۰/۹ میلیون‌مترمکعب آب تولید می‌شود که بیشترین مقدار تولید آب، در زیرحوزهٔ حسنجون با ۵۹/۳ میلیون‌مترمکعب در سال و کمترین میزان تولید آب، در زیرحوزه‌های دنبلید، زیدشت ۱ و زیدشت ۲ است. بچتو و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی و کمی‌سازی تولید آب زیست‌بوم در ایتالیا با نرم‌افزار InVEST پرداختند. نتایج کمی‌سازی نشان داد که این مدل برای مدیریت حفظ و نگهداری جنگل به‌عنوان راهی برای ترسیم و برنامه‌ریزی آینده 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 می شود، ارزیابی این خدمت زیست‌بوم از اهمیت بالایی برخوردار است.

با توجه به اینکه مراتع حوزهٔ آبخیز دریان سمنان تحت تأثیر فشارهای انسانی، تغییرات اقلیمی و مدیریت ناپایدار منابع قرار دارند، ارزیابی نقش آن‌ها در تولید آب و بررسی تأثیر عوامل مختلف بر این فرآیند ضروری است. استفاده از مدل InVEST در این حوزهٔ آبخیز می‌تواند اطلاعات ارزشمندی دربارهٔ تأثیر پوشش گیاهی مراتع بر منابع آب ارائه دهد که در مدیریت بهینهٔ منابع طبیعی و تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری مفید خواهد بود.

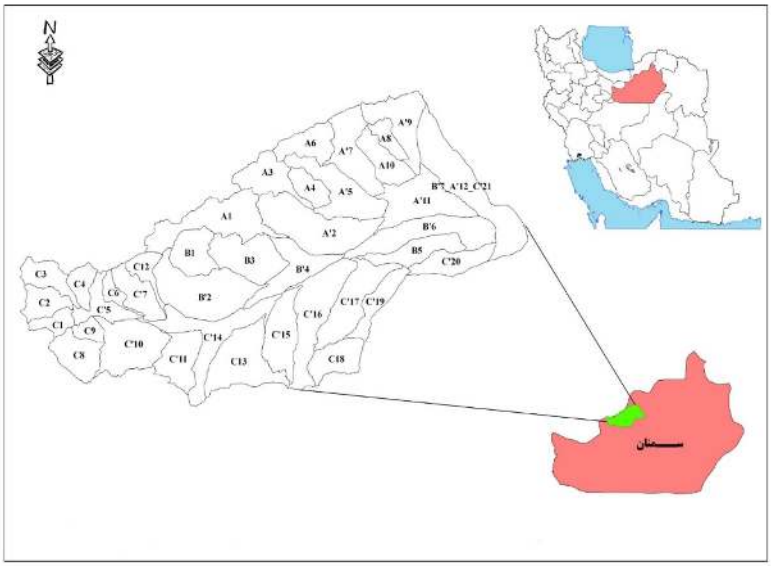
مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه، حوزهٔ آبخیز دریان سمنان است که در ۳۲ کیلومتری شمال‌شرق شهر سمنان واقع شده است. مساحت این حوزهٔ آبخیز ۲۸۸۱۰۵ هکتار است (شکل ۱). این منطقه از شمال‌غرب به سمنان، از شمال‌شرق به دامغان، از جنوب شرق به شهمیرزاد و از جنوب به جادهٔ معلمان محدود می‌شود. موقعیت جغرافیایی آن بین "۲۱ '۲۲ °۵۳ تا "۳۲ '۲۸ °۵۴ طول شرقی و "۴۹ '۴۲ °۳۵ تا "۲۳ '۱۳ °۳۶ عرض شمالی قرار گرفته است. حوزهٔ آبخیز دریان دارای اقلیم فراخشک سرد در شرق حوزه، نیمه‌خشک سرد در غرب حوزه و اکثر منطقه دارای اقلیم خشک سرد و متوسط دمای ۱۳/۵۳ درجهٔ سانتی‌گراد است. حداکثر ارتفاع حوزهٔ مورد مطالعه ۳۲۷۴ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۰۳۲ متر از سطح دریاست. میانگین بارندگی سالانه حوزهٔ مورد مطالعه

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

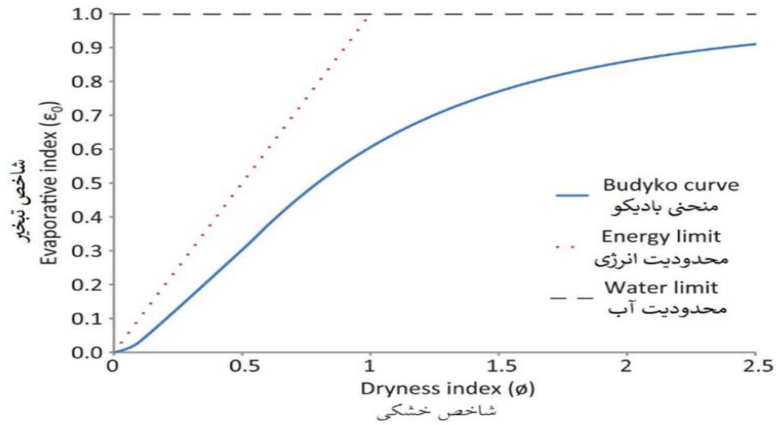
[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]

۱۳۴/۸میلی‌متر (در یک دورهٔ آماری ۳۰ ساله) است. از این مقدار ۱۱۶ میلی‌متر آن طبق روش کوتاین تبخیر می‌شود. خاک در حوزهٔ آبخیز دریان در ردهٔ انتی‌سول‌ها (Entisols)، اینسپتی‌سول‌ها (Inceptisols) و اریدی‌سول‌ها (Aridisols) قرار می‌گیرد (۷).



شکل ۱: موقعیت حوزهٔ آبخیز دریان

مدل‌سازی تولید آب در منطقهٔ مورد مطالعه: برای تعیین میزان تولید آب در منطقهٔ مورد مطالعه از مدل تولید آب موجود در مجموعهٔ نرم‌افزاری InVEST3.9.0 استفاده شد. این مدل میزان آب را در نقاط مختلف یک چشم‌انداز تخمین می‌زند (۲۶). مدل تولید آب بر پایهٔ منحنی بادیکو (شکل ۲) و طبق تعریف آن، تولید آب، میزان آبی است که از خروجی حوزه خارج می‌شود و از تفریق میزان بارش از تبخیر و تعرق و نفوذ سطحی حاصل می‌شود. منحنی بادیکو یک تابع تجربی است که ارتباط نسبت تبخیر و تعرق واقعی به بارش را نسبت به تبخیر و تعرق پتانسیل به بارش نشان می‌دهد (۲۸).



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

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]

تولید آب $Y(x)$ برای هر پیکسل در چشم‌انداز x از رابطهٔ (۱) به‌دست می‌آید:

رابطه (۱):

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

که در رابطهٔ 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 رابطهٔ (۲) برآورد می‌شود. AET_x/P_x یک تقریب از معادلهٔ 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 رابطهٔ (۳) تعریف می‌شود (۲۶):

رابطه (۳):

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

که در رابطه بالا، $ET0(x)$: تبخیر و تعرق مرجع در پیکسل x و Kc(lx): ضریب تبخیر و تعرق گیاه یا پوشش در ارتباط با کاربری اراضی l_x در پیکسل x است. $ET_0(x)$ نشان‌دهندهٔ 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.. K_c مقدار عددی ET_0 را برای هر نوع پوشش گیاهی در هر پیکسل نقشهٔ کاربری اراضی تعدیل می‌کند. ω(x) پارامتر تجربی است که می‌تواند به‌صورت 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 رابطهٔ پیشنهاد شده توسط دونوهو و همکاران (۲۰۱۲) در مدل InVEST اجرا شد:

رابطه (۴):

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

که در رابطهٔ بالا، $AWC(x)$: آب در دسترس گیاه (میلی‌متر) است که مقدار آن بر اساس بافت خاک و عمق موثر ریشه‌دوانی تعریف می‌شود و به معنی مقدار آبی است که در خاک نگهداری شده و مورد استفاده گیاه قرار گیرد. این مقدار به‌عنوان ظرفیت آبی در دسترس گیاه (PAWC= Plant available water capacity)، حداقل عمق لایه محدودکننده ریشهٔ و عمق ریشهٔ پوشش گیاهی تعیین می‌شود:

رابطه (۵):

$$AWC(x) = Min(Rest * layer * depthroot * depth) * PAWC$$

عمق لایه محدودکنندهٔ ریشه، عمقی از خاک است که نفوذ ریشه به‌دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی با مانع روبرو است. عمق ریشهٔ پوشش گیاهی به‌عنوان عمقی در نظر گرفته می‌شود که ۹۵ درصد زیست‌توده ریشه در آن عمق وجود داشته باشد.

کمیت Z یک ثابت تجربی است که گاهی به‌عنوان عامل فصلی و گاهی با توجه به الگوهای معمول بارش و ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی در نظر گرفته می‌شود. این عامل دارای همبستگی مثبت با تعداد رویدادهای بارندگی در هر سال (N) است که دونوهو و همکاران (۲۰۱۲) مقدار آن را ۰/۲N بیان کردند. حداقل این مقدار ۱/۲۵ و حداکثر آن تا ۵ تغییر می‌کند.

بعد از تعیین پارامترهای زیر و تهیهٔ داده‌های ورودی برای مدل‌سازی تولید آب در محدودهٔ مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار InVEST مدل اجرا شد:

تعیین عمق لایهٔ محدودکنندهٔ ریشه: عمق لایه محدودکنندهٔ ریشه عبارت است از عمقی از خاک که نفوذ ریشهٔ گیاهان به واسطه ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی خاک ناگهان با محدودیت مواجه می‌شود. برای محاسبهٔ عمق لایه محدودکنندهٔ ریشه از حفر پروفیل‌های شاهد در کاربری‌های مختلف استفاده شد. در این تحقیق براساس خصوصیات خاک در هرکاربری، عمق لایهٔ محدودکننده برای اراضی مرتعی ۲۰۰ میلی‌متر، اراضی کشاورزی ۴۵۰ میلی‌متر و اراضی توده سنگی صفر میلی‌متر در نظر گرفته شد.

محاسبهٔ میانگین بارش سالیانه: برای تهیهٔ نقشه بارش و داده‌های میانگین بارش سالیانه در منطقهٔ مورد مطالعه از اطلاعات موجود در وبگاه سازمان هواشناسی استان سمنان و آمار و اطلاعات سه ایستگاه سینوپتیک سمنان، دامغان و مهدی‌شهر، ۷ ایستگاه تبخیرسنجی و ۲۴ ایستگاه باران‌سنجی (دورهٔ آماری ۳۰ ساله ۱۳۷۰-۱۴۰۰)

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]

در بیرون و داخل منطقهٔ مورد مطالعه استفاده شد. بر این اساس در محدودهٔ مورد مطالعه عدد میانگین ۱۳۴/۸ میلی‌متر به‌عنوان متوسط بارندگی سالیانه برآورد شد. در نهایت نقشهٔ بارندگی سالیانه با فرمت رستری وارد نرم‌افزار شد.

محاسبهٔ میانگین تبخیر و تعرق سالیانه: تبخیر و تعرق پتانسیل عبارت است از پتانسیل اتلاف 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 محاسبهٔ تبخیر و تعرق پتانسیل ارائه شده است که از بین آنها می‌توان به روش‌های پنمن مانیث، تورنت وایت، بلانی کریدل و هارگروسامانی اشاره کرد، بسیاری از روش‌ها احتیاج به پارامترهای مختلف هواشناسی دارد و با توجه به پارامترهای موجود در منطقه مورد مطالعه، روش بلانی کریدل به‌عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب شد. در این روش توان تبخیر و تعرق از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود (۲۸): رابطه (۶):

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

که در آن، P ضریب روشنایی یا درصد متوسط ساعات روشنایی روزانه در هر ماه است و T دمای متوسط ماهانه به درجهٔ سانتی‌گراد است. براساس محاسبهٔ میزان سالانهٔ این پارامتر در حوزهٔ 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 استفادهٔ 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 به‌صورت میلی‌متر، براساس نتایج مطالعات خاکشناسی (داده‌های مربوط به بافت خاک؛ درصد شن، رس و سیلت) و گروه‌های هیدرولوژیک خاک مشخص شد. بر این اساس، گنجایش آبی در دسترس گیاه برای کاربری مرتع ۰/۲۱۲، برای کاربری کشاورزی ۰/۱۴۵ و کاربری توده سنگی صفر محاسبه شد.

تهیهٔ نقشهٔ پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه: این نقشه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و در نرم افزار Google Earth و سپس در نرم‌افزار Arc GIS 10.8 برای منطقهٔ مورد تهیه شد که دارای کاربری‌های اراضی شور، توده سنگی، تپه شنی، مرتع و اراضی کشاورزی بود که بیشترین قسمت حوزهٔ آبخیز دریان را مراتع با ۸۲ درصد وسعت تشکیل می‌دهد.

تهیهٔ نقشهٔ حوزه و زیرحوزه‌ها: با توجه به اینکه فرضیات مدل بر مبنای فرآیندهای هیدرولوژیکی قابل درک در مقیاس زیرحوزه بنا شده است، علیرغم تدارک نقشهٔ رستری ظرفیت تولید آب در هر پیکسل، نتایج آن باید در مقیاس زیرحوزه تفسیر شود. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و مدل رقومی ارتفاع DEM منطقهٔ مورد مطالعه دارای ۳۸ زیرحوزه است.

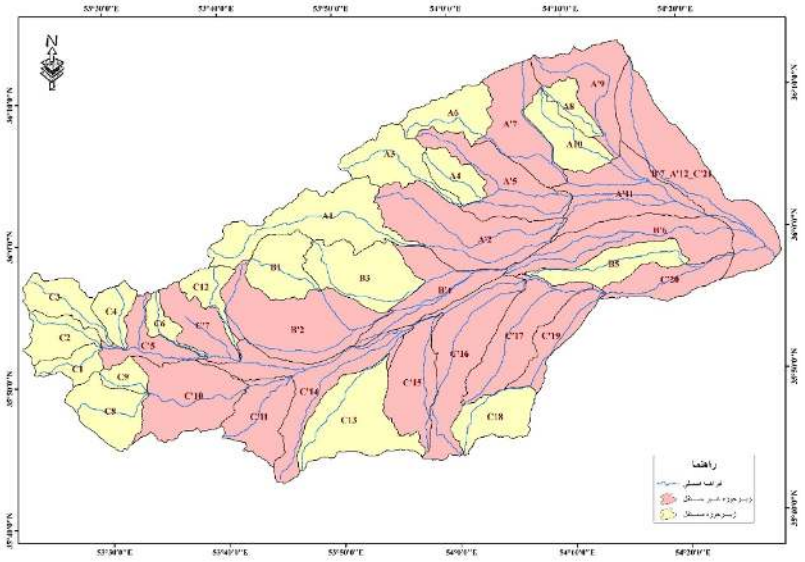
تهیهٔ جدول زیست فیزیکی: جدولی از کلاس‌های کاربری اراضی که شامل اطلاعات مربوط به ضرایب بیوفیزیکی (حداکثر عمق ریشه‌دوانی و Ke: ضریب تبخیر و تعرق گیاه برای هر کلاس کاربری اراضی است، تشکیل شد.

تعیین پارامتر Z : یک ثابت تجربی است که با توجه به الگوهای معمول بارش و ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی تعیین می‌شود و مقدار آن مربوط به توزیع فصلی بارش است که ۰/۲n در نظر گرفته می‌شود (n: تعداد رویدادهای بارش در سال است که در این تحقیق تعداد کل رویداد بارش سالانه حداکثر ۷۷ بود).

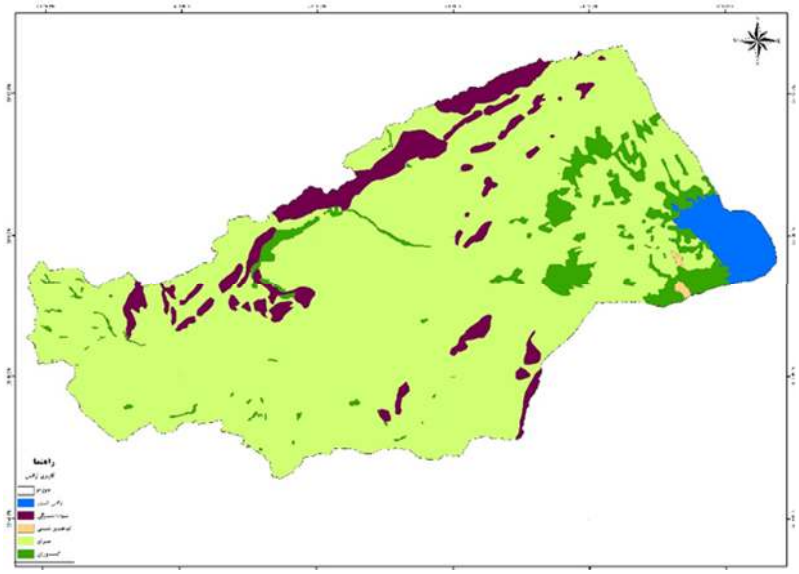
در نهایت داده‌های بالا در قالب شکل‌های ۳ تا ۸ تهیه و در نرم‌افزار InVEST وارد شد. بعد از تجزیه و تحلیل اطلاعات در خروجی نرم‌افزار ارائه شد که در ادامه در بخش نتایج توضیح داده می‌شود.

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]



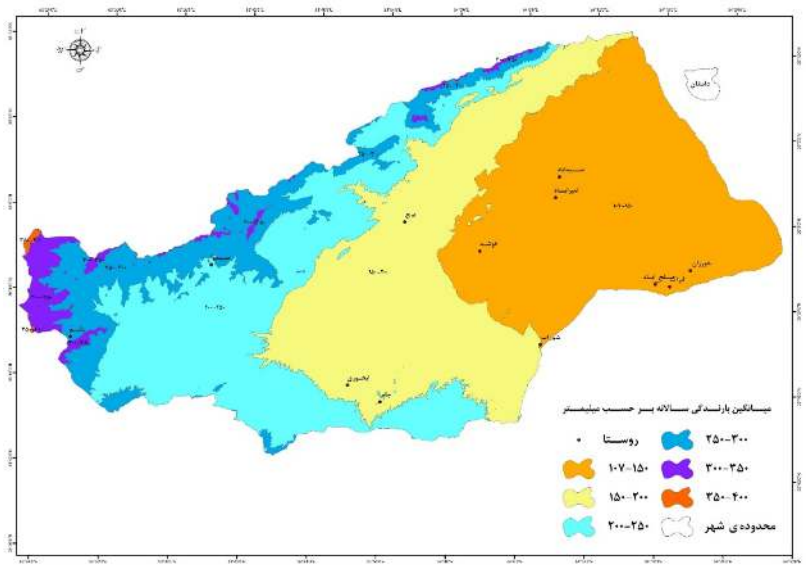
شکل ۳: مرز حوزه و زیرحوزه‌های حوزه آبخیز دریان



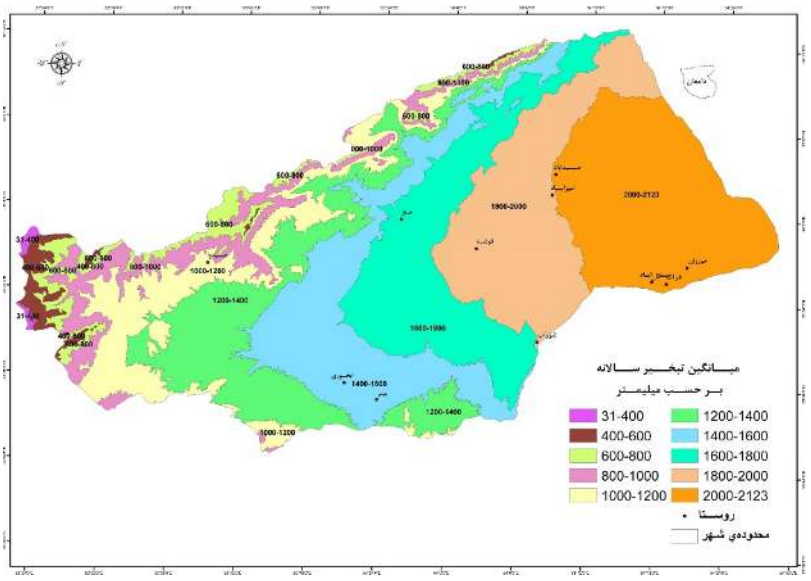
شکل ٤: نقشهٔ کاربری اراضی حوزهٔ آبخیز دریان

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]



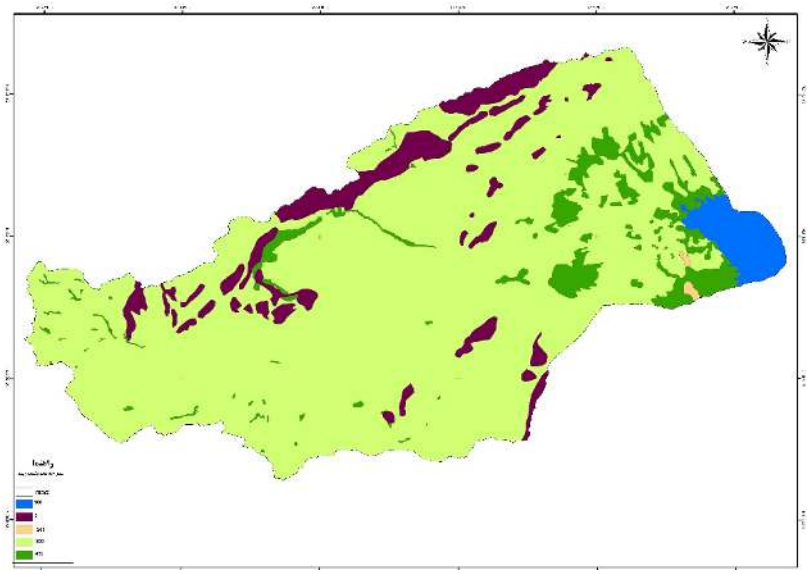
شکل ۵: نقشهٔ میانگین بارش سالیانهٔ حوزهٔ آبخیز دریان



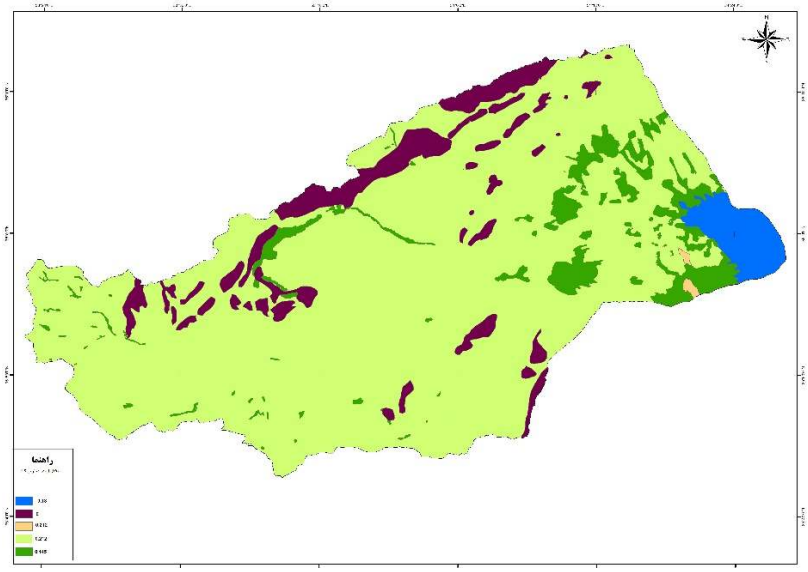
شکل ٦: نقشهٔ میانگین تبخیر سالیانه حوزهٔ آبخیز دریان

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]



شکل ۷: نقشهٔ عمق لایه محدودکنندهٔ ریشهٔ گیاهان در حوزهٔ آبخیز دریان



شکل ۸: نقشهٔ مقدار آب در دسترس گیاه حوزهٔ آبخیز دریان

نتایج

براساس نتایج مدل‌سازی تولید آب در حوزهٔ آبخیز دریان سمنان، سالانه ۹۵/۸۲ میلیون‌مترمکعب در سال آب تولید می‌شود. حجم آب تولید شده و سایر اطلاعات به‌دست آمده توسط مدل، در هر یک از زیرحوزه‌ها 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 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 زیرحوزهٔ C2 با ۷ میلیون‌متر مکعب در سال بود، البته این زیرحوزه بیشترین میزان بارندگی را نیز دارد، زیرحوزه‌های A1 و C3 به‌ترتیب با ۶/۵ و ۶ میلیون مترمکعب تولید آب، دومین زیرحوزه‌ها با بیشترین میزان تولید آب هستند که زیرحوزهٔ C3 بارندگی بیشتری نسبت به زیرحوزهٔ A1 دریافت می‌کند. همچنین کمترین میزان

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]

تولید آب مربوط به زیرحوزه‌های C15، C10 و C14 به‌ترتیب با ۰/۴۸، ۰/۵۴ و ۰/۵۶ میلیون‌مترمکعب در سال بوده است. براساس نتایج به‌دست آمده از مدل تولید آب زیست‌بوم توسط مدل InVEST، بیشترین میزان بارندگی مربوط به زیرحوزه‌های C2، C3 و C1 به‌ترتیب با ۲۸۴، ۲۸۴ و ۲۷۵ میلی‌متر و کمترین میزان بارندگی مربوط به زیرحوزه‌های B7-A12-C21، A11 و C20 با میزان بارندگی ۱۰۵، ۱۰۶ و۱۰۶ میلی‌متر بوده است.

بیشترین حجم آب تولید شده مربوط به زیرحوزهٔ C2 با ۷ میلیون مترمکعب در سال و کمترین حجم آب قابل تولید مربوط به زیرحوزهٔ C15 با ۰/۴۸ میلیون مترمکعب در سال است. میزان تبخیر و تعرق واقعی به‌دست آمده توسط مدل InVEST برای زیرحوزه‌های B6، A11، C20 و B7-A12-C21 با کمترین میزان و به ترتیب برابر با ۷۴، ۷۶، ۷۶ و ۷۷ میلی‌متر و بیشترین میزان تبخیر و تعرق برای زیرحوزه‌های C1، C12 و C4 با میزان ۱۳۰، ۱۳۰ و ۱۳۲ میلی‌متر برآورد و پیش‌بینی شد.

همچنین با به‌دست آوردن نتایج مدل تولید آب با توجه به اطلاعات پایه موجود از منطقهٔ مورد مطالعه (گزارش طرح جامع مطالعات آبخیزداری، ۱۳۹۰)، مدل‌سازی تولید آب در حوزهٔ آبخیز دریان در سه وضعیت پایه (سال ۱۳۹۰)، وضعیت فعلی (سال ۱۴۰۰) و وضعیت آینده (سال ۱۴۱۰) نیز با استفاده از ابزار سناریوساز InVEST به‌دست آمد. در جدول (۲) نتایج مقایسهٔ 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، ۱۳/۵ درصد نسبت به وضعیت فعلی کاهش خواهد یافت.

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 (میلیون‌مترمکعب در سال)
A1	۱۲۸۹۳/۵۲	۲۲۷/۱۲۱	۱۲۶	۱۰۱/۱۲۱	۶/۵
A'2	۱۵۱۸۷/۵۶	۱۴۲/۹۶۰	۹۳	۴۹/۹۶	۵
A3	۶۶۵۴/۹۱	۲۱۱/۵۴۶	۱۲۲	۸۹/۵۴۶	۳/۱
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	۴۳/۲۶۹	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	۱۷۴/۳۲۴	۱۱۵	۵۹/۳۲۴	۴
B'4	۷۶۷۳/۶۴	۱۴۲/۸۶۵	۹۸	۴۴/۸۶۵	۳/۹
B5	۵۹۰۱/۸۲	۱۱۱/۲۳۵	۸۰	۳۱/۲۳۵	۱

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]

ادامه جدول ۱

زیرحوزه	مساحت (هکتار)	میانگین بارش (میلی‌متر در سال)	تبخیر و تعرق واقعی سالانه (میلی‌متر در پیکسل)	تولید آب (میلی‌متر در پیکسل)	حجم تولید آب (میلیون‌مترمکعب در سال)
B'6	۱۱۳۶۰/۸۵	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	۱۰۸۴۳/۳۰	۲۱۰/۱۳۶	۱۲۵	۸۵/۱۳۶	۰/۵۴
C'11	۶۹۰۲/۴۸	۲۰۰/۴۱۶	۱۲۰	۸۰/۴۱۶	۰/۷۸
C12	۳۰۰۱/۳۳	۲۳۲/۵۶۴	۱۳۰	۱۰۲/۵۶۴	۱
C13	۱۱۷۹۶/۷۸	۱۸۸/۶۷۱	۱۱۶	۷۲/۶۷۱	۱
C'14	۱۱۵۱۹/۹۴	۱۸۵/۵۰۲	۱۱۵	۷۰/۵۰۲	۰/۵۶
C'15	۸۱۰۲/۳۷	۱۶۹/۸۲۱	۱۰۸	۶۱/۸۲۱	۰/۴۸
C'16	۱۲۸۴۶/۳۷	۱۵۵/۴۱۲	۱۰۲	۵۳/۴۱۲	۰/۶۴
C'17	۹۹۵۱/۶۹	۱۳۵/۲۱۰	۹۵	۴۰/۲۰	۲
C18	۵۸۳۴/۵۷	۱۸۱/۳۲۴	۱۱۳	۶۸/۳۲۴	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 حوزهٔ آبخیز	۲۸۸۱۰۵	۱۸۳/۲۰	۱۱۴	۶۹/۲۰	۹۵/۸۲

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]

جدول ۲: مقایسهٔ حجم تولید آب حوزهٔ آبخیز دریان در سه وضعیت پایه، فعلی و آینده (برحسب میلیون‌مترمکعب در سال)

زیرحوزه	وضعیت پایه (۱۳۹۰)	وضعیت فعلی (۱۴۰۰)	وضعیت آینده (۱۴۱۰)
A1	۸	۶/۵	۶
A'2	۵/۴	۵	۴/۹
A3	۳/۵	۳/۱	۳
A4	۳	۲/۱	۱/۸
A'5	۲/۵	۲	۱/۵
A6	۳/۳	۳	۲/۹
A'7	۳	۲	۱/۵
A8	۱	۰/۵۷	۰/۴۹
A'9	۲/۱	۲	۱/۸
A10	۱/۳	۱/۵	۱/۳
A'11	۲	۱/۸۷	۱/۵
B1	۶	۵/۷	۵
B'2	۵/۱	۴/۹	۴/۵
B3	۵	۴	۳/۶
B'4	۵	۳/۹	۳
B5	۱	۱	۰/۷۸
B'6	۲	۲/۳	۲
B'7_A'12_C'21	۴	۲/۵	۲
C1	۶	۵/۵	۴/۸
C2	۸/۲	۷	۶
C3	۶/۵	۶	۵/۵
C4	۶	۴	۳/۹
C'5	۲	۱/۸	۱/۵
C6	۲	۱/۲	۱
C'7	۲	۰/۷۸	۰/۵
C8	۲/۳	۲	۱/۸
C9	۱/۵	۱/۳	۱
C'10	۱	۰/۵۴	۰/۴۹
C'11	۱/۵	۰/۷۸	۰/۶
C12	۱/۸	۱	۰/۷۸
C13	۱/۵	۱	۰/۹۵
C'14	۱	۰/۵۶	۰/۵۳
C'15	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۴۵
C'16	۰/۹۸	۰/۶۴	۰/۵۹
C'17	۲/۵	۲	۱/۸
C18	۲	۱/۵	۱/۴
C'19	۲/۵	۲/۱	۲
C'20	۳	۱/۷	۱/۳
کل حوزهٔ آبخیز	**۱۱۸**	**۹۵/۸۲**	**۸۴/۴۶**

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، میزان تولید آب حوزهٔ 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 به‌دست‌آمده نشان‌دهندهٔ تأثیر قابل توجه تغییرات کاربری اراضی و شرایط توپوگرافی در تولید آب است. به‌ویژه در زیرحوزه‌های واقع در مناطق کوهستانی غرب و شمال غرب، بیشترین میزان بارندگی و رواناب پیش‌بینی شده است. این امر با توجه به شرایط فیزیوگرافی منطقه که شامل شیب‌های 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

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]

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 حوزهٔ آبخیز نیز منجر شود. در مناطق کوهستانی که حساسیت زیادی به تغییرات اقلیمی دارند، استفاده از رواناب تولیدی برای تغذیهٔ 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 بحرانی‌تری 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 به‌عنوان 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 حوزهٔ 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 آیندهٔ 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.

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 حوزهٔ 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 به‌وجود 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 قابل‌مشاهده است. مطالعات اخیر نشان می‌دهند که تغییرات اقلیمی می‌توانند اثرات منفی بلندمدتی بر منابع آبی داشته باشند و این تغییرات به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک به‌شدت محسوس خواهد بود (۱۳ و ۲۹).

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 عرضهٔ 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 مزایایی که به مردم ارائه می‌شود، می‌پردازد و رویکرد تولید را برای

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]

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 به‌ویژه در مقیاس‌های فضایی مختلف، امکان شبیه‌سازی آثار تغییر کاربری اراضی و تغییرات اقلیمی را فراهم می‌آورد. 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. به‌عنوان مثال، در این تحقیق با شبیه‌سازی سناریوهای مختلف، مناطق حساس به کاهش تولید آب شناسایی شدند که می‌توانند به‌عنوان اولویت‌های مدیریتی در نظر گرفته شوند (۱۳ و ۲۹).

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به شرایط اقلیمی و توپوگرافی، میزان تولید آب در حوزۀ 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 پیشرفته 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 به‌عنوان یک الگو در سایر مناطق برای برنامه‌ریزی مدیریت سرزمین مفید باشد و با بررسی خدمت زیست‌بوم در یک دورۀ زمانی قابل قبول و ارائۀ چشم‌اندازی از آینده، می‌توان نوع بهره‌برداری از سرزمین را متناسب با توان منطقه مشخص کرد.

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 و 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 eccounting 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 Hydrplogy, 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. Golkariyan, 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. ournal 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.

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]

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. Pessacg, 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.

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.2.5]