دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

ارزش‌گذاری اقتصادی خدمت تولید آب در بوم‌سازگان جنگلی (مطالعه موردی: حوزه‌آبخیز دارابکلا)

مریم پیری کیا[۱]، اصغر فلاح[۲]، حمید امیرنژاد[۳] و جهانگیر محمدی[۴]

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
۳- دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران (نویسنده مسوول: hamidamirnejad@yahoo.com)
۴- استادیار، گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۱۰
صفحه: ۲۲ تا ۳۳

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: یکی از مهم‌ترین علل تخریب و زوال بوم‌سازگان‌های طبیعی، نبود بازاری برای تعیین ارزش خدمات تولید شده توسط آن بوم‌سازگان‌ها و در نتیجه رایگان پنداشتن این خدمات است. یکی از با ارزش‌ترین خدمات فراهم‌سازی بوم‌سازگان‌ها تولید آب شیرین است که در پژوهش حاضر الگویی برای دستیابی به توزیع مکانی ارزش خدمت بوم‌سازگان تولید آب در حوزه‌آبخیز دارابکلا واقع در استان مازندران ارائه شده است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش برای کمی‌سازی خدمت تولید آب از مدل عملکرد آب در InVEST استفاده شده است. تولید آب در این مدل بر مبنای منحنی بودیکو محاسبه شد که در واقع میزان رواناب هر پیکسل را از بارش منهای تبخیر و تعرق مشخص می‌کند. داده‌های مورد نیاز این مدل شامل نقشه‌های کاربری اراضی، میانگین بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه، عمق خاک، آب قابل دسترس گیاه، مرزهای حوزه‌آبخیز و زیرحوزه‌های‌آبخیز و هم‌چنین یک جدول زیست‌فیزیکی می‌باشد. در ادامه به منظور ارزش‌گذاری این خدمت بوم‌سازگانی از روش هزینه جایگزین استفاده شده و بدین ترتیب دستیابی به نقشه توزیع مکانی ارزش خدمت بوم‌سازگانی تولید آب در سطح منطقه مطالعاتی میسر شده است.

یافته‌ها: براساس محاسبات انجام شده توسط مدل در کل حوزه‌آبخیز دارابکلا، سالانه ۴۳۰۹۴۱۵۲ مترمکعب آب تولید می‌شود. نتایج مربوط به کاربری‌های مختلف زمین نشان داد که بیش‌ترین میزان تولید رواناب در کاربری‌ها با مقدار ۳۷۴۳/۷۶ مترمکعب در هکتار مربوط به کاربری انسان‌ساخت بود و پس از آن کاربری اراضی کشاورزی و باغی با مقادیر ۳۶۰۱/۳۴ و ۳۵۹۲/۱۸ مترمکعب در هکتار به‌ترتیب بیش‌ترین میزان تولید آب را داشتند. هم‌چنین کم‌ترین میزان رواناب مربوط به کاربری‌های جنگل نیمه‌متراکم و جنگل متراکم به‌ترتیب با مقادیر ۲۹۶۰/۸۲ و ۲۶۰۲/۱۹ مترمکعب در هکتار می‌باشد که بیان‌گر اینست که وجود تاج پوشش درختان جنگلی و چگونگی توزیع مکانی آن‌ها اثر مهمی بر افزایش نفوذ آب در خاک و کاهش تولید رواناب دارند. منطقه مورد مطالعه از نظر میزان ارزش اقتصادی خدمت بوم‌سازگان تولید آب در ۴ طبقه متفاوت از ارزش قرار گرفته است. این طبقات از کمینه ۲۹ –۲۴ میلیون ریال تا بیشینه ۴۳–۳۹ میلیون ریال در هر هکتار تفاوت دارند.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که مدل InVEST با وجود اینکه از اطلاعات نسبتاً کم و قابل دسترسی استفاده می‌کند، کارایی بالایی دارد و به‌وسیله آن می‌توان خدمات بوم‌سازگان را نقشه‌سازی کرد و درتصمیمات مدیریتی از آن استفاده کرد. همچنین با استفاده از نتایج کمی حاصل از اجرای مدل InVEST، امکان نمایش مکانی توزیع ارزش خدمت بوم‌سازگانی در سطح سرزمین مطالعاتی فراهم شد که نتایج این بخش نشان داد که توجه به ابعاد مکانی در تعیین ارزش خدمت تولید آب بسیار مهم است زیرا تغییر در خصوصیات مکانی به مقدار قابل توجهی بر میزان ارزش خدمت تولید آب تاثیرگذار خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ارزش‌گذاری مکانی، بیلان آبی، روش هزینه جایگزین، کمی‌سازی، مدل‌های زیست فیزیکی

مقدمه

بوم‌سازگان‌ها منشأ تولید و عرضه کالاها و خدمات وسیعی برای جوامع انسانی در سرتاسر دنیا بوده و یکی از عناصر مهم برای تأمین رفاه اقتصادی و بهزیستی به‌شمار می‌رود (۵) که این کالاها و خدمات بوم‌سازگان (EGS)[1] دارای انواع متفاوتی از ارزش‌های اکولوژیکی، اقتصادی و فرهنگی‌اند که ویژگی مشترک همه آن‌ها، که با شکل‌های گوناگونی مانند تنظیم جریان‌های آبی و سیلابی، ذخیره و ترسیب کربن، جلوگیری از فرسایش خاک، حفظ ذخایر ژنتیکی، گردشگری طبیعی و ایجاد جذابیت‌های بصری و غیره تبلور می‌یابد، تعدد و تنوع چشمگیر آن‌هاست (۱۵). یکی از با ارزش‌ترین خدمات فراهم‌سازی بوم‌سازگان‌ها تولید آب شیرین است که در رفاه جامعه به طرق گوناگون از جمله تدارک آب شرب، آب برای آبیاری مزارع و تولید برق آبی که یکی از متداول‌ترین نوع انرژی تجدیدپذیر در جهان است، نقش دارد (۲۴).

بااین‌حال رشد جمعیت، گسترش کشاورزی، تغییر الگوی مصرف و بالا رفتن سطح بهداشت در دهه‌های اخیر، بهره‌برداری مفرط از منابع آب در سراسر جهان را افزایش داده و موجب پیشی‌گرفتن تقاضا بر عرضه و نهایتاً کمیابی منابع آب شده است. به‌طوری‌که برخی متعقدند در آینده‌ای نزدیک رفاه جمعیت جهان به‌طور قابل توجهی به بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب سطحی و زیرزمینی بستگی خواهد داشت.

1- Ecosystem Goods and Services

براساس جدیدترین گزارش سازمان ملل متحد در طول ۲۵ سال آینده آسیا و منطقه خاورمیانه از خشک‌ترین مناطق جهان محسوب خواهند شد. با این وجود طی سالیان گذشته به دلایل متعددی نظیر استحصال بی‌رویه و غیرمنطقی از منابع آب به‌ویژه آب‌های زیرزمینی، بروز پدیده خشکسالی و عدم رعایت اصول حفاظت در بهره‌برداری از منابع آبی، برخی از منابع آبی کشور نابود شده و بسیاری در معرض خطر نابودی قرار گرفته‌اند (۲).

برای بهینه‌سازی مصرف آب، اطلاع از بیلان آبی حوزه‌های آبخیز ضروری می‌باشد از طرفی، اندازه‌گیری اجزای بیلان آب در فاصله‌های زمانی مورد نیاز به خاطر وقت‌گیر و پرهزینه بودن مشکل است. در کشور ما اکثر حوزه‌های آبخیز، به‌ویژه حوزه‌های‌آبخیز کوهستانی و صعب العبور، فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری به تعداد کافی هستند که هرگونه برنامه‌ریزی مدیریتی را با معضل و یا حتی شکست مواجه می‌کند. برای مقابله با این معضل، متخصصان راه‌حل‌های مختلفی عرضه نموده‌اند. عقیده بر این است که مدل‌سازی پدیده‌های هیدرولوژی در حوزه‌های‌آبخیز می‌تواند راه‌حل بهینه‌ای برای آن‌ها باشد (۲۶).

از طرف دیگر، امروزه این امر به خوبی ثابت شده که تخریب بوم‌سازگان‌ها و افت کمی و کیفی خدمات بوم‌سازگان نه تنها بر رشد اقتصادی کنونی اثر منفی دارد بلکه ظرفیت اقتصاد برای دستیابی به رشدی پایدار در آینده را نیز متأثر خواهد ساخت. توافق گسترده‌ای بر این مسئله وجود دارد که تخریب و زوال کنونی منابع محیط زیست و آلودگی‌های ایجاد شده در آن به مقدار زیادی به واسطه عدم وجود بازار برای کالاها و خدمات اکولوژیکی است (۱۲). ارزش‌گذاری پولی و استفاده از معیارهای کمی در ارزشیابی موجب کاهش روند تخریبی می‌شود که خدمات بوم‌سازگان، به‌واسطه عدم وجود بازار دچار آن شده‌اند (۲۰).

در طی سال‌های اخیر به‌منظور استفاده دقیق‌تر از یافته‌های مربوط به ارزش‌گذاری اقتصادی عملکردهای بوم‌سازگان، سعی در مکان‌دار کردن ارزش‌گذاری به‌چشم می‌خورد (۲۱). این امر بدین معنا است که ارزش محاسبه شده برای خدمت خاص در بوم‌سازگان به‌صورت میانگینی از کل بوم‌سازگان نبوده بلکه به گونه‌ای مکان‌دار، ارتباط میان میزان ارزش و مکان خاص تولید ارزش در بوم‌سازگان نشان داده می‌شود (۱۲). در این راستا کمی‌سازی و نقشه‌سازی خدمات بوم سازگان مانند تولید آب با استفاده از نمونه‌برداری‌های میدانی، برآورد، مدل‌ها و شاخص‌ها موجود در داده‌های جهانی و منطقه‌ای به‌واسطه فراهم کردن داده‌های کمی مورد نیاز برای ارزش‌گذاری اقتصادی خدمات بوم‌سازگان، موجب ارتقاء کیفیت مطالعات اقتصاد محیط زیستی کشور می‌شود.

برای انجام چنین ارزیابی، زیرساخت‌های اکولوژیکی منطقه مورد مطالعه باید شناسایی و به فرمت نقشه درآید. در این نقشه‌ها ارتباط بین الگویی چشم‌انداز سیمای سرزمین و تدارک کالاها و خدمات بوم‌سازگان مشخص می‌شود (۲۴). یکی از ابزارهای نقشه‌سازی خدمات بوم‌سازگان برای حمایت از تصمیم‌گیری‌های محیط زیستی، مدل ارزیابی یکپارچه خدمات بوم‌سازگان و هم‌کنشی میان خدمات InVEST[1] است که توسط پروژه سرمایه طبیعی در سال ۲۰۰۶ توسعه یافته است (۱۸). این مدل شامل مجموعه‌های از مدل‌هایی مجزا است که طیف گسترده‌ای از خدمات بوم‌سازگان را پوشش می‌دهد که با استفاده از مدل‌های نسبتاً ساده و با اطلاعات نسبتاً کم موجود در منطقه، با نقشه‌سازی خدمات بوم‌سازگان، الگویی کلی از توزیع مکانی خدمات را ارائه می‌دهند (۱۶) و مدل عملکرد آب، یک جزء حیاتی از خدمات بوم‌سازگان مرتبط با آب است که براساس اصول تعادل آبی می‌باشد و در مقایسه با سایر مدل‌های هیدرولوژیکی، مدل عملکرد آب در InVEST دارای نقشه‌برداری و توابع تجزیه و تحلیل فضایی تحت نرم‌افزار ArcGIS می‌باشد (۲۷).

این ابزار تا امروز به‌طور گسترده‌ای در سراسر دنیا در پژوهش‌ها و برنامه‌های مدیریتی متنوع مورد ارزیابی قرار گرفته است مانند مطالعات گائو و همکاران (۷) که به ارزیابی خدمات مرتبط با آب تحت تأثیر ۴ سناریوی مدیریتی (حفاظت خاک، حفاظت آب، گسترش کشاورزی و ترکیبی) در کشور چین پرداختند که نتایج نشان داد خدمات تصفیه آب و تولید آب در هر دو سناریوی مدیریتی حفاظت آب و خاک افزایش می‌یابد. درحالی‌که این خدمات در اثر سناریوی مدیریتی گسترش کشاورزی کاهش پیدا می‌کنند.

در مطالعه دیگر مینگا لون و همکاران (۱۰) به برآورد تولید آب در حوزه‌های‌آبخیز در جنوب اکوادور با استفاده از InVEST پرداختند که نتایج نشان داد میزان عمق رواناب سطحی از ۲۰۶ میلی‌متر در سال در حوزه آلامور تا ۱۲۱۸ میلی‌متر در سال در حوزه زامورا متغیر است و حوزه‌های آمازون (زامورا و مایو) بیش‌ترین میزان تولید آب را داشتند و حوزه‌هایی که در کوه‌ها و دره‌ها واقع شده‌اند (آلامور و کاتامایو) دارای کم‌ترین میزان تولید آب می‌باشند. هم‌چنین ساحل و همکاران (۱۷) برای کمی‌سازی و نقشه‌سازی خدمات بوم‌سازگان مرتبط با آب در شرق آفریقا از این نرم‌افزار استفاده کردند، نتایج آن‌ها نشان داد که میزان تولید آب در حوزه‌آبخیز مورد مطالعه از ۵۶ تا ۱۲۴۶ میلی‌متر در پیکسل متغیر است که بارش سالیانه زیاد و تبخیر و تعرق کم از حوزه‌آبخیز باعث تولید آب سالیانه به مقدار قابل توجهی شده است. با این‌وجود مردم در این حوزه به دلیل عدم دسترسی و مدیریت ضعیف، با کمبود آب مواجه‌اند.

در ایران نیز از ابزار InVEST برای ارزیابی خدمات بوم سازگان استفاده شده که از آن جمله می‌توان به پژوهش زرندیان و همکاران (۲۵) برای نقشه‌سازی و کمی‌سازی تنوع زیستی در منطقه جنگلی سرولات و جواهردشت اشاره کرد. نتایج آن‌ها نشان داد که میانگین کیفیت زیستگاه در شرایط جاری در مقیاس صفر تا یک، ۰/۲۶۷۸۵۷ برآورد شده است که بالاترین درجه کیفیت زیستگاه در ارتفاعات بالاتر و جنوبی منطقه جنگلی سرولات و جواهر دشت می‌باشد که شدت تهدیدات تحت تأثیر مسافت بیش‌تر کاهش می‌یابد.

در مطالعه دیگر اسدالهی و همکاران (۱) به مدل‌سازی نگهداشت خاک با نرم‌افزار InVEST در حوزه‌آبخیز گرگانرود پرداختند که نتایج نشان داد مجموع نگهداشت سالیانه خاک از

1- Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs

۰/۵ تا ۳۹۱۶ تن در هکتار در هر زیرحوزه متغیر است و زیر حوزه‌ها با پوشش غالب جنگل بیش‌ترین میزان نگهداشت خاک را به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین حقدادی و همکاران (۸) به بررسی و نقشه‌سازی میزان تولید آب در کاربری‌های مختلف زمین در حوزه‌آبخیز دلیچای با استفاده از این نرم‌افزار پرداختند که طبق نتایج میزان تولید رواناب در کل حوزه‌آبخیز به‌طور سالیانه حدود ۴۲ میلیون مترمکعب می‌باشد که بیش‌ترین میزان تولید رواناب در کاربری‌های زمین‌های بایر و مسکونی و کم‌ترین میزان تولید رواناب مربوط به ذخیره‌گاه ارس بوده است.

مرور مطالعات نشان دادند که طیف وسیعی از خدمات بوم سازگان این قابلیت را دارند که با استفاده از نرم‌افزار InVEST مورد نقشه‌سازی قرار گیرند و مدل‌های اجرا شده در این نرم‌افزار از این قابلیت برخوردار هستند که پس از فرایند کمیت‌سنجی خدمات، کار ارزش‌گذاری اقتصادی را نیز تسهیل نمایند. بنابر اهمیت روزافزون تولید آب از گذشته تا به امروز و فشارهای زیادی که در اثر تغییرات کاربری اراضی، رشد جمعیت و تصمیمات مدیریتی بر منابع آب وارد می‌شود، محاسبه و نقشه‌برداری این خدمت بوم‌سازگان از اهمیت بالایی برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب برخوردار است. با توجه به این‌که مدل عملکرد آب در InVEST می‌تواند میزان تولید آب را در سطح حوزه و زیرحوزه‌های‌آبخیز برآورد نماید و برای ارزیابی تأثیرات کاربری‌های مختلف زمین در تغییرات تولید آب در حوزه‌آبخیز مورد استفاده قرار گیرد، بنابراین در این تحقیق از مدل عملکرد آب در InVEST برای برآورد تولید آب در حوزه‌آبخیز دارابکلا با کاربرهای مختلف زمین استفاده شد. اهداف اصلی در تحقیق حاضر شامل موارد ذیل می‌باشد:

۱) بکارگیری مدل عملکرد آب در InVEST با هدف کمی سازی و نقشه‌سازی خدمت تولید آب در زیرحوزه‌های آبی و کاربری‌های مختلف زمین در حوزه‌آبخیز دارابکلا

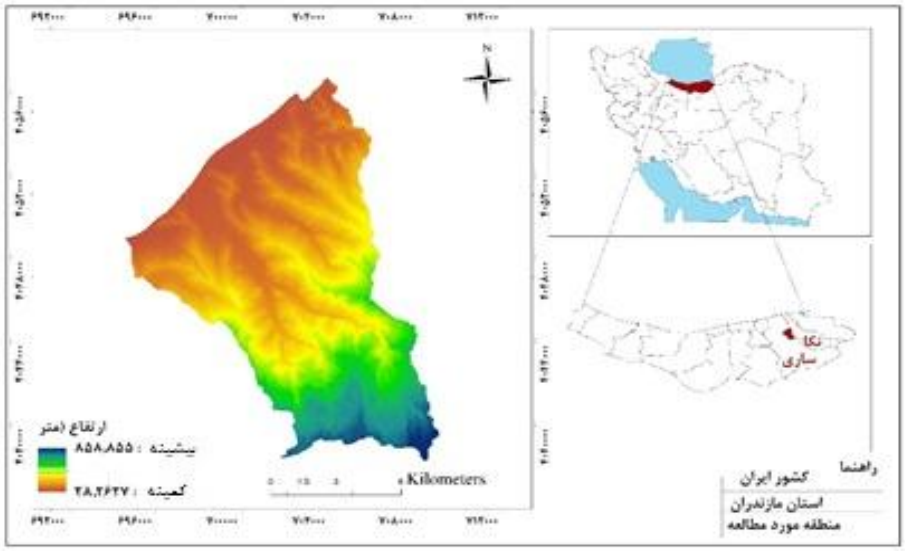
۲) استفاده از داده‌های کمی حاصل از ارزیابی اکولوژیکی برای ارزش‌گذاری اقتصادی خدمت تولید آب و سپس ارائه الگویی برای دستیابی به توزیع مکانی ارزش تولید آب با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوزه‌آبخیز دارابکلا، واقع در شهرستان‌های نکا و ساری در استان مازندران می‌باشد. بر مبنای سیستم مختصات UTM این منطقه در زون ۳۹ شمالی قرار دارد و از لحاظ جغرافیایی در مختصات ″۰۸ ′۱۱ °۵۳ تا ″۳۳ ′۲۰ °۵۳ طول شرقی و ″۲۷ ′۲۸ °۳۶ تا ″۴۰ ′۳۸ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است (۱۳). این حوزه در سمت جنوب به رشته‌کوه‌های البرز و حوزه‌آبخیز زارم‌رود (از سرشاخه‌های تجن)، از غرب به حوزه‌آبخیز تجن، از شرق به حوزه‌آبخیز نکارود منتهی شده و از سمت شمال دارای خروجی به سمت دریای خزر می‌باشد (۱۴).

وسعت حوزه‌آبخیز دارابکلا ۱۳۳۶۴/۸۴هکتار، کمینه ارتفاع حوزه ۲۸/۲۶ متر و بیشینه ارتفاع آن ۸۵۸/۸۵ متر می‌باشد که در قسمت جنوبی حوزه بیش‌تر اراضی شامل جنگل انبوه و نیمه‌انبوه بوده که شامل سری یک و دو جنگل دارابکلا، جنگل‌های سری پیله‌کوه و قطعاتی از سری کیاپی می‌باشند که بیش‌تر آن در ارتفاعات بین ۳۵۰ تا ۸۵۸/۸۵ متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین دمای سالیانه هوا ۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد، میانگین بیشینه آن ۲۲/۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین کمینه آن ۱۲/۹ درجه سانتی‌گراد است. میزان بارندگی سالیانه به‌طور متوسط ۷۳۰/۰۸ میلی‌متر می‌باشد. شکل ۱ موقعیت حوزه‌آبخیز دارابکلا را در استان مازندران و ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure 1. The Location of study area

کمی‌سازی خدمت تولید آب

برای تعیین میزان تولید آب در حوزه مورد مطالعه از مدل عملکرد آب در نرم‌افزار TerrSet (ادریسی سابق) استفاده شد که مدل‌سازی خدمات بوم‌سازگان این نرم‌افزار بر مبنای مدل‌های ارائه شده در نرم‌افزار InVEST می‌باشد. مدل عملکرد آب، میزان آب را در نقاط مختلف یک چشم‌انداز تخمین می‌زند و نشان می‌دهد که چگونه تغییر در الگوی استفاده از زمین میزان تولید آب را در بخش‌های مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد (۸). مدل عملکرد سالانه آب بر مبنای منحنی بودیکو[1] و میانگین بارش سالیانه در نظر گرفته شده است که تعیین عملکرد آب Y_X برای هر پیکسل در چشم‌انداز X براساس رابطه (۱) برابر است با:

$$Y_X=\left(1-\frac{AET_X}{P_X}\right)P_X \qquad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن 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 (۷). طبق تعریف این مدل، 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 (۸). در عمل، اندازه‌گیری تبخیر و تعرق واقعی سالیانه در مقیاس حوزه‌آبخیز بسیار دشوار است که مدل عملکرد آب در InVEST برای محدوده‌های که دارای پوشش‌گیاهی هستند میزان تبخیر و تعرق واقعی (AET) را به تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) که روشی ساده‌تر و بر مبنای منحنی بودیکو که توسط فو (۶) و ژانگ و همکاران (۲۸) پیشنهاد شده است، مطابق رابطه ۲ مرتبط می‌کند (۱۰).

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

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

$$PET_x=K_c(l_x)\times ET_{O\,x} \qquad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن $ET_{O\,x}$ 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 مشخصه‌های رویشی xها تعیین می‌شود (۹). w_x یک پارامتر تجربی است که با زمینه آبی در دسترس گیاه، میزان بارندگی و ضریب ثابت Z رابطه دارد و مطابق رابطه ۴ محاسبه می‌شود (۱۶).

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

که AWC_x حجم آب قابل دسترس گیاه است که می‌تواند در خاک برای استفاده توسط گیاهان نگهداری و آزاد شود. AWC_x می‌توان به‌عنوان محصولی از تفاوت بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی و کمینه عمق خاک و عمق ریشه برآورد شود. عدد ثابت Z که یک پارامتر تجربی است که تابعی از ویژگی‌های حوزه‌آبخیز مانند آب و هوا، شدت بارندگی و توپوگرافی می‌باشد (۲۷). برای کاربری‌های فاقد پوشش گیاهی (بدنه‌های آبی و مناطق شهری و غیره)، AET مستقیماً از مقادیر ET_O و بارش طبق رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$AET_X=min(K_c(l_x)\times ET_{O\,x}.P_x) \qquad \text{رابطه (۵)}$$

براین‌اساس مدل تولید آب در نرم‌افزار InVEST، میزان تولید رواناب را در سطح پیکسل، حوزه و زیرحوزه‌های آبی برآورد می‌کند (۱۰).

داده‌های مورد نیاز مدل تولید آب

مدل عملکرد آب نیازمند داده‌های مختلفی است که شامل نقشه‌های کاربری اراضی / پوشش‌گیاهی، بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه، آب قابل دسترس گیاه، عمق محدود کننده ریشه، مرز حوزه و زیرحوزه‌های‌آبخیز در قالب فرمت رستری، 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 حوزه‌آبخیز دارابکلا از تصاویر سنجنده OLI ماهواره Landsat در سال ۱۳۹۶ استفاده شد. پس از انجام اقدامات مورد نیاز در مرحله پیش‌پردازش، به کمک نمونه‌های تعلیمی و با استفاده از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال نقشه کاربری اراضی در ۵ طبقه جنگل متراکم و نیمه‌متراکم، باغ، اراضی کشاورزی و مناطق انسان‌ساخت تهیه شد.

از آنجایی‌که دقت مدل عملکرد آب تابع دقت و صحت داده‌های ورودی نرم‌افزار بخصوص داده بارش سالیانه می‌باشد. بنابراین برای تهیه نقشه بارندگی، داده‌های مورد نیاز از ۶ ایستگاه سینوپتیک (ساری، دشت‌ناز، بندر امیرآباد، کیاسر، آلاشت و پل‌سفید) و ۳ ایستگاه باران‌سنجی (دارابکلا، آبلو و ریگ‌چشمه) از اداره کل هواشناسی و آب منطقه‌ای استان مازندران برای یک دوره ۱۵ ساله (۱۳۹۷-۱۳۸۳) جمع‌آوری شد و با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ، نقشه میانگین بارندگی سالیانه بر حسب میلی‌متر تهیه شد. از روش اصلاح شده هارگریوز با توجه به داده‌های موجود و در دسترس در ایستگاه‌های سینوپتیک بر طبق رابطه ۶ برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه استفاده شد (۱۰،۲۴،۲۷).

رابطه (۶)

$$ET_O=0.0023R_a\left[\left(\frac{T_{max}+T_{min}}{2}\right)+17.8\right](T_{max}-T_{min})^{0.5}$$

که ET_O تبخیر و تعرق مرجع بر حسب میلی‌متر در روز، R_a تابش برون‌زمینی بر حسب میلی‌متر در روز، T_{max} بیشینه درجه حرارت بر حسب درجه سانتی‌گراد و T_{min} کمینه درجه حرارت بر حسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۲۷). آب قابل دسترس گیاه مقدار آبی است که می‌تواند در نیم‌رخ خاک ذخیره شود تا برای استفاده گیاه در دسترس باشد که مقدار این پارامتر بین صفر تا یک است (۱۸). بافت‌های متفاوت خاک دارای توان ذخیره آب متفاوت در واحد عمق هستند بنابراین با توجه به اطلاعات بافت خاک و درصد ماده آلی مطابق رابطه‌ی ۷ می‌توان درصد آب قابل دسترس گیاه را محاسبه کرد.

1- Budyko curve

رابطه (۷)

$$AWC(\%) = 54.509 - 0.132(sand\%) - 0.003(sand\%)^2 - 0.055(silt\%) - 0.006(silt\%)^2 - 0.738clay\% + 0.007(clay\%)^2 - 2.688OM\% + 0.501(OM\%)^2$$

که AWC(%) درصد آب قابل دسترس، sand% درصد شن، silt% درصد سیلت، clay% درصد رس و OM% درصد ماده آلی می‌باشد (۲۲). در محدوده مورد مطالعه چون اطلاعات عمق محدودکننده ریشه براساس نوع خاک در دسترس نبود، بنابراین عمق خاک به‌عنوان پروکسی در نظر گرفته شد (۱۸). در این تحقیق برای تعیین عمق خاک و آب قابل دسترس گیاه از اطلاعات نیم‌رخ حفر شده در محدوده مطالعاتی دارابکلا توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندارن در ۱۶ واحد خاکی استفاده شد. هم‌چنین براساس مدل رقومی ارتفاع (DEM) و نقشه آبراهه‌ها و با استفاده از نرم‌افزار SAGA مرز حوزه و زیرحوزه‌ها آبی تعیین شد.

به‌منظور اجرای مدل عملکرد آب، یک جدول زیست‌فیزیکی لازم است که ویژگی‌های هر کدام از کاربری زمین و پوشش زمین (LULC) و شامل کد هرکاربری، اطلاعات توصیفی، عمق ریشه‌دوانی به میلی‌متر، ضریب تبخیر و تعرق گیاه برای هر کاربری و وجود یا عدم وجود پوشش‌گیاهی (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 که در آن مقادیر نزدیک به ۱، نشان می‌دهد که بارش‌ها عمدتاً در طول ماه‌های تابستان اتفاق می‌افتد و مقادیر نزدیک به ۱۰ نشان می‌دهد که بیش‌تر بارش‌ها طی ماه‌های زمستان رخ می‌دهد (۲۷).

ارزش‌گذاری اقتصادی تولید آب در محدوده مورد مطالعه

به‌منظور تعیین ارزش اقتصادی تولید آب در منطقه مورد مطالعه از روش هزینه جایگزین استفاده شد. این روش یکی از روش‌های ارزش‌گذاری مبتنی بر هزینه است که اولین بار توسط شابمن و بتیه در سال ۱۹۷۸ استفاده شده است (۱۲). روش هزینه جایگزینی روشی است که هزینه جایگزین نمودن یک خدمت طبیعی بوم‌سازگان اتلاف شده را از طریق عملیات مهندسی به عنوان ارزش معادل اقتصادی آن در نظر می‌گیرد (۲۴). در این مطالعه پس از تعیین مقدار آب حفظ شده در منطقه مورد مطالعه، ارزش اقتصادی خدمت تولید آب را می‌توان با استفاده از روش هزینه جایگزین و قیمت هر متر مکعب آب بر مبنای قیمت استحصال و فروش در پای سد از رابطه ۸ برآورد کرد.

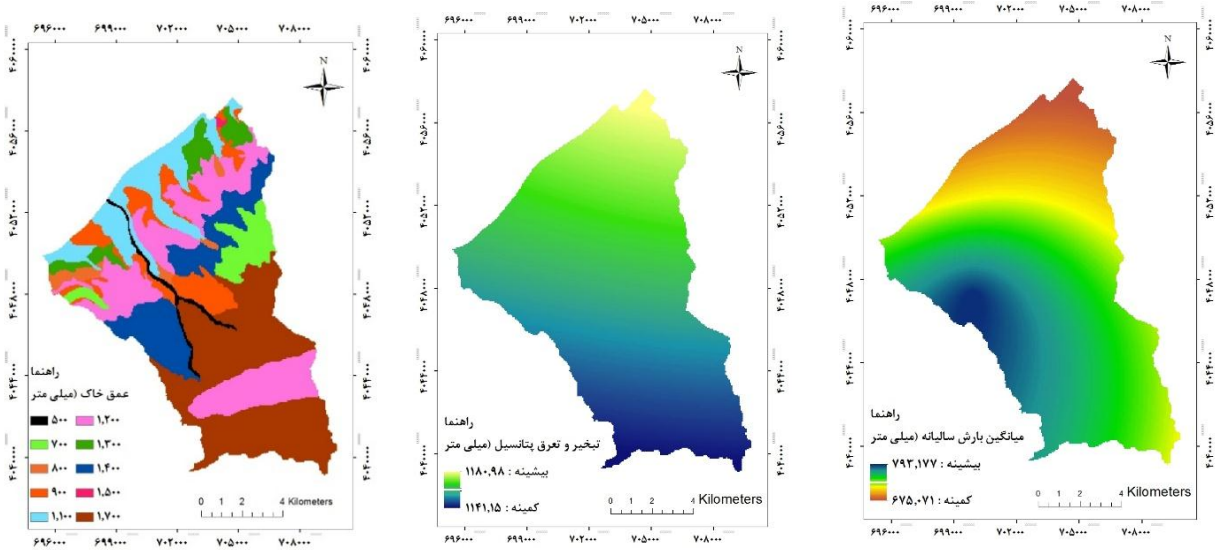
رابطه (۸)

$$Ve = Fe \times Pe$$

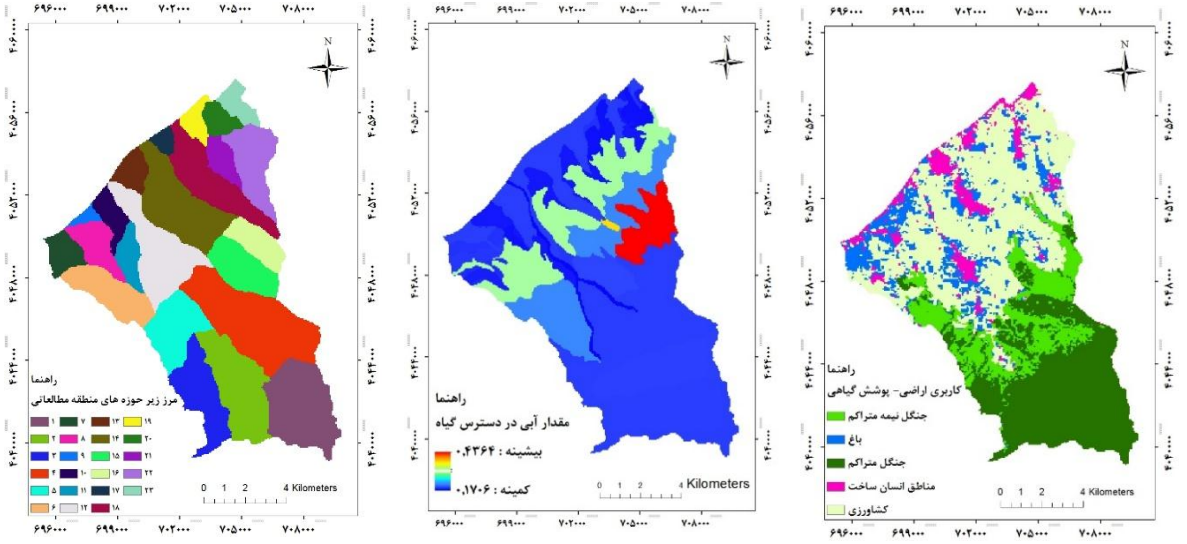
که Ve ارزش اقتصادی کارکرد بوم‌سازگان برای حفظ آب بر حسب واحد پولی، Fe تأثیر ناشی از بوم‌سازگان در حفظ آب (مقدار آب حفاظت شده بر حسب مترمکعب در سال) و Pe قیمت اثر اقتصادی (قیمت هر مترمکعب آب حفظ شده بر حسب واحد پولی) است.

نتایج و بحث

در شکل‌های ۲ تا ۷ داده‌های ورودی تهیه شده جهت مدل‌سازی تولید آب در محدوده مورد مطالعه نمایش داده شده است که به‌ترتیب شامل نقشه‌های بارندگی، تبخیر و تعرق، عمق خاک، آب در دسترس، زیرحوزه‌ها آبی و کاربری اراضی می‌باشد.



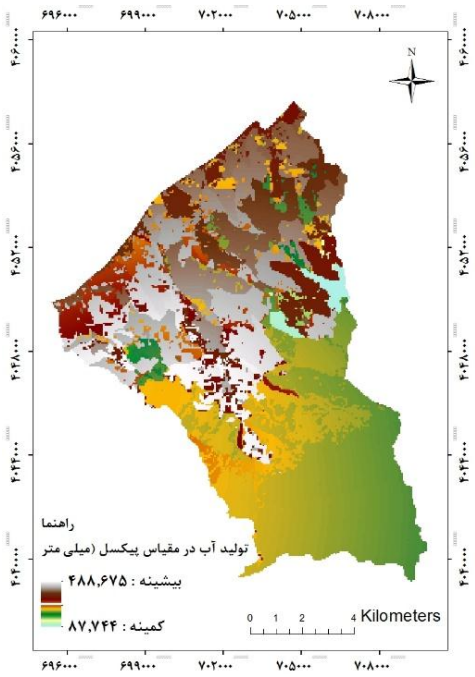
شکل ۲- میانگین بارش سالیانه (میلی‌متر) شکل ۳- تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر) شکل ۴- عمق خاک (میلی‌متر)
Figure4. Soil depth (mm) Figure3. Potential evapotranspiration (mm) Figure 2. Average of annual precipitation (mm)



شکل ۵- مقدار آبی در دسترس گیاه شکل ۶- مرزهای زیرحوزه‌های آبخیز شکل ۷- کاربری اراضی-پوشش‌گیاهی
Figure 7. Land use and land cover Figure 6. The boundaries of the sub-watershed Figure 5. Plant available water capacity

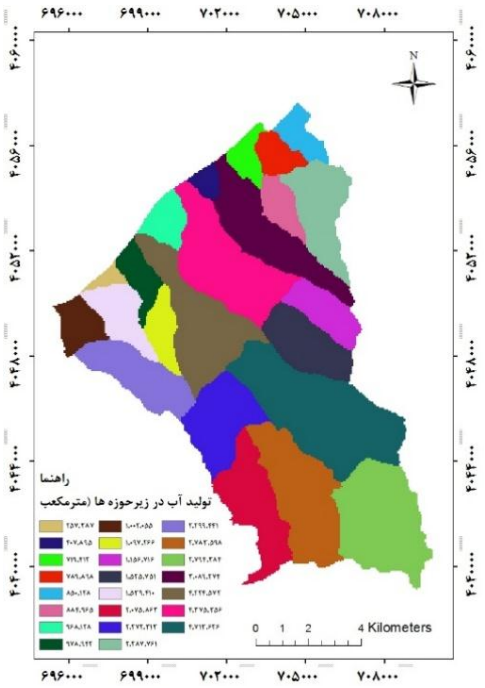
بر این اساس بیشینه و کمینه بارش سالیانه در محدوده مورد مطالعه به‌ترتیب ۶۷۵/۰۷ تا ۷۹۳/۱۷ میلی‌متر و تبخیر و تعرق پتانسیل شامل طیفی از ۱۱۴۱/۱۵ تا ۱۱۸۰/۹۸ میلی‌متر در سال می‌باشد (شکل‌های ۲و ۳). مقادیر عمق خاک با توجه به اطلاعات نیم‌رخ حفر شده در محدوده مطالعاتی دارابکلا از ۵۰۰ تا ۱۷۰۰ میلی‌متر و مقدار آبی در دسترس گیاه نیز از ۰/۱۷ تا ۰/۴۴ متغیر است (شکل‌های ۴ و ۵). با توجه به این‌که فرضیات مدل بر مبنای فرایندهای 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. بر این اساس منطقه مورد مطالعه به ۲۳ زیرحوزه‌آبی تقسیم شد (شکل ۶). مطابق شکل ۷ نقشه کاربری اراضی در ۵ طبقه جنگل متراکم و نیمه‌متراکم، باغ، اراضی کشاورزی و مناطق انسان‌ساخت تهیه شد. براین‌اساس بیش از ۴۳ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه تحت پوشش درختان جنگلی قرار دارد و سایر اراضی شامل زمین‌های زراعی، باغ و سکونت‌گاه‌های انسانی که به‌ترتیب ۳۸/۳۳، ۱۱/۲۶ و ۶/۶۴ درصد سطح منطقه را اشغال نموده‌اند (جدول ۲).

تولید سالیانه آب: با استفاده از مدل عملکرد آب در InVEST تولید آب را در سطح پیکسل، برای کل حوزه و هر یک از زیرحوزه‌ها به‌دست آمد. شکل ۸ نشان‌دهنده تعادل آبی بوم‌سازگان در سطح سرزمین مورد مطالعه در مقیاس پیکسل است. تفسیر این نقشه در مقیاس پیکسل معنادار نیست و صرفاً جهت برآورد اولیه از وضعیت آبی بوم‌سازگان مورد توجه قرار می‌گیرد که براساس آن تعادل آبی بوم‌سازگان برای محدوده بررسی شده در مقیاس پیکسل از ۸۷/۷۴ تا ۴۸۸/۶۷ میلی متر در سال متغیر است. شکل ۹ حجم تولید آب براساس مترمکعب در سال در هر یک از زیرحوزه‌های آبی ۲۳گانه در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. براساس محاسبات انجام شده توسط مدل در مجموع به‌واسطه عملکرد حوزه‌آبی تعریف شده و زیرحوزه‌های آن در محدوده مطالعاتی، سالیانه ۴۳۰۹۴۱۵۲ مترمکعب آب تولید می‌شود. آمار تفکیکی مربوط به هر یک از زیرحوزه‌ها در جدول ۱ قابل مشاهده است که مطابق آن زیرحوزه ۴ با حجم تولید آب ۴۷۱۳۶۲۶/۵ مترمکعب در سال بیش‌ترین تولید آب و زیرحوزه ۹ با حجم تولید آب ۲۵۷۳۸۷/۹۴ مترمکعب در سال کم‌ترین تولید آب را دارند و با توجه به مساحت حوزه‌های آبخیز، حوزه ۱۱ و ۱۲ بیش‌ترین حجم تولید آب در هر هکتار بر حسب مترمکعب در سال را به خود اختصاص دادند.



شکل ۸- میزان تولید آب در مقیاس پیکسل (میلی‌متر در سال)

Figure 8. The amount of water production in pixel($^{mm}/_{year}$)



شکل ۹- میزان تولید آب در زیرحوزه‌های آبی (مترمکعب در سال)

Figure 9. The amount of water production in sub-watershed ($^{m^3}/_{year}$)

جدول ۱- میزان آب تولیدی در هر زیرحوزه‌آبخیز

Table 1. The amount of water production in sub watersheds

زیرحوزه	مساحت (هکتار)	حجم تولید آب (مترمکعب در سال)	حجم تولید آب (مترمکعب در هکتار)	زیرحوزه	مساحت (هکتار)	حجم تولید آب (مترمکعب در سال)	حجم تولید آب (مترمکعب در هکتار)
۱	۱۲۱۴/۷۴	۲۷۹۴۳۸۴/۵	۲۳۰۰/۴	۱۳	۲۵۲/۳۰	۹۶۸۱۲۸/۶۹	۳۸۳۷/۲۱
۲	۱۰۸۰/۸۵	۲۷۸۳۵۹۸/۷۵	۲۵۷۵/۳۸	۱۴	۱۱۳۶/۳۶	۴۳۷۵۳۵۶/۵	۳۸۵۰/۳۳
۳	۷۷۷/۷۶	۲۰۷۵۸۶۳/۶۳	۲۶۶۹/۰۳	۱۵	۵۸۶/۳۵	۱۵۲۵۷۵۱/۸۸	۲۶۰۲/۱۲
۴	۱۶۹۷/۱۴	۴۷۱۳۶۲۶/۵	۲۷۷۷/۴	۱۶	۳۸۳/۱۶	۱۱۵۶۷۱۶/۵	۳۰۱۸/۸۹
۵	۷۰۱/۳۹	۲۲۷۲۳۱۳/۲۵	۳۲۳۹/۷۳	۱۷	۱۰۹/۶۶	۴۰۷۸۹۵/۲۲	۳۷۱۹/۴۸
۶	۶۵۱/۲۷	۲۲۹۹۴۴۱/۷۵	۳۵۳۰/۷	۱۸	۸۸۷/۰۹	۳۰۸۹۲۷۴/۷۵	۳۴۸۲/۴۹
۷	۲۸۰/۸۹	۱۰۰۲۰۵۵/۸۱	۳۵۶۷/۴۳	۱۹	۱۸۸/۷۲	۷۱۹۴۱۲/۹۴	۳۸۱۲/۰۷
۸	۳۹۷/۶۲	۱۵۳۹۴۱۰/۱۳	۳۸۷۱/۵۶	۲۰	۲۱۷/۳۱	۷۸۹۸۹۸/۳۱	۳۶۳۴/۸۹
۹	۷۸/۳۸	۲۵۷۳۸۷/۹۴	۳۲۸۳/۸۵	۲۱	۲۴۸/۲۶	۸۸۴۹۶۵/۸۸	۳۵۶۴/۶۷
۱۰	۲۶۰/۳۷	۹۷۸۹۴۲/۲۵	۳۷۵۹/۸۱	۲۲	۶۷۵/۸۳	۲۲۸۷۷۶۱	۳۳۸۵/۱۱
۱۱	۲۶۶/۴۳	۱۰۹۷۲۶۶/۶۳	۴۱۱۸/۴۱	۲۳	۲۲۷/۴۱	۸۵۰۱۲۸/۰۶	۳۷۳۸/۳۱
۱۲	۱۰۴۵/۵۳	۴۲۲۴۵۷۲	۴۰۴۰/۶	جمع	۱۳۳۶۴/۸۴	۴۳۰۹۴۱۵۲	

یکی از مهم‌ترین عواملی که در کنترل و تثبیت آب نقش دارند، پوشش‌گیاهی است. در این مطالعه به‌منظور بررسی نقش پوشش‌گیاهی در تولید آب، با ترکیب نقشه کاربری اراضی و نقشه تولید آب در زیرحوزه‌های آبی، میزان تولید آب در کاربری‌های مختلف محاسبه شد که نتایج مربوط به حجم تولید آب در کاربری‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج بیان‌گر اینست که بیش‌ترین میزان تولید رواناب با مقدار ۳۷۴۳/۷۶ مترمکعب در هکتار مربوط به کاربری انسان ساخت بوده و پس از آن کاربری‌های اراضی کشاورزی و باغی با مقادیر ۳۶۰۱/۳۴ و ۳۵۹۲/۱۸ مترمکعب در هکتار به‌ترتیب بیش‌ترین تولید آب را داشتند. هم‌چنین کم‌ترین میزان تولید آب مربوط به کاربری‌های جنگل نیمه‌متراکم و جنگل متراکم به‌ترتیب با مقادیر ۲۹۶۰/۸۲ و ۲۶۰۲/۱۹ مترمکعب در هکتار می‌باشد. طبق نتایج به‌دست آمده در بین کاربری‌های مختلف مناطق مسکونی بیش‌ترین تولید رواناب در هکتار در حوزه مورد مطالعه داشت که با نتایج سان و لوکابی (۱۹) و حقدادی و همکاران (۸) مطابقت داشت.

جدول ۲- میزان آب تولیدی در کاربری‌های مختلف زمین در هر هکتار
Table 2. The amount of water production in per hectare in different land uses

کاربری	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)	حجم تولید آب (مترمکعب در سال)	حجم تولید آب (متر مکعب در هکتار)
جنگل متراکم	۳۹۱۰/۹۹	۲۹/۲۶	۱۰۱۷۷۱۵۰/۱۷	۲۶۰۲/۱۹
جنگل نیمه‌متراکم	۱۹۳۹/۳۵	۱۴/۵۱	۵۷۴۲۰۷۰/۰۲	۲۹۶۰/۸۲
اراضی کشاورزی	۵۱۲۲/۳۶	۳۸/۳۳	۱۸۴۴۷۳۷۲/۱۹	۳۶۰۱/۳۴
اراضی باغی	۱۵۰۴/۳۸	۱۱/۲۶	۵۴۰۳۹۹۷/۴۹	۳۵۹۲/۱۸
مناطق انسان‌ساخت	۸۸۷/۷۶	۶/۶۴	۳۳۲۳۵۶۱/۹۳	۳۷۴۳/۷۶

در مناطق مسکونی به‌علت کاهش پوشش‌گیاهی نفوذ سطحی آب کاهش یافته و هم‌چنین آبی که در مراتع و دیگر کاربری‌های دارای پوشش‌گیاهی مورد مصرف گیاه قرار می‌گرفته و توسط گیاهان جذب خاک و ریشه می‌شود در این مناطق به صورت رواناب جاری می‌شود و از طرفی وجود سطوح غیرقابل نفوذ نظیر جاده‌ها و مناطق مسکونی سبب افزایش سرعت جریان آب و تولید رواناب می‌شود. درصورتی که کم‌ترین تولید آب در بین کاربری‌ها مربوط به جنگل‌های نیمه‌متراکم و متراکم می‌باشد. تاج‌پوشش درختان جنگلی و چگونگی توزیع مکانی آن‌ها اثر مهمی بر افزایش نفوذ آب در خاک و کاهش تولید رواناب دارند. هر چه جنگل‌ها پوشش غنی‌تری داشته باشند این قابلیت را دارند که آب بیش‌تری را نفوذ دهند و خود پوشش‌گیاهی مانع سیلاب می‌شود زیرا سیل زمانی به وجود می‌آید که آب به سرعت از حوزه‌آبخیز 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 حقدادی و همکاران (۸)، زرندیان (۲۴)، کاردلا دامیر و همکاران (۴) مطابقت داشت.

نتایج این پژوهش تفاوت میزان ارائه تولید آب را در کاربری‌های مختلف نشان می‌دهد. 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 پایین دست بیش‌تر است باید تصمیم‌گیری و مدیریت پوشش به گونه‌ای باشد که تولید آب در هر بخش با مقدار مورد نیاز منطقه مطابقت داشته باشد و طراحی فیزیکی دقیق کاربری منطقه می‌تواند آثار حاصل از تغییرات کاربری زمین از جمله اثرات هیدرولوژیکی حاصل از آن را کاهش دهد. هم‌چنین پس از ارزیابی اکولوژیک این خدمت بوم‌سازگان با ارزش گذاری 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 کم‌تری شود.

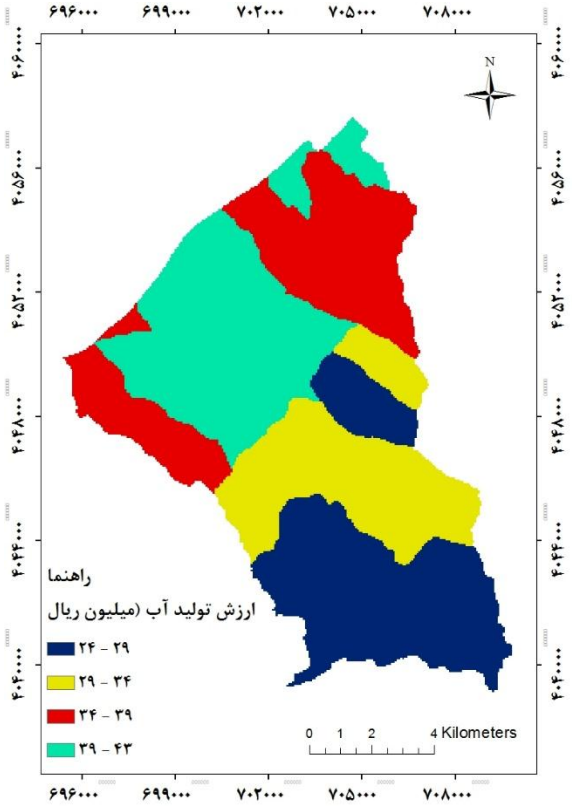
برآورد ارزش عملکرد تولید آب

با توجه به تعیین کمیت آب تولید شده در حوزه‌آبخیز دارابکلا براساس اجرای مدل مربوطه، مشخص شد که در مجموع معادل ۴۳۰۹۴۱۵۲ مترمکعب آب در سال توسط بوم سازگان تدارک می‌شود. بنابراین هر هکتار از حوزه‌آبخیز دارابکلا معادل ۳۲۲۴/۴۴ مترمکعب آب را در سال تولید می‌کند. قیمت تمام شده یک مترمکعب آب در سال ۱۳۹۷ بر اساس محاسبات وزارت نیرو معادل ۱۰۴۳۴ ریال بوده است (۱۱). بنابراین، براساس روش ارزش‌گذاری هزینه جایگزین، ارزش اقتصادی هر هکتار از حوزه‌آبخیز دارابکلا برای کارکرد تولید آب معادل ۳۳/۶۴۳۸۲۸ میلیون ریال و ارزش کل بوم سازگان‌های حوزه‌آبخیز دارابکلا برای کارکرد تولید آب معادل ۴۴۹۶۴۴/۳۸۲ میلیون ریال برآورد می‌شود.

شکل (۱۰) چگونگی توزیع مکانی ارزش خدمت بوم‌سازگان تولید آب در هر هکتار در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل (۱۰) مشخص شده است، منطقه مورد مطالعه از نظر میزان ارزش خدمت بوم‌سازگان تولید آب در ۴ طبقه متفاوت از ارزش قرار گرفته است. این طبقات از کمینه ۲۹-۲۴ میلیون ریال تا بیشینه ۴۳-۳۹ میلیون ریال در هر هکتار تفاوت دارند.

تفاوت در میزان ارزش در هکتار این خدمت از ۲۴ میلیون تا ۴۳ میلیون ریال در هکتار، فقط در محدودهٔ ۱۳/۳۶ هزار هکتاری مورد مطالعه، به‌خوبی بیان‌گر وجود ارتباط میان میزان ارزش خدمت تولید آب با کاربری‌های مختلف زمین می‌باشد که براساس تغییرات در کاربری مختلف زمین، ارزش تولید آب در طیف متنوعی از ارزش ریالی قابل برآورد شده است این موضوع بیان‌گر این امر است که با بهره‌برداری صحیح و اصولی از منابع طبیعی و مدیریت صحیح پوشش گیاهی می‌توانیم آب تولید شده را در نیم‌رخ خاک ذخیره کنیم و از هدر رفتن آب و ایجاد خسارت جلوگیری کنیم. البته ذکر این نکته لازم است که این مقادیر ارزش فقط بیان‌گر ارزش میزان تولید آبی است که به‌صورت رواناب در سطح زمین جاری می‌شود و میزان آب ذخیره شده در سفره‌های زیرزمینی را منظور نکرده است که در صورت منظور نمودن ارزش آب ذخیره شده در سفره‌های زیرزمینی، ارزش تولید آب حوزه آبخیز به مراتب بیشتر از این مقادیر ارزش می‌باشد.

همان‌طورکه نتایج ارزش‌گذاری نشان داد در تعیین ارزش کالاها و خدمات بوم‌سازگان، توجه به ابعاد فضایی و مکانی بسیار مهم است چرا که تغییر خصوصیات مکانی به مقدار قابل توجهی بر میزان ارزش خدمات تأثیرگذار خواهد بود اما متأسفانه با وجود گسترش انجام مطالعات ارزش‌گذاری خدمات بوم‌سازگان در سال‌های اخیر در ایران، تاکنون مطالعات کمی به ارزش‌گذاری مکانی خدمت بوم‌سازگان در کشور پرداخته‌اند و در عمدهٔ مطالعات انجام شده قبلی، برآوردها به‌گونه‌ای غیر مکان‌دار و میانگینی از کل منطقه بوده است.



شکل ۱۰- نقشه توزیع مکانی ارزش سالیانه عملکرد تولید آب
Figure 10. The spatial distribution map of the annual value of water production

به عبارت دیگر به‌دلیل فقدان سنجش جریان‌های خدمات بوم‌سازگان امکان نمایش دقیق فضایی ارزش اقتصادی این خدمات فراهم نبود. بنابراین در کار نقشه‌سازی ارزش‌های اقتصادی، در بسیاری موارد در مطالعات انجام شده قبلی تمایزی بین پهنه‌های فضایی مختلف که واجد عناصر زیست فیزیکی متفاوتی بودند قائل نمی‌شدند (مانند مطالعات یگانه و همکاران (۲۳) و بستان و همکاران(۲)).

در این مطالعه اگرچه یک کار 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 این در ممانعت از بروز بسیاری از خطاهای ناشی از یکسان پنداری عرصه و استفاده از برآوردهای میانگین مؤثر است. آگاهی از این ارزش‌ها می‌تواند نقش مؤثری در جلب توجه مردم، مسئولان و سیاست‌گزاران به مسائل محیط زیست 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 غیرقابل دسترس، نامناسب و گران هستند و انجام ارزیابی مقرون به صرفه در کوتاه‌ترین زمان ممکن مدنظر است، مناسب است. یکی از مشکلات اولیه در ارزیابی محیط زیستی این است که برای بسیاری از آبخیزها داده‌های مربوط به شرایط پایه هیدرولوژیکی در دسترس نیست. لذا کاربرد این مدل به لحاظ اتکا به پایگاه‌های مختلف داده‌ای بین‌المللی می‌تواند به رفع این مشکل بزرگ کمک کند. به همین اساس مدل می‌تواند خروجی‌های مفیدی در زمینه این خدمت بوم‌سازگان (تولید آب) در اختیار کاربر قرار دهد. از نقشه به‌دست آمده می‌توان در ارزیابی و آمایش سرزمین رایانه‌ای استفاده نمود تا بدین ترتیب تعیین مکان‌یابی کاربری‌ها از هوشمندی بیش‌تری برخوردار باشد. از سوی دیگر، به‌واسطه فراهم کردن داده‌های کمی مورد نیاز برای ارزش‌گذاری اقتصادی خدمات بوم سازگان سبب ارتقاء کیفیت مطالعات اقتصاد محیط زیستی کشور می‌شود.

پیشنهاد می‌شود تحقیقات بیش‌تری در مورد اثرات استفاده از زمین و سایر محرکه‌های تغییر مانند تغییر اقلیم بر میزان عرضه و تدارک آب در بوم‌سازگان‌ها مورد بررسی قرار گیرد، هم‌چنین برای نقشه‌سازی مناطق اولویت‌دار به لحاظ عرضه خدمات بوم‌سازگان برای انواع اقدامات مدیریتی، پیشنهاد می‌شود مدیریت این خدمات بر مبنای شناخت نواحی که بالاترین میزان خدمات چندگانه یا مجموعه‌ای از انواع خدمات را عرضه می‌نماید و نه بر مبنای عرضه انفرادی این خدمات صورت پذیرند.

منابع

1. Asadolahi, Z., A. Salmanmahiny, S.H. Mirkarimi and M. Azimi. 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).
2. Bostan, Y., A. Fattahi, M. Sadeghinia and M. Fehresti. 2019. Estimating the economic value of soil and water regulatory services of rangeland ecosystems (case study: Sheykh Musa rangeland of Babol). Rangeland, 12(4): 464-480 (In Persian).
3. Bottalico, F., L. Pesola, M. Vizzarri, L. Antonello, A. Barbati, G. Chirici, P. Corona, S. Cullotta, V. Garfi and V. Giannico. 2016. Modeling the influence of alternative forest management scenarios on wood production and carbon storage: a case study in the Mediterranean region. Environmental Research, 144: 72-87.
4. Cardella Dammeyer, H., S. Schwinning, B.F. Schwartz and G.W. Moore. 2016. Effects of juniper removal and rainfall variation on tree transpiration in a semiarid karst: evidence of complex water storage dynamics. Hydrological Processes, 30(24): 4568-4581.
5. Daneshi, A., M. Vafakhah and M. Panahi. 2014. Economic instruments of natural resource and environment management (case study: Ecosystem services Payment (pes)). Water and Sustainable Development, 1(2): 7-14 (In Persian).
6. Fu, B. 1981. On the calculation of the evaporation from land surface [in Chinese]. Sciences Atmospheric Sin, 1(5): 23-31.
7. Gao, J., F. Li, H. Gao, C. Zhou and X. Zhang. 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, 10: 1-8.
8. Haghdadi, M., Gh. A. Heshmati and M.S. Azimi. 2018. Assessment of water yield service on the basis of InVEST tool (case study; Delichai watershed). Journal of Water and Soil Conservation, 25(4): 275-290 (In Persian).
9. Li, S., H. Yang, M. Lacayo, J. Liu and G. Lei. 2018. Impacts of land-use and land-cover changes on water yield: a case study in Jing-Jin-Ji, China. Sustainability, 10: 1-16.
10. Minga-León. S., M.A. Gómez-Albores, K.M. Bâ, L. Balcázar, L.R. Manzano-Solís, P.A. Cuervo-Robayo and C.A. Mastachi-Loza. 2018. Estimation of water yield in the hydrographic basins of southern Ecuador. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 529: 1-18.
11. Ministry of energy. 2019. Monthly statistics report in Iran- July 2019. 31pp. ISN. Moe. Gov. ir
12. Mobarghai, N., Gh. Sharzehie, M. Makhdoum, A.R. Yavari and H.R. Jafari. 2009. The spatial valuation pattern of CO2 absorption function in Caspian forests of Iran. Journal of environmental studies, 35(50): 57-68 (In Persian).
13. Niknejad, M., A. Fallah and S. Mohammadi Limaei. 2017. Assessment of Ecological capability and estimation of aboveground biomass in plantations Darabkola forest. Ecology of Iranian Forest, 5(10): 11-21 (In Persian).
14. Omidvar, E., A. Kavian and K. Solaimani. 2014. Identification of the Best Infiltration Model in Order to Investigation of Spatial Variability of Infiltration Parameters (Case Study: Darabkola River Basin). Environmental Erosion Researches, 4(3): 1-16 (In Persian).
15. Panahi, M., A. Saeed, M. Kupahi and M. Makhdoom. 2007. How to calculate the value of products and ecological services of the Khazari forest resource? Environmental studies, 33(42): 17-30 (In Persian).
16. Redhead, J.W., C. Stratford, K. Sharps, L. Jones, G. Ziv, D. Clarke, T.H. Oliver and J.M. Bullock. 2016. Empirical validation of the InVEST water yield ecosystem service model at a national scale. Science of the Total Environment, 569: 1418-1426.
17. Sahle, M., O. Saito, C. Furst and K. Yeshitela. 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.
18. Sharp, R., R. Chaplin-Kramer, S.A. Wood, A.D. Guerry, H.T. Tallis and R. Taylor. 2014. InVEST 3.0.0 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford. 161pp.
19. Sun, G and B.G. Lockaby. 2012. Water quantity and quality at the urban–rural interface. Urban–Rural Interfaces: Linking People and Nature, urban rural inter: 29-48.
20. TEEB (The economics of ecosystems and biodiversity). 2010. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundation. Earth scan, Cambridge. 422 pp.
21. Troy, A. and M.A. Wilson. 2006. Mapping Ecosystem Services: Practical Challenges and Opportunities in Linking GIS and Value Transfer. Ecological Economics, 60: 435-449.
22. Wenzuo, Z., L. Gaohan, P. Jianjun and F. Xianfeng. 2005. Distribution of available soil water capacity in china. Journal of geographical sciences, 15(1): 3-12.
23. Yeganeh, H., H. Azarnivand, I. Saleh, H. Arzani and H. Amirnejad. 2015. Estimating the economic value of water in natural ecosystems using alternative cost method. Second International Green Economy Conference, Northwest Research Center, Babolsar, 10 pp (In Persian).

24. Zarandian, A. 2016. Ecological-economic assessment of ecosystem services and its appliance in landscape spatial planning (case study: The Sarvelat and Javaherdasht protected area). Ph.D. Thesis, university of Tehran, Tehran, Iran. 261 pp (In Persian).
25. Zarandian, A., A.R. Yavari, H.R. Jafari and H. Amirnejad. 2016. Modeling of Land Cover Change Impacts on Habitat Quality of a Forested Landscape in the Sarvelat and Javaherdasht. Environmental researches, 6(12): 183-194 (In Persian).
26. Zare Garizi, A. and A. Talebi. 2017. Water balance simulation for the Ghare-Sou watershed, Golestan, using the SWAT model. Journal management system, 9(30): 37-50 (In Persian).
27. Zhang, C., W. Li, B. Zhang and M. Liu. 2012. Water yield of Xitiaoxi river basin based on InVEST modeling. Journal of Resources and Ecology, 3(1): 50-54.
28. Zhang, L., K. Hickel, W.R. Dawes, F.H.S. Chiew, A.W. Western and P.R. Briggs. 2004. A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration. Water resource research, 40(2): 1-14.

Economic Valuation of Water Production Service in Forest Ecosystems (Case Study: Darabkola Watershed)

Maryam Pirikiya[1], Asghar Fallah[2], Hamid Amirnejad[3] and Jahangir Mohamadi[4]

1- Ph.D. Student Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
2- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
3- Associate Professor, Department of Agricultural Economic, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran, (Corresponding Author: hamidamirnejad@yahoo.com)
4- Assistant Professor, Department of Forestry, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
Received: July 20, 2019 Accepted: December 1, 2019

Extended Abstract

Introduction and Objective: One of the most important causes of the destruction and decline of natural ecosystems is the lack of a market to determine the value of services produced by these ecosystems, and as a result, consider these services free. One of the most valuable services provided by ecosystems is the production of fresh water which in the present study, a model has been presented for achieving the spatial distribution of service value of water production ecosystem in Darabkola watershed that is located in Mazandaran Province.

Materials and Methods: In this study, was used the water yield model in InVEST to quantify the water production service. In the model, the water production was calculated the based on the Budyko curve, which in fact determines the amount of water running off each pixel of land as the total precipitation minus evapotranspiration. The required data include maps of land use and land cover, average annual precipitation and potential evapotranspiration, soil depth, plant available water content, boundary of watersheds and sub-watersheds as well as a biophysical table. In order to evaluate this ecosystem service has been valued with the replacement cost and thus it has been possible to obtain a spatial distribution map of the value of water production ecosystem service in the study area.

Results: According to the calculations done by the model in whole Darabkola watershed, annually 43094152 m^3 of water is produced. The results of different land uses indicated that the highest amount of runoff in land uses is in man-made land use equal to 3743.76 m^3/ha and followed by agriculture and garden land uses with values of 3601.34 m^3/ha and 3592.18 m^3/ha had the highest water production, respectively. Also, the lowest runoff was related to the uses of semi-dense forest and dense forest with values of 2960.82 m^3/ha and 2602.19m^3/ha, which indicates that the presence of the canopy of forest trees and their spatial distribution has an important effect on increasing water penetration in the soil and reducing runoff production. The study area is classified into four different classes of value in terms of economic value of water ecosystem services. These classes differ from a minimum of 24 - 29 million Rials to a maximum of 39 - 43 million Rials per hectare.

Conclusion: The results of this study showed that Although InVEST model needs available and relatively simple data but it has high efficiency and we can use it for mapping ecosystem services and decision making. Also, using the quantitative results obtained from the implementation of the InVEST model, it was possible to show the spatial distribution of the value of ecosystem services in the study area. The results of this section showed that attention to the spatial dimensions is very important in determining the value of water production service, because the change in spatial characteristics will greatly affect the value of water production service.

Keywords: Biophysical models, Quantifying, Replacement cost approach, Spatial valuation, Water balance