



مدل‌سازی اثرات تغییر کاربری زمین بر خدمات آبی اکوسیستم با استفاده از یک سامانه پشتیبان سیاست‌گذاری

اردوان زرنديان^{۱*}، احمدرضا ياورى^۲، حميدرضا جعفرى^۳ و حميد اميرنژاد^۴

^۱ دانش‌آموخته دکتری برنامه‌ریزی محیط‌زیست، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، تهران
^۲ دانشیار گروه برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران
^۳ استاد گروه برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران
^۴ دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۷

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۱۸

Modeling Land Use Change Impacts on Water-Related Ecosystem Services Using a Policy Support System

Ardavan Zarandian,^{1*} Ahmad Reza Yavari,² Hamid Reza Jafari³ & Hamid Amirnejad⁴

¹PhD. of Environmental Planning, Research Center of Environment and Sustainable Development, Tehran

²Associate Professor, Department of Environmental Planning, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran

³Professor, Department of Environmental Planning, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran

⁴Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari

Abstract

Quantifying and anticipation of the impacts of changes in water-related services caused by human activities is a complicated aspect of environmental assessment which can be facilitated by the application of dynamic and spatial models of ecosystem services. This paper aims to examine the application of the WW PSS model in the Sarvelat and Javaherdasht forested landscape in order to calculate the water balance and water-related services of the ecosystem in a baseline condition and, then, to measure the impacts of changes in natural forest cover on the services' quantity and quality based on a scenario developed. The result of running the model indicates that the surfaces covered with dense forest have decreased by 29% in recent 13 years, but the semi-dense and poor forest covers have increased by 14% and 15%, respectively. Then, the impacts of such structural changes on water services were measured and this showed an overall decrease in water balance of 1.5 mm/yr and an increase in runoff of 12,197,528 m³/yr which is caused by a reduction in evapotranspiration due to cutting forest trees. In the final stage, the environmental consequences of changes in ecosystem services were quantified by the model which depicts an increase in soil erosion of 0.57 mm/yr on average and exacerbation of the potential of water contaminate distribution across the study landscape.

Keywords: Policy Support System, Modeling, Land Use, Impacts, Water-Related Services.

چکیده

سنجش کمیت و پیش‌بینی اثرات تغییر در خدمات آبی اکوسیستم به‌واسطه اقدامات انسانی یکی از موضوعات پیچیده در ارزیابی‌های محیط‌زیستی است که می‌تواند از طریق کاربرد مدل‌های دینامیک و فضای خدمات اکوسیستمی تسهیل شود. این مقاله چگونگی کاربرد مدل WW PSS را برای محاسبه تعادل و خدمات آبی اکوسیستم در شرایط پایه و سنجش اثرات تغییر در پوشش جنگلی بر کمیت و کیفیت این خدمات در شرایط سناریو، در سرزمین جنگلی سرولات و جواهردشت را بررسی می‌کند. نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد که سطح تحت پوشش جنگلی متراکم در سرزمین مورد بررسی طی ۱۳ سال اخیر ۲۹٪ کاهش و پوشش جنگلی نیمه‌متراکم و ضعیف به ترتیب ۱۴٪ و ۱۵٪ افزایش یافته است. سپس اثرات این تغییرات ساختاری بر خدمات آبی سنجیده شد که نشان‌دهنده کاهش توان سرزمین مورد بررسی در ایجاد تعادل آبی به میزان میانگین ۱/۵ میلی‌متر در سال و افزایش رواناب به مقدار ۱۲۱۹۷۵۲۸ مترمکعب در سال ناشی از کاهش تبخیر و تعرق به‌واسطه قطع درختان جنگلی است. در گام نهایی پیامدهای مهم محیط‌زیستی ناشی از تغییرات در خدمات مذکور، با استفاده از مدل اندازه‌گیری شد که نتایج حاکی از افزایش میانگین فرسایش خاک به میزان ۰/۵۷ میلی‌متر در سال و تشدید پتانسیل توزیع آلاینده‌های آبی در محدوده مورد بررسی بود.

کلمات کلیدی: سامانه پشتیبان سیاست‌گذاری، مدل‌سازی، کاربری زمین، اثرات، خدمات آبی اکوسیستم.

* Corresponding Author. E-mail Address: azarandian@ut.ac.ir

در سال‌های اخیر، تلاش‌های زیادی در جریان است تا مفهوم نظری خدمات اکوسیستمی^۱ را در عمل به فرایند تصمیم‌گیری پیوند دهد. برای بسیاری از سیاست‌گذاران هر روز بیشتر مشهود می‌شود که راه‌حل‌های طبیعت-محور مانند استفاده از تالاب‌ها برای پالایش آب، محافظت در برابر طوفان و یا ترسیب کربن، از اثربخشی هزینه بیشتری نسبت به ایجاد زیرساخت‌های مهندسی از جمله تأسیسات تصفیه، احداث سیل‌بند و نظایر آن برخوردارند [۱]. به‌عنوان مثال، سیاست اتحادیه اروپا هم‌اکنون، تلفیق رویکرد خدمات اکوسیستمی در برنامه‌ریزی‌ها است. در این زمینه، مفهوم خدمات اکوسیستمی به‌عنوان یکی از ارکان ارزیابی اثرات، در آماده‌سازی برنامه حفاظت از آب‌های اروپا تا سال ۲۰۱۵ تعیین شده است. به‌علاوه احیاء و مراقبت از خدمات اکوسیستمی یکی از ۶ اولویت شناسایی شده در توسعه روستایی در پیشنهاد جدید اتحادیه اروپا به‌عنوان سیاست مشترک کشاورزی کشورهای عضو است [۲]. مهم‌تر آنکه اکنون، سرمایه‌گذاری روی این خدمات به‌عنوان زیربنای اقتصاد سبز و یک منبع توسعه اقتصادی بسیار مهم، در سیاست منطقه‌ای و همبستگی اتحادیه اروپا، ذکر شده است [۳]. در مجموع، هدف از کاربست مفهوم خدمات اکوسیستمی، پشتیبانی از سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریتی به نحوی است که کارکرد اکوسیستم‌ها و منافی که برای مردم تدارک می‌بینند، در تصمیم‌گیری به‌سوی توسعه پایدار تلفیق شود [۴، ۵ و ۶].

خدمات اکوسیستمی بر اساس تعریف ارائه‌شده در گزارش ارزیابی اکوسیستمی هزاره^۲، منافی^۳ هستند که مردم از اکوسیستم‌ها کسب می‌کنند. این منافع دارای طبقه‌بندی‌های مختلفی بوده و بر اساس طبقه‌بندی گزارش مذکور به چهار دسته خدمات تولیدی^۴، تنظیمی^۵، فرهنگی^۶ و پشتیبان حیات^۷ تقسیم شده‌اند که سه دسته اول به‌طور مستقیم بر مردم اثر می‌گذارند و دسته چهارم برای استمرار تدارک سایر خدمات مذکور از سوی اکوسیستم‌ها حیاتی هستند [۷]. هر یک از این ۴ طبقه شامل طیف گسترده‌ای از انواع خدمات اکوسیستمی هستند. در این مقاله صرفاً خدمات آبی اکوسیستم مدنظر است. مهم‌ترین این خدمات عبارتند از:

- خدمات تولید آب^۸ (مثال تدارک و عرضه آب)
- خدمات تنظیمی آب^۹ (مثال پیشگیری از سیل، مراقبت از جریان آبی در فصول کم‌آبی)
- خدمات بهبود کیفیت آب^{۱۰} (مثال مراقبت یا بهبود کیفیت آب شرب) [۸].

نظام‌های آبی^{۱۱}، هم به‌واسطه عوامل طبیعی از جمله اقلیمی، اکولوژیکی و زمین‌شناختی و هم توسط عواملی انسانی از جمله تغییر کاربری زمین، زیرساخت‌ها و نظایر آن تغییر می‌یابند. شناسایی و کمی‌سازی خدمات مرتبط با آب کار پیچیده‌ای است. خدماتی که یک اکوسیستم در این زمینه فراهم می‌کند حاصل از نقش متقابل اقلیم، خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی، کاربری انسانی زمین و به‌ویژه محل دقیق آن در درون حوضه آبخیز است [۸].

اثرات متقابل نظام‌های آبی با نظام‌های زیستی، فیزیکی و اجتماعی و پیچیدگی‌های مربوط به آنها، چالش‌های بزرگی در ارتباط با مدل‌سازی چنین نظام‌هایی ایجاد می‌کند. به‌ویژه پیش‌بینی اثرات مربوط به این تغییرات و درک بازخورد بین آب و جامعه انسانی به‌طور خاص کار مشکلی است [۹ و ۱۰].

برای درک مشکلات مدیریت آب در چنین نظام‌های پیچیده‌ای، بسط مدل‌ها و ابزارهایی که قادر به پردازش فرایندهای پایه فیزیکی ناشی از نظام‌های طبیعی و همچنین کنش و واکنش‌های متقابل و بازخوردهای آنها با نظام‌های انسانی باشند، ضروری محسوب می‌شود [۱۱]. همچنین برای تجزیه و تحلیل تضادهای مربوط به بهره‌برداری و در دسترس بودن خدمات اکوسیستمی به‌واسطه تغییرات کاربری زمین و با هدف بهینه‌سازی مدیریت پایدار اکوسیستم، مدل‌های دینامیک خدمات اکوسیستمی ضروری هستند. اخیراً روند روبه‌رشدی در زمینه داده‌ها و مدل‌های (فضایی و دینامیک) مربوط به مکان‌های مختلف مشاهده می‌شود. این مدل‌ها بسته به هدف کاربرد طوری طراحی می‌شوند که بتوانند در مقیاس‌های گوناگون جهانی، منطقه‌ای و مقیاس‌های کوچک‌تر آبخیزی یا سرزمینی مورد استفاده قرار گیرند. به‌ویژه کاربرد این مدل‌ها در مناطقی که با فقدان یا ضعف داده‌های کمی موردنیاز برای ارزیابی خدمات اکوسیستمی مواجه هستند، بسیار مهم تلقی می‌شود.

سامانه پشتیبان سیاست‌گذاری با عنوان آب جهانی (WW PSS)^{۱۲} [۱۲]، یکی از انواع مدل‌های نظام جهانی دینامیک^{۱۳} است که در مقیاس‌های فضایی مختلف از جهانی

آبی اکوسیستم در بسیاری از پروژه‌های جاری تحقیقاتی در کشورمان، به نظر می‌رسد که استفاده از این مدل و سایر مدل‌های مشابه می‌تواند در رفع چالش‌های موجود بسیار راه‌گشا باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی مدل WW

WW، یک مدل فرایند-محور^{۱۵} هیدرولوژیکی است که از داده‌های حاصل از دورسنجی که در مقیاس جهانی در دسترس هستند، با هدف پشتیبانی از تحلیل‌های هیدرولوژیکی و تصمیم‌گیری استفاده می‌کند. این ابزار به‌ویژه برای استفاده در جاهایی که با فقر داده مواجه هستند، مفید است. در جاهایی که کاربران، برخوردار از داده‌های قابل‌اتکای محلی هستند، این داده‌ها می‌توانند در سیستم بارگذاری شده و در تحلیل‌ها استفاده شوند؛ اما در جاهایی که داده‌ها با مقیاس محلی موجود نیستند، انجام کار شبیه‌سازی همچنان ممکن خواهد بود و این کار با استفاده از داده‌های جهانی که توسط خود مدل مهیا شده است، صورت می‌پذیرد.

این مدل قادر است برای هر کجای جهان، با استفاده از بیش از ۱۴۰ داده‌ی نقشه‌شده و بر مبنای ویژگی‌های فضایی^{۱۶}، یک شرایط پایه^{۱۷} یا وضعیت مرجع هیدرولوژیکی مربوط به دوره زمانی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۵۰ را تعریف کند. مدل، این کار را با قدرت تفکیک فضایی ۱ هکتار یا ۱ کیلومتر مربع و تفکیک زمانی^{۱۸} ماهانه بسته به نظر کاربر انجام می‌دهد. کار شبیه‌سازی^{۱۹} با استفاده از یک سری موزاییک‌های مربعی ۱۰ درجه‌ای (۱ کیلومتر مربع) یا ۱ درجه‌ای (۱ هکتار) انجام می‌پذیرد. همچنین این مدل قادر است ابزارهای سناریویی برای موضوعاتی چون تغییر اقلیم، تغییر کاربری زمین، گزینه‌های مدیریتی و مداخله‌ای (به‌عنوان مثال مدیریت زمین) را فراهم کند. با استفاده از این مدل می‌توان حدود ۴۶ متغیر را به‌صورت خروجی سیستم دریافت کرد و فعالیت‌هایی چون بصری‌سازی^{۲۰} و تجزیه و تحلیل را انجام داد. همچنین فایل‌های GIS داندلود کرد. همچنین مدل می‌تواند خروجی‌های خلاصه‌شده‌ای را بر اساس حوضه‌های آبخیز، نواحی تحت مدیریت و حفاظت، سدها و نواحی شهری ارائه دهد [۱۶].

تا منطقه‌ای و همچنین تا سطوح آبخیز تا سرزمین قابل‌استفاده است. این سامانه با تجهیز کاربران به امکان ارزیابی اثرات طیفی از سناریوهای طبیعی و انسانی بر شرایط پایه^{۱۴} آبی یک منطقه، می‌تواند کمک زیادی به رفع چالش پیچیدگی انجام چنین ارزیابی‌هایی کند. به‌علاوه، این سامانه، اطلاعات علمی و تحلیل سناریویی را برای کاربرانی که دارای ظرفیت‌های فنی لازم برای انجام محاسبات هیدرولوژیکی نیستند و از جمله مدیران و ارزیابان محیط‌زیستی فراهم می‌کند.

کاربرد این مدل توسط محققان در نقاط مختلف دنیا، با وجود اینکه مدت زیادی از معرفی آن نگذشته، به‌طور قابل‌توجهی در حال افزایش است. بیرچ و دیگران (۲۰۱۴)، از این مدل برای ارزیابی شرایط پایه هیدرولوژیکی و اثرات تغییرات کاربری زمین بر آن، با قدرت تفکیک ۱ هکتار در جنگل هیمالیا در کشور نپال استفاده کردند [۱۳]. بررسی آنها به‌طور خاص متمرکز بر استفاده از خروجی‌های این مدل برای تعیین تغییرات مربوط به فرسایش خاک و بار رسوب (به‌عنوان شاخصی برای کیفیت آب) و تعادل سالانه آبی (به‌عنوان شاخصی برای تولید آب) بوده است. وان سوس برگن و مولیگان (۲۰۱۴)، از مدل WWPSS برای سنجش اثرات تهدیدهای چندگانه، شامل تغییرات آب‌وهوا، جنگل‌زدایی، افزایش جمعیت، استخراج نفت و معدن بر امنیت آبی در جنگل‌های آمازون در کشور پرو از هر دو منظر اثر بر کیفیت و کمیت آب استفاده کرده‌اند [۱۴]. همچنین موارد متعدد دیگری از کاربرد این مدل در نقاط مختلف وجود دارد که ارائه همه آنها در این مقاله میسر نیست. باین‌حال چند مورد مهم از کاربردهای مدل توسط مجامع معتبر بین‌المللی عبارت‌اند از: ارزیابی اثرات اکتشاف معدن در بولیوی توسط بانک جهانی، ارزیابی خدمات آبی اکوسیستم در پارک ملی شیواپوری در کشور نپال توسط دانشگاه کمبریج، استفاده توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (US EPA) برای ارزیابی اثرات سوخت‌زیستی بر منابع آبی و ارزیابی اثرات تغییر کاربری زمین بر منابع آبی در ماداگاسکار [۱۵].

در این مقاله، چگونگی کاربست مدل WWPSS (که از این به بعد به‌اختصار WW نامیده می‌شود) در محدوده بررسی جنگلی سرولات و جواهردشت، با هدف ارزیابی اثرات محرکه‌هایی چون تبدیل جنگل و تغییر کاربری زمین بر کمیت و کیفیت آب و خدمات اکوسیستمی مرتبط با آن تشریح شده است. با توجه به ضعف امکان سنجش خدمات

۲-۲- اصول علمی حاکم بر مدل

$$PET(x) = K_c(\ell_x) \cdot ET_0(x) \quad (۳)$$

که در آن: $ET_0(x)$ تبخیر و تعرق مرجع در پیکسل x و $K_c(\ell_x)$ ضریب تبخیر و تعرق گیاه (پوشش) در ارتباط با پوشش/ کاربری ℓ_x در پیکسل x است. $ET_0(x)$ بازتاب‌دهنده شرایط محلی اقلیمی بر مبنای تبخیر و تعرق از پوشش گیاهی روئیده در محل است. $K_c(\ell_x)$ تا حد زیادی به واسطه ویژگی‌های پوشش گیاهی در پوشش/ کاربری موجود در یک پیکسل تعیین می‌شود [۱۸].

K_c مقدار ارزشی ET_0 را برای محصول زراعی یا نوع پوشش گیاهی در هر پیکسل از نقشه کاربری/ پوشش تعدیل یا اصلاح می‌کند. تشریح بیشتر جزئیات معادلات و فرایندهای مربوط به این مدل به دلیل حجم بالایی از محاسبات مربوط به انواع گوناگونی از متغیرهای اقلیمی، فیزیکی و اکولوژیکی، در دستورکار این مقاله نیست. برای دسترسی به جزئیات بیشتر در مورد چگونگی محاسبات، خوانندگان محترم این مقاله به مقالات مولیگان و بورک [۱۶] و [۱۹] ارجاع داده می‌شوند. همچنین لازم به ذکر است که آزمایش این مدل و اعتبار سنجی آن در منابع [۱۹، ۲۰] و [۲۱] تشریح شده است.

این سیستم همچنین می‌تواند از طریق مدل‌سازی کمیت آب (تعادل آبی^{۲۴} انباشت‌شده در پایین‌دست به‌عنوان رواناب^{۲۵})، شاخصی را برای تعیین سطح بالقوه آلاینده‌گی آب در اثر اقدامات انسانی، تحت عنوان نمایه ردپای انسانی بر کیفیت آب (HF)^{۲۶} [۲۲]، تدارک ببیند. تعادل آبی در واقع مقدار آبی است که به‌عنوان منبع در سطح زمین در دسترس است. نمایه مذکور همچنین نشان می‌دهد، با توجه به اثرات اقدامات انسانی در تغییر پوشش طبیعی زمین تا چه حد ممکن است آب در پایین‌دست تحت تأثیر محرکه آلودگی ناشی از بالادست قرار گیرد. این شاخص فرض می‌کند که بارش باران بر زمین تحت تصرف پوشش انسان‌ساخت، می‌تواند به تشکیل منابع آلاینده نقطه‌ای (معادن، چاه‌های نفت، جاده و شهر) و غیرنقطه‌ای (نواحی زراعی و چراگاهی) و تولید هرزاب‌های آلوده بیانجامد. از این‌رو شاخص HF (٪) در یک نقطه، عبارت است از سهم آبی که به‌صورت بارش در آن نقطه بر پوشش‌های انسان‌ساخت می‌بارد و بنابراین شاخصی از سطح بالقوه آلودگی آب محسوب می‌شود؛ بنابراین اثرات بر کیفیت آب بستگی به اندازه و توزیع کاربری‌های انسانی در بالادست در ارتباط با جاهایی دارد که بارندگی می‌شود.

تعادل آبی در این مدل از طریق محاسبه مقدار بارش جابه‌جا شده توسط باد^{۲۱} و تجمیع آن با مه^{۲۲} و سپس تفریق مقدار واقعی تبخیر و تعرق^{۲۳} از آن دو و بر اساس اطلاعات اقلیمی و داده‌های مربوط به پوشش گیاهی حاصل از دورسنجی، محاسبه می‌شود. تفاوت بارش با بارش جابه‌جا شده توسط باد، دلالت بر اثر سرعت باد در توزیع بارندگی در یک ناحیه دارد، زیرا نواحی که در معرض جریان باد قرار دارند میزان بارش بیشتری دریافت می‌کنند. همچنین اثر برف و یخ بر بارندگی و دما و سهم آن در میزان آب حاصله از ذوب برف و یخ شبیه‌سازی می‌شود. تعادل آبی و محاسبه رواناب (جریان آب سطحی) یکی از روش‌های اصلی برآورد میزان تولید آب در اکوسیستم است. تعادل آبی از طریق یک جریان شبکه‌ای مربوط به طبقات ارتفاعی مختلف از بالادست تا پایین‌دست حاصل می‌شود و بنابراین مدل WW، اجزای زمینی مربوط به چرخه آبی- و نه اجزای اتمسفری آن- را شبیه‌سازی می‌کند. از این‌رو هدف این مدل شبیه‌سازی تغییرات در بارش بر مبنای تغییرات در تبخیر و تعرق نیست.

در این مدل ابتدا محصول سالانه آب $Y(x)$ برای هر پیکسل در سرزمین x ، از رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$Y(x) = \left(1 - \frac{AET(x)}{P(x)}\right) \cdot P(x) \quad (۱)$$

که در آن: $AET(x)$ تبخیر تعرق واقعی سالانه برای پیکسل x و $P(x)$ بارش سالانه در پیکسل x است. برای محدوده‌هایی که دارای پوشش گیاهی هستند، سهم تبخیر و تعرق در تعادل آبی، $\frac{AET(x)}{P(x)}$ بر مبنای منحنی بودیکو که توسط فو (۱۹۸۱) و ژانگ و دیگران (۲۰۰۴) پیشنهاد شده است [۱۷]، در نظر گرفته می‌شود:

$$\frac{AET(x)}{P(x)} = 1 + \frac{PET(x)}{P(x)} - \left[1 + \left(\frac{PET(x)}{P(x)}\right)^\omega\right]^{1/\omega} \quad (۲)$$

که در آن: $PET(x)$ پتانسیل تبخیر و تعرق و $\omega(x)$ یک پارامتر غیرفیزیکی است که به ویژگی‌های اقلیمی- خاک مربوط می‌شود. جزئیات این موارد عبارتند از: $PET(x)$ پتانسیل تبخیر و تعرق به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

۲-۳- محدوده بررسی شده

برای کاربست مدل WW، ابتدا منطقه حفاظت شده سرولات و جواهردشت با توجه به ویژگی‌های بارز طبیعی آن از جمله برخورداری از پوشش جنگلی هیرکانی در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه مرز حقوقی مناطق حفاظت شده لزوماً منطبق بر مرزهای اکولوژیکی نیست برای تعیین محدوده نهایی بررسی شده، با بهره‌گیری از نرم‌افزار Arc GIS و استخراج واحدهای هیدرولوژیک، مرز نهایی محدوده، منطبق بر خط الراس آبراهه‌های اصلی موجود در ناحیه‌ای به مساحت ۵۵۸۲۸ هکتار تعریف شد. این محدوده در عرض جغرافیایی $37/07^{\circ}$ شمالی تا $36/79^{\circ}$ جنوبی و در طول جغرافیایی $50/35^{\circ}$ غربی تا $50/77^{\circ}$ شرقی و در مرز استان‌های گیلان و مازندران واقع شده است. ارتفاع آن از ۲۷- متر در شمال در امتداد خط ساحلی دریای خزر تا ۳۶۰۰ متر بالاتر از سطح دریا در جواهردشت واقع در جنوب محدوده بررسی متغیر است. میانگین دمای سالانه 14° و بارندگی آن ۱۱۵۰ میلی‌متر است که یک اقلیم معتدل مرطوب را ایجاد می‌کند. وجود یک دامنه ارتفاعی کامل از جنگل‌های خزری شامل جلگه‌های سیلابی در مناطق پایین دست، جنگل‌های نیمه متراکم و متراکم و سپس مراتع بیلاقی در مناطق مرتفع تر و بالادست، به عنوان ویژگی‌های اصلی طبیعی در این محدوده در نظر گرفته می‌شود. به لحاظ پوشش طبیعی و کاربری زمین، ۷۷/۷۴٪ محدوده شامل پوشش درختی جنگلی است که تقریباً همه آن در ارتفاع ۴۰۰ تا ۲۰۰۰ متر قرار دارد. بقیه کاربری‌ها شامل مخلوط جنگل-باغ، اراضی زراعی شالیزار و سکونتگاه‌های انسانی است که به ترتیب ۷/۲۶٪، ۲/۱۹٪ و ۵/۱۹٪ اراضی را تشکیل می‌دهند و عموماً در ارتفاعات پایین واقع شده‌اند. زمین‌های بایر نیز حدود ۶/۷۰٪ از محدوده را تشکیل می‌دهند که عموماً در ارتفاعات بالاتر از ۲۸۰۰ متر و فراتر از حد رویش گیاهی واقع شده‌اند. به لحاظ اقتصادی اجتماعی دو شهر مهم رامسر و چابکسر با جمعیت معادل ۱۰۲۴۸۱ و ۲۵۳۰۱ نفر در حاشیه این محدوده بررسی قرار دارند. ضمناً ۱۸۰ نقطه روستایی با جمعیت‌هایی در طیف صفر تا ۲۰۰۰ نفر در داخل محدوده وجود دارند. عمده مردم ساکن در محدوده کشاورز بوده و به صورت فصلی همچنین در ارائه خدمات توریستی و مسافرتی اشتغال دارند.

۲-۴- محرکه‌های تغییر ۲۷ در محدوده بررسی شده

محرکه‌ها شامل عوامل طبیعی یا انسانی هستند که موجب تغییر در اکوسیستم می‌شوند. این محرکه‌ها را می‌توان به دو دسته محرکه‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم کرد. محرکه‌های مستقیم دارای اثرات آشکار بر خدمات اکوسیستمی هستند و به طور معمول موجب تغییرات فیزیکی می‌شوند که قابل شناسایی و پایش است. مهم‌ترین محرکه‌های غیرمستقیم معمولاً شامل: تغییرات جمعیتی، رشد اقتصادی، تغییرات سیاسی، فرهنگی، رفتاری و پیشرفت فناوری است. این محرکه‌ها خود منجر به پیدایش و تقویت محرکه‌های مستقیم می‌شوند که عمده آنها شامل تغییر در زیستگاه از طریق تبدیل پوشش طبیعی زمین به کاربری‌های انسانی، پر غذایی، آلودگی بهره‌برداری و استخراج بی‌رویه منابع محیطی و نظایر آنها است. محدوده بررسی شده این تحقیق، به واسطه برخورداری از جاذبه‌های زیستی فراوان از جمله برخورداری از مناطق ساحلی و دریا، جنگل‌های هیرکانی، مراتع و مزارع حاصلخیز، تحت فشار انواع محرکه‌های مستقیم و غیرمستقیم است. در این بررسی با توجه به اینکه تغییر کاربری زمین از طریق جنگل‌زدایی، یکی از کلیدی‌ترین نتایج کارکرد انواع دیگر محرکه‌ها محسوب می‌شود و اثرات آن به وضوح در مناطق بیش از حد توسعه یافته استان‌های شمالی مشهود است، به عنوان محرکه کلیدی در نظر گرفته شد.

در مورد جنگل‌های شمال ایران، بر اساس اطلاعات موجود، طی سه دهه اخیر موجودی جنگل از ۴/۳ میلیون هکتار به ۱/۹ میلیون هکتار کاهش یافته که معادل تخریبی به میزان سالانه ۸۰ هزار هکتار (۸۰۰ کیلومتر مربع) و به عبارتی با نرخ میانگین جنگل‌زدایی سالانه ۱/۸۶٪ است. بر این اساس طی ۳۰ سال در مجموع ۴۴٪ از جنگل‌های شمال ایران تخریب شده است. با توجه به اینکه محدوده بررسی سرولات و جواهردشت نیز بخشی از جنگل‌های هیرکانی محسوب می‌شود همین نرخ جنگل‌زدایی را نیز می‌توان برای محدوده‌های خارج از مناطق تحت حفاظت در نظر گرفت.

در این تحقیق، با کاربست مدل WW، اثرات جنگل‌زدایی بر خدمات آبی اکوسیستم از طریق تعریف سناریوی تغییر و مقایسه کمیت تغییر یافته خدمات با شرایط پایه هیدرولوژیک، بررسی شده است.

۲-۵- اجرای مدل

برای اجرای مدل ابتدا با انطباق مرز محدوده‌ی تعریف‌شده، روی دو موزاییک ۱ درجه‌ای (۱۰۰ کیلومتری) با قدرت تفکیک ۱ هکتار، محدوده جغرافیایی اجرای مدل در نرم‌افزار موردنظر تعریف شد. سپس با طی آماده‌سازی داده‌ها و شبیه‌سازی که دو گام اولیه در فرایند اجرای مدل محسوب می‌شوند، نقشه‌های کلیدی به شرح جدول شماره ۱ تولید شد. این نقشه‌ها در واقع نشان‌دهنده شرایط پایه سرزمین مربوط به دوره زمانی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ است. در گام بعدی، با توجه به قابلیت نرم‌افزار برای تعریف

سناریوی تغییرات کاربری سرزمین، اثرات تغییر در پوشش طبیعی جنگلی در محدوده موردنظر با نرخ جنگل‌زدایی ۴۵٪ بر خدمات آبی اکوسیستم در شرایط پایه، مورد سنجش و نقشه‌سازی قرار گرفت. سپس با ذخیره‌سازی نقشه‌های نهایی تولیدشده توسط نرم‌افزار و انتقال هر دو دسته نقشه‌های مربوط به شرایط پایه و سناریو به محیط نرم‌افزار Arc Gis 9.3، تجزیه و تحلیل‌های بیشتری برای کسب نتایج نهایی این تحقیق و تعیین کمیت‌های تغییر (افزایش یا کاهش) خدمات آبی اکوسیستم در دوره زمانی بررسی شده در محدوده سرولات و جواهردشت صورت پذیرفت.

جدول ۱- نقشه‌های کلیدی خدمات آبی اکوسیستم به‌عنوان خروجی حاصل از اجرای مدل

نام نقشه خدمات آبی اکوسیستم	توضیح
بارش	مقدار کل بارندگی سالانه (جابه‌جا شده توسط باد) بر حسب mm/yr
تعادل آبی	تعادل آبی در مقیاس محلی (mm/yr) (بارش + مه + ذوب برف و یخ منهای تبخیر و تفرق واقعی AET ²⁸) مقدار کل رواناب سالانه (m ³ /yr).
رواناب	رواناب به‌صورت تعادل آبی انباشت شده در پایین‌دست محاسبه می‌شود. تعادل آبی منفی (بارش کمتر از تبخیر و تفرق) در یک سلول به مفهوم مصرف رواناب در بالادست است.
فرسایش خالص ناشی از شیب تپه‌ها	فرسایش خالصی که به‌واسطه شیب تپه‌ها ایجاد می‌شود. (mm/yr) فرسایش خالص (فرسایش منهای انباشت خاک در شیب تپه‌ها)
کل فرسایش خالص	مقدار کل فرسایش خالص بر حسب (mm/yr). فرسایش خالص (فرسایش منهای انباشت در شیب تپه‌ها و کانال‌های آبی شامل جریان‌ها و رودخانه‌ها)
میانگین ردپای سالانه انسانی بر کیفیت آب (آلودگی)	درصد متوسط آبی که ممکن است آلوده شود. (شاخص ردپای انسانی)

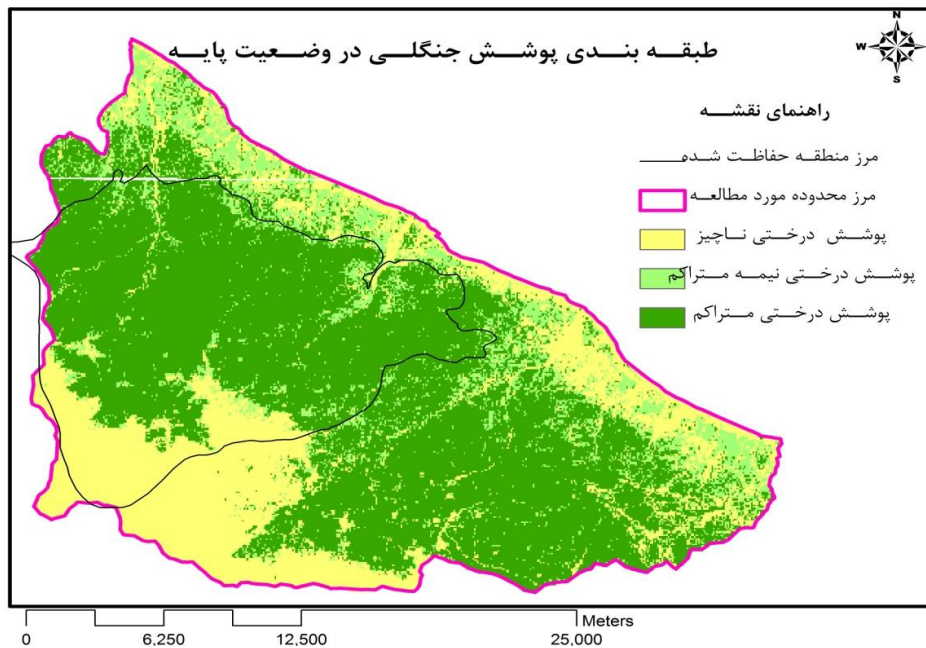
۲-۶- سناریوی تغییر کاربری زمین

برای سنجش اثرات کاربری زمین بر خدمات آبی اکوسیستم، از ابزار تغییر کاربری مدل WW [۱۶] استفاده شد. پوشش زمین در این مدل نمایش‌دهنده کسری از انواع پوشش درختی، گیاهی و اراضی بایر (بدون پوشش گیاهی) در هر موزاییک ۱ هکتاری است که از تصاویر ماهواره‌ای MODIS VCF ۲۳ به همراه سایر انواع کاربری زمین (زراعی، شهری، نواحی حفاظت شده) بر اساس داده‌های سال ۲۰۰۹ اتحادیه جهانی حفاظت ۲۹ و برنامه محیط‌زیست ملل متحد ۳۰ است. در این بررسی، نرخ جنگل‌زدایی ۴۵٪ طی دوره زمانی ۱۴ ساله گذشته برای نواحی جنگلی حفاظت نشده در نظر گرفته شد. در واقع با توجه به اینکه مدل WW، وضعیت جایگزین (بدیل)، مبتنی بر

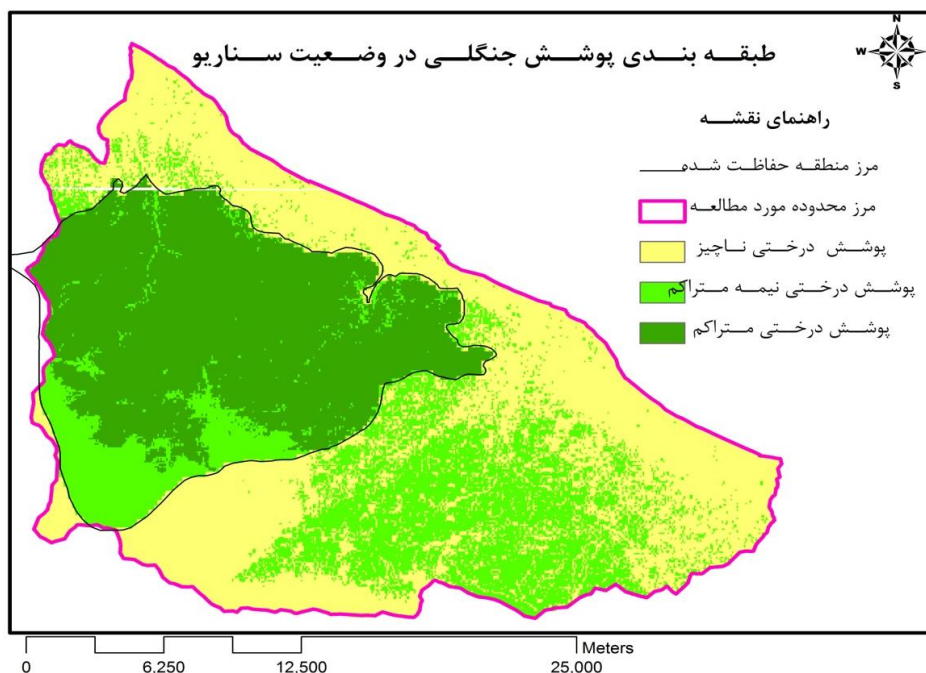
سناریوی تعریف شده را با شرایط پایه اکوسیستم در سال ۲۰۰۰ مقایسه می‌کند، می‌تواند تغییرات و پیامدهای حاصله بر خدمات آبی اکوسیستم در اثر این نرخ جنگل‌زدایی را محاسبه و به‌صورت نقشه و سایر داده‌های آماری تولید و ارائه کند. همچنین با توجه به قرار گرفتن منطقه حفاظت شده سرولات و جواهردشت در درون محدوده بررسی شده، در سناریوی مربوطه اینطور فرض شد که این بخش از اکوسیستم جنگلی به واسطه حفاظت، پوشش طبیعی جنگلی خود را حفظ کند و بنابراین در قسمت‌های حفاظت شده تغییری در پوشش درختی به‌واسطه جنگل‌زدایی اتفاق نیفتد. شکل ۱ (الف و ب) درصد پوشش درختی در هر پیکسل را برای محدوده بررسی شده، در دو وضعیت مبتنی بر شرایط پایه و سناریوی تغییر نشان می‌دهد. همان‌گونه

جنگل زدایی در شرایط سناریو در مقایسه با شرایط پایه هستیم.

که انتظار می رود شاهد کاهش درصد پوشش درختی در خارج از مناطق حفاظت شده به واسطه محرکه



(الف)



(ب)

شکل ۱- (الف) پوشش درختی در شرایط پایه (سال ۲۰۰۰) برای محدوده بررسی شده و بر مبنای داده های ماهواره ای مودیس [۲۳].

(ب) پوشش درختی در شرایط سناریوی تغییر کاربری زمین که توسط مدل WW تولید شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تعیین کمیّت تغییر پوشش درختی در دو وضعیت پایه و سناریو

با مقایسه شرایط پایه و سناریوی پوشش درختی مشخص شد که در شرایط پایه (در سال ۲۰۰۰) از مجموع ۱۵۱۶۴/۳۶ هکتار اراضی محدوده بررسی شده، ۵۵۸۲۸/۶۶

هکتار تحت پوشش اراضی درختی با تراکم ناچیز، ۷۶۲۱/۲۳ هکتار پوشش درختی نیمه متراکم و ۳۳۰۴۳/۰۸ هکتار پوشش درختی متراکم بوده است.

در شرایط سناریو و پس از تغییرات پوشش زمین به واسطه جنگل زدایی، اراضی تحت پوشش جنگل با تراکم ناچیز، به میزان ۸۵۳۷/۵۵ هکتار افزایش و به ۲۳۷۰۱/۹۱

است که سهم کمی محسوب می‌شود اما طیف آن شامل صفر تا ۲۶۰ میلی‌متر در سال است.

در شرایط سناریو و پس از تغییرات در پوشش جنگلی به واسطه جنگل‌زدایی، تعادل آبی اکوسیستم به‌طور متوسط ۶۴۲، کمینه ۳۱۹- و بیشینه ۱۲۷۸ میلی‌متر در سال برآورد شد. این تغییر موجب کاهش مقدار تبخیر و تعرق برای محدوده بررسی شده به میزان ۲/۵- میلی‌متر در سال (۱/۱-/) و همچنین کاهش توان به دام‌اندازی مه^{۳۱} به میزان ۴- میلی‌متر در سال (۸/۴-/) می‌شود که خود در مجموع موجب کاهش کلی توان تعادل آبی محدوده به میزان ۱/۵- میلی‌متر در سال و یا معادل ۰/۷۴-٪ خواهد شد. ضمناً مقدار بارش در محدوده موردنظر بدون تغییر باقی می‌ماند.

۳-۲-۲- تغییرات در رواناب

محاسبه میزان تولید آب توسط سرزمین بررسی شده بر مبنای محاسبه مقدار رواناب به‌صورت تعادل آبی انباشت شده در پایین‌دست صورت گرفت. حداکثر میزان رواناب بر اساس مترمکعب در شرایط پایه معادل ۴۶۳۳۳۵۲۴ مترمکعب و در شرایط سناریو معادل ۵۸۵۳۱۰۵۲ مترمکعب در سال برآورد شد. با توجه به اینکه محاسبه رواناب در مدل به‌صورت تجمعی و انباشت در پایین‌دست صورت می‌گیرد، مقدار رواناب برآورد شده در پایین‌ترین نقطه محدوده و در جایی به دریای خزر می‌ریزد به‌عنوان بالاترین مقدار تولید رواناب در نظر گرفته شده است. شکل ۳ رواناب تولیدی در محدوده موردنظر را برای دو وضعیت پایه و سناریو نشان می‌دهد.

این تغییرات بدین دلیل است که تحت سناریوی جنگل‌زدایی که پوشش درختی به سایر انواع کاربری مانند کشاورزی و سکونتگاه انسانی تبدیل می‌شود، مقدار آب در دسترس به‌صورت رواناب افزایش می‌یابد زیرا اولاً پوشش گیاهی غیر درختی، تبخیر و تعرق کمتری از درختان جنگلی دارد و ثانیاً مقدار آبی که توسط جنگل مصرف می‌شود کاهش یافته و وارد رواناب می‌شود که چنین امری خطر وقوع طغیان و سیل را افزایش می‌دهد که به‌منزله کاهش توان اکوسیستم در ارائه خدمت کنترل سیل خواهد بود. بر اساس محاسبات انجام شده در شرایط پس از تغییر پوشش جنگلی میزان رواناب در مجموع به مقدار ۱۲۱۹۷۵۲۸ مترمکعب در سال افزایش یافته است. این نتایج شامل کاهش مقدار تبخیر و تعرق به‌واسطه قطع درختان جنگلی و به‌تبع آن کاهش به دام‌اندازی مه و در نهایت کاهش توان تعادل آبی و افزایش رواناب، کاملاً با

هکتار رسیده است. همچنین پوشش درختی نیمه‌متراکم با ۷۶۰۳۹/۲۵ هکتار افزایش به ۱۵۲۲۵/۱۵ هکتار رسیده است. در عوض اراضی تحت پوشش متراکم با ۱۶۱۴۱/۴۸ هکتار کاهش در مجموع به ۱۶۹۰۱/۶۰ هکتار کاهش یافته است.

این بدان مفهوم است که پوشش جنگلی متراکم در سرزمین بررسی شده از ۵۹٪ در سال ۲۰۰۰ به ۳۰٪ در سال ۲۰۱۳ کاهش یافته است. به همین ترتیب سطح تحت پوشش جنگل‌های نیمه‌متراکم از ۱۳٪ به ۲۷٪ و پوشش درختی ضعیف نیز از ۲۷٪ به ۴۲٪ افزایش یافته است.

تبدیل پوشش طبیعی جنگلی به سایر کاربری‌های انسانی به‌ویژه مزارع و سکونتگاه یکی از رایج‌ترین محرک‌های جنگل‌زدایی در سراسر دنیا و ازجمله ایران محسوب می‌شود و در مقالات بسیاری موردبحث قرار گرفته است. جوزی و دیگران در سال ۱۳۹۳ تخریب جنگل‌های مازندران در مناطق دو هزار و سه هزار را بررسی کرده‌اند و در بررسی آنها روند کاهشی سطح اراضی جنگلی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶، چشمگیر و معادل ۲۷٪ سطح دو حوضه مذکور برآورد شد [۲۴]. با توجه به برآورد میانگین ۳۳ درصدی کاهش پوشش جنگلی در محدوده بررسی این تحقیق و نزدیکی آن به محدوده بررسی آنها، نتیجه حاصله در مورد تعیین روند تغییرات پوشش درختی با تحقیق نامبردگان مشابهت تقریبی دارد. همچنین نتیجه حاصله در این بخش با یافته‌های میرزایی و دیگران [۲۵]، در سال ۱۳۹۲ که در تحقیق خود منتهی‌الیه غربی استان مازندران در محدوده مشابه این تحقیق را به‌عنوان محدوده با تخریب زیاد در پوشش طبیعی جنگلی و توسعه پوشش انسان‌ساخت رده‌بندی کرده‌اند، مطابقت دارد.

۳-۲-۲- برآورد اثرات تغییر در پوشش زمین بر خدمات

آبی اکوسیستم

۳-۲-۱- تغییرات در تعادل آبی

شکل ۲ تعادل آبی در سرزمین بررسی شده را در دو وضعیت پایه و سناریو مقایسه می‌کند.

بر اساس محاسبات مدل، در شرایط پایه، تعادل آبی اکوسیستم برای محدوده بررسی شده به‌طور متوسط ۶۴۰، کمینه ۲۸۸- و بیشینه ۱۲۹۴ میلی‌متر در سال بوده است. این تعادل، بازتاب‌دهنده بارش به مقدار میانگین ۶۵۱، در کمینه مطلق ۶۴ و بیشینه ۱۴۶۵ میلی‌متر در سال است. تبخیر و تعرق واقعی شامل طیفی از ۲۵ تا ۷۴۰ و به‌طور میانگین ۲۳۰ میلی‌متر در سال است. سهم مه در بارندگی به‌طور متوسط ۱۸ درصد و مقدار آن ۴۸ میلی‌متر در سال

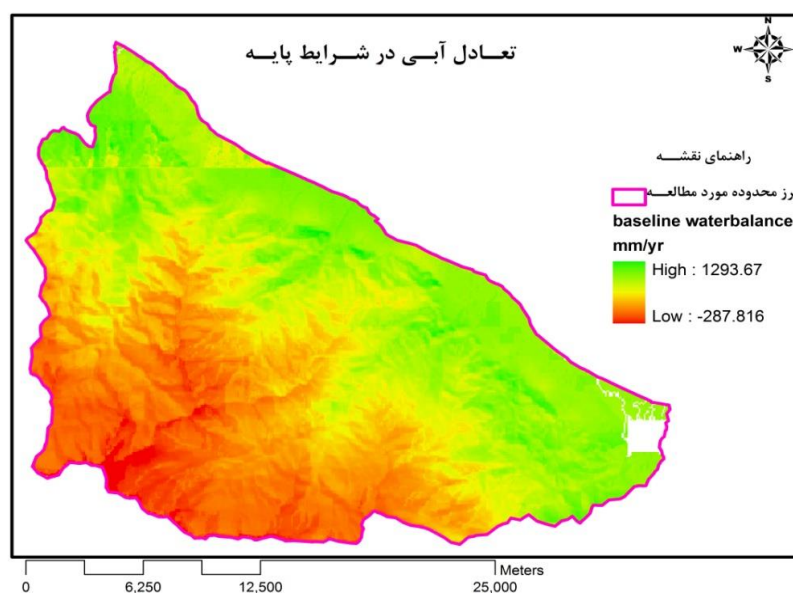
۳-۳-۱- تغییرات در میزان فرسایش خاک

مدل، کل فرسایش خالص در حوضه آبخیز را به صورت میلی متر در سال برآورد می کند. برای محاسبه کل فرسایش خالص ابتدا، فرسایش خالص ناشی از شیب تپه ها (فرسایش منهای انباشت خاک در شیب تپه ها)، با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) توسط مدل محاسبه شد. سپس فرسایش خالص به صورت فرسایش منهای انباشت رسوبات در شیب تپه ها و جریان های آبی و رودخانه ها برآورد و نتایج به صورت نقشه ارائه شد. شکل ۴، میزان و توزیع فرسایش خاک در شرایط پایه و سناریو در سرزمین جنگلی سرولات و جواهردشت را نشان می دهد.

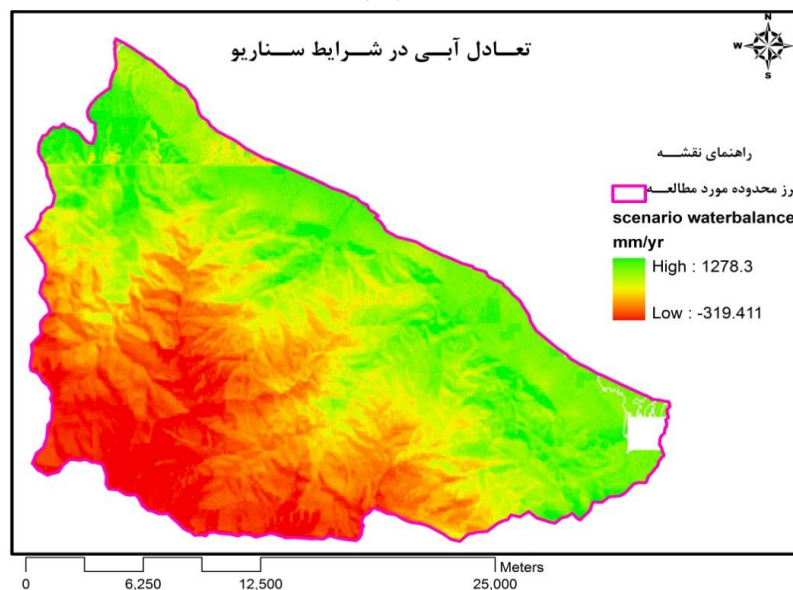
نتایج تحقیق وان سوس برگن و مولیگان در سال ۲۰۱۴ که اثرات سناریوی مشابهی را در تبدیل اراضی جنگلی به مزارع و سایر پوشش های انسان-ساخت در جنگل های آمازون بر امنیت آبی بررسی کردند [۱۴]، سازگاری و مطابقت دارد.

۳-۳-۳- سنجش پیامدهای محیط زیستی تغییر در خدمات آبی اکوسیستم در محدوده بررسی شده

با توجه به اثرات مستقیم زوال پوشش گیاهی جنگلی بر آب، در این تحقیق پیامدهای تغییر در خدمات آبی اکوسیستم بر خاک در قالب تغییرات در میزان فرسایش و همچنین پتانسیل توزیع آلودگی در سرزمین سنجیده شد.

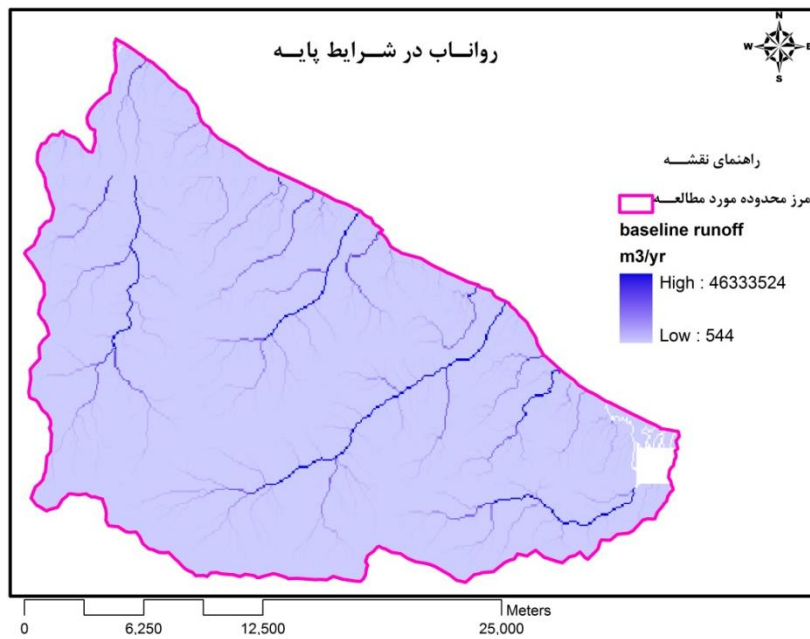


(الف)

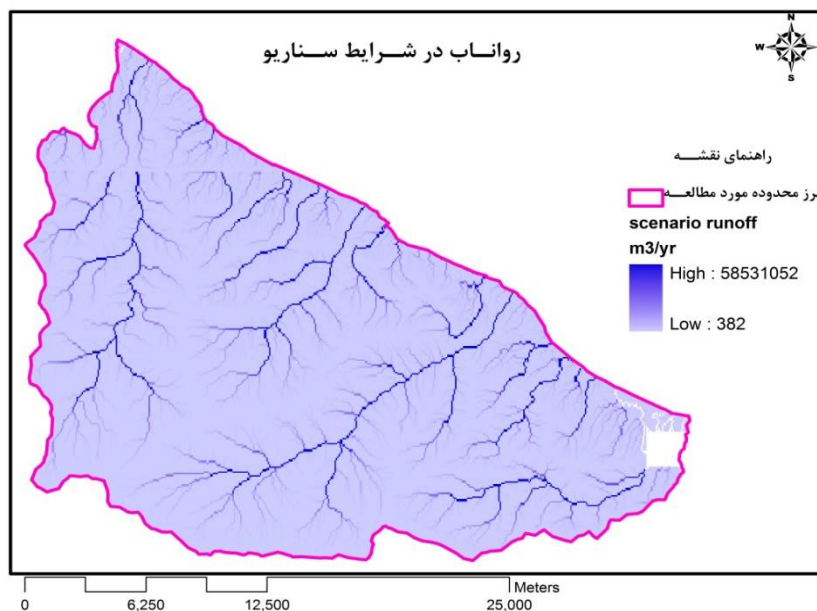


(ب)

شکل ۲- (الف) تعادل آبی سرزمین بررسی شده در شرایط پایه. (ب) تعادل آبی سرزمین بررسی شده در شرایط سناریو و پس از تغییر در پوشش جنگلی (اعداد منفی نشان دهنده نواحی است که میزان تبخیر و تعرق بیشتر از بارندگی است)



(الف)



(ب)

شکل ۳- (الف) تولید رواناب در شرایط پایه (ب) تولید رواناب در شرایط سناریو.

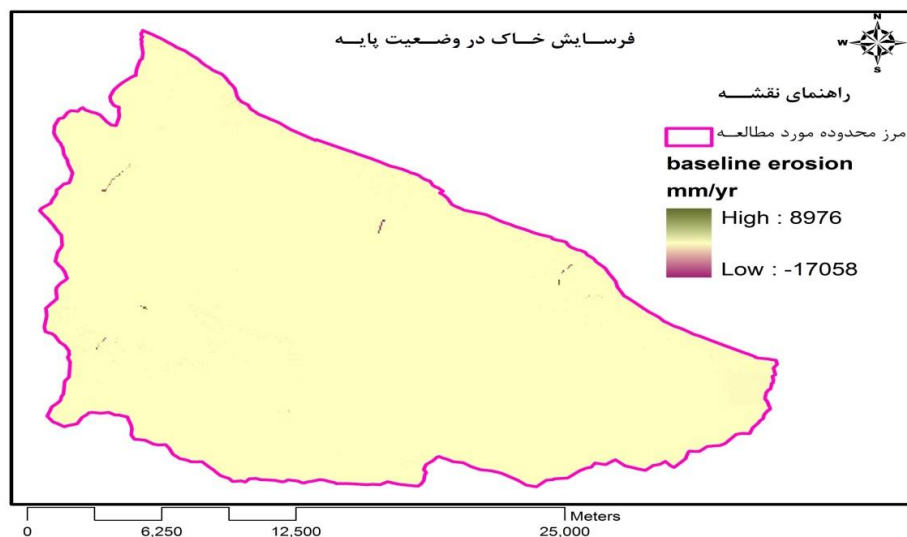
رطوبت زیاد خاک و جایگزین شدن فوری پوشش علفی و مرتعی در جنگل‌های تخریب‌شده به‌عنوان مانعی برای فرسایش خاک، نرخ برآورد شده توسط مدل منطقی به نظر می‌رسد.

طبق تحقیق جور غلامی و دیگران در سال ۱۳۹۲، حداقل و حداکثر وزن مخصوص ظاهری خاک در محدوده بررسی شده ۱/۳ تا ۱/۳۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب محاسبه شده است [۲۶]. همچنین بر اساس شاخص‌های موجود اتلاف خاک، هر میلی‌متر فرسایش خاک خالص در محل‌هایی که میانگین وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۳ گرم

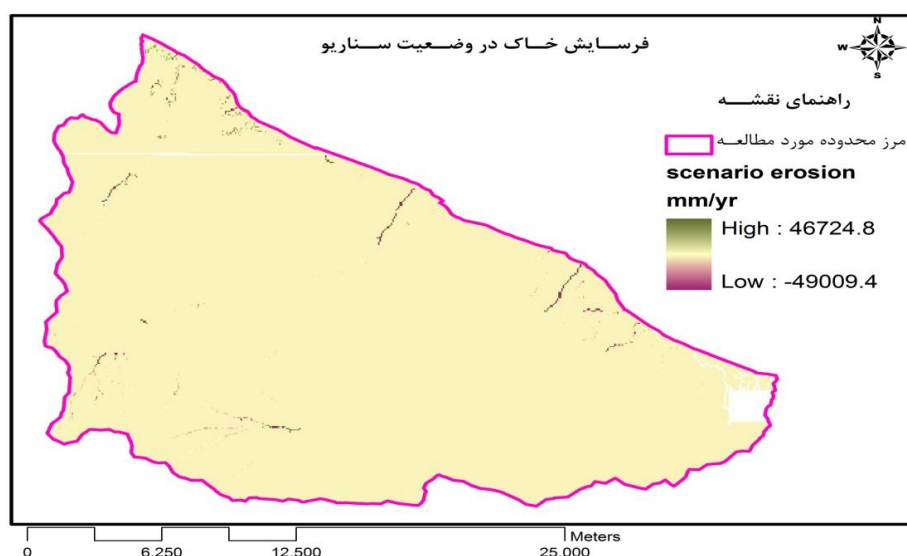
بر اساس نتایج حاصل از اجرای مدل، میانگین فرسایش خاک در سرزمین بررسی شده در شرایط پایه ۰/۰۰۸ میلی‌متر در سال بوده که در شرایط جایگزین (سناریو) به ۰/۵۸ میلی‌متر در سال افزایش پیدا کرده است. سرعت مجاز فرسایش خاک در ایران در مناطق خشک ۰/۰۱ میلی‌متر در سال و در مناطق مرطوب تا ۷/۷ میلی‌متر در سال است. با توجه به‌قرار گرفتن محدوده بررسی شده در شرایط اقلیمی مرطوب مشاهده می‌شود که نرخ فرسایش حتی در وضعیت سناریو نیز به‌مراتب پایین‌تر از حد آستانه مجاز است که البته با توجه به پوشش جنگلی محدوده،

حاکی از افزایش بسیار شدید فرسایش خاک طی دهه اخیر به واسطه جنگل زدایی است. این یافته با نتایج تحقیق پژوهنده و دیگران در سال ۱۳۹۳ که میانگین فرسایش سالانه خاک در حسن آباد چالوس را ۰/۵۲ میلی متر در سال و معادل ۷/۳۹ تن در هکتار در سال برآورد کرده اند [۲۸]، مطابقت دارد.

بر سانتی متر مکعب باشد، معادل ۱۳ تن در هکتار در نظر گرفته می شود [۲۷]. با توجه به نتایج حاصل از مدل سازی در این تحقیق و برآورد میانگین فرسایش ۰/۵۸ و ۰/۰۰۸ میلی متر در سال به ترتیب در وضعیت های پایه و سناریوی سرزمین، میزان فرسایش خاک در محدوده بررسی شده در سال ۲۰۰۰ معادل ۰/۱ تن در هکتار بوده است. این مقدار در سال ۲۰۱۳ به ۷/۵ تن در هکتار افزایش یافته است که



(الف)



(ب)

شکل ۴- (الف) فرسایش خاک در محدوده بررسی شده در وضعیت پایه (سال ۲۰۰۰) (ب) فرسایش خاک در وضعیت سناریو (۲۰۱۳) برحسب میلی متر در سال. (اعداد منفی نشان دهنده جاهایی هستند که انباشت خاک بیشتر از فرسایش است و رسوبات در این نقاط انباشت شده و به پایین دست منتقل نمی شوند).

اصول علمی حاکم بر مدل گفته شد، از شاخص مربوط به میزان اثرات فعالیت های انسانی بر آب استفاده شد. شکل ۵ (الف و ب) شاخص رد پای انسانی بر کیفیت آب را به صورت آلودگی بالقوه (%) برای دو وضعیت پایه و سناریو نشان می دهد. سطوح مختلف توزیع آلودگی در این دو نقشه در

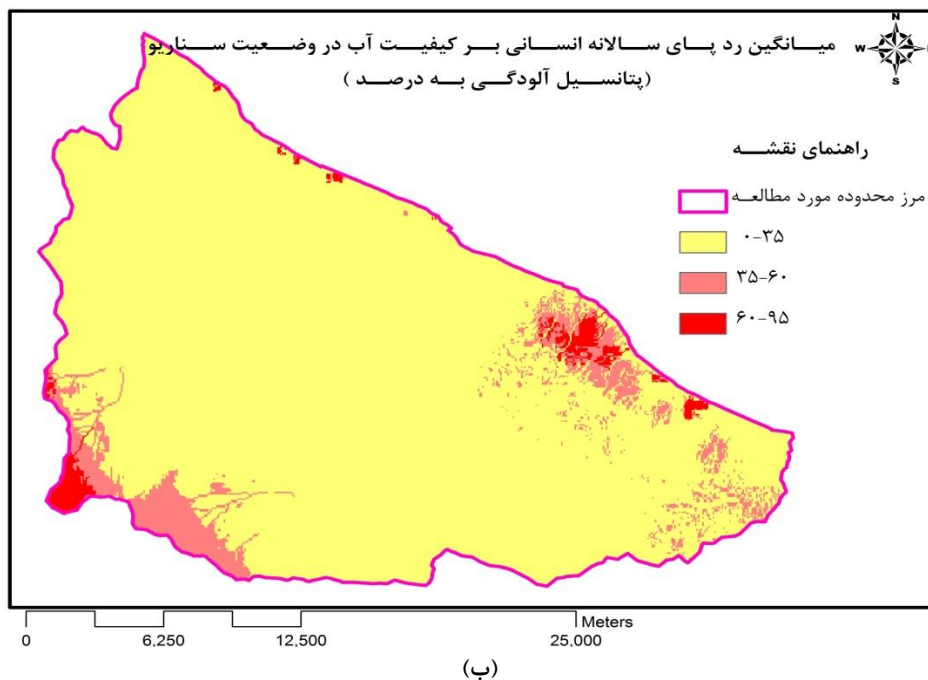
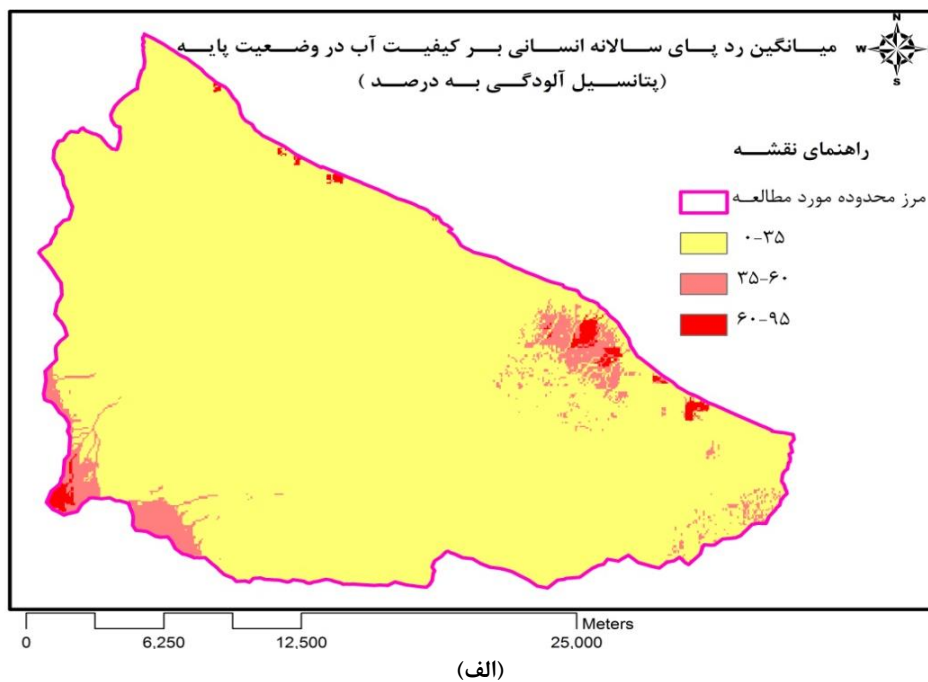
۳-۳-۲- تغییرات نهایی در کیفیت آب و تأثیر آن در میزان آلودگی آبی

سنجش کیفیت آب در مقیاس سیاست گذاری کار بسیار مشکلی است، زیرا این کار نمی تواند از طریق سنجش از دور انجام پذیرد. از این رو همان طور که در تشریح

آلاینده‌ها افزایش می‌یابد و با محاسبه سطح اراضی تحت پوشش آلاینده‌ها با درصدهای گوناگون می‌توان برآوردی از شدت و وسعت توزیع آلاینده‌ها در سطح محدوده بررسی شده داشت.

جدول ۲ مساحت تحت فشار آلودگی را در دو بازه زمانی مورد نظر نشان می‌دهد.

سه سطح با بار آلودگی کم (۰-۳۵٪)، متوسط (۳۵-۶۰٪) و زیاد (۶۰-۹۵٪) طبقه‌بندی شد. با توجه به اینکه سنجش کمیت آلاینده‌ها فقط از طریق نمونه‌برداری امکان‌پذیر است در اینجا به صورت جایگزین از واحد درصد آلودگی استفاده شد. بدیهی است هر چه سطوح کاربری‌های انسان‌ساخت یا تغییر داده شده از حالت طبیعی توسط انسان، میزان توزیع بارش و رواناب در یک قسمت بیشتر باشد درصد توزیع



شکل ۵- مقایسه اثر تغییر کاربری جنگلی بر کیفیت آبی منطقه با استفاده از شاخص رد پای انسانی آلودگی

جدول ۲- طبقه‌بندی اراضی محدوده بررسی شده به لحاظ توزیع بالقوه آلودگی در شرایط پایه و سناریو

مساحت اراضی تحت پوشش (هکتار)		کلاس آلودگی
سال ۲۰۱۳ (شرایط سناریو)	سال ۲۰۰۰ (شرایط پایه)	
۵۱۲۸۶/۳۴	۵۳۱۰۷/۰۶	آلودگی کم
۳۶۵۰/۱۱	۲۲۸۵/۶۱	آلودگی متوسط
۹۰۷/۳۸	۴۵۱/۱۷	آلودگی زیاد

مشکلات اولیه در ارزیابی محیط‌زیستی 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 تغییرات حاصله از اجرای یک سیاست را بر شرایط پایه خدمات آبی اکوسیستم شناسایی و نواحی که نسبت به سیاست یا سناریوی موردنظر حساس هستند را به صورت بصری و نقشه در اختیار ارزیابان قرار دهد.

با این حال کاربرد این مدل با محدودیت‌هایی نیز مواجه است. این محدودیت‌ها شامل مواقعی است که نیاز به یک پیش‌بینی بسیار دقیق از مقادیر پایه و آتی خدمات اکوسیستمی موردنظر در یک نقطه ویژه (مثلاً مقدار جریان یا حجم رسوب در داخل سد) وجود داشته باشد. همچنین در سایت‌های خیلی کوچک با مساحت کمتر از ۱ کیلومتر مربع قابل استفاده نیست.

اجرای این مدل نشان داد، حتی در نواحی بررسی که هیچ‌گونه داده‌ای از قبل فراهم نیست، می‌توان با استفاده از این مدل تحلیل و مدل‌سازی فضایی را انجام داد و بر مبنای داده‌های تولیدشده، تصمیمات محلی و کارشناسی گرفت. درواقع نظام پشتیبان تصمیم‌گیری WW، نظامی است که از همه ملزومات اساسی شامل: داده، مدل برای پردازش داده، ابزارهای سناریوسازی و تحلیل اثرات سیاست‌های اجرایی به صورت توأمان برخوردار است. از سوی دیگر چون این مدل کار خود را با دو قدرت تفکیک فضایی متفاوت ۱ هکتار و ۱ کیلومتر مربع انجام می‌دهد برای هر دو مقیاس محلی و ملی قابل اجراست.

در این تحقیق ما به ارزیابی تهدید جنگل‌زدایی نسبت به خدمات اکوسیستمی جنگل در ارتباط با مباحث آبی آن پرداختیم. بر اساس نقشه‌های تولیدشده توسط مدل، تغییر در سطح تحت پوشش جنگلی متراکم و جایگزینی آن با پوشش جنگلی نیمه‌متراکم و ضعیف منجر به کاهش توان سرزمین در

بر این اساس سطوح تحت فشار بار آلودگی متوسط به میزان ۱۳۶۴/۵ هکتار و سطوح تحت پوشش آلودگی زیاد به میزان ۴۵۶/۲۱ هکتار (تقریباً دو برابر) افزایش یافته است. با این حال، با توجه به اینکه هنوز سطوح عمده‌ای از سرزمین بررسی شده تحت پوشش کاربری طبیعی جنگلی است، حدود ۹۰٪ از سطح سرزمین تحت فشار آلودگی ناچیز است که در صورت مدیریت بهینه سرزمین و پیشگیری از ادامه تغییرات پوشش جنگلی و با توجه به توان خودپالایی اکوسیستم، آلودگی مشکل عمده‌ای برای محدوده بررسی شده محسوب نخواهد شد. این نتیجه نیز با نتیجه مدل‌سازی وان سوس برگن و مولیگان [۱۴] که اثر سناریوی جنگل‌زدایی بر شاخص HF (ردپای انسانی بر کیفیت آب) را در محدوده آمازون به دلیل غلبه پوشش جنگلی بر سطوح پوششی انسان ساخت، ناچیز برآورد کرده‌اند، همخوانی دارد.

۴- نتیجه‌گیری

این مقاله ارائه‌دهنده نتایج حاصل از انجام مدل‌سازی سناریویی در ارتباط با خدمات آبی اکوسیستم جنگلی سرولات و جواهردشت، از طریق کاربست و اجرای مدل پشتیبان سیاست‌گذاری WW و استفاده از داده‌هایی است که این مدل در دسترس می‌گذارد. این سیستم به کاربر اجازه می‌دهد بدون نیاز به ظرفیت‌های خاص فنی یا هیدرولوژیکی شرایط پایه آبی و اثرات بالقوه حاصل از سناریوی تغییر در کاربری زمین بر خدمات موردنظر را کشف کند.

در مجموع، کاربرد این مدل در بسیاری از نقاط دنیا در شرایطی که هیچ داده‌ای از شرایط پایه خدمات اکوسیستمی 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

- [2] European Commission. Proposal for a regulation of the European parliament and of the council on support for rural development by the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD); **2011**. 627 final/2.
- [3] European Commission. Regional policy contributing to sustainable growth in Europe 2020. **2011**. 17 final.
- [4] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, Polasky S, Tallis H, Cameron D R, Chan, K M A, Daily G C, Goldstein J, Kareiva P M, Lonsdorf E, Naidoo R, Ricketts T H, Shaw M. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Journal of Ecology and Environment*; **2009**; **7**, 4–11.
- [5] Simpson R D, Vira B. *Ecosystems and Human Well-being: A Manual for Assessment Practitioners*, Island Press, Washington, DC.; **2010**: 221–254.
- [6] McKenzie E, Irwin F, Ranganathan J, Hanson C, Kousky C, Bennet K, Ruffo S, Conte M, Salzman J, Paavola J. Incorporating ecosystem services in decisions. *Natural Capital: Theory & Practice of Mapping Ecosystem Services*. Oxford University Press, Oxford; **2011**: 339–356.
- [7] Millennium Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC; **2005**.
- [8] Peh K S, Balmford A P, Bradbury R B, Brown C, Butchart S H M, Hughes F M, Stattersfield A J, Thomas D H, Walpole M, Birch J C. *Toolkit for Ecosystem Service Site-based Assessment (TESSA)*. Cambridge, UK; **2013**.
- [9] Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson A, Chapin F, Lambin E, Lenton T, Scheffer M, Folke C, Schellnhuber H, Nykvist B, De Wit C, Hughes T, van der Leeuw S, Rodhe H, Sorlin S, Snyder P, Costanza R, Svedin U, Falkenmark M, Karlberg L, Corell R, Fabry V, Hansen J, Walker B, Liverman D, Richardson K, Crutzen P, Foley J. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Nature*; **2009**; **461**(7263):472-475.
- [10] Gleick P H, Palaniappan M. Peak water limits to freshwater withdrawal and use. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*; **2010**; **107**(25): 11155– 11162.
- [11] Wagener T, Sivapalan M, Troch P, McGlynn B, Harman C, Gupta H, Kumar P, Rao P S, Basu N, Wilson J. The future of hydrology: An evolving science for a changing world, *Water Resources Research*; **2010**; **46**(5):11155-11162.

ایجاد تعادل آبی و افزایش رواناب به واسطه کاهش تبخیر و تعرق ناشی از قطع درختان جنگلی می‌شود. این تغییرات پیامدهای مهم محیط‌زیستی مهمی چون افزایش فرسایش خاک و تشدید پتانسیل توزیع آلاینده‌های آبی در محدوده بررسی شده را به دنبال دارد. هرچند که پیش‌بینی توصیفی این نوع پیامدها در ارزیابی‌های محیط‌زیستی در کشور ما مرسوم است، اما ارزیابان محیط‌زیستی معمولاً در سنجش کمیت‌های چنین اثراتی با مشکل مواجه‌اند که چنین امری ناشی از پیچیدگی بازخوردهای بین متغیرهای گوناگون در ارزیابی‌هاست. در مجموع این تحقیق نشان می‌دهد که با کاربست مدل موردنظر یا سایر مدل‌های سنجش خدمات اکوسیستمی می‌توان برآوردهای کمیت‌پذیر و دقیق‌تری از کارکردهای اکوسیستمی انجام داد. تلفیق این نوع مدل‌سازی‌ها در فرایند ارزیابی باهدف تدقیق اثرات پیش‌بینی‌شده و پشتیبانی از تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر، پیشنهاد می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

- ¹ Ecosystem Services
- ² Millennium Ecosystem Assessment
- ³ benefits
- ⁴ Provisioning Services
- ⁵ Regulating
- ⁶ Cultural
- ⁷ Life supporting services
- ⁸ Water supply
- ⁹ Water regulation
- ¹⁰ Water quality improvement
- ¹¹ Hydrological systems
- ¹² Water World Policy Support System
- ¹³ Dynamic Global System Models
- ¹⁴ Baseline
- ¹⁵ Process-based
- ¹⁶ Spatial
- ¹⁷ Base line
- ¹⁸ Temporal
- ¹⁹ Simulation
- ²⁰ Visualization
- ²¹ Wind-driven rainfall
- ²² Fog
- ²³ evapotranspiration
- ²⁴ Water balance
- ²⁵ Runoff
- ²⁶ Human footprint on water quality
- ²⁷ Driving forces of change
- ²⁸ Actual evapotranspiration
- ²⁹ IUCN
- ³⁰ UNEP
- ³¹ Fog Interception

منابع

- [1] Daily G C, Matson P A. *Ecosystem Services: From Theory to Implementation*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*; **2008**; **105** (28): 9455–9456.

- [22] Mulligan M, Saenz-Cruz L, van Soesbergen A, Smith V T, Zurita L. Global dams database and geowiki, Version 1, <http://geodata.policysupport.org/dams> (assessed: March 29, 2016).
- [23] Hansen M, DeFries R, Townshend J R, Carroll M, Dimiceli C, Sohlberg R. Vegetation continuous fields MOD44B, 2001 Percent Tree Cover, Collection 4, University of Maryland, College Park, Maryland; 2006.
- [24] Jozi S A, Rezayan S, Nabavian S S. Investigation of socioeconomic impacts of the forest degradation in Dohezar and Sehezar in Mazandaran, Iran. Quarterly of Environmental sciences and engineering; 2014;1(3): 27-40. [In Persian].
- [25] Mirzayi M, Riyahi Bakhtiyari A, Salman Mahini A, Gholamalifard M. Investigating the Land Cover Changes in Mazandaran Province Using Landscape Ecology's Metrics Between 1984 - 2010. Iranian Journal of Applied Ecology; 2013; 2(4):37-55. [In Persian].
- [26] Jourgholami M, Soltanpour SH, Etehadi Abari M, Majnounian. Effects of wood extraction using farm tractor on soil physical properties (Case study: Gorazbon district in Khyrud forest). Iranian journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research; 2014; 21(4): 666-677. [In Persian].
- [27] Stocking M, Murnaghan N. Land degradation-Guidelines for field assessment. University of the United Nations; http://archive.unu.edu/env/plec/l-degrade/F-Ch_4.pdf, (assessed: March 29, 2016).
- [28] Bayramzadeh V, Safdari V R, Zarinkafsh M. The Applicability of the Exposed Roots of Cupressus sempervirens L. var horizontalis for the Estimation of Soil Erosion in Hassan Abad, Mazandaran Province. Journal of Forest and Wood Products (Iranian Journal of Natural Resources); 2014; 67(3): 411-421. [In Persian].
- [12] Mulligan M, Rubiano J, Burke S, Van Soesbergen A. Water security in Amazonia. Report for Global Canopy Programme and International Center for Tropical Agriculture as part of the Amazonia Security Agenda project, http://segamazonia.org/sites/default/files/press_releases/water_security_in_amazonia.pdf, (assessed: March 29, 2016).
- [13] Birch J C, Thapa I, Balmford A, Bradbury R B, Brown C, Butchart S H M, Gurung H, Hughes F M R, Mulligan M, Pandeya B, Peh k, S H, Stattersfield A J, Walpole M, Thomas D H L. What benefits do community forests provide, and to whom? A rapid assessment of ecosystem services from a Himalayan forest, Nepal. Ecosystem Services Journal; 2014;8:118-127.
- [14] van Soesbergen A J J, Mulligan M. Modelling multiple threats to water security in the Peruvian Amazon using the Water world Policy Support System. Earth System Dynamics; 2014;5:55-65.
- [15] Policy Support System, Example application, <http://www.policysupport.org/waterworld/example-applications>, (assessed: February 19, 2015).
- [16] Mulligan M. Water World: a self-parametering, physically based model for application in data-poor but problem rich environments globally. Hydrology Research; 2013; 44(5):748-769.
- [17] Zhang L, Hickel, K, Dawes W. R, Chiew F. H, S. Western A. W, Briggs P. R. A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration. Water Resources Research; 2004; 40 (2).
- [18] Allen, R.G. Pereira, L.S. Raes, D. and Smith, M. Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations, https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/pdf/Allen_FAO1998.pdf (assessed: March 29, 2016).
- [19] Mulligan M, Burke S. FIESTA Fog Interception for the Enhancement of Stream flow in Tropical Areas. Appendix 4a to Final Technical Report of DFID-FRP Project no. R7991. R, King's College, London, UK.; 2005.
- [20] Bruijnzeel L A, Mulligan M, Scatena F N. Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: emerging patterns. Hydrology Process; 2011; (25) 465-498.
- [21] Van Soesbergen A J J. Impacts of climate change on water resources of global dams. Ph.D: King's College, London; 2013.



