جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۲، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۸
ص ۳۳-۴۵
DOI: 10.22059/jfwp.2018.259050.928

تعیین توان اکولوژیک کاربری‌ها برپایهٔ واحدهای واکنش هیدرولوژیکی و ارزیابی آسیب‌پذیری به‌منظور بهره‌برداری پایدار حوزهٔ آبخیز جنگلی (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز ذیلکی‌رود گیلان)

عادل کاظمی طالکوئی[۱]، مقداد جورغلامی[۲*]، جهانگیر فقهی[۳]

۱. دانشجوی دکتری مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
۲. دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
۳. استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۰۵

چکیده

این پژوهش با هدف معرفی مدل توان اکولوژیکی ویژهٔ چندعامله برپایهٔ عوامل اکولوژیک واحدهای واکنش هیدرولوژیکی به‌منظور تعیین توان اکولوژیک کاربری‌های مختلف در حوزهٔ آبخیز جنگلداری ۲۳ ذیلکی‌رود گیلان انجام گرفت. ابتدا با ArcSWAT ۶۰۸ واحد واکنش هیدرولوژیکی در قالب ۳۹۱۹۷ پلی‌گون مستقل از هم در حوزهٔ آبخیز ذیلکی‌رود به‌دست آمد. سپس با سنجش واحدهای واکنش هیدرولوژیکی با مدل‌های ویژهٔ توان اکولوژیک، بازدهی زمین‌های حوضه از نظر تولید، آسیب‌پذیری کیفی و نیازمندی‌های مدیریت سنجش شد. در گام بعدی آسیب‌پذیری نهایی واحدهای واکنش هیدرولوژیکی در مقابل تخریب ناشی از بهره‌برداری با شاخص‌های هیدرولوژیکی سنجش شد. برای ارزیابی شاخص‌های هیدرولوژیکی، با اجرای مدل SWAT و واسنجی و تحلیل حساسیت، شاخص‌های مؤثر در شبیه‌سازی رواناب و رسوب به‌دست آمد و در هر واحد واکنش هیدرولوژیکی، مقدار کمی شاخص‌های هیدرولوژیکی برآورد شد و واحدهای واکنش هیدرولوژیکی دارای توان تولید و بهره‌برداری خارج از حد مجاز شاخص، به کاربری حفاظتی و حمایتی تغییر یافت. به‌طوری که کاربری‌های توان ۱ جنگلداری و توان ۱ اکوتوریسم متمرکز بدون تغییر مساحت، کاربری‌های توان ۲، ۳ و ۴ جنگلداری و توان ۲ اکوتوریسم متمرکز کاهش سطح پیدا کردند و کاربری کارکرد حفاظتی و حمایتی با مساحت ۱۴۰۸۳ هکتار افزایش سطح داشتند. ازآنجا که عامل‌های شیب، خاک و کاربری اراضی بیشترین تنوع را در سطح منطقه داشتند و بیشترین محدودیت را سبب می‌شوند، استفاده از واحدهای واکنش هیدرولوژیکی برای طبقه‌بندی توان اکولوژیک کاربری‌ها و شبیه‌سازی شاخص‌های مدیریتی، امکان ارزیابی آسیب‌پذیری کاربری را به‌صورت کمّی فراهم می‌کند و ابزار مناسبی برای ارزیابی توان سرزمین است.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری کمّی، شاخص‌های هیدرولوژیکی، عملکرد اکوسیستم، واحد واکنش هیدرولوژیکی.

مقدمه

جنگل‌ها به‌عنوان برجسته‌ترین رویشگاه گیاهی کرهٔ زمین با توجه به سطوح بزرگ، پوشش متراکم، لایهٔ لاشبرگی اسفنجی و سیستم ریشه‌دوانی گیاهی، می‌توانند تأثیر مهمی بر آب، خاک و چرخهٔ مواد غذایی داشته باشند [۱]. اگر جنگل‌ها به شیوهٔ اقتباس از رویشگاه مدیریت شوند، با توجه به انعطاف‌پذیری و پایداری، در مقابل خطرهای طبیعی محافظت خواهند شد [۲]. ازآنجا که محیط زیست طبیعی، توان اکولوژیکی محدودی برای استفاده‌های بشر دارد، مقدار و کیفیت خدمات به انعطاف‌پذیری حوزهٔ

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۲۶۳۲۲۴۹۳۱۲
Email: mjgholami@ut.ac.ir

آبخیز و توان طبقات اکولوژیک جنگل بستگی دارد [۳]. به‌منظور تأمین نیازها و انتظارات گوناگون جامعه از کالاها و خدمات اکوسیستم‌های جنگلی، مدیریت اکوسیستم‌های جنگلی را باید به‌سمت استفادهٔ چندمنظوره برپایهٔ ارزیابی توان اکولوژیک[1] اکوسیستم سوق داد [۴]. ارزیابی توان رویشگاه برآورد برایند ویژگی‌های محیطی رویشگاه است که بازدهی یک پهنهٔ جنگلی را از نظر تولید، آسیب‌پذیری و نیازمندی‌های مدیریت نشان می‌دهد [۵].

به‌دلیل تفاوت ویژگی‌های سرزمین و اهداف مدیریت، ارزیابی توان اکولوژیک به روش‌های متعددی انجام می‌گیرد. در همهٔ روش‌ها، هدف ارائهٔ معیاری است که پتانسیل اکوسیستم را در ایفای نقش‌های مختص جنگل نشان دهد و به برنامه‌ریزان منطقه‌ای کمک کند که از حداقل نسبت سطح جنگل در یک حوزهٔ آبخیز با اطمینان خدمات اکوسیستمی کافی ارائه دهد [۶]. متداول‌ترین روش ارزیابی توان اکولوژیکی کاربری‌ها در ایران، مدل‌های اکولوژیکی برپایهٔ معیار شکل زمین و ویژگی‌های خاک برای انواع کاربری‌هاست. در این مدل‌ها ارزیابی توان محیط، عبارت است از برآورد سطح یا کلاس استفادهٔ ممکن انسان از سرزمین برای کاربری‌های مختلف [۷]، برای مثال مدل جنگلداری ایران دارای هفت طبقه است [۸] که از طبقهٔ یکم تا طبقهٔ هفتم، به‌ترتیب کیفیت رویشگاه برای تجارت چوب نامناسب‌تر می‌شود. این مدل در برخی پژوهش‌های صورت‌گرفته در جنگل‌های شمال با همان معیارها استفاده شده یا با معیارهای مدل‌های دیگر ترکیب شده و با تعدیل برخی معیارهای آن برای هر منطقهٔ خاص، مدلی ویژه برای ارزیابی توان اکولوژیک آن منطقه تهیه شده است [۹،۴].

برنامه‌ریزی برای استفادهٔ چندمنظوره و پایدار از اکوسیستم، مستلزم شناخت وضعیت، امکانات و محدودیت اکولوژیک حوزهٔ آبخیز و توجه به عملکردهای بوم‌شناختی برپایهٔ تجزیه‌وتحلیل روابط بین عناصر اکولوژیک برای انتخاب طبقات متناسب با ویژگی‌های جغرافیایی و خدمات اکوسیستمی رویشگاه‌های منحصربه‌فرد آن است تا مدیریت سرزمین برپایهٔ هماهنگی انسان با فرایندهای طبیعی برای توسعهٔ متعادل و بهره‌برداری متوازن صورت گیرد. از لحاظ آسیب‌پذیری، چگونگی اثر کاربری اراضی متناسب، بر تولید رسوب و کمیت آب‌های سطحی، در تعیین بهترین فعالیت‌های مدیریتی بسیار حائز اهمیت است [۱۰]. Zhang و همکاران [۱۱] بیان کردند که تغییر کاربری به‌عنوان عاملی مهم بر هیدرولوژی حوزهٔ آبخیز در دسترسی به منابع آب و پایداری اکوسیستم مؤثر است. فرسایشی که با تخریب کیفیت زمین در اثر بهره‌برداری در یک حوزهٔ آبخیز اتفاق می‌افتد، پایداری کاربری‌های آن حوزهٔ آبخیز را به خطر می‌اندازد [۱۲]. Xiaobo و همکاران [۱۳] تأثیر تغییرات پوشش گیاهی بر رواناب و رسوب را در حوزهٔ Cedar Creek در ایالت ایندیانای آمریکا با استفاده از مدل SWAT[2] بررسی کردند که براساس نتایج، نوع پوشش زمین و تغییرات آن اثر مستقیمی در مقدار رواناب و بار رسوب حوزهٔ آبخیز دارد. Sunandar و همکاران [۱۲] برای به حداقل رساندن فرسایش در حوزهٔ آبخیز Asahen اندونزی، از روش پرس‌وجو مبتنی بر طبقه‌بندی توان زمین استفاده کردند و ترکیب بهینه‌ای از اراضی منطقه را با شبیه‌سازی مدل SWAT به‌دست آوردند و نتیجه گرفتند کاهش فرسایش حوضه می‌تواند بدون کاهش تولید آب، با افزایش جنگلکاری و تغییر در مدیریت اراضی جنگلی در شبیه‌سازی مدل SWAT به‌دست آید. استفاده از شاخص‌ها، از عمومی‌ترین روش‌ها و ابزارها برای ارزیابی آسیب‌پذیری توان طبقات با مدل‌های تجربی یا از طریق مشاهدات است. بنابراین برای استفاده از خدمات چندگانهٔ اکوسیستم، باید مدل ویژهٔ ارزیابی تعیین توان اکولوژیکی ارائه شود که با استفاده از منابع اکولوژیک[3] واحدهای واکنش هیدرولوژیکی[4]، توان

1. Ecological Capability Evaluation

2. Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

۳. منابع اکولوژیکی شامل دو دستهٔ منابع فیزیکی مثل اقلیم، آب، خاک، شیب و... و منابع بیولوژیکی مثل رستنی‌ها و جانوران

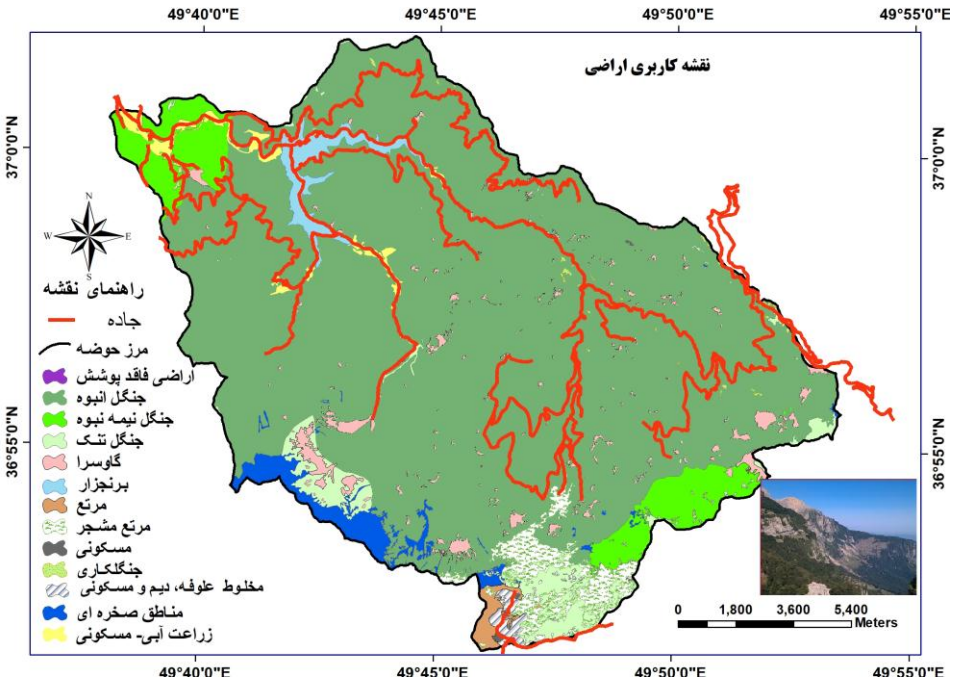
4. Hydrologic Response Unit (HRU)

اکولوژیک کاربری‌های مختلف را به‌صورت کیفی تعیین کند و بتواند با ارائهٔ شاخص‌هایی نظیر تولید رواناب و بار معلق رسوب، عملکرد اکوسیستم را در مقابل مدیریت یا تغییر شرایط محیط، ارزیابی کمّی کند، پهنه‌های دارای توان طبقات مختلف کاربری‌ها را نمایان سازد و در نهایت مدیریت پایدار جنگل منطقه طرح‌ریزی شود [۵].

مواد و روش‌ها

منطقهٔ تحقیق

حوزهٔ آبخیز ۲۳ ذیلکی‌رود با مساحت ۲۳۸۶۷/۰۴ هکتار، در دامنهٔ شمالی درفک در جنوب استان گیلان و در مختصات جغرافیایی "۳۸'۰۲ °۴۹ تا "۵۳'۳۰ °۴۹ طول شرقی و "۵۱'۳۳ °۳۶ تا "۰۱'۵۸ °۳۷ عرض شمالی واقع شده است. محیط حوضه ۷۹/۱۹۴ کیلومتر و بیشینه و کمینهٔ ارتفاع منطقه به‌ترتیب ۲۵۸۳ متر و ۸۳ متر از سطح دریاست. متوسط بارندگی ۸۱۷ میلی‌متر در دورهٔ ۲۴ ساله (۱۳۹۲ – ۱۳۶۸) بوده که ۲۷۰ میلی‌متر آن به‌صورت بارش برف بوده است. پربارش‌ترین ماه‌ها به‌ترتیب آبان، آذر و مهر و کم باران‌ترین ماه‌ها نیز اردیبهشت، خرداد و تیر هستند. مساحت و پراکنش انواع کاربری در حوضهٔ مورد بررسی در شکل ۱ و جدول ۱ آمده است. بیشتر سطح حوزهٔ آبخیز ذیلکی‌رود را سازند شمشک با سنگ‌های آهکی، ماسه‌سنگ و شیل زغالی تشکیل می‌دهد. با بررسی همهٔ مشخصات خاک، در نهایت ۹ جزء واحد اراضی به‌همراه بستر رودخانه و اراضی صخره‌ای در حوزهٔ آبخیز ذیلکی‌رود تفکیک شدند. خاک شمارهٔ ۲ با اجزای واحد اراضی ۱-۵-۲ بیشترین سطح حوضه را به مساحت ۱۰۱۳۱ هکتار تشکیل می‌دهد. اقلیم حوضه در طبقه‌بندی اقلیم‌نمای دومارتن در طبقهٔ خیلی مرطوب نوع الف قرار می‌گیرد. طرح جنگلداری از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۵ در سطح ۱۵۷۱۸ هکتار از حوزهٔ آبخیز ذیلکی‌رود اجرا شد. شیوهٔ جنگل‌شناسی و دخالت در قسمت‌های مخروبه، قطع یکسرهٔ نواری و در مناطق تولیدی شیوهٔ پناهی و تک‌گزینی پایه‌ای و گروهی است. در ده سال اول اجرای طرح، برای دسترسی بهینه به همهٔ سطح جنگل‌های حوضه، بیش از ۹۰ کیلومتر جاده جنگلی در منطقه ساخته شد.



شکل ۱. نقشهٔ کاربری اراضی حوزهٔ آبخیز ۲۳ ذیلکی‌رود

جدول ۱. مساحت و درصد کاربری اراضی حوزهٔ آبخیز ۲۳ ذیلکی‌رود

کاربری فعلی	مساحت (هکتار)	درصد	کاربری فعلی	مساحت (هکتار)	درصد
مزروعی مسکونی	۷۵۸/۳۶	۳/۱۸	مرتع مشجر	۶۲۶/۸۰	۲/۶۳
مرتع	۱۲۲/۱۶	۰/۵۱	صخره	۵۰۶	۲/۱۲
جنگل انبوه	۱۹۲۴۵/۲۱	۸۰/۶۴	جنگل تنک	۸۳۰/۵۲	۳/۴۸
جنگل نیمه‌انبوه	۱۲۴۵/۵۵	۵/۲۲	اراضی لخت	۱/۳۲	۰/۰۱
گاوسرا و فضای باز	۵۳۱/۱۲	۲/۳۳	جمع	۲۳۸۶۷/۰۴	۱۰۰

روش پژوهش

برای تحلیل فیزیوگرافی، ابتدا از نقشهٔ توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش برای شمال ایران با خطوط میزان ۲۰ متر از نرم‌افزار Arc-GIS10.3 استفاده شد و مدل رقومی ارتفاع[1] به‌دست آمد [۸]. در مرحلهٔ بعد همهٔ نقشه‌های حاوی اطلاعات زمینی از کتابچه‌های آبخیزداری و طرح‌های جنگلداری تهیه‌شده توسط ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استخراج شد. سپس با اجرای عملیات میدانی، اطلاعات پایهٔ مورد نیاز مدل به‌صورت رقومی استخراج شد. داده‌های متغیر زمانی مثل دما، بارش، رطوبت نسبی، تابش آفتاب، سرعت باد، تبخیر و تعرق، دبی و بار معلق رسوب به‌صورت روزانه برای دورهٔ آماری ۲۴ ساله (۱۳۹۲ – ۱۳۶۸) جمع‌آوری و تحلیل شد.

الف) ایجاد HRU و پردازش اطلاعات: پس از ایجاد پایگاه اطلاعاتی جامع مورد نیاز، با روی‌هم‌گذاری لایه‌های کاربری اراضی، خاک و شیب در ARCSWAT واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی یا HRU به‌صورت سیستمی به‌دست آمد. HRU، واحدهایی از یک منطقه یا حوزهٔ آبخیز است که دارای ویژگی‌های همگن کاربری اراضی، خاک و شیب است. در SWAT، HRU واحد اصلی شبیه‌سازی است و برای HRUهای مشابه، تولید آب، رواناب سطحی، آب زیرسطحی و زیرزمینی، بازده رسوب و مهم‌تر از همه رشد گیاهان و روش‌های مدیریتی محاسبه می‌شود؛ بنابراین HRUها می‌توانند مدیران و محققان را در مدیریت کاربری اراضی کمک کنند. در این پژوهش از HRUها به‌عنوان واحدهای ارزیابی توان اکولوژیکی[2] استفاده شد. با توجه به مدل اکولوژیک به تعیین طبقات هر کاربری، اطلاعات شاخص‌های لازم همچون ارتفاع از سطح دریا[3]، ارزش گونه‌های درختی[4]، رویش[5]، تراکم پوشش گیاهی[6] و سنگ مادر غالب[7] به هر هر HRU با توجه به فرمت مورد نیاز اضافه شد.

ب) تهیهٔ مدل اکولوژیکی ویژه: مدل اکولوژیکی ویژهٔ کاربری، در این پژوهش شامل چهار طبقهٔ جنگلداری، یک طبقهٔ حفاظتی و حمایتی، یک طبقهٔ جنگلکاری و توسعهٔ جنگل و دو طبقهٔ اکوتوریسم متمرکز است. برای طبقه‌بندی کاربری‌های ذکرشده از مدل‌های اکولوژیکی موجود [۷] و تلفیق آن با دیگر مطالعات انجام‌گرفته، شرایط و مشخصات عرصه، ویژگی‌های اقتصادی- اجتماعی منطقهٔ تحقیق و اهداف جنگلداری، عامل‌های مؤثر شناسایی و مدل‌های ویژه ارزیابی و طبقه‌بندی زیر تهیه شد [۸].

طبقهٔ توان ۱ جنگلداری (F1) = ارتفاع از سطح دریا

1. Digital Elevation Model (DEM)

۲. برآورد استفادهٔ ممکن انسان از سرزمین برای کاربری‌های مختلف در چارچوب استفاده از کالاها و خدمات.

۳. در پردازش داده‌ها برای مدل‌سازی، داده‌های ارتفاع از سطح دریا را در ۱۱ گروه طبقه‌بندی می‌کنند.

۴. ارزش گونه‌های گیاهی را برای اهداف تجاری و حفاظتی هر کدام جداگانه به سه دسته طبقه‌بندی می‌کنند.

۵. در پردازش داده‌ها برای مدل‌سازی، رویش سالیانه به متر مکعب در هکتار را در هفت طبقه از کمتر از ۱ مترمکعب تا بیش از ۷ مترمکعب در هکتار طبقه‌بندی می‌کنند.

۶. تراکم پوشش گیاهی برحسب درصد است و در شش گروه طبقه‌بندی می‌شود و اراضی کمتر از ۱ درصد پوشش را اراضی لخت می‌نامند.

۷. سنگ‌های مادر را به‌ترتیب کاهش فراوانی در هجده طبقه تقسیم می‌کنند.

کمتر از ۱۲۰۰ متر + شیب کمتر از ۳۵ درصد + عمق خاک بیش از ۱۲۱ سانتی‌متر + گروه هیدرولوژیکی خاک B و C + درصد تاج پوشش جنگل بیش از ۷۵ درصد + تیپ غالب درختی با گونه‌های راش، توسکا، افرا، ممرز، ون، نمدار و بلوط + رویش بیش از ۶/۱ مترمکعب در هکتار + سنگ مادر سنگ آهک، آهک دولومیتی، شیل، رس سنگ، کنگلومرا.

طبقهٔ توان ۲ جنگلداری (F2) = ارتفاع از سطح دریا کمتر از ۱۲۰۰ متر + شیب کمتر از ۳۵ درصد + عمق خاک بیش از ۶۱ سانتی‌متر + گروه هیدرولوژیکی خاک B و C + درصد تاج پوشش جنگل بیش از ۷۵ درصد + تیپ غالب درختی با گونه‌های راش، توسکا، افرا، ممرز، ون، نمدار و بلوط + رویش بیش از ۵/۱ مترمکعب در هکتار + سنگ مادر سنگ آهک، آهک دولومیتی، شیل، رس سنگ، کنگلومرا، سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی، دشت سیلابی و افیولیت.

طبقهٔ توان ۳ جنگلداری (F3) = ارتفاع از سطح دریا کمتر از ۲۲۰۰ متر + شیب کمتر از ۳۵ درصد + عمق خاک بیش از ۶۱ سانتی‌متر + گروه هیدرولوژیکی خاک B و C + درصد تاج پوشش جنگل بیش از ۵۰ درصد + تیپ غالب درختی با گونه‌های راش، توسکا، افرا، ممرز، ون، نمدار و بلوط + رویش بیش از ۴/۱ مترمکعب در هکتار + سنگ مادر سنگ آهک، دولومیت، شیل، رس سنگ، کنگلو مرا، سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی، دشت سیلابی، افیولیت و شیست.

طبقهٔ توان ۴ جنگلداری (F4) = ارتفاع از سطح دریا کمتر از ۲۲۰۰ متر + شیب کمتر از ۶۰ درصد + عمق خاک بیش از ۳۰ سانتی‌متر + گروه هیدرولوژیکی خاک C,B,A + درصد تاج پوشش جنگل بیش از ۲۵ درصد + تیپ غالب درختی با گونه‌های راش، توسکا، افرا، ممرز، ون، نمدار، بلوط، انجیلی و خرمندی + رویش بیش از ۴/۱ مترمکعب در هکتار + سنگ مادر سنگ آهک، دولومیت، شیل، رس سنگ، کنگلو مرا، سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی، دشت سیلابی، افیولیت، ماسه‌سنگ، گرانیت، آبرفتی و شیست.

حفاظتی و حمایتی (Ce) = ارتفاع از سطح دریا بیش از ۲۲۰۰ متر یا عمق خاک کمتر از ۳۰ سانتی‌متر یا شیب بیش از ۶۰ درصد یا گونه‌های درختی با ارزش حفاظتی سرخدار، شمشاد، سفید پلت، بارانک، اوری، ارس و گیلاس وحشی یا گروه هیدرولوژیکی خاک D یا فاصله از گسل کمتر از ۲۰۰ متر یا صخره و بیرون‌زدگی سنگی یا رویش کمتر از ۲ متر مکعب یا عامل فرسایش‌پذیری خاک بیش از ۰/۳ یا فاصله از درهٔ عمیق کمتر از ۵۰ متر یا فاصله از منابع آب کمتر از ۱۵۰ متر یا ۵۰ تا ۱۵۰ متر در اطراف بخش‌های آبی.

جنگلکاری و توسعهٔ جنگل (Fr) = ارتفاع از سطح دریا کمتر از ۲۲۰۰ متر + عمق خاک بیش از ۳۰ سانتی‌متر + تاج پوشش کمتر از ۲۵ درصد (گاوسراها و فضاهای باز داخل جنگل + مرتع مشجر).

اکوتوریسم متمرکز طبقهٔ ۱ (Eti1)= شیب کمتر از ۵ درصد + عمق خاک بیش از ۸۰ سانتی‌متر + گروه هیدرولوژیکی خاک B وC + تاج پوشش تا ۷۵ درصد + بافت خاک لومی شنی تا لومی.

اکوتوریسم متمرکز طبقهٔ ۲ (Eti2)= شیب کمتر از ۱۵ درصد + عمق خاک بیش از ۳۰ سانتی‌متر + بافت خاک لومی شنی، لومی تا لومی رسی + تاج پوشش کمتر از ۸۰ درصد + گروه هیدرولوژیکی خاک[1] A, B, C

ج) ارزیابی توان و آسیب‌پذیری: با توجه به خصوصیات هر HRU و مقایسهٔ آن با مدل اکولوژیکی تهیه‌شده برای هر کاربری، توان اکولوژیکی HRU به‌دست آمد. این کار در محیط ARC MAP و از طریق زبان پرس‌وجوی ساختاری[2] صورت گرفت. متداول‌ترین کاربرد زبان پرس‌وجوگر در GIS بازیابی داده‌ها و اجرای عملیات

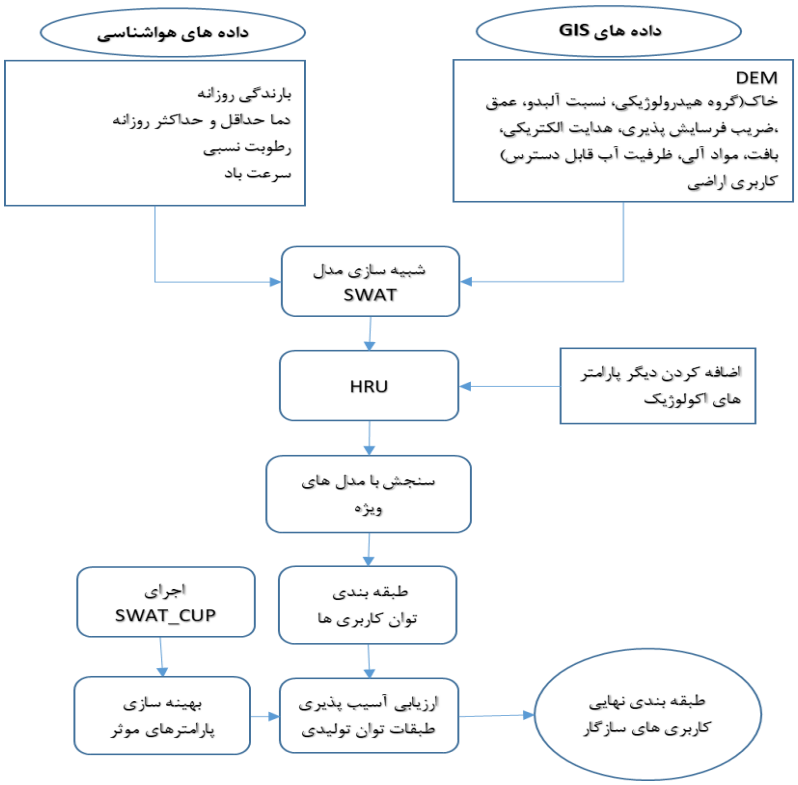
۱. خاک‌ها را برحسب سرعت نفوذپذیری آب در واحد زمان از زیاد به کم به چهار گروه هیدرولوژیکی A، B، C و D تقسیم می‌کنند؛ به‌طوری‌که در گروه هیدرولوژیکی A ، سرعت نفوذپذیری زیاد و رواناب کم، و در گروه هیدرولوژیکی D برعکس است.

2. Structured Query Language

جبری و منطقی است [۱۴]. نبود هر کدام از شرایط سبب می‌شود که واحد ارزیابی مورد نظر به طبقهٔ توان پایین‌تر تعلق گیرد؛ اما در مورد کاربری حفاظتی و حمایتی وجود هرکدام از شرایط به‌تنهایی کافی است. شکل ۲ مراحل تعیین توان اکولوژیکی کاربری‌های حوزهٔ آبخیز ذیلکی‌رود را نشان می‌دهد.

در گام اول تعیین توان اکولوژیک حوضه از طریق سنجش کیفیت واحدهای HRU برای کاربری‌های خاص (بهره‌برداری و بهره‌وری)، آسیب‌پذیری اولیه (فرسایش‌پذیری) و نیازمندی‌های مدیریتی با مدل‌های اکولوژیکی ویژه انجام گرفت [۱۵]. در گام بعدی، آسیب‌پذیری نهایی واحدهای HRU در مقابل تخریب ناشی از بهره‌برداری با شاخص‌های هیدرولوژیکی تولید رواناب، نفوذ آب زیرزمینی و بار رسوب و در نهایت محصول سنجش شد و HRUهای دارای توان مختلف جنگلداری و اکوتوریسم با تولید رواناب بیش از ۳۰۰ میلی‌متر در سال (300 =< SURQGENmm) یا نفوذپذیری آب زیرزمینی کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر در سال (۱۰۰=>GWQmm)، واحدهای دارای تولید رسوبات بیشتر از ۴ تن در سال (۴ =< SEDth) و همچنین واحدهای دارای رویشگاه‌های ضعیف و توان برداشت محصول کمتر از ۰/۰۱ تن در سال (۰/۰۱=> YLDth) به‌عنوان کاربری حمایتی در نظر گرفته شدند و توان اکولوژیکی کاربری‌های سازگار حوزهٔ آبخیز ذیلکی‌رود به‌دست آمد.

در گام نهایی بررسی، بهترین کاربری‌های سازگار در واحدهای HRU انتخاب شد و مکان‌یابی کاربری‌ها از طریق آمایش سرزمین به‌شیوهٔ کیفی - قیاسی [۷] انجام گرفت. اساس این روش مقایسهٔ نقشهٔ توان اکولوژیک منطقه و نقشهٔ کاربری اراضی منطقه و همواره مدنظر قرار دادن دو هدف برآورده کردن نیازهای منطقی انسان و حفاظت محیط زیست است [۱۵].

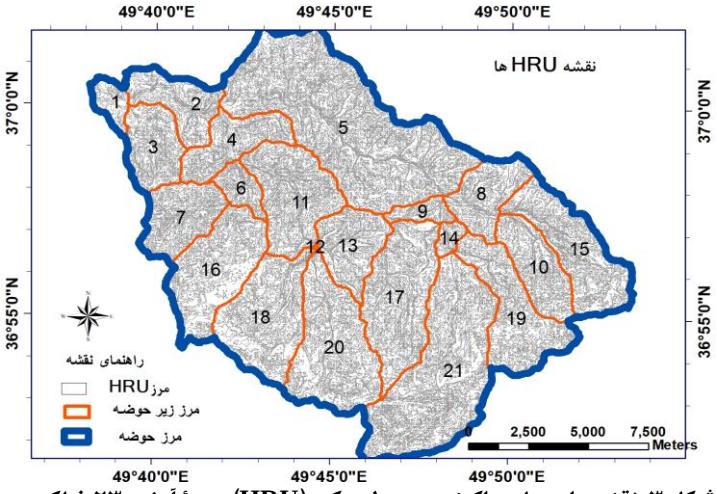


شکل ۲. روندنمای مراحل تعیین توان اکولوژیک حوزهٔ آبخیز ۲۳ ذیلکی‌رود برمبنای HRU

نتایج و بحث

الف) نتایج حاصل از روی‌هم‌گذاری لایه‌های کاربری اراضی، خاک و شیب در ARCSWAT نشان داد که حوزهٔ آبخیز ۲۳ ذیلکی‌رود با مساحت ۲۳۸/۶۷ کیلومتر مربع، دارای ۲۱ زیرحوضه و ۶۰۸ واحد واکنش هیدرولوژیکی در قالب ۳۹۱۹۷ پلی‌گون مستقل است. شکل ۳، نقشهٔ HRUهای حوزهٔ آبخیز ۲۳ ذیلکی‌رود را نشان می‌دهد.

ب) جدول ۲ شاخص‌های مؤثر در برآورد شاخص‌های آسیب‌پذیر حوزهٔ آبخیز را نشان می‌دهد.



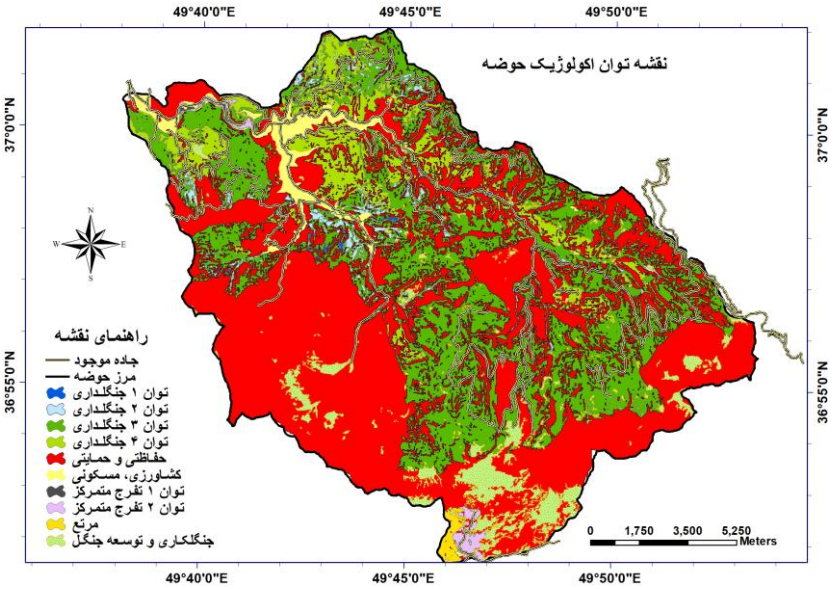
شکل ۳. نقشه واحدهای واکنش هیدرولوژیکی (HRU) حوزهٔ آبخیز ۲۳ ذیلکی‌رود

جدول ۲. شاخص‌های مؤثر در برآورد شاخص‌های آسیب‌پذیر حوزهٔ آبخیز ۲۳ ذیلکی‌رود

ردیف	نام شاخص	مقدار بهینه	مقدار حداقل	مقدار حداکثر
۱	R__CN2.mgt	۰/۱۴۳	−۰/۰۴۹	۰/۲۵۵
۲	V__ALPHA_BF.gw	۰/۳۱۰	−۰/۲۱۱	۰/۵۹۸
۳	V__GW_DELAY.gw	۱۸۷/۱۸۳	۱۴۰/۸۸۴	۳۶۵/۳۶۶
۴	V__GWQMN.gw	۰/۹۱۷	۰/۴۷۸	۱/۴۹۷
۵	V__GW_REVAP.gw	۰/۰۶۷	−۰/۰۰۸	۰/۱۳۱
۶	V__ESCO.hru	۰/۸۲۶	۰/۷۹۲	۰/۹۳۱
۷	V__CH_N2.rte	−۰/۱۱۴	−۰/۱۴۲	۰/۱۵۳
۸	V__CH_K2.rte	۵۴/۵۹۸	۳۸/۷۹۱	۱۰۷/۱۴۶
۹	V__ALPHA_BNK.rte	۰/۵۳۷	۰/۲۲۰	۰/۷۴۲
۱۰	R__SOL_AWC(3-6).sol	۰/۲۷۸	−۰/۰۲۷	۰/۳۲۴
۱۱	R__SOL_K(3-6).sol	−۰/۰۰۵۸	−۰/۱۱۷	۱/۲۵۸
۱۲	R__SOL_BD(3-6).sol	۱/۰۱۹	۰/۰۱۰۴	۱/۰۳۸
۱۳	V__SFTMP.bsn	۲/۲۴۴	−۱/۹۸۶	۴/۱۱۱
۱۴	R__AUTO_EFF{..}.mgt	۰/۴۶۹	۰/۳۱۱	۰/۵۳۴
۱۵	R__CN2(3-6).mgt	۰/۱۲۰	−۰/۰۰۱۸	۰/۳۹۷
۱۶	R__SOL_AWC(3-6).sol	−۰/۱۲۲	−۰/۲۰۱	۰/۰۰۰۲
۱۷	R__SOL_K(3-6).sol	−۰/۱۰۴	−۰/۳۱۸	۰/۶۵۸
۱۸	R__SOL_BD(3-6).sol	۰/۳۱۵	−۰/۰۵۸	۰/۸۳۲
۱۹	A__GWQMN.gw	۲۶/۰۲۸	۹/۷۲۵	۲۹/۳۳۷
۲۰	A__GW_REVAP.gw	−۰/۰۳۱	−۰/۰۸۲	−۰/۰۲۷
۲۱	V__REVAPMN.gw	۲/۸۷۱	−۴/۱۷۳	۵/۲۹۸
۲۲	A__ESCO.hru	۰/۲۱۵	۰/۰۹۳	۰/۲۷۹
۲۳	R__HRU_SLP.hru	۰/۰۹۳	۰/۰۴۰	۰/۱۴۷

براساس نتایج آنالیز حساسیت و واسنجی شاخص‌های آسیب‌پذیر شبیه‌سازی‌شدهٔ هیدرولوژیکی حوضه، شاخص‌های شمارهٔ منحنی در شرایط رطوبتی متوسط (CN2)، شیب واحدهای HRU (HRU_SLP)، ضریب زبری مانینگ آبراهه‌ها و زهکش‌ها (CH_N2)، شاخص‌های چگالی خاک در حالت مرطوب (SOL_BD)، ضریب α آب پایه برای ذخیره‌سازی ساحلی زهکش‌ها و آبراهه‌های حوضه (ALPHA_BNK)، حداقل مقدار ذخیرهٔ آب لازم در سفره برای شروع تبخیر از آن (Revapmn) و زمان تأخیر انتقال آب به سطوح زیرین (GW_DELAY) از شاخص‌های بسیار مهم در تعیین مقدار بار رسوب و رواناب شناخته شدند.

ج) نتایج این تحقیق نشان داد که حوزهٔ آبخیز ۲۳ ذیلکی‌رود با توجه به مقیاس کار (۱:۲۵۰۰۰)، قابلیت مدیریت برای تولید چوب (توان ۱ جنگلداری، توان ۲ جنگلداری، توان ۳ جنگلداری و توان ۴ جنگلداری)، جنگلکاری و توسعه جنگل، تفرج متمرکز (توان ۱ اکوتوریسم متمرکز و توان ۲ اکوتوریسم متمرکز) و در نهایت کاربری حفاظتی و حمایتی، در نقش حمایت از دیگر اراضی حوضه را داراست. شکل ۴ و جدول ۳ مساحت و درصد طبقات مختلف کاربری‌ها را با توجه به مدل ویژه هر کاربری نشان می‌دهد.



شکل ۴. نقشهٔ توان طبقات کاربری‌های مختلف حوزهٔ آبخیز ۲۳ ذیلکی‌رود

جدول ۳. توان طبقات کاربری‌های مختلف حوزهٔ آبخیز ۲۳ ذیلکی‌رود

درجهٔ توان کاربری	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
توان ۱ جنگلداری	۲۳/۲۸	۰/۰۱
توان ۲ جنگلداری	۳۶۴/۰۴	۱/۵۳
توان ۳ جنگلداری	۶۹۴۰/۷۲	۲۹/۰۸
توان ۴ جنگلداری	۲۰۹۲/۶	۸/۷۷
توان حفاظتی و حمایتی	۱۲۳۹۲/۴۴	۵۲
توان جنگلکاری و توسعهٔ جنگل	۱۱۵۶/۱۲	۴/۸۴
توان ۱ اکوتوریسم	۸/۸۴	۰/۰۴
توان ۲ اکوتوریسم	۱۵۶/۹۲	۰/۶۶
سایر	۷۳۲/۰۸	۳/۰۷

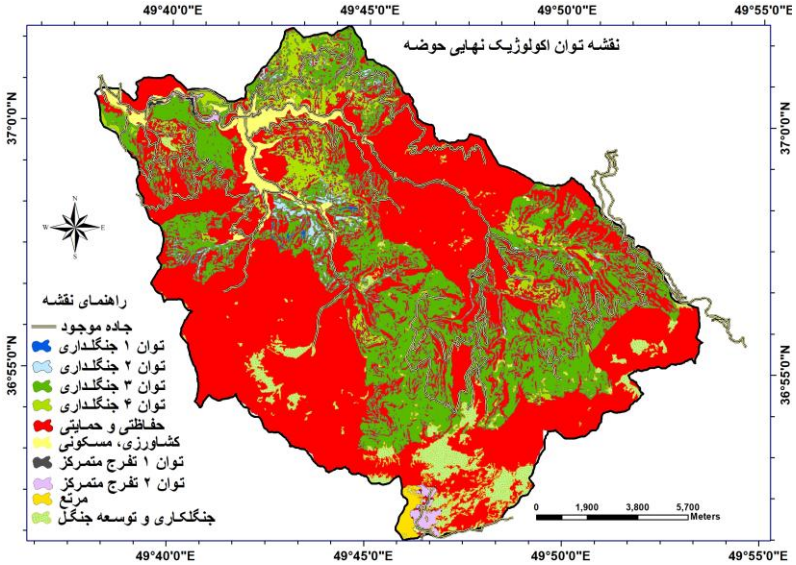
د) جدول ۴، HRUهای آسیب‌پذیر با شاخص‌های هیدرولوژیکی تولید رواناب، نفوذ آب زیرزمینی، بار رسوب و محصول قابل برداشت در حوزهٔ آبخیز ذیلکی‌رود را نشان می‌دهد. واحدهای واکنش هیدرولوژیکی دارای تولید رواناب و رسوب زیاد و دارای توان طبقات ۲، ۳ و ۴ جنگلداری با شماره‌های زیر، حساس به دخالت و بهره‌برداری جنگل‌اند و هرگونه دخالت سبب افزایش رواناب، تخریب عرصه و تولید سیلاب خواهد شد. HRUهای حساس دارای قدرت نفوذپذیری کم و رویشگاه‌های ضعیف دارای توان برداشت محصول خیلی کم نیز بسیار حساس به بهره‌برداری است و هر گونه دخالت ضمن کاهش تاج‌پوشش و کاهش تبخیر و تعرق از طریق ساقاب و برگاب، سبب افزایش رواناب و تخریب واحدهای واکنش هیدرولوژیکی خواهد شد.

ه) با سنجش آسیب‌پذیری واحدهای HRU در مقابل تخریب ناشی از بهره‌برداری با شاخص‌های هیدرولوژیکی ذکرشده و تخصیص نهایی HRUهای حساس به کاربری حفاظت و حمایت، کاربری‌های سازگار حوضه به‌دست آمد. جدول ۵ و شکل ۵ توان طبقات کاربری‌های سازگار حوزهٔ آبخیز ذیلکی‌رود را نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد که طبقات توان ۲، ۳ و ۴ جنگلداری و توان ۲ اکوتوریسم به‌ترتیب با مساحت ۲۰۸/۴۴، ۶۲۰۱/۴، ۱۳۰۹/۵۲ و ۱۵۱/۴۸ هکتار، نسبت به تعیین توان کاربری‌ها با مدل ویژه کاهش سطح دارند و کاربری‌های حفاظتی و حمایتی، جنگلکاری و توسعهٔ جنگل با مساحت‌های ۱۴۰۸۳ و ۱۱۵۷ هکتار، دارای افزایش سطح‌اند.

جدول ۴. HRUهای آسیب‌پذیر حوزهٔ آبخیز ۲۳ ذیلکی‌رود*

معیار آسیب‌پذیری	شمارهٔ HRU
300=< SURQGENmm	۳۰۰۰۷ – ۳۰۰۰۹ – ۴۰۰۱۶ –۴۰۰۱۷ – ۵۰۰۱۹ – ۵۰۰۲۰ – ۵۰۰۲۲ – ۵۰۰۲۶ – ۵۰۰۲۷ – ۵۰۰۲۹ – ۵۰۰۳۲
۱۰۰=>GWQmm	۳۰۰۰۹ – ۴۰۰۱۶ – ۵۰۰۲۰ – ۵۰۰۲۲ – ۵۰۰۲۹
۴ =< SEDth	۳۰۰۰۶ – ۴۰۰۱۴ – ۵۰۰۲۶ – ۷۰۰۱۴ – ۱۰۰۰۱۲ – ۱۰۰۰۱۳ – ۱۵۰۰۱۲ – ۱۵۰۰۱۴ – ۱۶۰۰۰۳ – ۱۸۰۰۰۸ – ۲۰۰۰۰۲
0/01=> YLDth	۳۰۰۰۴ – ۳۰۰۰۶ – ۴۰۰۱۳ – ۴۰۰۱۴ – ۷۰۰۱۴ – ۷۰۰۱۵ – ۷۰۰۱۶ – ۱۰۰۰۱۲ – ۱۰۰۰۱۳ – ۱۱۰۰۱۹ – ۱۱۰۰۲۰ – ۱۲۰۰۰۲ – ۱۲۰۰۰۳ – ۱۵۰۰۱۲ – ۱۵۰۰۱۴ – ۱۶۰۰۰۲ – ۱۶۰۰۰۳ – ۱۸۰۰۰۶ – ۱۸۰۰۰۸ – ۲۰۰۰۰۲ – ۲۰۰۰۰۳

*رقم سمت چپ شمارهٔ زیرحوضه و رقم سمت راست شمارهٔ HRU در زیرحوضه



شکل ۵. نقشهٔ نهایی توان طبقات کاربری‌های سازگار حوزهٔ آبخیز ۲۳ ذیلکی‌رود

جدول ۵. جدول نهایی توان طبقات کاربری‌های سازگار حوزهٔ آبخیز ۲۳ ذیلکی‌رود

درجهٔ توان کاربری	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
توان ۱ جنگلداری	۲۳/۲۸	۰/۰۱
توان ۲ جنگلداری	۲۴۷/۶۸	۱/۰۴
توان ۳ جنگلداری	۶۰۴۶/۵۶	۲۵/۳۳
توان ۴ جنگلداری	۱۴۰۱/۸۴	۵/۸۷
توان حفاظتی و حمایتی	۱۴۰۹۴/۶۸	۵۹/۱۶
توان جنگلکاری و توسعهٔ جنگل	۱۱۵۷/۴۴	۴/۸۴
توان ۱ اکوتوریسم	۸/۸۴	۰/۰۴
توان ۲ اکوتوریسم	۱۵۱/۴۸	۰/۶۳
سایر	۷۳۵/۲۴	۳/۰۸

با مقایسهٔ دو نقشه، توان اکولوژیک حوضه مشخص شد. در ارزیابی توان اکولوژیک ویژه براساس واحدهای HRU با سنجش آسیب‌پذیری نهایی واحدهای HRU در مقابل تخریب ناشی از بهره‌برداری با شاخص‌های هیدرولوژیکی، نسبت به مدل اکولوژیک ویژهٔ مبتنی بر روش تجزیه‌وتحلیل سیستمی، دقت بیشتری در جزئیات پایداری اکوسیستم و هماهنگی بیشتری با واقعیت زمینی دارد و ۱۷۰۶/۷۲ هکتار از عرصه‌های کاربری توان ۲، ۳ و ۴ جنگلداری و توان ۲ اکوتوریسم به کاربری حفاظتی و حمایتی لحاظ شد. این نتیجه با یافته‌های Sunandar و همکاران [۱۲] تأیید می‌شود. آنان بیان داشتند که کاهش فرسایش حوضه می‌تواند بدون کاهش تولید آب، با افزایش جنگلکاری و تغییر در مدیریت اراضی جنگلی در شبیه‌سازی مدل SWAT به‌دست آید.

یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که شاخص‌های شمارهٔ منحنی در شرایط رطوبتی متوسط (CN2)، شیب واحدهای HRU (HRU_SLP)، ضریب مانینگ آبراهه‌ها و زهکش‌ها (CH_N2)، شاخص‌های چگالی خاک در حالت مرطوب (SOL_BD)، ضریب α آب پایه برای ذخیره‌سازی ساحلی زهکش‌ها و آبراهه‌های حوضه (ALPHA_BNK) و زمان تأخیر انتقال آب به سطوح زیرین (GW_DELAY) از شاخص‌های بسیار مهم در تعیین مقدار بار رسوب و رواناب حوضه‌اند. این نتایج با یافته‌های Kushwaha و همکاران [۱۶] متفاوت است. آنان شش شاخص حساس و مؤثر در رواناب و رسوب حوضه را حداقل مقدار ذخیرهٔ آب لازم در سفره برای رویداد جریان پایه (GWQMN)، ضریب تبخیر خاک (ESCO)، ظرفیت آب در دسترس خاک (SOL_AWC)، هدایت هیدرولیکی خاک (SOL_K)، عمق خاک (SOL_Z) و شمارهٔ منحنی در شرایط رطوبتی متوسط (CN2) ذکر کردند. نتایج این تحقیق با یافته‌های Tibebe و همکاران [۱۷] مطابقت دارد. آنان بیان کردند که شاخص‌های عامل چگالی خاک در حالت مرطوب (SOL_BD) و شمارهٔ منحنی (CN2) حساس‌ترین شاخص‌ها در تعیین مقدار دبی رواناب خروجی از حوضه‌اند. شاخص‌های حساس نشان می‌دهند که تولید رواناب سطحی در بخش‌هایی از حوزهٔ آبخیز ذیلکی‌رود با خاک سنگین با رس زیاد و با ظرفیت نفوذپذیری کم و نیز مناطق پرشیب، زیادتر است.

از نظر متخصصان علوم جنگل، هدف اول و درازمدت ارزیابی توان اکولوژیک، حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی و تضمین پایداری آنهاست. در گذشته در این حوضه، به‌طور کامل از توان بالقوهٔ سرزمین برای انواع کاربری استفاده نشده است و بین کاربری‌های فعلی حوضه و توان اکولوژیکی آن تفاوت‌های فاحشی وجود دارد. به‌عنوان مثال با وجود توان حفاظتی و حمایتی در زیرحوضهٔ ۵، متأسفانه در گذشته، برداشت نواری با شدت زیاد و در امتداد شیب انجام گرفته و

سبب افزایش رواناب و تخریب شدید خاک و فرسایش حتی خندقی و گالی شدن نوارهای برداشت شده است. افزایش رواناب، سبب کاهش ظرفیت نگهداری آب در خاک، افزایش سرعت جریان‌های سطحی و فرسایش خاک می‌شود [۱]. پوشش گیاهی تأثیر زیادی در تعادل آب حوزه آبخیز دارد. مسیرهای چوبکشی و کاهش پوشش گیاهی، عامل اصلی افزایش رواناب در جنگل‌های طبیعی‌اند [۱۸]، در شرایطی که کف جنگل تحت عملیات چوبکشی بوده و خاک معدنی ظاهر شده باشد، نفوذ آب در خاک در مناطق تخریب‌شده و فشرده‌شده کاهش می‌یابد [۱۹].

نتیجه‌گیری

واحدهای واکنش هیدرولوژیکی ترکیبی از عامل‌های شیب، خاک و کاربری اراضی منطقه است. این واحدها، واحد اصلی شبیه‌سازی شاخص‌های هیدرولوژیکی در ارزیابی آب و خاک هستند. ازآنجا که عامل‌های شیب، خاک و کاربری اراضی بیشترین تنوع را در سطح منطقه دارند و بیشترین محدودیت را سبب می‌شوند، استفاده از واحدهای واکنش هیدرولوژیکی برای طبقه‌بندی توان اکولوژیک کاربری‌ها و شبیه‌سازی شاخص‌های مدیریتی بسیار مناسب است. SWAT-CUP ابزار بسیار مناسبی در بهینه‌سازی شاخص‌های مؤثر در تعیین مقدار بار رسوب و رواناب از طریق واسنجی و اعتبارسنجی و تحلیل حساسیت آنهاست. با بهینه‌سازی شاخص‌های مؤثر در شبیه‌سازی SWAT، عامل‌های هیدرولوژیکی و مهم‌تر از همه رشد گیاهان و روش‌های مدیریتی در هر واحد واکنش هیدرولوژیکی محاسبه می‌شود که امکان ارزیابی آسیب‌پذیری کمّی کاربری را در حین تعیین توان بالقوه فراهم می‌کند و مانع وارد آمدن خسارت‌های محیط زیستی و هدررفت منابع در گذر زمان می‌شود. بنابراین، واحدهای واکنش هیدرولوژیکی ابزار بسیار مناسبی برای ارزیابی توان سرزمین است.

References

[1]. Zhang, M.F., Wei, X., Sun, P., and Liu, S. (2012). The effect of forest harvesting and climatic variability on runoff in a large watershed: The case study in the Upper Minjiang River of Yangtze River basin. Journal of Hydrology, 464: 1–11.

[2]. Fares, S., Mugnozza, G.S., Corona, P., and Palahí, M. (2015). Sustainability: Five steps for managing Europe's forests. Nature, 519(7544): 407–409.

[3]. Tognetti, R., Mugnozza, G.S., and Hofer, T. (2017). Mountain Watersheds and Ecosystem Services: Balancing multiple demands of forest management in head-watersheds. European Forest Institute Yliopistokatu 6, FI-80100 Joensuu Finland http://www.efi.int.

[4]. Jahani, A., Makhdoum, M., Feghhi, J., and Etemad, V. (2011). Land use planning for forest management for multiple use (Harvesting, Ecotourism and Protection) (Case study: Patom district of Kheyrud forest). Town and Country Planning, 3(5): 33–49.

[5]. Pasaribu, R., Hakim, A., Yanuwiadi, B., and Afandhi, A. (2018). Sustainable Forest Planning: (Case Study Production Forest in Banten Province). Resources and Environment, 8(2): 59–67.

[6]. Tarigan, S., Wiegand, K., Sunarti, S., and Slamet, B. (2018). Minimum forest cover required for sustainable water flow regulation of a watershed: a case study in Jambi Province, Indonesia. Hydrology and Earth System Science, 22(1): 581–594.

[7]. Makhdoum, M. (2014). Fundamental of land use planning. University of Tehran Press, 15th edition, 271pp.

[8]. Makhdoum, M., Darvish Sefat, A.A., Jaafarzadeh, H., and Makhdoum, A. (2013). Environment assessment and planning using GIS. University of Tehran Press, 7th edition, 278pp.

[9]. Maleknia, R., Feghhi, J., Makhdoum, M., Zobeiri, M., and Marvi Mohadjer, M.R. (2011). Developing of a specific model for ecological capability evaluation for strategic forest planning in Kheyrud forest. Environmental Researches, 1(2): 13–18.

[10]. Baker, A. (2003). Land use and water quality. Hydrological Processes, 17: 2499–2501.

[11]. Zhang, L., Nan, Z., Xu, Y., and Li, S. (2016). Hydrological impacts of land use change and climate variability in the Headwater region of the Heihe River Basin, Northwest China. PLoS ONE, 11(6): e0158394.

[12]. Sunandar, A.D., Suhendang, E., Hendrayanto, I., and Jaya, N.S. (2014). Land use optimization in Asahan Watershed with linear programming and SWAT model. International Journal of Sciences: Basic and Applied Research, 18(1): 63–78.

[13]. Xiaobo, J. (2008). Impacts of land cover changes on runoff and sediment in the Cedar Creek Watershed, St. Joseph River, Indiana, United States. Journal of Mountain Science, 5(2): 113–121.

[14]. Karami, O., Hosseini Nasr, S.M., Jalilvand, H., and Miryaghobzadeh, M. (2011). Study and evaluation of spatial and ecological capabilities in Babolrood basin using geographic information system (GIS). Town and Country Planning, 3(5): 51–70.

[15]. Dehdar Dargahi, M., and Makhdoum, M. (2000). Land use planning for forest catchment of Arasbaran. Environmental Studies, 26(6): 25–34.

[16]. Kushwaha, A., and Jain, M.K. (2013). Hydrological simulation in a forest dominated watershed in Himalayan Region using SWAT Model. Water Resource Management, 27(8): 3005–3023.

[17]. Tibebe, D., and Bewket, W. (2010). Surface runoff and soil erosion estimation using the SWAT model in the Keleta watershed, Ethiopia. Land Degradation and Development, 22(6): 551–564.

[18]. Jouriz, S., Jourgholami, M., and Malekian, A. (2018). Environmental impact of forest harvesting operations on runoff in skid trails (case study: Kheyrud Forest). Journal of Natural Environment, 70(4): 813–828.

[19]. Stednick, J.D. (1996). Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. Journal of Hydrology, 176(1-4): 79–95.

Determination of ecological capacity of applications based on hydrological response units and vulnerability assessment for sustainable harvesting of (Case study: Zailakirood Basin in Guilan province) forest watersheds

A. Kazemi Talkouei; Ph.D. Student of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

M. Jourgholami*; Assoc. Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

J. Feghhi; Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

(Received: 31 May 2018, Accepted: 26 December 2018)

ABSTRACT

The aim of this study was to provide a multi-factor ecological power model based on the ecological factors of hydrological response units in order to assess the ecological potential of different uses in the Zailakirood Basin, northern Iran. First, by employing ArcSWAT, 608 units of hydrologic responses in 39197 independent polygons were found in the study area. Then, by measuring the hydrological response units using special ecological capability models, the yield of the studied lands was measured in terms of production, quality of vulnerability and management requirements. In the next step, the final vulnerability of the hydrological response units to the degradation caused by the forest utilization was quantified by hydrological indicators. In order to evaluate the hydrologic indices, using the SWAT model, calibration and sensitivity analysis, the effective parameters for runoff and sediment simulation were obtained. In each hydrological response unit, the numerical value of the hydrologic indices was estimated, then the hydrological response units with the capability of producing sediments more than the determined limit of the index was changed to protective and supportive usage. So that, the usage of potential of utilization 1 of forestry and centralized ecotourism capacity 1 remained without changing in the area, potential of utilization 2,3 and 4 of forestry and centralized ecotourism capacity 2 decreased in the area. Finally protection and supportive function with an area of 14083 ha increased. Since slope, soil and land use have the highest variations in the region and cause the most limitations, application of hydrological response units for classifying the ecological capacity usage and simulating the parameters of management allow quantitative vulnerability assessment is considered as a perfect tool for assessing the capacity of the land.

Keywords: Ecosystem performance, Hydrologic indexes, Quantitative vulnerability, Hydrologic response unit.

* Corresponding Author, Email: mjgholami@ut.ac.ir, Tel: +982632249312