Arch

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره چهارم، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.14361.2910

بررسی خدمت اکوسیستم تولید آب با استفاده از نرم‌افزار InVEST (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دلیچای)

***مهرناز حقدادی[۱]، غلامعلی حشمتی[۲] و مژگان سادات عظیمی[۳]**

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مدیریت مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]استاد گروه مدیریت مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]استادیار گروه مدیریت مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۳۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: مزایای متعددی که انسان‌ها از اکوسیستم‌ها به‌دست می‌آورند را خدمات اکوسیستم می‌نامند. این خدمات دارای طیف گسترده‌ای هستند و یکی از باارزش‌ترین آن‌ها خدمات تولید آب است. تولید آب به معنای مجموع میانگین بلندمدت جریان سالانه رودخانه‌ها و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی به‌وسیله بارش می‌باشد. با توجه به بهره‌برداری‌های مختلف از اراضی و تفاوت در میزان تولید آب در هر یک از این کاربری‌ها برآورد و پیش‌بینی تولید آب هر یک از این اراضی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی و نقشه‌سازی میزان تولید آب در کاربری‌های مختلف اراضی از جمله مرتع، کشاورزی، مناطق مسکونی، زمین بایر و ذخیره‌گاه ارس است تا بتوان به‌وسیله آن تصمیمات مدیریتی مناسب‌تر در راستای توان منطقه اتخاذ کرد و توان هر کاربری اراضی در میزان تولید آب را مشخص کرد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در حوزه آبخیز دلیچای که از زیرحوزه‌های شمالی حوزه آبخیز حبله‌رود واقع در استان تهران است، انجام شد. تولید رواناب در این مدل بر پایه منحنی بادیکو محاسبه گردید که در واقع میزان رواناب هر پیکسل را از بارش منهای بخشی از آب که تبخیر و تعرق می‌شود، مشخص می‌کند. داده‌های مورد نیاز این مدل شامل نقشه‌های مرز حوزه، بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل، عمق خاک، آب قابل دسترس گیاه و کاربری‌های اراضی و پوشش گیاهی و همچنین یک جدول خصوصیات بیوفیزیکی می‌باشد که در نرم‌افزار InVEST 3.3.2 وارد شده و به‌وسیله آن به مدل و نقشه‌سازی میزان تولید آب پرداخته شد.

یافته‌ها: پس از وارد کردن داده‌های مورد نیاز مدل و همچنین مقایسه نتایج اولیه به‌دست آمده با داده‌های واقعی در خروجی حوزه، اقدام به کالیبراسیون مدل توسط پارامتر هیدروژئولوژیکی Z گردید و در نهایت نتایج نهایی پس از کالیبراسیون به‌دست آمد. طبق نتایج میزان تولید رواناب در کل حوزه آبخیز دلیچای به‌طور سالانه حدود ۴۲ میلیون مترمکعب است. نتایج مربوط به کاربری‌های مختلف نشان‌دهنده این است که بیش‌ترین میزان تولید رواناب در

* مسئول مکاتبه: mehrnaz.haghdadi@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

کاربری‌ها با مقدار ۲۹۲۳/۹۹۲ مترمکعب در هکتار مربوط به زمین‌های بایر بوده و پس از آن کاربری مناطق مسکونی و مرتع با مقدار ۲۳۷۰/٤۰۸ و ۱۲٦۳/۳٦ مترمکعب در هکتار به‌ترتیب بیش‌ترین مقدار را داشتند. همچنین کم‌ترین میزان تولید رواناب مربوط به ذخیره‌گاه ارس با مقدار ٤٥۹/۰٤ مترمکعب در هکتار بوده است.

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 اکوسیستم را نقشه‌سازی کرد و در تصمیمات مدیریتی از آن استفاده کرد. عوامل فیزیوگرافی و اقلیمی تأثیر فراوانی بر میزان تولید رواناب در سطح حوزه آبخیز دارند که می‌توان از بین این عوامل ارتفاع و بارش را تأثیرگذارترین آن‌ها نامید. البته نباید از تأثیر نوع پوشش گیاهی و میزان آن نیز بر تولید رواناب چشم‌پوشی کرد. بنابراین با توجه به اهمیت فراهم‌سازی آب و مشکلات موجود در تامین آب برای مردم ساکن در منطقه با استفاده از این مدل یا سایر مدل‌ها می‌توان برآورد نسبی از میزان رواناب جاری شده و نقش پوشش گیاهی در کاهش آن داشت.

واژه‌های کلیدی: تولید آب، خدمات اکوسیستم، کاربری اراضی، مدل InVEST

مقدمه

انسان‌ها فواید متنوعی در قالب خدمات اکوسیستم از محیط زیست به‌دست می‌آورند (۱٥). خدمات اکوسیستم توسط افراد مختلف در بخش‌های گوناگون از جمله سازمان‌های دولتی، بخش‌های غیردولتی، شرکت‌های خصوصی، NGO[1] ها شناسایی شده‌اند (۱۳، ۱۹، ۲۷ و ٤۱). طبق چارچوب پیشنهادی پایش اکوسیستم هزاره (۲۰۰٥) منظور از ایجاد این خدمات، برقراری ارتباط با رفاه انسانی در چهار طبقه خدمات فراهم‌سازی، حمایتی، تنظیمی و فرهنگی است. خدمات فراهم‌سازی تولیداتی هستند که توسط اکوسیستم‌ها فراهم می‌شوند و بسیاری از این تولیدات به‌طور مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرند و معمولاً برای آن‌ها بازار وجود دارد.

یکی از با ارزش‌ترین خدمات فراهم‌سازی اکوسیستم‌ها تولید آب است (۹). تولید آب طبیعی به معنی مجموع میانگین بلندمدت جریان سالانه رودخانه‌ها و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی به‌وسیله بارش می‌باشد (۱۷). این خدمت اکوسیستمی اغلب در اکوسیستم‌های خشکی تنظیم می‌شود (۸) و ارائه آن به خصوصیات حوزه آبخیز مانند توپوگرافی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی، اقلیم و دیگر پارامترهای حاکم بر ارائه خدمات بستگی دارد (۱٤). تقاضا برای آب در اثر افزایش جمعیت جهان و فعالیت‌های اقتصادی- اجتماعی به‌خصوص در مناطقی که آب در آن به سختی یافت می‌شود رو به افزایش است (۳۰). همچنین مطالعه مقوله آب به‌علت عدم وجود تشکیلات منسجم به‌منظور ثبت تغییرات سیستم هیدرولوژیکی، قرار گرفتن کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک، وضعیت بحرانی برداشت آب‌های زیرزمینی و لزوم توجه بیش‌تر به آب‌های سطحی، دلایل بیش‌تر و ظریف‌تری می‌باشد که به مقوله شبیه‌سازی و پیش‌بینی جلوه و نمودی کامل‌تر می‌بخشد (۳٦). از این‌رو مطالعه و برآورد آبی که در اکوسیستم‌های طبیعی مانند مراتع و جنگل‌ها تولید می‌شوند از اهمیت بالایی برخوردار است.

1- Non-Governmental Organization

www.SID.ir

Archive of SID

در سال‌های اخیر در ایران پژوهش‌هایی در زمینه خدمات اکوسیستم‌های طبیعی صورت گرفته است، اما بیش‌تر این پژوهش‌ها در اکوسیستم‌های جنگلی و به‌ویژه جنگل‌های هیرکانی شمال ایران انجام شده و پژوهش‌های زیادی در مراتع انجام نشده است (۳۱). این در حالی است که مراتع در ایران با پوشش حدود ۵۵ درصد سطح کشور (۳۱) و همچنین ۷۰٪ از سطح خشکی‌های کره زمین (۲۸) وسیع‌ترین اکوسیستم کشور و کره زمین قلمداد می‌شوند. ارزیابی وضعیت اکوسیستم‌های مرتعی از نظر تولید خدمات اکوسیستمی مختلف برای بهره‌برداران اکوسیستم‌ها (دامداران یا ساکنین محلی) از اهمیت بالایی برخوردار بوده است. سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور بیان می‌کند که تنها ۲۵ درصد ارزش هر هکتار مرتع مربوط به تولید علوفه است و ۷۵ درصد دیگر به ارزش‌های محیط زیستی دیگر ارتباط دارد.

برای ترکیب خدمات اکوسیستم‌ها با تصمیم‌گیری‌ها و اقدامات، نیاز به نقشه‌برداری و اندازه‌گیری دقیق خدمات اکوسیستم می‌باشد (۲۹). تعداد مطالعاتی که به نقشه‌سازی خدمات اکوسیستم می‌پردازند به‌طور قابل‌توجهی رو به افزایش است (۱۶ و ۲۶). از این‌رو ابزارها و مدل‌هایی با توان فراهم‌سازی اطلاعات برای تصمیم‌گیران به‌وجود آمده تا بتوانند تأثیرات مدیریت کاربری‌ها را بر تغییرات خدمات بررسی کنند (۱۸، ۲۹ و ۳۵). با توجه به اهمیت خدمات اکوسیستمی مربوط به آب، ابزارها و مدل‌های مختلفی برای مطالعه و بررسی این خدمات توسعه‌یافته تا به کمک آن‌ها تصمیماتی مناسب برای مدیریت اکوسیستم‌ها اتخاذ شود. ردهد و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند که این ابزارها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: ابزارهای سنتی هیدرولوژیک مانند SWAT[1] (۳)، VIC[2] (۲۴) و PRMS[3] (۲۲) که روی محرک‌های خدمات اکوسیستم تمرکز دارند و برای ارزیابی خدمات اکوسیستم نیاز به پردازش دارند؛ و ابزارهای مختص خدمات اکوسیستم از جمله InVEST[4] (۳۶) و ARIES[5] (۴۰) که بر روی خدمات نهایی اکوسیستم تمرکز دارند و به نقشه‌سازی خدمات می‌پردازند.

در این پژوهش برای محاسبه میزان تولید آب از InVEST 3.3.2 استفاده شده است زیرا این ابزار از روابط ساده و شناخته شده هیدرولوژیکی استفاده می‌کند و با توجه به محدودیت وجود داده‌های اولیه و همچنین هدف مطالعه بیش‌ترین کارایی را دارد. InVEST مجموعه‌ای نرم‌افزاری از مدل‌ها با منبع باز است که توسط دانشگاه استنفرد[6] و WWF[7] و Nature Conservancy توسعه‌یافته و برای نقشه‌سازی و ارزشیابی خدمات ارائه شده توسط اکوسیستم زمین و مناظر دریایی به‌کار می‌رود. این نرم‌افزار از داده‌های زیست‌محیطی استفاده می‌کند تا چگونگی تغییرات در اکوسیستم‌ها و تأثیر آن‌ها بر مزایایی که به مردم می‌رسد را برآورد کند (راهنمای InVEST). این ابزار تا امروز به‌طور گسترده‌ای در سراسر دنیا در پژوهش‌ها و برنامه‌های مدیریتی متنوع به‌کار گرفته شده است (۵، ۶، ۷، ۲۳ و ۴۵) و مورد آنالیز و ارزیابی قرار گرفته است (۲۰، ۳۲، ۳۷ و ۳۹). در ایران نیز از InVEST برای ارزیابی خدمات اکوسیستم استفاده شده که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های خسروی (۲۰۱۴)، اسدالهی و همکاران (۲۰۱۷) و زرندیان و همکاران (۲۰۱۷) اشاره کرد (۳ و ۴۴).

بنابر اهمیت روزافزون تولید آب از گذشته تا به امروز و فشار زیادی که در اثر تغییرات کاربری

1- Soil and Water Assessment Tool
2- Variable Infiltration Capacity

3- Precipitation Runoff Modeling System
4- Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs
5- Artificial Intelligence for Ecosystem Services
6- Stanford University
7- World Wide Fund for Nature

www.SID.ir

Archive of SID

اراضی، افزایش جمعیت و تصمیمات مدیریتی بر منابع آب وارد می‌شود، ارزیابی این خدمت اکوسیستمی از اهمیت بالایی برخوردار است. بر خلاف مطالعات دیگر که اکثراً به تولید آب در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت برای تعیین میزان دبی و مطالعات مربوط به سیل پرداخته‌اند، در این مطالعه تولید آب در مقیاس سالانه در هر کاربری بررسی شد. بنابراین هدف از این مطالعه اندازه‌گیری و نقشه‌سازی میزان تولید آب در کاربری‌های مختلف است تا بتوان به‌وسیله آن تصمیمات مدیریتی مناسب‌تر در راستای توان منطقه اتخاذ کرد و توان هر تیپ گیاهی در میزان تولید آب را مشخص کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز دلیچای با مساحت ۳٤۰ کیلومترمربع از زیرحوزه‌های شمالی حوزه آبخیز حبله‌رود بوده و در محدوده جغرافیایی ″۱۹ ′۳٤ °۵۲ تا ″۲۱ ′۱۳ °۵۲ طول شرقی و ″۳۰ ′۳۱ °۳۵ تا ″۵۵ ′٤۵ °۳۵ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). از نظر تقسیمات سیاسی محدوده مورد مطالعه در شرق استان تهران بین دو شهرستان فیروزکوه و دماوند در شیب جنوبی رشته‌کوه البرز قرار دارد که ۲۱ روستا در آن واقع شده است. ارتفاع این حوزه ۱۵۰۰ تا ٤۰۰۰ متر از سطح دریا و ارتفاع متوسط آن ۲۷۵۰ متر است. میانگین بارندگی سالانه ۳۹۳ میلی‌متر، دمای متوسط سالانه ٦/۷ درجه سانتی‌گراد، میزان رطوبت نسبی متوسط سالانه ۷۱ درصد و جهت بادهای غالب، شمال‌غربی است. براساس روش آمبرژه این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک تا نیمه‌مرطوب است و بیش از ۸۵ درصد از آن را مراتع تشکیل داده‌اند. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه در جدول ۱ آوره شده است.

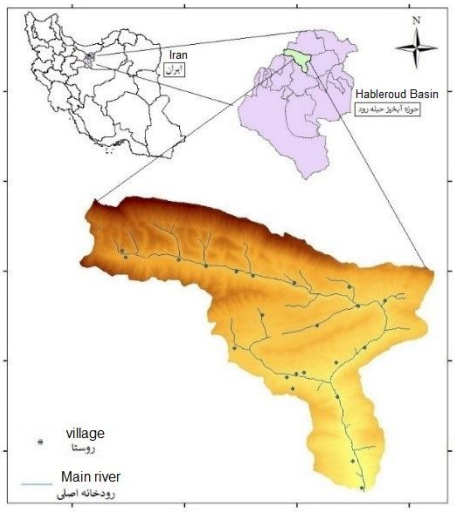
جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی.

Table 1. Characteristics of weather stations.

نام ایستگاه Station name	نوع ایستگاه Station type	ارتفاع (متر) Altitude	مختصات جغرافیایی Coordinates	
			x	y
یهر Yahar	بارانسنجی Rain station	2300	628166.83	3951599.614
سیمین‌دشت Simindasht	بارانسنجی Rain station	1440	637528.048	3931399.469
علی‌آباد Aliabad	بارانسنجی Rain station	2150	637071.597	3960978.329
نجفدر Najafdar	بارانسنجی Rain station	2400	620501.483	3960737.307
انزها Anzeha	بارانسنجی Rain station	1650	647954.758	3940811.844
همند آبسرد Hamand	کلیماتولوژی climatology	1950	598069.754	3945669.868
چشمه اعلا Cheshme ala	بارانسنجی Rain station	2170	596460.528	3954896.278

www.SID.ir

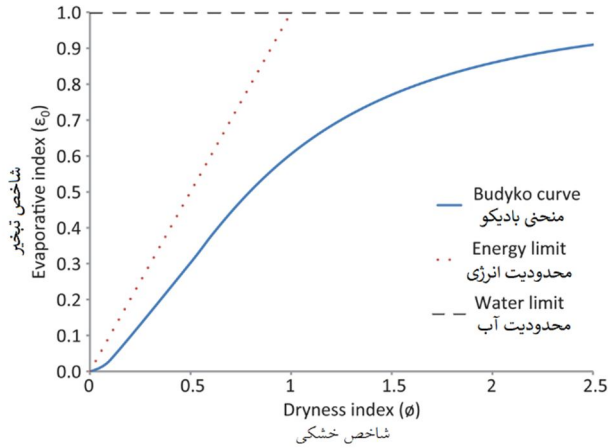
Archive of SID



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه.

Figure 1. Study area.

مدل تولید آب: برای تعیین میزان تولید آب در حوزه مورد مطالعه از مدل تولید آب موجود در مجموعه نرم‌افزاری InVEST 3.3.2 استفاده شد. مدل InVEST میزان آب را در نقاط مختلف یک چشم‌انداز تخمین می‌زند و نشان می‌دهد که چگونه تغییر در الگوی استفاده از زمین میزان تولید آب و عملکرد آن در بخش‌های مختلف را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. مدل تولید آب InVEST بر پایه منحنی بادیکو (۱۰) (شکل ۲) و طبق تعریف آن تولید آب میزان آبی است که از خروجی حوزه خارج می‌شود و از تفریق میزان بارش از تبخیر و تعرق و نفوذ سطحی حاصل می‌شود. منحنی بادیکو یک تابع تجربی است که ارتباط نسبت تبخیر و تعرق واقعی به بارش را نسبت به تبخیر و تعرق پتانسیل به بارش نشان می‌دهد (شکل ۲).



شکل ۲- منحنی بادیکو (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۱).

Figure 2. The Budyko curve (Zhang et al., 2001).

www.SID.ir

Archive of SID

تولید آب سالیانه $Y_{(x)}$ برای هر پیکسل از منطقه مورد مطالعه از طریق رابطه ۱ محاسبه می‌شود که در آن $AET_{(x)}$ تبخیر و تعرق واقعی سالیانه و $P_{(x)}$ بارش سالیانه است.

$$Y(x) = \left(1 - \frac{AET(x)}{P(x)}\right).P_{(x)} \qquad (۱)$$

نسبت تبخیر و تعرق از تعادل آبی منطقه با استفاده از رابطه ۲ برآورد می‌شود. $AET_{(xj)}/P_{(x)}$ یک تقریب از معادله بادیکو است که توسط ژانگ و همکاران (۲۰۰۱) بسط داده شده.

$$\frac{AET_{(xj)}}{P_{(x)}} = \frac{1+\omega_x R_{xj}}{1+\omega_x R_{xj}+1/R_{XJ}} \qquad (۲)$$

که در آن، R_{xj} شاخص خشکی بادیکو بدون واحد است که با توجه به نسبت تبخیر و تعرق به بارندگی تعریف می‌شود (۱۰). ω_x که با استفاده از رابطه ۳ تخمین زده می‌شود، یک پارامتر غیرفیزیکی است که به ویژگی‌های اقلیمی- خاک بستگی دارد و توسط ژانگ و همکاران (۲۰۰۱) ارائه شده است.

$$\omega_x = Z\frac{AWC_{(x)}}{P_{(x)}} + 1.25 \qquad (۳)$$

که در آن، AWC_x حجم آب قابل دسترس گیاه است و Z ضریب ژانگ است که با توجه به توزیع بارندگی ماهانه و عمق بارندگی بین ۱ تا ۱۰ متغیر است (٤٥). ضریب خشکی بادیکو نیز توسط رابطه ٤ برآورد می‌شود.

$$R_{xj} = \frac{K_{xj}.ETo_x}{P_{(x)}} \qquad (٤)$$

که در آن، ETo_x تبخیر و تعرق پتانسیل در پیکسل x است و k_{xj} ضریب تبخیر و تعرق گیاهان است. ETo_x یک شاخص مربوط به ویژگی‌های آب و هوا است و k_{xj} با استفاده از خصوصیات گیاهان تخمین زده می‌شود (۱). حجم آب قابل‌دسترس گیاه نیز با استفاده از رابطه ۵ برآورد می‌شود که در آن PAW ظرفیت آب قابل‌دسترس گیاه است.

$$AWC = \min\left(\text{عمق محدودکننده ریشه}\right) PAW \qquad (۵)$$

ورودی‌های مورد نیاز مدل: برای اجرای مدل نیاز به داده‌های مختلفی است که شامل نقشه‌های بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل، عمق محدودکننده ریشه، آب قابل‌دسترس گیاه، کاربری اراضی- پوشش گیاهی در قالب رستری، مرز حوزه و زیرحوزه‌ها در قالب وکتوری و همچنین جدول زیست فیزیکی با فرمت cvs. می‌شود.

براساس مدل رقومی ارتفاع (DEM[1]) و نقشه آبراهه‌ها و با استفاده از مدل SWAT مرز حوزه و زیرحوزه‌ها تعیین شد که طبق آن حوزه آبخیز دلیچای دارای ۹ زیرحوزه اصلی می‌باشد (شکل‌های ۳ و ٤). برای تهیه نقشه بارش، داده‌های مربوط به ٦ ایستگاه بارانسنجی و ۱ ایستگاه کلیماتولوژی برای ۱۵ سال از وزارت نیرو و سازمان هواشناسی جمع‌آوری شد و سپس برای دستیابی به بارندگی مناطق بدون ایستگاه و تبدیل داده‌های نقطه‌ای به پهنه، رابطه خطی بین بارندگی سالانه (P) و ارتفاع (Z) به‌دست آمد (رابطه ٦) و در نهایت میانگین بارش سالیانه به‌صورت نقشه بارش با فرمت رستری وارد مدل شد (شکل ۵). روش بلانی کریدل[2] با توجه به داده‌های موجود و در دسترس به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه انتخاب شد و سپس نقشه مربوط به تبخیر و تعرق تهیه گردید (شکل ٦). آب قابل‌دسترس گیاه مقدار آبی است که می‌تواند در پروفیل خاک ذخیره شود و برای استفاده گیاهان قابل‌دسترس است برای محاسبه این پارامتر و عمق خاک از اطلاعات پروفیل‌های حفر شده در منطقه و

1- Digital Elevation Model
2- Blanney-Criddle

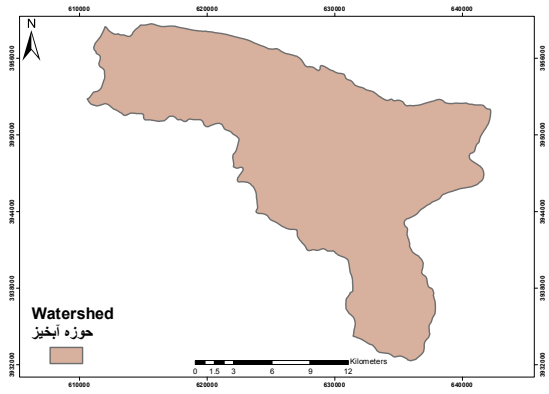
www.SID.ir

Archive of SID

داده‌های مربوط به بافت خاک (درصد شن، رس و سیلت) و همچنین اطلاعات موجود در مطالعات قبلی استفاده شد (شکل‌های ۷ و ۸) (٤). در نهایت برای تهیه نقشه کاربری اراضی- پوشش گیاهی (LULC[1]) از نقشه‌های تهیه شده در گزارش طرح آمایش سرزمین منطقه (۳٤) استفاده شد (شکل ۹). پس از تهیه نقشه‌ها، برای اجرای مدل یک جدول بیوفیزیکی و مقداری عددی برای پارامتر Z لازم است. جدول بیوفیزیکی منعکس‌کننده ویژگی‌های هر LULC می‌باشد و شامل کد، نام، حداکثر عمق ریشه دوانی به میلی‌متر، وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی (مقدار ۰ و ۱) و ضریب تبخیر و تعرق گیاه برای هر کاربری می‌شود. برای محاسبه حداکثر عمق ریشه‌دوانی از نتایج مطالعات اسکنک و جکسون (۲۰۰۲) و برای محاسبه ضریب تبخیر و تعرق گیاهان از نتایج آلن و همکاران (۱۹۹۸) و اطلاعات موجود در راهنمای InVEST استفاده شد.

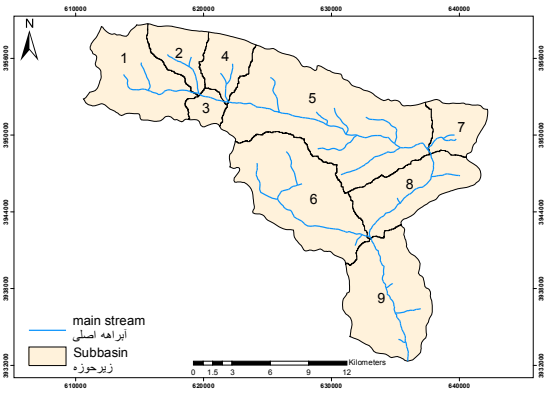
$$P = 0.1801Z - 18.077 \qquad (٦)$$

$$R^2 = 0.8472$$



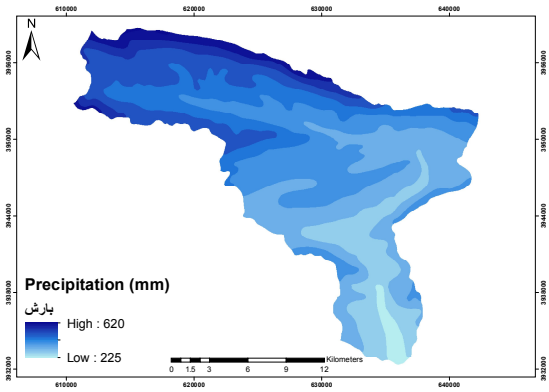
شکل ۳- مرز حوزه منطقه مطالعاتی.

Figure 3. Watershed.



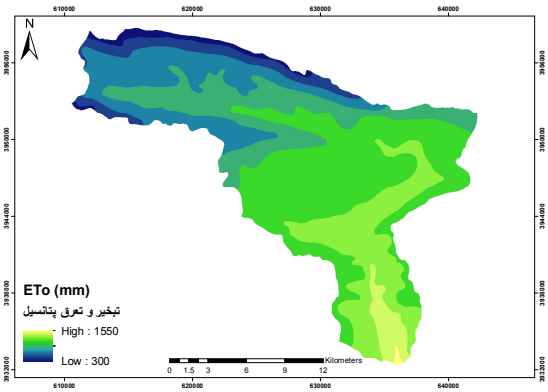
شکل ٤- مرز زیرحوزه‌های منطقه مطالعاتی.

Figure 4. Sub watersheds.



شکل ۵- بارش.

Figure 5. Percipitation.



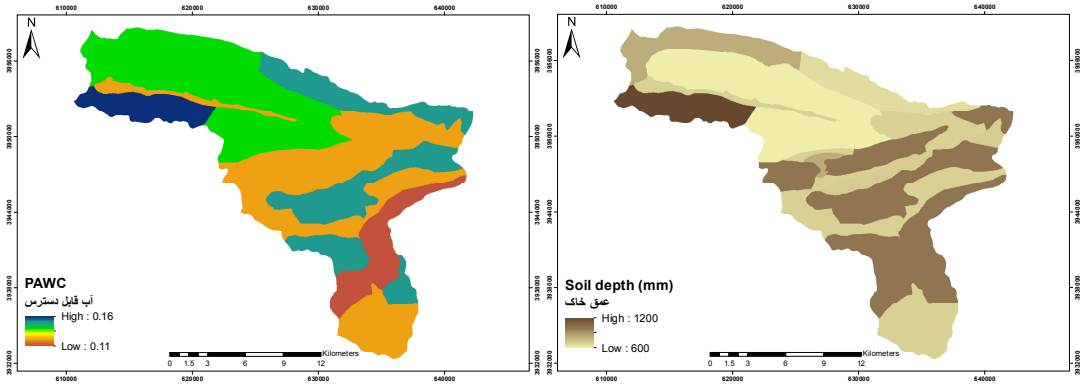
شکل ٦- تبخیر و تعرق پتانسیل.

Figure 6. Potential evapotranspiraion.

1- Land Use Land Cover

www.SID.ir

Archive of SID

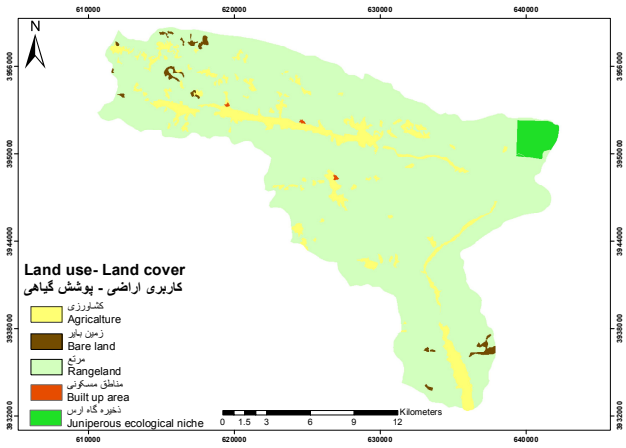


شکل ۷- عمق خاک.

Figure 7. Soil depth.

شکل ۸- آب قابل‌دسترس.

Figure 8. Available water content.



شکل ۹- کاربری اراضی و پوشش گیاهی.

Figure 9. Land use and land cover.

پارامتر هیدروژئولوژیکی Z: Z یک پارامتر هیدروژئولوژیکی و یک عدد ثابت تجربی است که گویای الگوی بارش محلی، شدت بارش، تغییرات فصلی آب و هوا و ویژگی‌های توپوگرافی حوضه می‌باشد و مقدار آن عددی بین ۱ تا ۳۰ است. براساس مطالعات (۳٦)، سه روش برای محاسبه پارامتر Z وجود دارد: ۱. مقدار Z می‌تواند به‌صورت N*0.2 محاسبه گردد؛ که N در آن تعداد روزهای بارانی در یک سال است (۱۵) ۲. استفاده از تخمین جهانی ω (۲۵ و ٤۳) ۳. تخمین زدن با استفاده از کالیبراسیون توسط داده‌های واقعی مربوط به رواناب (۱۱ و ۳۲).

به‌علت عدم وجود ایستگاه‌هایی با داده‌های روزانه مربوط به بارندگی در منطقه مورد مطالعه و همچنین اهمیت انتخاب عددی صحیح برای پارامتر Z از روش سوم استفاده شد.

یافته‌ها: در این مطالعه در راستای مدل‌سازی تولید آب به تهیه نقشه آب قابل‌دسترس گیاه با استفاده از اطلاعات موجود و بازدید میدانی پرداخته شد (شکل ۸). آنالیز حساسیت مدل نشان‌دهنده این است که این مدل بیش‌ترین حساسیت را به تغییر در داده‌های بارش و پارامتر Z دارد (۲۱). برای به حداقل رساندن اختلاف مقادیر واقعی و مدل‌سازی شده بهترین روش

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از داده‌های محلی بارش است (۳۳). بنابراین در این پژوهش از داده‌های محلی بارش استفاده شده و پس از اجرای مدل برای تعیین کارایی مدل و اصلاح نتایج به کالیبراسیون مدل با مقادیر متفاوت Z پرداخته شد.

کالیبراسیون: پارامتر Z می‌تواند به‌عنوان مقداری ثابت برای کالیبراسیون استفاده شود تا شبیه‌سازی را برای فرایندهایی خاص که مدل InVEST در نظر نمی‌گیرد تصحیح کند. مثلاً برخی از این اثرات عبارتند از فراوانی وقایع طبیعی سالانه، تغییرات مکانی در ظرفیت ذخیره آب در خاک در مقیاس زیر- پارسل و هم‌زمانی چرخه‌های انرژی- بارش (۳۲ و ۳۷). هرچه تعداد روزهای بارانی در یک منطقه کم‌تر باشد مقدار Z نیز کاهش می‌یابد (۳۳). با تست آنالیز حساسیت پارامتر Z مقدار حساسیت مدل به این پارامتر تعیین شد. مطابق این آنالیز مشخص گردید پارامتر Z تأثیر به‌سزایی در خروجی مدل دارد و بر این اساس مدل با این پارامتر کالیبره شد. طبق نتایج به‌دست آمده هرچه مقدار Z کم‌تر باشد تأثیر بیش‌تری روی نتایج نهایی دارد. بر همین اساس مقدار Z از ۲ تا ۵ تغییر داده شد و با داده‌های مشاهداتی رواناب که برابر با ٤١٩٧١٦٠٨ بود مقایسه شد (جدول ۲) تا مناسب‌ترین مقدار برای کل حوزه محاسبه شود و در نهایت مقدار ۳/۸٦٦ به‌عنوان مقدار مناسب با کم‌ترین اختلاف بین داده‌های واقعی و شبیه‌سازی‌شده انتخاب شد (شکل ۱۰). از آن‌جا که امکان اعتبارسنجی برای این مدل وجود ندارد به‌منظور اطمینان از نتایج حاصله، نتایج این پژوهش با مطالعه عظیمی و همکاران (۲۰۱۳) که مدل SWAT را برای حوزه حبله‌رود کالیبره و اعتبارسنجی کرده بودند، مقایسه گردید (٤).

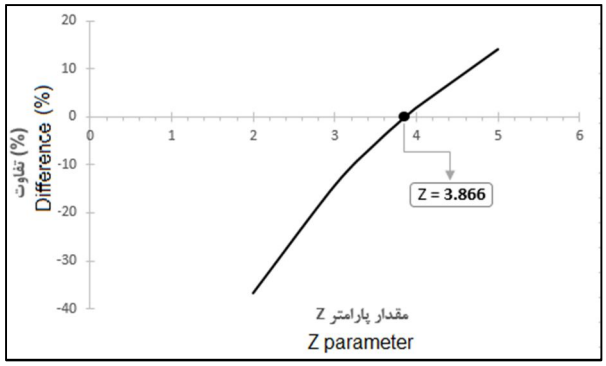
جدول ۲- میزان تولید آب با مقادیر متفاوت پارامتر z.

Table 2. Water yield with different Z values.

درصد تفاوت مقدار شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی The difference between observed and simulated water yield	تولید آب Water yield (مترمکعب)	Z
-36.7179	57382719.8	2
-14.3054	47975815.93	3
-5.5881	44317039.36	3.5
-0.9604	42374722.7	3.8
-0.2281	42067335.92	3.85
-0.0829	42006391.37	3.86
-0.0104	41975985.12	3.865
0.0012	41971124.2	3.8658
0.0040	41969909.14	3.866
0.0185	41963834.91	3.867
0.0619	41945622.76	3.87
0.4938	41764365.42	3.9
1.9067	41171322.42	4
14.0866	36059243.93	5

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰- درصد تفاوت بین رواناب واقعی سالانه و مقدار شبیه‌سازی‌شده توسط مدل.

Figure 10. The difference between natural runoff and simulated water yield.

نتایج مدل: با استفاده از مدل InVEST 3.3.2 میزان تولید آب برای کل حوزه، هر یک از زیرحوزه‌ها و کاربری های مختلف به‌دست آمد. طبق این نتایج میزان تولید آب در کل حوزه آبخیز دلیچای به‌طور سالانه حدود ٤۲ میلیون مترمکعب است (شکل ۱۱). نتایج مربوط به کاربری‌های مختلف نشان‌دهنده این است که بیش‌ترین میزان تولید آب در کاربری‌ها با مقدار ۲۹۲۳/۹۹۲ مترمکعب در هکتار مربوط به زمین‌های بایر بوده و پس از آن کاربری مرتع و کشاورزی با مقدار ۱۲٦٤/۱۰۹ و ۱۰٦۲/۷۲٥ مترمکعب در هکتار به‌ترتیب بیش‌ترین تولید آب را داشتند. همچنین کم‌ترین میزان تولید آب مربوط به ذخیره‌گاه ارس با مقدار ۵۱۱/۲۸۷ مترمکعب در هکتار بوده است (شکل ۱۲). نتایج هر یک از کاربری‌ها به‌طور مجزا در جدول ۳ آورده شده است. همچنین بررسی میزان تولید آب در سطح زیرحوزه‌ها نتایج نشان‌دهنده این است که زیرحوزه ۲ (شکل ۱۱) با مقدار ۲٤۲ مترمکعب بر هکتار بیش‌ترین تولید آب و زیرحوزه ۹ با مقدار ٤٦/۰۸ مترمکعب بر هکتار کم‌ترین میزان تولید آب را دارد (جدول ٤).

جدول ۳- مساحت، تبخیر و تعرق واقعی، میانگین ارتفاع و تولید آب هر کاربری و تیپ گیاهی.

Table 3. Area, Actual evapotranspiration, average elevation and water yield for each LULC.

کد Code	کاربری اراضی- پوشش گیاهی LULC	مساحت Area (ha)	میانگین ارتفاع Elevation (m)	تولید آب Water yield (m^3/ha)
1	کشاورزی Agriculture	3028.808	2352.19	977.052
2	زمین بایر Bare ground	272.777	2800.65	2903.783
3	مرتع Rangeland	29990.187	2322.363	1263.361
4	مناطق دارای ساخت و ساز Built up Area	21.244	2432.04	2370.408
5	ذخیرگاه ارس *Juniperus* ecological niche	640.491	2581.86	459.042

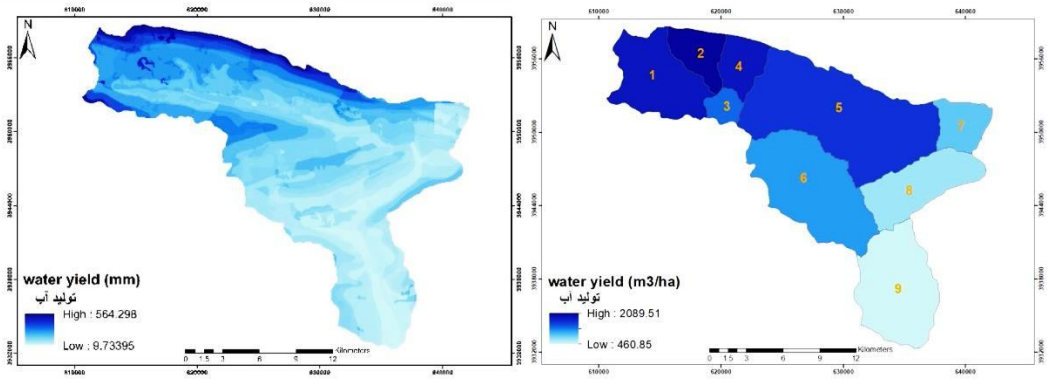
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- میزان آب تولیدی در هر زیرحوزه.

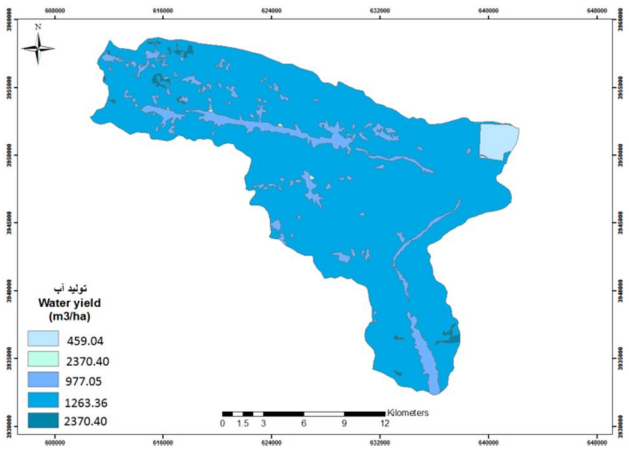
Table 4. Water yield in sub watersheds.

زیرحوزه Sub watershed	مساحت Area (ha)	تبخیر و تعرق واقعی AET (mm)	بارش Precipitation (mm)	تولید آب Water yield (m^3/ha)
1	39.88	267.43	477.68	2089.51
2	15.87	254.07	496.36	242.254
3	6.61	292.46	429.40	136.948
4	15.02	269.58	482.19	212.585
5	99.04	255.26	404.26	148.909
6	62.13	266.92	352.61	856.62
7	15.40	288.42	369.08	803.53
8	34.27	258.21	317.57	593.47
9	51.37	242.63	288.83	460.85



شکل ١١- میزان تولید آب در کل حوزه و به تفکیک زیرحوزه.

Figure 11. The amount of water yield in watershed and sub watersheds.



شکل ١٢- میزان تولید آب در هر کاربری اراضی.

Figure 12. Water yield for each LULC.

www.SID.ir

Archive of SID

بحث و نتیجه‌گیری

طبق نتایج به‌دست آمده در بین کاربری‌های مختلف مناطق بایر بیش‌ترین میزان تولید رواناب را داشت که با نتایج مطالعات ویلکوکس و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد، آن‌ها با مطالعه بر روی عملکرد هیدرولوژیک در بوته‌زارهای مناطق نیمه‌خشک به این نتیجه رسیدند که مناطق دارای پوشش با مناطق بایر در تولید رواناب تفاوت چشم‌گیری دارند (٤۲). پس از زمین‌های بایر مناطق مسکونی بیش‌ترین تولید رواناب را در حوضه مورد مطالعه داشتند، در مناطق مسکونی به‌علت کاهش پوشش گیاهی نفوذ سطحی آب کاهش یافته و همچنین آبی که در مراتع و دیگر کاربری‌های دارای پوشش گیاهی مورد مصرف گیاه قرار می‌گرفته و توسط گیاهان جذب خاک و ریشه‌ها می‌شود در این مناطق به‌صورت رواناب جاری می‌گردد، در نتیجه میزان تولید آب در این مناطق افزایش یافته است که با نتایج سان و لوکابی (۲۰۱۲) تطابق دارد (۳۸). آن‌ها با مطالعه بر روی کیفیت و کمیت آب در مناطق شهری و روستایی به این نتیجه رسیدند که تغییر کاربری جنگل به شهر موجب افزایش میزان رواناب و سیلاب می‌شود. کاربری‌های مرتع و کشاورزی به‌ترتیب تولید آب کم‌تری نسبت به مناطق مسکونی دارند. مراتع موجود در حوزه دلیچای از نظر فیزیوگرافیک بیش‌تر در مناطقی قرار دارند که دارای ارتفاع و شیب زیادی است که موجب افزایش میزان رواناب می‌شود در حالی‌که زمین‌های کشاورزی موجود در منطقه اکثراً در مناطق دشتی و هموار قرار گرفته‌اند، همچنین تاج پوشش مراتع در این منطقه زیر ۵۰ درصد است و طبق نتایج عظیمی و همکاران (۲۰۱۳) چرای دام مازاد بر ظرفیت در این مراتع اتفاق می‌افتد که موجب افزایش میزان رواناب در اراضی مرتعی نسبت به کشاورزی می‌شود (٤). کم‌ترین میزان تولید آب در بین کاربری‌ها مربوط به ذخیرگاه ارس است. علت این امر وجود درختان ارس می‌باشد، این درختان به‌علت داشتن سیستم ریشه‌ای وسیع و تاج پوشش گسترده رطوبت خاک را جذب می‌کنند و مانع از جاری شدن آب در سطح حوزه می‌شوند که با نتایج یافته‌های کاردلا دامیر و همکاران (۲۰۱٦) مطابقت دارد (۱۲).

با اجرای مدل InVEST می‌توان خدمات اکوسیستم را نقشه‌سازی کرد و در تصمیمات مدیریتی، طرح‌های آمایش سرزمین و مطالعات مربوط به تغییرات کاربری اراضی و میزان پوشش گیاهی مورد استفاده قرار داد؛ از مزایای InVEST می‌توان به قابل استفاده بودن برای کل دنیا، داشتن مقیاس انعطاف‌پذیر، رایگان بودن، داشتن خروجی اکولوژیک و اقتصادی، توان ارزیابی خدمات متعدد و مستقل بودن آن اشاره کرد. از سوی دیگر این ابزار محدودیت‌هایی نیز دارد، برای مثال مهم‌ترین محدودیت مدل تولید آب این است که چرخه هیدرولوژیک آب را به‌طور کامل در نظر نمی‌گیرد و تغییرات فصلی بارش را مورد توجه قرار نمی‌دهد (۳۹). با توجه به نتایج به‌دست آمده قبل و بعد از کالیبراسیون می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از این مدل بدون انجام کالیبراسیون توصیه نمی‌شود، همچنین باید توجه داشت که این مدل تبخیر از سطح خاک را در نظر نمی‌گیرد و برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی تنها تبخیر از سطح گیاهان را در نظر می‌گیرد.

نتایج این پژوهش تفاوت میزان ارائه تولید آب را در کاربری‌های اراضی مختلف نشان می‌دهد. نظر به اهمیت فراهم‌سازی آب و مشکلات موجود در تامین آب برای مردم ساکن در منطقه و با توجه به این موضوع که تولید آب در بالادست حوزه از پایین‌دست بیش‌تر است باید تصمیم‌گیری و مدیریت پوشش گیاهی به گونه‌ای باشد که تولید آب در هر بخش با

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار مورد نیاز منطقه مطابقت داشته باشد. همچنین پس از ارزیابی اکولوژیک این خدمت اکوسیستمی می‌توان به ارزش‌گذاری اقتصادی تولید آب پرداخت که در بخش دوم مدل InVEST قرار گرفته است و با این کار ساکنین محلی را به مشارکت در حفاظت و مدیریت زیست‌بوم تشویق کرد تا هزینه مربوط به خدمات ارائه شده توسط ذینفعان پرداخت شده و در نتیجه اکوسیستم دچار آسیب کم‌تری شود.

منابع

1. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300: 9. 330p.
2. Arnold, J.G., Srinivasin, R., Muttiah, R.S., and Williams, J.R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment: part I. Model development. J. Am. Water Resour. Assoc. 34: 1. 73-89.
3. Asadolahi, Z., Salmanmahiny, A., and Sakieh, Y. 2017. Hyrcanian forests conservation based on ecosystem services approach. Environmental Earth Sciences, 76: 10. 347-365.
4. Azimi, M., Heshmati, G.A., Farahpour, M., Faramarzi, M., and Abbaspour, K.C. 2013. Modeling the impact of rangeland management on forage production of sagebrush species in arid and semi-arid regions of Iran. Ecological modelling, 250: 1-14.
5. Bai, Y., Zheng, H., Ouyang, Z., Zhuang, C., and Jiang, B. 2013. Modeling hydrological ecosystem services and tradeoffs: a case study in Baiyangdian watershed, China. Environmental earth sciences, 70: 2. 709-718.
6. Barano, T., McKenzie, E., Bhagabati, N., Conte, M., Ennaanay, D., Hadian, O., Olwero, N., Tallis, H., Wolny, S., and Ng, G. 2010. Integrating Ecosystem Services into Spatial Planning in Sumatra, Indonesia. TEEBcase. 6p.
7. Boithias, L., Acuña, V., Vergoñós, L., Ziv, G., Marcé, R., and Sabater, S. 2014. Assessment of the water supply: demand ratios in a Mediterranean basin under different global change scenarios and mitigation alternatives. Science of the Total Environment, 470: 567-577.
8. Brauman, K.A., Daily, G.C., Duarte, T.K.E., and Mooney, H.A. 2007. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. Annu. Rev. Environ. Resource. 32: 67-98.
9. Brisbane Declaration. 2007. The Brisbane Declaration: Environmental flows are essential for freshwater ecosystem health and human well-being. In 10th International River Symposium, Brisbane, 3-6.
10. Budyko, M.I. 1974. Climate and life. San Diego, California: Academic.
11. Canqiang, Z., Wenhua, L., Biao, Z., and Moucheng, L. 2012. Water yield of Xitiaoxi River Basin based on INVEST modeling. J. Resour. Ecol. 3: 1. 50-54.
12. Cardella Dammeyer, H., Schwinning, S., Schwartz, B.F., and Moore, G.W. 2016. Effects of juniper removal and rainfall variation on tree transpiration in a semi-arid karst: evidence of complex water storage dynamics. Hydrological Processes, 30: 24. 4568-4581.
13. Chambers, W., Toth, F., de Soya, I., Green, J., Hirakuri, S., Isozaki, H., Kambu, A., Lohan, D., Nuengsigkapian, P., and Pena-Neira, S. 2005. Typology of responses, millennium ecosystem assessment. In: Ecosystems and Human Well-being: Policy Responses, Island Press, Washington, D.C. 3: 37-70.
14. De Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., and Willemen, L. 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. Ecological complexity, 7: 3. 260-272.
15. Donohue, R.J., Roderick, M.L., and McVicar, T.R. 2012. Roots, storms and soil pores: Incorporating key ecohydrological processes into Budyko's hydrological model. J. Hydrol. 436: 35-50.

www.SID.ir

Archive of SID

16. Egoh, B., Drakou, E.G., Dunbar, M.B., Maes, J., and Willemen, L. 2012. Indicators for mapping ecosystem services: a review. Report EUR, 25456.
17. FAO. 2014. ⟨http://data.fao.org/measure? entryId¼afb484eb-3a92-4b22-b657 a4c575ae52b1&tab¼metadata⟩ (accessed 25/08/14).
18. Fisher, B., Turner, R.K., and Morling, P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. Ecological economics, 68: 3. 643-653.
19. Goldman, R., Tallis, H., Kareiva, P., and Daily, G. 2008. Field evidence that ecosystem service projects support biodiversity and diversify options. Proc. Natl. Acad. Sci. U S A 105: 27. 9445-9448.
20. Hamel, P., and Guswa, A.J. 2015. Uncertainty analysis of a spatially explicit annual water-balance model: case study of the Cape Fear basin, North Carolina. Hydrology and Earth System Sciences, 19: 2. 839-853.
21. Jafari, M., Zare Chahouki, M.A., Tavili, A., and Kohandel, A. 2005. Soil-vegetation relationships in rangelands of Qom province. Pajouhesh & Sazandegi. 73: 110-116. (In Persian)
22. Leavesley, G.H., Lichty, R.W., Thoutman, B.M., and Saindon, L.G. 1983. Precipitation-runoff modeling system: User's manual, Washington, DC: USGS. 207p.
23. Leh, M.D., Matlock, M.D., Cummings, E.C., and Nalley, L.L. 2013. Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa. Agriculture, ecosystems & environment, 165: 6-18.
24. Liang, L., and Liu, Q. 2014. Stream flow sensitivity analysis to climate change for a large water-limited basin. Hydrological Processes, 28: 4. 1767-1774.
25. Liang, X., Lettenmaier, D.P., Wood, E.F., and Burges, S.J. 1994. A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models. J. Geophysic. Res. Atmospheres. 99: 7. 14415-14428.
26. Liquete, C., Piroddi, C., Drakou, E.G., Gurney, L., Katsanevakis, S., Charef, A., and Egoh, B. 2013. Current status and future prospects for the assessment of marine and coastal ecosystem services: a systematic review. PloS one, 8: 7. 1-15.
27. MA (Millennium Assessment). 2005. Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis. Island Press, Washington, D.C. 245p.
28. Maczko, K. 2008. Sustainable rangelands ecosystem goods and services. 120p.
29. Malinga, R., Gordon, L.J., Jewitt, G., and Lindborg, R. 2015. Mapping ecosystem services across scales and continents–A review. Ecosystem Services, 13: 57-63.
30. Meijer, K.S., Krogt, W.N.M., and Beek, E. 2012. A new approach to incorporating environmental flow requirements in water allocation modeling. Water Resour. Manage. 26: 1271-86.
31. Mesdaghi, M. 1998. Rangeland and Rangeland management in Iran. Astan ghods razavi. Press, 260p. (In Persian)
32. Pessacg, N., Flaherty, S., Brandizi, L., Solman, S., and Pascual, M. 2015. Getting water right: A case study in water yield modelling based on precipitation data. Science of the Total Environment, 537: 225-234.
33. Redhead, J.W., Stratford, C., Sharps, K., Jones, L., Ziv, G., Clarke, D., Oliver, T.H., and Bullock, J.M. 2016. Empirical validation of the InVEST water yield ecosystem service model at a national scale. Science of the Total Environment, 569: 1418-1426.
34. Salmanmahiny, A., Jazi, H., Karimipour, H., Mehri, A., Kamiab, H., and Zare Garizi, A. 2012. Capability evaluation and land use planning (Integrated watershed management: Hableroud). 338p. (In Persian)
35. Seppelt, R., Dormann, C.F., Eppink, F.V., Lautenbach, S., and Schmidt, S. 2011. A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead. J. Appl. Ecol. 48: 3. 630-636.
36. Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., and Vigerstol, K. 2014. InVEST user's guide. The Natural Capital Project, Stanford. 161p.

www.SID.ir

Archive of SID

37. Sánchez-Canales, M., Benito, A.L., Passuello, A., Terrado, M., Ziv, G., Acuña, V., Schuhmacher, M., and Elorza, F.J. 2012. Sensitivity analysis of ecosystem service valuation in a Mediterranean watershed. Science of the total environment, 440: 140-153.
38. Sun, G., and Lockaby, B.G. 2012. Water quantity and quality at the urban–rural interface. Urban–Rural Interfaces: Linking People and Nature, urbanruralinter. Pp: 29-48.
39. Terrado, M., Acuña, V., Ennaanay, D., Tallis, H., and Sabater, S. 2014. Impact of climate extremes on hydrological ecosystem services in a heavily humanized Mediterranean basin. Ecological Indicators, 37: 199-209.
40. Villa, F., Bagstad, K.J., Voigt, B., Johnson, G.W., Portela, R., Honzák, M., and Batker, D. 2014. A methodology for adaptable and robust ecosystem services assessment. PloS one, 9: 3. 91001.
41. Waage, S., Armstrong, K., and Hwang, L. 2010. Future Expectations of Corporate Environmental Performance: Emerging Ecosystem Services Tools and Applications. Business for Social Responsibility's Environmental Services, Tools, & Markets Working Group. 24p.
42. Wilcox, B.P., Breshears, D.B., and Allen, C.D. 2003. Ecohydrolgy of a resource-conserving semiarid woodland: temporal and spatial scaling and disturbance. Ecological Monographs, 73: 223-239.
43. Xu, X., Liu, W., Scanlon, B.R., Zhang, L., and Pan, M. 2013. Local and global factors controlling water-energy balances within the Budyko framework. Geophysical Research Letters, 40: 23. 6123-6129.
44. Zarandian, A., Baral, H., Stork, N.E., Ling, M.A., Yavari, A.R., Jafari, H.R., and Amirnejad, H. 2017. Modeling ecosystem services informs spatial planning in lands adjacent to Sarvelat and Javaherdasht protected area in northern Iran. Land Use Policy 61: 487-500.
45. Zhang, L., Dawes, W.R., and Walker, G.R. 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetatio changes at catchment scale Water Resources Research. 37: 701-708.

www.SID.ir

Archive of SID

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(4), 2018
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.14361.2910

Assessment of water yield service on the basis of InVEST tool (Case study: Delichai watershed)

***M. Haghdadi[1], Gh.A. Heshmati[2] and M.S. Azimi[3]**

[1]M.Sc. Student, Dept. of Rangeland Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Professor, Dept. of Rangeland Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Assistant Prof., Dept. of Rangeland Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 05.21.2017; Accepted: 06.12.2018

Abstract

Background and Objectives: Numerous benefits that people obtain from ecosystems are called ecosystem services. This services have a wide range and one of the most valuable of them is water yield. Water yield means long-term average of annual rivers flow and recharge of aquifers by precipitation. Due to different land use types and their potential in water yield, the evaluation of water yield at each land use type is important. The objective of this study is to assess and map the water yield at different land uses such as rangeland, agriculture, residential areas, bare ground and *Juniperus* ecological niche to decide which management decisions are appropriate for the area and how much water is provided by each land use.

Materials and Methods: This study is done in Delichai watershed, one of the northern sub watersheds of Hableroud river basin that located in Tehran province. The water yield model is based on the Budyko curve that determines the amount of water running off each pixel of land as the total precipitation less the fraction of the water that undergoes evapo-transpiration. The required data include maps of land use and land cover, annual precipitation, average annual potential evapotranspiration, soil depth, plant available water content, boundary of watersheds and sub-watersheds as well as a biophysical table reflecting the biophysical attributes that entered in InVEST 3.3.2 tool to map and estimate water yield ecosystem service.

Results: After entering the required data model as well as comparing the initial results obtained with the actual data in the outlet, the model was calibrated with hydrogeological parameters Z and the final results were obtained after calibration. According to the results, the amount of water runoff in whole Delichaee watershed is about 42 million cubic meters. The results of different land uses indicated that the maximum amount of runoff in land uses is in bare grounds with 2923.992 cubic meter per hectare and then, Rangeland and agriculture land uses with 1264.109 and 1062.725 cubic meter per hectare runoff respectively have the highest values. Also, the lowest amount of runoff is 511.287 cubic meter per hectare in *Juniperus* ecological niche.

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. Physiographic and climatic factors have a great impact on the amount of water in watershed and among these factors, elevation and precipitation are the most effective ones. However, the effect of vegetation on runoff should not be overlooked. Therefore, according to the importance of water provision and problems in water supply for people who live in the region, a relative estimation of runoff rate and the role of vegetation in reducing it can be made by using this model or other models.

Keywords: Ecosystem services, InVEST model, Land uses, Water yield

* Corresponding Author; Email: mehrnaz.haghdadi@gmail.com

www.SID.ir