2019, Vol.6, No.2, Pages 47 to 54
Journal of Water and Sustainable Development

سال ششم، شماره ۲، ۱۳۹۸، صفحات ۴۷ تا ۵۴
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Methodology

نوع مقاله: روش‌شناسی

Comparative Study of Ecosystem Hydrological Services Modeling Tools

Z. Asadolahi[1*], M. Keshtkar[2]

1- Assistant Professor, Department of Environment, Lorestan University, Khorram Abad, Iran. 2- PhD Student, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: asadolahi.z@lu.ac.ir)

Received: 01-06-2019
Accepted: 22-07-2019

بررسی تطبیقی ابزارهای مدل‌سازی خدمات هیدرولوژیکی اکوسیستم

زهرا اسدالهی[1*]، مصطفی کشتکار[2]

۱- استادیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه لرستان. ۲- دانشجوی دکتری محیط‌زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: asadolahi.z@lu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۱۱
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۳۱

Abstract

Ecosystem services modeling has been the focus over the past two decades as a solution to reduce the problems caused by unstable management of natural resources and water-related ecosystem services are among the most studied. There are two types of ecosystem hydrological services modeling include traditional hydrological softwares and specialized softwares of ecosystem services. The present study introduces and compares some softwares according to required data for run the model, ease of use, ability to answer the questions and interpretation the results. SWAT and VIC are examples of traditional softwares with an emphasis on constructive processes of ecosystem services, while InVEST and ARIES are specialized ecosystem services softwares with an emphasis on spatial visualization of these services at the landscape level. If the appropriate data and required expertise are available to implement the model, SWAT and VIC softwares are suggested that can provide more information and details to the user such as evapotranspiration, surface runoff, subsurface flow, sediment load, nitrate and total phosphorus. While InVEST and ARIES softwares are more suitable for non-specialists and they are able to provide a general picture of ecosystem services with less data.

Keywords: Water Production, Flood Control, Soil Retention, SWAT, InVEST, ARIES.

چکیده

مدل‌سازی "خدمات اکوسیستم" (Ecosystem Services) به‌عنوان راهکاری در جهت کاهش مسائل ناشی از مدیریت ناپایدار منابع طبیعی، طی دو دهه گذشته مورد توجه بوده است و خدمات اکوسیستم مرتبط با آب در میان بیشترین مطالعات قرار دارند. ابزارهای مدل‌سازی خدمات هیدرولوژیک اکوسیستم در دو طبقه نرم‌افزارهای سنتی هیدرولوژیک و نرم‌افزارهای تخصصی خدمات اکوسیستم قرار دارند. پژوهش حاضر به معرفی و مقایسه برخی نرم‌افزارها باتوجه‌به داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل، سهولت استفاده، قابلیت پاسخ به سوالات و تفسیر نتایج می‌پردازد. SWAT و VIC نمونه‌ای از نرم‌افزارهای سنتی با تأکید بر فرآیندهای سازنده خدمات اکوسیستم هستند در حالی‌که InVEST و ARIES، نرم‌افزارهای تخصصی خدمات اکوسیستم با تاکید بر تجسم مکانی این خدمات در سطح سیمای سرزمین هستند. مطالعه حاظر نشان می‌دهد، درصورتی‌که داده‌های مناسب و تخصص مورد نیاز برای اجرای مدل در دسترس باشد، بررسی خدمات هیدرولوژیک با نرم‌افزارهای SWAT و VIC توصیه می‌شود. این نرم‌افزارها می‌توانند اطلاعات و جزئیات بیشتری مانند تبخیر و تعرق، رواناب سطحی، جریان زیرسطحی، بار رسوب، نیترات و فسفر کل در اختیار کاربر قرار دهند. درحالی‌که نرم‌افزارهای InVEST و ARIES برای افرادغیرمتخصص مناسب‌تر بوده و قادر هستند تصویری کلی از خدمات اکوسیستم با وجود داده‌های کم‌تر ارائه نمایند.

واژه‌های کلیدی: تولید آب، کنترل سیلاب، نگهداشت خاک، SWAT ، InVEST ، ARIES.

DOI: 10.22067/jwsd.v6i2.81066

مقدمه

با شناخت روزافزون ارتباط میان انسان و محیط‌زیست، میزان آگاهی و درک افراد از اهمیت اکوسیستم‌ها در جهت بهبود رفاه انسانی افزایش‌یافته است که توسعه مفهوم خدمات اکوسیستم[1] را به دنبال داشته است (Lincoln و Gould، ۲۰۱۷). واژه خدمات اکوسیستم، همانند مفهوم اکوسیستم واژه نسبتا جدیدی است که برای اولین بار در دهه ۱۹۷۰ به‌کارگرفته شد. Westman (۱۹۷۷) پیشنهاد کرد با هدف اتخاذ تصمیمات مدیریتی آگاهانه‌تر توسط جامعه، می‌توان منافع همگانی حاصل از اکوسیستم را برشمرد و این منافع را "خدمات طبیعت" نامید. همزمان با توسعه مفهوم خدمات طبیعت، واژه خدمات اکوسیستم برای توضیح منافع همگانی اکوسیستم‌ها در دهه ۱۹۹۰ معرفی شد (Daily و همکاران، ۱۹۹۷ و De Groot، ۱۹۹۲). با وجود اینکه تلاش‌های زیادی شده است، اما تعریف مشخص و مورد قبول همگان از خدمات اکوسیستم وجود ندارد. باتوجه‌به اینکه تعریف ارائه شده به مفهوم خدمات اکوسیستم؛ بر پایه اکولوژیک تاکید داشته باشد و یا کاربرد اقتصادی آن مدنظر باشد، در طول زمان تغییر کرده است.

برخی تعاریف ارائه شده از مفهوم خدمات اکوسیستم عبارتند از:

• "شرایط و فرآیندهایی که به‌واسطه آن تنوع زیستی، اکوسیستم‌های طبیعی و گونه‌هایی که در آن‌ها زیست می‌کنند، بقا یافته و حیات انسانی امکان پذیر می‌شود" (Daily و همکاران، ۱۹۹۷)؛

• "منافعی که جمعیت‌های انسانی مستقیماً و یا به شکل غیرمستقیم از عملکردهای اکوسیستم به‌دست می‌آورند" (Costanza و همکاران، ۱۹۹۷)؛

• "منافعی که افراد از فرآیندهایی طبیعی و ساختار اکوسیستم به‌دست می‌آورند" (De Groot و همکاران، ۲۰۰۲)؛

• "منافعی که افراد به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم از اکوسیستم به‌دست می‌آورند" (Millennium Ecosystem Assessment، ۲۰۰۵)؛

• "آن دسته از اجزا اکوسیستم هستند که در جهت رفاه انسانی مستقیما مصرف شده، مورد استفاده قرار گرفته یا از آن‌ها لذت برده می‌شود" (Boyd و Banzhaf، ۲۰۰۷)؛

• "وجوهی از اکوسیستم که به شکل فعال یا غیرفعال در جهت رفاه انسانی استفاده می‌شود" (Fisher و همکاران، ۲۰۰۹)؛

• "مشارکت مستقیم و غیرمستقیم اکوسیستم در رفاه انسانی" (Kumar، ۲۰۱۰).

موضوع خدمات اکوسیستم در دهه‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. توسعه مدل‌ها و روش‌های تحلیلی جدید، نوآوری و ابتکاراتی نظیر سیستم‌های طبقه‌بندی خدمات اکوسیستم در سطح بین‌المللی مانند ارزیابی هزاره اکوسیستم (MEA)[2] و برنامه مطالعه اقتصاد اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی (TEEB)[3] از جمله نوآوری و ابتکارات ذکر شده می‌باشند (Burkhard و همکاران، ۲۰۱۲). در چارچوب پیشنهادی ارزیابی هزاره اکوسیستم، اکوسیستم‌ها از منظر خدماتی که برای جامعه فراهم می‌سازند، ارزیابی می‌شوند و خدمات اکوسیستم منافعی هستند که افراد از اکوسیستم به‌دست می‌آورند. این تعریف از خدمات اکوسیستم کلیه منافع ملموس و ناملموسی که افراد از اکوسیستم به‌دست می‌آورند را خدمات در نظر گرفته است و به‌منظور ایجاد ارتباط بین خدمات اکوسیستم و رفاه انسانی آن‌ها را در چهار طبقه فراهم‌سازی[4]، حمایتی[5]، تنظیمی[6] و فرهنگی[7] دسته‌بندی می‌کند (Millennium Ecosystem Assessment، ۲۰۰۵). مدل‌سازی خدمات اکوسیستم در سال‌های اخیر به شدت افزایش یافته است که خدمات اکوسیستم مرتبط با آب در میان بیشترین مطالعات قرار دارند. Seppelt و همکاران (۲۰۱۱) از ۱۵۳ پژوهش در زمینه خدمات اکوسیستم، تعداد ۱۰۵ مطالعه، خدمات هیدرولوژیک اکوسیستم را بررسی کردند و دریافتند که افراد در جهت تامین بسیای از خدمات مرتبط با آب به اکوسیستم‌ها وابسته هستند. از جمله این خدمات تولید آب شیرین[8] جهت مصارف خانگی و آبیاری، کاهش خسارت سیلاب[9]، کنترل فرسایش[10] و تصفیه آب و نگهداشت مواد مغذی[11] می‌باشند. تولید آب به‌عنوان یک خدمت اکوسیستمی، در طبقه خدمات فراهم‌سازی قرار می‌گیرد که از یک طرف شامل استفاده‌های استخراجی نظیر مصارف شهری، کشاورزی، تجاری، صنعتی و از طرف دیگر استفاده‌های درجا از آب مانند تولید نیروی برقابی، تفریحات آبی، حمل‌ونقل و ماهیگیری است. کاهش خسارت سیلاب یک خدمت تنظیمی است که اثر تعدیلی اکوسیستم بر خسارت سیلاب، رسوب‌گذاری پهنه‌های آبی، نفوذ آب شور به داخل آب زیرزمینی و شور شدن اراضی خشک را نشان می‌دهد. کنترل فرسایش به‌عنوان یک خدمت اکوسیستمی به توان اکوسیستم‌ها در حفظ و نگهداشت خاک اشاره دارد. فرسایش و رسوب‌زایی حوضه‌های آبخیز منجر به کاهش نیروی برقابی تولیدی، خسارت‌های ساختاری به سدها، ایجاد سیلاب و کاهش کیفیت آب می‌شود. نگهداشت مواد مغذی به‌عنوان یک خدمت اکوسیستمی به توان اکوسیستم در تصفیه آب از طریق حذف آلاینده‌های مغذی از رواناب اشاره دارد (Sharp و همکاران، ۲۰۱۴). با شناخت روزافزون از اهمیت خدمات اکوسیستم، ابزارها و مدل‌هایی، مورد نیاز هستند که از یک طرف بتوانند اطلاعات مربوط به توزیع مکانی خدمات اکوسیستم را در اختیار تصمیم‌گیران قرار دهند و از طرف دیگر اثرات تغییرات کاربری اراضی بر آن‌ها را بررسی نمایند. بنابراین چندین گروه تحقیقاتی، نرم‌افزارهایی را به‌منظور کمی‌سازی و نقشه‌سازی خدمات اکوسیستم توسعه دادند تا ذی‌نفعان

و تصمیم‌گیران از داده‌ها و اطلاعات به‌دست آمده به‌عنوان بخشی از فرایند تصمیم‌گیری استفاده نمایند. نرم‌افزارهای سنتی هیدرولوژیک نیز می‌تواند برای هدف مورد نظر به‌کار گرفته شوند. با دسترسی به نرم‌افزارهای جدید، انتخاب نرم‌افزار مناسب برای تصمیم‌گیران مشکل است. باتوجه‌به اینکه آب مولفه اصلی رفاه انسانی است، در این مطالعه نرم‌افزارهای کمی‌سازی و مدل‌سازی خدمات هیدرولوژیک اکوسیستم معرفی شده است.

مدل‌سازی خدمات هیدرولوژیک اکوسیستم

مدل‌ها ابزار لازم در جهت برنامه‌ریزی سرزمین، مدیریت منابع محیط‌زیستی و بهینه‌سازی کاربری اراضی هستند (Burkhard و Maes، ۲۰۱۷). به‌طورکلی هدف از مدل، مشخص کردن عملکرد و رفتار یک پدیده حقیقی تحت شرایط معین است. مدل یک پدیده را در ساده‌ترین حالت ممکن بررسی می‌کند و در صورتی‌که موفق عمل نماید آن را می‌توان به حالت‌های پیچیده تعمیم داد. لذا مدل ابزاری است که بخشی از واقعیت را با درصد معینی از صحت و دقت شبیه‌سازی می‌کند. دو دسته متفاوت از ابزارهای مدل‌سازی خدمات هیدرولوژیک اکوسیستم شامل نرم‌افزارهای سنتی هیدرولوژیک و نرم‌افزارهای ویژه خدمات اکوسیستم وجود دارند.SWAT و VIC نمونه‌ای از نرم‌افزارهای سنتی با تاکید بر فرایندهای سازنده خدمات اکوسیستم هستند درحالی‌که InVEST و ARIES نرم‌افزارهای تخصصی خدمات اکوسیستم با تاکید بر تجسم مکانی این خدمات در سطح سیمای سرزمین می‌باشند (Vigerstol و Aukema، ۲۰۱۱) (جدول ۱).

جدول ۱- خلاصه ی از نرم‌افزارهای مدل‌سازی خدمات هیدرولوژیک اکوسیستم(Vigerstol و Aukema، ۲۰۱۱)

مدل	خدمات هیدرولوژیک	مقطع زمانی اجرا	مقیاس اجرا	جایگاه اجرا
SWAT	تولید آب، کیفیت آب، کنترل فرسایش	روزانه	زیرحوضه	ویندوز یا GIS
VIC	تولید آب	ساعتی تا روزانه	اندازه سلول ۱-۵۰ کیلومتر	لینوکس یا یونیکس
InVEST	نگهداشت مواد مغذی، تولید آب، کنترل فرسایش، کنترل سیلاب	سالانه	اندازه سلول ۳۰ متر تا ۱۰ کیلومتر	GIS
ARIES	کنترل سیلاب، کنترل فرسایشنگهداشت مواد مغذی، تولید آب	سالانه	اندازه سلول ۳۰ متر تا ۱۰ کیلومتر	برپایه وب

۱- مدل SWAT

SWAT[۱۲] یک مدل مفهومی-نیمه توزیعی در مقیاس حوضه آبخیز بزرگ و یا زیرحوضه است که برای سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا تهیه شده است و از زمان ایجاد این نرم‌افزار در اوایل ۱۹۹۰، قابلیت‌های آن به‌طور پیوسته در حال توسعه می‌باشد (Neitch و همکاران، ۲۰۰۵). نسخه SWAT ۲۰۰۵ و نسخه‌های جدیدتر این نرم‌افزار بر روی نرم‌افزار ArcGIS قابل نصب هستند. این مدل یک مدل پیوسته زمانی است که در گام‌های زمانی ساعتی، روزانه و یا طولانی‌تر اجرا می‌شود، در این نرم‌افزار حوضه به چند زیرحوضه و هر یک از زیرحوضه‌ها به چند واحد پاسخ هیدرولوژیک (HRU)[۱۳] که از نظر کاربری اراضی و خصوصیات خاک و مدیریت همگن هستند، تقسیم می‌شود. آب موجود در خاک، رواناب سطحی، رسوب و عناصر شیمیایی ابتدا برای هر HRU و سپس هر زیرحوضه و در نهایت کل حوضه آبخیز محاسبه می‌شود. داده‌های ورودی مدل SWAT شامل داده‌های آب‌وهوا، توپوگرافی آبخیز، مشخصات خاک، پوشش گیاهی و روش‌های مدیریت اراضی است. سایر اطلاعات مربوط به عوامل مؤثر بر جریان سطحی و کانال، آب زیرزمینی، برداشت آب، کیفیت آب و نظیر آن است. فرآیندهای فیزیکی مرتبط با حرکت آب و رسوبات، رشد گیاه، چرخه مواد شیمیایی و آفت‌کش‌ها با استفاده از پارامترهای ورودی شبیه‌سازی می‌شوند (عارفی اصل، ۱۳۹۰). نقشه‌های پایه مورد نیاز شامل نقشه مدل رقومی ارتفاع DEM، نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک می‌باشند که هر سه باید در قالب نقشه‌های رستری به مدل ارائه شوند. سایر اطلاعات مربوط به داده‌های جامع هواشناسی، کیفیت آب، عوامل موثر بر جریان سطحی و کانال، آب زیرزمینی، برداشت آب، مدیریت اراضی، اطلاعات مربوط به کیفیت آب، مخازن، و برخی زمینه‌های دیگر باتوجه‌به هدف تحقیق باید در مدل وارد شوند (Neitch و همکاران، ۲۰۰۵). داده‌های ورودی و خروجی مدل SWAT در شکل (۱) ارائه شده است.

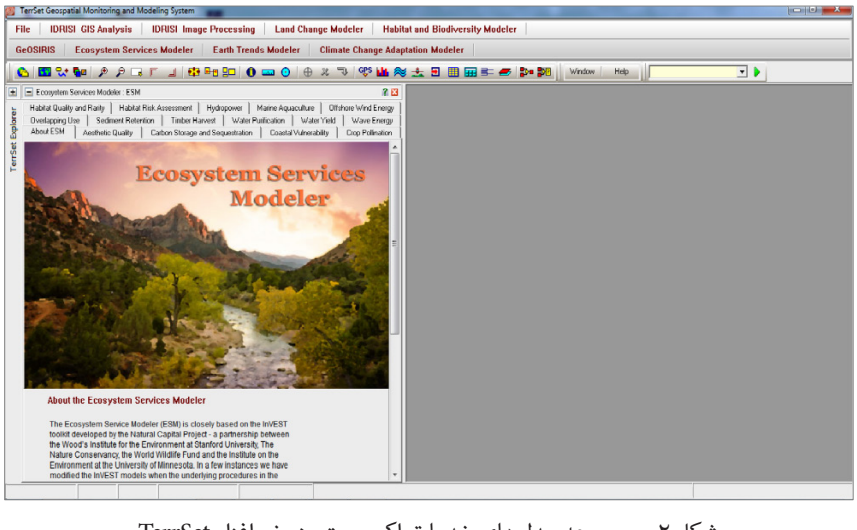
شکل ۱- داده‌های ورودی و خروجی‌های عمده نرم‌افزار Neitch (SWAT) و همکاران، ۲۰۰۵)

۲- مدل VIC

مدل VIC[۱۴] (Liang و همکاران، ۱۹۹۴) یک مدل هیدرولوژیک نیمه توزیعی پیکسل پایه است که برای حوضه‌های رودخانه‌ای بزرگ بسیار مناسب است. سلول‌های پیکسل این مدل یک کیلومتر مربع یا بزرگتر هستند. داده‌های ورودی مورد نیاز شامل ارتفاع، پوشش اراضی، ویژگی‌های خاک و اطلاعات هواشناسی است. مدل جابجایی آب بین اتمسفر، سطح زمین، لایه‌های خاک و زیرزمین را از طریق بارش، تبخیر و تعرق، نفوذ و رواناب محاسبه می‌کند. درجه‌های زمانی مدل بسته به داده‌های ورودی در دسترس و اهداف مدل‌سازی از ساعتی تا روزانه متغیر است. متغیرهای خروجی برای هر گام زمانی محاسبه می‌شود و کاربر قادر است از قبل انتخاب کند که کدام متغیرها در فایل خروجی ارائه شوند. مدل برای تجزیه و تحلیل بزرگ مقیاس بسیار مناسب است.

۳- نرم‌افزار InVEST

یکی از نرم‌افزارهای تخصصی مدل‌سازی خدمات اکوسیستم، ابزار یکپارچه ارزشگذاری خدمات اکوسیستم و هم‌کنشی میان آن‌ها InVEST[۱۵] است که توسط پروژه سرمایه طبیعی[۱۶] و با همکاری دانشگاه استنفورد، صندوق جهانی حمایت از حیات وحش (WWF)[۱۷] و انستیتو محیط‌زیست دانشگاه مینسوتا توسعه یافته است (Sharp و همکاران، ۲۰۱۴). درحال حاضر این بسته نرم‌افزاری به نرم‌افزار ایدریسی نسخه TerrSet اضافه شده است (شکل ۲).



شکل ۲- مجموعه مدل‌های خدمات اکوسیستم در نرم‌افزار TerrSet

هدف از توسعه نرم‌افزار InVEST، نقشه‌سازی توزیع مکانی خدمات اکوسیستم و تغییرات آن‌ها است که در اثر تغییرات کاربری اراضی و یا تغییر اقلیم ایجاد می‌شود. این نرم‌افزار شامل مدل‌های ساده (ردیف یک) و پیچیده‌تر (ردیف دو) است. در حال حاضر تنها مدل‌های ردیف یک به شکل یک بسته نرم‌افزاری و رایگان موجود هستند. هر خدمت اکوسیستمی جداگانه مدل‌سازی می‌شود. نرم‌افزار InVEST سیمای سرزمین را به پیکسل‌هایی تقسیم می‌کند که اندازه پیکسل‌ها بر اساس مقیاس داده‌های ورودی متغیر است. خروجی‌ها شامل نقشه‌های مکانی حاصل از مدل‌سازی و تخمین ارزش اقتصادی خدمات اکوسیستم هر مدل است (Sharp و همکاران، ۲۰۱۴). داده‌های ورودی مورد نیاز بسته به نوع خدمت برای هر مدل تغییر می‌کند. داده‌های ورودی و خروجی مدل‌های هیدرولوژیک نرم‌افزار InVEST در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- داده‌های ورودی و خروجی‌های عمده مدل‌های هیدرولوژیک در نرم‌افزار InVEST (Sharp و همکاران، ۲۰۱۴)

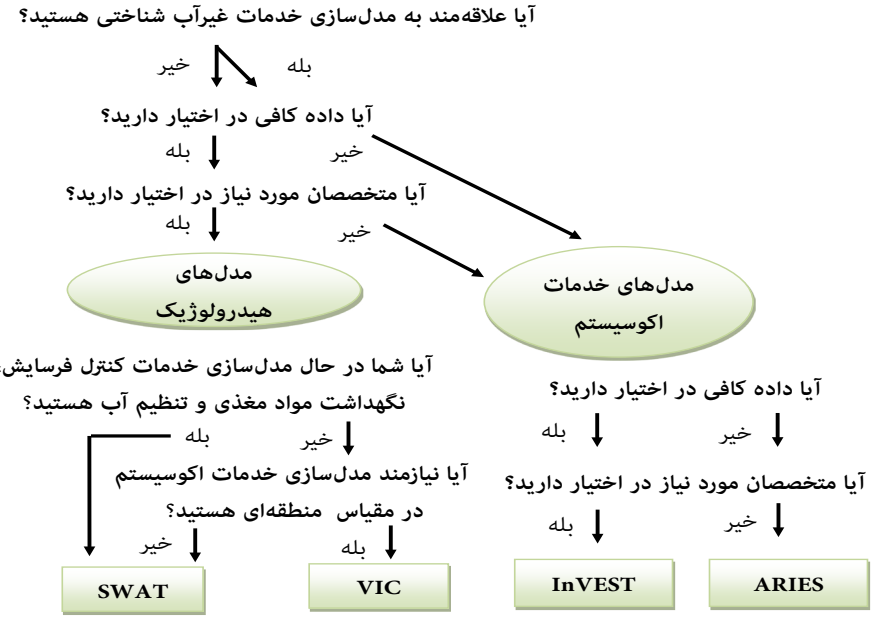
خروجی	ورودی مورد نیاز	خدمات مرتبط با آب
متوسط نگهداشت خاک سالانه (ton/ha/year)	- لایه رستری کاربری/پوشش اراضی - مدل رقومی ارتفاع (DEM) - لایه رستری شاخص فرسایندگی باران (R) - لایه رستری شاخص فرسایش‌پذیری خاک (k) - جداول ضرایب (عامل پوشش گیاهي و کاربری اراضی (C)، عامل عملیات حفاظتی (P) به تفکیک هر کاربری ارضی)	نگهداشت خاک
متوسط محصول آب سالانه (mm/watershed/year) متوسط نگهداشت مواد مغذی سالانه (kg/watershed/year)	- مدل رقومی ارتفاع (DEM) - لایه رستری عمق خاک - لایه رستری از میانگین بارندگی سالانه - لایه‌ای رستری "حجم آب قابل دسترس گیاه (PAWC)" - لایه رستری کاربری/پوشش اراضی - حوضه‌ها و زیر حوضه‌ها (در فرمت shape file) - جدول ضرایب (شامل حداکثر عمق گیاهان در خاک منطقه، ضریب تبخیرتعرق هر کاربری اراضی، ارزش فیلترسازی گیاهان در هر پیکسل برای هر کاربری)	محصول آب نگهداشت مواد مغذی و تصفیه آب (نیتروژن و فسفر)

۴- نرم‌افزار ARIES

ARIES[18] نرم‌افزار بر پایه وب[19] است که امکان بررسی همکنشی میان خدمات اکوسیستم را به کاربر می‌دهد (Villa و همکاران، ۲۰۰۹). با استفاده از این نرم‌افزار ذی‌نفعانی که ممکن است به‌صورت پنهانی از خدمات اکوسیستم سود ببرند، شناسایی می‌شوند. نرم‌افزار ARIES از شبکه تحلیل بیزین[20] به‌منظور آشکارسازی روابط میان داده‌های ورودی و خدمات اکوسیستم استفاده می‌کند. باتوجه‌به میزان داده‌های ورودی موجود، متناسب با منطقه مورد مطالعه و هدف به‌کارگیری این نرم‌افزار، کاربر می‌تواند نرم‌افزار ARIES را در سطوح مختلفی از جزئیات به کار گیرد. در ابتدایی‌ترین سطح، کاربر از داده‌های پیش فرض ذخیره شده در مدل برای انجام یک ارزیابی سریع با عدم قطعیت بالا استفاده می‌کند. در پیچیده‌ترین سطح از داده‌های تفضیلی و دانش بومی برای ساخت روابط بین داده‌های ورودی و خدمات خروجی استفاده می‌شود. یک نسخه مقدماتی از ARIES به‌صورت آنلاین موجود است. با استفاده از این نسخه و نسخه‌های جدیدتر، خدماتی نظیر کنترل رواناب و نگهداشت خاک شناسایی خواهد کرد.

جمع‌بندی و انتخاب نرم‌افزار مناسب مدل‌سازی خدمات اکوسیستم

قبل از فرایند انتخاب نرم‌افزار مناسب مدل‌سازی خدمات، کاربر باید ارزیابی کند برای تحقیقی که پیش رو دارد "آیا ارزیابی خدمات اکوسیستم رویکردی مناسب است یا خیر؟" اگر فرایند غربال ابتدایی مشخص کند خدمات اکوسیستم یک رویکرد مناسب است، قدم بعدی تعیین این مسئله است که آیا برای سوالات در دست، مدل‌سازی لازم است. در مرحله بعد یک ارزیابی مروری از خدمات اکوسیستم انجام می‌شود و بررسی می‌شود چه خدماتی ممکن است با تغییر سیاست‌ها در منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر قرار گیرند (شکل ۳). در انتخاب مدل مناسب نقشه‌سازی خدمات اکوسیستم، توجه به میزان جزئیات مورد نیاز برای پاسخگویی به سوالات در دست ضروری است (Vigerstol و Aukema، ۲۰۱۱).



شکل ۳- سوالاتی که باید در انتخاب مدل مناسب مورد توجه قرار گیرد (Vigerstol و Aukema، ۲۰۱۱)

در انتخاب نرم‌افزار مناسب مدل‌سازی خدمات هیدرولوژیک به‌کارگیری موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

• اگر مقایسه خدمات چندگانه اکوسیستم اعم از خدمات هیدرولوژیک و یا سایر خدمات اکوسیستم به‌طور همزمان مدنظر است، نرم‌افزارهای تخصصی خدمات اکوسیستم (InVEST,ARIES) مناسب‌ترین گزینه می‌باشد. همچنین اگر کاربر علاقه‌مند به بررسی خدمات هیدرولوژیک با حداقل داده موجود باشد، نرم‌افزارهای ذکر شده پیشنهاد می‌شود.

• نرم‌افزار ARIES نیاز به داده‌های ورودی بسیار کمتری نسبت به نرم‌افزار InVEST دارد، لذا برای تصمیم‌گیران و سایر کاربران بدون دانش فنی و مناطق با داده‌های پایه بسیار اندک مناسب است.

• اگر داده‌های مناسب و تخصص مورد نیاز برای اجرای مدل در دسترس است، بررسی خدمات هیدرولوژیک با به‌کارگیری مدل‌های SWAT و VIC توصیه می‌شود.

• اگر تنها تولید آب در مقیاس منطقه‌ای مد نظر است، مدل VIC توصیه می‌شود به‌علاوه این مدل در مطالعات تغییر اقلیم استفاده شده است. اگر علاوه‌بر تولید آب، بار رسوب و آلاینده‌های نیترات و فسفات مد نظر است مدل SWAT پیشنهاد می‌شود. داده‌های ورودی و خروجی نرم‌افزارهای معرفی شده در این مطالعه در جدول (۳) خلاصه شده است.

جدول ۳- خلاصه‌ای از داده‌های ورودی و خروجی‌های نرم‌افزارهای معرفی شده (Vigerstol و Aukema، ۲۰۱۱)

ورودی‌ها	SWAT	VIC	InVEST	ARIES
بارش	روزانه	ساعتی	متوسط سالانه	روزانه، ساعتی، سالانه
توپوگرافی	بله	بله	بله	بله
نوع خاک	چند لایه	چندلایه	تک لایه	تک لایه
آب برف	بله	بله	خیر	خیر
خروجی‌های عمده				
محصول آب	روزانه	ساعتی	سالانه	خیر
تبخیر و تعرق	روزانه	ساعتی	سالانه	خیر
جریان	روزانه	بله	خیر	بله
نگهداشت رسوب	بله	خیر	بله	خیر
نگهداشت مواد مغذی	بله	خیر	بله	خیر

پی‌نوشت

1- Ecosystem Services
2- Millennium Ecosystem Assessment
3- The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB)
4- Providing
5- Supporting
6- Regulating
7- Cultural
8- Water Yield
9- Runoff Control
10- Sediment Retention
11- Water Purification and Nutrient Retention
12- Soil and Water Assessment Tool
13- Hydrologic Response Unit
14- Variable infiltration Capacity
15- Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoff
16-/http://www.naturalcapitalproject.org/InVEST.html
17- World Wild Fund (WWF)
18- Artificial Intelligence for Ecosystem Services
19- Web based
20- Bayesian Network Analysis

منابع

عارفی اصل، ا. ۱۳۹۰. ارزیابی کارایی مدل SWAT در برآورد فرسایش و ارائه سناریوهای حفاظتی مناسب (مطالعه موردی حوضه آبخیز چهل چای استان گلستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

ماهینی، س. و کامیاب، ح. ۱۳۸۸. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی کاربردی با نرم‌افزار ایدریسی. جلد۱: انتشارات مهر مهدیس. تهران.

Boyd J. and Banzhaf S. 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. Ecological Economics, 63(2): 616-626.

Burkhard B., Kroll F., Nedkov S. and Müller F. 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. Ecological Indicators, 21(1): 17-29

Burkhard B. and Maes J. 2017. Mapping ecosystem services. Pensoft Publishers, Sofia, Bulgaria. Pensoft.

Costanza R., D'Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S .,ONeill R. V., Paruelo J., Raskin R. G., Sutton P. and Van Den Belt M. 1997. The Value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387: 253–260.

Daily G., Postel S., Bawa K., Kaufman L., Peterson C.H., Carpenter S., Tillman D., Dayton P., Alexander S. and Lagerquist K. 1997. Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems. Island Press, Washington D.C.

De Groot R. S.1992. Functions of nature: evaluation of nature in environmental planning, management and decision making. Wolters-Noordhoff BV.

De Groot R.S., Wilson M.A. and Boumans R.M. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological economics, 41(3): 393-408.

Fisher B., Turner R. K. and Morling P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. Ecological economics, 68(3): 643-653.

Gould R.K. and Lincoln N.K. 2017. Expanding the suite of Cultural Ecosystem Services to include ingenuity, perspective, and life teaching. Ecosystem services, 25: 117-127.

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. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-ALL SERIES, 99: 14-415.

Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human well-being: scenarios: findings of the Scenarios Working Group. Island Press. Washington D.C.

Neitch S.L., Arnold J.G. Kiniry J.R. Williams J.R. 2005. Soil and Water Assessment Tool; Theoretical Documentation. Texas Agricultural Experiment Station. Blackland Research Center. Temple, TX.

Seppelt R., Dormann C.F., Eppink F.V., Lautenbach S. and Schmidt S. 2011. A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings

of tools for modeling freshwater ecosystem services. Journal of environmental management, 92(10): 2403-2409.

Villa F., Ceroni M., Bagstad K., Johnson G. and Krivovet S. 2009. ARIES (ARtificial Intelligence for Ecosystem Services): A New Tool for Ecosystem Services Assessment, Planning, and Valuation. 11th International BIOECON Conference on Economic Instruments to Enhance the Conservation and Sustainable Use of Biodiversity. Venice, Italy. http://www.ucl.ac.uk/bioecon/11th_2009/Villa.pdf.

Westman W.E. 1977. How much are nature's services worth? Science, 197(4307): 960-964.

and the road ahead. Journal of applied Ecology, 48(3): 630-636.

Sharp R., Chaplin-Kramer R., Wood S., Guerry A., Tallis H. and Ricketts T.H. 2014. InVEST user's guide: integrated valuation of environmental services and tradeoffs. The Natural Capital Project. In In Stanford Woods Institute for the Environment. University of Minnesota's Institute on the Environment, the Nature Conservancy & WW Foundation Stanford.

Kumar P. 2010. TEEB, the Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. Earthscan, London.

Vigerstol K.L. and Aukema J.E. 2011. A comparison