مقاله مستخرج از پایان نامه

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۶۲، پاییز ۱۴۰۱، صص ۱۳۷-۱۵۵

اهمیت خدمات اکوسیستم آبخیز با تأکید بر نقش تولید رواناب و کاهش فرسایش

اثلناز قابل‌نظام[۱]

رئوف مصطفی‌زاده[۲*]

raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

اباذر اسمعلی‌عوری[۳]

زینب حزباوی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۲۲ **تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۲۹**

چکیده

زمینه هدف: با افزایش سریع جمعیت انسانی و مصرف بیش از حد منابع طبیعی، تقاضا برای خدمات اکوسیستم از ظرفیت تأمین آن‌ها فراتر رفته است. خدمات اکوسیستم مزایا و منافعی هستند که به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم بر رفاه انسان اثر می‌گذارند. با توجه به این‌که خدمات اکوسیستم، سامانه‌های طبیعی و جامعه بشری را به هم متصل می‌کنند، لذا برای رونق اقتصادی، رفاه و ادامه حیات بشر ضروری هستند.

روش بررسی: در مقاله حاضر به تبیین خدمات اکوسیستم آبخیز و با تأکید بر مسائل مرتبط با تولید رواناب و کاهش فرسایش در حوزه آبخیز پرداخته شده است. ضمن مرور کاملی از مطالعات انجام شده با اهداف مختلف، طبقه‌بندی انواع خدمات اکوسیستم، رویکردهای مورد استفاده در ارزیابی این خدمات مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه به چارچوب ارزیابی اکوسیستم هزاره (MEA) در رابطه با تعامل بین خدمات اکوسیستم و رفاه انسان پرداخته شده است. هم‌چنین ارتباط مدیریت آبخیز با بهبود خدمات اکوسیستم بحث شده است. مدل‌های مورد استفاده در برآورد خدمات اکوسیستم اشاره شده و در نهایت جمع‌بندی در خصوص نقش و اهمیت رواناب و کاهش فرسایش در خدمات اکوسیستم به‌عنوان یکی از مولفه‌های مهم پاسخ آبخیز صورت گرفته است.

یافته‌ها: نتایج حاصل از مرور منابع نشان داد که اکثر مطالعات مرتبط فقط روی تعداد معدودی از خدمات اکوسیستم متمرکز شده‌اند و بررسی جایگاه تولید رواناب و کاهش فرسایش و تنظیم آن به‌عنوان یک خدمت اکوسیستم در این مطالعات چندان مشهود نیست.

۱- کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی(مسئول مکاتبات)

۳- استاد گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی

۴- استادیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به این‌که مسئله رواناب و فرسایش در جهان و به‌ویژه ایران یک مسئله جدی است، بنابراین اقدامات شناسایی عوامل، کنترل و حفاظت از مناطق مستعد تولید رواناب، رسوب و فرسایش از مهم‌ترین وظایف و اقدامات ملی در کشور است. بر این اساس می‌توان با گسترده‌تر کردن مطالعات و تحقیقات و ارائه روش‌هایی برای کمّی نمودن و پیش‌بینی خدمات اکوسیستم مبتنی بر خدمات تنظیمی رواناب و کاهش فرسایش به اولویت‌بندی و پهنه‌بندی مناطق مستعد رواناب و فرسایش برای تبیین راهبردهای مدیریتی و بازدارندگی کمک شایانی نمود.

کلمات کلیدی: ارزیابی کمّی، تخریب، تولید آب، عملکرد اکوسیستم، مهار فرسایش

Human and Environment, No. 62, Autumn 2022, pp. 137-155

The Importance of Watershed Ecosystem Services with Emphasis on Runoff yield and Erosion Control

Elnaz Ghabelnezam[۱]

Raoof Mostafazadeh[۲]*

raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

Abazar Esmali Ouri[۳]

Zeinab Hazbavi[۴]

Received: November 13, 2019 Accepted: December 19, 2020

Abstract

Target field: Rapid growth of human population and the over exploitation of natural resources leads to the higher demand for ecosystem services which exceeded their supply capacity. Ecosystem services are benefits that directly or indirectly affect human well-being. As ecosystem services are the product of natural systems in interaction with human society, they are essential for economic prosperity, welfare, and human survival.

Analysis method: In this regard, the present paper deals with explaining watershed ecosystem services with emphasis on issues related to runoff generation and erosion reduction in watersheds. In addition to thoroughly reviewing studies conducted with different goals, different classification types of ecosystem services, the used approaches in evaluating these services have been examined. In the following, the Millennium Ecosystem Assessment (MEA) framework in terms of interaction between ecosystem services and human welfare has been described. In addition, the relationship between watershed management and the improvement of ecosystem services is also discussed. Models used in estimating ecosystem services are mentioned and finally a conclusion from the role and importance of runoff and erosion reduction in ecosystem services as one of the important components of watershed response is provided.

Findings: The results of literature review showed that the most related studies focused only on a limited number of ecosystem services, and investigating the location of runoff production and reducing erosion and setting it as an ecosystem service is not very evident in these studies.

1- MSc of Watershed Management Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili(Corresponding author)

3- Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili

4- Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili

Discussion and Conclusion: Given that the issue of runoff and erosion is a serious issue in the world and especially in Iran, therefore, measures to identify factors, control and protect areas prone to runoff, sedimentation and erosion are among the most important national duties and measures in the country. Based on this, by broadening studies and researches and providing methods for quantifying and predicting ecosystem services based on runoff regulatory services and erosion reduction, it is possible to help prioritize and zone areas prone to runoff and erosion to explain management strategies and deterrence.

Key words: Degradation, Ecosystem function, Erosion control, Quantitative assessment, Water yield

مقدمه

در سال‌های اخیر، در اکثر نقاط جهان عملکرد خدمات اکوسیستم[1] که منابع حیات بشر را فراهم می‌کنند تحت‌تأثیر تغییر کاربری و بهره‌برداری‌های غیراصولی آن‌ها کاهش یافته است که منجر به ظهور چالش‌های اساسی برای معیشت و رفاه انسان شده است. لذا، امروزه یکی از چالش‌های بزرگ جهانی شناسایی و حفاظت از مکان‌هایی است که از اهمیت بالایی برای پایداری محیط زیست برخوردار هستند (۱، ۲ و ۳). طبق تعریف ارائه شده در ماده ۲ کنوانسیون ملل متحد در مورد تنوع زیستی، "اکوسیستم، یک مجموعه پویا از جوامع گیاهی، حیوانات، ریزموجودات و محیط غیرزنده است که به‌عنوان یک واحد عملکردی با هم در تعامل هستند" (۴). هر اکوسیستم شامل روابط پیچیده بین اجزای زنده و غیرزنده است که خدمات سامانه‌های طبیعی و جامعه بشری را به هم متصل می‌کند (۵ و ۶). در اثر ازدیاد سریع جمعیت انسانی و مصرف بیش از حد منابع طبیعی، اغلب ظرفیت تقاضا برای خدمات اکوسیستم از تأمین آن‌ها فراتر رفته است، با این‌حال بشر علی‌رغم آگاهی از اهمیت خدمات اکوسیستم و اثرات فعالیت‌های خود بر محیط زیست، هم‌چنان برای رفع نیازهای روزمره خود به فعالیت‌هایی مانند قطع بی‌رویه درختان، گسترش کاربری کشاورزی و شهری، چرای بی‌رویه مراتع و بسیاری از اقداماتی که به تغییر اکوسیستم‌ها منجر می‌شود ادامه می‌دهد که عواقب آن به‌صورت افزایش رواناب[2] و در نهایت تشدید فرسایش[3] تجلی پیدا می‌کند (۱ و ۷). علاوه‌بر این تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که گسترش کاربری کشاورزی و شهرنشینی[4] و سایر عوامل نیز منجر به کاهش خدمات اکوسیستم از جمله ترسیب کربن[5]، کیفیت آب، تنوع زیستی و افزایش رواناب و فرسایش شده است (۶).

فرسایش خاک یک فرآیند فیزیکی است که میلیون‌ها سال درحال انجام است و در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی منجر به تخریب زمین می‌شود که نقش انسان در ایجاد و تشدید آن یک پدیده نسبتاً جدید است (۸ و ۹). فرسایش شدید خاک منجر به طیف وسیعی از اثرات منفی در داخل و خارج از محل می‌شود. از جمله این اثرات می‌توان به کاهش مواد مغذی و بهره‌وری خاک و در نتیجه کاهش تولید محصول و بر هم زدن تعادل غذایی، کاهش ظرفیت ذخیره آب و فعالیت‌های اقتصادی مرتبط با آن مانند برق، ناوبری و حمل و نقل کالا و هم‌چنین انتقال رسوب به تالاب‌های پایین‌دست که باعث بالا آمدن بستر رودخانه‌ها و در نتیجه افزایش احتمال وقوع سیل و آسیب به زیرساخت‌ها می‌شود، اشاره کرد. همه این عوامل به نوبه خود بر بخش‌های مختلف زندگی بشر و محیط زیست از منظرهای فرهنگی، اقتصادی و اجتماعی تأثیر می‌گذارند (۸، ۹ و ۱۰). به‌طور کلی رواناب و فرسایش خاک در بحث خدمات اکوسیستم، امنیت غذایی[6] را به روش‌های مختلف تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. برای مثال، فرسایش خاک به‌طور مستقیم باعث از دست رفتن زمین مناسب تولید غذایی و به‌صورت غیرمستقیم از طریق تولید رسوب و ایجاد سیلاب در پایین‌دست بر محصولات و پوشش گیاهی اثر منفی می‌گذارد (۹). در مطالعات گذشته تلاش‌ها بر این بوده است تا فرسایش خاک را فقط از منظر کشاورزی مورد بررسی قرار دهند، اما درحال حاضر اطلاعات و پژوهش‌های زیادی در زمینه بحث‌های علاوه‌بر کشاورزی، در رابطه با چگونگی اندازه‌گیری و مهار فرسایش و رسوب با هدف تقلیل اثرات تضعیف‌کننده خدمات اکوسیستم قابل دسترس است (۸). برخی محققان بر این باور هستند که کل اقتصاد بشر توسط اکوسیستم‌ها تأمین می‌شود، بر همین اساس سنجش ارائه خدمات و مصرف خدمات اکوسیستم یک روش مؤثر برای برآورد پایداری منطقه است (۱۱). با توجه به

1- Ecosystem Services
2- Runoff
3- Erosion
4- Urbanization
5- Carbon sequestration
6- Food security

تأثیر فعالیت‌های انسانی بر خدمات اکوسیستم، محققان می‌توانند تصمیمات و سیاست‌های مختلف مدیریت و پایداری زمین را با تعیین و ارزیابی کمیت خدمات اکوسیستم تجزیه و تحلیل و برای شناسایی، برنامه‌ریزی، مدیریت و تصمیم‌گیری در رابطه با خدمات مطلوب اکوسیستم تدارکات ببینند (۶ و ۱). به‌همین منظور، پژوهش حاضر با هدف مفهوم‌سازی جایگاه واقعی تولید رواناب و کاهش فرسایش در تبیین خدمات مناسب اکوسیستم آبخیز برنامه‌ریزی شد. در همین راستا، ابتدا به تاریخچه ظهور مفهوم خدمات اکوسیستم و توصیف انواع خدمات آبخیز پرداخته شد. سپس نتایج مطالعات مختلف انجام شده در زمینه خدمات اکوسیستم و با تأکید بر تولید رواناب و کاهش فرسایش در دستیابی به هدف پژوهش حاضر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

تاریخچه ظهور مفهوم خدمات اکوسیستم

همان‌گونه که بر همگان آشکار است مفهوم وابستگی جامعه بشری به خدمات اکوسیستم‌های طبیعی به آغاز حیات انسان‌های اولیه برمی‌گردد. به‌نحوی‌که انسان همیشه برای تأمین نیازهای خود به‌طور غریزی از خدمات محیط زیست اطراف بهره می‌برده است. اما به لحاظ علمی، اولین‌بار اصطلاح"سرمایه طبیعی[۱]" توسط شوماخر[۲] در کتاب "زیبایی در کوچک بودن است[۳]" مطرح شد (۱۲) که به نوعی تداعی‌گر مفهوم خدمات اکوسیستم است. پس از آن اصطلاح "خدمات محیط زیست[۴]" در مطالعات مربوط به مسائل بحرانی محیط زیست مطرح شد. سپس در سال‌های بعد، "خدمات اکوسیستم" با مفهوم کنونی در ادبیات علمی رایج شد (۱۳). در واقع ردپای تاریخچه مفاهیم و اصطلاحات خدمات اکوسیستم به مفهوم امروزی را می‌توان در کتاب "خدمات طبیعت: وابستگی اجتماعی به اکوسیستم‌های طبیعی[۵]" منتشر شده در سال ۱۹۹۷ یافت (۱۴). اصطلاح خدمات اکوسیستم از دیدگاه‌های مختلفی تعریف شده است. برای مثال، بوم‌شناس مشهور دیلی[۶] با دیدگاهی بوم‌شناختی، خدمات اکوسیستم را در سال ۱۹۹۷ چنین تعریف می‌کند: "خدمات اکوسیستم شرایط و فرآیندی هستند که از طریق آن‌ها اکوسیستم‌های طبیعی و گونه‌هایی که آن‌ها را تشکیل می‌دهند، زندگی انسان را حفظ و تکمیل می‌کنند" (۱۴ و ۱۵). بر اساس دیدگاه‌های دیلی، مفهوم کالاها[۷] و خدمات متفاوت هستند: کالاها، محصولاتِ مادی و قابل لمس ناشی از فرآیندهای اکوسیستم هستند، در حالی‌که خدمات اکوسیستم در اکثر موارد شامل بهبود وضعیت یا موقعیت چیزهای با ارزش است (۱۴). وی اشاره می‌کند که در واقع خدمات اکوسیستم توسط "مجموعه‌ای از چرخه‌های طبیعی" تولید می‌شوند که کاملاً گسترده هستند. با این‌وجود جوامع بشری نسبت به این خدمات بی‌توجه می‌باشند (۵ و ۱۴). بر همین اساس، کاستانزا و همکاران نیز در سال ۱۹۹۸، تمایز بین کالاها و خدمات اکوسیستم را از منظر اقتصادی نیز مطرح نمودند و بر همین مبنا خدمات اکوسیستم را مورد بررسی قرار دادند (۵). نهایتاً ایشان با تکیه بر همین تقسیم‌بندی، ۱۷ نوع از خدمات اکوسیستم از جمله تنظیم گاز[۸]، تنظیم آب و هوا[۹]، تنظیم اختلال[۱۰]، تنظیم آب[۱۱]، عرضه آب[۱۲]، مهار فرسایش و نگهداشت رسوب، تشکیل خاک[۱۳]، چرخه مواد مغذی[۱۴]، بازیافت ضایعات[۱۵]، گرده‌افشانی[۱۶]، کنترل بیولوژیکی[۱۷]، تولید مواد غذایی[۱۸]، مواد

1- Natural capital
2- Schumacher
3- Small is beautiful
4- Environmental services
5- Nature's services: societal dependence on natural

6- Daily
7- Goods
8- Gas regulation
9- Climate regulation
10- Disturbance regulation
11- Water regulation
12- Water supply
13- Soil formation
14- Nutrient cycling
15- Waste treatment
16- Pollination
17- Biological control
18- Food production

اولیه[1]، منابع ژنتیکی[2]، مناطق بکر[3] تفریحی و فرهنگی[4] را پیشنهاد دادند (۵ و ۱۶). بنابراین از منظر اقتصادی خدمات اکوسیستم به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به رفاه بشر کمک می‌کنند و بخشی از ارزش کل اقتصادی کره زمین را تشکیل می‌دهند (۵ و ۱۶).

براون و همکاران (۲۰۰۷) کالاهای اکوسیستم ارائه شده توسط دیلی را با اعمال تغییراتی جزئی در دو دسته کلی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر گروه‌بندی کردند که در جدول ۱ نشان داده شده است (۱۷). طبق این دسته‌بندی در واقع کالاها و خدمات اکوسیستم از ساختار و فرآیندهای اکوسیستم ناشی می‌شوند که ساختار به اجزای زنده و غیرزنده و ارتباطات زیست محیطی بین آن‌ها در یک اکوسیستم مشخص می‌پردازد، حال آن‌که فرآیند اکوسیستم[5] به چرخه‌ها و تعامل بین این اجزای زنده و غیرزنده اشاره دارد که کالاها و خدمات اکوسیستم را تولید می‌کنند (۱۷).

جدول ۱- دسته‌بندی کالاها و خدمات اکوسیستم (۱۷)

Table 1- Classification of ecosystem goods and services (17)

کالاها و خدمات اکوسیستم		
کالاها		خدمات
تجدیدپذیر	تجدیدناپذیر	
حیات‌وحش و ماهی (غذا، خز)، گیاهان (مواد غذایی، فیبر، سوخت، گیاهان دارویی)، آب، هوا، خاک، تفریح، زیبایی‌شناسی و آموزشی	سنگ و مواد معدنی سوخت‌های فسیلی	تصفیه آب و هوا (سم‌زدایی و تجزیه مواد زاید)، انتقال مواد مغذی، نگهداری، تجدید و حاصل‌خیزی خاک، گرده‌افشانی محصولات زراعی و گیاهان طبیعی، انتشار دانه‌ها، حفظ الگوهای بارش منطقه‌ای، مهار فرسایش، حفظ زیستگاه‌های گیاهان و حیوانات، کنترل آفات مؤثر بر گیاهان یا حیوانات (از جمله انسان)، محافظت در برابر اشعه مضر ماوراء بنفش (UV)، تثبیت جزئی آب و هوا، تعدیل دما و نیروی باد و امواج، کاهش سیل و خشکسالی

انواع خدمات اکوسیستم و جایگاه تولید رواناب و کاهش فرسایش

از آغاز قرن بیست و یکم، ارزیابی اکوسیستم هزاره[6] با تحقیق بر تغییرات اکوسیستم و پیش‌بینی تغییرات آن‌ها در سال ۲۰۰۵، طبقه‌بندی جامعی از خدمات اکوسیستم ارائه و تصویب کرد (۵ و ۱۸). این ارزیابی، خدمات اکوسیستم که منافع مردم را به همراه دارد در قالب چهار نوع به‌شرح زیر دسته‌بندی کرده است.

خدمات تولیدی[7]: تمامی محصولاتی که به‌طور مستقیم از اکوسیستم‌ها استخراج می‌شوند و مردم از آن‌ها استفاده می‌کنند.

خدمات تنظیمی[8]: مزایا و منافع مستقیم و غیرمستقیم به‌دست آمده از تنظیم فرآیندها و عملکردهای اکوسیستم است.

خدمات فرهنگی[9]: مزایا و لذت غیرمادی که مردم از طریق اکوسیستم‌ها به‌دست می‌آورند.

خدمات پشتیبانی[10]: خدماتی است که برای تولید سایر خدمات اکوسیستم ضروری هستند و مردم به‌طور مستقیم از آن‌ها استفاده نمی‌کنند، بلکه از سایر خدمات پشتیبانی می‌کنند (۵، ۱۸ و ۱۹).

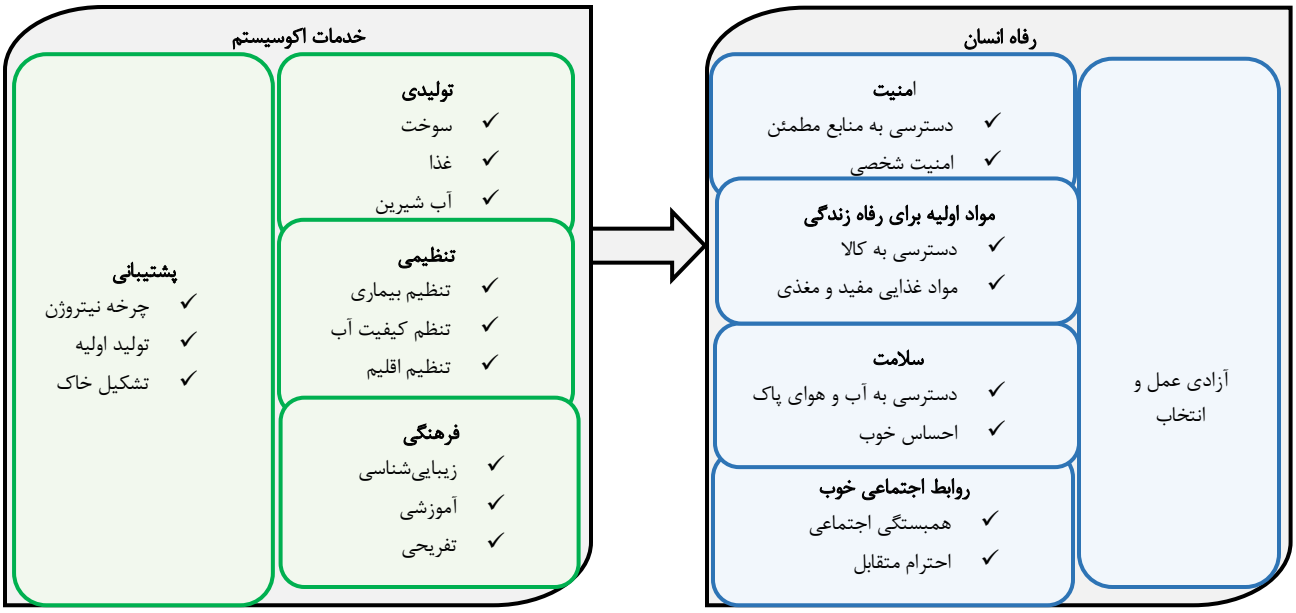
بر اساس طبقه‌بندی ارزیابی اکوسیستم هزاره می‌توان چنین دریافت کرد که سه دسته اول خدمات به‌صورت مستقیم بر جوامع بشری تأثیر می‌گذارند، در حالی‌که خدمات پشتیبانی، فرآیندهای

1- Raw materials
2 - Genetic resources
3- Refugia
4- Recreation and cultural
5- Ecosystem process
6- Millennium Ecosystem Assessment (MEA)
7- Provisioning services
8- Regulating services
9- Cultural services
10- Supporting services

پس‌زمینه‌ای هستند که افراد مستقیماً از آن استفاده نمی‌کنند و برای نگهداری سایر خدمات هستند (۵ و ۱۹). ارزیابی اکوسیستم هزاره هر کدام از چهار طبقه مذکور را به زیرمجموعه‌های مختلف تقسیم‌بندی کردند و جایگاه رواناب و فرسایش در دسته خدمات تنظیمی قرار دارد که در شکل ۱ به آن اشاره شده است (۱۸ و ۲۰). در شکل ۲ نیز نمونه‌هایی از چارچوب مفهومی ارتباط بین خدمات اکوسیستم و رفاه انسان از دیدگاه ارزیابی اکوسیستم هزاره نشان داده شده است.

شکل ۱- طبقه‌بندی خدمات اکوسیستم بر اساس گزارش ارزیابی اکوسیستم هزاره (۱۸)

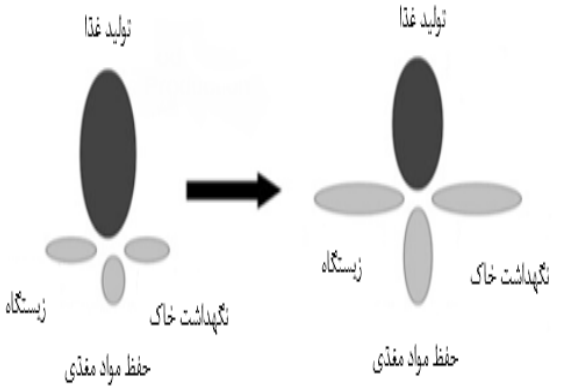
Figure 1- Classification of ecosystem services based on the Millennium Ecosystem Assessment Report



شکل ۲- چارچوب مفهومی ارزیابی اکوسیستم هزاره در رابطه با تعامل بین خدمات اکوسیستم و رفاه انسان (۱۸ و ۲۰)

Figure 2- The conceptual framework of Millennium Ecosystem Assessment in relation to the interaction between ecosystem services and human well-being (18 and 20)

علاوه‌بر این، برخی از محققان بررسی روابط میان خدمات اکوسیستم را اساس و پیش‌نیاز مدیریت پایدار خدمات اکوسیستم می‌دانند و معتقد هستند که شناخت روابط و خصوصیات حاکم بین خدمات مختلف اکوسیستم در مقیاس‌های مکانی و زمانی در زمان‌های سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری منجر به مدیریت تغییرات نامطلوب و حفظ خدمات متعدد اکوسیستم می‌شود (۲۱، ۲۲ و ۲۳). بنابراین در مطالعات اخیر رابطه بین خدمات اکوسیستم نیز مشخص شده است. از نظر اندیشمندان روابط بین خدمات اکوسیستم از نوع موازنه[1] و هم‌افزایی[2] است. موازنه به این معنا است که در آن یک خدمت اکوسیستم به‌خاطر افزایش مصرف و یا تأمین خدمت دیگر کاهش می‌یابد؛ به‌عنوان مثال، افزایش تولید محصولات کشاورزی ممکن است به کاهش کمیت و کیفیت آب و فرسایش منجر شود، که این امر نیز بر ماهی‌گیری و تفریح تأثیر می‌گذارد. در حالی‌که هم‌افزایی به افزایش هم‌زمان خدمات چندگانه اشاره دارد؛ به‌عنوان مثال، افزایش بهره‌وری اولیه خالص باعث افزایش بهره‌وری آب و مقدار حفاظت از خاک می‌شود (۲۱ و ۲۲). برومن و همکاران در سال (۲۰۱۴) بیان کردند در صورتی‌که ارزش‌های متنوع خدمات اکوسیستم در جایگاه خود به‌درستی شناسایی و مدیریت شوند می‌توان ارزش کلی دیگر خروجی‌های یک اکوسیستم را افزایش داد (۱۹). همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، با در نظر گرفتن اقدامات مدیریتی بر بار مواد مغذی در رواناب، نگهداشت خاک و زیستگاه، عملکرد و ارزش بیش‌تری از خود نشان می‌دهند (۱۹). در نتیجه حفاظت از آب و خاک و اقدامات حفاظتی مهار رواناب و کاهش فرسایش خاک با هدف حفظ چرخه طبیعی اکوسیستم‌ها منجر به بهبود خدمات اکوسیستم از جمله تأمین غذا از طریق افزایش عملکرد زمین، تنظیم کیفیت آب از طریق کاهش آلودگی رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی، تنظیم آب و هوا از طریق افزایش و حفظ کربن آلی در پوشش گیاهی و مواد آلی خاک، کاهش خطرات طبیعی از طریق کاهش سیل و رسوب‌گذاری[3]، تنظیم آب با افزایش رطوبت خاک، تشکیل خاک از طریق افزایش پوشش گیاهی و افزایش پتانسیل گردشگری و رفاه می‌شود (۹). با این‌حال مطالعات تجربی نشان می‌دهند که حفظ حالت طبیعی اکوسیستم‌ها، بهبود کاربری جنگلی، ایجاد پوشش گیاهی و درخت‌کاری روی خاک تخریب شده در زمین‌های کشاورزی منجر به کاهش خطر فرسایش، رسوب‌گذاری و به‌دنبال آن افزایش بهره‌وری خاک و بهبود خدمات اکوسیستم می‌شود (۸).



شکل ۳- بهبود خدمات اکوسیستم از طریق شناسایی و مدیریت مناسب (۱۹)

Figure 3- Improving ecosystem services through proper identification and management (19)

پیشینه تحقیقات انجام شده در خصوص خدمات اکوسیستم

در پژوهش حاضر، مروری بر مطالعه انجام شده برای درک بهتر از نقش و جایگاه تولید رواناب و کاهش فرسایش در بین خدمات اکوسیستم آن صورت پذیرفت. بر اساس مرور منابع مشخص شد که اندیشمندان زیادی در سراسر جهان خدمات اکوسیستم را با هدف‌های مختلف در سطح محلی و ملی مورد مطالعه و ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در اکثر تحقیقات مرتبط از

1- Trade-offs
2- Synergies
3- Sedimentation

کلمات "خدمات اکوسیستم"، "مدل‌سازی خدمات اکوسیستم[1]"، "عملکرد اکوسیستم[2]"، "فرآیند اکوسیستم"، "ارزش خدمات اکوسیستم[3]"، "پرداخت بهای خدمات اکوسیستم[4]" به‌تنهایی یا به‌صورت ترکیبی در تحقیقات خود استفاده کرده‌اند. نتایج بررسی‌های انجام شده حاکی از این است که بسیاری از مطالعات به سه موضوع از خدمات اکوسیستم از جمله مدل‌سازی، پهنه‌بندی و ارزیابی اقتصادی متمرکز شده‌اند. از سوی دیگر در چند سال اخیر، توسعه مدل‌های ریاضی برآورد و پیش‌بینی خدمات اکوسیستم و ارزیابی روابط آن‌ها با متغیرهای مختلف، یک رویکرد نسبتاً جدید است که مقالات مختلفی در این زمینه منتشر شده است. در جدول‌های ۲ و ۳ به‌ترتیب خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده در خارج و داخل کشور در زمینه خدمات اکوسیستم و نتایج حاصل از این مطالعات نشان داده شده است.

جدول ۲- پیشینه مطالعات انجام شده در رابطه با خدمات اکوسیستم در خارج از کشور

Table 2- The background of studies conducted in relation to ecosystem services abroad

ردیف	پژوهش‌گران (سال)	محل مورد مطالعه (کشور)	موضوع	نوع مطالعه	نتیجه
۱	بلوند و هونامار (۱۹۹۵) (۲۴)	استکهلم (سوئد)	ارزیابی خدمات اکوسیستم در مناطق شهری	کیفی*	خدمات اکوسیستم محلی در کیفیت زندگی مناطق شهری تاثیر قابل توجه داشته است.
۲	پورتلا و رادماچر (۲۰۰۱) (۲۵)	آمازون (برزیل)	ارائه یک مدل پویا از الگوهای جنگل‌زدایی و تأثیر آن‌ها بر توانایی در ارائه خدمات اکوسیستم آمازون	کمّی و کیفی**	طی شبیه‌سازی ۱۰۰ ساله، حدود ۴۴ درصد از سطح جنگل به مراتع و زمین‌های رها شده تبدیل شده و کاهش ارزش خدمات اکوسیستم کشاورزی و مرتع تبدیل یافته است.
۳	شیانگ و همکاران (۲۰۱۰) (۶)	طارم (چین)	بررسی تغییر ارزش عملکرد خدمات اکوسیستم رودخانه	کمّی و کیفی	گسترش کاربری کشاورزی منجر به افزایش ارزش خدمات اکوسیستم کشاورزی و کاهش ارزش خدمات اکوسیستم جنگل و تالاب و چمن‌زار شده است.
۴	ژانگ و لو (۲۰۱۰) (۲۶)	فلات باتلاق روژرای (چین)	ارزیابی خدمات اکوسیستم	کمّی و کیفی	ارزش خدمات اکوسیستم در فلات مورد بررسی افزایش یافته است.
۵	بای و همکاران (۲۰۱۲) (۷)	بایاندین (چین)	مدل‌سازی موازنه خدمات اکوسیستم هیدرولوژیکی	کمّی و کیفی	به‌ترتیب کاربری جنگل و کشاورزی دارای بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار تولید برق‌آبی و جذب نیتروژن و فسفر بودند.
۶	لوگسدون و چابی (۲۰۱۳) (۱)	ایندیانا (ایالات متحده)	ارائه روش کمی برای ارزیابی خدمات اکوسیستم	کمّی	تفاوت در ارائه خدمات اکوسیستم توسط کاربری اراضی‌های مختلف مشاهده شد.

1- Modeling ecosystem services
2- Ecosystem function
3- Ecosystem value
4- Payment of ecosystem services

۷	بانگاش و همکاران (۲۰۱۳) (۲۷)	لوبروگات (اسپانیا)	ارزیابی خدمات اکوسیستم در حوضه رودخانه مدیترانه: تأثیر تغییرات آب و هوا در تأمین آب و مهار فرسایش	کمّی و کیفی	کاهش تامین آب و مهار فرسایش و افزایش هزینه لایروبی مخازن سدها با تغییرات آب و هوا مشاهده شد.
۸	ندکاو و همکاران (۲۰۱۵) (۲۸)	یانترا، ویدما و مالکی ایسکار (بلغارستان)	کمی‌سازی، مدل‌سازی و پهنه‌بندی خدمات اکوسیستم	کمّی و کیفی	نتایج کمی‌سازی و تعیین عملکرد اکوسیستم پیچیده، روابط بین خدمات-سود را در حوزه‌های آبخیز نشان می‌دهد.
۹	پریوتو و توندسی (۲۰۱۷) (۲۹)	سائوپائولو (برزیل)	توصیف محرکه‌ها و ارزش‌های خدمات اکوسیستم حوزه آبخیز	کمّی	اهمیت تالاب‌ها و پوشش گیاهی طبیعی برای تامین خدمات تنظیمی و نگهداری برجسته شد.
۱۰	فو و همکاران (۲۰۱۷) (۳۰)	یونگدینگ (چین)	بهای پرداخت خدمات اکوسیستم به‌منظور تخصیص منابع آب حوضه	کمّی و کیفی	پرداخت هزینه برای خدمات اکوسیستم می‌تواند برای توسعه پایدار روشی مناسب باشد.
۱۱	ژائو و همکاران (۲۰۱۸) (۲۳)	رودخانه مروارید (چین)	پهنه‌بندی سطوح مختلف خدمات اکوسیستم	کمّی و کیفی	مناطق جنگلی دارای خدمات تنظیمی بالا و مناطق شهری دارای خدمات فرهنگی بالا شناخته شدند.
۱۲	پینگ و همکاران (۲۰۱۸) (۳)	یونان (چین)	پیوند خدمات اکوسیستم و تئوری مدار[1] برای شناسایی الگوهای امنیت زیست‌محیطی	کمّی و کیفی	الگوهای امنیت زیست‌محیطی منابع بوم‌شناختی در اراضی جنگلی و راهروهای بوم‌شناختی شعاعی در میان نهرها و کمربندهای جنگلی دارای توزیع مکانی بودند.
۱۳	فینگ و همکاران (۲۰۱۸) (۱۱)	چین	ارزیابی میزان مصرف انسانی خدمات اکوسیستم بر اساس مدل ردپای خدمات اکوسیستم	کّمی	روند افزایشی در ردپای خدمات اکوسیستم مشاهده شد.
۱۴	ریتن و همکاران (۲۰۱۸) (۴)	کلرادو	استفاده از مدل‌های حالت و گذار برای تعیین هزینه فرصت ارائه خدمات اکوسیستم	کمّی و کیفی	عدم توانایی مزرعه در ارائه خدمات در بالاترین سطح خود گزارش شد.
۱۵	یانگ و همکاران (۲۰۱۸) (۳۱)	یانه (چین)	تأثیر تغییر کاربری اراضی بر موازنه خدمات اکوسیستم: پویایی و سناریوها در حوزه آبخیز	کمّی و کیفی	کاهش مساحت زمین‌های زراعی موجب کاهش همبستگی بین خدمات اکوسیستم در موازنه و هم‌افزایی شده و تبدیل زمین‌های کشاورزی به مرتع در خدمات اکوسیستم تاثیر بیش‌تری داشته است.

1- Circuit theory

۱۶	وو و همکاران (۲۰۱۸) (۱۰)	یانه (چین)	بهینه‌سازی کاربری اراضی بر اساس ارزیابی خدمات اکوسیستم	کمّی و کیفی	کاهش خدمات تامین آب و تولید محصول و افزایش حفظ خاک و ترسیب کربن با تغییر کاربری زراعی به مرتع و جنگل
۱۷	آلام (۲۰۱۸) (۸)	-	شاخص‌های زیست محیطی و اقتصادی برای اندازه‌گیری خدمات ناشی از مهار فرسایش	کمّی و کیفی	نقش اکوسیستم در تعدیل فرسایش و سهم آن‌ها در اقتصاد از نظر جلوگیری از آسیب‌های اقتصادی آشکار شده است.
۱۸	رومرودیاز و همکاران (۲۰۱۹) (۹)	-	بررسی خدمات اکوسیستم از طریق کنترل خندق	کیفی	تاکید بر اهمیت ارزیابی اقدامات مهار فرسایش از جنبه‌های پولی و خدمات اکوسیستم صورت گرفت.
۱۹	کیائو و همکاران (۲۰۱۹) (۲۱)	چین	بررسی تنوع زمانی و وابستگی مقیاس مکانی در میان خدمات چندگانه اکوسیستم		تغییر توازن بین تامین و تنظیم خدمات به مرور زمان و ارتباط جدید بین عرضه آب شیرین و تولید آبزیان با تقاضای انسان صورت پذیرفته است.
۲۰	پادیال و همکاران (۲۰۱۹) (۲)	پهوا (نپال)	ارزیابی مکانی تاثیر تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین در تامین خدمات اکوسیستم	کمّی و کیفی	خدمات اکوسیستم در نتیجه افزایش جنگل‌های انبوه و کاهش جنگل‌های تنک، علفزار و زمین‌های کشاورزی افزایش یافته بود.
۲۱	هو و همکاران (۲۰۱۹) (۳۲)	رود مروارید (چین)	ارزیابی روابط خدمات اکوسیستم در چند مقیاس از طریق مهار فرسایش خاک و تولید آب	کمّی	فرسایش خاک و تولید آب همبستگی خطی مثبت با اقلیم در طول زمان و الگوهای تصادفی[1] را از نظر مکانی نشان می‌دهد.

*کیفی: تحقیقاتی که از طریق توصیف، نظرسنجی و مشاهده انجام شده است.

**کمی: تحقیقاتی که از طریق روش‌های آماری، ریاضی یا محاسباتی انجام شده است.

جدول ۳- پیشینه مطالعات انجام شده در رابطه با خدمات اکوسیستم در داخل کشور

Table 3- The background of the studies done in relation to ecosystem services inside the country

ردیف	پژوهش‌گران (سال)	محل مورد مطالعه (کشور)	موضوع	نوع مطالعه	نتیجه
۱	جهانی‌شکیب و همکاران (۱۳۹۳)	زاگرس مرکزی	بررسی قابلیت و کاربرد خدمات اکوسیستمی به‌عنوان شاخص‌های	کیفی	تغییرات و نوسانات ساختاری بر تالاب نتیجه فشار نیروهای محرکه بر محیط زیست است.

1- Occurrence patterns

	(۳۳)		بوم‌شناختی در مدل DPSIR		
۲	اسدالهی و همکاران (۱۳۹۴) (۳۴)	گرگانرود	مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی نگهداشت خاک با نرم‌افزار InVEST	کمّی	بیش‌ترین و کم‌ترین میزان نگهداشت خاک مربوط به جنگل و اراضی کشاورزی است.
۳	زرندیان و همکاران (۱۳۹۴) (۳۵)	جواهردشت	مدل‌سازی اثرات تغییر کاربری زمین بر خدمات آبی اکوسیستم با استفاده از یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری	کّمی	کاهش سطح جنگل موجب کاهش تبخیر و تعرق و افزایش رواناب و فرسایش خاک شده است.
۴	سیدی (۱۳۹۵) (۳۶)	زاینده‌رود	مدل‌سازی خدمات اکوسیستم حوزه‌های آبریز در سناریوهای مختلف تغییرات اقلیمی	کمّی و کیفی	حساسیت زیاد زیرحوضه‌های پایین‌دست به تغییرات اقلیمی و زیرحوضه‌های بالادست به تغییرات کاربری اراضی ارزیابی شد.
۵	سعیدصبائی و همکاران (۱۳۹۵) (۳۷)	گرگان	به‌گزینی[1] کاربری اراضی با رویکرد خدمات اکوسیستم به کمک برنامه‌ریزی خطی	کیفی	فرسایش خاک با به‌گزینی کاربری اراضی کاهش یافت.
۶	اسداللهی و سلمان‌ماهینی (۱۳۹۵) (۳۸)	گرگان‌رود	بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر عرضه خدمات اکوسیستم (ذخیره و ترسیب کربن)	کمّی	ذخیره کربن با تغییر کاربری کاهش یافت.
۷	حق‌شناس و همکاران (۱۳۹۵) (۳۹)	مازندران	معرفی کاربردی مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی آبزی‌پروری دریایی: راهکاری برای برآورد تولید و ارزش فعلی خالص (NPV)	کمّی و کیفی	طول دوره رشد با افزایش دما کاهش پیدا کرده است.
۸	مثنوی و دبیری (۱۳۹۶) (۴۰)	اصفهان	ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستم شهری به‌عنوان ابزاری برای برنامه‌ریزی شهرهای پایدارتر	کیفی	نقش اساسی خدمات اکوسیستم شهری در سلامت انسان و تاب‌آوری شهری مورد تاکید قرار گرفت.
۹	زرندیان (۱۳۹۴) (۴۱)	-	معرفی چارچوبی برای به‌کارگیری رهیافت خدمات اکوسیستمی در مدیریت منابع آب	مروری	شاخص‌های خدمات اکوسیستم می‌توانند به غنای برنامه‌های مدیریت آب و درک پیچیدگی‌های بین عوامل تنش‌زای انسانی، وضعیت بوم‌شناختی نظام‌های آبی، ظرفیت و جریان تولید خدمات کمک کنند.
۱۰	رحیمی و همکاران (۱۳۹۷) (۴۲)	تالاب شادگان	ارزیابی خدمات اکوسیستمی تالاب‌ها بر اساس طبقه‌بندی ساختارها و کارکردهای هیدرولوژیکی-بوم‌شناختی	کیفی	یک نوع رقابت بین خدمات تنظیمی و تولیدی تالاب شادگان مشاهده شد.

1- Optimizing

از سال‌های گذشته فعالیت‌های علمی و توجه جهانی در رابطه با بررسی مفهوم خدمات اکوسیستم درحال گسترش است، به‌خصوص انتشارات مربوط به این مفهوم از دهه ۱۹۹۰ شتاب بیش‌تری به خود گرفته است. با توجه به این‌که مطالعات حاکی از همبستگی شدید بین مدیریت اکوسیستم، فرسایش و رواناب است، بنابراین حفاظت از عملکرد خدمات اکوسیستم برای دستیابی به هماهنگی و تعادل بین جامعه انسانی و اکوسیستم ضروری است (۸). همان‌گونه که در جدول‌های ۲ و ۳ مشخص است مطالعات بسیار معدودی به ارزیابی نقش تولید رواناب و کاهش فرسایش در میان خدمات اکوسیستم حوزه آبخیز پرداخته‌اند. برای مثال، در مطالعه لوگسدون و چابی (۱) یک رویکرد کمّی برای ارزیابی خدمات اکوسیستم ارائه شده است. آن‌ها روش‌هایی برای تعیین پنج نوع از خدمات اکوسیستم تولیدی و تنظیمی اکوسیستم از جمله تولید آب شیرین، تولید چوب، مواد غذایی، تنظیم سیل و تنظیم فرسایش در سه سناریوی جنگل، شهر و کشاورزی را متناسب با ورودی‌های مربوط به عملکرد اکوسیستم پیشنهاد و اثربخشی این روش‌ها را بررسی کردند. نتایج روش‌ها نشان‌دهنده تفاوت ارائه خدمات اکوسیستم در نوع کاربری اراضی بود. آن‌ها با این‌که برخی از خدمات اکوسیستم را بررسی کردند ولی روشی که ارائه کردند می تواند یک چارچوب سازنده برای اندازه‌گیری مجموعه کامل خدمات اکوسیستم با استفاده از مدل‌های بیوفیزیکی بیش‌تر و ایجاد روش‌های اعتبارسنجی باشد. از سوی دیگر هو و همکاران (۳۲) نیز روابط بین خدمات اکوسیستم را در چند مقیاس با هدف مهار فرسایش خاک و تولید آب ارزیابی کردند. آن‌ها مقادیر بیوفیزیکی را با استفاده از هفت سری داده‌های کاربری اراضی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ ارزیابی نمودند و سپس یک رابطه مکانی با استفاده از همبستگی محلی و مدل Barycenter در مقیاس منطقه‌ای و حوضه ارائه دادند. در نهایت برای بررسی تأثیر زمان و تفاوت‌های فردی در شاخص‌های بوم‌شناختی، مدل‌های رگرسیون تلفیقی[۱]، مدل‌های اثرات ثابت[۲]، مدل‌های اثرات ثابت دوطرفه[۳] و مدل‌های اثرات تصادفی[۴] را ارائه کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که فرسایش خاک و تولید آب همبستگی خطی مثبت را در مقیاس آب و هوایی در طول زمان و الگوهای تصادفی از نظر مکانی نشان می‌دهد. هم‌چنین رومرودیاز و همکاران (۹) به ارزیابی پتانسیل اقدامات مهار فرسایش خندقی برای حفاظت از خدمات اکوسیستم و ارزیابی شرایط مورد نیاز برای اجرای مقیاس‌های بزرگ با استفاده از «بررسی جهانی روش‌ها و فن‌آوری‌های حفاظت شده» (WOCAT)[۵] پرداختند. اثرات زیست محیطی و اجتماعی-اقتصادی از فن‌آوری‌ها، هم‌چنین پیامدهای خدمات اکوسیستم، هزینه‌ها و مزایای مشارکت و درک ذینفعان را ارزیابی کردند. آن‌ها دریافتند که نتایج بر اهمیت ارزیابی اقدامات کنترلی با توجه به جنبه‌های پولی و تمامی خدمات اکوسیستمی که آن‌ها ارائه می‌دهند تأکید می‌کند. علاوه‌بر این نتایج نشان داد که کشاورزان به‌صورت فردی اغلب نمی‌توانند از هزینه‌های اجرایی و نگهداری به‌دلیل موانع اجرایی برآیند، بنابراین نیاز به حمایت‌های نهادی پایدار دارند.

در ایران نیز مطالعات و تحقیقات متعددی با دیدگاه‌های مختلف در رابطه با خدمات اکوسیستم انجام شده است. برای نمونه، اسداللهی و همکاران (۳۴) به مدل‌سازی خدمات اکوسیستم نگهداشت خاک با نرم‌افزار InVEST[۶] در بخش شرقی حوزه آبخیز گرگانرود پرداختند. آن‌ها پتانسیل هدررفت خاک را بر اساس معادله جهانی هدررفت خاک (USLE) تخمین زدند و میزان نگهداشت خاک را از رابطه RKLSE-USLE به‌دست آوردند. نتایج نشان داد که مقادیر هدررفت خاک سالانه از صفر تا ۷۵ تن در سطح پیکسل متغیر است. در نهایت به این نتیجه

1- Pooled regression models
2- Fixed effects models
3- Two-way fixed effects models
4- Random effects models
5- World Overview of Conservation Approaches and Technologies (WOCAT)
6- Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-off (InVEST)

رسیدند که زیرحوضه‌های با پوشش غالب جنگل بیش‌ترین میزان نگهداشت خاک کل حوضه را به خود اختصاص داده است. هم‌چنین مشخص شد که کم‌ترین میزان نگهداشت خاک به اراضی کشاورزی پایین‌دست حوضه علی‌رغم شیب کم اختصاص دارد. سپس زرندیان و همکاران (۴۱) به بررسی چگونگی کاربرد مدل (WWPSS)[۱] برای محاسبه بیلان و خدمات آبی اکوسیستم در شرایط پایه و سنجش اثرات تغییر در پوشش جنگلی بر کمیت و کیفیت این خدمات در سناریوهای مختلف، منطقه جنگلی سرولات و جواهردشت پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که سطح تحت پوشش جنگلی متراکم طی ۱۳ سال اخیر ۲۹ درصد کاهش و پوشش جنگلی نیمه‌متراکم به‌ترتیب ۱۴ و ۱۵ درصد افزایش یافته است. نتایج اثرات این تغییرات ساختاری بر خدمات آبی نشان‌دهنده کاهش توان سرزمین مورد بررسی در ایجاد تعادل آبی به میزان میانگین ۱/۵ میلی‌متر در سال و افزایش رواناب به مقدار ۱۲/۱۹ میلیون مترمکعب در سال بود. نتایج کلی افزایش میانگین فرسایش خاک به میزان ۰/۵۷ میلی‌متر در سال و تشدید پتانسیل توزیع آلاینده‌های آبی در محدوده مورد بررسی را نشان داد. هم‌چنین سعیدصبائی و همکاران (۲۷) به بررسی چگونگی انجام به‌گزینی کاربری‌ها با توجه به تغییر در میزان فرسایش خاک و قابلیت نگهداشت آب به‌عنوان دو مورد از خدمات اکوسیستم بر پایه برنامه‌ریزی خطی در واحدهای کاری سرزمین پرداختند. آن‌ها از سامانه پشتیبان مدیریت اراضی LUMASS[۲] استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که در سناریوی اول و دوم به‌ترتیب کاهش ۶۱ و ۱۰ درصدی در میزان فرسایش خاک در مقایسه با شرایط قبل از به‌گزینی ایجاد می‌شود.

مدل‌های مورد استفاده در ارزیابی خدمات اکوسیستم با تأکید بر رواناب و کاهش فرسایش

در مجموع می‌توان جمع‌بندی نمود که ارزیابی خدمات اکوسیستم به دو روش کیفی و کمّی در حال گسترش است و جایگاه ویژه‌ای در ارائه مستندات لازم برای کاهش خطر تخریب زمین پیدا کرده‌اند. در این میان توجه به مسائل حاکم بر رواناب و فرسایش به‌سبب وسعت بحران آن‌ها در شرایط اقلیمی و محیط زیستی مختلف در جهان و نیز تبعات غیرقابل جبران آن ضروری جلوه نموده است. در طی تحقیق حاضر و بررسی‌های انجام شده دریافت شد که برای بررسی و کمی‌سازی خدمات اکوسیستم غالباً از مدل‌هایی هم‌چون WWPSS (۴۱)، InVEST (۳۴)، DPSIR (۳۳)، SWIM[۳]، SITE[۴]، ARIES[۵]، SWAT، KINEROS و Agro-IBIS[۶] (۲۲)، Barycenter (۳۲)، CASA و USLE (۲۱) استفاده شده است. قابل ذکر است که غالباً این مدل‌ها به‌عنوان ابزاری برای رسیدن به مفهوم‌سازی و تبیین خدمات اکوسیستم به‌کار برده شده‌اند.

نتیجه‌گیری

مدل‌سازی و ارزیابی خدمات اکوسیستم و بررسی محرک‌های مؤثر بر تأمین آن ابزاری اساسی برای مطالعات آینده پژوهشی، تدوین استراتژی‌های راهبردی در مورد مزایای عملکرد اکوسیستم در رابطه با تأمین نیازها و معیشت بشر و ارتقای تنوع زیستی را تضمین می‌کند. طی ۳۰ سال گذشته مفهوم خدمات اکوسیستم از نظر پژوهشگران توجه و محبوبیت فراوانی یافته است. قابل ذکر است با توجه به مطالعات صورت گرفته مشخص شد که اکثر مطالعات مرتبط با خدمات اکوسیستم فقط روی تعداد معدودی از خدمات اکوسیستم متمرکز شده‌اند و بررسی جایگاه تولید رواناب

7- Water World Policy Support System (WWPSS)
1- Land-Use Management Support System (LUMASS)

2- Soil and Water Integrated Model (SWIM)
3- SImulation of Terrestrial Environments (SITE)
5- Artificial Intelligence for Ecosystem Services (ARIES)
5- Agroecosystem Integrated BIosher Simulator (Agro-IBIS)

و کاهش فرسایش و تنظیم آن به‌عنوان یک خدمت توسط اکوسیستم چندان مشهود نیست. با توجه به این‌که مسئله رواناب و فرسایش در جهان و به‌ویژه ایران یک مسئله جدی است، بنابراین اقدامات شناسایی عوامل، کنترل و حفاظت از مناطق مستعد تولید رواناب، رسوب و فرسایش از مهم‌ترین وظایف و اقدامات ملی در کشور است. بر این اساس می‌توان با گسترده‌تر کردن مطالعات و تحقیقات و ارائه روش‌هایی برای کمّی نمودن و پیش‌بینی خدمات اکوسیستم مبتنی بر خدمات تنظیمی رواناب و کاهش فرسایش به اولویت‌بندی و پهنه‌بندی مناطق مستعد رواناب و فرسایش برای تبیین راهبردهای مدیریتی و بازدارندگی کمک شایانی نمود.

منابع

1- Logsdon, R.A., Chaubey, I. A quantitative approach to evaluating ecosystem services. Ecological Modelling. 2013. (257): 57-65.

2- Paudyal, k., Baral, H., Bhandari, S.P., Bhandari A., Keenan, A.J. Spatial assessment of the impact of land use and land cover change on supply of ecosystem services in Phewa watershed, Nepal. Ecosystem Services. 2019. (36): 1-15.

3- Peng, J., Yang, Y., Liu, Y., Hu, Y., Du, Y., Meersmans, J., Qiu, S. Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological security patterns. Science of the Total Environment. 2018. (644): 781-790.

4- Ritten, J., Fernández-Giménez, M.E., Pritchett, J., Kachergis, E., Bish, W. Using state and transition models to determine the opportunity cost of providing ecosystem services. Rangeland Ecology & Management. 2018. (71): 737-752.

5- Ronchi, S. Ecosystem services for spatial planning innovative approaches and challenges for Practical Applications. Green Energy and Technology. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature. 2018. Chapter 1, 1-20.

6- Xiang, H., Yaning, Ch., Jianxin, M., Yapeng, Ch. Study on change in value of ecosystem service function of Tarim River. Acta Ecologica Sinica. 2010. (30): 67-75.

7- Bai, Y., Zheng, H., Ouyang, Zh., Jiang, B. Modeling hydrological ecosystem services and tradeoffs: a case study in Baiyangdian watershed, China. Environmental Earth Sciences. 2012. 1-13.

8- Alam, M. Ecological and economic indicators for measuring erosion control services provided by ecosystems. Ecological Indicators. 2018. (95): 695-701.

9- Romero Diaz, A., Diaz.Pereira, E., DeVente, J. Ecosystem services provision by gully control. A review. Geographical Research Letters. 2019. (45): 1697- 9540.

10- Wu, X., Wang, S., Fu, B., Liu, Y., Zhu, Y. Land use optimization based on ecosystem service assessment: A case study in the Yanhe watershed. Land Use Policy. 2018. (72): 303-312.

11- Feng, Zh., Cui, Y., Zhang, H., Gao, Y. Assessment of human consumption of ecosystem services in China from 2000 to 2014 based on an ecosystem service

footprint model. Ecological Indicators. 2018. (94): 468-481.

12- Schumacher, E.F. Small is beautiful: a study of economics as if people mattered. London: Blond and Briggs. 1973.

13- Ehrlich, P.R., Ehrlich, A.H. Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species. Random House, New York. 1981. 305

14- Daily, G.C. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington. 1997. 392.

15- Daily, G.C., Söderqvist, T., Aniyar, S., Arrow, K., Dasgupta, P., Ehrlich, P.R., Folke, C., Jansson, A., Jansson, B.O. The value of nature and the nature of value. Science. 2000. 289 (5478): 395–396.

16- Costanza, R., Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature. 1997. (387): 253-260.

17- Brown, T.C., Bergstrom, J.C., Loomis, J.B. Defining valuing and providing ecosystem goods and services. Natural Resources. 2007. 47 (2): 329–376.

18- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and human well-being: synthesis. Washington, DC: Island Press. 2005. 1-12.

19- Brauman, K., Brils, J. Ecosystem services and river basin management. 2014. 265-295.

20- Mahmoudi, B. An analysis of international classifications of ecosystem services (a strategy for determining the natural ecosystem services of the country). The fifth conference on the Iranian Islamic model of progress; Basic development pattern, 20 April 2016. (In Persian)

21- Qiao, X., Gu, Y., Zou, Ch., Xu, D., Wang, L., Ye, X., Yang, Y., Huang, X. Temporal variation and spatial scale dependency of the trade-offs and synergies among multiple ecosystem services in the Taihu Lake Basin of China. Science of the Total Environment. 2019. (651): 218-229.

22- Qiu, J., Carpenter, S.R., Booth, E.G., Motew, M., Zipper, S.C., Kucharik, C.K., Loheide, S.P., Turner, M.G. Understanding relationships among ecosystem services across spatial scales and over time. Environmental Research Letters. 2018. (13): 2-15.

23- Zhao, M., Peng, J., Liu, Y., Li, T., Wang, Y. Mapping Watershed-Level Ecosystem Service Bundles in the Pearl River Delta, China. Ecological Economics. 2018. (152): 106-117.

24- Bolund, P., Hunhammar, S. Ecosystem services in urban area. Ecological Economics. 1999. (29): 301-293.

25- Portela, R., Rademacher, I. A dynamic model of patterns of deforestation and their effect on the ability of the Brazilian Amazonia to provide ecosystem services. Ecological Modelling. 2001. (143): 115-146.

26- Zhang, X., Lu, X. Multiple criteria evaluation of ecosystem services for the Ruoergai Plateau Marshes in southwest

China. Ecological Economics. 2010. (69): 1463-1470.

27- Bangash, R.F., Passuello, A., Sanchez-Canales, M., Terrado, M., López, A., Elorza, F.J., Ziv, G., Acuña, V., chuhmacher, J.C. Ecosystem services in Mediterranean river basin: climate change impact on water provisioning and erosion control. Science of the Total Environment. 2013. (458-460): 246-255.

28- Ritten, J., Fernández-Giménez, M.E., Pritchett, J., Kachergis, E., Bish, W. Using state and transition models to determine the opportunity cost of providing ecosystem services. Rangeland Ecology & Management. 2018. (71): 737-752.

29- Periotto, N.A., Tundisi, G.J. A characterization of ecosystem services, drivers and values of two watersheds in Sao Paulo state, Brazil. Brazilian Journal of Biology. 2018. 397-407.

30- Fu, Y., Zhang, J., Zhang, C., Zang, W., Guo, W., Qian, Z., Liu, L., Feng, J. Payments for ecosystem services for watershed water resource allocations. Journal of Hydrology. 2017. 22-1694(17): 30816-8.

31- Yang, S., Zhao, W., Liu, Y., Wang, S., Wang, J., Zhai, R. Influence of land use change on the ecosystem service trade-offs in the ecological restoration area: Dynamics and scenarios in the Yanhe watershed, China. Science of the Total Environment. 2018. (644): 556-56.

32- Hu, T., Wu, J., Li, W. Assessing relationships of ecosystem services on multi-scale: A case study of soil erosion control and water yield in the Pearl River Delta. Ecological Indicators. 2019. (99): 193-202.

33- Jahanishakib, F., Malekmohammadi, B., Zbardast, L., Adeli, F. Investigating the capability and application of ecosystem services as ecological indicators in the DPSIR model of Chaghakhor lagoon, Environmental Research, 2013, 5 (10): 109-120. (In Persian)

34- Asadolahi, Z., Salman Mahiny, R., Mirkarimi, S.H., Azimi, M. Modeling sediment retention ecosystem service using InVEST software (Case study: Estern Part of Gorgan-Rud Watershed). Environmental Erosion Research. 2015. 3 (19): 61-75. (In Persian)

35- Zarandian, A. Introducing a framework for application of the ecosystem services approach in the water resources management. Environment and Interdisiplinary Development. 2018. 3 (60): 17-28. (In Persian)

36- Seyedi, Sara. Modeling ecosystem services of watersheds in different climate change scenarios of Zayandehroud watershed, Master's thesis, Environmental Management and Education, University of Tehran, 2015, 2-10. (In Persian)

37- SaeedSabaee, M., Salman Mahiny, R., Gharibi, R., SaeedSabaee, E. Optimizing land-use allocation with respect to ecosystem services using Linear programming. Natural Environment. 2015. 69 (3): 697-713. (In Persian)

38- Asadolahi, Z., Salman Mahiny, R. Investigating the effect of land use change on the supply of ecosystem services (carbon storage and sequestration). Environmental Research. 2017. 8 (15): 203-214. (In Persian)

39- Haghshenas, E., Gholamalifard, M., Mahmoudi, N. Applied introduction of ecosystem service modeling of marine aquaculture: Approach for estimation of production and net present value (NPV). Iranian Scientific Journal. 2017. 26 (1): 141-152. (In Persian)

40- Masnavi, M.R., Dabiri, M. The potential of urban ecosystem services valuation as a tool for planning more sustainable cities. Manzar. 2017. 41, 24-35. (In Persian)

41- Zarandian, A., Yavari, A.R., Jafari, H.R., Amirnejad, H. Modeling landuse change impacts on water-related ecosystem services using a policy support system. Environmental Sciences. 2016. 13 (4): 97-112. (In Persian)

42- Rahimi, L., Malekmohammadi, B., Yavari, A. The ecosystem services assessment of wetlands based on the classification of hydrological-ecological structures and functions (Case study: Shadegan Wetland). Geography and Sustainability of Environment. 2019. 9 (1): 51-72. (In Persian)