محیط‌زیست و توسعه، سال ۱۵، شماره ۳۰، پاییز و زمستان ۱۴۰۳، از صفحه ۱۳۷ تا ۱۴۶

# مفهوم خدمات ژئوسیستم: تعاریف، تکامل و طبقه‌بندی

**فاطمه محمدیاری***

گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: mohammadyari.f@sku.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۰۴ تاریخ تصویب: ۱۴۰۴/۰۸/۰۳)

**چکیده**

در این مقاله به تبیین مفهوم نوظهور خدمات ژئوسیستم پرداخته شده است. خدمات ژئوسیستم، خدمات اکوسیستم را با تمرکز بر اجزای غیرزنده و خدمات محیطی تکمیل می‌کند. این مفهوم با الگوبرداری از خدمات اکوسیستم به بررسی دقیق و جامع اهمیت عملکردهای اکوسیستم و نقش آن‌ها در حفظ زندگی و رفاه انسان می‌پردازد. همچنین خدمات ژئوسیستم به عنوان راهی برای ارزشیابی کامل تنوع زمین و زیرسطح پیشنهاد شده است، زیرسطح نه تنها پایه‌ای است که تمام زیرساخت‌های انسانی بر آن تکیه می‌کنند و فرصت‌هایی را برای ایجاد محیط زندگی بهتر ارائه می‌دهد، بلکه یک منبع طبیعی چند منظوره است. جدا از فضای فیزیکی، زیرسطح می‌تواند به عنوان مثال آب، انرژی و مواد را تأمین و ذخیره، زیستگاه‌هایی را برای اکوسیستم‌ها فراهم کند و به عنوان پشتیبان حیات سطحی و به عنوان مخزن میراث فرهنگی و زمین‌شناسی عمل نماید. مفهوم‌سازی خدمات ژئوسیستم به عنوان یک رویکرد ممکن برای بهبود ارزیابی اکوسیستم‌ها و خدمات آنها توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است. بدین‌منظور، هدف این مطالعه بررسی تعاریف و مفاهیم خدمات ژئوسیستم و نقش آن در برنامه‌ریزی زیرسطح و توجه به اکوسیستم‌های زیرزمینی است.

**کلید واژه‌ها:** خدمات ژئوسیستم، اکوسیستم‌های زیرزمینی، خدمات اکوسیستم، برنامه‌ریزی زیرسطحی

* نویسنده مسئول:
Email: mohammadyari.f@sku.ac.ir

DOI: http//doi.org/10.22034/eiat.2026.238714

## سرآغاز

خدمات اکوسیستم[۱] مفهومی است که توجه را به سایر مزایای پیچیده و کمتر آشکاری که انسان از طبیعت به دست می‌آورد، معطوف کرده است. این مفهوم اگرچه، در عمل، هنوز به طور کامل در برنامه‌ریزی فضایی ادغام نشده است، اما به طور گسترده پذیرفته شده و در سیاست‌های محیط‌زیستی جهانی و ملی گنجانده شده است تا ارزش اکوسیستم‌ها در تصمیم‌گیری‌ها قابل مشاهده و تایید شود (Frisk et al., 2022). مفهوم خدمات اکوسیستم هم برای افزایش آگاهی و ادغام دیدگاه‌ها یا رشته‌های مختلف در مدیریت محیط‌زیستی (Ainscough et al., 2019) و هم برای ادغام در حسابداری محیط‌زیستی با استفاده از ارزشگذاری پولی (مانند طبقه‌بندی مشترک بین‌المللی خدمات اکوسیستمی)[۲] استفاده شده است (Haines-Young & Potschin-Young, 2018). خدمات اکوسیستم، کمک‌هایی هستند که اکوسیستم‌ها به رفاه انسان می‌کنند، اما خدمات ارائه شده توسط بخش‌های غیرزنده اکوسیستم‌ها، از جمله آنهایی که از زیرسطح[۳] به دست می‌آیند، اغلب در سیستم‌های طبقه‌بندی خدمات اکوسیستم نادیده گرفته می‌شوند (Van Ree & Van Beukering, 2016). دلیل عدم گنجاندن بخش‌های غیرزنده اکوسیستم‌ها این است که بوم‌شناسان و زیست‌شناسان گروه غالب دانشمندانی بودند که در توسعه مفهوم خدمات اکوسیستمی دخیل بودند و این امر به‌طور غیرمستقیم باعث شد که سایر رشته‌ها مانند زمین‌شناسی، بیوژئوشیمی، ژئومورفولوژی و ژئوهیدرولوژی در این مفهوم کمتر مورد توجه قرار گیرد (Van Ree et al., 2017). گرچه تنوع‌زیستی و خدمات اکوسیستمی به طور فزاینده‌ای در سیاست‌های محیط‌زیستی جهانی و ملی گنجانده شده است، تنوع جغرافیایی و خدمات ناشی از این ویژگی‌های غیرزیستی (غیرزنده) وضعیت و جایگاه مشابهی با همتایان زیستی (زنده) خود ندارند (Gray, 2018; Schrodt et al., 2019). در این راستا، مفهوم نوظهور خدمات ژئوسیستم[۴] با الگوبرداری از خدمات اکوسیستم ارائه شد، که به بررسی دقیق و جامع اهمیت عملکردهای اکوسیستم و نقش آن‌ها در حفظ زندگی انسان می‌پردازد (Bobylev et al., 2022). این مفهوم همچنین به عنوان راهی برای ارزشیابی کامل تنوع زمین (Gray, 2018) و زیرسطح پیشنهاد شده است (Van Ree et al., 2017). هدف خدمات ژئوسیستم تکمیل خدمات اکوسیستم با تمرکز بر اجزای غیرزنده و خدمات محیطی است. با این حال، اکوسیستم‌ها مستقل از محیط غیرزنده (ساختارها و فرآیندهای بیوفیزیکی) یا تنوع زمینی آن نیستند و مرز بین خدمات زنده و غیرزنده معمولاً مبهم است (Fox et al., 2020). مفهوم خدمات اکوسیستم توجه را به بخش زنده اکوسیستم‌ها جلب کرده است و برای حمایت از تصمیمات آگاهانه با توجه به ارزش‌های حال و آینده عملیاتی شده است. در مقابل مفهوم خدمات ژئوسیستم پتانسیل بهبود درک و افزایش آگاهی در مورد چند کارکردی زیرسطح را دارد و به عنوان مبنایی برای در نظر گرفتن و گنجاندن جنبه‌های مختلف زیرسطح در فرآیندهای برنامه‌ریزی فضایی عمل می‌کند (Norrman et al., 2021). در دهه‌های گذشته توجه به زیرسطح در نتیجه آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی و خطرات بهداشتی مرتبط با آن افزایش یافته است که منجر به استراتژی‌های حفاظت از خاک شده است. همچنین، تمرکز بر از دست دادن تنوع‌زیستی و تمایل به افزایش فضای سبز شهری، اهمیت خاک و خدمات اکوسیستمی آن را برجسته می‌کند. در این بین، تنوع زمین و خدمات ژئوسیستم ارائه شده نیز مستلزم توجه است (Finesso & Van Ree, 2022). با این حال، علی‌رغم این که خدمات ژئوسیستم در ادبیات علمی در دهه گذشته از منظرهای مختلف مورد بحث قرار گرفته است، هنوز به صورت یکپارچه در ادبیات علمی تعریف نشده است. با محبوبیت فزاینده خدمات اکوسیستم، که به اشکال مختلف استفاده از کالاهای طبیعی و عملکردهای اجتماعی-اقتصادی و محیط‌زیستی سیمای سرزمین می‌پردازد، مفهوم‌سازی خدمات ژئوسیستم به عنوان یک رویکرد ممکن برای بهبود ارزیابی اکوسیستم‌ها و خدمات آنها توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است (Frisk et al., 2022). بدین‌منظور، هدف این مطالعه بررسی تعاریف، تکامل و مفاهیم خدمات ژئوسیستم و نقش آن در برنامه‌ریزی زیرسطح و توجه به اکوسیستم‌های زیرزمینی است.

## مواد و روش‌ها

این مقاله از دو جزء مفهومی، شامل مرور ادبیات علمی حاکم بر اساس مفاهیم ژئوسیستم- خدمات ژئوسیستم و طبقه‌بندی این خدمات و چارچوب نظری تشکیل شده است. در این راستا، مباحث ارائه شده بر مبنای استفاده از پایگاه داده‌های مختلف

بوده است.

## بحث

### مفاهیم و تکامل

واژه ژئوسیستم دارای معانی متعددی است که می‌توان آنها را در مفاهیم مختلف جستجو کرد. ژئوسیستم به مزایایی که انسان به طور مستقیم یا غیرمستقیم از ژئوسیستم‌ها (زنده و غیرزنده) به دست می‌آورد و رفاه انسان‌ها را تقویت می‌کند، اشاره دارد (Van Ree et al., 2017). لازم به ذکر است که اصطلاحات ژئوسیستم و خدمات ژئوسیستم نیز در ارتباط با فناوری‌های موقعیت ماهواره‌ای استفاده می‌شود، اما در این زمینه، این اصطلاحات به ارائه عملکرد در شبکه‌های موقعیت‌یابی جغرافیایی اشاره دارد (Frisk et al., 2022). Sochava مفهوم ژئوسیستم را در سال ۱۹۶۳ به عنوان یک رویکرد جغرافیایی برای درک سیمای سرزمین به عنوان مجموعه‌ای متشکل از ژئوسیستم‌های تودرتوی پویا با ابعاد مختلف فضایی که به صورت سلسله مراتبی سازماندهی شده‌اند، معرفی کرد (Sochava et al., 1963). این رویکرد که از مطالعات جغرافیا و سیمای سرزمین نشأت می‌گیرد، تغییر سیمای سرزمین را به عنوان انگیزه‌ای برای تحقیق ژئوسیستم‌ها از نظر یک سیستم جغرافیایی و نه مبتنی بر زمین‌شناسی می‌بیند (Frolova, 2019). احتمالاً از آنجایی که مقالات اولیه‌ای که این دیدگاه را درباره ژئوسیستم‌ها تعریف و تشریح کردند به زبان روسی یا آلمانی منتشر شدند و تنها چند دهه بعد به انگلیسی ترجمه شدند، این ایده‌ها به طور گسترده به گفتمان علمی بین‌المللی منتقل نشدند (Bastian et al., 2015) و در نتیجه این مفهوم همانند خدمات اکوسیستم مطرح نشد. اصطلاح ژئوسیستم را می‌توان به عنوان سیاره زمین تفسیر کرد که دوباره با مفهوم خدمات اکوسیستم و مهم‌ترین نقطه عطف آن، یعنی ارزیابی اکوسیستم هزاره مرتبط است (MEA, 2005). خدمات ژئوسیستم را می‌توان بر اساس مستقل بودن یک سرویس غیرزنده (مانند انرژی زمین‌گرمایی) یا بخشی از یک اکوسیستم (یک سرویس غیرزنده که به یک سرویس زنده خدمت می‌کند، مانند تشکیل خاک سطحی) متمایز کرد (Bobylev et al., 2022). مفهوم خدمات ژئوسیستم چنین فرصتی را فراهم می‌کند که امکان مفهوم‌سازی عملکردها و خدمات زیرسطحی را فراتر از خدمات عمدتاً زیستی که معمولاً در رویکرد خدمات اکوسیستمی شناسایی می‌شوند، فراهم می‌کند (Finesso and Van Ree, 2022). زیرسطح نه تنها پایه‌ای است که تمام زیرساخت‌های انسانی بر آن تکیه می‌کنند و فرصت‌هایی را برای ایجاد محیط زندگی بهتر ارائه می‌دهد، بلکه یک منبع طبیعی چند منظوره است. جدا از فضای فیزیکی، زیرسطح می‌تواند به عنوان مثال، آب، انرژی و مواد را تأمین و ذخیره زیستگاه‌هایی را برای اکوسیستم‌ها فراهم کند تا به عنوان پشتیبان حیات سطحی و به عنوان مخزن میراث فرهنگی و زمین‌شناسی عمل نماید (Volchko et al., 2020).

### ژئوسیستم‌ها

ژئوسیستم‌ها (اکوسیستم‌های زیرزمینی) شامل همه چیز در زیرسطح است (Peng et al., 2021). غارها و حفره‌های ایجاد شده توسط معدن یا دیگر فعالیت‌های انسان، منافذ سنگ سست و شکاف‌های درون سنگ جامد اکوسیستم‌های زیرزمینی را شامل می‌شوند (Bobylev et al., 2022) که میزبان سطح عظیمی از تنوع‌زیستی هستند (Griebler and Luders, 2009; Wagg et al., 2014). این اکوسیستم‌ها با استفاده از مواد آلی برای انرژی و به‌عنوان پایه‌ای برای حیات، بسیار تخصصی هستند و توانایی حذف عملاً تمام مواد آلی را دارند. اکوسیستم زیرزمینی با توجه به خدمت به سلامت، بار میکروب‌هایی را که از مزارع، اصطبل‌ها یا تأسیسات فاضلاب نفوذ می‌کنند، از طریق فیلتر کردن، جذب و رقابت با ارگانیسم‌های تخصصی‌تر کاهش می‌دهد (Avramov et al., 2010). بسیاری از اشکال میراث فرهنگی مانند آثار تاریخی و ساختمان‌های تمدن‌های باستانی در زیرزمین قرار دارند. غارهای زیرزمینی برای گردشگری و همچنین آموزش در مورد مسائل زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و باستان‌شناسی مهم هستند. از غارها برای درمان مشکلات سلامتی استفاده می‌شود. به ویژه از غارهای نمکی می‌توان برای درمان بیماری‌های تنفسی استفاده کرد (Somlai et al., 2007). همچنین تصفیه آب از طریق منافذ و شکاف‌های سنگی زیرزمینی یک خدمت ژئوسیستمی مهم است. حیوانات زیرزمینی برای خدمات، میراث ضروری هستند زیرا گونه‌های کمیاب و بسیار تخصصی را شامل می‌شوند که عمدتاً توسط فعالیت‌های انسانی دست نخورده (به اصطلاح فسیل‌های زنده) نمی‌شوند. برخی از انواع قارچ‌ها در زیرزمین، در خاک مانند ترافل یا در

سوراخ‌های زیرزمینی (غارها، معادن قدیمی) رشد می‌کنند که غذا، دارو، رنگدانه‌ها و لوازم آرایشی و بهداشتی را فراهم می‌کنند (Bobylev et al., 2022).

## طبقه‌بندی منابع زیرسطحی و خدمات ژئوسیستم

طبقه‌بندی گسترده منتشر شده از خدمات ژئوسیستم توسط Gray (۲۰۱۱) از طرحی برای طبقه‌بندی خدمات اکوسیستم پیروی می‌کند که ابتدا توسط De Groot در سال ۱۹۹۲ پیشنهاد شد و بعدا توسط Webber و همکاران (۲۰۰۶) اصلاح شد (شکل ۱).

**شکل (۱): طبقه‌بندی خدمات اکوسیستم غیرزنده ارائه شده توسط ژئوسیستم (Bobylev et al., 2022)**

همانطور که در شکل (۱) مشخص است خدمات ژئوسیستم، مانند خدمات اکوسیستم (علاوه بر دسته خدمات جدید) به خدمات تامینی[۵]، تنظیمی[۶]، فرهنگی[۷] و پشتیبانی[۸] طبقه‌بندی شده است. طبقه‌بندی خدمات ژئوسیستم در ادامه آمده است.

خدمات تامینی که توسط آن زیرسطح در طول هزاران سال، تامین‌کننده مواد زمین به عنوان «کالا» بوده است. به عنوان مثال می‌توان به فضا، تامین مصالح ساختمانی مانند ماسه، خاک رس و همچنین استفاده از آب‌های زیرزمینی اشاره کرد.

خدمات فرهنگی، که فواید غیرمادی برای انسان از جمله مزایای معنوی و تفریحی است. به‌عنوان مثال می‌توان به نقش زیرسطحی به‌عنوان محل نگهداری اشیاء باستان‌شناسی و زیبایی سیستم‌های غار طبیعی اشاره کرد.

خدمات تنظیمی مانند کنترل آب‌های زیرزمینی و جریان حرارتی (تعادل حرارتی) و ظرفیت بافر زیرسطحی. نمونه‌هایی از مزایای مربوط به اثر جزیره گرمایی شهری و وجود یخ‌های دائمی است.

خدمت نهایی در ادبیات نیست، اما ارائه عملکردهای طبیعی مهم به اصطلاح «خدمات پشتیبانی» هستند که به طورکلی با عملکرد سیستم اکولوژیکی مرتبط هستند (Finesso & Van Ree, 2022). از منظر زمین‌شناسی و ژئوتکنیک، فراهم کردن یک محیط پایدار برای ساخت و ساز را می‌توان یک سرویس پشتیبان نیز نامید، اما این اصطلاح باعث سردرگمی می‌شود، زیرا از این نظر با تعاریف کلی این دسته در ادبیات مطابقت ندارد (Braat & De Groot, 2012). De Groot در سال ۲۰۰۶ این خدمت را به طور جداگانه متمایز کرد و این نقش زیرسطحی را به عنوان خدمات حامل[۹] معرفی کرد. این خدمات به عنوان کارکردهایی ارائه می‌شود که شامل تبدیل اکوسیستم اصلی به نوع دیگری از کاربری زمین مانند کشت، سکونت، حمل و نقل و غیره است.

Van Ree از پیشگامان بحث موقعیت ژئوسیستم در فضا و زمان بود که در سال ۲۰۱۷ با همکارانش بر اساس طبقه‌بندی De Groot و همکاران (۲۰۰۲) و طبقه‌بندی ارزیابی اکوسیستم هزاره (MEA, 2005) طبقه‌بندی جدیدی (شکل ۲) از خدمات ژئوسیستم را ارائه کرد (Van Ree et al., 2017).

| دسته‌بندی و نقش‌های خدمات ژئوسیستم | زیرمجموعه‌ها |
|---|---|
| **تنظیم و نگهداری:**<br>• جزء سیستم‌های پشتیبانی زندگی<br>• تعدیل فرآیندهای ژئوشیمیایی و فیزیکی<br>• ویژگی‌های ذاتی مانند مواد اولیه برای تشکیل خاک<br>• فضای زیرسطحی و زیرساخت‌ها<br>• فضای لازم برای پایه‌ها در زیرسطح | • فرآیندهای فیزیکی (فرسایش/رسوب‌گذاری، ذخیره حرارتی، نفوذ، فیلتراسیون)<br>• فرآیندهای بیوژئوشیمیایی (ظرفیت تعدیل، جذب کربن)<br>• پایداری، ظرفیت تحمل، ذخایر مواد اولیه<br>• سکونت انسانی، فضای عمومی و تجاری<br>• ذخیره‌سازی انرژی و مواد مانند زباله، $CO_2$، نفت، گاز در غارها، میادین نفت و گاز سابق<br>• فضای زیرساخت‌ها و پایه‌ها<br>• محیط برای ساخت و سازهای پایدار (پایه‌های پایدار) |
| **تأمین:**<br>• منبع مواد طبیعی (مواد زمینی)<br>• منبع آب زیرزمینی (تمیز) | • زیستگاه بیولوژیکی (مانند تروگلو- و استیگوفونا، باکتری‌ها)<br>• آب زیرزمینی شیرین، آب زیرزمینی شور/نیمه شور<br>• فلزات پایه، آهن، فلزات گرانبها<br>• فلزات نادر<br>• مواد ساختمانی<br>• مواد شیمیایی، مواد معدنی سوختی، انرژی (زمین) گرمایی |
| **فرهنگی/اطلاعاتی:**<br>• آرشیو میراث تاریخی و زمین‌شناسی | • تنوع زمین‌شناسی<br>• چشم‌انداز |

**شکل (۲): طبقه‌بندی خدمات ژئوسیستم (Bobylev et al., 2022)**

به موازات توسعه مفهوم خدمات ژئوسیستم، محققان رویکردهای مفهومی را برای برنامه‌ریزی فضای زیرزمینی، به ویژه با دسته‌بندی ویژگی‌های زیرسطحی یا موضوعات برنامه‌ریزی بررسی کردند (Tummers & Hooimeijer, 2016; Hooimeijer & Maring, 2013). مشکل اساسی در مورد منابع زیرسطحی این است که آنها اغلب از دید پنهان هستند و به همین دلیل برای اکثر افراد غیرمتخصص نامرئی هستند. بنابراین، برنامه‌ریزی استراتژیک بلندمدت که توسط سیاست‌ها و

مقررات مربوطه پشتیبانی می‌شود، برای اجتناب از پروژه‌های فردی که به طور ناخواسته کاربردهای آتی زیرسطحی را دیکته می‌کنند، مورد نیاز است. برنامه‌ریزی فضایی باید توسعه یابد تا به زیرسطح توجه شود و فرصت‌ها و همچنین خطرات بالقوه در برنامه‌ها را شناسایی کند (Hooimeijer & Maring, 2018) و برنامه‌ریزی مناسب برای استفاده از منابع زیرسطحی ارائه شود (Dick et al., 2019; Norrman et al., 2021). اهمیت برنامه‌ریزی دقیق زیرسطحی قبلاً توسط Webster برجسته (Webster, 1914) و توسط بسیاری از محققان طی ۴۰ سال گذشته در سطح بین‌المللی تکرار شده است (Admiraal & Cornaro, 2016; Hooimeijer & Maring, 2018; Volchko et al., 2020). سیاست‌های ملی در رابطه با برنامه‌ریزی زیرسطحی در کشورهایی مانند چین و هلند تدوین شده است و قوانین مربوطه در فنلاند اجرا می‌شود. اما، برای اکثر کشورها، چنین سیاست‌ها و قوانینی هنوز وجود ندارد (Frisk et al., 2022). در این راستا، شایسته است در برنامه‌ریزی‌های زیرسطح به‌ویژه در محیط شهری به ویژگی‌های ساخت‌وسازهای عمرانی (ظرفیت حمل، پایداری خاک، فناوری فضای زیرزمینی، باستان‌شناسی، کابل‌ها و لوله‌ها، مهمات منفجر نشده)؛ انرژی (ذخیره انرژی حرارتی زیرزمینی یا آبخوان، انرژی زمین‌گرمایی، انرژی فسیلی نفت، گاز)، آب (آب آشامیدنی، تصفیه آب، ذخیره آب)؛ و خاک (خاک سالم و تمیز، خاک زنده، ظرفیت تولید محصول، تنوع ژئومورفولوژیکی، تنوع چشم‌انداز، تنوع اکولوژیکی، منبع مواد معدنی، ذخیره‌سازی مواد و ظرفیت ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن) توجه شود (Bobylev et al., 2022). بنابراین همه این خدمات، ارتباط آنها با رفاه انسان و مسائل تخصیص نه تنها در فضای (کالبدی) مورد نیاز در اجرای طرح‌های توسعه شهری از جمله شبکه‌های زیرساختی حیاتی بلکه در محیط شهری باید در نظر گرفته شود. برای روشن‌تر شدن اهمیت خدمات زیرسطح به یک مثال پرداخته می‌شود. انتقال گرما یک فرآیند شهری مهم است که شامل تغییر از تامین گرما توسط منابع کربن مانند گاز طبیعی به منابع پایدارتر برای مبارزه با تغییرات آب و هوایی است. ساخت شبکه‌های توزیع گرما به عنوان یک گزینه سیاستی مهم در نظر گرفته می‌شود. این امر مستلزم چیزی بیش از مسیریابی زیرساخت‌های خط لوله برای اتصال تولیدکنندگان با منابع گرما به مصرف‌کنندگان است. از آنجایی که فضا در محیط شهری از اهمیت بالایی برخوردار است، قرار گرفتن زیرساخت‌ها و مسیریابی نیازمند یافتن و تخصیص فضای زیرسطحی است. مقیاسی که انتقال در آن پیش‌بینی می‌شود، حمل‌ونقل، تلفات حرارتی سیستم‌ها و استفاده از آب‌های زیرزمینی همه به اثرات محیط‌زیستی ناشی از استفاده از خدمات زیرسطح کمک می‌کند. به دلیل عدم تعادل فصلی، از سیستم‌های ذخیره‌سازی حرارتی آبخوان برای ذخیره گرما در زیرسطح و متصل به شبکه استفاده می‌شود. انرژی زمین‌گرمایی نیز به عنوان منبع گرمایی بالقوه پیش‌بینی شده است. این به طور خاص برای زیرسطح کم‌عمق که به شدت برای میزبانی زیرساخت استفاده می‌شود، به عنوان پایه پایدار عمل می‌کند و فضای زیرزمینی را فراهم می‌کند. همچنین ظرفیت نفوذ آب باران، میزبانی درختان و سایر پوشش‌های گیاهی را فراهم می‌کند و به دلیل خواص حرارتی آن به عنوان محافظت در برابر شرایط آب و هوایی عمل می‌کند. با توجه به مواردی که اشاره شد، سطح زیرین نباید به عنوان یک کالای مشترک و به عنوان آزادانه برای حفاری برای کارهای ساختمانی در نظر گرفته شود (Finesso and Van Ree, 2022).

Parriaux و همکاران در سال ۲۰۰۴ منابع کلیدی فضای زیرزمینی را در چهار دسته ۱. فضای فیزیکی (حجم فضای زیرزمینی قابل استفاده، ۲. منابع آب (سفره‌های آب زیرزمینی)، ۳. مواد ژئومواد (سنگ و خاک برای استخراج) و ۴. منابع انرژی زمین گرمایی شناسایی کردند. این طبقه‌بندی بر مناطق شهری متمرکز است، بنابراین مواد معدنی استخراجی، نفت و گاز را حذف می‌کند. به همین دلیل Parriaux و همکاران یک دسته دیگر با نام منابع میراث فرهنگی و باستان‌شناسی را به طبقه‌بندی قبلی خود اضافه کردند (Doyle et al. 2016). با توجه به این‌که محققان بین دارایی‌های زیرسطحی از نظر ویژگی‌ها، عملکردها، کیفیت‌ها، منابع و خدمات تمایز قایل شده‌اند، Bobylev و همکاران (۲۰۲۲) معیارهای بالقوه زیر را برای توسعه طبقه‌بندی خدمات ژئوسیستم پیشنهاد کردند:

- ماهیت خدمات (زنده، غیرزنده)؛
- طبقه‌بندی نقش خدمات (مانند رویکرد خدمات اکوسیستم، یعنی تنظیم، تامین و غیره)؛
- کاربران نهایی خدمات (مانند انسان و محیط ساخته شده)؛
- محرک‌ها: بخش‌های فعالیت انسانی (یا اقتصادی) مرتبط با استفاده از خدمات ژئوسیستم (به عنوان مثال حمل‌ونقل، تولید صنعتی، ذخیره‌سازی، تامین حرارتی)؛

- درجه تجدیدپذیری (به‌عنوان مثال قابل تجدید، غیرقابل تجدید)؛
- منشاء مکانی خدمت (یعنی نزدیک به سطح، اعماق زیرزمین)؛
- گنجاندن ممکن در خدمات اکوسیستم (مرتبط، غیرمرتبط).

معیارهای بالا، تنوع خدمات ژئوسیستم و رابطه نزدیک آنها با خدمات اکوسیستم را برجسته می‌کند، که در برخی موارد برای ارزش‌گذاری‌های یکپارچه مشکل‌ساز است، در حالی که باید از شمارش مضاعف خدمات مشابه در طبقه‌های مختلف اجتناب شود.

## خدمات ژئوسیستم و ارتباط آن‌ها با خدمات اکوسیستم

گونه‌های مختلفی مانند بی‌مهرگان، قارچ‌ها و باکتری‌ها در خاک‌سپهر زندگی می‌کنند که منطقه انتقال بین خدمات اکوسیستم و ژئوسیستم را تشکیل می‌دهد. همچنین زیست‌بوم‌ها و اکوسیستم‌های دریایی را می‌توان به عنوان اشکال سرمایه اکوسیستم در نظر گرفت، در حالی که ترکیب دارایی‌های زیرزمینی و جریان‌های غیرزنده سرمایه ژئوسیستم است (Bobylev et al., 2022). به اعتقاد Gray اکثر خدمات ریشه در هر دو سیستم زنده و غیرزنده دارند. به عنوان مثال، کاهش سیل و خشکسالی تا حدی توسط اکوسیستم‌ها و تا حدودی توسط مواد فیزیکی طبیعی (مانند نفوذ آب باران از طریق رسوب یا سنگ و ذخیره آن در سفره‌های آب زیرزمینی) یا سازه‌ها (به عنوان مثال سیلاب‌ها، موانع ساحلی و تپه‌های شنی) انجام می‌شود (Gray, 2011). از طرف دیگر، Van Ree و همکاران بیان کردند که خدمات اکوسیستم و ژئوسیستم را می‌توان با موقعیت آنها در امتداد خط عمودی فرضی از سطح زمین تا زیرساخت‌های عمیق آن متمایز کرد. کاهش شدید فعالیت بیولوژیکی در زیر خاک سطحی مرز بین عرضه خدمات اکوسیستم و ژئوسیستم را مشخص می‌کند (Van Ree et al., 2017). در اینجا با ذکر یک مثال به ارتباط نزدیک این دو مفهوم پرداخته می‌شود. ترسیب کربن یک خدمت اکوسیستمی است که تا حدی در زیرزمین انجام می‌شود. عناصر زیرزمینی (هوموس خاک، ریشه، ذغال‌سنگ، گل و لای) به دلیل فرآیندهای کانی‌سازی که کربن آزاد می‌کند، می‌توانند کربن را برای مدت طولانی‌تری نسبت به عناصر روی زمین (چوب، بستر، چوب مرده) ذخیره کنند (Bobylev et al., 2022). در این مثال روشن است که این دو مفهوم رابطه تنگاتنگی با هم دارند و به طورکلی، می‌توان بیان کرد که مفاهیم خدمات ژئوسیستم و خدمات اکوسیستم به طور طبیعی با هم همپوشانی دارند.

## نتیجه‌گیری

با توجه به مطالبی که ارائه شد می‌توان نتیجه گرفت که همانند مفهوم خدمات اکوسیستم که سهم بخش زنده طبیعت را در رفاه انسان تصدیق می‌کند، مفهوم خدمات ژئوسیستم به عنوان راهی برای برجسته کردن خدمات و خدمات غیرزنده ارائه شده توسط زیرسطحی پیشنهاد شده است. چنین چارچوبی می‌تواند از گنجاندن سیستماتیک خدمات ژئوسیستم در فرآیندهای برنامه‌ریزی حمایت کند و به بهبود برنامه‌ریزی زیرسطحی کمک کند. در عمل برنامه‌ریزی، نمونه‌هایی از خدمات ژئوسیستم مهم وجود دارد که قبلاً در زیر چتر خدمات اکوسیستم گنجانده شده‌اند، زیرا برنامه‌ریزان از اهمیت آنها آگاه هستند، اما چارچوب جامعی برای رسیدگی به این خدمات ژئوسیستم وجود ندارد. به طورکلی، تجربیات استفاده از خدمات اکوسیستم در برنامه‌ریزی‌ها، مبنای مناسبی را برای بسط بیشتر شیوه‌های برنامه‌ریزی محیط‌زیستی جامع که بر اساس خدمات اکوسیستم و خدمات ژئوسیستم است، ارائه می‌دهد.

## یادداشت‌ها

1. Ecosystem services (ES)
2. Classification of Ecosystem Services (CICES)
3. Subsurface
4. Geosystem services (GS)
5. Provisioning services
6. Regulating services
7. Cultural services
8. Supporting services
9. Carrier services

## منابع

Admiraal, H., & Cornaro, A. (2016). Why underground space should be included in urban planning policy–

And how this will enhance an urban underground future. Tunnelling and Underground Space Technology, 55, 214-220

Ainscough, J., De Vries Lentsch, A., Metzger, M., Rounsevell, M., Schröter, M., Delbaere, B., ... & Staes, J. (2019). Navigating pluralism: Understanding perceptions of the ecosystem services concept. Ecosystem Services, 36, 100892.

Avramov, M., Schmidt, S. I., Griebler, C., Hahn, H. J., & Berkhoff, S. (2010). Services and Ground water ecosystems (in German: Dienstleistungen und Grundwasserokosysteme). ¨ Korresponenz Wasserwirtschaft 76: Gewasser ¨ und Boden, 2(3), 74–86.

Bastian, O., Grunewald, K., & Khoroshev, A. V. (2015). The significance of geosystem and landscape concepts for the assessment of ecosystem services: exemplified in a case study in Russia. Landscape Ecology, 30, 1145-1164.

Braat, L. C., & De Groot, R. (2012). The ecosystem services agenda: bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. Ecosystem services, 1(1), 4-15.

Bobylev, N., Syrbe, R. U., & Wende, W. (2022). Geosystem services in urban planning. Sustainable Cities and Society, 85, 104041.

De Groot, R. S. (1992). Functions of nature. Groningen, the Netherlands: Wolters- Noordhoff.

Dick, G., Eriksson, I., De Beer, J., Bonsor, H., & van der Lugt, P. (2019). Planning the city of tomorrow: bridging the gap between urban planners and subsurface specialists. Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 108(2-3), 327-335.

Doyle, M. R., Thalmann, P., & Parriaux, A. (2016). Underground potential for urban sustainability: Mapping resources and their interactions with the Deep City Method. Sustainability, 8(9), 830.

Finesso, A., & Van Ree, C. C. D. F. (2022). Urban heat transition and geosystem service provision: a trade-off? A study on subsurface space scarcity in the city of Amsterdam. Tunnelling and Underground Space Technology, 128, 104619.

Fox, N., Graham, L. J., Eigenbrod, F., Bullock, J. M., & Parks, K. E. (2020). Incorporating geodiversity in ecosystem service decisions. Ecosystems and People, 16(1), 151-159.

Frisk, E. L., Volchko, Y., Sandström, O. T., Söderqvist, T., Ericsson, L. O., Mossmark, F., ... & Norrman, J. (2022). The geosystem services concept–What is it and can it support subsurface planning?. Ecosystem Services, 58, 101493.

Frolova, M. (2019). From the Russian/Soviet landscape concept to the geosystem approach to integrative environmental studies in an international context. Landscape Ecology, 34, 1485-1502.

Gray, M. (2011). Other nature: geodiversity and geosystem services. Environmental Conservation, 38(3), 271-274.

Gray, M. (2018). The confused position of the geosciences within the “natural capital” and “ecosystem services” approaches. Ecosystem services, 34, 106-112.

Griebler, C., & Lueders, T. (2009). Microbial biodiversity in groundwater ecosystems. Freshwater biology, 54(4), 649-677.

Haines-Young, R., & Potschin-Young, M. (2018). Revision of the common international classification for ecosystem services (CICES V5. 1): a policy brief. One Ecosystem, 3, e27108

Hooimeijer, F. L., & Maring, L. (2013). Ontwerpen met de Ondergrond. S+ RO Stedenbouw en Ruimtelijke Ordening, (6), 2013.

Hooimeijer, F. L., & Maring, L. (2018). The significance of the subsurface in urban renewal. Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability, 11(3), 303-328.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). Ecosystems and Human Well-being: current State and Trends. Island Press, Washington DC.

Norrman, J., Ericsson, L. O., Nilsson, K. L., Volchko, Y., Sjöholm, J., Markstedt, A., & Svahn, V. (2021). Mapping subsurface qualities for planning purposes: a pilot study. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 703, No. 1, p. 012011). IOP Publishing

Parriaux, A., Tacher, L., & Joliquin, P. (2004). The hidden side of cities- towards three-dimensional land planning. Energy and Buildings, 36(4), 335-341

Peng, F. L., Qiao, Y. K., Sabri, S., Atazadeh, B., & Rajabifard, A. (2021). A collaborative approach for urban underground space development toward sustainable development goals: Critical dimensions and future directions. Frontiers of structural and civil engineering, 15, 20-45.

Schrodt, F., Bailey, J. J., Kissling, W. D., Rijsdijk, K. F., Seijmonsbergen, A. C., Van Ree, D., ... & Field, R. (2019). To advance sustainable stewardship, we must document not only biodiversity but geodiversity. Proceedings of the National Academy of Sciences, 116(33), 16155-16158.

Sochava, V. B. 1963. Definition of some notions and terms of physical geography. Reports of the Institute of geography of Sibiria and the Far East, issue 3, 50–59.

Somlai, J., Kávási, N., Szabó, T., Várhegyi, A., & Kovács, T. (2007). The function of radon in curing respiratory diseases in the therapeutic cave of Tapolca. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 273, 363-370.

Tummers, L., & Hooimeijer, F. (2016). Harmonizing subsoil management in spatial planning: the Netherlands, Sweden and Flanders. Technical report.

Van Ree, C. C. D. F., & Van Beukering, P. J. H. (2016). Geosystem services: A concept in support of sustainable development of the subsurface. Ecosystem services, 20, 30-36.

Van Ree, C. C. D. F., Van Beukering, P. J. H., & Boekestijn, J. (2017). Geosystem services: A hidden link in ecosystem management. Ecosystem services, 26, 58-69.

Volchko, Y., Norrman, J., Ericsson, L. O., Nilsson, K. L., Markstedt, A., Öberg, M., ... & Tengborg, P. (2020). Subsurface planning: Towards a common understanding of the subsurface as a multifunctional resource. Land use policy, 90, 10431

Wagg, C., Bender, S. F., Widmer, F., & Van Der Heijden, M. G. (2014). Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(14), 5266-5270

Webber, M., Christie, M., & Glasser, N. (2006). The social and economic value of the UK's geodiversity. Research Report 709, English Nature, Peterborough, UK.

Webster, G. S. (1914). Subterranean street planning. The Annals of the American Academy of Political and Social Science, 51(1), 200-207

# On the Concept of Geosystem Services: Definitions, Evolution, and Classifications

**Fatemeh Mohammadyari***

*Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. Email: mohammadyari.f@sku.ac.ir

(Received: 2025/03/24 Accepted: 2025/10/25)

## Abstract

This review paper elucidates the emerging concept of geosystem services. Geosystem services complement ecosystem services by focusing on abiotic components and environmental services. This concept, modeled after ecosystem services, provides a detailed and comprehensive examination of the importance of ecosystem functions and their role in sustaining human life and well-being. It is also proposed as a means to fully evaluate the diversity of the Earth's surface and subsurface. The subsurface not only serves as the foundation for all human infrastructure and offers opportunities for creating better living environments, but also it is a multifunctional natural resource. Beyond providing physical space, the subsurface can, for example, supply and store water, energy, and materials, provide habitats for ecosystems, support surface life, and act as a repository for cultural and geological heritage. Conceptualizing geosystem services as a potential approach to improving the assessment of ecosystems and their services has garnered increasing attention. Therefore, this study aims to explore the definitions and concepts of geosystem services and their role in subsurface planning and consideration of underground ecosystems.

**Keywords**: Geosystem services, Underground ecosystems, Ecosystem services, Subsurface planning.

*Corresponding Author: Email: mohammadyari.f@sku.ac.ir