



خدمات اکوسیستمی کوهستان و چالش‌های پایداری

بتول غفاری خواه^۱، افشین دانه‌کار^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری، گروه محیط‌زیست طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- استاد، گروه محیط‌زیست طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

* رایانامه نویسنده مسئول: danehkar@ut.ac.ir

چکیده

خدمات اکوسیستمی کوهستان از مهم‌ترین پیوندگاه‌های میان ساختارهای زیست‌فیزیکی و رفاه انسانی در مقیاس‌های محلی تا فرامنطقه‌ای به‌شمار می‌روند. با وجود گسترش ادبیات مرتبط، تمرکز غالب پژوهش‌ها بر ظرفیت زیست‌فیزیکی تولید خدمات بوده و ابعاد فضایی، نهادی و مدیریتی بهره‌برداری از آن‌ها کمتر به‌صورت یکپارچه تحلیل شده است. این مقاله با رویکردی تحلیلی-مروری، خدمات اکوسیستمی کوهستان را در چارچوب زنجیره ساختار-فرایند-عملکرد و در پیوند با پویایی عرضه و تقاضا بازخوانی می‌کند. تحلیل ادبیات نشان می‌دهد که جدایی فضایی میان محل تولید خدمات در ارتفاعات و محل بهره‌برداری در پایین‌دست، شکافی نهادی و مدیریتی ایجاد می‌کند که می‌تواند به عدم تعادل در توزیع منافع و افزایش فشار بر ساختارهای مولد خدمات منجر شود. افزون بر این، پیشران‌هایی مانند تغییر اقلیم، تغییر کاربری و تبدیل اراضی و رشد تقاضا، هم‌زمان زنجیره تولید زیست‌فیزیکی و تعادل عرضه-تقاضا را با چالش مواجه می‌سازند. براین اساس، پایداری خدمات اکوسیستمی کوهستان مستلزم تقویت حکمرانی چندمقیاسی، حفاظت از ساختارهای اکولوژیک و ادغام تحلیل فضایی عرضه و تقاضا در برنامه‌ریزی سرزمین است.

کلیدواژه‌ها: تعادل فضایی، زنجیره تولید، عرضه و تقاضا، فشار بر کوهستان، عملکرد اکوسیستمی

غفاری خواه، ب.، دانه‌کار، ا. (۱۴۰۴). خدمات اکوسیستمی کوهستان و چالش‌های پایداری. *نشریه دانشجویی زیست سپهر*، ۱۸ (۴)، ۲۴-۳۴.

مقدمه

کوهستان‌ها از پیچیده‌ترین و درعین‌حال راهبردی‌ترین اکوسیستم‌های زمین به‌شمار می‌روند، سامانه‌هایی که حدود ۲۲ درصد از سطح خشکی‌های جهان را دربر گرفته و معیشت مستقیم یا غیرمستقیم بخش بزرگی از جمعیت انسانی به آن‌ها وابسته است (Egan & Price, 2017). اهمیت کوهستان‌ها صرفاً به سکونتگاه‌های مرتفع محدود نمی‌شود، بلکه نقش آن‌ها در تنظیم جریان‌های هیدرولوژیک، تأمین آب شیرین، حفظ تنوع زیستی و پشتیبانی از فعالیت‌های اقتصادی و فرهنگی، پیوندی فرامنطقه‌ای میان ارتفاعات و پایین‌دست ایجاد کرده است (Grêt-Regamey et al., 2012; Tefera et al., 2024). بدین ترتیب، کوهستان‌ها نه تنها زیست‌بوم‌هایی محلی، بلکه گره‌گاه‌هایی در شبکه گسترده تعاملات انسان و طبیعت محسوب می‌شوند.

چارچوب خدمات اکوسیستمی با هدف تبیین پیوند میان ساختارها و عملکردهای اکولوژیک و رفاه انسانی شکل گرفت و به یکی از رویکردهای غالب در تحلیل روابط انسان و طبیعت تبدیل شده است (Egan & Price, 2017). بااین‌حال، در بسیاری از مطالعات کوهستانی تمرکز اصلی بر ظرفیت زیست‌فیزیکی تولید خدمات بوده و ابعاد فضایی، نهادی و مدیریتی بهره‌برداری از آن‌ها کمتر به‌صورت یکپارچه بررسی شده است (Grêt-Regamey et al., 2012; Ioan et al., 2025). این غلبه نگاه تولیدمحور می‌تواند به نادیده گرفتن نحوه توزیع منافع، شدت تقاضا و سازوکارهای تنظیم‌کننده جریان خدمات بینجامد. درعین‌حال، اکوسیستم‌های کوهستانی در معرض پیشران‌های فزاینده تغییر جهانی قرار دارند. تغییر اقلیم با دگرگونی در پوشش برفی، یخچال‌ها و رژیم رواناب، پایداری عملکردهای آب‌شناختی را با عدم قطعیت مواجه کرده است (Egan & Price, 2017; Ioan et al., 2025). هم‌زمان، تغییر کاربری و تبدیل اراضی، توسعه زیرساخت‌ها و افزایش تقاضای پایین‌دست فشار مضاعفی بر ظرفیت بازتولید این

سامانه‌ها وارد می‌کند (Tefera et al., 2024; Pereira et al., 2022). در چنین شرایطی، مسئله اصلی تنها تولید خدمات نیست، بلکه حفظ تعادل میان ظرفیت اکولوژیک تولید و الگوهای مصرف و بهره‌برداری است. از این منظر، تحلیل خدمات اکوسیستمی کوهستان مستلزم توجه هم‌زمان به دو بُعد مکمل؛ نخست، نحوه شکل‌گیری خدمات در زنجیره ساختار-فرایند-عملکرد در بستر گردان‌های ارتفاعی؛ و دوم، چگونگی توزیع، انتقال و مصرف این خدمات در فضا و نقش سازوکارهای نهادی در تنظیم رابطه عرضه و تقاضا است. بی‌توجهی به هر یک از این ابعاد، تصویری ناقص از پایداری خدمات کوهستان ارائه خواهد داد.

براین‌اساس، پرسش‌های محوری این مقاله آن است که خدمات اکوسیستمی کوهستان چگونه در زنجیره تولید زیست فیزیکی شکل می‌گیرند، چگونه در مقیاس‌های فضایی مختلف جریان می‌یابند و در مواجهه با پیشران‌های تغییر جهانی با چه چالش‌هایی در حفظ تعادل عرضه و تقاضا روبه‌رو است. این مطالعه با رویکردی تحلیلی-مروری، ضمن بازخوانی چارچوب‌های مفهومی مرتبط، به تبیین پیوند میان تولید زیستی خدمات، جریان فضایی آن‌ها و پیامدهای مدیریتی برای تقویت پایداری می‌پردازد.

چارچوب مفهومی و معماری تحلیلی خدمات اکوسیستمی کوهستان

خدمات اکوسیستمی زمانی معنا می‌یابند که عملکردهای اکولوژیک به منافع انسانی پیوند خورند؛ ازاین‌رو تمایز میان «ساختار»، «فرایند»، «عملکرد» و «خدمت» برای تحلیل دقیق ضروری است (Fisher et al., 2009). این تفکیک امکان می‌دهد سطح تولید زیست‌فیزیکی از سطح تحقق منفعت انسانی متمایز شود و از تداخل مفهومی یا ارزش‌گذاری دوگانه جلوگیری شود.

در ارزیابی اکوسیستم هزاره، خدمات در چهار دسته فراهمی، تنظیمی، فرهنگی و پشتیبان طبقه‌بندی شدند (MEA¹, 2005). بااین‌حال، ابهام میان عملکردهای زیست‌فیزیکی و

¹ Millennium Ecosystem Assessment

۲) چارچوب عرضه و تقاضا که جریان فضایی، مصرف و سازوکارهای نهادی تنظیم‌کننده بهره‌برداری را آشکار می‌سازد.

ترکیب این دو سطح امکان می‌دهد پایداری خدمات کوهستان نه صرفاً به‌عنوان ظرفیت تولید، بلکه به‌عنوان رابطه‌ای پویا میان تولید، انتقال و مصرف تحلیل شود.

زنجیره ساختار-فرایند-عملکرد-خدمات در اکوسیستم‌های کوهستانی

در اکوسیستم‌های کوهستانی، خدمات اکوسیستمی حاصل برهم‌کنش ساختارهای زیست‌فیزیکی و فرایندهای پویا در بستر گرادیان‌های ارتفاعی‌اند. عناصر فیزیکی و زیستی نظیر پوشش جنگلی، خاک‌های کوهپایه‌ای، علفزارهای کوهستانی و ذخایر برف و یخچال‌ها، زمینه شکل‌گیری فرایندهایی چون نفوذ و ذخیره آب، آزادسازی تدریجی رواناب، تثبیت خاک و چرخه مواد مغذی را فراهم می‌کنند. این فرایندها در سطحی بالاتر به عملکردهای اکولوژیک مانند تنظیم جریان آب، کنترل فرسایش و پایداری دامنه‌ها منجر می‌شود؛ عملکردهایی تنظیمی و حمایتی که زیربنای تولید خدمات قابل بهره‌برداری‌اند. عملکردهای اکولوژیک زمانی به «خدمات» تبدیل می‌شوند که در قالب منافع قابل تشخیص برای انسان تحقق یابد؛ برای مثال، تنظیم جریان آب هنگامی در سطح خدمت معنا می‌یابد که به تأمین پایدار آب شرب یا کاهش خسارات سیلاب بینجامد (Egan & Price, 2017; Glushkova et al., 2020). این تمایز تحلیلی میان عملکرد و خدمت، مرز میان تولید زیستی و تحقق اجتماعی منفعت را روشن می‌سازد و از تداخل مفهومی جلوگیری می‌کند (Fisher et al., 2009; Glushkova et al., 2020). در اکوسیستم‌های کوهستانی، به‌دلیل پیچیدگی توپوگرافیک و حساسیت اقلیمی، این زنجیره تولید از آسیب‌پذیری بالایی برخوردار است. تغییر در ساختارهای پایه،

خدمات نهایی موجب شد چارچوب‌هایی مانند CICES^۱ تمرکز خود را بر «خدمات نهایی» معطوف کنند و فرایندهای زیربنایی را بستر تولید خدمت و نه خود خدمت بدانند (Glushkova et al., 2020). این تحول نشان داد که شفافیت در مرزبندی سطوح تولید و منفعت، پیش‌شرط تحلیل مدیریتی معتبر است.

مدل آبشاری خدمات اکوسیستمی این توالی علی را روشن‌تر می‌کند؛ جایی که ساختارهای زیستی از طریق فرایندهای اکولوژیک به عملکردها و در نهایت به منافع انسانی منتهی می‌شوند (de Groot et al., 2010). در اکوسیستم‌های کوهستانی، این زنجیره به‌دلیل گرادیان‌های ارتفاعی، ناهمگنی پستی و بلندی‌های زمین^۲ و حساسیت اقلیمی اهمیت مضاعف دارد. برای مثال، ذخیره برف یا تثبیت شیب‌ها در ذات خود عملکرد اکولوژیک است، اما زمانی به خدمت تبدیل می‌شود که به تأمین آب یا کاهش مخاطرات طبیعی برای انسان بینجامد (Tefera et al., 2024; Ioan et al., 2025).

در سال‌های اخیر، چارچوب‌هایی مانند IPBES^۳ با مفهوم «مشارکت‌های طبیعت برای انسان (NCP)»^۴ تلاش کرده‌اند ابعاد فرهنگی و ادراکی رابطه انسان و طبیعت را برجسته‌تر سازند (Glushkova et al., 2020). با وجود این تنوع مفهومی، در مطالعات کوهستانی تمرکز غالب همچنان بر ظرفیت تولید خدمات بوده و تحلیل تقاضا و توزیع منافع کمتر به‌صورت نظام‌مند بررسی شده است (Grê-Regamey et al., 2012). براین‌اساس، در این مقاله چارچوب تحلیلی خدمات اکوسیستمی کوهستان بر دو سطح مکمل استوار است:

۱) زنجیره ساختار-فرایند-عملکرد که تولید زیستی خدمات را تبیین می‌کند؛

³ Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services

⁴ Nature's Contributions to People

¹ Common International Classification of Ecosystem Services

² Topographic

مانند تخریب پوشش گیاهی یا تغییر پوشش و تبدیل اراضی، می‌تواند فرایندهای تنظیمی را مختل کرده و در نهایت کیفیت یا قابلیت اطمینان خدمات را کاهش دهد. از این‌رو، پایداری خدمات کوهستان وابسته به انسجام و سلامت حلقه‌های اولیه این زنجیره است (Pereira et al., 2022). با این حال، تحلیل این زنجیره بدون توجه به جریان فضایی خدمات کامل نیست؛ زیرا در بسیاری از موارد، محل تولید زیست‌فیزیکی با محل بهره‌برداری نهایی هم‌پوشانی ندارد (Fisher et al., 2009; Tefera et al., 2024). بنابراین، زنجیره ساختار-فرایند-عملکرد باید در پیوند با پویایی عرضه و تقاضا تحلیل شود؛ موضوعی که در بخش بعدی بسط داده می‌شود.

چارچوب عرضه و تقاضا به‌عنوان سطح تحلیلی مکمل

ارزیابی پایداری خدمات اکوسیستمی تنها با سنجش ظرفیت زیست‌فیزیکی تولید کامل نمی‌شود، بلکه مستلزم تحلیل نسبت میان عرضه بالقوه و تقاضای بالفعل در مقیاس‌های فضایی مختلف است. همان‌طور که ذکر شد عملکردهای اکولوژیک زمانی به‌عنوان خدمت تثبیت می‌شوند که در بستر اجتماعی معنا یابند و مورد بهره‌برداری قرار گیرند؛ از این‌رو، تولید زیستی و تحقق اجتماعی خدمت، دو بُعد درهم‌تنیده‌اند (Vaz et al., 2017). باوجوداین، بخش قابل توجهی از مطالعات کوهستانی بر کمی‌سازی عرضه تمرکز داشته و تحلیل تقاضا، الگوهای مصرف و سازوکارهای تنظیم‌کننده بهره‌برداری کمتر به‌صورت نظام‌مند بررسی شده است (Grêt-Regamey et al., 2012). این عدم توازن می‌تواند به برآوردی ناقص از پایداری منجر شود، زیرا فشار تقاضا و محدودیت‌های نهادی در تحلیل لحاظ نمی‌شوند.

مفهوم «بودجه خدمات اکوسیستمی»^۱ یا شکاف عرضه-تقاضا چارچوبی فراهم می‌کند که در آن ظرفیت تولید با سطح بهره‌برداری مقایسه می‌شود (Burkhard et al., 2012). در اکوسیستم‌های کوهستانی، این مقایسه به‌ویژه

اهمیت دارد، زیرا بسیاری از خدمات در ارتفاعات تولید و در پایین‌دست مصرف می‌شوند؛ وضعیتی که ارزیابی پایداری را به مسئله‌ای چندمقیاسی تبدیل می‌کند (Tefera et al., 2024). در چنین شرایطی، حتی سامانه‌ای با ساختارهای نسبتاً سالم نیز ممکن است تحت فشار تقاضای فزاینده به‌سوی ناپایداری سوق یابد. بنابراین، تحلیل خدمات اکوسیستمی کوهستان مستلزم پیوند میان زنجیره تولید زیست‌فیزیکی و چارچوب عرضه و تقاضا است؛ پیوندی که امکان می‌دهد پایداری نه صرفاً به‌عنوان ظرفیت اکولوژیک، بلکه به‌عنوان رابطه‌ای پویا میان تولید، جریان^۲ و مصرف خدمات درک شود (Grêt-Regamey et al., 2012; Glushkova et al., 2020; Ioan et al., 2025).

گونه‌شناسی خدمات اکوسیستمی کوهستان در چارچوب زنجیره ساختار-فرایند

اکوسیستم‌های کوهستانی به‌واسطه ناهمگنی توپوگرافیک، تنوع اقلیمی و گرادیان‌های ارتفاعی، مجموعه‌ای متنوع از خدمات اکوسیستمی را تولید می‌کنند. با این حال، اهمیت تحلیلی این خدمات نه صرفاً در تنوع آن‌ها، بلکه در نحوه وابستگی‌شان به انسجام زنجیره تولید زیست‌فیزیکی و حساسیت‌شان به عدم تعادل عرضه و تقاضا است. در این چارچوب، خدمات فراهمی، تنظیمی و فرهنگی به‌عنوان خدمات نهایی بررسی می‌شوند و عملکردهای پشتیبان به‌عنوان بنیان ظرفیت تولیدی سامانه در نظر گرفته می‌شوند.

خدمات فراهمی:

در بسیاری از مناطق جهان، مهم‌ترین خدمت فراهمی کوهستان‌ها، تأمین آب شیرین است. ساختارهایی مانند پوشش جنگلی، خاک‌های عمیق و ذخایر برف و یخچال‌ها بستر شکل‌گیری فرایندهای نفوذ، ذخیره و آزادسازی تدریجی آب را فراهم می‌کنند. این فرایندها در سطح عملکرد به تنظیم جریان پایه رودخانه‌ها و کاهش نوسانات شدید هیدرولوژیک منجر می‌شوند و درنهایت در قالب خدمت

شناختی را کاهش می‌دهد (Ioan et al., 2025). در چنین شرایطی، خدمات تنظیمی نه تنها بنیان پایداری اکولوژیک، بلکه پیش شرط حفظ تعادل عرضه و تقاضا در سایر خدمات نیز محسوب می‌شوند؛ زیرا کاهش توان تنظیمی سامانه می‌تواند فشار بر خدمات فراهمی را افزایش دهد.

خدمات فرهنگی:

علاوه بر عملکردهای مادی، کوهستان‌ها ارزش‌های فرهنگی، معنوی و هویتی دارند. مناظر منحصربه‌فرد، تنوع فرهنگی و وابستگی تاریخی جوامع محلی به طبیعت کوهستان، این مناطق را به کانون‌های مهم گردشگری و فعالیت‌های تفریحی تبدیل کرده است (Egan & Price, 2017; Daniel et al., 2012; Pereira et al., 2022). در چارچوب زنجیره ساختار-فرایند، ساختارهای طبیعی مانند زمین‌سماهای مرتفع و تنوع زیستی زمینه‌ساز تجربه‌های فرهنگی و زیبایی‌شناختی می‌شوند. این تجربه‌ها در قالب خدمات فرهنگی زمانی معنا می‌یابند که به رفاه روانی، هویت جمعی یا درآمد ناشی از گردشگری منتهی شوند. از آنجاکه ارزش‌گذاری این خدمات وابسته به زمینه اجتماعی و ادراک ذی‌نفعان است، خدمات فرهنگی نمونه‌ای روشن از پیوند میان سطح تولید زیستی و سطح تحقق اجتماعی و نهادی محسوب می‌شوند (Daniel et al., 2012). از این‌رو، خدمات فرهنگی نمونه‌ای از تعارض بالقوه میان بهره‌برداری اقتصادی و ظرفیت اکولوژیک هستند و مدیریت آن‌ها مستلزم توازن میان ارزش‌های اجتماعی و محدودیت‌های زیست‌فیزیکی است.

خدمات پشتیبان:

چرخه مواد مغذی، تشکیل خاک و حفظ تنوع زیستی بستر تولید سایر خدمات را فراهم می‌کنند (Grêt-Regamey et al., 2012). هرچند این عملکردها به‌طور مستقیم در قالب خدمت قابل مشاهده نیستند، اما تضعیف آن‌ها ظرفیت بلندمدت عرضه را کاهش می‌دهد. نادیده گرفتن این سطح می‌تواند به برآورد بیش‌ازحد توان تولیدی سامانه و در نتیجه تشدید عدم تعادل عرضه-تقاضا منجر شود (Glushkova

تأمین آب شرب، کشاورزی و انرژی برق‌آبی معنا می‌یابند) (Grêt-Regamey et al., 2012; Egan & Price, 2017). ویژگی متمایز این خدمت در اکوسیستم‌های کوهستانی، وابستگی آن به تعادل میان ظرفیت تولید در بالادست و تقاضای فزاینده در پایین‌دست است. هرگونه اختلال در ساختارهای مولد، از کاهش پوشش گیاهی تا تغییر رژیم برفی، می‌تواند کل زنجیره تولید را دچار نوسان کند و در صورت افزایش هم‌زمان تقاضا، شکاف عرضه-تقاضا را تشدید نماید. علاوه بر آب، جنگل‌ها و علفزارهای کوهستانی منبع چوب، سوخت زیستی، گیاهان دارویی و محصولات غیرچوبی هستند که برای معیشت جوامع محلی اهمیت دارند (Tefera et al., 2024). با این حال، بهره‌برداری فشرده از این منابع در صورت نبود سازوکارهای تنظیمی، می‌تواند به تضعیف همان ساختارهایی بینجامد که تولید آن‌ها را ممکن ساخته‌اند (Pereira et al., 2022). بدین ترتیب، خدمات فراهمی در کوهستان نمونه‌ای روشن از وابستگی مستقیم میان سلامت ساختار اکولوژیک و پایداری بهره‌برداری هستند.

خدمات تنظیمی:

خدمات تنظیمی در کوهستان‌ها عمدتاً از تعامل میان ساختارهای زیستی و فرایندهای فیزیکی ناشی می‌شوند. پوشش گیاهی متراکم، ساختار ریشه‌ای و ویژگی‌های خاک در شیب‌ها به نفوذ آب، تثبیت خاک و کاهش رواناب سطحی کمک می‌کند. این فرایندها در سطح عملکرد به کنترل سیلاب، کاهش فرسایش و کاهش رسوب‌گذاری منجر می‌شوند و به‌صورت خدمت در قالب کاهش خسارات و افزایش امنیت محیط‌زیستی در پایین‌دست بروز می‌یابند (Egan & Price, 2017). جنگل‌های کوهستانی همچنین در ذخیره و تنظیم کربن نقش دارند و در کنترل اقلیم مشارکت می‌کنند (Pereira et al., 2022). با این حال، تغییر اقلیم و تغییر پوشش و تبدیل اراضی می‌تواند ظرفیت این خدمات را بی‌ثبات سازد. کاهش پوشش برفی یا جابه‌جایی خطوط برف در ارتفاعات، قابلیت پیش‌بینی عملکردهای آب

et al., 2020). جدول ۱ نمونه‌هایی از توالی علی میان ساختار، فرایند، عملکرد و خدمت نهایی را در بستر کوهستان نشان می‌دهد و تمایز میان سطوح مختلف تولید زیستی و تحقق خدمت را به صورت عملیاتی روشن می‌سازد.

هم‌افزایی و تعارض میان خدمات:

اکوسیستم‌های کوهستانی به صورت «بسته‌ای از خدمات» عمل می‌کنند و تصمیمات مدیریتی اغلب موجب تقویت

برخی خدمات و تضعیف برخی دیگر می‌شود (de Groot et al., 2010). حفاظت از جنگل‌ها می‌تواند هم‌زمان تنظیم آب و حفظ زیستگاه را تقویت کند، درحالی که توسعه فشرده کاربری‌ها ممکن است خدمات تنظیمی را کاهش دهد (Pereira et al., 2022). از این رو، تحلیل خدمات باید به تعاملات درون سامانه‌ای و پیامدهای فضایی آن‌ها توجه کند.

جدول ۱- مثال‌هایی از پیوند ساختار، فرایند، عملکرد و خدمات اکوسیستمی کوهستان برگرفته و تلفیق شده براساس مفاهیم مقالات مذکور (Pereira et al., 2022; Egan & Price, 2017; Grêt-Regamey et al., 2012; Ioan et al., 2025; Glushkova et al., 2020)

ساختار (Biophysical Structure)	فرایند (Ecological Process)	عملکرد (Ecosystem Function)	خدمت نهایی (Ecosystem Service)
شیب، سنگ‌مادر، لایه‌های خاک کوهستانی	نفوذ/ زهکشی، فرسایش و رسوب‌گذاری	تنظیم رواناب و تثبیت خاک	کنترل سیلاب، کاهش خطر رانش (تنظیمی)
جنگل‌های کوهستانی (بلوط، کاج، راش...)	فتوسنتز، تنفس، تبادل کربن	ذخیره کربن و تنظیم دما	تنظیم اقلیم محلی و جهانی (تنظیمی)
علفزار و پوشش گیاهی عمیق‌ریشه	جذب آب، کاهش رواناب	تغذیه آب زیرزمینی و پایداری جریان	تأمین آب شیرین پایدار (فراهمی)
تنوع ارتفاعی و خرداقلیم‌ها	تفکیک گونه‌ای، مهاجرت ارتفاعی	حفظ تنوع ژنتیکی و پویایی جمعیت	حفظ زیستگاه و تنوع زیستی (پشتیبان)
مواد آلی خاک، ریزاندامگان، قارچ‌های میکوریز	تجزیه، چرخه نیتروژن و فسفر	بازيافت مواد مغذی	حاصلخیزی خاک برای کشاورزی (پشتیبان)
یخچال‌ها و برف‌چال‌ها	ذوب فصلی، ذخیره و آزادسازی آب	تنظیم جریان‌های فصلی	تأمین آب رودخانه‌ها و مصارف پایین‌دست (فراهمی)
زمین‌سیمای مرتفع، مناظر طبیعی	ادراک بصری، تجربه حسی	تولید ارزش زیبایی‌شناختی	گردشگری و تفرج، الهام هنری (فرهنگی)
پوشش گیاهی گل‌دار کوهستان	گرده‌افشانی	پایداری تولید بذر و میوه	تولید محصولات کشاورزی و گیاهان دارویی (فراهمی)

مرزهای فضایی تولید و بهره‌برداری خدمات اکوسیستمی در کوهستان

یکی از ویژگی‌های ساختاری خدمات اکوسیستمی کوهستان، ناهم‌مکانی میان محل تولید زیست‌فیزیکی و محل تحقق منفعت است. بسیاری از خدمات کلیدی، به‌ویژه خدمات آب‌شناختی و تنظیم مخاطرات، در ارتفاعات تولید می‌شوند،

درحالی که منافع آن‌ها عمدتاً در مناطق پایین‌دست یا حتی در مقیاس‌های فرامنطقه‌ای تحقق می‌یابد (Grêt-Regamey et al., 2012; Tefera et al., 2024). این جدایی فضایی، خدمات کوهستان را به جریان‌هایی اکولوژیک-اجتماعی تبدیل می‌کند که از مرزهای جغرافیایی فراتر می‌روند. در سطح تولید، ساختارهای اکولوژیک

پویایی عدم تعادل و پیشران‌های تغییر در خدمات اکوسیستمی کوهستان

با توجه به ناهم‌مکانی تولید و مصرف خدمات، پایداری خدمات اکوسیستمی کوهستان را نمی‌توان صرفاً براساس ظرفیت زیست‌فیزیکی تولید ارزیابی کرد، بلکه باید آن را به‌عنوان رابطه‌ای پویا میان عرضه، تقاضا و سازوکارهای تنظیم‌کننده این رابطه تحلیل نمود. عدم تعادل، زمانی شکل می‌گیرد که ظرفیت بازتولید اکولوژیک نتواند با شدت یا الگوی تقاضا هم‌راستا شود (Burkhard et al., 2012).

در اکوسیستم‌های کوهستانی، این پویایی به‌ویژه در خدمات آب‌شناختی آشکار است. ظرفیت تنظیم رواناب در ارتفاعات وابسته به انسجام ساختارهای زیستی و فرایندهای طبیعی است، درحالی‌که تقاضا در پایین‌دست تحت تأثیر رشد جمعیت، توسعه کشاورزی و فعالیت‌های صنعتی افزایش می‌یابد (Egan & Price, 2017; Tefera et al., 2024). زمانی که شدت بهره‌برداری از آستانه بازتولید سامانه فراتر رود، شکاف عرضه-تقاضا شکل گرفته و قابلیت اطمینان خدمت کاهش می‌یابد.

پیشران‌های تغییر، به شرح زیر این بی‌توانی را تشدید می‌کنند و به‌طور هم‌زمان بر دو سوی معادله اثر می‌گذارند:

تغییر اقلیم: بی‌ثباتی عرضه

مناطق کوهستانی نسبت به تغییر اقلیم حساس‌اند و افزایش دما، کاهش پوشش برفی و تغییر رژیم رواناب می‌تواند عملکردهای تنظیمی را بی‌ثبات سازد (Ioan et al., 2025). این تحولات نه‌تنها ظرفیت تولید خدمات را کاهش می‌دهد، بلکه قابلیت پیش‌بینی عرضه را نیز تضعیف می‌کند. درنتیجه، حتی در شرایط تقاضای ثابت، نوسانات اقلیمی می‌تواند تعادل خدمات را مختل سازد.

تبدیل اراضی و تخریب ساختاری: تضعیف زنجیره تولید

گسترش زیرساخت‌ها، بهره‌برداری جنگلی و گردشگری فشرده می‌تواند ساختارهای مولد خدمات را دگرگون کند

ارتفاعات، مانند پوشش جنگلی، خاک‌های عمیق و ذخایر برفی، فرایندهای تنظیم رواناب و تثبیت شیب‌ها را پشتیبانی می‌کنند. اما بهره‌برداری از این عملکردها در قالب تأمین آب، کاهش خسارات سیلاب یا تولید انرژی برق‌آبی، در پایین‌دست صورت می‌گیرد. بنابراین، «ناحیه تأمین‌کننده خدمت» الزاماً با «ناحیه بهره‌بردار» هم‌پوشانی ندارد و جریان خدمات میان این دو برقرار می‌شود (Schröter et al., 2014).

این ناهم‌مکانی سه پیامد تحلیلی دارد:

نخست، چندمقیاسی شدن پایداری؛ ارزیابی پایداری نمی‌تواند صرفاً بر وضعیت زیست‌فیزیکی منطقه تولیدکننده متمرکز باشد، بلکه باید الگوهای انتقال و مصرف را نیز دربر گیرد. دوم، گسست میان هزینه و منفعت؛ در بسیاری از موارد، هزینه‌های حفاظت از ساختارهای مولد خدمات بر دوش جوامع بالادست است، درحالی‌که منافع اقتصادی و اجتماعی در پایین‌دست تحقق می‌یابد (Grêt-Regamey et al., 2012). این نابرابری بالقوه می‌تواند انگیزه‌های حفاظتی را تضعیف کند.

سوم، پیچیده‌تر شدن حکمرانی خدمات؛ ازآنجاکه جریان خدمات از مرزهای اداری عبور می‌کند، مدیریت آن مستلزم هماهنگی میان سطوح مختلف نهادی است. نبود سازوکارهای تنظیمی میان مناطق تولیدکننده و بهره‌بردار می‌تواند حتی در شرایط ظرفیت زیست‌فیزیکی مناسب، به بهره‌برداری ناپایدار بینجامد.

درنتیجه، خدمات اکوسیستمی کوهستان را باید نه صرفاً به‌عنوان «خروجی یک اکوسیستم»، بلکه به‌عنوان «جریان‌های فضامند» در شبکه‌ای از وابستگی‌های اکولوژیک و اجتماعی تحلیل کرد. این نگاه فضامند زمینه را برای سنجش دقیق‌تر تعادل عرضه و تقاضا فراهم می‌کند؛ زیرا عدم تعادل ممکن است نه در محل تولید، بلکه در نحوه توزیع و مصرف خدمات شکل گیرد (Schröter et al., 2014).

(Pereira et al., 2022). کاهش پوشش گیاهی و تغییر در ویژگی‌های خاک، فرایندهای تنظیمی را مختل کرده و آسیب‌پذیری سامانه را افزایش می‌دهد (Tefera et al., 2024). این اختلال در حلقه‌های اولیه زنجیره تولید، پیامدهای چندبرابری در سطح بهره‌برداری ایجاد می‌کند.

افزایش تقاضا و فشار بهره‌برداری

رشد اقتصادی و جمعیتی در پایین‌دست موجب افزایش تقاضا برای آب، انرژی و منابع زیستی می‌شود (Egan & Price, 2017). در غیاب سازوکارهای تنظیمی مؤثر، این فشار می‌تواند حتی در شرایط سلامت نسبی ساختارهای اکولوژیک نیز به بهره‌برداری ناپایدار منجر شود. بدین‌ترتیب، عدم توازن، صرفاً پیامد کاهش عرضه نیست، بلکه نتیجه تعامل میان فشار تقاضا و محدودیت ظرفیت است (Grêt-Regamey et al., 2012; Burkhard et al., 2012).

اثرات تجمعی و افزایش عدم قطعیت

پیشران‌های فوق اغلب به‌صورت هم‌زمان عمل می‌کنند. ترکیب تغییر اقلیم با تخریب ساختاری می‌تواند تاب‌آوری سامانه را کاهش داده و شدت مخاطرات طبیعی را افزایش دهد (Pereira et al., 2022). این هم‌افزایی منفی، پیش‌بینی روندهای آینده را دشوار کرده و مدیریت خدمات را با سطح بالاتری از عدم قطعیت مواجه می‌سازد. در مجموع، عدم تعادل خدمات اکوسیستمی کوهستان را می‌توان حاصل برهم‌کنش سه مؤلفه دانست: ۱) ظرفیت اکولوژیک تولید در زنجیره ساختار-فرایند-عملکرد؛ ۲) شدت و الگوی تقاضا در مقیاس‌های فضایی مختلف؛ و ۳) کیفیت سازوکارهای نهادی تنظیم‌کننده جریان خدمات. پایداری، زمانی محقق می‌شود که این سه مؤلفه در وضعیتی هم‌راستا و سازگار قرار گیرند؛ در غیر این صورت، شکاف عرضه-تقاضا به‌تدریج به تضعیف ساختارهای مولد و تشدید تعارضات فضایی منجر خواهد شد (Grêt-Regamey et al., 2012; Burkhard et al., 2012).

پیامدهای مدیریتی و راهبردهای تقویت پایداری

تحلیل انجام‌شده نشان داد که پایداری خدمات اکوسیستمی کوهستان حاصل تعامل میان ظرفیت تولید زیستی، جریان فضایی خدمات و پویایی عرضه و تقاضا است. براین‌اساس، مدیریت این خدمات مستلزم رویکردی یکپارچه و چندمقیاسی است که هم‌زمان به ساختارهای مولد، الگوهای بهره‌برداری و سازوکارهای نهادی توجه کند. اقدامات زیر در این ارتباط نمونه‌وار است:

حفاظت و احیای ساختارهای مولد خدمات

حفظ پوشش گیاهی، مدیریت پایدار جنگل‌ها و علفزارها و جلوگیری از تخریب شیب‌ها؛ سرمایه‌گذاری مستقیم بر حلقه‌های پایه زنجیره تولید خدمات محسوب می‌شود. رویکردهای سازگاری مبتنی بر اکوسیستم می‌توانند هم‌زمان تاب‌آوری سامانه را در برابر تغییر اقلیم تقویت کرده و عملکردهای تنظیمی را تثبیت کنند (Egan & Price, 2017; Ioan et al., 2025). بدون سلامت ساختارهای پایه، سایر مداخلات مدیریتی کارایی محدودی خواهند داشت.

تقویت حکمرانی چندمقیاسی و جبران ناهم‌مکانی

با توجه به جدایی فضایی تولید و مصرف، لازم است سازوکارهایی طراحی شود که رابطه میان مناطق تأمین‌کننده و بهره‌بردار را تنظیم کند. ابزارهایی مانند پرداخت برای خدمات اکوسیستمی (PES¹) می‌توانند بخشی از نابرابری هزینه-منفعت را جبران کرده و انگیزه‌های حفاظتی را در مناطق بالادست تقویت کنند (Grêt-Regamey et al., 2012). تحقق این هدف مستلزم شفافیت نهادی، مشارکت ذی‌نفعان و هماهنگی میان سطوح اداری است.

برنامه‌ریزی فضامند و مدیریت تعارض خدمات

از آنجاکه خدمات کوهستان به‌صورت «بسته‌ای»^۲ و در تعامل با یکدیگر عمل می‌کنند، تصمیم‌گیری بخشی می‌تواند به تقویت برخی خدمات و تضعیف برخی دیگر بینجامد.

پایین‌دست تحقق می‌یابد. این جدایی فضایی، پایداری خدمات را به مسئله‌ای چندمقیاسی و وابسته به کیفیت حکمرانی تبدیل می‌کند. در چنین بستری، عدم تعادل، زمانی رخ می‌دهد که فشار تقاضا، تغییرات اقلیمی یا تخریب ساختاری، از ظرفیت بازتولید سامانه فراتر رود.

یافته‌های تحلیلی این مطالعه نشان می‌دهد که گذار از رویکردهای تولیدمحور به چارچوبی که هم‌زمان تولید زیستی، جریان فضایی و پویایی عرضه-تقاضا را در نظر گیرد، می‌تواند درک دقیق‌تری از آسیب‌پذیری و تاب‌آوری اکوسیستم‌های کوهستانی فراهم آورد. این رویکرد امکان می‌دهد پایداری نه به‌عنوان وضعیت ایستا، بلکه به‌عنوان فرآیندی پویا و وابسته به تنظیم رابطه میان ساختارهای مولد و الگوهای بهره‌برداری تلقی شود. چنین رویکردی می‌تواند ظرفیت انطباق سامانه‌های کوهستانی را در برابر تغییرات اقلیمی و اجتماعی افزایش داده و از تشدید شکاف عرضه-تقاضا جلوگیری کند.

درنهایت، پایداری کوهستان‌ها در آینده نه‌تنها به روندهای اقلیمی، بلکه به توانایی نظام‌های مدیریتی در ایجاد هم‌راستایی میان مناطق تأمین‌کننده و بهره‌بردار، و حفظ تعادل میان ظرفیت اکولوژیک و تقاضای انسانی وابسته است. توجه به این پیوندهای فضامند و نهادی می‌تواند چارچوبی تحلیلی برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی سرزمین در مناطق کوهستانی فراهم سازد.

نقشه‌سازی هم‌زمان ظرفیت عرضه و کانون‌های تقاضا امکان شناسایی نقاط حساس و تعارض را فراهم می‌کند (Glushkova et al., 2020). چنین رویکردی می‌تواند توسعه گردشگری، بهره‌برداری منابع و حفاظت زیستگاه را در چارچوبی متوازن هدایت کند.

مشارکت اجتماعی و ادغام دانش بومی

ارزش خدمات، به‌ویژه خدمات فرهنگی، در بستر اجتماعی شکل می‌گیرد. مشارکت جوامع محلی و لحاظ‌کردن دانش بومی می‌تواند مشروعیت و اثربخشی سیاست‌های مدیریتی را افزایش دهد (Vaz et al., 2017). بی‌توجهی به این بعد ممکن است حتی سیاست‌های حفاظتی درست از نظر زیست‌فیزیکی را با مقاومت اجتماعی مواجه سازد.

نتیجه‌گیری

این بررسی تحلیلی نشان داد که خدمات اکوسیستمی کوهستان را نمی‌توان صرفاً در قالب ظرفیت زیست‌فیزیکی تولید، تحلیل کرد. تقویت پایداری خدمات اکوسیستمی کوهستان مستلزم هم‌افزایی سه جهت‌گیری مدیریتی است: (۱) حفاظت از ساختارهای مولد خدمات، (۲) تنظیم توازن عرضه و تقاضا در مقیاس‌های فضایی مناسب و (۳) طراحی سازوکارهای نهادی مشارکتی و چندمقیاسی.

تحلیل ناهم‌مکانی تولید و مصرف، آشکار ساخت که بسیاری از خدمات کوهستان، به‌ویژه خدمات هیدرولوژیک و تنظیم مخاطرات، در ارتفاعات شکل می‌گیرند اما منافع آن‌ها در

landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7(3), 260–272.

Egan, P., & Price, M. F. (2017). Ecosystem services in mountain environments: Benefits and threats. In P. F. Price (Ed.), *Mountain ecosystems* (pp. 9–22). Routledge.

Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3), 643–653.

Glushkova, M., Zhiyanski, M., Nedkov, S., Yaneva, R., & Stoeva, L. (2020). Ecosystem services from

منابع

Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., & Windhorst, W. (2012). Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 21, 17–29.

Daniel, T. C., Bennett, E. M., Isbell, F., & Lamarque, J. F. (2012). Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda. *PNAS*, 109(23), 8812–8819.

de Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., & Willemsen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in

Pereira, P., Inacio, M., Bogunovic, I., Francos, M., Barceló, D., & Zhao, W. (2022). Ecosystem services in mountain environments. Benefits and threats.

Schröter, M. (2014). Ecosystem services and disservices: A framework for classifying and mapping ecosystem service flows. *Ambio*, 43(4), 508–520.

Tefera, G. W., Ray, R. L., & Bantider, A. (2024). Exploring the unique biophysical characteristics and ecosystem services of mountains: A review. *Journal of Mountain Science*, 21(11), 3584-3597.

Vaz, A.S., Kueffer, C., Kull C.A. (2017) Integrating ecosystem services and disservices: insights from plant invasions, *Ecosystem Services* 23: 94–107.

mountain forest ecosystems: conceptual framework, approach and challenges. *Silva Balcanica*, 21(1), 47-68.

Grêt-Regamey, A., Brunner, S. H., & Kienast, F. (2012). Mountain ecosystem services: Who cares? *Mountain Research and Development*, 32(S1), S23–S34.

Ioan, S., Roseo, F., & Brambilla, M. (2025). Mountain ecosystem services under a changing climate: A global perspective. *Ecosystem Services*, 73, 101732.

MEA, Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press. Muller & Burkhard, 2012.

Flaine, Arâches-la-Frasse, France, December, 2017, Photographer: Inés Álvarez Fdez





Kermanshah Province, Iran, September, 2025, Photographer: Rezvane Allah Yari

Mountain Ecosystem Services and Sustainability Challenges

Batoul Ghaffarikhah¹, Afshin Danehkar^{2*}

1- Ph.D. student, Department of Natural Environment, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Professor, Department of Natural Environment, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

*Corresponding Author's E-mail: danehkar@ut.ac.ir

Abstract

Mountain ecosystem services constitute one of the most critical interfaces between biophysical structures and human welfare across local to supra-regional scales. Despite the growing body of literature on this subject, the predominant focus of research has remained on the biophysical capacity for service provision, while the spatial, institutional, and management dimensions of service utilization have been less frequently analyzed in an integrated manner. This paper adopts an analytical review approach to re-examine mountain ecosystem services within the structure–process–function cascade framework, linking them to the dynamics of supply and demand. A review of the literature reveals that the spatial disconnect between the locations of service production in highland areas and service utilization in lowland regions creates an institutional and management gap. This spatial mismatch may lead to imbalances in benefit distribution and increased pressure on the structures that generate these services. Furthermore, drivers such as climate change, land-use change and land conversion, and growing demand simultaneously challenge both the biophysical production chain and the supply–demand equilibrium. Accordingly, ensuring the sustainability of mountain ecosystem services requires strengthening multi-scale governance, conserving ecological structures, and integrating spatial analysis of supply and demand into land-use planning.

Keywords: Spatial equilibrium, Production chain, Supply and demand, Mountain pressures, Ecosystem functioning

Ghaffarikhah, B; Danehkar, A. (2026). Mountain Ecosystem Services and Sustainability Challenges. *Zist Sepehr Student Magazine*, 18(4), 24-34.