Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891
Online ISSN: 2676-5039

Mapping Plant Ecological Units to Quantify Ecosystem Services (Carbon Sequestration) in the Semi-Steppe Rangelands of Chaharmahal and Bakhtiari Province

Masoomeh Aghababaei*[1], Ataolah Ebrahimi[2], Aliasghar Naghipoor[3], Esmaeil Asadi[2]

1. Corresponding author; PhD. In Rangeland Sciences, Department of Nature engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: ma.aghababaeei@stu.sku.ac.ir
2. Associate Prof., Department of Nature engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
3. Assistant Prof., Department of Nature engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

2025; Vol 18, Issue 3

Article history:
Received: 12.06.2024
Revised: 22.08.2024
Accepted: 27.08.2024

Keywords:
Vegetation Mapping, Land Change Modeler, Markov Chain Model, Ecosystem Services.

Abstract

Background and objectives: Plant Ecological Units (PEUs) are distinctive land types capable of producing unique vegetation communities that differ in composition, structure, and carbon storage capacity, an essential ecosystem service. This research aims to accurately classify PEUs in semi-steppe rangelands to quantify ecosystem services, particularly carbon sequestration, as a critical ecosystem service.

Methodology: The Marjan-Borujen watershed in Chaharmahal and Bakhtiari Province was selected as the study area. Following monitoring and field studies, four dominant PEUs were identified: Astragalus verus Olivier, Bromus tomentellus Boiss, Scariola orientalis Sojak, and Astragalus verus Olivier - Bromus tomentellus Boiss. Multi-temporal images were used for better classification, evaluation, and monitoring of PEUs' changes over the past thirty years. Additionally, Land Change Models (LCM) were employed to predict future changes in PEUs. Three-time periods were selected, each with a 16-year interval: the first period (1988-1986) with the TM sensor, the second period (2002-2004) with the ETM+ sensor, and the third period (2018-2020) with the OLI sensor. The Markov Chain (MC) modeler was used to model and predict future changes in PEUs (2036). Finally, ecosystem services (carbon storage and sequestration) between the present (T1) and future (T2) periods were quantified.

Results: LCM modeling results indicated that by 2036, PEUs 2 and 4 would increase by 4.3% and 0.07%, respectively, while PEUs 1 and 3 would decrease by 1.98% and 3.12%, respectively. The ecosystem services modeling (ESM) results showed that the current total carbon stored in the region is approximately 226,238 tons. Between the two periods T1 (2020) and T2 (2036), 463 tons of sequestered carbon will be lost due to changes in PEUs. The quantification of ecosystem services revealed that the hotspots of carbon sequestration reduction are primarily associated with areas affected by destruction, such as livestock grazing, bush cutting, and land plowing.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]

Conclusion: This research highlights the changes in PEUs from the past to the future, demonstrating the impact of human and management activities on ecosystems and plant communities within less than a decade. Implementing natural resource protection policies and appropriate management activities can reduce the destruction of plant communities, thereby enhancing their sustainability and future health. Vegetation changes are the primary drivers of ecosystem services changes. Carbon storage and sequestration, as key ecosystem services, have a direct relationship with vegetation, which is significantly affected by changes and reductions in vegetation. In the studied area, lands close to access roads or those that were plowed and abandoned eventually turned into uncovered lands and poor rangelands, resulting in decreased carbon sequestration and the emergence of carbon sequestration reduction hotspots.

Cite this article: Aghababaei, M., A. Ebrahimi, A. Naghipoor, E. Asadi, 2025. Mapping Plant Ecological Units to Quantify Ecosystem Services (Carbon Sequestration) in the Semi-Steppe Rangelands of Chaharmahal and Bakhtiari Province. Journal of Rangeland, 18(3): 432-450.

© The Author(s).
DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6
Publisher: Iranian Society for Range Management

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

تهیه نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی جهت کمی‌سازی خدمات اکوسیستم (ترسیب کربن) در مراتع نیمه‌استپی استان چهار محال و بختیاری

معصومه آقابابایی*[1]، عطاالله ابراهیمی[2]، علی اصغر نقی‌پور[3]، اسماعیل اسدی[2]

۱. نویسندهٔ مسئول، دکتری علوم مرتع، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: ma.aghababaeei@stu.sku.ac.ir

۲. دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۳. استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل – پژوهشی

۱۴۰۳؛ جلد ۱۸، شماره ۳

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۰۳/۲۳
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

واژه‌های کلیدی:
نقشه‌برداری پوشش گیاهی، مدل‌سازی تغییرات سرزمین، مدل زنجیره مارکوف، خدمات اکوسیستم.

چکیده

سابقه و هدف: واحدهای اکولوژیک گیاهی محدوده‌هایی است که قابلیت ایجاد اجتماعاتی از پوشش گیاهی که هم از نظر ترکیب و هم ساختار با محدوده‌های دیگر متفاوت بوده و مقادیر متفاوتی از کربن را به‌عنوان یک خدمت مهم اکوسیستمی ذخیره می‌کنند. هدف این تحقیق، طبقه‌بندی دقیق واحدهای اکولوژیک گیاهی در مراتع نیمه استپی جهت کمی‌سازی مهم‌ترین خدمات اکوسیستم (ترسیب کربن)، است.

مواد و روش‌ها: برای رسیدن به این اهداف، حوزه آبخیز مرجن بروجن در استان چهارمحال و بختیاری انتخاب شد. بعد از پایش و بررسی‌های میدانی، چهار واحد اکولوژیک گیاهی غالب در منطقه شناسایی شد که شامل: *Astragalus verus* Olivier، *Bromus tomentellus* Boiss، *Scariola orientalis* Sojak، *Astragalus verus* Olivier - *Bromus tomentellus* Boiss بودند. از تصاویر چند زمانه، جهت تفکیک بهتر واحدهای اکولوژیک گیاهی، ارزیابی و پایش تغییرات احتمالی آن‌ها در طول سالیان گذشته (سی سال گذشته) استفاده شد. همچنین جهت پیش‌بینی تغییرات آینده واحدهای اکولوژیکی گیاهی، از مدل‌های پیش‌بینی تغییرات اراضی (LCM) استفاده شد. سه دوره زمانی در یک بازه زمانی ۱۶ ساله شامل دوره اول (سال‌های ۱۹۸۸-۱۹۸۶ با سنجنده TM) دوره دوم (سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۰۴ با سنجنده +ETM) و دوره سوم (سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۰ با سنجنده OLI) انتخاب شد. برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات آینده واحدهای اکولوژیک گیاهی (۲۰۳۶) از مدل زنجیرهٔ مارکوف (MC) استفاده شد. در نهایت ارزیابی و کمی‌سازی خدمات اکوسیستم (ذخیره و ترسیب کربن) بین دو دوره حال (T1) و آینده (T2) برآورد شد.

نتایج: نتایج حاصل از اعمال LCM گویای آن است که در آینده (۲۰۳۶) واحد اکولوژیک گیاهی ۲ و ۴ به‌ترتیب ۴/۳ و ۰/۰۷درصد افزایش خواهند یافت ولی واحد اکولوژیک گیاهی ۱ و ۳ به‌ترتیب ۱/۹۸ و ۳/۱۲ درصد کاهش خواهند یافت. در نهایت نتایج حاصل از مدلسازی خدمات اکوسیستم (ESM) نشان داد که کل کربن فعلی ذخیره شده در منطقه برابر با ۲۲۶۲۳۸ تن است. همچنین بین دو دوره T1 (۲۰۲۰) تا T2 (۲۰۳۶) با تغییرات واحدهای اکولوژیک گیاهی میزان ۴۶۳ تن کربن ترسیب شده از دست خواهد رفت. نتایج کمی‌سازی خدمات اکوسیستم نشان داد که نقاط داغ کاهش ترسیب کربن بیشتر مربوط به بخش‌هایی است که واحدهای اکولوژیک گیاهی در اثر تخریباتی از قبیل چرای دام، بوته‌کنی و شخم رهاسازی اراضی کاهش یافته است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]

نتیجه‌گیری: پژوهش حاضر با هدف آشکارسازی تغییرات در واحدهای اکولوژیک گیاهی از گذشته تا آینده انجام شد. نتایج نشان داد که تأثیر فعالیت‌های انسانی و مدیریتی در کمتر از یک دهه بر روی اکوسیستم و جوامع گیاهی قابل مشاهده است. اجرای سیاست‌های حفاظت از منابع طبیعی و فعالیت‌های مدیریتی مناسب در هر دوره‌ای میزان تخریبات و نابودی جوامع گیاهی را به‌طور مناسبی کاهش داده و در نتیجه به پایداری و سلامتی آینده جوامع گیاهی کمک می‌کند. به‌طور کلی تغییرات پوشش گیاهی محرک اصلی تغییر در خدمات اکوسیستم است. ذخیره و ترسیب کربن به‌عنوان یکی از کلیدی‌ترین خدمات اکوسیستم رابطه مستقیمی با پوشش گیاهی دارند و با تغییر و کاهش در طبقات پوشش گیاهی این فاکتورها نیز به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرند. در منطقه مورد مطالعه اغلب مناطقی که نزدیک به جاده دسترسی بوده و یا شخم و رهاسازی شده‌اند در نهایت به اراضی فاقد پوشش و مراتع فقیر تبدیل شده‌اند که میزان ترسیب کربن در این مناطق کاهش یافته و به نقاط داغ کاهش ترسیب کربن تبدیل شده است.

استناد: آقابابایی، م.، ع.ه ابراهیمی، ع. نقی‌پور، ا. اسدی، ۱۴۰۳. تهیه نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی جهت کمی سازی خدمات اکوسیستم (ترسیب کربن) در مراتع نیمه استپی استان چهار محال و بختیاری. مرتع، ۱۸(۳): ۴۳۲-۴۵۰.

DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6

© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]

مقدمه

مراتع یکی از مهم‌ترین انواع پوشش‌های سطحی زمین است که حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد از سطح کره خاکی را پوشانده و حدود نیمی از رویشگاه‌های طبیعی گیاهی جهان را تشکیل می‌دهند و از همین روی بزرگ‌ترین اکوسیستم جهان را پدید آورده است (۹). اکوسیستم‌های مرتعی علاوه بر تأمین غذا و حمایت از معیشت میلیون‌ها انسان، ارائه کننده خدمات اکوسیستم متعددی نیز است. مهم‌ترین خدمات این اکوسیستم در ارتباط با کیفیت خاک و حفاظت از منابع آب و خاک (۲۵)، حفظ تعادل هیدرولوژیکی و تغییرات اقلیم (۱۴)، تنوع زیستی و حفظ منابع ژنتیکی جهت مطالعه عملکرد اکوسیستم (۱۶) و ذخیره‌سازی کربن (۲۳و ۶) است که به حیات و انسان‌ها ارائه می‌دهد. خدمات اکوسیستمی شامل کلیه منافعی است که بشر از اکوسیستم‌های طبیعی به دست می‌آورد و با هدف ایجاد ارتباط با رفاه انسانی، در چهار طبقه خدمات تأمینی (تأمین نیازهای بشری)، تنظیمی (مثلاً تنظیم چرخه آب)، حمایتی (مثلاً پناهگاه حیات‌وحش) و فرهنگی قرار می‌گیرند (۳۱). اکوسیستم‌های طبیعی همچون مراتع به سبب برخورداری از پوشش گیاهی متنوع یکی از مکان‌های با ارزش ذخیره و ترسیب کربن و جذب گازهای گلخانه‌ای و عرضه اکسیژن به‌عنوان یک خدمت اکوسیستمی است (۱۵). ذخیره و ترسیب کربن خشکی یکی از مهم‌ترین خدمات اکوسیستم محسوب می‌شود. به‌طوری که افزایش ترسیب کربن معادل افزایش زی‌توده گیاهی، افزایش تولید، بهبود حاصل‌خیزی خاک و افزایش ظرفیت نگه‌داری آب در خاک است (۲۴). با پیشرفت‌های روزافزون در زمینه بررسی تغییرات اکوسیستم‌های مختلف در سطح جهان، پیش‌بینی کامل و دقیقی از گستره تخریبات در سرتاسر اکوسیستم‌های زمینی حاصل‌شده است که نیازمند ارزیابی شرایط و خدمات اکوسیستم بوده و می‌تواند چارچوب کمی و تکرارپذیر (مدیریت سازگار) برای فعالیت‌های مدیریت اراضی را فراهم آورد (۲۶). از طرفی با نگاه در یک چشم‌انداز به‌راحتی نمی‌توان بخش‌هایی از اراضی که مقدار و نوع پوشش گیاهی متفاوتی دارند را تشخیص داد. برای درک بهتر تنوع و مدیریت اصولی یک چشم‌انداز، باید قسمت‌های مختلف را به واحدهای اکولوژیک گیاهی همگن طبقه‌بندی کرد (۸). هر مرتع معمولاً از چندین جامعه گیاهی تشکیل شده است. جامعه گیاهی مجموعه‌ای از گونه‌های گیاهی است که با هم در یک محل خاصی رشد می‌کنند و هر گونه در درون خود تبادل ژنی دارند. واحد جامعه برای مطالعه را واحد اکولوژیک گیاهی (Plant Ecological Unit) گویند که ممکن است، در چندین محل تکرار شوند (۲۲). واحدهای اکولوژیک گیاهی به‌عنوان یکی از بخش‌های اصلی و اساسی زیستگاه‌های طبیعی بوده که به لحاظ داشتن خصوصیات محیطی خاص (خاکی، ژئومرفولوژیکی و توپوگرافی) از سایر بخش‌ها متمایز شده‌اند. به‌طوری که هر واحد اکولوژیک گیاهی، ساختار گیاهی و عملکرد اکولوژیکی یکسان دارد و باعث تجمع منابع در اکوسیستم شده و نقش مهمی در توزیع مجدد منابع و همچون تولید رواناب و نفوذپذیری خاک دارند (۱۱). در اکوسیستم‌های مرتعی هرگونه برنامه پایش و ارزیابی اراضی و اقدامات مدیریتی نیازمند شناخت کامل واحدهای اکولوژیک گیاهی و ارتباط آن‌ها با سایر بخش‌های چشم‌انداز است. از طرفی دیگر، واحدهای اکولوژیک گیاهی علاوه بر طبقه‌بندی چشم‌انداز و سازمان‌دهی اطلاعات اکولوژیکی جهت ارزیابی خدمات اکوسیستم نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲۷). با توجه به تغییرات کاربری اراضی در نیوزلند و از بین رفتن اکوسیستم‌های طبیعی جنگلی و مرتعی محققان مطالعه‌ای بر روی علفزارها و ارزش آن‌ها در ذخیره و ترسیب کربن انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که علفزارها تأثیر زیادی در میزان ذخیره و ترسیب کربن دارند؛ به‌طوری که باعث افزایش حاصل‌خیزی خاک و در نتیجه با کاهش میزان دی اکسید جو، باعث کاهش تغییرات آب و هوایی می‌شوند. ایشان میزان ذخیره کربن را تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک بین ۳ تا ۹۳ تن در هکتار در سال و میزان ترسیب کربن را بین ۰/۱ تا ۳/۱ تن در هکتار در مراتع خشک ارزیابی کردند. همچنین اظهار داشتند که فاکتورهای مدیریتی به‌خصوص میزان بهره‌برداری از مراتع مهم‌ترین عامل اثر گذار بر ذخیره و ترسیب کربن در این مناطق است که باید ارزش‌گذاری اقتصادی جهت ارزیابی بهترخدمات اکوسیستم در این مناطق انجام گیرد (۲۹). همچنین در مطالعه‌ای به بررسی چگونگی انجام به‌گزینی کاربری‌ها باتوجه به میزان تغییر در فرسایش خاک و قابلیت نگهداشت آب به‌عنوان دو مورد از

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]

خدمات اکوسیستم پرداخته شده است. در این مطالعه به انواع کاربری‌ها به‌عنوان اکوسیستم‌های مختلف با قابلیت‌های متفاوت از خدمات اکوسیستم در نظر گرفته شد. ایشان به این نتیجه رسیدند که با افزایش کاربری مرتع نسبت به کاربری کشاورزی میزان فرسایش خاک در کل منطقه حدود ۶۱ درصد کاهش نشان می‌دهد. در کل، انتخاب بهترین شکل به‌گزینی بستگی به رویکرد مدیریتی منطقه دارد (۲۶). محققان، دلایل اصلی تخریب اکوسیستم‌ها و برهم‌خوردن تعادل چرخه کربن در طبیعت را به مشخص نبودن مقادیر کمی خدمات اکوسیستمی مانند ترسیب کربن اشاره کرده که تلاش برای کمی‌سازی و تعیین ارزش اقتصادی این نوع خدمات را بسیار با ارزش بیان کردند. ایشان میزان ذخیره کربن و اکسیژن تولیدشده توسط زی‌توده هوایی چند گونه گیاهی مراتع خشک و نیمه‌خشک در یک چشم‌انداز ۵۰ ساله را ارزش‌گذاری کردند. نتایج نشان داد که میزان ذخیره کربن در کل منطقه مورد مطالعه ۲/۲۳ تن در هکتار و میزان عرضه اکسیژن نیز ۲/۱ تن در هکتار بوده است. به‌طوری که میزان ذخیره کربن در برخی از گونه‌های گیاهی نسبت به گونه‌های دیگر بیشتر بوده و بر توانایی‌های متفاوت گونه‌های مختلف گیاهی در جذب کربن و تولید اکسیژن تأکید کردند. همچنین با توجه به جایگاه مراتع خشک و نیمه‌خشک در ترسیب بخش مهمی از کربن اتمسفر، برآورد توانمندی ترسیب کربن و تولید اکسیژن در این مناطق و محاسبه ارزش مالی آن را با اهمیت بیان کردند (۱۹).

جهت یکپارچه‌سازی مفهوم خدمات اکوسیستم، نیاز به تهیه نقشه‌های مکانی خدمات اکوسیستم در مقیاس منطقه‌ای است. این موضوع بدون شک در مراتع مناطق نیمه استپی که از درصد پوشش گیاهی کمتری در مقایسه با مناطق مرطوب برخوردار است و بخشی از زی‌توده گیاهی به دلیل سازگاری با خشکی در زیر زمین توسعه می‌یابد برای ارزیابی با چالش‌های بیشتری مواجه خواهد بود (۲۰). ارزش‌گذاری کارکردهای زیست محیطی مراتع مانند ذخیره و ترسیب کربن که عموماً بدون قیمت هستند، گام مهمی برای تصحیح آن نوع از تصمیمات زیست محیطی- اقتصادی خواهد بود که به این کارکردها و خدمات به عنوان خدمات رایگان می‌نگرد. بنابراین در این مطالعه اقدام به برآورد و کمی‌سازی مهم‌ترین خدمات اکوسیستم (ترسیب کربن) در واحدهای اکولوژیک گیاهی شده است.

حوزه آبخیز مرجن بروجن یکی از مناطقی است که علی‌رغم اینکه تقریباً دارای کمترین میزان بارش در سطح استان چهارمحال و بختیاری است (۲۲۰ میلی‌متر)، ولی به دلیل مدیریتی که بر این عرصه اعمال می‌شود، دارای پوشش نسبتاً خوبی است و دارای تنوع مطلوبی نسبت به پتانسیل خود است؛ این حوضه آبخیز به دلیل قرارگیری در مجاورت شهر بروجن، اهمیت بیشتری برای را برای مطالعه دارد. لذا در این مطالعه با توجه به بررسی منابع و مطالعات گذشته و با استفاده از شیوه‌های مدرن تلاش شد تا بعد از تفکیک و طبقه‌بندی دقیق واحدهای اکولوژیک گیاهی و تعیین تغییرات احتمالی آن‌ها در طول زمان، میزان ترسیب کربن در هر یک از واحدهای اکولوژیک گیاهی، کمی سازی شده و سپس میزان کاهش یا افزایش احتمالی این فاکتور به شکل مکانی تعیین شود.

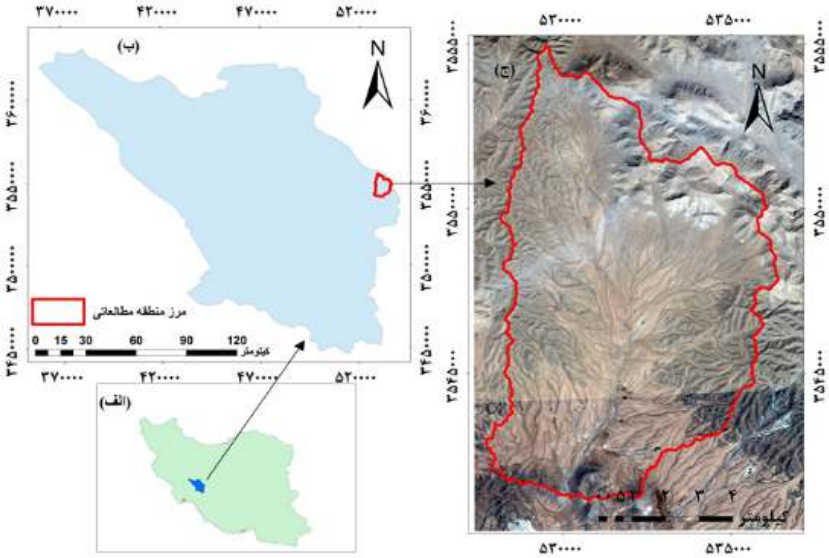
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در مراتع مرجن شهرستان بروجن از توابع استان چهارمحال‌وبختیاری انجام گرفته است (شکل ۱). این مراتع در ۴/۶۵ کیلومتری شهرستان بروجن با مساحتی معادل ۷۷۳۶/۵۸ هکتار در شرق استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. از نظر جغرافیایی در حد فاصل "۵۳ ´ ۸ °۵۱ تا "۱۲ ´ ۱۹ °۵۱ طول شرقی و "۵۶ ´ ۳ °۳۲ تا "۵ ´ ۴ °۳۲ عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط از سطح دریا در این منطقه معادل ۲۶۹۷/۴۸ متر از سطح دریای آزاد است. متوسط بارندگی طبق آمار ۲۵ ساله برابر ۲۲۰ میلی‌متر بوده است. طبق تقسیم‌بندی کوپن این منطقه دارای اقلیم معتدل و سرد با تابستان‌های گرم و خشک است. میانگین حداقل دما ۱/۶- سانتی‌گراد و میانگین حداکثر دما ۲۷ درجه سانتی‌گراد است. پوشش گیاهی غالب منطقه شامل گراس‌های چندساله و بوته‌ای‌ها است (۲).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]



شکل ۱: نمای کلی منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه ایران (الف)، استان چهارمحال و بختیاری (ب) و تصویر گوگل ارث (ج)

در منطقه مرجن، واحدهای مدیریتی مختلفی وجود دارد که در فصول بهار (خرداد ماه) تا اواسط تابستان (مرداد ماه) مورد چرا واقع می‌شوند که به‌دلیل مدیریت صحیح چرا و بهره‌برداری از مرتع، شدت تخریبات زیاد نبوده و با وجود بارندگی کم (۲۲۰ میلی‌متر)، قسمت اعظم منطقه دارای شرایط پوشش مناسبی است. پوشش گیاهی غالب منطقه را گندمیان چندساله و بوته‌ای‌ها تشکیل می‌دهند (۳). آنچه در این منطقه نمود خوبی دارد، واحدهای اکولوژیک گیاهی منطقه است. به‌طوری‌که به‌جز در حاشیه‌های مرز که دارای کوه‌ها و صخره‌های سنگی است، بیشتر منطقه به‌صورت دشت مسطحی بوده و به خوبی می‌توان در سطح چشم‌انداز، واحدهای اکولوژیک گیاهی مختلف موجود در منطقه را مشاهده کرد. بعد از پایش و بررسی‌های میدانی شش واحد اکولوژیک گیاهی غالب در منطقه شناسایی شد. ولی واحد اکولوژیک گیاهی ۵ و واحد اکولوژیک گیاهی ۶ به‌دلیل دارا بودن مساحت کم و توزیع نامناسب در منطقه (بیشتر در بخش‌های جنوبی منطقه حضور داشتند) حذف شدند و اندازه‌گیری درصد تاج پوشش گیاهی و میزان کربن زی‌توده گیاهی و خاکی از چهار واحد اکولوژیک گیاهی غالب استفاده شد که شامل:

واحد اکولوژیک گیاهی ۱ ((As. ve) *Astragalus verus* (Olivier)

واحد اکولوژیک گیاهی ۲ ((Br. to) *Bromus tomentellus* (Boiss)

واحد اکولوژیک گیاهی ۳ ((Sc. or) *Scariola orientalis* (Sojak)

واحد اکولوژیک گیاهی ۴ ((As. ve - Br. to) *Astragalus verus* Olivier - *Bromus tomentellus* Boiss)

روش کار

جمع‌آوری داده‌های میدانی جهت ارزیابی ذخیره ترسیب کربن

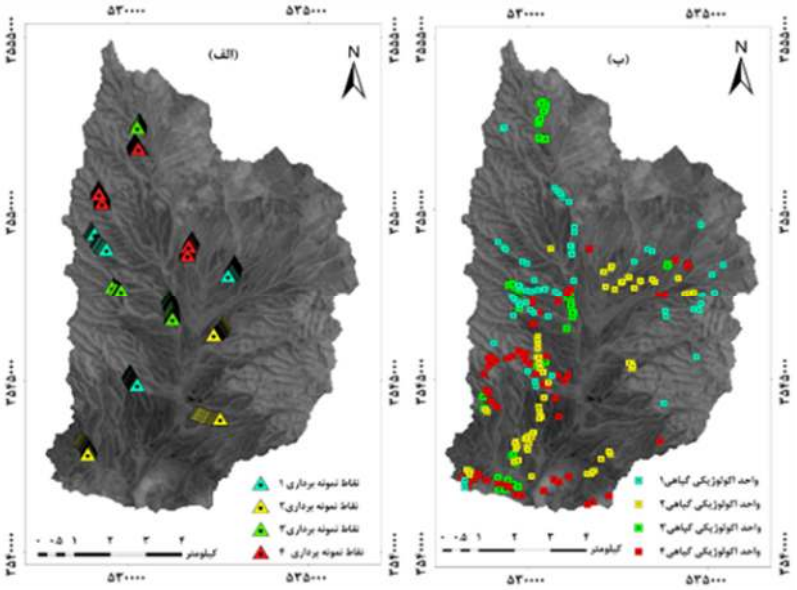
جهت انجام نمونه‌برداری، از هر واحد اکولوژیک گیاهی سه تکرار طوری انتخاب شد که در کل منطقه مورد مطالعه توزیع یکسانی داشته باشند (شکل ۲- الف). درون هر واحد اکولوژیک گیاهی در امتداد سه ترانسکت صد متری، ۳۰ پلات ۲ مترمربعی به فاصله ده متر از هم به‌صورت عمود بر شیب منطقه، مستقر شد. به‌منظور اندازه‌گیری تاج پوشش سبز گیاهی درصد تاج پوشش سبز گیاهان به تفکیک فرم رویشی در هر یک از کوادرات‌ها اندازه‌گیری شد. درصد پوشش‌های گیاهی برآورد شده در محدوده هر واحد اکولوژیک گیاهی محاسبه و تیپ گیاهی از دیدگاه ترکیب فلوریستکی آن نیز مشخص و نام‌گذاری شد. برای این منظور، ابتدا گونه غالب گیاهی هر واحد مشخص و سپس گونه‌های همراه آن مشروط به داشتن ۵۰ درصد و یا بیشتر

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]

پوشش گیاهی گونه ماقبل آن تا ۵ گونه گیاهی تعیین شد. بدین ترتیب نام‌گذاری هر واحد اکولوژیک گیاهی بر مبنای روش فیزیونومیک و فلوریستیک آن مشخص شد.

به‌منظور مطالعه میزان کربن زی‌توده گیاهی (زی‌توده سطحی، زی‌توده زیرزمینی، لاشبرگ) از روش نمونه‌گیری مضاعف استفاده شد. بدین منظور، ۲۵ درصد از تعداد کل پلات‌ها انتخاب و داخل هر پلات اقدام به کف‌بر کردن گونه‌های گیاهی و جمع‌آوری لاشبرگ از سطح خاک شد. نمونه‌های جمع‌آوری شده به آزمایشگاه انتقال داده شد و پس از تعیین وزن، برای محاسبه ضریب خشکی نمونه‌ها در هوای آزاد خشک شده و قبل از انجام آزمایشات مربوطه، به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها وزن شده و درصد ماده خشک زی‌توده هوایی و لاشبرگ اندازه‌گیری شد. همچنین برای محاسبه زی‌توده زیرزمینی گونه‌ها از نسبت وزنی بین ریشه و ساقه استفاده شد (۱۰).



شکل ۲: (الف) توزیع پلات‌های نمونه‌برداری جهت تعیین درصد تاج پوشش گیاهی برای هر یک از واحدهای اکولوژیک گیاهی. (ب) مجموعه نقاط آزمون و تعلیمی ثبت شده در منطقه با پیمایش صحرایی

تعیین ضریب تبدیل کربن گونه‌های گیاهی: پس از جمع‌آوری نمونه‌های گیاهی، جهت تعیین ضریب تبدیل کربن زی‌توده و لاشبرگ هر یک از واحدهای اکولوژیک گیاهی به کربن آلی، از روش احتراق استفاده شد. براین‌اساس، نمونه‌های مختلف گیاهی که کاملاً خشک شده بودند، آسیاب شده و از هرکدام ۲۰ نمونه ۱ گرمی تهیه شد. نمونه‌ها پس از توزین، در کوره قرار داده شد و به مدت ۵-۴ ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد سوزانده شدند. نمونه‌های سوخته شده را پس از خشک کردن در دستگاه دسیکاتور، توزین نموده و با تعیین وزن خاکستر و با در دست داشتن وزن اولیه و نسبت کربن آلی به مواد آلی، بر اساس معادله ۱ میزان کربن آلی تعیین و میزان کربن آلی در هرکدام از نمونه‌های گیاهی برحسب میزان ماده خشک آن‌ها محاسبه شد و درنهایت با در دست داشتن درصد وزن اولیه و درصد کربن آلی ضریب تبدیل نیز محاسبه شد (۳۰).

معادله (۱)

$$OC = \frac{1}{2} OM$$

OC: میزان کربن آلی، OM: میزان ماده آلی

برآورد میزان کربن آلی خاک: نمونه‌های خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری در هر یک از واحدهای اکولوژیک گیاهی و به تعداد ۱۵ تکرار برای هر یک از واحدهای

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]

اکولوژیک گیاهی (مجموعاً ۶۰ نمونه) جمع‌آوری شد. در آزمایشگاه ابتدا وزن مخصوص ظاهری نمونه‌های خاک با روش کلوخه و بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب برآورد شد. سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و درصد کربن آلی نمونه‌های خاک به روش والکی‌بلاک به‌دست آمد. در این روش، خاک با اسید سولفوریک غلیظ و دی کرومات پتاسیم مخلوط و پس از اتمام واکنش اکسایش و کاهش باقی مانده دی کرومات پتاسیم با فرو سولفات آمونیوم تیتر شد. نهایتاً با استفاده از معادله ۲، مقدار کربن خاک بر حسب کیلوگرم بر هکتار برآورد شد (۱۳).

(معادله ۲)

$$Cs = 10000 \times \%OC \times Bd \times E$$

Cs= کربن آلی توده‌ای (kg/ha)

OC%= درصد کربن آلی

Bd= وزن مخصوص ظاهری خاک (gr/cm3)

E= عمق نمونه‌برداری (cm)

تصاویر ماهواره‌های مورد استفاده و طبقه‌بندی تصاویر

در این تحقیق، به‌منظور تهیه نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی، نظارت و پایش تغییرات واحدهای اکولوژیک گیاهی و پیش‌بینی تغییرات آن‌ها در آینده از نسل‌های مختلف ماهواره لندست استفاده شد. برای مدل‌سازی تغییرات واحدهای اکولوژیک گیاهی سه دوره زمانی با فاصله ۱۶ سال که دوره‌های اول، دوم و سوم نامگذاری شدند، انتخاب شد. دوره اول شامل تصاویر چند زمانه سنجنده TM ماهواره لندست-۵ مربوط به سال‌های ۱۹۸۶-۱۹۸۸ (۱۳۶۷-۱۳۶۵) است. دوره دوم شامل تصاویر چند زمانه سنجنده +ETM ماهواره لندست-۷ مربوط به سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۰۲ (۱۳۸۱-۱۳۸۳) است و دوره سوم شامل تصاویر چند زمانه سنجنده OLI ماهواره لندست-۸ مربوط به سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۱۸ (۱۳۹۷-۱۳۹۹) است. با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث انجین تصاویر با درجه ابرناکی کمتر از ۱۰ درصد به ترتیب برای تصاویر ماهواره لندست-۵، ۷ و ۸ انتخاب شد (۴). سپس با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی جنگل تصادفی (RF) سه نقشه طبقه‌بندی شده واحدهای اکولوژیک گیاهی به‌ترتیب برای دوره‌های اول (۱۹۸۸-۱۹۸۶)، دوم (۲۰۰۴-۲۰۰۲) و سوم (۲۰۲۰-۲۰۱۸) استخراج شد و با استفاده از ماتریس خطا دقت نقشه‌های تولیدی مورد ارزیابی قرار گرفت. با تهیه عکس‌های هوایی مربوط به دهه ۴۰ منطقه مورد مطالعه از انتخاب صحیح واحدهای اکولوژیک گیاهی و در نتیجه نقاط تعلیمی و آزمون جهت ارزیابی دقت نقشه‌های تولیدی مربوط به دوره اول و دوره دوم اطمینان حاصل شد.

جهت تهیه نقشه پیش‌بینی آینده واحدهای اکولوژیک گیاهی نیز از مدل‌سازی تغییرات زمین (LCM) استفاده شد (۱). این مدل با استفاده از زنجیره مارکوف می‌تواند تغییر احتمالی آینده را از یک طبقه واحد اکولوژیک گیاهی به نوع دیگر را پیش‌بینی و محاسبه کند. در زنجیره مارکوف شانس تبدیل پیکسل‌های مجاور یک واحد اکولوژیک گیاهی به واحد مجاور آن نسبت به واحدهای دورتر بیشتر است و این کار با استفاده از ماتریس احتمال انتقال واحدها از زمان ۱ به زمان ۲ انجام می‌گیرد. همچنین می‌توان تغییرات احتمالی واحدهای اکولوژیک گیاهی را برای تاریخ‌های آینده نیز پیش‌بینی کرد. که از معادله زیر محاسبه شد:

معادله (۳)

$$S(t+1) = p_{ij} * s(t)$$

دراین‌رابطه S(t+1) و S(t) حالت‌های سیستم در زمان T و T+1 است و Pij ماتریس احتمال انتقال در یک حالت است.

صحت سنجی نقشه‌های طبقه‌بندی

در انجام فرآیند طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و ارزیابی صحت نقشه‌های حاصله نیاز به نمونه‌های تعلیمی (جهت انجام فرآیند طبقه‌بندی) و نمونه‌های آزمون (جهت ارزیابی صحت و اعتبارسنجی نتایج) است که باید با پراکنش مناسب از سطح منطقه جمع‌آوری شوند. بدین منظور در سطح منطقه با پیمایش صحرایی برای هر یک از واحدهای اکولوژیک گیاهی ۷۵ نقطه ثبت شد. در مجموع موقعیت جغرافیایی ۳۰۰ نقطه برای چهار واحد اکولوژیک گیاهی با استفاده از GPS دستی (Garmin eTrex 32x) ثبت شد (شکل ۲-ب). سپس این نقاط به دو گروه نقاط تعلیمی با ۱۶۰ نقطه (۶۰٪) برای انجام فرایند طبقه‌بندی و نقاط

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]

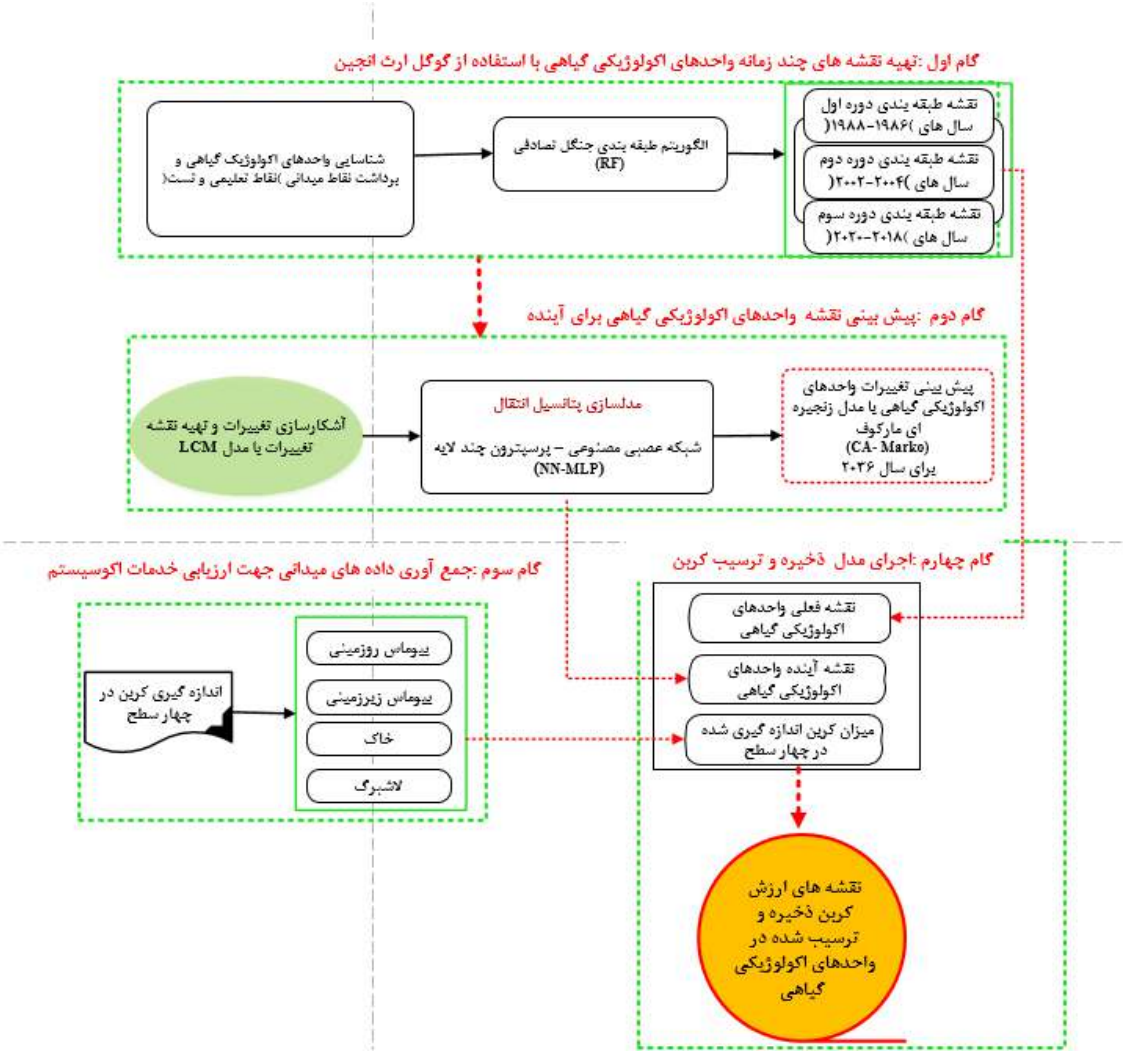
آزمون با ۱۲۰ نقطه (۴۰٪) برای اعتبارسنجی نتایج طبقه-بندی تقسیم‌بندی شدند.

تهیه نقشه ترسیب کربن در واحدهای اکولوژیک گیاهی

هدف مطالعه این بود که تعیین شود در هر یک از واحدهای اکولوژیک گیاهی چه میزان کربن ذخیره و ترسیب شده است و کدام واحد اکولوژیک گیاهی بیشترین و کدام واحد اکولوژیک گیاهی کمترین میزان ذخیره و ترسیب کربن را به خود اختصاص داده است. همان طور که در شکل (۳) نشان داده شده است در این مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار ترست (TerrSet. 18.00) و مدل‌سازی خدمات اکوسیستم (Modelling Ecosystem Services) ابتدا نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی برای دوره حال (۲۰۲۰) تهیه و سپس نقشه پیش‌بینی واحدهای اکولوژیکی گیاهی آینده با استفاده از مدل LCM تهیه شد. دراین مدل با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و پرسپترون چند لایه- شبکه عصبی پیش‌بینی تغییرات واحدهای اکولوژیک گیاهی برای آینده (۲۰۳۶) انجام شد. همچنین جدول ذخیره کربن برآورد شده در چهار منبع یعنی زی‌توده روزمینی، زی‌توده زیرزمینی، لاشبرگ و خاک به‌صورت فایل با پیکربندی csvبه نرم‌افزار معرفی شد. برای ارزش‌گذاری میزان ترسیب کربن محققان مختلف مقادیر متفاوتی را به‌عنوان ارزش کربن مدنظر قرار داده‌اند. Pache و همکاران (۲۰۲۰) ارزش پولی ترسیب کربن را بر اساس توافق‌نامه بانک جهانی معادل ۶۰ دلار بر تن برآورد نموده است. با استناد به این مطالعه رقم ۶۰ دلار بر تن به‌عنوان ارزش کربن برای سال ۲۰۲۰ مدنظر قرار گرفته و بر اساس آن، ارزش کارکرد واحدهای اکولوژیک گیاهی منطقه در ذخیره و ترسیب کربن محاسبه شد. در نهایت میزان ذخیره و ترسیب کربن به‌صورت مکانی محاسبه و سه نقشه شامل نقشه ترسیب کربن، نقشه ارزش ذخیره کربن و نقشه ارزش ترسیب کربن حاصل شد.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]



شکل ۳: مراحل برآورد خدمات اکوسیستم و تهیه نقشه‌های ذخیره و ترسیب کربن در واحدهای اکولوژیک گیاهی چهارگانه

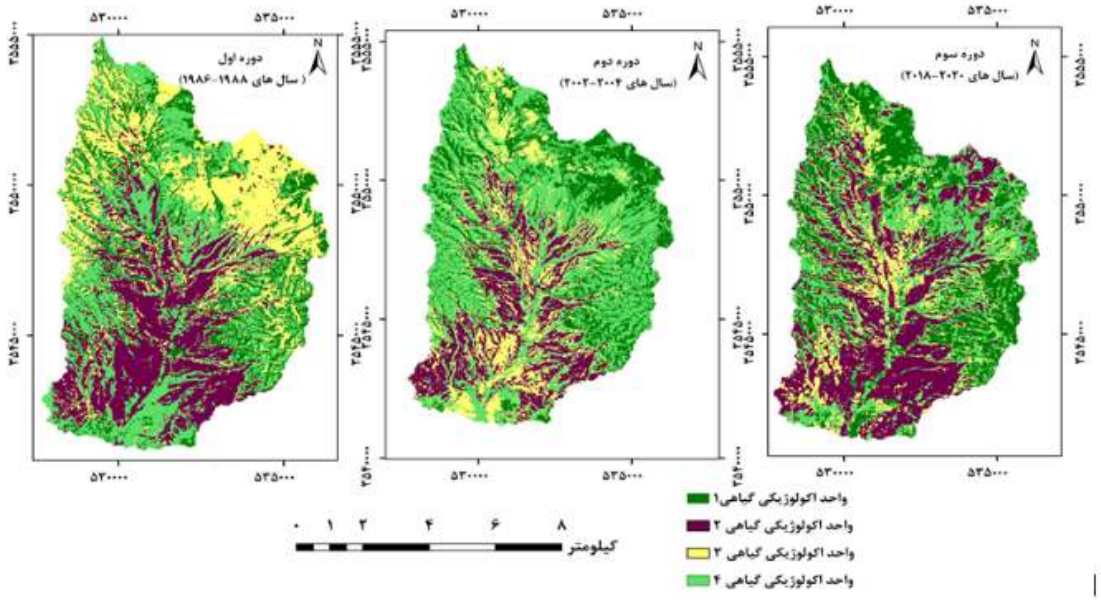
نتایج

طبقه‌بندی و ارزیابی دقت نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی سه دوره زمانی

بعد از انتخاب بهترین ترکیب تصاویر چند زمانه برای دوره‌های زمانی تعیین شده با استفاده از الگوریتم طبقه-بندی جنگل تصادفی (RF) نقشه‌های واحدهای اکولوژیک گیاهی برای هر دوره استخراج شد (شکل ۴). دقت نقشه-های هر دوره با استفاده از ماتریس خطا مشخص شد. در جدول ۱ میزان دقت کلی (OA) و کاپای کل (OK) مربوط به نقشه طبقه‌بندی هر دوره، همچنین میزان دقت تولیدکننده (PA)، دقت کاربر (UA) و شاخص ضریب توافق کاپا برای هر واحد اکولوژیک گیاهی نشان داده شده است. میزان OA برای نقشه‌های دوره اول، دوم و سوم به‌ترتیب ۷۳، ۷۷ و ۸۱ درصد است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]



شکل ۴: نقشه طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی RF برای سه دوره اول، دوم و سوم

جدول ۱: صحت طبقه‌بندی نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی برای دوره‌های اول، دوم و سوم

دوره زمانی								
دوره سوم			دوره دوم			دوره اول		
ضریب توافق کاپا	دقت کاربر	دقت تولیدکننده	ضریب توافق کاپا	دقت کاربر	دقت تولیدکننده	ضریب توافق کاپا	دقت کاربر	دقت تولیدکننده	واحدهای اکولوژیک گیاهی
۰/۸۸	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۸۷	۰/۷۷	۰/۹۱	۰/۸۴	۰/۷۴	۰/۸۴	واحد اکولوژیک گیاهی ۱
۰/۶۷	۰/۸۲	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۷۲	۰/۸۴	۰/۵۰	۰/۶۴	۰/۷۹	واحد اکولوژیک گیاهی ۲
۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۸۴	۰/۵۸	۰/۸۹	۰/۶۷	۰/۶۳	۰/۷۵	۰/۵۸	واحد اکولوژیک گیاهی ۳
۰/۶۸	۰/۹۰	۰/۷۵	۰/۵۶	۰/۷۳	۰/۶۷	۰/۵۶	۰/۷۸	۰/۷۰	واحد اکولوژیک گیاهی ۴
=کاپای کل ۰/۷۴			**=کاپای کل ۰/۶۸**			**=کاپای کل ۰/۶۳**			
۰/۸۱ =دقت کل			**=دقت کل ۰/۷۷**			**=دقت کل ۰/۷۳**			

آنالیز تغییرات طبقات واحدهای اکولوژیک گیاهی در سه دوره زمانی

باتوجه به نقشه‌های طبقه‌بندی شده هر دوره زمانی تغییرات قابل توجهی در هر سه دوره در واحدهای اکولوژیک گیاهی رخ داده است. همچنین میزان این تغییرات از دوره اول تا دوره دوم، دوره دوم تا دوره سوم و از دوره اول تا دوره سوم در جدول (۲) نشان داده شده است. واحد اکولوژیک گیاهی ۱ از دوره اول تا دوره دوم، دوره دوم تا دوره سوم، دوره اول تا دوره سوم به‌ترتیب ۴/۶۶، ۲/۵۱ و ۷/۱۸ درصد افزایش یافته است. واحد اکولوژیک گیاهی ۲ از دوره اول تا دوره دوم ۹/۰۴ درصد کاهش نشان می‌دهد، در حالی که از دوره دوم تا دوره سوم و ازدوره اول تا دوره سوم به‌ترتیب ۱۵/۲۲ درصد و ۶/۱۸ درصد افزایش نشان می‌دهد.

کاهش مستمر واحد اکولوژیک گیاهی ۳ به‌ترتیب معادل با ۱۱/۲۳ درصد، ۳/۳۰ درصد و ۱۴/۵۴ درصد از دوره‌های اول تا دوره دوم، دوره دوم تا دوره سوم و دوره اول تا دوره سوم می‌توان مشاهده کرد. در نهایت واحد اکولوژیک گیاهی ۴ از دوره اول تا دوره دوم ۱۵/۶۲ درصد افزایش دارد ولی از دوره دوم تا دوره سوم ۱۴/۴ درصد کاهش یافته و از دوره اول تا دوره سوم به میزان ۱/۱۷ درصد افزایش نشان می‌دهد.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]

جدول ۲: میزان تغییرات واحدهای اکولوژیک گیاهی در دوره‌های اول، دوم و سوم

میزان تغییرات						
	دوره اول تا دوره سوم		دوره دوم تا دوره سوم		دوره اول تا دوره دوم	
واحد اکولوژیک گیاهی	مساحت (٪)	مساحت (هکتار)	مساحت (٪)	مساحت (هکتار)	مساحت (٪)	مساحت (هکتار)
واحد اکولوژیک گیاهی ۱	۷/۱۸	۵۵۵/۶۷	۲/۵۱	۱۹۴/۷۲	۴/۶۶	۳۶۰/۹۵
واحد اکولوژیک گیاهی ۲	۶/۱۸	۴۷۸/۲۵	۱۵/۲۲	۱۱۷۸/۲۲	-۹/۰۴	-۶۹۹/۹۷
واحد اکولوژیک گیاهی ۳	-۱۴/۵۴	-۱۱۲۴/۹۱	-۳/۳۰	-۲۵۵/۳۲	-۱۱/۲۳	-۸۶۹/۵۹
واحد اکولوژیک گیاهی ۴	۱/۱۷	۹۰/۹۹	-۱۴/۴	-۱۱۱۷/۶۲	۱۵/۶۲	۱۲۰۸/۶۱

پیش‌بینی تغییرات آینده واحدهای اکولوژیک گیاهی (سال ۲۰۳۶)

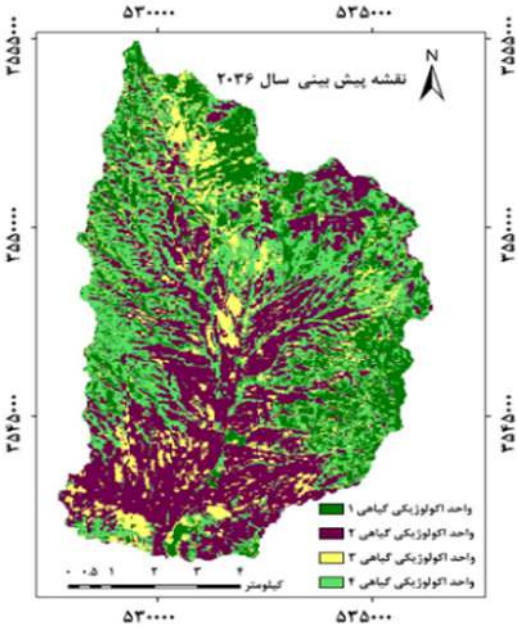
احتمال انتقال از یک واحد اکولوژیک گیاهی در دوره دوم به نوع دیگر در دوره سوم با مدل زنجیره مارکوف محاسبه شد (جدول ۳). احتمال تغییر واحد اکولوژیک گیاهی ۴ به واحدهای اکولوژیک گیاهی ۱ و ۲ در تاریخ آینده در سال ۲۰۳۶ به ترتیب ۲۳/۱۰ و ۱۵/۸۸ درصد است.

همچنین احتمال تغییر واحد اکولوژیک گیاهی ۳ به واحد اکولوژیک گیاهی ۲ و ۴ در آینده به‌ترتیب ۱۹/۱۷ و ۲۰/۹۳ درصد است. نقشه پیش‌بینی واحد اکولوژیک گیاهی آینده (سال ۲۰۳۶) از تغییرات رخداده طی دوره دوم (سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۰۴) تا دوره سوم (سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۱۸) به‌دست آمده است (شکل ۵).

جدول ۳: احتمال انتقال محاسبه شده دوره دوم و دوره سوم برای آینده (۲۰۳۶) با استفاده از مدل زنجیره مارکوف

واحد اکولوژیک گیاهی	واحد اکولوژیک گیاهی ۱	واحد اکولوژیک گیاهی ۲	واحد اکولوژیک گیاهی ۳	واحد اکولوژیک گیاهی ۴
واحد اکولوژیک گیاهی ۱	۰/۷۴۳۷	۰	۰/۰۹۳۵	۰/۱۶۲۸
واحد اکولوژیک گیاهی ۲	۰	۰/۸۳۶۹	۰/۱۴۸۲	۰/۰۱۵۰
واحد اکولوژیک گیاهی ۳	۰	۰/۱۹۱۷	۰/۵۹۹۰	۰/۲۰۹۳
واحد اکولوژیک گیاهی ۴	۰/۳۲۱۰	۰/۱۵۸۸	۰/۱۱۱۹	۰/۴۰۸۴

مساحت هر یک از طبقات واحدهای اکولوژیک گیاهی در نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۳۶ نیز در جدول ۴ نشان‌داده شده است. مقایسه نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۳۶ با نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که واحد اکولوژیک گیاهی۲ و واحد اکولوژیک گیاهی۴ به‌ترتیب ۳۳۳/۶۳هکتار (۴/۳ درصد) و ۶۰/۴۶ هکتار (۰/۰۷ درصد) افزایش خواهند یافت. ولی واحد اکولوژیک گیاهی۱ و واحد اکولوژیک گیاهی۳ به‌ترتیب ۱۵۳/۰۷ هکتار (۱/۹۸ درصد) و ۲۴۱/۰۲ هکتار (۳/۱۲ درصد) کاهش خواهند یافت.



شکل ۵: نقشه پیش‌بینی شده واحد اکولوژیک گیاهی برای آینده (سال ۲۰۳۶)

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]

جدول ۴: مساحت طبقات واحدهای اکولوژیک گیاهی برای نقشه طبقه‌بندی شده دوره سوم و نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۳۶

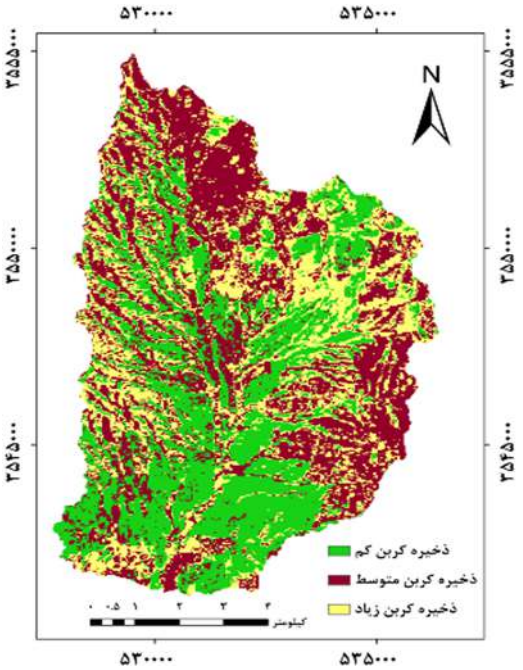
سال ۲۰۳۶		دوره سوم (۲۰۲۰)		
مساحت (٪)	مساحت (هکتار)	مساحت (٪)	مساحت (هکتار)	
۲۱/۰۲	۱۶۲۶/۷۷	۲۳	۱۷۷۹/۸۴	واحد اکولوژیک گیاهی ۱
۳۷/۵۰	۲۹۰۱/۴۲	۳۳/۱۹	۲۵۶۷/۷۹	واحد اکولوژیک گیاهی ۲
۱۲/۲۵	۹۴۸/۲۴	۱۵/۳۷	۱۱۸۹/۲۶	واحد اکولوژیک گیاهی ۳
۲۹/۲۱	۲۲۶۰/۱۵	۲۸/۴۳	۲۱۹۹/۶۹	واحد اکولوژیک گیاهی ۴
۱۰۰	۷۷۳۶/۵۸	۱۰۰	۷۷۳۶/۵۸	مساحت کل

نتایج حاصل از برآورد خدمات اکوسیستم و تهیه نقشه‌های ذخیره و ترسیب کربن در واحدهای اکولوژیک گیاهی

در طی فرایند مدل‌سازی ذخیره و ترسیب کربن میزان تغییرات خالص کربن که میزان ذخیره‌سازی و انتشار کربن را تعیین می‌کند با استفاده از نقشه‌های واحدهای اکولوژیک گیاهی بین دو زمان حال T1 (۲۰۲۰) و آینده T2 (۲۰۳۶) تعیین شد. در این مدل همچنین مقدار کل کربن ترسیب شده در دوره‌های زمانی مورد مطالعه و ارزش اقتصادی آن محاسبه شد. بعد از اجرای این مدل دو نقشه اصلی حاصل شد که شامل:

نقشه کربن ذخیره شده (Stored Carbon):

شکل (۶) نقشه میزان کربن ذخیره شده در واحدهای اکولوژیک گیاهی را نشان می‌دهد. بر اساس نقشه طبقه‌بندی و پراکنش واحدهای اکولوژیک گیاهی (شکل ۶) مناطق با کمترین میزان ذخیره کربن مربوط به واحد اکولوژیک گیاهی ۲ و ۳ با گونه غالب گندمیان و نیمه بوته‌ای می‌باشند در حالی که مناطق با میزان ذخیره کربن زیاد و متوسط مربوط به واحد اکولوژیک گیاهی ۴ و ۱ با گونه‌های غالب بوته‌ای و بوته‌ای-گندمیان است.



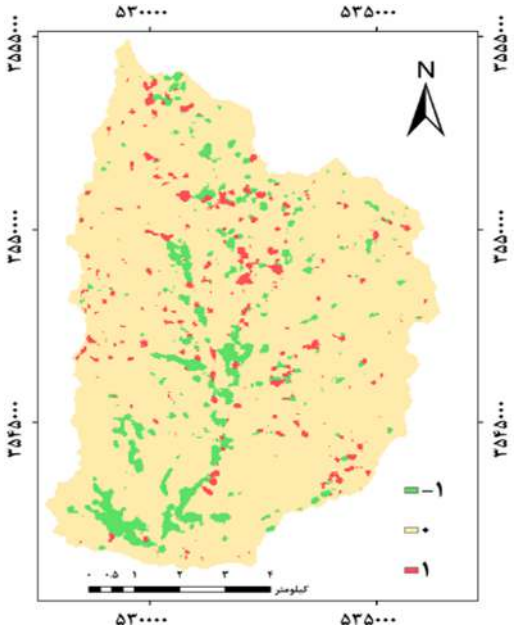
شکل ۶: نقشه حاصل از برآورد میزان ذخیره کربن بین دوره‌های زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۶

نقشه ترسیب کربن(Sequestered Carbon):

نقشه به‌دست‌آمده میزان ترسیب کربن بین زمان حال (T1) و زمان آینده (T2) در واحدهای اکولوژیک گیاهی را نشان می‌دهد که در آن مقادیر مثبت نشان دهنده ترسیب کربن و مقادیر منفی نشان دهنده کربن آزاد شده در اتمسفر است. با توجه به شکل (۷) بیشترین نقاط داغ از دست دادن کربن، مربوط به مناطقی است که سال‌های گذشته شخم و رهاسازی شده‌اند. در قسمت اعظم منطقه میزان ترسیب کربن به صفر رسیده است که این نیز نشان‌دهنده فشار فعالیت‌های انسانی و شدت تخریب در سطح چشم‌انداز است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]



شکل ۷: نقشه حاصل از برآورد میزان ترسیب کربن بین دوره‌های زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۶

ارزش کربن ذخیره‌شده نشان‌دهنده قیمت کربن در بازار به دلار آمریکا است که ارزش کل کربن ذخیره‌شده در منطقه را بر اساس میزان پوشش زمین نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول (۵) نشان داده شده است ۱۳۵۷۴۲۹۲ دلار ارزش کربن ذخیره شده در منطقه مورد مطالعه است. همچنین ارزش کربن ترسیب شده مقدار کربن ترسیب شده بین زمان‌های T1 (۲۰۲۰) تا T2 (۲۰۳۶) را به دلار نشان می‌دهد. به‌طوری که مقادیر مثبت نشان دهنده سود حاصل از ترسیب کربن بوده و مقادیر منفی نشان‌دهنده هزینه حاصل از انتشار کربن است. طبق نتایج جدول (۵) از سال ۲۰۲۰ تا سال ۲۰۳۶ میزان ۴۶۳ تن کربن ترسیب شده از دست خواهد رفت. هزینه حاصل از انتشار کربن با تغییرات واحدهای اکولوژیک در بین این سال‌ها برابر با ۱۷۵۶۱ دلار خواهد بود.

جدول ۵: نتایج حاصل از میزان ذخیره و ترسیب کربن از سال ۲۰۲۰ تا سال ۲۰۳۶ در واحدهای اکولوژیک گیاهی

واحدهای اکولوژیک گیاهی	پیش‌بینی کربن
۲۲۶۲۳۸	کل کربن فعلی (تن)
۱۳۵۷۴۲۹۲	ارزش کل کربن ذخیره شده (دلار)
-۴۶۳	تغییرات کل کربن ترسیب شده تا آینده
-۱۷۵۶۱	تفاضل ارزش کل کربن از زمان حال تا آینده

بحث و نتیجه‌گیری

برای درک بهتر تنوع و مدیریت اصولی یک چشم‌انداز، باید قسمت‌های مختلف را به واحدهای اکولوژیک گیاهی همگن طبقه‌بندی کرد. واحدهای اکولوژیک گیاهی به‌عنوان واحدهای مدیریتی شناخته می‌شوند و گویای پیشینه مدیریت حاکم بر منطقه هستند. از طرفی دیگر، واحدهای اکولوژیک گیاهی علاوه بر طبقه‌بندی چشم‌انداز و سازمان‌دهی اطلاعات اکولوژیکی جهت ارزیابی خدمات اکوسیستم نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

بررسی نتایج مدل‌سازی تغییرات سرزمین (LCM) و ارزیابی و پایش تغییرات احتمالی واحدهای اکولوژیک گیاهی در آینده

در این بخش از مطالعه نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی برای سه دوره با فاصله زمانی ۱۶ سال تهیه شد. وجود هر یک از این واحدهای اکولوژیک گیاهی نشان‌دهنده مراحل مختلف توالی در هر دوره در منطقه مورد مطالعه است. اختلالات طبیعی و فعالیت‌های انسانی مانند آتش‌سوزی، خشکسالی، شخم و رها سازی اراضی و چرای بی‌رویه می‌تواند سیر توالی جوامع گیاهی را تغییر داده و به سمت کاهش پوشش گیاهی و سیر نزولی توالی گیاهی منجر شود. نقشه طبقه‌بندی دوره اول نشان می‌دهد که واحد اکولوژیک گیاهی ۳ بیشترین میزان پوشش منطقه را به خود اختصاص داده است. این واحد اکولوژیک گیاهی با غالبیت گونه گیاهی *Sc. or* از نظر اکولوژیک جز گونه‌های مهاجم بوده و بیشتر در مناطقی که پوشش گیاهی به دلیل خاک‌ورزی و شخم از بین رفته است در منطقه غالب می‌شوند. بررسی اسناد سال‌های ۱۹۸۸-۱۹۸۶ نشان می‌دهد که در این دوره‌های زمانی منطقه به شدت تحت شخم اراضی و کشاورزی بوده ولی به دلیل بازدهی کم رها شده‌اند. بنابراین این واحد اکولوژیک گیاهی در منطقه

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]

به‌عنوان گونه غالب ظهور پیدا کرده است که نشان دهنده تخریب شدید جوامع گیاهی و روند نزولی توالی گیاهی است. در همین حال با توجه به اعمال مدیریت صحیح از جمله ممانعت از شخم و رها سازی اراضی، این واحد اکولوژیک گیاهی در نقشه‌های مربوط به دوره دوم و سوم کاهش یافته است و پوشش گیاهی منطقه بعد از ۱۶ سال (دوره دوم) و ۳۲ سال (دوره سوم) احیا شده است. به‌طوری که واحد اکولوژیک گیاهی ۱ با غالبیت بوته‌ای‌ها و واحد اکولوژیک گیاهی ۲ با غالبیت گندمیان در منطقه افزایش یافته است و روند توالی گیاهی به‌صورت صعودی و مثبت شده است. بررسی نقشه طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی در دوره دوم نشان می‌دهد که علی‌رغم مدیریت شخم و رهاسازی اراضی باز هم واحد اکولوژیک گیاهی ۲ با گونه غالب *Br. to* در منطقه کاهش یافته است و واحد اکولوژیک گیاهی ۱ با گونه غالب *As. ve* در منطقه بیشترین مقدار پوشش گیاهی را به خود اختصاص داده است. بررسی اسناد سال‌های ۲۰۰۴- ۲۰۰۲ (۱) نشان می‌دهد که در این دوره‌های زمانی منطقه به شدت تحت تأثیر چرای شدید دام بوده است. این واحد اکولوژیک گیاهی با غالبیت گندمیان نیز به دلیل خوشخوراک بودن قبل از کامل شدن دوره رشد و رسیدن به دوره گلدهی و بذردهی، مورد چرا واقع شده است و درصد پوشش گیاهی آن در دوره دوم کاهش یافته است. بررسی نقشه طبقه‌بندی دوره سوم نشان می‌دهد که واحد اکولوژیک گیاهی ۲ در این دوره افزایش یافته است که عمدتاً به دلیل اقدامات مدیریتی مناسب و جلوگیری از چرای شدید در منطقه بوده است. این امر حاکی از آن است که با اجرای سیاست‌های مدیریتی مناسب در منطقه و جلوگیری از فعالیت‌های مخرب چون شخم و رهاسازی اراضی و چرای سنگین می‌تواند در بهبود پوشش گیاهی منطقه و روند توالی گیاهی مؤثر باشند.

برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات آینده واحدهای اکولوژیک گیاهی از مدل زنجیرهٔ مارکوف (MC) استفاده شد. این مدل درتعیین رفتارها و اندازه‌گیری تغییرات پوشش زمین با تجزیه و تحلیل نقشه‌های پوشش گیاهی دو دوره کاربرد دارد (۱). در نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۳۶ واحد اکولوژیک گیاهی ۲ و ۴ پوشش گیاهی غالب منطقه خواهند بود و کمترین میزان پوشش گیاهی واحد اکولوژیک گیاهی ۱ خواهد بود. نتایج این بخش از مطالعه نشان داد که مدل MLP-MC توانایی پیش‌بینی و توصیف تغییرات آتی واحدهای اکولوژیک گیاهی را دارد. همچنین نتیجه مطالعات Mishra و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان داد که از بین سه مدل پیش‌بینی CA-MC، ST-MC و MLP-MCجهت پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی در هند مدل MLP-MC را بهترین مدل معرفی کردند.

این بخش با هدف آشکارسازی تغییرات در واحدهای اکولوژیک گیاهی از گذشته تا آینده انجام شد. امروزه تغییرات کاربری اراضی و توسعه و ساخت و سازهای شهری به‌عنوان متغیرهای اصلی در پایش و تحلیل تغییرات سیستم‌های طبیعی مطرح است. با این حال در بسیاری از مناطق، پوشش گیاهی و جوامع گیاهی در طی زمان به دلایل متعددی از جمله چرای شدید، آتش‌سوزی، شخم و رها سازی اراضی، زراعت و خشکسالی کاهش می‌یابند. اما این فعالیت‌های انسانی و مدیریتی که مهم‌ترین محرک‌ها در تغییرات جوامع گیاهی هستند در پایش تغییرات محیطی کمتر مد نظر قرار گرفته و مطالعه نمی‌شود. نتایج این بخش نشان داد که تأثیر فعالیت‌ها انسانی و مدیریتی در کمتر از یک دهه بر روی اکوسیستم و جوامع گیاهی قابل مشاهده است. اجرای سیاست‌های حفاظت از منابع طبیعی و فعالیت‌های مدیریتی مناسب در هر دوره‌ای میزان فشار بر جوامع گیاهی را به‌طور مناسبی کاهش داده و در نتیجه به پایداری و سلامتی آینده جوامع گیاهی کمک می‌کند.

بررسی نتایج ارزیابی و کمی‌سازی مهم‌ترین خدمات اکوسیستم (ترسیب کربن) در واحدهای اکولوژیک گیاهی

اکوسیستم‌های مرتعی قابلیت زیادی در ذخیره و ترسیب کربن دارند چرا که نیمی از خشکی‌های کره زمین را دربرگرفته‌اند و ذخیره کربن آن‌ها ۱۰ درصد کل ذخائر کربن زی‌توده اکوسیستم‌های خاکی و ۳۰ درصد کل کربن آلی خاک را تشکیل می‌دهند (۵). ذخیره کربن از طریق گیاهان و خاک جهت ثبات و پایداری اقلیمی و کنترل آلودگی‌ها حائز اهمیت فراوانی بوده و ترسیب دی‌اکسید کربن اتمسفری می‌تواند به‌عنوان یکی دیگر از خدمات اکوسیستم مرتعی در نظر گرفته شود (۷). بر پایه پیمان کیوتو، ورود کربن به اتمسفر باید از طریق اقداماتی مانند ایجاد، اصلاح و احیای جنگل‌ها و مراتع کاهش یابد و در این

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]

میان بوم نظام‌های مرتعی نواحی خشک و نیمه‌خشک به دلایل مختلفی از جمله پایین بودن سرعت تجزیه مواد آلی (به دلیل کم بودن رطوبت محیط که باعث آزادسازی دوباره کربن می‌شود) از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند (۲۹).

در حال حاضر میزان کربن ذخیره شده در اکوسیستم‌های زمینی چهار برابر بیشتر نسبت به اتمسفر است و تغییرات سطح کربن نقش بسیار مهمی در تعدیل تغییرات اقلیم دارد. با این حال تغییرات پوشش گیاهی زمین که ناشی از تغییرات کاربری اراضی، آتش‌سوزی و برداشت بی‌رویه چوب و پوشش گیاهی است باعث کاهش میزان کربن ذخیره شده در یک چشم‌انداز می‌شود (۱۲). از آنجایی که زی‌توده مرتع بخش اعظمی از ذخیره کربن در اکوسیستم‌های روی کره زمین را به خود اختصاص می‌دهد، نباید از اهمیت مراتع در ترسیب کربن اتمسفری غافل بود. قسمت قابل ملاحظه‌ای از استان چهارمحال و بختیاری را مراتع تشکیل می‌دهند و مقدار کربن موجود در زی‌توده و خاک در پایداری آنها بسیار مؤثر است.

در این بخش یک چرخه ساده کربن با استفاده از مدلسازی خدمات اکوسیستم (ESM) در نرم‌افزار ترست جهت تخمین میزان ذخیره و ترسیب کربن و محاسبه مقدار زی‌توده تخریب شده در منطقه استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد واحد اکولوژیک گیاهی ۴ با گونه غالب بوته‌ای بیشترین میزان ذخیره کربن را به خود اختصاص داده است. این واحد اکولوژیک گیاهی مقادیر زی‌توده سطحی و زی‌توده زیرزمینی بیشتری نسبت به گونه‌های نیمه‌بوته‌ای و گندمیان دارد که باعث به تله انداختن و ذخیره بیشتر کربن می‌شوند. همچنین نتایج نشان داد که واحد اکولوژیک گیاهی ۲ با گونه غالب گندمیان کمترین میزان ذخیره کربن را به خود اختصاص داده است. این واحد اکولوژیک گیاهی به دلیل خوشخوراکی زیاد با شدت بیشتری مورد چرا قرار گرفته و با کاهش میزان زی‌توده هوایی میزان ذخیره کربن نیز کاهش می‌یابد. همچنین، به دلیل کمتر بودن تراکم فیبر ریشه‌ای نمی‌توانند کربن زیادی را در زیتوده زیرزمینی ذخیره کند.

نیروهای اصلی تغییرات پوشش گیاهی و واحدهای اکولوژیک گیاهی شامل چرای بی‌رویه، آتش‌سوزی، شخم و رهاسازی اراضی، جاده سازی و توسعه مناطق مسکونی می‌باشند (۱۸). در منطقه مورد مطالعه اغلب مناطقی که نزدیک به جاده دسترسی بوده و یا تحت کشت دیم و شخم و رهاسازی شده‌اند در نهایت به اراضی فاقد پوشش و مراتع فقیر تبدیل شده‌اند که میزان ترسیب کربن در این مناطق کاهش یافته و به نقاط داغ کاهش ترسیب کربن تبدیل شده‌اند. تولسا و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که تغییرات پوشش گیاهی محرک اصلی تغییر در خدمات اکوسیستم است. ذخیره و ترسیب کربن به‌عنوان یکی از کلیدی‌ترین خدمات اکوسیستم رابطه مستقیمی با پوشش گیاهی دارند و با تغییر و کاهش در طبقات پوشش گیاهی این فاکتورها نیز به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرند. از لحاظ ارزش اقتصادی نیز با کاهش میزان کربن ترسیب شده نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه فعالیت‌های انسانی و کاهش پوشش گیاهی آسیب اقتصادی زیادی را در منطقه تحمیل می‌کند.

نتایج کمی‌سازی خدمات اکوسیستم (ذخیره و ترسیب کربن) نشان داد که نقاط داغ کاهش ذخیره و ترسیب کربن بیشتر مربوط به بخش‌هایی است که واحدهای اکولوژیک گیاهی در اثر تخریباتی از قبیل چرای دام، بوته‌کنی و شخم رها سازی اراضی کاهش یافته است. بین دوره‌های زمانی T1 تا T2 میزان ۴۶۳ تن کربن ترسیب شده از دست خواهد رفت که هزینه حاصل از انتشار کربن برابر با ۱۷۵۶۱ دلار خواهد بود.

در این مطالعه یک نمونه از خدمات اکوسیستم مرتعی (ذخیره و ترسیب کربن) کمی‌سازی شد. مراتع می‌توانند به‌طور همزمان چندین خدمات اکوسیستم را ارائه دهند. ولی متأسفانه بسیاری از این خدمات کمی‌سازی نمی‌شوند و تفکر رایگان بودن این خدمات و به دنبال آن بهره‌برداری بی‌رویه و تغییرات کاربری اراضی و تخریب منابع طبیعی را در پی دارد. از سوی دیگر رویکرد خدمات اکوسیستم یک شاخه دانش در حال رشد و تکامل است که از اهمیت تحقیقاتی زیادی برخوردار است. پیشنهاد می‌شود جهت حفظ اکوسیستم‌های طبیعی و توانمند سازی بخش مدیریت منابع طبیعی تعداد بیشتری از این خدمات اکوسیستمی از نظر اقتصادی و اکولوژیکی کمی‌سازی شود.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]

References

1. Aghababaei, M., A. Ebrahimi, A.A. Naghipour, E. Asadi & J. Verrelst, 2024. Monitoring of PEUs cover dynamics in a semiarid landscape from past to future using Multi-layer perception and Markov chain model. Remote sensing, 16(1612), 10.3390/rs16091612.
2. Aghababaei, M., A. Ebrahimi, A.A. Naghipour, E. Asadi & J. Verrelst, 2021. Development of a Google Earth Image's Visual Interpretation Protocol to Determine Plant Ecological Units of the Semi-Steppe Regions. Rangeland, 16(2): 359-378.
3. Aghababaei, M., A. Ebrahimi, A.A. Naghipour, E. Asadi & J. Verrelst, 2021. Classification of Plant Ecological Units in Heterogeneous Semi-Steppe Rangelands: Performance Assessment of Four Classification Algorithms. Remote sensing, 13(3433).
4. Aghababaei, M., A. Ebrahimi, A.A. Naghipour, E. Asadi & J. Verrelst, 2021. Vegetation Types Mapping Using Multi-Temporal Landsat Images in the Google Earth Engine Platform. Remote Sens, 13(4683).
5. Anderson, L.J., J.D. Derner, H.W. Polley, W.S. Gordon, D.M. Eissenstat & R.B. Jackson, 2010. Root responses along a subambient to elevated CO2 gradient in a grassland. Global Change Biology, 16(68):454.
6. Attaeyan, B., F. Sadeghi & S. Sadathadhemi, 2024. Evaluation of Remote Sensing Indices for Estimating Organic Carbon Content of Rangeland Plant Biomass in Lashgardar Protected Area. Rangeland, 17(4): 587-601.
7. Brown, J., & N. MacLeod, 2011. A site-based approach to delivering rangeland ecosystem services. The Rangeland Journal, 33:99-108.
8. Brown, J.R., & K.M. Havstad, 2016. Using ecological site information to improve landscape management for ecosystem services. Rangelands, 38(21):318.
9. Godde, C.M., R.B. Boone, A.J. Ash, K.Waha & L.L. Sloat, 2020. Global rangeland production systems and livelihoods at threat under climate change and variability. Environmental Research Letters, 15:044021.
10. Guo, J., Y. Guo, Y. Chai, X. Liu & M. Yue, 2021. Shrubland biomass and root-shoot allocation along a climate gradient in China. Plant Ecology and Evolution, 154(1): 5–14.
11. Hadian, F., R. Jafari, H. Bashari & S. Soltani, 2011. Analysing different groups of remote sensing vegetation indices for studying rangeland vegetation types (Case study: Semirom- Isfahan). Rangeland, 5(4): 420-429.
12. Japelaghi, M., F. Hajian, M. Gholamalifard, B. Pradhan, K.N.A. Maulud & H.J. Park, 2022. Modelling the Impact of Land Cover Changes on Carbon Storage and Sequestration in the Central Zagros Region. Iran Using Ecosystem Services Approach Land, 11: 423.
13. Khodadost, M., M. Saberi & F. Tarnian, 2023. Comparison of soil carbon and nitrogen storage in two enclosed and grazed, areas (Case study: Koteh rangelands of Khash city). Rangeland,16(3):441-453
14. Koskinen, J., U. Leinonen, A. Vollrath, A. Ortmann & E. Lindquist, 2019. Participatory mapping of forest plantations with Open Foris and Google Earth Engine. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 148:63-7.
15. Leh, M.D.K., M.D. Matlock, E.C. Cummings & L.L. Nalley, 2013. Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa. Agriculture, Ecosystems & Environment, 165: 6-18.
16. Macintyre, P., A. Niekerk & L. Mucina, 2020. Efficacy of multi-season Sentinel-2 imagery for compositional vegetation classification. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 85: 101980.
17. Mishra, V.N., P.K. Rai, R. Prasad, M. Punia & M.M. Nistor, 2018. Prediction of spatio-temporal land use/land cover dynamics in rapidly developing Varanasi district of Uttar Pradesh, India, using geospatial approach: a comparison of hybrid models. Applied Geomatics, 10: 257-76.
18. Naghipour, A.A., 2018. Fire prediction using Bayesian belief modeling in Chaharmahal and Bakhtiari province. Rangeland, 13(1): 90-100.
19. Nasri, M., M. Ghorbani, M. Jafari, H. Azarnivand & H. Rafiee, 2016. Economic valuation of stocked carbon function in arid and semi-arid rangelands (Case Study: Malard District). Iranian Journal of Range and Desert Research, 23(2): 396-403
20. Nyamekye, C., S. Kwofie, E. Agyapong, S.A. Ofosu, R. Arthur & L.B. Appiah, 2021. Integrating support vector machine and cellular automata for modelling land cover change in the tropical rainforest under equatorial climate in Ghana. Current Research in Environmental Sustainability. 3: 100052.
21. Pache, R.G., I.V. Abrudan & M.D. Nita, 2020. Economic Valuation of Carbon Storage and Sequestration in Retezat National Park. Romania.Forests, 12: 43.
22. Pedrotti, F., 2013. Plant and Vegetation Mapping. Geobotany Studies,University of Camerino Via Pontoni. Camerino Italy, 5: 62032.
23. Phelan, A., L. Ruhanen & J. Mair, 2020. Ecosystem services approach for community-based ecotourism: towards an equitable and sustainable blue economy. Journal of Sustainable Tourism, 28: 1665-85.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]

24. Quijas, S., A. Boit, K. Thonicke, G. Murray-Tortarolo & T. Mwampamba, 2018. Modelling carbon stock and carbon sequestration ecosystem services for policy design: a comprehensive approach using a dynamic vegetation model. Ecosystems and People, 15: 42-60.
25. Roche, L.M., 2021. Grand challenges and transformative solutions for rangeland social-ecological systems – emphasizing the human dimensions. Rangelands, 8: 285.
26. SaeedSabaee, M., R. SalmanMahiny, R. Gharibi & E. SaeedSabaee, 2015. Optimizing Land-use Allocation with respect to Ecosystem Services using Linear Programming. Iran's natural resources, 39(3): 613-797.
27. Spiegal, S., J.W. Bartolome & M.D. White, 2016. Applying ecological site concepts to adaptive conservation management on an iconic Californian landscape. Rangelands, 38: 365-70.
28. Tadiello, T., A. Perego, E. Valkama, S. Calogero & A. Marco, 2022. Computation of total soil organic carbon stock and its standard deviation from layered soils. MethodsX, 9: (101662).
29. Tessema, B., R. Sommer, K. Piikki, M.Soderstrom & S. Namirembe, 2020. Potential for soil organic carbon sequestration in grasslands in East African countries: A review. Grassland Science, 66: 135-44
30. Tolessa, T., F. Senbeta & M. Kidane, 2017. The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the central highlands of Ethiopia. Ecosystem Services, 23: 47-54.
31. Wood, S.L.R., S.K. Jones, J.A. Johnson, K.A. Brauman & R. Chaplin-Kramer, 2018. Distilling the role of ecosystem services in the Sustainable Development Goals. Ecosystem Services, 29: 70-82.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-11]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6]