



## Evaluation of Floristic Diversity and Carbon Storage in Soil and Biomass of Dominant Rangeland Species and Their Role in Ecological Sustainability

Morteza Saberi<sup>1</sup> | Vahid Karimian<sup>2</sup> | Alireza Shahriari<sup>3</sup>

1. Corresponding Author, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: [Mortezasaberi@uoz.ac.ir](mailto:Mortezasaberi@uoz.ac.ir)
2. Nature Engineering of Department, Faculty of Natural Resources, Yasouj University, Yasouj, Iran.
3. Department of Green Space, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchistan, Zahedan, Iran.

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

**Article history:**

**Received:** 26 Aug 2025

**Received in revised form:**  
26 Sep 2025

**Accepted:** 05 Oct 2025

**Available online:** 21 Mar 2026

**Keywords:**

Rangeland sustainability,  
Indicator species,  
Carbon storage,  
*Zygophyllum eurypterum*,  
*Artemisia santolina*.

### ABSTRACT

Climate change and rising atmospheric carbon dioxide levels represent major environmental challenges, particularly for dryland ecosystems whose sustainability is increasingly at risk. Carbon sequestration in vegetation and soil—especially within rangelands—plays a crucial role in mitigating atmospheric carbon concentrations and improving soil health. This study aimed to document the flora of the Sarsaro rangelands and evaluate the carbon storage capacity of dominant plant species and their associated soils. Field sampling was conducted in 1402 using a random-systematic design across six 100-meter transects and five 2 × 2-meter plots, where vegetation cover, litter, and bare soil percentages were recorded. Three indicator species—*Hammada salicornica*, *Zygophyllum eurypterum*, and *Artemisia santolina*—were selected for biomass assessment. Their above- and below-ground organs were harvested, and organic carbon content was measured. Soil samples were collected to a depth of 60 cm and analyzed for carbon-related properties. The results showed that vegetation cover in the rangelands was below the ecosystem's potential capacity, with two dominant plant functional types identified. *Zygophyllum eurypterum* exhibited the highest aboveground biomass (31.3 t ha<sup>-1</sup>) and total carbon stock (79.28 t ha<sup>-1</sup>), while *Hammada salicornica* had the highest aboveground biomass among the species, and *Artemisia santolina* recorded the lowest values. Soil analyses indicated that bulk density, organic carbon content, and soil carbon stock varied significantly among species. These findings demonstrate that plant species with differing ecological traits contribute unevenly to carbon sequestration and ecosystem functioning. Implementing smart rangeland management strategies—such as selecting effective indicator species, restoring degraded vegetation, and improving soil structure—can substantially enhance carbon storage and support long-term ecosystem sustainability.

**Cite this article:** Saberi, M., Karimian, V., & Shahriari, A. (2026). Evaluation of Floristic Diversity and Carbon Storage in Soil and Biomass of Dominant Rangeland Species and Their Role in Ecological Sustainability. *Geography and Environmental Sustainability*, 16(1), 29-46. <https://doi.org/10.22126/GES.2025.12694.2907>



© The Author (s).

DOI: <https://doi.org/10.22126/GES.2025.12694.2907>

Publisher: Razi University



## ارزیابی تنوع فلورستیک و ذخیره‌سازی کربن در خاک و زی‌توده گونه‌های غالب مرتعی و نقش آن‌ها در پایداری اکولوژیکی

مرتضی صابری<sup>۱</sup> و وحید کریمیان<sup>۲</sup> | علیرضا شهریاری<sup>۳</sup>

۱. نویسنده مسئول، گروه مرتع و آب‌خیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: [Mortezasaberi@uoz.ac.ir](mailto:Mortezasaberi@uoz.ac.ir)

۲. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۳. گروه فضای سبز، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخچه مقاله:</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۴</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۰۴</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۳</p> <p>دسترسی آنلاین: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱</p> <p><b>کلیدواژه‌ها:</b></p> <p>پایداری مراتع، گونه‌های شاخص، ذخیره کربن، قیچ، درمنه سفید.</p>	<p>تغییر اقلیم و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی امروز هستند که پایداری اکوسیستم‌های خشک را تهدید می‌کنند. ترسیب کربن در گیاهان و خاک، به‌ویژه در مراتع، نقش کلیدی در کاهش کربن اتمسفری و بهبود کیفیت خاک ایفا می‌کند. این مطالعه با هدف شناسایی فلور مراتع سرسارو و بررسی توان ذخیره کربن گونه‌های غالب و خاک زیر اشکوب آن‌ها انجام شد. نمونه‌برداری میدانی در سال ۱۴۰۲ با روش تصادفی - سیستماتیک در شش ترانسکت ۱۰۰ متری و ۵ پلات ۲×۲ متری انجام شد و درصد پوشش گیاهی، لاشبرگ و خاک لخت ثبت گردید. سه گونه شاخص، <i>Hammada salicornica</i>، <i>Zygophyllum eurypterum</i> و <i>Artemisia santolina</i> برای اندازه‌گیری زی‌توده انتخاب شدند و اندام‌های هوایی و زیرزمینی آن‌ها برداشت و محتوای کربن آلی تعیین شد. نمونه‌های خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متر جمع‌آوری و تحلیل شدند. یافته‌ها نشان داد که پوشش گیاهی موجود در مراتع کمتر از ظرفیت بالقوه اکوسیستم است و دو تیپ گیاهی غالب در منطقه شناسایی شدند. گونه <i>Z. Eurypterum</i> بیشترین زی‌توده زمینی (۳/۳۱ تن در هکتار) و ذخیره کربن کل (۲۸۷۹ تن در هکتار) را داشت، درحالی‌که <i>H. Salicornica</i> بیشترین زی‌توده هوایی و <i>A. santolina</i> کمترین زی‌توده زمینی را نشان دادند. تحلیل خاک نشان داد وزن مخصوص ظاهری، کربن آلی و ذخیره کربن خاک تحت‌تأثیر گونه‌ها تفاوت معنی‌داری داشتند. این یافته‌ها تأکید می‌کند که گونه‌ها با ویژگی‌های اکولوژیکی متفاوت، نقش متغیری در تثبیت کربن و عملکرد اکوسیستم ایفا می‌کنند. مدیریت هوشمند مراتع، شامل انتخاب گونه‌های شاخص، احیای پوشش گیاهی و بهبود ساختار خاک، می‌تواند ظرفیت ذخیره‌سازی کربن و پایداری اکوسیستم را به‌طور چشمگیری افزایش دهد.</p>

استناد: صابری، مرتضی؛ کریمیان، وحید؛ شهریاری، علیرضا (۱۴۰۵). ارزیابی تنوع فلورستیک و ذخیره‌سازی کربن در خاک و زی‌توده گونه‌های غالب مرتعی و نقش آن‌ها در پایداری اکولوژیکی. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۶(۱)، ۲۹-۴۶. <https://doi.org/10.22126/GES.2025.12694>. 2907

## مقدمه

تغییر اقلیم و افزایش دمای جهانی از جدی‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی عصر حاضر به شمار می‌روند که پیامدهای منفی گسترده‌ای بر اکوسیستم‌های خشکی، به‌ویژه اکوسیستم‌های مرتعی دارند (Lv et al., 2019). افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسیدکربن، به‌عنوان مهم‌ترین عامل این پدیده شناخته می‌شود، گازی که حدود نیمی از سهم گرمایش زمین را به خود اختصاص داده است (Zellweger et al., 2022). در این میان، فعالیت‌های انسانی همچون تخریب مراتع، تغییر کاربری اراضی، گسترش کشاورزی و توسعه زیرساخت‌ها از اصلی‌ترین محرک‌های انتشار دی‌اکسیدکربن و از دست رفتن منابع کربن محسوب می‌شوند (Godde et al., 2020; Bargali et al., 2022). این تغییرات نه تنها موجب کاهش حدود ۳۰ درصدی ذخایر کربن در اکوسیستم‌های مرتعی شده‌اند (Manral et al. 2022; Bisht et al., 2023)، بلکه با تهدید تنوع زیستی، پایداری و کارکرد این اکوسیستم‌ها را نیز با اختلال مواجه کرده‌اند (Hua et al., 2022).

در چنین شرایطی، ترسیب کربن به‌عنوان یکی از فرایندهای کلیدی و طبیعی اکوسیستم‌های مرتعی اهمیت ویژه‌ای دارد. گیاهان مرتعی با جذب دی‌اکسیدکربن از طریق فتوسنتز، آن را در زی‌توده هوایی و زیرزمینی ذخیره کرده و بخشی از آن را نیز از طریق ریزش لاشبرگ و ریشه به خاک منتقل می‌کنند. این فرایند علاوه بر کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری، به بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک کمک کرده و پایداری و بهره‌وری اکوسیستم‌های مرتعی را ارتقا می‌دهد (Asgari et al., 2013).

اهمیت کربن آلی خاک در این زمینه چشمگیر است، زیرا شاخصی بنیادین برای سلامت و پایداری اکوسیستم به شمار می‌رود. افزایش کربن آلی موجب بهبود ساختمان خاک، افزایش تخلخل و نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری آب و ارتقای کیفیت محیط‌زیست می‌شود (عسگری و علی‌نژاد، ۱۴۰۳). برآوردها نشان می‌دهند که حدود ۷۵ درصد کربن خشکی در خاک ذخیره شده و بخش قابل توجهی از کربن وارد شده به جو، هر ساله از طریق ترسیب در خاک کنترل می‌شود (اردیبهشت و همکاران، ۱۴۰۲).

مراتع در میان اکوسیستم‌های خشکی به دلیل وسعت گسترده و ارتباط مستقیم با خاک، نقش کلیدی در چرخه جهانی کربن ایفا می‌کنند. هرچند ترسیب کربن در واحد سطح آن‌ها نسبت به برخی زیست‌بوم‌های دیگر کمتر است، اما به دلیل گستردگی وسیع، حدود ۳۰ درصد کربن آلی خاک و ۱۰ درصد زی‌توده خشکی را به خود اختصاص داده‌اند (Challenge et al., 2022). ظرفیت ترسیب کربن در مراتع به عواملی همچون ترکیب گونه‌ای، ساختار پوشش گیاهی، نوع خاک، شیوه مدیریت مرتع و شرایط اکولوژیک وابسته است (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۸).

پژوهش‌های اخیر نیز نشان داده‌اند که گونه‌های بومی مقاوم به خشکی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، توان بالاتری در تثبیت کربن دارند و می‌توانند در ارتقای پایداری اکوسیستم‌های مرتعی نقش‌آفرین باشند. حسین‌جعفری و صادقی‌نیا (۱۴۰۳)، در مراتع مهریز یزد به این نتیجه رسیدند که زی‌توده هوایی میزان بیشتری از کربن را نسبت به اندام زیرزمینی ذخیره کرده است. عسگری و علی‌نژاد (۱۴۰۳)، در مراتع چپر قویمه استان گلستان مقدار کل ترسیب کربن را برابر با ۴۸۹/۳ کیلوگرم در مترمربع گزارش کردند. در همین زمینه، عسگری و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی اثر کاشت Atriplex و Haloxylon در اراضی بیابانی استان کرمان، به افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک پی بردند و بیان کردند که Atriplex نسبت به Haloxylon گزینه مطلوب‌تری برای بهبود ویژگی‌های خاک و ترسیب کربن در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Asgari et al., 2013).

پوررستمی و همکاران (۱۳۹۹) در همین منطقه ظرفیت ترسیب کربن را به طور متوسط ۶۸/۵ تن در هکتار تا عمق ۵۰ سانتی‌متر و مجموع ذخیره کربن را حدود ۲۴۷۰ تن برآورد کردند. عسگری و همکاران (۱۴۰۰) با برآورد اقتصادی ذخیره کربن در جنگل‌های کهگیلویه و بویراحمد، میانگین ذخیره کربن در خاک، زی‌توده گیاهی و لاشبرگ را بیش از ۱۵۹ تن در هکتار گزارش کردند. در جنگل‌های تنکابن نیز داجلری و همکاران (۱۴۰۲) گزارش کردند که مقدار ترسیب کربن خاک در گونه ممرز در تمامی لایه‌ها بیشتر از راش است که نشان‌دهنده اثر تنوع گونه‌ای بر ترسیب

کربن است.

اردیبهشت و همکاران (۱۴۰۲) در استان قم با بررسی فاکتورهای شیمیایی خاک برای دو گونه تاغ و گز به این نتیجه رسیدند که میانگین تمام فاکتورها برای گونه گز بالاتر بود. میرداودی و همکاران (۱۴۰۰) در کویر میقان اراک دریافتند که گونه *Zygophyllum fabago* نسبت به *Lycium depressum* ظرفیت بیشتری برای ترسیب کربن خاک و گیاه دارد.

چیت‌ساز و پرویزی (۱۴۰۱) نشان دادند که کاشت *Agropyron trichophorum* و *ferulacea* Prangos موجب افزایش انباشت کربن نسبت به منطقه شاهد شده است. جهانتاب و همکاران (۱۴۰۱) در مراتع دره‌باز سرایان خراسان جنوبی ذخیره کربن در گونه *Dorema ammoniacum* را در اندام هوایی و زیرزمینی به ترتیب ۴۰/۹ و ۲۴۸/۹ کیلوگرم در مترمربع و در گونه *Artemisia sieberi* به ترتیب ۱۱۷۰/۹ و ۲۳۸ تن برآورد کردند.

قربانیان و همکاران (۱۴۰۱) در ارزیابی گونه‌های شورروی و غیرشورروی دریافتند که *Tamarix aphylla* به دلیل تولید بیشتر، بیشترین توان ترسیب کربن را داشت. در مطالعه‌ای دیگر، رستم‌پور و همکاران (۱۴۰۳) در مناطق بیابانی خراسان بیشترین و کمترین ترسیب کربن را به ترتیب در گونه‌های قیچ و اشنان گزارش کردند.

ادنانی و همکاران (۱۴۰۴) نیز در رویشگاه‌های شور حوض سلطان مشاهده کردند که میزان کربن آلی در سرشاخه‌ها بیشتر از ریشه‌ها بوده و گونه‌های درمنه دشتی و گز بیشترین ظرفیت ترسیب کربن را داشتند؛ همچنین بیشترین مقدار ترسیب خاک زیر بوته گز و کمترین آن زیر سنبله نمکی به دست آمد. این نتایج بر اهمیت مدیریت صحیح و بهره‌گیری از ظرفیت‌های طبیعی مراتع در کاهش اثرات تغییر اقلیم و بهبود چرخه جهانی کربن تأکید دارند.

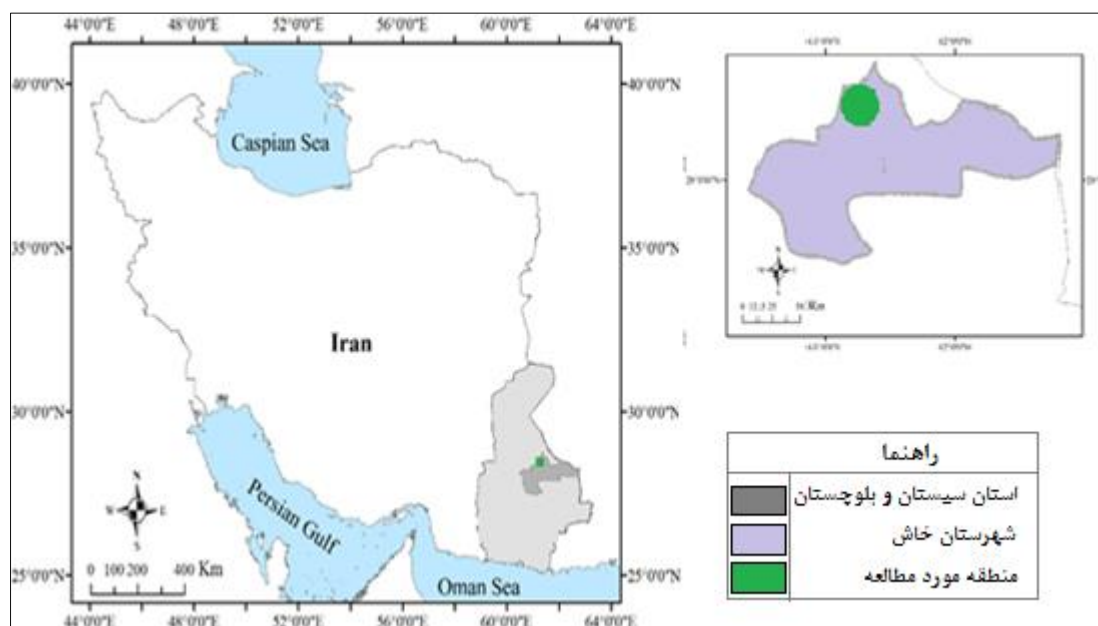
اکوسیستم‌های مرتعی، به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک، از زیست‌بوم‌های کلیدی به شمار می‌روند که علی‌رغم محدودیت‌های اقلیمی و فشارهای محیطی، نقش اساسی در پایداری بوم‌شناختی، تولیدات دامی و به‌ویژه چرخه کربن دارند. اهمیت این اکوسیستم‌ها نه تنها به دلیل وسعت جغرافیایی آن‌ها، بلکه به واسطه ظرفیت بالقوه در جذب و ذخیره‌سازی کربن در اندام‌های گیاهی و خاک، بیش‌ازپیش مورد توجه محققان قرار گرفته است. تغییرات اقلیمی و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای ضرورت بهره‌گیری از توان اکوسیستم‌های طبیعی در کاهش کربن اتمسفری را دوچندان کرده است. گونه‌های بومی مقاوم به خشکی، به واسطه سازگاری با شرایط نامساعد محیطی، توانایی ویژه‌ای در انباشت و تثبیت کربن دارند.

با این حال، مطالعات پیشین در ایران عمدتاً بر ترسیب کربن در اندام هوایی گیاهان یا خاک متمرکز بوده و ارتباط مستقیم گونه‌های شاخص با ویژگی‌های خاک و عملکرد اکوسیستم کمتر بررسی شده است. پژوهش حاضر با رویکرد جامع، هم‌زمان فلور مراتع، ذخیره کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی و خاک زیرپوشش گونه‌های غالب و شاخص را ارزیابی می‌کند تا تفاوت ظرفیت گونه‌ها در تثبیت کربن مشخص شود. این رویکرد امکان شناسایی گونه‌های شاخص مقاوم به خشکی و ارائه راهبردهای علمی مدیریت پایدار و احیای مراتع خشک و نیمه‌خشک ایران را فراهم می‌آورد و پژوهش را از مطالعات مشابه در سایر مناطق متمایز می‌کند. بر این اساس، هدف مطالعه حاضر، بررسی فلور مراتع سراسر در شهرستان خاش و ارزیابی توان ذخیره کربن در اندام‌های مختلف گیاهی و خاک زیراشکوب گونه‌های غالب و شاخص این اکوسیستم است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر در مراتع شهرستان خاش، استان سیستان و بلوچستان انجام شد. از نظر موقعیت جغرافیایی این منطقه بین عرض‌های ۶۱°۸' تا ۶۱°۲۰' شرقی و ۲۸°۲۵' تا ۲۸°۳۲' شمالی قرار گرفته است (شکل، ۱). منطقه مورد مطالعه بر اساس روش آمبرژه دارای آب‌وهوای بیابانی گرم و ضعیف و بر اساس روش دومارتن دارای آب‌وهوای خشک و معتدل است. میانگین بارندگی سالانه منطقه مورد مطالعه ۱۴۹/۶ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۸/۶ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان سیستان و بلوچستان و ایران

## روش مطالعه

### بررسی فلور منطقه

برای بررسی فلور گیاهی منطقه، ابتدا مسیرهای عبور و مرور و عوارض طبیعی با استفاده از تصاویر هوایی، نقشه‌های توپوگرافی و اطلاعات کارشناسان و افراد بومی شناسایی شد تا دسترسی به گیاهان منطقه در فصل‌های مناسب امکان‌پذیر باشد. سپس بازدیدها و پیمایش‌های میدانی در فصول مختلف سال ۱۴۰۲ انجام شد و نمونه‌برداری زمانی صورت گرفت که گونه‌های گیاهی به رشد مناسب رسیده بودند. نمونه‌برداری پوشش گیاهی برای بررسی فلور بر اساس روش پیمایشی که یکی از روش‌های مرسوم مطالعات فلورستیک است (مصدافی، ۱۳۹۰: ۲۸۸) انجام شد. نمونه‌های جمع‌آوری شده با استفاده از منابع مرجع از جمله: فلور ایرانیکا (Rechinger, 1963-2015)، فلور ایران (اسدی، ۱۳۶۶-۱۳۴۳)، فلور ترکیه (Davis, 1965-1988)، درختان و درختچه‌های ایران (مظفریان، ۱۳۸۹: ۱۰۵۴)، شناسایی شدند. پراکنش جغرافیایی (کوروتیپ) گونه‌های شناسایی شده با منابع موجود از جمله (Zohary, 1973; Takhtajan, 1986) تعیین گردید.

### نمونه‌برداری پوشش سطح خاک

روش نمونه‌برداری پوشش سطحی به صورت تصادفی سیستماتیک و با استقرار شش ترانسکت ۱۰۰ متری و ۵ پلات ۲ در ۲ متری با فواصل ۲۰ متر انجام شد. داخل هر پلات درصد پوشش، لاشبرگ، سنگ و سنگ‌ریزه و خاک لخت ثبت گردید. همچنین تولید بر اساس روش قطع و توزین، وضعیت مرتع به روش چهار فاکتوری و گرایش مرتع به روش ترازوی گرایش اندازه‌گیری شد.

### بررسی ذخیره کربن

به منظور بررسی و مقایسه ذخیره کربن در اندام‌های هوایی، زیرزمینی و خاک گونه‌های شاخص و غالب مرتعی تیپ‌های منطقه مورد بررسی قرار گرفت و دو تیپ گیاهی غالب شناسایی و انتخاب گردید. از میان این دو تیپ، سه گونه شاخص شامل *Artemisia santolina* و *Zygophyllum eurypterum* و *Hammada salicornica* که از نظر فراوانی، پوشش و اهمیت اکولوژیک در منطقه برجسته بودند، به عنوان پایه‌های نمونه‌برداری انتخاب شدند (شکل ۲). به منظور تعیین زی‌توده هوایی و زیرزمینی، تعداد ۱۰ پایه گیاهی که از نظر ویژگی‌های مورفولوژیکی نماینده تیپ‌های گیاهی

مورد مطالعه بودند، انتخاب شدند. نمونه‌ها با استفاده از روش قطع و توزین برداشت شده و اندام‌های هوایی و زیرزمینی آن‌ها به صورت جداگانه تفکیک و در پاکت‌های مجزا قرار گرفتند. پس از خشک‌شدن کامل نمونه‌ها، توزین انجام شد و برای اندازه‌گیری میزان کربن آلی، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از روش احتراق در کوره الکتریکی (Birdsey et al., 2000) مورد تحلیل قرار گرفتند.

جهت تهیه نمونه‌های خاک، تعداد ۱۰ چاله تا عمق ۶۰ سانتیمتر در زیر بوته‌های منتخب و قطع شده هر گونه حفر و از هر چاله نمونه‌برداری از خاک صورت گرفت. نمونه‌های خاک برای اندازه‌گیری ویژگی‌های موردنظر به آزمایشگاه منتقل شد. مشخصه‌های خاک شامل بافت با استفاده از هیدرومتری بایکاس، اسیدیته خاک به روش عصاره‌گیری اشباع و pH متر، هدایت الکتریکی با عصاره گل اشباع و Ec متر و کربن آلی خاک به روش والکی (Walkley, 1974) تعیین گردید. پس از محاسبه کربن آلی خاک، میزان ترسیب کربن در خاک بر اساس روابط ۱ و ۲ محاسبه شد (MacDicken, 1997).

$$CP = BD \times SOC \times D \times 10$$

رابطه ۱

$$NP = BD \times TN \times D \times 10$$

رابطه ۲

CP<sup>۱</sup> و NP<sup>۲</sup> به ترتیب میزان ذخیره کربن آلی و نیتروژن کل خاک (Mg/hect)، TN<sup>۳</sup> و SOC<sup>۴</sup> به ترتیب غلظت کربن آلی و نیتروژن کل خاک (g kg<sup>-1</sup>)، BD<sup>۵</sup> وزن مخصوص ظاهری خاک (Mg m<sup>-3</sup>) و D<sup>۶</sup> عمق نمونه‌برداری (m) می‌باشد. برای بیان میزان کربن ذخیره‌ای در واحد سطح و عمق مشخص باید جرم مخصوص ظاهری اندازه‌گیری شود. یکی از پارامترهای مهم برآورد ظرفیت ذخیره کربن خاک وزن مخصوص ظاهری است که با استفاده از روش کلوخه تعیین شد (شهبازی و همکاران، ۱۴۰۳).



شکل ۲. تیپ گیاهی *Hammada salicornia-Zygophyllum eurypterum* (الف)، تیپ گیاهی *Zygophyllum eurypterum-Artemisia santolina* (ب)

### تجزیه و تحلیل آماری

پس از انجام مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، داده‌های حاصل برای بررسی توزیع نرمال به طور دقیق مورد ارزیابی قرار

1. Carbon Pool
2. Nitrogen Pool
3. Total Nitrogen
4. Soil Organic Carbon
5. Bulk Density
6. Depth

گرفتند. بدین منظور از آزمون Kolmogorov-Smirnov برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها استفاده شد. در مواردی که داده‌ها نرمال بودند، تجزیه و تحلیل‌ها بر اساس آن‌ها ادامه یافت. همچنین به منظور اطمینان از همگنی واریانس‌ها بین گروه‌ها، از آزمون Levene استفاده شد. پس از تأیید پیش‌فرض‌های آماری، تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) برای مقایسه متغیرها در بین گونه‌ها و تیپ‌های گیاهی به کار گرفته شد. در صورت معنی‌دار بودن اثرات، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد تا اختلاف بین گروه‌ها به طور دقیق مشخص گردد. تمامی تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۷ انجام گرفت.

## نتایج

### بررسی پوشش

باتوجه به بارندگی کم و پراکنش نامنظم، عدم وجود خاک مناسب، مدیریت چرای نامناسب، درصد پوشش گیاهی آبخیز کمتر از حد پتانسیل آن است. عامل توپوگرافی به طور مشخصی باعث تفکیک تیپ‌های گیاهی در حوزه مطالعاتی شده است. دو تیپ غالب شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه عبارت‌اند از:

#### ۱. تیپ گیاهی *Hammada salicornia-Zygophyllum eurypterum*

این تیپ در محدوده ارتفاعی ۱۵۷۳ تا ۱۶۸۰ متر از سطح دریا با متوسط شیب ۰/۵ تا ۱ درصد قرار دارد. رویشگاه این تیپ دارای خاک خیلی عمیق با بافت خاک سطحی نسبتاً سبک و خاک عمقی سبک می‌باشد. میزان سنگ و سنگ‌ریزه در این تیپ ۳۸ درصد، لاشبرگ ۳ درصد و خاک لخت این تیپ ۴۰ درصد می‌باشد. درصد پوشش ۱۹ درصد می‌باشد. تولید علوفه در این تیپ ۱۱۲ کیلوگرم در هکتار است. وضعیت این تیپ ضعیف و گرایش آن منفی است (جدول ۱).

#### ۲. تیپ گیاهی *Zygophyllum eurypterum-Artemis santolina*

محدوده ارتفاعی این تیپ ۱۷۶۰ تا ۱۸۹۰ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط شیب ۱ درصد و رویشگاه این تیپ دارای خاک خیلی عمیق با بافت خاک سطحی نسبتاً سبک سنگ‌ریزه دار (۳۲ درصد) است. مقدار لاشبرگ سطح خاک ۷ درصد و خاک لخت ۳۶ و پوشش ۲۵ درصد است. میزان تولید در این تیپ ۲۱۰ کیلوگرم در هکتار است. وضعیت این تیپ متوسط و گرایش آن ثابت است (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات تیپ‌های گیاهی مورد مطالعه

تیپ گیاهی	پوشش (%)	سنگ و سنگ‌ریزه (%)	خاک لخت (%)	لاشبرگ (%)	تولید (کیلوگرم در هکتار)	گرایش مرتع	وضعیت مرتع
تیپ ۱	۱۹	۳۸	۴۰	۳	۱۱۲	منفی	ضعیف
تیپ ۲	۲۵	۳۲	۳۶	۷	۲۱۰	ثابت	متوسط

در پژوهش حاضر تعداد ۶۱ گونه متعلق به ۲۳ خانواده گیاهی شناسایی شد (جدول ۲). بزرگترین خانواده‌های گیاهی منطقه به ترتیب فراوانی عبارت بودند از: Asteraceae با ۹ گونه، Poaceae و Chenopodiaceae با ۶ گونه، Lamiaceae و Caryophyllaceae با ۵ گونه، Fabaceae، Rosaceae و Apiaceae با ۴ گونه، تیره‌های Plumbaginaceae، Anacardiaceae و Zygophyllaceae شامل دو گونه و سایر تیره‌های گیاهی دارای یک گونه بودند (شکل ۳). نتایج پراکنش گونه‌ها نشان داد بیشترین درصد گیاهان شناسایی شده در منطقه سراسر و متعلق به ناحیه رویشی ایران-تورانی (۷۸/۶٪) هستند. پس از آن گونه‌های صحرا-سندی و چندناحیه‌ای ایران-تورانی و صحرا-سندی (۶/۵٪)، گونه‌های جهان وطن (۳/۲۵٪) در رده‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۴).

جدول ۲. فهرست گونه‌های گیاهی شناسایی شده و مشخصات آن‌ها در مراتع سرسارو

ردیف	اسم فارسی	جنس و گونه	خانواده	فرم رویشی	دوره زندگی	پراکنش جغرافیایی (Chorotype)
۱	کلاه میرحسین دم عقربی	<i>Acantholimon scorpius</i>	Plumbaginaceae	بوته‌ای	P	IT
۲	کلاه میر حسن	<i>Acantholimon</i> sp.	Plumbaginaceae	بوته‌ای	P	IT
۳	چوبک رفیع	<i>Acanthophyllum fontanesii</i>	Caryophyllaceae	بوته‌ای	P	IT
۴	چوبک ناجور برگ	<i>Acanthophyllum heterophyllum</i>	Caryophyllaceae	بوته‌ای	P	IT
۵	چوبک زبر	<i>Acanthophyllum squarrosum</i>	Caryophyllaceae	بوته‌ای	P	IT
۶	خارشتر	<i>Alhagi camelorum</i>	Fabaceae	علفی	P	IT
۷	بادام بلوچستانی	<i>Amygdalus brahuica</i>	Rosaceae	درختچه‌ای	P	IT
۸	بادام کوهی	<i>Amygdalus scoparia</i>	Rosaceae	درختچه‌ای	P	IT
۹	درمنه برقی	<i>Artemisia lehmaniana</i>	Asteraceae	بوته‌ای	P	IT
۱۰	درمنه سفید	<i>Artemisia santolina</i>	Asteraceae	بوته‌ای	P	IT
۱۱	درمنه دشتی	<i>Artemisia sieberi</i>	Asteraceae	بوته‌ای	P	IT
۱۲	گون	<i>Astragalus eriostylus</i>	Fabaceae	بوته‌ای	P	IT
۱۳	گون	<i>Astragalus mucronifolus</i>	Fabaceae	بوته‌ای	P	IT
۱۴	گون درختچه‌ای	<i>Astragalus squarrosus</i>	Fabaceae	درختچه‌ای	P	IT
۱۵	سلمکی ساقه سفید	<i>Atriplex leucoclada</i>	Chenopodiaceae	بوته‌ای	P	IT, SS
۱۶	کنگر	<i>Cirsium</i> sp.	Asteraceae	علفی	P	IT
۱۷	پیچک	<i>Convolvulus avicular</i>	Convolvulaceae	علفی	P	IT
۱۸	طارون، کربفون	<i>Cornulaca monacantha</i>	Chenopodiaceae	بوته‌ای	P	IT, (SS)
۱۹	شیرخشت	<i>Cotoneaster nummularia</i>	Rosaceae	درختچه‌ای	P	IT
۲۰	شیرخشت	<i>Cotoneaster</i> sp.	Rosaceae	درختچه‌ای	P	IT
۲۱	هزارخار	<i>Cousinia stocksii</i>	Asteraceae	علفی	P	IT
۲۲	مرغ	<i>Cynodon dactylon</i>	Poaceae	علفی	P	Cosm
۲۳	اویارسلام	<i>Cyperus conglomeratus</i>	Cyperaceae	علفی	P	IT
۲۴	شکر تیغال بلوچستانی	<i>Echinops gedrosiacus</i>	Asteraceae	علفی	P	SS
۲۵	ارمک میانه	<i>Ephedra intermedia</i>	Ephedraceae	بوته‌ای	P	IT
۲۶	زول	<i>Eryngium bungei</i>	Apiaceae	علفی	P	IT
۲۷	رفیون	<i>Euphorbia buhsei</i>	Euphorbiaceae	علفی	P	IT
۲۸	برگ نقره‌ای	<i>Eurotia ceratoides</i>	Chenopodiaceae	بوته‌ای	P	IT
۲۹	کما	<i>Ferula</i> sp.	Apiaceae	علفی	P	IT
۳۰						

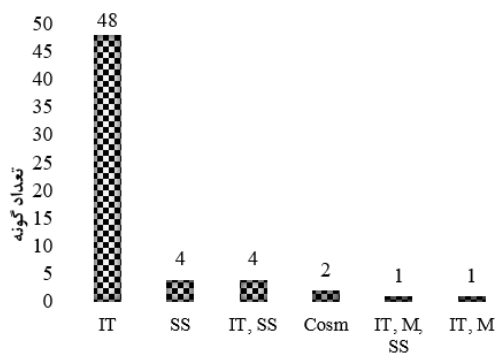
## ادامه جدول ۲.

ردیف	اسم فارسی	جنس و گونه	خانواده	فرم رویشی	دوره زندگی	پراکنش جغرافیایی (Chorotype)
۳۳	ترات	<i>Hammada salicornica</i>	Chenopodiaceae	درختچه‌ای	P	SS
۳۴	آفتاب‌پرست	<i>Heliotropium</i> sp.	Boraginaceae	علفی	A	IT
۳۵	کاهوی خاردار	<i>Lactuca scariola</i>	Asteraceae	علفی	P	IT
۳۶	چرخه	<i>Launaea acanthodes</i>	Asteraceae	علفی	P	IT
۳۷	فراسیون	<i>Marrobium grassidens</i>	Lamiaceae	علفی	P	IT
۳۸	پونه	<i>Mentha longifolia</i>	Lamiaceae	علفی	P	Cosm
۳۹	پونه سا	<i>Nepeta</i> sp.	Lamiaceae	علفی	P	IT
۴۰	برنج کوهی	<i>Oryzopsis</i> sp.	Poaceae	علفی	P	IT
۴۱	ارزن متورم	<i>Panicum turgidum</i>	Poaceae	علفی	P	IT
۴۲	گوش موش افشان	<i>Parietaria judaica</i>	Urticaceae	علفی	P	IT
۴۳	اسپند	<i>Peganum harmala</i>	Zygophyllaceae	علفی	P	IT,(M,SS)
۴۴	-	<i>Perpiloca aphylla</i>	Asclepiadaceae	درختچه‌ای	P	SS
۴۵	نی	<i>Phragmites australis</i>	Poaceae	علفی	P	IT, M
۴۶	بنه	<i>Pistacia atlantica</i>	Anacardiaceae	درختچه‌ای	P	IT
۴۷	خنجوک	<i>Pistacia khinjuk</i>	Anacardiaceae	درختچه‌ای	P	IT
۴۸	جاشیر	<i>Prangos</i> sp.	Apiaceae	علفی	P	IT
۴۹	سگ‌دندان	<i>Pycnocycla aucherana</i>	Apiaceae	علفی	P	IT
۵۰	ریواس	<i>Rheum ribes</i>	Polygonaceae	علفی	P	IT
۵۱	شور درختچه‌ای	<i>Salsola arbuscula</i>	Chenopodiaceae	درختچه‌ای	P	IT
۵۲	شور	<i>Salsola tomentosa</i>	Chenopodiaceae	بوته‌ای	P	IT
۵۳	مریم‌گلی	<i>Salvia</i> sp.	Lamiaceae	علفی	P	IT
۵۴	گاو چاق کن	<i>Scariola orientalis</i>	Asteraceae	علفی	P	IT
۵۵	استپی	<i>Stipa</i> sp.	Poaceae	علفی	P	IT
۵۶	سیط	<i>Stipagrostis</i> sp.	Poaceae	علفی	P	IT
۵۷	لاله هفت‌رنگ	<i>Tulipa biflora</i>	Liliaceae	علفی	P	IT
۵۸	صابونک	<i>Vaccaria pyramidata</i>	Caryophyllaceae	علفی	A	IT
۵۹	سیزاب	<i>Veronica anagalis</i>	Scrophulariaceae	علفی	P	IT
۶۰	کاکوتی	<i>Ziziphora tenuir</i>	Lamiaceae	علفی	A	IT
۶۱	قیچ	<i>Zygophyllum eurypterum</i>	Zygophyllaceae	بوته‌ای	P	IT, (SS)

## علائم اختصاری در جدول

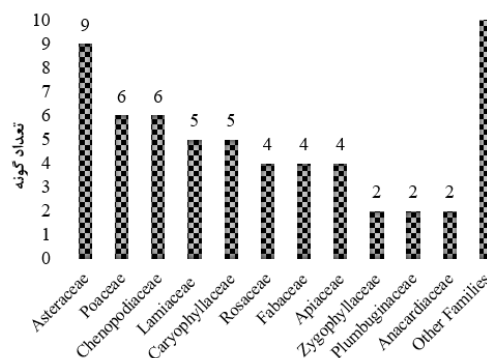
## پراکنش جغرافیایی (Chorotype)

ES = اروپایی - سیبریایی؛ IT = ایران - تورانی؛ M = مدیترانه‌ای؛ SS = صحرا - سندی و Cosm = جهان‌وطن.  
 \*\* لازم به ذکر است گونه‌هایی که در دو منطقه رویشی یا بیشتر قرار گرفته‌اند بدین معنی است که خاستگاه دو یا چندمنطقه‌ای دارند (Zohary, 1973).  
 دوره زندگی: A = یک‌ساله، P = چندساله



پراکنش جغرافیایی

شکل ۴. درصد فراوانی پراکنش جغرافیایی گیاهان



خانواده گیاهی

شکل ۳. مقایسه بزرگترین تیره‌های گیاهی منطقه

### بررسی ویژگی‌های خاک تحت تأثیر گونه‌های گیاهی

نتایج تحلیل واریانس نشان داد که بین تیمارهای مورد بررسی از نظر وزن مخصوص ظاهری، کربن آلی و ذخیره کربن خاک تفاوت آماری معنی‌داری وجود دارد، در حالی که اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک تفاوت معنی‌داری نشان ندادند ( $p > 0.05$ ). وزن مخصوص ظاهری در سطح ۵٪ ( $p < 0.05$ ) و کربن آلی و ذخیره کربن در سطح ۱٪ ( $p < 0.01$ ) معنی‌دار بودند (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس خصوصیات خاک اندازه‌گیری شده

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	خصوصیات
۰/۴۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱	۲	اسیدیته
	۰/۰۰۳	۲۷	بین گروه‌ها
			درون گروه‌ها
۰/۱۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱	۲	هدایت الکتریکی ( $\text{dSm}^{-1}$ )
	۰/۰۰۴	۲۷	بین گروه‌ها
			درون گروه‌ها
۲۸/۲۳ *	۰/۰۲	۲	وزن مخصوص ظاهری ( $\text{gcm}^{-3}$ )
	۰/۰۰۱	۲۷	بین گروه‌ها
			درون گروه‌ها
۲۷۵/۵ **	۰/۰۱	۲	کربن آلی (%)
	۰/۰۰۰	۲۷	بین گروه‌ها
			درون گروه‌ها
۲۴۳/۵ **	۷۸/۱۳	۲	ذخیره کربن (تن در هکتار)
	۰/۳۳	۲۷	بین گروه‌ها
			درون گروه‌ها

\*\* وجود تفاوت معنی‌داری بین تیمارها در سطح ۱٪، \* وجود تفاوت معنی‌داری بین تیمارها در سطح ۵٪، ns: عدم تفاوت معنی‌داری

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک تحت تأثیر گونه‌های مختلف گیاهی قرار نگرفته و تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد ( $p > 0.01$ )، به طوری که مقادیر pH در همه گونه‌ها نزدیک به یکدیگر و در محدوده خنثی (۷/۷۶ تا ۷/۸۱) بود. در مقابل، وزن مخصوص ظاهری، کربن آلی و ذخیره کربن خاک تحت تأثیر گونه‌ها قرار گرفتند و تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد ( $p < 0.01$ ) نشان دادند. کمترین وزن مخصوص ظاهری در خاک *H. salicornica* (۱/۳۳) گرم بر سانتی‌متر مکعب) مشاهده شد. بیشترین کربن آلی (۰/۲۷۲ درصد) و ذخیره کربن (۲۴/۰۲ تن در هکتار) نیز در خاک *Z. eurypterum* به دست آمد. در مقابل، کمترین کربن آلی (۰/۱۵۶ درصد) و ذخیره کربن (۱۳/۸۲ تن در هکتار) مربوط به خاک گونه *A. santolina* بود (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین ویژگی‌های خاک تحت تأثیر گونه‌های مختلف

گونه	خصوصیات
<i>A. santolina</i>	اسیدیته
۷/۸۱ <sup>a</sup>	هدایت الکتریکی ( $\text{dSm}^{-1}$ )
۰/۵۹ <sup>a</sup>	وزن مخصوص ظاهری ( $\text{gcm}^{-3}$ )
۱/۴۷ <sup>a</sup>	کربن آلی (%)
۰/۱۵۶ <sup>c</sup>	ذخیره کربن (تن در هکتار)
۱۳/۸۲ <sup>c</sup>	بافت خاک
Sandy Loam	
<i>Z. eurypterum</i>	اسیدیته
۷/۷۹ <sup>a</sup>	هدایت الکتریکی ( $\text{dSm}^{-1}$ )
۰/۵۶ <sup>a</sup>	وزن مخصوص ظاهری ( $\text{gcm}^{-3}$ )
۱/۴۷ <sup>a</sup>	کربن آلی (%)
۰/۲۷۲ <sup>a</sup>	ذخیره کربن (تن در هکتار)
۲۴/۰۲ <sup>a</sup>	بافت خاک
Sandy Loam	
<i>H. salicornica</i>	اسیدیته
۷/۷۶ <sup>a</sup>	هدایت الکتریکی ( $\text{dSm}^{-1}$ )
۰/۵۷ <sup>a</sup>	وزن مخصوص ظاهری ( $\text{gcm}^{-3}$ )
۱/۳۳ <sup>b</sup>	کربن آلی (%)
۰/۲۳۳ <sup>b</sup>	ذخیره کربن (تن در هکتار)
۱۸/۵۹ <sup>b</sup>	بافت خاک
Sandy Loam	

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری می‌باشد ( $p < 0.01$ ).

## بررسی ذخیره کربن در گونه‌های گیاهی

تحلیل واریانس نشان داد که بین گونه‌های مورد بررسی از نظر زی‌توده هوایی، زی‌توده زمینی، کربن خاک و ذخیره کربن کل، تفاوت آماری معنی‌داری در سطح یک درصد ( $p < 0.01$ ) وجود دارد (جدول ۵).

جدول ۵. تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در گونه‌های گیاهی مورد مطالعه

فاکتور	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
زی‌توده هوایی	۲	۱/۵۶	۱۱۲/۶**
	۲۷	۰/۰۱۴	
زی‌توده زمینی	۲	۴/۱۳	۹۰/۰۱**
	۲۷	۰/۰۴	
ذخیره کربن خاک	۲	۷۸/۱۳	۲۴۳/۵**
	۲۷	۰/۳۲	
ذخیره کربن کل	۲	۹۴/۲۵	۱۷۰/۹**
	۲۷	۰/۵۵	

\*\*وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۱٪

نتایج حاصل از مقایسه سه گونه *A. santolina*، *Z. eurypterum* و *H. salicornica* از نظر زی‌توده و ذخیره کربن نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین آن‌ها می‌باشد ( $p < 0.05$ ). گونه *Z. eurypterum* با میانگین زی‌توده زمینی ۳/۳۱ تن در هکتار و ذخیره کربن خاک ۲۴/۰۲ تن در هکتار، بالاترین میزان ذخیره کربن کل را به میزان ۲۸/۷۹ تن در هکتار به خود اختصاص داد و از این نظر برتر از سایر گونه‌ها ارزیابی شد. گونه *H. salicornica* با بیشترین زی‌توده هوایی (۲/۹ تن در هکتار) و میزان ذخیره کربن کل ۲۲/۵۲ تن در هکتار در رتبه دوم قرار گرفت. در مقابل، *A. santolina* با کمترین میزان ذخیره کربن خاک (۱۳/۸۲ تن در هکتار) و زی‌توده زمینی (۱/۷ تن در هکتار)، کمترین میزان ذخیره کربن کل (۱۷/۶۱ تن در هکتار) را نشان داد (جدول ۶).

جدول ۶. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در گونه‌های مورد مطالعه

گونه	خصوصیات
<i>A. santolina</i>	
۲/۰۹ <sup>b</sup>	زی‌توده هوایی (تن در هکتار)
۱/۷ <sup>b</sup>	زی‌توده زمینی (تن در هکتار)
۱۳/۸۲ <sup>c</sup>	خاک (تن در هکتار)
۱۷/۶۱ <sup>c</sup>	ذخیره کربن کل (تن در هکتار)
<i>Z. eurypterum</i>	
۱/۴۶ <sup>c</sup>	زی‌توده هوایی (تن در هکتار)
۳/۳۱ <sup>a</sup>	زی‌توده زمینی (تن در هکتار)
۲۴/۰۲ <sup>a</sup>	خاک (تن در هکتار)
۲۸/۷۹ <sup>a</sup>	ذخیره کربن کل (تن در هکتار)
<i>H. salicornica</i>	
۲/۹ <sup>a</sup>	زی‌توده هوایی (تن در هکتار)
۱/۰۲ <sup>c</sup>	زی‌توده زمینی (تن در هکتار)
۱۸/۵۹ <sup>b</sup>	خاک (تن در هکتار)
۲۲/۵۲ <sup>b</sup>	ذخیره کربن کل (تن در هکتار)

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار می‌باشد ( $p < 0.05$ ).

## بحث

پیامدهای ناشی از گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی، ضرورت گسترش پوشش گیاهی برای تثبیت و ذخیره‌سازی کربن را بیش‌ازپیش برجسته ساخته و اهمیت شناسایی گونه‌های گیاهی مناسب را آشکار می‌کند. بررسی پوشش گیاهی و شناسایی گونه‌های شاخص، نیازمند مطالعات فلورستیک است که به‌عنوان ابزاری بنیادین در علوم کاربردی و به‌ویژه مدیریت و حفاظت مراتع شناخته می‌شوند (Jankju et al., 2011). نتایج حاصل از مطالعات مراتع سرسارو نشان می‌دهد که خانواده‌های *Poaceae*، *Asteraceae* و *Chenopodiaceae* بیشترین تعداد گونه را دارا هستند که با یافته‌های سلطانی‌پور و اسدپور (۱۳۹۹) همخوانی دارد. همچنین نوری و همکاران (۱۳۹۷) خانواده‌های *Asteraceae*، *Poaceae*، *Brassicaceae*، *Fabaceae* و *Chenopodiaceae* را به‌عنوان غالب‌ترین تیره‌های گیاهی استان سیستان و بلوچستان معرفی کرده‌اند. غلبه خانواده *Asteraceae* می‌تواند به ویژگی‌های مورفولوژیکی، آناتومیکی و فیزیولوژیکی خاص این خانواده، از جمله وجود خار و تیغ، سازوکارهای دفاعی مؤثر، ترکیبات شیمیایی بازدارنده، توانایی بالای انتشار بذر و مقاومت در برابر شرایط محیطی

نامساعد مرتبط باشد. علاوه بر این، تنوع گونه‌ای بالا و سازگاری با شرایط اکولوژیکی مختلف نیز در گسترش اعضای این خانواده نقش دارند (دهداری و همکاران، ۱۴۰۰).

تحلیل نتایج ناحیه رویشی گیاهان مراتع سرسارو نشان می‌دهد که بیشترین گونه‌ها به ناحیه رویشی ایران-تورانی تعلق دارند، که حاکی از اقلیم خشک و نیمه‌خشک این منطقه است و با گزارش صفی‌خانی (۱۴۰۲) هم‌راستا است. شکل زیستی گیاهان نیز رابطه مستقیمی با شرایط اقلیمی دارد و به‌عنوان شاخصی برای توصیف میزان بارندگی و طول دوره خشک به کار می‌رود (Hutchinson, 1975). فراوانی بالای عناصر رویشی ایران - تورانی در این مطالعه، مؤید حاکمیت شرایط خشکی و نیمه‌خشکی بر مراتع سرسارو است.

بر اساس نتایج جدول ۳، مقادیر کربن آلی و ذخیره کربن خاک به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر گونه‌های گیاهی قرار گرفتند که این موضوع نقش حیاتی پوشش گیاهی در تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و ارتقای ظرفیت ترسیب کربن را نشان می‌دهد. درحالی‌که تفاوت معنی‌داری در اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک مشاهده نشد و این شاخص‌ها حساسیت کمتری به تغییرات پوشش گیاهی در دوره مطالعه داشتند، اثر مثبت گونه‌ها بر افزایش مواد آلی و ذخیره کربن خاک کاملاً آشکار بود. این یافته با مطالعات پیشین هم‌راستا است که نشان می‌دهند افزایش کربن آلی خاک نه‌تنها به بهبود ساختمان، تخلخل، نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب کمک می‌کند، بلکه به ارتقای پایداری تولید و کیفیت محیط‌زیست نیز می‌انجامد (عسگری و علی‌نژاد، ۱۴۰۳). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پوشش گیاهی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نقش تعیین‌کننده‌ای در بازسازی کارکردهای اکوسیستمی و افزایش ظرفیت تثبیت کربن ایفا می‌کند.

تحلیل نتایج جدول ۴ نشان داد که کمترین وزن مخصوص ظاهری خاک در حضور گونه *H. Salicornica* مشاهده شد که می‌تواند ناشی از افزایش تخلخل و بهبود تهویه خاک باشد. در مقابل، بیشترین مقادیر کربن آلی و ذخیره کربن خاک در گونه *Z. eurypterum* ثبت شد که نشان‌دهنده نقش مثبت این گونه در افزایش ماده آلی و ظرفیت ذخیره‌سازی کربن است. این نتایج با یافته‌های سایر مطالعات در مناطق خشک ایران همخوانی دارد و نشان می‌دهد که گونه‌های خاص می‌توانند به طور چشمگیری در پویایی کربن خاک مؤثر باشند (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۸). گونه *A. santolina* کمترین مقادیر کربن آلی و ذخیره کربن را نشان داد که احتمالاً ناشی از تفاوت‌های عملکردی در تولید زی‌توده و الگوی ریشه‌ای آن است، و این یافته‌ها تأکید می‌کنند که انتخاب گونه‌های گیاهی می‌تواند مستقیماً بر بهره‌وری خاک و ظرفیت ترسیب کربن تأثیر بگذارد.

بر اساس جدول ۶، گونه *Z. Eurypterum* با ذخیره کربن کل ۷۹/۲۸ تن در هکتار بالاترین میزان را به خود اختصاص داد و برتر از سایر گونه‌ها بود، که با گزارش رستم‌پور و همکاران (۱۴۰۳) در خراسان جنوبی (۶۶/۲۸ تن در هکتار) همخوانی دارد و نشان می‌دهد این گونه در شرایط اکولوژیکی متفاوت توان بالایی در ذخیره‌سازی کربن دارد. پس از آن، *H. salicornica* با ۲۲/۵۲ تن در هکتار و *A. santolina* با کمترین میزان ذخیره کربن در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که گونه‌ها با الگوهای عملکردی متفاوت نقش تعیین‌کننده‌ای در ظرفیت ذخیره‌سازی کربن اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک دارند و ترکیب گونه‌ای می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر عملکرد اکوسیستم در این زمینه اثرگذار باشد.

تحلیل اجزای زی‌توده نشان داد بخش عمده توان *Z. eurypterum* در ذخیره‌سازی کربن مربوط به اندام‌های زیرزمینی و خاک است، در مقابل، *H. salicornica* سهم بیشتری از زی‌توده هوایی نسبت به زیرزمینی داشت که با نتایج حسین‌جعفری و صادقی‌نیا (۱۴۰۳) مطابقت دارد و نشان‌دهنده الگوهای متفاوت تخصیص زی‌توده در گونه‌هاست. همچنین، یافته‌های ادنایی و همکاران (۱۴۰۴) نشان می‌دهد میزان کربن آلی در سرشاخه‌ها بیشتر از ریشه‌ها است. نقش تنوع گونه‌ای در ظرفیت ترسیب کربن نیز توسط پژوهش‌های پیشین مورد تأکید قرار گرفته است؛ به‌ویژه داجلری و همکاران (۱۴۰۲) اثر مثبت تنوع گونه‌ای و قربانیان و همکاران (۱۴۰۱) تولید بیشتر گیاه را به‌عنوان عامل اصلی افزایش ترسیب کربن معرفی کرده‌اند. یافته‌های حاضر این دیدگاه‌ها را تأیید می‌کند، چراکه گونه‌هایی با زی‌توده بالاتر توان بیشتری در ذخیره‌سازی کربن نشان دادند، درحالی‌که *A. Santolina* کمترین میزان ترسیب کربن را داشت.

نتایج این پژوهش در مقایسه با مطالعات پیشین نشان داد که ظرفیت ذخیره‌سازی کربن گونه‌های مرتعی می‌تواند به طور

قابل توجهی تحت تأثیر تفاوت‌های اکولوژیکی و ویژگی‌های درون‌جنسی قرار گیرد. برای نمونه، جهانتاب و همکاران (۱۴۰۱) در خراسان جنوبی مقادیر بالاتری از ذخیره کربن را برای *Artemisia sieberi* گزارش کردند، در حالی که میرداودی و همکاران (۱۴۰۰) ظرفیت بیشتر *Zygophyllum fabago* را نسبت به گونه‌های مشابه تأیید کردند. همچنین یافته‌های فتاحی و همکاران (۱۳۹۸) نیز بر نقش تعیین‌کننده ترکیب گونه‌ای و الگوهای عملکردی گیاهان در تفاوت ذخیره کربن مراتع تأکید دارند. این مقایسه‌ها نشان می‌دهد که مدیریت پایدار مراتع باید بر مبنای انتخاب گونه‌های بومی با بالاترین توان ترسیب کربن و بیشترین سازگاری با شرایط اکولوژیک منطقه صورت گیرد.

### نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد گونه‌های گیاهی مختلف با الگوهای متفاوت تخصیص زی‌توده، استفاده از منابع و سازگاری با شرایط محیطی، ظرفیت‌های متغیری در ذخیره‌سازی کربن دارند. گونه‌های شاخص مانند *Z. eurypterum* بیشترین نقش را در تثبیت کربن و ارتقای ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک ایفا می‌کنند، در حالی که گونه‌هایی مانند *A. santolina* و *H. salicornica* سهم کمتری در این فرایند دارند. این یافته‌ها اهمیت تنوع گونه‌ای و بهره‌گیری از گونه‌های بومی مقاوم به خشکی را در افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی کربن، حفظ پایداری اکوسیستم و بازسازی زیست‌بوم‌های تخریب‌شده نشان می‌دهد و می‌تواند مبنایی برای کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی فراهم کند. از منظر کاربردی، توصیه می‌شود مدیریت مراتع شامل انتخاب گونه‌های شاخص، احیای پوشش گیاهی، کنترل چرای دام، بهبود ساختار خاک و بهینه‌سازی توزیع منابع آب و مواد مغذی باشد تا عملکرد اکوسیستم و بهره‌وری خاک به حداکثر برسد. با این حال، محدودیت‌های پژوهش شامل عدم بررسی اثر عوامل میکروبی خاک، تغییرات فصلی، تغییرات اقلیمی بلندمدت و تعامل گونه‌ها با سایر عوامل محیطی است. پرداختن به این موارد در مطالعات آینده می‌تواند درک جامع‌تری از پویایی ذخیره کربن، نقش گونه‌ها و کارکرد اکوسیستم ارائه کرده و راهبردهای علمی مدیریت پایدار مراتع را تقویت نماید. به این ترتیب، یافته‌های حاضر می‌تواند راهنمایی ارزشمند برای سیاست‌گذاران، مدیران منابع طبیعی و برنامه‌ریزان احیای زیست‌بوم‌های خشک و نیمه‌خشک فراهم کند.

### سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت مالی دانشگاه زابل (Grant code: IR-UOZ-GR-8721) برای انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

### منابع

- ادنانی، سید مهدی؛ پورمیدانی، عباس؛ زندی اصفهان، احسان؛ توکلی نکو، حسین (۱۴۰۴). ارزیابی توان ذخیره کربن در گونه‌های هالوفیت و خاک رویشگاه‌های شور (مطالعه موردی- دریاچه حوض سلطان قم). *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۶ (۴)، ۹۸۳-۹۹۴. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.386851.669859>
- اردیبهشت، مریم؛ شیروانی، انوشیروان؛ متینی زاده، محمد؛ روانبخش، هومن؛ توکلی نکو، حسین (۱۴۰۲). بررسی فاکتورهای شیمیایی، اندوخته کربن آلی خاک و شاخص‌های تنوع زیستی گیاهی برای دو گونه تاغ و گز در استان قم. *تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران*، ۲۱ (۲)، ۲۶۷-۲۸۳. <https://doi.org/10.22092/ijfrpr.2023.362667.1585>
- اسدی، مصطفی (۱۳۴۳-۱۳۶۶). *فلور ایران*. شماره ۱۴-۱. تهران: انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.
- پوررستمی، رمضانعلی؛ زاهدی امیری، قوام الدین؛ اعتماد، وحید (۱۳۹۹). تغییرات مکانی ذخیره و ترسیب کربن لاشبرگ و لایه‌های خاک در منطقه جنگلی پارک جهان‌نما. *مجله جنگل ایران*، ۱۲ (۳)، ۳۱۷-۳۳۰. [https://www.ijf-isaforestry.ir/article\\_120267.html?lang=fa](https://www.ijf-isaforestry.ir/article_120267.html?lang=fa)
- جهانتاب، اسفندیار؛ یاری، رضا؛ قاسمی آریان، یاسر؛ صفاری امان، مریم؛ مودب، هادی (۱۴۰۱). بررسی و تعیین ارزش اقتصادی ذخیره کربن در پیکره و خاک رویشگاه دو گونه درمنه دشتی (*Artemisia sieberi*) و وشا (*Dorema ammoniacum*) در مراتع منطقه دره‌باز شهرستان سرایان، خراسان جنوبی. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۹ (۳)، ۱۷۰-۱۶۱.

<https://doi.org/10.22092/ijrdr.2022.127627>

چیت‌ساز، وحید؛ پرویزی، امیری (۱۴۰۱). اثر نوع گونه گیاهی و عملیات اصلاح مرتع بر ظرفیت تثبیت کربن مراتع بوته‌زار دهقان، استان اصفهان. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۹ (۲)، ۱۱۰-۱۹۶. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2022.126759>

حسین جعفری، سمیرا؛ صادقی‌نیا، مجید (۱۴۰۳). بررسی میزان ذخیره کربن در گیاه غالب و خاک دو منطقه تحت چرای دام‌های اهلی و وحشی در درمنه‌زارهای مهریز استان یزد. *مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی*، ۳ (۲)، ۵۳-۶۲. <https://doi.org/10.22034/emj.2024.717349>

داجلری، حسین؛ زاهدی امیری، قوام‌الدین؛ عبدی، احسان؛ جوانمیری، محسن؛ عسگری، محمد (۱۴۰۲). برآورد ظرفیت ترسیب کربن خاک و زی توده زیرزمینی در توده آمیخته راش و ممرز (مطالعه موردی: جنگل لیره‌سر تنکابن). *مجله جنگل ایران*، ۱۵ (۲)، ۱۴۱-۱۵۴. <https://doi.org/10.22034/ijf.2022.337770.1865>

دهداری، سمیه؛ نعودست، فریبا؛ کاظمی، سیده‌رویا؛ فرهی‌نیا، مریم؛ شجاعی، فاطمه (۱۴۰۰). فلور، شکل زیستی و پراکنش جغرافیایی گیاهان حوزه آبخیز دره انار باغملک استان خوزستان. *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۳۴ (۲)، ۴۲۷-۴۱۱. <https://doi.org/20.1001.1.23832592.1400.34.2.15.4>

رستم‌پور، مسلم؛ یاری، رضا؛ میرمیران، سیده محبوبه (۱۴۰۳). مقایسه میزان ترسیب کربن خاک چند گونه گیاهی در مناطق بیابانی خراسان. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۳۱ (۴)، ۳۴۷-۳۶۲. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2025.132714362-347>

سلطانی‌پور، محمدمامین؛ اسدپور، رحمان (۱۳۹۹). بررسی فلور، شکل زیستی و پراکنش جغرافیایی گیاهان حوضه دهگین استان هرمزگان. *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۳۳ (۳)، ۶۶۲-۶۷۶. <https://doi.org/20.1001.1.23832592.1399.33.3.2.6>

شهبازی، کریم؛ مارزی، مصطفی؛ محمدی، محمدحسین؛ اسدی، حسین؛ فتحی‌گردلیدانی، ارژنگ؛ هاشمی‌نسب‌زواره، کبری‌سادات؛ طلوعی، رویا؛ بهشتی، مهدی؛ آویزگان، ایوب؛ چراغی، میثم (۱۴۰۳). روش‌های تجزیه خاک: نمونه‌برداری، روش‌های شیمیایی و فیزیکی. *انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب*. ۱۰۷۴ صفحه.

صفی‌خانی، کیوان (۱۴۰۲). بررسی فلورستیک کوه قراولخانه اسداباد در استان همدان، ایران. *علوم زیستی گیاهی*، ۱۵ (۱)، ۶۴-۲۷. <https://doi.org/10.22108/ijpb.2024.138498.1328>

عسگری، یوسف؛ ایرانمنش، یعقوب؛ پوره‌اشمی، مهدی (۱۴۰۰). برآورد ارزش اقتصادی و مقایسه ذخیره کربن در رویشگاه‌های مختلف جنگلی استان کهگیلویه و بویراحمد. *مجله جنگل ایران*، ۱۳ (۲)، ۱۶۹-۱۸۲. <https://doi.org/10.22034/ijf.2021.276293.1767>

عسگری، حمیدرضا؛ علی‌نژاد، محمد (۱۴۰۳). تحلیل مکانی و مدل‌سازی ترسیب کربن گیاه Atriplex در مراتع چپر‌قویمه استان گلستان. *حفاظت زیست بوم گیاهان*، ۱۲ (۲۴)، ۴۶-۳۵. <http://pec.gonbad.ac.ir/article-1-926-en.html>

فتاحی، بختیار؛ آقا بیگی امین، سهیلا؛ ایلدرمی، علیرضا؛ قربان‌پور دلپوند، مانده (۱۳۹۸). تأثیر احیاء و رک‌زارها با یونجه‌کاری دیم بر ترسیب کربن (مطالعه موردی: استان همدان). *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۶ (۲)، ۳۰۲-۳۱۲. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2019.119353>

قربان‌نیا، داریوش؛ زندی اصفهان، احسان؛ امیرجان، محمد؛ نجاتیان، ابوالفضل (۱۴۰۱). ارزیابی توان ذخیره کربن گونه‌های شوروروی *Suaeda fruticosa*، *Tamarix leptoptala*، *Tamarix aphylla* و *Alhagi camelorum* و گونه غیرشورروی *Artemisia sieberi*. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۹ (۳)، ۱۷۱-۱۸۰. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2022.127628>

مصداقی، منصور (۱۳۹۰). *توصیف و تحلیل پوشش گیاهی*. مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی.

مظفریان، ولی‌الله (۱۳۸۹). *درختان و درختچه‌های ایران*. تهران: انتشارات فرهنگ معاصر.

میرداودی، حمیدرضا؛ زندی اصفهان، احسان؛ گودرزی، غلامرضا؛ فرمینی، علی (۱۴۰۰). ظرفیت ذخیره کربن گونه‌های *Lycium depressum* Stocks و *Zygophyllum fabago* L. و خاک رویشگاه‌های آنها در کویر میقان، اراک. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۸ (۲)، ۳۴۰-۳۲۸. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2021.124169>

نوری، سهیلا؛ سپهری، عادل؛ بارانی، حسین؛ فدایی، فاطمه (۱۳۹۷). بررسی فلور، شکل زیستی و عناصر رویشی گیاهان منطقه گذر نواحی رویشی ایران و تورانی و صحرا-سندی در استان سیستان و بلوچستان. *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۳۱ (۲)، ۴۶۳-۴۵۲. <https://doi.org/20.1001.1.23832592.1397.31.2.18.6>

## References

- Adnani, S. M., Pourmeidani, A., Zandi Esfahan, E. & Tavakoli Neko, H. (2025). Evaluation of the carbon sequestration of halophyte species and soil of saline habitats (Case study - Hoz Sultan lake). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56(4), 983-994. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.386851.669859>. (In Persian)
- Asgari, H. R., & Alinejad, M. (2024). Spatial analysis and modeling of carbon sequestration by Atriplex plants in Chaparquimeh rangelands, Golestan Province. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 12(24), 35-46. <http://pec.gonbad.ac.ir/article-1-926-en.html>. (In Persian)
- Asgari, H. R., Solaimani Sardo, M., Kiani, F., & Heshmati, G. A. (2013). Effects of planting Haloxylon and Atriplex on soil carbon sequestration in desertified land reclamation (Case study: Kerman Province). *International Journal of Environmental Resources Research*, 1(2), 131-140. <https://ijerr.gau.ac.ir>
- Askarii, Y., Iranmanesh, Y., & Pourhashemi, M. (2021). The economic value and comparison of carbon storage in different forest areas in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province. *Iranian Journal of Forest*, 13(2), 169-182. <https://doi.org/10.22034/ijf.2021.276293.1767>. (In Persian)
- Assadi, M. (1988-1996). *Flora of Iran*. Vol: 1-14. Tehran. Research Institute of Forests and Rangelands Publication. (In Persian)
- Bargali, S. S., Shahi, C., Bargali, K., Negi, B., & Khatri, K. (2022). Energy and monetary efficiencies at the different altitudinal agroecosystems in central himalaya, India. *Heliyon* 8 (11), e11500. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11500>
- Birdsey R., Heath, I., & Williams, D. (2000). Estimation of Carbon Budget Model of the United State Forest Sector Advances in Terrestrial Ecosystem Carbon Inventory, *Measurements and Monitoring Conference in Raleigh, North Carolina, October, 3-5*, 51-59.
- Bisht, S., Rawat, G. S., Bargali, S. S., Rawat, Y. S., & Mehta, A. (2024). Forest vegetation response to anthropogenic pressures: a case study from Askot Wildlife Sanctuary, Western Himalaya. *Environment, Development and Sustainability*, 26(4), 10003-10027. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03130-2>
- Challenge, S., Egeru, A., & Nyombi, K. (2022). Soil carbon and nitrogen stocks in traditionally managed rangeland biomes in Karamoja sub-region, Uganda. *African Crop Science Journal*, 30(1), 127-140. <https://doi.org/10.4314/acsj.v30is1.10S>
- Chitsaz, V., & Parvizi, Y. (2022). The impacts of plant species and rangeland practices on the carbon sequestration capacity (Case study: Dehaghan watershed, Isfahan province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 29 (2), 110-196. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2022.126759>
- Dajleri, H., Zahedi Amiri, G., Abdi, E., Javanmiri Pour, M., & Asgari, M. (2023). Appraisal of Carbon Sequestration Capacity of Soil and Underground Biomass in Mixed stands of Beech and Hornbeam (A case study: Lirasar Forest- Tonekabon). *Iranian Journal of Forest*, 15(2), 141-154. <https://doi.org/10.22034/ijf.2022.337770.1865>. (In Persian)
- Davis, P. H. (1965-1988). *Flora of Turkey and the East Aegean Island*. vols. 1-10. Edinburgh. Edinburgh University Press.
- Dehdari, S., Noedoost, F., Kazemi, S. R., Farahinia, M., & Shojaei, F. (2021). Flora, Life Form and Chorology of plants in the Dareh Anar watershed basin in Bagmalek- Khuzestan. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 34(2), 411-427. <https://doi.org/20.1001.1.23832592.1400.34.2.15.4>. (In Persian)
- Fatahi, B., Aghabeigiamin, S., Ildoromi, A., & ghorbanpour Dalivand, M. (2019). Effect of rehabilitation of Hulthemia-lands with rainfed alfalfa on carbon sequestration (case study: Hmedan provinse). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 26(2), 302-312. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2019.119353>. (In Persian)
- Ghorbanian, D., Zandi Esfahan, E., Amirjan, & Nejatian, A. (2022). Evaluation of carbon sequestration potential *Suaeda fruticosa*, *Tamarix aphylla*, *Tamarix leptoptala* and *Alhagi camelorum* Species (Halophyte Species) and *Artemisia sieberi* (Non Halophyte Species). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 29(3), 171-180. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2022.127628>. (In Persian)
- Godde, C. M., de Boer, I. J. M., Ermgassen, E. Z., Herrero, M., van Middelaar, C. E., Muller, A.,

- Roos, E., Schader, C., Smith, P., Zanten, H. H. E., & Garnett, T. (2020). Soil carbon sequestration in grazing systems: Managing expectations. *Climatic Change*, 161(3), 385–391. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02673-8>
- Hossein Jafari, S., & Sadeghinia, M. (2024). Investigation of carbon sequestration in dominant plant and soil in two regions under livestock and wildlife grazing in Artemisia plain of Mehriz in Yazd Province. *Management of Natural Ecosystems*, 3(2), 53-62. <https://doi.org/10.22034/emj.2024.717349>
- Hua, F., Bruijnzeel, L. A., Meli, P., Martin, P. A., Zhang, J., Nakagawa, S., ... & Balmford, A. (2022). The biodiversity and ecosystem service contributions and trade-offs of forest restoration approaches. *Science*, 376(6595), 839-844. <https://doi.org/10.1126/science.Abl4649>
- Hutchinson, G. E. (1975). *A treatise on limnology*, vol., 3, Limnological botany, John Wiley & Sons Inc., New York, 645 p.
- Indufor. (2002). *Assessing forest based carbon sinks in the Kyoto protocol: Forest management and carbon sequestration*. Discussion Paper, 115 p.
- Jahantab, E., yari, R., Ghasemi Aryan, Y., Saffari Aman, M., & Moadab, H. (2022). Investigating and Determining the Economic Value of Carbon Reserves in the Soil and Body of two Species of *Artemisia sieberi* and *Dorema Ammoniacum* in Darebaz Sarayan Rangelands, Sarayan, South Khorasan. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 29(3), 161-170. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2022.127627>. (In Persian)
- Jankju, M., Mellati, F., & Atashgahi, Z. (2011). Flora, Life Form and Chorology of Winter and Rural Range Plants in the Northern Khorasan Province, *Iran. Journal of Rangeland Science*, 1 (4), 269-282. <https://oiccpres.com/jrs/article/view/2255>
- Lv, J., Chi, Y., Zhao, C., Zhang, Y., & Mu, H. (2019). Experimental study of the supercritical CO<sub>2</sub> diffusion coefficient in porous media under reservoir conditions. *Royal Society Open Science*, 6(6), 181902. <https://doi.org/10.1098/rsos.181902>
- MacDicken, K. G. (1997). *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects*. Winrock International Institute for Agricultural Development, Forest Carbon Monitoring Program
- Manral, V., Bargali, K., Bargali, S. S., Jhariya, M. K., & Padalia, K. (2022). Relationships between soil and microbial biomass properties and annual flux of nutrients in central himalaya forests, India. *Land Degradation Dev*, 33 (12), 2014– 2025. <https://doi.org/10.1002/ldr.4283>
- Mesdaghi, M. (2001). *Vegetation description and analysis*. Mashhad Jihad Daneshgahi Press, Mashhad. (In Persian)
- Mirdavoudi, H., Zandi Esfahan, E., Goudarzi, G., & Famaheini, A. (2021). Carbon storage capacity of *Lycium depressum* Stocks and *Zygophyllum fabago* L. and soil (rooting depth) of their habitats in Meyghan playa, Arak. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 28(2), 328-340. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2021.124169>. (In Persian)
- Mozaffarian, V. (2010). *Trees and shrubs of Iran*. 3<sup>rd</sup> edition. Farhang Moaser Publisher, Tehran. (In Persian)
- Noori, S., Sepehry, A., Barani, H., & Fadaie, F. (2018). Floristic studies, life forms and chorotype of plants in the transitional zone of Irano-Turanian and Sahara-Sindian phytochoria in Sistan and Baluchestan Province. *Iranian Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 31(2): 436-452. <https://doi.org/20.1001.1.23832592.1397.31.2.18.6>. (In Persian)
- Ordibehesht, M., Shirvany, A., Matinizadeh, M., Ravanbakhsh, H., & Tavakolineko, H. (2024). Evaluation of the chemical factors, Carbon storage and biodiversity indicators in two species of *Haloxylon ammodendron* and *Tamarix hispida* in Qom province. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 21(2), 282-267. <https://doi.org/10.22092/ijfrpr.2023.362667.1585>. (In Persian)
- Porrostami, R., Zahedi Amiri, Q., & Etemad, V. (2020). Spatial variability of carbon storage and sequestration in leaf litter and layers of soil in the forest area of Jahannama Park. *Iranian Journal of Forest*, 12(3), 317–330. [https://www.ijf-iseforestry.ir/article\\_120267.html?Lang=en](https://www.ijf-iseforestry.ir/article_120267.html?Lang=en). (In Persian)
- Rechinger, K. H. (Ed.) (1963-2015). *Flora Iranica*. vols. 1-181. Akademische Druck-U

Verlagsanstalt, Graz.

- Rostampour, M., Yari, R., & Mirmiran, S. M. (2025). Comparison of soil carbon sequestration of several plant species in the desert areas of South Khorasan. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 31(4), 347-362. [https://doi: 10.22092/ijrdr.2025.132714](https://doi.org/10.22092/ijrdr.2025.132714)
- Safikhani, K. (2023). Floristic survey of Qaravolkhaneh Mountain in Asadabad of Hamedan province, Iran. *Journal of Plant Biological Sciences*, 15(1), 27-64. [https://doi: https://doi.org/10.22108/ijpb.2024.138498.1328](https://doi.org/10.22108/ijpb.2024.138498.1328)
- Shahbazi, K., Marzi, M., Mohammadi, M.H., Asadi, H., Fathi-Gardlidani, A., Hasheminasbzavareh, K., Tolooi, R., Beheshti, M., Avizhgan, A., & Cheraghi, M. (2024). *Soil analysis methods: sampling, chemical and physical methods*. Soil and Water Research Institute Publications. (In Persian)
- Soltanipoor, M. A., & Asadpour, R. (2020). Flora, life form and chorology of Dehgin basin, Hormozgan Province. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(3), 662-676. <https://doi.org/20.1001.1.23832592.1399.33.3.2.6>. (In Persian)
- Takhtajan, A. (1986). *Floristic regions of the world*. University of California, Berkeley.
- Walkley, A. (1974). A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils- effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituents. *Soil Science* 63, 251-264.
- Zellweger, F., Flack-Prain, S., Footring, J., Wilebore, B., & Willis, K. J. (2022). Carbon storage and sequestration rates of trees inside and outside forests in Great Britain. *Environmental Research Letters*, 17(7), 074004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac7cc7>
- Zohary, M., (1973). *Geobotanical Foundations of the Middle East*. Gustav Fischer Verlag. 2 vols. 765p.