دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره دهم، شماره بیستم
http://pec.gonbad.ac.ir

علمی-پژوهشی

# بررسی عکس العمل ذخیره کربن به شاخص‌های مختلف غنا و تنوع کارکردی در تیمارهای مختلف بیولوژیکی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ارنگه، استان البرز)

**حامد فرضی[1]، رضا تمرتاش[2]، زینب جعفریان[3]*، محمدرضا طاطیان[4]، منصوره کارگر[5]**

[1] دانش آموخته دکتری علوم مرتع، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
[2] دانشیار گروه مرتعداری،دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
[3] استاد گروه مرتعداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
[4] دانشیار گروه مرتعداری،دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
[5] دکتری علوم مرتع، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز، کرج

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۷

**چکیده**

**جوامع یا اکوسیستم‌هایی که دارای تنوع زیستی بیشتری هستند، دارای سطوح بالاتری از کارکرد و خدمات اکوسیستمی نیز هستند؛ لذا ارتباط تنوع کارکرد و پایداری جوامع گیاهی از موارد ضروری برای پیش‌بینی کارکرد اکوسیستم است . هدف از تحقیق حاضر ارتباط بین ذخایر کربن (به‌عنوان کارکرد اکوسیستم) و شاخص‌های مختلف تنوع گونه‌ای و کارکردی و همچنین اثرات اقدامات بیولوژیکی و مکانیکی بر روی مولفه‌های پوشش گیاهی و خاک است. بدین‌اینمنظور حوضه آبخیز ارنگه با مساحت ۱۰۰۹۸/۵۳ هکتار در استان البرز انتخاب شد. اقدامات بیولوژیکی مطالعه‌شده در این پژوهش به‌ترتیب شامل کپه‌کاری، بذرپاشی، قرق و مدیریت چرا بودند و هم‌چنین یک سایت شاهد انتخاب شد. شاخص‌های تنوع کارکردی مورد مطالعه در منطقه نمونه‌برداری شامل شاخص رائو، چندوجهی محدب، یکنواختی کارکرد، واگرایی کارکرد و غنای کارکرد بودند. نمونه‌برداری از پوشش گیاهی در فصل رویش منطقه در اردیبهشت و خرداد سال ۱۳۹۳ به روش سیستماتیک-تصادفی در ۸۰۰ پلات ۱ مترمربعی در امتداد ۸۰ ترانسکت ۱۰۰ متری با توجه به گونه‌های موجود در منطقه انجام گردید. در طول هر ترانسکت تعداد دو نمونه خاک در تیمارهای مختلف مناطق احیاء و شاهد از دو عمق ۰-۱۵ و**

*نویسنده مسئول: Z.Jafarian@sanru.ac.ir



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

**۳۰-۱۵ سانتی‌متری در مجموع برداشت گردید. شاخص‌های غنا و تنوع گونه‌ای و شاخص‌های تنوع کارکردی با استفاده از نرم‌افزار Fdiversity محاسبه شد. هم‌چنین برای بررسی ارتباط بین ذخایر کربن شاخص‌های غنا و تنوع گونه‌ای و کارکردی از رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده شد. نتایج آنالیز رگرسیون چندمتغیره حاکی از آن بود که بیشترین R2 مربوط به کربن بیومس به میزان ۰/۷۲ بود و متغیرهای تاثیرگذار بر آن، یکنواختی کارکرد و غنای گونه‌ای بودند. هم‌چنین شاخص‌های رائو، یکنواختی، شانون و تنوع کارکردی در کربن کل اکوسیتم تاثیرگذار بودند. نتایج این تحقیق می‌تواند در ارزش‌گذاری اقتصادی غیرمستقیم تنوع از طریق ارزش‌گذاری کربن کاربرد داشته باشد.**

**واژه‌های کلیدی: خدمات اکوسیستم، تنوع کارکردی، ذخیره کربن، غنای کارکرد، تیمار بیولوژیک**

## مقدمه

مراتع در حدود نیمی از خشکی‌های جهان را تشکیل می‌دهند و یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های خشکی برای ترسیب کربن به‌شمارمی‌روند که مقدار ترسیب آن‌ها در واحد سطح ناچیز است؛ اما با توجه به وسعت زیاد خود، ظرفیت زیادی در ترسیب کربن دارند. تنها راهکار شناخته شده، ترسیب کربن توسط اکوسیستم‌های خاکی با ابزارهای مدیریتی کارا، نظیر عملیات کارآمد مکانیکی و احیایی آبخیزداری است (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۰ ؛ شاهروخ و همکاران، ۱۳۹۶). گیاهان اساس بسیاری از فرایندهای پایه‌ای و اصلی اکوسیستم‌ها و خدمات آن محسوب می‌شوند (Diza et al., 2007). گیاهان طی فرایند فتوسنتز، کربن را از اتمسفر گرفته، آن را صرف سوخت‌وساز و رشد می‌نمایند و باقی‌مانده کربن را در اندام‌های خود ذخیره می‌کنند. در این میان مشخصه‌ها و صفات مختلفی از گیاه در میزان و نحوه عمل ذخیره کربن نقش دارند که در نهایت سبب ایجاد یک برایند و قابلیت منحصربه‌فرد در گیاهان مختلف می‌شود که تفاوت در توانایی ذخیره کربن گونه‌ها را به‌دنبال‌دارد. تنوع گونه‌ای به‌طور بالقوه توانایی کمی در ذخیره کربن در بلندمدت دارد و از طرفی دیگر ازآنجایی‌که ترکیب گونه‌ای مراتع شامل تعداد گونه‌های متفاوتی است، امکان بررسی توانایی ترسیب هرگونه به‌صورت جداگانه امری زمان‌گیر و پرهزینه است. ازاین‌رو باید از شاخص‌هایی استفاده کرد که میزان ترسیب کربن مراتع راحت‌تر تخمین زده شود. یکی از شاخص‌هایی که در دهه‌های اخیر مورد توجه بسیاری از دانشمندان قرارگرفته‌است، شاخص تنوع کارکردی است. در خارج از کشور مطالعات بسیاری درباره شاخص‌های تنوع کارکردی با ذخایر کربن به‌ویژه در اکوسیستم‌های جنگلی انجام گرفته است که می‌توان از جمله به تحقیقات کنتی و دیاز (Conti and Diza, 2013) در بررسی ارتباط بین تنوع کارکرد گیاهان با ذخیره کربن در گرن چاگو آرژانتین؛ راوات و همکاران (Rawat et al., 2019) در بررسی ارتباط بین تنوع کارکردی گیاهان و ذخیره کربن در اکوسیستم‌های جنگلی معتدل در هیمالایای هندوستان؛ و



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

فعالیت بیولوژیکی و تنوع کارکرد در کربن خاک در سیستم‌های کشت متفاوت در لهستان (JezierskaTys et al., 2020) اشاره نمود. در داخل کشور مطالعه‌ای در این زمینه صورت نگرفته است. با توجه به بلایای طبیعی سال‌های گذشته، از جمله خشکسالی‌ها و سیل که مراتع منطقه مورد مطالعه را مورد تهدید قرارداده است، محاسبه تنوع کارکردی می‌تواند در جهت پویایی و پایداری این مراتع و از طرف دیگر پایداری این مراتع می‌تواند کمک زیادی به کاهش آلودگی هوا و ترسیب کربن نماید. در گذشته مطالعات مربوط به ترسیب کربن در مراتع تک‌گونه‌ای و یا چندگونه‌ای بوده است و نقش مراتع به‌عنوان یک اکوسیستم پویا به‌طورکلی در ترسیب کربن مطالعه نشده است. علاوه بر این، درباره اثرات اقدامات بیولوژیکی-مکانیکی بر تنوع کارکرد و ارتباط شاخص‌های تنوع کارکرد با ترسیب کربن نیز مطالعه و پژوهشی صورت نگرفته است؛ لذا این تحقیق با هدف ارزیابی و تعیین کمی اثرات عملیات بیولوژیکی بر ترسیب کربن خاک و شاخص‌های تنوع کارکردی انجام شد.

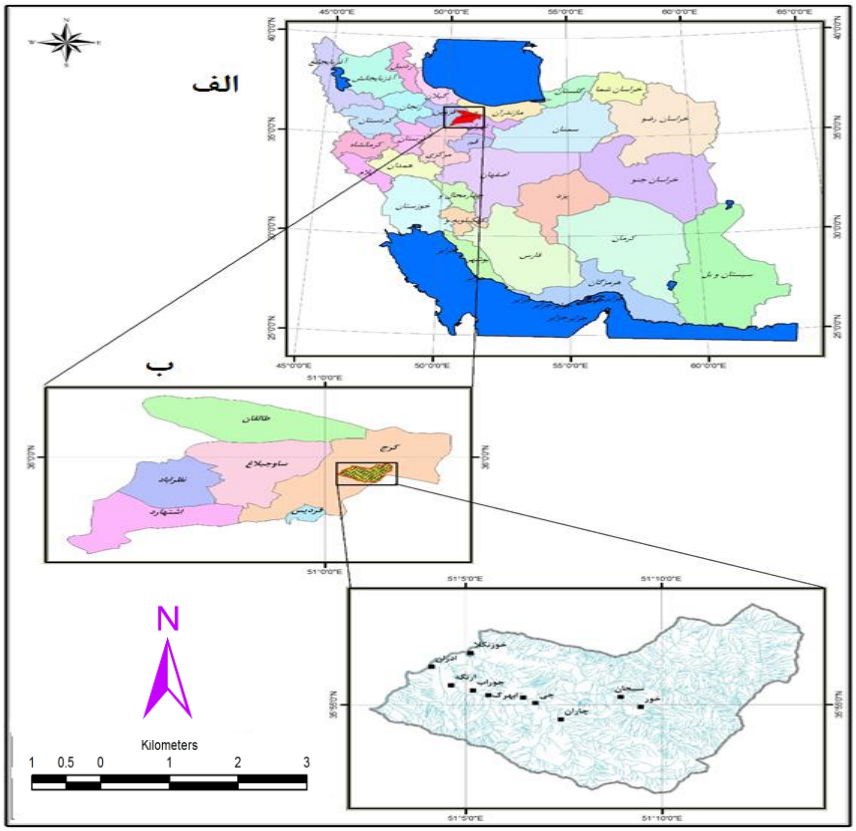
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز ارنگه با مساحت ۱۰۰۹۸/۵۳ هکتار در استان البرز و بخش مرکزی شهرستان کرج واقع شده است. این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی بین ′۰۲ °۵۱ تا ′۱۳ °۵۱ طول شرقی و ′۵۴ °۳۵ تا ′۵۷ °۳۵ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). حداکثر و حداقل ارتفاع به ترتیب ۳۶۶۵ و ۱۶۸۵ متر از سطح دریا است. میانگین بارندگی سالانه ۶۴۲/۹ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۹/۳ درجه سانتی‌گراداست. بیشتر مساحت منطقه مورد مطالعه دارای کاربری مرتعی است. مساحت مراتع حوزه ۱۰۷۶۲ هکتار است. تیپ‌های گیاهی مرتعی نیز همانند بخش‌های دیگر مناطق کوهستانی البرز مرکزی با تأثیرپذیری از وضعیت توپوگرافی چندان متنوع نیست و شامل *Arrhenaterum elatius* - *Agropyron sp.*، *Bromus tomentellus* - *Coronilla varia* - *Dactylis gelomerata* -*SP* و *Agropyron* و *Astragalus sp* است.



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]




**شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان**

نمونه‌برداری از پوشش گیاهی: برای نمونه‌گیری ابتدا تیمارهای مورد مطالعه در حوضه آبخیز شناخته شدند که شامل اقدامات بیولوژیکی به‌ترتیب شامل کپه‌کاری، بذرپاشی، قرق، مدیریت چرا بودند؛ هم‌چنین یک سایت شاهد نیز انتخاب گردید. عملیات کپه‌کاری با گیاهان مرتعی خوش‌خوراک و سازگار با منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است که مهمترین آنها عبارتند از: *Agropyron trichophorum*، *Ag. Desertorum*، *Secale montanum*، *Festuca ovina*، *Poterium sangoisorba*، *Medicago sativa* و *Onobrychis sativa*. کل عرصه‌های درنظرگرفته‌شده برای این عملیات، در مجموع ۴۵۴ هکتار است. عملیات حفاظت و قرق در سطح ۲۵۷۵ هکتار انجام گردید. عملیات مدیریت چرا در سطح ۲۷۸۹ هکتار انجام شد. بذرپاشی نیز در سطح ۲۵۱۶ هکتار انجام شد. برای عملیات بذرپاشی نیز گونه‌های *Agropyron desertorum*، *Secale montanum*، *Ag. Trichophorum*، *Festuca ovina* و *Poterium sangoisorba* در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری از



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

پوشش گیاهی در فصل رویش منطقه (اردیبهشت و خرداد) به روش سیستماتیک- تصادفی در ۸۰۰ پلات ۱ مترمربعی در امتداد ۸۰ ترانسکت ۱۰۰ متری انجام گردید. بدین صورت که در هر تیمار بیولوژیک ۱۶ ترانسکت ۱۰۰ متری که در روی هر ترانسکت ۱۰ پلات یک متر مربعی به فواصل ده متر (مجموع ۱۶۰ پلات) استقرار گردید. شایان ذکر است که ابعاد پلات در تمامی تیمارهای مورد بررسی با توجه به گونه‌های موجود در منطقه انتخاب شد ( مقدم، ۱۳۸۶). در طول هر ترانسکت تعداد دو نمونه خاک در تیمارهای مختلف مناطق احیا و شاهد در مجموع از دو عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری برداشت گردید. نحوه استقرار ترانسکت‌ها در تیمارهای بیولوژیکی با توجه به جهت دامنه‌ها انتخاب شد. در هرپلات درصد سطح تاج پوشش، لاشبرگ، سنگ و سنگریزه، تراکم و ترکیب گونه‌ای نیز ثبت گردید. هم‌چنین در هرپلات ویژگی‌های کارکردی گیاهان شامل طول عمر، فرم رویشی، روش تکثیر و نوع گرده‌افشانی تعیین و اندازه‌گیری شدند. گونه‌های گیاهی موجود و ویژگی‌های کارکردی آنها با استفاده از منابع معتبر گیاه‌شناسی مانند فلور رنگی ایران، فلور ایران فلور ایرانیکا و رده‌بندی گیاهان مظفریان مورد شناسایی قرار گرفتند. برای تعیین تیپ بیولوژیک از روش طبقه‌بندی رانکایر استفاده شد (جهانتاب و همکاران، ۱۳۹۸). برای اندازه‌گیری بیوماس هوایی از روش نمونه‌گیری مضاعف استفاده شد. بدین‌صورت که در ۲۵ درصد از قطعات نمونه به‌روش قطع و توزین و استفاده از معادله رگرسیونی بین درصد پوشش و تولید در سایر پلات‌ها برای هر گونه در هر تیمار محاسبه گردید. به‌منظور برآورد کربن ترسیب شده در بیوماس هوایی در تیمارهای مختلف درصد خاصی از سهم گونه‌ها در ترکیب گاهی به عنوان مبنا در نظر گرفته شد.

**نمونه‌برداری از لاشبرگ**: در هر تیمار، به‌منظور برآورد وزن و در نهایت مقدار کربن ترسیب شده به وسیله لاشبرگ در هر پلات، لاشبرگ سطح خاک جمع‌آوری و وزن شد و پس از خشک شدن درصد رطوبت آنها تعیین گردید؛ وزن به‌دست‌آمده به هکتار تعمیم داده شد. به‌منظور تعیین ضرایب تبدیل در نمونه‌های بیوماس هوایی ریشه و لاشبرگ، ابتدا نمونه‌های گیاه و لاشبرگ خشک و سپس وزن شدند. سپس برای تعیین درصد رطوبت در هر گرم از نمونه‌های گیاهی و لاشبرگ نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون ۷۵ درجه قرارداده شد. برای تعیین درصد کربن آلی در هر گرم از نمونه از روش احتراق خشک در کوره الکتریکی استفاده گردید (تمرتاش و همکاران،۱۳۹۱). در این تحقیق دمای کوره ۴۵۰ درجه سانتیگراد و به مدت سه ساعت بوده است. در این روش میزان کاهش وزن ماده به‌جامانده در کوره معادل ماده آلی است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ۵۰ درصد ماده الی برابر کربن آلی موجود در گیاه است. پس از به‌دست آوردن ضرایب تبدیل بیومس هوایی و لاشبرگ به کربن ذخیره کربن آلی در



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

بیومس هوایی و لاشبرگ در هر هکتار و برای هر نوع عملیات در کل سایت مطالعاتی محاسبه گردید (رابطه ۱ و ۲).

رابطه ۱

$$OM = \frac{DW - AW}{DW} \times 100$$

رابطه ۲

$$OC = OM \times 100$$

OM= ماده آلی OC= کربن آلی AW= وزن خاکستر نمونه
DW= وزن خشک نمونه

رابطه ۳ مقدار کربن آلی × بیومس (کیلوگرم در هکتار) = مقدار کربن در بیومس

هم‌چنین با داشتن عمق خاک (d) بر حسب متر و وزن مخصوص ظاهری (BD) (گرم بر سانتی‌متر مکعب) ذخیره کربن (CS) بر حسب تن در هکتار با فرمول زیر محاسبه شد (رابطه ۴).

رابطه ۴ $CS=100\times OC\ (\%)\times BD\times d$

سپس میانگین وزنی ذخیره کربن خاک در واحد سطح محاسبه شد. در نهایت برای کل منطقه در هر تیمار میزان کربن ترسیب یافته در خاک مشخص گردید.

**تجزیه و تحلیل آماری**

شاخص‌های تنوع کارکردی مورد مطالعه در منطقه نمونه‌برداری شامل شاخص رائو، چندوجهی محدب، یکنواختی کارکرد، واگرایی کارکرد، غنای کارکرد بودند که محاسبه این شاخص‌های غنا و تنوع گونه‌ای و شاخص‌های تنوع کارکردی با استفاده از نرم‌افزار Fdiversity انجام شد. برای بررسی ارتباط بین ذخایر کربن، شاخص‌های غنا و تنوع گونه‌ای و کارکردی از رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده شد. بدین‌صورت که ذخایر کربن به‌عنوان متغیر وابسته و شاخص‌های غنا و تنوع گونه‌ای و کارکردی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. شایان ذکر است این تجزیه و تحلیل‌ها در نرم‌افزار R نسخه ۳.۱.۱ انجام گرفت.

**نتایج**

**همبستگی بین شاخص‌های تنوع گونه‌ای و کارکردی با ذخایر کربن**: نتایج همبستگی بین شاخص‌های تنوع گونه‌ای و کارکردی با ذخایر کربن نشان داد که بین یکنواختی کارکرد و شاخص



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

واگرایی کارکرد ارتباط مثبت و معنی‌داری وجود دارد. هم‌چنین ذخیره کربن بیومس با شاخص‌های تنوع کارکردی، شاخص رائو، شاخص چندوجهی محدب، غنای گونه‌ای و یکنواختی ارتباط مثبت و معنی‌داری داشت. هم‌چنین شاخص یکنواختی با شاخص چندوجهی محدب ارتباط منفی و با شاخص غنای گونه‌ای معنی‌داری داشت (جدول ۱).

**پاسخ ذخیره کربن به شاخص‌های مختلف غنا و تنوع کارکردی و گونه‌ای در تیمارهای مختلف بیولوژیکی:** نتایج آنالیز رگرسیون چندمتغیره در مرتع شاهد بیانگر این مطلب بود که شاخص‌های چندوجهی محدب، یکنواختی کارکرد، غنای کارکرد در کربن بیومس تاثیرگذار بودند (p=۰/۰۰۱، R2=۰/۷۶ ). هم‌چنین در کربن آلی خاک شاخص‌های یکنواختی کارکرد، غنای کارکرد، شاخص رائو، غنای گونه‌ای تاثیر گذار بودند (p=۰/۰۰۱، R2=۰/۷۶ ). بیشترین R2 مربوط به ترسیب کربن خاک به میزان ۰/۸۵ است که متغیرهای تاثیرگذار در آن غنای کارکرد و گونه‌ای، تنوع کارکرد و شاخص سیمپسون بودند (جدول ۲). سایر جدول‌ها نیز در ذیل آورده شده است.



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

**جدول ۱- همبستگی بین شاخص‌های تنوع گونه‌ای و کارکردی با ذخایر کربن**

| | FDiv | FEve | FRic | Rao | CHull | S | H | E | D | AGB | SCS | AL | SOC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FDiv | | | | | | | | | | | | | |
| FEve | -۰/۵۸* | ۱ | | | | | | | | | | | |
| FRic | ۰/۶۶ | ۰/۰۵* | ۱ | | | | | | | | | | |
| Rao | ۰/۰۱ | ۰/۷۷ | ۰/۲۱ | ۱ | | | | | | | | | |
| CHull | -۰/۲۶* | ۰/۰۲۷ | ۰/۶۵ | -۰/۰۷ | ۱ | | | | | | | | |
| S | ۰/۰۶۴** | ۰/۰۱* | ۰/۳۸* | -۰/۰۲۲ | ۰/۰۹** | | | | | | | | |
| H | ۰/۰۲* | ۰/۰۶۶ | ۰/۱۰ | ۰/۰۳ | ۰/۰۵ | -۰/۰۶۵ | | | | | | | |
| E | ۰/۰۷ | -۰/۰۳ | ۰/۴۱ | -۰/۳۱ | -۰/۰۴۹* | ۰/۹۱* | ۰/۳۷ | | | | | | |
| D | -۰/۳۲ | ۰/۲۷ | -۰/۱۱ | -۰/۴۱* | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۶ | ۰/۰۲۲ | ۰/۳۸* | | | | | |
| AGB | ۰/۰۴* | ۰/۰۶۷ | ۰/۴۵* | ۰/۰۳۶ | ۰/۳۳* | ۰/۸۴* | ۰/۴۱ | ۰/۳۲* | -۰/۰۵ | | | | |
| SCS | ۰/۱۷ | ۰/۲۵ | ۰/۱۲ | ۰/۰۵۴* | ۰/۴۸ | ۰/۴۱ | ۰/۰۷* | ۰/۱۹ | ۰/۴۹ | -۰/۴۴ | | | |
| AL | ۰/۴۶** | ۰/۰۹* | ۰/۲۹ | -۰/۴۹ | ۰/۰۵* | ۰/۱۷ | ۰/۰۲ | ۰/۰۰ | -۰/۲۲* | -۰/۷۶ | ۰/۹۶ | | |
| SOC | ۰/۰۴* | ۰/۲۱* | ۰/۴۴ | ۰/۰۶ | ۰/۳۷ | ۰/۱۰* | ۰/۲۴* | -۰/۰۷* | ۰/۴۲ | ۰/۵۴* | ۰/۰۳۲ | - | |
| | | | | | | | | | | * | * | ۰/۲۱ | |
| TEC | ۰/۲۲ | ۰/۴۸* | ۰/۸۷* | ۰/۱۱** | ۰/۰۵۵ | ۰/۳۲* | ۰/۰۴۷* | -۰/۳۱ | ۰/۰۸* | ۰/۰۵* | ۰/۲۱* | ۰/۲۴ | ۰/۰۹ |
| | | | | | | | | | | * | | * | |

*: در سطح پنج درصد معنی‌داری **:درسطح یک درصد معنی‌داری

FDiv: شاخص تنوع کارکردی، FEve: شاخص یکنواختی،FRic: غنای کارکرد، CHull: شاخص چندوجهی محدب، AGB: ذخیره کربن بیومس ،SCS: ترسیب کربن خاک،AL: کربن لاشبرگ،SOC: ذخیره کربن آلی خاک،TEC: کل ترسیب کربن اکوسیستم



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

**جدول۲- آنالیز رگرسیون چندمتغیره بین شاخص‌های تنوع کارکردی و گونه‌ای به ذخایر کربن در تیمار بیولوژیکی مرتع شاهد**

| متغیر پاسخ | شکل مدل | متغیرهای پیش‌گو | $R^2$ | Sig |
|---|---|---|---|---|
| کربن بیومس (AGB) | ۲۲/۱۴-۱۷۸/۲۳ CHull-۹/۶۱ FRic +۴/۷۰ FEve-۲۳/۶۶ D | *model* | ۰/۷۶ | ۰/۰۰۱ |
| | | CHull | | ۰/۰۰۳ |
| | | FRic | | ۰/۰۰۲ |
| | | FEve | | ۰/۰۰۱ |
| | | D | | ۰/۰۱۵ |
| کربن آلی خاک (SOC) | ۹۰/۴۳+۱۰۷/۵۶ FRic -۱۲۹/۸۵ Rao-۱۲/۲۰ E-۱۸/۹۰ S | *model* | ۰/۷۲ | ۰/۰۰۵ |
| | | FRic | | ۰/۰۱۵ |
| | | Rao | | ۰/۰۳۲ |
| | | E | | ۰/۰۰۵ |
| | | S | | ۰/۰۲۱ |
| کربن لاشبرگ (AL) | ۲۶/۱۲ +۱۲۱/۳۴ FDiv-۸۹/۳۲ H-۱۴۵/۷۶ E | *model* | ۰/۶۹ | ۰/۰۰۱ |
| | | FDiv | | ۰/۰۰۱ |
| | | H | | ۰/۰۰۳ |
| | | E | | ۰/۰۰۵ |
| ترسیب کربن خاک (SCS) | ۱۳۹/۱۱-۸۵/۷۲ FDiv-۲۲/۰۸ FRic-۴۱/۸۱ Rao-۱۶۶/۳۴ S-۱۲۸/۶۹ D | *model* | ۰/۸۵ | ۰/۰۰۱ |
| | | FDiv | | ۰/۰۰۵ |
| | | FRic | | ۰/۰۰۵ |
| | | Rao | | ۰/۰۰۱ |
| | | S | | ۰/۰۳ |
| | | D | | ۰/۰۲۵ |



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

**ادامه جدول (۲)**

| متغیر پاسخ | شکل مدل | متغیرهای پیش‌گو | $R^2$ | Sig |
|---|---|---|---|---|
| کربن کل اکوسیستم (TEC) | ۱۳۸/۶۵-۶۱/۸۳ FRic+ ۸۹/۱۱ E- ۴۷/۱۹ S- ۳۳/۰۴ Rao | *model* | ۰/۷۳ | ۰/۰۰۳ |
| | | Ric | | ۰/۰۰۱ |
| | | E | | ۰/۰۰۰ |
| | | S | | ۰/۰۰۱ |
| | | Rao | | ۰/۰۰۵ |

نتایج (جدول ۳) بیانگر این مطلب است که در کربن بیومس شاخص‌های غنای کارکرد و تنوع واگرایی و در کربن آلی خاک شاخص یکنواختی و شاخص رائو تاثیرگذار بود.



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

**جدول۳- آنالیز رگرسیون چند متغیره بین شاخص‌های تنوع کارکردی و گونه‌ای به ذخایر کربن در تیمار بیولوژیکی کپه کاری**

| متغیر پاسخ | شکل مدل | متغیرهای پیشگو | $R^2$ | Sig |
|---|---|---|---|---|
| کربن بیومس (AGB) | ۳۰/۰۲-۲۵/۶۹ FDiv-۴/۴۴ FRic | *model* | ۰/۸۱ | ۰/۰۰۱ |
| | | FDiv | | ۰/۰۰۱ |
| | | FRic | | ۰/۰۰۱ |
| | | | | ۰/۰۰۱ |
| کربن آلی خاک (SOC) | ۶۴/۱۱+۱۵۳/۹۱ FEve +۱۲۹/۸۵ Rao-۹/۴۴ S-۱۸/۹۰ D | *model* | ۰/۶۹ | ۰/۰۰۱ |
| | | FRic | | ۰/۰۰۱ |
| | | Rao | | ۰/۰۰۲ |
| | | S | | ۰/۰۰۱ |
| | | D | | ۰/۰۰۱ |
| ترسیب کربن خاک (SCS) | ۱۵۷/۳۳-۴۶/۱۲ CHull-۴۰/۱۱ FDiv-۲۸/۳۱ FEve-۱۲/۱۰ S | *model* | ۰/۸۱ | ۰/۰۰۲ |
| | | CHull | | ۰/۰۰۲ |
| | | FDiv | | ۰/۰۰۲ |
| | | FEve | | ۰/۰۰۱ |
| | | S | | ۰/۰۰۳ |
| کربن کل اکوسیستم (TEC) | ۱۶۶/۱۲-۴۷/۱۹ FRic+ ۵۵/۳۷ E- ۸/۴۱ S- ۲۰/۱۱ Rao | *model* | ۰/۷۴ | ۰/۰۰۱ |
| | | FRic | | ۰/۰۰۱ |
| | | E | | ۰/۰۰۰ |
| | | S | | ۰/۰۰۱ |
| | | Rao | | ۰/۰۰۱ |



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

نتایج (جدول ۴) بیانگر این مطلب است که در کربن لاشبرگ شاخص‌های غنای گونه‌ای، شاخص‌های یکنواختی کارکرد، شاخص تنوع واگرایی کارکرد و در ترسیب کربن خاک شاخص چندوجهی محدب و شاخص غنای کارکرد تاثیرگذار بود.

نتایج جدول( ۵ و ۶) نشان داد که در بین متغیرهای پاسخ ، کربن بیومس و کربن آلی خاک نسبت به تیمار بیولوژیکی قرق و مدیریت چرا پاسخ دادند. بدین ترتیب که شاخص چندوجهی محدب، غنای کارکرد و واگرایی کارکرد در بین شاخص‌های تنوع کارکرد اثرات بیشتری داشتند.

**جدول۴-آنالیز رگرسیون چندمتغیره بین شاخص‌های تنوع کارکردی و گونه‌ای به ذخایر کربن در تیمار بیولوژیکی بذرپاشی**

| متغیر پاسخ | شکل مدل | متغیرهای پیش‌گو | $R^2$ | Sig |
|---|---|---|---|---|
| کربن بیومس (AGB) | ۱۰/۷۷-۳۹/۲۱ FRic+۳/۶۵ FEve+ ۵۵/۱۶FDiv | *model* | ۰/۶۲ | ۰/۰۰۱ |
| | | FRic | | ۰/۰۰۱ |
| | | FEve | | ۰/۰۰۱ |
| کربن لاشبرگ (AL) | ۱۴/۷۹ +۵۲/۸۱ S+۴۴/۱۱ FEve-۲۱۱/۲۲ +FDiv | *model* | ۰/۷۹ | ۰/۰۰۳ |
| | | S | | ۰/۰۰۱ |
| | | FEve | | ۰/۰۰۳ |
| | | FDiv | | |
| ترسیب کربن خاک (SCS) | ۲۱۰/۲۲-۴۸/۵۰ CHull-۱۴/۲۳ FRic-۳۹/۶۲ D | *model* | ۰/۷۷ | ۰/۰۰۱ |
| | | CHull | | ۰/۰۰۱ |
| | | FRic | | ۰/۰۰۱ |
| | | D | | ۰/۰۰۲ |



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

**جدول۵- آنالیز رگرسیون چندمتغیره بین شاخص‌های تنوع کارکردی و گونه‌ای به ذخایر کربن در تیمار بیولوژیکی قرق**

| متغیر پاسخ | شکل مدل | متغیرهای پیش‌گو | $R^2$ | Sig |
|---|---|---|---|---|
| کربن بیومس (AGB) | ۳۶/۶۰-۱۹/۷۳ FRic+۳۰۹/۲۲ FDiv+۳۲/۶۶S | *model* | ۰/۷۱ | ۰/۰۰۱ |
| | | FRic | | ۰/۰۰۱ |
| | | FDiv | | ۰/۰۰۱ |
| | | S | | ۰/۰۰۱ |
| کربن آلی خاک (SOC) | ۱۴/۷۹ +۵۲/۸۱ CHull+۴۴/۱۱ S-۵۵/۶۹ E | *model* | ۰/۶۶ | ۰/۰۰۳ |
| | | CHull | | ۰/۰۰۱ |
| | | S | | ۰/۰۰۳ |
| | | E | | |
| ترسیب کربن خاک (SCS) | ۲۶۵/۱۰-۲۲/۴۱ FRic-۱۰/۱۱ E-۲۵/۱۱ D | *model* | ۰/۶۵ | ۰/۰۰۳ |
| | | FRic | | ۰/۰۰۱ |
| | | E | | ۰/۰۰۱ |
| | | D | | |

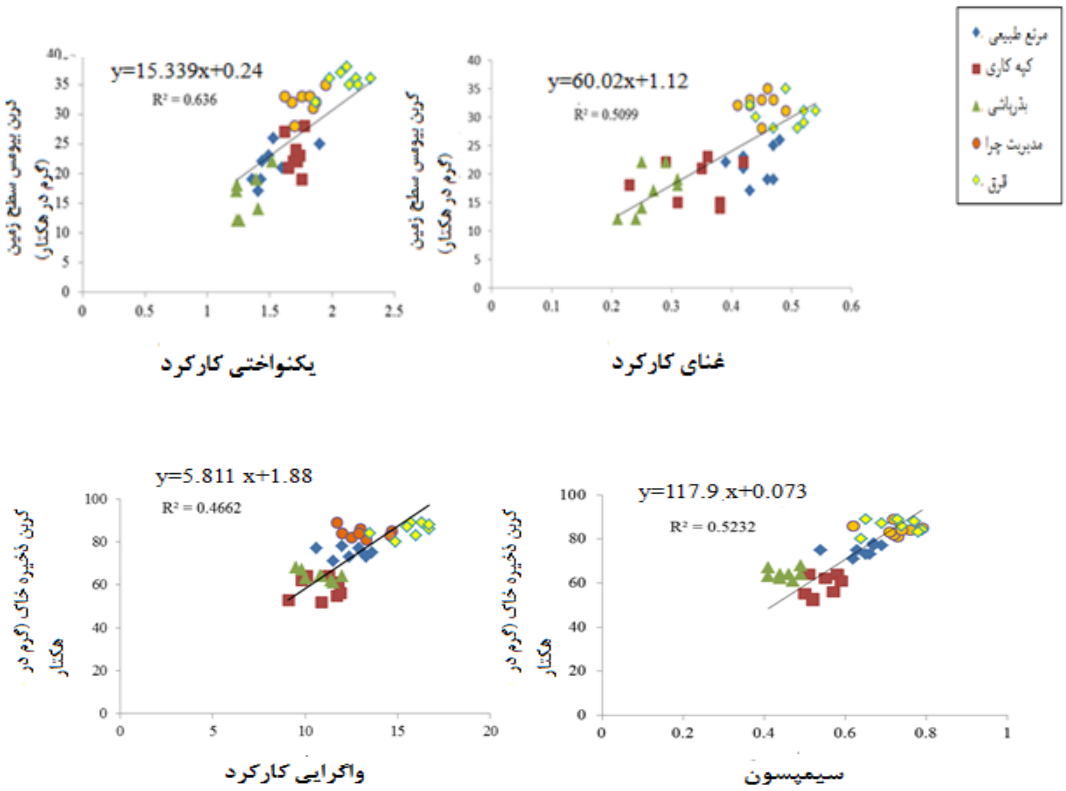
**جدول۶- آنالیز رگرسیون چندمتغیره بین شاخص‌های تنوع کارکردی و گونه‌ای به ذخایر کربن در تیمار بیولوژیکی مدیریت چرا**

| متغیر پاسخ | شکل مدل | متغیرهای پیش‌گو | $R^2$ | Sig |
|---|---|---|---|---|
| کربن بیومس (AGB) | ۱۲۱/۵۵-۳۲/۱۱ FRic+۳۰۹/۲۲ CHull+۶۵/۲۴D+ ۶۱/۳۸ E | *model* | ۰/۶۳ | ۰/۰۰۱ |
| | | FRic | | ۰/۰۰۱ |
| | | CHull | | ۰/۰۰۱ |
| | | D | | ۰/۰۰۱ |
| | | E | | |
| کربن آلی خاک (SOC) | ۷۹/۳۲ +۴۶/۳۳ FDiv+۴۴/۱۱ FEve-۱۲/۳۳ S | *model* | ۰/۷۹ | ۰/۰۰۳ |
| | | FDiv | | ۰/۰۰۱ |
| | | FEve | | ۰/۰۰۳ |
| | | S | | |



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

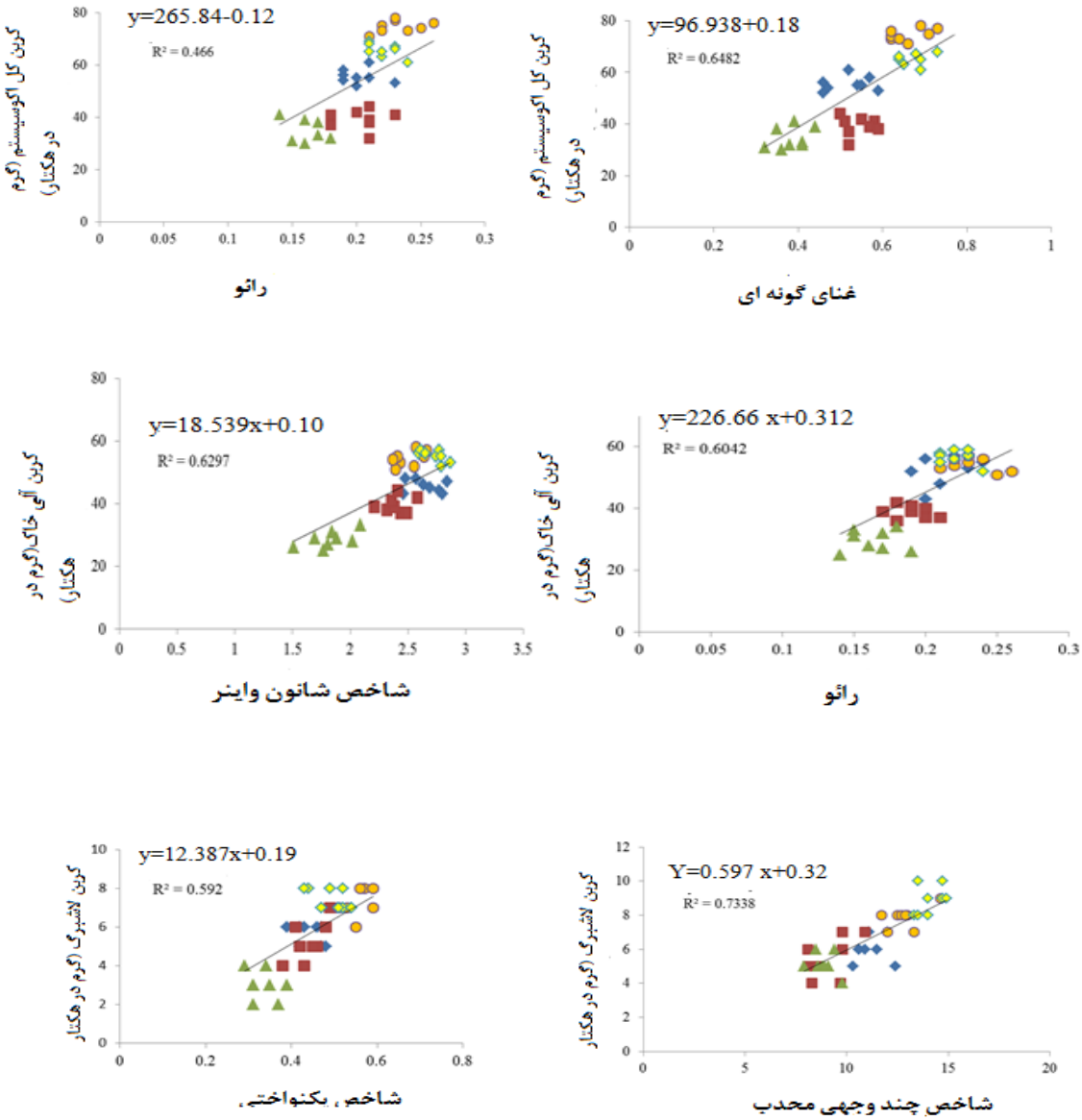
در (شکل ۲) نمودارهای رگرسیون خطی ساده بین ذخیره کربن و شاخص‌های غنا و تنوع گونه‌ای و کارکردی در تیمارهای مختلف بیولوژِیکی آورده شده است.




**شکل۲ -رگرسیون خطی ساده بین ذخیره کربن و شاخص‌های غنا و تنوع گونه‌ای و کارکردی در تیمارهای مختلف بیولوژِیکی**



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]




ادامه شکل (۲)



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

## بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات ما نشان داد که شاخص‌های تنوع گونه‌ای شامل غنا و یکنواختی گونه‌ای با میزان کربن ذخیره‌شده در کل اکوسیستم، خاک، لاشبرگ و بیوماس ارتباط معنی‌داری داشتند. نتایج نشان داد که بین یکنواختی و میزان کربن ذخیره‌شده در بیوماس رابطه منفی و معنی‌داری وجود دارد؛ به گونه‌ای که با افزایش یکنواختی، میزان کربن ذخیره‌شده توسط بیوماس کاهش یافته است. به این دلیل که در تیمارهای مطالعاتی که میزان بیوماس در نتیجه کربن ذخیره‌شده توسط بیوماس کاهش و یکنواختی افزایش یافته است، چرای دام صورت می‌گیرد. هم‌چنین در این سایت‌ها شواهدی مبتنی بر آتش‌سوزی نیز وجود دارد (Cont and Diaz, 2013, Asanok et al., 2021). در سایت‌هایی که میزان کربن کم است، با افزایش دوره رویشی میزان کربن آن کاهش پیدا می‌کند؛ چون در این سایت‌ها در اثر اقدامات آبخیزداری گیاه برای زنده ماندن مجبور است سطح برگ خود را افزایش دهد تا با افزایش میزان فتوسنتز مواد غذایی مورد نیاز خود را تامین کند، اما از طرف دیگر میزان کمتری انرژی برای تولید سالانه خود مصرف نماید (Chanteloup and Bonis , 2013). در تیمارهای قرق غنای گونه‌ای به بیشترین حد می‌رسد و در تیمار مدیریت چرا غنای گونه‌ای کاهش می‌یابد. کاهش تنوع گونه‌ای ممکن است در اثر چرای دام ناشی از ناتوانی گیاهان برای رشد مجدد و ظهور یک‌سری گونه‌های گیاهی غیر خوشخوراک و به تعداد کم باشد ( Tahmasebi et al., 2017). محققان در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که میزان کربن ذخیره‌شده توسط بیوماس تحت مدیریت قرق بیشتر از مناطق تحت چرای دام است (Derner and Schuman, 2007). منصوری و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعات خود بیان کردند که چرای دام باعث کاهش یکنواختی گونه‌ای می‌شود. درواقع آتش‌سوزی به‌عنوان یک عامل مخرب با ازبین بردن گیاهان بوته‌ای، درنتیجه باعث کاهش تنوع گونه‌ای و ناهمگنی در ترکیب گیاهی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که بین اجزای تنوع گونه‌ای و میزان کربن ذخیره‌شده توسط لاشبرگ رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد؛ علت این امر در واقع این است که سایت‌های تحت مدیریت، چرای آزاد دارند. به‌طورکلی محققان بیان داشتند که گیاهان کوچک برای مراحل زندگی خود به نور کمتری نیاز دارند؛ درحالیکه گونه‌های مرتفع نور بیشتری نیاز دارند که این امر خود باعث افزایش فتوسنتز و تولید بیشتر گیاهان می‌شود. در بررسی تفاوت تنوع گونه‌ای و تنوع کارکرد در تیمارهای مورد مطالعه، مشخص شد که تنوع گونه‌ای (شاخص‌های غنا و سیسمپسون و یکنواختی) در مناطقی که از نظر ارتفاعی در پایین‌دست بودند و اقدامات بیولوژیکی که رطوبت در بعضی مواقع کم بود، کاهش پیدا کرد (طهمورث و همکاران، ۱۳۹۵). این که تنوع کارکرد در مناطق با رطوبت کمتر افزایش داشته است، می‌تواند به این دلیل باشد که در این مناطق آشفتگی، مانند چرای دام و آتش-



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

سوزی ناهمگنی را در توزیع منابع بیشتر می‌کند و همزیستی گونه‌هایی با این استراتژی استفاده از منابع متفاوت را بالا می‌برد. این مطالعه همبستگی ضعیفی بین شاخص‌های تنوع گونه‌ای و تنوع کارکرد را نشان داد. این بدین علت است که مکانیسمی که همزیستی خیلی از گونه‌ها را باعث می‌شود، لزوماً عملکرد بین گونه‌ها را دربرنمی‌گیرد (Rawat et al., 2019; Li et al., 2021). گونه‌های چندساله دارای سطح برگ بیشتری هستند؛ لذا سطح جذب نور در آنها افزایش پیدا می‌کند؛ درنتیجه میزان فتوسنتز نیز افزایش پیدا می‌کند. با افزایش میزان فتوسنتز میزان تولید بیوماس میزان لاشبرگ ورودی و کربن وردی به اکوسیستم افزایش پیدا می‌کند. محققان بیان داشتند که گیاهان کوچک (اوایل مراحل توالی) برای طی مراحل زندگی خود به نور کمتری نیاز دارند؛ درحالیکه گونه‌های مرتفع (مراحل انتهایی توالی) نور بیشتری نیازدارند که این امر باعث افزایش فتوسنتز و تولید بیشتر گیاهان می‌شود (Dubuis et al., 2013). نتایج نشان داد که بالاترین میزان شاخص تنوع کارکرد مربوط به شاخص FDiv است که بیانگر تغییرپذیری کم این صفت است و گیاهانی با این ویژگی تحمل کمتری در برابر خطرات فیزیکی، مانند چرای حیوانات و باد دارند. هم‌چنین این شاخص FDiv با کربن ذخیره خاک ارتباط معنی‌داری داشت. این نتیجه نشان می‌دهد، گونه‌های گیاهی دارای اختلافات آشیانه‌ای زیادی بر روی منابع غذایی هستند و درنتیجه رقابت کمتری شکل می‌گیرد. برخی از محققان (Rossier, 2011) نیز به چنین نتایج مشابهی دست یافته‌اند. استفاده از گونه‌هایی با شاخص سطح ویژه برگ بالا (*Dactylis glomerata*، *Festuca arundinacea*) کربن محتوی بالا ( *Alhagi maurorum*) و وزن خشک برگ بالا (*Bromus tomentolus*) در احیای مرتع برای افزایش کربن ذخیره‌ای توصیه می‌شود. در ارتفاعات کاهش دما به‌صورت مستقیم سبب کاهش فعالیت میکرو ارگانیسم‌ها می‌شود. این امر باعث یک روند کاهشی در سرعت تجزیه ماده آلی و تجزیه سلولزی لاشبرگ در ارتفاعات بالا و دماهای سرد می‌شود. اکثر گونه‌های منطقه در این تحقیق مسیر فتوسنتز سه‌کربنه (C3) دارند؛ لذا این نوع گونه‌ها به‌دلیل ماهیت ذاتی خود در وضعیت سرد اقلیمی تولید زیادی دارند و با کاهش دمای محیط وضعیت برای تولید بالا و افزایش میزان ورودی کربن به خاک مساعد می‌شود. گیاهانی با طول عمر برگ بالا و برگ‌های با عناصر غذایی فقیر به‌صورت عمومی سرعت رشد کمی دارند. چوبی‌شدن نشانگر این است که جامعه با گونه‌های محافظه‌کار غالب شده است که کاهش قابلیت تولید را در پی دارد.

در بین شاخص‌های چندصفتی، شاخص FEve فقط در کربن بیومس رابطه معنی‌داری داشت؛ زیرا این شاخص از نظر اکولوژیکی پیچیده است و در نتیجه، اثرگذاری این شاخص ذخایر کربن مشکل است (Rossier, 2011). هم‌چنین مقدار شاخص زمانی که فراوانی نسبی گونه‌ها با یکنواختی کمتری توزیع شده باشند و زمانی که فاصله بین گونه‌ها نامنظم است، کاهش می‌یابد که نتیجه این تحقیق نیز مؤید



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

آن است که یکنواختی کارکرد در منطقه مورد مطالعه کم است(Cavanaugh et al., 2012). مطابق نتایج در هر یک از مناطق احیایی حداقل در ذخیره کربن مکانیسم‌های مختلفی برقرار بود و عوامل تبیین‌کننده کربن در هر سایت تا حدودی متفاوت بود و رفتارهای مختلف نشان داد. در منطقه قبل از اجرای اقدامات احیایی اشکال زیستی فانروفیت‌ها و کامفیت‌ها ابتدا کاهش و چند سال بعد افزایش پیدا کردند. این تغییر به دلیل قرارداشتن جوانه‌های رویشی اکثر بوته‌ها در انتها یا امتداد ساقه‌ها است؛ بنابراین عوامل اقلیمی یا آتش‌سوزی می‌تواند سبب تضعیف بوته‌ای‌ها و فانروفیت‌ها شود. بوته‌ها و درختچه‌هایی که توانایی ایجاد پاجوش و ریشه جوش را ندارند، مانند درمنه به راحتی توسط عوامل طبیعی تخریب می‌شوند و از بین می‌روند. بعد از تخریب به سرعت از طریق رشد رویشی (ریزوم) تولید مثل می‌کنند تا بتوانند عرصه را اشغال کنند و به حالت اولیه برگردند؛ لذا شاخص‌های تنوع کارکرد مبتنی بر چند ویژگی مانند شاخص رائو که در حقیقت تفاوت ویژگی‌های کارکردی است، ارتباط معنا-داری با ترسیب کربن خاک دارند ، اما به دلیل بی‌نظمی در پوشش گیاهی ارتباط ضعیفی با ذخایر کربن پوشش گیاهی دارد (Tahmasebi et al., 2017). به دلیل فراوانی همی‌کریپتوفیت‌ها و تروفیت‌ها بیانگر این می‌تواند باشد که این گیاهان در طی زمان کاهش یافتند و این ممکن است به دلیل فرآیند رقابت در عرصه باشد که البته عوامل دیگری چون مدیریت مرتع، شرایط اقلیمی نیز باشد، لذا شاخص‌هایی هم‌چون شاخص چندوجهی محدب که با فضای ویژگی گیاهان سروکار دارد، ارتباط چندانی با ذخایر کربن ندارد (Rawat et al., 2019). در مناطق احیایی که دارای رطوبت بالا و حاصلخیزی نسبت به منطقه شاهد است، افزایش تنوع ممکن است منجر به افزایش رقابت بین گیاهان گردد و در این شرایط ممکن است حداکثر کارکرد اکوسیستم در حداکثر تنوع اتفاق نیفتد. همچنین در منطقه مورد مطالعه، به نظر می‌رسد با افزایش غنای گونه‌ای، موجبات افزایش مکانیسم تسهیل گیاهان فراهم شده باشد. برای مثال، گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (برای مثال Astragalus verus) در منطقه قرق موجب بهبود حاصلخیزی خاک شده است و وضعیت را برای حضور سایر گونه‌ها در محیط فراهم می‌کنند. از طرفی دیگر، ارتباط معنی‌داری بین یکنواختی و تولید زی‌توده وجود نداشت. این نتیجه بیانگر اهمیت بیشتر حضور و غیاب گونه‌ها در ترکیب گیاهی نسبت به فراوانی نسبی آنها است. به عبارت دیگر، با افزایش سهم نسبی (فراوانی نسبی) گیاهان در ترکیب گیاهی، میزان تولید زی‌توده اکوسیستم تغییر معنی‌داری نشان نداد. با توجه به اینکه میزان تولید زی‌توده گیاهی و همچنین پتانسیل تولید زی‌توده در گیاهان مختلف یکسان نیست، افزایش یکنواختی گونه‌ای، می‌تواند به دلیل کاهش فراوانی نسبی گونه‌های غالب که تاثیر بیشتری در تولید زی‌توده اکوسیستم دارند، موجب کاهش تولید زیتوده شود. وجود ارتباط منفی و عدم وجود ارتباط بین یکنواختی و کارکرد اکوسیستم در مطالعات گذشته، تأییدی بر این توجیه نتایج حاصل از مطالعه حاضر است. با توجه به



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

نتایج فوق پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی با تعیین مهمترین مولفه تنوع، مقدمات معرفی آن به عنوان شاخصی برای سنجش قابلیت ذخیره کربن فراهم شود. شاخص انتخابی می‌تواند در طرح‌های پایش تنوع زیستی مورد استفاده قرار گیرد. هم‌چنین نتایج این تحقیق می‌تواند در ارزشگذاری اقتصادی غیر مستقیم تنوع از طریق ارزش‌گذاری کربن کاربرد داشته باشد.

## منابع


تمرتاش، ر.، طاطیان، م.ر.، یوسفیان، م. ۱۳۹۱. تاثیر گونه‌های رویشی مختلف در ترسیب کربن در مراتع جلگه‌ای میانکاله. مجله محیط‌شناسی، ۳۸ (۶۲) :۵۴-۴۵.

جهانتاب،ا.، میرزایی، م.ر.، غلامی، پ. ۱۳۹۸. بررسی تاثیر قرق کپه‌کاری شده بر تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از آنالیز چندمتغیره در مراتع تنگ سرخ شهرستان بویر احمد.نشریه علمی پژوهشی مرتع، ۱۳(۲): ۲۸۴-۲۷۴.

رفیعی ب.، لشنی زند، م.، شاهرخوندی، س.م. ۱۳۹۰. تاثیر عملیات مکانیکی و احیایی آبخیزداری در ترسیب کربن به منظور اصلاح تغییرات اقلیمی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد خرم آباد، ۶۵ ص.

شاهروخ، س.، سوری، م.، معتمدی، ج.، افتخاری، ع. ۱۳۹۶. اثربخشی عملیات کنتورفارو بر ترسیب کربن خاک و بیوماس مراتع خلیفان مهاباد. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۴ (۱): ۱۰۹-۹۸.

طهمورث، م.، جعفری، م.، احمدی، ح.، آذرنیوند، ح.، نظری سامانی، ع.ا. ۱۳۹۷. ارزیابی کمی اثر فعالیت‌های آبخیزداری بر ترسیب و ذخیره کربن به منظور کاهش تغییرات اقلیمی در حوزه آبخیز پرورد در حوزه آبخیز شاهرود. اکوهیدرولوژی، ۵ (۱): ۱۷۲-۱۶۱.

مقدم، م. ر. ۱۳۸۶. مرتع و مرتعداری. انتشارات دانشگاه تهران. ۴۷۰ ص.

منصوری، ز.، طهماسبی، پ.، سعیدفر، م.، شیرمردی، ح.ع. ۱۳۹۲. پاسخ تنوع عملکرد جوامع گیاهی به چرای حیوانات در طول شیب تغییرات بارش به منظور حفاظت مناطق استپی و نیمه استپی. نشریه حفاظت زیست بوم گیاهی، ۱ (۳) :۱۰۴-۹۱.

Asanok, L., Taweesuk, R., Kamyo, T. 2021. Plant Functional Diversity Is Linked to Carbon Storage in Deciduous Dipterocarp Forest Edges in Northern Thailand**.** Sustainability, 13, 11416.

Cavanaugh, K.C., Gosnell, J.S., Davis, S.L., Ahumada, J., Boundja, P., Clark, D.B., Mugerwa, B., Jansen, P.A., O'Brien, T.G., Rovero, F., Sheil, D. 2014. Carbon storage in tropical forests correlates with taxonomic diversity and




[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]

functional dominance on a global scale. Global Ecology and Biogeography, 23(5):563-573.

Chanteloup, P., Bonis, A. 2013. Functional diversity in root and above-ground traits in a fertile grassland shows a detrimental effect on productivity. Basic Applied Ecology 14:208–216.

Conti, G., Díaz, S. 2013. Plant functional diversity and carbon storage – an empirical test in semi-arid forest ecosystems. Journal of Ecology, 101: 18–28.

Derner, J.D., Schuman, G.E. 2007. Carbon sequestration and rangelands: Asynthesis of land management and precipition effects. Journal of Soil and Water Conservation, 62:77-85.

Díaz, S., Lavorel, S., de Bello, F. Grigulis, K., Robson, T.M. 2007. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(52):20684-20689

Dubuis, A., 2013 Predicting spatial patterns of plant biodiversity: from species to communities. Thesis Ph.D. University of Lausanne, 295 p

Jezierska‐Tys, S., Wesołowska, S., Gałązka, A., Joniec, J., Bednarz, J., Cierpiała, R. 2020, Biological activity and functional diversity in soil in different cultivation systems. International Journal of Environmental Science and Technology, 17:4189–4204.

Li, W., He, S.H., Cheng , X., Zhang, M. 2021, Functional diversity outperforms taxonomic diversity in revealing short‐term trampling effect. Scientific Reports, 11:18889

Rawata, M., Arunachalama, K., Arunachalamb, A., Alataloc, J., Pandeyd, R. 2019. Associations of plant functional diversity with carbon accumulation in a temperate forest ecosystem in the Indian Himalayas. Ecological Indicator, 98 : 861–868.

R Core Team., 2014. R: A Language and Environment for Statistical Computing (R Foundation for Statistical Computing, Vienna) Available at www.R-project.org./

Rossier, L. 2011. Predicting spatial patterns of functional traits. MSC Thesis. University of Lausanne, 44 p.

Tahmasebi, P., Moradi, M., Omidipour, R., 2017.Plant functional identity as the predictor of carbon storage in semi-arid ecosystems. Plant Ecology & Diversity, 10: 139–151.



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11 ]