دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره دوازدهم، شماره بیست و چهارم
http://pec.gonbad.ac.ir

علمی-پژوهشی

تحلیل مکانی و مدل‌سازی ترسیب کربن گیاه Atriplex در مراتع چپرقویمه استان گلستان

حمیدرضا عسگری[1*]، محمد علی نژاد[2]

[1] دانشیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
[2] دانشجوی دکتری مدیریت و کنرل بیابان، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸

چکیده

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی به‌دلیل افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی نیازمند کاهش گازهای گلخانه‌ای است. ترسیب کربن در زی‌توده گیاهی و خاک، راهکار ساده برای کاهش دی‌اکسید کربن اتمسفری بوده و باعث بهبود کیفیت هوا و افزایش تولید و حاصلخیزی خاک می‌شود. تحقیق حاضر در سال ۱۴۰۰ در منطقه چپرقویمه استان گلستان انجام شد تا میزان کربن ترسیب شده در خاک و گیاه آتریپلکس با لحاظ عوارض انسان‌ساز مانند جاده، بررسی شود. لذا با نمونه‌برداری از خاک و پوشش گیاهی در مکان‌های دارای گونه گیاهی آتریپلکس، میزان کربن ترسیب شده اندازه‌گیری و با استفاده از بسته نرم‌افزاری InVEST، نقشه ترسیب کربن تهیه شد. همچنین با برداشت مختصات گیاهان منطقه تحلیل مکانی میزان کربن ترسیب شده با استفاده از توابع مکانی در محیط نرم‌افزار R و Programita (توابع k رایپلی، g تک و چندمتغیره و تابع همبستگی نشان‌دار (MCF) انجام شد. تحلیل مکانی گونه آتریپلکس نشان داد که الگوی پراکنش آن پراکنده است و در نزدیکی جاده (گنبد-اینچه برون) بیشترین میزان کربن را ترسیب کرده (مقدار ۸۲۸/۸۵ کیلوگرم بر مترمربع) و با افزایش فاصله مقدار آن (مقدار ۲۵۸/۱۳ کیلوگرم بر مترمربع) کاهش یافته است. میانگین کل کربن ترسیب شده در منطقه مطالعاتی ۴۸۹/۳ کیلوگرم بر مترمربع است. الگوی مکانی آتریپلکس‌ها طبق نتایج تابع g(r)، در فواصل بیشتر از ۵ متر یکنواخت و پراکنده است و در سطح ۵ درصد قابل‌پذیرش است. تابع همبستگی نشان‌دار نشان داد که الگوی پراکنش مکانی گیاه آتریپلکس تأثیری بر میزان کربن ترسیب شده در این منطقه ندارد. شناخت گونه‌های بومی و سازگار با قابلیت ذخیره و نگهداشت کربن می‌تواند موجب تأکید بر اهمیت و توسعه‌ی خدمات اکوسیستم‌های طبیعی شده و عملیات مدیریت سرزمین و اصلاح و احیای اراضی تخریب یافته را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: **توابع مکانی، تحلیل فضایی، InVEST، بیابان‌زدایی، خدمات اکوسیستم**

مقدمه

افزایش جمعیت و نیازهای روزافزون انسان باعث افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی شده و باعث تغییر اقلیم و گرم شدن جهان گردیده است. حدود ۷۶۰ میلیارد تن کربن گازی در اتمسفر وجود دارد که سالانه ۶/۵ میلیون تن به آن اضافه می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۳). ترسیب کربن به شیوه‌ی افزایش تجمع کربن، راه‌کاری برای مدیریت میزان کربن است. گیاهان منبع اصلی کربن آلی خاک هستند و وضعیت کربن آلی خاک، شاخصی مهم برای سلامتی و پایداری اکوسیستم است. اهمیت کربن در خاک برای پایداری و کیفیت خاک، تولید محصول و حفظ کیفیت محیط‌زیست بسیار حائز اهمیت است. با توجه به نقش تعیین‌کننده‌ای که کربن در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد، افزایش مقدار آن در خاک، تأثیر مثبتی بر پایداری و کیفیت خاک، تولید محصول و کیفیت محیط‌زیست خواهد داشت (سعیدی‌فر و همکاران، ۱۳۹۴). ایران با داشتن ۸۶/۱ میلیون هکتار مرتع، پتانسیل بالایی در ترسیب کربن دارد

*نویسنده مسئول: Hamidreza.asgari@gau.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

(مهدوی و همکاران، ۱۳۸۸). با توجه به مشکلات گرمایش زمین و خشکسالی‌های متعدد، تمرکز بر فعالیت‌های مدیریتی مختلف برای ترسیب کربن در خاک افزایش یافته است. این به‌دلیل نقش مهم خاک در چرخه کربن جهانی بوده و به‌منظور مقابله با چالش‌های محیطی، تلاش برای افزایش ترسیب کربن در خاک صورت گرفته است (Asgari, 2014). ترسیب کربن با استفاده از مدیریت گیاهی طولانی مدت ذخیره کربن را در خاک را افزایش و انتشار دی‌اکسید کربن را کاهش می‌دهد (Saeidifar and Asgari., 2014).

تخمین پتانسیل ترسیب کربن خاک، یک فرآیند پیچیده است و به عملیات مدیریتی مختلف در هر منطقه بستگی دارد و به شکل‌های متفاوتی صورت می‌گیرد. با توجه ذخیره کربن در مراتع ۱۰ درصد کل ذخایر کربن بیوماس اکوسیستم‌های خاکی و ۳۰ درصد کل کربن آلی خاک را تشکیل می‌دهد (Challenge et al., 2022). مطالعات انجام شده توسط درنر و سچومن (Derner and Schuman, 2007) نشان می‌دهد که پاسخ محیط به تغییرات مدیریتی مرتع از جنبه ترسیب کربن متفاوت است و میزان ترسیب کربن در مناطق مختلف با توجه به گونه‌های گیاهی و خصوصیات رشد آن‌ها، شرایط فیزیولوژیکی و بیولوژیکی خاک، میزان ذخیره قبلی کربن در خاک، روش احیاء، روش مدیریتی و شرایط اقلیمی به‌ویژه مقدار بارندگی و ویژگی‌های خاکی، متفاوت است. با توجه به اهمیت روزافزون ترسیب کربن، نیاز به نرم‌افزارها و مدل‌هایی که اطلاعاتی در این زمینه را در اختیار تصمیم‌گیران قرار دهند، احساس می‌شود. یکی از نرم‌افزارهای نقشه‌سازی خدمات اکوسیستم، نرم‌افزار InVEST است که توسط پروژه سرمایه طبیعی توسعه‌یافته است (Sharp et al., 2019). این نرم‌افزار شامل مجموعه‌ای از مدل‌های مجزاست که به بررسی مکانی خدمات اکوسیستم و تغییرات آن‌ها با توجه به ترسیب کربن می‌پردازد. اگر میزان ذخیره و ترسیب کربن به‌عنوان یک خدمت اکوسیستمی کمی سازی شود و از لحاظ مکانی قابل تجسم شود، می‌تواند به‌عنوان بخشی از فرایند تصمیم‌گیری در نظر گرفته شود (اسداللهی و ماهینی، ۱۳۹۶). در این خصوص مطالعات متعددی صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، در مطالعه‌ای عسگری و همکاران (Asgari et al, 2013) به مطالعه اثرات کاشت Haloxylon و Atriplex بر ترسیب کربن خاک در احیای اراضی بیابانی استان کرمان پرداختند. نتایج آنان نشان داد که با کاشت این گیاهان، میزان کربن آلی خاک افزایش یافته و بهبود ویژگی‌های خاک افزایش می‌یابد و غلظت کربن آلی در مناطق کاشت Atriplex بیشتر از مناطق کاشت Haloxylon بوده و گزینه مناسبی برای ترسیب کربن خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک به نظر می‌باشد. وزیریان و همکاران (۱۳۹۴) نیز به‌بررسی رابطه‌ی تراکم گیاه آتریپلکس با میزان ترسیب کربن در مراتع اینچه‌برون استان گلستان پرداختند؛ نتایج آنان نشان داد که نرخ کربن ترسیب شده در خاک در منطقه‌ی گیاه آتریپلکس می‌تواند در احیای اراضی کشت شده نقش مؤثری ایفا نماید و بهبود خصوصیات خاک، حفاظت از خاک و کاهش گرمای جهانی را تسهیل می‌کند. هان و دانگ (Han and Dong, 2017) نیز در مطالعه‌ی خود با استفاده از مدل InVEST، به ارزیابی و نقشه‌برداری خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن در منطقه کوهستانی کارست در شهر گوانگ‌ژو در جنوب غربی چین پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین ذخیره و ترسیب کربن در این منطقه، ۳۱۰/۰۸ تن در هکتار بوده و این مقدار در حال کاهش است. هی و همکاران (He et al, 2016) با استفاده از مدل InVEST، اثرات توسعه شهری بر ذخیره‌سازی کربن منطقه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که با گسترش شهر پکن، ذخیره‌سازی کربن شدیداً آسیب دیده و میزان از بین رفتن کربن در دو دهه آینده، از میزان کاهش در طی دو دهه گذشته بیشتر خواهد بود. علت این افت، تبدیل گیاهان زراعی به اراضی شهر است. حسنوند و همکاران (۱۳۹۹) به برآورد خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن توسط گونه‌های مرتعی با استفاده از مدل InVEST در منطقه تیل‌آباد استان گلستان پرداختند و بیان نمودند گونه‌های مرتعی نقش بسزایی در ترسیب کربن دارد و شناخت گونه‌های بومی و سازگار هر منطقه، با قابلیت ذخیره و نگهداشت کربن نشانگر اهمیت اکوسیستم‌های طبیعی بوده که می‌توان عملیات مدیریت سرزمین و اصلاح و احیای اراضی تخریب یافته یا رها شده را از منظر شاخص ترسیب کربن دنبال نمود. بوداک و همکاران (Budak et al, 2023) به برآورد مکانی و مدلسازی ذخایر کربن آلی خاک در دشت یوکسکووا ترکیه پرداختند. آنان با بررسی شاخص‌های پوشش گیاهی نتیجه گرفتند که پوشش زمین تأثیر قابل توجهی بر ترسیب کربن خاک دارد و استفاده از تکنیک‌های جدید و مدلسازی

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

ترسیب کربن را بعنوان ابزاری مهم جهت مدیریت کربن در مناطق مختلف معرفی نمودند.

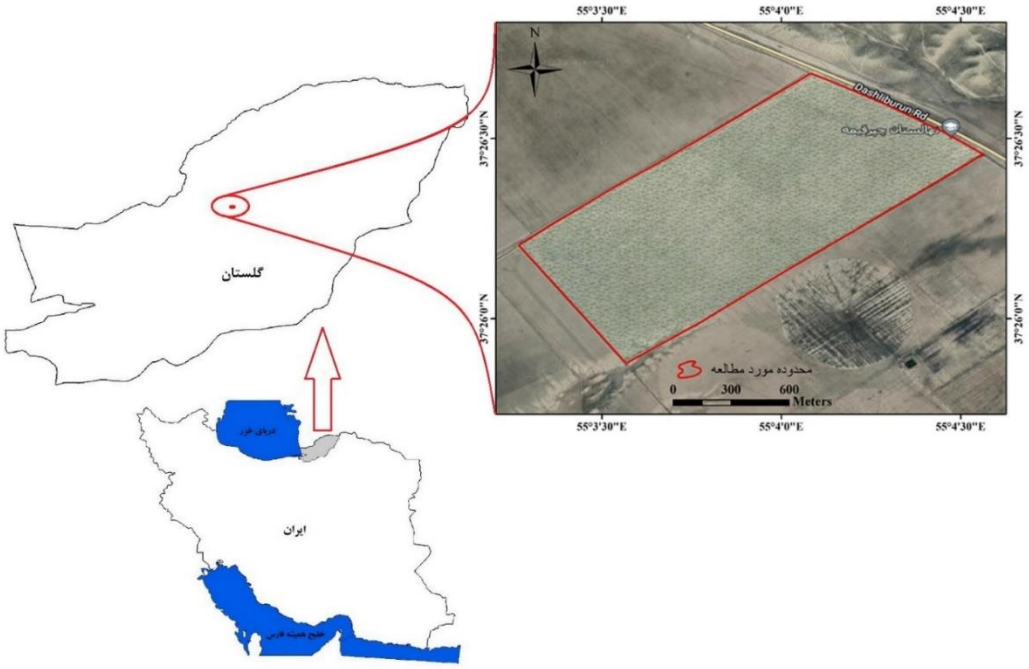
مطالعه‌ی مکانی میزان کربن ترسیب شده و تأثیر طبیعی یا مصنوعی در منطقه (مانند جاده) بر مقدار کربن ترسیب شده، این امکان را فراهم می‌کند که همبستگی بین پدیده‌ها و الگوی مکانی بین آن‌ها شناسایی شده و در نهایت برای برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب مورد استفاده قرار گیرد (Meftahi et al., 2022)؛ در این خصوص، مطالعاتی با هدف مدل‌سازی مکانی گیاهان مناطق خشک و نیمه‌خشک انجام شده است. برای مثال: علی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۷) به تحلیل مکانی الگوی نقطه‌ای و مدل‌سازی توسعه تپه ماسه-ای نبکا در دشت صوفیکم استان گلستان پرداختند. نتایج تحلیل مکانی آن‌ها با استفاده از توابع k رایپلی، g تک و چندمتغیره بیانگر الگوی مکانی کپه‌ای نبکاها در دشت صوفیکم بود. آن‌ها همچنین اشاره کردند که عارضه خطی جاده در سطح ۹۵ درصد رابطه مثبت و معنی‌داری با نبکاها داشته و با کم شدن فاصله از جاده‌ها، تعداد آن‌ها افزایش‌یافته است و الگوی نبکاها کپه‌ای‌تر می-شود. حسینعلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) به تحلیل مکانی الگوی نقطه‌ای تپه ماسه‌ای نبکا در منطقه شمال آق‌قلا، استان گلستان پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که الگوی مکانی گیاه هالکنموم و نبکاها در همه فواصل پراکنده بوده و در تمامی فواصل ارتباط متقابل و مثبتی داشته‌اند. بررسی مطالعات نشان می‌دهد که درک توزیع مکانی عوارض زمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک و نحوه شکل‌گیری آن‌ها دشوار است؛ زیرا عوامل پیچیده‌ای از جمله تغییرات ناگهانی و ناهمگنی‌های محیطی در این مناطق، در این مسئله دخالت دارند (Cipriotti et al., 2014). لذا بررسی الگوی پراکنش آن‌ها نقش مهمی داشته و به تعیین روش‌های مناسب برای اندازه‌گیری خصوصیات کمّی آن‌ها کمک شایانی می‌نماید. الگوی پراکنش نشان‌دهنده‌ی موقعیت متغیرها در محیط و نحوه آرایش آن‌ها نسبت به یکدیگر است (Salas-Eljatib et al., 2014) و آگاهی از آن در هر منطقه از ضروریات و مقدمات هر پژوهشی به‌حساب می‌آید، با توجه به اهمیت گیاه آتریپلکس در ترسیب کربن و اینکه تا کنون پژوهشی در خصوص الگوی مکانی این گیاه صورت نگرفته است، این تحقیق با هدف مطالعه تحلیل مکانی توان ترسیب کربن گیاه آتریپلکس در مراتع چپرقویمه استان گلستان صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه موردمطالعه با وسعت حدود ۱۳۰ هکتار در اراضی چپرقویمه، واقع در ۳۰ کیلومتری شمال گنبدکاووس در استان گلستان و در موقعیت ′۳۷°۲۶ عرض شمالی و ′۴°۵۰ طول شرقی و ارتفاع ۴۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. مراتع منطقه به‌صورت تپه‌ماهور و جلگه‌ای و شیب عمومی صفر تا دو درصد می‌باشد (شکل ۱). چپرقویمه معرف ناحیه وسیعی از مناطق خشک و شور دشت ترکمن صحرا است که پوشش گیاهی مراتع آن را به طور عمده گونه‌های یک‌ساله از خانواده گراس‌ها و بقولات یک‌ساله و به ندرت گیاهان چندساله و نیز به‌صورت بسیار پراکنده گونه درمنه دشتی تشکیل می‌دهند. خاک محل این منطقه سیلتی لوم، متوسط تا سنگین و از راسته آنتیسول‌ها بوده که دارای زهکشی مناسب و قابلیت نفوذ متوسطی می‌باشد. شوری خاک، متوسط تا زیاد با هدایت الکتریکی ۲۰ تا ۳۰ میلی‌موس بر سانتی‌متر بوده و دارای اسیدیته متوسط در حدود ۸-۵/۷ است. خاک منطقه به دلیل درصد سیلت بالا، استعداد بسیار زیادی از نظر فرسایش‌پذیری دارد (ابراهیمی محمدآبادی و همکاران، ۱۳۹۴).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه‌های استان گلستان و ایران مقیاس نقشه ایران و گلستان

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک:

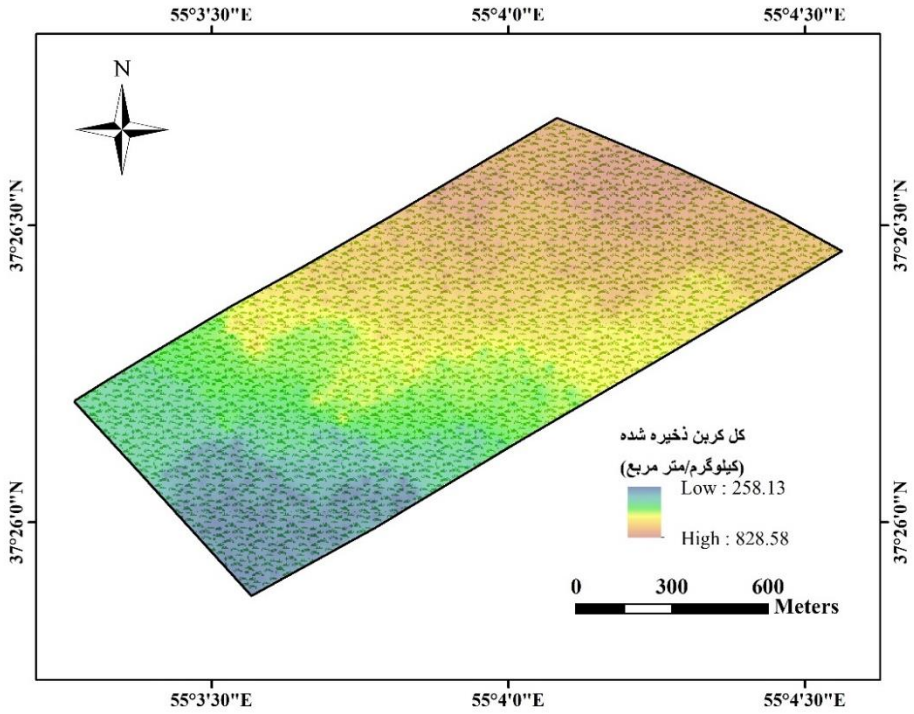
با توجه به هدف تحقیق، روش انجام این پژوهش در ۴ مرحله برنامه‌ریزی شد. ابتدا پس از تعیین منطقه مورد مطالعه، اطلاعات پایه از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان دریافت شد و پیمایش میدانی نمونه‌برداری از خاک و پوشش گیاهی (زیتوده اندام هوایی و زیرزمینی) از نقاط تعیین شده در محیط نرم‌افزار GIS، در قالب پلات-های ۲ در ۲ در ماه اردیبهشت سال ۱۴۰۰ برداشت شد، به‌طوری که زی‌توده هوایی (رشد سال جاری) گونه‌های مورد بررسی از ۳۵ نقطه و جهت برآورد زی‌توده زیرزمینی از نسبت بین ریشه و ساقه (فروزه و همکاران، ۱۳۸۷) استفاده شد. سپس نمونه‌برداری خاک (عمق ۳۰ – ۰ سانتی‌متر) نیز از ۳۵ نقطه انجام گرفت و نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال یافت. در گام بعدی پس از تعیین میزان کربن ترسیب شده توسط اندام‌های مختلف گونه‌ها (Atriplex canescens و Atriplex lentiformis) با روش احتراق در کوره الکتریکی (Macdicken et al., 1997) و نمونه‌های خاک منطقه با روش (Walkly Black, 1934) در آزمایشگاه، به‌منظور کمی‌سازی و نقشه-سازی ترسیب کربن، مدل ذخیره و ترسیب کربن از بسته نرم‌افزاری مدل InVEST استفاده شد. جهت ثبت دقیق موقعیت هر یک از گیاهان آتریپلکس موجود در منطقه مورد مطالعه، از دستگاه GPS مولتی فرکانسه استفاده گردید. در نهایت به منظور ایجاد پایگاه اطلاعاتی ترسیب کربن خاک و پردازش داده‌ها و تجزیه‌وتحلیل‌های آماری (به‌منظور دستیابی به اهداف تحقیق)، از نرم‌افزارهای R (Gentleman and Ihaka, 1996) و Programita (Thorsten, 2014) و توابع k رایپلی، g تک و چندمتغیره، تابع L، تابع O-ring و تابع همبستگی نشان‌دار (MCF) استفاده شد.

نتایج

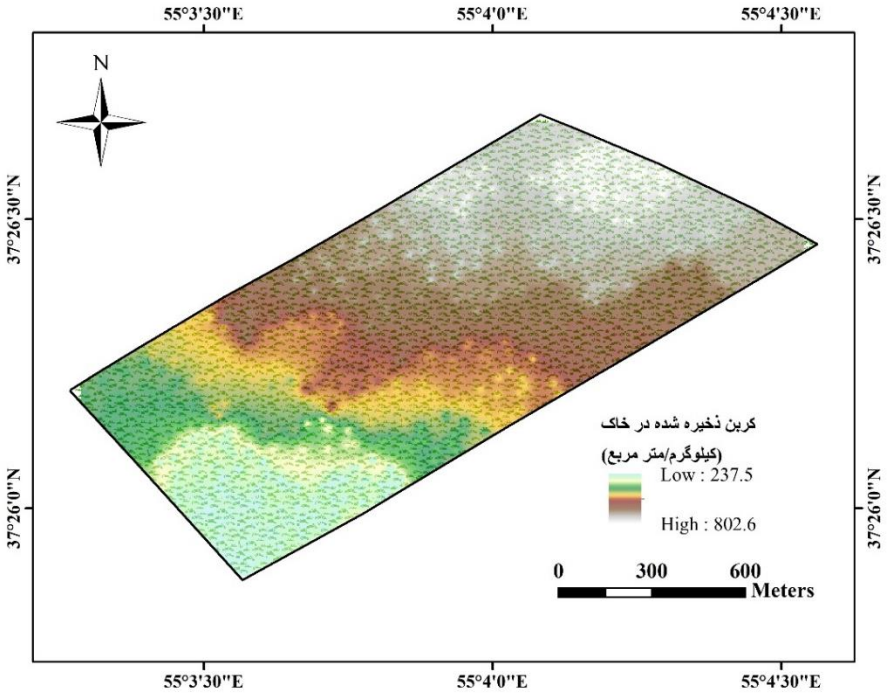
مدل ذخیره کربن برای منطقه مورد مطالعه با ورودی-های نقشه کاربری اراضی، اطلاعات ترسیب کربن خاک و گیاه استفاده گردید که نقشه ترسیب کربن کل منطقه (شکل ۲) و خاک (شکل ۳) حاصل از مدل InVEST در ادامه ارائه گردیده است. با توجه به نقشه بالاترین میزان ترسیب کربن ۸۲۸/۸۵ کیلوگرم بر مترمربع که در قسمت شمال شرق و شرقی منطقه و در حاشیه جاده (جاده گنبد-اینچه برون) می‌باشد و پایین‌ترین میزان کربن ترسیب شده ۲۵۸/۱۳ کیلوگرم بر مترمربع که مربوط به قسمت غربی منطقه است همچنین مقدار میانگین کل کربن ترسیب شده در منطقه مطالعاتی ۴۸۹/۳ کیلوگرم بر مترمربع می‌باشد. نقشه ترسیب کربن خاک با مدل InVEST بیانگر این است که بالاترین میزان کربن ترسیب شده توسط خاک ۸۰۲/۶

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

کیلوگرم بر مترمربع در حاشیه جاده و پایین‌ترین میزان کربن ترسیبی ۲۳۷/۵ کیلوگرم بر مترمربع در مناطق دورتر به جاده می‌باشد. نتایج نشان داد که میزان ترسیب کربن با دور شدن از جاده کاهش می‌یابد که علت آن را می‌توان به تردد وسایل نقلیه در نتیجه افزایش میزان دی‌اکسید کربن در حاشیه جاده نسبت داد.



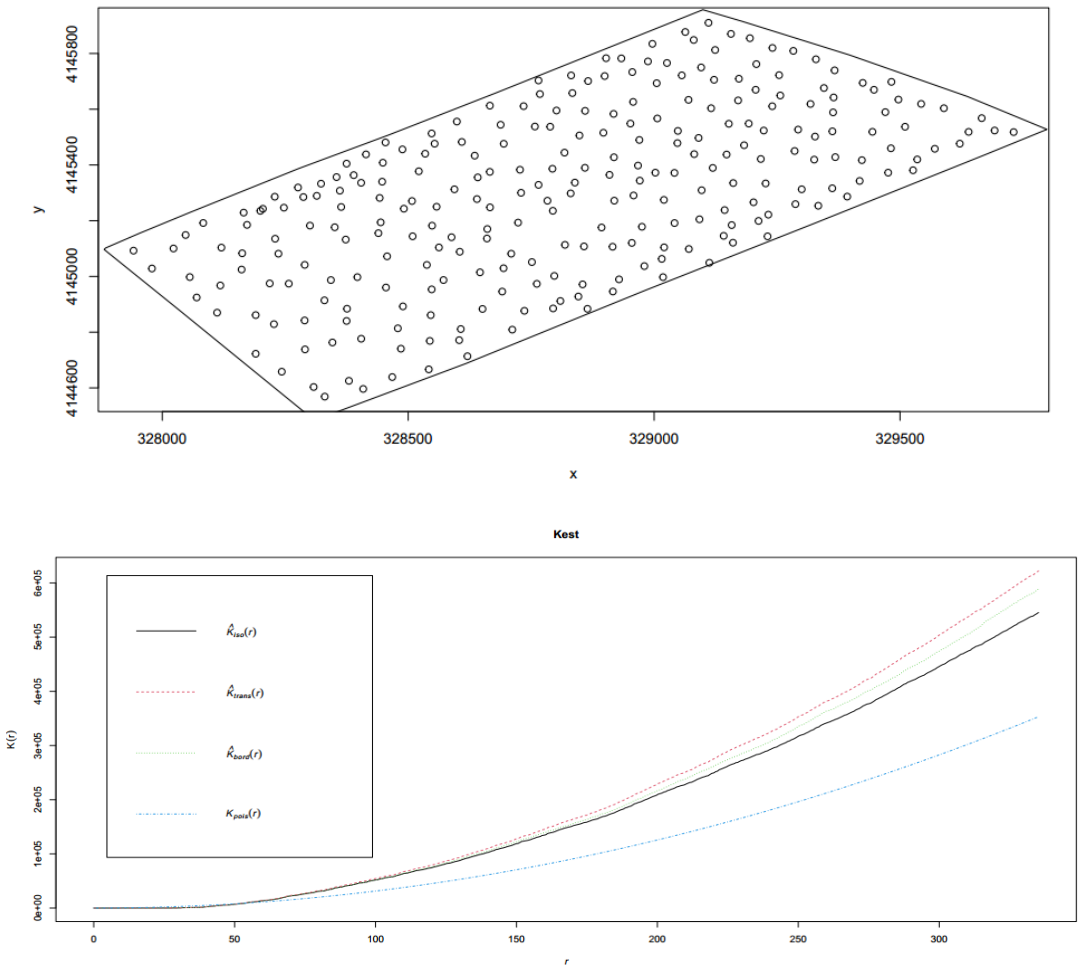
شکل ۲- ترسیب کربن کل منطقه با استفاده از مدل InVEST



شکل ۳- ترسیب کربن خاک منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل InVEST

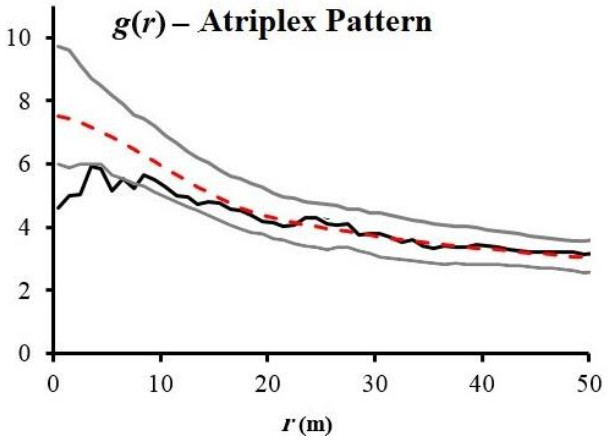
[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

با برداشت مختصات دقیق مکانی گیاه آتریپلکس در منطقه مطالعاتی تعداد ۲۷۵ بوته از دو گونه Atriplex canescens و Atriplex lentiformis، در سطح منطقه ثبت گردید که در این نقاط بیشترین مقدار ترسیب کربن ۸۱۲/۸ کیلوگرم بر مترمربع و کمترین مقدار ۲۷۱/۲ و مقدار میانگین ۴۸۹/۳ کیلوگرم بر مترمربع در بین نقاط برداشت شده می‌باشد. نتایج حاصل از آزمون خی‌دو نشان داد که مقدار p-Value برابر با $7.2\ e^{-16}$ بوده که کمتر از ۰/۰۵ است و این بیانگر آن است که نقاط دارای الگوی پراکنش تصادفی نمی‌باشند؛ بنابراین برای تشخیص دقیق الگوی پراکنش آتریپلکس‌ها از تابع k رایپلی استفاده شد. نمودار تابع k(r) در بررسی الگوی مکانی این گیاه نشان داد که مقدار تابع در تمامی فواصل در حدود محدوده مونت‌کارلو بوده و آتریپلکس‌ها دارای الگوی مکانی پراکنده می‌باشند (شکل ۴). همچنین نمودار تابع g(r) در بررسی الگوی مکانی نقاط گیاه آتریپلکس نشان داد که مقدار تابع در تمامی فواصل، دارای الگوی مکانی پراکنده بوده است. علاوه بر این، معنی‌داری توزیع پراکنده در سطح ۰/۰۵ در فاصله‌ی ذکر شده به‌دلیل قرار گرفتن مقدار تابع درون حدود مونت‌کارلو تأیید شده است (شکل ۵) در نمودار تابع k(r) مقدار تابع در تمامی فاصله‌ها در محدوده مونت‌کارلو بوده که بیانگر الگوی پراکنش پراکنده می‌باشد. همچنین تابع g(r) در فاصله بیشتر از ۵ متری از یکدیگر نشان داد که الگوی مکانی آتریپلکس‌ها در منطقه مورد مطالعه پراکنده بوده است و هر چه فاصله‌ی این گیاه از یکدیگر کمتر باشد الگوی پراکنش یکنواخت‌تر می‌باشد. در پراکنش یکنواخت، افراد یا متغیر مورد نظر با فواصل منظم در کنار هم قرار گرفته و نشان‌دهنده فشار بر افراد جامعه (گیاه آتریپلکس) از سوی نیروهای عامل (منابع) است (Martinez and Martinez, 2002).



شکل ۴- تابع k(r) در تعیین الگوی مکانی گیاه آتریپلکس در منطقه چپرقویمه

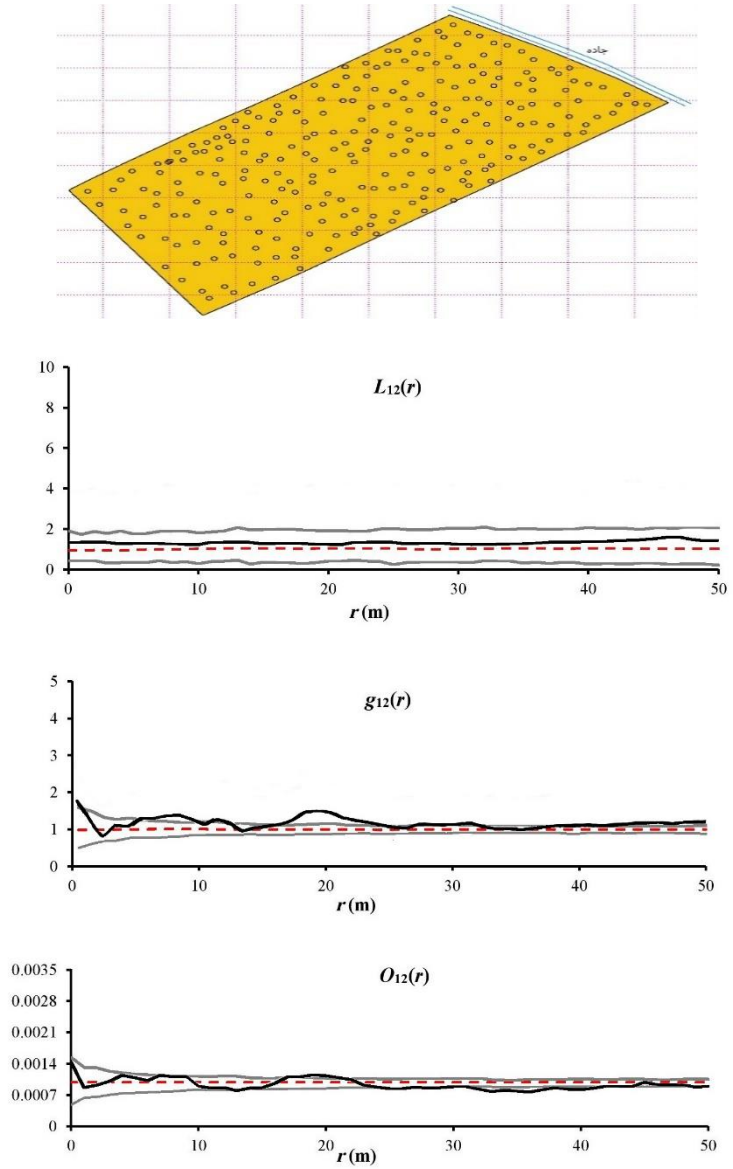
[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]



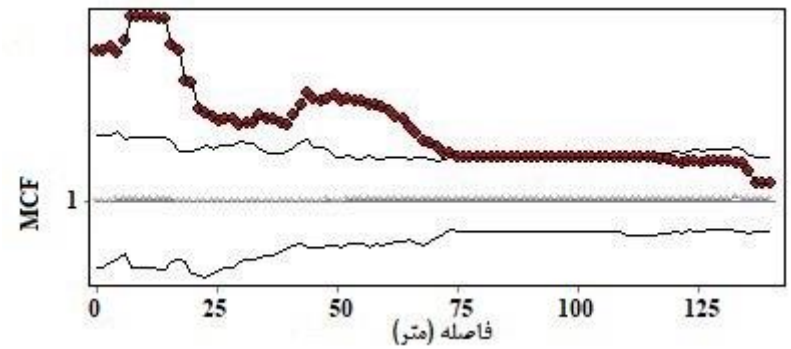
شکل ۵- تابع g(r) در تعیین الگوی مکانی گیاه آتریپلکس در دشت چپرقویمه (گنبد)

با توجه به شکل ۶ که مربوط توابع مکانی به ارتباط مکانی بین نقاط بوته‌های آتریپلکس و جاده با استفاده از توابع دومتغیره G12(r)، L12 و O-ring می‌باشد، نمودار نشان می‌دهد که نقاط تابع در تمامی فواصل در منطقه مورد مطالعه درون محدوده مونت‌کارلو قرار دارد؛ بنابراین قرارگیری گیاه آتریپلکس و جاده در کنار یکدیگر به لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد. مقدار تابع در فاصله‌های ذکر شده نشان‌دهنده ارتباط متقابلی بین نقاط نمی‌باشد؛ بدین معنا که وجود جاده در این منطقه بر الگوی پراکنش بوته-های آتریپلکس تأثیری ندارد و الگوی پراکنش یکنواخت یا پراکنده این گیاه در محدوده مورد مطالعه به‌دلیل دست کاشت بودن این گیاه در منطقه بوده و با فشار وارد شده محیط بر بوته‌ها (منابع غذایی) این گیاه آرایش مکانی دیگری به خود نگرفته است و بیشتر در سطح پخش شده تا از تمامی منابع موجود در خاک منطقه استفاده نمایند (شکل ۶). نتایج تحلیل تابع همبستگی نشان‌دار حاکی از آن است که ترسیب کربن به‌عنوان یک ویژگی کمّی در منطقه مورد مطالعه می‌تواند بر کنار هم قرار گرفتن و همبستگی مکانی گیاه آتریپلکس در ارتباط متقابل با موقعیت جاده عبوری موجود در قسمت شرقی محدوده تأثیر بگذارد. نتایج تابع همبستگی نشان‌دار بیانگر تجمع بیشتر ترسیب کربن در فاصله ۲۵ متری از جاده و به مقدار کمتر تا فاصله ۷۵ متری از جاده بوده است که دلیل آن را تردد وسایل نقلیه در قسمت شرقی منطقه و در مسیر گنبد به اینچه برون می‌باشد (شکل ۷).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]



شکل ۶- توابع دومتغیره $g_{12}(r)$، $L_{12}(r)$ و O-ring در محاسبه ارتباط بین موقعیت گیاه آتریپلکس و جاده در منطقه مورد مطالعه



شکل .Error! No text of specified style in document۷- تابع همبستگی نشان‌دار در بررسی اثر متقابل ترسیب کربن گیاه آتریپلکس و جاده

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

بحث و نتیجه‌گیری

مراتع با وسعت زیاد خود نقش مهمی در ترسیب کربن دارند و دی‌اکسید کربن که از اصلی‌ترین گازهای گلخانه‌ای است یکی از عوامل تغییر اقلیم و افزایش گرما در جهان و ایران به‌شمار می‌آید که تحت تأثیر عوامل گوناگون از جمله فعالیت‌های انسان و آلودگی‌های ناشی از آن افزایش می‌یابد. با توجه به ذخیره کربن در مراتع استفاده از گیاه چندمنظوره جهت احیای مراتع به‌عنوان گونه‌های مدیریتی- اصلاحی توصیه می‌گردد. در این مطالعه نقشه‌سازی ترسیب کربن توسط گیاه آتریپلکس و خاک با استفاده از مدل InVEST انجام شد. نقشه‌های خروجی به‌دست آمده از این مدل نشان داد که کربن ترسیب شده در منطقه چپرقویمه و در منطقه تحت حفاظت اداره منابع طبیعی، تحت تأثیر جاده عبوری (گنبد- اینچه برون) می‌باشد که با نزدیک شدن به جاده میزان کربن بیشتری ترسیب شده و با دور شدن از جاده از میزان کربن ترسیب شده کاسته می‌شود که این مهم با نتایج حسنوند و همکاران (۱۳۹۸) در خصوص ترسیب کربن گیاهان مرتعی در حاشیه جاده خوش ییلاق، مطابقت دارد که با نزدیک شدن به جاده میزان ترسیب کربن بیشتری را گزارش و علت آن را تردد وسایل نقلیه ذکر نمودند. همچنین نتایج این پژوهش نشان از کارایی بسیار خوب مدل InVEST در نقشه سازی ظرفیت ترسیب کربن مراتع می‌باشد. با توجه به تابع g(r)، الگوی مکانی آتریپلکس‌ها در فواصل بیشتر از ۵ متر به‌صورت یکنواخت و پراکنده می‌باشد، به عبارتی در تمامی فواصل این الگو در سطح ۵ درصد قابل‌پذیرش است. همچنین تابع k رایپلی نشان داد که در تمامی فاصله‌ها مقدار تابع در حدود منت‌کارلو بوده و الگوی پراکنش آن‌ها پراکنده می‌باشد و این مهم با نتایج حسینعلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) در خصوص الگوی پراکنش گیاهان هالکنموم و رخساره نبکا در دشت صوفیکم استان گلستان مطابقت دارد. با توجه به نتایج حاصل از تابع g دومتغیره، تابع L و تابع O رینگ در منطقه مورد مطالعه که مقدار تابع در محدوده مونت‌کارلو قرار داشتند همچنین نتایج تابع همبستگی نشان‌دار بیانگر تأثیر جاده تا فاصله ۷۵ متر بر ترسیب کربن می‌باشد لذا می‌توان نتیجه گرفت که ترسیب کربن گیاه آتریپلکس و قرارگیری جاده در کنار یکدیگر به لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشد. مقدار تابع در فاصله‌های ذکر شده نشان‌دهنده ارتباط متقابل مثبت بین نقاط می‌باشد بدین‌صورت که هر چه به جاده نزدیک‌تر می‌شویم مقدار ترسیب کربن این گیاه افزایش یافته و بوته‌های مجاور جاده مقدار بیشتر از کربن هوا را ترسیب نموده‌اند. پناهیان و همکاران (۱۳۹۲) نیز میزان کربن ترسیب شده در گیاهان تاغ کاشته شده در حاشیه جاده گرمسار را بالاتر از گیاهان دور از جاده تخمین زدند و علت آن را بالا بودن میزان تردد وسایل نقلیه و تصاعد بالای گاز دی‌اکسید کربن بیان نمودند. همچنین شاهو و همکاران (Sahu et al., 2023)، در پژوهش خود در کشور هندوستان، ترسیب کربن خاک مراتع نزدیک به جاده را چندین برابر مناطق دور از جاده اندازه‌گیری نمودند. همچنین الگوی پراکنش گیاه آتریپلکس تحت تأثیر عوامل مختلف پراکنده تشخیص داده شد که نشان می‌دهد منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر فشار محیطی بوده و گیاهان نیز برای دسترسی به نیاز خود از الگوی منظمی پیروی می‌کنند و به‌صورت یکنواخت در سطح منطقه استقرار یافته‌اند تا از تمامی منابع غذایی خاک حداکثر استفاده را ببرند. به‌نظر می‌رسد جهت مدیریت منابع و بیابان الگوی پراکنش یکنواخت مناسب‌تر از سایر الگوها می‌باشد به این دلیل که در گیاهی مانند آتریپلکس که مختص منطقه بیابانی است می‌تواند با پوشش کامل یک منطقه درصد قابل‌توجهی از کربن هوا را به دام اندازد، ولی در عمل با توجه به دلایل نامبرده این الگوی پراکنش کمتر اتفاق افتاده و گیاهان در یک رابطه‌ی رقابتی با یکدیگر الگوی پراکنش کپه‌ای را ترجیح می‌دهند مگر در شرایطی که بوته‌زارهای دست کاشت وجود داشته باشد. در پژوهش علی نژاد و همکاران (۱۳۹۷)، به دلیل وجود عوامل خارجی تاثیرگذار بر پراکنش گیاه هالگنموم مانند کانال زهکشی و مناطق ماندابی در منطقه مطالعاتی در شمال استان گلستان، الگوی پراکنش این گیاه به صورت کپه‌ای تشخیص داده شد و گیاهان در این منطقه برای دستیابی به منابع غذایی موجود در رقابت شدیدی با یکدیگر می‌باشند. نتایج کاربرد آمار مکانی در بررسی الگوی مکانی گیاه آتریپلکس و ضرورت آگاهی از فرایندهای طبیعی آن‌ها، به‌عنوان یک کلید راهنما برای مدیران منابع طبیعی و مدیریت بهتر در جهت کنترل و کاهش آلاینده‌های محیطی مانند کربن را نشان می‌دهد. در نهایت نتایج پژوهش حاضر نشان داد گیاه آتریپلکس از پتانسیل بالایی جهت ترسیب کربن برخوردار می‌باشند و

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

استفاده از این گونه جهت اصلاح و احیای مراتع مناطق نیمه‌خشک توصیه می‌گردد. به‌طور کلی، شناخت گونه-های بومی و سازگار هر منطقه، با قابلیت بالاتر برای ذخیره و نگهداشت کربن می‌تواند موجب تأکید بر اهمیت و توسعه‌ی خدمات اکوسیستم‌های طبیعی شود. همچنین می‌توان عملیات مدیریت سرزمین و اصلاح و احیای اراضی تخریب یافته یا فرسوده را از منظر شاخص ترسیب کربن دنبال نمود. از این جهت که ضمن ایجاد اشتغال و درآمدزایی اقتصادی در جوامع محلی، زمینه را برای افزایش امکان حفاظت و توسعه‌ی کمی و کیفی مراتع و جنگل‌های طبیعی فراهم کرد.

سپاسگزاری

این مقاله از نتایج یک طرح پژوهشی درون دانشگاهی با شناسه طرح ۴۲-۳۳۷-۹۴ (مورخ ۱۴۰۱/۱۰/۱۲) استخراج شده است؛ بنابراین، نویسندگان این مقاله از همکاری‌های ارزشمند دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در تأمین امکانات آزمایشگاهی و پشتیبانی کمال تشکر را دارند.

منابع

ابراهیمی محمدآبادی، ن.، روحانی، ح.، غلامعلی پور علمداری، ا.، مصطفی‌لو، ح. ۱۳۹۴. اثر آللوپاتیکی Atriplex canesence و Atriplex lentiformis بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی، میزان کلروفیل و فنل کل Agropyron elongatum. پژوهش‌های آبخیزداری پژوهش و سازندگی، ۶: ۹-۲.

احمدی، ح.، حشمتی، غ. ع.، ناصری، ح. ر. ۱۳۹۳. پتانسیل ترسیب کربن خاک در اراضی بیابانی تحت اثر دو گونه‌ی تاغ و سوف (مطالعه‌ی موردی: آران و بیدگل). مجله علمی-پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، ۳ (۵): ۲۹-۳۶.

اسداللهی، ز.، سلمان ماهینی، ع. ر. ۱۳۹۶. بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر عرضه خدمات زیستگاهی با نرم‌افزار InVEST. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۸ (۱۵): ۲۱۴- ۲۰۳.

پناهیان، ا.ر.، ناصری، ح. ر.، کریم‌پوریحان، م.، جعفری، م. ۱۳۹۲. پتانسیل ذخیره کربن در جنگل دست‌کاشت تاغ Haloxylon aphyllum حاشیه جاده (مطالعه موردی: اتوبان ایوانکی- گرمسار). نشریه مهندسی اکوسیستم‌های بیابان، ۲ (۳): ۶۷-۷۶.

حسنوند، ح.، عظیمی، م.، نیک نهاد قرماخر، ح. و رهبر، غ. ر. ۱۳۹۹. برآورد خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن توسط گونه‌های غالب در مراتع تیل‌آباد، استان گلستان. نشریه مرتع. ۱۴(۴): ۶۷۳-۶۸۴.

حسنوند، ح.، عظیمی، م.، نیک‌نهاد، ح.، رهبر، غ. ر. ۱۳۹۸. برآورد و نقشه‌سازی ظرفیت ترسیب کربن خاک و زیتوده گیاهی در مراتع (مطالعه موردی حوضه تیل‌آباد استان گلستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۲۰ص.

حسینعلی‌زاده، م.، علی‌نژاد، م.، محمدیان بهبهانی، ع.، اصفهانکلاتی، ح.، کریمی‌نژاد، ن. ۱۳۹۷. تحلیل مکانی الگوی نقطه‌ای تپه ماسه‌ای نبکا (مطالعه موردی: شمال آق قلا– استان گلستان). گزارش طرح پژوهشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۹۲ ص.

سعیدی فر، ز.، عسگری، ح. ر.، اکرم قادری، ف. ۲۰۱۶. تأثیر فشردگی خاک بر ترسیب کربن و نیتروژن در خاک و گیاه گندم و خصوصیات فیزیکی خاک (مطالعه موردی: اراضی دیم شمال آق قلا، استان گلستان). آب و خاک، ۲۹(۶): ۱۵۳۳-۱۵۵۳.

علی‌نژاد، م.، حسینعلی‌زاده، م.، اونق، م.، محمدیان بهبهانی، ع. ۱۳۹۷. بررسی الگوی پراکنش مکانی نبکا (مطالعه موردی: دشت صوفیکم – استان گلستان). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۰(۴): ۷۱۲-۶۹۷.

غلامی، ح.، آذرنیوند، ح.، بی‌نیاز، م. ۱۳۹۳. بررسی و مقایسه توان ترسیب کربن دو گونه آتریپلکس (Atriplex canescens) و ورک (Hulthemia persica) در مراتع نودهک قزوین. فصل‌نامه علمی- پژوهشی پژوهش‌های فسایش محیطی، ۲(۱۴): ۴۰-۵۲.

فروزه، م،ر.، حشمتی، غ. ع.، قنبریان، س.، مصباح، ب. ۱۳۸۷. مقایسه توان ترسیب کربن سه گونه بوته‌ای گل آفتابی، سیاه گینه و درمنه دشتی در مراتع خشک ایران. مجله محیط‌شناسی، ۳۴ (۴۶): ۷۲-۶۵.

مهدوی، خ.، سندگل، ع. غ.، آذرنیوند، ح.، بابایی کفاکی، س.، جعفری، م.، مهدوی، ف. ۱۳۸۸. بررسی تراکم آتریپلکس لنتی فورمیس بر میزان ترسیب کربن و مقایسه آن با تراکم کشت آتریپلکس در پروژه بوته کاری مرتع (مطالعه موردی: اصفهان). گیاه و زیست‌بوم، ۱۷: ۲۹-۱۹.

وزیریان، ر.، عسگری، ح. ر.، اونق، م.، کمکی، چ. ب. ۱۳۹۴. ارزیابی رابطه بین تراکم کشت آتریپلکس (Atriplex halimus) با میزان کربن ترسیب‌شده در خاک (مطالعه موردی: مراتع نیمه‌خشک اینچه‌برون، استان گلستان). مرتع و آبخیزداری، ۶۸(۱): ۱۸۰-۱۷۳.

Asgari, H.R. 2014. Effect of agronomic

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

299-314.

Macdicken, K.G. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agrofarestry Projects. Winrock Internationl Institute for Agricultural Development, Forest Carbon Monitoring Program. mongolica afforestation on soil phosphorus status of the Keerqin Sandy Lands in China. Journal of Arid Environments. 69: 568-582.

Martinez, W. L., Martinez, A. R. 2002. Computational statistics handbook with MATLAB. Chapman & Hall. Forest Science, 39(4): 756–775.

Meftahi, M., Monavari, M., Kheirkhah Zarkesh, M., Vafaeinejad, A., Jozi, A. 2022. February. Achieving sustainable development goals through the study of urban heat island changes and its effective factors using spatio-temporal techniques: the case study (Tehran city). In Natural Resources Forum, 46(1): 88-115.

Saeedifar, Z., Asgari, H.R. 2014. Effects of soil compaction on soil carbon and nitrogen sequestration and some physico-chemical features (case study: north of Aq Qala). Ecopersia, 2(4): 743-755.

Salas-Eljatib, C., Riquelme-Alarcón, J., Donoso, P.J., Ponce, D., Soto, D.P. 2022. Analysing changes in spatial point patterns: A proposal using data from a forest thinning experiment. Forest Ecosystems, 9, p.100081.

Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K. 2019. InVEST 3.6. 0 user's guide. Collaborative publication by The Natural Capital Project.

Thorsten, W. 2014. Department of Ecological Modelling, Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, Permoserstr. 15. Germany.

Walkly, A., Black, I. A. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-38.

practices on the aggregate stability and organic carbon of soil (case study: the northern of Aq Qala). Environmental Resources Research, 2(2): 95-106.

Sahu, C., Mishra, R., Basti, S. 2023. Land-use change affects carbon storage and lability in tropical soil of India. Geoderma Regional, 32: p.e00621.

Asgari, H.R., SolaimaniSardo, 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). The International Journal of Environmental Resources Research, 1(2): 131-140.

Budak, M., Günal, E., Kılıç, M., Çelik, İ., Sırrı, M., Acir, N. 2023. Improvement of spatial estimation for soil organic carbon stocks in Yuksekova plain using Sentinel 2 imagery and gradient descent–boosted regression tree. Environmental Science and Pollution Research, 30(18): 53253-53274.

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.

Cipriotti, P.A., Aguiar, M.R., Wiegand, T., Paruelo, J.M. 2014. A complex network of interactions controls coexistence and relative abundances in Patagonian grass-shrub steppes. Journal of Ecology, 102: 776–788.

Derner, J. D., Scuman, G. E. 2007 Carbon sequestration and rangeland: A synthesis of land management and precipitation effects. J. Soil and Water Conservation, 62(2): 77-85.

Han, H., Dong, Y. 2017. Assessing and mapping of multiple ecosystem services in Guizhou prvince, china. International Society for Tropical Ecology, 58 (2): 331-346 .

He, C., Zhang, D., Huang, Q., Zhao, Y. 2016. Assessing the potential impacts of urban expansion on regional carbon storage by linking the LUSD-urban and InVEST models. Environmental Modelling & Software, 75: 44-58.

Ihaka, R., Gentleman, R. 1996. R: a language for data analysis and graphics. Journal of computational and graphical statistics, 5(3):

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

Spatial Analysis and Modeling of Carbon Sequestration by Atriplex Plants in Chaparquimeh Rangelands, Golestan Province

Hamid Reza Asgari[*1], Mohammad Alinejad [2]

[1]Associate Professor, Desert Management Group, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan
[2]PhD Student in Desert Management and Control, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan

Received: 2023/05/13; Accepted: 2024/02/27

Abstract

Climate change and global warming, primarily driven by increased fossil fuel consumption, necessitate a reduction in greenhouse gas emissions. Carbon sequestration in plant biomass and soil offers a straightforward solution for lowering atmospheric carbon dioxide levels, thereby improving air quality and enhancing soil productivity. The present study was conducted in the year 2021 in the Chaparquimeh region of Golestan Province, aimed to assess carbon sequestration levels in both soil and Atriplex vegetation, considering human-made disturbances such as road. To accomplish, soil and vegetation samples were collected from locations featuring Atriplex plant species. The measured carbon sequestration levels were utilized to create a carbon sequestration map using by the InVEST software package. moreover, by extracting the coordinates of the plants in the region, spatial analysis of the sequestered carbon was conducted using spatial functions in the R software environment and Programita (including Ripley's k functions, g functions and marked correlation function (MCF)). Spatial analysis of the Atriplex species revealed a scattered distribution pattern, with the highest carbon sequestration occurring near the road (Gonbad-Inche Borun), reaching 828.85 kg/m2, and decreasing with distance 258.13 kg/m2. The overall average carbon sequestration in the study area was 489.3 kg/m2. The spatial pattern of Atriplex, according to the results of the g(r) function, is uniform and scattered at distances greater than 5 meters and is acceptable at a 5% significance level. The MCF function indicated that the spatial distribution pattern of Atriplex has no significant impact on the amount of carbon sequestration in the area. Understanding native species compatible with carbon storage capabilities can underscore the importance of developing and preserving natural ecosystem services. This knowledge can contribute to land management practices and the restoration of degraded lands, ultimately improving carbon sequestration efforts.

***Keywords*:** Spatial functions, Spatial analysis, InVEST, Desertification, Ecosystem services

*Corresponding author: hamidreza.asgari@gau.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]