

اثر بخشی جنگل‌های دست‌کاشت مناطق بیابانی از جنبه خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن (در منطقه سه‌قلعه - سرایان، خراسان جنوبی) (مقاله پژوهشی)

۱- یاسر قاسمی‌آریان*، استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

ghasemiaryan@rifr-ac.ir

۲- هادی اسکندری‌دامنه، پژوهشگر بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۳- فیروزه مقیمی‌نژاد، دانش‌آموخته دکتری علوم مرتع دانشگاه تهران، ایران.

۴- علیرضا یاری، کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان جنوبی، ایران.

دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۸

چکیده

امروزه با آشکار شدن اثرات منفی تغییرات اقلیمی در سطح جهان، توجه ویژه‌ای به جنگل‌های دست‌کاشت بیابانی، به عنوان یک منبع و ظرفیت بالقوه ناشناخته برای ترسیب کربن از سوی دانشمندان صورت گرفته است. تحقیق حاضر با این هدف در منطقه سه‌قلعه - سرایان در استان خراسان جنوبی انجام گرفت. در گام نخست روند احیاء و توسعه جنگل‌های دست‌کاشت منطقه مورد مطالعه با تصاویر سنجش از دوری ماهواره لندست ۵ و ۸ با وضوح ۳۰ متر در بازه زمانی ۱۳۶۹ تا ۱۴۰۲ با استفاده از شاخص اصلاح شده پوشش گیاهی تعدیل‌شده با خاک MSAVI بررسی گردید. در ادامه جهت ارزیابی میدانی، تیپ‌های پوشش گیاهی و منطقه معرف هر یک مشخص و تعداد ۵ ترانسکت ۳۰۰ متری به شکل تصادفی - سیستماتیک مستقر شده و با اندازه‌گیری ۵ پلات ۴ مترمربعی در طول هر ترانسکت، میزان تراکم محاسبه گردید. از آنجا که تنها گونه غالب محدوده مورد مطالعه سیاه‌تاغ بود، برای تعیین دقیق وزن زی‌توده تعداد سه پایه در هر تیپ، در اندازه‌های مختلف کف‌بر شده و اندام هوایی و زیرزمینی کاملاً برداشت و توزین گردید. برای تعیین کربن خاک به روش والکی و بلاک، در هر تیپ، پنج نمونه خاک سطحی از عمق ۱۵-۵ سانتی‌متر برداشت شد. در نهایت اندازه‌گیری میزان کربن گیاه به روش احتراق انجام گرفت. نتایج بررسی تغییرات مکانی و زمانی شاخص MSAVI نشان داد که مقدار آن از ۰/۰۵۷ در سال ۱۳۶۹ به ۰/۲۲ در سال ۱۴۰۲ افزایش یافته و این افزایش از شمال و شمال‌غرب به سمت شرق و جنوب‌شرق محدوده بوده است. میانگین تعداد پایه درختچه تاغ در تیپ‌های مختلف، ۳۰۸ پایه در هکتار و میزان کل ترسیب کربن جنگل‌های دست‌کاشت منطقه سه‌قلعه معادل ۱۰۶۳۸۳۸/۵ تن برآورد گردید که این مقدار برای هر هکتار و کل محدود مورد مطالعه در بخش گیاه به‌ترتیب ۱۰۶/۷۵ کیلوگرم و ۱۱۳۴۶ تن و در بخش خاک به‌ترتیب ۱۳۴۹/۷ کیلوگرم و ۱۰۵۲۴۹۲/۵ تن بدست آمد. به‌طور کلی آنچه از ظرفیت مناطق خشک و بیابانی جهت ترسیب کربن مطرح است به سبب وسعت این اراضی است چرا که به شکل طبیعی مقدار کربن آلی خاک مناطق خشک کم است. با این حال جنگل‌های دست‌کاشت مناطق بیابانی نقش شگرفی در ترسیب کربن آلی ایفا می‌کنند.

واژگان کلیدی: تغییرات اقلیمی، فرسایش بادی، تثبیت ماسه‌های روان، شاخص پوشش گیاهی، سنجش از دور.

مقدمه

امروزه اثرات منفی تغییرات اقلیمی از جمله تشدید آب و هوای گرم و خشک، آتش‌سوزی، سیل و سایر بلایای طبیعی در سطح جهانی آشکار گردیده است [۱]. در این راستا ابتکارات جهانی متعددی، کشورها را متعهد به اهداف بلندپروازانه برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ترسیب کربن مازاد جو می‌نمایند. چنان‌چه برای مقابله با

از اکوسیستم‌های جنگلی با زیست توده بسیار بالاتر است [۲۵، ۳۹].

نتایج مطالعات صورت گرفته روی توانایی ترسیب کربن مناطق بیابانی احیاء شده در مصر برای مدت ۳۰ سال، نشان داد که اقدامات احیایی منجر به افزایش ذخیره کربن خاک به شکل نمایی شده است به طوری که در سال‌های ابتدایی، افزایش ذخیره کربن، بیش‌تر و در سال‌های بعد این روند کاهشی و ثابت بوده است. نتایج نشان داد به طور میانگین سالانه ۰/۹ تن در هکتار در سال ذخیره کربن در طول سال‌های انجام پژوهش اتفاق افتاده است. این محققان ضمن اشاره به کاهش نیاز آبی برای آبیاری و افزایش حاصلخیزی خاک در اثر افزایش ماده آلی خاک، تخصیص اعتبار کربن را انگیزه‌ای مناسب برای کشاورزان جهت اجرای کشاورزی حفاظتی و ارگانیک قلمداد نموده که راهکارهایی مناسب برای سازگاری با خشکسالی و امنیت غذایی نیز محسوب می‌شوند [۲۴]. در همین راستا نتایج یک مطالعه داخلی نشان داد اختلاف معنی‌داری بین کربن آلی خاک بین دو محدوده جنگل‌کاری در منطقه حسین‌آباد سربیشه تحت دو نوع رویکرد مدیریتی وجود دارد [۱۶]. در مطالعه‌ای محققان چینی ذخیره‌سازی، نرخ و پتانسل ترسیب کربن جنگل‌کاری‌ها با گونه سیاه‌تاغ (*Haloxylon ammodendron*) در حوضه آبریز رودخانه شی‌یانگ چین را (که با هدف تثبیت ماسه‌های روان انجام گرفته بود) مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد کل ذخیره کربن، حداکثر پتانسیل ترسیب و انتشار کربن در محدوده مطالعاتی به ترتیب، ۰/۱۸، ۰/۸۴ و ۱/۹۵ تراگرم (معادل ۱۰^{۱۲}) است. آن‌ها همچنین توسعه تاغ‌زارهای مناطق بیابانی را جهت افزایش ذخیره کربن آلی و حفظ پایداری اکوسیستم توصیه نمودند [۲۹].

توسعه جنگل‌های دست‌کاشت بیابانی در ایران که غالباً با کاشت گونه سیاه‌تاغ همراه بوده، دارای سابقه‌ای بیش از ۷ دهه است. این اقدامات با هدف کنترل فرسایش بادی و تثبیت ماسه‌های روان در سال ۱۳۳۸ در روستای حارث-آباد سبزوار آغاز گردید. علی‌رغم توسعه چشمگیر این اقدامات در سال‌های آینده و در تمام سطح استان‌های بیابانی کشور، اما مطالعات محدودی در زمینه اثربخشی و خدمات اکوسیستمی این اقدامات بخصوص از جنبه

تغییرات اقلیمی و زوال تنوع زیستی، اهداف چندمنظوره‌ای برای فعالیت‌های احیایی جنگل‌ها و مراتع در نظر گرفته شده است [۵ و ۳۲]. جنگل‌کاری و احیای پوشش گیاهی روشی اثربخش برای به‌دام‌اندازی و ترسیب کربن محسوب می‌شوند [۶ و ۳۱]. لذا کشورهای مختلف تعهداتی را برای این منظور تا سال ۲۰۳۰ در نظر گرفته و برخی متعهدند تا سال ۲۰۵۰ انتشار کربن خود را به صفر برسانند [۳۰]. در همین زمینه کشورها به دنبال ایجاد پایگاه داده برای ثبت برنامه زمانی و مکانی اجرای پروژه‌ها، تخمین میزان کربن ترسیب‌یافته و رویکردهای اجرایی (از نظر استفاده از گونه‌های بومی و غیربومی) هستند تا از این طریق ضمن شناسایی و دستیابی به نمایی کلی از روند اقدامات خود، شرایطی را برای بهینه‌سازی ابتکارات احیاء و توسعه پروژه‌های جنگل‌کاری جهت افزایش ترسیب کربن و دیگر مزایای زیست‌محیطی فراهم نمایند [۹ و ۳۴].

در دهه‌های اخیر، پروژه‌های احیای پوشش گیاهی به‌طور گسترده در بسیاری از کشورها و مناطق جهان با هدف دستیابی به اهداف اقتصادی، اکولوژیکی و کاهش اثرات تغییر اقلیم گسترش یافته‌اند [۲ و ۳۷]. در این میان توجه ویژه‌ای به مزایای اکولوژیکی جنگل‌کاری‌های مناطق بیابانی صورت گرفته است [۳۱]. چنانچه برخی دانشمندان اکوسیستم‌های بیابانی را منابع و ظرفیت‌هایی بالقوه ناشناخته برای ترسیب کربن حاصل از سوخت‌های فسیلی در آینده قلمداد می‌نمایند [۶، ۳۴]. تخمین ذخیره کربن مناطق بیابانی چین با استفاده از داده‌های MODIS-NDVI نشان داد اکوسیستم‌های بیابانی چین در مجموع ۷/۰۶۳ پیکوگرم در سال ذخیره کربن انجام می‌دهند. این رقم برای گیاه و خاک به ترتیب ۷۴۱/۰ و ۶/۳۲ پیکوگرم برآورد گردید. آنها همچنین میزان کربن ترسیب‌یافته توسط پوسته‌های زیستی خاک را ۰/۰۰۲ پیکوگرم برآورد نمودند. در این مطالعه میانگین نسبت ریشه به شاخه‌های پوشش گیاهی بیابان مطابق ۵/۵ در نظر گرفته شد [۲ و ۲۰]. جذب خالص کربن در صحرای موجاوه چین بین ۱۰۲ تا ۱۲۷ گرم در متر مربع در سال در طول یک دوره ۳ ساله گزارش دادند. نکته قابل توجه اینکه این مقدار ذخیره کربن معادل تولید خالص بسیاری

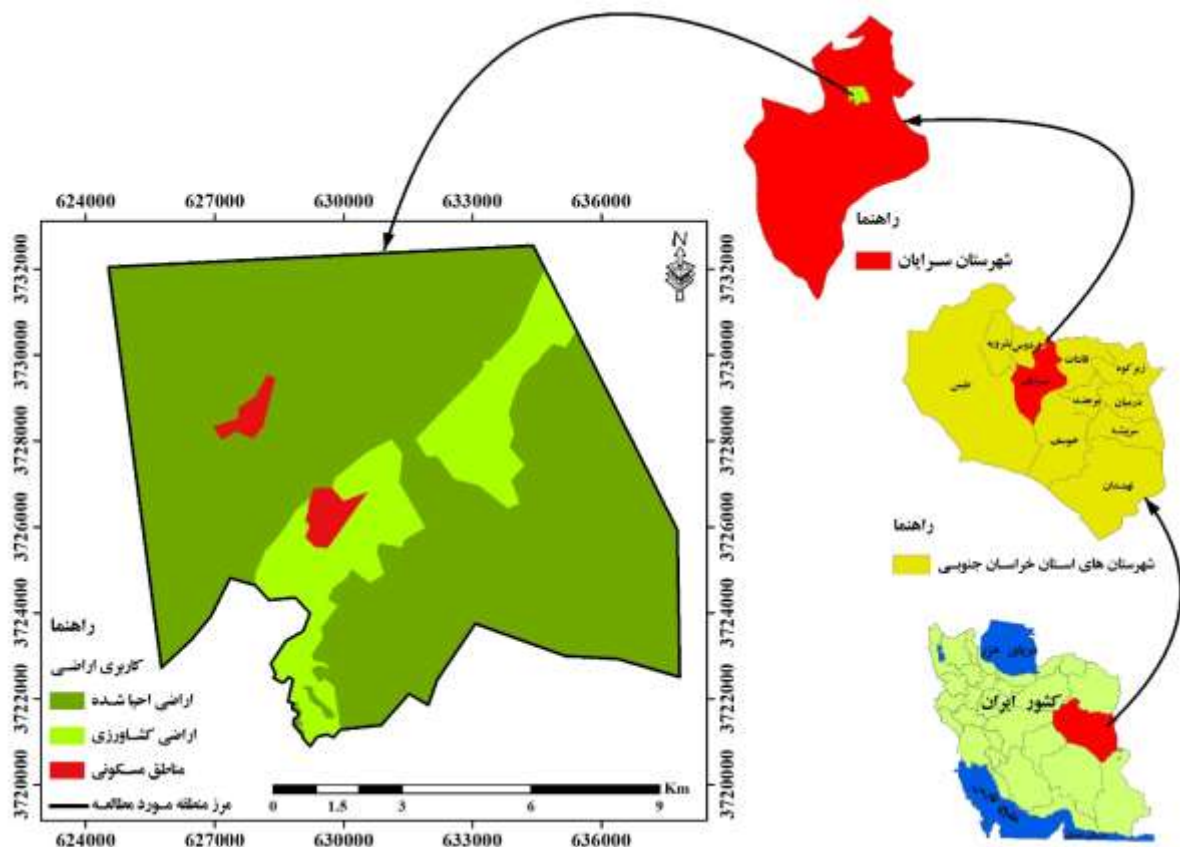
و در حاشیه کویر قرار گرفته است. این شهر جزو مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی محسوب می‌گردد. در بیش‌تر سال‌ها بارندگی از ۱۰۰ میلی‌متر کم‌تر است. بر پایه سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ جمعیت این شهر ۴۴۳۶ نفر (۱۲۹۰ خانوار) بوده است. اراضی کشاورزی نسبتاً زیاد در نواحی شرق و شمال شرق و مجموعه تپه‌های ماسه‌ای عمدتاً تثبیت‌یافته در شمال و جنوب غربی منطقه طرح و در حوالی شهر سه‌قلعه واقع شده است. آغاز فعالیت‌ها در خصوص راه‌اندازی ایستگاه و اجرای پروژه‌های تثبیت‌شن‌های روان در محدوده سه‌قلعه، سال ۱۳۵۲ بوده است [۲۶]. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را در کشور، استان خراسان جنوبی و شهرستان سرایان نشان می‌دهد.

ترسیب کربن انجام گرفته است. این در حالی است که بررسی اثربخشی این اقدامات در مناطق بیابانی، که فرسایش بادی و گرد و غبار، چالشی جدی محسوب می‌شود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱۵، ۱۳]. لذا تحقیق حاضر با هدف تبیین اثربخشی کارکرد ترسیب کربن جنگل‌های دست‌کاشت در منطقه سه‌قلعه سرایان خراسان جنوبی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

سه‌قلعه یکی از شهرهای سرایان در استان خراسان جنوبی بوده که در فاصله ۲۴ کیلومتری جنوب غرب این شهرستان و ۵۲ کیلومتری جنوب شرق شهرستان فردوس



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

شد. این تصاویر از وب سایت USGS^۱ با پوشش ابری کم‌تر از ۱۰ درصد تهیه گردید. پس از تهیه تصاویر، تصحیحات اتمسفری و رادیومتری با استفاده از ماژول

روش تحقیق

در این پژوهش برای بررسی روند احیاء و تخریب سرزمین در محدوده مطالعاتی از تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸ با وضوح ۳۰ در بازه زمانی ۱۳۶۹ تا ۱۴۰۲ استفاده

^۱ - United States Geological Survey
(<http://earthexplorer.usgs.gov/>)

فلش^۱ در نرم افزار ENVI5.3 انجام پذیرفت [۷ و ۱۰]. پارامترهای مورد نیاز برای تصحیحات اتمسفری از فایل متنی همراه با تصاویر تهیه شده استخراج شد و همچنین از اطلاعات ارتفاعی مورد نیاز از مدل رقومی ارتفاع تهیه شده، به دست آمد. تمامی تصاویر از نظر تصحیحات هندسی در سیستم مختصات UTM WGS84^۲ و زون ۴۰ شمالی در قالب مرز منطقه مورد مطالعه برش داده شد [۱۹]. همچنین برای بررسی پوشش گیاهی از شاخص اصلاح شده پوشش گیاهی تعدیل شده با خاک (MSAVI) استفاده گردید. محاسبه این شاخص در اراضی بیابانی بدلیل وجود خاک لخت با خطای کمتری نسبت به سایر شاخص ها همراه است. رابطه (۱) فرمول محاسبه شاخص MSAVI را نشان می دهد [۲۸].

رابطه ۱:

$$MSAVI = \frac{2 \times (NIR+1) - \sqrt{(2 \times NIR+1)^2 - 8 \times (NIR-RED)}}{2}$$

در ادامه جهت بررسی روند احیاء و تخریب اراضی، تغییرات شاخص پوشش گیاهی MSAVI برای هر پیکسل تصویر با استفاده از شیب تغییرات رگرسیون خطی در محیط Terrst2020 براساس رابطه (۲) شبیه سازی گردید.

رابطه ۲:

$$\Theta_{Slope} = \frac{n \times \sum_{j=1}^n j \times X_j - \sum_{j=1}^n j \times \sum_{j=1}^n j \times X_j}{N \times \sum_{j=1}^n j^2 - [\sum_{j=1}^n j]^2}$$

Θ_{Slope} شیب تغییرات شاخص مورد نظر در منطقه مورد مطالعه، n سال های مورد استفاده در پایش، X_j مقدار سالانه شاخص مدنظر برای سال j ، $\Theta_{Slope} < 0$ و $0 < \Theta_{Slope}$ ، به ترتیب نشان دهنده احیاء و تخریب اراضی می باشد.

به منظور بررسی اثربخشی جنگل های دست کاشت از جنبه ترسیب کربن در منطقه مورد مطالعه، ابتدا محدوده اجرای پروژه های جنگل های دست کاشت تعیین گردید. این محدوده یک کانون بحرانی فرسایش بادی شامل رخساره تپه های ماسه ای فعال با پوشش گیاهی بسیار ضعیف بوده است. برای تعیین دقیق اثربخشی پروژه ها یک محدوده شاهد (در جوار هر محدوده جنگل کاری) انتخاب و ذخیره کربن در هر دو محدوده اندازه گیری شد. در نهایت

اختلاف نتایج به دست آمده در دو محدوده مورد مطالعه به عنوان ترسیب کربن در نظر گرفته شد. از آنجا که سیاه تاغ (*Haloxylon aphyllum*) با توجه به خاصیت آللوپاتیک منفی [۳ و ۴] تنها گونه غالب محدوده بوده و در عین حال تراکم پایه ها در قست های مختلف محدوده متفاوت بود، چهار تیپ گیاهی تعیین گردید (شکل ۲) و اندازه گیری ها برای هر تیپ به شکل مجزا انجام شد. تعیین میزان ترسیب کربن نیازمند برآورد تراکم و مقدار زی توده گیاهان عرصه است، لذا در هر تیپ، یک منطقه معرف مشخص گردید. در ادامه با توجه به نوع و پراکنش پوشش گیاهی، تعداد پنج ترانسکت ۳۰۰ متری به شکل تصادفی - سیستماتیک مستقر شده و با اندازه گیری پنج پلات ۴ مترمربعی در طول هر ترانسکت، میزان تراکم محاسبه گردید. از آنجا که با توجه به محدودیت های تحقیق امکان استخراج پایه های قوی و مسن تاغ از خاک مقدور نبود، لذا جهت تعیین دقیق وزن زی توده، تعداد سه پایه در اندازه های قابل استخراج، کفبر شده و اندام هوایی و زیرزمینی کاملاً برداشت و توزین گردید. پس از تعیین یک نسبت معین از وزن و اندازه پایه ها، برای پایه های بزرگتر این تناسب اعمال گردید [۸] و یک وزن میانگین برای هر پایه جهت ضرب در تراکم و تعیین وزن بایومس هر تیپ در نظر گرفته شد. تعیین کربن آلی گیاه به روش احتراق انجام گرفت. پس از انتقال، توزین و قرار دادن نمونه ها در آون در دمای ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت برای خشک شدن و از بین رفتن رطوبت اولیه، نمونه ها در کوره الکتریکی در دمای ۳۸۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت و خاکستر حاصل از احتراق توزین شد. کاهش وزن حاصل ماده آلی و ۰/۵۴ آن کربن آلی در نظر گرفته شد. برای محاسبه ذخیره کربن خاک از رابطه (۳) استفاده شد [۱۸]. برای این منظور در هر تیپ، پنج نمونه خاک از عمق ۱۰-۵ سانتی متر به روش ترکیبی (از نظر موقعیت برداشت در زیر و بین پایه ها) برداشت و برای تعیین میزان کربن آلی به آزمایشگاه خاکشناسی موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور منتقل گردید. در نهایت مجموع ترسیب کربن حاصل از خاک و گیاه به عنوان ترسیب کربن هر تیپ در نظر گرفته شد.

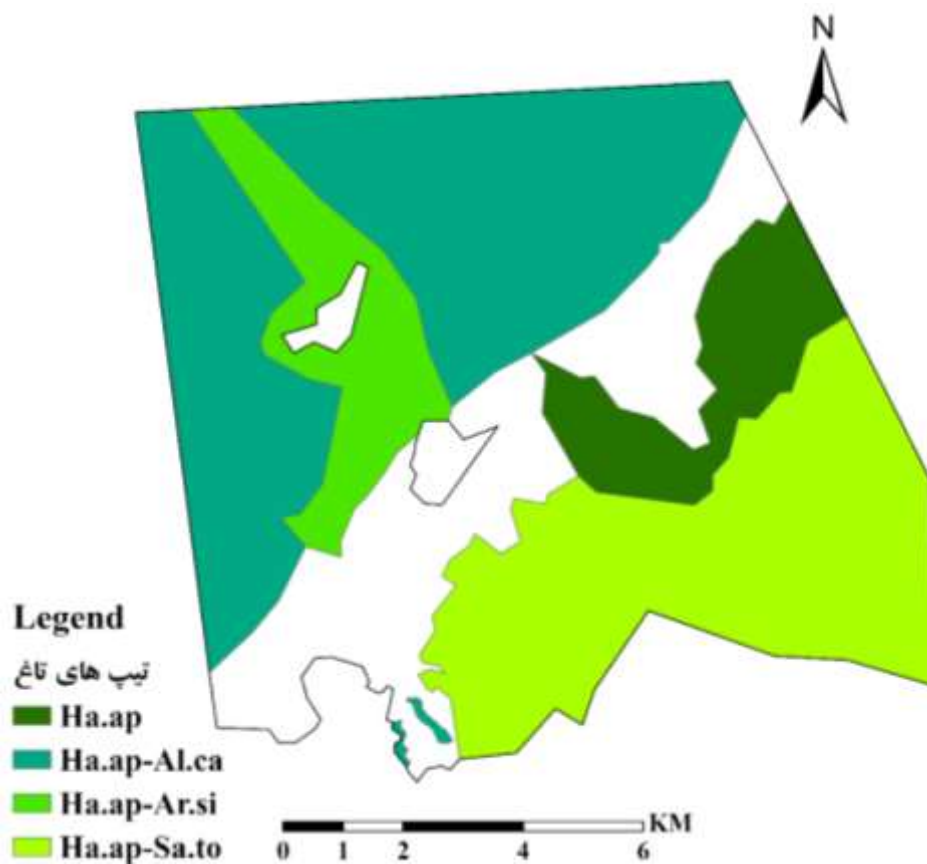
$$C_S = \%OC * BD * D * 100 \quad \text{رابطه ۳:}$$

^۱- FLAASH

^۲- Universal Transverse Mercator (UTM) projection system datum World Geodetic System (WGS) 1984

مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و D عمق خاک بر حسب متر است.

که در آن C_s مقدار کربن بر حسب تن در هکتار در عمق خاص، $\%OC$ کربن آلی خاک به درصد، BD وزن



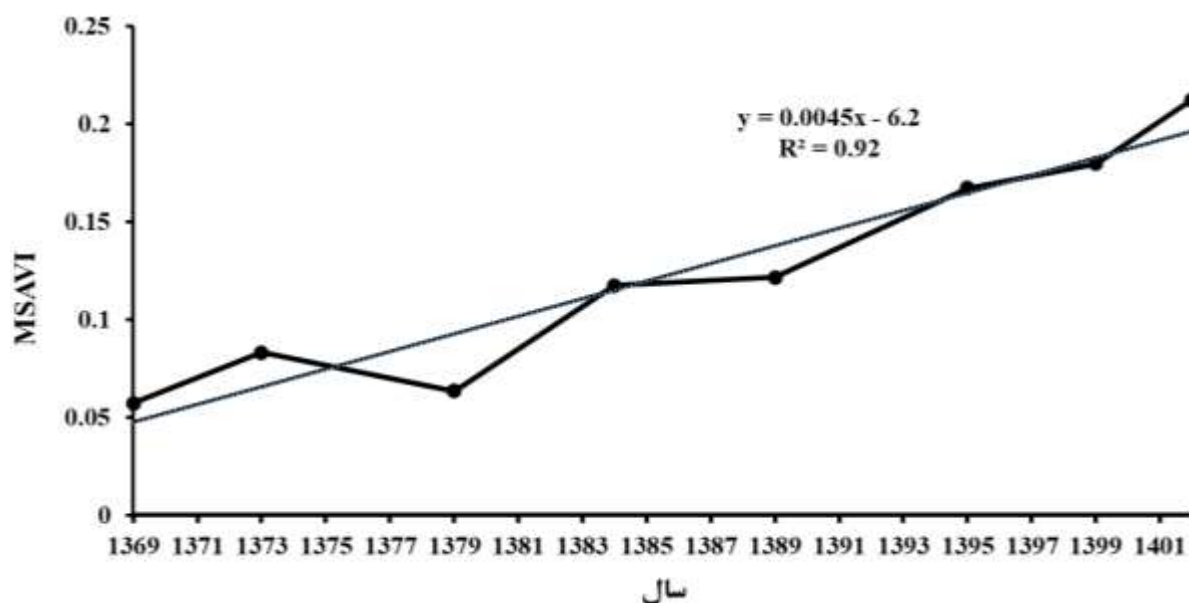
شکل ۲- تیپ‌های گیاهی محدوده مورد مطالعه

تغییرات مکانی نشان می‌دهد حداکثر مقدار شاخص یاد شده در این بازه زمانی ۳۳ مربوط به قسمت‌های مرکزی منطقه که به صورت خطی از شرق به غرب منطقه مشاهده می‌شود که بیش‌تر شامل کاربری کشاورزی است. از طرفی دیگر مقادیر متوسط و کم‌تر از مقادیر ذکر شده به صورت پراکنده در سایر مناطق مشاهده شده که بیش‌تر شامل جنگل دست‌کاشت مستقر شده در منطقه می‌باشد.

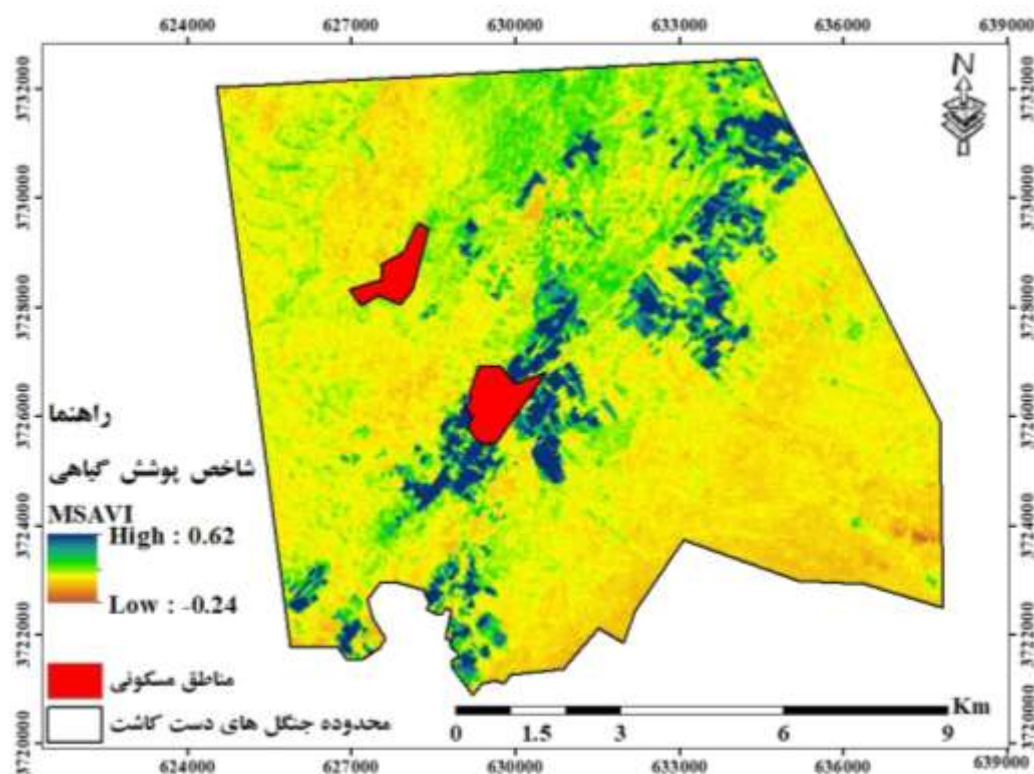
نتایج

بررسی روند تغییرات مکانی - زمانی شاخص MSAVI

نتایج بررسی تغییرات شاخص پوشش گیاهی MSAVI در بازه زمانی ۳۳ ساله (۱۳۶۹-۱۴۰۲) در منطقه مورد مطالعه (شکل ۳ و ۴) موید روند افزایشی این شاخص است. به‌طوری که متوسط آن از ۰/۰۵۷ در سال ۱۳۶۹ به ۰/۲۲ در سال ۱۴۰۲ افزایش یافته است. همچنین بررسی



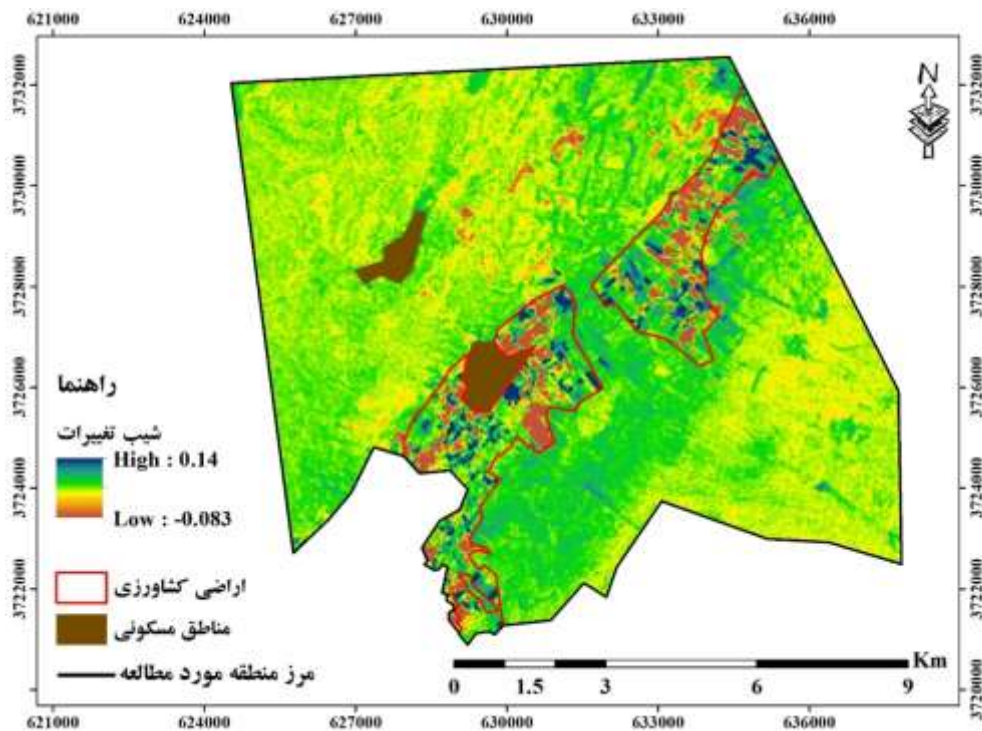
شکل ۳. متوسط شاخص MSAVI در بازه زمانی ۱۳۶۹-۱۴۰۲



شکل ۴. متوسط تغییرات مکانی شاخص MSAVI در بازه زمانی ۱۳۶۹-۱۴۰۲

شده است که در این باز زمانی ۹۰۵۴/۳ هکتار معادل ۹۹/۳ درصد آن می باشد شامل احیاء پوشش گیاهی بوده که غالب منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته است و همچنین ۰/۷ درصد از منطقه احیا شده که معادل ۶۶/۷ هکتار از آن است در گذر زمان تخریب داشته است.

روند افزایشی و کاهشی شیب تغییرات شاخص پوشش گیاهی MSAVI در این بازه زمانی ۳۳ ساله را با استفاده از شیب خط رگرسیون که به ترتیب به عنوان نشانگر احیاء و تخریب سرزمین را در شکل ۵ آورده شده است. براساس نتایج حاصل از این شکل ۱۱۰۲/۷۷ هکتار از منطقه مورد مطالعه حدود ۹۱۲۱ هکتار جنگل کاری



شکل ۵- موقعیت مناطق تخریب یافته محدوده مطالعاتی شهرستان سه قلعہ

نتایج اندازه گیری ترسیب کربن

نتایج اندازه گیری تراکم گونه تاغ در هکتار نشان داد بیشترین تراکم در تیپ Ha.ap با ۴۳۰ پایه در هکتار و کمترین آن با ۱۷۵ پایه در هکتار در تیپ Ha.ap-Sa.to بوده است. جدول ۱ مقدار ترسیب کربن گیاه جنگل های دست کاشت منطقه سه قلعہ را نشان می دهد. بر این اساس

میانگین کربن ترسیب یافته گیاه در هر هکتار و کل محدوده مطالعاتی ۱۰۶/۷۵ کیلوگرم و ۱۱۳۴۶ تن است. نکته قابل توجه اینکه تیپ Ha.ap اگرچه دارای بیشترین تراکم تاغ در هکتار بوده اما تیپ Ha.ap-Al.ca دارای بیشترین مقدار کربن در هکتار بوده است که این تفاوت ناشی از جوان تر بودن پایه های تاغ در این تیپ بوده است.

جدول ۱- مقدار ترسیب کربن گیاه جنگل های دست کاشت منطقه سه قلعہ

ردیف	تیپ گیاهی	تراکم در هکتار	مساحت (هکتار)	مجموع کربن آلی در هکتار (کیلوگرم)	وزن کل کربن ترسیب یافته (تن)
۱	Ha.ap	۴۳۰	۹۶۵	۱۳۰۱	۱۲۵۵
۲	Ha.ap-Al.ca	۳۳۵	۴۱۰۷	۱۴۰۷	۵۷۷۹
۳	Ha.ap-Ar.si	۲۹۴	۱۰۱۴	۱۸۹۶	۱۹۲۳
۴	Ha.ap-Sa.to	۱۷۵	۳۰۰۷	۷۹۵	۲۳۸۹
جمع			۹۰۹۳		۱۱۳۴۶

نتایج مربوط به اندازه گیری میزان کربن ترسیب یافته در خاک در هر هکتار و کل محدود مورد مطالعه به ترتیب ۱۳۴۹/۷ کیلوگرم و ۱۰۵۲۴۹۲/۵ تن را نشان می دهد. در این میان تیپ Ha.ap اگرچه دارای بیشترین تراکم تاغ در هکتار بوده اما تیپ Ha.ap-Al.ca دارای

بیشترین مقدار کربن در هکتار بوده است که این تفاوت ناشی از جوان تر بودن پایه های تاغ در این تیپ بوده است. جدول ۲ مقدار ترسیب کربن خاک جنگل های دست کاشت منطقه سه قلعہ را نشان می دهد.

جدول ۲- مقدار ترسیب کربن خاک جنگل‌های دست‌کاشت منطقه سه‌قلعه

ردیف	تیپ گیاهی	میانگین وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتیمتر مکعب)	میانگین غلظت کربن آلی (%)	میانگین غلظت کربن آلی (%)	میانگین غلظت کربن آلی (%) در اثر فعالیت احیایی (صدم درصد)	میانگین وزن کربن ترسیب شده خاک (تن در هکتار)	وزن کل کربن ترسیب یافته خاک (تن)
۱	Ha.ap	۱/۳	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۰۵	۶۵	۶۲۷۲۵
۲	Ha.ap-Al.ca	۱/۲۵	۰/۴۱	۰/۲۸	۰/۱۳	۱۶۲	۶۳۷۳۸۸
۳	Ha.ap-Ar.si	۱/۴	۰/۴۱	۰/۱۷	۰/۱	۱۴۰	۱۴۱۹۶۰
۴	Ha.ap-Sa.to	۱/۲	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۰۵	۶۰	۱۸۰۴۲۰
جمع						۹۰۹۳	۱۵۰۲۴۹۲/۵

آماده‌سازی زمین برای کاشت محصول با هزینه زیادی همراه بوده است. همچنین در مرحله داشت و برداشت نیز خسارات زیادی به تولیدات کشاورزی از نظر کمیت و کیفیت محصولات وارد آمده است. در همین راستا نتایج مطالعات انجام گرفته در پروژه حفاظت و احیای بیابان کوبوچی [۲۳] و نتایج بررسی اثرات اجتماعی و اقتصادی جنگل‌های دست‌کاشت منطقه سه‌قلعه، نشان از افزایش کمیت و کیفیت تولیدات کشاورزی داشته است.

نتایج نشان داد میزان کل ترسیب کربن جنگل‌های دست‌کاشت منطقه سه‌قلعه معادل ۱۰۶۳۸۳۸/۵ برآورد گردیده که به تفکیک بخش خاک و گیاه به ترتیب رقم ۱۰۵۲۴۹۲/۵ و ۱۱۳۴۶ بوده است. در این میان اگرچه تیپ Ha.ap دارای بیش‌ترین تراکم تاغ در هکتار بوده اما تیپ Ha.ap-Al.ca دارای بیشترین مقدار کربن در هکتار بوده است که این تفاوت ناشی از جوان‌تر بودن پایه‌های تاغ این تیپ است. چرا که با توجه میزان لاشبرک بالاتر، خاک از نظر مواد آلی و عناصر غذایی غنی‌تر است که به آن‌ها جزایر حاصلخیز می‌گویند [۳۳، ۳۹]. در مطالعه‌ای که با هدف بررسی تکامل تدریجی ویژگی‌های خاک در شن‌زارهای تثبیت شده صحرای تنگو چین انجام گرفت نتایج نشان داد تثبیت شن و استقرار گونه‌های گیاهی باعث افزایش قابل توجه مواد آلی خاک می‌شود. بررسی مقدار ذخیره کربن در تپه‌های شنی سبزواری نشان داد در زیر درختچه تاغ ۲۷۷۱۸ کیلوگرم در هکتار و در بین آنان، ۱۴۹۱۵ کیلوگرم در هکتار ذخیره کربن صورت

جمع کل ترسیب کربن خاک و گیاه جنگل‌های دست‌کاشت منطقه سه‌قلعه معادل ۱۰۶۳۸۳۸/۵ برآورد گردید.

بحث و نتیجه گیری

گرمایش زیست‌کره در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای یکی از مهم‌ترین بحران‌های زیست‌محیطی انقلاب صنعتی است [۲۱]. اکوسیستم‌های زمینی نقش مهمی در حذف حدود ۳۰ درصد از کربن انتشاریافته در اثر فعالیت‌های انسانی، طی ۱۰ سال گذشته را داشته‌اند [۱۱]. در همین راستا توجه ویژه‌ای به اکوسیستم بیابان و جنگل‌های دست‌کاشت بیابانی، به‌عنوان یک منبع و ظرفیت بالقوه ناشناخته برای ترسیب کربن از سوی دانشمندان صورت گرفته است. نتایج حاصل از بررسی وضعیت پوشش گیاهی جنگل‌های دست‌کاشت بیابانی منطقه سه‌قله سرایان در بازه زمانی ۳۳ ساله (۱۴۰۲-۱۳۶۹) نشان داد شاخص MSVI از ۰/۰۵۷ در سال ۱۳۶۹ به ۰/۲۲ در سال ۱۴۰۲ افزایش یافته است. بررسی روند تغییرات مکانی پوشش از شمال غرب به مرکز و شرق نشان از تکثیر جنسی گونه سیاه‌تاغ (*Haloxylon aphyllum*)، در جهت باد غالب منطقه دارد. نکته قابل توجه در این تحقیق هم‌زمانی تغییرات مکانی پوشش گیاهی مناطق احیایی با سطح اراضی کشاورزی است. در این رابطه بررسی‌های صورت گرفته نشان داد کاهش درصد پوشش گیاهی در دهه ۱۳۸۰ منجر به تشدید حمل‌ش‌های روان و تخریب بستر کاشت اراضی کشاورزی شده، به نحوی که

مناطق خشک و هایپرترمیک آریزونا، رابطه مستقیم بین اجزای ریز خاک با کربن آلی را نشان داد [۳۸]. در همین راستا یک مطالعه در چین نشان داده است در پهنه های شنی، مقدار کربن آلی خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی متری، پس از ۳۲ سال عملیات تثبیت شن توسط تاغ از ۰/۰۲۶ درصد به ۰/۲۹ درصد رسیده است [۳۶].

نتایج این تحقیق حاکی از آن است که قابلیت ترسیب کربن جنگل های دست کاشت بیابانی که به عنوان یکی از منافع جانبی این گونه طرح ها مطرح است می تواند بیش تر مورد توجه دست اندرکاران امر قرار گیرد. در این میان پیشنهاد می گردد در قالب مطالعاتی جامع، قابلیت ترسیب کربن گونه های مناطق بیابانی تعیین گردیده تا بتوان میزان ذخیره کربن کل این مناطق را در سطح ملی و مجامع بین المللی ارائه نمود.

گرفته است. نتایج آنان بیانگر این مطلب است که کاشت تاغ در مناطق بیابانی نقش شگرفی در ترسیب کربن آلی ایفا می کند. با این حال جنگل های مناطق مرطوب و نیمه-مرطوب، از توانایی ترسیب کربن بیش تری برخوردارند، چنانچه براساس مطالعات انجام گرفته، یک هکتار جنگل با گونه زبان گنجشک (*Fraxinus excelsior*) توانایی ترسیب ۴۷/۶ تن کربن در هکتار را دارد [۱۶].

آنچه از ظرفیت مناطق خشک و بیابانی جهت ترسیب کربن مطرح است به سبب وسعت این اراضی است چرا که به شکل طبیعی مقدار کربن آلی خاک در این مناطق خشک کم است و معمولاً به ندرت به بیش از یک درصد می رسد. به عنوان مثال، حداکثر مقدار کربن آلی خاک در عمق ۵-۰ سانتی متری در درختچه زارهای مناطق خشک شیلی با بارندگی ۱۵۳ میلی متر، ۰/۸۹ درصد است [۲۷]. بررسی تأثیر نوع پوشش گیاهی بر کربن آلی خاک در

References

- [1]. Andre, P., Boneva, T., Chopra, F., & Falk, A. (2024). Globally representative evidence on the actual and perceived support for climate action. *Nature Climate Change*, 14(3), 253-259. <https://doi.org/10.1038/s41558-024-01925-3>
- [2]. Luske, Boki and van der Kamp, Joris (2009) Carbon sequestration potential of reclaimed desert soils in Egypt. *Louis Bolk Instituut / Soil and more*. 35.
- [3]. Bagherifam, S. and Shayesteh Zeraati, H. (2015). Capability of haloxylon in carbon sequestration in sand dunes of Sabzevar. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5(1), 187-200.
- [4]. Baghestani Meibodi, N. (2019). Holxylon and haloxylon plantation. Research institute of forests and rangelands. 300.
- [5]. Bastin, J. F., Finegold, Y., Garcia, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., and Crowther, T. W. (2019). The global tree restoration potential. *Science*. 365, 76-79 (2019). <https://doi.org/10.1126/science.aax0848>
- [6]. Cook-Patton, S. C., Drever, C. R., Griscom, B. W., Hamrick, K., Hardman, H., Kroeger, T., ... & Ellis, P. W. (2021). Protect, manage and then restore lands for climate mitigation. *Nature Climate Change*, 11(12), 1027-1034. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01198-0>.
- [7]. Darvand, S., Khosravi, H., Eskandari Damaneh, H., & Eskandari Damaneh, H. (2021). Investigating the trend of NDVI changes derived from MODIS sensor imagery (Case study: Isfahan Province). *Degradation and Rehabilitation of Natural Lands*, 1(2), 69-79. [in Farsi]
- [8]. Eskandari Shahraki, A., Kiani, B. and Iranmanesh, Y. (2016). Effects of different landuse types on soil organic carbon storage. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 24(3), 389-379. doi: 10.22092/ijfpr.2016.107354.
- [9]. Niu, D., Chen, H., Jiang, S., Liu, L., Zhang, H., & Fu, H. (2013). Carbon Sequestration in Relation to Shrub Size in the Desert Ecosystem.
- [10]. Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., Khosravi, H., Gilevari, A., & Adeli Sardooei, M. (2021). A survey on the effect of drought on environmental indices derived from the MODIS data over the 2001-2019 period (Case study: Rangelands of Isfahan province). *Rangeland*, 15(3), 460-476. [in Farsi]
- [11]. Friedlingstein, P., O'sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Gregor, L., Hauck,

- J., ... & Zheng, B. (2022). Global carbon budget 2022. *Earth System Science Data*, 14(11), 4811-4900. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>.
- [12]. Ghasemi Arian, Y. (2012). Economic valuation of ecosystem goods and services of projects to combat desertification in South Khorasan Province, Final report of the completed project, National Forest and Rangeland Research Institute, *Agricultural Research, Education and Extension Organization*. [in Farsi]
- [13]. Ghasemi Arian, Y., and Yari, R. (2022). The role, importance and economic value of vegetation in controlling shifting sand and dust control, *Chehar Derakht publication*. [in Farsi]
- [14]. Ghasemi Arian, Y., Khaksarian, F., Sayedakhalaghi, S., J., Abbasi, H., R., and Farajollahi, A. (2012). Identifying the socio-economic dimensions of vegetation development projects in desert areas in the Se-Qaleh Sarayan region. 5th National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, *Yazd University*. [in Farsi]
- [15]. Ghasemi Arian, Y., Eskandari Damaneh, H., Haghani, G., Mohammadi Roudbari, M., Jafarian, V., Eskandari Damaneh, H., Hajibaglou, A. and Ziaee, N. (2024). Investigating the trend and determining the characteristics of critical wind and dust erosion hotspots in Sarakhs County. *Journal of Arid Biome*, 14(2), 61-74. doi: 10.29252/aridbiom.2025.22155.2028.
- [16]. Hemmati, N., Kiani, B. and Mosleh Arani, A. (2018). Using allometric equations for determining the biomass of saxaul (*Halloxylon ammodendron* C.A.May). *Journal of Arid Biome*, 8(1), 37-47. doi: 10.29252/aridbiom.8.1.37.
- [17]. Ghasemi Arian, Y. (2016). Evaluation and comparison of ecological based and socio-ecological based approaches in natural resources management both economically and ecologically (case study: combating desertification project and international carbon sequestration project in Sarbisheh plain, Khorasan povince). Ph.D. thesis in combating desertification. University of Tehran. [in Farsi]
- [18]. Guo, L. B., & Gifford, R. M. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global change biology*, 8(4), 345-360..
- [19]. Javadi, S., Ranjbar Fardoie, A., Khosravi, H. and Eskandari Damaneh, H. (2023). Investigating the effects of drought on the water use efficiency in different climates and land uses (Case study: Tehran province). *Journal of Arid Biome*, 13(2), 1-15. doi: 10.29252/aridbiom.2024.20742.1965. [in Farsi]
- [20]. Jia Xiaohong, L., Ye Jingyun, F., Bao Fang, X., X., and Wu, B. (2023). Estimating carbon storage of desert ecosystems in China, *International Journal of Digital Earth*, 16:2, 4113-4125, DOI: 10.1080/17538947.2023.2263415.
- [21]. Kerr, R.A. (2007). Scientists tell policy makers we're all warming the world. *Science*. 315:754-757. <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.315.5813.754>
- [22]. Li, L., Zayiti, A., & He, X. (2023). Evaluating the stand structure, carbon sequestration, oxygen release function, and carbon sink value of three artificial shrubs alongside the tarim desert highway. *Forests*, 14(11), 2137. <https://doi.org/10.3390/f14112137>.
- [23]. Liu, H., Wang, H., Teng, Y., Zhan, J., Wang, C., Liu, W., ... & He, Y. (2024). Controlling desertification brings positive socioeconomic benefits beyond regional environmental improvement: Evidence from China's Gonghe Basin. *Journal of Environmental Management*, 354, 120395. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120395>
- [24]. Luske, Boki and van der Kamp, Joris (2009) Carbon sequestration potential of reclaimed desert soils in Egypt. Louis Bolk Instituut / Soil and more
- [25]. Luyssaert, S., Inglima, I., Jung, M., Richardson, A. D., Reichstein, M., Papale, D., ... & Janssens, I. A. (2007). CO2 balance of boreal, temperate, and tropical forests derived from a global database. *Global change biology*, 13(12), 2509-2537. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01439.x>
- [26]. Natural Resources and Watershed Management Organization. (2018). Update

- plan for the hot spots of wind erosion in Iran Desert affair bureau, natural resources and watershed organization. [in Farsi]
- [27]. Perez-Quezada, J. F., Delpiano, C. A., Snyder, K. A., Johnson, D. A., & Franck, N. (2011). Carbon pools in an arid shrubland in Chile under natural and afforested conditions. *Journal of Arid Environments*, 75(1), 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.08.003>
- [28]. Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., and Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 48(2), 119-126. doi: 10.1016/0034-4257(94)90134-1.
- [29]. Ma, Q., Wang, X., Chen, F., Wei, L., Zhang, D., & Jin, H. (2021). Carbon sequestration of sand-fixing plantation of Haloxylon ammodendron in Shiyang River Basin: storage, rate and potential. *Global ecology and conservation*, 28, e01607, <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01607>.
- [30]. Raihan, A. (2023). Toward sustainable and green development in Chile: dynamic influences of carbon emission reduction variables. *Innovation and Green Development*, 2(2), 100038.. <https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100038>.
- [31]. Salajegheh, S., Eskandari Damaneh, H., & Eskandari Damaneh, H. (2024). Examining the Spatial and Temporal Relationships among Aerosol Optical Depth, Soil Moisture, and Wind Speed from 2000 to 2024,(Case Study: Western Iran). *Desert*, 29(2), 314-326. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2024.10.0917>
- [32]. Savari, M., Damaneh, H. E., & Damaneh, H. E. (2025). Discover the determining factors of the use of mangrove forests conservation behaviors. *Journal for Nature Conservation*, 83, 126768. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126768>
- [33]. Schade, J. D., Sponseller, R., Collins, S. L., & Stiles, A. (2003). The influence of Prosopis canopies on understorey vegetation: effects of landscape position. *Journal of Vegetation Science*, 14(5), 743-750. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02206.x>
- [34]. Lozano-Baez, S. E., Boeni, A. F., Valderrama, P. D., & Rodrigues, R. R. (2024). Attention needed in forest carbon projects: An analysis of initiatives in Colombia. *Forest Ecology and Management*, 574, 122354. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122354>
- [35]. Su, Y. Z., Wang, X. F., Yang, R., & Lee, J. (2010). Effects of sandy desertified land rehabilitation on soil carbon sequestration and aggregation in an arid region in China. *Journal of Environmental Management*, 91(11), 2109-2116. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.12.014>
- [36]. Walker, W. S., Gorelik, S. R., Cook-Patton, S. C., Baccini, A., Farina, M. K., Solvik, K. K., ... & Griscom, B. W. (2022). The global potential for increased storage of carbon on land. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(23), e2111312119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2111312111>
- [37]. White II, D. A., Welty-Bernard, A., Rasmussen, C., & Schwartz, E. (2009). Vegetation controls on soil organic carbon dynamics in an arid, hyperthermic ecosystem. *Geoderma*, 150(1-2), 214-223. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.02.011>
- [38]. Wohlfahrt, G., Fenstermaker, L. F., & ARNONE III, J. A. (2008). Large annual net ecosystem CO₂ uptake of a Mojave Desert ecosystem. *Global Change Biology*, 14(7), 1475-1487. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01593.x>
- [39]. Yang, Y., Liu, L., Zhang, P., Wu, F., Wang, Y., Xu, C., ... & Kuzyakov, Y. (2023). Large-scale ecosystem carbon stocks and their driving factors across Loess Plateau. *Carbon Neutrality*, 2(1), 5. <https://doi.org/10.1007/s43979-023-00044-w>

The effectiveness of tree plantation in desert areas in terms of ecosystem service of carbon sequestration in the Se-qaleh-Sarayan region, South Khorasan, Iran (Research Paper)

1- Yaser Ghasemi Arian*, Assistant Professor of Research, Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

ghasemiaryan@rifr-ac.ir

2- Hadi Eskandari Damaneh, Researcher, Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3- Firouzeh MoghimiNezhad, Ph.D. Graduate in Rangeland Science, University of Tehran, Iran.

4- Alireza Yari, M.Sc. Expert in Desertification, General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of South Khorasan Province, Iran

Received: 3 Mar. 2025

Accepted: 19 Nov. 2025

Abstract

Today, as the adverse effects of climate change become increasingly evident worldwide, scientists are concentrating on artificial desert forests as a novel source and potential means of carbon sequestration. This study aimed to investigate the Saqaleh-Sarayan region of South Khorasan province. In the first step, the restoration and development of artificial forests in the study area were examined using remote sensing images from Landsat 5 and 8 satellites, which have a 30-meter resolution and cover the years 1369 to 1402. This was conducted with a modified vegetation cover index adjusted for soil MSAVI. Next, to evaluate in the field, vegetation types and representative areas were identified, and five transects of 300 meters were established both randomly and systematically. By measuring five plots of 4 square meters along each transect, the density was calculated. Since black alder was the only dominant species in the study area, three stands of each type were cut at different heights to determine biomass weight accurately. The aerial and underground components were then completely removed and weighed. To evaluate soil carbon content using the Walkey and Block method, five topsoil samples were taken from a depth of 5-15 cm for each type. Subsequently, the plant carbon content was determined via combustion. The results showed spatial and temporal changes in the MSAVI index, which rose from 0.57 in 1980 to 2.2 in 1983. This increase was noted as moving from the north and northwest towards the east and southeast of the region. The average number of thuja shrub stands across various types was 308 stands per hectare. The total carbon sequestration in the man-made forests of the Sah Qala region was estimated at 1063838.5 tons, which equates to 106 kg and 11346 tons per hectare across the studied plant section, while in the soil section, it was 1349.7 kg and 1052492.5 tons, respectively. Overall, the carbon sequestration capacity in arid and desert areas can be attributed to the expanse of these lands, as soil organic carbon levels in these regions are typically low. Nevertheless, man-made forests in desert areas significantly contribute to the sequestration of organic carbon.

Keywords: Climate change, Wind erosion, Sand fixation, Vegetation index, Remote sensing.