Gonbad Kavous University
Journal of Plant
Ecosystem Conservation
Volume 14, Issu 28
http://pec.gonbad.ac.ir

Evaluation of the Effectiveness of combating Desertification Projects in Critical Hotspots of Wind Erosion and Dust (Case Study: Nehbandan County, South Khorasan)

Yaser Ghasemi Aryan[1]*

[1]Assistant Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 2025/08/27; Accepted: 2025/12/30

Abstract

Effectiveness evaluation, as one of the key components of project management, plays an important role in performance monitoring, identifying strengths and weaknesses, and improving management decision-making. Despite more than seven decades of implementing combating desertification projects in critical hotspots of wind erosion and dust in Iran, evaluate the effectiveness of these interventions remains a major management and research gap in this field. Accordingly, this study aimed to determine the effectiveness of combating desertification projects in Nehbandan County, South Khorasan Province, Iran. For this porpus, the digital boundaries of five restoration projects and a control area were identified, followed by field surveys and data collection within each area. The ecological indicators considered included vegetation cover percentage, annual production, species diversity, carbon sequestration in plant biomass, and wind erosion intensity. Vegetation cover and annual production were measured using the transect and quadrat methods. Species diversity was assessed based on species richness and evenness using the Shannon–Wiener index in PAST software. Plant carbon was measured using the combustion methods, while wind erosion intensity was estimated using the IRIFR model. The differences in the aforementioned indicators between the restored and control areas were considered as measures of ecological effectiveness. The results showed that the implementation of combating desertification projects aimed at stabilizing critical hotspots of wind erosion and dust increased mean vegetation cover by 14.7 percentage, increased annual production from 9.8 to 72.9 tons, and improved species diversity from 0.12 in control areas to 0.44 in restored areas. The mean seedling survival rate in the restored sites was estimated at 90.25%, indicating a high level of success in planting operations. The total amount of carbon sequestered in plant biomass was estimated at 913.1 tons. The results also indicated that enhanced vegetation cover reduced wind erosion intensity by an average of 7.4 tons ha^{-1} and protected a total of 14.4 thousand tons of soil across the project areas. Overall, the findings demonstrate the high effectiveness of wind erosion control and management projects in improving ecological performance in the desert ecosystems of Nehbandan County, particularly in stabilizing moving sands. However, the dominance of a limited number of plant species in restored areas may challenge the long-term ecological resilience of these ecosystems. Therefore, increasing species diversity should be considered in the design of future restoration projects.

Keywords: Combating desertification, wind erosion, ecological evaluation, ecosystem services, South Khorasan.

*Corresponding author: ghasemiaryan@ut.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

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

علمی-پژوهشی

ارزیابی اثربخشی پروژه‌های مقابله با بیابان‌زایی در کانون‌های بحرانی فرسایش بادی و گرد و غبار (مطالعه موردی شهرستان نهبندان خراسان جنوبی)

یاسر قاسمی‌آریان*[1]

[1]استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۹

چکیده

ارزیابی اثربخشی، به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی مدیریت پروژه‌ها، نقش مهمی در پایش عملکرد، شناسایی نقاط قوت و ضعف و بهبود تصمیم‌گیری‌های مدیریتی ایفا می‌کند. با وجود سابقه بیش از هفت دهه اجرای پروژه‌های مقابله با بیابان‌زایی در کانون‌های بحرانی فرسایش بادی و گردوغبار کشور، ارزیابی اثربخشی این اقدامات همچنان یکی از خلأهای مهم مدیریتی و پژوهشی در این حوزه به شمار می‌رود. در این راستا پژوهش حاضر با هدف تعیین اثربخشی پروژه‌های یادشده در شهرستان نهبندان در استان خراسان جنوبی انجام گرفت. برای این منظور ابتدا محدوده‌های رقومی پنج پروژه احیایی و منطقه شاهد، شناسایی و ضمن پیمایش صحرایی نسبت به برداشت اطلاعات میدانی در هر محدوده اقدام گردید. شاخص‌های اکولوژیکی مورد نظر شامل درصد پوشش گیاهی، تولید سالانه، تنوع گونه‌ای، ترسیب کربن گیاه و شدت فرسایش بادی بود. اندازه‌گیری درصد پوشش گیاهی و تولید با روش ترانسکت و پلات، اندازه‌گیری تنوع گونه‌ای با تعیین میزان غنا و یکنواختی گونه‌ای و با استفاده از شاخص شانون‌واینر در محیط نرم‌افزار PAST، اندازه‌گیری کربن گیاه با روش احتراق و اندازه‌گیری شدت فرسایش بادی با مدل ایرانی اریفر انجام گرفت. در ادامه اختلاف مقادیر شاخص‌های فوق‌الذکر بین دو منطقه احیایی و شاهد به عنوان اثربخشی اکولوژیکی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد اجرای پروژه‌های مقابله با بیابان‌زایی با هدف تثبیت کانون‌های بحرانی فرسایش بادی و گرد و غبار موجب افزایش میانگین ۱۴/۷ درصدی پوشش گیاهی، افزایش تولید سالانه از ۹/۸ به ۷۲/۹ تن و ارتقای تنوع گونه‌ای از ۰/۱۲ در مناطق شاهد به ۰/۴۴ در مناطق احیایی شده است. میانگین درصد زنده‌مانی نهال‌ها در سایت‌های احیایی ۹۰/۲۵ درصد برآورد گردید که بیانگر موفقیت بالای عملیات کاشت است. مجموع کربن ترسیب‌یافته در زیست‌توده گیاهی ۹۱۳/۱ تن محاسبه شد. نتایج نشان داد تقویت پوشش گیاهی باعث کاهش شدت فرسایش بادی به‌طور میانگین ۷/۴ تن در هکتار و حفاظت مجموعاً ۱۴/۴ هزار تن خاک در سطح اجرای پروژه‌ها گردیده است. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش بیانگر اثربخشی بالای پروژه‌های کنترل و مدیریت کانون‌های بحرانی فرسایش بادی در بهبود عملکرد اکولوژیکی در اکوسیستم‌های بیابانی شهرستان نهبندان به ویژه در زمینه تثبیت ماسه‌های روان است. با این حال، غلبه چند گونه محدود در مناطق احیایی می‌تواند در بلندمدت تاب‌آوری اکولوژیکی این اکوسیستم‌ها را با چالش مواجه سازد؛ ازاین‌رو، تنوع‌بخشی گونه‌ای در طراحی پروژه‌های آتی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: **مقابله با بیابان‌زایی، فرسایش بادی، ارزیابی اکولوژیکی، خدمات اکوسیستمی، خراسان جنوبی**

مقدمه

حدود ۵۹/۵ میلیون کیلومتر مربع یا ۳۷٪ از مساحت زمین‌های جهان را مناطق خشک پوشش می‌دهند؛ که نیمی از آنها فقیرترین مناطق جهان هستند (UNCCD, 2022). شتاب فزاینده بیابان‌زایی در دهه‌های اخیر، معضلی اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی (Bakinova et al., 2024) محسوب شده که معیشت حدود ۱/۳ میلیارد نفر را در سراسر جهان تحت تأثیر قرار داده است (UNCCD,

* نویسنده مسئول: ghasemiaryan@rifr-ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

2017). بنابراین، حفظ و احیای بیابان برای بقا و توسعه امنیت غذایی انسانی مهم است. با توجه به تأثیرات منفی بیابانزایی (شامل فقر، خطرات سلامتی، ناامنی غذایی، کمبود آب، مهاجرت اجباری، کاهش تاب‌آوری در برابر تغییرات آب و هوایی، و درگیری بر سر منابع رو به کاهش)، دو استراتژی حفاظت و مقابله با بیابان‌زایی در دستور کار دولت‌ها قرار گرفته است

(قاسمی آریان و همکاران، ۱۴۰۳، Chen & Costanza, 2024.).

کارکرد تثبیت و کنترل شن‌های روان، یک خدمت اکولوژیکی مهم در اکوسیستم‌های بیابانی محسوب می‌شود که رابطه نزدیکی با فرسایش بادی دارد (Ala et al., 2014, Bidak et al., 2015, Taylor et al., 2017). بحث و ارزیابی سیستماتیک فرسایش بادی بخش اصلی ارائه راه حل های بلندمدت طراحی شده برای افزایش عملکرد تثبیت شن است (Costanza et al., 2013., Li et al., 2019). اگرچه نگرانی در خصوص پیامدهای مخرب فرسایش بادی و حمل ماسه-های روان دارای سابقه‌ای دیرینه در ایران و جهان است اما در سال‌های اخیر تقویت این اجماع کلی در بین محققان مبنی بر افزایش دما و کاهش بارندگی ناشی از اثرات تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی و در نتیجه تاثیر مستقیم آنان بر زوال پوشش گیاهی و همچنین افزایش سرعت باد، بر شدت این نگرانی‌ها افزوده است (Serpa et al., 2015, Anache et al., 2018)

در همین حال، مطالعات نشان داده‌اند تغییرات پیش آمده مناطق مستعد و حساس به فرسایش بادی و گرد و غبار را افزایش داده است (Sun et al., 2024). همچنین نتایج مطالعات مختلف موید این واقعیت است که تبدیل زمین‌های کشاورزی به علفزار یادرختچه‌زارها منجر به افزایش عملکرد تثبیت شن می‌شود، در حالی که تبدیل علفزارها به زمین‌های بایر اثر معکوس دارد (Zhao et al., 2008).

اثربخشی پروژه‌های تثبیت ماسه‌های روان که غالبا با سه روش بیولوژیکی، مکانیکی و بیومکانیکی اجرا می‌شوند، منحصرا به کنترل ماسه‌های روان محدود نمی‌شود. برای مثال اجرای پروژه‌های اکولوژیکی در امتداد بزرگراه پکن-ارومچی که از صحرای مغولستان داخلی و استان گانسو عبور می‌کند برای حفاظت از طوفان شن ساخته شده است. منجر به احیای پوشش گیاهی و افزایش تدریجی خدمات اکوسیستم شده است (Zeng et al., 2014). ارزیابی اثربخشی احیای اراضی بیابانی در منطقه کرکین (که پوشش گیاهی مرتع و محصولات زراعی، به شدت متاثر از طوفان‌های شنی مکرر در فصل بهار بوده‌اند) نشان داد که ساخت شبکه‌های شطرنجی و کاشت نهال‌های درختچه‌ای به طور قابل توجهی توسعه خاک سطحی را بر روی سطح تپه افزایش داه و بر میزان سیلت و رس افزوده است. همچنین تجمع کربن خاک و نیتروژن کل را تسهیل و افزایش تنوع گیاهی، پوشش گیاهی و تراکم گیاهی را تسریع نموده است (Zhang et al. 2004). سایر مطالعات انجام گرفته در زمینه تعیین اثربخشی اقدامات مرتبط با تثبیت ماسه‌های روان در اراضی بیابانی تایید می‌کنند که این اقدامات در تسریع احیای زمین، کاهش فرسایش بادی، بهبود ویژگی‌های خاک و تسهیل استقرار و گسترش گیاهان موفقیت‌آمیز هستند (Li et al. 2009). ژانگ و همکاران (Zhang et al. 2004) اثرات اقدامات تثبیت شن را بر تنوع گیاهی، پوشش گیاهی، زیست توده گیاهی و خواص خاک در دو سال پس از اجرای این اقدامات مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که ساخت شطرنجی‌های کاه گندم و کاشت درختچه‌های بومی بهترین روش‌ها در سرزمین شنی کرکین هستند. اما اثرات نسبتاً طولانی مدت اقدامات تثبیت شن بر احیای سرزمین‌های بیابانی هنوز نامشخص است، به ویژه سرعت بازیابی خاک و پوشش گیاهی و توالی جوامع گیاهی. بنابراین ارزیابی و تحلیل علمی و کمی پویایی عملکردهای اکوسیستم در مناطق خشک برای ارتقای بهبود عملکردی اکوسیستم‌های بیابانی و برآوردن تقاضای فزاینده برای خدمات اکوسیستم، حیاتی و ضروری است. این نوع ارزیابی و تحلیل همچنین مستقیماً اجرای سیاست‌های طراحی شده برای مبارزه با بیابان‌زایی مانند استفاده از مکانیسم جبران اکولوژیکی را ارتقا می‌دهد (D'Odorico et al., 2013, Costanza et al., 2014).

نتایج ارزیابی صورت گرفته روی توانایی ترسیب کربن مناطق بیابانی احیاشده در مصر برای مدت ۳۰ سال نشان داد که اقدامات احیایی منجر به افزایش ماده آلی و ذخیره کربن خاک و درنتیجه افزایش حاصلخیزی خاک به شکل نمایی شده است به طوریکه سالانه ۰/۹ تن در هکتار در سال ذخیره کربن در طول سال‌های انجام پژوهش اتفاق افتاده است (Luske et al., 2009). نتایج قاسمی آریان و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد اجرای پروژه‌های جنگلکاری در

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

مناطق بیابانی سربیشه در استان خراسان جنوبی تحت مدیریت اجتماعی- اکولوژیک محور تاثیر قابل توجهی در تقویت شاخص‌های اکولوژیکی شامل درصد پوشش گیاهی، تولید و ترسیب کربن داشته است. نتایج مطالعات ما و همکاران (Ma et al. 2021) نشان داد کل ذخیره کربن، حداکثر پتانسیل ترسیب و انتشار کربن در محدوده جنگل‌کاری‌ها با گونه سیاه‌تاغ (*Haloxylon ammodendron*) در حوضه آبریز رودخانه شی‌یانگ چین (که با هدف تثبیت ماسه‌های روان انجام گرفته بود) به ترتیب، ۰/۱۸، ۰/۸۴ و ۱/۹۵ تراگرم (معادل ۱۰۱۲) بوده است. آن‌ها همچنین توسعه تاغزارهای مناطق بیابانی را جهت افزایش ذخیره کربن آلی و حفظ پایداری اکوسیستم توصیه نمودند. نتایج مطالعات قاسمی آریان و همکاران (۱۴۰۴) قاسمی آریان و همکاران (۱۴۰۳) نشان داد در اثر توسعه جنگل‌های دست‌کاشت مناطق بیابانی سه‌قله سرایان، شاخص پوشش گیاهی MSAVI از ۰/۰۵۷ در سال ۱۳۶۹ به ۰/۲۲ در سال ۱۴۰۲ افزایش یافته و نقش مهمی در افزایش تولید، تثبیت ماسه‌های روان و کاهش قابل¬توجه فرسایش بادی و گرد و غبار، افزایش حاصلخیزی خاک، افزایش کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی و بهبود شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی داشته است. چنانچه برخی دانشمندان اکوسیستم‌های بیابانی را منابع و ظرفیت‌هایی بالقوه ناشناخته برای ترسیب کربن حاصل از سوخت‌های فسیلی در آینده قلمداد می‌نمایند.

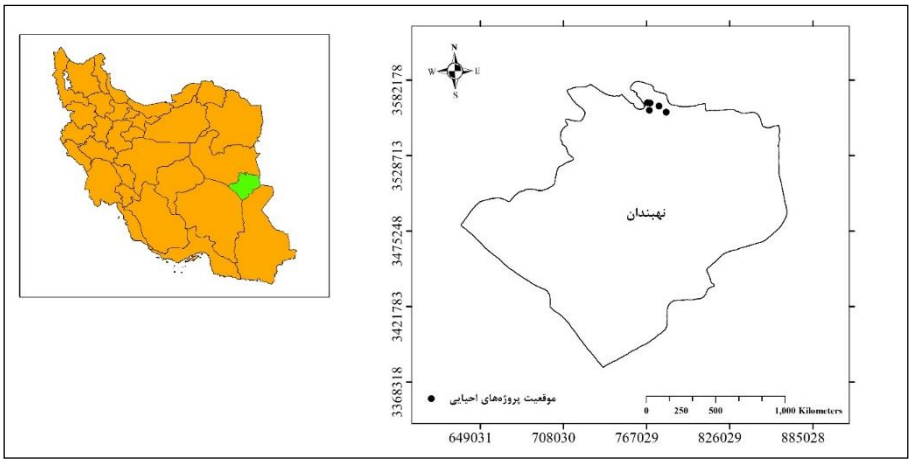
اگرچه مطالعه در خصوص اثربخشی اقدامات آبخیزداری سابقه‌ای طولانی در سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور دارد اما مطالعه اثربخشی پروژه‌های مقابله با بیابان‌زایی، نه تنها در سطح ایران، بلکه در سطح جهان نیز بسیار محدود است و در اغلب موارد، موفقیت پروژه‌ها صرفاً بر اساس اجرای فعالیت‌ها گزارش شده و بررسی پیامدهای واقعی آن‌ها بر عملکرد اکوسیستم‌های بیابانی، به‌ویژه در مقایسه با شرایط شاهد، مغفول مانده 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 در جهت آگاهی‌رسانی و تقویت دانش اجتماعات محلی، کارشناسان و برنامه‌ریزان، در زمینه کالا و خدمات اکوسیستمی بیابان فراهم آورد برخوردار است. ازاین‌رو، انجام پژوهش‌هایی که بتوانند به‌صورت علمی و مبتنی بر داده‌های میدانی، میزان اثربخشی اقدامات انجام‌شده را تبیین نمایند، ضرورتی انکارناپذیر در جهت بهبود برنامه‌ریزی، تخصیص منابع و افزایش کارایی پروژه‌های آتی محسوب می‌شود. وجه تمایز اصلی این تحقیق با مطالعات پیشین، رویکرد جامع آن در ارزیابی همزمان چندین شاخص کلیدی اکولوژیکی شامل پوشش و تولید گیاهی، تنوع گونه‌ای، ترسیب کربن در خاک و گیاه و شدت فرسایش بادی در قالب مقایسه مناطق احیایی و شاهد است. در حالی که اغلب مطالعات داخلی یا خارجی، تنها بر یک یا دو شاخص (مانند پوشش گیاهی یا فرسایش بادی) تمرکز داشته‌اند، در پژوهش حاضر تلاش شده است تصویری یکپارچه از پیامدهای اکولوژیکی پروژه‌های تثبیت ماسه‌های روان در کانون‌های بحرانی فرسایش بادی مناطق بیابانی شهرستان نهبندان ارائه شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان نهبندان جنوبی‌ترین شهر استان خراسان جنوبی است که در ارتفاع ۱۱۹۶ متر از سطح دریا قرار گرفته است. فاصله این شهرستان تا مرکز استان ۱۸۰ کیلومتر و تا نقطه مرزی ۸۵ کیلومتر می‌باشد. میانگین دما و بارندگی این شهرستان به ترتیب ۲۰/۹ درجه سانگیراد و ۱۱۰ میلیمتر است. با توجه به شرایط اقلیمی بیابانی و خشک و قرارگیری این شهرستان در حاشیه کویر بزرگ لوت و ارگ بزرگ و مسیر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، ۱۰۵۴۰۲۵ هکتار از مساحت آن جزء اراضی مبتلابه فرسایش بادی محسوب می‌شود. تحقیق حاضر پروژه‌های تثبیت ماسه‌های روان در قالب فاز سوم پروژه ترسیب کربن در شهرستان نهبندان را که از سال ۱۳۹۵ در منطقه اجرا گردیده است مورد بررسی قرار داده است. شکل شماره ۱ موقعیت پروژه‌های تثبیت ماسه‌های روان را را در شهرستان نهبندان، استان خراسان جنوبی و کشور نشان می‌دهد.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]



شکل ۱- موقعیت پروژه‌های کنترل و مدیریت کانون‌های بحرانی فرسایش بادی شهرستان نهبندان

روش تحقیق

در این تحقیق به منظور بررسی اثربخشی پروژه‌های تثبیت ماسه‌های روان در کانون‌های بحرانی فرسایش بادی مناطق بیابانی در شهرستان نهبندان، ابتدا محدوده‌های رقومی پروژه‌ها شناسایی گردید. در ادامه به منظور بررسی شاخص‌های پوشش گیاهی (شامل درصد زنده‌مانی، درصد تاج پوشش، تولید، کربن ترسیب‌یافته در زیست‌توده گیاهی و تنوع گونه‌ای) و خاک (شدت فرسایش) ضمن بازدید و پیمایش صحرایی در محدوده ۵ پروژه مورد بررسی، یک منطقه معرف و یک منطقه شاهد (در حاشیه هر پروژه) جهت نمونه‌برداری انتخاب گردید. برای تعیین درصد زنده‌مانی، تعداد ردیف به صورت تصادفی-سیستماتیک انتخاب گردیده و ضمن حرکت در طول مسیر تعداد نهال‌های سبز و خشک (یا چاله‌های فاقد نهال)، شمارش شده و درصد زنده‌مانی محاسبه گردید. میانگین به دست آمده از ده ردیف به عنوان درصد زنده‌مانی پروژه تعیین گردید. اندازه‌گیری درصد پوشش گیاهی و تولید با استقرار ترانسکت (۴ ترانسکت ۲۵۰ متری) و پلات (۵ پلات در هر ترانسکت) و اندازه‌گیری تنوع گونه‌ای (با تعیین میزان غنا و یکنواختی گونه‌ای) با شاخص شانون واینر در محیط نرم افزار PAST انجام گرفت. جهت تعیین میزان کربن ترسیب‌شده گیاه، ابتدا با حفر پروفیل و برداشت اندام گونه‌های گیاهی، نمونه‌برداری انجام پذیرفت. سپس از هر کدام از گونه‌های غالب محدوده ۳ پایه به صورت تصادفی انتخاب شده و اندام هوایی و زیرزمینی به طور کامل استخراج و به آزمایشگاه منتقل گردید. برای تعیین ضریب تبدیل ترسیب کربن اندام‌های گیاه از روش احتراق (عبدی، ۱۳۸۴ و فروزه، ۱۳۸۵) استفاده شد. از هر اندام گونه‌های گیاهی، پس از خشک شدن در دستگاه اتو (در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۱۸ ساعت)، ۱۰ نمونه ۱۰ گرمی تهیه شد. نمونه‌ها شامل اندام‌های گونه‌های مذکور به مدت ۴ ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد نگهداری شد. سپس خاکستر نمونه‌ها پس از خنک شدن در دستگاه دسیکاتور، توزین شده و برای اطمینان از تثبیت وزن آنها دوباره به مدت ۱ ساعت در دماهای مذکور نگهداری شد. با تعیین وزن خاکستر و با در دست داشتن وزن اولیه و نسبت کربن آلی به مواد آلی بر اساس رابطهٔ زیر (عبدی، ۱۳۸۴) میزان کربن آلی در هر کدام از اندام‌های گیاه، به صورت جداگانه محاسبه شد. رابطه ۱ روش اندازه‌گیری گربن آلی را نشان می‌دهد. در این رابطه OM ماده آلی و OC کربن آلی را نشان می‌دهد.

$$OC= 0.54\ OM$$ رابطه ۱

برآورد شدت فرسایش بادی به منظور تعیین کارکرد میزان خاک حفاظت شده با مدل تجربی IRIFR انجام گرفت. در این روش شدت فرسایش خاک و میزان رسوبدهی که از امتیازات عوامل نه‌گانه مؤثر در فرسایش بادی (سنگ شناسی، شکل اراضی و پستی و بلندی، سرعت و وضعیت باد، خاک و پوشش سطح آن، انبوهی پوشش گیاهی، آثار فرسایشی سطح خاک، رطوبت خاک، نوع و پراکنش نهشته‌های بادی، مدیریت و استفاده از زمین) حاصل می‌شود در پنج کلاس خیلی کم تا خیلی زیاد طبقه‌بندی گردیده است. با توجه به ماهیت کاربردی مطالعه و طراحی تحقیق به‌صورت مقایسه جفتی سایت‌های احیایی و شاهد در مقیاس پروژه‌های اجرایی، امکان استفاده از آزمون‌های

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

آماری کلاسیک مبتنی بر تکرارهای مستقل وجود نداشت. در این پژوهش، اختلاف مقادیر شاخص‌های اکولوژیکی بین سایت احیایی و شاهد به‌عنوان شاخص اثربخشی اکولوژیکی در نظر گرفته شد که رویکردی رایج در ارزیابی اثربخشی پروژه‌های احیای سرزمین و مقابله با بیابان‌زایی است.



شکل ۲- تصاویر مربوط به مراحل نمونه‌برداری از خاک و گیاه در عرصه مطالعاتی

نتایج

نتایج مربوط به بررسی اثربخشی پروژه‌های تثبیت ماسه‌های روان در کانون‌های بحرانی فرسایش بادی شهرستان نهبندان، به تفکیک در دو بخش شاخص‌های پوشش گیاهی و خاک و دو سایت احیایی و شاهد در جداول ۱ و ۲ ارائه گردیده است. پروژه‌های صورت گرفته، نهالکاری و مدیریت رواناب (احداث هلالی آبگیر) بوده که نهالکاری سطح بیشتری را به خود اختصاص داده است. گونه‌های تاغ (*Haloxylon aphylum*) و آتریپلکس (*Atriplex conesence*) بیشترین تراکم را نسبت به سایر گونه‌ها در سایت‌های احیایی دارا هستند. همچنین در سایت‌های شاهد، اسپند (*Peganum Harmala*) گونه غالب عرصه بوده که فراوانی آن نشان از بهره‌برداری مفرط، تخریب گسترده و انهدام کامل پوشش گیاهی در گذشته دارد. میانگین زنده‌مانی گیاهان کاشت شده در عرصه ۹۰/۲۵ درصد بوده که در کلاس بسیار خوب قرار می‌گیرد. بیشترین درصد زنده‌مانی با ۹۳/۶ مربوط به پروژه جنگلکاری دشت سهل آباد و کمترین آن با ۸۶/۴ درصد مربوط به جنگلکاری تالاب کجی بوده است. در این زمینه کارشناسان پروژه، خلاقیت و تکنیک بکار رفته در زمان کاشت، مبنی بر حفر چاله با مته زائده‌دار (به منظور خراش‌دهی دیواره چاله‌ها که معمولا استفاده از مته‌های معمول، با عث فشردگی دیوار و کف چاله شده و شرایط گسترش ریشه را محدود می‌کند) را عامل اصلی عنوان نموده که منجر به رشد مناسب و شادابی بالای گیاهان شده است. نکته قابل توجه اینکه، قرق سایت‌های احیایی اگرچه منجر به افزایش تراکم و بایومس اسپند شده است اما بر خلاف انتظار، نشانی از حیات دوباره درمنه به عنوان گونه بومی این مناطق به چشم نمی‌خورد. این چالش می‌تواند ناشی از بهره برداری مفرط گذشته و کوبیدگی شدید خاک در اثر تردد و لگدکوبی دام باشد، به طوریکه در زمان نمونه‌برداری نیز، هر چقدر حفر چاله و برداشت خاک برای استخراج گیاه تاغ راحت بود، بالعکس حفر چاله در سایت شاهد به سختی انجام می‌گرفت. میانگین اثربخشی درصد پوشش گیاهی در سایت‌های احیایی ۱۴/۷ درصد بوده که بیشترین آن با ۱۹/۲ درصد در پروژه جنگلکاری دشت سهل آباد و کمترین آن با ۱۰/۷ درصد در پروژه جنگلکاری دشت فیروزآباد بوده است. در همین راستا تولید یعنی رشد سال جاری سایت‌های احیایی از میانگین ۹/۸ تن به ۷۲/۹ تن افزایش یافته است. پروژه جنگلکاری تالاب کجی با ۱۱۴ تن تولید سالانه، بیشترین رقم را به خود اختصاص داده است. لازم به ذکر است که در بین سایت‌های مورد مطالعه، این محدوده بیشترین مساحت را داشته‌است. نتایج بررسی تغیرات صورت گرفته در تنوع گونه‌ای نیز نشان داد تنوع گونه‌ای از ۰/۱۲ در سایت‌های شاهد به ۰/۴۴ در سایت‌های احیایی افزایش یافته است. در این میان پروژه جنگلکاری دشت سهل آباد با ۴۰ درصد بیشترین تنوع گونه‌ای را به همراه داشته است. در رابطه با شاخص ترسیب کربن، نتایج آزمایشات و محاسبات صورت گرفته نشان داد اثربخشی اقدامات در بخش کربن ترسیب‌یافته گیاهان، ۹۱۳/۱ تن بوده است. بیشترین مقدار

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

این شاخص در جنگلکاری مزار سید علی با ۲۱۳/۵ تن به دست آمد. جدول ۱ نتایج اثربخشی شاخص‌های پوشش گیاهی را محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین شکل‌های ۲ و ۳ نمایی مقایسه‌ای از سایت‌های احیایی و شاهد را به تصویر کشیده است.

جدول ۱- نتاج اثربخشی شاخص‌های پوشش گیاهی پروژه‌های مقابله با بیابان‌زایی در کانون‌های بحرانی فرسایش بادی و گرد و غبار شهرستان نهبندان

محدوده	موقعیت	مساحت (هکتار)	سایت	پوشش گیاهی (درصد)	تولید سالانه (تن)	تنوع گونه ای	کربن گیاه (تن)	درصد زنده‌مانی
جنگلکاری دشت فیروزآباد	X: ۷۶۹۱۲۰ Y: ۳۵۶۰۶۸۵	۲۰۰	سایت احیایی	۱۵/۱	۵۲/۸	۰/۳۶	۱۷۵/۲	**۹۰/۸**
			سایت شاهد	۴/۴	۶/۸	۰/۰۶	۰	
			اثربخشی	۱۰/۷	۴۶	۰/۳۰	۱۷۵/۲	
جنگلکاری تالاب کجی	X:۷۷۵۸۶۵ Y:۳۵۶۳۶۹۶	۳۴۰	سایت احیایی	۱۷/۸	۱۲۷/۸	۰/۳۶	۲۲۷/۴	**۸۶/۴**
			سایت شاهد	۶/۳	۱۳/۷	۰/۰۸	۱۳/۹	
			اثربخشی	۱۱/۵	۱۱۴	۰/۲۸	۲۱۳/۵	
جنگلکاری دشت سهل آباد	X:۷۶۹۶۱۸ Y:۳۵۶۵۸۳۶	۲۳۵	سایت احیایی	۲۳/۳	۸۰/۲	۰/۵۸	۱۵۰/۶	**۹۳/۶**
			سایت شاهد	۴/۱	۱۳/۱	۰/۱۲	۱۳/۳	
			اثربخشی	۱۹/۲	۶۷	۰/۴۶	۱۳۷/۳	
جنگلکاری مزار سید علی	X:۷۶۷۷۵۱ Y:۳۵۶۵۹۶۱	۲۰۰	سایت احیایی	۲۶/۴	۲۳/۶	۰/۶۴	۲۴۵/۵	**۹۰/۲**
			سایت شاهد	۵/۲	۴/۸	۰/۲۴	۱۶/۳	
			اثربخشی	۲۱/۲	۱۸/۸	۰/۴	۲۲۹/۲	
مدیریت رواناب تالاب کجی	X:۷۸۰۹۴۲ Y:۳۵۵۹۳۴۰	۵۵۰	سایت احیایی	۱۷/۶	۸۰/۱	۰/۲۸	۱۶۷/۹	-
			سایت شاهد	۶/۳	۹	۰/۱۱	۱۶/۲	
			اثربخشی	۱۱/۳	۷۰/۹	۰/۱۷	۱۵۷/۹	



شکل ۲- نمایی از محدوده فعالیت احیایی (شکل پایین) و سایت شاهد (شکل بالا) سهل‌آباد

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]



شکل ۳- نمایی از محدوده فعالیت احیایی (شکل پایین) و سایت شاهد (شکل بالا) فیروزآباد

نتایج اثربخشی در رابطه با شاخص‌های خاک نشان داد تقویت پوشش گیاهی، شدت فرسایش بادی و حرکت ماسه را به طور میانگین از ۱۳/۴ به ۵/۸ تن در هکتار تقلیل داده و نقش مهمی در تثبیت ماسه و گرد و غبار داشته است. با توجه به اینکه اقدامات انجام گرفته توانسته است شدت فرسایش بادی را در سایت‌های احیایی به طور میانگین ۷/۴ تن در هکتار کاهش دهد لذا مجموع خاک حفاظت شده در سایت‌های احیایی رقم ۱۵۳۹۶/۵ تن برآورد گردید.

جدول ۲- نتاج اثربخشی حفاظت خاک پروژه‌های پروژه‌های مقابله با بیابان‌زایی در کانون‌های بحرانی فرسایش بادی و گرد و غبار شهرستان نهبندان

محدوده	مساحت (هکتار)	سایت	شدت فرسایش خاک (تن در هکتار)
جنگلکاری دشت فیروزآباد	۲۰۰	سایت احیایی	۵/۷
		سایت شاهد	۱۲/۸
		اثربخشی	-۷/۶
جنگلکار تالاب کجی	۳۴۰	سایت احیایی	۶/۹
		سایت شاهد	۱۳/۶
		اثربخشی	-۶/۷
جنگلکاری دشت سهل آباد	۲۳۵	سایت احیایی	۴/۱
		سایت شاهد	۱۲/۶
		اثربخشی	-۸/۵
جنگلکاری مزار سید علی	۲۰۰	سایت احیایی	۳/۸
		سایت شاهد	۱۲/۹
		اثربخشی	-۹/۱
مدیریت رواناب تالاب کجی	۵۵۰	سایت احیایی	۸/۶
		سایت شاهد	۱۳/۸
		اثربخشی	-۵/۲

بحث و نتیجه‌گیری

اثربخشی به عنوان یک ابزار نظارتی ارزشمند در طول چرخه عمر هر پروژه مطرح است. در این میان شناسایی و معرفی شاخص‌های کاربردی به منظور ارزیابی اثرات و تبیین اثربخشی، لازم و ضروری است. چرا که نقش مهمی در ارتقای طراحی و اجرای مکانیسم‌های جبران اکولوژیکی دارد (DOdorico et al., 2013, Costanza et al., 2014). به طور کلی بررسی اثر بخشی پروژه‌های کنترل و مدیریت کانون‌های بحرانی فرسایش بادی مناطق بیابانی در شهرستان نهبندان نشان می‌دهد این پروژه‌ها نقش موثری

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

در تثبیت ماسه‌های روان و مهار کانون‌های بحرانی گرد و غبار در شهرستان نهبندان داشته‌اند. به‌طوریکه تمام شاخص‌های اکولوژیکی مورد بررسی شامل درصد پوشش گیاهی، تولید، تنوع گونه‌ای، میزان کربن ذخیره شده (در خاک و گیاه) و شدت فرسایش بادی (حفاظت خاک) در سایت‌های احیایی ارتقای چشمگیری داشته است. در همین راستا ژانگ و همکاران (Zhang et al. 2004) نشان دادند احیای اراضی بیابانی در منطقه کرکین تجمع کربن خاک و نیتروژن کل را تسهیل و افزایش تنوع گیاهی، پوشش گیاهی و تراکم گیاهی را تسریع نموده است. نتایج لی و همکاران (Li et al. 2009) نیز با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. نتایج آنان نشان داد اقدامات مقابله با بیابان‌زایی، در تسریع احیای زمین، کاهش فرسایش بادی، بهبود ویژگی‌های خاک و تسهیل استقرار و گسترش گیاهان موفقیت‌آمیز بوده است. به طور کلی مطالعات متعدد انجام گرفته در زمینه ارزیابی و بررسی اثرات اقدامات مقابله با بیابان‌زایی موید نقش مثبت این اقدامات در حفاظت از اراضی مسکونی، کشاورزی، کانال‌های انتقال آب، تاسیسات زیربنایی، جاده، راه‌آهن و خطوط مواصلاتی از هجوم ماسه‌های روان بوده است (قاسمی آریان و همکاران، ۱۴۰۳). در همین راستا مطالعات مشابه صورت گرفته در سطح جهان نیز نشان می‌دهد که شاخص تولید خالص اولیه روی سطح زمین (ANPP) همواره به عنوان مهمترین شاخص اکولوژیکی در ارزیابی‌های اکولوژیکی مد نظر دانشمندان قرار گرفته است. مایاود و وب (Mayaud and Webb., 2017) نشان دادند پوشش گیاهی باعث افزایش زبری سطح، کاهش سرعت باد و کاهش ظرفیت حمل شن و ماسه می‌شود و در نتیجه به طور مؤثر جریان‌های شن و ماسه بادی را متوقف کرده و رسوب شن را افزایش می‌دهد. در همین راستا پوشش گیاهی در منطقه حمل می‌تواند در برابر فرسایش باد و شن مقاومت کند و با کاهش سرعت جریان باد و شن، جلوگیری از فرسایش بادی، تثبیت تپه‌های شنی و بهبود خواص فیزیکوشیمیایی خاک، عملکرد اکولوژیکی مهمی در حفاظت از پایداری اکوسیستم واحه بیابان دارد.

به طور کلی پروژه‌های کنترل و مدیریت کانون‌های بحرانی فرسایش بادی مناطق بیابانی اگرچه با هدف اصلی تثبیت ماسه‌های روان اجرا می‌شوند اما منافع جانبی حاصل از آنها نیز به سهم خود قابل توجه است. در همین راستا در طول دهه‌های اخیر، پروژه‌های احیای پوشش گیاهی به طور گسترده در بسیاری از کشورها و مناطق جهان با هدف دستیابی به اهداف اقتصادی، اکولوژیکی و کاهش اثرات تغییر اقلیم گسترش یافته‌اند. در این میان توجه ویژه‌ای به مزایای اکولوژیکی جنگل‌کاری‌های مناطق بیابانی صورت گرفته است. چنانچه برخی دانشمندان اکوسیستم‌های بیابانی را منابع و ظرفیت‌هایی بالقوه ناشناخته برای ترسیب کربن حاصل از سوخت‌های فسیلی در آینده قلمداد می‌نمایند (Cook-Patton et al., 2021). نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد مقدار کربن ترسیب یافته در کل محدوده مورد مطالعه، رقم ۱/۵۶ میلیون تن است. بر اساس نتایج تحقیق استفاده غالب از دو گونه آتریپلکس و تاغ می‌تواند در آینده به عنوان یک تهدید جدی مطرح بوده و با توجه به تنوع گونه‌ای پایین، از تاب‌آوری اکولوژیکی در برابر آفات و بیمای‌های نوپدید خواهد کاست. در رابطه با نقش اقدامات احیایی در تقویت تنوع گونه‌ای باید عنوان داشت اگرچه این یک امر طبیعی است که کاشت گونه با فواصل مشخص، با افزایش غنا (تعداد گونه‌ها) و یکنواخی (توزیع گونه‌ها)، منجر به تقویت تنوع گونه‌ای گردد اما انجام مطالعات عمیق‌تر در این زمینه لازم است چرا که شاخص‌های یاد شده، تنها به شکل کمی، عدد تنوع را نشان داده و جنبه کیفی تنوع گونه‌ای به عنوان یک موضوع بسیار مهم در مطالعات و اجرای فعالیت‌ها مغفول مانده است. نتایج این پژوهش نشان داد پروژه‌های تثبیت ماسه‌های روان در کانون‌های بحرانی فرسایش بادی شهرستان نهبندان توانسته‌اند به‌طور مؤثری عملکرد اکولوژیکی اکوسیستم‌های بیابانی را بهبود بخشند. افزایش پوشش و تولید گیاهی، ارتقای تنوع گونه‌ای، افزایش ترسیب کربن در خاک و گیاه و کاهش چشمگیر شدت فرسایش بادی، بیانگر نقش کلیدی این پروژه‌ها در تثبیت ماسه‌های روان و کاهش گرد و غبار است. نتایج این پژوهش در خصوص افزایش پوشش و تولید گیاهی، با یافته‌های ژانگ و همکاران (Zhang et al. 2004)، لی و همکاران (Li et al. 2009)، زینک و همکاران (Zeng et al. 2014) و ما و همکاران (Ma et al. 2021) همخوانی دارد که نقش اقدامات تثبیت ماسه‌های روان را در بهبود عملکرد اکوسیستم‌های بیابانی تأیید کرده‌اند. با این حال، برخلاف برخی مطالعات که به افزایش محدود تنوع گونه‌ای اشاره کرده‌اند، نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که تنوع گونه‌ای در برخی مناطق همچنان پایین بوده که می‌تواند ناشی از یکنواختی گونه‌های کاشته‌شده باشد.

به‌طور کلی، اگرچه نتایج این پژوهش بیانگر اثربخشی بالای پروژه‌های کنترل و مدیریت کانون‌های بحرانی فرسایش

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

بادی در بهبود عملکرد اکولوژیکی در اکوسیستم‌های بیابانی هستند، با این حال، غلبه چند گونه محدود در سایت‌های احیایی می‌تواند در بلندمدت تاب‌آوری اکولوژیکی این اکوسیستم‌ها را با چالش مواجه سازد؛ لذا با توجه به یافته‌های این تحقیق پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، اثر تنوع گونه‌ای و استفاده از گونه‌های بومی متنوع بر پایداری بلندمدت پروژه‌های تثبیت ماسه‌های روان بررسی شود. همچنین از آنجا که امروزه اراضی بیابانی به عنوان یک ظرفیت مناسب برای ذخیره کربن در سرح جهان مطرح است پیشنهاد می‌گردد پایش بلندمدت تغییرات کربن خاک و گیاه به‌منظور بررسی پایداری ترسیب کربن در این مناطق مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

فروزه، م.ر.، حشمتی، غ.، قنبریان، غ.، مصباح، ح. ۱۳۸۷. مقایسه توان ترسیب کربن سه گونه بوته‌ای گل آفتابی، سیاه گینه و درمنه دشتی در مراتع خشک ایران (مطالعه موردی: دشت گربایگان فسا). مجله محیط شناسی، سال سی و چهارم، شماره ۴۶، صفحه ۷۲-۶۵.

قاسمی آریان، ی.، اسکندری دامنه، ه.، حقانی، ق.، محمدی‌رودباری، م.، جعفریان، و.، اسکندری‌دامنه، ح.، حاجی‌بگلو، ع.، ضیایی، ن. ۱۴۰۳. بررسی روند و تعیین ویژگی کانون‌های بحرانی فرسایش بادی و گردوغبار شهرستان سرخس. مجله خشک‌بوم. شماره ۱۴، صفحه ۷۴-۶۱.

قاسمی آریان، ی.، سلاجقه، ع.، اسکندری‌دامنه، ه.، شهرکی، م. ر.، فراشیانی، ا.، یاری، ر.، رضوی‌سلیم، ف. ۱۴۰۳. بررسی اثربخشی و ارزش اقتصادی کارکرد تولیدی پروژه‌های مقابله با بیابان‌زایی (مطالعه موردی منطقه سه‌قلعه - سرایان). حفاظت زیست‌بوم گیاهان، ۲۵، صفحه ۲۳۶-۲۲۳.

قاسمی آریان، ی.، اسکندری دامنه، ه.، مقیمی‌نژاد، ف.، یاری، ع. ر. ۱۴۰۴. اثربخشی جنگل‌های دست‌کاشت مناطق بیابانی از جنبه خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن در منطقه سه‌قلعه سرایان، نشریه خشک بوم، دوره ۱۵، شماره ۲.

عبدی، ن.، ۱۳۸۴. مدل‌سازی ترسیب کربن در بوم‌سازگان‌های مرتعی (مطالعه موردی: مراتع نودهک استان قزوین. رساله دکتری مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

Ala, M., Jiang, D., Niu, C. 2014. The applicable density of sand-fixing shrub plantation in Horqin Sand Land of Northeastern China. Ecological Engineering, 64, 250–254. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.12.026

Anache, J. A. A., Flanagan, D. C., Srivastava, A., Wendland, E. C. 2018. Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado. Science of the Total Environment, 622–623, 140–151. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.257

Bakinova, T., Naminova, K., Sanan, O., Vladimir, B., Galina, K. 2024. Strategic priorities for rehabilitation of desertified areas. BIO Web of Conferences, 108, 13002.

Bidak, M., Kamal, A., Halmy, A., Heneidy, Z. 2015. Goods and services provided by native plants in desert ecosystems. Global Ecology and Conservation, 3, 433–447. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.02.001

Cook-Patton, S. C., Drever, C. R., Griscom, B. W., et al. 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

Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., der Ploeg, S., Anderson, S., Kubiszewski, I., Farber, Turner, R. K., S., 2014. Changes in the global value of ecosystem services. Global Environmental Change, 26, 152–158. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002

D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K. F., Ravi, S., Runyan, C. W. 2013. Global desertification: Drivers and feedbacks. Advances in Water Resources, 51, 326–344.https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.01.013

FAO. 2020. Global soil organic carbon map (GSOCmap): Technical report. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.02.010.

Lemma, H., Kleja, D. B., Nilsson, I., Olsson, M. 2006. Soil carbon sequestration under different exotic tree species in the southwestern highlands of Ethiopia. Geoderma, 136(3–4), 886–898. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.06.008

Li, D., Xu, D. 2019. Sand fixation function response to climate change and land use in northern China. Aeolian Research, 40, 23–33.https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2019.05.002

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

Arid Environments, 58(2), 203–214. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2003.08.003.

Sun, R., He, H., Jing, Y., Leng, S., Yang, G., Lü, Y. 2024. Global wind erosion reduction driven by changing climate and land use. Earth's Future, 12, e2024EF004930. https://doi.org/10.1029/2024EF004930

Taylor, N. T., Davis, K. M., Abad, H., McClung, M., Moran, M.,. 2017. Ecosystem services of the Big Bend region. Ecosystem Services, 27, 48–57. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.07.017

UNCCD. 2022. Global land outlook (2nd ed.). United Nations Convention to Combat Desertification.

Zeng, X., Zhang, W., Cao, J., Liu, X., Shen, H., Zhao., X. 2014. Changes in soil organic carbon after afforestation. Catena, 118, 186–194. https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.01.005

Zhang, K., Wang, W., & Cao, X. 2004. Effects of sand-fixing measures on vegetation restoration and soil properties in sandy land. *Journal of Arid Environments*.

Zhao, W., Hu, G., Zhang, Z., & He, Z. (2008). Shielding effect of oasis-protection systems composed of various forms of wind break on sand fixation in an arid region: A case study in the Hexi Corridor, northwest China. *Ecological Engineering*, *33*(2), 119–125.

Li, Y., Cui, J., Zhang, T., Okuro, T., Drake, S. 2009. Effectiveness of sand-fixing measures on desert land restoration in Kerqin Sandy Land. Ecological Engineering, 35(1), 118–127. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.09.013

Luske, B., van der Kamp, J. 2009. Carbon sequestration potential of reclaimed desert soils in Egypt. Louis Bolk Institute.

Ma, Q., Wang, X., Chen, F., Wei, L., Zhang, D., Jin, H. 2021. Carbon sequestration of sand-fixing plantation of Haloxylon ammodendron. Global Ecology and Conservation, 28, e01607. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01607.

Mayaud, J., Webb, N. P. 2017. Vegetation in Drylands: Effects on Wind Flow and Aeolian Sediment Transport. Journal of Land,6, 64,1- 24.
https://doi.org.10.3390/land6030064.

Serpa, D., Nunes, J. P., Santos, J., Sampaio, E., Jacinto, R., Veiga, S. F., Lima, J. C., Moreira, M., Corte-Real, J., Keizer, J. J., & Abrantes, N. (2015). Impacts of climate and land use changes on the hydrological and erosion processes of two contrasting Mediterranean catchments. *Science of the Total Environment*, *538*, 64–77. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.033

Shirato, Y., Ohkuro, T., Taniyama, I. 2004. A comparison of different measures for stabilizing moving sand dunes. Journal of

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]