

Feasibility of Developing Reed Stems as A Checkerboard Barrier to Stabilize Shifting Sands

M. Bagherpour¹, S. Zare^{2*}, M.R. Ekhtesasi³, A.A. Nazari Samani⁴, M. Salehi Mourkani¹, Gh. Ghoohestani¹, M. Akhshi⁵

1. Ph.D. Student, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Professor, Department of Rangeland and Watershed management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.
4. Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.
5. Soil Science Laboratory Expert, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.

* Corresponding Author: zaresalman@ut.ac.ir

Received date: 28/04/2024

Accepted date: 14/06/2024

 [10.22034/JDMAL.2024.2027524.1462](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2024.2027524.1462)

Extended Abstract

Introduction

Wind erosion is one of the natural and important factors that contribute to desertification and land degradation in semi-arid, arid, and hyper-arid regions. Wind erosion is more likely to occur in these areas, which encompass 40% of the earth's surface, due to drought and low soil moisture, limited vegetation, soil characteristics, and erosive winds. Sand transport by erosive winds is a common wind process in arid and semi-arid regions, and it has become a widespread global problem. The biological and economic resources are damaged by this process. To control wind erosion and stabilize shifting sands in these areas, a barrier can be used to reduce wind speed to less than the threshold speed of wind erosion. Depending on the purpose, sand barriers can be used in different heights, dimensions, and arrangements. One of these barriers is a straw checkerboard barrier. The use of this method began in the Soviet Union; then it was transferred to China. Ghana, Egypt, and Mongolia have also introduced and used it in a limited capacity. Sand barriers have a long history in Iran, but their use has declined due to limited and scattered applications. Barriers can be constructed in every region using materials like reed plant stems, cotton plant stems, palm tree leaves, and straw. The aim of this research is to evaluate the efficiency of a checkerboard barrier made from the stem of a reed plant in stabilizing shifting sands. Compared to other materials, their use is cheaper and does not cause any environmental pollution in nature. By controlling wind erosion, improving the conditions of the area and reducing damages caused by the shifting sands, it leads to achieving sustainable development.

Material and Methods

The research was conducted in the sand dunes surrounding the village of Hossein Abad Mish Mast in the center of Qom province. The results of the sand rose and wind rose demonstrate that the winds in this region are multidirectional. This research examined the feasibility of utilizing a checkerboard barrier made from reed stems. In order to attain this objective, the surface of a sand dune was covered with the barriers mentioned. The height of these barriers was about 20 cm. The characteristics of sediment grain size were assessed by sampling the surface of the sand inside checkerboard barriers and the control dune in this research. Also, mode, average diameter, skewness, and sorting were investigated. A stabilization efficiency coefficient was calculated to evaluate the impact of the barrier on stabilizing sand dunes. For this purpose, wooden stacks were installed in different parts of the dunes in such a way that they could well express the amount of sand detachment and deposition, and in general the changes in the mobility and displacement of the dunes. The checkerboard barrier's concave shape was measured by installing steel stacks with 10-cm intervals vertically inside a cell on the windward side of the dune. Weekly monitoring of the steel stacks resulted in the drawing of the concave curve of the barrier in Excel.

Discussion and Conclusion

The reed stem barrier's sediment grain size characteristics showed that it had a significant impact on the accumulation of fine sand particles compared to the control. Consequently, the particles are scattered within the diameter layer of 250-125 microns, while the granulation analysis before the barrier and control dune was implemented revealed that approximately 64% of the particles were scattered within the diameter layer of 250-500 microns. The control dune sediment granulation analysis showed that the particles' average diameter increased by 45.5% from the control dune sample before the barrier was implemented. The reason for this is that the activity of erosive winds in the region has increased. The wind flow passes a large amount of sand particles over the dune due to the intensity of wind erosion in the region. Smaller particles are transported and larger particles remain on the surface of the dunes due to the absence of barriers in the way of wind and sand flow. According to the concave shape of the checkerboard barrier, a small amount of sand particles was observed in the examined cell. The concave surface was not formed during the study period. The height and density of the reed stem barrier are the reasons for this. The height of the reed stem barrier, which is 30 cm, and its semi-denseness caused the flow of sand and wind to lose its energy upon hitting the first rows of the barrier, and deposit the sand particles in the first rows. Therefore, there is a lack of particle deposition in the middle grids of the dune. Using reed stem barriers to control wind erosion is one of the appropriate and effective measures that stabilize the surface of sand dunes. In fragile ecological conditions of desert areas, where it is not possible to establish a plant without support, this method is highly effective.

Keywords: Sand and Dust Storm; Stabilization Efficiency Coefficient; Concave Curve; Sand Barrier; Erosion – Deposition



امکان‌سنجی استفاده از ساقه نی به‌عنوان بادشکن مکانیکی کوتاه برای تثبیت ماسه‌های روان

مریم باقرپور^۱، سلمان زارع^{۲*}، محمدرضا اختصاصی^۳، علی‌اکبر نظری سامانی^۴، معصومه صالحی^۱، قاسم قوهستانی^۱، مجید آخشی^۵

۱. دانشجوی دکتری گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲. استادیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۳. استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران.
۴. استاد، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۵. کارشناس آزمایشگاه خاکشناسی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: zaresalman@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۵

doi [10.22034/JDMAL.2024.2027524.1462](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2024.2027524.1462)

چکیده

فرسایش بادی از فرایندهای مهم تخریب سرزمین و بیابان‌زایی می‌باشد که در مناطق خشک و نیمه‌خشک موجب خسارت‌های جبران‌ناپذیر به منابع زیستی و اقتصادی می‌شود. از آنجایی که فرسایش بادی بر ۳۰mha از مساحت کشور تأثیر می‌گذارد، کنترل و مقابله با آن امری ضروری تلقی می‌شود. از مؤثرترین روش‌های کنترل فرسایش بادی کاهش سرعت باد در نزدیکی سطح زمین به‌وسیله بادشکن‌های کوتاه و بلند می‌باشد. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثربخشی بادشکن کوتاه تهیه‌شده از ساقه گیاه نی (*Phragmites australis* Cav.) برای تثبیت ماسه‌های روان می‌باشد. بدین منظور یک تپه ماسه‌ای در منطقه حسین‌آباد میش‌مست در استان قم انتخاب و بادشکن‌های ایجادشده توسط ساقه گیاه نی بر روی آن اجرا شد. سپس شاخص‌هایی نظیر چولگی، جورشدگی، قطر میانه ذرات ماسه، ضریب اثر تثبیت‌کنندگی و پروفیل طولی شبکه بادشکن موردبررسی قرار گرفت. یافته‌های تحقیق در بخش دانه‌بندی حاکی از آن بود که حضور بادشکن گیاه نی در مقایسه با تپه شاهد تجمع ذرات ریز ماسه را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش داده است. مقدار ضریب تأثیر تثبیت‌کنندگی برابر با ۰/۷۵ می‌باشد که نشان‌دهنده اثربخشی بودن بادشکن در تثبیت سطح تپه ماسه‌ای نسبت به تپه شاهد می‌باشد. بررسی پروفیل طولی شبکه بادشکن نشان‌دهنده این است که مراحل تشکیل سطح مقعر در آن آغاز شده و با فعالیت بادهای منطقه در گذر زمان و تغییرات میزان فرسایش و رسوب در شبکه‌های بادشکن، سطح داخل شبکه‌های بادشکن متقارن و مسطح می‌گردد و منحنی مقعر شکل خواهد گرفت که نشان‌دهنده تثبیت سطح ماسه می‌باشد. به‌طور کلی، استفاده از گیاه نی به‌عنوان بادشکن مکانیکی کوتاه، اقدامی مناسب برای تثبیت تپه‌های ماسه‌ای و کنترل کردن فرسایش بادی می‌باشد. این روش با بهبود شرایط خاک و جلوگیری از انتقال ذرات ماسه، به گیاه فرصت کافی برای استقرار می‌دهد و می‌تواند در پروژه‌های تثبیت ماسه و بیابان‌زدایی مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: توفان ماسه و گردوغبار؛ ضریب تأثیر تثبیت‌کنندگی؛ منحنی مقعر؛ موانع ماسه



■ مقدمه

فرسایش بادی یکی از عوامل طبیعی و مهم بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در مناطق نیمه‌خشک، خشک و فراخشک می‌باشد (۲۰). در این مناطق که ۴۰٪ از سطح زمین را به خود اختصاص می‌دهند، عواملی نظیر پوشش گیاهی فقیر، خشک‌سالی و رطوبت محدود خاک، خصوصیات خاک و وقوع بادهای شدید احتمال وقوع و تشدید فرسایش بادی را افزایش می‌دهد (۶). آمار نشان می‌دهد 5490000 km^2 از سطح جهان که در مناطق خشک قرار دارند توسط تپه‌های ماسه‌ای پوشیده شده است (۱۳). انتقال ماسه و فرسایش بادی ناشی از بادهای شدید در مناطق خشک و نیمه‌خشک به مشکل گسترده جهانی تبدیل شده است و شهرها و مناطق اطراف ماسه‌زارها تحت تأثیر آن قرار دارد. تأسیسات و زیرساخت‌های حمل‌ونقل واقع در مناطق بیابانی در برابر حرکت ماسه‌های روان آسیب‌پذیر هستند و حفاظت از آن‌ها در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. یکی از راه‌های مقابله با توفان‌های ماسه و گردوغبار و فرسایش بادی در این مناطق کاهش سرعت باد به زیر سرعت آستانه فرسایش بادی به‌وسیله یک مانع مانند بادشکن مکانیکی می‌باشد (۱). بادشکن‌های مکانیکی انواع متفاوتی دارند؛ و با ارتفاع، ابعاد و آرایش گوناگون بسته به هدف به کار می‌روند. یکی از این بادشکن‌ها، موانع شطرنجی کوتاه ساخته‌شده از بقایای گیاهی است. این روش یکی از مؤثرترین اقدامات تثبیت ماسه‌های روان است که از دهه ۱۹۵۰ به‌طور گسترده در کشور چین برای حفاظت راه‌آهن و جاده‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (۸). برخی پژوهش‌ها نشان داد که موانع شطرنجی تثبیت ماسه با ایجاد زبری در سطح زمین، شرایط سطح خاک را تغییر می‌دهند (۲۵)، سرعت انتقال جریان باد و ماسه را تضعیف می‌کنند (۳)، سبب تغییر توزیع ذرات از نظر قطر و میزان کربن آلی خاک می‌شوند (۵) و با کاهش دادن سرعت باد، موجب تثبیت سطح ماسه‌زارها و مقابله با فرسایش بادی می‌شوند (۱۴). محققان کشور چین سابقه طولانی در زمینه معرفی و ارزیابی بادشکن‌های مکانیکی دارند (۸، ۹، ۱۶، ۱۷، ۲۱). از بادشکن‌های مکانیکی در مناطقی که در اثر فرسایش بادی

آسیب جدی دیده‌اند، نظیر اطراف خطوط ارتباطی راه‌آهن‌ها (۷) و پهنه‌های ماسه‌ای بادخیز در کنار جاده‌های مناطق بیابانی مانند بزرگراه صحرای تکلهمکان^۱ استفاده شده است (۸). بررسی سختی خاک سطحی تپه‌هایی که با بادشکن‌های پلی‌لاکتیک‌اسیدی پوشانده شده‌اند در مقایسه با تپه‌هایی که با بقایای گیاهی به‌صورت سنتی پوشانده شده و تپه‌های بدون پوشش، نشان داد سختی خاک سطحی تپه‌های پوشانده شده به‌وسیله بادشکن نسبت به شاهد به‌صورت معنی‌دار بیش‌تر بود. بیشترین سختی خاک به‌ترتیب در شیب رو به باد، بالای شیب و شیب پشت به باد مشاهده شد (۱۰). بررسی پیشرفت‌ها و چالش‌های توسعه پژوهش‌ها و اقدامات در زمینه بادشکن مکانیکی نشان داد بزرگترین این نوع از بادشکن‌های مکانیکی، پر شدن زود هنگام آن است. اگرچه بادشکن‌های مکانیکی کوتاه می‌توانند تنوع گیاهی و زبری سطح را افزایش دهند اما پس از پر شدن عملکرد انسداد ماسه را به‌تدریج از دست می‌دهند. اثر سطح مقعر و ویژگی‌های دانه‌بندی رسوب ماسه در موانع ماسه‌ای^۲ از جنس پلی‌لاکتیک اسید^۳ نتایج نشان داد هر سه تیمار می‌توانند سطح مقعر و پایدار را تشکیل دهند (۱۷). بررسی دانه‌بندی تیمارها حاکی از آن بود که پراکندگی ذرات از نوع ماسه بسیار ریز بود به‌جز بادشکن‌هایی که ابعاد سلول‌های آن ۱m بود. با توجه به مقایسه هزینه و اثر حفاظتی ابعاد مختلف بادشکن، در مناطق مسطح با باد ضعیف، بادشکن‌هایی با ابعاد ۲m مناسب است (۱۷). بررسی سازوکار تثبیت ماسه و ارزیابی اثر سه نوع بادشکن مکانیکی کوتاه در ماسه‌زارهای بیابان موآس^۴ در چین حاکی از آن بود که تأثیر هر نوع بادشکن بسته به موقعیت توپوگرافی منطقه و ویژگی‌های جریان باد متفاوت است (۲۷). در منطقه مورد بررسی، بادشکن‌های شطرنجی با ابعاد ۱m در ۱m از سرشاخه‌های گیاهی بهترین اثر و بادشکن‌های با ابعاد ۲m در ۲m از جنس پلی‌لاکتیک‌اسید بدترین اثر را داشتند (۲۷). اثر موانع شطرنجی کلش بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و کاهش گردوغبار در اراضی در معرض فرسایش بادی بررسی شد و نتایج نشان داد میزان رسوب در بازه زمانی مورد مطالعه از اول موانع به

³ Polylactic acid⁴ Mu Us Desert¹ Taklamakan Desert² Sand Barriers

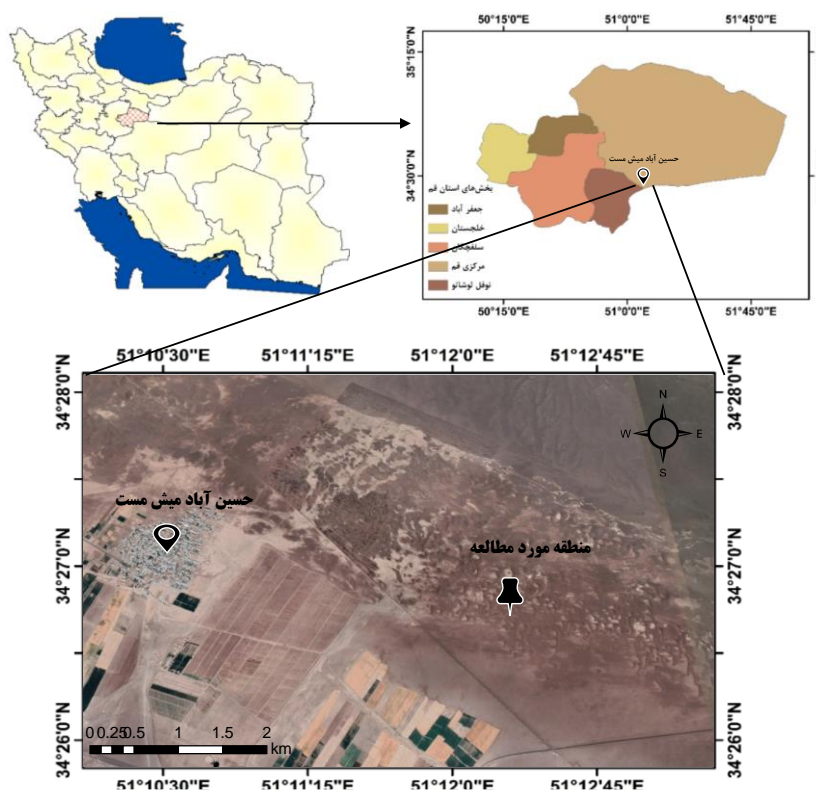
Cav.) برای تثبیت ماسه‌های روان می‌باشد. استفاده از این بادشکن‌ها نسبت به دیگر مواد ارزان‌تر است و هیچ‌گونه آلودگی محیط‌زیستی در طبیعت ایجاد نمی‌کند و با کنترل فرسایش بادی، بهبود شرایط منطقه و کاهش خسارت‌های ناشی از حرکت ماسه‌های روان سبب دستیابی به توسعه پایدار می‌گردد.

■ مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در ماسه‌زارهای اطراف روستای حسین‌آباد میش مست واقع در $11^{\circ}51'42''$ طول شرقی و $27^{\circ}34'2''$ عرض شمالی در بخش مرکزی استان قم انجام شد (شکل ۱). این منطقه از نظر فرسایش بادی فعال بوده و آثار و رخساره‌های مناطق برداشت، حمل و رسوبگذاری در آن دیده می‌شود. متوسط بارش سالانه بلندمدت در منطقه مورد مطالعه 111mm ، میانگین حداقل و حداکثر دما به ترتیب برابر با $16/5^{\circ}\text{C}$ و $22/4^{\circ}\text{C}$ و متوسط دمای هوا $16/5^{\circ}\text{C}$ می‌باشد.

سمت آخر موانع به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد که دلیل آن می‌توان به افزایش طول زبری آئرودینامیک، کاهش سرعت باد و افزایش نشست رسوبات نسبت داد (۲). همین‌طور ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک پس از اجرا موانع کل بهبود یافت (۲). استفاده از بادشکن‌های مکانیکی، برای اولین بار در شوروی سابق مورد استفاده قرار گرفته؛ سپس دانش استفاده از آن به کشور چین منتقل و در بیابان‌های منطقه شاپوتو^۱ مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین در کشورهایی مانند: غنا، مصر، مغولستان نیز معرفی و به‌صورت محدود مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از بادشکن مکانیکی در کشور ایران نیز سابقه طولانی دارد؛ اما به دلیل محدود و پراکنده بودن موارد مصرف، استفاده از آن ادامه‌دار نبوده است (۲۲). در هر منطقه، با استفاده از مصالح موجود نظیر بقایای گیاهان بومی منطقه، می‌توان نسبت به احداث بادشکن مکانیکی کوتاه اقدام کرد. هدف پژوهش حاضر، بررسی اثربخشی بادشکن کوتاه تهیه‌شده از ساقه گیاه نی (*Phragmites australis*)



شکل ۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

^۱ Shapotou

روش پژوهش

در پژوهش حاضر امکان‌سنجی استفاده از بادشکن تهیه‌شده از ساقه گیاه نی (*Phragmites australis* Cav.) مورد بررسی قرار گرفت. گیاه نی از یک نی‌زار در نزدیکی منطقه مورد مطالعه تهیه و با ارتفاع ۴۰ cm برش خورد. بادشکن تهیه‌شده از ساقه گیاه نی، در دامنه رو به باد یک تپه ماسه‌ای بارخانی احداث شد. نحوه استقرار این بادشکن بدین‌صورت است که ابتدا با بیل یک شیار در سطح ماسه ایجاد شد، سپس سرشاخه‌های نی به‌صورت ردیفی در شیار قرار داده شد؛ به‌طوری‌که ۲۰ cm از آن در داخل خاک و ۲۰ cm از آن بیرون از سطح خاک قرار دارد. در مرحله بعد خاک دو طرف نی با بیل فشرده شد تا در برابر نیروی باد از استحکام کافی برخوردار باشد. ابعاد شبکه در بادشکن مورد بررسی ۱ m در ۱ m می‌باشد. یک تپه ماسه‌ای بارخانی بدون پوشش با ابعاد مشابه تپه‌ای که بادشکن بر روی آن مستقر شده بود، به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد (شکل ۲). لازم به ذکر است واحد آزمایش در پژوهش حاضر برای هر تیمار یک تپه ماسه‌ای بارخانی بود و در مجموع دو تیمار (بادشکن و شاهد) بررسی شد. زمان اجرا بهار ۱۴۰۲ بود و داده‌برداری به‌صورت ماهانه به مدت زمان یک سال تا بهار سال ۱۴۰۳ انجام شد.

شاخص‌های مورد بررسی

گل‌باد، گل‌توفان و گلماسه

به‌منظور بررسی شرایط باد منطقه و حمل ماسه از داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک به منطقه که ایستگاه کهک می‌باشد، استفاده شد. داده‌ها به فرمت قابل

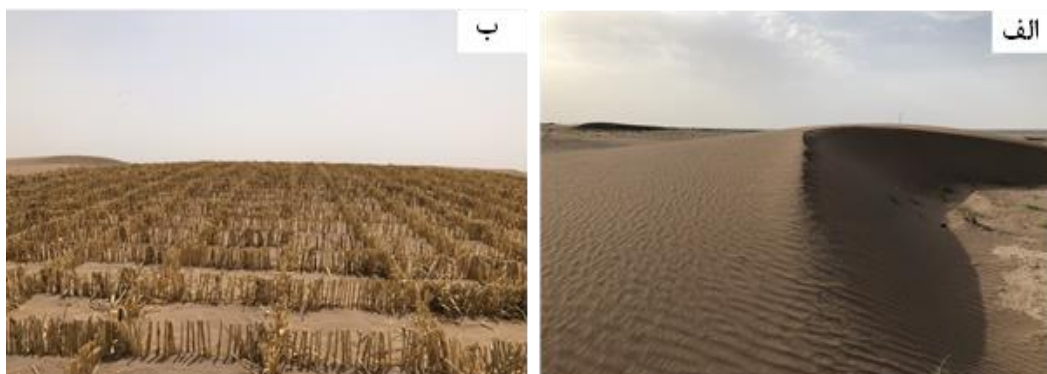
اجرا در نرم‌افزار تبدیل شدند. سپس نمودار گل‌باد و گل‌توفان با استفاده از نرم‌افزار WRPLOT view 8.02 و نمودار گل‌ماسه با استفاده از نرم‌افزار Sandrose graph 3.0 ترسیم شد. سرعت آستانه فرسایش بادی نیز ۵/۵ m/s در نظر گرفته شد.

دانه‌بندی

برای بررسی اثر بادشکن و رسوبات برجای‌مانده در تغییر نحوه توزیع ذرات ماسه، آزمایش دانه‌بندی به روش الک خشک استفاده شد (۱۱). نمونه‌برداری از تپه‌ها هم‌زمان با اجرای بادشکن و یک سال پس‌از آن به مقدار ۵۰۰ g از هر تپه از عمق صفر تا ۵ cm در قسمت میانی دامنه رو باد تپه انجام شد و دانه‌بندی آن مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از نرم‌افزار Gradistat منحنی دانه‌بندی و ویژگی‌های مد، چولگی، قطر میانه ذرات و جورشدگی برای هر تیمار محاسبه شد. شاخص چولگی و جورشدگی به ترتیب مطابق با جدول ۱ و ۲ طبقه‌بندی شدند.

ضریب تأثیر تثبیت‌کنندگی

برای ارزیابی اثر بادشکن در تثبیت تپه‌های ماسه‌ای از ضریبی به نام «ضریب تأثیر تثبیت‌کنندگی» استفاده شد (۱۵). بدین منظور تعداد ۱۵ پیکه‌چوبی مدرج در قسمت‌های مختلف تپه‌ای تثبیت‌شده به‌وسیله بادشکن و تپه شاهد (خط‌الرأس، دامنه رو به باد و یال‌ها)، به‌گونه‌ای مستقر شد که به‌خوبی بیانگر مقدار برداشت و رسوب ماسه و به‌طور کلی تغییرات در میزان تحرک و جابجایی تپه باشند (شکل ۳-الف).



شکل ۲. تپه شاهد بدون پوشش (الف) و تپه پوشانده شده توسط بادشکن کوتاه ساقه نی (ب)

تثبیت شده بادشکن) توسط باد برداشته شده است.

پروفیل طولی شبکه بادشکن

پروفیل طولی شبکه بادشکن یا منحنی مقعر^۱ حاصل از برداشت و رسوب ماسه در داخل شبکه‌های بادشکن شطرنجی، شاخصی برای ارزیابی کارایی بادشکن می‌باشد (۹). برای اندازه‌گیری این شاخص، میله‌های مدرج فلزی به طول ۴۰ cm با فواصل ۱۰ cm در داخل یک سلول از شبکه شطرنجی بادشکن بر روی دامنه رو به باد و در قسمت میانی تپه، به صورت عمود بر هم نصب شد (شکل ۴). شاخص‌های نصب شده به صورت ماهانه پایش شدند پروفیل طولی شبکه بادشکن به صورت فصلی برای یک سال ترسیم شد.

پیکه‌های چوبی ۱ m ارتفاع داشتند که نیمی از آن‌ها درون ماسه قرار گرفت. داده‌های حاصل از شاخص‌های مدرج نصب شده در قسمت‌های مختلف تپه به صورت ماهانه به مدت یک سال پایش شدند. سپس، ضریب تأثیر تثبیت‌کنندگی مطابق با رابطه ۱ محاسبه شد.

$$E = \frac{H_c - H_w}{H_c} \times 100 \quad (1)$$

که در آن:

E: ضریب تثبیت ماسه، H_c : ضخامت لایه ماسه که از سطح تثبیت نشده (تپه شاهد) توسط باد برداشته شده است، H_w : ضخامت لایه ماسه که از سطح تثبیت شده (تپه

جدول ۱. طبقه‌بندی شاخص چولگی (۱)

توصیف کیفی	شاخص چولگی (SKI)
زیاد به سمت ذرات ریزدانه	۰/۳۵ - صفر
به سمت ذرات ریزدانه	۰/۳۵ - ۰/۵
متقارن	۰/۵ - ۰/۷۱
به سمت ذرات درشت‌دانه	۰/۷۱ - ۱
زیاد به سمت ذرات درشت‌دانه	بزرگ‌تر از ۴

جدول ۲. طبقه‌بندی شاخص جورشدگی (۱)

توصیف کیفی	شاخص جورشدگی (f)
جورشدگی خیلی بالا	۰/۳۵ - صفر
جورشدگی بالا	۰/۳۵ - ۰/۵
جورشدگی نسبتاً بالا	۰/۵ - ۰/۷۱
جورشدگی متوسط	۰/۷۱ - ۱
جورشدگی ضعیف	۱ - ۲
جورشدگی خیلی ضعیف	۲ - ۴
جور نشده	بزرگ‌تر از ۴



(ب)



(الف)

شکل ۳. نصب پیکه‌های چوبی جهت اندازه‌گیری ضریب اثر تثبیت‌کنندگی در تپه شاهد (الف) و در تپه پوشیده شده به وسیله بادشکن گیاه نی (ب)

¹ Concave Shape of Checkerboard Sand Barrier

■ نتایج

گل‌باد و گل‌توفان حاصل‌نشان‌دهنده چندجهت بودن بادهای منطقه می‌باشد (شکل ۵). تنها ۱۳٪ از بادهای منطقه برای ایجاد توفان می‌شوند که از این مقدار، باد غالب فرساینده منطقه که ۷/۳۵٪ از کل بادهای خود اختصاص می‌دهد از سمت شرق می‌وزد. به علت چندجهت بودن بادهای منطقه، برآیند گل‌توفان به سمت جنوب شرق می‌باشد که با برآیند حمل ماسه در نمودار گل‌ماسه همخوانی دارد. رسوبات دو تیمار موردبررسی (بادشکن گیاه

نی و تپه شاهد) در زمان قبل و بعد از اجرای بادشکن از نظر چولگی در طبقه متقارن قرار دارند (جدول ۳). قطر میانه قطری است که نصف ذرات درشت‌تر و نصف دیگر ریزتر از آن هستند. این شاخص برای نمونه موردبررسی گیاه نی در انتهای بازه داده‌برداری برابر با $175/8 \mu m$ است و در طبقه ماسه ریز قرار دارد. بررسی‌ها نشان داد رسوبات ماسه در بادشکن گیاه نی نسبت به تپه شاهد و حالت قبل از اجرای بادشکن، ریزتر شده است (شکل ۶). رسوبات تیمارهای موردبررسی از نظر شاخص جورشدگی نیز در کلاس متوسط قرار دارند.

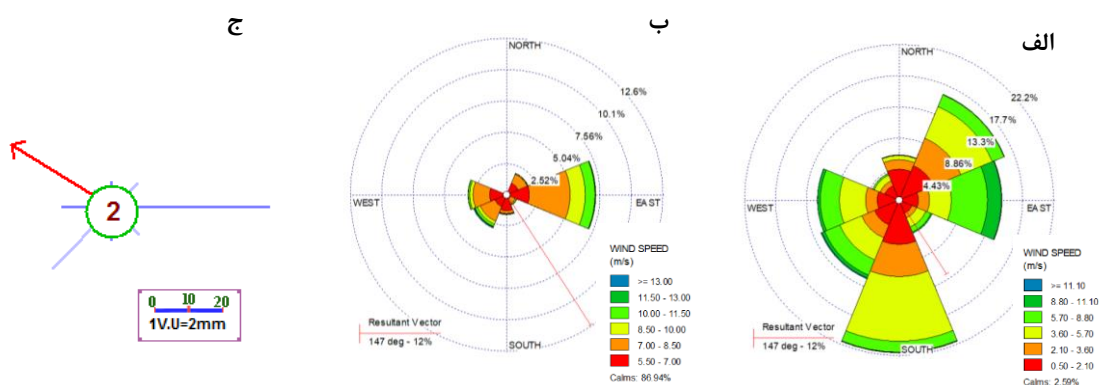


(ب)



(الف)

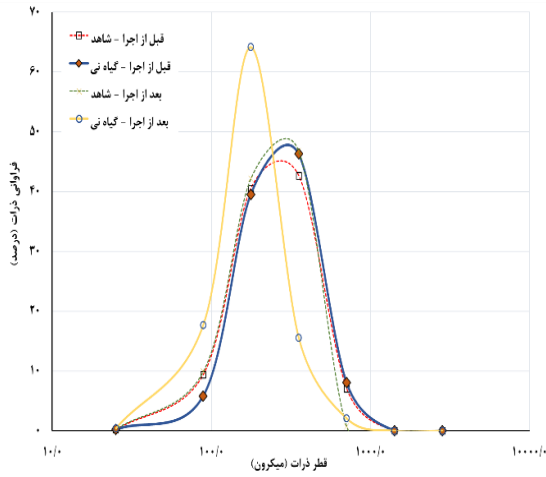
شکل ۴. نصب پیکه‌های فلزی جهت بررسی منحنی مقعر (پروفیل طولی) در یک سلول بادشکن (الف) و در یک سلول فرضی بر روی تپه شاهد (ب)



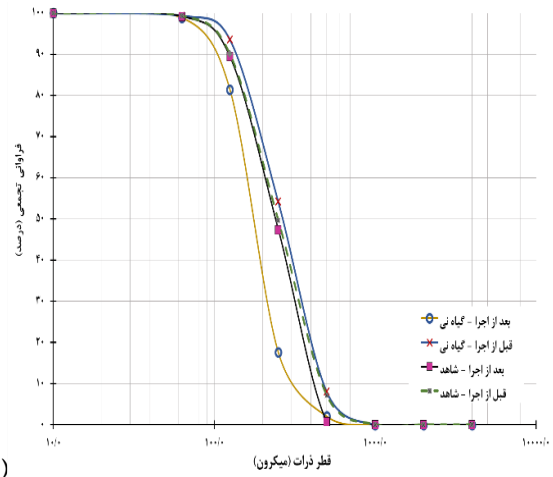
شکل ۵. گل‌باد (الف)، گل‌توفان (ب) و گل‌ماسه (ج) سالانه ایستگاه سینوپتیک کهک

جدول ۳. ویژگی‌های دانه‌بندی تیمارهای موردبررسی

زمان	تیمار	قطر میانه (μm)	مد (μm)	چولگی	جورشدگی (f)
قبل اجرا	گیاه نی شاهد	۲۶۶/۴	۳۷۵	۰/۰۴۲	۰/۷۹۲
پس از اجرا	گیاه نی شاهد	۳۶۱/۸	۳۷۵	۰/۰۵۷	۰/۹۴۶



(ب)



(الف)

شکل ۶. منحنی درصد فراوانی تجمعی (الف) و توزیع فراوانی (ب) ذرات ماسه در تپه بادشکن گیاه نی و تپه شاهد قبل و پس از اجرای بادشکن

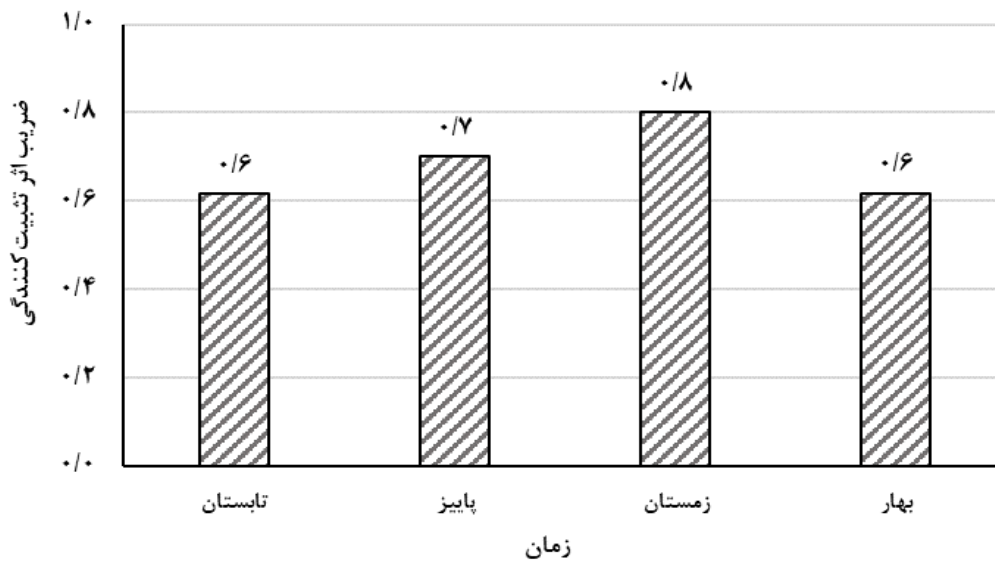


(ب)

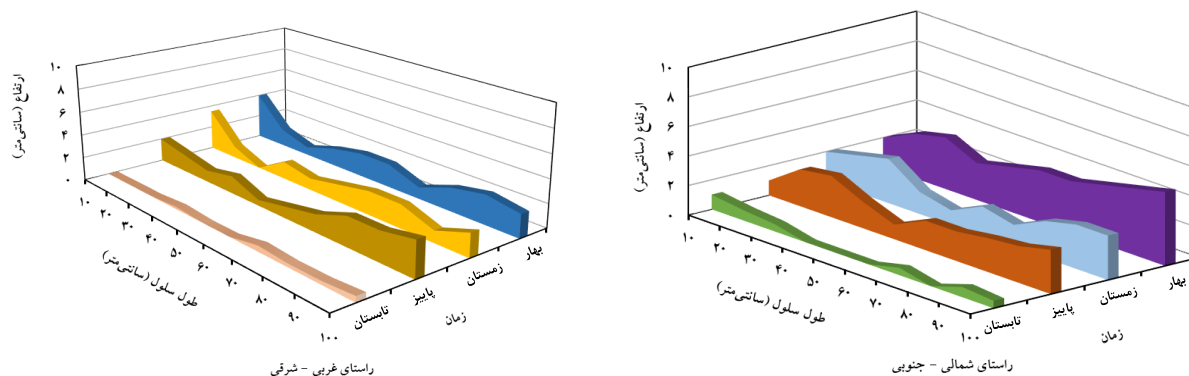


(الف)

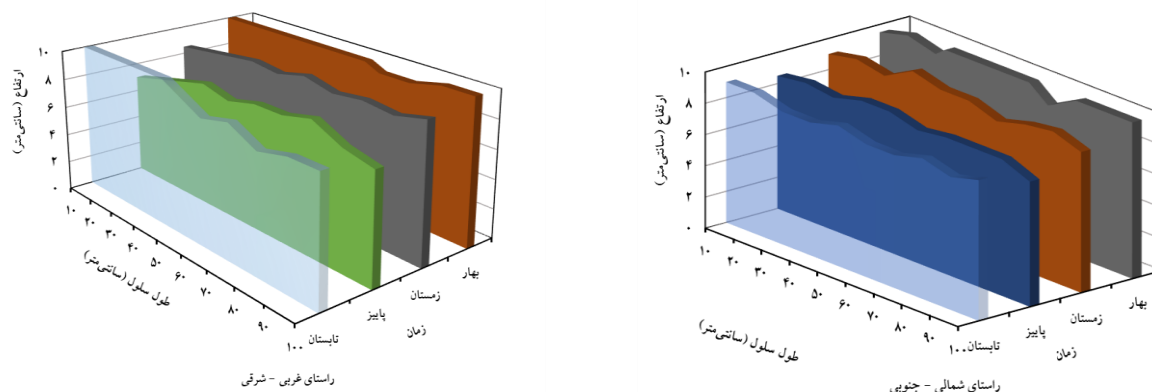
شکل ۷. به دام افتادن بذر در شبکه‌های بادشکن (الف) و رشد پوشش گیاهی در کناره شبکه‌های بادشکن (ب)



شکل ۸. نمودار ضریب اثر تثبیت‌کنندگی بادشکن گیاه نی در فصل‌های مختلف



شکل ۹. منحنی مقعر (پروفیل طولی) یک سلول از شبکه بادشکن در دو راستای غربی-شرقی و شمالی-جنوبی



شکل ۱۰. منحنی مقعر (پروفیل طولی) یک سلول فرضی بر روی قسمت میانی تپه شاهد در دو راستای غربی-شرقی و شمالی-جنوبی

بادشکن موجب کاهش سرعت باد گردید و در نتیجه، میزان رسوب ذرات ماسه و ارتفاع رسوبات در سطح سلول مورد بررسی افزایش داشت. حداکثر ارتفاع ذرات ماسه در کناره‌های شبکه بادشکن برابر با ۴cm در فصل بهار سال بعدی مشاهده گردید. به دلیل عدم پوشانده شدن تپه شاهد به وسیله بادشکن، ذرات توسط نیروی باد از روی تپه عبور کرده و مقداری از آن‌ها در قسمت‌های مختلف تپه برجای ماند و به‌طور کلی پروفیل طولی یک سلول فرضی بر روی تپه شاهد از روند خاصی تبعیت نمی‌کند (شکل ۱۰).

■ بحث و نتیجه‌گیری

در مناطقی که تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارند و حرکت ماسه‌های روان موجب ایجاد خسارت‌های زیادی می‌شود، بهره‌گیری از انواع بادشکن‌های مکانیکی یکی از اثربخش‌ترین روش‌های کنترل فرسایش و تثبیت ماسه می‌باشد. با توجه به لزوم کنترل فرسایش بادی در کشور، در این تحقیق امکان‌سنجی استفاده از گیاه نی به‌عنوان

شبکه‌های بادشکن گیاهی نی موجب به دام افتادن بذره‌های منتقل شده به وسیله نیروی باد شده و از طرفی با ریزتر شدن قطر رسوبات به دام افتاده و تثبیت شدن سطح ماسه در شبکه‌های بادشکن شرایط خاک برای رشد گیاه بهبود یافته و در بخش‌های مختلف تپه پوشش گیاهی مستقر شد (شکل ۷).

پس از اندازه‌گیری دوره‌های شاخص‌های فلزی نصب شده، پروفیل طولی شبکه بادشکن در دو جهت غربی - شرقی و شمالی - جنوبی ترسیم گردید (شکل ۹). تشکیل سطح مقعر در سلول‌های بادشکن با آرایش شطرنجی، نشان از اثربخشی کامل بادشکن و تثبیت شدن سطح تپه می‌باشد. در اوایل فصل تابستان، با شروع فعالیت بادهای فرساینده، بادشکن اثر تثبیت‌کنندگی خود را آغاز کرد و ردیف‌های ابتدایی در دامنه رو به باد از ماسه پر شد؛ اما از آنجایی که سلول مورد بررسی در میانه دامنه رو به باد قرار داشت، میزان رسوبات در آن اندک بود. گذشت زمان و فعالیت بادهای فرساینده در طی فصول مختلف، اثر حفاظتی

افزایش داشته است. علت این امر را می‌توان به افزایش فعالیت بادهای فرساینده در منطقه نسبت داد. با شدت گرفتن فرسایش بادی در منطقه، مقدار ذرات زیادی توسط جریان باد از روی تپه عبور می‌کنند. از آنجایی که در تپه ماسه‌ای بدون پوشش در مسیر جریان باد و ماسه هیچ مانعی وجود ندارد، به دلیل عدم حفاظت مؤثر در لایه تماس مستقیم باد ذرات ریزتر منتقل می‌شوند و ذرات درشت‌تر بر روی سطح تپه باقی می‌مانند (۱۲).

نتایج حاصل از بررسی پروفیل طولی شبکه بادشکن حاکی از آن بود که مقدار اندکی از ذرات ماسه در سلول مورد بررسی رسوب کرده است. در بازه مورد مطالعه، سطح مقعر در سلول مورد بررسی ایجاد نشد. علت این امر را می‌توان در ارتفاع و تراکم بادشکن جستجو کرد. ارتفاع ۳۰ cm گیاه نی مورد استفاده در ایجاد بادشکن مکانیکی و نیمه‌متراکم بودن آن سبب شده تا جریان ماسه و باد با برخورد به ردیف‌های اول بادشکن انرژی خود را از دست بدهند و ذرات ماسه را در ردیف‌های ابتدایی رسوب دهند؛ بنابراین در سلول‌های میانی تپه مقدار رسوب ذرات بسیار اندک می‌باشد.

محققان در پژوهشی دیگر معتقدند تشکیل تفرع در داخل شبکه‌های بادشکن با گذر زمان حاصل می‌شود و در بازه مورد مطالعه خود، شکل نهایی مقعر در بادشکن‌های مورد بررسی به دست نیامد (۱۸). با این حال، می‌توان پیش‌بینی کرد که پس از مدت‌زمان کافی از جابه‌جایی و انباشتگی ذرات تحت تأثیر جریان باد و ماسه، وضعیت تجمع ماسه در سطح داخلی شبکه‌های بادشکن شطرنجی به تعادل رسیده و یک سطح مقعر صاف را تشکیل می‌دهد. نتایج تحقیق Zhang و همکاران نیز همسو با نتایج پژوهش حاضر است. آنها بیان کردند ظرفیت حمل ماسه به سرعت باد مرتبط است، هنگامی که سرعت باد افزایش یابد سبب حرکت ذرات ماسه و رسوب آنها در سلول‌های بادشکن می‌گردد. نتایج پژوهش آنها نشان داد در سلول‌های ۱ m در ۱ m بادشکن شطرنجی مورد بررسی به سبب انباشته شدن ماسه هیچ سطح مقعری شکل نگرفت. علت آن را

بادشکن کوتاه برای تثبیت کردن سطح تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از شاخص‌هایی نظیر: دانه‌بندی، ضریب تأثیر تثبیت‌کنندگی، ویژگی‌های فرسایش - رسوب در داخل شبکه‌های بادشکن و پروفیل طولی شبکه بادشکن مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌های حاصل از دانه‌بندی رسوبات به دام افتاده در شبکه بادشکن حاکی از آن بود که حضور بادشکن گیاه نی در مقایسه با شاهد تجمع ذرات ریز ماسه را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش داده است. به‌طوری‌که بیشترین ذرات در طبقه قطری ۱۲۵ - ۲۵۰ μm پراکندگی دارند؛ در حالی که نتایج حاصل از بررسی دانه‌بندی قبل از اجرای بادشکن و در تپه شاهد نشان داد حدود ۶۴٪ ذرات در طبقه قطری ۵۰۰ - ۲۵۰ μm پراکندگی دارند. یافته‌های تحقیق با نتایج پژوهش بسیاری از محققین همخوانی دارد. یافته‌های پژوهشی نشان دادند که تجمع ذرات ماسه و گردوغبار بستگی به مکان اجرای بادشکن‌ها و فصل مورد بررسی دارد، اما به‌طور کلی استقرار بادشکن‌هایی از نوع بقایای گیاهی موجب افزایش رسوب ذرات ریزدانه‌تر نسبت به تپه بدون پوشش شاهد می‌گردد. نتایج تحقیق آنها نشان داد بادشکن بقایای گیاهی سبب توسعه خاک سطحی به سبب افزایش تجمع سیلت و رس و در نتیجه بهبود زیستگاه خاک برای استقرار گیاهان می‌شود (۸). در پژوهش حاضر نیز حضور بادشکن گیاه نی موجب افزایش تجمع رسوبات ریزدانه و بهبود شرایط رویش گیاه در کناره‌های شبکه‌های آن شد و در نتیجه تعدادی گیاه در بخش‌های مختلف رویش پیدا کرد. در تحقیقی دیگر، محققان دانه‌بندی ۶ نوع بادشکن مختلف در حاشیه شرقی بیابان تنگرا^۱ در کشور چین را نسبت به تپه ماسه‌ای بدون پوشش بررسی کردند و نتایج آنها نشان داد رسوب در تپه شاهد به‌طور عمده ماسه متوسط، درشت و کمی ریز بود، در حالی که در بادشکن‌های شطرنجی ساخته‌شده با بقایای گیاهی، رسوب‌ها ماسه ریز و متوسط بود (۱۹). بررسی دانه‌بندی رسوب در تپه شاهد حاکی از آن بود که قطر متوسط ذرات حدود ۴۵/۵٪ نسبت به نمونه شاهد قبل از اجرای بادشکن

^۱ Tengger Desert

حساس و شکننده مناطق بیابانی که امکان استقرار گیاه بسیار سخت است و بدون حمایت امکان‌پذیر نیست، از کارایی مناسبی برخوردار است؛ زیرا عمر مفیدی در حدود ۵ سال دارد و گیاه فرصت کافی برای استقرار پیدا می‌کند. از طرفی با افزایش میزان رسوبات ریزدانه که شامل ذرات سیلت و ذرات رس می‌باشند، شرایط خاک بهبود پیدا می‌کند. با توجه به اثربخشی مناسب این روش، می‌توان از گیاه نی یا دیگر نهاده‌های مشابه در دسترس به‌عنوان بادشکن کوتاه در پروژه‌های مدیریت بیابان و کنترل توفان‌های ماسه و گردوغبار استفاده به عمل آورد.

■ سپاسگزاری

پژوهش حاضر، بخشی از طرح پژوهشی تحت عنوان "ارزیابی روش‌های نوین تثبیت ماسه‌های روان در چارچوب تفاهم‌نامه سه‌جانبه با کشور چین، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور و دانشگاه تهران" می‌باشد. بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله از سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور جهت حمایت مالی کمال تشکر و قدردانی را دارند.

می‌توان به ظرفیت تجمع ماسه بیشتر در بادشکن شطرنجی با ابعاد ۱m در ۱m نسبت به بادشکن‌هایی با ابعاد بزرگ‌تر نسبت داد (۲۴).

به‌طور کلی بادشکن‌های مکانیکی کوتاه عملکرد مشابهی برای کنترل جریان باد و ماسه دارند؛ در آغاز این مانع به‌عنوان عامل زبری عمل می‌کند و طول زبری آئروودینامیک سطح زمین را صد تا هزار برابر افزایش می‌دهد (۴)؛ بنابراین سرعت باد ارتفاع صفر تا ۳۰cm سطح زمین کاهش می‌یابد و در نتیجه موجب کاهش نرخ فرسایش ناشی از بادهای فرساینده و شدت انتقال ماسه می‌شود. این فرآیند هم‌زمان موجب تثبیت سطح اصلی ماسه در داخل سلول‌های بادشکن نیز می‌شود. با گذشت زمان همراه با تجمع ذرات، سطح داخلی سلول‌های بادشکن شطرنجی متقارن‌تر و مسطح‌تر می‌گردد. زمانی که بادشکن کارایی تثبیت ماسه خود را آغاز می‌کند، به‌مرور زمان یک سطح مقعر در داخل شبکه‌های آن شکل می‌گیرد (۱۴). استفاده از گیاه نی به‌منظور کنترل فرسایش بادی یکی از اقدام‌های مناسب و مؤثر است که موجب تثبیت سطح تپه‌های ماسه‌ای و ماسه‌زارها می‌شود. این روش در شرایط بوم‌شناختی

■ References

- Ahmadi, H. (2012). *Applied Geomorphology (Desert - Wind Erosion)*. Tehran: University of Tehran press. [In Persian]
- Ahmadpoor Dehkordi, E., Abbasi Surki, A., Pajouhesh, M., & Tahmasebi, P. (2022). Effect of straw checkerboard barriers method on physicochemical properties of soil and dust reduction in lands exposed to wind erosion of "Margh" meadow of Shahrekord. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 11(4), 29-54. DOI: <https://doi.org/10.22069/ejsms.2022.18691.2000> [In Persian]
- Bo, T. L., Ma, P., & Zheng, X. J. (2015). Numerical study on the effect of semi-buried straw checkerboard sand barriers belt on the wind speed, *Aeolian reserch*, 16, 101-107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2014.10.002>
- Chepil, W.S., & Woodruff, N.P. (1963). The physics of wind erosion and its control. *Advances in Agronomy*, 15, 211-302. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60400-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60400-9)
- Dai, Y., Dong, Z., Li, H., He, Y., Li, J., & Guo, J. (2019). Effects of checkerboard barriers on the distribution of aeolian sandy soil particles and soil organic carbon, *Geomorphology*, 338, 79-87. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.04.016>
- Du, H., Wang, T., Xue, X., & Li, S. (2018). Modelling of sand/dust emission in Northern China from 2001 to 2014. *Geoderma*, 330, 162-176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.05.038>
- Huang, H. (2023). Modeling the inhibition effect of straw checkerboard barriers on wind-blown sand. *Earth Surface Dynamic*, 11(2), 167-181. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-2022-714>

8. Li, X.R., Xiao, H.L., He, M.Z. & Zhang, J.G. (2006). Sand barriers of straw checkerboards for habitat restoration in extremely arid desert regions. *Ecological engineering*, 28(2), 149-157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.05.020>
9. Lihui, T., Wangyang, W., Dengshan, Z. Ruijie, L. & Zuequan, W. (2015). Characteristics of erosion and deposition of straw checkerboard barriers in alpine sandy land. *Environmental Earth Science*. 74, 573–584. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-015-4059-6>
10. Limin, Y., Yong, G., Yi, Y., Quiye, G., Jingyu, J. & Tiepeng, X. (2010). Effects of Poly Lactic Acid sand barrier on soil hardness. *Science of Soil and Water Conservation*, 8(4), 90-100.
11. Lopez, G. (2016). Grain Size Analysis. In: Gilbert, A.S. (2016). *Encyclopedia of Geoarchaeology*. Berlin: Springer. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-4409-0_18
12. Pan, X., Wang, Z. & Gao, Y. (2020). Effects of Compound Sand Barrier for Habitat Restoration on Sediment Grain-size Distribution in Ulan Buh Desert. *Scientific Report*, 10, 2566. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59538-7>
13. Pye, K. & Tsoar, H. (2009). *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Berlin Heidelberg: Springer.
14. Qu, J., Zu, R., Zhang, K., & Fang, H. (2007). Field observations on the protective effect of semi-buried checkerboard sand barriers, *Geomorphology*, 88(1-2), 193-200. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.11.006>
15. Refahi, H. (2013). *Wind erosion and its control*. Tehran: University of Tehran press. [In Persian]
16. Shen, J., Yuan, W., Yu, Y., & Song, X. (2017). *Study on the abrasive resistance of Polylactic acid fiber sand barrier*, 6th International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development, Zhuhai, China.
17. Wang, T., Qu, J., & Niu, Q. H. (2020). Comparative study of the shelter efficacy of straw checkerboard barriers and rocky checkerboard barriers in a wind tunnel. *Aeolian Research*, 43, 100575. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100575>
18. Xi, C., Zuo, H., Wei, X. & Yan, M. (2023). Sand-fixing effect and compound change of nylon checkerboard sand barrier. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(13), 35727–35744. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24741-8>
19. Xie, Y., Dang, X., Zhou, Y., Hou, Z., Li, X., Jiang, H., Zhou, D., Wang, J. Hai, Ch. & Zhou, R. (2020). Using sediment grain size characteristics to assess effectiveness of mechanical sand barriers in reducing erosion. *Scientific Report*, 10, 14009. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71053-3>
20. Xin, G., Huang, N., Zhang, J., & Dun, H. (2021). Investigations into the design of sand control fence for Gobi buildings. *Aeolian Research*, 49, 100662. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100662>
21. Yuan, W. (2014). *Study on the degradation and aging performance of polylactic acid fiber sandbag sand barrier*. PhD thesis, Chinese Academy of Forestry: China.
22. Zare, S. (2021). *Wind erosion control by windbreak*. doctoral pamphlet, University of Tehran: Iran. [In Persian]
23. Zare, S., Jafari, M., Ahmadi, H., Rouhipour, H. & Khalil Arjomandi, R. (2019). Studying the effectiveness of some non-oil mulches on sand dunes fixation. *Journal of Range and Watershed Management*, 71(4), 939-948. DOI: <https://doi.org/10.22059/jrwm.2018.264506.1294> [In Persian]

24. Zhang, C., Li, Q., Zhou, N., Zhang, J., Kang, L., Shen, Y., & Jia, W. (2016). Field observations of wind profiles and sand fluxes above the windward slope of a sand dune before and after the establishment of semi-buried straw checkerboard barriers, *Aeolian Research*, 20, 5-70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2015.11.003>
25. Zhang, S., Ding G.D., Yu, M.H., Gao, G.L., Zhao, Y.Y., Wu, G.H., & Wang, L. (2018). Effect of straw checkerboards on wind proofing, sand fixation, and ecological restoration in shifting sandy land. *International Journal of Environment Research*, 15(10), 2184. DOI: <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/10/2184>
26. Zhaofeng, C., Shizeng, L., Qi, W., Shujuan, L., & Fei, W. (2018). Progress and problems of development research and application of sand barriers. *Meteorological and Environmental Research*, 9(3), 18-23. DOI: <https://doi.org/10.19547/j.issn2152-3940.2018.03.005>
27. Zhou, Y., Li, H., Wu, Z., Wang, Zh., Yin, J., Qing, D. & Hasi, E. (2023). Sand fixation mechanism and effect evaluation of sand barriers in Mu Us sandy land, China. *Science Chian press*, 68(11), 1312-1329. DOI: <https://doi.org/10.1360/TB-2022-0203>