



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

Elahe Ahmadpoor Dehkordi¹ | Ali Abbasi Surki^{*2} | Mehdi Pajouhesh³ |
Pejman Tahmasebi⁴

1. Ph.D. Student, Dept. of Agronomy, Shahrekord University. E-mail: ahmadpoor_elahe@yahoo.com

2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Agronomy, Shahrekord University. E-mail: abbasi@sku.ac.ir

3. Assistant Prof., Dept. of Rangeland and Watershed Management, Shahrekord University. E-mail: drpajouhesh@gmail.com

4. Associate Prof., Dept. of Rangeland and Watershed Management, Shahrekord University. E-mail: pejman.tahmasebi@sku.ac.ir

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 12.26.2020

Revised: 06.09.2021

Accepted: 07.06.2021

Keywords:

Geometric mean diameter of
aggregates,

Sediment trap,

Total nitrogen,

Wind erosion

ABSTRACT

Background and Objectives: Wind erosion is a serious problem in arid and semi-arid area. In order to control wind erosion, some technical measures should be focused on the soil surface. Straw checkerboard barrier method as a cheap, effective and easy technology plays an important role in trapping dust and reducing wind erosion. Therefore, the objective of this research was to study the effect of straw checkerboard barriers method on physicochemical properties of soil and probable reduction of dust in lands exposed to wind erosion of Shahrekord meadow.

Materials and Methods: Straw checkerboard barriers were arranged in 1 m × 1 m checkerboard pattern in January, 2018 in a part of the “Margh” meadow of Shahrekord, the capital of Chaharmahal and Bakhtiari province (50° 50' E, 32° 17' N). Rice straw materials were buried in the soil to a depth of 15 cm horizontally and protruded 20 cm above the soil surface. The study was carried out on a 20 × 25 m land area. The same area was also dedicated for control as bare ground. In order to determine the role of this technique on the wind erosion and its control, vertical sediment traps with a circular cross section of PVC pipe PVC, 5 sediment traps were randomly installed in the bare ground, 5 in the first area of the checkerboard barrier, 5 in the middle and 5 at the end of the barrier in the direction of the prevailing wind. Sampling began in late July and was performed every 30 days in five stages. The height of the trap was divided into four parts: 0-12, 12-24, 36-24 and 48-36 cm and the amounts of sediments collected in the installed traps were compared with each other. Wind speed and direction were also measured in the mentioned months and the wind rose was drawn subsequently. Data were analyzed in RCBD design with 5 replications. Sediment trap position was considered as the first factor in three levels and trap height class were considered as the second factor. Also, during two consecutive years after the establishment of straw checkerboard barriers, soil properties including aggregate stability, percentage of clay, silt and sand, organic carbon, total nitrogen, available phosphorus were measured.

Results: Results showed that checkerboards reduced the amounts of sediments significantly. This trend was observed in the five sampling month especially for the traps at the end of the barriers. The wind speed in the collision of barriers decreased significantly with lower amounts of energy, resulted to lowest amount of sediment at the end of barriers.

Amount of sediments in the first, middle and end area of the checkerboard barriers in July, August, September and October decreased with the height of the trap drawer. In November However, the sediments increased till height of 24 cm that may be due to higher rates of winds and particle movements. The highest geometric mean diameter of aggregates was observed in border of barriers which may presence of plant residue stimulates microbial activity and by-products of microbial metabolites in the soil increase the aggregates stability. Organic carbon, total nitrogen and available phosphorus contents were affected by straw checkerboard barriers and increased in the borders. Fine particles of soil included silt and clay were increased inside the squares accounts for unloading of particles and or deposition of them from the air.

Conclusion: The establishment of straw checkerboard barriers reduced the amount of wind sediments significantly compared to the bare ground. On the other hand, effective particle stabilization and dust deposition increased in checkerboards. Also checkerboard improved the physicochemical properties and increased some nutrients which might be promising for suitable microclimate for plant establishment and growth, leading to biodiversity and sustainability return.

Cite this article: Ahmadpoor Dehkordi, Elahe, Abbasi Surki, Ali, Pajouhesh, Mehdi, Tahmasebi, Pejman. 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*, 11 (4), 29-54.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/ejsms.2022.18691.2000

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اثر روش موانع شطرنجی کلش بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و کاهش گرد و غبار در اراضی در معرض فرسایش بادی دشت مرغ شهر کرد

الهه احمدپور دهکردی^۱ | علی عباسی سورکی^{۲*} | مهدی پژوهش^۳ | پژمان طهماسبی^۴

۱. دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد. رایانامه: ahmadpoor_elah@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد. رایانامه: abbasi@sku.ac.ir

۳. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد. رایانامه: drpajooesh@gmail.com

۴. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد. رایانامه: pejman.tahmasebi@sku.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: فرسایش بادی یکی از مشکلات جدی در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود. جهت کنترل فرسایش بادی لازم است اقداماتی در سطح خاک متمرکز گردد. روش موانع شطرنجی کلش به عنوان یک فناوری ارزان، مؤثر و آسان، نقش مهمی در به دام انداختن گرد و غبار داشته و فرسایش بادی را کاهش می‌دهد. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر روش موانع شطرنجی کلش بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و کاهش احتمالی گرد و غبار در اراضی در معرض فرسایش بادی دشت مرغ شهرکرد می‌باشد.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۶ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۵	مواد و روش‌ها: موانع شطرنجی کلش در دی‌ماه سال ۱۳۹۶ در بخشی از دشت مرغ در جنوب شهر شهرکرد مرکز استان چهارمحال و بختیاری، با مختصات جغرافیایی ۱۷° ۳۲' عرض شمالی و ۵۰° ۵۰' طول شرقی به صورت الگوی مربعی ۱×۱ متر کار گذاشته شدند. کلش‌ها به صورت عمودی در عمق ۱۵ سانتی‌متر در خاک مدفون و ارتفاعی حدود ۲۰ سانتی‌متر در بالای خاک ایجاد نمودند. این مطالعه در قطعه زمینی به طول ۲۰ متر و عرض ۲۵ متر اجرا شد. مساحتی مشابه از خاک دست نخورده نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. به منظور بررسی میزان فرسایش بادی و کنترل آن، تله‌های رسوب‌گیر عمودی با سطح مقطع دایره‌ای از جنس لوله PVC به صورت تصادفی و به تعداد ۵ عدد در زمین شاهد، ۵ عدد در محدوده اول موانع شطرنجی، ۵ عدد در وسط و ۵ عدد در آخر زمین در جهت باد غالب کار گذاشته شدند. نمونه‌برداری رسوبات از اواخر تیر ماه آغاز و هر ۳۰ روز یک بار در پنج مرحله صورت گرفت. ارتفاع تله به چهار قسمت ۱۲-۰، ۲۴-۱۲، ۳۶-۲۴ و ۴۸-۳۶ سانتی‌متر تقسیم شد و رسوبات جمع‌آوری شده با یکدیگر مقایسه گردید. سرعت و جهت باد نیز در ماه‌های متناظر اندازه‌گیری و گلباد مربوط به هر ماه رسم شد. داده‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۵ تکرار تجزیه شدند. موقعیت قرارگیری به عنوان عامل اول در سه سطح و طبقات
واژه‌های کلیدی: تله رسوب‌گیر، فرسایش بادی، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها، نیترژن کل	

رسوب به عنوان عامل دوم در نظر گرفته شدند. طی دو سال متوالی پس از استقرار موانع، خصوصیات خاک شامل پایداری خاکدانه‌ها، درصد سیلت، رس و شن، کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل دسترس نیز اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: ایجاد موانع شطرنجی در خاک به‌طور معنی‌داری میزان رسوب را کاهش داد. این روند در پنج ماه نمونه‌برداری به ویژه در تله‌های موجود در آخر موانع مشاهده شد. سرعت باد برخوردی به موانع و انرژی آن کاهش قابل‌توجهی یافته، بنابراین میزان رسوبات در آخر موانع کم‌ترین مقدار بود. هم‌چنین میزان رسوبات در هر سه محدوده اول، وسط و آخر موانع شطرنجی در ماه تیر، مرداد، شهریور و مهر با افزایش طبقه ارتفاعی تله روند کاهشی داشت. اما در آبان ماه رسوبات در ارتفاع‌های ابتدایی افزایش یافته که بیانگر سرعت بالاتر باد و جابه‌جایی ذرات جهشی است. میانگین هندسی قطر خاکدانه در کنار موانع افزایش یافت که ممکن است حضور بقایای گیاهی سبب تحریک فعالیت میکروبی شده و محصولات جانبی متابولیت‌های میکروبی در خاک پایداری خاکدانه‌ها را افزایش دهد. میزان کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل دسترس خاک نیز تحت‌تأثیر موانع شطرنجی قرار گرفت و در کنار مربعات افزایش یافت. از سویی ذرات ریز خاک مانند سیلت و رس نیز در مربعات شطرنجی افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: ایجاد روش موانع شطرنجی مقدار رسوبات بادی را نسبت به زمین شاهد به‌طور قابل‌توجهی کاهش داد. از سوی دیگر نشست و تثبیت ذرات در موانع افزایش یافت. هم‌چنین این تکنیک سبب بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و افزایش برخی عناصر غذایی خاک گردید که می‌تواند نوید بخش یک میکروکلیمای بهتر برای استقرار گیاهان و بازگشت تنوع و پایداری به خاک باشد.

استناد: احمدپور دهکردی، الهه، عباسی سورکی، علی، پژوهش، مهدی، طهماسبی، پژمان (۱۴۰۰). اثر روش موانع شطرنجی کلش بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و کاهش گرد و غبار در اراضی در معرض فرسایش بادی دشت مرغ شهرکرد. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۱ (۴)، ۲۹-۵۴.

DOI: 10.22069/ejsms.2022.18691.2000



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

مناطق خشک و نیمه‌خشک حدود ۴۱ درصد سطح کره زمین را در بر می‌گیرند و حدود ۲۵ درصد از این مناطق تحت‌تأثیر بیابان‌زایی قرار دارند (۹). تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی دو عامل مهم در افزایش بیابان‌زایی هستند (۳۷). فرسایش بادی فرآیندی پویا است که در مناطق مستعد سبب می‌شود ذرات خاک به وسیله نیروی فرسایشی باد برداشته و جابه‌جا شوند که کاهش مداوم حاصلخیزی خاک را در پی دارد (۳۱).

از جمله روش‌های مدیریتی جهت جلوگیری از بیابان‌زایی و کاهش فرسایش در دنیا ایجاد کمربندهای سبز، گیاهان تثبیت‌کننده شن (۱۸)، حصارهای شنی^۱، دیوارهای بادشکن، مواد سیمانی (۳۳) و موانع شطرنجی کلش^۲ (۱۹، ۴۱) را می‌توان نام برد. تکنیک موانع شطرنجی مزایای بیش‌تری نسبت به سایر روش‌ها داشته (۲) و یک فناوری ارزان، در دسترس، مؤثر و آسان است که به طور گسترده‌ای جهت کنترل جریان ذرات سطحی خاک استفاده می‌شود (۳۷) و نقش مهمی در پروژه‌های بیابان‌زدایی ایفا می‌کند. این تکنیک می‌تواند ابزار مصنوعی جهت تغییر ساختار، جهت و شدت جریان باد نزدیک سطح زمین باشد (۱۵) و در تثبیت ذرات خاک از طریق متوقف کردن حرکت ذرات شن و رسوب آن‌ها ایفای نقش کند. موانع شطرنجی کلش عمدتاً با توجه به الگوی حرکت و سرعت جریان باد، جهت باد غالب و ویژگی‌های ژئومورفیک کار گذاشته می‌شوند (۲۹)، اثرات جانبی زیست محیطی ندارند و می‌توانند محیط‌های کوچک خاک^۳ را بهبود بخشیده و فرآیند تشکیل خاک را کلید بزنند (۲۱).

در این فناوری از کلش گندم، برنج، نی و یا دیگر گیاهان استفاده شده و در عمل کلش به صورت یک صفحه شطرنجی درمی‌آید که نیمی از آن در زمین مدفون و نیمی دیگر روی زمین قرار می‌گیرد (۴۱). میزان تثبیت ذرات بستگی به اندازه مربعات شطرنجی دارد (۲۹) و معمولاً موانع در اندازه $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ یا کمی بزرگ‌تر کار گذاشته می‌شوند و ارتفاع موانع بالای سطح زمین حداقل $0/2$ متر است (۲). چپو و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که اثر موانع شطرنجی تحت‌تأثیر ارتفاع کلش از سطح زمین قرار می‌گیرد و ارتفاع خیلی کم اثر بخشی آن را کاهش و ارتفاع خیلی زیاد هم ممکن است از نظر اقتصادی به‌صرفه نباشد (۲۸). این موانع سبب کاهش سرعت باد، کاهش شدت انتقال ذرات و افزایش زبری آئرودینامیک می‌شوند (۱۲، ۲۸) و یک سطح پایدار و مقعر را در داخل شبکه ایجاد می‌کنند (۳۹). این سطح مقعر پایدار کلید حفاظت از ذرات خاک در داخل سلول‌های شطرنجی است. این ذرات توسط موانع شطرنجی به دام می‌افتند و اگر باد غالباً از یک جهت بوزد، اغلب یک سطح مقعر نامتقارن تشکیل می‌شود که در نهایت توسط جریان‌های دورانی در مقیاس کوچک متعادل می‌گردد (۲۹). مواد محافظی که در بالای سطح زمین قرار می‌گیرند باید از خاصیت تاب‌آوری و نفوذپذیری خاصی نسبت به هوا برخوردار باشند تا از تشکیل جریان‌های دورانی در داخل مربعات شبکه شطرنجی اطمینان حاصل شود (۲۹).

کلش برنج نرم بوده و می‌تواند در پاسخ به باد سریعاً به جلو و عقب برود (۳۷) و سرعت باد به‌تدریج با نزدیک‌تر شدن به موانع کاهش یافته و شدت حمل ذرات به میزان $99/5$ درصد کاهش می‌یابد (۲۸). همچنین این موانع حرکت ذرات معلق را کاهش و به نشست ذرات ریز موجود در هوا در هر دو طرف موانع کمک می‌کند. موانع شطرنجی کلش

- 1- Sand fences
- 2- Straw checkerboard barriers
- 3- Microenvironments

می‌توانند سبب بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیز شوند. پس از استقرار موانع، بقایا به تدریج تجزیه و به ماده آلی تبدیل شده و در این مدت رطوبت خاک بهبود یافته و میزان عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم افزایش می‌یابد. دای و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که میزان ماده آلی خاک تحت تأثیر موانع شطرنجی در طی زمان به ویژه در لایه‌های سطحی افزایش یافت (۱۰). ژانگ و همکاران (۲۰۱۸) نیز مشاهده نمودند که پس از استقرار موانع شطرنجی، میزان رطوبت خاک به آرامی افزایش (۴۸ درصد) یافت (۴۴). مقدار آب در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر خاک بلافاصله پس از یک سال از استقرار موانع شطرنجی ۲۸ درصد افزایش یافت، که سهم بزرگی از یک افزایش کلی در یک دوره مطالعه ده ساله را به خود اختصاص می‌داد. همچنین مقدار کل فسفر خاک در طی این دوره به طور مداوم تا سه برابر افزایش یافت (۴۴). دای و همکاران (۲۰۱۷) بیان نمودند که پس از استقرار موانع شطرنجی توزیع اندازه ذرات خاک تغییر کرد و وضعیت محیط‌های کوچک خاک بهبود یافت (۱۱).

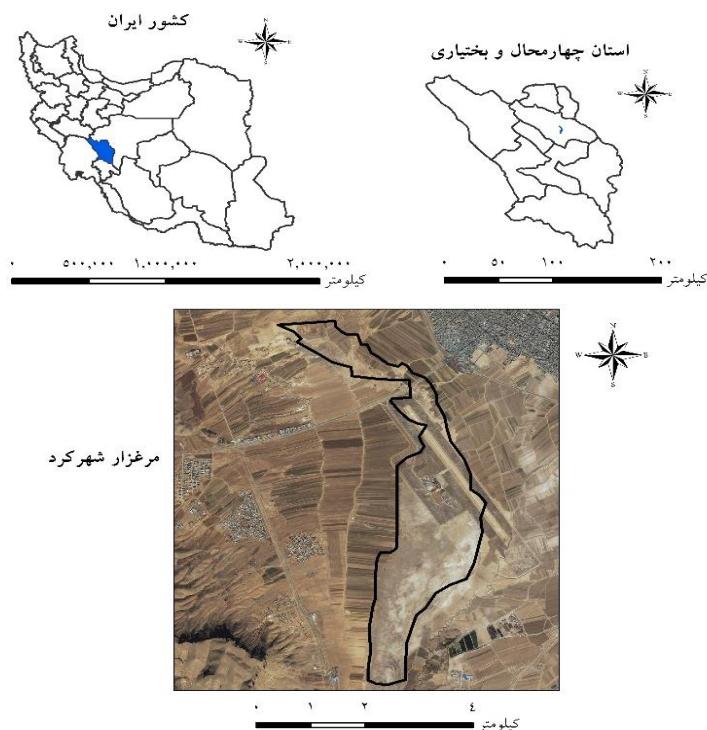
در سال‌های اخیر رطوبت خاک در منطقه دشت مرغ شهرکرد به واسطه زهکشی مصنوعی در دهه ۱۳۷۰ طی احداث سازه فرودگاه، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و کاهش حجم تغذیه این منابع به دلیل خشکسالی، تغییر رژیم بارش از برف به باران و چرای بیش از حد دام کاهش محسوسی یافته و به دنبال آن بخش مهمی از پوشش غنی گیاهی گذشته منطقه از بین رفته و فرسایش خاک سبب تبدیل بخش‌هایی از آن به پهنه‌های نیمه بیابانی و کانون جدیدی برای تولید گرد و غبار شده است. خاک دشت مرغ شهرکرد در سال‌های قبل وضعیت رطوبتی مناسبی داشته است و به لحاظ بالا بودن سطح سفره آب زیر زمینی گاهی زیر آب قرار می‌گرفته است.

هم‌اکنون خاک‌های واقع در اراضی پست آن که در گذشته زیر آب بوده به صورت احیا شده دیده شوند و اغلب آهن دو ظرفیتی خود را از دست داده‌اند. حضور افقی از تجمع مواد آلی نیز در خاک‌های اراضی گودتر به چشم می‌خورد. در این خاک‌ها یک افق تشکیل شده از مواد آلی سخت تجزیه‌شونده وجود دارد که حد فوقانی آن در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متری است. این پدیده در دیگر نقاط دنیا نیز گزارش شده است. به خاطر زهکشی شدید، شرایط اکسیداسیون در این خاک‌ها به وجود آمده و مواد آلی خاک در حال تجزیه بوده و به صورت دی اکسید کربن وارد اتمسفر می‌شود و تلفات کربن رخ می‌دهد. همچنین خاک سطحی فاقد ساختمان و شکننده می‌باشد. بنابراین این دشت به کانون تولید گرد و غبار و رسوبات بادی تبدیل شده است. از سوی دیگر این اراضی از لحاظ اکولوژیکی اهمیت بسیار زیادی داشته و نقش مهمی در تعدیل آب و هوا، ترسیب کربن، ارزش تفرجگاهی و مصون ماندن سازه‌های شهری از گزند فرسایش داشته‌اند (۲۵). از آن‌جا که جهت حمل رسوبات در گلماسه‌های سالانه، بهار، تابستان، پاییز و زمستان از جهت جنوب غربی بوده و از دشت مرغ به سمت بخشی از منطقه مسکونی شهرکرد است، بنابراین اقدامات حفاظتی در این بخش جهت کنترل فرسایش، حفاظت خاک، کاهش ریزگردها و دستیابی به اکوسیستم پایدارتر و حفاظت بیش‌تر آب و خاک در منطقه امری ضروری است. بنابراین این مطالعه به منظور ارزیابی کارایی روش موانع شطرنجی کلش بر (۱) میزان تولید رسوبات در فرسایش بادی، (۲) خصوصیات فیزیکی خاک مانند بافت و پایداری خاکدانه‌ها و (۳) مقادیر کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل دسترس خاک در دشت مرغ شهرستان شهرکرد انجام شد.

مواد و روش‌ها

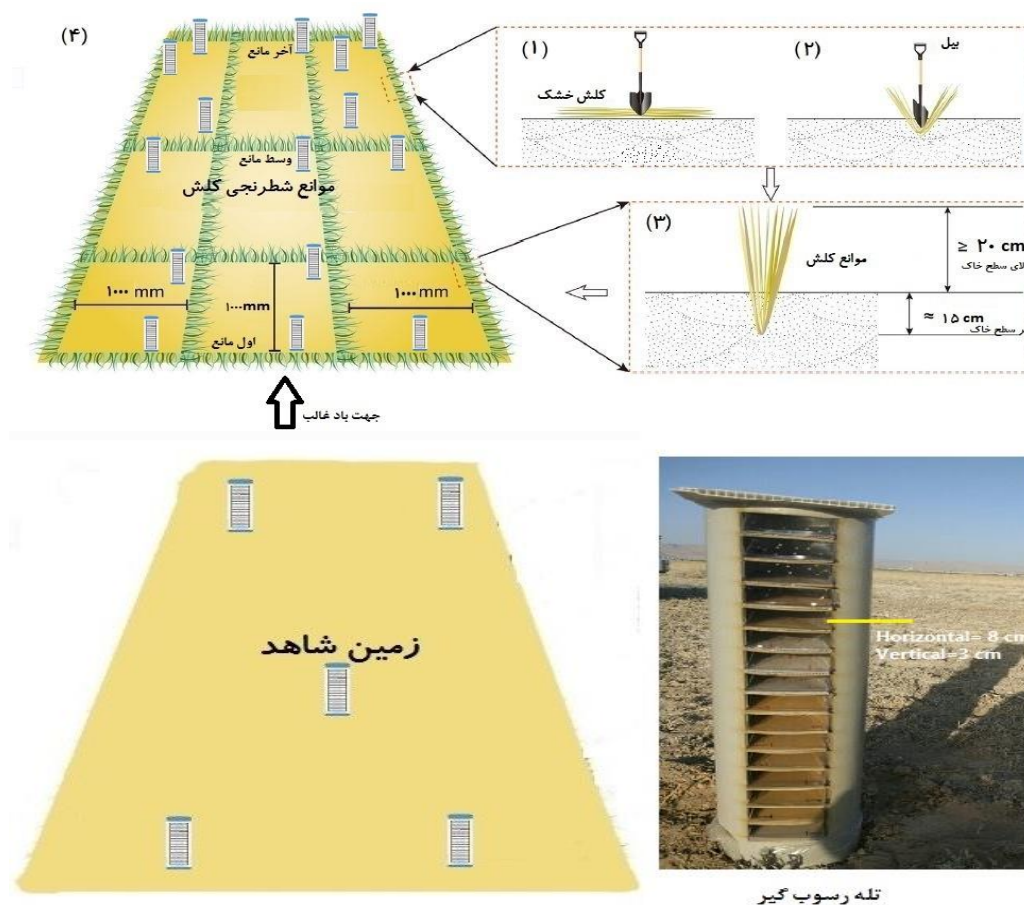
منطقه مورد مطالعه: منطقه مطالعاتی بخشی از دشت مرغ شهر شهرکرد مرکز استان چهارمحال و بختیاری، با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی است که در ناحیه جنوبی این شهر واقع شده و توسط ضخامت زیادی از رسوبات آبرفتی ریزدانه سیلتی و رسی پوشیده شده است (شکل ۱). هم اکنون مرغزار قدیمی روند تخریبی شدیدی به خود گرفته و از نظر پوشش گیاهی وضعیت نامطلوبی دارد. گلباد سالانه در دوره آماری سال ۱۳۸۱-۱۳۹۱ جهت باد غالب منطقه را جنوب غربی و میانگین تندی باد را در ارتفاع ۲ متری، ۲/۶۴ متر بر ثانیه نشان می‌دهد. هم‌چنین سرعت آستانه فرسایش بادی در این محدوده ۶ متر بر ثانیه است (۳۲). براساس مطالعات قبلی درصد

خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۰/۸۴ میلی‌متر در آن کم‌تر از کشاورزی و مرتع بود که احتمال قابلیت فرسایش بادی را افزایش می‌دهد (۲۵). میانگین درجه حرارت سالانه در دشت شهرکرد ۱۰/۸ درجه سانتی‌گراد و مجموع بارندگی سالانه بلند مدت ۳۰۶ میلی‌متر و تعداد روزهای گرد و غبار ۱۱۰ روز در سال است. اجرای تکنیک موانع شطرنجی: در دی‌ماه سال ۱۳۹۶ کلش‌های برنج به صورت الگوی مربعی شطرنجی ۱×۱ متر در خاک کار گذاشته شدند. به‌طوری‌که ۲۰ سانتی‌متر آن‌ها بالای خاک و ۱۵ سانتی‌متر در خاک مدفون گردید (شکل ۲). این تکنیک در زمینی به طول ۲۰ متر و عرض ۲۵ متر اجرا شد. در حوالی مربع‌های ایجاد شده مساحتی مشابه از خاک دست نخورده به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت مرغ شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری، ایران.

Figure 1. Geographical location of the Shahrekord "Margh" meadow in Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran.



شکل ۲- برش مقطعی ایجاد موانع شطرنجی کلیش و استقرار تله‌های رسوب‌گیر.

Figure 2. Cross-sectional of straw checkerboard barrier and sediment trap creation.

می‌یافت (شکل ۲). به‌طور کلی هر تله ابعادی معادل $16 \times 8 \times 13/5$ سانتی‌متر داشت. در پشت هر مستطیل، سوراخ‌هایی به اندازه ۴ میلی‌متر برای عبور جریان هوا در لوله تعبیه گردید که اجازه عبور هوا را داده ولی طلق‌های مورد استفاده از عبور ذرات جلوگیری می‌کنند. تله‌ها به‌صورت تصادفی پس از پایان بارندگی‌ها در اوایل تیر ماه ۱۳۹۷ و به تعداد ۵ عدد در زمین شاهد، ۵ عدد در اول موانع شطرنجی، ۵ عدد در وسط و ۵ عدد در آخر در جهت باد غالب کار گذاشته شدند (شکل ۲). نمونه‌برداری از اواخر تیر ماه آغاز و هر ۳۰ روز یک بار در پنج مرحله صورت گرفت. وزن رسوبات جمع شده در هر یک از تله‌ها

اندازه‌گیری میزان رسوب: جهت بررسی نقش موانع شطرنجی در جلوگیری از ایجاد گرد و غبار از روش به دام انداختن گرد و غبار در تله رسوب‌گیر استفاده شد. نمونه‌برداری از رسوبات بادی با استفاده از تله‌های رسوب‌گیر از جنس لوله‌های پی وی سی (PVC) به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر انجام شد (۸). تله متشکل از ۱۶ مستطیل به ابعاد 3×8 سانتی‌متر به فواصل $0/5$ سانتی‌متر بود که بر روی بدنه لوله طراحی شده و هر مستطیل دارای مخزن جداگانه برای ذخیره رسوبات در ارتفاعات مختلف بود. درون هر مستطیل تله‌هایی به ابعاد $13/5 \times 8$ سانتی‌متر قرار گرفت که با وزش باد رسوبات درون آن‌ها تجمع

گرفت. موقعیت تله‌ها شامل اول موانع، وسط موانع، آخر موانع و زمین شاهد به عنوان فاکتور اول و طبقه ارتفاعی تله شامل ۰-۱۲، ۱۲-۲۴، ۲۴-۳۶ و ۳۶-۴۸ سانتی‌متر به عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شدند.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک: قبل از استقرار موانع شطرنجی به منظور بررسی ویژگی‌های خاک نمونه برداری از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر انجام شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین گردید (جدول ۱).

با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. سپس ارتفاع تله‌ها به چهار قسمت ۰-۱۲، ۱۲-۲۴، ۲۴-۳۶ و ۳۶-۴۸ سانتی‌متر تقسیم و میزان رسوبات در هر یک از طبقات به صورت کیلوگرم بر هکتار محاسبه گردید (۸، ۳۱). مقادیر رسوبات جمع‌آوری شده در تله‌های کار گذاشته شده با یکدیگر مقایسه و روند احتمالی تفاوت در مقدار رسوبات آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. تجزیه آماری داده‌های میزان زسوب به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در پنج تکرار صورت

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه.

Table 1. Some soil physiochemical characteristics of the study area.

مقدار Value	واحد Unit	ویژگی Property
لوم سیلتی	-	بافت Texture
0.329	درصد %	نیتروژن N
18/24	میلی‌گرم بر کیلوگرم mg.kg ⁻¹	فسفر قابل دسترس Available P
500.27	میلی‌گرم بر کیلوگرم mg.kg ⁻¹	پتاسیم قابل دسترس Available K
3.29	درصد %	کربن آلی Organic carbon
1	گرم بر سانتی‌متر مکعب g.cm ⁻³	جرم مخصوص ظاهری Bulk density

سه مربع کلش به طور تصادفی جهت نمونه‌برداری خاک و سه پلات در زمین شاهد انتخاب گردید. نمونه‌های خاک در امتداد یک خط افقی از کنار و وسط هر مربع از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر برداشت شد (شکل ۳). نمونه‌ها هوا خشک شده و مقداری از آن

سپس به ترتیب یک و دو سال پس از استقرار موانع در دی ماه سال ۱۳۹۷ و دی ماه سال ۱۳۹۸، خصوصیات خاک شامل نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، کربن آلی، درصد رس و شن و سیلت و پایداری خاکدانه‌ها اندازه‌گیری گردید. بدین منظور،

که در آن، GMD میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها بر حسب میلی‌متر، Xi میانگین قطر خاکدانه‌های باقی‌مانده روی هر الک بر حسب میلی‌متر و w_i وزن خشک خاکدانه‌ها در هر الک بر حسب گرم است. میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) بیانگر توزیع نرمال لگاریتمی قطر ذرات می‌باشد. پارامتر توزیع اندازه ذرات خاکدانه جهت بررسی میزان خاکدانه‌های پایدار باقی‌مانده روی الک‌های مختلف به کار می‌رود. این شاخص‌ها به صورت متریک برای تعیین کیفیت و سنجش پایداری خاک استفاده می‌شوند. این داده‌ها به صورت تجزیه مرکب در سال طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار آنالیز شدند. تیمارهای آزمایشی شامل کنار موانع، وسط موانع و زمین شاهد در نظر گرفته شد.

به منظور اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی و اندازه‌گیری درصد شن و رس و سیلت از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد و بقیه به صورت دست‌نخورده جهت اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها استفاده شد. نیتروژن کل به روش کج‌لدال (۵)، کربن آلی به روش والکلی (۳۶)، فسفر قابل‌دسترس به روش اولسن (۲۷)، درصد شن و رس و سیلت به روش هیدرومتری (۴) محاسبه گردید. پایداری خاکدانه‌ها نیز به روش خشک بر حسب میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) (۲۴) با استفاده از دستگاه لرزاننده (مدل Retch) اندازه‌گیری و با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$GMD = \exp \frac{\sum_{i=1}^n w_i \log x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$



شکل ۳- موانع شطرنجی و نقاط نمونه‌برداری.

Figure 3. Straw checkerboard barriers and sampling points.

نتایج و بحث

میزان رسوب: اثر موقعیت تله، طبقه ارتفاعی تله و اثر متقابل آن‌ها بر میزان رسوب به دام افتاده در تله‌های رسوب‌گیر در تیرماه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج اثر متقابل نشان داد که بیش‌ترین میزان رسوب مربوط به طبقه ارتفاعی ۱۲-۰

تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده توسط نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ارزیابی شدند. برای رسم نمودارهای گلباد از نرم‌افزار WRPLOT 7.0.0 استفاده شد.

کاهش یافت. این کاهش در تیمار شاهد بین سه طبقه ارتفاعی ۰-۱۲، ۱۲-۲۴ و ۲۴-۳۶ معنی‌دار بود. اما در اول و آخر موانع اختلاف معنی‌داری بین طبقه‌های ارتفاعی مشاهده نشد (شکل ۴-الف). به‌طور کلی جمع میزان رسوب تولیدی در چهار طبقه تیمار شاهد، ۶۰۷/۶۸ کیلوگرم بر هکتار بود و میزان رسوب کنترل شده در تیمار اول موانع، وسط موانع و آخر موانع به ترتیب ۲۰۸/۵۵، ۲۴۴/۹ و ۳۴۱/۹۶ کیلوگرم بر هکتار بود. با توجه به گلباد ترسیم شده، جهت باد در ارتفاع دو متری در تیرماه به‌طور عمده از سمت شرق بوده و سرعت ۱۰/۸۸ درصد بادها در این جهت ۳/۵-۵/۷۰ متر بر ثانیه بود (شکل ۴-ب).

سانتی‌متر تیمار شاهد بود (شکل ۴-الف). استقرار موانع شطرنجی منجر به کاهش میزان رسوب در تمامی تیمارها نسبت به تیمار شاهد گردید که در این میان کم‌ترین میزان رسوب مربوط به تله‌های موجود در آخر موانع بود (شکل ۴-الف). هر چه به آخر موانع نزدیک‌تر می‌شویم میزان رسوبات در هر چهار طبقه ارتفاعی کم‌تر شده به طوری که در آخر موانع کاهش ۶۵، ۵۳، ۵۲ و ۴۹ درصدی به ترتیب در ارتفاع‌های ۰-۱۲، ۱۲-۲۴، ۲۴-۳۶، ۳۶-۴۸ سانتی‌متری نسبت به ارتفاع متناظر در تیمار شاهد مشاهده گردید (شکل ۴-الف). در همه تیمارها به‌ویژه تیمار شاهد با افزایش طبقه ارتفاعی مقدار رسوب

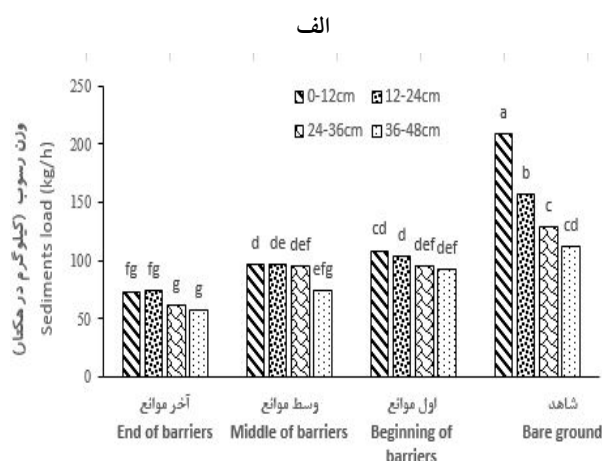
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) میزان رسوب در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور، مهر و آبان در موقعیت‌های مختلف و طبقات ارتفاعی تله‌ها.

Table 2. Analysis of variance (mean squares) of sediment load in July, August, September, October and November in different positions and height class of the trap.

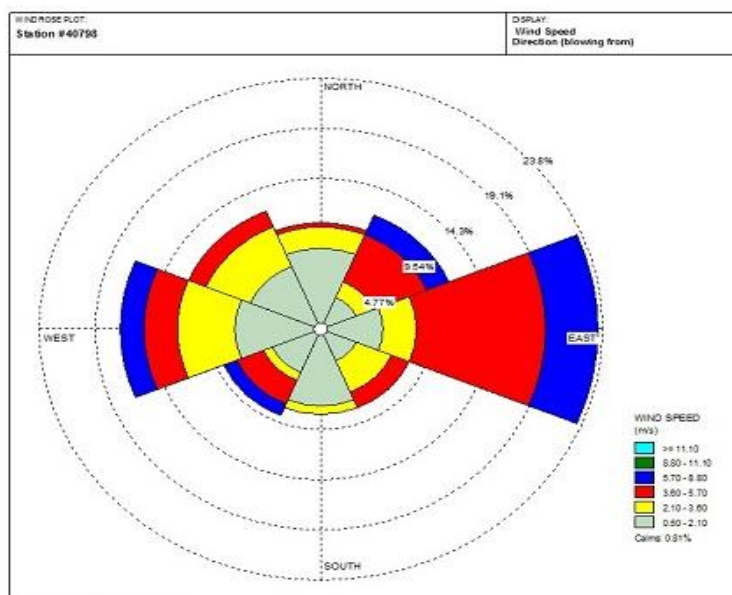
میانگین مربعات Mean square					درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
آبان November	مهر October	شهریور September	مرداد August	تیر July		
1922.8 ^{ns}	231.3 ^{ns}	227.7 ^{ns}	681.2 ^{ns}	485.1 ^{ns}	4	تکرار Replication
233351.2 ^{**}	10827.1 ^{**}	6560.3 ^{**}	20975.2 ^{**}	25933.6 ^{**}	3	موقعیت تله Trap position
462477.04 ^{**}	9674.01 ^{**}	1411.3 ^{**}	2015.1 ^{**}	5337.9 ^{**}	3	طبقه ارتفاعی تله Trap height class
32993.3 ^{**}	1484.4 ^{**}	280.7 [*]	806.3 [*]	1631.9 ^{**}	9	موقعیت × طبقه ارتفاعی Position*Height
1818.5	414.8	122.6	372.8	306.4	60	خطای آزمایشی Experiment error
15.18	15.73	19.46	19.92	17.12		ضریب تغییرات (%) C.V (%)

^{ns}، * و ** به ترتیب بیانگر غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

^{ns}، ** and *, respectively, indicate, non significant, significant differences at $P \leq 0.01$ and $P \leq 0.05$ probability level.



ب



شکل ۴- تغییرات میزان رسوب در موقعیت‌های مختلف و طبقات ارتفاعی تله رسوب‌گیر (الف) و گلباد (ب) در منطقه مورد مطالعه در تیر ماه سال ۱۳۹۷. میانگین‌های دارای حروف مشابه دارای تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD نیستند.

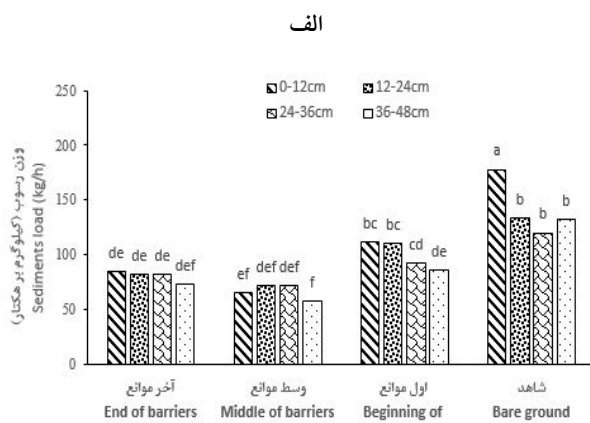
Figure 4. Variation of sediment load (a) in different positions and height class of sediment trap and wind rose (b) in July, 2018. Means with similar letter, are not significantly different ($P \leq 0.05$) based on LSD test.

۳۶-۲۴ و ۴۸-۳۶ سانتی‌متر نسبت به ارتفاع متناظر در تیمار شاهد کاهش ۳۷، ۱۶، ۲۲ و ۳۵ درصدی داشت. در همه تیمارها بیش‌ترین میزان رسوب در طبقه ارتفاعی ۰-۱۲ سانتی‌متر مشاهده شد و با افزایش طبقه ارتفاعی میزان رسوب کاهش یافت (شکل ۵-الف). جمع میزان رسوب تولیدی در چهار طبقه تیمار شاهد در این ماه، ۵۶۲/۹۷ کیلوگرم بر هکتار و میزان رسوب کنترل شده در تیمار اول موانع، وسط

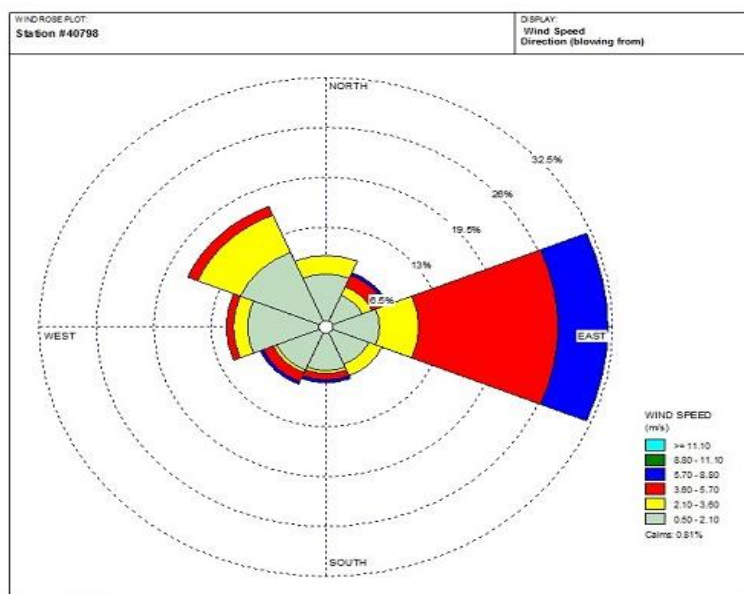
در مرداده ماه نیز مشابه با تیر ماه اثر موقعیت تله، طبقه ارتفاعی تله و اثر متقابل موقعیت × طبقه ارتفاعی بر میزان رسوب به دام افتاده در تله‌های رسوب‌گیر معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین کاهش مقدار رسوب در وسط و آخر موانع در ارتفاع ۰-۱۲ و ۱۲-۲۴ سانتی‌متر صورت گرفت (شکل ۵-الف). اما مقدار رسوبات در موقعیت اول موانع به‌ترتیب در ارتفاع‌های ۰-۱۲، ۱۲-۲۴،

بادها در این جهت سرعت ۳/۵-۶/۷ متر بر ثانیه داشتند (شکل ۵-ب).

موانع و آخر موانع به ترتیب ۱۶۲/۱۸، ۲۹۸ و ۲۴۱/۵ کیلوگرم بر هکتار بود. جهت باد در ارتفاع دو متری در مردادماه نیز از طرف شرق بوده و ۱۵/۷۲ درصد



ب



شکل ۵- تغییرات میزان رسوب در موقعیت‌های مختلف و طبقات ارتفاعی تله رسوب‌گیر (الف) و گلباد (ب) در منطقه مورد مطالعه در مرداد ماه سال ۱۳۹۷. میانگین‌های دارای حروف مشابه دارای تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD نیستند.

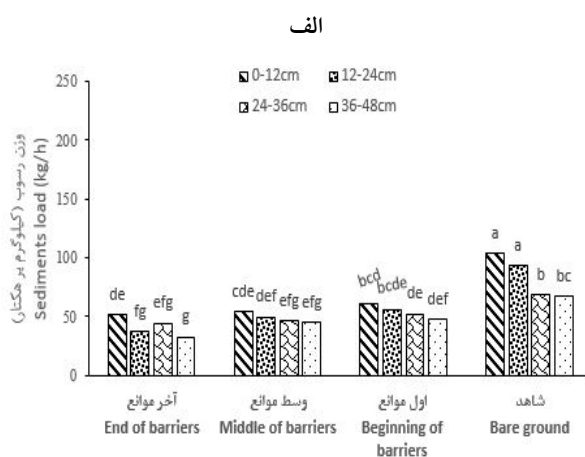
Figure 5. Variation of sediment load (a) in different positions and height classes of sediment trap and wind rose (b) in August, 2018. Means with similar letter, are not significantly different ($P \leq 0.05$) based on LSD test.

اختصاص داشت. مقدار رسوب در طبقات مختلف در موانع شطرنجی کاهش یافت که این کاهش به طور چشمگیری برای طبقات ۰-۱۲ و ۱۲-۲۴ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش طبقه ارتفاعی روند کاهشی میزان رسوبات مشاهده شد اما برای موقعیت‌های مختلف از نظر آماری مشابه بود (شکل ۶-الف).

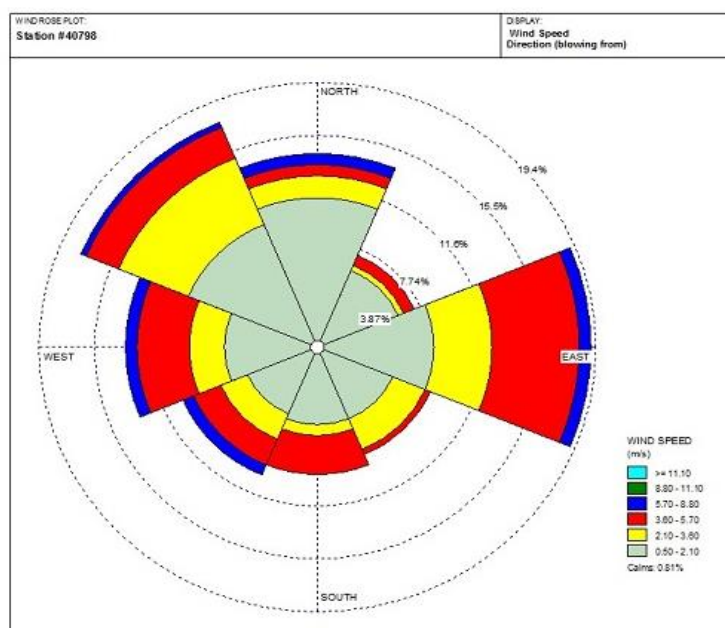
میزان رسوب به دام افتاده در تله‌های رسوب‌گیر پاسخ معنی‌داری به موقعیت تله‌ها، طبقه ارتفاعی تله و اثر متقابل آن‌ها در شهریور ماه نشان داد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که بیش‌ترین میزان رسوب به طبقه ارتفاعی ۰-۱۲ سانتی‌متری (۰/۴۴۶ گرم) و ۱۲-۲۴ سانتی‌متری (۰/۴۰۳ گرم) تیمار شاهد

موانع به ترتیب ۱۱۵/۱۸، ۱۳۶/۹۹ و ۱۶۴/۹۶ کیلوگرم بر هکتار بود. جهت باد در ارتفاع دو متری در شهریور ماه شرقی بوده و ۸/۰۶ درصد بادها در این جهت سرعت ۰/۵-۲/۱۰ متر بر ثانیه داشتند (شکل ۶-ب).

بیشترین کاهش در مقدار رسوبات همانند ماه‌های قبل در وسط و آخر موانع مشاهده شد. به طور کلی جمع میزان رسوب تولیدی در چهار طبقه تیمار شاهد در این ماه، ۳۳۱/۷۵ کیلوگرم بر هکتار و میزان رسوب کنترل شده در تیمار اول موانع، وسط موانع و آخر



ب



شکل ۶- تغییرات میزان رسوب در موقعیت‌های مختلف و طبقات ارتفاعی تله رسوب‌گیر (الف) و گلباد (ب) در منطقه مورد مطالعه در شهریور ماه سال ۱۳۹۷. میانگین‌های دارای حروف مشابه دارای تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD نیستند.

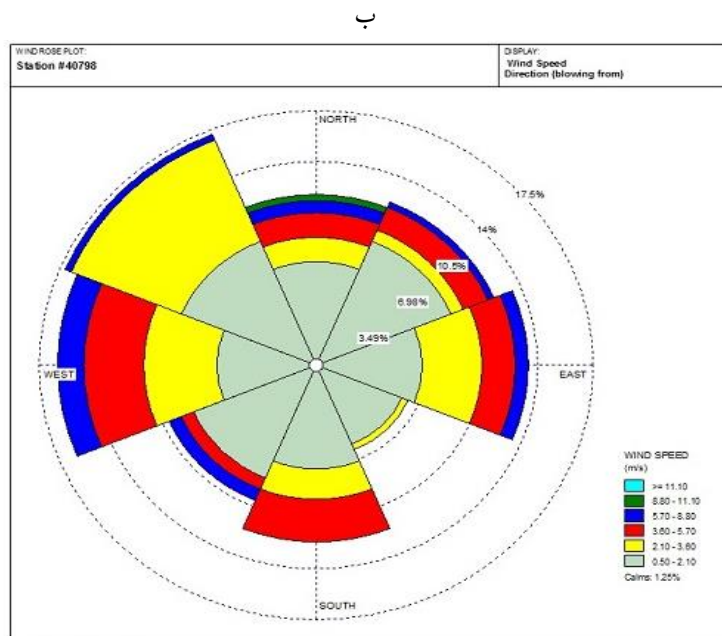
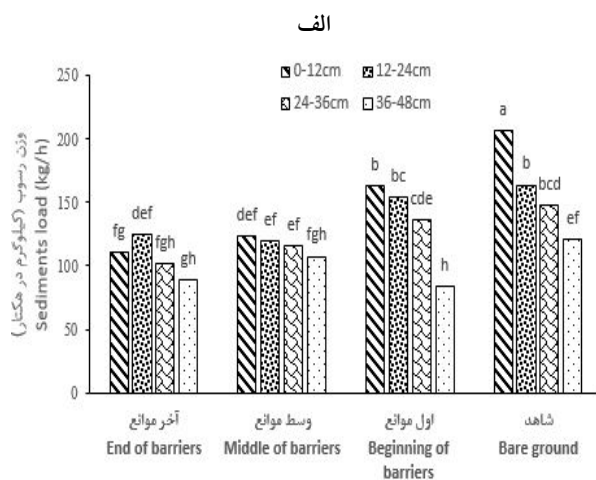
Figure 6. Variation of sediment load (a) in different positions and height classes of sediment trap and wind rose (b) in September, 2018. Means with similar letter, are not significantly different ($P \leq 0.05$) based on LSD test.

(شکل ۷-الف) نشان داد که در مهر ماه نیز مشابه با سه ماه قبل بیشترین میزان رسوب مربوط به طبقه ۰-۱۲ سانتی‌متری تیمار شاهد بود که اختلاف

اثر موقعیت تله، طبقه ارتفاعی و اثر متقابل آن‌ها بر میزان رسوب به دام افتاده در تله‌های رسوب‌گیر در مهر ماه نیز معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها

رسوب با افزایش طبقه ارتفاعی تنها در موقعیت اول موانع مشاهده شد (شکل ۷-الف). به طور کلی جمع میزان رسوب تولیدی در چهار طبقه تیمار شاهد در این ماه، ۶۳۹/۱۵ کیلوگرم بر هکتار و میزان رسوب کنترل شده در تیمار اول موانع، وسط موانع و آخر موانع به ترتیب ۱۰۰۰/۸۴، ۱۷۲/۱۶ و ۲۱۲/۲۳ کیلوگرم بر هکتار بود. در مهرماه الگوی وزش باد تا حدی تغییر کرده و باد از سمت شمال غرب می‌وزد.

معنی‌داری نسبت به سایر طبقات ارتفاعی در همین تیمار داشت. میزان کاهش رسوبات نسبت به شاهد در تمام موقعیت‌ها در زمین موانع مشاهده شد و برای آخر موانع در ارتفاع‌های مورد بررسی نیز نسبت به ارتفاع متناظر در تیمار شاهد با افزایش ارتفاع به ترتیب ۶/۵، ۲۳/۹، ۳۱ و ۲۵/۷ درصد بود. در اول موانع نیز کاهش معنی‌دار رسوبات در هر چهار طبقه ارتفاعی نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. کاهش مقدار

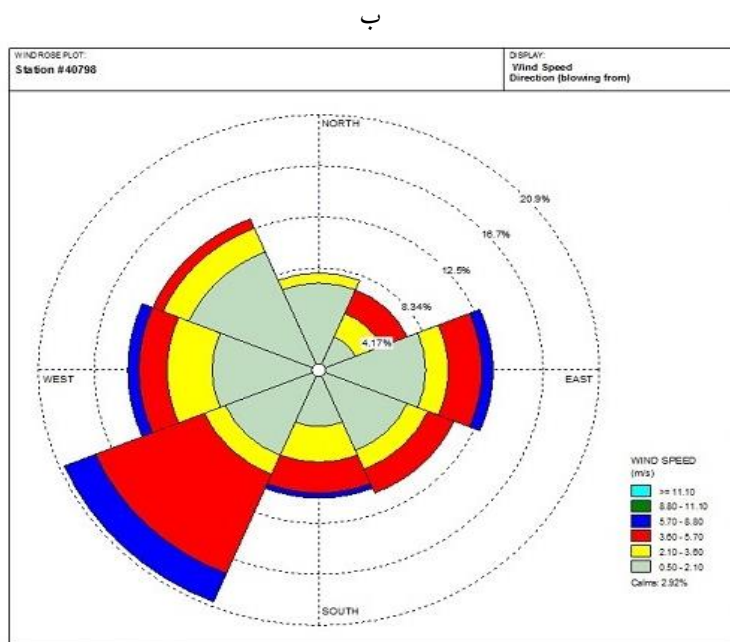
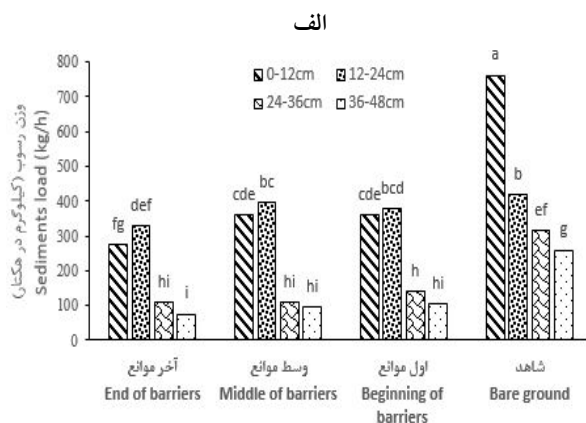


شکل ۷- تغییرات میزان رسوب در موقعیت‌های مختلف و طبقات ارتفاعی تله رسوب‌گیر (الف) و گلباد (ب) در منطقه مورد مطالعه در مهر ماه سال ۱۳۹۷. میانگین‌های دارای حروف مشابه دارای تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD نیستند.

Figure 7. Variation of sediment load (a) in different positions and height classes of sediment trap and wind rose (b) in October, 2018. Means with similar letter, are not significantly different ($P \leq 0.05$) based on LSD test.

تیمار شاهد شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۸-الف). مقدار رسوبات در آبان ماه نسبت به چهار ماه قبل بسیار بیش‌تر بود. به‌طورکلی جمع میزان رسوب تولیدی در چهار طبقه تیمار شاهد در این ماه، شده در تیمار اول موانع، وسط موانع و آخر موانع به‌ترتیب ۱۷۵۷/۷۴ کیلوگرم بر هکتار و ۷۹۶، ۷۷۲/۴۷ و ۹۶۹/۶۷ کیلوگرم بر هکتار بود. در آبان ماه سمت وزش باد جنوب غربی بود و سرعت ۸/۷ درصد بادها در این جهت در ارتفاع دو متری بین ۳/۶-۵/۷ متر بر ثانیه بود (شکل ۸-ب).

در آبان ماه نیز اثر موقعیت تله، طبقه ارتفاعی تله و اثر متقابل آن‌ها بر میزان رسوب به دام افتاده در تله‌های رسوب‌گیر معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در آبان ماه مقدار رسوب در تیمار شاهد با افزایش ارتفاع به سرعت کاهش یافت اما در تیمار اول، وسط و آخر موانع مقدار رسوبات تا طبقه ارتفاعی ۲۴-۱۲ سانتی‌متر افزایش و به حداکثر مقدار خود رسید و پس از این ارتفاع مقدار رسوب به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۸-الف). بین سه طبقه ارتفاعی تیمار آخر موانع و ارتفاع متناظر در



شکل ۸- تغییرات میزان رسوب در موقعیت‌های مختلف و طبقات ارتفاعی تله رسوب‌گیر (الف) و گلاباد (ب) در منطقه مورد مطالعه در آبان ماه سال ۱۳۹۷. میانگین‌های دارای حروف مشابه دارای تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD نیستند.

Figure 8. Variation of sediment load (a) in different positions and height classes of sediment trap and wind rose (b) in November, 2018. Means with similar letter, are not significantly different ($P \leq 0.05$) based on LSD test.

معکوس شد و یک جریان دورانی شکل گرفت (۳۷).
 یو و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که سرعت
 اصطکاک باد قبل و بعد از کمربند موانع شطرنجی
 کلش کمتر از آستانه سرعت باد بود و هیچ ذره‌ای از
 بستر شن در این موقعیت‌ها بلند نشد، بنابراین نیازی
 به پیوستگی کمربند موانع شطرنجی کلش نیست (۲).

در سطح زمین شاهد به دلیل یکنواختی زیاد، طول
 زبری بسیار کم است در حالی که استقرار موانع
 شطرنجی کلش برنج می‌تواند طول زبری را بسیار
 افزایش دهد. نتایج گائو و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد
 که موانع شطرنجی می‌تواند باعث نشست ذرات شده
 و شدت حمل شن و ماسه را بیش از ۹۹/۵ درصد
 کاهش دهد (۱۴). ژانگ و همکاران (۲۰۱۶) طی
 مطالعه‌ای بیان نمودند که در بالای زمین پوشیده شده
 با موانع شطرنجی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر، طول زبری
 2×10^{-2} تا 4×10^{-2} متر بود که اندازه آن دو تا سه
 برابر بیش‌تر از مقدار زمین بدون موانع بود. هم‌چنین
 با توجه به انعطاف کلش‌ها و خمش در هنگام باد
 شدید طول زبری آئرو‌دینامیک در سرعت باد بیش از
 ۶ متر بر ثانیه کمی افزایش یافت (۴۱).

مقدار رسوبات جمع‌آوری شده در ماه‌های
 مختلف نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع میزان تجمع
 رسوبات هم در زمین شاهد و هم در زمین موانع
 شطرنجی کاهش یافت. اما مقدار رسوب در زمین
 موانع شطرنجی در آبان‌ماه نشان داد با توجه به افزایش
 سرعت باد، با افزایش ارتفاع مقدار رسوبات افزایش و
 در ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر به حداکثر رسیده و سپس
 کاهش می‌یابد. نتایج این پژوهش با نتایج ژانگ و
 همکاران (۲۰۱۶) مطابقت داشت (۴۱). ژانگ و
 همکاران (۲۰۱۶) بیان نمودند که توزیع عمودی شار
 جرم در بالای زمین پوشیده شده با موانع شطرنجی با

نتایج حاصل از بررسی تغییرات درصد رسوب
 نسبت به زمین شاهد در ماه‌های مختلف نشان داد که
 همه تیمارها از لحاظ میزان رسوب کاهش چشمگیری
 نسبت به زمین شاهد داشتند که این موضوع نشان
 می‌دهد که شطرنج کلش به عنوان مانعی در برابر باد
 موفق عمل نموده که احتمالاً از طریق تأثیر بر
 بردارهای دینامیکی باد (سرعت و جهت) موجب
 تعدیل سرعت و کاهش فرسایش بادی می‌شود.
 هم‌چنین با افزایش فاصله از اول موانع به سمت آخر
 موانع میزان رسوب به میزان قابل‌توجهی کاهش یافت.
 سرعت باد در برخورد به اول موانع به میزان
 قابل‌توجهی کاهش یافته و هنگام برخورد با تیمار آخر
 موانع سرعت و انرژی کمی دارد. در نتیجه این امر،
 میزان رسوب در تیمار آخر موانع کم‌ترین مقدار بود.
 ژانگ و همکاران (۲۰۱۰) سرعت باد را در امتداد
 کمربند موانع شطرنجی کلش در منطقه بیابانی شاپوتو
 در چین اندازه‌گیری کردند. نتایج آزمایش آن‌ها نشان
 داد که سرعت باد در موانع شطرنجی کلش با افزایش
 فاصله در مربعات شطرنجی به‌طور مداوم کاهش یافته
 و سپس ثابت می‌شود (۴۳). موانع شطرنجی جریان
 باد را مختل کرده در نتیجه ساختار، جهت و شدت
 جریان باد نزدیک سطح را در بالای سطح زمین تغییر
 می‌دهند و ثبات سطح را تسهیل می‌کنند (۴۵). از
 سویی کاهش سرعت باد می‌تواند سبب کاهش میزان
 تبخیر رطوبت خاک سطحی شده و میزان فرسایش
 بادی را کاهش دهد. وانگ و همکاران (۲۰۲۰) با
 بررسی اثر حفاظتی موانع شطرنجی کلش در تونل باد
 بیان نمودند با افزایش فاصله در موانع شطرنجی
 سرعت باد به‌تدریج کاهش و آشکارترین کاهش
 سرعت در مربع سوم شبکه شطرنجی رخ داد و یک
 منطقه بزرگ کاهش سرعت و گودال ناشی از جریان
 در داخل موانع شطرنجی ایجاد شد. هم‌چنین جهت
 جریان هوا در داخل مربعات صفحه شطرنجی

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

میانگین هندسی قطر خاکدانه (GMD): نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که تنها اثر فاصله از موانع بر شاخص GMD معنی‌دار بود و اثر سال و اثر متقابل سال \times فاصله از موانع بر این صفت غیرمعنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که استقرار موانع، میانگین هندسی قطر خاکدانه را نسبت به زمین شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد که نشان‌دهنده تأثیر مثبت استفاده از این تکنیک بر میانگین هندسی قطر خاکدانه است. این امر به ویژه در کنار موانع مشاهده شد (شکل ۹). میانگین هندسی قطر خاکدانه (GMD) یکی از شاخص‌های پایداری ساختمان خاک است که مقادیر بزرگ‌تر آن نشان‌دهنده پایداری بیشتر خاک است (۲۲). احتمالاً حضور بقایای گیاهی سبب تحریک فعالیت میکروبی می‌شود. در همین راستا برخی پژوهشگران بیان داشتند که مطلوب بودن بقایای گیاهی به شدت خاکدانه‌سازی خاک را توسط موجودات خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۳). مونرال و همکاران (۱۹۹۵) بیان نمودند که بقایای گیاهی نقش مهمی در پایداری خاکدانه‌های ریز با قطر ۲۰۰-۱۰۰ میکرومتر بازی می‌کنند و مواد آلی، قارچ‌ها و ذرات خاک را در خاکدانه‌های درشت پایدار می‌کنند (۲۶ و ۲۳). تجزیه بقایای گیاهی موجب آزاد شدن موسیلاژها، ترکیبات هیومیکی و پلی‌ساکاریدها می‌شود که در پیوستگی ذرات خاک به یکدیگر نقش مهمی دارند (۱۳). ژانگ و همکاران (۲۰۰۶) بیان نمودند که خاکدانه‌های موجود در سطح خاک سرعت باد را تا ارتفاع خاصی از سطح زمین به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهند و هر تغییری در زبری تصادفی اختلاف قابل توجهی در شدت فرسایش بادی ایجاد می‌کند (۴۲).

افزایش سرعت باد تغییر کرد. در سرعت باد بالا شکل منحنی حاصل شبیه یک ستون می‌شود که کاملاً متفاوت از کاهش سریع و مداوم میزان رسوب با افزایش ارتفاع در بالای زمین بدون موانع است. به نظر می‌رسد تفاوت توزیع عمودی حمل ذرات در پاسخ به سرعت باد، مربوط به تغییر در حرکت ذرات در موانع بین سرعت‌های مختلف باد است (۴۱). نتایج مطالعه میرباقری (۲۰۱۸) نشان داد که در مرغزار قدیمی شهرکرد ذرات جهشی (۰/۵-۰/۰۵ میلی‌متر)، سهم بیش‌تری نسبت به ذرات خزشی و معلق در ایجاد فرسایش و رسوب دارند (۲۵). بو و ژنگ (۲۰۱۳) روش استقرار الگوهای نواری را به جای روش پوشش کامل در ایجاد موانع شطرنجی معرفی نمودند. چرا که موانع شطرنجی نواری هم کافی است و نیازی به یک سطح فرش شده گسترده نیست (۳). تشکیل یک سطح مقعر پایدار جهت تثبیت ذرات توسط موانع شطرنجی کلش مهم است. تشکیل یک سطح مقعر پایدار در داخل مربعات شطرنجی هم سطح را تثبیت می‌کند و هم باعث دانه‌بندی شدن ذرات می‌شود. به دلیل کاهش سرعت باد، ذرات شن حمل شده توسط باد ورودی به مربعات شطرنجی می‌ریزند و ذرات کم‌تری قادر به حرکت بر روی موانع شطرنجی هستند، ضمن این‌که ذرات داخل مربعات شطرنجی نمی‌توانند خارج شوند. بنابراین موانع شطرنجی کلش می‌توانند جریان باد را کنترل کرده و به طور مؤثری ذرات را تثبیت کنند. جریان دورانی می‌تواند ذرات را در داخل موانع شطرنجی جابه‌جا کند، ذرات خاک را در درون مربعات شطرنجی به سمت جلو حرکت داده (۳۵) و در نهایت منجر به ایجاد یک سطح مقعر پایدار در داخل مربعات می‌شود.

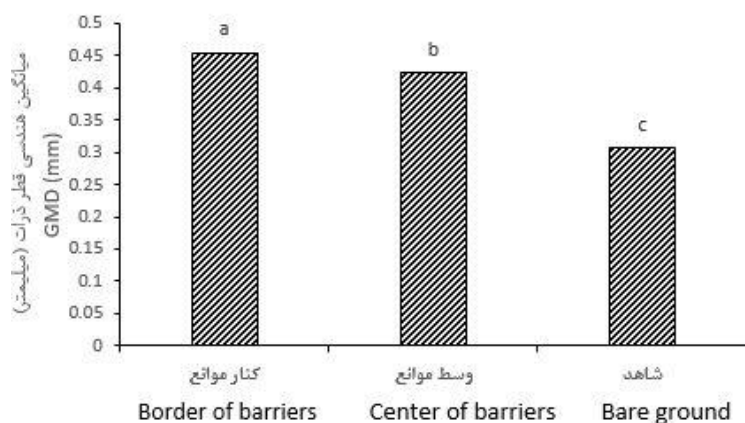
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر موانع شطرنجی کلش بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 3. Analysis of variance (mean squares) effect of straw checkerboard barriers on soil physio-chemical properties.

میانگین مربعات Mean square							درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V
فسفر قابل دسترس Available P	نیترژن کل Total N	کربن آلی Organic carbon	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	میانگین هندسی قطر خاکدانه GMD		
9.3364 ^{ns}	0.0003*	0.087*	6.2769 ^{ns}	0.2785 ^{ns}	3.4747 ^{ns}	0.00003 ^{ns}	1	سال Year
3.8419	0.00008	0.0214	8.2384	4.7811	3.1280	0.0011	4	اشتباه ۱ Error 1
12.6835*	0.0005**	0.2513**	24.028**	26.8998**	14.092*	0.0361**	2	فاصله از موانع Distance from barrier
4.2728 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0577 ^{ns}	4.4667 ^{ns}	0.3725 ^{ns}	0.342 ^{ns}	0.00003 ^{ns}	2	فاصله از موانع × سال Distance*Year
2.8012	0.00005	0.0163	1.7697	3.3311	0.9682	0.0004	8	اشتباه ۲ Error 2
8.32	2.29	3.72	5.62	3.38	4.73	5.62		ضریب تغییرات C.V (%)

^{ns}، * و ** به ترتیب بیانگر غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

^{ns}، ** and *, respectively, indicate, non significant, differences at $P \leq 0.01$ and $P \leq 0.05$ probability level.



شکل ۹- اثر فاصله از موانع بر میانگین هندسی قطر خاکدانه. حروف مشابه بیانگر عدم معنی‌داری بر اساس آزمون LSD است.

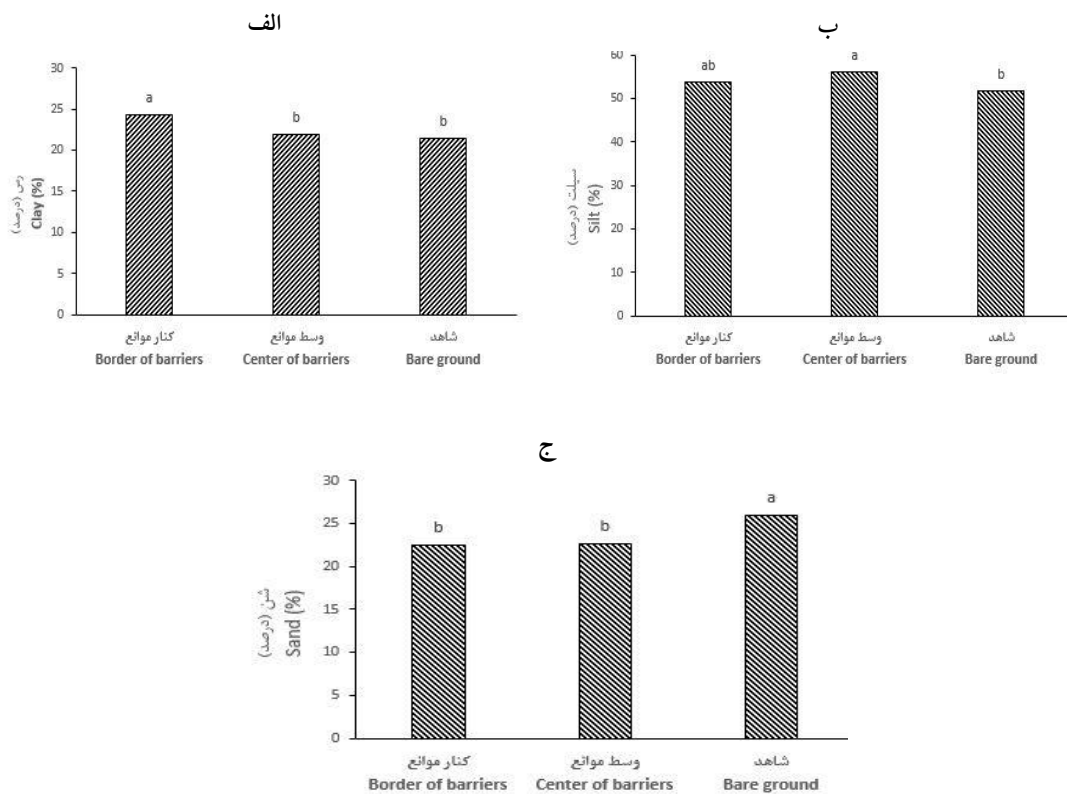
Figure 9. Effect of distance from barrier on GMD. Similar letter indicate not significant difference ($P \leq 0.05$) based on LSD.

سال × فاصله از موانع غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). استقرار موانع شطرنجی، درصد رس را در کنار موانع در مقایسه با زمین شاهد ۱۳/۳۸ درصد افزایش داد

درصد رس، سیلت و شن: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر فاصله از موانع بر درصد رس، سیلت و شن معنی‌دار ولی اثر سال و اثر متقابل

در حالی است که بیشترین درصد شن در زمین شاهد مشاهده گردید (شکل ۱۰-ج).

(شکل ۱۰-الف) در حالی که در وسط موانع بیشترین درصد مربوط به ذرات سیلت بود که اختلاف معنی داری با کنار موانع نداشت (شکل ۱۰-ب). این



شکل ۱۰- اثر فاصله از موانع بر درصد رس (الف)، سیلت (ب) و شن خاک (ج). حروف مشابه بیانگر عدم معنی داری بر اساس آزمون LSD است.

Figure 10. Effect of distance from barrier on percentage of clay (a), silt (b) and sand (c). Similar letter indicate not significant difference ($P \leq 0.05$) based on LSD.

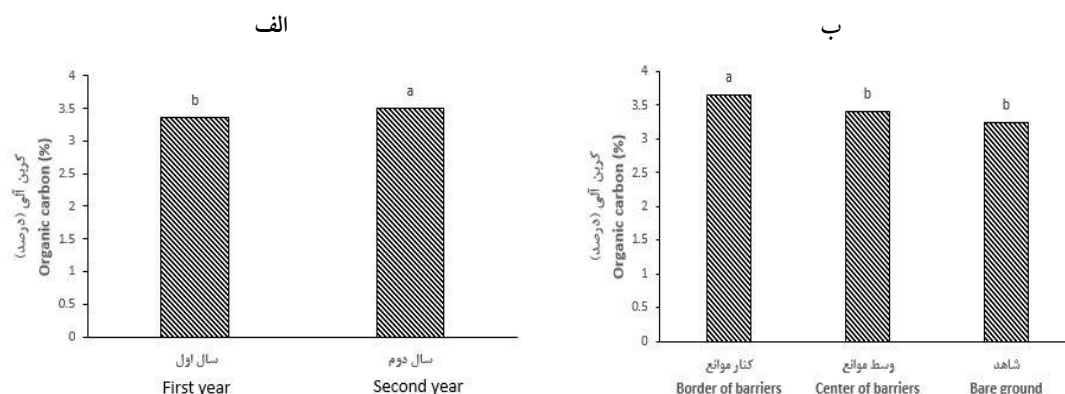
می شود ذرات سطح خاک ریز شوند و شدت فرسایش و رسوب سطح خاک کاهش یابد که باعث رشد گیاهان جدید در موانع می شود (۱۴). موانع نه تنها ذرات ریز را در محل اصلی خود ثابت نگه می دارند بلکه باعث فرونشست و رسوب آنها از هوا می شوند، بنابراین در نهایت باعث افزایش درصد ذرات ریز مانند رس و سیلت در سطح خاک می شوند (۲۰، ۶). ذرات ریز نقش سیمان بین ذرات خاک را بهبود می دهند، تجمع کربن آلی خاک را افزایش داده

احتمالاً حذف ذرات ریز از خاک در اثر فرسایش بادی سبب شده تا توزیع اندازه ذرات خاک تغییر کند (۷). دایی و همکاران (۲۰۱۷) بیان نمودند که پس از استقرار موانع شطرنجی توزیع اندازه ذرات (PSD) خاک تغییر خواهد کرد زیرا ذرات ریز خاک رسوب کرده و در اطراف موانع حفظ می شوند (۱۱). لی و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که موانع شطرنجی کلش می توانند باعث افزایش میزان نسبی رس خاک سطحی در طی زمان شوند (۲۱). اثر انسدادی موانع باعث

معنی‌داری افزایش داد (شکل ۱۱- الف). میزان کربن آلی در کنار موانع در مقایسه با زمین شاهد به طور متوسط ۱۲/۵ درصد افزایش داشت در حالی که اختلاف معنی‌داری بین زمین شاهد و وسط موانع مشاهده نگردید (شکل ۱۱- ب). کربن آلی خاک یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها جهت ارزیابی کیفیت، ساختار و حاصلخیزی خاک و در نتیجه تأثیر موانع شطرنجی بر احیای خاک است. بالا بودن درصد ماده آلی با کاهش جرم مخصوص ظاهری باعث پوکی خاک شده و با سبک شدن وزن ذرات خاک حمل آن‌ها توسط باد را راحت‌تر می‌کند (۳۲). از سویی دیگر دخالت‌های انسان مانند چرای بیش از حد و زهکشی باعث شده خاک مرغزار قدیمی با درصد ماده آلی بالا به فرسایش بادی حساس شود (۳۲). زوبک و همکاران (۲۰۱۳) نیز نتیجه گرفتند که دخالت‌های انسانی باعث فرسایش‌پذیری خاک‌های آلی می‌شوند (۴۷). بهبود کربن آلی احتمالاً بیانگر این موضوع است که فعالیت میکروبی توسط موانع شطرنجی کلش تقویت شده است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که پس از استقرار موانع شطرنجی سرعت معدنی شدن حدود ۱۵۵ درصد افزایش یافت (۴۴).

و کیفیت خاک را به‌طور هم‌زمان بهبود می‌بخشند. علاوه بر این، فرآیندهای رسوب و تجمع ذرات خاک محدوده توزیع اندازه ذرات (PSD) خاک و اندازه خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهد (۱۶). این بدین معنی است که طیف گسترده اندازه ذرات و نسبت بالای ذرات ریز از طریق تجمع کربن آلی می‌تواند ساختار، ویژگی و کیفیت خاک را بهبود بخشد و به تشکیل خاکدانه‌ها کمک کند. پژوهشگران دریافتند که با افزایش دوره استقرار موانع، ذرات ریز درون موانع بهبود می‌یابد (۳۸). برخی مطالعات انجام شده در مناطق خشک نشان داد که کلونیزاسیون گونه‌های علفی با میزان سیلت و رس در خاک ارتباط مثبت دارد. خاک با بافت ریزتر نه تنها ظرفیت نگهداری آب را بهبود می‌بخشد بلکه سطح را با عناصر غذایی غنی می‌کند و سبب تشکیل جوامع بیولوژیکی سطحی کریپتوگامیک در خاک می‌گردد (۲۱).

کربن آلی: اثر فاصله از موانع و سال هر یک به تنهایی بر میزان کربن آلی خاک معنی‌دار اما اثر متقابل سال × فاصله از موانع بر کربن آلی معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد موانع شطرنجی میزان کربن آلی را طی دو سال به طور



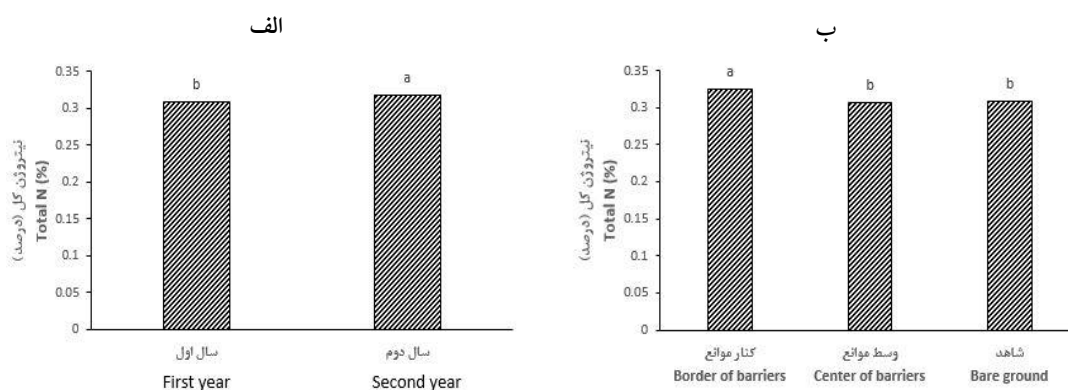
شکل ۱۱- اثر سال (الف) و فاصله از موانع (ب) بر میزان کربن آلی خاک.

حروف مشابه بیانگر عدم معنی‌داری بر اساس آزمون LSD است.

Figure 11. Effect of year (a) and distance from barrier (b) on soil organic carbon. Similar letter indicate not significant difference ($P \leq 0.05$) based on LSD.

نیترژن کل خاک پس از استقرار موانع شطرنجی به زنده‌مانی جوامع میکروبی و بهبود کلی شرایط خاک کمک کرده و باعث می‌شود مقدار ماده آلی خاک به سرعت افزایش یابد (۴۴). از آنجا که میزان عناصر غذایی در اکوسیستم بیابانی محدود است، بنابراین مقادیر کم عناصر غذایی موجود در گرد و غبار می‌تواند منبع مهمی در نظر گرفته شود و تولید گیاهان علفی در مراتع را تحت تأثیر قرار دهد (۴۰). برگ و همکاران (۱۹۷۱) بیان نمودند که نیترژن خاک معمولاً پس از آب عامل محدودکننده تولید گیاهان علفی در مراتع است (۱). نتایج آزمایش لی و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که تجمع رسوب گرد و غبار با میزان ماده آلی، نیترژن، فسفر و پتاسیم خاک و همچنین ظرفیت نگهداری آب خاک سطحی ارتباط مثبت داشت (۲۱).

نیترژن کل: میزان نیترژن کل خاک تحت تأثیر سال و فاصله از موانع قرار گرفت اما اثر متقابل سال × فاصله از موانع بر میزان نیترژن کل خاک معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد میزان نیترژن کل خاک طی زمان افزایش معنی‌داری داشت (شکل ۱۲-الف). همانند کربن میزان نیترژن کل خاک نیز پس از استقرار موانع شطرنجی کلش به‌طور معنی‌داری در کنار موانع افزایش یافت (شکل ۱۲-ب) که با نتایج دایی و همکاران (۲۰۱۹) و ژانگ و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت داشت (۴۴، ۱۰). البته تفاوت معنی‌داری بین وسط موانع و زمین شاهد مشاهده نشد. از سویی افزایش درصد ذرات رس در کنار موانع، تجمع کربن آلی خاک را افزایش داده و کیفیت خاک را به‌طور هم‌زمان بهبود بخشیده و سبب افزایش میزان نیترژن خاک می‌گردد (۲۰). افزایش



شکل ۱۲- اثر سال (الف) و فاصله از موانع (ب) بر میزان نیترژن کل خاک.

حروف مشابه بیانگر عدم معنی‌داری بر اساس آزمون LSD است.

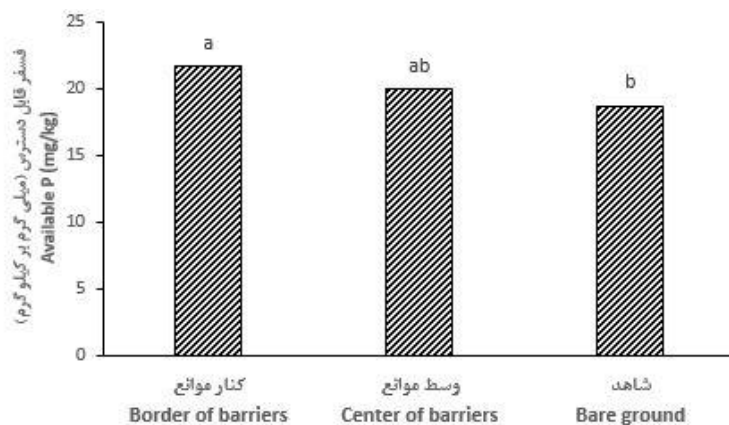
Figure 12. Effect of year (a) and distance from barrier (b) on soil total N. Similar letter indicate not significant difference ($P \leq 0.05$) based on LSD.

مربوط به زمین شاهد (۱۸/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۱۳). ژانگ و همکاران (۲۰۱۸) طی مطالعات خود بیان نمودند که مقدار کل فسفر خاک در طول دوره ده ساله به‌طور مداوم افزایش یافت که حداکثر رشد برای آن ۲۷۰ درصد بود.

فسفر قابل‌دسترس: میزان فسفر قابل‌دسترس خاک تنها تحت تأثیر فاصله از موانع قرار گرفت. اثر سال و اثر متقابل سال × فاصله از موانع بر میزان فسفر قابل‌دسترس خاک غیرمعنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین میزان فسفر قابل‌دسترس مربوط به کنار موانع (۲۱/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کم‌ترین میزان

شطرنجی کلش نقش مؤثری در کاهش سرعت باد و تثبیت ذرات دارد. گام بعدی تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ذرات است و در پایان میزان آب خاک را بهبود می‌بخشد (۱۹). تمامی این مزایا به همراه فراهم شدن مقدار قابل توجه هوموس و عناصر غذایی می‌تواند سبب احیای پوشش گیاهی و به دنبال آن جانوری منطقه، احیای اکولوژیکی و فعال شدن سرویس‌های اکولوژیکی گردد (۱۹).

تکنیک موانع شطرنجی می‌تواند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود بخشد و سبب احیای پوشش گیاهی شود. در مطالعه لی و همکاران (۲۰۰۶) موانع کلش شطرنجی جوانه‌زنی و استقرار گیاهان علفی را تسهیل کرد. آن‌ها بیان نمودند که به‌کار بردن کلش شطرنجی از طریق بهبود خصوصیات خاک اثرات قابل‌توجهی بر سرعت رشد گیاهان علفی داشت. هم‌چنین پوشش و غنای گونه‌ای گیاهان علفی افزایش پیدا کرد (۲۱). در نگاه اول تکنیک موانع



شکل ۱۳- اثر فاصله از موانع بر میزان فسفر قابل دسترس خاک. حروف مشابه بیانگر عدم معنی‌داری بر اساس آزمون LSD است.

Figure 13. Effect of distance from barrier on soil available P. Similar letter indicate not significant difference ($P \leq 0.05$) based on LSD.

درصد کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل‌دسترس می‌تواند موجبات احیای پوشش گیاهی، افزایش تنوع و فعال شدن سرویس‌های اکولوژیکی را فراهم کند. از آن‌جا که منطقه مورد مطالعه دارای ذرات خاک سیلتی و ساختمان فراجی پن است و به دلیل برداشت‌های بیش از اندازه منابع آب زیرزمینی، دستخوش پدیده فرونشست قرار گرفته است، این تکنیک روشی مؤثر برای تثبیت ذرات، کنترل بیابان‌زایی و مهار ذرات فرسایش بادی در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک است. این اطلاعات یک رویکرد مطلوب مهندسی اکولوژیک را برای مناطق خشک و در

نتیجه‌گیری

در این مطالعه کارایی تکنیک موانع شطرنجی بر کاهش میزان رسوبات بادی بررسی و مشخص شد که این تکنیک باعث کاهش معنی‌دار میزان رسوبات بادی در مقایسه با زمین شاهد شد. میزان رسوب در پنج ماه مورد مطالعه از اول موانع به سمت آخر موانع به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد که دلیل آن را می‌توان به افزایش طول زبری آئرودینامیک، کاهش سرعت باد و افزایش نشست رسوبات نسبت داد. از سوی دیگر بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل میانگین هندسی قطر خاکدانه، درصد سیلت و رس،

خاک افزایش و منجر به اصلاح ساختار و ویژگی‌های خاک گشته و محیط مناسبی را برای بازگشت پوشش گیاهی و تنوع زیستی فراهم نماید. پژوهش‌ها در مورد هزینه‌های اجرای طرح در دنیا نشان می‌دهد به طور کلی دو روش سنتی و مکانیزه برای استقرار موانع شطرنجی کلش وجود دارد. در روش سنتی تنها هزینه نیروی انسانی با مقدار کارکرد متوسط حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ مترمربع در یک روز کاری هشت ساعته با راندمان ۲۵-۱۲/۲۵ مترمربع بر ساعت مطرح است اما در روش مکانیزه از یک خودرو استفاده می‌شود که در عمل یک هکتار را می‌توان در حدود ۲/۶ ساعت با بهره‌وری ۳۹۰۰ متر مربع در ساعت تکمیل نمود.

معرض خطر فرسایش ایجاد می‌نماید که ممکن است بتواند در این مناطق یک استراتژی بلندمدت و پایدار فراهم کند.

از نظر هزینه مورد استفاده برای اجرای این طرح در مناطق مشابه، با توجه به این‌که در کشور ما کاه و کلش برنج در بیش‌تر مزارع پس از برداشت محصول سوزانده می‌شوند، می‌توان از این بقایا به عنوان یک روش سازگار با محیط زیست جهت کنترل فرسایش در مناطق بیابانی استفاده نمود. اما اجرای این روش احتیاج به نیروی کارگر داشته و حمایت دولت و تخصیص اعتبارات لازم را می‌طلبد. البته مهم‌ترین برتری این تکنیک این است که نه تنها نیاز به استفاده از آب ندارد بلکه می‌تواند میزان رطوبت را حتی در

منابع

1. Berg, W.A., Bradford, J.A., and Sims, P.L. 1997. Long-term soil nitrogen and vegetation change on sandhill rangeland. *Journal of Range Management*. 50: 482-486.
2. Bo, T.L., Ma, P., and Zheng, X.J. 2015. Numerical study on the effect of semi-buried straw checkerboard sand barriers belt on the wind speed. *Aeolian Research*. 16: 101-107.
3. Bo, T.L., and Zheng, X.J. 2013. Numerical simulation of the evolution and propagation of aeolian dune fields toward a desert-oasis zone. *Geomorphology*. 180: 24-32.
4. Bouyoucos, G.J. 1951. A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soil. *American Society of Agronomy*. 43: 434-438.
5. Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen-total. P 595-624. In: A.L. Page (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy. Madison, WI.
6. Bruno, L., Fransos, D., and Giudice, A.L. 2018. Solid barriers for windblown sand mitigation: Aerodynamic behavior and conceptual design guidelines. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 173: 79-90.
7. Chen, X., and Zhou, J. 2013. Volume-based soil particle fractal relation with soil erodibility in a small watershed of purple soil. *Environmental Earth Sciences*. 70: 1735-1746.
8. Chun Lai, Z.H., Na, Z.H., and JiaQiong, Z.H. 2014. Sand flux and wind profiles in the saltation layer above a rounded dune top. *Science China: Earth Sciences*. 57: 523-533.
9. D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K.F., Ravi, S., and Runyan, C.W. 2013. Global desertification: drivers and feedbacks. *Advances in Water Resource*. 51: 326-344.
10. Dai, Y., Dong, Z., Li, H., He, Y., Li, J., and Guo, J. 2019. Effects of checkerboard barriers on the distribution of aeolian sandy soil particles and soil organic carbon. *Geomorphology*. 338: 79-87.
11. Dai, Y.J., Guo, J.Y., Dong, Z., Li, J.R., and Li, H.L. 2017. Spatial distribution of soil particles and heavy metals under different psammophilic shrubs in the Ulan Buh desert. *Environmental Science*. 38: 4809-4818.

12. Dong, Z.B., Fryrear, D.W., and Gao, S.Y. 2000. Modeling the roughness effect of blown-sand controlling standing vegetation in wind tunnel. *Journal of Desert Research*. 20: 260-263.
13. Edwards, C.A. 2004. *Earthworm Ecology*. 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, FL. 441p.
14. Gao, Y., Qiu, G.Y., Ding, G.D., Hideyuki, Sh., Yi, Y., Chunyuan, H., Yan-ping, L., Kazuo, T., Yi, W., and Ji, W. 2004. Effect of *Salix psammophila* checkerboard on reducing wind and stabilizing sand. *Journal of Desert Research*. 24: 365-370.
15. Huang, N., Xia, X., and Tong, D. 2013. Numerical simulation of wind sand movement in straw checkerboard barriers. *The European Physical Journal E*. 36: 99-110.
16. Kang, S., Ghosh, S., and Xing, B. 2006. Adsorption and stabilization of organic carbon by mineral surfaces in soils. *Chinese Journal of Geochemistry*. 25: 263-264.
17. Kaskaoutis, D.G., Rashki, A., Houssos, E.E., Bartzokas, A., Francois, P., Legrand, M., and Middleton, N.J. 1986. Dust storms in the Middle East. *Journal of Arid Environment*. 10: 83-96.
18. Kenneth, P., and Haim, T. 2009. *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Springer. 458p.
19. Li, Sh., Li, Ch., Yao, D., and Wang, Sh. 2020. Feasibility of microbially induced carbonate precipitation and straw checkerboard barriers on desertification control and ecological restoration. *Ecological Engineering*. 152: 105883.
20. Li, H.L., Wan, L.L., Dong, Z., Liu, Z., and Wang, L.Y. 2012. Effects of Sand Barriers of *Salix Psammophila* on Soil Particle Size and Fractal Dimension. *Chin Journal of Soil Science*. 43: 540-545.
21. Li, X.R., Xiao, H.L., He, M.Z., and Zhang, J.G. 2006. Sand barriers of straw checkerboards for habitat restoration in extremely arid desert regions. *Ecological Engineering*. 28: 149-157.
22. Marinissen, J.C.Y., and Dexter, AR. 1990. Mechanisms of stabilization of earthworm casts and artificial casts. *Biology and Fertility of Soils*. 9: 163-167.
23. Martens, D.A. 2000. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. *Soil Biology and Biochemistry*. 32: 361-369.
24. Mazurak, A.P. 1950. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. *Soil Science*. 69: 135-148.
25. Mirbagheri, S. 2018. Studying the pollution of wind sediments to heavy metals in Shahrekord plain (M.Sc. thesis) Shahrekord University. (In Persian)
26. Monreal, C.M., Schnitzer, M., Schulten, H.R., Campbell, C.A., and Anderson, D.W. 1995. Soil organic structures in macro and micro aggregates of a cultivated brown chernozem. *Soil Biology and Biochemistry*. 27: 845-853.
27. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanable, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular 939*, Washington. 569p.
28. Qiu, G.Y., Lee, I.B., Shimizu, H., Gao, Y., and Ding, G.D. 2004. Principles of sand dune fixation with straw checkerboard technology and its effects on the environment. *Journal of Arid Environment*. 56: 449-464.
29. Qu, J., Zu, R., Zhang, K., and Fang, H. 2007. Field observations on the protective effect of semi-buried checkerboard sand barriers. *Geomorphology*. 88: 193-200.
30. Qu, J.J., Huang, N., Ta, W.Q., Lei, J.Q., Dong, Z.B., Liu, X.W., Xue, X., Zu, R.P., and Zhang, K.C. 2005. Structural characteristics of Gobi sand-drift and its significance. *Advance Earth Science*. 20: 19-23.
31. Refahi, H. 2012. *Wind erosion and conservation*. University of Tehran press. 340p. (In Persian)
32. Salehi, N. 2015. Estimation of wind erosion in south of Shahrekord City (Chaharmahal va Bakhtiari Province, Iran) using different models. (M.Sc. theses) Shahrekord University. (In Persian)
33. Santiago, J.L., Martin, F., Cuerva, A., Bezdenejnykh, N., and Sanz-Andres, A. 2007. Experimental and numerical study of wind flow behind windbreaks. *Atmospheric Environment*. 41: 6406-6420.

34. Sun, C.L., Liu, G.B., and Xue, S. 2016. Natural succession of grassland on the Loess Plateau of China affects multifractal characteristics of soil particle-size distribution and soil nutrients. *Ecological Research*. 31: 891-902.
35. Tian, L.H., Wu, W.Y., Zhang, D.S., Lu, R.J., and Wang, X.Q. 2015. Characteristics of erosion and deposition of straw checkerboard barriers in alpine sandy land. *Environmental Earth Science*. 74: 573-584.
36. Walkly, A., and Blake, A. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29-38.
37. Wang, T., Qu, J., and Niu, Q. 2020. Comparative study of the shelter efficacy of straw checkerboard barriers and rocky checkerboard barriers in a wind tunnel. *Aeolian Research*. 43: 100575.
38. Wang, X., and Chen, G. 1996. A study on grain-size's changes of sand material in semi-covered sand barrier and shifting sand areas along the oil-transporting highway in Tarim Desert. *Journal of Desert Research*. 16: 180-184.
39. Wang, Z.T., and Zheng, X.J. 2002. A simple model for calculating measurement of straw checkerboard barriers. *Journal of Desert Research*. 22: 229-232. (In Chinese with English abstract)
40. Whitford, W.G. 2002. *Ecology of Desert Systems*. Academic Press, New York, pp. 299-301.
41. Zhang, Ch., Qing Li, Q., Zhou, N., Zhang, J., Kang, L., Shen, Y., and 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: 59-70.
42. Zhang, Y., Hepike, C., Butenuth, M., and Hu, X. 2006. Automatic extraction of wind erosion obstacles by intergration of GIS data. DSM and stereo images. *International Journal of Remote Sensing*. 27: 1677-1690.
43. Zhang, K.C., Qu, J.J., Niu, Q.H., Zhang, W.M., and Han, Q.J. 2010. Simulative research on the mechanism of rocky checkerboard sand barriers along Qinghai-Tibet Railway in wind tunnel. *Advances in Earth Science*. 25: 284-289. (In Chinese with English abstract)
44. Zhang, S., Ding, G., Yu, M., Gao, G., Zhao, Y., Wu, G., and Wang, L. 2018. Effect of Straw Checkerboards on Wind Proofing, Sand Fixation, and Ecological Restoration in Shifting Sandy Land. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 15: 2184.
45. Zheng, X.J. 2009. *Mechanics of Wind-blown Sand Movement*. Springer-Verlag, Berlin. 309p.
46. Zobeck, T.M., Baddock, M., Van Pelt, R.S., Tatarko, J., and Acosta-Martinez, V. 2013. Soil property effects on wind erosion of organic soils. *Aeolian Research*. 10: 43-51.