



دوره ۳۰، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۱۷، زمستان ۱۳۹۶، صفحات ۹۳-۸۳  
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMEJ.2018.117088

# پژوهش‌های آبخیزداری

(پژوهش و سازندگی)

## تأثیر انواع خاک‌پوش زیستی بر تثبیت ماسه‌های روان

### معصومه سبزی\*

(نویسنده‌ی مسئول)\* دانشجوی دکترا گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده‌ی مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

### حمیدرضا عسگری

دانشیار گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده‌ی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

### سیدفخرالدین افضلی

استادیار بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۷

\* Corresponding Email: m.sabzi85@gmail.com

### چکیده

فرسایش بادی یکی از بزرگ‌ترین مشکلات زیست‌محیطی جهان است. طوفان‌های گردوغبار حاصل از جابه‌جایی ماسه‌های روان می‌تواند زیان‌های جدی را به مناطق شهری، صنعتی و کشاورزی وارد کند. استفاده از خاک‌پوش یکی از رایج‌ترین روش‌های تثبیت خاک برای جلوگیری از فرسایش بادی و مهار کردن ریزگردها است. در این پژوهش برای تثبیت ماسه‌های روان از پسماند آلی ویناس و فیلترکیک حاصل از کارخانه‌های قند و کودباز یافته (کمپوست) در ترکیب با رس استفاده شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۴ تیمار (نوع خاک‌پوش آلی) انجام شد. برای آماده‌سازی بستر تیمارها از ماسه‌های بادی دشت دژگاه در استان فارس استفاده شد. تیمارهای آزمایشی برای ماسه‌بادی در سینی‌های مخصوص دستگاه تونل باد به ابعاد  $50 \times 30 \times 1$  سانتی‌متر پاشیده شد. سپس ویژگی‌های مکانیکی سله‌های ایجاد شده از جمله ضخامت، مقاومت فروری، مقاومت برشی، سرعت آستانه‌ی فرسایش و فرسایش‌پذیری تیمارها اندازه‌گیری شد. نتایج تحلیل واریانس نشان داد که اثر نوع خاک‌پوش بر مقاومت فشاری و برشی و فرسایش‌پذیری بادی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. براساس مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقاومت برشی و فروری خاک‌پوش ۱ با ترکیب ۲۵ گرم کودباز یافته + ۱۰۰ گرم ویناس + ۱۰۰ گرم رس بیش‌ترین، و فرسایش‌پذیری بادی آن کم‌ترین بود. باتوجه به تخریب‌پذیری زیستی و توجیه‌پذیری اقتصادی آن (هزینه‌ی اجرایی کمتر از خاک‌پوش‌های نفتی و پلیمری) بهترین ترکیب خاک‌پوش برای تثبیت ماسه‌های روان شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: پسماند آلی، تثبیت ماسه‌های روان، مقاومت، مهار کردن فرسایش بادی

## Effectiveness of Biological Mulch Types on Sand Dune Stabilization

**Masume Sabzi\***

\*(Corresponding Author) Ph.D. Student., Dept. of Watershed Management and Desert Regions Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Agriculture and Natural Resource, University of Gorgan, Iran  
m.sabzi85@gmail.com

**Hamid Reza Asgari**

Associate Prof., Dept. of Watershed Management and Desert Regions Management, Faculty of Range land and Watershed Management, Agriculture and Natural Resource University of Gorgan, Iran

**Seyed Fakhreddin Afzali**

Assistant Prof., Dept. of Natural Resource & Environmental Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Iran

### Abstract

Wind erosion is considered a major global environmental problem. Sands forms cause serious damages to municipal, industrial and agricultural areas. Mulch is one of the most common materials for soil stabilization, which mitigates wind erosion and dust formation. In this research different combinations of organic (waste press mud, beet vinasse dander and compost) were used in combination with clay as a stabilizer. Sandy soil from the Dejgah plain, the Province of Fars, was used as the erodible material. Experiments were carried out in a completely randomized design (CRD) with 14 treatments (organic mulch type). The mulches were sprinkled on plots of 50×30×1 cm sand. The thickness and mechanical properties of the mulched layer, namely the: shear strength, penetration resistance, and wind erodibility of the treatments were measured. Based on the analysis of variance (ANOVA), the effects of mulch type on thickness, penetration resistance, and shear strength of surface soil were highly significant ( $p < 0.05$ ). Based on comparison of means with the Duncan's multiple range test, the M1 treatment with 25g compost+100g vinasse+100g clay had the highest thickness, penetration resistance, shear strength and the lowest amount of wind erodibility. Due to the biodegradability and economic justification (lower operating cost than petroleum and polymeric mulches), the organic mulch was recognized as the best combination for stabilizing sandy soils.

■ **Keywords:** Organic waste, resistance, sand dune stabilization, wind erosion control

## مقدمه

فرسایش بادی و هجوم ماسه‌های روان شاخصی جدی در وقوع بیابان‌زایی و تهدیدی جدی برای مناطق خشک است. ۱/۸۱٪ از سطح خشکی‌های جهان (در ایران ۱۱/۹۵٪ از مساحت کشور) در معرض فرسایش بادی قرار دارد. به بیان دیگر، نسبت مناطق تحت‌تأثیر فرسایش بادی به کل خشکی‌ها در ایران، شش برابر وضعیت جهانی است (بیات موحد ۲۰۱۱). از پیامدهای مهم این نوع فرسایش افت کیفیت هوا (ونت پلت و زویک ۲۰۰۶؛ دیاز نیچندا و همکاران ۲۰۱۰)، کاهش میدان دید و فرسودگی ماشین‌های صنعتی (هاگن ۲۰۱۰)، تخریب ساختمان خاک (زائو و همکاران ۲۰۰۶) و کاهش حاصل‌خیزی خاک (گومز و همکاران ۲۰۰۳) است. پیش‌روی تپه‌های ماسه‌ایی به سمت روستاها، شهرها، شهرک‌های صنعتی، راه‌آهن، جاده‌ها و فرودگاه‌ها همه‌ساله موجب زیان‌های فراوانی می‌شود؛ به طوری که سالانه اعتبارات مالی میلیاردی برای پاک‌سازی تاسیسات صنعتی، راه‌ها، راه‌آهن و باند فرودگاه‌ها در ایران پرداخته می‌شود. چه بسا روستاها و شهرهای کوچک و قدیمی که بر اثر جابه‌جایی ماسه‌های روان رها شده‌اند، که جز مشکلات اقتصادی و اجتماعی بسیاری که به همراه دارد، باعث از میان رفتن بخشی از تمدن ملی نیز شده و بسیاری از فرهنگ دیرین از این راه فراموش شده‌اند.

پهنه‌های ماسه‌یی معمولاً از مواد بی‌استحکام با ظرفیت کم برای نگهداری آب تشکیل شده‌اند که آن‌ها را به فرسایش بادی حساس می‌سازد. ماده‌ی آلی ندارند و حاصل‌خیزی آن‌ها ذاتاً کم است. بنابراین، این تپه‌ها برای تثبیت به پوشش‌های مصنوعی غیرنفتی، و به دنبال آن پوشش گیاهی نیاز دارند (احمدی و اختصاصی ۲۰۰۲).

یکی از راه‌کارهای مقابله با فرسایش بادی، بیابان‌زایی و تولید طوفان‌های گردوغبار، پاشیدن خاک‌پوش روی خاک‌های ماسه‌یی است. در نیم‌قرن گذشته، برای یافتن مواد و روش‌های مناسب مهار کردن فرسایش بادی، تثبیت‌کننده‌های گوناگون آلی و غیرآلی ارزیابی شده‌اند. از جمله‌ی آن‌ها استفاده از خاک‌پوش‌های سنگ‌ریزه‌یی (لی ۲۰۰۰)، خاک‌پوش رسی (مجدی و همکاران ۲۰۰۶؛ دیوف و همکاران ۱۹۹۰)، خاک‌پوش سیمانی (سعدعلی و همکاران ۱۹۹۴)، و خاک‌پوش‌های پلیمری مانند پلی‌اکریلامید (گنیس و همکاران ۲۰۱۲) اشاره کرد. هر کدام از این خاک‌پوش‌ها به نوعی در مهار کردن فرسایش موثر اند. خاک‌پوش‌های نفتی در کنار اثرهای سودمند از نظر تثبیت ماسه‌های روان، اثرهای زیان‌باری مانند ضریب جذب حرارتی زیاد و آلودگی محیط زیست دارند، بر رشد گیاهان اثر منفی دارند و تهدیدی برای سفره‌های آب زیرزمینی و سلامتی انسان و جانوران اند (واعظی ۲۰۱۲). خاک‌پوش آلی علاوه بر افزایش مقاومت خاک، ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی را در خاک افزایش می‌دهد و شرایط لازم برای تثبیت زیستی را فراهم می‌کند (جمشیدصفا ۲۰۱۴). خاک‌پوش رسی در تثبیت زیستی نقش مهمی را در کاهش فرسایش بادی دارد، به شرطی که گیاه تا مرحله‌ی استقرار حفظ شود. بنابراین خاک‌پوش رسی می‌تواند با به هم چسباندن ذرات ماسه و جلوگیری از حرکت آنها نقش مهمی را داشته باشد، به طوری که هرچه چسبندگی ذرات خاک بیشتر باشد در برابر فرسایش بادی مقاوم‌تر

است. در خاک‌هایی که رس آن‌ها کم و ماسه‌ی ریز ولای آن‌ها فراوان باشد، خاک‌دانه‌های ضعیف تشکیل می‌شوند. بنابراین، یکی از راه‌کارهای مهار کردن فرسایش بادی و افزایش چسبندگی میان ذرات ماسه استفاده از ذرات رس در قالب خاک‌پوش رسی است. کاتیون کلسیم نقش موثری در به هم‌آوری کلوئیدهای خاک و کاهش فرسایش‌پذیری دارد (اختصاصی و حضیرئی ۲۰۱۶). تحقیقات مختلف نشان می‌دهند که بین میزان رس با شاخص‌های مختلف خاک رابطه‌ی معنی‌داری وجود دارد، به طوری که افزایش فرسایش‌پذیری خاک با افزایش نسبت رس، شاخص‌های مقاومت فشاری، مقاومت به ضربه و سایش به طور نسبی کاهش می‌یابد (حضیرئی و زارع‌ارنانی ۲۰۱۳؛ دیوف و همکاران ۱۹۹۰)؛ خاک‌پوش‌های رسی در برابر باد مقاوم اند، ولی زمانی که به وسیله‌ی ذرات موجود در جریان باد بمباران می‌شوند به تدریج فرسایش می‌یابند. بنابراین، تیمار ترکیبی از رس با سایر خاک‌پوش‌ها مانند ماسه یا کاه و کلس، تیمار بهتری برای تثبیت ماسه‌ها است (مجدی و همکاران ۲۰۰۶). اثر نوع خاک‌پوش بر ویژگی‌های مکانیکی خاک مانند مقاومت برشی خاک سطحی (کامر ۲۰۰۲؛ ماتسودا و همکاران ۲۰۱۱؛ لی و همکاران ۲۰۱۶)، مقاومت فشاری (هریک و جونز ۲۰۰۲)، مقاومت فروری (بومهارد و همکاران ۲۰۰۴)، و ضخامت خاک‌پوش (حضیرئی و زارع‌ارنانی ۲۰۱۳) مؤید بهبود این ویژگی‌ها و در نهایت مهار کردن فرسایش بادی بود. روزانه هزاران تن زباله‌ی شهری و ضایعات کشاورزی و صنعتی در ایران تولید می‌شوند. رهاسازی غیراصولی این مواد در محیط نه تنها منجر به آلودگی محیط زیست می‌شود بلکه باعث به در رفتن این منابع ارزشمند نیز می‌شود. از جمله‌ی این مواد به ویناس و فیلترکیک حاصل از کارخانه‌های قند است. پساب کارخانه‌ی قند به همراه گل کربناته یا فیلترکیک، لجنی است که از ترکیبات آهکی و مواد آلی غیرقندی، حاصل از فرایند استخراج قند از چغندر قند تشکیل شده‌است. رسوب حاصل از گل صافی به علت بسیار زیاد بودن پی‌اچ، آلاینده‌ی محیط زیست است، و در کشورهایی که خاک‌هایشان اسیدی است از این رسوب‌ها برای اصلاح و تعدیل پی‌اچ خاک استفاده می‌کنند. در ایران این ماده آلاینده دانسته می‌شود و هر ساله کارخانه‌های قند به علت تولید این ماده جریمه‌ی زیادی می‌پردازند. فیلترکیک به دلیل داشتن مواد آلی، آهک و رس چسبنده است (بیژن‌پور و همکاران ۲۰۱۲). ویناس ماده‌ی آلی است که بیش از ۹۰٪ آن آب، و حاوی نیتروژن، پتاسیم، و سایر مواد معدنی است، که پس از تبدیل ملاس به الکل و سایر مشتقات آن از کارخانه خارج می‌شود. ویناس حاصل از تولید اتانول حاوی نیتروژن، پتاسیم و اکسیژن است. اگرچه ویناس تولیدی در بیش‌تر جاها در آب رود رها می‌شود (که برای موجودات زنده خطرناک است)، استفاده از آن همچون کود مایع در تولید محصولات زراعی مفید است، و با افزایش مواد آلی خاک باعث کاهش فرسایش خاک نیز می‌شود (گونکل و همکاران ۲۰۰۷). حجم عظیمی از پسماندهای آلی در مراکز کشاورزی و دامپروری تولید می‌شود که با بهره‌گیری از آن‌ها می‌توان امکان بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی و حفظ حاصل‌خیزی خاک را فراهم کرد. از جمله‌ی این مواد کودباز یافته است که علاوه بر غنی‌سازی خاک، تبخیر رطوبت خاک را می‌کاهد، ظرفیت نگهداری آب خاک را، به ویژه در خاک‌های سبک، افزایش

کشورمان، مشخصاً با افق B خاک منطقه‌ی بیابانی اردستان، شباهت دارد (مجدی و همکاران ۲۰۰۶). نمونه‌های ماسه‌ی بادی برای بستر آزمایش از عمق صفر تا پنج سانتی‌متری خاک برداشته شد. جای نمونه‌برداری منطقه‌ی دژگاه استان فارس (طول جغرافیایی "۵۵° ۱۴' ۲۲" تا "۵۵° ۲۳' ۵۲" و عرض جغرافیایی "۱۸° ۸' ۲۸" تا "۲۵° ۱۱' ۲۸") که منطقه‌ی شاخص از نظر فرسایش بادی در جنوب غربی ایران است، تهیه شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن مانند هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع، اسیدیته‌ی گل اشباع، ماده‌ی آلی (به‌روش والکلی-بلاک)، کربنات کلسیم معادل (تی‌ان‌وی) با تیتراژ با اسید کلریدریک، و بافت خاک (براساس روش هیدرومتری با اندازه‌گیری توزیع اندازه‌ی ذره‌ها) تعیین شد (پانسو و همکاران ۲۰۰۶).

### به‌کاربردن تیمارهای آزمایشی

برای انتخاب بهترین ترکیب، مقادیر مشخص از نمونه‌های کودباز یافته، ویناس، فیلترکیک و رس به‌صورت آزمون و خطا با آب مخلوط شد (جدول ۲). سینی‌های فلزی مخصوص دستگاه تونل (سفته‌باد به ابعاد ۵۰×۳۰×۱ سانتی‌متر (طول، عرض و ارتفاع) روی زمین چیده شد. نمونه‌ی خاک تپه‌های ماسه‌ی با توجه به تیمار مشخص شده، در سینی‌ها ریخته، و سطح آن به‌طور کامل صاف و یکنواخت شد. برای یکسان‌نمودن شرایط آزمایش در تونل باد آزمایشگاهی با عرصه‌های بی‌شیب و پستی‌وبلندی طبیعی، باید تاجایی که ممکن است ارتفاع سینی‌ها کمتر انتخاب شود تا تونل باد ساخته‌شده را بتوان هم در آزمایشگاه و هم در شرایط صحرائی به‌کار برد. تیمارهای یکنواخت، و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار روی خاک‌های داخل سینی پاشیده شدند. برای یکسان‌سازی شرایط بستر، همزمان با دیگر تیمارها، روی تیمار شاهد بی‌خاک‌پوش آب‌پاشیده شد. سینی‌های آماده‌شده هفت روز (از زمان پاشیدن خاک‌پوش) زیر نور خورشید گذاشته شدند تا خشک شوند (اختصاصی و حضیئرئ ۲۰۱۶). پس از اطمینان از خشک‌شدن تیمارها آزمایش‌ها شروع می‌شد. جرم نمونه‌ها پی‌درپی اندازه‌گیری می‌شد و هنگامی که جرم ثابت می‌ماند خشک دانسته می‌شد. که در این آزمایش ۷ روز (از زمان پاشیدن خاک‌پوش) طول کشید.

می‌دهد، شکاف و ترک را در سطح خاک کاهش می‌دهد و دما را تثبیت می‌کند. در واقع در ساخت کودباز یافته زیستی ریززیندگان مواد آلی را به کودباز یافته تبدیل می‌کنند. این فرایند هوازی است و در آن تجزیه‌ی مواد آلی با شرایط نظارت‌شده انجام می‌شود. ریززیندگان اکسیژن را مصرف و با تغذیه از مواد آلی گرما، گاز کربنیک و بخار آب تولید می‌کنند. پژوهش‌های اخیر در استفاده از پسماند نشان‌دهنده‌ی بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، با استفاده از پسماندهای با مواد آلی فراوان مانند ویناس چغندر و پنبه (تجادا و همکاران ۲۰۰۶)، کودباز یافته و ضایعات شهری (رس و همکاران ۲۰۰۳) بوده است. با توجه به تولید مقدار زیاد ویناس و فیلترکیک حاصل از کارخانه‌های چغندر قند در مناطق مختلف کشور به‌ویژه در استان فارس، و اخیراً تولید کودباز یافته غنی‌شده و ارزان‌قیمت در استان، و با توجه به این‌که اغلب تحقیقات انجام‌شده در تأثیر کاربرد پسماندهای آلی در کشاورزی و به‌صورت مجزا است، و کم‌تر به فرسایش بادی و تثبیت ماسه‌های روان در مناطق بیابانی پرداخته شده است، این پژوهش با هدف بررسی کارایی ویناس و فیلترکیک در ترکیب با رس برای کارکرد خاک‌پوش آلی، زیست‌سازگار با محیط، در دسترس و از نظر اقتصادی با صرفه برای تثبیت ماسه‌های روان برنامه‌ریزی شد.

### مواد و روش‌ها

مواد اولیه‌ی استفاده‌شده در تهیه‌ی این نوع خاک‌پوش از دو محصول فراوری‌شده در مراحل مختلف تولید قند با نام تجاری فیلترکیک و ویناس، و محصول دیگری با نام کودباز یافته غنی‌شده گیاهی استفاده شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه در جدول ۱ آورده شده‌اند. خاک منطقه با دانه‌بندی و درصد رس بالا از منطقه‌ی باجگاه شیراز از عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک (افق B) تهیه شد این خاک از خاک‌های قهوه‌ی آهکی است (مترادف آن در نظام طبقه‌بندی فائو کامیسیول آهکی و در طبقه‌بندی آمریکایی Fine Calcixerollic Xerochrepts (mixed, mesic)، (ابطحی و همکاران ۱۹۹۱). علت انتخاب این نوع خاک این بود که این افق از لحاظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، به‌ویژه فیزیکی، به خاک مناطق بیابانی

جدول ۱- تجزیه‌ی فیزیکی و شیمیایی مواد به‌کاررفته در آزمایش (رباحی ۲۰۱۱؛ پورکیهان ۲۰۱۷).

ویژگی	ویناس	فیلترکیک	ویژگی	کمپوست
pH	۵	۷/۵	pH	۸/۰
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۱۰۲/۱	۹/۱۴	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۱۳/۱
نسبت جذب سدیم	۳/۵	۹/۳	درصد کربن آلی	۳۱/۳
درصد نیتروژن کل	۵۲۲/۳۵	۹/۵۰	درصد نیتروژن کل	۱/۷
فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۲/۱۵	۹/۶۷	درصد هیدروژن	۳/۲۸
پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۰/۵۶	۱/۵۱	درصد گوگرد	۱/۴۴
آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۵/۱۹	۱۰/۵۹	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۴۰۱۲/۳
روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱/۱۲	۵/۳۴	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۶۵۳/۲
مس (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۰/۷۵	۱/۷۴	-	-

جدول ۲- ترکیب خاک پوش های انتخابی (گرم بر ۰/۱۵ متر مربع).

انواع تیمار خاک پوش	کمپوست (گرم)	فیلتریک (گرم)	ویناس (گرم)	رس (گرم)	آب (میلی لیتر)
M1	۲۵	-	۱۰۰	۱۰۰	۲۵۰
M2	۲۵	-	۵۰	۱۰۰	۲۵۰
M3	۲۵	-	-	۱۰۰	۲۵۰
M4	۲۵	-	۱۰۰	-	۲۵۰
M5	-	۲۵	۱۰۰	۱۰۰	۲۵۰
M6	-	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۵۰
M7	-	۲۵	-	۱۰۰	۲۵۰
M8	-	۲۵	۱۰۰	-	۲۵۰
M9	۲۵	۲۵	-	۱۰۰	۲۵۰
M10	-	-	۱۰۰	۱۰۰	۲۵۰
M11	-	-	۱۰۰	۵۰	۲۵۰
M12	-	-	۲۵	۵۰	۲۵۰
M13	-	-	۱۰۰	-	۲۵۰
M14	-	-	-	-	۲۵۰

مقدار نیروی فشاری لازم برای فرورفتن میله در خاک را نشان می دهد، مقاومت فروروی سله ی تشکیل شده در سطح خاک هر تیمار، در هفت نقطه با پراکندگی یکسان اندازه گیری شد (حضیرئی و زارع ارنازی ۲۰۱۳).

#### اندازه گیری مقاومت برشی تیمارها

برای اندازه گیری مقاومت برشی خاک پوش از پره ی برشی (مدل بی اس ۱۳۷۷) (استفاده شد. پره ی برشی تا جایی که پره ها کاملاً در خاک قرار بگیرد (۸ میلی متری) وارد خاک کرده شد. پره ی برشی در جهت ساعت به چرخش در آورده شد تا زمانی که گسیختگی خاک برش داده شود (حدود پنج تا ۱۰ ثانیه). بیش ترین نیروی وارد شده به وسیله ی دستگاه پره ی برشی ثبت شد. این وسیله تنش های صفر تا ۲۵۰ کیلو پاسکال را اندازه گرفت (خلیلی مقدم و همکاران ۲۰۱۵).

#### تحلیل آماری داده ها

برای تحلیل داده ها از نرم افزار آماری اس پی اس اس ۲۴ استفاده شد. پس از از بهنجار کردن داده های مناسب برای تحلیل آماری، میانگین ها با آزمون چند دامنه ی دانکن در تراز آماری پنج درصد مقایسه شد و نمودارها با نرم افزار اکسل ترسیم گردید.

#### نتایج

نتایج تعیین بافت نمونه های خاک به کاررفته و برخی ویژگی های شیمیایی آن ها در جدول ۲ آورده شده اند.

#### اندازه گیری فرسایش پذیری بستر ماسه یی تحت انواع پوشش خاک پوش در دستگاه تونل باد

پس از آماده سازی تیمارها، سینی ها در داخل دستگاه سنجش فرسایش بادی هم سطح با کف تونل گذاشته شد. سینی های آزمایش به مدت ۵ دقیقه در برابر باد با سرعت ۱۸ متر بر ثانیه گذاشته شدند (موحدان و همکاران ۲۰۱۱؛ محمودآبادی و همکاران ۲۰۱۱). این بازه ی زمانی با توجه به بیش تر بودن سرعت باد در تونل از سرعت آستانه ی فرسایش، و کوچک بودن ابعاد نمونه ها انتخاب شد. میزان فرسایش پذیری تیمارها با اندازه گیری وزن سینی ها قبل و بعد از قرارگیری در دستگاه تونل باد، و محاسبه ی اختلاف وزن آن ها در پایان هر مرحله به دست آمد (کوپایی نیا و افصلی ۲۰۱۵).

#### تعیین سرعت آستانه ی فرسایش

سرعت آستانه ی فرسایش با گذاشتن سینی های حاوی ماسه به مدت ۵ دقیقه در دستگاه تونل باد تعیین شد. سرعتی که در آن اولین ذره ی خاک تغییر مکان دهد سرعت آستانه ی فرسایش در نظر گرفته شد (احمدی و اختصاصی ۱۹۹۴).

#### اندازه گیری ضخامت سله های تشکیل شده در سطح خاک تیمارها

در اثر خاک پوش پاشی در سطح خاک، لایه یی به هم چسبیده (سله) در سطح خاک به وجود می آید. ضخامت لایه یی تشکیل شده بر سطح خاک در هفت نقطه از سینی با پراکندگی یکسان به وسیله ی کولیس با دقت ۰/۱ میلی متر اندازه گیری شد (دیوف و همکاران ۱۹۹۰).

#### اندازه گیری مقاومت فروروی تیمارها

با دستگاه پنترومتر (فروسنج) که میله یی استوانه یی با نوک مسطح دارد و

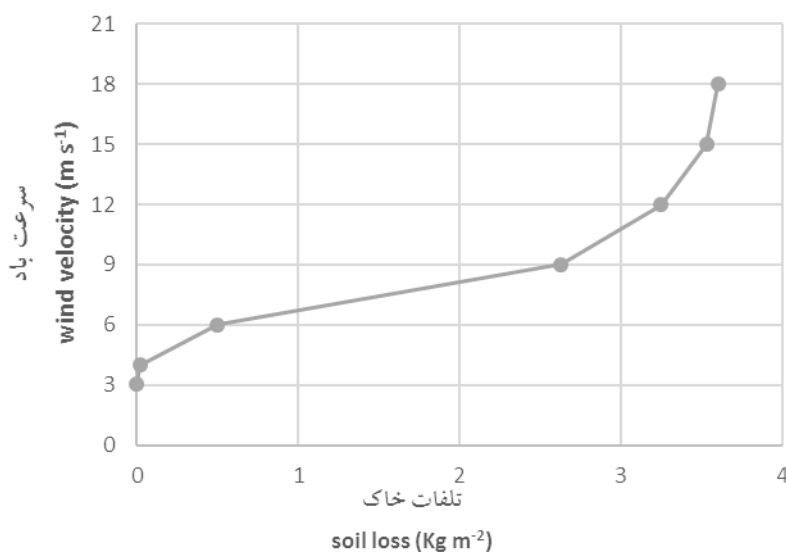
## تأثیر انواع خاک پوش زیستی بر تثبیت....

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های بررسی شده.

نسبت جذب سدیم	ماده‌ی آلی (درصد)	کربن آلی (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس برمتر)	pH	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	بافت خاک
۶۵/۵	۱/۳۰	۰/۷۵	۰/۷۷	۱۰/۳۸	۵/۳	۰/۷	۹۴	شن ریز
۴۴	۰/۷	۰/۴۶	۰/۵۲	۸	۴۸	۳۹/۹	۱۲/۱	رس

ماسه‌ی ۳/۶ متربرثانیه محاسبه شد (شکل ۱). میزان تلفات خاک در این سرعت صفر کیلوگرم بر مترمربع بود.

**سرعت آستانه‌ی فرسایش**  
براساس آزمایش تونل باد، سرعت آستانه‌ی فرسایش برای خاک تپه‌های



شکل ۱ - سرعت آستانه‌ی فرسایش ماسه‌ی بررسی شده.

(۱/۵۲ کیلوگرم در سانتی‌مترمربع) داشت. خاک‌پوش‌های M10 و M11 و M1 و M3 مقادیر بیش‌تر از ضخامت (۴/۱۸ و ۴/۱۱ و ۳/۸۸ و ۳/۸۲ میلی‌متر) را نشان دادند (شکل ۲، ۳، ۴). مقایسه‌ی میانگین‌های اثر نوع خاک‌پوش بر فرسایش‌پذیری بادی خاک نشان داد که فرسایش تنها در انواع خاک‌پوش M7، M12، M14، و M3 رخ داده است (شکل ۵). خاک‌پوش M14 (تیمار شاهد) کم‌ترین میزان مقاومت برش سطحی خاک، مقاومت فروروی و ضخامت، و بیش‌ترین میزان فرسایش بادی را نشان داد.

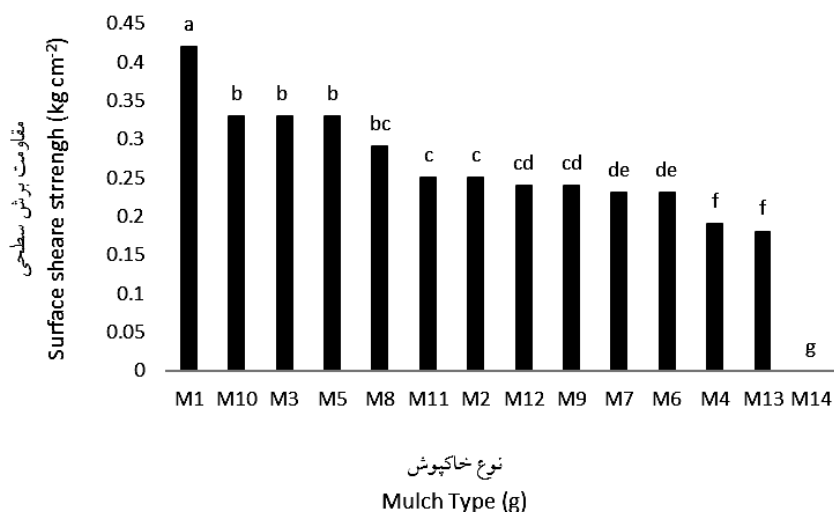
### اثر نوع خاک‌پوش بر ویژگی‌های خاک

نتایج تجزیه‌ی واریانس نشان دادند که اثر نوع خاک‌پوش بر ضخامت لایه‌ی خاک‌پوش، مقاومت برش سطحی خاک، مقاومت فروروی و فرسایش‌پذیری بادی خاک در تراز آماری ۵٪ معنی‌دار است (جدول ۳). براساس مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ی دانکن، میانگین تیمارها در چند رده‌ی مختلف قرار گرفت، به‌طوری‌که خاک‌پوش M1 مقادیر بیش‌تر از مقاومت برش سطحی خاک (۰/۴۲ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع) و مقاومت فروروی

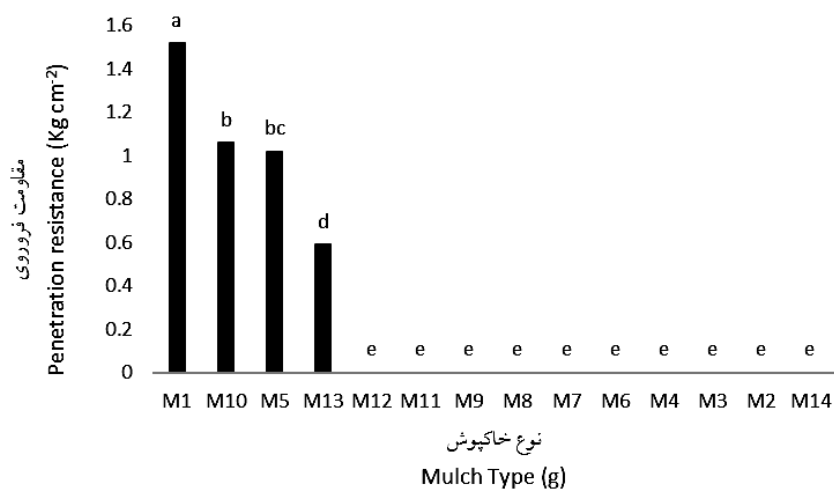
جدول ۳- تجزیه‌ی پراش اثر نوع خاک پوش بر ضخامت، مقاومت برشی سطحی، مقاومت فروروی و فرسایش خاک.

منابع تغییر	ضریب تغییرات	مجموع مربعات	درجه‌ی آزادی	میانگین مربعات	آزمون F
ضخامت	۰/۴۸	۱۱۵/۶۰	۱۳	۸/۸۹	۱۵/۵۰°
مقاومت برش سطحی	۰/۴۵	۰/۷۶	۱۳	۰/۰۵	۸/۷۰°
مقاومت فروروی	۱/۸۱	۵۲۵/۰۸	۱۳	۱/۹۳	۴۴/۵۹°
فرسایش بادی	۱/۸۲	۳۴/۳۰	۱۳	۲/۶	۸۰۸/۹۷°

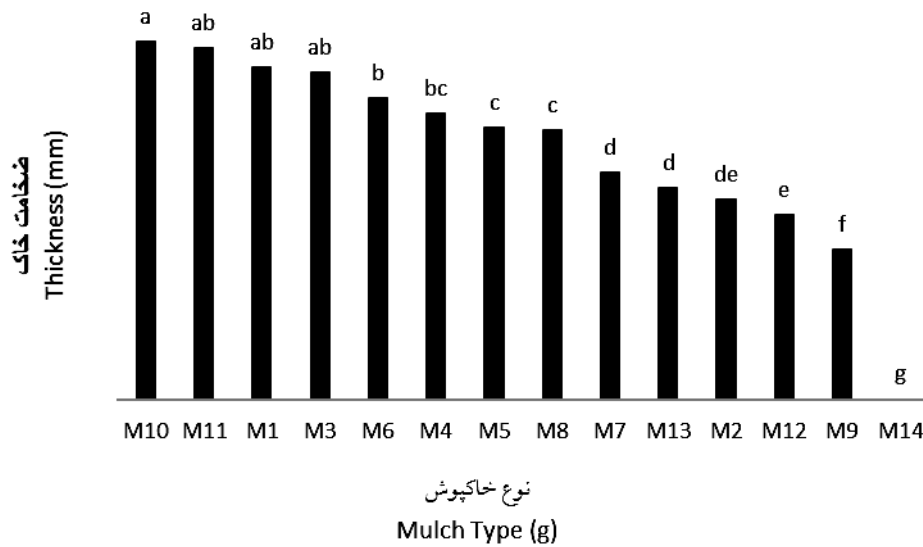
\*: معنی‌دار در تراز ۵٪



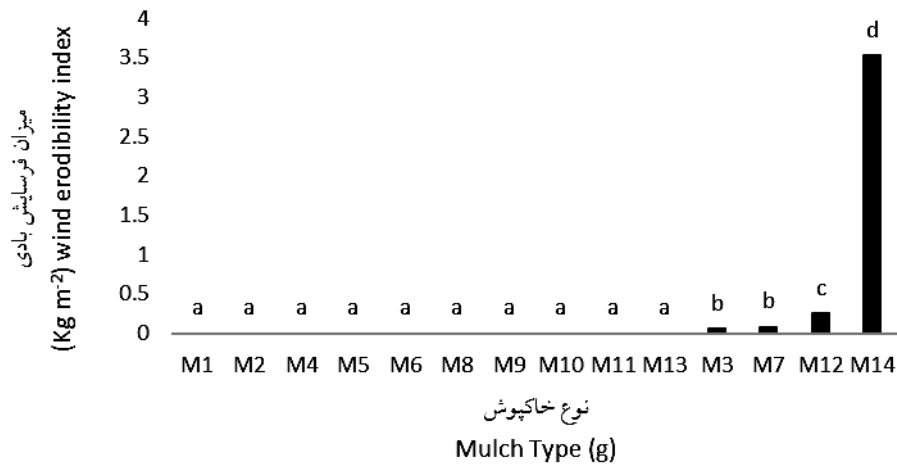
شکل ۲- مقایسه‌ی میانگین اثر نوع خاک پوش بر ضخامت خاک.



شکل ۳- مقایسه‌ی میانگین اثر نوع خاک پوش بر مقاومت فروروی خاک.



شکل ۴- مقایسه‌ی میانگین اثر نوع خاک پوش بر ضخامت خاک.



شکل ۵- اثر نوع خاک پوش بر میزان فرسایش بادی خاک.

بحث و نتیجه‌گیری

افزایش پایداری خاک‌دانه مقاومت آن را در برابر فرسایش افزایش می‌دهد (راچمن و همکاران ۲۰۰۳).  
 وودویرا و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که مقادیر متوسط از رس و محتوای زیاد ماده‌ی آلی مقاومت برشی و فروروی را افزایش می‌دهد. در این پژوهش، با افزایش در میزان کودباز یافته، فیلتریک و ویناس مقاومت برشی و فروروی بیش‌تری به‌دست آمد، که دلیل آن را می‌توان به خاصیت دگرچسبی این مواد نسبت داد. نتایج تحقیق مجددی و همکاران (۲۰۰۶)، حضیرئی و زارع ارنانی (۲۰۱۳)، خلیلی مقدم و همکاران (۲۰۱۵) نیز این یافته‌ها را تایید می‌کنند.

نوع و ترکیب خاک پوش مهم‌ترین عامل‌هایی به‌شمار می‌روند که مقاومت خاک پوش را در برابر تنش‌های وارد شده تعیین می‌کنند. مقاومت‌های برشی و فروروی از مهم‌ترین رفتارهای مکانیکی خاک اند. مقاومت خاک‌دانه به میزان ماده‌ی آلی و بافت آن وابسته است (برادفورد ۱۹۸۶). اثر بافت خاک بر مقاومت برشی و فروروی از راه نیروی اصطکاکی ماسه، یا نیروی چسبندگی رس است (اختصاصی و حضیرئی ۲۰۱۶). ماده‌ی آلی ذرات خاک را به هم متصل می‌کند، بنابراین، نقش مهمی در تشکیل و پایداری خاک‌دانه دارد.



مقاومت آن در برابر فرسایش بادی به طور تدریجی افزایش می یابد. حضیرئی و زارع ارنانی (۲۰۱۳) نیز افزایش مقاومت فشاری خاک را هم زمان با افزایش ضخامت آن نشان دادند. این نتایج با یافته های ما در یک راستا است. افزایش ضخامت خاک پوش باعث نفوذ بیش تر ذرات آن در بستر شن می شود (خلیلی مقدم و همکاران ۲۰۱۵).

برای تثبیت ماسه های روان با این ترکیب خاک پوش آلی در عرصه یی یک هکتاری، به حدود ۱/۶ تن کودباز یافته، ۶/۶ تن ویناس و ۶/۶ تن رس نیاز است. هزینه ی لازم برای تهیه ی مواد اولیه ی این خاک پوش در حدود ۴ میلیون و ۵۰۰ هزار ریال برای هر هکتار است. هزینه ی تامین خاک پوش نفتی، با در نظر گرفتن مصرف ۱۰ تن خاک پوش در هر هکتار در حدود ۱۵۰ میلیون ریال است. نتایج این تحقیق با نتایج کاربرد خاک پوش پلیمر (کوپایی نیا و افضلی ۲۰۱۵) نشان دادند که هزینه ی کاربرد این نوع خاک پوش در عرصه های شن زار از خاک پوش پلیمری کم تر است. از طرفی، به دلیل خاصیت تخریب پذیری زیستی خاک پوش آلی، و وفور منابع آن در منطقه، این نوع خاک پوش در مقایسه با خاک پوش نفتی و پلیمری مزیت های فراوان زیست محیطی و اقتصادی دارد. با وجود این، انجام دادن پژوهش مشابه در کرت های با ابعاد بزرگ تر، یا در سطح عرصه در محیطی طبیعی، برای ارزیابی های مقایسه یی و ارائه تصمیم گیری های نهایی پیشنهاد می شود.

راچمن و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که مقاومت برشی خاک با افزایش ماده ی آلی افزایش می یابد.

وجود ذرات در اندازه ی رس در ترکیب خاک پوش و ایجاد یک لایه ی همگن سبب ایجاد ترک در سطح خاک پوش می شود (عابدی کوپایی ۲۰۰۱)، ولی حضور فیلترکیک باعث ایجاد ارتباط قوی میان ذرات خاک پوش شده و نقش مؤثر داشته است. فیلترکیک باعث بهتر چسبیدن خاک پوش به ذرات شن روان می شود، انعطاف پذیری خاک پوش را در برابر نیروی برشی و فروروی زیاد می کند، و از ترک برداشتن سطح خاک پوش جلوگیری می کند.

بر اساس نتایج ما، تیمار M1 بهترین خاک پوش برای تثبیت ماسه های روان است. در واقع، حضور کودباز یافته و ویناس در ترکیب این خاک پوش اثربخشی بسیاری در خاصیت چسبندگی آن داشته است، که با نتایج تجادا و همکاران (۲۰۰۹) در سویل که نشان دادند تأثیر استفاده ی ترکیبی از کودباز یافته کرمی و ویناس به مدت سه سال در سطح عرصه و در شرایط باران طبیعی بر کاهش هدررفت خاک معنی دار است، مطابقت دارد. دلیل آن را می توان به ایجاد حالت سیمانی در وضعیت ترکیب کودباز یافته و ویناس، و پیوستگی ذرات خاک و ممانعت از حرکت آن، و در نتیجه کاهش هدررفت خاک نسبت داد. ترکیب کودباز یافته با ویناس موجب کاهش اثر سدیم، و در نتیجه افزایش ثبات ساختاری و کاهش هدررفت خاک شد (یاماناکا و همکاران ۲۰۰۴). دیوف و همکاران (۱۹۹۰) نشان دادند که با افزایش ضخامت لایه ی خاک پوش

## منابع

- Abedi Kopaei J. 2001. Improve ment of soils contaminated by heavy metals used in Hyprakymvlatvrha. 1st Ground Improvement Conference. Tehran Amirkabir University of Technology. 543–553.
- Abtehi A. Karimian N. Solhi M. 1991. Report of semi-detailed soil studies of land in the Bajgah area of Fars Province. Shiraz University Press. 77 pp. (In Persion).
- Ahmadi H. Ekhtesasi MR. 1994. Estimating the speed of erosion threshold in the lands of Yazd plain in two methods of sediment traps and wind erosion measuring apparatus. Desert and Desert Area Research Center Tehran University. 120 p. (In Persion)
- Ahmadi H. Ekhtesasi MR. Feiznia S. Haneibafghi MJ. 2002. Control methods of wind erosion for railroads protection (Case study: Bafgh region). Iranian Journal of Natural Resources. 55 (3): 327–339. (In Persian).
- Baumhardt RL. Unger PW. Dao TH. 2004. Soil and crop management - Seedbed Surface Geometry Effects on Soil Crusting and Seedling Emergence. Agronomy. 96 (4): 1112–1117.
- Bayat Movahed F. 2011. The function of vegetation in controlling wind erosion, Iranian Agriculture Science press. 168 pp.
- Bijanpoor H. Ansari MS. Hosseininejad AL. Abedinzadeh M. 2012. Study of using filter cake in sugarcane field and its effect on yield. 5th National Congress Sugarcane Technology of Iran. 65–69. (In Persian).
- Bradford JL. 1986. In A. Klute (ed.) Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Madison, USA. 463- 478.
- Diaz-Nigenda E. Tatarko J. Jazcilevich AD. Garcia AR. Caetano E. Ruiz-Suarez LG. 2010. A modelling study of Aeolian erosion enhanced by surface wind confluences over Mexico City. Aeolian Research. 2: 143–157.
- Diouf B. Skidmore EL. Layton JB. Hagen LJ. 1990. Stabilizing Fine sand by adding clay: laboratory wind tunnel study. Soil Technology. 3 (1): 21–31.

- Ekhtesasi MR. Hazirei F. 2016. Investigating the effect of cement mulch on the sand dune stabilization. *Journal of Rangeland and Watershed Management*. 68 (4): 739–750. (In Persian).
- Genis A. Vulfson L. Ben-Asher J. 2012. Combating wind erosion of sandy soils and crop damage in the coastal deserts: Wind tunnel experiments. *Aeolian Research*. 9: 69–73.
- Gomes L. Arrue JL. Lopez MV. Streck G. Richard D. Garcia R. Sabre JM. Gaudichet A. Frangi JP. 2003. Wind Erosion in a Semiarid Area of Spain: the WELSONS project. *Catena*. 52 (3–4): 235–256.
- Gunkel G. Kosmol J. Sobral M. Rohn H. Montenegro S. Aureliano J. 2007. Sugar Cane Industry as a Source of Water Pollution (Case study: on the Situation in Ipojuca River). Pernambuco, Brazil. *Journal of Water, Air and Soil Pollution*. 180 (1–4): 261–269.
- Hagen LJ. 2010. Erosion by wind: Modeling. In: Lal, R. (ed.). *Encyclopedia of Soil Science*. 2nd. London: Taylor and Francis Publishers.
- Hazirei F. Zare Ernani M. 2013. Investigation of effect of clay-lime mulch for sand dunes fixation. *Journal of Water and Soil*. 27(2): 373–380. (In Persian).
- Herrick JE. Jones TL. 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Science Society of America Journal*. 66 (4): 1320–1324.
- Jamshidsafa M. KhaliliMoghaddam B. Jafari S. Ghorbani Dashtaki Sh. 2015. Investigation of filter cake as adopted environmental mulch using for sand dune stabilization in Ahvaz. *Scientific Journal of Agricultural Engineering*. 38 (1): 29–42. (In Persian).
- Kammerer A. 2002. Undrained response of Monterey 0/30 sand under multidirectional cyclic simple shear loading conditions. Ph.D. thesis. University of California: Berkeley, CA.
- Khalili Moghadam B. Jamili T. Nadian H. Shahbazi E. 2015. The influence of sugarcane mulch on sand dune stabilization in Khuzestan, the southwest of Iran, *Journal of Agricultural Research*. 34 (2): 71–80.
- Koopaeenia MA. Afzali SF. 2015. Examining some desert conditions on some nonlive waste industrial mulches for controlling wind erosion, *Journal of Ecology Environmental and Conservation*. 21 (1): 15–23.
- Li X. 2000. Soil and water conservation in arid and semiarid areas; the Chinese experience, *Annals of Arid Zone*. 39 (4): 1–18.
- Li Y. Yang Y. Yu HS. Asce M. Roberts G. 2016. Monotonic direct simple shear tests on sand under multidirectional loading. *International Journal of Geomechanics*. 17 (1): 1943–5622.
- Mahmoodabadi M. Dehghani F. Azimzadeh HR. 2011. Effect of soil particle size distribution on wind erosion rate. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 1(1): 81–98. (In Persian).
- Majdi H. Karimian Eghbal A. Karimzade HR. Jalian A. 2006. Effect of clay mulches on amount of Aeolian dust. *Iranian Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resource*. 10 (3): 137–148. (In Persian).
- Matsuda H. Hendrawan AP. Ishikura R. Kawahara S. 2011. Effective stress change and post-earthquake settlement properties of granular materials subjected to multi-directional cyclic simple shear. *Soils Found*. 51(5): 873–884.
- Movahedan M. Abbasi N. Keramati M. 2011. Laboratory study of the effect of polyvinyl acetate polymer on the control of soil erosion. *Journal of Water and Soil (f Agriculture Sciences and Technology)*. 25(3): 606–616. (In Persian).
- Pansu M. Gautheyrou J. 2006. *Handbook of soil analysis, Mineralogical, organic and inorganic methods*: Springer. 993 pp.
- PourKeyhan, M. 2017. Report from the soil science laboratory. Green cultivation company, Khuzestan, Iran, 45 pp.
- Rachman A. Anderson SH. Gantzer CJ. Thompson AL. 2003. Influence of long-term cropping systems on soil physical properties related to soil erodibility. *Soil Science Society American Journal*. 67 (2):

637–644.

Riahi. 2011. Report on the plan for increasing organic matter to soil. Agricultural Research and Development Center, Fars, Iran. 112 pp.

Ros M. Hernandez MT. Garcia C. 2003. Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments. *Journal of Soil Biology and Biochemistry*. 35(3): 463–469.

Saad Ali A. 1994. A study of sand stabilization in eastern Saudi Arabia. *Engineering Geology*. 38 (1–2): 65–79.

Tejada M. Garcia C. Gonzalez JL. Hernandez MT. 2006. Organic amendment based on fresh and composted beet vinasse: Influence on soil properties and wheat yield. *Soil Science Society of America Journal*. 70: 900–908.

Tejada M. Garcia-Martinez AM. Parrado J. 2009. Effects of a vermicompost composted with beet vinasse on soil properties, soil losses and soil restoration. *Catena*. 77(3): 238–247.

Vaezi A. 2012. Application of oil mulch in wind erosion control and sand dune stabilization. Second National Conference on Wind Erosion. Yazd, Iran.

7 pp.

Van Pelt R. Zobeck T. 2004. Effects of polyacrylamide, cover crops, and crop residue management on wind erosion. In proceedings of 13th International Soil Conservation Organisation Conference (ISCO). July 2004. Conserving Soil and Water for Society: Sharing Solutions, Brisbane, Australia. pp. 1–4.

Wuddivira MN. Stone RJ. Ekwue EL. 2013. Influence of cohesive and disruptive forces on strength and erodibility of tropical soils. *Soil Tillers Research*. 133:40–45.

Xiao YL. Lian YL. Ji BG. 2001. Influence of pebble mulch on soil erosion by wind and trapping capacity for windblown sediment. *Soil and Tillage Research*. 59: 137–142.

Yamanaka T. Inoue M. Kaihotsu I. 2004. Effects of gravel mulch on water vapor transfer above and below the soil surface. *Agricultural Water Management*. 67 (2): 145–155.

Zhao HL. Yi XY. Zhou RL. Zhang TH. Drake S. 2006. Wind erosion and sand accumulation effects on soil properties in Horqin Sandy Farmland, Inner Mongolia. *Catena*. 65(1): 71–79.

