

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران و محیط زیست

# تثبیت خاک‌های ریزدانه به وسیله مواد طبیعی به منظور جلوگیری از پیدایش ریزگردها در اثر وزش باد

نگارنده

امیر امرایی

استاد راهنما

دکتر بهناز دهرآزما

آبان ۹۷

شماره: ۹۷/۸/۲۸  
تاریخ: ۹۷/۸/۲۸

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای امیر امرایی با شماره دانشجویی ۹۵۰۱۹۴۴ رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی محیط‌زیست تحت عنوان تثبیت خاک‌های ریزدانه به وسیله مواد طبیعی به منظور جلوگیری از پیدایش ریزگردها در اثر وزش باد که در تاریخ ۹۷/۸/۲۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

| قبول (با درجه: .....)   |                     |            |       | <input type="checkbox"/> مردود |
|---|---------------------|------------|-------|--------------------------------|
| نوع تحقیق: نظری <input type="checkbox"/> عملی <input checked="" type="checkbox"/> |                     |            |       |                                |
| عضو هیأت داوران   | نام و نام خانوادگی  | مرتبه علمی | امضاء |                                |
| ۱- استاد راهنمای اول  | دکتر بهمنز دهرآزما  | دانشیار    |       |                                |
| ۲- استاد راهنمای دوم  |                     |            |       |                                |
| ۳- استاد مشاور  |                     |            |       |                                |
| ۴- نماینده تحصیلات تکمیلی   | دکتر سید مهدی توکلی | استادیار   |       |                                |
| ۵- استاد ممتحن اول  | دکتر رمضان واقعی    | استادیار   |       |                                |
| ۶- استاد ممتحن دوم  | دکتر محسن کرامتی    | استادیار   |       |                                |

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر رضا نادری  
دانشکده مهندسی عمران  
آموزش تحصیلات تکمیلی و مطالعات پیشرفته  
دانشگاه صنعتی شاهرود

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می‌تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

که در سختی ها و دشواری های زندگی، همواره یاری دلسوز و فداکار و

پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده اند.

## تشکر و قدردانی

تشکر و سپاس بی‌پایان مخصوص خدایی است که بشر را آفریده و به او قدرت اندیشیدن داده و توانایی- های بالقوه در وجود انسان قرار داده و او را امر به تلاش و کوشش نموده است.

پس از ارادت خاضعانه به درگاه خداوند بی‌همتا لازم است از استاد ارجمند دکتر بهناز دهرآزما برای رهنمودهای دلسوزانه در تهیه این تحقیق، مهندس علی رضوانی به منظور کمک‌هایشان در انجام آزمایش- ها و سازمان هواشناسی استان گلستان برای ارائه اطلاعات هواشناسی تشکر و قدردانی نموده، موفقیت همگان را از درگاه خداوند متعال خواهانم.

## تعهد نامه

اینجانب امیر امرایی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - مهندسی محیط زیست دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تثبیت خاک‌های ریزدانه به وسیله مواد طبیعی به منظور جلوگیری از پیدایش ریزگردها در اثر وزش باد تحت راهنمایی دکتر بهناز دهرآزما متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

### تاریخ

### امضای دانشجو

#### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده

امروزه مناطق خشک و نیمه خشک حدود یک سوم اراضی سطح کره زمین را شامل می‌شوند و بیش از یک چهارم از خشکی‌های جهان تحت تأثیر پدیده بیابان‌زایی قرار دارد. فرسایش بادی و هجوم گرد و خاک‌های ناشی از آن، یک شاخص مهم در وقوع پدیده بیابان‌زایی و تهدیدی جدی برای مناطق خشک محسوب می‌گردد. کشور ایران نیز به دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی خشک، در زمان‌های مختلف تحت تاثیر اثرات نامطلوب ناشی از فرسایش بادی و هجوم ریزگردها قرار داشته است. تحقیق حاضر با هدف تثبیت خاک مستعد فرسایش، با استفاده از مالچ طبیعی تهیه شده از پودر ریشه گیاه سریش (*Eremurus Spectabilis*) انجام شد. تاثیر غلظت و میزان پاشش مالچ بر میزان فرسایش خاک بررسی و میزان نفوذ و کاهش ضخامت لایه تثبیت یافته در مقابل سرعت بادهای ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ متر بر ثانیه، به مدت زمان ۵ دقیقه در تونل باد بررسی گردید. در انتها نیز مقادیر pH، EC، میزان شوری و دیگر عناصر تشکیل دهنده خاک به منظور ارزیابی تاثیر زیست محیطی مالچ مورد مطالعه، قبل و پس از مالچ‌پاشی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش میزان پاشش مالچ باعث نفوذ بیشتر مالچ در خاک و افزایش غلظت مالچ علی‌رغم کاهش عمق نفوذ آن در خاک، بواسطه افزایش مقدار چسبندگی بین ذرات خاک، سبب مقاومت بیشتر آن در مقابل فرسایش بادی می‌شود. براساس نتایج بدست آمده مالچ‌هایی با غلظت‌های ۰،۲، ۰،۶ و ۰،۷ درصد قادر به تثبیت خاک در برابر جریان باد به ترتیب تا حداکثر سرعت‌های ۹، ۱۲ و ۱۵ متر بر ثانیه است. نتایج آنالیز XRD نشان داد که افزودن مالچ به خاک باعث افزایش میزان کوارتز ( $\text{SiO}_2$ ) موجود در خاک شده و در نتیجه موجب افزایش مقاومت برشی خاک، بازده بالاتر در فرآیند تثبیت و کمک به جامد سازی خاک شده است. همچنین مالچ مورد مطالعه کمترین تاثیر منفی را بر روی نوع و میزان عناصر موجود در خاک مورد مطالعه داشته است، که این موضوع سازگاری زیست محیطی این نوع مالچ را نشان می‌دهد. نتایج آنالیز SEM به طور واضحی ایجاد یک لایه پوشش بر

سطح خاک و ایجاد چسبندگی و پیوستگی بین ذرات خاک را در اثر استفاده از مالچ گیاهی معلوم می-سازد. به طور کلی مالچ گیاهی مذکور، مالچی سازگار با محیط زیست و گزینه‌ای مناسب برای کنترل فرسایش بادی خاک‌های مستعد فرسایش محسوب می‌گردد.

کلمات کلیدی: فرسایش بادی، ریزگردها، تثبیت خاک، مالچ گیاهی، تونل باد



## مقالات مستخرج

امرایی ا، دهرآزما ب، (۱۳۹۷) "تثبیت خاک به وسیله مالچ گیاهی به منظور جلوگیری از فرسایش بادی (گیاه مورد مطالعه: *eremurus spectabilis*)" اولین کنفرانس ملی ژئوتکنیک زیست محیطی، دانشگاه فسا، فسا.

امرایی ا، دهرآزما ب، (۱۳۹۷) "ارزیابی مالچ گیاهی تولید شده از گیاه سریش (*eremurus spectabilis*) بر کنترل فرسایش بادی خاک" نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، مرحله انتشار آنلاین.

## فهرست مطالب

|    |   |
|----|---|
| ۱  | فصل اول کلیات                               |
| ۲  | ۱-۱ مقدمه                                   |
| ۴  | ۲-۱ بیان مسئله                              |
| ۵  | ۳-۱ ضرورت و اهداف تحقیق                     |
| ۷  | ۴-۱ روش انجام تحقیق                         |
| ۸  | ۵-۱ ساختار پایان نامه                       |
| ۱۱ | فصل دوم میانی نظری و مروری بر مطالعات پیشین |
| ۱۲ | ۱-۲ مقدمه                                   |
| ۱۲ | ۲-۲ خاک‌های ریزدانه و ریزگردها              |
| ۱۳ | ۳-۲ عوامل موثر در ایجاد ریزگردها            |
| ۱۳ | ۱-۳-۲ خصوصیات خاک                           |
| ۱۴ | ۱-۱-۳-۲ بافت خاک                            |
| ۱۴ | ۲-۱-۳-۲ چسبندگی ذرات خاک                    |
| ۱۴ | ۳-۱-۳-۲ ساختمان خاک                         |
| ۱۵ | ۴-۱-۳-۲ مقدار ماده آلی موجود در خاک         |
| ۱۶ | ۵-۱-۳-۲ میزان رطوبت خاک                     |
| ۱۷ | ۶-۱-۳-۲ شکل ذرات                            |
| ۱۷ | ۲-۳-۲ بارندگی                               |
| ۱۸ | ۳-۳-۲ درجه حرارت                            |
| ۱۸ | ۴-۳-۲ باد                                   |
| ۲۱ | ۵-۳-۲ پوشش گیاهی                            |
| ۲۲ | ۶-۳-۲ زبری سطح خاک                          |
| ۲۳ | ۴-۲ روش‌های تثبیت خاک                       |
| ۲۴ | ۱-۴-۲ مالچ نفتی                             |
| ۲۵ | ۲-۴-۲ مالچ سیمانی                           |

|    |   |
|----|---|
| ۲۷ | ..... مالچ‌های رسی ۳-۴-۲                                |
| ۲۷ | ..... مالچ‌های ضایعات سنگی ۴-۴-۲                        |
| ۲۹ | ..... رسوب میکروبی کربنات ۵-۴-۲                         |
| ۳۰ | ..... مالچ‌های شیمیایی ۶-۴-۲                            |
| ۳۱ | ..... مالچ‌های پلیمری ۷-۴-۲                             |
| ۳۵ | ..... مالچ‌های گیاهی ۸-۴-۲                              |
| ۳۹ | ..... فصل سوم مواد و روش‌ها                             |
| ۴۰ | ..... ۱-۳ مقدمه   |
| ۴۰ | ..... ۲-۳ خصوصیات منطقه مورد مطالعه                     |
| ۴۰ | ..... ۱-۲-۳ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه          |
| ۴۲ | ..... ۲-۲-۳ مشخصات اقلیمی منطقه                         |
| ۴۵ | ..... ۳-۲-۳ پوشش گیاهی منطقه                            |
| ۴۵ | ..... ۳-۳ گیاه مورد استفاده                             |
| ۴۶ | ..... ۱-۳-۳ مشخصات گیاه                                 |
| ۴۷ | ..... ۲-۳-۳ ملاک انتخاب                                 |
| ۴۸ | ..... ۳-۳-۳ ارزیابی اقتصادی                             |
| ۴۸ | ..... ۴-۳ تونل باد ساخته شده                            |
| ۵۲ | ..... ۵-۳ روش‌های مورد استفاده                          |
| ۵۲ | ..... ۱-۵-۳ نحوه شناسایی خاک مورد مطالعه                |
| ۵۳ | ..... ۱-۱-۵-۳ روش تعیین دانه‌بندی و بافت خاک            |
| ۵۵ | ..... ۲-۱-۵-۳ روش تعیین درصد رطوبت خاک                  |
| ۵۶ | ..... ۳-۱-۵-۳ روش تعیین مقدار ماده آلی خاک              |
| ۵۶ | ..... ۴-۱-۵-۳ روش تعیین میزان کربنات کلسیم موجود در خاک |
| ۵۷ | ..... ۵-۱-۵-۳ روش تعیین میزان pH خاک                    |
| ۵۷ | ..... ۶-۱-۵-۳ روش تعیین میزان هدایت الکتریکی و شوری خاک |
| ۵۷ | ..... ۷-۱-۵-۳ روش تعیین حدود اتربرگ خاک                 |

|    |  |
|----|--|
| ۵۸ | ..... ۳-۵-۱-۸ روش تعیین چگالی خاک ( $G_s$ )                            |
| ۵۹ | ..... ۳-۵-۲ نحوه تهیه مالچ   |
| ۶۰ | ..... ۳-۵-۳ نحوه تهیه نمونه تیمار شده جهت انجام آزمایش فرسایش بادی     |
| ۶۰ | ..... ۳-۵-۴ نحوه انجام آزمایش فرسایش بادی                              |
| ۶۱ | ..... ۳-۵-۵ پارامترهای مورد بررسی در آزمایش فرسایش بادی                |
| ۶۱ | ..... ۳-۵-۱ غلظت مالچ  |
| ۶۲ | ..... ۳-۵-۲ مقدار پاشش مالچ  |
| ۶۳ | ..... ۳-۵-۳ سرعت باد   |
| ۶۳ | ..... ۳-۵-۴ مدت زمان وزش باد   |
| ۶۳ | ..... ۳-۵-۵ دما  |
| ۶۴ | ..... ۳-۵-۶ شرایط محیطی  |
| ۶۴ | ..... ۳-۵-۶ روش تعیین مقدار نفوذ مالچ و تغییر ضخامت لایه تثبیت شده خاک |
| ۶۵ | ..... ۳-۵-۷ روش بررسی تاثیر مالچ بر مقادیر EC و pH خاک                 |
| ۶۵ | ..... ۳-۵-۸ آنالیز XRD   |
| ۶۶ | ..... ۳-۵-۹ آنالیز SEM   |
| ۶۹ | ..... فصل چهارم بحث و نتیجه‌گیری                                       |
| ۷۰ | ..... ۴-۱ مقدمه  |
| ۷۰ | ..... ۴-۲ آزمایش‌های شناسایی خاک مورد مطالعه                           |
| ۷۰ | ..... ۴-۲-۱ تعیین دانه‌بندی و بافت خاک                                 |
| ۷۴ | ..... ۴-۲-۲ تعیین درصد رطوبت خاک                                       |
| ۷۵ | ..... ۴-۲-۳ تعیین مقدار ماده آلی خاک                                   |
| ۷۶ | ..... ۴-۲-۴ تعیین میزان کربنات کلسیم موجود در خاک                      |
| ۷۶ | ..... ۴-۲-۵ تعیین میزان pH خاک   |
| ۷۶ | ..... ۴-۲-۶ تعیین میزان هدایت الکتریکی و شوری خاک                      |
| ۷۷ | ..... ۴-۲-۷ تعیین حدود اتربرگ خاک                                      |
| ۷۸ | ..... ۴-۲-۸ تعیین چگالی خاک ( $G_s$ )                                  |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| ۳-۴   | تاثیر مدت زمان انجام آزمایش بر میزان فرسایش بادی نمونه های تیمار شده و نشده.....    | ۷۹  |
| ۱-۳-۴ | خاک تیمار نشده .....  | ۷۹  |
| ۲-۳-۴ | خاک تیمار شده با آب به مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر .....                                | ۸۱  |
| ۳-۳-۴ | خاک تیمار شده با آب به مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر .....                                | ۸۳  |
| ۴-۳-۴ | خاک تیمار شده با مالچ به مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر .....                              | ۸۵  |
| ۵-۳-۴ | خاک تیمار شده با مالچ به مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر .....                              | ۹۰  |
| ۴-۴   | تاثیر غلظت و مقدار پاشش مالچ بر میزان فرسایش نمونه های خاک .....                    | ۹۴  |
| ۱-۴-۴ | خاک تیمار نشده .....  | ۹۵  |
| ۲-۴-۴ | خاک تیمار شده با مالچ به مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر .....                              | ۹۵  |
| ۳-۴-۴ | خاک تیمار شده با مالچ به مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر .....                              | ۹۹  |
| ۵-۴   | مقدار نفوذ مالچ در خاک .....  | ۱۰۲ |
| ۶-۴   | تغییرات ضخامت لایه تثبیت شده خاک با مالچ پس از فرسایش بادی .....                    | ۱۰۴ |
| ۷-۴   | تاثیر دمای مالچ بر میزان فرسایش خاک تثبیت شده با مالچ گیاهی.....                    | ۱۰۵ |
| ۸-۴   | تاثیر شرایط محیطی و گذشت زمان پس از مالچ پاشی بر میزان فرسایش خاک تثبیت شده.....    | ۱۰۶ |
| ۹-۴   | تغییرات EC و pH خاک تثبیت شده پس از مالچ پاشی .....                                 | ۱۰۸ |
| ۱۰-۴  | نتایج آنالیز XRD .....  | ۱۰۹ |
| ۶-۴   | نتایج آنالیز SEM .....  | ۱۱۱ |
| ۱۱۳   | <b>فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات .....</b>  |     |
| ۱-۵   | مقدمه .....   | ۱۱۴ |
| ۲-۵   | جمع بندی نتایج شناسایی ویژگی های خاک مورد مطالعه .....                              | ۱۱۴ |
| ۳-۵   | جمع بندی نتایج تاثیر پارامترهای مختلف بر فرسایش بادی خاک تثبیت شده با مالچ گیاهی .. | ۱۱۵ |
| ۴-۵   | جمع بندی نتایج بررسی خصوصیات لایه تثبیت شده خاک .....                               | ۱۱۶ |
| ۵-۵   | جمع بندی نتایج تاثیر فرایند تثبیت بر خصوصیات زیست محیطی خاک .....                   | ۱۱۶ |
| ۶-۵   | جمع بندی نتایج XRD و SEM خاک تثبیت شده .....  | ۱۱۶ |
| ۷-۵   | پیشنهادات برای مطالعات آتی .....  | ۱۱۷ |
| ۱۱۸   | <b>مراجع .....</b>  |     |

## فهرست اشکال

- شکل ۳-۱: موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه (کادر مستطیلی) در ایران و استان گلستان ..... ۴۱
- شکل ۳-۲: نقشه ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه (الف) و ناحیه نمونه‌برداری شده (ب) ..... ۴۱
- شکل ۳-۳: نمایی از منطقه مورد مطالعه (دید به سمت شرق) ..... ۴۲
- شکل ۳-۴: گلباد ایستگاه سینوپتیک منطقه مورد مطالعه در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین ..... ۴۳
- شکل ۳-۵: پهنه بندی اقلیمی استان گلستان به روش دمارتن ..... ۴۴
- شکل ۳-۶: نقشه تیپ‌های گیاهی استان گلستان ..... ۴۵
- شکل ۳-۷: نمایی از گیاه سریش مورد مطالعه (الف) و ریشه‌ی آن (ب) ..... ۴۶
- شکل ۳-۸: تونل باد ساخته شده ..... ۴۹
- شکل ۳-۹: دستگاه اینورتر سه فاز به تک فاز مورد استفاده در این تحقیق ..... ۵۰
- شکل ۳-۱۰: دستگاه بادسنج مورد استفاده در تحقیق ..... ۵۱
- شکل ۳-۱۱: پروفیل ارتفاعی سرعت در تونل باد ..... ۵۲
- شکل ۳-۱۲: مثلث طبقه‌بندی بافت خاک بر طبق استاندارد (USDA) ..... ۵۵
- شکل ۳-۱۳: مالچ‌های تهیه شده جهت تثبیت خاک ..... ۶۲
- شکل ۴-۱: منحنی دانه‌بندی خاک مورد مطالعه ..... ۷۳
- شکل ۴-۲: بافت خاک مورد مطالعه براساس مثلث طبقه‌بندی خاک بر طبق استاندارد USDA ..... ۷۴
- شکل ۴-۳: مقدار فرسایش بادی خاک تیمار نشده در سرعت و زمان‌های مختلف ..... ۸۱
- شکل ۴-۴: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با آب خالص به مقدار پاشش ۱۵ میلی‌لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف ..... ۸۳
- شکل ۴-۵: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با آب خالص به مقدار پاشش ۲۵ میلی‌لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف ..... ۸۴
- شکل ۴-۷: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۲ درصد به مقدار پاشش ۱۵ میلی‌لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف ..... ۸۸
- شکل ۴-۶: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۱ درصد به مقدار پاشش ۱۵ میلی‌لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف ..... ۸۸
- شکل ۴-۸: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۳ درصد به مقدار پاشش ۱۵ میلی‌لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف ..... ۸۸

- شکل ۴-۹: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۴ درصد به مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر در سرعت و زمان های مختلف ..... ۸۹
- شکل ۴-۱۰: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۵ درصد به مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر در سرعت و زمان های مختلف ..... ۸۹
- شکل ۴-۱۱: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۶ درصد به مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر در سرعت و زمان های مختلف ..... ۸۹
- شکل ۴-۱۲: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۷ درصد به مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر در سرعت و زمان های مختلف ..... ۹۰
- شکل ۴-۱۳: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۱ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان های مختلف ..... ۹۲
- شکل ۴-۱۴: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۲ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان های مختلف ..... ۹۲
- شکل ۴-۱۵: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۳ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان های مختلف ..... ۹۳
- شکل ۴-۱۶: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۴ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان های مختلف ..... ۹۳
- شکل ۴-۱۷: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۵ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان های مختلف ..... ۹۳
- شکل ۴-۱۸: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۶ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان های مختلف ..... ۹۴
- شکل ۴-۱۹: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۷ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان های مختلف ..... ۹۴
- شکل ۴-۲۰: مقدار فرسایش نمونه خاک تیمار نشده طی ۵ دقیقه در سرعت های مختلف ..... ۹۵
- شکل ۴-۲۱: مقدار فرسایش نمونه خاک های تیمار شده با مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر، طی ۵ دقیقه در سرعت های مختلف ..... ۹۶
- شکل ۴-۲۲: مقدار فرسایش خاک تیمار نشده و تیمار شده با مالچ به مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر، طی ۵ دقیقه نهایی در مقابل سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه ..... ۹۸
- شکل ۴-۲۳: مقدار فرسایش نمونه خاک های تیمار شده با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر، طی ۵ دقیقه نهایی در سرعت های مختلف ..... ۹۹

- شکل ۴-۲۴: مقدار فرسایش خاک تیمار نشده و تیمار شده با مالچ به مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر، طی ۵ دقیقه نهایی در مقابل سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه ..... ۱۰۱
- شکل ۴-۲۵: نمایی از نمونه خاک مالچ پاشی شده با مالچ منتخب ..... ۱۰۲
- شکل ۴-۲۶: نمایی از نحوه نفوذ مالچ در خاک مورد مطالعه ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۲۷: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با آب خالص به مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف، پس از ۳۰ روز ماندگاری ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۲۸: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۷ درصد به مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف، پس از ۳۰ روز ماندگاری ..... ۱۰۷
- شکل ۴-۲۹: آنالیز XRD برای نمونه خاک تیمار نشده ..... ۱۱۰
- شکل ۴-۳۰: آنالیز XRD برای نمونه خاک تیمار شده با مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد، مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر) ..... ۱۱۱
- شکل ۴-۳۲: نتایج آنالیز SEM نمونه شاهد تیمار شده با آب خالص ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۳۱: نتایج آنالیز SEM نمونه‌های مالچ پاشی شده با مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد) ..... ۱۱۴



## فهرست جداول

- جدول ۱-۲: مقادیر سرعت باد و میزان اثر آن در فرسایش بادی ..... ۱۹
- جدول ۱-۳: سرعت باد منطقه مورد مطالعه ..... ۴۴
- جدول ۲-۳: تیمارهای انتخاب شده جهت تثبیت خاک ..... ۶۱
- جدول ۳-۳: مقدار پودر مورد نیاز جهت تهیه مالچ به ازای هر مترمربع ..... ۶۲
- جدول ۱-۴: نتایج دانه‌بندی خاک با استفاده از الک ..... ۷۱
- جدول ۲-۴: نتایج دانه‌بندی خاک به روش هیدرومتری ..... ۷۲
- جدول ۳-۴: مقدار رطوبت خاک مورد مطالعه ..... ۷۴
- جدول ۴-۴: مقدار ماده آلی خاک مورد مطالعه ..... ۷۵
- جدول ۵-۴: مقدار کربنات کلسیم خاک مورد مطالعه ..... ۷۶
- جدول ۶-۴: مقدار pH خاک ..... ۷۶
- جدول ۷-۴: مقدار شوری و هدایت الکتریکی خاک مورد مطالعه ..... ۷۷
- جدول ۸-۴: حد روانی و حد خمیری خاک مورد مطالعه ..... ۷۸
- جدول ۹-۴: وزن مخصوص ذرات خاک مورد مطالعه ..... ۷۸
- جدول ۱۰-۴: مقدار متوسط نفوذ مالچ در خاک برحسب میلی‌متر ..... ۱۰۳
- جدول ۱۱-۴: درصد کاهش ضخامت لایه تثبیت شده در خاک پس از اتمام آزمایش فرسایش بادی و قرار گیری نمونه طی ۵ دقیقه در مقابل سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه ..... ۱۰۵
- جدول ۱۲-۴: مقدار pH خاک تثبیت شده با مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد، پاشش ۲۵ میلی‌لیتر) ..... ۱۰۸
- جدول ۱۳-۴: مقدار شوری و هدایت الکتریکی خاک تثبیت شده با مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد، پاشش ۲۵ میلی‌لیتر) ..... ۱۰۹
- جدول ۱۴-۴: نتایج حاصل از آنالیز XRD خاک مورد مطالعه در دو حالت تیمار نشده و تیمار شده با مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد، مقدار پاشش ۲۵ میلی‌لیتر) برحسب درصد ..... ۱۱۰
- جدول ۱-۵: نتایج آنالیز خاک مورد مطالعه ..... ۱۱۸

فصل اول

کلیات

## ۱-۱ مقدمه

آلودگی هوا به حضور یک یا چند و یا مخلوطی از آلوده کننده‌های مختلف در هوای آزاد گفته می‌شود که مقدار آن‌ها از حد مجاز خود بیشتر بوده و یا به اندازه‌ای تداوم داشته باشند که برای سلامت انسان مضر و موجب آسیب رساندن به گیاهان، حیوانات و اجسام شوند. انتشار ذرات قسمت عمده آلودگی هوا را به خود اختصاص می‌دهد. غبار اصطلاحی است که به ذرات جامد غالباً بزرگ‌تر از کلویید اطلاق می‌شود که قادرند در هوا به حالت تعلیق در آیند. این نوع ذرات تمایلی به چسبندگی به یکدیگر ندارند، به راحتی در هوا پخش می‌شوند و در صورت قرار گیری در حالت سکون به آرامی و در اثر نیروی وزن خود رسوب می‌کنند. ذرات معلق می‌توانند از منابع مختلفی از جمله مناطق بیابانی و در اثر فرسایش بادی منتشر شوند. که در نتیجه‌ی آن موجب افزایش میزان ذرات معلق موجود در هوای آزاد و بیشتر شدن مقدار آن‌ها از حد مجاز می‌شود. همچنین گرد و غبار ناشی از فرسایش‌های بادی هوا را آلوده کرده و موجب آسیب به دستگاه تنفس و سلامت موجودات زنده می‌گردد (پرکینر، ۱۹۴۸؛ وارک و همکاران، ۱۹۹۸؛ شاهسونی و همکاران، ۱۳۸۹). طوفان‌های گرد و غبار یک پدیده جوی هستند که در اکثر موارد در نتیجه‌ی وزش بادهای آشفته (از جمله جریان‌های همرفتی) ایجاد می‌شوند. این عمل موجب بلند شدن مقدار زیادی از ذرات خاک موجود در بیابان‌ها می‌گردد. حداکثر غلظت این گرد و غبارها می‌تواند به بیش از ۶۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب نیز برسد. این گرد و غبارها می‌توانند تا هزاران کیلومتر انتقال یافته و در منطقه‌ای دیگر نشست کنند (نوری و همکاران، ۱۳۹۴؛ van pelt and Zobeck, 2004).

امروزه پدیده فرسایش‌های آبی و بادی به عنوان یکی از اصلیتیرین و مهم‌ترین فرآیندهای تخریب اراضی در مناطق مختلف دنیا و از جمله ایران به شمار می‌رود. هر چند که در مقیاس جهانی خطرات فرسایش بادی کمتر از فرسایش آبی است، اما گاهی ابعاد و عظمت آن از فرسایش آبی بیشتر می‌شود. این پدیده به عنوان یکی از عوامل طبیعی همواره موجب تخریب زمین و انتشار ریزگردها در اقصی نقاط جهان شده

است (غلامی‌طبس و همکاران، ۱۳۹۲؛ موحدان و همکاران، ۱۳۹۰). مطالعات نشان داده است، پدیده گرد و غبار در سال‌های اخیر از نظر غلظت ذرات معلق، تداوم، وسعت و زمان آن نسبت به طوفان‌های گرد و خاک در گذشته بسیار بیشتر شده است. در سال‌های اخیر خشک‌سالی‌های مداوم، کاهش بارندگی و رطوبت نسبی محیط به همراه تشدید فاکتورهای محیطی توسط انسان، مانند استفاده بی‌رویه از منابع آبی موجود در مناطق بیابانی، از بین رفتن نيزارها و وقوع جنگ، سبب خشک شدن برخی تالاب‌ها در کشورهایی از جمله ایران، سوریه و عراق شده است. نتیجه چنین وقایعی موجب گسترش میزان گرد و غبار و ریزگردهای موجود در هوا می‌شود (بوچانی و فاضلی، ۱۳۹۰؛ رفاهی، ۱۳۹۱). از جمله عوامل موثر در اقتصاد هر کشور منابع طبیعی موجود در آن کشور می‌باشد. خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی نقش بسیار مهمی را در زندگی انسان‌ها دارد. فرسایش بادی یکی از عوامل اصلی در تخریب خاک و محیط زیست، آلودگی هوا و انتقال ذرات معلق است که موجب تبدیل مناطق کشاورزی به زمین‌های بایر و ایجاد لایه‌ای از شن و ماسه بر روی آن‌ها می‌شود. در این بین تپه‌های شنی و بیابان‌های دارای ماسه‌های روان و خاک‌های ریزدانه دارای رطوبت ناکافی و عدم پوشش مناسب گیاهی، دارای چسبندگی کمی بوده و مستعد فرسایش بادی می‌باشند (ملکی‌کالکر و همکاران، ۱۳۹۵؛ هادسون، ۱۹۸۱).

در این پژوهش با شناسایی منطقه‌ای دارای خاک مستعد فرسایش بادی، مطالعات گسترده‌ای در ابعاد آزمایشگاهی با انتخاب مالچ طبیعی مناسب جهت تثبیت و کنترل فرسایش بادی خاک مذکور انجام گرفت. در این فصل ابتدا به بیان مسئله و تعریفی از آن پرداخته شده و سپس ضرورت و اهداف تحقیق مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه روش تحقیق و مراحل انجام تحقیق تشریح می‌گردد.

## ۲-۱ بیان مسئله

فرسایش بادی و هجوم گرد و خاک های ناشی از آن یک شاخص مهم در وقوع پدیده بیابان‌زایی و یک تهدید جدی برای مناطق خشک به حساب می‌آید. امروزه مناطق خشک و نیمه خشک حدود یک سوم اراضی کره زمین را شامل شده و بیش از یک چهارم از خشکی‌های جهان تحت تأثیر پدیده بیابان‌زایی می‌باشند. این مسئله بعد از دو چالش تغییر اقلیم و کمبود آب به عنوان سومین چالش مهم جهان در قرن ۲۱ محسوب می‌شود. کشور ایران نیز به دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی خشک، در زمان‌های مختلف تحت تاثیر اثرات نامطلوب ناشی از فرسایش بادی و هجوم ریزگردها قرار داشته است (جعفری شالکوهی و همکاران، ۱۳۹۴؛ نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۰؛ عسکری و همکاران، ۱۳۹۳).

فرسایش خاک پدیده‌ای است که در آن ذرات تشکیل دهنده خاک توسط عواملی از جمله آب و باد انتقال می‌یابند. میزان اهمیت فرسایش بادی و آبی در هر منطقه بسته به نوع خاک و اقلیم آب و هوایی آن منطقه است. بدین صورت که در مناطق پر باران فرسایش آبی و در مناطق خشک و بیابانی فرسایش بادی عامل اصلی هدر رفت خاک می‌باشد. اگرچه فرسایش بادی معمولاً در مناطق خشک و بیابانی اتفاق می‌افتد اما بررسی‌ها نشان داده است که این نوع فرسایش در مناطق دارای شرایط آب و هوایی مرطوب نیز به وقوع می‌پیوندد (نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۰؛ عسکری و همکاران، ۱۳۹۳). در فرسایش بادی خاک، عامل اصلی سرعت حرکت باد می‌باشد و ذرات خاک به دلیل وجود انرژی در باد به وسیله آن حمل می‌شوند. باد نیز همانند دیگر سیال‌ها دارای جرم و سرعت بوده و در هنگام تماس با خاک و یا هر جسم دیگری موجب ایجاد نیروی برشی و در نتیجه حرکت و یا جابه‌جایی آن ذرات می‌گردد (رفاهی، ۱۳۹۱). بدین منظور در تحقیق حاضر نیز باد به عنوان یک عامل اصلی در ایجاد ریزگردها و فرسایش خاک در نظر گرفته شده است.

پدیده فرسایش بادی و هجوم ریزگردها پدیده‌ای است که از گذشته همواره وجود داشته و تا کنون از انواع روش‌های فیزیکی (مانند: شخم زدن زمین)، شیمیایی (مانند: مالچ‌های بر پایه شیمیایی) و زیستی (مانند: استفاده از مواد طبیعی) به منظور جلوگیری از فرسایش بادی خاک‌ها استفاده شده است، که هرکدام دارای مزایا و معایبی می‌باشند (احمدی، ۱۳۸۵). از جمله روش‌های مقابله با فرسایش بادی خاک‌ها، تثبیت خاک‌های مستعد فرسایش به وسیله مواد سنتزی و یا طبیعی به منظور جلوگیری از پیدایش ریزگردها می‌باشد (عسکری و همکاران، ۱۳۹۳). در این بین استفاده از مواد طبیعی به دلیل فراوانی، سازگاری با محیط زیست و قابلیت ساخت مالچ‌هایی با انعطاف پذیری بالا روشی مناسب برای تثبیت خاک‌های مستعد فرسایش می‌باشد (حزیرئی و زارع‌ارنانی، ۱۳۹۲).

هدف اصلی در این پژوهش، تثبیت خاک ریزدانه جهت کنترل فرسایش بادی و دستیابی به مواد افزودنی‌ای است که بتواند با هزینه‌ای مقرون به صرفه از لحاظ اقتصادی، در سطح خاک قشر یکنواخت به هم چسبیده‌ای را به وجود آورد که سازگار با محیط زیست، مقاوم در برابر جریان باد و نور خورشید بوده و در عین حال ماندگاری بالایی را داشته باشد.

### ۱-۳ ضرورت و اهداف تحقیق

یکی از چالش‌های اصلی مناطق خشک و بیابانی مسأله کنترل شن‌ها و ماسه‌های روان است. هر ساله معضلات مربوط به فرسایش بادی و هجوم ریزگردها خسارات سنگینی را به بخش‌هایی از محیط زیست و سلامت جامعه وارد می‌کند (حزیرئی و زارع‌ارنانی، ۱۳۹۲). از جمله مشکلات رایج ناشی از حرکت شن‌ها و ماسه‌های روان و طوفان‌های گرد و خاک می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- کاهش دید رانندگان و در نتیجه کاهش ایمنی تردد در جاده‌ها؛

- ایجاد مشکلات تنفسی و بینایی برای عموم مردم به خصوص کودکان و افراد سالخورده؛

- ایجاد خسارت‌های قابل توجه به تجهیزات الکترونیکی و کامپیوتری؛

- قطع عبور و مرور در جاده‌ها در نتیجه‌ی انباشته شدن ماسه بر روی سطح آن‌ها؛

- افزایش آلودگی‌های محیط زیستی و تجمع گردوخاک در محیط‌های مسکونی؛

- انتقال املاح موجود در خاک مانند: سولفات و کلرات به اراضی کشاورزی و در نتیجه افزایش شوری خاک (عسکری و همکاران، ۱۳۹۳؛ Dehghani et al, 2017).

به طور کلی آثار آلودگی هوا بر روی انسان را می‌توان به دو دسته کوتاه مدت و بلند مدت تقسیم نمود. آثار کوتاه مدت عموماً به صورت اختلال در ضربان قلب، حملات قلبی و در نهایت مرگ مشاهده شده است. آثار بلند مدت از طریق قرار گرفتن طولانی مدت در معرض گرد و غبار خیابان و سطح خاک ایجاد می‌شود که می‌تواند باعث آسیب‌های خطرناکی برای سلامتی انسان به دلیل تجمع فلزات سنگین در بدن از طریق تنفس، خوردن و جذب پوستی گردد، که در نتیجه‌ی آن موجب ایجاد التهاب، تصلب شرایین و تنگی عروق می‌شود (امینی، ۱۳۹۵؛ دل‌انگیزان و جعفری‌مطلق، ۱۳۹۲؛ Dehghani et al, 2017). علاوه بر اثرات منفی پیدایش ریزگردها بر روی انسان‌ها فرسایش خاک‌ها می‌تواند شامل خاک‌های کشاورزی نیز شود که در نتیجه آن موجب از دست دادن محصول، تخریب خاک و کیفیت آب موجود در آن می‌شود (Zobeck et al, 2013; Robichaud et al, 2017). در اثر بادهای شدید ذرات معلق معمولاً به فواصل دورتری نسبت به ذرات درشت‌تر منتقل می‌شوند. در واقع ذرات درشت یا در جای خود باقی می‌مانند و یا فواصل کمی را طی می‌کنند. بدین ترتیب بافت خاک نیز به تدریج تغییر کرده و به سمت درشت‌دانه پیش می‌رود (Zobeck et al, 2013). در مناطق خشک و بیابانی فرسایش بادی موجب ایجاد حفره‌هایی در زمین می‌شود که قطر آن‌ها می‌تواند از چندین متر تا چندین کیلومتر برسد. همچنین فرسایش بادی گاهی بر روی زمین موجب ایجاد یک سری شیارهای طولی نیز می‌شود که این امر در تشدید فرسایش آبی نقش به‌سزایی را دارد (رفاهی، ۱۳۹۱).

علی‌رغم تحقیقات و مطالعات بسیاری که در سال‌های اخیر در رابطه با فرسایش خاک و رسوب گذاری به عمل آمده است، درک کامل این پدیده نیازمند تحقیق و مطالعات بسیار زیادی بوده و برای رسیدن به درک کاملی از این فرآیند راه زیادی در پیش می‌باشد. بدین منظور با توجه به صدمات فراوان ریزگردها به محیط زیست و موجودات زنده، تحقیق در رابطه با نحوه جلوگیری از فرسایش بادی خاک‌ها با استفاده از روش‌های سازگار با محیط زیست امری ضروری و الزامی می‌باشد (امینی، ۱۳۹۵؛ روح‌بخشان و کلانتری، ۱۳۹۵؛ Dehghani et al, 2017).

با توجه به مطالب ذکر شده در ارتباط با ضرورت انجام تحقیقات در رابطه با تثبیت خاک‌های ریزدانه، هدف اصلی در این پژوهش جلوگیری و یا کاهش مضرات ناشی از پدیده فرسایش بادی با تثبیت خاک توسط مالچ طبیعی و افزایش مقاومت آن در مقابل فرسایش بادی می‌باشد.

در این تحقیق اهداف جزئی زیر دنبال می‌گردد:

- انتخاب و شناسایی منطقه‌ای دارای خاک مستعد فرسایش بادی؛
- شناسایی کامل مشخصات خاک ریزدانه مورد مطالعه؛
- ساخت پایلوت تونل باد؛
- استفاده از مالچ طبیعی جهت تثبیت خاک در برابر فرسایش بادی و بررسی عوامل و پارامترهای مختلف تاثیر گذار بر این پدیده؛
- بررسی تاثیر فرایند تثبیت توسط مالچ مورد استفاده بر خصوصیات خاک.

## ۴-۱ روش انجام تحقیق

مراحل انجام تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

- بررسی و مطالعه منابع کتابخانه‌ای به منظور افزایش سطح دانش و آگاهی در خصوص پدیده فرسایش بادی و سابقه مطالعات انجام شده در خصوص فرسایش بادی در سطح ایران و جهان



- شناسایی منطقه دارای خاک مستعد فرسایش بادی جهت مطالعه
- شناسایی خصوصیات خاک مورد مطالعه
- انتخاب ماده مناسب جهت تثبیت خاک و ارائه معیارهای انتخاب آن
- تهیه وسایل و مواد لازم جهت انجام آزمایش‌ها
- ساخت پایلوت و انجام آزمایش‌های مورد نیاز
- تجزیه و تحلیل نتایج و رسم گراف‌های مربوطه
- تفسیر نتایج و جمع بندی پایان‌نامه

## ۱-۵ ساختار پایان‌نامه

### فصل اول: کلیات

در این فصل از پایان‌نامه به بیان تعریف آلودگی هوا، ارتباط آن با فرسایش بادی و ریزگردها، ضرورت مقابله با پدیده فرسایش بادی و ساختار کلی تحقیق اشاره شده است.

### فصل دوم: مبانی نظری و مروری بر مطالعات پیشین

در این بخش از تحقیق به توصیفی از خاک‌های ریزدانه و ریزگردها، عوامل موثر در ایجاد ریزگردها و عوامل موثر بر تثبیت خاک‌های ریزدانه پرداخته شده و در انتها نیز روش‌های مختلف تثبیت و مالچ‌های مورد استفاده مورد بحث و بررسی قرار گرفته و مزایا و معایب هرکدام از آن‌ها به طور مختصر بیان گردیده است.

## فصل سوم: مواد و روش‌ها

در این فصل از پایان‌نامه به معرفی منطقه و خاک مورد مطالعه، نحوه تهیه و مشخصات مالچ مورد استفاده، مشخصات تونل باد، نحوه انجام آزمایش‌های لازم جهت شناسایی مشخصات خاک مورد مطالعه و تعیین میزان فرسایش خاک‌های تیمار شده و نشده پرداخته شده است.

## فصل چهارم: نتایج و بحث

در این بخش از تحقیق نتایج حاصل از آزمایش‌ها به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در این راستا از نمودارها و جداول متعدد جهت ارائه بهتر نتایج گردیده است.

## فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

این بخش به جمع بندی نتایج حاصل از این تحقیق و ارائه پیشنهادات جهت انجام آزمایش‌های تکمیلی به منظور ادامه و تکمیل تحقیق حاضر اختصاص یافته است.



## فصل دوم

مبانی نظری و مروری بر

مطالعات پیشین

## ۱-۲ مقدمه

در این فصل ابتدا به توصیفی از خاک‌های ریزدانه و ریزگردها و عوامل موثر در ایجاد ریزگردها پرداخته شده و در ادامه روش‌های رایج مبارزه با این پدیده شامل استفاده از مالچ‌های طبیعی و سنتزی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

## ۲-۲ خاک‌های ریزدانه و ریزگردها

پدیده فرسایش بادی و مشکلات ناشی از آن مانند ریزگردها به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل تخریب زمین در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌آید. این نوع فرسایش خود یکی از عوامل مهم در تولید گرد و غبار در اندازه‌های کوچکتر از ۲ تا ۱۰ میکرومتر می‌باشد (افضلی و کوپایی‌نیا، ۱۳۹۵). امروزه ریزگردها به عنوان یکی از مهمترین عوامل آلودگی‌های جوی مورد توجه قرار گرفته‌اند. ریزگردها توده‌هایی از ذرات جامد ریز غبار و گاه دود هستند که در جو پخش شده و دید افقی را تا محدوده ۱ تا ۲ کیلومتر محدود می‌کنند و برای بیماران تنفسی بسیار زیان‌آور می‌باشند. جنس ریزگردها معمولاً ذرات بسیار ریز رس، سیلت، ماسه، نمک‌ها و ... باشد (امینی، ۱۳۹۵؛ فراست و همکاران، ۱۳۹۰).

خاک‌های ریزدانه عموماً به خاک‌هایی گفه می‌شود که دارای مقادیر زیادی رس و لای می‌باشند. اندازه غالب ذرات (بیش از ۵۰ درصد) تشکیل دهنده این نوع خاک‌ها دارای قطر کوچکتر از ۰,۰۷۵ میلی‌متر می‌باشد (ASTM<sup>1</sup> D2487-06, 2006). اندازه و وزن مخصوص ذره خاک در میزان فرسایش پذیری آن موثر است. در مطالعات انجام شده توسط چپیل<sup>۲</sup>، میزان فرسایش پذیری خاک تابعی از میزان ذرات با قطر کوچکتر از ۰,۸۴ میلی‌متر می‌باشد. به بیان ساده‌تر هرچه قدر تعداد ذرات با اندازه کوچکتر از ۰,۸۴ میلی‌متر در خاکی بیشتر باشد میزان فرسایش پذیری آن خاک بیشتر خواهد بود (Chepil, 1945). طوفان-

1- American Society for Testing and Materials

2- Chepil

های ریزگردی نیز معمولاً در مناطقی اتفاق می‌افتد که خاک آن منطقه دارای مقادیر زیادی ماسه ریز و سیلت می‌باشد. در این نوع خاک‌ها چسبندگی بین ذرات خاک کم بوده و به دلیل پایین بودن وزن مخصوص ذرات، به راحتی بر روی هم سر خورده و توسط باد جابه‌جا می‌شوند. عوامل متعددی از جمله نوع خاک، شرایط اقلیمی و توپوگرافی یک منطقه می‌تواند خاک آن منطقه را مستعد فرسایش بادی کند (افضلی و کوپایی‌نیا، ۱۳۹۵؛ تدین‌فر و شه‌میری ۱۳۹۴؛ Ameri, 2005).

فرسایش بادی یا بادروبی، فرآیند روبیده شدن موادی چون شن و خاک از سطح زمین می‌باشد. به طور کلی فرسایش بادی را می‌توان شامل سه مرحله دانست:

۱- کنده شدن ذرات خاک؛

۲- انتقال و انتشار ذرات در هوا؛

۳- رسوب ذرات (رفاهی، ۱۳۹۱).

## ۲-۳ عوامل موثر در ایجاد ریزگردها

فرسایش بادی هنگامی اتفاق می‌افتد که شرایط برای جدا کردن و انتقال ذرات خاک توسط باد مناسب باشد. از جمله عوامل موثر در فرسایش بادی خصوصیات خاک، شرایط آب و هوایی، پوشش گیاهی و زبری سطح خاک می‌باشد. در ادامه به بیان هر یک از عوامل موثر در فرسایش بادی پرداخته شده است.

### ۲-۳-۱ خصوصیات خاک

میزان فرسایش بادی در خاک‌های مختلف متفاوت است. از جمله مهم‌ترین این عوامل می‌توان به بافت خاک، ساختمان خاک، چسبندگی ذرات خاک، میزان رطوبت، مقدار ماده آلی و شکل ذرات خاک اشاره

کرد. در ادامه ارتباط هریک از عوامل مذکور با مقدار فرسایش پذیری خاک‌ها به طور مختصر بیان گردیده است.

### ۲-۱-۳-۱-۱ بافت خاک

بافت خاک نسبت ذرات شن، رس و سیلت در نمونه خاک می‌باشد. اندازه و وزن مخصوص ذرات خاک در میزان فرسایش پذیری آن موثر است. ذره خاک هنگامی منتقل خواهد شد که به اندازه کافی سبک و قابل حمل باشد و از طرفی نیز به اندازه کافی درشت باشد تا در معرض جریان باد قرار بگیرد (عظیم‌زاده و اختصاصی، ۱۳۸۳؛ Chepil, 1945).

فرسایش پذیرترین ذرات خاک عموماً ذرات ماسه با وزن مخصوص ۲,۶۵ و با قطر معادل ۰,۱ میلی‌متر می‌باشند. چنین ذراتی با سرعت باد ۴,۴ متر بر ثانیه در آستانه حرکت قرار می‌گیرند. میزان فرسایش پذیری برای ذرات دارای قطر معادل کمتر و یا بیشتر از ۰,۱ میلی‌متر، کمتر است (Bagnold, 1937). همانطور که ذرات درشت با قطر بزرگ‌تر از ۱ میلی‌متر در مقابل فرسایش بادی مقاومند، ذرات کوچک‌تر از حد معمول مانند ذرات رس با قطر کوچک‌تر از ۰,۰۰۲ میلی‌متر، در یک سطح صاف در مقابل فرسایش بادی مقاوم می‌باشند. علت این پدیده را نیز می‌توان به دلیل صافی سطح و نیروی همدوسی دانست که موجب افزایش مقاومت ذرات در مقابل انتقال می‌شود (عظیم‌زاده و اختصاصی، ۱۳۸۳؛ Bagnold, 1937).

### ۲-۱-۳-۲ چسبندگی ذرات خاک

چسبندگی ذرات خاک بستگی به درصد ذرات رس و شن آن خاک دارد. هرچه مقدار چسبندگی ذرات خاک بیشتر باشد، خاک مورد نظر در مقابل فرسایش بادی مقاوم‌تر است. در این بین خاک‌هایی که رس

آن‌ها کم و میزان ماسه ریز و سیلت آن‌ها زیاد باشد چسبندگی ذرات در آن‌ها کم بوده و نسبت به دیگر خاک‌ها بیشتر مستعد فرسایش می‌باشند. این نوع خاک‌ها در معرض بادهایی با سرعت بیش از ۲۰ کیلومتر بر ساعت به راحتی جدا شده و منتقل می‌گردند (واعظی و همکاران، ۱۳۸۶؛ Shiyatyy et al, 1972).

### ۲-۳-۱-۳ ساختمان خاک

ذرات شن، سیلت و رس تحت عوامل مختلف گرد هم آمده و ساختمان خاک را تشکیل می‌دهند. خاک‌های بدون ساختمان بندی به علت عدم چسبندگی، مستعد فرسایش بادی می‌باشند. در خاک‌هایی که مقدار رس موجود در آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد است، تقریباً ساختمانی به وجود نخواهد آمد و اگر هم ساختمانی تشکیل شود، ذرات خاک چسبندگی زیادی نداشته و در اثر فرسایش بادی به سرعت پراکنده می‌شوند. خاک‌هایی که دارای ساختمان دانه‌بندی مناسبی هستند حتی اگر دارای ذرات ریز مستعد فرسایش بادی باشند، مقاوم به فرسایش بادی خواهند بود (رفاهی، ۱۳۹۱؛ جعفری‌شالکوهی و همکاران، ۱۳۹۴).

### ۲-۳-۱-۴ مقدار ماده آلی موجود در خاک

مواد آلی موجود در خاک در پایداری خاک‌دانه‌ها موثر هستند، خاک‌هایی که کربن آلی آن‌ها کمتر از ۲ درصد باشد قابل فرسایش به شمار می‌روند. فقدان و یا کبود مواد آلی موجود در خاک موجب شکسته شدن خاک‌دانه‌های آن شده که در نتیجه میزان ذرات ریز مستعد فرسایش در خاک افزایش می‌یابد. از طرفی مواد آلی با جذب مقدار زیادی رطوبت در خود، مقدار رطوبت خاک را بالا برده و آن را نسبت به فرسایش بادی مقاوم می‌سازد (رفاهی، ۱۳۹۱؛ Zobeck et al, 2013).



همانطور که فقدان و یا کبود مواد آلی موجود در خاک موجب افزایش فرسایش پذیری آن خاک می‌شود، مقدار بیش از حد مواد آلی نیز موجب افزایش فرسایش پذیری خاک می‌شود. به عنوان مثال می‌توان به خاک‌های سبک آلی مرداب‌ها اشاره نمود که به علت سبکی مستعد فرسایش بادی می‌باشند (رفاهی، ۱۳۹۱).

### ۲-۳-۱-۵ میزان رطوبت خاک

آب نگهداری شده در داخل منافذ خاک را آب خاک یا رطوبت خاک می‌گویند. رطوبت خاک مهمترین عامل در میزان فرسایش پذیری خاک است. خاک دارای رطوبت کافی در سطح خود، به دلیل نیروی چسبندگی یا کوهزیون<sup>۱</sup> بین ذرات و دانه‌های مرطوب خاک که موجب پایداری خاک می‌شود، هرگز منتقل نخواهد شد (Lambe and Whitman, 1969; Han et al, 2009).

باد قادر به جداسازی و جابه‌جایی ذرات خاکی با رطوبت در حدود رطوبت پژمردگی<sup>۲</sup> (معادل نیروی مکشی ۱۵ اتمسفر) نمی‌باشد و در صورت انتقال نیز میزان آن بسیار کم خواهد بود. عموماً هرچه قدر رطوبت خاک کمتر از رطوبت پژمردگی باشد میزان فرسایش پذیری آن خاک نیز بیشتر می‌شود. در واقع می‌توان بدین صورت بیان نمود که فرسایش بادی زمانی رخ می‌دهد که رطوبت خاک مورد نظر در اثر بادهای گرم و خشک وارد شده به کمتر از حد پژمردگی برسد (واعظی و همکاران، ۱۳۸۶؛ نورزاده و بهرامی، ۱۳۹۴؛ Chepil, 1956). مطالعات محقیقن نشان داده است سرعت باد لازم برای انتقال ذرات خاک لومی که دارای رطوبت ۳ درصد است حدود ۵ متر بر ثانیه می‌باشد. این در حالیست که در صورت رسیدن رطوبت خاک به ۱۱ درصد سرعت باد لازم برای انتقال ذرات به ۱۱٫۵ متر بر ثانیه خواهد رسید (Bisal and Hsieh, 1966).

---

1- Cohesion

2- Wilting Point

## ۲-۳-۱-۶ شکل ذرات خاک

شکل ذرات خاک در میزان و نحوه جابه‌جایی ذرات به وسیله باد تاثیر دارد. هرچقدر سطح تماس ذرات خاک با باد بیشتر باشد جابه‌جایی آن‌ها آسان‌تر خواهد بود. لذا ذرات دارای سطوح نامنظم نسبت به ذرات کروی آسان‌تر جابه‌جا می‌شوند. زیرا ذرات کروی به علت شکل آیرودینامیکی<sup>۱</sup> خود در مقابل جریان باد دیرتر به حالت تعلیق در می‌آیند (Bagnold, 1941).

## ۲-۳-۲ بارندگی

میزان و شدت بارندگی منطقه به مقداری زیادی در میزان رطوبت خاک تاثیر گذار است. به طور کلی تنها خاک‌های دارای سطح خشک در برابر باد جابه‌جا می‌شوند و خاک‌های دارای سطح مرطوب جابه‌جا نمی‌شوند. بنابراین مقدار، شدت و توزیع بارندگی در یک منطقه تاثیر زیادی در میزان فرسایش بادی خاک خواهد داشت (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۴).

به طور کلی از نظر مقدار بارندگی عموماً مناطقی در معرض فرسایش بادی قرار دارند که میزان بارندگی سالیانه آن‌ها کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر بوده و یا با وجود مقدار بارش بیشتر، دارای فصل خشک طولانی می‌باشند. همچنین شدت بارندگی نیز در میزان فرسایش پذیری خاک‌ها تاثیر گذار است. باران‌های شدید با خرد کردن کلوخ‌ها و ذرات درشت خاک موجب افزایش میزان فرسایش پذیری آن خاک می‌شوند و این ذرات پس از خشک شدن سطح زمین، به راحتی توسط باد منتقل خواهند شد (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۴؛ رفاهی، ۱۳۹۱).

---

1- Aerodynamic

## ۲-۳-۳ درجه حرارت

افزایش حرارت سبب افزایش میزان تبخیر و در نتیجه کاهش مقدار رطوبت موجود در خاک می‌شود. با کاهش میزان رطوبت، خاک مستعد فرسایش بادی می‌شود. خیس شدن، خشک شدن، یخ بستن و آب شدن متناوب زمین باعث خرد شدن ذرات درشت خاک شده و آن را مستعد فرسایش بادی می‌سازد (رفاهی ۱۳۹۱؛ Bristow et al, 1986). همچنین بادهای منشا گرفته از نواحی گرم و خشک نیز یکی از عوامل تاثیر گذار در تغییر درجه حرارت خاک، کاهش میزان رطوبت خاک و فرسوده شدن سنگدانه‌های خاک بوده، که در نتیجه موجب ایجاد خاکی مستعد فرسایش بادی می‌شود (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۴؛ رفاهی ۱۳۹۱).

## ۲-۳-۴ باد

باد به حرکت جریان هوا، یا به طور کلی‌تر به حرکت جریان گاز در اتمسفر از یک مکان به مکان دیگر گفته می‌شود. عامل ایجاد باد اختلاف فشار اتمسفر بوده که باعث حرکت هوا از یک منطقه پرفشار به یک منطقه کم فشار می‌شود (پرکینر، ۱۹۴۸). باد در فرسایش خاک از دو جهت دارای اهمیت است:

الف: باد عامل اصلی فرسایش است و مطالعات نشان داده که توانایی باد در جدا کردن، انتقال و انتشار ریزگردها تابعی از سرعت آن می‌باشد (Robichaud et al, 2017; Ketabi et al, 2017; Yang et al, 2013).

ب: باد با افزایش تبخیر موجب کاهش رطوبت خاک شده و در نتیجه آن را مستعد فرسایش بادی می‌کند (رفاهی، ۱۳۹۱؛ Qingjie et al, 2009).

مهمترین خصوصیت باد سرعت و جهت آن است و تنها بادهای نیرومند توانایی سایش خاک را دارند. بر طبق مطالعات انجام شده میزان توانایی خاک در جدا کردن و انتقال ذرات خاک تابعی از توان دوم و سوم

سرعت باد است. لذا میزان سرعت باد بیشتر از فراوانی آن اهمیت دارد. جهت باد، از جهتی که از آن می-وزد نسبت به شمال جغرافیایی به صورت ۳۶۰ درجه بیان می‌شود (امینی، ۱۳۹۵؛ مجدی و همکاران، ۱۳۸۵؛ واعظی و همکاران ۱۳۸۶). در جدول ۱-۲ مقادیر سرعت باد که در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین اندازه‌گیری شده است و میزان اثرات آن در فرسایش بادی نشان داده شده است (رفاهی، ۱۳۹۱).

جدول ۱-۲: مقادیر سرعت باد و میزان اثر آن در فرسایش بادی (رفاهی، ۱۳۹۱).

| خطر فرسایش باد | مشاهدات  | سرعت (کیلومتر در ساعت) | نوع باد            |
|----------------|--|------------------------|--------------------|
| بدون فرسایش    | دود از سطح زمین به صورت قائم بالا می رود                             | <۱,۵                   | هوای آرام          |
|                | جهت باد به وسیله جریان دود معلوم می شود                              | ۱,۵-۵                  | هوای ملایم         |
|                | احساس وزش باد توسط انسان   | ۵-۱۲                   | باد آرام           |
| شروع فرسایش    | حرکت برگ ها و ساقه های کوچک  | ۱۲-۲۰                  | باد ملایم          |
| کم             | بلند شدن گرد و غبار و کاغذهای کوچک از زمین                           | ۲۰-۳۰                  | باد متوسط          |
|                | به نوسان در آمدن درختان کوچک برگ دار                                 | ۳۰-۴۰                  | باد تند            |
|                | حرکت شاخه های بزرگ   | ۴۰-۵۰                  | باد شدید           |
| قابل توجه      | حرکت تمامی درختان، احساس ناراحتی به هنگام حرکت در جهت مخالف وزش باد  | ۵۰-۶۲                  | تند باد متوسط      |
|                | شکسته شدن ساقه های کوچک درختان، جلوگیری از حرکت در جهت مخالف وزش باد | ۶۲-۷۵                  | تند باد نسبتا شدید |
| شدید           | خسارات ساختمانی کم   | ۷۵-۸۸                  | تند باد شدید       |
|                | خسارات ساختمانی قابل توجه، ریشه کن شدن درختان                        | ۸۸-۱۰۰                 | تند باد بسیار شدید |
|                | به وجود آمدن خسارات شدید   | ۱۰۰-۱۲۰                | طوفان              |

مطالعات نشان داده است جریان باد با سرعت‌های پایین توانایی جابه‌جا کردن ذرات خاک را ندارد. سرعت باد برای شروع حرکت ذرات باید به سرعت آستانه فرسایش خاک رسیده باشد. در خاک‌هایی که مقدار رس آن‌ها کم بوده و دارای مقادیر زیادی ماسه ریز و سیلت می‌باشند در صورت قرارگیری در معرض بادهایی با سرعت بیش از ۲۰ کیلومتر بر ساعت، ذرات آن‌ها به سهولت جدا شده و انتقال می‌یابند (Shiyatyy et al, 1972).

طوفان گردوغبار عموماً ناشی از بادهای نواحی خشک و نیمه خشک است که در اثر وزش آن ابر متراکمی از گرد و غبار تا ارتفاع حدود ۳ کیلومتر در هوا ایجاد می‌شود. این طوفان‌ها عموماً به سه روش ذرات را از سطح زمین جدا می‌کنند:

۱- حالت معلق: حمل ذرات به صورت معلق (افلشن<sup>۱</sup>) نامیده می‌شود. در این حالت ذرات بسیار ریز که دارای قطر کوچکتر از ۰,۱ میلی‌متر می‌باشند به موازات سطح زمین حرکت نموده و سپس به سمت بالا انتقال یافته و به حالت تعلیق در می‌آیند. با افزایش سرعت باد ذرات درشت‌تر نیز جابه‌جا می‌شوند. این ذرات عموماً تا چند متر بالا رفته و سپس به سمت زمین فرو می‌ریزند. از آنجایی که ذرات معلق موجود در هوا معمولاً دارای ابعاد بسیار کوچکی هستند سرعت سقوط آن‌ها نیز بسیار کم می‌باشد. بنابراین پس از بلند شدن به وسیله باد به علت تلاطم هوا و گردبادها برای مدت زمانی طولانی به حالت تعلیق در می‌آیند. این مواد معلق عموماً به علت وزن بسیار کم آن‌ها تا کاهش سرعت باد به مقدار کافی و یا شسته شدن در اثر ریزش باران ته‌نشین نمی‌شوند (تدین‌فر و شه‌میری، ۱۳۹۴؛ رفاهی، ۱۳۹۱).

۲- حرکت جهشی: حرکت ذرات به صورت جهشی (افلاکشن<sup>۲</sup>) نامیده می‌شود. حرکت جهشی عموماً مربوط به ذرات با ابعاد متوسط است زیرا از یک سو به اندازه کافی سبک بوده و می‌تواند به راحتی از زمین بلند شود و از طرفی دیگر به اندازه‌ای سنگین است که به حالت تعلیق در نمی‌آید. این ذرات عموماً دارای

---

1- Efflation  
2- Effluxion

قطری بین ۰,۱ تا ۰,۵ میلی‌متر می‌باشند. در طی این حرکت ذره‌ای که به هوا جهش کرده ابتدا به صورت تقریباً عمودی به هوا پرتاب شده و پس از رسیدن به بالاترین نقطه صعود (حدود ۱۵ سانتی‌متر)، شروع به سقوط می‌کند (Chepil, 1946).

۳- حرکت خزشی: خزیدن یا غلطیدن ذرات را اکستروژن<sup>۱</sup> می‌نامند. این انتقال معمولاً به صورت غلتیدن یا سر خوردن ذرات درشت به فاصله‌های کوتاه بر روی خاک اتفاق می‌افتد. قطر این نوع ذرات معمولاً بین ۰,۵ تا ۲ میلی‌متر است. این نوع حرکت در اثر فشار باد و یا به وسیله برخورد ذرات جهنده به وسیله جریان باد به وجود می‌آید (تدین‌فر و شه‌میری، ۱۳۹۴؛ Chepil, 1946).

در ایران سرچشمه اصلی ریزگردها باد شمال است که از خرداد تا شهریور فعال است. این باد در شمال خاورمیانه شکل گرفته و با گذر از کوه‌های ترکیه و شمال عراق، مانند قیفی به سمت بیابان‌های عراق و سوریه حرکت کرده و تا خلیج فارس و آب‌های آزاد پیش می‌رود و خسارات سنگینی را به بار می‌آورد. این باد را می‌توان از جمله عوامل اصلی فرسایش بادی خاک‌های مستعد فرسایش، و ایجاد و انتشار ریزگردها در آسمان ایران برشمرد (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۴).

## ۲-۳-۵ پوشش گیاهی

پوشش‌های گیاهی می‌تواند به عنوان عاملی موثر به منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک-های مستعد فرسایش استفاده شود. در مناطق خشک و بیابانی و عاری از پوشش‌های گیاهی، به دلیل نیرو و فشار زیاد باد و تاثیر آن بر سطحی وسیع، میزان فرسایش بادی گاه تا چندین برابر فرسایش آبی است (جهان‌تیغ، ۱۳۹۳؛ سعدالدین و همکاران، ۱۳۸۹). پوشش‌های گیاهی می‌تواند به صورت بوته، درختچه،

---

1- Extrusion

درخت و یا گیاهان مرتعی باشد. این نوع پوشش‌ها به روش‌های مختلفی در تثبیت‌ش‌ها و ماسه‌های روان موثر هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- گیاهان همانند مانعی در مقابل باد عمل کرده و موجب کاهش سرعت باد می‌شوند؛
  - ۲- پوشش‌های گیاهی مانع برخورد مستقیم باد با سطح زمین می‌شوند؛
  - ۳- ریشه‌های گیاهان موجب استحکام بیشتر بافت خاک شده و مانع حمل ذرات توسط باد می‌شود؛
  - ۴- گیاهان باعث کاهش میزان تبخیر سطحی و در نتیجه افزایش میزان رطوبت موجود در خاک می‌شوند؛
  - ۵- پسماندهای گیاهی موجب افزایش مقدار مواد آلی و هوموس خاک و در نتیجه اصلاح خواص فیزیکی آن می‌شود (غلامی‌طبس و همکاران، ۱۳۹۲؛ Engelstaedter et al, 2002).
- استفاده از پوشش گیاهی برای تثبیت خاک، علی‌رغم مزایای مختلف دارای مشکلات ثانویه‌ای نیز می‌باشد. از جمله این مشکلات می‌توان به مواردی همچون تراکم بیش از اندازه، پایین افتادن سطح آب‌های زیرزمینی، خشک شدن برخی قنات‌ها، شیوع آفات و بیماری‌های گیاهی اشاره کرد (قاسمی، ۱۳۸۳).
- بنابراین ترکیب مورد استفاده جهت تثبیت خاک، می‌بایست دارای کمترین اثر منفی بر روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به منظور عدم تاثیر منفی بر روی رشد و ریشه دوانی گیاهان منطقه‌ی مورد مطالعه باشد.

## ۲-۳-۶ زبری سطح خاک

مقدار فرسایش بادی در مناطق دارای خاکی با سطح زبر و ناهموار دارای شدت کمتری می‌باشد. میزان تاثیر زبری سطح خاک بستگی به ارتفاع، شکل و جهت آن نسبت به باد دارد. زبری خاک علاوه بر به دام انداختن ذرات، سرعت باد در نزدیکی سطح زمین را کاهش می‌دهد (Chepil and milne, 1941; Woodruff and lyles, 1962).

از طرفی باید توجه داشت که سطوح زیر سبب انحراف جریان باد به طرف بالا شده و در نتیجه با افزایش شدت تلاطم منجر به فرسایش خاک می‌شود. به این دلیل در صورتی که ناهمواری‌های موجود در سطح خاک بیش از حد مورد نیاز باشد، خاک مستعد فرسایش بادی خواهد شد (Chepil and milne, 1941; Woodruff and lyles, 1967). بر طبق تحقیقات انجام شده ارتفاع ناهمواری برای کنترل فرسایش بادی بهتر است بین ۵ تا ۱۲,۵ سانتی‌متر باشد. این تحقیقات نشان داده است بر آمدگی‌های به ارتفاع ۵۰ تا ۷۰ میلی‌متر میزان فرسایش بادی را در یک خاک لومی در مقایسه با همین خاک با سطح صاف حدود ۹۸ درصد کاهش می‌دهد (Armbrust et al, 1964).

## ۲-۴ روش‌های تثبیت خاک

تثبیت خاک به ثابت گردانیدن و برجای داشتن ذرات خاک در مقابل عواملی نظیر جریان باد و آب گفته می‌شود (رفاهی، ۱۳۹۱). جهت تثبیت خاک‌های مستعد فرسایش از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که هر کدام دارای مزایا و معایبی می‌باشند. از جمله این روش‌ها می‌توان به ایجاد بادشکن (ساداتی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۱)، مالچ‌پاشی (شهنواز و همکاران، ۱۳۹۶)، پوشانیدن فیزیکی سطح خاک (Chepil and Woodruff, 1963) و استقرار پوشش‌های گیاهی (غلامی‌طبس و همکاران، ۱۳۹۲) اشاره نمود. یکی از روش‌های تثبیت خاک در مقابل فرسایش بادی استفاده از انواع مالچ‌ها می‌باشد. مالچ در زبان انگلیسی به معنای پوشش است که از لغت آلمانی مولش<sup>۱</sup> به معنی نرم گرفته شده است. مالچ‌ها به مواد طبیعی (مانند مالچ‌های بر پایه گیاهی) یا مصنوعی (مانند مالچ‌های شیمیایی) گفته می‌شود که بتواند پوشش محافظی به صورت یک لایه مجزا و گسترده روی زمین ایجاد نموده و سطح رویی خاک را از گزند عوامل محیطی (مانند باد و باران) مصون دارد (رفاهی، ۱۳۹۱). در ادامه، مطالعات پیشین انجام شده در ارتباط با استفاده از انواع مالچ‌ها جهت تثبیت خاک ارائه گردیده است.

---

1- Molsch



## ۲-۴-۱ مالچ نفتی

مالچ نفتی از فرآورده‌های سنگین نفت است که پس از ذوب و یا به صورت امولسیون توسط وسایل مخصوص بر روی زمین مورد نظر پاشیده می‌شود. مالچ نفتی ذوب شده یا امولسیونه پس از پاشیده شدن با سطح خاک تماس پیدا کرده و آب خود را از دست می‌دهد و در نتیجه قشر نازکی از ماده اصلی بر سطح خاک باقی می‌ماند. در یک آزمایش که به وسیله تونل باد انجام گردیده، نشان داده است که ماسه-های لخت در سرعت باد حدود ۲۷ کیلومتر در ساعت شروع به حرکت می‌کنند درحالی که ماسه‌هایی که در آن‌ها عمل مالچ‌پاشی با مالچ نفتی انجام شده است در سرعت باد حدود ۱۱۰ کیلومتر در ساعت نیز به حرکت در نیامده‌اند (رفاهی، ۱۳۹۱؛ کردوانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ معظمی و همکاران، ۱۳۹۲). مالچ‌های نفتی علاوه بر کنترل فرسایش خاک و کاهش سرعت رواناب موجب تنظیم دمای خاک به وسیله حفظ حرارت در پاییز و زمستان می‌شود. همچنین این نوع مالچ باعث پس زدن حشرات و کنترل علف‌های هرز با ممانعت از دریافت نور خورشید برای جوانه زنی آن‌ها خواهد شد. به دلیل قابلیت پخش مالچ‌های نفتی توسط وسایل مکانیکی در هر دوره از عملیات مالچ‌پاشی، امکان پوشش سطح وسیعی از منطقه فراهم می‌شود. لذا استفاده از این روش در مناطق وسیع نسبت به بسیاری از روش‌های دیگر راحت‌تر می‌باشد. امروزه به دلیل بالا رفتن قیمت مالچ نفتی، استفاده از این محصول توجیه اقتصادی ندارد (کردوانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ معظمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ یوسفی و ناصری، ۱۳۹۳).

مالچ‌پاشی به طور کلی در فصل زمستان و اوایل بهار قبل از بازشدن جوانه‌ها انجام می‌شود. بنابراین در هنگام مالچ‌پاشی لایه‌ای از مالچ روی جوانه‌ها را پوشانده و به جوانه‌های در حال باز شدن آسیب وارد می‌کند که در بسیاری از موارد موجب خشک‌شدگی و یا تأخیر در شکوفایی درختچه‌ها و بوته‌ها می‌گردد. همچنین استفاده از مالچ نفتی موجب افزایش دمای خاک و در نتیجه ایجاد مشکل برای حیات موجودات زنده و فعالیت‌های بیولوژیکی درون خاک می‌شود. نظر به مشکلات فراوان در استفاده از مالچ

نفتی، امروزه انجام هر نوع سرمایه‌گذاری برای یافتن ماده‌ای جایگزین برای این نوع مالچ توجیح پذیر می‌باشد (عسکری و همکاران، ۱۳۹۳؛ رضایی، ۱۳۸۸؛ معظمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ حضیرئی و زارع‌ارنانی، ۱۳۹۲). به طور کلی مشکلاتی که در تثبیت شن‌ها و ماسه‌های روان با استفاده از مالچ نفتی به وجود می‌آید را می‌توان شامل موارد زیر دانست:

۱- قیمت بالا؛

۲- لزوم به کارگیری ماشین آلات سنگین در عملیات میدانی؛

۳- مشکلات محیط زیستی و بهداشتی در هنگام کار با این نوع مالچ (مانند مشکل بو و مشکلات تنفسی)؛

۴- مشکلات محیط زیستی در طولانی مدت در اثر افزایش دمای خاک و جلوگیری از رویش گیاهان؛

۵- هدر رفت منابع خاک حاصل خیز و خسارت به منابع زیر بنایی کشور.

## ۲-۴-۲ مالچ سیمانی

امروزه با توجه به ضررهای مالچ نفتی توجه به سمت استفاده از مالچ‌های طبیعی و غیر نفتی بیشتر شده است (حضیرئی و زارع‌ارنانی، ۱۳۹۲). در اثر مالچ پاشی به وسیله مالچ سیمانی یک لایه به هم چسبیده بر روی سطح خاک به وجود می‌آید. این نوع مالچ‌ها معمولاً به همراه مقادیری آهک بر روی سطح خاک ریخته می‌شوند. نمک‌های کلسیم و منیزیم دار مانند آهک و گچ باعث چسبندگی و ساختمان‌دهی ذرات خاک می‌شوند که در نتیجه‌ی آن مقاومت خاک نسبت به فرسایش بادی افزایش می‌یابد. البته می‌بایست دقت نمود که نمک‌های گچ و آهک در غلظت‌های کم موجب پایداری و بهبود ساختمان خاک می‌شوند در حالی که در غلظت‌های بالا باعث افزایش پوکی خاک و در نتیجه افزایش میزان فرسایش پذیری خاک می‌شوند (اختصاصی و حضیرئی، ۱۳۹۴؛ Miri, 2007).

در طی تحقیقی که به منظور ارزیابی کارایی مالچ سیمانی بر روی خاک صورت گرفت مقادیر مختلفی از این مالچ در ترکیب با آب و آهک بر روی خاک ریخته شده و سپس به مدت ۷ روز به نمونه فرصت داده شده تا در هوای آزاد خشک شود. پس از آن نمونه درون تونل باد و در مقابل جریان باد با سرعت ۱۲ متر بر ثانیه و به مدت زمان ۲۰ دقیقه مورد آزمایش قرار گرفت. بر اساس آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق با افزایش نسبت سیمان در ترکیب مالچ، میزان ضخامت لایه و استحکام لایه تشکیل شده در سطح بیشتر می‌شود. اما با افزایش مقدار سیمان به بیش از ۲۰۰ گرم مقاومت آن ثابت مانده و یا حتی به تدریج مقداری کاهش را نشان می‌دهد. دلیل این پدیده نیز آن است که افزایش مقدار سیمان موجب گرایش بیشتر ذرات سیمان به پدیده خود چسبی به جای دگر چسبی در غلظت‌های بالا می‌شود. به همین دلیل به منظور غلبه بر این خود چسبی با افزودن ماسه بادی به سیمان به نسبت دو به یک ترکیب ایجاد شده از استحکام بیشتری برخوردار می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین مقاومت خاک در مقابل فشار و فرسایش پذیری در هنگامی بدست آمد که مقادیر وزنی ترکیب تیمار مورد نظر دارای ۴۰۰ گرم سیمان، ۸۰۰ گرم ماسه و ۱۰ گرم آهک به همراه یک لیتر آب باشد. این ترکیب می‌تواند میزان

فرسایش پذیری خاک را به کمتر از ۵ درصد کاهش دهد (اختصاصی و حضیئرئی، ۱۳۹۴).

مالچ‌های سیمانی به دلیل ساخته شدن از مواد طبیعی موجود در سطح زمین در ترکیب با آب خطرات زیست محیطی کمتری را نسبت مالچ‌های نفتی و شیمیایی خواهند داشت. سرعت تجزیه پذیری این نوع مالچ‌ها نیز نسبت به دیگر مالچ‌های طبیعی کندتر بوده و دارای سختی و ماندگاری خوبی هستند. این نوع مالچ با وجود مشکلاتی که برای ریشه دوانی برای برخی از گیاهان ایجاد می‌کند از لحاظ اقتصادی نسبت

به مالچ نفتی به صرفه تر می‌باشد (اختصاصی و حضیئرئی، ۱۳۹۴؛ رضایی، ۱۳۸۸).

## ۲-۴-۳ مالچ رسی

یکی دیگر از انواع مالچ‌های مورد استفاده به منظور تثبیت خاک‌های مستعد فرسایش، مالچ رسی است. مالچ رسی می‌تواند به عنوان یک پوشش و همچنین یک ماده سیمانی کننده به منظور چسباندن ذرات بستر و ایجاد یک بستر مناسب برای تثبیت بیولوژیکی استفاده شود (حضیرئی و زارعرنانی، ۱۳۹۲؛ مجدی و همکاران، ۱۳۸۵).

نتایج به دست آمده از یک تحقیق نشان می‌دهد که تیمارهای مالچ حاصل از ترکیب رس و آهک به ویژه با نسبت ۲۰۰ گرم رس به همراه ۱۰ گرم آهک در یک لیتر آب، می‌توانند شرایط قابل قبولی از نظر ایجاد سله یا لایه سطحی، میزان فرسایش‌پذیری، مقاومت فشاری، مقاومت به ضربه و مقاومت سایشی در سطح تپه‌های ماسه‌ای ایجاد نمایند (حضیرئی و زارعرنانی، ۱۳۹۲).

نتایج بررسی‌های انجام شده بر روی هزینه‌های مورد نیاز جهت تثبیت هر هکتار تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از مالچ رسی-آهکی حدود ۲,۵ میلیون تومان بدست آمده است. که این مقدار تنها معادل ۲۰ درصد هزینه‌های مالچ نفتی می‌باشد (معظمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ حضیرئی و زارعرنانی، ۱۳۹۲). آزمایشات نشان داده است که مالچ‌های رسی ترکیب شده با مقادیر مختلف رس و کاه با وجود مقاومت قابل قبول آن در مقابل فرسایش بادی زمانی که در معرض بمباران ذرات شن قرار می‌گیرند به راحتی فرسایش می‌یابند (مجدی و همکاران، ۱۳۸۵).

## ۲-۴-۴ مالچ ضایعات سنگی

ترکیب پودر سنگ به همراه رس و آهک زنده یکی از روش‌های نسبتاً ارزان قیمت در تثبیت خاک‌های ریزدانه می‌باشد. ضایعات سنگی سبب آلودگی زیست محیطی زیادی می‌شوند که با بازیافت و استفاده

مجدد از آن به عنوان یک ماده افزودنی برای تغییر در مشخصات ژئوتکنیکی خاک، کمک بزرگی به اقتصاد و محیط زیست می‌شود (روح‌بخشان و کلانتری، ۱۳۹۵).

جهت ساخت مالچ ابتدا خاک رس با مقادیر از پیش تعیین شده آهک و پودر ضایعات سنگی به صورت خشک، به طور کامل ترکیب شده و سپس مقداری آب برای هر نمونه به خاک اضافه می‌گردد و برای مدت زمان دو دقیقه، نمونه‌ها با هم ترکیب شده تا به صورت مخلوطی همگن درآید. این ترکیب موجب کاهش حد روانی و افزایش حد خمیری در اثر افزایش مقادیر آهک و پودر ضایعات سنگی در خاک می‌شود. همچنین ترکیب مالچ مورد نظر با خاک سبب تغییر در مقدار رطوبت بهینه و وزن واحد حجم خشک بیشینه نمونه‌ها می‌شود، به طوری که مقدار رطوبت بهینه با افزودن آهک و پودر ضایعات سنگی به خاک افزایش می‌یابد و مقدار وزن واحد حجم خشک بیشینه، با افزودن آهک کاهش و با افزودن پودر ضایعات سنگی افزایش می‌یابد (روح‌بخشان و کلانتری، ۱۳۹۵؛ Ahmadi and Ekhtesasi, 2000).

در طی تحقیقی که به منظور بررسی کاربرد مالچ سنگ‌ریزه‌ای برای تثبیت خاک‌های رسی و غیر قابل احیای بیولوژیک انجام شد مشاهده شد که با ایجاد ۵۰ درصد پوشش سنگ‌ریزه‌ای در سطح خاک‌های رسی حساس به فرسایش بادی می‌توان میزان فرسایش را تا حدود ۷۰ درصد کاهش داد (Ahmadi and Ekhtesasi, 2000). همچنین نتایج آزمایشات محققین دیگر نشان داده است که بهترین مقاومت مالچ مربوط به نمونه‌ی حاوی ۹۰ درصد رس، ۵ درصد لجن و ۵ درصد پودر سنگ است. مقاومت این ترکیب حتی از نمونه‌ای که حاوی ۱۰۰ درصد رس خالص است بیشتر می‌باشد. افزایش پودر سنگ تا سطح بهینه باعث بهبود قدرت باربری می‌شود ولی پس از آن در جهت عکس عمل کرده و قدرت باربری را کاهش می‌دهد. هزینه‌های ایجاد این نوع مالچ‌های پوششی از هزینه‌های احیای بیولوژیک و نگهداری آن کمتر است (حکیمی و افضلی، ۱۳۹۰؛ افضلی و کوپایی‌نیا، ۱۳۹۵).

## ۲-۴-۵ رسوب میکروبی کربنات<sup>۱</sup>

در سال‌های اخیر فناوری بیولوژیکی سبز و سازگار با محیط‌زیست با نام رسوب میکروبی کربنات کلسیم (MICP) به عنوان یک روش بهسازی خاک توسعه داده شده است. در MICP با هیدرولیز اوره توسط سلول‌های باکتریایی و یا آنزیم اوره‌آز خالص به عنوان کاتالیزور، یون‌های کربنات و آمونیوم تولید می‌شوند. امروزه کاربردهای متعددی برای فناوری MICP گزارش شده است که این کاربردها در طیف وسیعی از حوزه‌ها نظیر حذف آلاینده‌ها، بهسازی خاک و همچنین به عنوان یک مهار کننده گرد و غبار در خاک-های سیلتی و رسی مورد استفاده قرار گرفته است (ملکی کاکلر و همکاران، ۱۳۹۴؛ van paassen, 2009). در طی آزمایشی که جهت بررسی مقدار کارایی این ترکیب در میزان فرسایش پذیری خاک انجام گرفت، در سرعت‌های ۱۱ تا ۳۵ کیلومتر بر ساعت، میزان افزایش فرسایش بادی در نمونه‌ی شاهد ناچیز بود اما با افزایش سرعت باد از ۳۵ به ۵۵ کیلومتر بر ساعت، در نمونه شاهد شار تلفات خاک به یکباره از ۵,۳۳ به حدود ۲۴۱ کیلوگرم بر مترمربع بر ساعت افزایش یافت. این در حالیست که در هنگام استفاده از MICP، روند افزایشی شار تلفات خاک بسیار کند بوده و در سرعت ۵۵ کیلومتر بر ساعت نهایتاً به مقداری در حدود ۲,۱۳ کیلوگرم بر مترمربع بر ساعت رسید. همچنین آزمایش‌ها نشان داد که تیمار MICP به دلیل تشکیل رسوب کربنات کلسیم در بین حفرات خاک می‌تواند به طور معناداری مقدار مقاومت فروروی نمونه‌ی شن را افزایش دهد به طوری که مقدار متوسط مقاومت فروروی در نمونه‌ی تیمار شده با MICP برابر با ۵۶ کیلو پاسکال و مقاومت فروروی نمونه‌ی شاهد تنها ۱۸ کیلو پاسکال بود که این امر نشان دهنده‌ی افزایش تقریباً ۳ برابری مقاومت فروروی نمونه‌ی شن در اثر استفاده از MICP است (ملکی کاکلر و همکاران، ۱۳۹۴).

---

1- Microbial Induced Carbonate Precipitation

اگرچه تحقیقات در زمینه MICP بسیار جوان بوده و ابعاد مختلف آن مانند روش تزریق و پاشش آن بر روی سطح خاک نیاز به بررسی دارد، اما با این حال روش MICP با توجه به تشکیل رسوب تقریباً نامحلول  $\text{CaCO}_3$  در آب، افزایش مقاومت برشی، کاهش pH و هدایت الکتریکی و همچنین سازگاری با محیط زیست می‌تواند هم‌ردیف با سایر روش‌ها و به عنوان یک روش جدید مطرح گردد. با این حال تهیه محیط کشت برای باکتری‌ها به دلیل هزینه بالا می‌تواند به عنوان عامل اصلی محدودکننده در کاربرد فناوری MICP محسوب گردد (ملکی کاکلر و همکاران، ۱۳۹۴؛ Asgharzadeh et Van paassen, 2009; al, 2016).

## ۲-۴-۶ مالچ شیمیایی

امروزه مواد شیمیایی مختلفی به صورت محلول برای تثبیت خاک به منظور جلوگیری از فرسایش‌های آبی و بادی به کار می‌روند. از جمله این مواد می‌توان به محلول کلوروسدیم، فسفریک اسید و کربنات سدیم و پتاسیم اشاره کرد. این محلول‌ها پوششی در سطح خاک ایجاد می‌کنند که قادر به ایجاد مقاومت قابل قبولی در مقابل باد با سرعت‌های کمتر از ۳۰ متر بر ثانیه می‌باشد. باید در نظر داشت که استفاده از این نوع مالچ‌ها اغلب باعث تغییر در خواص شیمیایی و افزایش میزان شوری خاک می‌شود (رفاهی، ۱۳۹۱؛ Zang et al, 2015).

در طی تحقیقی که جهت بررسی مقدار کارایی محلول فسفریک اسید در میزان فرسایش پذیری خاک‌های ماسه‌ای صورت گرفت، محلول فسفریک اسید با غلظت ۲۰ درصد در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تهیه شده و بر روی خاک به مقدار ۴ لیتر بر مترمربع پاشیده شد. پس از آن نمونه مورد نظر درون اون به مدت زمان ۲۴ ساعت به منظور خشک شدن آب اضافه شده و رسیدن به وزن اولیه قرار داده شد. سپس نمونه تهیه شده درون تونل باد و در مقابل سرعت ۳۰ متر بر ثانیه که برابر با حداکثر سرعت باد تولیدی تونل باد و کمی کمتر از حداکثر سرعت باد ماهیانه منطقه مورد مطالعه بوده است به مدت زمان ۵ دقیقه

قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان داد که میزان فرسایش نمونه مالچ پاشی شده صفر و یا بسیار ناچیز بوده است (Ketabi et al, 2017).

## ۲-۴-۷ مالچ پلیمری

در سال‌های اخیر استفاده از مواد پلیمری مصنوعی، به منظور افزایش پایداری و قطر خاکدانه‌ها و تثبیت خاک مورد توجه جدی قرار گرفته است. پلیمرها با اتصال ذرات خاک به یکدیگر، خاکدانه‌های درشت‌تری را ایجاد نموده و در نتیجه پایداری آن‌ها در مقابل فرسایش افزایش می‌یابد. در واقع مواد پلیمری محلول در آب پس از رقیق شدن با آب، بر روی خاک پاشیده شده و در اثر قرار گیری در معرض هوا و تبخیر آب، تشکیل شاخه‌های گسترده پلیمری می‌دهد. در نتیجه با ایجاد پیوند بین ذرات خاکدانه‌های خاک سطحی و ذرات منفرد به یکدیگر، موجب افزایش مقاومت ذرات در مقابل فرسایش‌های بادی و آبی می‌شود. متأسفانه غالب پلیمرهای مورد استفاده مقاومت پایینی را در مقابل شرایط محیطی دارا هستند و معمولاً زمان ماندگاری آن‌ها در شرایط طبیعی بین ۶ ماه تا ۱ سال می‌باشد. از سال ۱۹۸۰ به بعد، تثبیت خاک با استفاده از مواد پلیمری به دلیل عملیات اجرایی سریع و آسان و کسب مقاومت بالا، از اهمیت بیشتری نسبت به مواد تثبیت کننده قدیمی برخوردار شده است (موحدان و همکاران، ۱۳۹۰؛ معظمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ تدین‌فر و شه‌میری ۱۳۹۴). در ادامه توضیحاتی در رابطه با سه پلیمر رایج، پلی وینیل استات<sup>۱</sup>، پلی لاتیس<sup>۲</sup> و پلی اکریلیک<sup>۳</sup> ارائه گردیده است.

---

1- poly vinyl acetate  
2- Poly lattice  
3- Poly acrylic



## الف- پلیمر پلی وینیل استات

از جمله پلیمرهای رایج که امروزه مورد توجه است امولسیون پلی وینیل استات می‌باشد، که به صورت رزین جامد قابل پراکنش در آب عرضه می‌شود. این محلول سفید رنگ دارای وزن مخصوص ۱,۰۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده و معمولاً با غلظت ۲۵ گرم در لیتر تهیه و مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پلیمر در درازمدت به طور بیولوژیکی کاملاً تجزیه شده و از نظر سمشناسی به دلیل فرمولاسیون آن  $(C_4H_6O_2)_n$  دارای سازگارپذیری بسیار خوبی با محیط زیست می‌باشد (موحدان و همکاران، ۱۳۹۰؛ Gajria et al, 1996).

براساس تحقیق انجام شده به منظور بررسی تأثیر ماده پلیمری با پایه پلی وینیل استات بر میزان فرسایش بادی خاک‌های ماسه‌بادی، لومی‌سیلتی و لومی‌سیلتی-رسی، ماده پلیمری با غلظت یک لیتر بر مترمربع بر روی نمونه‌ها پاشیده شده و به همان میزان آب خالص بر روی سطح نمونه دیگری (نمونه شاهد) پاشیده شد. پس از آن نمونه‌ها در محوطه دارای تهویه به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد تا به رطوبت اولیه خود قبل از افزودن ماده پلیمری برسد. مالچ مورد نظر با تشکیل یک لایه سطحی نسبتاً سخت که ماهیتاً با لایه تشکیل شده با آب در سطح خاک متفاوت است، باعث کاهش میزان فرسایش خاک در مقابل باد می‌گردد. بر طبق نتایج خاک‌های ماسه‌بادی تیمار شده در برابر باد با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه کاملاً مقاوم بوده و هیچ فرسایشی ندارد. تیمارهای پلیمری خاک لومی‌سیلتی و لومی‌سیلتی-رسی نیز مقاومت خوبی را دارا هستند. بر طبق آزمایش‌های صورت گرفته میزان فرسایش این تیمارها در برابر باد با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه نسبت به تیمار شاهد کاهش میزان فرسایش ۹۰ درصدی را نشان می‌دهد (موحدان و همکاران، ۱۳۹۰).

## ب- پلیمر پلی لاتیس

پلی لاتیس یک محصول پلیمری مایع آب دوست، با دانسیته نزدیک به آب، بی رنگ، بی بو، روان و دارای ویسکوزیته پایین است. این پلیمر در حالت مرطوب کاملاً الاستیک و pH آن در مخلوط با ماسه در محدوده ۸-۹ بوده که تقریباً در حالت خنثی می‌باشد. این ماده عموماً شامل ۹۰ درصد آب و ۱۰ درصد پلیمر طبیعی است. پلیمر فعال شده با ذرات ماسه و خاک واکنش داده و از حرکت ماسه در مقابل بادهایی با سرعت بیش از ۱۰۰ کیلومتر در ساعت جلوگیری می‌نماید (عسکری و همکاران، ۱۳۹۳؛ نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۰؛ رضایی، ۱۳۸۸؛ طالب زاده، ۱۳۹۴).

مهم‌ترین کاربردهای استفاده از پلی لاتیس جهت تثبیت سطوح ماسه‌های روان شامل موارد زیر است:

- تثبیت ماسه‌های روان و جلوگیری از ایجاد گرد و خاک

- تثبیت ماسه‌های روان به صورت مخلوط با شن

- ساخت دیوارهای باد شکن

- تولید گندله و پراکنش آنها در سطح

از جمله مشکلات این ماده نیز مدت زمان ماندگاری آن است که بسته به شرایط عمومی منطقه و میزان پاشش بین ۱۲ تا ۱۸ ماه می‌باشد. تهیه تجهیزات مناسب برای پاشش به صورت مخلوط و یا ترکیبی از پاشش مایع بر روی سطح، می‌تواند موجب افزایش دوره ماندگاری این محصول شود (عسکری و همکاران، ۱۳۹۳؛ رضایی، ۱۳۸۸).

آزمایشی که در منطقه کاشان با همکاری سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور برای بررسی اثرات مالچ نفتی و پلی لاتیس بر روی قلمه‌ها و نهال‌ها صورت گرفت حاکی از آن است که به دلیل قیر اندود شدن سطح قلمه‌ها توسط مالچ نفتی، مشکلاتی برای سبز شدن آنها بروز خواهد کرد. هرچند هیچ اثر سوئی در استفاده از ماده پلی لاتیس در نفوذپذیری نسبت به آب و در استقرار گیاهان سبز در این آزمون دیده نشد،

اما استفاده از این مالچ پلیمری جوانه‌زدن بذرها را با تأخیر مواجه نمود که عمدتاً به دلیل ممانعت فیزیکی ایجاد شده نسبت به شاهد بوده است. به عبارت دیگر تیمار مخلوط پلی‌لاتیس-شن با فراهم کردن مانعی حفاظتی روی شن مانع از رویش بیشتر بذرها می‌شود (عسکری و همکاران، ۱۳۹۳؛ رضایی، ۱۳۸۸؛ معظمی و همکاران، ۱۳۹۲).

### ج- پلیمر اکریلیک

ماده شیمیایی کوپلیمر امولسیون بوتیل اکریلات-متیل متاکریلات که به نام پلیمر اکریلیک شناخته می‌شود در محیط‌های آبی به صورت ذرات جامد می‌باشد. این مایع شیری رنگ دارای چگالی ۱,۰۸ در دمای اتاق، اندازه ذراتی در حدود ۰,۱۶ میکرون و محدوده pH کاری ۸-۱۰ می‌باشد. این ماده در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تبدیل به حالت شیشه‌ای شده و قابلیت افزایش طول به میزان ۵ الی ۱۵ درصد را دارد (تدین‌فر و شه‌میری ۱۳۹۴).

در آزمایشی که به منظور تعیین میزان مقاومت خاک تیمار شده با پلیمر اکریلیک در مقابل جریان باد انجام شد، حاکی سیلتی با خاصیت خمیری کم به عنوان نمونه خاک مستعد فرسایش انتخاب گردید. جهت ساخت نمونه‌ها ابتدا مقدار مشخصی آب به پلیمر مورد نظر اضافه شده و سپس محلول حاصل را بر روی خاک خشک پاشیده و به مدت ۷ روز در مکانی مناسب و در محیط آزمایشگاه نگهداری گردید. پس از آن محلول حاصل به داخل تونل باد منتقل شد تا مقدار پایداری آن‌ها در مقابل باد با سرعت ۲۰ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شود. برطبق نتایج حاصل از این آزمایش در صورت افزودن ۴ درصد وزنی پلیمر اکریلیک به خاک مورد نظر، پلیمر مذکور می‌تواند طی مدت زمان ۲۰ دقیقه و در مقابل بادی با سرعت ۲۰ متر بر ثانیه مقدار فرسایش بادی را به میزان ۷۰ درصد کاهش دهد. همچنین آزمایش‌ها نشان داد

علی‌رغم کاهش وزن مخصوص خشک خاک پس از افزودن پلیمر به آن، پایداری خاک در برابر باد افزایش می‌یابد (تدین‌فر و شه‌میری، ۱۳۹۴).

## ۲-۴-۸ مالچ گیاهی

استفاده از مالچ‌های تهیه شده از گیاهان و محصولات کشاورزی یکی از قدیمی‌ترین و رایج‌ترین روش‌های تثبیت خاک برای جلوگیری از فرسایش بادی آن می‌باشد. این نوع پوشش‌ها می‌تواند به همراه و یا بدون ترکیب با آب به منظور پوشش سطح خاک مستعد فرسایش استفاده شود. از جمله موارد رایج استفاده از این نوع مالچ‌ها می‌توان به استفاده از کاه و کلش گندم به منظور پوشاندن سطح خاک اشاره نمود که طی آن کاه را به طور صاف و منظم بر روی سطح خاک پخش کرده و سپس با یک لایه نازک از قیر روی آن را می‌پوشانند (احمدی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵؛ رفاهی، ۱۳۹۱).

در طی تحقیقی که به منظور ارزیابی تاثیر استفاده از انواع مالچ‌های کشاورزی بر کاهش میزان فرسایش خاک انجام گردید، سه نوع مالچ کشاورزی به همراه آب خالص، بدون آب و ترکیب آب و ماده گیرنده مستخرج از کاج (PineBind)، استفاده گردید. مالچ‌های مورد استفاده که شامل مالچ‌های تهیه شده از برنج، گندم و گندم خرد شده بوده است، پس از پاشیده شدن بر روی سطح خاک به مدت ۲۴-۴۸ ساعت درون آن در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد (برابر با حداکثر دمای منطقه مورد مطالعه) قرار داده شد. پس از آن نمونه‌ها در درون تونل باد و در مقابل سرعت بادهای ۶، ۱۱ و ۱۸ متر بر ثانیه (متناسب با حداقل، میانگین و حداکثر سرعت بادهای رایج منطقه مورد مطالعه) به مدت زمان ۵ دقیقه قرار داده شد. آزمایشات انجام شده نشان داد با استفاده از این نوع مالچ‌ها و در صورتی که ۷۰ درصد از سطح خاک به وسیله این نوع مالچ‌ها پوشانده شده باشد می‌توان میزان فرسایش خاک را تا بیش از ۹۰ درصد در مقابل

بادهایی تا سرعت ۱۸ متر بر ثانیه کاهش داد (Robichaud et al, 2017; National Land Management, 2016).

یکی دیگر از روش‌های مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست استفاده از مالچ خاکستر روغن نخل خرما<sup>۱</sup> است. از این ماده در تثبیت خاک‌های مستعد فرسایش و همچنین در ساخت بتن می‌توان استفاده کرد. الیاف سوخته نشده نخل خرما دارای اندازه ذرات بزرگ و ناخالصی‌هایی در خود هستند. بدین منظور قبل از استفاده آن به عنوان تثبیت کننده خاک، پس از خشک شدن در داخل اون به مدت ۲۴ ساعت قرار می‌گیرد. سپس خاکستر خشک بدست آمده از الک شماره ۲۵ عبور داده شده تا الیاف ناقص و اضافی از آن حذف شود. پس از آن خاکستر خشک حاصل را به مدت ۲۴ ساعت آسیاب کرده و در انتها از الک شماره ۱۲۰ عبور داده می‌شود. در نتیجه این فرآیند یک سطح ویژه بالا به دست می‌آید که موجب واکنش پوزولانی بهتر بین خاک و ترکیب بدست آمده می‌شود. از این ماده می‌توان به عنوان بهبود دهنده در ترکیب با سیمان و خاکستر روغن نفت نیز استفاده نمود (Bamaga et al, 2013; Pourakbar et al, 2015). در طی آزمایشی که به منظور ارزیابی تاثیر این ماده بر درصد رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک انجام گرفت، خاکستر روغن نخل خرما با نسبت های مختلف از سیمان ترکیب شد و طبق نتایج بدست آمده از این آزمایش بیشترین مقدار وزن مخصوص خاک در نسبت ۸۰ به ۲۰ سیمان به خاکستر روغن نخل خرما بدست آمد (Pourakbar et al, 2015). نتایج آزمایشات محققین دیگر نیز نشان داده است افزودن ۱۰ درصد خاکستر الیاف نخل خرما به خاک ماسه‌ای مقاومت فشاری خاک را ۶۵ درصد افزایش می‌دهد (بنکی و همکاران، ۱۳۹۳).

در طی تحقیقی که به منظور امکان سنجی استفاده از فیلتر کیک نیشکر به عنوان یکی از پسماندهای کشت و صنعت نیشکر برای تولید مالچ سازگار با محیط زیست انجام شد، مقادیر مختلفی از فیلتر کیک و خاک رس منطقه الباجی اهواز به عنوان مواد اولیه مالچ و شن روان به عنوان بستر انتخاب گردید. در این

---

1- Palm Oil Fuel Ash

تحقیق مقادیر مشخصی از مواد اولیه (شامل ۵۰ گرم خاک رس در ۱۵۰، ۱۲۰، ۹۰، ۶۰ و ۳۰ گرم فیلتر کیک نیشکر) در ۳۰۰ میلی‌لیتر آب حل شده و سوسپانسیون حاصل بر روی بستر خاک پاشیده شد و برای انجام آزمایش فرسایش از تونل باد استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان فرسایش تیمارهای مختلف با استفاده از تونل باد در سرعت بادهای ۲ تا ۹ متر بر ثانیه صفر بوده و خاک هیچ‌گونه فرسایشی را ندارد. همچنین مالچ ساخته شده با ترکیب ۱۵۰ گرم فیلتر کیک به همراه ۵۰ گرم رس در ۳۰۰ میلی‌لیتر آب، به ترتیب با مقاومت برشی و فروروی ۹۰۰ و ۶۰۰۰ هکتوپاسکال، دارای بیشترین مقاومت برشی و فروروی در بین دیگر تیمارهای ساخته شده بوده است (جمشید صفا و همکاران، ۱۳۹۴).

در طی آزمایشی که جهت بررسی مقدار کارایی مالچ آلی با پایه گیاهی در تثبیت ماسه‌های روان استان خوزستان انجام گردید، مالچ طبیعی ساخته شده در ترکیب با آب به عنوان تثبیت کننده خاک در چهار سطح صفر، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ درصد بر روی سه نوع خاک ماسه‌ای مستعد فرسایش اعمال شد. تاثیر مالچ‌های مورد بررسی بر کاهش میزان فرسایش خاک در دستگاه تونل باد به مدت زمان ۵ دقیقه در مقابل سرعت بادهای ۸، ۱۰ و ۱۳ متر بر ثانیه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش غلظت مالچ گیاهی میزان هدر رفت خاک کاهش می‌یابد. به طوری که میزان هدر رفت خاک با افزایش غلظت مالچ به ۶۰ درصد، در مقابل سرعت بادهای ۸ و ۱۰ متر بر ثانیه تقریباً به صفر و در مقابل جریان باد با سرعت ۱۳ متر بر ثانیه، بیش از ۹۰ درصد نسبت به نمونه شاهد خود (تیمار شده با آب) کاهش می‌یابد (شهناز و همکاران، ۱۳۹۶).



# فصل سوم

## مواد و روش‌ها



### ۳-۱ مقدمه

در این بخش به معرفی منطقه و خاک مورد مطالعه، مشخصات هواشناسی منطقه، نحوه تهیه مالچ مورد استفاده، مشخصات تونل باد، نحوه انجام آزمایش‌های لازم جهت شناسایی و تعیین میزان فرسایش خاک مورد مطالعه پرداخته شده است. همچنین به منظور افزایش اطمینان و کاهش خطای آزمایش کلیه آزمایش‌ها حداقل با سه بار تکرار (Triplicate) انجام گردیده است.

### ۳-۲ خصوصیات منطقه مورد مطالعه

خصوصیات منطقه مورد مطالعه از لحاظ موقعیت جغرافیایی، شرایط اقلیمی و پوشش گیاهی در میزان فرسایش بادی خاک حائز اهمیت می‌باشد. در ادامه هریک از موارد مذکور با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده از منطقه مورد مطالعه بررسی گردیده است.

### ۳-۲-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

خاک مورد استفاده در این تحقیق از نوع خاک ریزدانه بوده که به مقدار مورد نیاز از عمق ۱۰-۰ سانتی-متری سطح خاک (ملکی کالکر و همکران ۱۳۹۵؛ شهنواز و همکاران، ۱۳۹۶؛ Yang et al, 2013) مناطق مرزی ایران و ترکمنستان، شهرستان گنبد، مابین دو روستای داشلی‌برون و فدوی در شمال استان گلستان تهیه گردیده است. این منطقه در امتداد طول جغرافیایی  $54^{\circ}49'16.2''$  تا  $54^{\circ}54'47.0''$  شرقی و عرض جغرافیایی  $37^{\circ}32'34.6''$  تا  $37^{\circ}37'55.6''$  شمالی گسترش یافته و دارای مساحتی حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. اقلیم خشک منطقه و درصد بالای ذرات ریزدانه در خاک، زمینه مطالعات پیرامون پتانسیل خاک منطقه در مقابل فرسایش بادی را فراهم می‌نماید (سازمان هواشناسی استان گلستان،

۱۳۹۶). در شکل ۳-۱ تا ۳-۳ به ترتیب موقعیت مکانی، تصویر ماهواره‌ای و نمایی از منطقه مورد مطالعه در ایران و استان گلستان نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه (کادر مستطیلی) در ایران و استان گلستان



ب

الف

شکل ۳-۲: نقشه ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه (الف) و ناحیه نمونه‌برداری شده (ب)



شکل ۳-۳: نمایی از منطقه مورد مطالعه (دید به سمت شرق)

### ۲-۲-۳ مشخصات اقلیمی منطقه

مشخصات اقلیمی منطقه مورد مطالعه براساس داده‌های هواشناسی منطقه (سازمان هواشناسی استان گلستان، ۱۳۹۶) به قرار زیر است:

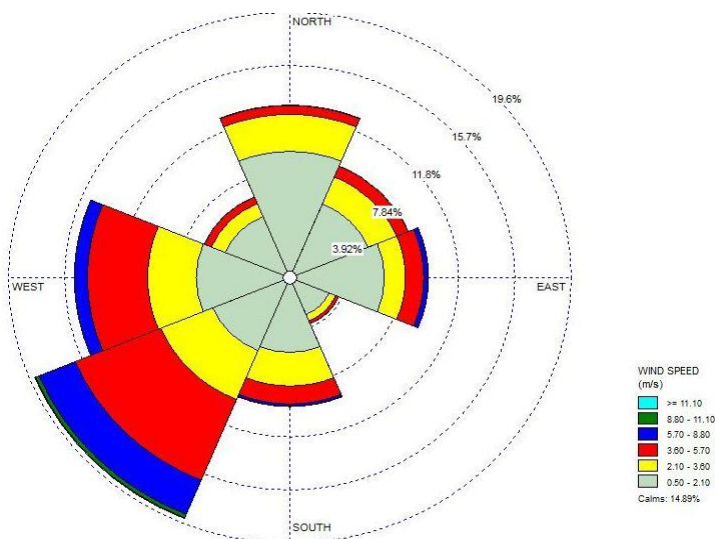
- میانگین مجموع تعداد روزهای بارانی سالیانه در منطقه مورد مطالعه ۵۲ روز و مجموع بارندگی سالیانه ۲۴۰ میلی‌لیتر می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در فصل تابستان دارای کمترین میزان بارندگی، با تعداد روزهای بارانی ۱ روز و مجموع بارندگی ۱۵ میلی‌لیتر می‌باشد.

- میانگین دمای سالیانه ۱۹ درجه سانتی‌گراد، میانگین حداقل دمای سالیانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد، میانگین حداکثر دمای سالیانه ۲۵ درجه سانتی‌گراد، حداکثر دمای مطلق سالیانه ۵۰ درجه سانتی‌گراد (اتفاق افتاده در فصل تابستان) و حداقل دمای مطلق سالیانه ۱۱- درجه سانتی‌گراد (اتفاق افتاده در فصل زمستان) می‌باشد.

- مجموع سالیانه تعداد روزهای همراه با یخبندان در منطقه ۱۹ روز بوده و تمامی این یخبندان‌ها در فصول پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد.

- میانگین حداقل، میانگین و میانگین حداکثر رطوبت منطقه به ترتیب ۴۱، ۶۲ و ۸۳ درصد در سال و کمترین میزان رطوبت مربوط به فصل تابستان با میانگین حداقل رطوبت ۳۲ درصد می‌باشد. کمترین میزان رطوبت ثبت شده نیز در فصل تابستان و با میزان رطوبت ۷ درصد است.

- گلباد سالیانه منطقه مورد مطالعه مطابق شکل ۳-۴ رسم گردیده است. همانگونه که مشاهده می‌شود بادهای غالب منطقه به سمت غرب و جنوب غربی وزیده می‌شود. منطقه مورد مطالعه دارای یک باد غالب و یک باد نایب غالب می‌باشد. باد نایب غالب منطقه شامل بادهای خشک و فاقد رطوبت شمالی است. این توده از سمت سیبری می‌وزد و به سمت جنوب غربی حرکت می‌کند. باد غالب منطقه نیز بادهای مرطوب غربی می‌باشد. در جدول ۳-۱ سرعت بادهای غالب منطقه مورد مطالعه ارائه گردیده است.

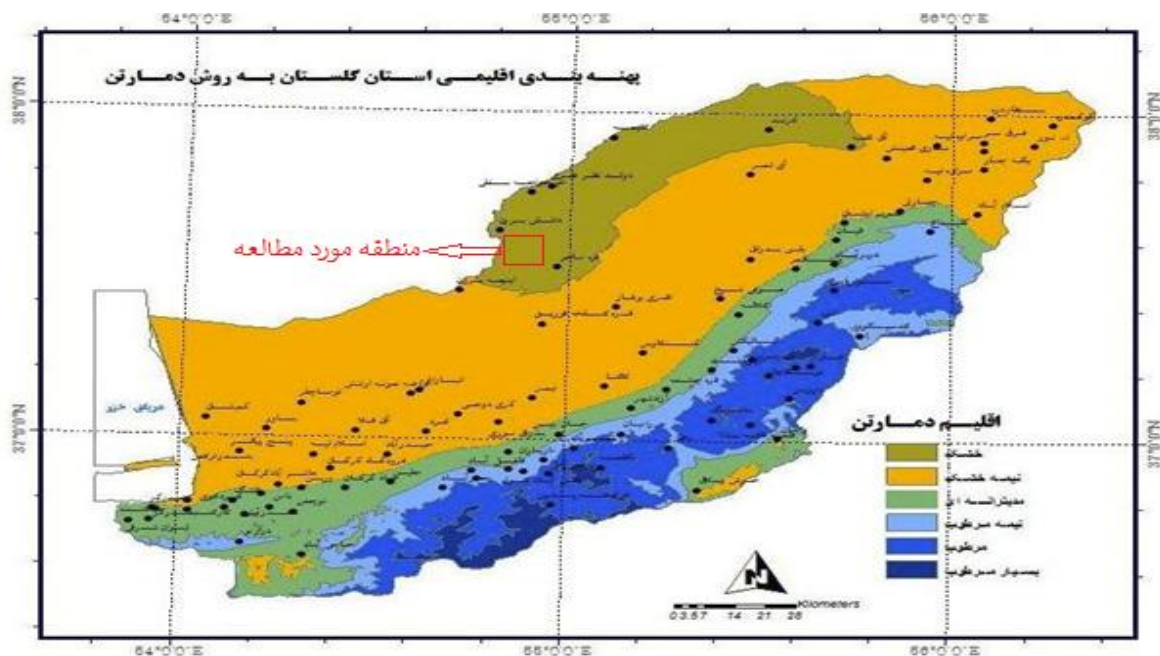


شکل ۳-۴: گلباد ایستگاه سینوپتیک منطقه مورد مطالعه در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین (سازمان هواشناسی استان گلستان، ۱۳۹۶)

جدول ۳-۱: سرعت باد منطقه مورد مطالعه (سازمان هواشناسی استان گلستان، ۱۳۹۶)

| Km/h  | m/s  | مشخصات سرعت باد                 |
|-------|------|---------------------------------|
| ۲۲,۳۲ | ۶,۲  | میانگین سرعت باد حداقل سالیانه  |
| ۳۰,۲۴ | ۸,۴  | میانگین سرعت باد سالیانه        |
| ۳۹,۲۴ | ۱۰,۹ | میانگین سرعت باد حداکثر سالیانه |
| ۴۶,۰۸ | ۱۲,۸ | میانگین سرعت باد حداکثر ماهیانه |

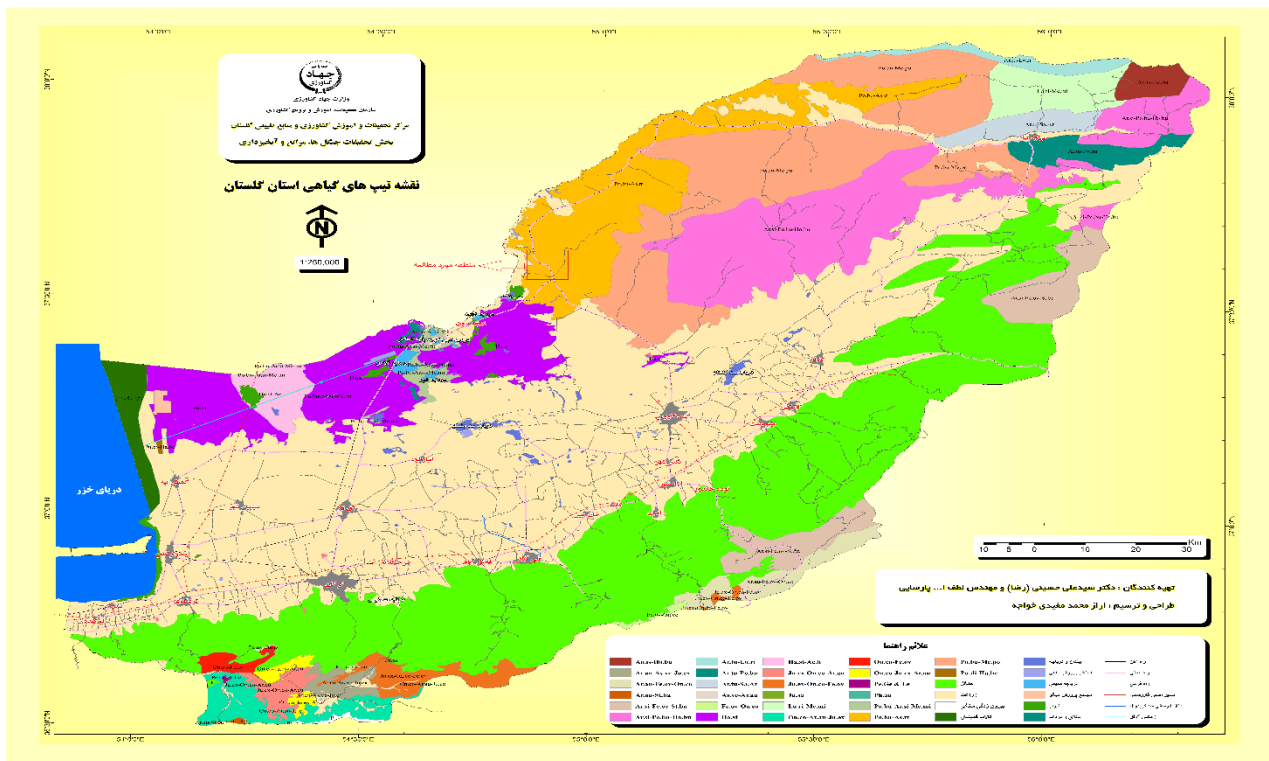
- دوری از اثرات دریای خزر، کاهش ارتفاعات البرز شرقی، وسیع بودن جلگه ساحلی و نزدیکی منطقه به بیابان‌های وسیع ترکمنستان مانند قره قوم و قزل قوم، تغییرات محسوسی در آب و هوای این منطقه نسبت به آب و هوای مرطوب استان گلستان پدید آورده است. این عوامل موجب ایجاد شرایطی خشک و تشدید گرمای هوا شده است. براساس پهنه بندی اقلیمی استان گلستان به روش دمارتن که در شکل ۳-۵ آورده شده است، نوع اقلیم منطقه مطالعاتی خشک محسوب می‌گردد.



شکل ۳-۵: پهنه بندی اقلیمی استان گلستان به روش دمارتن (سازمان هواشناسی استان گلستان، ۱۳۹۶)

### ۳-۲-۳ پوشش گیاهی منطقه

براساس اطلاعات بدست آمده از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، پوشش گیاهی غالب منطقه از نوع چمن پیازک‌دار (*Poa bulbosa*) و گون (*Astragalus gossypinus*) می‌باشد. در شکل ۳-۶ نقشه تپ‌های گیاهی استان گلستان و منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، ۱۳۹۵).



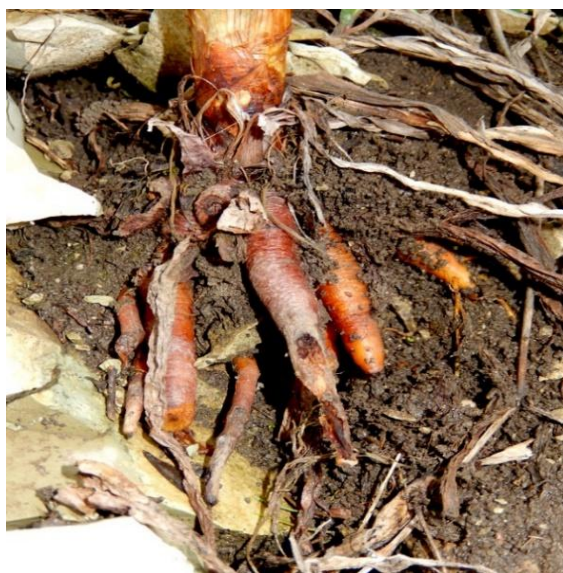
شکل ۳-۶: نقشه تپ‌های گیاهی استان گلستان (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، ۱۳۹۵)

### ۳-۳ گیاه مورد استفاده

در این بخش به معرفی مشخصات گیاه مورد استفاده جهت تهیه مالچ در این تحقیق، ملاک انتخاب و ارزیابی اقتصادی فرایند تثبیت در صورت استفاده از این مالچ طبیعی پرداخته شده است.

### ۳-۳-۱ مشخصات گیاه

گیاه مورد استفاده در این پژوهش گیاه سریش بوده که گیاهی چندساله از خانواده Liliaceae با نام علمی *Eremurus spectabilis* می‌باشد. کلمه سریش (Eremurus) از دو کلمه یونانی Eremos به معنی تنها و مجرد و Oura به معنی دم، تشکیل شده که اشاره به شکل گل آذین و خوشه‌ای آن دارد. این گیاه با نام‌های عمومی زنبق دم روباهی (FoxtailLili)، شمع صحرا (Desert Candle) و آسفودل غول پیکر (Giant Asphodels) شناخته می‌شود. ریشه‌های این گیاه، ضخیم، شبیه به ستاره دریایی و بسیار ترد و شکننده هستند (دشتی و همکاران، ۱۳۸۴). در شکل ۳-۷ نمایی از ریشه و گیاه مورد مطالعه نشان داده شده است.



ب



الف

شکل ۳-۷: نمایی از گیاه سریش مورد مطالعه (الف) و ریشه‌ی آن (ب)

این گیاه مقاوم به تنش‌های محیطی بوده، اما برگ‌های جوان آن‌ها تا اندازه‌ای به یخبندان حساس است. پراکندگی جغرافیایی این گیاه به طور عمده در جنوب غرب آسیا از ترکیه و فلسطین تا آسیای میانه و در کشورهای ترکیه، اسرائیل، لبنان، سوریه، عراق، پاکستان، افغانستان، ایران و قفقاز می‌باشد (Genders, 1994).

سطح خارجی ریشه‌های این گیاه از یک ردیف سلول‌های اپیدرمی تشکیل شده که در زیر آن پارانشیم پوستی قرار گرفته است. این سلول‌ها محتوی مواد ذخیره‌ای و به ویژه چسب می‌باشند (Komarov, 1968). ریشه این گیاه پس از خشک شدن به سادگی پودر شده و در مجاورت با آب چسبناک می‌شود (دشتی و همکاران، ۱۳۸۴).

ارتفاع گیاه سریش عموماً در بازه ۰٫۶-۱ متر قرار دارد و به طور عمده در نواحی سنگی و استپ‌ها رشد می‌کند. این گیاه توانایی رشد در خاک‌های ماسه‌ای، لومی و خاک‌های خوب دانه‌بندی شده در pHهای اسیدی، خنثی و قلیایی را دارد. گیاه مذکور جهت رشد نیازمند نور خورشید بوده و توانایی رشد در سایه را ندارد (دشتی و همکاران، ۱۳۸۴؛ Huxley, 1992).

از جمله قابلیت‌های دیگر این گیاه توانایی رشد در خاک‌های خشک و مرطوب و توانایی تحمل شرایط خشکسالی می‌باشد. با وجود آن که گیاه مذکور گیاهی خودرو بوده و از جمله گیاهان کم آب به حساب می‌آید، در زمستان‌های مرطوب بهتر است یک لایه از ماسه بر روی خاک جهت جلوگیری از یخ زدن ریشه گیاه ریخته شود. خاک مورد استفاده جهت رشد و ریشه دوانی آن نیز می‌بایست دارای حداقل عمق ۱۵ سانتی‌متر باشد (Huxley, 1992; Philips, 1989).

بهترین زمان جهت کاشت دانه‌های این گیاه در فصل پاییز بوده و مدت زمان جوانه زدن گیاه متغیر و بین ۱ تا ۱۲ ماه می‌باشد. عموماً بهترین دما جهت رشد سریع این گیاه دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد است (Genders, 1994).

### ۳-۳-۲ ملاک انتخاب

ملاک انتخاب گیاه سریش جهت تهیه مالچ به قرار زیر بوده است:

- با توجه به توانایی رشد این گیاه در خاک‌های اسیدی، بازی و خنثی و خودرو بودن و مقاومت آن در مقابل خشکسالی می‌توان این گیاه را به راحتی در طیف وسیعی از آب و هوا پرورش داد.



- گیاه مورد نظر گیاهی غیر سمی بوده و پرورش آن در طیف وسیع مشکلی جهت سلامتی انسان و محیط زیست ایجاد نمی کند.
- همچنین با خشک کردن و پودر کردن ریشه این گیاه و ترکیب آن با آب می توان از آن برای ساخت مالچ استفاده نمود.
- مالچ تهیه شده از این گیاه کاملا طبیعی بوده و دارای سازگاری مناسبی با محیط زیست می باشد.
- با توجه به مطالعات انجام شده در این راستا مشخص گردید که تا کنون از این ماده به عنوان مالچ جهت تثبیت خاک استفاده نشده است.

### ۳-۳-۳ ارزیابی اقتصادی

با توجه به آن که گیاه سریش، گیاهی خودرو، کم آب و مقاوم به خشکسالی می باشد، پس از کاشت تنها نیازمند محافظت از آن در مقابل زمستان های مرطوب به وسیله پوشش خاک سطحی با ماسه و قرار گیری گیاه در مقابل نور خورشید است. جهت تهیه پودر نیز تنها نیازمند خشک و آسیاب کردن ریشه این گیاه می باشد. بدین منظور تنها هزینه های لازم جهت تهیه پودر شامل کاشت، خشک کردن و آسیاب کردن ریشه این گیاه است.

### ۳-۴ تونل باد ساخته شده در این تحقیق

تونل باد یک کانال می باشد که هوا با سرعت زیاد در آن جریان دارد. تونل های باد معمولا دارای یک مقطع ورودی، نازل، اتاقک آزمون، یکنواخت کننده جریان و یک ملخ مکنده یا دمنده می باشند (رفاهی، ۱۳۹۱).

## الف- هدف از طراحی

به منظور انجام مطالعات در خصوص نحوه رفتار و تعیین میزان اثر مالچ بر مقدار مقاومت خاک در مقابل فرسایش بادی در سرعت‌های مختلف یک دستگاه تونل باد مدار باز در محیط آزمایشگاه ساخته و راه اندازی گردید.

## ب- معیار طراحی

تونل باد طراحی شده مشابه نمونه مورد استفاده توسط تعدادی از محققین با انجام اصلاحاتی بر روی آن بوده است (شالکوهی و همکاران، ۱۳۹۴؛ اختصاصی، ۱۳۷۰؛ موحدان و همکاران، ۱۳۹۰).

## ج- مشخصات و قابلیت‌های تونل

تونل باد ساخته شده جهت انجام آزمایش‌ها یک تونل باد دمنده مدار باز بوده که از سه جزء اصلی تشکیل شده است. در شکل ۳-۸ نمایی از تونل باد ساخته شده در این تحقیق، نشان داده شده است.



شکل ۳-۸: تونل باد ساخته شده

- قسمت نخست تونل باد شامل موتور و پروانه جهت ایجاد جریان باد می‌باشد. بدین منظور از یک الکتروموتور یک اسب بخار سه فاز با مشخصات ۲۸۰۰ دور در دقیقه، شدت جریان ۱,۶ آمپر، توان ۰,۷۵ کیلووات و قطر پروانه ۴۰ سانتی‌متر استفاده گردید. پروانه مورد استفاده از جنس چدن و با پره‌هایی با جهت ۴۵ درجه نسبت به راستای محور چرخش می‌باشد. ارتفاع قرار گیری موتور به گونه‌ای تنظیم گردید که محور موتور در امتداد مرکز سطح مقطع تونل باد قرار گیرد. برای ایجاد تغییر در سرعت باد، از یک اینورتر سه فاز به تک فاز مدل S310 ساخت شرکت TECO با قابلیت تغییر دور موتور از ۰ تا ۲۸۰۰ دور در دقیقه (شکل ۳-۹) استفاده شد.



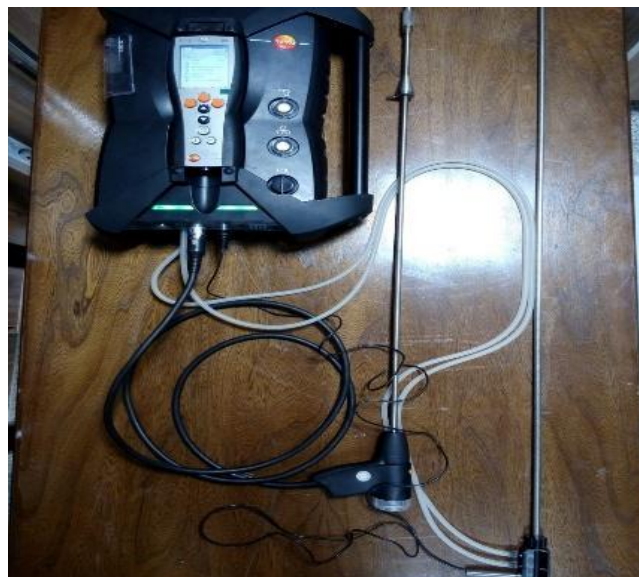
شکل ۳-۹: دستگاه اینورتر سه فاز به تک فاز مورد استفاده در این تحقیق

- بخش دوم تونل باد شامل یک خرطومی جهت کاهش تدریجی قطر و اتصال موتور به دهانه ورودی دستگاه تونل باد می‌باشد. مقطع ابتدا و انتهای این خرطومی دایروی شکل به ترتیب با قطر ۴۵ و ۲۸ سانتی‌متر می‌باشد. در انتهای این خرطومی نیز یک صفحه لانه زنبوری با روزنه‌هایی به ابعاد ۴x۴ سانتی-متر و عمق ۴ سانتی‌متر به منظور یکنواخت سازی جریان در تونل باد تعبیه گردید.

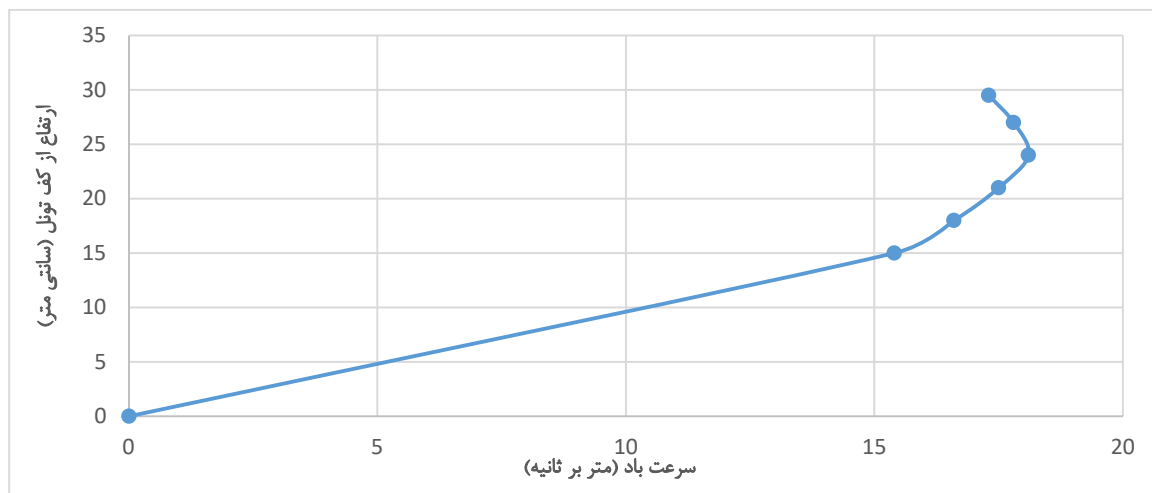
- قسمت سوم دستگاه شامل تونلی به طول ۱ متر، عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. قسمت‌های جانبی و سقف تونل از جنس ورق UPVC به منظور شفافیت و رویت درون تونل و قسمت کف

از ورق آهنی به ضخامت ۲ میلی‌متر جهت پایداری و عدم لرزش آن ساخته شد. همچنین در این قسمت مکانی برای قرار گیری سینی آزمایش به وسیله یک پایه نگهدارنده در ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری از کف تونل تعبیه گردید.

سرعت جریان هوا در ابتدا و انتهای تونل با استفاده از دستگاه آنالیزور مدل Testo350 ساخت آلمان و دارای پراب سرعت جهت آنالیز سرعت باد، اندازه‌گیری شد (شکل ۳-۱۰). اندازه‌گیری سرعت جریان هوا در تونل باد نشان می‌دهد که میزان اختلاف سرعت در ابتدا و انتهای تونل کمتر از ۵ درصد می‌باشد. لذا متوسط این مقدار، به عنوان سرعت باد در وسط تونل انتخاب گردید (موحدان و همکاران، ۱۳۹۰). بر اساس پروفیل ارتفاعی سرعت در تونل باد (شکل ۳-۱۱)، سرعت باد در ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری از کف تونل به حداکثر سرعت مورد نیاز به برای انجام آزمایش‌های فرسایش بادی می‌رسد. همچنین این ارتفاع دارای فاصله کافی از سقف تونل (۱۵ سانتی‌متر) برای بلند شدن و حرکت ذرات خاک می‌باشد (رفاهی، ۱۳۹۱).



شکل ۳-۱۰: دستگاه بادسنج مورد استفاده در تحقیق



شکل ۳-۱۱: پروفیل ارتفاعی سرعت در تونل باد

### ۳-۵ روش‌های مورد استفاده

در این قسمت نحوه شناسایی خاک مورد مطالعه و نحوه انجام آزمایش فرسایش بادی و آنالیزهای مربوط به آن شرح داده شده است.

#### ۳-۵-۱ نحوه شناسایی خاک مورد مطالعه

میزان فرسایش بادی در خاک‌های مختلف، متفاوت می‌باشد (جعفری شالکوهی و همکاران، ۱۳۹۴؛ موحدان و همکاران ۱۳۹۰). به منظور شناخت ویژگی‌های خاک، آزمایش‌های دانه‌بندی، تعیین حدود اتربرگ، میزان رطوبت، چگالی ذرات جامد، مقدار ماده آلی، مقدار کربنات کلسیم،  $pH^1$  و  $EC^2$  و میزان شوری بر روی خاک مورد مطالعه انجام گردید.

1- Potential of Hydrogen  
2- Electrical Conductivity

### ۳-۵-۱-۱ روش تعیین دانه‌بندی و بافت خاک

آزمایش دانه‌بندی خاک برای تعیین توزیع اندازه دانه‌ها در نمونه خاک استفاده می‌شود. در این تحقیق برای تعیین دانه‌بندی خاک دو روش دانه بندی با الک و با استفاده از چگالی سنج به کار برده شد (ASTM D422-63, 2005). در انتها با استفاده از نتایج حاصل از دو روش ذکر شده منحنی دانه‌بندی ذرات خاک رسم گردید.

#### الف- آزمایش دانه‌بندی خاک با الک

جهت تعیین دانه‌بندی خاک ابتدا تمامی خاک به طور کامل با هم مخلوط گردید. پس از آن خاک حاصل به صورت یک مخروط در آورده شده و مخروط بدست آمده به ۴ قسمت مساوی تقسیم گردید. سپس هریک از قسمت‌ها به ۴ قسمت دیگر تقسیم و سه نمونه خاک هریک به میزان ۳۰۰ گرم از ۳ قسمت از ۴ قسمت بدست آمده تهیه گردید. برای دانه بندی خاک الک‌ها با شماره ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۸۰، ۱۴۰ و ۲۰۰ و سینی به ترتیب قرار داده شد. نمونه تهیه شده خاک بر روی الک‌ها ریخته شده و به مدت زمان ۳۰ دقیقه توسط شیکر در جهت افقی تکان داده شد (این آزمایش برای هریک از نمونه‌ها به طور مجزا انجام گرفته است). در انتها مقدار جرم خاک باقی‌مانده بر روی هریک از الک‌ها وزن و یادداشت گردید. براساس مقدار وزن باقی مانده بر روی هر الک نسبت به مقدار وزن کل ذرات الک شده، درصد باقی‌مانده بر روی هر الک بدست آمد (ASTM D422-63, 2005).

#### ب- آزمایش هیدرومتری (چگالی سنج)

دانه‌بندی با چگالی سنج برای تعیین دانه‌بندی آن بخشی از خاک با اندازه کوچکتر از الک شماره ۲۰۰ (۰,۰۷۵ میلی‌متر) به کار می‌رود. حد پایین اندازه ذرات با این روش ۰,۰۰۱ میلی‌متر می‌باشد. در دانه-

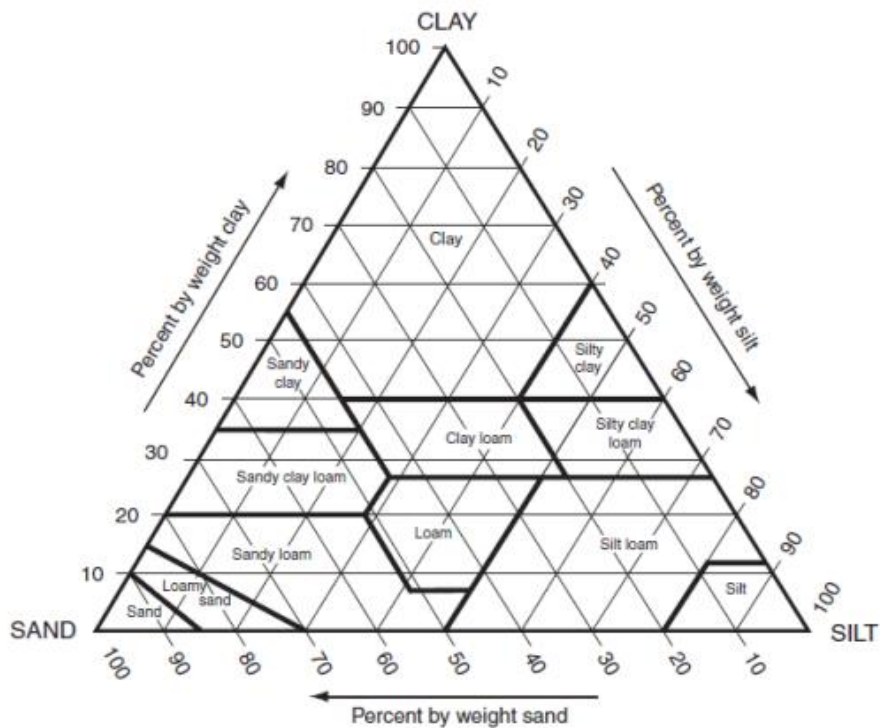
بندی با چگالی سنج، ذرات خاک در آب پراکنده می‌شوند. این آزمایش براساس اندازه‌گیری وزن مخصوص دانه‌های خاک معلق در آب می‌باشد که با گذشت زمان به تدریج رسوب کرده و از وزن مخصوص مایع کاسته می‌شود. لذا میزان کاهش وزن مخصوص مبنای محاسبه مقدار و اندازه ذرات معلق در آب می‌باشد. برای انجام آزمایش ابتدا ۵۰ گرم خاک رد شده از الک نمره ۲۰۰ به تهیه گردید. سپس نمونه خاک به یک استوانه ۱ لیتری حاوی ۱۲۵ میلی‌لیتر محلول ۴ درصد سدیم هگزامتافسفات اضافه گردید. به مخلوط حاصل به مدت زمان ۱۶ ساعت زمان داده شد تا سدیم هگزامتافسفات در خاک نفوذ کند. سپس با اضافه کردن مقداری آب مقطر حجم محلول در استوانه مدرج به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. در انتها چگالی-سنج ASTM 152-H درون محلول قرار داده شده و قرائت در زمان‌های مختلف انجام گرفت. برطبق قرائت‌های انجام شده در زمان‌های مختلف و تاثیر ضریب‌های اصلاحی (مانند ضریب تصحیح هلالی) قطر ذرات رسوب کرده و درصد ذرات ریزتر از محاسبه گردید (ASTM D422-63, 2005).

### ج- تعیین بافت خاک

بر طبق استاندارد (USDA<sup>1</sup>) ذرات رس به ذرات کوچکتر از ۰,۰۰۲ میلی‌متر، ذرات سیلت ۰,۰۰۲-۰,۰۰۵ میلی‌متر، ذرات ماسه ۰,۰۵-۲ میلی‌متر و ذرات شن به ذرات با ابعاد بزرگتر از ۲ میلی‌متر گفته می‌شود. با مقایسه رنج ذرات به دست آمده از آزمایش دانه‌بندی و مقایسه آن با استاندارد (USDA)، خاک مورد آزمایش طبقه بندی گردید. در شکل ۳-۱۲ مثلث طبقه بندی خاک برطبق استاندارد (USDA) آورده شده است.

---

1- United States Department of Agriculture



شکل ۳-۱۲: مثلث طبقه‌بندی بافت خاک بر طبق استاندارد (USDA)

همچنین بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید (USCS<sup>۱</sup>) شن به ذرات کوچکتر از ۴,۷۵ میلی‌متر، ماسه به ذرات دارای قطر ۴,۷۵-۰,۰۷۵ میلی‌متر و ذرات لای و رس به ذرات دارای قطر کوچکتر از ۰,۰۷۵ میلی‌متر اطلاق می‌شود. در این روش براساس درصد ذرات رد شده از الک ۲۰۰ و حدود اتربرگ، بافت خاک تعیین می‌شود (ASTM D2487-06, 2006).

### ۳-۱-۵-۲ روش تعیین درصد رطوبت خاک

جهت تعیین میزان رطوبت نمونه خاک، ابتدا ۱۰ گرم از نمونه خاک درون بوته چینی ریخته شد. پس از تعیین جرم خاک و بوته چینی، بوته چینی درون اون به مدت ۱۲ ساعت و دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس خاک را بیرون آورده و پس از همدمای شدن دمای آن با محیط آزمایشگاه، جرم خاک

1- United Soil Classification System



خشک و بوته چینی با دقت ۰,۰۰۱ گرم وزن گردید. درصد اختلاف وزن نمونه قبل و پس از قرارگیری در آون مشخص کننده درصد رطوبت موجود در خاک است (ASTM D2216-05, 2005).

### ۳-۱-۵-۳ روش تعیین مقدار ماده آلی خاک

به منظور تعیین مقدار ماده آلی خاک، ابتدا ۱۰ گرم از نمونه خاک درون بوته چینی ریخته شد. پس از تعیین جرم خاک و بوته چینی، بوته چینی درون آون به مدت ۱۲ ساعت و دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس خاک را بیرون آورده و پس از همدمای شدن دمای آن با محیط آزمایشگاه، جرم خاک خشک و بوته چینی توسط ترازویی با دقت ۰,۰۰۱ گرم وزن گردید. خاک حاصل از مرحله قبل به همراه بوته چینی درون کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۲ ساعت قرار داده شد. در انتها خاک حاصل از کوره بیرون آورده شده و پس از یکسان شدن دمای آن با دمای محیط وزن گردید. درصد اختلاف وزن نمونه در دو آزمایش انجام شده بیانگر درصد ماده آلی موجود در خاک می‌باشد<sup>۱</sup> APHA (209F, 1995).

### ۳-۱-۵-۴ روش تعیین میزان کربنات کلسیم موجود در خاک

خاک حاصل از مرحله قبل مجدداً درون کوره به مدت زمان ۱۵۰ دقیقه و دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد. خاک را از کوره بیرون آورده و پس از همدمای شدن دمای آن با محیط آزمایشگاه، وزن شده و اختلاف وزن آن با قسمت قبل یادداشت شد. این اختلاف وزن بیانگر مقدار کربنات کلسیم موجود در خاک می‌باشد (Carver, 1971).

---

1- American Public Health Association

### ۳-۵-۱ روش تعیین میزان pH خاک

جهت تعیین میزان pH خاک، مقدار ۲۰ گرم از نمونه خاک درون بشر ریخته شد. سپس ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به خاک اضافه گردیده و مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه به وسیله همزن، هم زده شد. پس از آن مخلوط به مدت یک ساعت در حالت سکون قرار گرفت. در انتها میزان pH توسط دستگاه pH سنج مدل pH7110 ساخت آلمان اندازه‌گیری گردید (EPA<sup>1</sup> SW-846, METOD 9045).

### ۳-۵-۱-۶ روش تعیین میزان هدایت الکتریکی و شوری خاک

جهت تعیین میزان هدایت الکتریکی و شوری خاک، ۱۰ گرم از نمونه خاک درون بشر ریخته و پس از آن ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید. مخلوط به مدت یک ساعت توسط همزن هم زده شده و سپس به مدت یک ساعت در حالت سکون قرار گرفت تا ذرات رسوب کرده و آب داخل بشر زلال شود. در انتها مقدار هدایت الکتریکی و شوری خاک توسط دستگاه EC متر مدل Cond7110 ساخت آلمان اندازه‌گیری گردید (EPA, 2006).

### ۳-۵-۱-۷ روش تعیین حدود اتربرگ خاک

حدود اتربرگ خاک شامل حد روانی و حد خمیری خاک می‌شود. حد خمیری درصد رطوبتی است که در آن خاک از حالت نیمه سفت به حالت خمیر در می‌آید. جهت انجام آزمایش حدخمیری، نمونه خاک به وزن تقریبی ۲۰ گرم و عبوری از الک نمره ۴۰ تهیه گردید. نمونه با آب ترکیب شده تا به حد کافی اشباع شود. نمونه با فشار بین انگشتان دست به صورت یک توده بیضی شکل در آمده و سپس آن را بین انگشتان دست و صفحه شیشه‌ای با سرعت ۸۰ تا ۹۰ بار مالش در دقیقه غلطانده تا هنگامی که فیتیله به قطر ۳,۲ میلی‌متر در آمده و به ۶ تا ۸ قطعه تقسیم شود. این عمل می‌بایست آنقدر ادامه پیدا کند تا

---

1- Environment Protection Agency

خاک تحت فشار لازم برای غلطاندن خرد شده و دیگر نتواند به شکل فیتیله در آید. پس از آن تکه‌های خرد شده خاک جمع شده و در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۲ ساعت قرار داده شد. در انتها نسبت درصد وزنی نمونه خاک، قبل و پس از قرارگیری در آون بیان کننده حد خمیری آن خاک می‌باشد (ASTM D422-63, 2007).

حد روانی خاک درصد رطوبتی است که خاک در آن از حالت خمیری به حالت مایع در می‌آید. برطبق روش استاندارد ابتدا نمونه‌ای به وزن ۵۰ گرم خاک عبوری از الک ۴۰ انتخاب و سپس با مقداری آب مقطر بر روی سطح شیشه مخلوط شده تا خمیر نرم و یکنواختی بدست آید. خمیر حاصل داخل پیاله دستگاه حد روانی قرار گرفته و به وسیله میله شیارزن، عمود بر سطح پیاله از قسمت عقب به جلوی نمونه خاک در آن شکافی ایجاد می‌گردد. دسته دستگاه با سرعت ۲ دور در ثانیه چرخانده تا نمونه به طول حدود ۱۲٫۷ میلی‌متر در ته شیار به یکدیگر برسند. این آزمایش برای تعداد ضربه‌های ۲۵-۱۵، ۳۰-۲۰ و ۳۵-۲۵ انجام می‌گیرد (ASTM D422-63, 2007).

### ۳-۵-۱-۸ تعیین چگالی خاک ( $G_s^1$ )

جهت تعیین میزان چگالی خاک ابتدا ۱۰۰ گرم خاک عبوری از الک شماره ۴، تهیه گردید. نمونه درون بشر ریخته شده و به مدت ۱۵ ساعت غرقاب شد. پس از آن آب روی نمونه اشباع خالی و سطح آن توسط کاردک صاف شد. سپس به خاک فرصت کافی داده شده تا خشک شود. ۵۰ گرم از نمونه درون پیکنومتر ریخته شده و تا حدود ۹۰ درصد از آن با آب پر گردید. پیکنومتر را به مدت ۱ ساعت در همین وضعیت قرار داده و هنگامی که دیگر هیچ حباب هوایی از آن خارج نشود درون آن مجدداً آب ریخته تا سطح آب به میزان قبلی برسد. در انتها نمونه وزن شده و با توجه به وزن پیکنومتر پر از آب و وزن نمونه خشک

---

1- Specific Gravity

خاک، وزن مخصوص نسبی واقعی ذرات جامد خاک براساس استاندارد انجمن مواد و آزمون آمریکا تعیین شد (ASTM D854-14, 2014).

### ۳-۵-۲ نحوه تهیه مالچ

برای تهیه پودر، ریشه گیاه سریش خشک و آسیاب گردید. پودر حاصل را از الک نمره ۱۴۰ عبور داده و ذرات دارای قطر کوچکتر از ۰,۱۲ میلی‌متر برای ساخت مالچ استفاده شد. دلیل انجام این عمل نیز پاکسازی پودر ریشه گیاه از ناخالصی‌ها (مانند ذرات چوب و...) و یکسان سازی و مشخص نمودن رنج ذرات به کار رفته در این تحقیق بوده است.

مقدار پودر مورد نیاز برای تهیه مالچ در هر یک از آزمایش‌ها با استفاده از ترازوی WT مدل WT5003N با دقت ۰,۰۰۱ گرم وزن و درون یک بشر ریخته شد. سپس هر بشر بر روی استیرر DRAGONLAB مدل MS-H-Pro قرار گرفته و مقدار آب مورد نیاز با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به تدریج و همزمان با هم‌زدن نمونه برای تهیه مالچ‌هایی با غلظت‌های مختلف اضافه گردید. نمونه به مدت زمان ۱ دقیقه و با سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه هم‌زده شد تا تمامی پودر اضافه شده به طور کامل در آب حل گردد. مالچ حاصل برای تشکیل فلاک‌ها به مدت زمان ۱ دقیقه در حالت سکون قرار گرفت. براساس مشاهدات افزایش مدت زمان سکون مالچ موجب پدیده خود چسبایی به جای دگر چسبایی و ایجاد مشکل در هنگام پاشش در غلظت‌های بالا می‌شود. همچنین در اثر افزایش طولانی مدت زمان نگهداری مالچ، میزان چسبندگی مالچ تهیه شده در اثر رسوب مقداری از ذرات پودر سریش موجود در محلول، کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است کلیه مراحل ساخت مالچ در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سانتی‌گراد) انجام گردید.

### ۳-۵-۳ نحوه تهیه نمونه تیمار شده جهت انجام آزمایش فرسایش بادی

برای جداسازی بخش فرسایش پذیر خاک مورد مطالعه از ذرات درشت دانه مانع فرسایش، نمونه خاک از الک شماره ۱۰ با قطر منافذ ۲ میلی‌متر عبور داده شد (رفاهی ۱۳۹۱). خاک حاصل درون سینی به ابعاد ۳۰×۲۰ سانتی‌متر و عمق ۲ سانتی‌متر، به مقدار یک کیلو و سیصد و پنجاه گرم ریخته شده و سطح آن کاملاً صاف گردید (ملکی‌کالکر و همکاران، ۱۳۹۵؛ حسیرتی و زارعرانی، ۱۳۹۲؛ موحدان و همکاران، ۱۳۹۰). سپس مالچ مورد نظر به مقدار مشخص از ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری (جعفری شالکوهی و همکاران، ۱۳۹۴) بر روی سطح خاک درون سینی با استفاده از یک مالچ‌پاش دستی بطور کامل و یکنواخت پاشیده شد (مجدی و همکاران، ۱۳۸۵؛ اختصاصی و حسیرتی، ۱۳۹۴؛ Ketabi et al, 2017). نمونه‌های مالچ پاشی شده درون آون به مدت زمان ۴۸ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد (متناسب با حداکثر دمای مطلق منطقه مورد مطالعه) قرار گرفت تا آب اضافه شده تبخیر و رطوبت نمونه به رطوبت اولیه خاک برسد (Robichaud et al, 2017; Ketabi et al, 2017). برای یکسان سازی دمای نمونه و محیط آزمایشگاه، نمونه بدست آمده به مدت ۳ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار داده شد.

### ۳-۵-۴ نحوه انجام آزمایش فرسایش بادی

در این مرحله بایستی هریک از نمونه‌ها به منظور تعیین عملکرد مالچ پیشنهادی بر مقاومت خاک در مقابل فرسایش بادی درون تونل باد قرار گیرد. بدین منظور هریک از نمونه‌ها قبل و پس از قرارگیری در تونل باد وزن گردید. اختلاف وزن نمونه قبل و پس از انجام آزمایش برابر میزان خاک فرسایش یافته در طی آزمایش می‌باشد (موحدان و همکاران، ۱۳۹۰؛ جعفری شالکوهی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Robichaud et al, 2017; Han et al, 2009).

### ۵-۵-۳ پارامترهای مورد بررسی در آزمایش فرسایش بادی

برای تعیین میزان تاثیر هریک از پارامترهای موثر بر مقدار فرسایش بادی نمونه‌ها، پنج پارامتر متغیر غلظت مالچ، مقدار پاشش، سرعت باد، مدت زمان انجام آزمایش و دما مورد بررسی قرار گرفت.

#### ۱-۵-۵-۳ غلظت مالچ

به منظور تعیین میزان تاثیر غلظت مالچ بر مقدار فرسایش پذیری خاک، ۷ نمونه مالچ با غلظت‌های مختلف تهیه گردید. جدول ۲-۳ و شکل ۳-۱۳ به ترتیب مشخصات نمونه خاک‌های تیمار شده و نشده و تصویر مالچ‌های تهیه شده جهت تثبیت خاک را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۳: تیمارهای انتخاب شده جهت تثبیت خاک

| علامت اختصاری نمونه | مشخصات نمونه (برحسب درصد وزنی)         |
|---------------------|--|
| T <sub>N</sub>      | خاک تیمار نشده                         |
| T <sub>w</sub>      | خاک تیمار شده با آب                    |
| T <sub>1</sub>      | خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۱ درصد |
| T <sub>2</sub>      | خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۲ درصد |
| T <sub>3</sub>      | خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۳ درصد |
| T <sub>4</sub>      | خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۴ درصد |
| T <sub>5</sub>      | خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۵ درصد |
| T <sub>6</sub>      | خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۶ درصد |
| T <sub>7</sub>      | خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۷ درصد |



شکل ۳-۱۳: مالچ‌های تهیه شده جهت تثبیت خاک

### ۳-۵-۲ مقدار پاشش مالچ

به منظور بررسی تاثیر مقدار پاشش مالچ بر خاک در میزان فرسایش آن، مالچ‌ها در دو حجم مختلف ۱۵ و ۲۵ میلی‌لیتر (۲۵۰ و ۴۲۰ میلی‌لیتر بر مترمربع) به طور کاملاً یکنواخت بر روی سطح خاک به وسیله یک مالچ‌پاش دستی پاشیده شد. همچنین برای تهیه نمونه شاهد، بر روی دو نمونه خاک به ترتیب مقادیر ۱۵ و ۲۵ میلی‌لیتر آب خالص، مشابه دیگر نمونه‌ها پاشیده گردید. در جدول ۳-۳ مقدار پودر مورد نیاز جهت تهیه مالچ در هر مترمربع از خاک مورد مطالعه، در غلظت و مقدار پاشش‌های مختلف نشان داده شده است.

جدول ۳-۳: مقدار پودر مورد نیاز جهت تهیه مالچ به ازای هر مترمربع ( $\text{gr/m}^2$ )

| T <sub>7</sub> | T <sub>6</sub> | T <sub>5</sub> | T <sub>4</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>2</sub> | T <sub>1</sub> | شماره تیمار                    |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|
|                |                |                |                |                |                |                | مقدار پاشش ( $\text{mm/m}^2$ ) |
| ۱,۷۵           | ۱,۵۰           | ۱,۲۵           | ۱              | ۰,۷۵           | ۰,۵۰           | ۰,۲۵           | ۲۵۰                            |
| ۲,۹۴           | ۲,۵۲           | ۲,۱۰           | ۱,۶۸           | ۱,۲۶           | ۰,۸۴           | ۰,۴۲           | ۴۲۰                            |

### ۳-۵-۵-۳ سرعت باد

برای تعیین میزان مقاومت نمونه‌های تیمار شده و تیمار نشده در مقابل فرسایش بادی، هریک از نمونه‌ها درون تونل باد به مدت زمان ۵ دقیقه در مقابل سرعت‌های مختلف باد قرار گرفت. آزمایش‌ها با سرعت باد ۶ متر بر ثانیه (متناسب با میانگین سرعت باد حداقل سالیانه منطقه مورد مطالعه) آغاز گردید. سپس به منظور ارزیابی میزان مقاومت نمونه‌ها در مقابل سرعت‌های بالاتر، سرعت باد به ۹، ۱۲ و ۱۵ متر بر ثانیه متناسب با میانگین سرعت باد سالیانه، میانگین سرعت باد حداکثر سالیانه و میانگین سرعت باد حداکثر ماهیانه منطقه مورد مطالعه افزایش یافت (Robichaud et al, 2017; Ketabi et al, 2017; Yang et al, 2013).

### ۳-۵-۵-۴ مدت زمان وزش باد

به منظور انجام آزمایش فرسایش بادی هریک از نمونه‌ها به مدت زمان ۵ دقیقه در مقابل سرعت‌های مختلف باد درون تونل قرار گرفت (ملکی کالکر و همکاران، ۱۳۹۵؛ Robichaud et al, 2017; Ketabi et al, 2017). برای تعیین الگوریتم تغییر میزان فرسایش برحسب زمان، هریک از نمونه‌ها پس از قرارگیری در تونل باد به فاصله زمانی هر ۱ دقیقه وزن گردید (Zhang et al, 2007; Zobeck et al, 2013; Han et al, 2009). اختلاف وزن نمونه، قبل و پس از فرسایش، بیانگر میزان خاک فرسایش یافته در هر بازه زمانی می‌باشد.

### ۳-۵-۵-۵ دما

کلیه آزمایش‌های اولیه کنترل فرسایش خاک در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سانتی‌گراد) انجام پذیرفته است. به منظور تعیین تاثیر دما بر میزان مقاومت نمونه‌ها در مقابل فرسایش بادی، خاک در دمای ۱۹،



۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد (به ترتیب برابر با میانگین، میانگین حداکثر و حداکثر دمای مطلق منطقه مورد مطالعه) به مدت ۳ ساعت در داخل اتاقک گرما گذاشته شد. پس از آن مالچ منتخب تهیه شده (مالچی که توانایی مقاومت در برابر فرسایش بادی را داشته است) در همان دما بر روی خاک هم دما با آن به مقدار مشخص پاشیده شد. سپس هریک از نمونه‌ها مجدداً درون اتاقک گرما و در دمای مخصوص به خود به مدت ۴۸-۷۲ ساعت قرار گرفت. (کوپایی‌نیا و افضل، ۱۳۹۴؛ Ketabi et al, 2017). سپس هریک از نمونه‌ها درون تونل باد به منظور انجام آزمایش فرسایش بادی قرار داده شد و میزان فرسایش بادی آن‌ها در مقابل هریک از سرعت بادهای مورد مطالعه طی مدت زمان ۵ دقیقه اندازه‌گیری گردید.

### ۳-۵-۶ شرایط محیطی

به منظور تعیین تاثیر شرایط محیطی و مدت زمان ماندگاری بر نمونه منتخب (نمونه تیمار شده با مالچ و مقدار پاشش منتخب) و نمونه شاهد نظیر آن (تیمار شده با آب خالص با همان مقدار پاشش) هریک از نمونه‌ها پس از پاشش مالچ، به مدت ۳۰ روز در محوطه‌ای دارای تهویه و در معرض نور مستقیم خورشید قرار داده شد. پس از گذشت این مدت زمان رطوبت خاک بررسی گردید تا مقدار رطوبت نمونه‌های قرار گرفته در شرایط طبیعی نیز همانند دیگر نمونه‌های خشک شده در آن به مقدار رطوبت اولیه خاک قبل از مالچ پاشی رسیده باشد. سپس نمونه شاهد و منتخب درون تونل باد جهت تعیین میزان تاثیر شرایط محیطی بر مقدار مقاومت آن‌ها در برابر فرسایش بادی قرار داده شد (جعفری شالکوهی و همکاران، ۱۳۹۴، حضیرئی و زارع‌ارنانی، ۱۳۹۲؛ Corti et al, 2010).

### ۳-۵-۶ تعیین مقدار نفوذ مالچ و تغییر ضخامت لایه تثبیت شده خاک

مالچ‌پاشی و نفوذ آن در خاک سبب ایجاد یک لایه بهم چسبیده یا سله بر روی سطح خاک می‌گردد. میزان نفوذ مالچ در هریک از نمونه‌های خاک در ۹ نقطه توسط خط‌کش با دقت ۰,۱ میلی‌متر اندازه‌گیری

شده و مقدار متوسط آن به عنوان مقدار نفوذ مالچ مورد نظر بیان گردید (اختصاصی و حضیرئی، ۱۳۹۴؛ حضیرئی و زارع‌ارنانی، ۱۳۹۲؛ Ketabi and et al, 2017). همچنین مقدار کاهش ضخامت لایه تثبیت شده خاک پس از انجام آزمایش فرسایش بادی اندازه گیری شد (Robichaud, et al, 2017; Ketabi et al, 2017).

### ۳-۵-۷ روش بررسی تاثیر مالچ بر مقادیر EC و pH خاک

گونه‌های مختلف گیاهان عمدتاً در خاک با مقادیر pH، EC و مقدار شوری مخصوص به خود رشد می‌کنند. پاشیدن مالچ می‌تواند موجب تغییر در این مقادیر شود. تغییرات در هریک از این مقادیر می‌تواند موجب آسیب به گیاه و یا جلوگیری از رشد و تکثیر آن شود. به منظور کنترل میزان تغییرات در مقادیر pH، EC و میزان شوری خاک، مقدار این سه پارامتر پس از مالچ پاشی با مالچ منتخب مورد آزمایش قرار گرفت. بدین منظور نمونه منتخب تهیه شده در یک مکان دارای تهویه قرار داده شد و پس از رسیدن رطوبت نمونه تیمار شده به رطوبت اولیه مقادیر pH، EC و میزان شوری خاک اندازه‌گیری گردید.

### ۳-۵-۸ آنالیز XRD

در پراش اشعه X، یک سری پرتوهای X موازی با طول موج  $Y=0.5 - 2A$  طبق قانون براگ به نمونه تابیده شده و توسط فاز کریستاله موجود در نمونه، بازتاب می‌گردند. شدت پرتو X بازتابیده شده بر اساس تابعی از زاویه پراش تتا و جهت نمونه اندازه‌گیری می‌شود. از الگوی انکسار جهت تشخیص فاز کریستال نمونه و اندازه‌گیری خواص ساختاری شامل کشش، اندازه و جهت ذرات بلورین استفاده شود. XRD هم-چنین می‌تواند نمودار تمرکز، ضخامت لایه، ساختار اتمی در مواد بی‌شکل و چند لایه را تشخیص دهد (ملکی کالکر و همکاران، ۱۳۹۵؛ Ketabi et al, 2017).

به منظور بررسی تاثیر مالچ‌پاشی و فرایند تثبیت بر ساختار معدنی خاک، نمونه منتخب تیمار شده با مالچ منتخب به همراه یک نمونه خاک تیمار نشده در شرایط محیطی یکسان در یک مکان دارای تهویه قرار داده شد. پس از رسیدن رطوبت نمونه تیمار شده به رطوبت اولیه، نمونه‌ها برای انجام آنالیز XRD به آزمایشگاه فیزیک دانشگاه دامغان ارسال گردید.

### ۳-۵-۹ آنالیز SEM<sup>۱</sup>

SEM نوعی میکروسکوپ الکترونی می‌باشد که با اسکن کردن نمونه با استفاده از پرتو متمرکز الکترون، تصویری از آن تولید می‌کند. در این روش الکترون‌ها با اتم‌های موجود در نمونه برخورد کرده و سیگنال‌های متفاوتی تولید می‌کنند که قابل تشخیص بوده و حاوی اطلاعاتی از توپوگرافی و ساختار سطح نمونه می‌باشد. اندازه ذرات حدود ۱ نانومتر نیز توسط SEM قابل اندازه‌گیری می‌باشد (ملکی کالکر و همکاران، ۱۳۹۵؛ Ketabi and et al, 2017). پرتو الکترونی تابیده شده بر روی نقطه کوچکی از سطح نمونه به قطر ۱ نانومتر متمرکز می‌شود. در نتیجه‌ی برخورد این پرتو الکترونی به نمونه، سیگنال‌های مختلف با شدت‌های متفاوت ایجاد و اندازه‌گیری شده و در حافظه کامپیوتر ذخیره می‌شود. مقادیر ذخیره شده به صورت تابعی از روشنایی، تصویر می‌شود. سیگنال‌های الکترون ثانویه<sup>۲</sup> (SE)، بیشترین سیگنال مورد استفاده می‌باشد. این سیگنال‌ها با توجه به توپوگرافی سطح نمونه، تغییر می‌کنند. لبه‌ها روشن و تورفتگی‌ها تاریک می‌باشند. نسبت اندازه عکس نمایش داده شده به اندازه‌ی منطقه‌ی اسکن شده بر روی نمونه مورد آزمایش، بزرگ‌نمایی را مشخص می‌کند (FEI Company, 2012).

در این تحقیق با عکسی که توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از نمونه با بزرگ‌نمایی مشخص گرفته می‌شود، برای بررسی و مشخص کردن توانایی مالچ منتخب در چسبندگی ذرات خاک به یکدیگر و

---

1- Scanning Electron Microscopy  
2- Secondary electron

نفوذ آن در حفرات خاک استفاده شد. جهت انجام آزمایش نمونه منتخب مالچ‌پاشی شده به همراه یک نمونه شاهد به مرکز پژوهش متالوژی رازی به منظور عکس برداری با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ارسال گردید.



# فصل چہارم

## نتایج و بحث

## ۴-۱ مقدمه

این بخش به ارائه نتایج حاصل از آزمایشات در ارتباط با ویژگی‌های خاک، میزان فرسایش بادی خاک و تاثیر مالچ مورد استفاده در کاهش آن فرسایش، میزان نفوذ مالچ در خاک، ضخامت لایه تثبیت شده خاک، تاثیر دما بر فرایند تثبیت و تغییرات EC و pH خاک پس از تثبیت توسط مالچ و تحلیل این نتایج اختصاص یافته است.

## ۴-۲ ویژگی‌های خاک مورد مطالعه

مشخصات خاک مورد مطالعه با انجام آزمایش‌های دانه‌بندی، تعیین حدود اتربرگ، مقدار کربنات کلسیم، ماده آلی، pH و EC آن مشخص گردید. شایان ذکر می‌باشد که کلیه آزمایشات با حداقل سه تکرار (Triplicate) صورت پذیرفت. در ادامه نتایج هریک از این آزمایش‌ها ارائه گردیده است.

### ۴-۲-۱ دانه‌بندی و بافت خاک

تعیین دانه‌بندی خاک با روش دانه بندی با الک (برای بخش درشت‌دانه) و چگالی سنج (برای بخش ریزدانه) انجام شد.

### الف- دانه‌بندی خاک با استفاده از الک

نتایج حاصل از دانه بندی خاک با الک به صورت میانگین وزن مقدار خاک باقی‌مانده و عبوری از هر الک در جدول ۴-۱ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیش از ۹۰ درصد ذرات تشکیل دهنده خاک مورد مطالعه کوچکتر از الک شماره ۲۰۰ (۰,۰۷۵ میلی‌متر) بوده و این خاک عاری از ذرات با قطر بزرگ‌تر

از ۲ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰، خاک مورد مطالعه در زمره خاک‌های ریزدانه قرار می‌گیرد (ASTM D248).

جدول ۴-۱: نتایج دانه‌بندی خاک با استفاده از الک

| مشخصات الک |                   | میانگین وزنی نمونه‌ها                    |                            |            |
|------------|-------------------|--|----------------------------|------------|
| شماره الک  | قطر هر سوراخ (mm) | وزن نمونه باقی مانده بر روی هر الک (گرم) | درصد وزنی نمونه باقی مانده | درصد عبوری |
| NO 10      | ۲                 | ۰  | ۰                          | ۱۰۰        |
| NO 30      | ۰,۶               | ۰,۲                                      | ۰,۲                        | ۹۹,۸       |
| NO 50      | ۰,۳               | ۰,۵                                      | ۰,۵                        | ۹۹,۳       |
| NO 80      | ۰,۱۸              | ۰,۹                                      | ۰,۹                        | ۹۸,۴       |
| NO 140     | ۰,۱۰۶             | ۲,۱                                      | ۲,۱                        | ۹۶,۳       |
| NO 200     | ۰,۰۷۵             | ۵,۱                                      | ۵,۱                        | ۹۱,۲       |
| سینی       | -                 | ۹۱,۲                                     | ۹۱,۲                       | -          |
| مجموع      | -                 | ۱۰۰                                      | ۱۰۰                        | -          |

#### ب- دانه‌بندی خاک با روش چگالی سنج

دانه‌بندی ذرات خاک کوچک‌تر از الک نمره ۲۰۰ (۰,۰۷۵ میلی‌متر) با استفاده از چگالی سنج برای ۳ نمونه خاک در دمای یکسان انجام گردید. میانگین اعداد قرائت شده حاصل از ۳ تکرار به عنوان عدد قرائت چگالی سنج در نظر گرفته شده و براساس آن و با انجام ضریب تصحیحات لازم، قرائت اصلاح شده، قطر ذرات و درصد ذرات ریزتر بدست آمد (جدول ۴-۲).



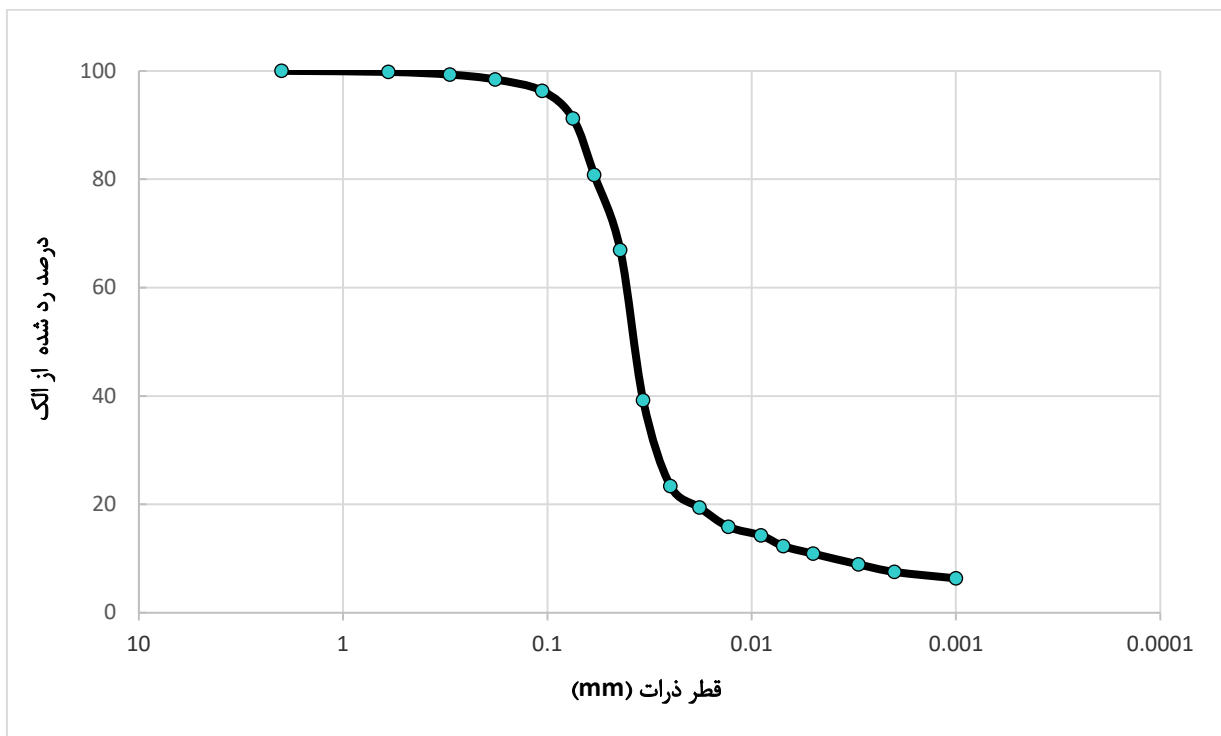
جدول ۴-۲: نتایج دانه‌بندی خاک به روش هیدرومتری

| زمان (min) | درجه حرارت (c) | قرائت چگالی سنج | ضریب تصحیح دما | ضریب تصحیح هلالی | تصحیح صفر | قرائت اصلاح شده | درصد ریزتر (%) | طول فرورفتگی (cm) | قطر ذرات (mm) |
|------------|----------------|-----------------|----------------|------------------|-----------|-----------------|----------------|-------------------|---------------|
| ۰,۵        | ۲۰             | ۴۴              | ۰              | -۰,۵             | -۲,۷      | ۴۰,۸            | ۸۰,۷۸          | ۹,۶               | ۰,۰۵۹         |
| ۱          | ۲۰             | ۳۷              | ۰              | -۰,۵             | -۲,۷      | ۳۳,۸            | ۶۶,۹۲          | ۱۰,۷              | ۰,۰۴۴         |
| ۲          | ۲۰             | ۲۳              | ۰              | -۰,۵             | -۲,۷      | ۱۹,۸            | ۳۹,۲۰          | ۱۳                | ۰,۰۳۴         |
| ۴          | ۲۰             | ۱۵              | ۰              | -۰,۵             | -۲,۷      | ۱۱,۸            | ۲۳,۳۶          | ۱۴,۳              | ۰,۰۲۵         |
| ۸          | ۲۰             | ۱۳              | ۰              | -۰,۵             | -۲,۷      | ۹,۸             | ۱۹,۴۰          | ۱۴,۷              | ۰,۰۱۸         |
| ۱۵         | ۲۱             | ۱۱              | ۰,۲            | -۰,۵             | -۲,۷      | ۸               | ۱۵,۸۴          | ۱۵                | ۰,۰۱۳         |
| ۳۰         | ۲۲             | ۱۰              | ۰,۴            | -۰,۵             | -۲,۷      | ۷,۲             | ۱۴,۲۶          | ۱۵,۲              | ۰,۰۰۹         |
| ۶۰         | ۲۲             | ۹               | ۰,۴            | -۰,۵             | -۲,۷      | ۶,۲             | ۱۲,۲۸          | ۱۵,۳              | ۰,۰۰۷         |
| ۱۲۰        | ۲۳             | ۸               | ۰,۷            | -۰,۵             | -۲,۷      | ۵,۵             | ۱۰,۸۹          | ۱۵,۴              | ۰,۰۰۵         |
| ۲۴۰        | ۲۳             | ۷               | ۰,۷            | -۰,۵             | -۲,۷      | ۴,۵             | ۸,۹۱           | ۱۵,۵              | ۰,۰۰۳         |
| ۴۸۰        | ۲۴             | ۶               | ۱              | -۰,۵             | -۲,۷      | ۳,۸             | ۷,۵۲           | ۱۵,۶              | ۰,۰۰۲         |
| ۱۴۴۰       | ۲۲             | ۶               | ۰,۴            | -۰,۵             | -۲,۷      | ۳,۲             | ۶,۳۴           | ۱۵,۸              | ۰,۰۰۱         |

### ج- منحنی دانه‌بندی و بافت خاک

برطبق نتایج حاصل از دانه‌بندی خاک با الک و چگالی‌سنج، منحنی نهایی دانه بندی خاک در شکل ۴-۱

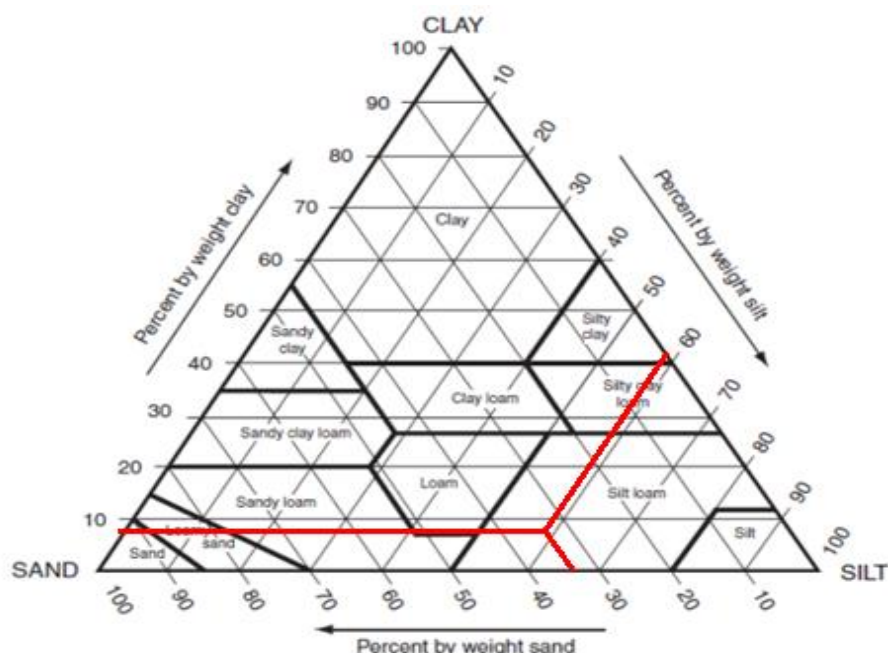
رسم گردیده است.



شکل ۴-۱: منحنی دانه‌بندی خاک مورد مطالعه

خاک مورد مطالعه بر اساس نتایج حاصل از منحنی دانه‌بندی (شکل ۴-۱) و مطابق با استاندارد دیپارتمان کشاورزی آمریکا (USDA<sup>۱</sup>) دارای ۳۳,۰۸ درصد ماسه، ۵۹,۴۰ درصد سیلت و ۷,۵۲ درصد رس بوده و در محدوده خاک های لومی سیلتی قرار می‌گیرد (شکل ۴-۲). همچنین براساس طبقه بندی یونیفاید (USCS<sup>۲</sup>) خاک مورد مطالعه عاری از ذرات شن و دارای ۸,۸۰ درصد ماسه و ۹۱,۲ درصد سیلت و رس می‌باشد. با توجه به اینکه طوفان‌های ریزگردی معمولاً در مناطقی با خاک دارای مقادیر زیادی ماسه ریز و سیلت اتفاق می‌افتد (رفاهی، ۱۳۹۱)، خاک مورد مطالعه در زمره خاک‌های مستعد فرسایش قرار دارد.

1- United States Department of Agriculture  
2- United Soil Classification System



شکل ۴-۲: بافت خاک مورد مطالعه براساس مثلث طبقه‌بندی خاک بر طبق استاندارد USDA

#### ۴-۲-۲ درصد رطوبت خاک

میزان رطوبت موجود در خاک نقش قابل توجهی را در میزان فرسایش پذیری آن خاک دارد. هرچه میزان رطوبت خاک کمتر باشد، سرعت باد آستانه فرسایش پذیری خاک نیز کمتر می‌شود (Lambe and Whitman, 1969; Han et al, 2009). آزمایش تعیین درصد رطوبت خاک در شرایط آزمایشگاهی انجام شد که نتایج حاصل در جدول ۴-۳ ارائه گردیده است. با توجه به نتایج، خاک مورد مطالعه دارای درصد رطوبتی کمتر از ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۳: مقدار رطوبت خاک مورد مطالعه

| شماره نمونه | وزن اولیه خاک (گرم) | میزان رطوبت (گرم) | درصد رطوبت (%) |
|-------------|---------------------|-------------------|----------------|
| ۱           | ۱۰                  | ۰,۰۷۵             | ۰,۷۵           |
| ۲           | ۱۰                  | ۰,۰۷۷             | ۰,۷۷           |
| ۳           | ۱۰                  | ۰,۰۷۹             | ۰,۷۹           |
| میانگین     | ۱۰                  | ۰,۰۷۷             | ۰,۷۷           |

#### ۴-۲-۳ مقدار ماده آلی خاک

مواد آلی موجود در خاک در پایداری خاک‌دانه‌ها موثر هستند و عمدتاً خاک‌هایی قابل فرسایش است که مقدار ماده آلی آن‌ها کمتر از ۲ درصد باشد (رفاهی، ۱۳۹۱؛ Zobeck et al, 2013). با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش‌های انجام شده خاک مورد مطالعه دارای ۰,۹ درصد ماده آلی می‌باشد (جدول ۴-۴). برطبق استاندارد USDA این خاک با مقدار ماده آلی در محدوده ۰,۵-۱ درصد، در رده خاک‌های با مقدار ماده آلی پایین قرار می‌گیرد.

جدول ۴-۴: مقدار ماده آلی خاک مورد مطالعه

| شماره نمونه | وزن اولیه خاک (گرم) | مقدار ماده آلی (گرم) | درصد ماده آلی (%) |
|-------------|---------------------|----------------------|-------------------|
| ۱           | ۱۰                  | ۰,۰۸۹                | ۰,۸۹              |
| ۲           | ۱۰                  | ۰,۰۹۰                | ۰,۹۰              |
| ۳           | ۱۰                  | ۰,۰۹۲                | ۰,۹۲              |
| میانگین     | ۱۰                  | ۰,۰۹۰                | ۰,۹۰              |

#### ۴-۲-۴ میزان کربنات کلسیم موجود در خاک

کربنات کلسیم موجود در خاک موجب افزایش استحکام، pH و در عین حال افزایش جذب آلودگی‌ها به خاک می‌گردد (خدادادی و فوریورو، ۱۳۸۳). براساس نتایج حاصل از آزمایشات که به منظور تعیین میزان کربنات کلسیم موجود در خاک صورت گرفته است، میانگین درصد کربنات کلسیم موجود در خاک مورد مطالعه برابر با ۷,۶ درصد می‌باشد. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها در جدول ۴-۵ نشان داده شده است.

جدول ۴-۵: مقدار کربنات کلسیم خاک مورد مطالعه

| شماره نمونه | وزن اولیه خاک (گرم) | مقدار کربنات کلسیم موجود در خاک (گرم) | درصد کربنات کلسیم موجود در خاک |
|-------------|---------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| ۱           | ۱۰                  | ۰,۷۶۰                                 | ۷,۶                            |
| ۲           | ۱۰                  | ۰,۷۳۶                                 | ۷,۴                            |
| ۳           | ۱۰                  | ۰,۷۶۹                                 | ۷,۷                            |
| میانگین     | ۱۰                  | ۰,۷۵۵                                 | ۷,۶                            |

#### ۴-۲-۵ میزان pH خاک

افزایش میزان pH خاک موجب ازدیاد تحمل خاک در مقابل ترکیبات اسیدی گردیده و مقاومت خاک را در مقابل فرسایش افزایش می‌دهد (خدادادی و فوریورو، ۱۳۸۳). بر طبق نتایج بدست آمده، pH خاک مورد مطالعه ۸,۱ می‌باشد (جدول ۴-۶). براساس نتایج حاصل و برطبق رده‌بندی سازمان کشاورزی آمریکا (USDA)، pH خاک مورد مطالعه در بازه ۸-۱۰ قرار داشته و در رده خاک‌های قلیایی قرار می‌گیرد.

جدول ۴-۶: مقدار pH خاک

| شماره نمونه | مقدار pH |
|-------------|----------|
| ۱           | ۸,۱      |
| ۲           | ۸,۲      |
| ۳           | ۸        |
| میانگین     | ۸,۱      |

#### ۴-۲-۶ هدایت الکتریکی و شوری خاک

افزایش شوری باعث کاهش اثر پراکندگی ذرات خاک به وسیله سدیم می‌شود. سدیم در خاک همانند کاتیون‌های با شعاع غیر هیدراته بزرگ عمل کرده و باعث اتصال ذرات معدنی و در نتیجه افزایش پایداری

خاک نسبت به سایش می‌شود (مجدی و همکاران، ۱۳۸۵). نتایج حاصل از آزمایش‌های تعیین میزان هدایت الکتریکی و شوری خاک مورد مطالعه بیانگر مقدار شوری برابر با ۱,۲ گرم در لیتر و مقدار هدایت الکتریکی ۲,۴۰ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. برطبق استاندارد USDA خاک مورد مطالعه در رده خاک‌های با میزان شوری کم قرار دارد. نتایج این آزمایش‌ها در جدول ۴-۷ ارائه شده است.

جدول ۴-۷: مقدار شوری و هدایت الکتریکی خاک مورد مطالعه

| شماره نمونه | هدایت الکتریکی (EC)<br>(mS/cm) | شوری خاک<br>(g/L) |
|-------------|--------------------------------|-------------------|
| ۱           | ۲,۳۷                           | ۱,۲               |
| ۲           | ۲,۴۰                           | ۱,۲               |
| ۳           | ۲,۴۲                           | ۱,۲               |
| میانگین     | ۲,۴۰                           | ۱,۲               |

#### ۴-۲-۷ حدود اتربرگ خاک

خاک‌های ریزدانه با افزایش مقدار آب جذب شده حالات مختلفی را به خود می‌گیرند. افزایش آب باعث پوشیده شدن خاک‌دانه‌ها با یک لایه جذب آب سطحی می‌شود. براساس نتایج آزمایش حد خمیری، مقدار حد خمیری خاک برابر با ۱۸ درصد می‌باشد. در آزمایش حد روانی، شیار خاک مورد آزمایش در تعداد ضربه‌های کمتر از ۱۵ ضربه بسته شد. بنابراین خاک مورد مطالعه غیر پلاستیک (NP<sup>1</sup>) می‌باشد. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها در جدول ۴-۸ نشان داده شده است.

حدود اتربرگ تنها معیار تشخیص رس و سیلت می‌باشد. برطبق نتایج حاصل، خاک مورد مطالعه دارای خاصیت خمیری پایینی بوده و براساس طبقه بندی یونیفاید در رده خاک‌های سیلتی با حد خمیری پایین قرار می‌گیرد (ASTM D2487-06, 2006).

1- nonplastic

جدول ۴-۸: حد روانی و حد خمیری خاک مورد مطالعه

| شماره نمونه | حد خمیری | حد روانی |
|-------------|----------|----------|
| ۱           | ۱۸       | NP       |
| ۲           | ۱۹       | NP       |
| ۳           | ۱۷       | NP       |
| میانگین     | ۱۸       | NP       |

#### ۴-۲-۸ تعیین چگالی خاک ( $G_s$ )

اندازه و وزن مخصوص ذرات خاک در میزان فرسایش پذیری آن موثر است. ذره خاک هنگامی منتقل خواهد شد که به اندازه کافی سبک و قابل حمل باشد و از طرفی نیز به اندازه کافی درشت باشد تا در معرض جریان باد قرار بگیرد (رفاهی، ۱۳۹۱؛ عظیمزاده و اختصاصی، ۱۳۸۳). نتایج تعیین مقدار چگالی ذرات جامد خاک در جدول ۴-۹ ارائه گردیده است. براساس این نتایج مقدار چگالی ذرات جامد خاک برابر با ۲,۶۹ می باشد.

جدول ۴-۹: وزن مخصوص ذرات خاک مورد مطالعه

| شماره نمونه                             | ۱     | ۲     | ۳     |
|---|-------|-------|-------|
| S= وزن نمونه خشک (gr)                   | ۴۹,۵  | ۴۹,۳  | ۴۹,۷  |
| A= وزن پیکنومتر + نمونه اشباع + آب (gr) | ۷۰۰,۸ | ۷۰۰,۶ | ۷۰۱   |
| B= وزن پیکنومتر پر از آب (gr)           | ۶۶۹,۷ | ۶۶۹,۷ | ۶۶۹,۷ |
| (S/S-(A-B))= وزن مخصوص نسبی واقعی       | ۲,۶۹  | ۲,۶۸  | ۲,۷۰  |
| میانگین وزن مخصوص نسبی واقعی            | ۲,۶۹  |       |       |

## ۳-۴ تاثیر مدت زمان انجام آزمایش بر میزان فرسایش بادی نمونه های تیمار شده و

### نشده

در این بخش نتایج حاصل از آزمایش‌های فرسایش بر روی نمونه‌های خاک بدون تیمار، شاهد و تیمار شده به تفکیک زمانی ۱ دقیقه در مقابل هریک از سرعت بادهای مختلف بیان گردیده است.

### ۱-۳-۴ خاک تیمار نشده

در صورتی که سطح خاک عامل حفاظتی مناسبی نداشته باشد، در اثر نیروی برشی باد به راحتی فرسایش پیدا می‌کند (Cornelis et al, 2004; Vidal et al, 2005). نتایج حاصل از آزمایش‌های فرسایش بادی بر روی خاک تیمار نشده در شکل ۳-۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود خاک مورد مطالعه در سرعت اولیه ۶ متر بر ثانیه پس از یک دقیقه دارای مقدار فرسایش ۲۳۳ گرم بر مترمربع می‌باشد. با افزایش مدت زمان انجام آزمایش این مقدار به ۳۱۷، ۳۸۳، ۴۱۷ و ۴۳۳ گرم بر مترمربع به ترتیب در زمان‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ دقیقه می‌رسد. بر این اساس مقدار نهایی فرسایش با افزایش مدت زمان انجام آزمایش از یک به پنج دقیقه به مقدار ۲۰۰ گرم بر مترمربع افزایش می‌یابد.

با افزایش سرعت باد به ۹ متر بر ثانیه مقدار فرسایش خاک به ۱۲۸۳ گرم بر مترمربع پس از یک دقیقه و با افزایش مدت زمان انجام آزمایش به ۱۶۳۳، ۱۸۶۷، ۲۰۱۷ و ۲۱۱۷ گرم بر مترمربع در زمان‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ دقیقه می‌رسد. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار فرسایش همانند قسمت قبل با افزایش مدت زمان انجام آزمایش به سرعت تغییر کرده و میزان این تغییرات در دقایق ابتدایی بیشتر می‌باشد. این مقادیر نشان از افزایش ۸۳۴ گرم بر مترمربع فرسایش خاک در صورت افزایش زمان از یک به پنج دقیقه دارد. با افزایش سرعت باد از ۶ به ۹ متر بر ثانیه در پنج دقیقه نهایی انجام آزمایش مقدار فرسایش به میزان ۱۶۸۴ گرم بر مترمربع افزایش می‌یابد.

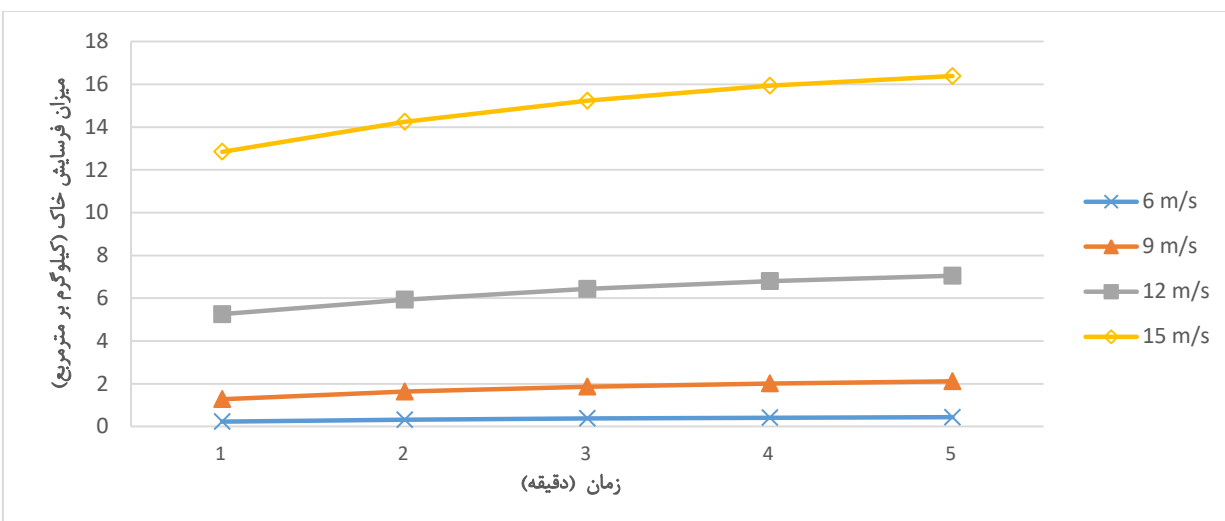


پس از افزایش سرعت به ۱۲ متر بر ثانیه، مقدار فرسایش خاک در دقیقه اول معادل ۵۲۵۰ گرم بر مترمربع و با افزایش مدت زمان انجام آزمایش به ۵۹۳۳، ۶۴۳۳، ۶۸۰۰ و ۷۰۵۰ گرم بر مترمربع به ترتیب در زمان‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ دقیقه می‌رسد. با توجه به نتایج حاصل مقدار فرسایش خاک با افزایش زمان از یک به پنج دقیقه به میزان ۱۸۰۰ گرم بر مترمربع افزایش می‌یابد. با افزایش سرعت از ۹ به ۱۲ متر بر ثانیه مقدار فرسایش به میزان ۴۹۳۳ گرم بر مترمربع در پنج دقیقه نهایی آزمایش افزایش داشته است.

در انتها و با قرار گیری نمونه خاک تیمار نشده در مقابل سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه، مقدار خاک فرسایش یافته از ۱۲۸۵۰ گرم بر مترمربع در یک دقیقه ابتدایی به مقدار ۱۴۲۵۰، ۱۵۲۳۳، ۱۵۹۳۳، ۱۶۳۸۳ گرم بر مترمربع به ترتیب در زمان‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ دقیقه رسیده است. این میزان فرسایش نشان از افزایش ۳۵۳۳ گرم بر مترمربع از خاک فرسایش یافته در اثر افزایش زمان آزمایش از یک به پنج دقیقه را دارد. با توجه به نتایج حاصل در اثر افزایش سرعت از ۹ به ۱۲ متر بر ثانیه در پنج دقیقه نهایی انجام عمل فرسایش مقدار خاک فرسایش یافته به میزان ۹۳۳۳ گرم بر مترمربع افزایش می‌یابد.

مقدار تفاوت در هریک از سرعت‌ها و زمان‌ها، نشان از نقش زمان انجام آزمایش و سرعت باد در مقدار خاک فرسایش یافته بادی دارد. به طور کلی با توجه به شکل ۴-۳ با افزایش زمان انجام آزمایش مقدار خاک فرسایش یافته در سرعت‌های مختلف بیشتر شده و این تغییرات در دقایق انتهایی نسبت به دقایق ابتدایی و همچنین در سرعت‌های پایین‌تر نسبت به سرعت‌های بالاتر کمتر می‌باشد. به بیان ساده‌تر با افزایش مدت زمان انجام آزمایش روند تغییرات مقدار خاک فرسایش یافته به تدریج کم‌تر می‌شود. دلیل آن را نیز می‌توان فرسایش خاک‌دانه‌های ریزدانه‌ای دانست که باد در آن سرعت توانایی جابه‌جایی آن‌ها را دارد و پس از فرسایش این خاک‌دانه‌ها، ذرات درشت‌تر مقاوم در برابر فرسایش بادی در سطح خاک باقی مانده که مانع از حرکت ذرات ریزدانه زیرین می‌شوند (محمود آبادی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Puget et al, 2000). با افزایش سرعت باد، به دلیل افزایش فرساینده‌گی ناشی از تقویت انرژی جنبشی، شدت فرسایش

بادی خاک افزایش می‌یابد (رفاهی، ۱۳۹۱؛ Stout and Zobeck, 1996). این یافته با نتایج تحقیقات سایر محققین بر روی خاک تیمار نشده مطابقت دارد (محمود آبادی و همکاران، ۱۳۹۰؛ شالکوهی و همکاران، Robichaud et al, 2017; Diouf et al, 1990; Ketabi et al, 2017; Stout and Zobeck, 1996; ۱۳۹۴؛ Xiaoyan et al, 2002).



شکل ۳-۴: مقدار فرسایش بادی خاک تیمار نشده در سرعت و زمان‌های مختلف

### ۲-۳-۴ خاک تیمار شده با آب به مقدار پاشش ۱۵ میلی‌لیتر

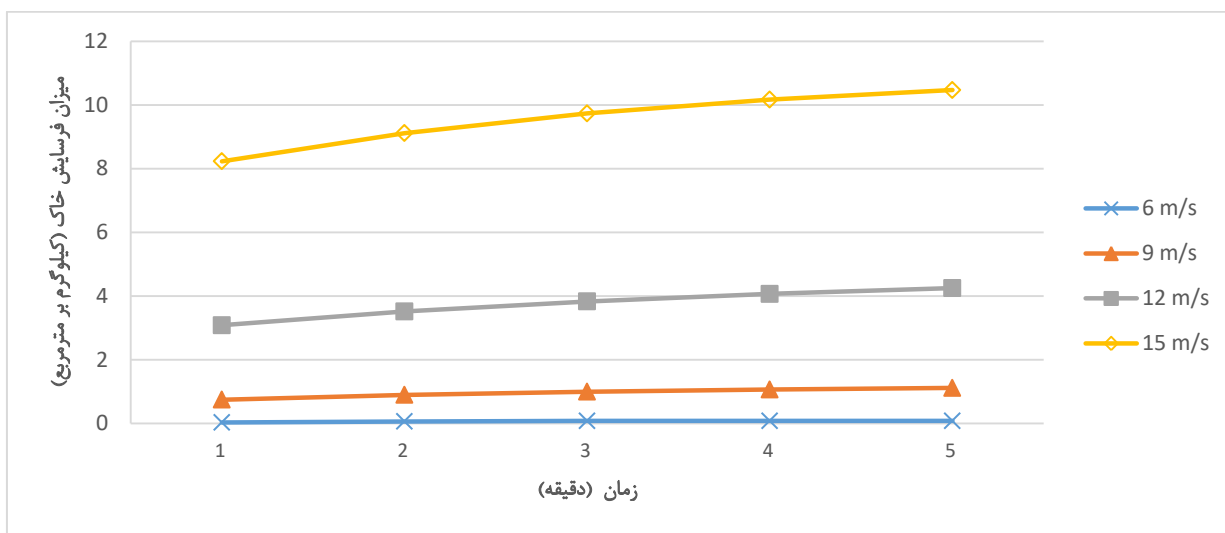
شکل ۴-۴ نتایج آزمایش‌های فرسایش جهت تعیین اثر آب خالص به مقدار پاشش ۱۵ میلی‌لیتر بر میزان فرسایش خاک را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود فرسایش خاک مورد مطالعه در سرعت اولیه ۶ متر بر ثانیه در دقیقه اول معادل ۳۳ گرم بر مترمربع می‌باشد. با افزایش مدت زمان انجام آزمایش به ۲ و ۳ دقیقه این مقدار به ۶۷ و ۸۳ گرم بر مترمربع می‌رسد و با افزایش مدت زمان آزمایش مقدار خاک فرسایش یافته ثابت می‌ماند.

با افزایش سرعت باد به ۹ متر بر ثانیه مقدار فرسایش طی دقیقه اول به مقدار ۷۵۰ گرم بر مترمربع می‌رسد. در صورت افزایش مدت زمان انجام آزمایش این مقدار به تدریج افزایش یافته و در پنج دقیقه نهایی

به ۱۱۱۷ گرم بر مترمربع رسیده است. این مقادیر نشان از افزایش فرسایش خاک به میزان ۳۶۷ گرم بر مترمربع از با افزایش زمان از یک به پنج دقیقه را دارد. در اثر افزایش سرعت از ۶ به ۹ متر بر ثانیه در پنج دقیقه نهایی انجام آزمایش، مقدار فرسایش به میزان ۱۰۳۴ گرم بر مترمربع افزایش را نشان می‌دهد. در صورت افزایش سرعت باد به ۱۲ متر بر ثانیه مقدار فرسایش خاک مورد مطالعه در یک دقیقه ابتدایی انجام آزمایش ۳۰۸۳ گرم بر مترمربع می‌باشد. با افزایش مدت زمان انجام آزمایش این مقدار به تدریج افزایش یافته و در پنج دقیقه نهایی به ۴۲۵۰ گرم بر مترمربع می‌رسد، که نشان از افزایش ۱۱۶۷ گرم بر مترمربع از خاک فرسایش یافته در اثر افزایش زمان انجام آزمایش می‌باشد. همچنین با افزایش سرعت از ۹ به ۱۲ متر بر ثانیه در پنج دقیقه نهایی آزمایش مقدار ۳۱۳۳ گرم بر مترمربع به میزان خاک فرسایش یافته افزوده شده است.

با قرار گیری نمونه خاک در مقابل سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه مقدار فرسایش خاک از ۸۲۳۳ گرم بر مترمربع در یک دقیقه ابتدایی به ۱۰۴۶۷ گرم بر مترمربع در ۵ دقیقه نهایی می‌رسد. این میزان فرسایش مقدار ۲۲۳۴ گرم بر مترمربع افزایش میزان فرسایش را در اثر افزایش زمان انجام آزمایش از یک به پنج دقیقه نشان می‌دهد. همچنین با توجه به مقادیر حاصل، مقدار فرسایش به میزان ۶۲۱۷ گرم بر مترمربع در اثر افزایش سرعت از ۱۲ به ۱۵ متر بر ثانیه در پنج دقیقه نهایی انجام عمل فرسایش افزایش می‌یابد. به طور کلی در صورت پاشش آب به میزان ۱۵ میلی‌لیتر، در سرعت‌های مختلف با افزایش زمان انجام آزمایش مقدار خاک فرسایش یافته به تدریج بیشتر شده و روند این تغییرات در دقایق نهایی نسبت به دقایق ابتدایی و همچنین در سرعت‌های پایین‌تر نسبت به سرعت‌های بالاتر کمتر می‌باشد (شکل ۴-۴). دلیل افزایش میزان فرسایش خاک با افزایش سرعت باد، برداشته شدن لایه رویی تثبیت شده سطح خاک در برخی نقاط آن می‌باشد. با برداشته شدن لایه سطحی خاک، لایه‌های پایین‌تر که محلول تیمار کننده در آن‌ها نفوذ نکرده است بدون هیچ گونه تثبیت کننده‌ای بوده و قابلیت فرسایش را خواهند داشت

(موحدان و همکاران، ۱۳۹۰؛ Robichaud et al, 2017; Ketabi et al, 2017). در تحقیقات مشابه نیز در صورت افزودن آب به خاک با افزایش سرعت باد، میزان فرسایش خاک افزایش یافته است (ملکی کاکر و همکاران، ۱۳۹۵؛ شهناز و همکاران، ۱۳۹۶؛ Han et al, 2009; Robichaud et al, 2017).



شکل ۴-۴: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با آب خالص به مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر در زمان‌های مختلف

### ۳-۳-۴ خاک تیمار شده با آب به مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر

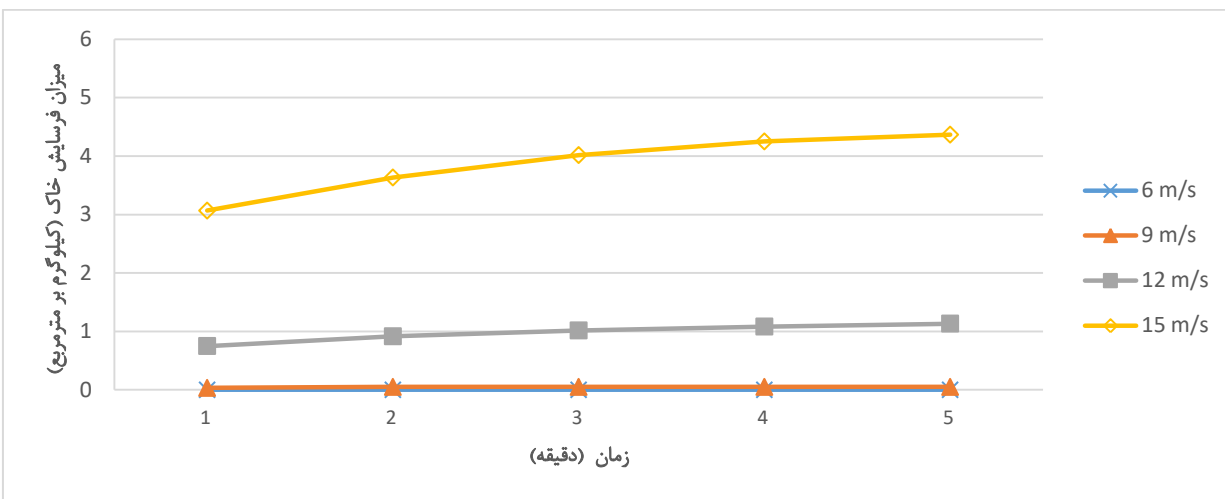
شکل ۴-۵ نتایج حاصل از آزمایش‌های فرسایش خاک جهت تعیین اثر آب خالص به مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر بر میزان فرسایش خاک را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که خاک مورد مطالعه در سرعت اولیه ۶ متر بر ثانیه در هیچ یک از زمان‌های ۱ تا ۵ دقیقه، هیچگونه فرسایشی را از خود نشان نداده و مقدار نهایی فرسایش در این سرعت برابر با صفر می‌باشد.

با افزایش سرعت باد به ۹ متر بر ثانیه مقدار فرسایش خاک در دقیقه اول به مقدار ۳۳ گرم بر مترمربع رسیده و با افزایش مدت زمان انجام آزمایش به دو دقیقه این مقدار به ۵۰ گرم بر مترمربع افزایش می‌یابد و در ادامه با افزایش مدت زمان انجام آزمایش مقدار آن ثابت می‌ماند. این مقادیر نشان از افزایش فرسایش خاک به میزان ۱۷ گرم بر مترمربع در اثر افزایش زمان از یک به پنج دقیقه دارد. در صورت افزایش

سرعت از ۶ به ۹ متر بر ثانیه در پنج دقیقه نهایی انجام آزمایش مقدار فرسایش به میزان ۵۰ گرم بر مترمربع افزایش را نشان می‌دهد.

در صورت افزایش سرعت به مقدار ۱۲ متر بر ثانیه مقدار فرسایش خاک مورد مطالعه در یک دقیقه ابتدایی انجام آزمایش ۷۵۰ گرم بر مترمربع می‌باشد. با افزایش مدت زمان انجام آزمایش این مقدار به تدریج افزایش پیدا کرده و در پنج دقیقه نهایی به ۱۱۳۳ گرم بر مترمربع می‌رسد، که نشان از افزایش ۳۸۳ گرم بر مترمربع از خاک فرسایش یافته در اثر افزایش زمان انجام آزمایش می‌باشد. این مقدار فرسایش نشان از افزایش ۱۰۸۳ گرم بر مترمربع از خاک فرسایش یافته با افزایش سرعت از ۹ به ۱۲ متر بر ثانیه در پنج دقیقه نهایی آزمایش دارد.

با قرار گیری نمونه خاک در مقابل باد با سرعت ۱۵ متر بر ثانیه مقدار فرسایش خاک از ۳۰۶۷ گرم بر مترمربع در یک دقیقه ابتدایی به ۴۳۶۷ گرم بر مترمربع در ۵ دقیقه نهایی می‌رسد. بر این اساس میزان فرسایش به مقدار ۱۳۰۰ گرم بر مترمربع در اثر افزایش زمان انجام آزمایش از یک به پنج دقیقه بیشتر شده است. همچنین با توجه به مقادیر ذکر شده میزان فرسایش به مقدار ۳۲۳۴ گرم بر مترمربع در اثر افزایش سرعت از ۱۲ به ۱۵ متر بر ثانیه در پنج دقیقه نهایی انجام عمل فرسایش افزایش یافته است. به طور کلی با توجه به نتایج در سرعت‌های مختلف با افزایش مدت زمان انجام آزمایش، نمونه خاک تیمار شده با ۲۵ میلی‌لیتر آب همانند نمونه خاک تیمار شده با ۱۵ میلی‌لیتر آب، مقدار خاک فرسایش یافته بیشتر شده و روند این تغییرات در دقایق نهایی نسبت به دقایق ابتدایی و همچنین در سرعت‌های پایین‌تر نسبت به سرعت‌های بالاتر کمتر می‌باشد (شکل ۴-۵). همچنین در نمونه تیمار شده با ۲۵ میلی‌لیتر آب خالص نیز همانند نمونه تیمار شده با ۱۵ میلی‌لیتر آب خالص با افزایش سرعت باد، میزان فرسایش خاک بیشتر می‌شود.



شکل ۴-۵: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با آب خالص به مقدار پاشش ۲۵ میلی‌لیتر در زمان‌های مختلف

#### ۴-۳-۴ خاک تیمار شده با مالچ به مقدار پاشش ۱۵ میلی‌لیتر

نتایج حاصل از تاثیر غلظت‌های مختلف مالچ شامل دوزهای ۰,۱، ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵، ۰,۶ و ۰,۷ درصد با مقدار پاشش ۱۵ میلی‌لیتر، به ترتیب در اشکال ۴-۶ تا ۴-۱۲ نمایش داده شده است. مقدار فرسایش خاک مالچ پاشی شده با دوزهای ۰,۱ و ۰,۲ درصد، همانطور که در شکل ۴-۶ و ۴-۷ مشاهده می‌شود، در سرعت اولیه ۶ متر بر ثانیه به ترتیب برابر با ۶۷ و ۳۳ گرم بر متر مربع می‌باشد. با توجه به شکل ۴-۸ با افزایش دوز مالچ به ۰,۳ درصد و بیشتر از آن مقدار فرسایش خاک در سرعت ۶ متر بر ثانیه به صفر می‌رسد.

در اثر افزایش سرعت باد به ۹ متر بر ثانیه مقدار فرسایش خاک مالچ پاشی شده با دوزهای ۰,۱، ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵، ۰,۶ و ۰,۷ درصد مطابق با اشکال ۴-۶ تا ۴-۱۲ به ترتیب برابر با ۷۳۳، ۷۱۷، ۶۶۷، ۵۶۷، ۴۳۳، ۲۶۷ و ۱۱۷ گرم بر متر مربع، در یک دقیقه ابتدایی می‌باشد. با افزایش مدت زمان انجام آزمایش از یک تا پنج دقیقه مقادیر فرسایش در هریک از نمونه‌ها به تدریج افزایش یافته و به ترتیب به مقدار ۱۱۰۰، ۱۰۶۷، ۹۸۳، ۸۵۰، ۶۸۳ و ۴۵۰ گرم بر متر مربع در پنج دقیقه نهایی آزمایش می‌رسد. با توجه به نتایج حاصل با افزایش مدت زمان انجام آزمایش از یک به پنج دقیقه مقدار فرسایش به ترتیب ۳۶۷،

۳۵۰، ۳۱۶، ۲۸۳، ۲۵۰، ۱۸۳ و ۸۳ گرم بر مترمربع افزایش می‌یابد. با توجه به مقادیر بدست آمده مقدار خاک فرسایش یافته با افزایش سرعت از ۶ به ۹ متر بر ثانیه در ۵ دقیقه نهایی آزمایش برای هریک از مالچ‌ها با غلظت‌های مذکور به ترتیب مقدار ۱۰۳۴، ۱۰۳۳، ۱۰۳۳، ۹۸۳، ۸۵۰، ۶۸۳، ۴۵۰ و ۲۰۰ گرم بر متر مربع افزایش داشته است.

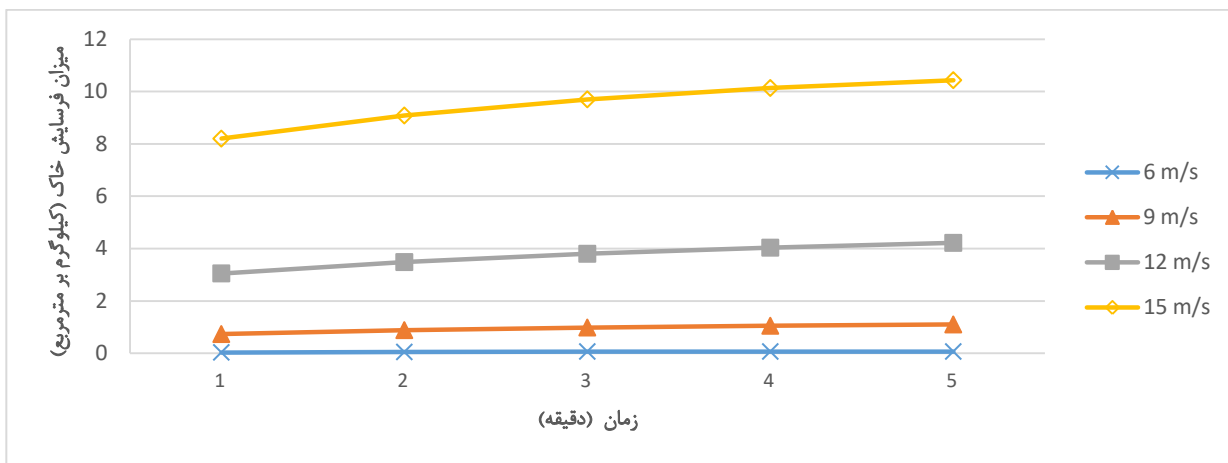
پس از افزایش سرعت باد به مقدار ۱۲ متر بر ثانیه مقدار فرسایش خاک برای هریک از نمونه‌های مالچ پاشی شده با دوزهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ درصد مطابق با اشکال ۴-۶ تا ۴-۱۲ به ترتیب برابر با ۳۰۵۰، ۳۰۳۳، ۲۹۳۳، ۲۷۶۷، ۲۴۶۷، ۲۰۵۰ و ۱۶۱۷ گرم بر متر مربع در یک دقیقه ابتدایی است. در صورت افزایش مدت زمان انجام آزمایش از یک به پنج دقیقه مقادیر فرسایش در هریک از نمونه‌ها به تدریج افزایش و به مقدار ۴۲۱۷، ۴۱۶۷، ۴۰۱۷، ۳۷۸۳، ۳۴۵۰، ۲۹۸۳ و ۲۴۵۰ گرم بر متر مربع در پنج دقیقه نهایی در سرعت ۱۲ متر بر ثانیه رسیده است. در واقع مقدار فرسایش خاک با افزایش مدت زمان انجام آزمایش از ۱ به ۵ دقیقه به ترتیب برای هریک از نمونه‌ها ۱۱۶۷، ۱۱۳۴، ۱۰۸۴، ۱۰۱۶، ۹۸۳، ۹۳۳ و ۸۳۳ گرم بر مترمربع افزایش یافته است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد مقدار خاک فرسایش یافته با افزایش سرعت باد از ۹ به ۱۲ متر بر ثانیه در ۵ دقیقه نهایی آزمایش برای هریک از مالچ‌های نام برده به ترتیب مقدار ۳۱۱۷، ۳۱۰۰، ۳۰۳۴، ۲۹۳۳، ۲۷۶۷، ۲۵۳۳ و ۲۲۵۰ گرم بر متر مربع افزایش یافته است.

با افزایش سرعت باد به ۱۵ متر بر ثانیه مقدار فرسایش خاک برای هریک از نمونه‌های مالچ پاشی شده با دوزهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ درصد مطابق با اشکال ۴-۶ تا ۴-۱۲ به ترتیب برابر با ۸۲۰۰، ۸۱۶۷، ۷۹۶۷، ۷۷۰۰، ۷۲۱۷، ۶۵۰۰ و ۵۷۰۰ گرم بر متر مربع در یک دقیقه اول آزمایش فرسایش می‌باشد. با افزایش مدت زمان انجام آزمایش به پنج دقیقه مقادیر فرسایش در هریک از نمونه‌ها به تدریج افزایش پیدا کرده و به مقدار ۱۰۴۳۳، ۱۰۳۵۰، ۱۰۱۱۷، ۹۷۳۳، ۹۱۶۷، ۸۳۸۳ و ۷۴۵۰ گرم بر

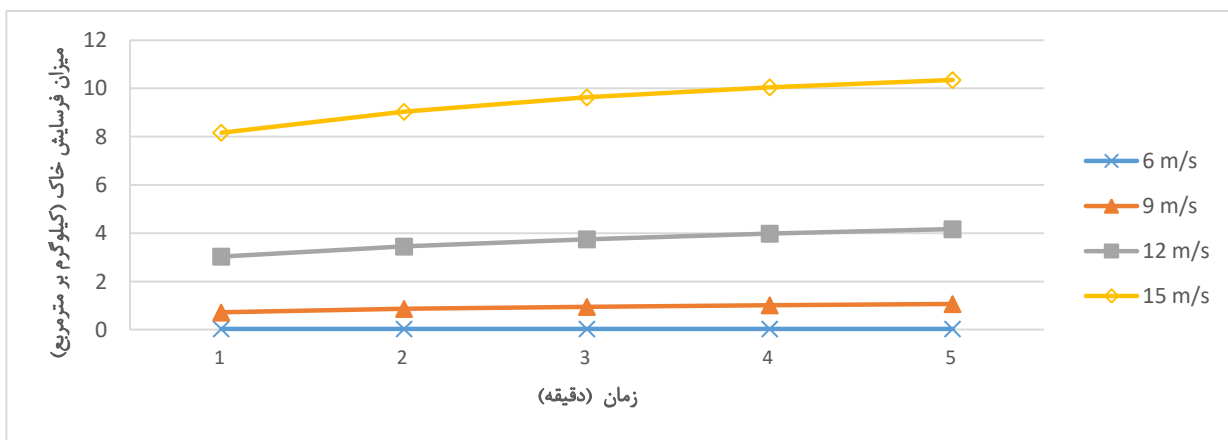
متر مربع در پنج دقیقه نهایی آزمایش می‌رسد. با توجه به نتایج حاصل با افزایش مدت زمان انجام آزمایش از یک به پنج دقیقه مقدار فرسایش به ترتیب ۲۲۳۳، ۲۱۸۳، ۲۱۵۰، ۲۰۳۳، ۱۹۵۰، ۱۸۸۳ و ۱۷۵۰ گرم بر مترمربع افزایش یافته است. برطبق مقادیر بدست آمده مقدار خاک فرسایش یافته با افزایش سرعت از ۱۲ به ۱۵ متر بر ثانیه در ۵ دقیقه نهایی آزمایش برای هر یک از مالچ‌های مذکور به ترتیب به مقدار ۶۲۱۶، ۶۱۸۳، ۶۱۰۰، ۵۹۵۰، ۵۷۱۷، ۵۴۰۰ و ۵۰۰۰ گرم بر متر مربع افزایش را نشان می‌دهد.

به طور کلی برطبق نتایج بدست آمده در خاک تیمار شده با ۱۵ میلی‌لیتر مالچ در غلظت‌های مختلف با افزایش زمان انجام آزمایش مقدار خاک فرسایش یافته در تمامی موارد بیشتر شده و روند این تغییرات همانند نمونه تیمار نشده و نمونه‌های تیمار شده با آب در دقایق ابتدایی نسبت به دقایق نهایی و همچنین در سرعت‌های بالاتر نسبت به سرعت‌های پایین‌تر بیشتر می‌باشد. در تحقیقات مشابه انجام شده که از رسوب میکروبی کربنات (ملکی کالکر و همکاران، ۱۳۹۴)، برلیوم-۷ (Yang et al, 2013)، محلول فسفریک اسید (Ketabi et al, 2017)، مالچ‌های آلی با پایه گیاهی (شهنواز و همکاران، ۱۳۹۶)، مالچ‌های ماسه شنی (Xiaoyan et al, 2002)، مالچ‌های پلیمری (Han et al, 2007) و مالچ‌های کشاورزی (Robichaud et al, 2017) استفاده شده است، نیز افزایش غلظت مالچ باعث کاهش و افزایش سرعت باد باعث افزایش میزان فرسایش خاک گردیده است.

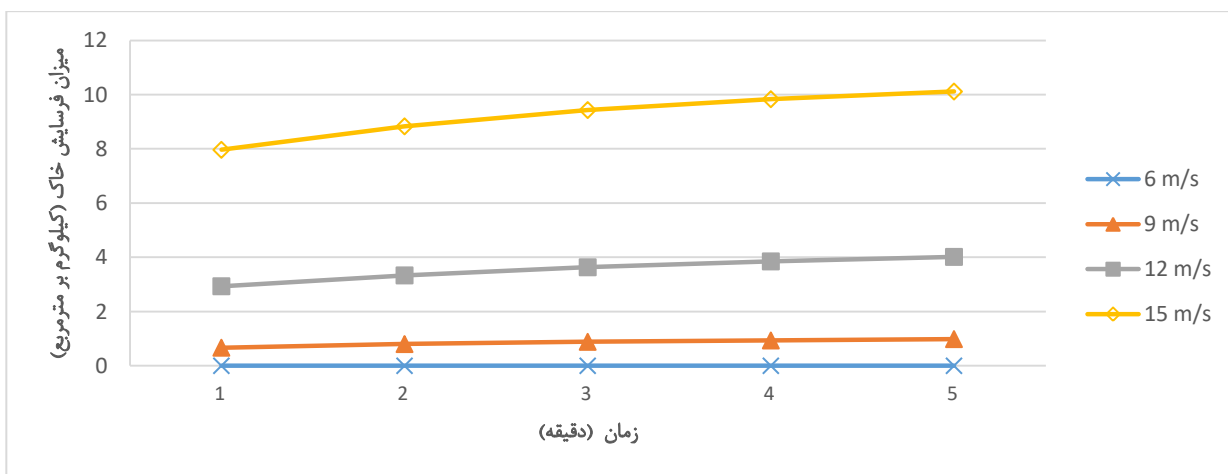




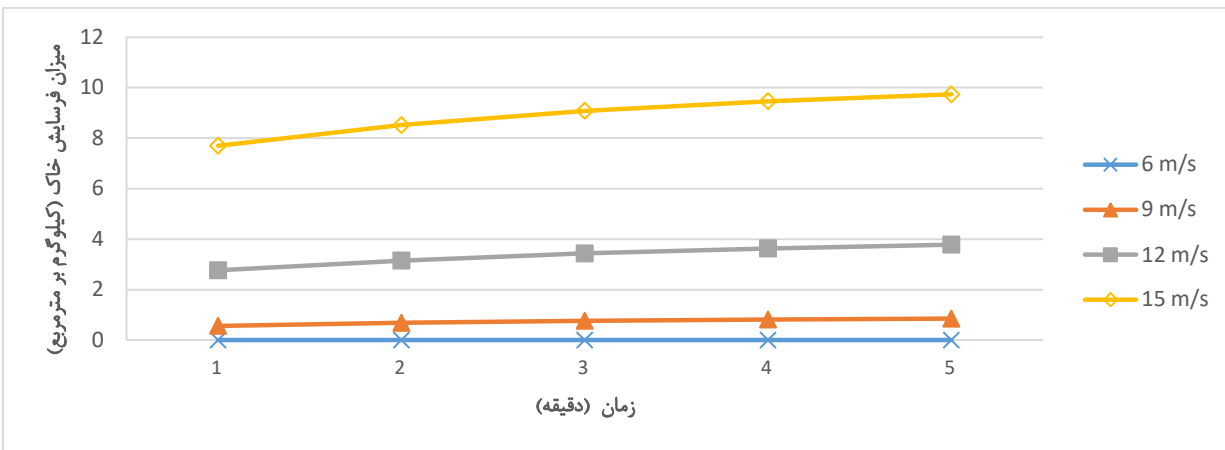
شکل ۴-۶: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۱ درصد به مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف



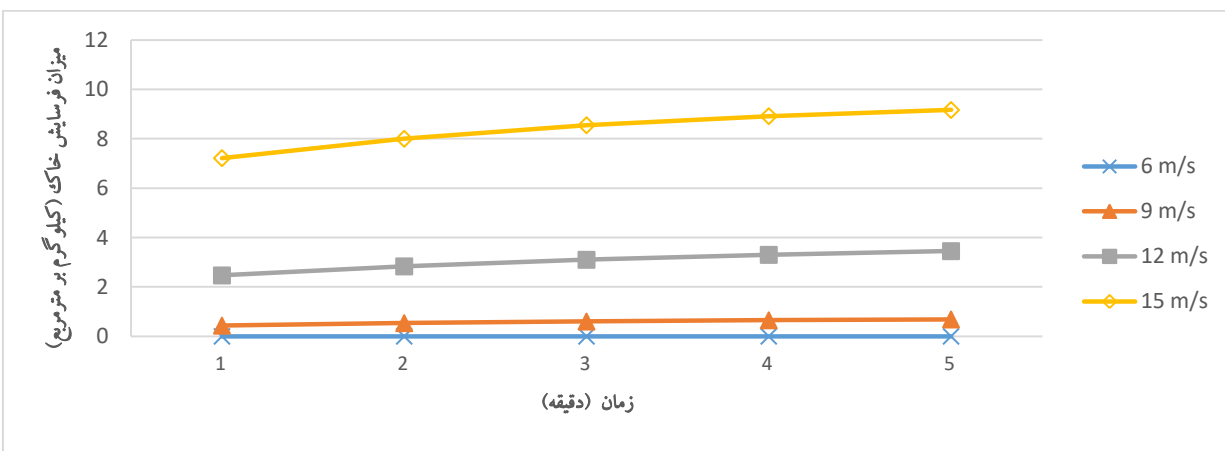
شکل ۴-۷: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۲ درصد به مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف



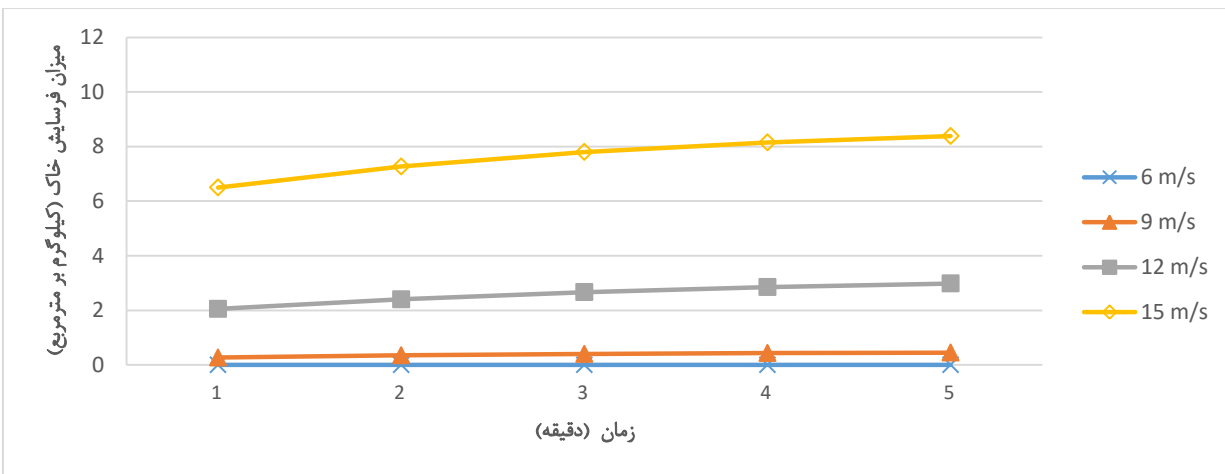
شکل ۴-۸: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۳ درصد به مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف



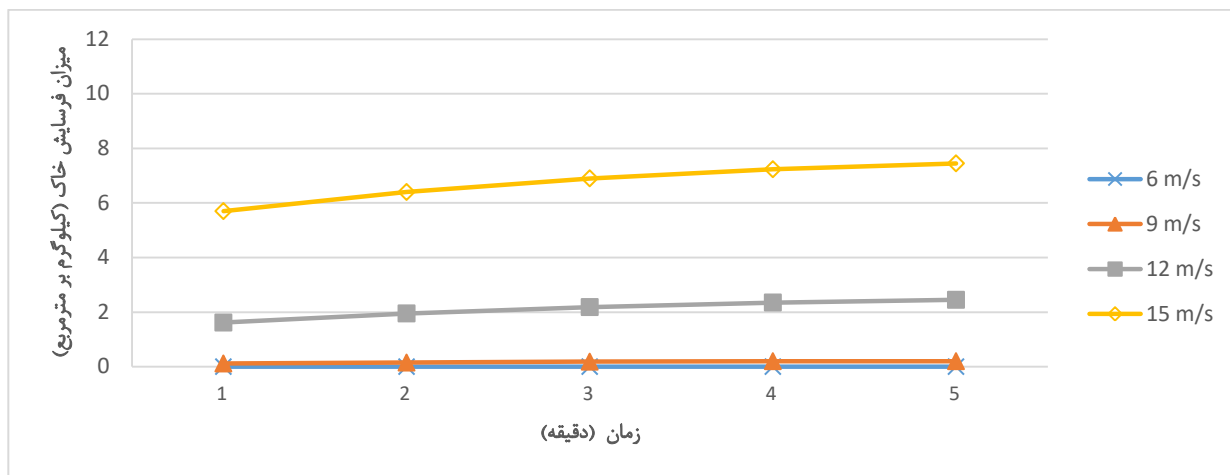
شکل ۴-۹: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۴ درصد به مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر در سرعت و زمان های مختلف



شکل ۴-۱۰: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۵ درصد به مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر در سرعت و زمان های مختلف



شکل ۴-۱۱: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۶ درصد به مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر در سرعت و زمان های مختلف



شکل ۴-۱۲: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۷ درصد به مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف

#### ۴-۳-۵ خاک تیمار شده با مالچ به مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر

نتایج حاصل از افزودن مالچ در دوزهای ۰,۱ تا ۰,۷ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر بر روی سطح خاک به ترتیب در شکل‌های ۴-۱۳ تا ۴-۱۹ ارائه شده است. در سرعت ۶ متر بر ثانیه مقدار فرسایش خاک مالچ پاشی شده با دوزهای مختلف همانطور که در شکل‌های ۴-۱۳ تا ۴-۱۹ مشاهده می‌شود برابر صفر بوده و هیچگونه فرسایشی در خاک طی زمان‌های مختلف مشاهده نمی‌شود.

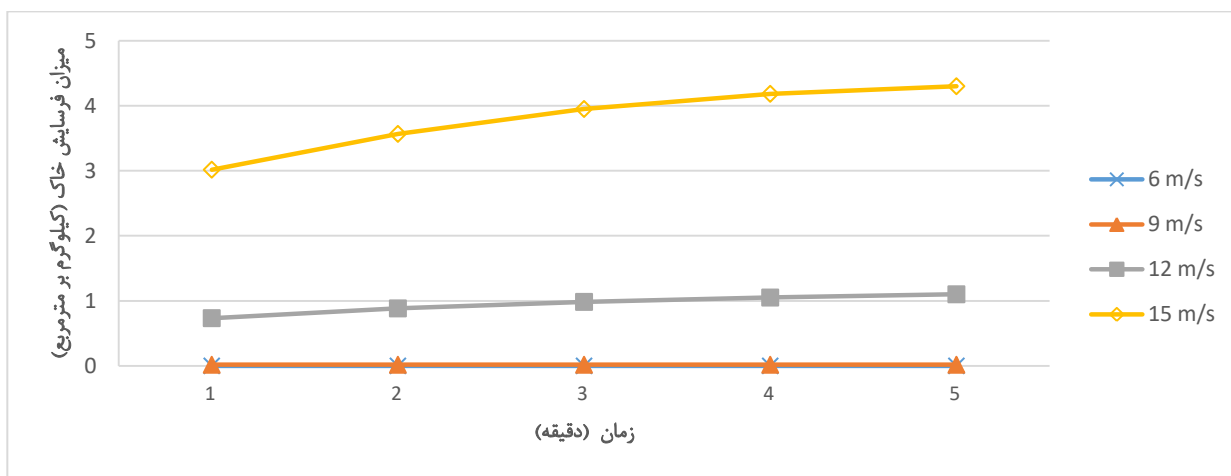
در اثر افزایش سرعت باد به ۹ متر بر ثانیه مقدار فرسایش خاک مالچ پاشی شده با دوزه ۰,۱ درصد مطابق شکل ۴-۱۳ برابر با ۱۷ گرم بر متر مربع می‌باشد. پس از آن و همانطور که در شکل‌های ۴-۱۴ تا ۴-۱۹ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار دوز مالچ، برای تمامی دوزهای ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵، ۰,۶ و ۰,۷ درصد مقدار فرسایش خاک در این سرعت در زمان‌های مختلف برابر با صفر می‌باشد.

با افزایش سرعت باد به ۱۲ متر بر ثانیه مقدار فرسایش برای هریک از نمونه‌های مالچ پاشی شده با دوزهای ۰,۱، ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴ و ۰,۵ درصد مطابق با شکل‌های ۴-۱۳ تا ۴-۱۷ به ترتیب برابر با ۷۳۳، ۶۸۳، ۵۳۳، ۳۱۷ و ۱۰۰ گرم بر متر مربع در یک دقیقه اولیه آزمایش است. پس از افزایش مدت زمان

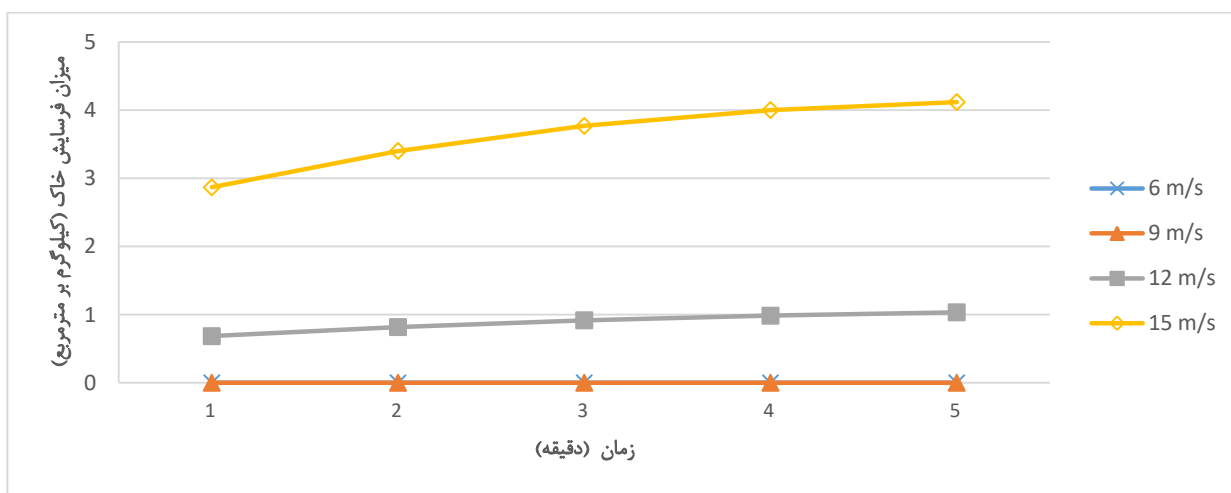
انجام آزمایش از یک به پنج دقیقه مقادیر فرسایش در هریک از نمونه‌ها به تدریج افزایش یافته و به مقدار ۱۱۰۰، ۱۰۳۳، ۸۵۰، ۵۵۰ و ۱۳۳ گرم بر متر مربع می‌رسد. در صورت مقایسه نتایج حاصل با مقدار خاک فرسایش یافته اولیه، مقدار فرسایش با افزایش زمان به ترتیب برای هریک از نمونه‌ها ۳۶۷، ۳۵۰، ۳۱۷، ۲۳۳ و ۳۳ گرم بر مترمربع افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۴-۱۸ در اثر افزایش مقدار دوز مالچ به ۰,۶ درصد مقدار فرسایش خاک به صفر رسیده و این مقدار برای دوز ۰,۷ درصد نیز برابر با صفر بوده است (۱۹-۴). برحسب مقادیر بدست آمده مقدار خاک فرسایش یافته با افزایش سرعت از ۹ به ۱۲ متر بر ثانیه در ۵ دقیقه نهایی آزمایش برای برای هریک از نمونه‌های مالچ پاشی شده با دوزهای ۰,۱، ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵ و ۰,۶ درصد به مقدار ۱۰۸۳، ۱۰۳۳، ۸۵۰، ۵۵۰ و ۱۳۳ گرم بر متر مربع افزایش یافته و این مقدار افزایش برای مالچ‌های با دوز ۰,۶ و ۰,۷ درصد به صفر رسیده است.

در اثر افزایش سرعت باد به ۱۵ متر بر ثانیه مقدار فرسایش خاک برای هریک از نمونه‌های مالچ پاشی شده با دوزهای ۰,۱، ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵ و ۰,۶ درصد مطابق با شکل‌های ۴-۱۳ تا ۴-۱۸ به ترتیب برابر با ۳۰۱۷، ۲۸۶۷، ۲۵۳۳، ۱۸۶۷، ۹۵۰ و ۳۰۰ گرم بر متر مربع در یک دقیقه اول آزمایش بوده است. با افزایش مدت زمان انجام آزمایش به پنج دقیقه مقادیر فرسایش در هریک از نمونه‌ها به تدریج افزایش پیدا کرده و به مقدار ۴۳۰۰، ۴۱۱۷، ۳۶۸۳، ۲۹۵۰، ۱۸۶۷ و ۴۱۷ گرم بر متر مربع در پنج دقیقه نهایی آزمایش می‌رسد. با توجه به نتایج با افزایش مدت زمان انجام آزمایش از یک به پنج دقیقه مقدار فرسایش به ترتیب ۱۱۸۳، ۱۲۵۰، ۱۱۵۰، ۱۰۸۳، ۹۱۷ و ۱۱۷ گرم بر مترمربع افزایش یافته است. برطبق مقادیر بدست آمده مقدار خاک فرسایش یافته با افزایش سرعت از ۱۲ به ۱۵ متر بر ثانیه در ۵ دقیقه نهایی آزمایش به مقدار ۳۲۰۰، ۳۰۸۴، ۱۸۳۳، ۲۴۰۰ و ۱۷۳۴ گرم بر متر مربع افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۴-۱۹ در اثر افزایش دوز مالچ به ۰,۷ درصد مقدار فرسایش خاک به صفر می‌رسد.

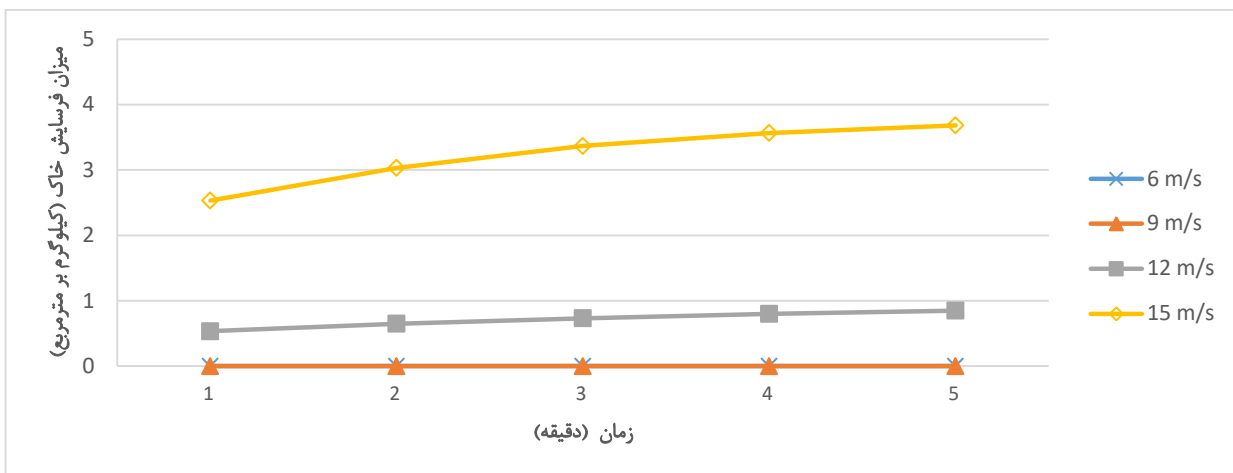
با توجه به نتایج به طور کلی در خاک تیمار شده با ۲۵ میلی لیتر مالچ در غلظت‌های مختلف با افزایش زمان انجام آزمایش، مقدار فرسایش یافته در تمامی موارد بیشتر شده و روند این تغییرات مشابه نمونه تیمار نشده و نمونه‌های تیمار شده با آب خالص در دقایق ابتدایی نسبت به دقایق نهایی و همچنین در سرعت‌های بالاتر نسبت به سرعت‌های پایین‌تر بیشتر می‌باشد.



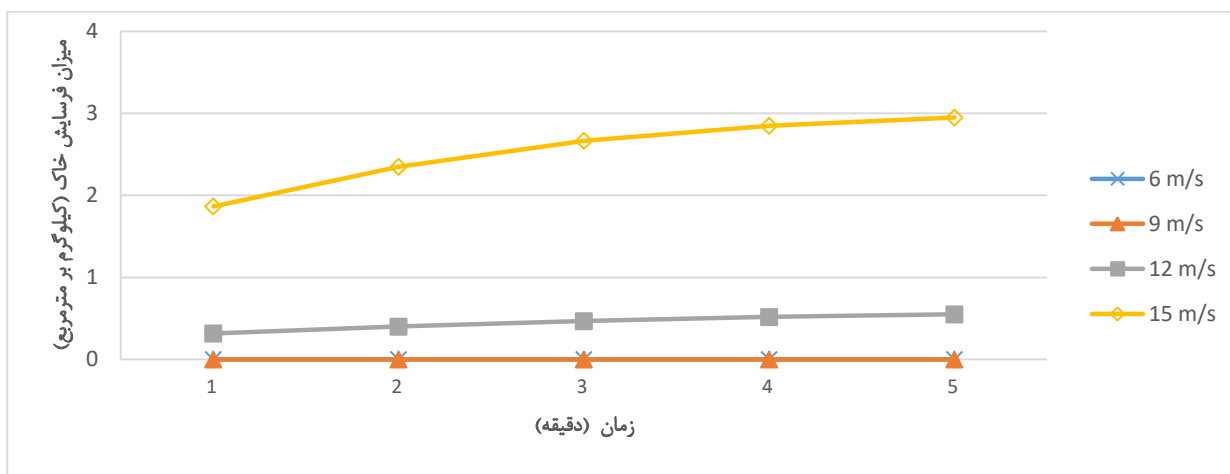
شکل ۴-۱۳: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۱٪، ۰٫۱ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف



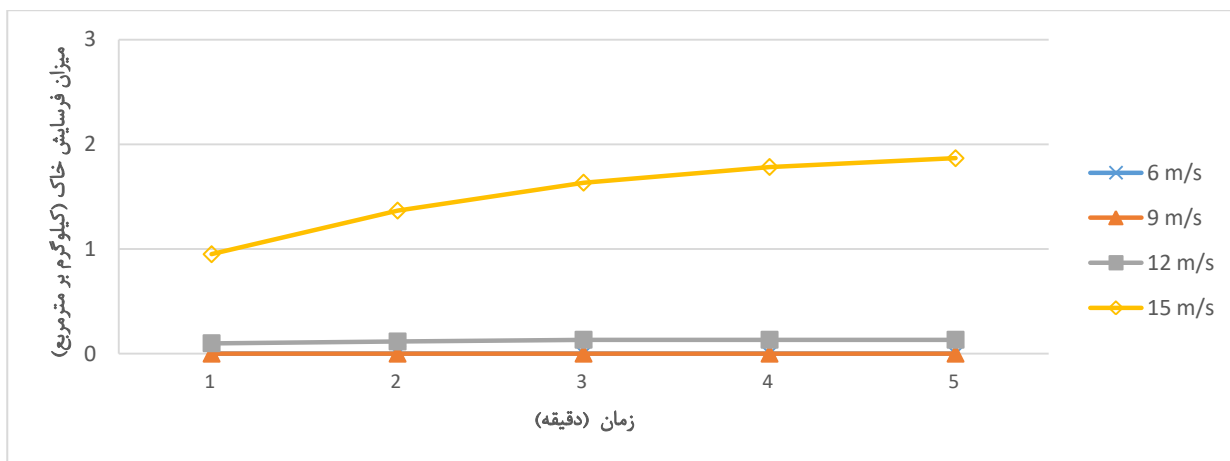
شکل ۴-۱۴: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۲٪، ۰٫۲ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف



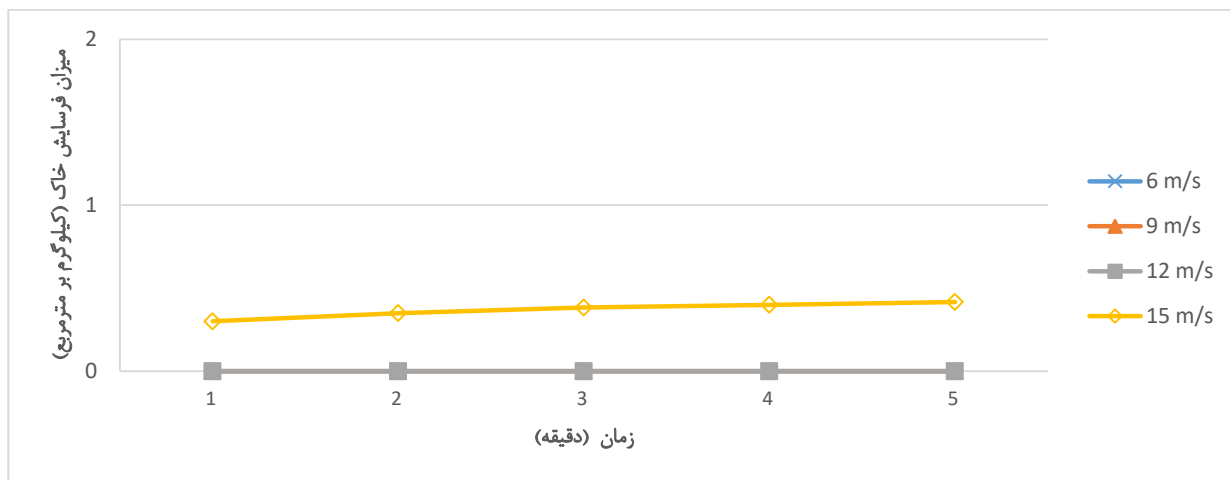
شکل ۴-۱۵: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰٫۳ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف



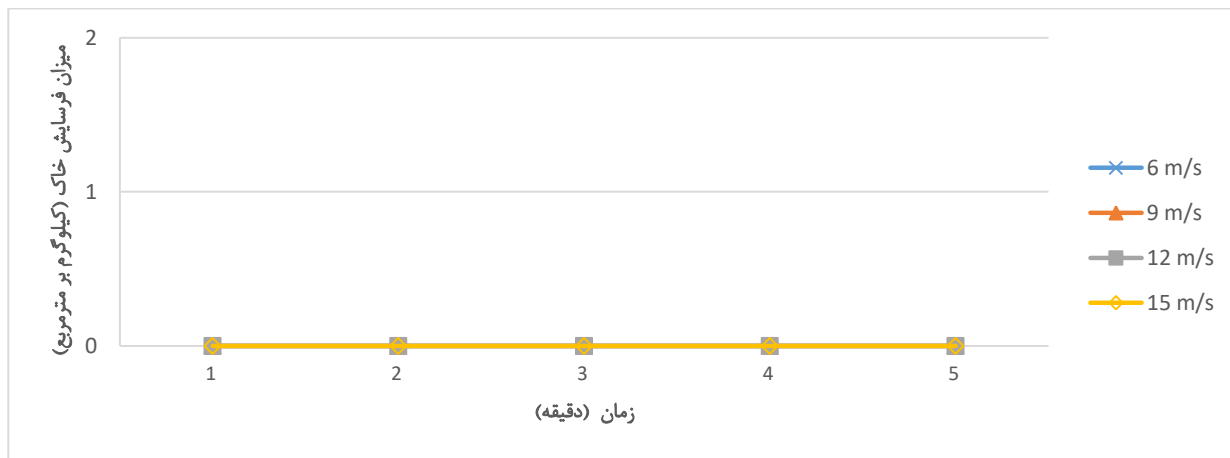
شکل ۴-۱۶: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰٫۴ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف



شکل ۴-۱۷: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰٫۵ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف



شکل ۴-۱۸: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰٫۶ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف



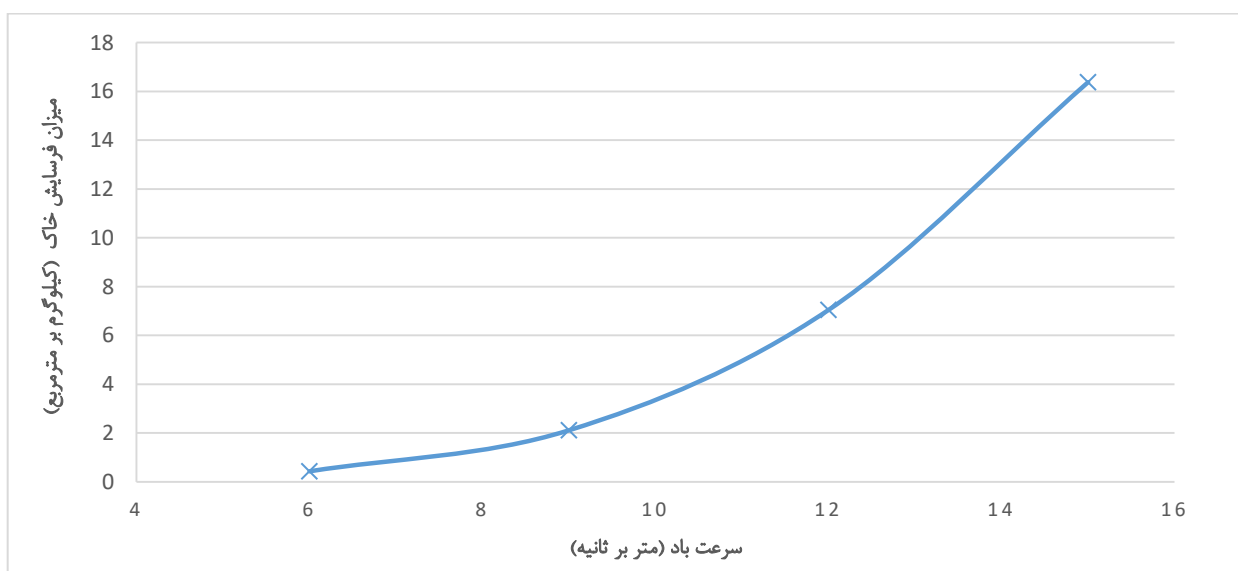
شکل ۴-۱۹: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰٫۷ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف

#### ۴-۴ تاثیر غلظت و مقدار پاشش مالچ بر میزان فرسایش نمونه های خاک

در این بخش به بررسی میزان فرسایش بادی نمونه خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با آب و مالچ در غلظت و مقدار پاشش های مختلف در طی پنج دقیقه در سرعت بادهای ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ متر بر ثانیه پرداخته شده است.

#### ۱-۴-۴ خاک تیمار نشده

براساس نتایج آزمایش‌های فرسایش بادی بر روی خاک تیمار نشده (شکل ۴-۲۰)، خاک مورد مطالعه خاکی فرسایش پذیر می‌باشد. با توجه به شکل ۴-۲۰، در سرعت باد ۶ متر بر ثانیه مقدار خاک فرسایش یافته برابر با ۵۰ گرم بر مترمربع می‌باشد. تغییرات میزان فرسایش خاک با افزایش سرعت از یک تابع سهموی تبعیت کرده و در سرعت‌های ۹، ۱۲ و ۱۵ متر بر ثانیه به مقدار ۲۱۱۷، ۷۰۵۰ و ۱۶۳۸۳ گرم بر مترمربع می‌رسد. این مقادیر نشان از افزایش ۱۶۶۷ گرم بر مترمربع از خاک فرسایش یافته با افزایش سرعت از ۶ به ۹ متر بر ثانیه، ۴۹۳۳ گرم بر مترمربع در صورت افزایش سرعت از ۹ به ۱۲ متر بر ثانیه و ۹۳۳۳ گرم بر مترمربع با افزایش سرعت از ۱۲ به ۱۵ متر بر ثانیه می‌باشد.



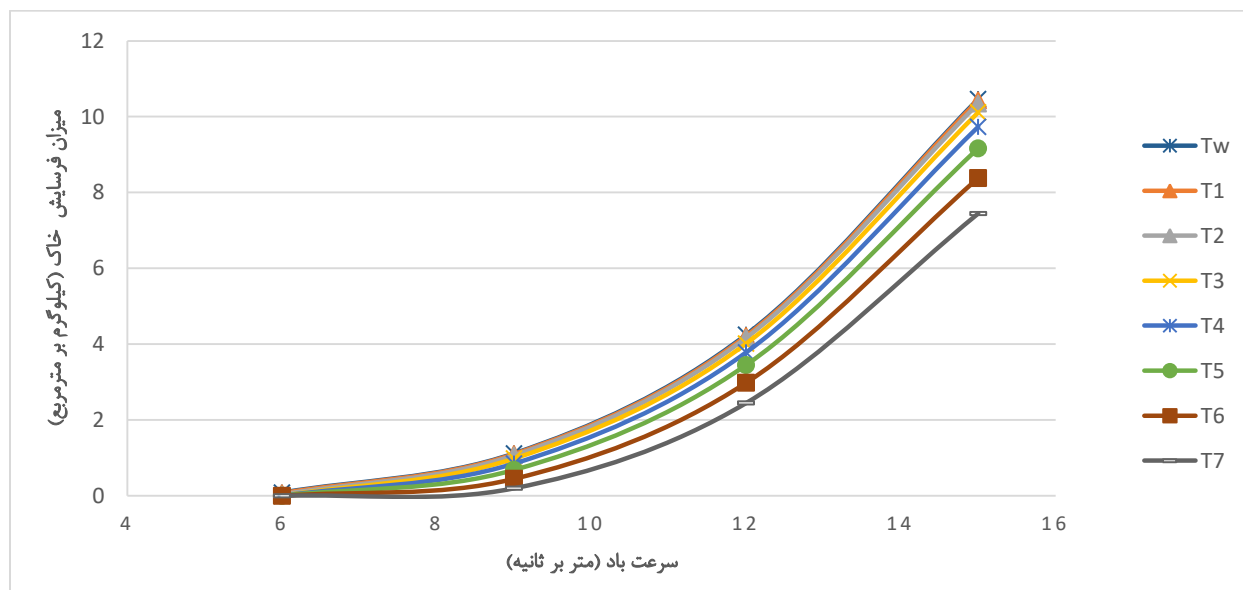
شکل ۴-۲۰: مقدار فرسایش نمونه خاک تیمار نشده طی ۵ دقیقه در سرعت‌های مختلف

#### ۲-۴-۴ خاک تیمار شده با مالچ به مقدار پاشش ۱۵ میلی‌لیتر

براساس نتایج (شکل ۴-۲۱) افزودن آب به میزان ۱۵ میلی‌لیتر بر روی سطح خاک موجب کاهش مقدار فرسایش خاک در تمام سرعت‌ها نسبت به نمونه تیمار نشده (شکل ۴-۲۰) می‌گردد. در سرعت باد ۶ متر



بر ثانیه مقدار خاک فرسایش یافته طی ۵ دقیقه برای نمونه آب پاشی شده برابر با ۸۳ گرم بر مترمربع می- باشد. مقدار این فرسایش با افزایش سرعت به صورت یک تابع سهموی افزایش یافته و به مقدار ۱۱۱۷، ۴۲۵۰ و ۱۰۴۶۷ گرم بر مترمربع در هر یک از سرعت‌های ۹، ۱۲ و ۱۵ متر بر ثانیه می‌رسد. مقایسه میزان فرسایش خاک آب پاشی شده با خاک تیمار نشده بیانگر مقدار کاهش ۸۲، ۴۷، ۴۰ و ۳۶ درصدی مقدار خاک فرسایش یافته به ترتیب در سرعت‌های ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ متر بر ثانیه می‌باشد. در واقع کاهش فرسایش پذیری خاک را چنین می‌توان توجیه نمود که پاشش آب بر روی خاک باعث افزایش چسبندگی ذرات در سطح خاک و در نتیجه کاهش میزان فرسایش پذیری خاک می‌شود (موحدان و همکاران، ۱۳۹۰؛ Robichaud et al, 2017). افزودن آب به خاک در تحقیقات مشابه نیز باعث کاهش میزان فرسایش خاک گردیده است (ملکی کالکر و همکاران، ۱۳۹۵؛ شهنواز و همکاران، ۱۳۹۶؛ موحدان و همکاران، ۱۳۹۰؛ Han et al, 2009؛ Robichaud et al, 2017).



شکل ۴-۲۱: مقدار فرسایش نمونه خاک‌های تیمار شده با مقدار پاشش ۱۵ میلی‌لیتر، طی ۵ دقیقه در سرعت‌های مختلف

تهیه مالچ مورد نظر در دوزهای مختلف و پاشش آن به مقدار ۱۵ میلی‌لیتر بر روی سطح خاک، در غلظت‌های ۰,۱ تا ۰,۷ درصد، باعث کاهش مقدار فرسایش خاک در تمامی سرعت‌ها با افزایش غلظت مالچ

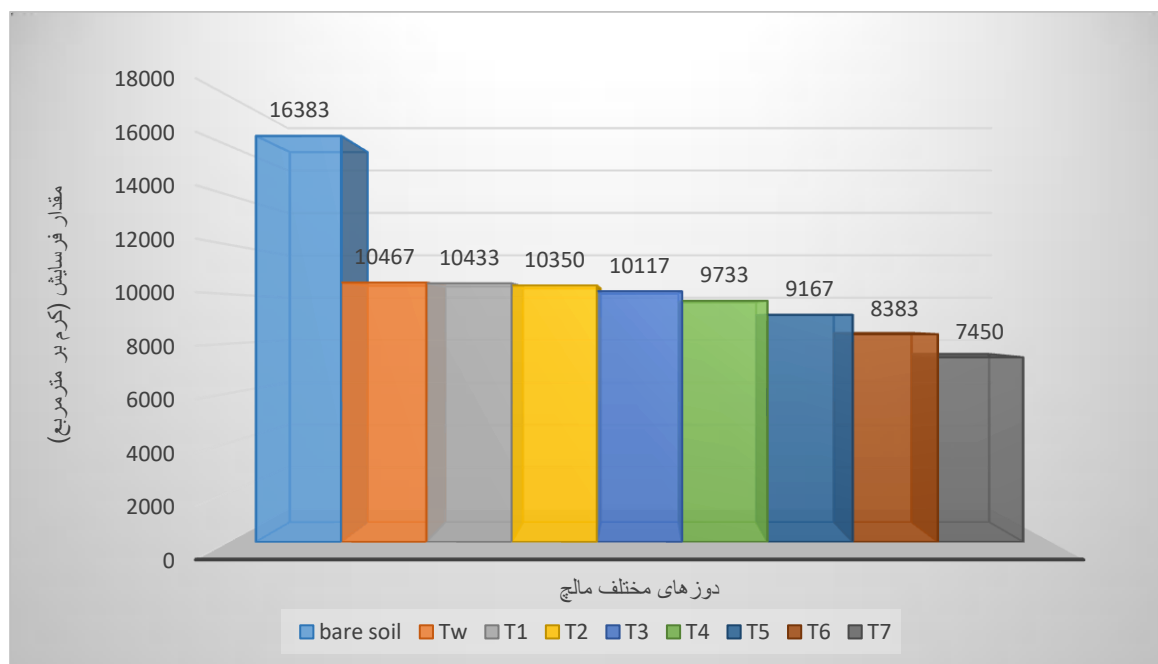
مورد استفاده گردید (شکل ۴-۲۱). مقدار فرسایش خاک مالچ پاشی شده با دوزهای ۰,۱ و ۰,۲ درصد، همانطور که در شکل ۴-۲۱ مشاهده می‌شود، در سرعت اولیه ۶ متر بر ثانیه به ترتیب برابر با ۶۷ و ۳۳ گرم بر متر مربع می‌باشد. این نتایج بیانگر کاهش ۲۰ و ۶۰ درصدی میزان خاک فرسایش یافته در نمونه‌های مالچ‌پاشی شده با غلظت ۰,۱ و ۰,۲ درصد نسبت به نمونه شاهد خود در سرعت ۶ متر بر ثانیه می‌باشد. با افزایش غلظت مالچ به ۰,۳ درصد و بیشتر، مقدار فرسایش خاک در این سرعت به صفر می‌رسد.

با افزایش سرعت باد به ۹ متر بر ثانیه مقدار فرسایش خاک مالچ پاشی شده با دوزهای ۰,۱، ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵، ۰,۶ و ۰,۷ درصد مطابق با شکل ۴-۲۱ به تدریج کاهش یافته و به ترتیب به مقدار ۱۱۰۰، ۱۰۶۷، ۹۸۳، ۸۵۰، ۶۸۳، ۴۵۰ و ۲۰۰ گرم بر متر مربع می‌رسد. برطبق نتایج حاصل میزان فرسایش هریک از نمونه‌ها در سرعت باد ۹ متر بر ثانیه طی ۵ دقیقه به ترتیب ۲، ۵، ۱۲، ۲۷، ۳۹، ۶۰ و ۸۲ درصد کاهش را نسبت به نمونه شاهد خود در همین سرعت و زمان نشان می‌دهد.

پس از افزایش سرعت باد به ۱۲ متر بر ثانیه مقدار فرسایش خاک برای هریک از نمونه‌های مالچ پاشی شده با دوزهای ۰,۱، ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵، ۰,۶ و ۰,۷ درصد مطابق شکل ۴-۲۱ به ترتیب به مقدار ۴۲۱۷، ۴۱۶۷، ۴۰۱۷، ۳۷۸۳، ۳۴۵۰، ۲۹۸۳ و ۲۴۵۰ گرم بر متر مربع می‌رسد. با توجه به مقادیر بدست آمده میزان فرسایش هریک از نمونه‌ها در سرعت ۱۲ متر بر ثانیه طی ۵ دقیقه به ترتیب ۱، ۲، ۶، ۱۱، ۱۹، ۳۰ و ۴۳ درصد کاهش را نسبت به نمونه شاهد خود در همین سرعت و زمان نشان می‌دهد.

مقدار فرسایش خاک مالچ پاشی شده با دوزهای ۰,۱، ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵، ۰,۶ و ۰,۷ درصد در سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه به ترتیب به مقدار ۱۰۴۳۳، ۱۰۳۵۰، ۱۰۱۱۷، ۹۷۳۳، ۹۱۶۷، ۸۳۸۳ و ۷۴۵۰ گرم بر متر مربع می‌رسد (شکل ۴-۲۱). با توجه به نتایج حاصل میزان فرسایش هریک از نمونه‌ها در سرعت ۱۵ متر بر ثانیه طی ۵ دقیقه به ترتیب ۰,۵، ۱، ۳، ۷، ۱۳، ۲۰ و ۲۹ درصد کاهش را نسبت به نمونه شاهد خود در همین سرعت و زمان نشان می‌دهد.

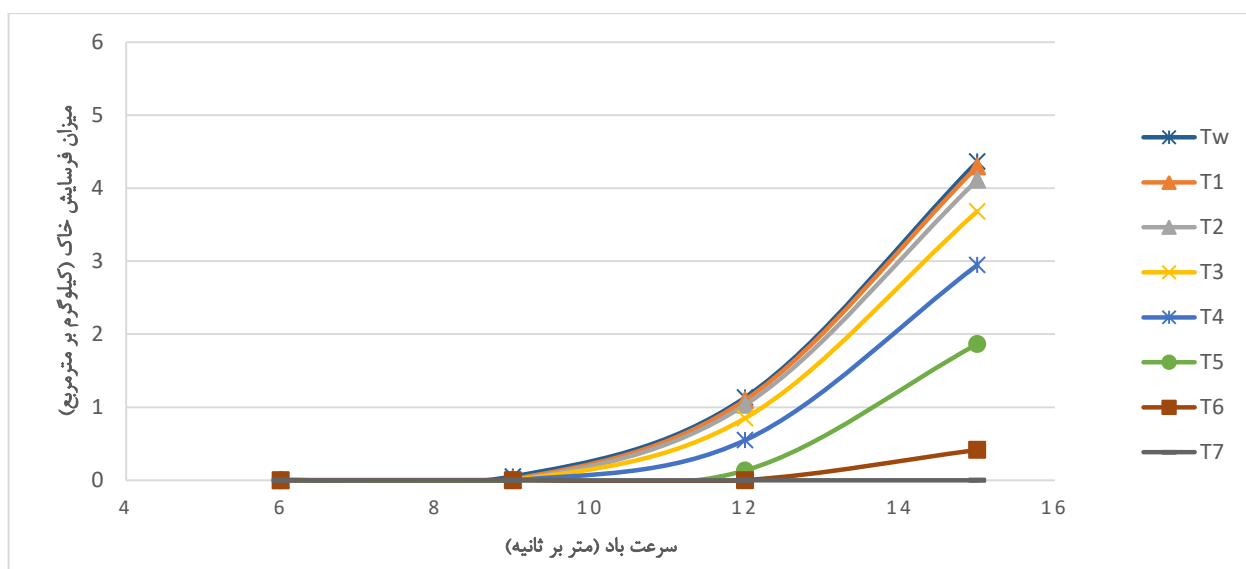
در تحقیقات مشابه انجام شده که از رسوب میکروبی کربنات (ملکی کالکر و همکاران، ۱۳۹۴)، محلول فسفریک اسید (Ketabi et al, 2017)، مالچ سرباره فولاد سازی (باباخانی و کریمزاده، ۱۳۹۲)، مالچ‌های ماسه شنی (Xiaoyan et al, 2002)، مالچ‌های رسی (حضرئی و زارع‌ارنایی، ۱۳۹۲؛ مجدی و همکاران، ۱۳۸۵)، مالچ‌های آلی با پایه گیاهی (شهنواز و همکاران، ۱۳۹۶)، مالچ‌های پلیمری (جعفری شالکوهی و همکاران، ۱۳۹۴؛ موحدان و همکاران، ۱۳۹۰؛ Han et al, 2007) و مالچ‌های گیاهی (Robichaud et al, 2017) استفاده شده است، نیز افزودن مالچ باعث افزایش مقاومت خاک در برابر فرسایش بادی و کاهش میزان فرسایش خاک گردیده است. در شکل ۴-۲۲ مقدار نهایی فرسایش خاک تیمار نشده و نمونه‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف به مقدار پاشش ۱۵ میلی‌لیتر، طی ۵ دقیقه نهایی در مقابل سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه جهت مقایسه در کنار یکدیگر نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۲: مقدار فرسایش خاک تیمار نشده و تیمار شده با مالچ به مقدار پاشش ۱۵ میلی‌لیتر، طی ۵ دقیقه نهایی در مقابل سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه

#### ۳-۴-۴ خاک تیمار شده با مالچ به مقدار پاشش ۲۵ میلی‌لیتر

با افزایش میزان پاشش آب به مقدار ۲۵ میلی‌لیتر بر روی سطح خاک (شکل ۴-۲۳)، مقدار فرسایش خاک نسبت به نمونه آب پاشی شده به مقدار پاشش ۱۵ میلی‌لیتر (شکل ۴-۲۱)، کاهش قابل توجهی داشته است. مطابق شکل ۴-۲۳ افزودن آب به مقدار ۲۵ میلی‌لیتر موجب جلوگیری از فرسایش خاک در سرعت ۶ متر بر ثانیه می‌گردد. میزان فرسایش خاک با افزایش سرعت به صورت یک تابع سهموی افزایش می‌یابد و به ترتیب به مقدار ۵۰، ۱۱۳۳ و ۴۳۶۷ گرم بر مترمربع در سرعت‌های ۹، ۱۲ و ۱۵ متر بر ثانیه می‌رسد. این مقادیر نسبت به نمونه خاک تیمار نشده کاهش ۹۸، ۸۴ و ۷۳ درصدی، و نسبت به نمونه تیمار شده با آب خالص با مقدار پاشش ۱۵ میلی‌لیتر، کاهش ۹۶، ۷۳ و ۵۸ درصدی میزان خاک فرسایش یافته را به ترتیب در سرعت‌های ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ متر بر ثانیه نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۳: مقدار فرسایش نمونه خاک‌های تیمار شده با مقدار پاشش ۲۵ میلی‌لیتر، طی ۵ دقیقه نهایی در سرعت‌های مختلف

پاشش مالچ به مقدار ۲۵ میلی‌لیتر در دوزهای ۰،۱، ۰،۲، ۰،۳، ۰،۴، ۰،۵، ۰،۶ و ۰،۷ درصد مطابق با شکل ۴-۲۳ مقدار فرسایش خاک را در سرعت ۶ متر بر ثانیه به صفر رسانده و همانند نمونه شاهد خود، خاک هیچگونه فرسایشی را در این سرعت نداشته است.

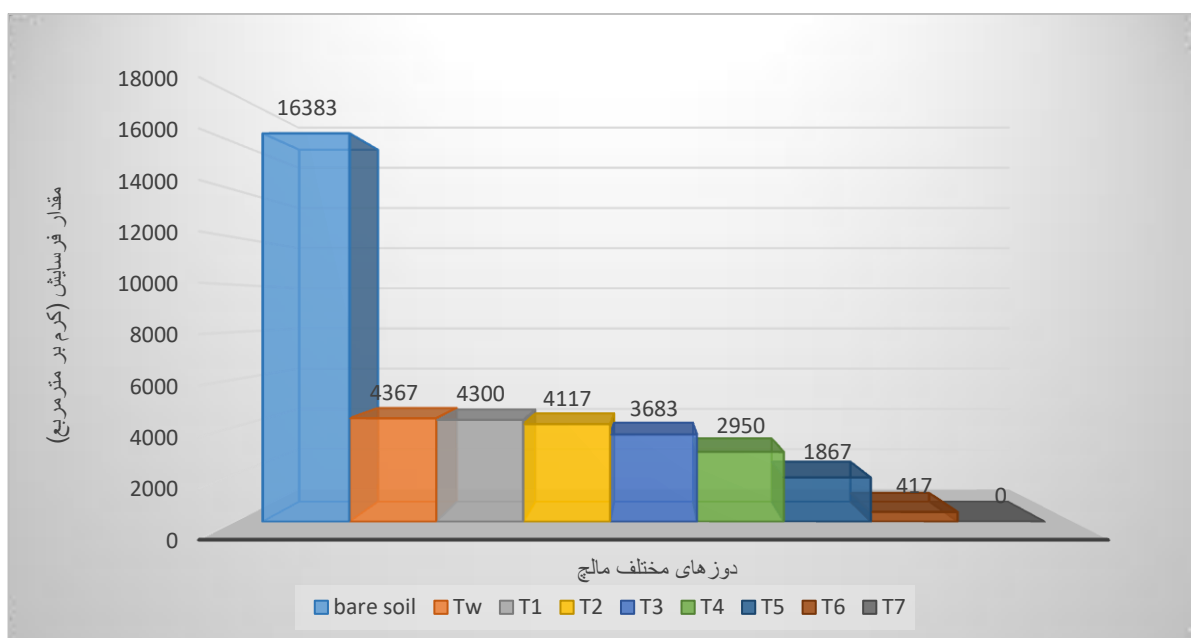
در اثر افزایش سرعت باد به ۹ متر بر ثانیه مقدار فرسایش خاک مالچ پاشی شده با دوز ۰,۱ درصد به مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر مطابق با شکل ۴-۲۳ برابر با ۱۷ گرم بر متر مربع می باشد، که نسبت به نمونه مالچ پاشی شده با دوز ۰,۱ درصد با مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر به مقدار ۱۰۸۳ گرم بر متر مربع کاهش یافته است. در ادامه با افزایش غلظت مالچ به ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵، ۰,۶ و ۰,۷ درصد، مقدار فرسایش خاک در سرعت ۹ متر بر ثانیه برابر با صفر بوده و نسبت به نمونه شاهد خود و نمونه مالچ پاشی شده با دوزهای مشابه با مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر کاهش ۱۰۰ درصدی فرسایش خاک را نشان می دهد.

با افزایش سرعت باد به ۱۲ متر بر ثانیه مقدار فرسایش برای هریک از نمونه های مالچ پاشی شده با دوزهای ۰,۱، ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴ و ۰,۵ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر، مطابق با شکل ۴-۲۳ به ترتیب به مقدار ۱۱۰۰، ۱۰۳۳، ۸۵۰، ۵۵۰ و ۱۳۳ گرم بر متر مربع می رسد. در اثر افزایش مقدار دوز مالچ به ۰,۶ درصد و بالاتر مقدار فرسایش خاک در سرعت ۱۲ متر بر ثانیه صفر می شود. میزان فرسایش هریک از نمونه های مالچ پاشی شده با دوزهای ۰,۱، ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴ و ۰,۵ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت ۱۲ متر بر ثانیه به ترتیب ۳، ۹، ۲۵، ۵۲ و ۹۰ درصد کاهش نسبت به نمونه شاهد خود، و مقدار ۷۴، ۷۵، ۷۹، ۸۷ و ۹۶ درصد کاهش را نسبت به نمونه های مالچ پاشی شده با دوزهای مشابه با مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر را نشان می دهد. همچنین نمونه های مالچ پاشی شده با دوزهای ۰,۶ و ۰,۷ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر نسبت به نمونه شاهد خود و نمونه های مالچ پاشی شده با دوزهای مشابه با مقدار پاشش ۱۵ میلی لیتر، کاهش ۱۰۰ درصدی میزان فرسایش را نشان داده است.

در اثر افزایش سرعت باد به ۱۵ متر بر ثانیه مقدار فرسایش برای هریک از نمونه های مالچ پاشی شده با دوزهای ۰,۱، ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴ و ۰,۵ و ۰,۶ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر مطابق با شکل ۴-۲۳ به ترتیب برابر با ۴۳۰۰، ۴۱۱۷، ۳۶۸۳، ۲۹۵۰، ۱۸۶۷ و ۴۱۷ گرم بر متر مربع می باشد. با افزایش مقدار غلظت مالچ به ۰,۷ درصد مقدار فرسایش خاک در این سرعت به صفر می رسد. همچنین میزان فرسایش

برای هریک از نمونه‌های مالچ پاشی شده با دوزهای ۰,۱، ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵، ۰,۶ و ۰,۷ درصد، در سرعت ۱۵ متر بر ثانیه به ترتیب ۲، ۶، ۱۶، ۳۳، ۵۷، ۹۱ و ۱۰۰ درصد کاهش را نسبت به نمونه شاهد خود و ۵۹، ۶۰، ۶۴، ۷۰، ۸۰، ۹۵ و ۱۰۰ درصد کاهش را نسبت به نمونه‌های مالچ پاشی شده با دوزهای مشابه با مقدار پاشش ۱۵ میلی‌لیتر، نشان می‌دهد.

به طور کلی افزایش مقدار پاشش مالچ در تحقیقات مشابه نیز موجب افزایش مقاومت لایه بستر و کاهش میزان فرسایش بادی خاک شده است (حضیرئی و زارع‌ارنانی، ۱۳۹۲؛ مجدی و همکاران، ۱۳۸۵؛ جمشید صفا و همکاران، ۱۳۹۴؛ باباخانی و کریم‌زاده، ۱۳۹۲؛ Ketabi et al, 2017; Xiaoyan et al, 2002). در شکل ۴-۲۴ مقدار نهایی فرسایش خاک تیمار نشده و نمونه‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف به مقدار پاشش ۲۵ میلی‌لیتر، طی ۵ دقیقه نهایی در مقابل سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه جهت مقایسه در کنار یکدیگر نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۴: مقدار فرسایش خاک تیمار نشده و تیمار شده با مالچ به مقدار پاشش ۲۵ میلی‌لیتر، طی ۵ دقیقه نهایی در مقابل سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه

با توجه به نتایج بدست آمده و توضیحات بیان شده مالچ منتخب جهت تثبیت خاک در مقابل تمامی سرعت بادهای ایجاد شده در این آزمایش‌ها، مالچ با غلظت ۰,۷ درصد و با میزان پاشش ۲۵ میلی لیتر می-باشد. در شکل ۴-۲۵ نمایی از نمونه خاک مالچ پاشی شده با مالچ منتخب قبل و پس از انجام آزمایش فرسایش بادی نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۵: نمایی از نمونه خاک مالچ پاشی شده با مالچ منتخب (۰,۷ درصد، پاشش ۲۵ میلی لیتر): سطح خاک صاف شده قبل از مالچ پاشی (الف)، سطح خاک خشک شده در آون پس از مالچ پاشی (ب)، سطح خاک پس از انجام آزمایش فرسایش بادی و قرار گیری نمونه طی ۵ دقیقه در مقابل سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه (پ).

#### ۴-۵ مقدار نفوذ مالچ در خاک مورد مطالعه

مقدار نفوذ مالچ در خاک برای غلظت‌ها و مقدار پاشش‌های مختلف در جدول ۴-۱۰ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با پاشش ۱۵ میلی لیتر از مالچ‌های تهیه شده با غلظت‌های ۰,۱ و ۰,۲ درصد، مقدار نفوذ مالچ در خاک هیچگونه تغییری نداشته و همانند نمونه شاهد خود (تیمار شده با آب) می‌باشد. با افزایش غلظت مالچ به ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵، ۰,۶ و ۰,۷ درصد مقدار نفوذ مالچ به ترتیب ۰,۱، ۰,۲، ۰,۳، ۰,۵ و ۰,۷ میلی متر کاهش را نسبت به نمونه شاهد خود نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۰: مقدار متوسط نفوذ مالچ در خاک برحسب میلی‌متر

| غلظت محلول / مقدار پاشش (ml) | ۱۵  | ۲۵  |
|------------------------------|-----|-----|
| آب خالص                      | ۳,۲ | ۴,۳ |
| ۰,۱ درصد                     | ۳,۲ | ۴,۳ |
| ۰,۲ درصد                     | ۳,۲ | ۴,۲ |
| ۰,۳ درصد                     | ۳,۱ | ۴,۱ |
| ۰,۴ درصد                     | ۳   | ۳,۹ |
| ۰,۵ درصد                     | ۲,۹ | ۳,۷ |
| ۰,۶ درصد                     | ۲,۷ | ۳,۴ |
| ۰,۷ درصد                     | ۲,۵ | ۳,۱ |

با افزایش مقدار پاشش به ۲۵ میلی‌لیتر، مقدار نفوذ مالچ تهیه شده با غلظت ۰,۱ درصد، هیچگونه تغییری نداشته و مشابه نمونه شاهد (آب خالص) خود بوده است. در اثر افزایش غلظت مالچ به ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵، ۰,۶، ۰,۷ و ۰,۷ درصد مقدار نفوذ مالچ نسبت به نمونه شاهد خود به ترتیب ۰,۱، ۰,۲، ۰,۴، ۰,۶، ۰,۹ و ۱,۲ میلی‌متر کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش میزان پاشش، مقدار نفوذ آب خالص و مالچ‌های با غلظت‌های ۰,۱ تا ۰,۷ درصد نسبت به نمونه مشابه خود با مقدار پاشش کمتر به ترتیب ۰,۲۶، ۰,۲۶، ۰,۲۴، ۰,۲۴، ۰,۲۳، ۰,۲۲ و ۰,۲۱ درصد، افزایش میزان نفوذ را نشان می‌دهد. به طور کلی با توجه به نتایج با افزایش مقدار پاشش میزان نفوذ مالچ در خاک بیشتر و با افزایش غلظت مالچ به دلیل افزایش لزجت محلول مقدار نفوذ آن در خاک کمتر می‌شود (مجدی و همکاران، ۱۳۸۵؛ Ketabi et al, 2017; Robichaud et al, 2017). در شکل ۴-۲۶ نمایی از نحوه نفوذ مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد، پاشش ۲۵ میلی‌لیتر) در خاک نشان داده شده است.





شکل ۴-۲۶: نمایی از نحوه نفوذ مالچ در خاک مورد مطالعه

#### ۴-۶ تغییرات ضخامت لایه تثبیت شده خاک با مالچ پس از فرسایش بادی

اندازه‌گیری‌های انجام شده به منظور تعیین مقدار درصد کاهش ضخامت لایه تثبیت شده طی استفاده از غلظت‌ها و پاشش‌های مختلف مالچ در جدول ۴-۱۱ نشان داده شده است. براساس نتایج حاصل در صورت پاشش ۱۵ میلی‌لیتر مالچ با غلظت ۰,۱ و ۰,۲ درصد، مقدار کاهش ضخامت لایه تثبیت شده خاک در طی عمل فرسایش مشابه نمونه شاهد خود (آب خالص) می‌باشد. این درحالیست که با افزایش غلظت مالچ به ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵، ۰,۶ و ۰,۷ درصد، مقدار ضخامت از دست رفته لایه تثبیت شده خاک به ترتیب ۱، ۲، ۵، ۸ و ۱۲ درصد کاهش را نسبت به نمونه شاهد خود نشان می‌دهد. با افزایش مقدار پاشش به ۲۵ میلی‌لیتر، مقدار کاهش ضخامت لایه تثبیت شده خاک توسط مالچ به غلظت ۰,۱ درصد، در طی عمل فرسایش هیچگونه تغییری را نسبت به نمونه شاهد خود نداشته است. در اثر افزایش غلظت مالچ به ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵، ۰,۶ و ۰,۷ درصد، میزان ضخامت از دست رفته لایه تثبیت شده نسبت به نمونه شاهد خود به ترتیب ۲، ۴، ۱۱، ۲۰، ۳۶ و ۴۲ درصد، کاهش می‌یابد.

جدول ۴-۱۱: درصد کاهش ضخامت لایه تثبیت شده در خاک پس از اتمام آزمایش فرسایش بادی و قرار گیری نمونه طی ۵ دقیقه در مقابل سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه

| غلظت محلول/ مقدار پاشش (ml) | ۱۵ | ۲۵ |
|-----------------------------|----|----|
| آب خالص                     | ۸۱ | ۴۲ |
| ۰,۱ درصد                    | ۸۱ | ۴۰ |
| ۰,۲ درصد                    | ۸۱ | ۳۶ |
| ۰,۳ درصد                    | ۸۰ | ۳۰ |
| ۰,۴ درصد                    | ۷۹ | ۲۴ |
| ۰,۵ درصد                    | ۷۶ | ۱۵ |
| ۰,۶ درصد                    | ۷۳ | ۵  |
| ۰,۷ درصد                    | ۶۹ | ۰  |

براساس نتایج حاصل با افزایش غلظت مالچ، ضخامت از دست رفته لایه تثبیت شده خاک در طی فرسایش بادی خاک کمتر می‌شود. این مقدار کاهش در محلول‌های با غلظت بالاتر به علت افزایش مقاومت و چسبندگی بیشتر بستر خاک، کمتر می‌باشد. همچنین با افزایش میزان پاشش علاوه بر افزایش عمق نفوذ مالچ، منافذ موجود در لایه سطحی خاک پر شده و لایه‌ای مستحکم‌تر در مقابل فرسایش بادی ایجاد می‌کند. مطابق با تحقیقات مشابه انجام شده توسط محققین دیگر، در تحقیق حاضر نیز با افزایش چسبندگی بین ذرات خاک مقدار مقاومت خاک در مقابل جریان باد افزایش یافته که در نتیجه‌ی آن میزان کاهش ضخامت لایه تثبیت شده خاک در مقابل جریان باد کمتر شده است (مجدی و همکاران، ۱۳۸۵؛ حضیرئی و زارع‌ارنانی، ۱۳۹۲؛ Ketabi et al, 2017, Robichaud et al, 2017).

#### ۴-۷ تاثیر دمای مالچ بر میزان فرسایش خاک تثبیت شده با مالچ گیاهی

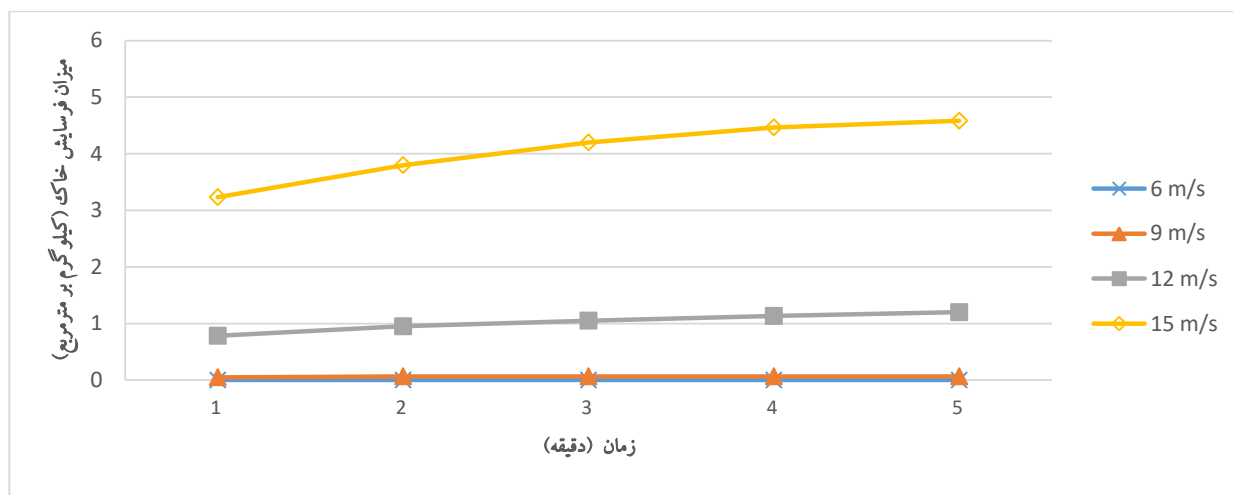
تاثیر دما بر فرسایش بادی نمونه خاک مالچ پاشی شده با مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد، مقدار پاشش ۲۵ میلی‌لیتر) در بازه دمایی ۱۹ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد (متناسب با میانگین و حداکثر

مطلق دمای سالیانه منطقه مورد مطالعه) مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات دما در بازه‌ی ۱۹ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد، هیچ‌گونه تاثیر منفی بر روی فرآیند تثبیت و در نتیجه میزان مقاومت خاک تیمار شده در برابر فرسایش بادی نداشت. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات سایر محققین که بر روی تاثیر دما بر مالچ‌های غیر زنده، شیمیایی و پلیمری مطالعه نموده‌اند، مطابقت دارد (کوپایی‌نیا و افزلی، ۱۳۹۴؛ Corti et al, 2010; Ketabi et al, 2017).

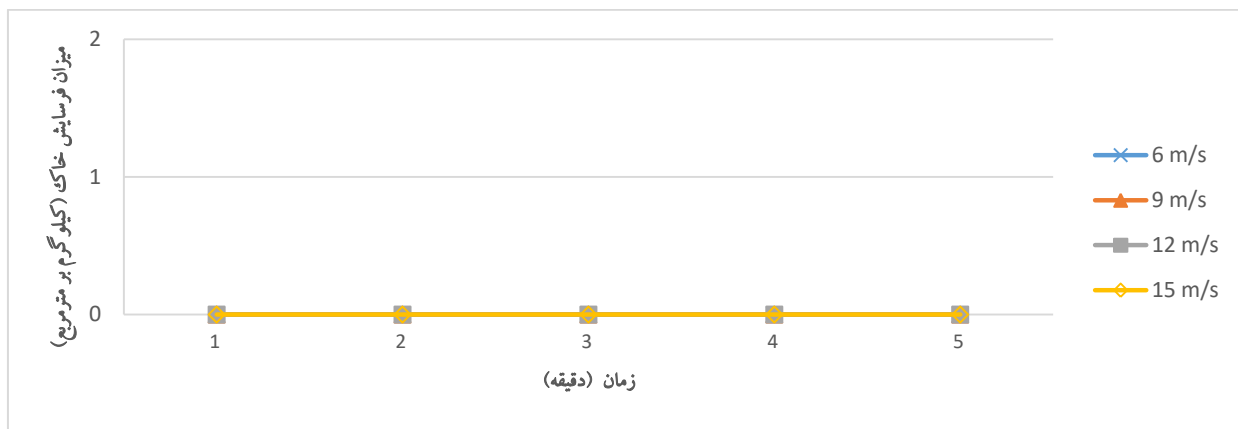
#### ۸-۴ تاثیر شرایط محیطی و گذشت زمان پس از مالچ‌پاشی بر میزان فرسایش خاک

##### تثبیت شده

برای تعیین میزان تاثیر شرایط محیطی بر روی نمونه خاک تیمار شده با مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد، پاشش ۲۵ میلی‌لیتر) و نمونه شاهد (تیمار شده با آب) نظیر آن، دو نمونه به مدت ۳۰ روز در محوطه دارای تهویه و در معرض نور مستقیم خورشید قرار داده شد و سپس میزان فرسایش بادی نمونه‌ها در تونل باد مورد بررسی قرار گرفت (اشکال ۴-۲۷ و ۴-۲۸).



شکل ۴-۲۷: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با آب خالص به مقدار پاشش ۲۵ میلی‌لیتر در سرعت و زمان‌های مختلف، پس از ۳۰ روز ماندگاری



شکل ۴-۲۸: مقدار فرسایش خاک تیمار شده با مالچ به غلظت ۰,۷ درصد به مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر در سرعت و زمان-های مختلف، پس از ۳۰ روز ماندگاری

مطابق شکل ۴-۲۸ افزایش مدت زمان نگهداری نمونه به مدت ۳۰ روز، تاثیر منفی بر روی نمونه مالچ پاشی شده با مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد، پاشش ۲۵ میلی لیتر) نداشته و مقدار فرسایش در سرعت‌ها و زمان‌های مختلف برابر با صفر می‌باشد. این در حالیست که با استفاده از پاشش آب خالص (شکل ۴-۲۷) در صورت افزایش مدت زمان نگهداری نمونه به ۳۰ روز، میزان خاک فرسایش یافته نسبت به نمونه ۲ روزه (شکل ۴-۵) مقداری افزایش را نشان می‌دهد. در سرعت اولیه ۶ متر بر ثانیه مقدار فرسایش در نمونه ۳۰ روزه نگهداری شده در شرایط محیطی همانند نمونه خشک شده در آن برابر با صفر می‌باشد. با افزایش سرعت باد به ۹، ۱۲ و ۱۵ متر بر ثانیه مقدار فرسایش به تدریج افزایش یافته و از ۵۰، ۷۸۳ و ۳۲۳۳ گرم بر مترمربع در یک دقیقه اول آزمایش به ۶۷، ۱۲۰۰ و ۴۵۸۳ گرم بر مترمربع در پنج دقیقه نهایی آزمایش، به ترتیب در هریک از سرعت‌های ذکر شده می‌رسد. این مقادیر نشان از افزایش مقدار خاک فرسایش یافته به مقدار ۱۷، ۶۷ و ۲۱۶ گرم بر مترمربع در مقابل سرعت بادهای ۹، ۱۲ و ۱۵ متر بر ثانیه در صورت افزایش مدت زمان نگهداری نمونه به ۳۰ روز در خاک آب‌پاشی شده می‌باشد. علت این افزایش میزان فرسایش در خاک آب‌پاشی شده پس از ۳۰ روز ماندگاری را می‌توان کاهش چسبندگی

ظاهری دانست که آب در خاک به دلیل فشار آب حفره‌ای ایجاد می‌کند و با گذر زمان به تدریج از بین می‌رود (سلطانی و عباسی، ۱۳۸۶؛ جعفری شالکوهی و همکاران، ۱۳۹۴).

#### ۹-۴ تغییرات EC و pH خاک تثبیت شده پس از مالچ پاشی

گیاهان مختلف عمدتاً در خاک‌های با مقادیر pH و میزان شوری خاصی رشد می‌کنند. پاشیدن مالچ می‌تواند موجب تغییر در مقدار این پارامترها در خاک و در نتیجه آسیب به گیاهان و یا جلوگیری از رشد و تکثیر آن‌ها در خاک تثبیت شده توسط مالچ شود. برای بررسی میزان تغییرات مقادیر pH، EC و میزان شوری خاک طی فرآیند تثبیت با مالچ گیاهی، مقدار این سه پارامتر پس از عمل مالچ پاشی با مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد، پاشش ۲۵ میلی‌لیتر) مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج این آزمایشات در جدول ۱۲-۴ و ۱۳-۴ نشان داده شده است.

جدول ۱۲-۴: مقدار pH خاک تثبیت شده با مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد، پاشش ۲۵ میلی‌لیتر)

| مقدار pH | شماره نمونه |
|----------|-------------|
| ۸,۱      | ۱           |
| ۸        | ۲           |
| ۸,۱      | ۳           |
| ۸,۱      | میانگین     |

با توجه به جدول ۱۲-۴، میانگین مقدار pH موجود در خاک مالچ پاشی شده با مالچ منتخب برابر با ۸,۱ می‌باشد. با مقایسه این مقدار با مقدار pH نمونه مالچ پاشی نشده (۸,۱) که در جدول ۴-۶ نشان داده شده است، هیچگونه تغییری در مقدار pH خاک تثبیت شده با مالچ منتخب دیده نمی‌شود. این امر مزیت استفاده از این مالچ گیاهی را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۳: مقدار شوری و هدایت الکتریکی خاک تثبیت شده با مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد، پاشش ۲۵ میلی لیتر)

| شماره نمونه | هدایت الکتریکی (EC)<br>(mS/cm) | شوری خاک<br>(g/L) |
|-------------|--------------------------------|-------------------|
| ۱           | ۲,۴۷                           | ۱,۲               |
| ۲           | ۲,۵۰                           | ۱,۳               |
| ۳           | ۲,۴۵                           | ۱,۲               |
| میانگین     | ۲,۴۷                           | ۱,۲               |

برطبق جدول ۴-۱۳ مقدار شوری و هدایت الکتریکی خاک مالچ پاشی شده با مالچ منتخب به ترتیب برابر با ۱,۲ گرم بر لیتر و ۲,۴۷ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. با مقایسه این مقادیر با مقدار شوری و هدایت الکتریکی نمونه مالچ پاشی نشده (۲ گرم بر لیتر و ۲,۴۰ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر) که در جدول ۴-۷ نشان داده شده است، هیچ گونه تغییر قابل توجهی در مقدار شوری و هدایت الکتریکی خاک پس از افزودن مالچ منتخب مشاهده نشده است. این نتیجه یکی دیگر از مزایای استفاده از مالچ گیاهی مورد استفاده در این تحقیق جهت تثبیت خاک را معلوم می‌سازد.

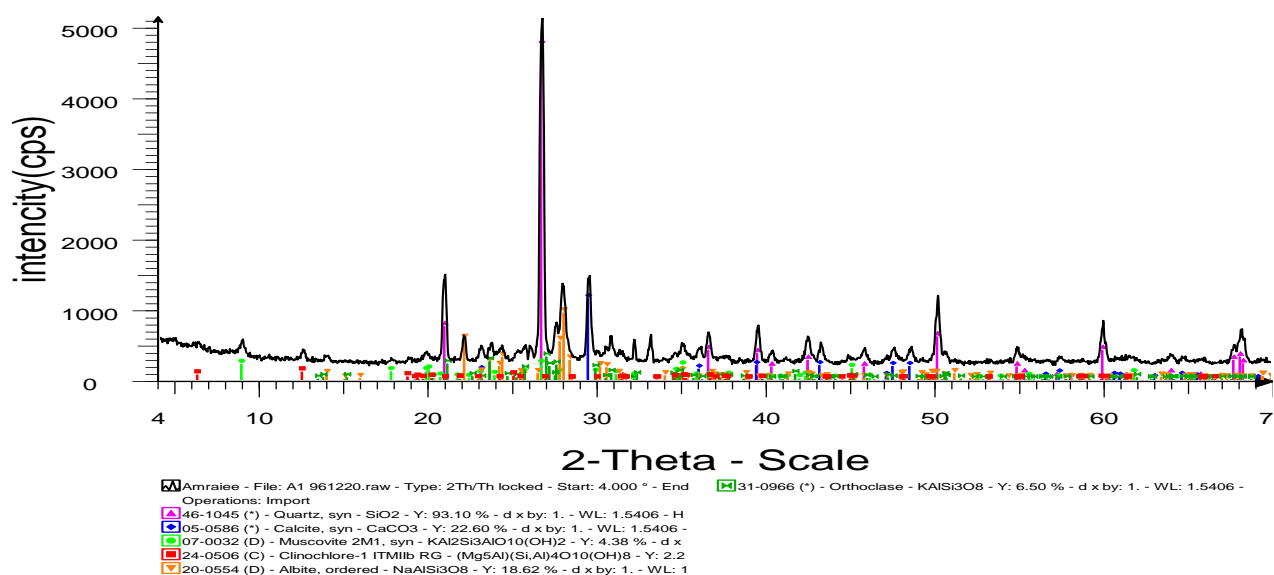
#### ۴-۱۰ نتایج آنالیز XRD

ترکیب معدنی خاک مورد مطالعه در دو حالت تیمار نشده و تیمار شده با مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد، پاشش ۲۵ میلی لیتر) با استفاده از آنالیز XRD مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این آزمایشات در جدول ۴-۱۴ و شکل‌های ۴-۲۹ و ۴-۳۰ نشان داده است. افزایش درصد وزنی  $\text{SiO}_2$  (از ۳۸,۸ به ۵۴ درصد) در خاک پس از تیمار با مالچ را می‌توان چنین توجیه نمود که در اثر افزودن مالچ به خاک، پتاسیم و سدیم موجود در ارتوکلازها ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ )، آلبیت ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) و مسکویت ( $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ ) موجود در خاک در مالچ حل شده و نوع کانی تغییر یافته و درواقع از نظر وزنی، به بخش سیلیکات‌ها اضافه شده‌اند. افزایش میزان کوارتز ( $\text{SiO}_2$ ) موجود در خاک موجب افزایش مقاومت برشی خاک، بازده

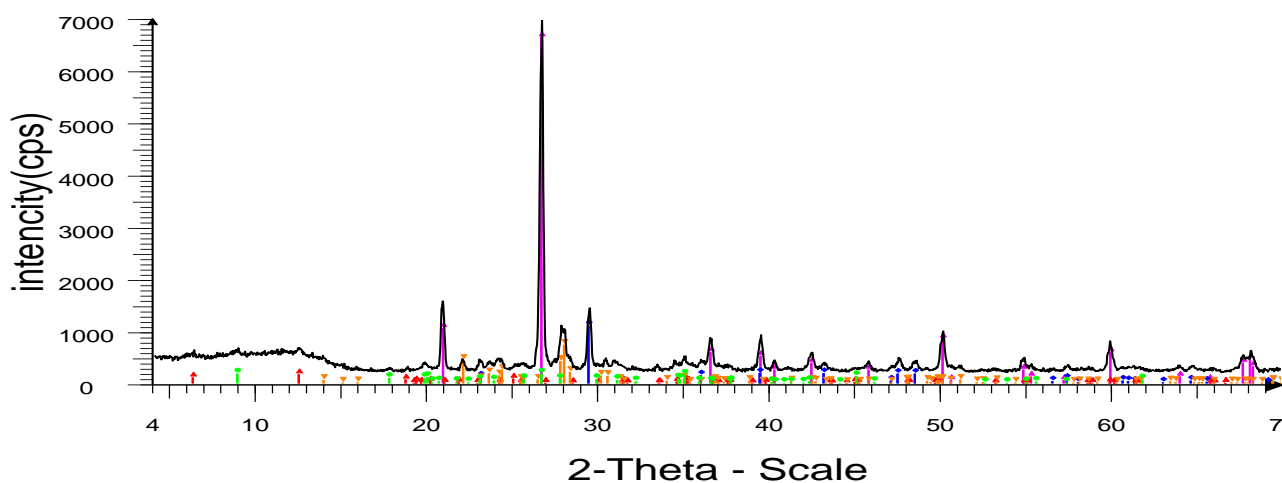
بالتر در فرآیند تثبیت و کمک به جامد سازی خاک می‌گردد (گودرزی و زمانیان، ۱۳۹۶؛ تاج دینی و همکاران، ۱۳۹۷). در واقع بنابر نتایج حاصل می‌توان چنین بیان نمود که افزایش مقدار کوآرتز موجود در خاک یکی از عوامل افزایش مقاومت خاک تیمار شده با مالچ، در مقابل نیروی برشی باد می‌باشد. همچنین براساس نتایج حاصل از آنالیز XRD مالچ مورد مطالعه کمترین تاثیر منفی را بر روی نوع و میزان عناصر موجود در خاک مورد مطالعه داشته و هیچ گونه ماده سمی‌ای را در خاک مورد مطالعه ایجاد نکرده است. این موضوع سازگاری زیست محیطی این نوع مالچ را آشکار می‌سازد.

جدول ۴-۱۴: نتایج حاصل از آنالیز XRD خاک مورد مطالعه در دو حالت تیمار نشده و تیمار شده با مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد، مقدار پاشش ۲۵ میلی‌لیتر) برحسب درصد

| $KAlSi_3O_8$ | $NaAlSi_3O_8$ | $(Mg_5Al)(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$ | $KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$ | $CaCO_3$ | $SiO_2$ |                             |
|--------------|---------------|---------------------------------|---------------------------|----------|---------|-----------------------------|
| ۹,۲          | ۲۶,۵          | ۳,۲                             | ۶,۲                       | ۱۶,۱     | ۳۸,۸    | خاک تیمار نشده              |
| -            | ۲۰,۶          | ۴,۸                             | ۵,۲                       | ۱۵,۴     | ۵۴      | خاک تیمار شده با مالچ منتخب |



شکل ۴-۲۹: آنالیز XRD برای نمونه خاک تیمار نشده



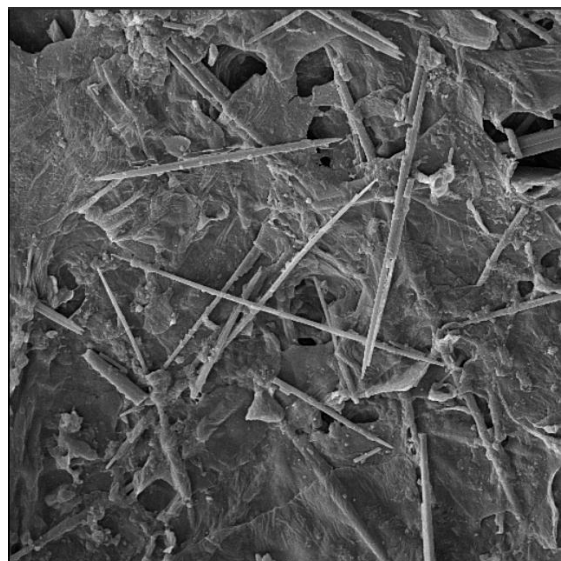
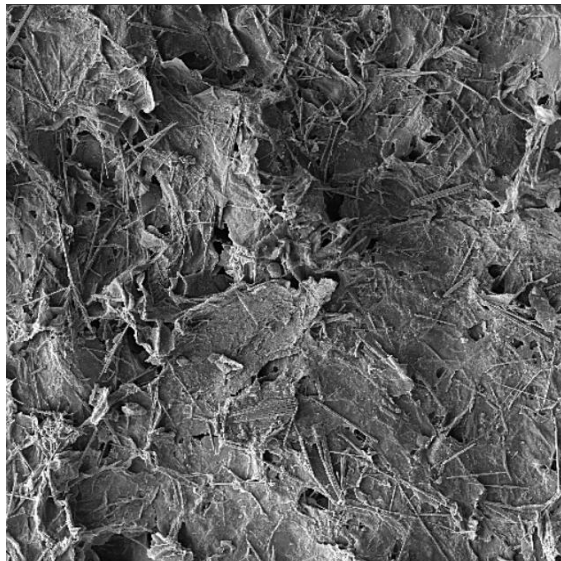
Amraiee - File: Mulch 970203.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.030 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 10  
 Operations: Import  
 46-1045 (\*) - Quartz, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 95.42 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.  
 05-0586 (\*) - Calcite, syn - CaCO<sub>3</sub> - Y: 15.92 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal (Rh) - a 4.98900 - b 4.98900 - c 17.06200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.  
 07-0032 (D) - Muscovite 2M1, syn - KAl<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub> - Y: 2.69 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.18900 - b 8.99500 - c 20.09700 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000  
 24-0506 (C) - Clinocllore-1 ITMlib RG - (Mg<sub>5</sub>Al)(Si<sub>4</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub> - Y: 2.51 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.34000 - b 9.27000 - c 14.36000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000  
 20-0554 (D) - Albite, ordered - NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> - Y: 10.69 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.13800 - b 12.78900 - c 7.15600 - alpha 94.330 - beta 116.600 - gamma 90.000

شکل ۴-۳: آنالیز XRD برای نمونه خاک تیمار شده با مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد، مقدار پاشش ۲۵ میلی لیتر)

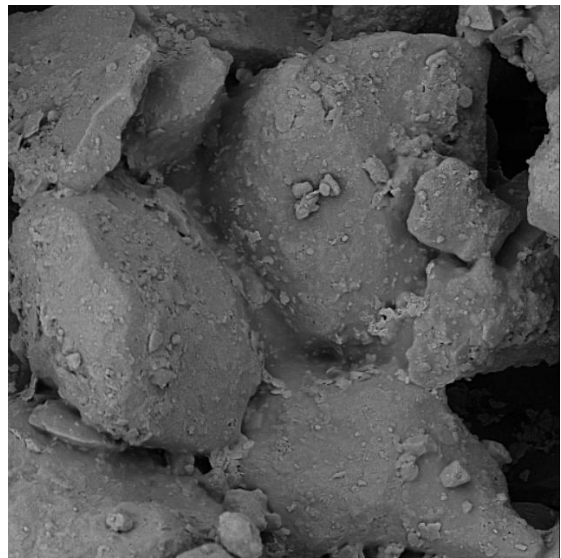
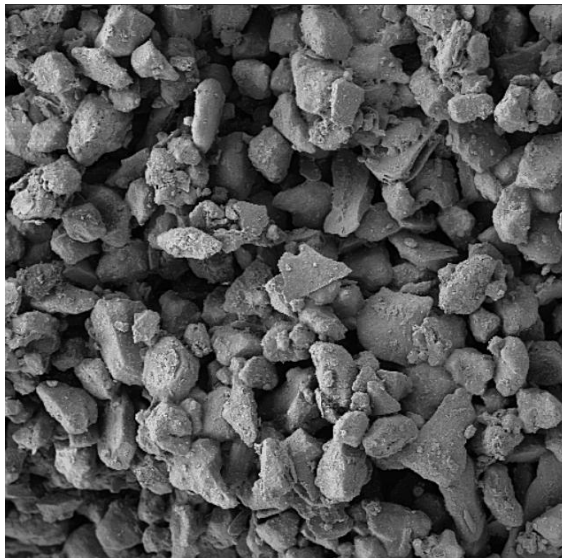
#### ۴-۱۱ نتایج آنالیز SEM

تصاویر حاصل از آزمایش SEM بر روی نمونه‌ی تیمار شده با مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد) و نمونه‌ی شاهد نظیر آن (تیمار شده با آب)، به ترتیب در اشکال ۴-۳۱ و ۴-۳۲ آورده شده است. شکل ۴-۳۱ اتصال ذرات به هم و تشکیل یک لایه چسب مانند بر روی ذرات با اتصالات سوزنی شکل را نمایان می‌سازد. همچنین به طور واضح نقش پوشش مالچ مورد استفاده در چسبانیدن ذرات به یکدیگر و تشکیل لایه ای بر روی خاک توسط مالچ مشخص می‌شود. شکل ۴-۳۲ نشان می‌دهد که استفاده از آب، تغییرات چندانی در سطح خاک ایجاد نکرده و ذرات خاک همچنان به صورت گسسته باقی مانده است. مقایسه دو شکل ۴-۳۱ و ۴-۳۲ نشان از تاثیر بسزای مالچ به کار رفته در تثبیت و چسبانیدن ذرات خاک به یکدیگر دارد.





شکل ۴-۳۱: نتایج آنالیز SEM نمونه‌های مالچ پاشی شده با مالچ منتخب (غلظت ۰,۷ درصد)



شکل ۴-۳۲: نتایج آنالیز SEM نمونه شاهد تیمار شده با آب خالص

## فصل پنجم

# نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## ۵-۱ مقدمه

در این بخش ابتدا به جمع بندی نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر پرداخته شده است و مالچ بهینه مورد نظر برای تثبیت خاک در مقابل هریک از سرعت بادهای مختلف معرفی شده است. در پایان پیشنهاداتی جهت انجام مطالعات آتی ارائه گردید.

## ۵-۲ جمع بندی نتایج شناسایی ویژگی‌های خاک مورد مطالعه

میزان فرسایش بادی در خاک‌های مختلف، متفاوت می‌باشد (جعفری شالکوهی و همکاران، ۱۳۹۴؛ موحدان و همکاران ۱۳۹۰). بدین منظور در تحقیق حاضر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه، مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از آن شامل حدود اتربرگ، میزان رطوبت، چگالی ذرات جامد، مقدار ماده آلی، مقدار کربنات کلسیم، pH، EC و میزان شوری خاک، در جدول ۵-۱ نشان داده شده است. برطبق نتایج حاصل، خاک مورد مطالعه دارای خاصیت خمیری بسیار پایینی بوده و براساس طبقه بندی یونیفاید در رده خاک‌های سیلتی با حد خمیری پایین و براساس مثلث طبقه بندی USDA در محدوده خاک‌های لومی سیلتی قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه طوفان‌های ریزگردی معمولاً در مناطقی با خاک دارای مقادیر زیادی ماسه ریز و سیلت اتفاق می‌افتد، خاک مورد مطالعه در زمره خاک‌های مستعد فرسایش قرار دارد (رفاهی، ۱۳۹۱).

جدول ۵-۱: نتایج آنالیز خاک مورد مطالعه

| نوع خاک   | حد خمیری (PL) | حد روانی (LL) | رطوبت (درصد) | چگالی خشک ( $gr/cm^2$ ) | ماده آلی (درصد) | کربنات کلسیم (درصد) | EC (dS/m) | pH  | شوری (gr/l) | طبقه بندی (یونیفاید) |
|-----------|---------------|---------------|--------------|-------------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----|-------------|----------------------|
| لوم سیلتی | ۱۸            | NP            | ۰,۷۵         | ۲,۶۹                    | ۰,۹             | ۷,۶                 | ۲,۴       | ۸,۱ | ۱,۲         | ML                   |

## ۳-۵ جمع بندی نتایج تاثیر پارامترهای مختلف بر فرسایش بادی خاک تثبیت شده با

### مالچ گیاهی

نتیجه بررسی تاثیر مالچ گیاهی ساخته شده از پودر ریشه گیاه سریش (*Eremurus Spectabilis*) بر میزان فرسایش بادی خاک‌ها نشان داد که مالچ‌های تهیه شده با غلظت‌های ۰,۱ تا ۰,۷ درصد پس از پاشش به درون خاک نفوذ کرده و باعث ایجاد یک لایه سطحی در خاک می‌شوند. لایه سطحی تثبیت شده در خاک همانند یک روکش عمل کرده و ضمن محافظت از لایه‌های تثبیت نشده زیرین باعث افزایش مقاومت خاک در مقابل فرسایش بادی می‌شود.

با توجه به نتایج بدست آمده به منظور جلوگیری از فرسایش خاک در مقابل باد با سرعت ۹ متر بر ثانیه می‌توان از مالچ با غلظت ۰,۲ درصد و به مقدار پاشش ۲۵ میلی‌لیتر استفاده نمود. با افزایش سرعت باد به ۱۲ متر بر ثانیه، مالچ‌های با غلظت ۰,۲ تا ۰,۵ درصد دوام کافی را نداشته و برای جلوگیری از فرسایش خاک نیازمند استفاده از مالچ با غلظت ۰,۶ درصد با مقدار پاشش ۲۵ میلی‌لیتر می‌باشد. علی‌رغم مقاومت قابل توجه مالچ ساخته شده با غلظت ۰,۶ درصد در مقابل بادهایی تا سرعت ۱۲ متر بر ثانیه، این مالچ در مقابل بادهای با سرعت ۱۵ متر بر ثانیه مقاومت خود را تا حدودی از دست داده و مقداری فرسایش را در این سرعت از خود نشان می‌دهد. مالچ منتخب با غلظت ۰,۷ درصد و به مقدار پاشش ۲۵ میلی‌لیتر می‌تواند میزان فرسایش بادی را در مقابل بادهایی تا سرعت ۱۵ متر بر ثانیه به صفر برساند. بر این اساس میزان گرد و غبار تولید شده نیز در نمونه تیمار شده با مالچ منتخب به صفر می‌رسد. این نتایج کارایی مالچ گیاهی ساخته شده با غلظت‌های مختلف را در کنترل فرسایش بادی نشان می‌دهد.

## ۴-۵ جمع بندی نتایج بررسی خصوصیات لایه تثبیت شده خاک

براساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان ضخامت لایه تثبیت شده قبل از انجام آزمایش فرسایش بادی و مقدار کاهش آن پس از اتمام آزمایش فرسایش بادی و قرارگیری نمونه‌های خاک در مقابل جریان باد با سرعت ۱۵ متر بر ثانیه، میزان ضخامت لایه تثبیت شده خاک با افزایش مقدار پاشش، بیشتر و با افزایش غلظت مالچ به دلیل افزایش لزجت محلول، کمتر می‌شود. این درحالیست که درصد کاهش ضخامت از دست رفته لایه تثبیت شده خاک پس از عمل فرسایش بادی با افزایش غلظت مالچ به علت افزایش مقاومت و چسبندگی بیشتر بستر خاک، کمتر می‌شود. همچنین با افزایش میزان پاشش علاوه بر افزایش عمق نفوذ مالچ، منافذ موجود در لایه سطحی خاک پر شده و لایه‌ای مستحکم‌تر در مقابل فرسایش بادی ایجاد می‌شود.

## ۵-۵ جمع بندی نتایج تاثیر فرایند تثبیت بر خصوصیات زیست محیطی خاک

براساس آزمایشات انجام گرفته بر روی مقادیر pH، EC و مقدار شوری خاک تثبیت شده و مقایسه این مقادیر با مقادیر نظیر آن‌ها در خاک تیمار نشده، افزودن مالچ به خاک هیچگونه تغییر قابل توجهی در مقادیر pH، EC و مقدار شوری خاک تثبیت شده نداشته است. این امر سازگاری زیست محیطی این مالچ طبیعی را جهت تثبیت خاک معلوم می‌سازد.

## ۶-۵ جمع بندی نتایج XRD و SEM خاک تثبیت شده

نتایج آنالیز XRD نشان داده است که افزودن مالچ به خاک باعث افزایش میزان کوارتز ( $\text{SiO}_2$ ) موجود در خاک شده و در نتیجه موجب افزایش مقاومت برشی خاک، بازده بالاتر در فرآیند تثبیت و کمک به جامد سازی خاک شده است. همچنین مالچ مورد مطالعه کمترین تاثیر منفی را بر روی نوع و میزان عناصر

موجود در خاک مورد مطالعه داشته است، که این موضوع سازگاری زیست محیطی این نوع مالچ را نشان می‌دهد.

نتایج آنالیز SEM به طور واضحی ایجاد یک لایه پوشش بر سطح خاک و ایجاد چسبندگی و پیوستگی بین ذرات خاک را در اثر استفاده از مالچ گیاهی معلوم می‌سازد. شایان ذکر می‌باشد که تاثیر مالچ در ایجاد لایه تثبیت شده بر سطح خاک در مقایسه با خاک آب پاشیده شده (نمونه شاهد) بیشتر روشن می‌شود.

## ۷-۵ پیشنهادات برای مطالعات آتی

مالچ گیاهی مورد استفاده از قابلیت بالایی جهت تثبیت خاک‌های ریزدانه برخوردار است و با توجه به سازگاری این مالچ با محیط زیست و کم هزینه بودن آن، به منظور افزایش کاربری این مالچ، انجام تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود:

- ۱- ارزیابی عملکرد مالچ طبیعی ساخته شده با گیاه سریش در تثبیت خاک‌هایی با رنج ذرات و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوت؛
- ۲- ارزیابی عملکرد مالچ طبیعی تحقیق حاضر در طبیعت و مناطق مستعد فرسایش بادی؛
- ۳- ارزیابی عملکرد مالچ طبیعی تحقیق حاضر بر رشد گیاهان مختلف؛
- ۴- ارزیابی تاثیر میزان تراکم خاک بر عملکرد مالچ گیاهی تحقیق حاضر در تثبیت خاک؛
- ۵- استفاده از مخلوط مالچ طبیعی تحقیق حاضر با مالچ‌های دیگر جهت افزایش بازده فرآیند تثبیت.

## مراجع

- احمدی ح، (۱۳۸۵) "ژئومورفولوژی کاربردی" جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۷۰۶ صفحه.
- احمدی مقدم ز، قربانی ب و نوری، م، (۱۳۹۵) "تأثیر زمانی چند مالچ بر روی خصوصیات فیزیکی خاک" علوم و مهندسی آبیاری، شماره ۲، جلد ۳۹، صفحه ۱۵۸-۱۵۰.
- اختصاصی م ر، حضیرئی ف ا، (۱۳۹۴) "بررسی تأثیر مالچ سیمانی بر تثبیت ماسه‌های روان" مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴، دوره ۶۸، صفحه ۷۵۰-۷۳۹.
- افضلی س ف، کوپایی نیا م ا، (۱۳۹۵) "ارزیابی میکروسکوپی و ماکروسکوپی برخی مالچ‌ها (مالچ‌های پلیمری و مالچ‌های مخلوط ماسه، پودر با بافت رسی)" دومین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط زیست، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.
- امینی م، (۱۳۹۵) "تأثیر ریزگردها بر انسان و محیط زیست" دومین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط زیست. دانشگاه شهید باهنر کرمان. کرمان.
- باباخانی س، کریمزاده ح، (۱۳۹۲) "کاربرد سرباره فولادسازی در تثبیت خاک‌های فرسایش پذیر (بررسی موردی: منطقه هرنند)" دو فصلنامه مدیریت بیابان، شماره ۲، صفحه ۱۲-۱.
- بوچانی م ح، فاضلی د، (۱۳۹۰) "چالش‌های زیست محیطی و پیامدهای ناشی از آن ریزگردها و پیامدهای آن در غرب کشور ایران" فصلنامه رهنامه سیاستگذاری، شماره ۳، سال دوم، صفحه ۱۴۵-۱۲۵.
- بنکی ر، زارع ر، هوایی غ، (۱۳۹۳) "تسلیح خاک ماسه‌ای با خاکستر روغن نخل" اولین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران.
- پرکینر ه، (۱۹۴۸) "آلودگی هوا" مترجم: غیاث‌الدین م، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۹۱۶ صفحه.
- تاج دینی م، حاج علیلو م، کاتبی ه، گل محمدی س، (۱۳۹۷) "تأثیر نوع و مقدار محصولات پایه سیلیسی بر پارامترهای رفتاری و مقاومت برشی مخلوط خاک-سیمان" مجله علمی پژوهشی مهندسی عمران شریف، شماره ۴، صفحه ۱۵-۱.

- تدین فرغ، شه‌میری ن، (۱۳۹۴) "بررسی آزمایشگاهی تاثیر پلیمر اکریلیک در تثبیت خاک‌های ریزدانه به منظور کاهش ریزگردها در مناطق خشک و نیمه خشک" **مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک**، شماره ۱۹، سال پنجم، صفحه ۱۱-۱.
- جعفری شالکوهی ع، وفائیان م، روشن ضمیر م ع، میرمحمد صادقی م، (۱۳۹۴) "ارزیابی عوامل مؤثر بر تثبیت خاک‌های ریزدانه در برابر باد به‌منظور جلوگیری از پیدایش ریزگردها" **نشریه علوم آب و خاک**، شماره ۷۳، صفحه ۲۷۳-۲۸۵.
- جهان تیغ م، (۱۳۹۳) "بررسی تغییرات پوشش گیاهی و تاثیر آن بر فرسایش بادی در مناطق خشک (مطالعه موردی شمال سیستان)" دومین همایش ملی بیابان با رویکرد مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه سمنان، سمنان.
- جمشید صفا م، خلیلی مقدم ب، جعفری س، دشتکی ش، (۱۳۹۴) "بررسی امکان سنجی استفاده از فیلتر کیک در تهیه مالچ برای تثبیت شن‌های روان اهواز" **مجله علمی کشاورزی مهندسی زراعی**، شماره ۱، جلد ۳۸، صفحه ۴۲-۲۹.
- ح‌ضیرئی ف ا، زارعرانانی م، (۱۳۹۲) "بررسی تاثیر مالچ رسی - آهکی بر تثبیت ماسه‌های روان" **نشریه آب و خاک**، شماره ۲، جلد ۲۷، صفحه ۳۷۳-۳۸۰.
- حکیمی بافقی س ا، افضل‌ی س ف، (۱۳۹۰) "اثر مالچ تهیه شده از ضایعات سنگبری بر میزان فرسایش بادی" نخستین همایش بین‌المللی پدیده گرد و غبار و مقابله با آثار زیان بار آن، دانشگاه علم و صنعت، تهران.
- خدادای ا، فورپورو ا، (۱۳۸۳) "نقش مواد تشکیل دهنده خاک در نفوذ پذیری و انتقال سرب و روی" **نشریه فنی و مهندسی مدرس**، شماره ۱۵، صفحه ۸۸-۷۷.
- دل انگیزان سحراب، جعفری مطلق ز، (۱۳۹۲) "بررسی اثر ریزگرد بر میزان بستری و مرگ و میر بیماران قلبی و تنفسی" **فصلنامه ی علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران**، شماره اول، دوره ششم، صفحات ۷۶-۶۵.
- رفاهی ح، (۱۳۹۱) "فرسایش بادی و کنترل آن" انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم، ۷۲۰ صفحه.



- رضایی س ع، (۱۳۸۸) "مقایسه تأثیر پلیمر پلی لاتیس و مالچ نفتی در جوانه زنی بذر و استقرار گیاه به منظور تثبیت بیولوژیک تپه های شنی" فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره ۱، جلد ۱۶، صفحه ۱۲۴-۱۳۶.
- روحبخشان آ، کلانتری ب، (۱۳۹۵) "تثبیت خاک رس با آهک و پودر ضایعات سنگی" نشریه علمی پژوهشی مهندسی عمران و محیط زیست امیرکبیر، شماره ۴، دوره ۴۸، صفحه ۴۳۸-۴۲۹.
- ساداتی نژاد س ج، ضارع پور ه، قضاوی ر، عباسعلی و، (۱۳۹۱) "بررسی اثرات بادشکن بر برخی ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و رطوبت خاک در مناطق خشک و تأثیر آن بر فرسایش پذیری خاک" پژوهش های فرسایش محیطی، شماره ۵، دوره ۲، صفحه ۶۲-۵۳.
- سازمان هواشناسی استان گلستان، واحد آمار، (۱۳۹۶).
- سعدالدین ا، اختری د، نورا ن، (۱۳۸۹) "پیش بینی اثرات سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی بر خطر فرسایش بادی (مطالعه موردی: جنوب دشت ورامین)" مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، شماره اول، جلد هفدهم، صفحه ۶۳-۸۰.
- شاهسونی ع، یار احمدی م، جعفرزاده ن ا، نعیم آبادی ا، صاکی ح، سلیمانی، ز، ندافی ک، (۱۳۸۹) "اثرات طوفان های گرد و غباری بر سلامت و محیط زیست" مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، شماره ۴، دوره ۲، صفحه ۵۶-۴۵.
- شهنواز م، غلامی ع، نورزاده م، پناهپور ا (۱۳۹۶) "بررسی کارایی مالچ پلیمری و مالچ با پایه گیاهی بر کاهش هدر رفت خاک در اراضی مستعد فرسایش بادی در استان خوزستان" تحقیقات آب و خاک ایران، شماره ۳، دوره ۴۸، صفحه ۶۵۸-۶۵۱.
- طالب زاده م، (۱۳۹۴) "راهبرد اقلیمی کنترل ریزگردهای منطقه جنوب غرب ایران" اولین کنفرانس بین المللی گرد و غبار، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.
- طحان ع، جوادی ا، جعفری م، رزمجویی د، (۱۳۹۴) "تأثیر انواع مالچ بر حفظ رطوبت خاک نهال- های سیاه تاغ در استان سمنان" مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده، شماره اول، سال ششم، صفحه ۹-۱.
- عسکری م، آقایی مقدم م، پوراصغر سنگاچین ف، (۱۳۹۳) "استفاده از پلی لاتیس در حفاظت خاک و تثبیت شن های روان و گردوخاک" ویژه نامه پژوهش های محیط زیست، شماره اول، سال اول، صفحه ۱۱۹-۱۲۸.

- عظیم‌زاده ح ر، اختصاصی م د، (۱۳۸۳) "بررسی تاثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در سرعت آستانه فرسایش بادی (مطالعه موردی دشت یزد - اردکان)" **مجله منابع طبیعی ایران**، دوره ۵۷، صفحه ۲۳۴-۲۲۵.
- غلامی طبس ج، جعفری م، آذر نیوند ح، (۱۳۹۲) "بررسی تأثیر کاشت گونه سیاه‌تاغ بر پوشش گیاهی و خاک بیابان‌های ماسه‌ای تثبیت شده (صمدآباد شهرستان سرخس)" **فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی**، شماره ۱، سال سوم، صفحه ۳۵-۴۴.
- فراست م، دیرکوند مقدم ف، فراست ن، (۱۳۹۰) "بررسی آثار منفی گرد و غبار بر اکوسیستم انسانی" **کنگره بین‌المللی گرد و غبار و راه‌های مقابله با آن**. دانشگاه خوزستان. خوزستان.
- فرامهر ف، خلیلی مقدم ب، شهبازی ا، رهنما م، (۱۳۹۴) "مقایسه کارایی انواع مالچ سازگار با طبیعت در تثبیت ماسه‌های روان اهواز" **نشریه پژوهش‌های خاک**، جلد ۲۹، شماره ۴، صفحه ۴۶۳-۴۷۴.
- قاسمی آریان ع، (۱۳۸۳) "آگروفرستری روشی نوین جهت تثبیت شن‌های روان حفظ تاغزارها" اولین همایش روش‌های پیشگیری از اتلاف منابع ملی، فرهنگستان جمهوری اسلامی ایران، تهران.
- گودرزی ا ر، زمانیان م، (۱۳۹۶). بررسی اثر ترکیب نانو ذرات سیلیکا و سیمان بر تثبیت خاک رس آلوده به فلز سنگین نیکل. **نشریه مهندسی عمران امیرکبیر**. دوره ۴۹، شماره ۴، صفحه ۸۳۰-۸۲۱.
- کردوانی پ، علائی ا، مشیری س ر، رحیمی ن، (۱۳۹۲) "بررسی تأثیر کاربرد مالچ نفتی در تثبیت ماسه‌های روان و توسعه پوشش گیاهی در منطقه آران و بیدگل" **فصلنامه علمی-پژوهشی گیاه و زیست بوم**، شماره ۳۷، سال ۹، صفحه ۱۰۱-۱۱۲.
- کوپایی نیا م ا، افضل‌ی س ف، (۱۳۹۴) "مقایسه مقاومت مالچ‌های غیرزنده در برابر گرما، آبشویی و فشار" **نشریه مدیریت بیابان**، شماره ۳، صفحه ۶۴-۵۳.
- مهربابی ش، سلطانی س، جعفری ر، (۱۳۹۴) "بررسی رابطه بین پارامترهای اقلیمی و وقوع ریزگردها" **مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی**، علوم آب و خاک، شماره ۷۱، سال ۱۹، صفحه ۶۹-۸۰.
- مجدی ه، کریمیان ا م، کریم‌زاده ح ر، جلالیان ا، (۱۳۸۵) "تأثیر انواع مالچ رسی بر میزان مواد فرسایش یافته بادی" **علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی**، شماره ۳، سال ۱۰، صفحه ۱۳۷-۱۴۸.

- محمودآبادی م، دهقانی ف، عظیمزاده ح ر، (۱۳۹۰) "مطالعه اثر توزیع اندازه ذرات خاک بر شدت فرسایش بادی" **مجله مدیریت خام و تولید پایدار**، شماره اول، جلد اول، صفحه ۹۸-۸۱.
- معظمی ن، بیگی ن، رنج پیشه ب، (۱۳۹۲) "مقایسه انواع مالچ بر روی تثبیت ماسه‌های روان" سومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، دانشگاه یزد، یزد.
- موحدان م، عباسی ن، کرامتی م، (۱۳۹۰) "بررسی آزمایشگاهی تاثیر پلیمر پلی وینیل استات بر کنترل فرسایش بادی خاکها" **نشریه آب و خاک**، شماره ۳، جلد ۲۵، صفحه ۶۰۶-۶۱۶.
- ملکی کاکلر م، ابراهیمی س، اسدزاده ف، امامی تبریزی م، (۱۳۹۴) "ارزیابی کارایی رسوب میکروبی کربنات برای تثبیت شن‌های روان" **تحقیقات آب و خاک ایران**، شماره ۲، دوره ۴۷، صفحه ۴۰۷-۴۱۵.
- نوری ا، متینی‌زاده م، مشکی ع، رحیمی م، (۱۳۹۴) "ارزیابی برخی فلزات سنگین در ریزگردها و روند جذب آن‌ها توسط برودار" **فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران**، شماره ۴، صفحه ۶۱۶-۶۰۵.
- نوحه‌گر ا، عباسزاده ف، اکبریان م، حاتمی گوربندی ح، (۱۳۹۰) "بررسی کارایی پلیمر پلی لاتیس در حفاظت خاک در مقابل فرسایش بادی" **پژوهشهای فرسایش محیطی**، شماره ۲۵، صفحه ۵-۱۵.
- نورزاده م، بهرامی ح ع، (۱۳۹۴) "بررسی ارتباط غلظت ریزگرد با رطوبت سطحی و توزیع اندازه ذرات خاک با استفاده از شبیه ساز متحرک فرسایش بادی در نواحی بیابانی غرب استان خوزستان" **کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی**، شماره اول، سال سوم، صفحه ۱۸۳-۱۶۷.
- وارک ک، وارنر س، دیویس و، (۱۹۹۸) "آلودگی هوا منشا و کنترل آن" مترجمان: ندافی ک، حیدری م، حسنونند م ص، انتشارات نص، چاپ سوم، ۶۵۶ صفحه.
- هادسون ن، (۱۹۸۱) "حفاظت خاک" مترجم: قدیری ح، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ۴۷۰ صفحه.
- یوسفی ه، ناصری ح ر، (۱۳۹۳) "نقش مالچ در کنترل فرسایش بادی" دومین همایش ملی بیابان با رویکرد مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه سمنان، سمنان.
- دشتی م، ظریف کتابی ح، توکلی ح، (۱۳۸۴) "مطالعه نیازهای بوم شناختی گیاه سریش در استان خراسان" **فصلنامه پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران**، شماره ۲، جلد ۱۲، صفحه ۱۶۵-۱۵۳.

- Ahmadi H. Ekhtesasi M. (2000) “Survey of effect of gravelly mulch in reduction of wind erosion in dach lands clayey-salty non-renewable with biological methods” **Journal of Biaban**, Vol 5, pp 1-13.
- Ajay M.G. dave V. Richard A. G. Stephen P. M. (1996) “Miscibility and biodegradability of blends of poly(lactic acid) and poly(vinyl acetate)” **Journal of Polymer**, Vol 37, pp 437-444.
- Ameri M. (2005) “stability guidelines embankment and pavement layers of roads, Education, Research and technology assistance. Iran University of science and technology. Tehran.
- APHA, American Public Health Association, (1998) “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” 209F.
- Armbrust D.W. Chepil W.S and Siddoway F. H. (1964) “Effect of ridges on erosion of soil by wind” **Soil Science**, Vol 28, pp 557-560.
- Asgharzadeh M. Samadi Kafil H. Aghazadeh M. Nanifi G.M. Pourostadi M. (2016) “Optimizing the use of *Sporosarcina pasteurii* Bacteria for the stiffening of sand” **Asian Journal of Microbiology Biotechnology Environmental Science**. Vol 18, pp 391-394.
- ASTM, American Society for Testing and Materials, (2005) “Standard Test Methods Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass” D2216-05, pp 1-7.
- ASTM, American Society for Testing and Materials, (2005) “Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils” D422-63, Edition 2, pp 1-8.
- ASTM, American Society for Testing and Materials, (2006) “Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)” D2487-06, pp 1-12.
- ASTM, American Society for Testing and Materials, (2007) “Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils” D422-63, Edition 2, pp 1-8.
- ASTM, American Society for Testing and Materials, (2014) “Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer” D854-14, pp 1-8.
- Bagnold R.A. (1937) “The size-grading of sand by wind” **Proceedings of the Royal Society**, Vol 163, pp 250-264.
- Bagnold R.A. (1941) “The Physics of blown sand and desert dunes” **Chapman and hall Ltd**, London.
- Bamaga S. O. Hussin M. W. Ismail M. (2013) “Palm Oil Fuel Ash: Promising Supplementary Cementing Materials” **Journal of Civil Engineering**, Vol 17, pp 1708-1718.
- Bisal F. Hsieh J. (1966) “Influence of moisture on erodibility of soil by wind” **Soil Science**, Vol 102, pp 143-146.

- Chepil W.S. and R.A. Milne (1941) “wind erosion in relation to roughness of the surface” **Soil Science**, Vol 52, pp 417-434.
- Chepil W.S. Woodruff N.P. (1963) “The Physics of wind erosion and its control” *Advances in agronomy*, Academic press, New York.
- Chepil W.S. (1945) “Dynamics of wind erosion: I. Nature of movement of soil by wind” **Soil Science**, Vol 61, pp 305-320.
- Chepil W.S. (1946) “Dynamics of wind erosion: Cumulative intensity of soil drifting across eroding fields” **Soil Science**, Vol 61, pp 257-263.
- Chepil W.S. (1956) “Influence of moisture on erodibility of soil by wind” **Soil Science**, Vol 20, pp 288-292.
- Cornelis W.M. Gabriels D. Hartmann R. (2004) “A parameterization for the threshold shear velocity to initiate deflation of dry and wet sediment” **Geomorphology**, Vol 59, pp 43-51.
- Corti A. Muniyasami S. Vitali M. Imam S. H. Cheillini E. (2010) Oxidation and biodegradation of polyethylene films containing pro-oxidant additives Synergistic effects of sunlight exposure, thermal aging and fungal biodegradation” **Journal of Polymer Degradation and Stability**, Vol 95, pp 1106-1114.
- Diouf B. Skidmore E.L. Layto J.B. Hagen L.J. (1990) “Stabilizing fine sand by adding clay: laboratory wind tunnel study” **Soil Technology**, Vol 3, pp 21-31.
- Dehghani S. Moore F. Keshavarzi B. (2017) “Health risk implications of potentially toxic metals in street dust and surface soil of Tehran, Iran” **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Vol 136, pp 92-103.
- EPA, Environment Protection Agency, (2004) “Soil and waste pH” SW-846, Test Method 9045D.
- Engelstaedter K. Kohefeld I. Tegen I. Harrison B. (2003) “Control of dust emission by vegetation and topographic depression; an evaluation using dust storm frequency data” **Geophysical research letter**, Vol 6, Issue 6.
- Genders R. (1994) “Scented Flora of the World. Robert Hale” London, England.
- Genis A. Volfson L. (2013) “Combating wind erosion of sandy soils and crop damage in the coastal deserts Wind tunnel experiments” **Aeolian Research**, Vol 9, pp 69-73.
- Grey C. H. (1937) “Hardy Bulbs” Williams & Norgate, Reno, USA, 3 Volumes.
- Han Q. Qu J. Zhang K. Zu R. Niu Q. Liao K. (2009) “Wind tunnel investigation of the influence of surface moisture content on the entrainment and erosion of beach sand by wind using sands from tropical humid coastal southern China” **Geomorphology**, Vol 104, pp 230-237.

- Han Z. Wang T. Dong Z. Hu Y. Yao Z. (2007) “Chemical Stabilization of mobile dunefields along a highway in the Taklimakan Desert of China” **Journal of Arid Environments**. Vol 68, pp 260-270.
- Huxley A. (1992) “The New RHS Dictionary of Gardening” MacMillan Press, Germany.
- Ketabi H. Fahmi A. Samadi kafil H. Hajjalilue Bonab M. (2017) “Stabilization of calcareous sand dunes using phosphoric acid mulching” **Journal of Arid Environments**, Vol 148, pp 34-44.
- Komarov V. L. (1968) “Flora of the USSR” Israel Program for Scientific Translation.
- Lambe, T.W., Whitman, R.V. 1969. Soil Mechanics. Published: New York, Wiley, 553 pages.
- Martinez B. C. DeJong J. T. Ginn T. R. Montoya B. M. Barkouki T. H. Hunt C. Tanyu B. Major D. (2013) “Experimental optimization of microbial-induced carbonate precipitation for soil improvement” **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, Vol 139, pp 587-598.
- Miri Solaiman J. (2007) “Wind erosion threshold velocity mapping using geostatistics method in Sistan region” MSc thesis, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran.
- National Land Management, (2016) PineBind™ specifications sheet, <http://www.ecodustcontrol.com/products/pinebind>.
- Phillips R. Rix M. (1989) “Bulbs. Pan Books” USA, 225 pages.
- Pourakbar S. Asadi A. Bujang B. K. Fasihnikoutalab M.H. (2015) “Stabilization of clayey soil using ultrafine palm oil fuel ash” **Transportation Geotechnics**, Vol 3, pp 24-35.
- Puget p. Chenu C. Balesdent J. (2000) “Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates” **Soil Science**, Vol 51, pp 595-605.
- Robichaud P.R. Jennewein J. Sharratt B.S. Lewis S.A. Brown R.E. (2017) “Evaluating the effectiveness of agricultural mulches for reducing post-wildfire wind erosion” **Aeolian Research**, Vol 27, pp 13-21.
- Shiyatyy Y.I. Lavrovsky A.B. Khmolenke M.I. (1972) “Effect of texture on the cohesion and wind resistance of fine Soil clods” **Soviet Soil Science**, Vol 4, pp 105-112.
- Stout J.E. Zobeck T.M. (1996) “Estabilishing the threshold condition for soil movement in wind eroding fields” Proceeding of the international Conference. Mid west Plan Service C-3. Kansas City.
- Van paassen L. (2009) “**Biogrout (Ground Improvement by Microbially Induced Carbonate Precipitation)**” Delft University of Technology, Netherlands, 230 pages.

- 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 Organization Conference (ISCO), Brisbane, Australia.
- Vidal V.E. Miranda J.G. Paz Gonzalez A. (2005) “Characterizing anisotropy and heterogeneity of soil surface microtopography using fractalmodels” **Ecological Modelling**, Vol 182, pp 337-353.
- Woodruff N.P. Lyles, L. (1962) “How moisture and tillage affect soil cloddiness for wind erosion control” **Agriculture Engineering**, Vol 43, pp 150-153.
- Xiaoyan L. Ruiling Z. Jiadong G. Zhungkui X. (2002) “Soil and Water Accumulation by Gravel and Sand Mulches in Western Loess Plateau of Northwest China” ISCO Conference. Beijing.
- Yang M. Y. Walling D. E. Sun X. J. (2013) “A wind tunnel experiment to explore the feasibility of using beryllium-7 measurements to estimate soil loss by wind erosion” **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Vol 114, pp 81-93.
- Zang Y. X. Gong W. Xie H. Chen H. L. (2015) “Chemical sand stabilization: a review of material, mechanism, and problems” **Environmental Technology Reviews**, Vol 4, pp 119-132.
- Zhand C. L. Zou X. Y. Yang P. Dong Y. X. Li S. Yang S. Pan X. H. (2007) “Wind tunnel test and Cs tracing study on wind erosion of several soils in Tibet” **Soil and Tillage Research**, Vol 94, pp 262-282.
- Zobeck T. M. Baddock M. Tatarko J. van Pelt R. S. Acosta-Martinez V. (2013) “Soil property effects on wind erosion of organic soils” **Aeolian Research**, Vol 10, pp 43-51.





## **ABSTRACT**

Nowadays, arid and semi-arid areas account for about one third of the Earth's surface, and more than a quarter of the world's dry lands are affected by the phenomenon of desertification. Wind erosion and consequent dust are important indicators in the occurrence of desertification and a serious threat to arid areas. Due to its geographical location and dry climatic conditions, Iran has been affected by adverse weather conditions caused by wind erosion and storm infestations at various times. The present study aimed to stabilize erosion-prone soil using a vegetable mulch prepared from *Eremurus spectabilis* root powder. The effects of concentration and amount of mulch spraying on the soil erosion was investigated and the penetration and reduction of the thickness of the fixed layer against wind speeds of 6, 9, 12 and 15 m/s for 5 minutes was studied in the wind tunnel. Finally EC, pH, salinity and other soil elements were tested to evaluate the environmental impact of mulching. The results showed that increasing the amount of mulch spraying results in more mulch penetration in the soil and increasing the mulch concentration, despite reducing the depth of its penetration into the soil due to increasing the amount of adhesion between the soil particles, its greater resistance to wind erosion. Based on the results, mulches with concentrations of 0.2, 0.6 and 0.7% can stabilize the soil against the wind stream, up to a maximum of 9, 12 and 15 m/s, respectively. The results of XRD analysis showed that adding mulch to soil increased the amount of SiO<sub>2</sub> in the soil and thereby increased the shear strength of the soil, increased yield in the stabilization process and helped to solidify the soil, and the least studied mulch Has had a negative effect on the type and amount of elements in the soil studied, which indicates the environmental compatibility of this type of mulch. The results of the SEM analysis clearly revealed a layer of coating on the surface of the soil and created adhesion and cohesion Determine between soil particles by using vegetable mulch. Generally, the mentioned mulching plant, the environmentally friendly mildew Sets and suitable for controlling wind erosion are prone to eroding soils. Generally, the mulch is environmentally friendly and is an appropriate option for controlling the erosion of wind erosion-prone soil.

**Keywords: Wind erosion, Dust, Soil stabilization, Vegetable mulch, Wind tunnel**



**Shahrood  
University of  
Technology**

**Faculty of Civil Engineering**

**Master's thesis for civil and environmental engineering**

**The stabilization of fine-grained soils using natural  
materials to prevent the formation of dust due to wind  
blowing**

By  
Amir Amraei

Supervisor  
Dr. Behnaz Dahrazma

November 2018