

## اثر خاک پوش های لیگنوسلولزی بر مقاومت برشی ماسه بادی

مریم ممبئی<sup>۱</sup>، حمیدرضا عسگری<sup>۲\*</sup>، علی محمدیان بهبهانی<sup>۳</sup>، سلمان زارع<sup>۴</sup>، حسین یوسفی<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۲۲

### چکیده

فرسایش بادی یکی از جنبه های مهم تخریب اراضی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می شود. استفاده از انواع خاک پوش های سازگار با محیط زیست، یکی از روش هایی است که به منظور کاهش فرسایش بادی و تثبیت ماسه های روان به کار می رود. هدف از این تحقیق، بررسی امکان استفاده از لیگنوسلولز باگاس به عنوان یک خاک پوش آلی برای تثبیت ماسه های روان است. این تحقیق به صورت آزمایشگاهی و در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. تیمارهای مورد استفاده عبارت بودند از: نانولیگنوسلولز، میکرو لیگنوسلولز و تیمار شاهد. به منظور ارزیابی کارایی این مواد، مقاومت برشی در حالت اشباع و خشک اندازه گیری شد و داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. با توجه به نتایج به دست آمده در حالت اشباع تیمار میکرو لیگنوسلولز ( $10 \text{ gr}/0.3 \text{ m}^2$ ) با ضخامت دولایه با مقاومت برشی  $13/6 \text{ KN}/\text{m}^2$  و در حالت خشک تیمار ترکیب نانولیگنوسلولز و لیکورسیاه ( $10 \text{ gr}/0.3 \text{ m}^2$ ) با ضخامت دولایه با مقاومت برشی  $39 \text{ KN}/\text{m}^2$  به ترتیب در طبقه خوب و بسیار خوب قرار گرفته اند. بنابراین، می توان توصیه کرد که بهتر است این نوع خاک پوش ها در عرصه طبیعی مورد آزمایش قرار گیرند و در صورتی که از عملکرد مناسبی برخوردار باشند، می توان از آن ها برای تثبیت ماسه های روان استفاده کرد.

**کلیدواژه ها:** بیابان زدایی، خاک پوش، فرسایش بادی، مقاومت برشی، میکرو لیگنوسلولز، نانولیگنوسلولز.

۱. دانش آموخته دکتری بیابان زدایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار گروه مدیریت بیابان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان؛ hras2010@gmail.com

۳. استادیار گروه مدیریت بیابان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴. استادیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۵. دانشیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

این مقاله برگرفته از رساله دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان است.

## مقدمه

بر اساس برآوردها نزدیک به ۲۵٪ از مناطق خشک در سطح دنیا تحت تأثیر پدیده بیابانزایی قرار دارند. این پدیده به طور اصلی بر محیط زیست و جوامع بشری از طریق فرسایش خاک، افزایش شدت و فراوانی طوفانهای گردوغبار، کاهش پوشش گیاهی، تغییر در ترکیب پوشش گیاهی یا کاهش پتانسیل تولید، تنوع زیستی و امنیت غذایی تأثیر معنی داری می گذارد (زارع، ۲۰۱۵). فرسایش بادی یکی از جنبه های مهم تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شود (کوپینگر<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۱)، به طوری که هر ساله سبب تخریب حدود ۵۰۰ میلیون هکتار از اراضی دنیا (معادل ۴/۴۶٪ از اراضی فرسایش یافته جهان) می شود (رند<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). این مسئله به ایجاد ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ مگاتن گردوخاک منتهی می شود (گرینی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۳؛ رند و همکاران، ۲۰۱۵).

به منظور کنترل فرسایش بادی به ویژه تثبیت ماسه های روان، فعالیت های گسترده ای در کشور انجام شده است. این فعالیت ها از طریق اقدامات بیولوژیک مانند نهال کاری و بذرکاری و بذریاشی و اقدامات فیزیکی شیمیایی مانند مالچ پاشی با استفاده از مواد نفتی انجام شده است. وجود عرصه های وسیع ماسه های روان و خسارت های ناشی از فرسایش بادی و همچنین مشکلات موجود در استفاده از خاک پوش های نفتی، ضرورت استفاده از خاک پوش های سازگار با طبیعت را دوچندان می کند. تاکنون خاک پوش های غیرنفتی متعددی بدین منظور معرفی شده است که امروزه با عناوین مختلف به کار برده می شوند. برای مثال، اسیدها، آنزیم ها، لیگنوسولفونات ها، پلیمرها، رزین درخت (ستونی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۱)، ماده آلی (شجاعی و همکاران، ۲۰۱۹)، مخلوط سیمان (۸۶٪) و خاکستر پوسته برنج (۱۰-۱۵٪) (باش<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۵)، بیولوژیکی (نامدار خجسته،

۲۰۱۷)، امولسیون آب پایه پلیمر (الخانباشی و عبدالله<sup>۶</sup>، ۲۰۰۶)، امولسیون پلی وینیل الکل و پلی وینیل اسید (نیومن<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۵؛ هان<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۷؛ موحدان و همکاران، ۲۰۱۱؛ فیضی و همکاران، ۲۰۱۹)، سرباره فولادسازی (باباخانی و کریمزاده، ۲۰۱۳) و خاکستر و پلی آمید اسید (یانگ و تانگ<sup>۹</sup>، ۲۰۱۲)، نانو رس (پدیدار و همکاران، ۲۰۱۴؛ هاتفی و همکاران، ۲۰۱۶) و سوسپانسیون میکروسیلیس (نقی زاده اصل و همکاران، ۲۰۱۹)، مالچ فیلم قابل تجزیه (گو<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۲۰؛ کی<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰؛ وانگ<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۹)، کاه و کلش (کستر<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۶؛ کرد<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۸) و ضایعات نیشکر (جمیلی، ۲۰۱۳؛ جمیلی و خلیلی مقدم، ۲۰۱۳؛ جمشید صفا و همکاران، ۲۰۱۵؛ سبزی و همکاران، ۲۰۱۸) به عنوان خاک پوش های غیرنفتی معرفی شده اند. به نظر می رسد که خاک پوش های نفتی مشکلاتی برای طبیعت و انسان ایجاد می کنند و هزینه زیادی نیز دارند. بنابراین بهتر است از خاک پوش های دیگر که از قابلیت زیست سازگاری و طبیعی بودن برخوردارند، استفاده شود؛ مانند پسماندهای نیشکر، سنگریزه ای، رسی-آهکی و... (ممنی و همکاران، ۲۰۱۸).

از طرفی فناوری نانو می تواند کاربردهای متعددی در علوم خاک داشته باشد (لال<sup>۱۵</sup>، ۲۰۰۷) به طوری که نتایج بررسی کارایی تثبیت ماسه های روان توسط خاک پوش جدید نانو رسی PAM (ترکیب پلی اکریل آمید با نسبت مشخصی از ذرات نانورس) و نیز ماندگاری آن نشان داد که این خاک پوش با تشکیل خاکدانه های پایدار و درشت از ماسه بادی در سطح خاک از یک سو و تشکیل یک لایه نفوذناپذیر و با مقاومت برشی بالا در سطح از سوی دیگر، سبب به صفر رسیدن میزان فرسایش بادی گردد (رجب پور

6. AlKhanbashi and Abdalla

7. Newman

8. Han

9. Yang and Tang

10. Gu

11. Qi

12. Wang

13. Keesstra

14. Cerda

15. Lal

1. Coppinger

2. Rende

3. Grini

4. Santoni

5. Basha

لیگنوسلولزی است که از تفاله نیشکر به دست می‌آید و عمدتاً از سلولز، همی سلولز و لیگنین تشکیل شده است (فانگکوم و رینگسانگ<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱). خمیر باگاس از کارخانه کاغذپارس تهیه و در شرکت نانونوین پلیمر با استفاده از آسیاب تیغه‌ای و سوپراسیاب دیسکی به ترتیب به لیگنوسلولز در ابعاد میکرو و نانو تبدیل می‌شود؛ لیکور سیاه نیز پسماند صنایع کاغذسازی است که به‌عنوان ماده چسبنده استفاده شده است (جدول ۱).

جدول (۱): نتایج بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های

خاک مورد آزمایش

Table (1): Results of physical and chemical properties of soil samples tested

رس (%)	۶	
تعیین بافت خاک به روش هیدرومتری	سیلت (%)	۵
	ماسه (%)	۸۹
EC (dS/m)	۲/۹۴	sandy
pH	۷/۶	خصوصیات شیمیایی
SAR	۱/۹	ماسه‌بادی ریگ بلند
OM (%)	۰/۸	کاشان
EC (dS/m)	۰/۱۴۹	نانولیگنوسلولز
pH	۷/۳	
EC (dS/m)	۰/۰۶۴	میکرولیگنوسلولز
pH	۸/۸۴	
EC (dS/m)	۴/۸	لیکور سیاه
pH	۱۰/۸	

**تهیه خاک پوش با سناریوهای مختلف:** پس از جمع‌آوری نمونه‌های ماسه و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه برای ایجاد همگنی بیشتر از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. به‌منظور بررسی تأثیر نانومواد لیگنوسلولز و میکرومواد لیگنوسلولز بر مقاومت برشی ماسه بر اساس پیش‌آزمایش‌های صورت‌گرفته ذرات نانو و میکرو هرکدام با غلظت ۰/۳٪ (امکان عبور از آب‌پاش برای پاشش یکنواخت) در سه سطح (۲/۵، ۵ و ۱۰ گرم بر لیتر در ۰/۳ مترمربع خاک)، متغیر لیکور سیاه با غلظت ۱٪ در سطح ۱۰ گرم بر لیتر در ۰/۳ مترمربع خاک، ترکیب نانولیگنوسلولز و لیکور سیاه در سه سطح (۲/۵، ۵ و ۱۰ گرم بر لیتر در ۰/۳ مترمربع خاک)،

## اثر خاک پوش‌های لیگنوسلولزی بر مقاومت برشی ماسه بادی

کمال‌آبادی، ۲۰۱۵). انتظار می‌رود اگر منافذ بین ذرات خاک با نانو ذرات پر شوند، خواص فیزیکی خاک را تغییر دهند. مطالعات انجام‌شده در مباحث مکانیک خاک نشان می‌دهد که حتی افزایش مقدار کمی از نانو ذرات به خاک سبب افزایش قابل توجهی در مهندسی خواص خاک خواهد شد (طاها، ۲۰۰۹؛ ماجد و طاها، ۲۰۱۳). در نتیجه با افزایش چسبندگی ذرات خاک علاوه بر افزایش خواص فیزیکی خاک از جمله مقاومت برشی سبب افزایش مقاومت در برابر بادبردگی نیز می‌شود؛ به‌طوری که پی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که رس اصلاح‌شده برای بهبود خواص فیزیکی خاک مناسب است. اسکونینگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند که ماده آلی و رس باعث افزایش چسبندگی خاک می‌شود. در پژوهش حاضر تلاش شده است تا تأثیر استفاده از نانومواد لیگنوسلولزی و میکرومواد لیگنوسلولزی بر مقاومت برشی ماسه بادی مطالعه شده و اثرات مثبت و منفی این خاک‌پوش از این منظر شناخته شود تا از این طریق مناسب‌ترین ترکیب و مقدار خاک‌پوش نانولیگنوسلولز و میکرولیگنوسلولز از نظر افزایش مقاومت برشی ذرات ماسه مشخص شود.

## مواد و روش‌ها

**نمونه ماسه:** برای انجام این تحقیق یک نمونه خاک ماسه‌ای با فراوانی ذرات ۸۹٪ ماسه از سطح تپه‌های ماسه‌ای از استان اصفهان (ریگ بلند کاشان) در مرکز ایران انتخاب شد (جدول ۱). نمونه‌های مورد بررسی در این تحقیق دارای میانگین ترسیمی ذرات و قطر میانه برابر ۲/۹۹ بوده که جزء ماسه خیلی ریز محسوب می‌شوند. ذرات مورد بررسی با جورشدگی متوسط، متقارن و بدون چولگی بوده است.

**تهیه مواد لیگنوسلولز:** برای تهیه مواد لیگنوسلولز از خمیر باگاس (تفاله نیشکر) استفاده می‌شود. لیگنوسلولز مورد استفاده از باگاس به دست آمده که یکی از تولیدات جانبی صنایع نیشکر است. این محصول، مواد فیبری به‌جامانده از عصاره‌گیری شکر است که به‌صورت قطعات ریز ترانشه چوب و به رنگ کاهی است. باگاس یک ماده

1. Pi

2. Schjønning

مختلف اندازه گیری مقاومت برشی خاک به این نتیجه رسیدند که پره برشی و پره دستی برای تعیین مقاومت برشی لایه رویین خاک مناسب ترند، به دلیل اینکه نوعی از برش را که نشان دهنده جداسازی ذرات خاک به وسیله جریان است شبیه سازی می کنند. روش کار بدین صورت است که بعد از مالچ پاشی که رطوبت خاک در حد نزدیک اشباع است، پره برشی در داخل خاک تا جایی که پره ها کاملاً در خاک قرار گیرد، وارد شد. سپس شروع به دوران پره برشی در جهت عقربه های ساعت کرده و تا برش گسیختگی خاک، حدود ۵ تا ۱۰ ثانیه طول می کشد. حداکثر مقدار تنش وارده روی صفحه مدرج در بالای پره برشی ثبت می شود. این وسیله قادر به اندازه گیری تنش های بین صفر تا ۲۵۰ کیلو پاسکال می باشد (خلیلی مقدم و همکاران، ۲۰۱۱). در حالت خشک نیز به همین روش اندازه گیری مقاومت برشی صورت گرفت. اندازه گیری مقاومت برشی در سه نقطه از هر تیمار انجام شد. شایان ذکر است در زمان اندازه گیری مقاومت برشی رطوبت خاک نیز اندازه گیری و گزارش شد (شکل ۱).



شکل (۱): مراحل انجام اندازه گیری مقاومت برشی و رطوبت  
Figure (1): Steps for measuring shear strength and moisture

## نتایج

بررسی مقاومت برشی نانولیگنوسولوز و ترکیب نانولیگنوسولوز + لیکور سیاه در حالت اشباع مقاومت برشی در شرایط مرطوب تا خشک همراه با رطوبت خاک اندازه گیری شد. همان طور که ملاحظه می شود (جدول ۳)، بین خاک پوش های مورد مطالعه از نظر میزان مقاومت

ترکیب میکرو لیگنوسولوز و لیکور سیاه در سه سطح (۲/۵، ۵ و ۱۰ گرم بر لیتر در ۰/۳ مترمربع خاک) و نمونه شاهد و در نهایت همه تیمارها در دو ضخامت یک لایه و دو لایه بر روی سطح ماسه پاشیده می شود. بنابراین، ۲۷ تیمار آزمایشی در نظر گرفته خواهد شد که با در نظر گرفتن ۳ تکرار، جمعاً ۸۱ نمونه برای اندازه گیری مقاومت برشی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). داده های حاصل از اندازه گیری به صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی و با ۳ تکرار مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

جدول (۲): تیمارهای مورد بررسی

Table (2): Treatments investigated

مقدار در واحد سطح	نمونه	نمونه
۲/۵	میکرو لیگنوسولوز (یک لایه)	نانولیگنوسولوز (یک لایه)
۵	میکرو لیگنوسولوز + لیکور سیاه (یک لایه)	نانولیگنوسولوز + لیکور سیاه (یک لایه)
۱۰	میکرو لیگنوسولوز (دو لایه)	نانولیگنوسولوز (دو لایه)
۲/۵	میکرو لیگنوسولوز + لیکور سیاه (دو لایه)	نانولیگنوسولوز + لیکور سیاه (دو لایه)
۵	میکرو لیگنوسولوز + لیکور سیاه (دو لایه)	نانولیگنوسولوز + لیکور سیاه (دو لایه)
۱۰	لیکور سیاه	شاهد
۱۰ (۱)		
۱۰ (۲)		

## اندازه گیری مقاومت برشی

در این پژوهش، برای اندازه گیری چسبندگی خاک پوش از پره برشی در شرایط اشباع و خشک استفاده شد. آزمایش برش پره یکی از آزمایش های صحرائی است که در آن عضوی چهارپره با اعمال فشار و نیروی دورانی در زمین نفوذ کرده و با اندازه گیری نیروی لازم برای چرخش پره ها در خاک، مقاومت برشی آن اندازه گیری می شود (ضابطه ۷۸۳). زیمبون<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۹۶) با مقایسه دستگاه های

شد در صورتی که این دو تیمار با یکدیگر اختلاف معنی داری ندارند.

### بررسی مقاومت برشی نانولیگنوسولوز و ترکیب

#### نانولیگنوسولوز+ لیکور سیاه در حالت خشک

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) با افزایش سطح نانولیگنوسولوز از ۲/۵ تا ۱۰ gr/0.3m<sup>2</sup> که به صورت یک‌لایه بر سطح پاشیده شد، مقاومت برشی در سطح ۵ و ۱۰ gr/0.3m<sup>2</sup> به طور معنی داری (P<۰/۰۵) افزایش یافت و با افزایش تعداد لایه خاک پوش نانولیگنوسولوز، مقدار مقاومت برشی نیز افزایش یافت به طوری که مقدار مقاومت برشی ۱/۳۳، ۱۶/۳۳ و ۲۶/۳۳ KN/m<sup>2</sup> به ترتیب در سطح ۲/۵، ۵ و ۱۰ gr/0.3m<sup>2</sup> در ضخامت دو لایه نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. نتایج مقایسه میانگین ترکیب نانولیگنوسولوز+ لیکور سیاه نیز نشان داد که مقدار مقاومت برشی در ترکیب ۲/۵، ۵ و ۱۰ gr/0.3m<sup>2</sup> به ترتیب ۱/۳۳، ۴ و ۲۲ KN/m<sup>2</sup> نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. با افزایش تعداد لایه خاک پوش، اختلاف معنی داری در مقاومت برشی ترکیب نانولیگنوسولوز+ لیکور سیاه در سطوح ۵ و ۱۰ gr/0.3m<sup>2</sup> با تیمار شاهد مشاهده شد. از بین خاک پوش‌های مورد مطالعه، بیشترین مقاومت برشی به ترتیب در سطح ۱۰ gr/0.3m<sup>2</sup> (۳۹ KN/m<sup>2</sup>) ترکیب نانولیگنوسولوز+ لیکور سیاه با ضخامت دو لایه، نانولیگنوسولوز با ضخامت دو لایه (۲۶/۳۳ KN/m<sup>2</sup>) و نانولیگنوسولوز با ضخامت یک‌لایه در سطح ۱۰ gr/0.3m<sup>2</sup> (۲۶ KN/m<sup>2</sup>) مشاهده شد و کمترین مقاومت برشی مربوط به تیمارهای ۲/۵ gr/0.3m<sup>2</sup> نانولیگنوسولوز یک‌لایه، ترکیب نانولیگنوسولوز+ لیکور سیاه دو لایه و لیکور سیاه دو لایه می‌باشد.

### اثر خاک پوش‌های لیگنوسولوزی بر مقاومت برشی ماسه بادی

برشی تفاوت معنی داری وجود دارد (P<۰/۰۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها در تیمارهای مختلف نانولیگنوسولوز با افزایش مقدار در واحد سطح از ۲/۵ تا ۱۰ gr/0.3m<sup>2</sup> که به صورت یک‌لایه بر سطح پاشیده شد، هیچ‌گونه اختلاف معنی داری با تیمار شاهد مشاهده نشد ولی با افزایش تعداد لایه خاک پوش نانولیگنوسولوز، مقدار مقاومت برشی ۱، ۶ و ۷ KN/m<sup>2</sup> در سطح ۲/۵، ۵ و ۱۰ gr/0.3m<sup>2</sup> نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. نتایج مقایسه میانگین ترکیب نانولیگنوسولوز+ لیکور سیاه نشان داد که مقدار مقاومت برشی در ترکیب ۲/۵، ۵ و ۱۰ gr/0.3m<sup>2</sup> به ترتیب ۱، ۴ و ۳ KN/m<sup>2</sup> نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. ولی با افزایش تعداد لایه خاک پوش، هیچ‌گونه اختلاف معنی داری در مقاومت برشی ترکیب نانولیگنوسولوز+ لیکور سیاه در تمام سطوح با تیمار شاهد مشاهده نشد. در تمام سطوح نانولیگنوسولوز و ترکیب نانولیگنوسولوز+ لیکور سیاه در ضخامت یک‌لایه، بیشترین مقاومت برشی مربوط به ترکیب نانولیگنوسولوز+ لیکور سیاه در سطح ۵ gr/0.3m<sup>2</sup> (۴ KN/m<sup>2</sup>) است و کمترین مقاومت برشی مربوط به تیمارهای ۲/۵، ۵ و ۱۰ gr/0.3m<sup>2</sup> نانولیگنوسولوز است. در تمام سطوح نانولیگنوسولوز و ترکیب نانولیگنوسولوز+ لیکور سیاه در ضخامت دو لایه، بیشترین مقاومت برشی در سطح ۱۰ gr/0.3m<sup>2</sup> (۷ KN/m<sup>2</sup>) و ۵ گرم بر متر مربع (۶ KN/m<sup>2</sup>) نانولیگنوسولوز مشاهده شد و کمترین مقاومت برشی مربوط به تیمارهای ۲/۵، ۵ و ۱۰ gr/0.3m<sup>2</sup> ترکیب نانولیگنوسولوز+ لیکور سیاه است. بیشترین مقاومت برشی در ضخامت یک‌لایه و دو لایه (نانولیگنوسولوز و ترکیب نانولیگنوسولوز+ لیکور سیاه و لیکور سیاه) مربوط به سطوح ۵ و ۱۰ gr/0.3m<sup>2</sup> نانولیگنوسولوز در ضخامت دو لایه مشاهده

جدول (۳): مقاومت برشی در انواع مختلف خاک پوش در دو حالت اشباع و خشک

Table (3): Shear strength in different types of mulch in both saturated and dry conditions

شاهد (آب)	لیکور سیاه	دولایه						یک‌لایه						مقاومت برشی اشباع خشک
		نانولیگنوسولوز+ لیکور سیاه			نانولیگنوسولوز			نانولیگنوسولوز+ لیکور سیاه			نانولیگنوسولوز			
		۱۰	۵	۲/۵	۱۰	۵	۲/۵	۱۰	۵	۲/۵	۱۰	۵	۲/۵	
۰	۰/۳	۳/۳۳	۰	۰	۰	۷	۶	۱	۳	۴	۱	۰	۰	۰
۰	۰	۱	۳۹	۷	۰	۲۶	۱۶	۱	۲۲	۴	۱	۲۶	۵	۰

با توجه به جدول (۴) در حالت اشباع مقدار رطوبت در تیمار نانولیگنوسلولز+ لیکور سیاه ( $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$ ) دولایه دارای بیشترین رطوبت است، به طوری که با افزایش مقدار در واحد سطح از خاک پوش، میزان رطوبت نیز افزایش یافته

است. همان طور که در جدول (۴) مشاهده می شود، پس از خشک شدن خاک پوش میزان رطوبت کاهش یافت، به طوری که در تمام تیمارها تقریباً به مقدار ثابت و یکسانی رسید.

جدول (۴): رطوبت در انواع مختلف خاک پوش در دو حالت اشباع و خشک

Table (4): Humidity in different types of mulch in both saturated and dry conditions

شاهد (آب)	لیکور سیاه	دولایه						یکلایه						
		نانولیگنوسلولز+ لیکور سیاه			نانولیگنوسلولز			نانولیگنوسلولز+ لیکور سیاه			نانولیگنوسلولز			
رطوبت	دولایه	یکلایه	۱۰	۵	۲/۵	۱۰	۵	۲/۵	۱۰	۵	۲/۵	۱۰	۵	۲/۵
اشباع	۹/۲۷	۵/۸۴	۱۵/۶۶	۷/۵۳	۴/۴۵	۱۰/۸۷	۴/۵۲	۳/۱۹	۱۲/۱۲	۱۰/۱۴	۶/۳۹	۱۰/۱۶	۷/۷	۳/۳۷
خشک	۱/۱۶	۱/۱۴	۱/۱۶	۱/۸۱	۱/۱۸	۱/۰۶	۱/۷۲	۱/۲۵	۱/۱۶	۱/۵۵	۱/۳۸	۱/۲۶	۲/۲۶	۱/۳۲

مطالعه، بیشترین مقاومت برشی به ترتیب در میکروولیگنوسلولز با ضخامت دولایه در سطح  $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  ( $13.7 \text{ KN}/\text{m}^2$ ) و میکروولیگنوسلولز با ضخامت دولایه ( $8 \text{ KN}/\text{m}^2$ ) در سطح  $5 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  مشاهده شد و کمترین مقاومت برشی مربوط به تیمارهای  $2/5$  و  $5 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  میکروولیگنوسلولز یکلایه، ترکیب میکروولیگنوسلولز+ لیکور سیاه یکلایه و دولایه است.

#### بررسی مقاومت برشی میکروولیگنوسلولز و ترکیب میکروولیگنوسلولز+ لیکور سیاه در حالت خشک

جدول (۵) مقایسه میانگین تأثیر خاک پوش های مختلف بر میزان مقاومت برشی را نشان می دهد. همان طور که از نتایج آزمون دانکن مشاهده می شود، بیشترین مقاومت برشی مربوط به خاک پوش میکروولیگنوسلولز دولایه در سطح  $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  ( $36.3 \text{ KN}/\text{m}^2$ ) است و پس از آن خاک پوش میکروولیگنوسلولز+ لیکور سیاه دولایه در سطح  $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  ( $33.3 \text{ KN}/\text{m}^2$ ) در رتبه بعدی قرار داشت. از بین تیمارهای مورد مطالعه، کمترین مقاومت برشی مربوط به تیمارهای  $2/5$  و  $5 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  میکروولیگنوسلولز یکلایه، ترکیب میکروولیگنوسلولز+ لیکور سیاه یکلایه (سطح  $5 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$ ) و لیکور سیاه دولایه است.

#### بررسی مقاومت برشی میکروولیگنوسلولز و ترکیب میکروولیگنوسلولز+ لیکور سیاه در حالت اشباع

جدول (۵) مقایسه میانگین تأثیر خاک پوش های مختلف بر میزان مقاومت برشی را نشان می دهد. همان طور که از نتایج آزمون مقایسه میانگین دانکن ملاحظه می شود، بیشترین مقدار مقاومت برشی در ضخامت یکلایه خاک پوش میکروولیگنوسلولز مربوط به سطح  $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  است، به طوری که بین سطح  $2/5$  و  $5 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  با نمونه شاهد از نظر میزان مقاومت برشی تفاوت معنی داری وجود ندارد ( $P>0.05$ ). با افزایش تعداد لایه خاک پوش میکروولیگنوسلولز مقدار مقاومت برشی نیز افزایش یافت به طوری که مقدار مقاومت برشی  $1.3 \text{ KN}/\text{m}^2$  در سطح  $2/5 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$ ،  $8 \text{ KN}/\text{m}^2$  در سطح  $5 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  و  $13.7 \text{ KN}/\text{m}^2$  در سطح  $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. نتایج مقایسه میانگین بین ترکیب خاک پوش میکروولیگنوسلولز+ لیکور سیاه در سطح  $5$  و  $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  و نمونه شاهد نشان داد از نظر میزان مقاومت برشی تفاوت معنی داری وجود دارد ( $P<0.05$ ). به طوری که میزان افزایش مقاومت برشی این دو نوع خاک پوش نسبت به تیمار شاهد به ترتیب  $3$  و  $7 \text{ KN}/\text{m}^2$  افزایش یافت. در صورتی که با افزایش تعداد لایه، میزان مقاومت برشی سطح  $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  کاهش یافت ولی در سطح  $5 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  افزایش یافت. از بین خاک پوش های مورد

جدول (۵): مقاومت برشی در انواع مختلف خاک پوش در دو حالت اشباع و خشک  
Table (5): Shear strength in different types of mulch in both saturated and dry conditions

شاهد (آب)	دولایه						یکلایه						مقاومت برشی اشباع خشک	
	لیکور سیاه		میکرو لیگنوسلولز + لیکور سیاه		میکرو لیگنوسلولز		لیکور سیاه		میکرو لیگنوسلولز + لیکور سیاه		میکرو لیگنوسلولز			
	دولایه	یکلایه	۱۰	۵	۲/۵	۱۰	۵	۲/۵	۱۰	۵	۲/۵	۱۰	۵	۲/۵
۰	۰/۳	۳/۳۳	۶	۳/۶۶	۰	۱۳/۶۶	۸	۱/۳۳	۷	۳	۰	۰/۶۶	۰	۰
۰	۰	۱	۳۳	۱۵	۲	۳۶	۱۴	۱	۱۳	۱	۰	۵	۰	۰

با توجه به جدول (۶) در حالت اشباع مقدار رطوبت در تیمار نانولیگنوسلولز ( $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$ ) یکلایه دارای بیشترین رطوبت می باشد، به طوری که با افزایش مقدار در واحد سطح از خاک پوش، میزان رطوبت نیز افزایش یافته است. همان

جدول (۶): رطوبت در انواع مختلف خاک پوش در دو حالت اشباع و خشک  
Table (6): Humidity in different types of mulch in both saturated and dry conditions

شاهد (آب)	دولایه						یکلایه						رطوبت اشباع خشک	
	لیکور سیاه		میکرو لیگنوسلولز + لیکور سیاه		میکرو لیگنوسلولز		لیکور سیاه		میکرو لیگنوسلولز + لیکور سیاه		میکرو لیگنوسلولز			
	دولایه	یکلایه	۱۰	۵	۲/۵	۱۰	۵	۲/۵	۱۰	۵	۲/۵	۱۰	۵	۲/۵
۴/۶۳	۹/۲۷	۵/۸۴	۹/۳۹	۶	۲/۸۲	۹/۶۱	۷/۱۹	۴/۴۸	۱۱	۶/۹۶	۵/۳	۱۲/۰۵	۸/۳۴	۳
۱/۱۶	۱/۱۴	۱/۱۶	۱/۶۲	۱/۱۷	۱/۱	۱/۲۶	۱/۲۴	۱/۱۳	۱/۴۵	۱/۲۵	۱/۲	۱/۳۳	۱/۲۳	۱/۲۴

اختلاف معنی دار وجود دارد، در صورتی که نتایج مقایسه میانگین بین سه نوع خاک پوش دیگر (میکرو لیگنوسلولز دولایه در سطح  $5 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$ ، نانولیگنوسلولز دولایه در سطح  $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  و ترکیب یکلایه خاک پوش میکرو لیگنوسلولز + لیکور سیاه در سطح  $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$ ) از نظر میزان مقاومت برشی تفاوت معنی داری وجود ندارد ( $P < 0.05$ ). کمترین مقاومت برشی مربوط به تیمارهای یکلایه نانولیگنوسلولز (در تمام سطوح)، میکرو لیگنوسلولز (سطح  $2/5 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  و  $5 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$ )، ترکیب میکرو لیگنوسلولز + لیکور سیاه (سطح  $2/5 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$ ) و تیمارهای دولایه ترکیب نانولیگنوسلولز + لیکور سیاه (در تمام سطوح) و  $2/5 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  میکرو لیگنوسلولز + لیکور سیاه است، به طوری که نتایج مقایسه میانگین بین این تیمارها (کمترین مقاومت برشی) و نمونه شاهد نشان داد که از نظر میزان مقاومت برشی تفاوت معنی داری بین آنها وجود ندارد ( $P < 0.05$ ) و میزان مقاومت برشی صفر است.

### بررسی مقاومت برشی انواع خاک پوش ها در حالت اشباع و خشک

جدول (۷) مقایسه میانگین تأثیر خاک پوش های مختلف بر میزان مقاومت برشی در حالت اشباع را نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می شود، بیشترین مقدار مقاومت برشی در ضخامت دولایه خاک پوش میکرو لیگنوسلولز در سطح  $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  است، به طوری که میزان مقاومت برشی تا  $13/6 \text{ KN}/\text{m}^2$  نسبت به نمونه شاهد (صفر) افزایش یافته است. بعد از آن به ترتیب میکرو لیگنوسلولز دولایه در سطح  $5 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  ( $8 \text{ KN}/\text{m}^2$ )، نانولیگنوسلولز دولایه در سطح  $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  ( $7 \text{ KN}/\text{m}^2$ ) و ترکیب یکلایه خاک پوش میکرو لیگنوسلولز + لیکور سیاه ( $7 \text{ KN}/\text{m}^2$ ) در سطح  $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  در رتبه های بعدی قرار دارند، به طوری که بین خاک پوش میکرو لیگنوسلولز دولایه (سطح  $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$ ) و سایر خاک پوش ها از نظر مقاومت برشی در سطح اطمینان  $5\%$



در حالت خشک (جدول ۷)، بیشترین مقدار مقاومت برشی در ضخامت دولایه ترکیب خاک پوش نانولیگنوسلولز + لیکور سیاه مربوط به سطح  $10 \text{ gr}/0.3 \text{ m}^2$  است، به طوری که میزان مقاومت برشی را ۳۹ کیلونیوتن بر مترمربع نسبت به نمونه شاهد (صفر) افزایش داده است. میکرولیگنوسلولز دولایه در سطح  $10 \text{ gr}/0.3 \text{ m}^2$  ( $36/33 \text{ KN}/\text{m}^2$ ) و ترکیب دولایه خاک پوش میکرولیگنوسلولز + لیکور سیاه ( $\text{KN}/\text{m}^2$ )

به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. بین این سه نوع خاک پوش از نظر مقاومت برشی در سطح اطمینان ۵٪ اختلاف معنی داری وجود ندارد در صورتی که نتایج مقایسه میانگین بین این سه نوع خاک پوش و نمونه شاهد نشان داد از نظر میزان مقاومت برشی تفاوت معنی داری وجود دارد ( $P < 0/05$ ).

جدول (۷): مقاومت برشی خاک پوش‌های مختلف در حالت اشباع و خشک

Table (7): Shear strength of different mulches in both saturated and dry conditions

شاهد (آب)	لیکور سیاه	دولایه						یک‌لایه						سطح
		لیگنوسلولز + لیکور سیاه			لیگنوسلولز			لیگنوسلولز + لیکور سیاه			لیگنوسلولز			
		۱۰	۵	۲/۵	۱۰	۵	۲/۵	۱۰	۵	۲/۵	۱۰	۵	۲/۵	
		۰	۰	۰	۷	۶	۱	۳	۴	۱	۰	۰	۰	۳۹
۰	۰/۳	۳/۳۳	۶	۳/۶	۰	۱۳/۶	۸	۱/۳۳	۷	۳	۰	۰/۶۶	۰	۰
			۳۹	۷	۰	۲۶	۱۶	۱	۲۲	۴	۱	۲۶	۵	۰
۰	۰	۱	۳۳	۱۵	۲	۳۶	۱۴	۱	۱۳	۱	۰	۵	۰	۰

خشک نسبت به حالت اشباع افزایش یافت، به نظر می‌رسد که گذر زمان و از دست دادن رطوبت و خشک شدن بستر ماسه‌ای کارایی و استحکام خاک پوش ایجاد شده را افزایش داده است. نتایج مطالعات غفاری و زمردیان (۲۰۱۷) نیز نشانگر بهبود مقاومت برشی خاک‌ها به صورت معنادار نسبت به زمان است. در صورتی که با نتایج پژوهش نقی‌زاده اصل و همکاران (۲۰۱۷) هم‌خوانی ندارد. باقریه و فارسی‌جانی (۲۰۱۴) اظهار کردند که هرچه نمونه خاک به حالت اشباع نزدیک‌تر می‌شود، مقدار تنش برشی بیشینه آن نیز کاهش می‌یابد؛ به عبارت دیگر با کاهش مکش بافتی درون خاک و افزایش درجه اشباع، مقاومت برشی نمونه خاک کاهش می‌یابد. مقاومت برشی سطح خاک، همان مقاومت اصطکاکی ناشی از لغزیدن ذرات روی همدیگر، حرکت غلتک مانند بین دانه‌های مجاور و قفل شدن دانه‌ها در یکدیگر است (لوپز<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). بنابراین به نظر می‌رسد که با کاهش رطوبت حرکت غلتک مانند ذرات کم شده و ذرات ماسه توسط

## محدودیت‌های استفاده از نانولیگنوسلولز به عنوان خاک پوش

ابتدا با پاشش مالچ بر روی سطح، ذرات نانو به درون ماسه نفوذ می‌کنند ولی با ادامه روند پاشش به دلیل افزایش گرانیروی (ویسکوزیته) و عدم نفوذ مواد نانولیگنوسلولز به درون ماسه، سبب تشکیل لایه‌ای مجزا بر روی سطح ماسه می‌شود، این لایه با ذرات ماسه همراه نمی‌شود، در نتیجه به صورت یک ورقه ناپیوسته بر روی سطح باقی می‌ماند. از طرفی، به علت بالا بودن سطح ویژه، در هنگام خشک شدن، مواد نانولیگنوسلولز پدیده‌ای به نام هم‌کشیدگی<sup>۱</sup> صورت می‌گیرد (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۸)، به طوری که با افزایش مقدار مواد نانولیگنوسلولز میزان هم‌کشیدگی در زمان خشک شدن نیز بیشتر شده و در نتیجه سبب جمع شدن لایه سطحی می‌گردد.

## بحث و نتیجه‌گیری

همان طور که مشاهده شد، مقدار مقاومت برشی در حالت



بنابراین، با افزایش مقدار ماده در واحد سطح، محدوده وسیع تر با ضخامت بیشتری را پوشش داده است که این امر سبب افزایش چسبندگی ذرات و در نهایت موجب افزایش مقاومت برشی شده است. از طرفی احتمالاً ماهیت (ماده آلی) لیگنوسلولز نیز در افزایش مقاومت برشی مؤثر بوده است. همان طور که راجمن<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۳) نیز گزارش کردند که مقاومت برشی خاک با افزایش ماده آلی افزایش می یابد. کمترین مقاومت برشی مربوط به تیمارهای  $2/5 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  نانولیگنوسلولز، میکرولیگنوسلولز، ترکیب میکرولیگنوسلولز + لیکور سیاه و تیمار  $5 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  میکرولیگنوسلولز یک لایه و ترکیب نانولیگنوسلولز + لیکور سیاه و لیکور سیاه دو لایه است، به طوری که نتایج مقایسه میانگین بین این تیمارها (کمترین مقاومت برشی) و نمونه شاهد نشان داد که از نظر میزان مقاومت برشی تفاوت معنی داری بین آنها وجود ندارد ( $P < 0/05$ ) و میزان مقاومت برشی صفر است. در این تیمارها با اضافه کردن خاک پوش به سطح ماسه، یک لایه به ظاهر یکپارچه در سطح ماسه ایجاد شد اما احتمالاً به دلیل محدود بودن سوسپانسیون مورد نظر قادر به ایجاد چسبندگی مناسب بین ذرات ماسه نبوده است، در نهایت این ذرات به سادگی از هم جدا شدند. با توجه به دستورالعمل فنی ارزیابی کارایی تثبیت کننده های خاک (خاک پوش) (۲۰۱۹) شاخص مقاومت برشی دارای چهار طبقه است که هر طبقه نشان دهنده میزان مقاومت برشی یا چسبندگی می باشد. ماسه بادی یا خاک مناطق غبارخیز، فاقد چسبندگی یا دارای چسبندگی کمی هستند، بنابراین، مقاومت برشی کمی دارند؛ با افزودن مواد تثبیت کننده، انتظار می رود مقاومت برشی خاک افزایش یابد. کمترین مقاومت برشی قابل انتظار برابر  $0/5$  نیوتن بر سانتی متر مربع ( $5 \text{ KN}/\text{m}^2$ ) است. مقاومت برشی در رطوبت های مختلف متفاوت است؛ لذا در مراحل اندازه گیری مقاومت برشی ثبت مقدار رطوبت نیز ضروری است.

ویژگی های شاخص مقاومت برشی برای بررسی کارایی مواد تثبیت کننده خاک در جدول (۸) ارائه شده است.

خاک پوش به یکدیگر قفل شده اند (جدول ۷).

لایه کاغذمانندی که به واسطه پاشش نانولیگنوسلولز بر روی سطح ماسه ایجاد شد، علاوه بر افزایش مقاومت سطحی در برابر فرو رفتن سبب افزایش مقاومت در برابر کنده شدن ماسه نیز گردید، به نظر می رسد که به دلیل ساختار مرفولوژی نانولیگنوسلولز که دارای ریسمان های بلند نانویی و بدون حفره است، علاوه بر افزایش میزان مقاومت فروری سبب افزایش مقاومت برشی نیز گردید. اخوت و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که افزایش طول الیاف تا  $20$  میلی متر با ثابت ماندن درصد الیاف، مقاومت برشی را افزایش داد. افزایش طول الیاف تغییر مشخصی در زاویه اصطکاک داخلی ایجاد می کند، در حالی که چسبندگی و مقاومت برشی نهایی به صورت غیرخطی افزایش می یابد (قوامی و همکاران، ۱۹۹۹؛ یانیم اوگلو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). میکرولیگنوسلولز دو لایه در سطح  $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  ( $36/33 \text{ KN}/\text{m}^2$ ) و ترکیب دو لایه خاک پوش میکرولیگنوسلولز + لیکور سیاه ( $33/33 \text{ KN}/\text{m}^2$ ) به ترتیب در رتبه های بعدی قرار دارند. بنابراین، به نظر می رسد که خاک پوش میکرولیگنوسلولز به دلیل داشتن رشته های سلولزی باعث افزایش چسبندگی و به هم پیوستگی ذرات منفرد ماسه و در نهایت تشکیل لایه به هم پیوسته در سطح خاک گردید، از طرفی حضور میکرولیگنوسلولز باعث ایجاد ارتباط قوی بین ذرات ماسه شده و انعطاف پذیری خاک پوش را در مقابل نیروی برشی زیاد نموده است. بین این سه نوع خاک پوش از نظر مقاومت برشی در سطح اطمینان  $5\%$  اختلاف معنی داری وجود ندارد در صورتی که نتایج مقایسه میانگین بین این سه نوع خاک پوش و نمونه شاهد نشان داد از نظر میزان مقاومت برشی تفاوت معنی داری وجود دارد ( $P < 0/05$ ). همان طور که مشاهده شد با افزایش هم زمان مقدار مواد در واحد سطح و تعداد لایه، مقدار مقاومت برشی نیز افزایش یافت. نتایج تحقیق مجیدی و همکاران (۲۰۰۶)، حضیرئی و زارع ارنانی (۲۰۱۳)، نتایج جمشیدصفا و همکاران (۲۰۱۵)، الخانباشی و عبدالله (۲۰۰۵)، خلیلی مقدم و همکاران (۲۰۱۵) و ایوبی و همکاران (۲۰۱۸) نیز این یافته ها را تأیید می کنند.

جدول (۸): تشریح ویژگی‌های شاخص مقاومت برشی برای بررسی کارایی مواد تثبیت کننده خاک

Table (8): Descriptions of the characteristics of shear strength index to evaluate the performance of soil stabilizers

معیار	شاخص	دستگاه یا روش اندازه‌گیری	ملاحظات	طبقات	ارزیابی
کیفیت	امتیاز				
ضعیف	۱	کمتر از ۰/۵	رطوبت خاک		
متوسط	۲	۰/۵-۱	حین اندازه‌گیری		
خوب	۳	۱-۲	مقاومت برشی،		
بسیار خوب	۴	بیشتر از ۲	ذکر گردد.		

توصیه کرد که ابتدا معیارهای دیگر اندازه‌گیری شده سپس این نوع خاک‌پوش‌ها در عرصه طبیعی نیز مورد آزمایش قرار گرفته و در صورت مطابقت با نتایج آزمایشگاهی، از آنها برای تثبیت ماسه‌های روان استفاده شود.

### سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی مصوب شماره (۹۷۰۰۹۲۹۱) و با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور انجام شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب سپاسگزاری خود را از آن صندوق اعلام کنند.

با توجه به نتایج به دست آمده (جدول ۷) در حالت اشباع تیمار میکرولیگنوسولوز با مقدار  $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$  با ضخامت دولایه با مقاومت برشی  $13/6 \text{ KN}/\text{m}^2$  ( $1/3 \text{ N}/\text{cm}^2$ ) و در حالت خشک (جدول ۷) تیمار ترکیب نانولیگنوسولوز و لیکورسیاه ( $10 \text{ gr}/0.3\text{m}^2$ ) با ضخامت دولایه با مقاومت برشی  $39 \text{ KN}/\text{m}^2$  ( $3/9 \text{ N}/\text{cm}^2$ ) به ترتیب در طبقه خوب و بسیار خوب قرار گرفته‌اند. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته توسط نویسندگان میکرولیگنوسولوز از نظر اقتصادی به صرفه‌تر می‌باشد، به طوری که در مقایسه با مالچ نفتی (۱۱ تن در هر هکتار برابر با ۲۷ میلیون تومان) با شرایط یکسان  $6/4$  تن در هر هکتار برابر  $5/6$  میلیون تومان در بر دارد. بنابراین، می‌توان

### منابع

- AlKhanbashi, A. and Abdalla, Sh.W., 2006. Evaluation of three waterborne polymers as stabilizers for sandy soil. *Geotech. Geology Engineering*, 24: 1603-1625.
- Ayubi, Sh., Faizu, Z., Mossadeghi, M.H. and Bassalatpour, A.A., 2018. Effects of biochar, bentonite clay and polyvinyl acetate application on some physical and mechanical properties of sediments. *Agricultural Engineering (Journal of Agricultural Science)*, 41 (2).
- Babakhani, S. and Karimzadeh, H., 2013. Application of Steel Slag for Stabilizing Erodible Soils (Case study: Harand Area), *Desert Management*, 2, pp. 1-12.
- Bagherieh, A.R. and Farsijani, A., 2014. The effect of moisture content on the shear strength parameters of plastic fine soils. *Journal of Civil Engineering*, 14 (3): 31-41.
- Basha, E.A., Hashim, R., Mahmud, H.B. and Muntohar, A.S., 2005. Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement. *Construction and building materials*, 19(6), 448-453.
- Cerdà, A., Rodrigo-Comino, J., Giménez-Morera, A. and Keesstra, S.D., 2018. Hydrological and erosional impact and farmer's perception on catch crops and weeds in citrus organic farming in Canyoles river watershed, Eastern Spain. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 258, 49-58.
- Coppinger, K.D., Reiners, W.A., Burk, I.C. and Olson, R.K., 1991. Net erosion on a sagebrush steppe landscape as determined by cesium 137 distribution. *Soil Science Society of America Journal*, 55: 254-258.
- Fangkum, A. and Reungsang, A., 2011. Biohydrogen production from sugarcane bagasse hydrolysate by elephant dung: effects of initial pH and substrate concentration. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36: 8687-8696.
- Feizi, Z., Ayoubi, S., Mosaddeghi, M.R., Besalatpour, A.A., Zeraatpisheh, M. and Rodrigo-Comino, J., 2019. A wind tunnel experiment to investigate the effect of polyvinyl acetate, biochar, and bentonite on wind erosion control. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(8), 1049-1062.
- Ghafari, H. and Zomorodian, S.M.A., 2017. Investigation of shear strength of soil stabilized by microbiology. *Iranian Soil and Water Research*, 48

- (4): 737-748.
11. Ghavami, Kh., Filho, R.D. and Barbosac, N.P., 1999. "Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres", *Cement and Concrete Composites*, 21, pp 39-48. 17.
  12. Grini, A.G., Myhre Zender, C.S., Sundet, J.K. and Isaksen, I.S.A., 2003. Model simulations of dust source and transport in the global troposphere: Effects of soil credibility and wind speed variability, *Journal of Geophysical Research*, 110: 1-14.
  13. Gu, X., Cai, H., Fang, H., Li, Y., Chen, P. and Li, Y., 2020. Effects of degradable film mulching on crop yield and water use efficiency in China: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 202, 104676.
  14. Han, Z., Wang, T., Dong, Z., Hu, Y. and Yao, Z., 2007. Chemical stabilization of mobile dunefields along a highway in the Taklimakan Desert of China. *Journal of arid environments*, 68(2), 260-270.
  15. Hatefii, O., Jalalian, A., Padidar, M. and Fallahzade, J., 2016. Effect of Nanoclay on Wind Erosion a Sandy Loam Soil in Segzi Region (Isfahan, Iran), *Journal of Environmental Science and Technology*, 9(3): 296-300.
  16. Hazirei, F. and Zare Ernani, M., 2013. Investigation of Effect of Clay-Lime Mulch for Sand Dunes Fixation, *Journal of Water and Soil*, 27 (2), p. 373-380.
  17. Jamiley, T., 2013. Preparation of environmentally friendly mulch from sugarcane wastes for stabilization of Ahwaz sand dunes. Master thesis. Ramin Khuzestan University of Agriculture and Natural Resources.
  18. Jamili, T. and Khalili Moghaddam, b., 2013. Investigating the Effect of Rainfall on the Mechanical Properties of Vinas Mulches, First National Conference on Agricultural Pollutants and Food Health, Challenges and Solutions. 5 p.
  19. JamshidSafa, M., Khalili Moghadam, B., Jafari, S. and Ghorbani Dashtaki, Sh., 2015. Evaluation of the Use of Eco Filter as an Eco-Friendly Mulch for Stabilization of Ahwaz Fluid Sands, *Agricultural Engineering (Agricultural Scientific Journal)*, 38 (1): 42-29.
  20. Keesstra, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerdà, A. and Bardgett, R.D., 2016. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *Soil*.
  21. Khalil Moghadam, B., Afyuni, M., Jalalian, A., Abbaspour, K.C. and Dehghani, A.A., 2011 Estimation Surface Soil Shear Strength by Peto-Transfer Functions and Soil Spatial Prediction Functions, *Journal of Water and Soil*, 25 (1): p. 187-195.
  22. Khalili Moghadam, B., Jamili, T., Nadian, H. and Shahbazi, E., 2015. The influence of sugarcane mulch on sand dune stabilization in Khuzestan, the southwest of Iran, *Iran Agricultural Research* (2015) 34(2) 71-80.
  23. Lal, R., 2007. Soil science and the carbon civilization. *Soil Science Society of America Journal*. 71: 1425-3
  24. Lopez, M.V., Arrue, J.L. and Álvaro-Fuente, J., 2008. Tillage and cropping intensification effects on soil aggregation: Temporal dynamics and controlling factors under semiarid conditions. *Geoderma*, 145: 390–396.
  25. Majdi, H., Karimian Eghbal, M., Karimzade, H.R. and Jalalian, A., 2006. Effect of clay mulches on amount of aeolian dust. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resource*. 10(3): 137-148.
  26. Majeed, Z.H. and Taha, M.R., 2013. A Review of stabilization of soil by using nanomaterial. *Australian journal of basic and applied sciences*, 7 (2): 576-581.
  27. Mombeni, M., Asgari, H.R., Mohamadian Behbahani, A. and Yousefi, H., 2018. A review of the Mechanism of Stabilizing the Effects of Mulch on the Movement of Sandy Soils, *Extension and Development of Watershed Management*, 6 (2)3: 8-23.
  28. Movahedan, M., Abbasi, N. and Keramati, M., 2011. Experimental Investigation of Polyvinyl Acetate Polymer Application for Wind Erosion Control of Soils, *Journal of Water and Soil*, 25 (3): p. 606-616.
  29. Naghizade Asl, F., Asgari, H.R., Emami, H. and Jafari, M., 2019. Combined effect of micro silica with clay, and gypsum as mulches on shear strength and wind erosion rate of sands, *International Soil and Water Conservation Research*, 1-7p.
  30. Naghizade asl, F., Asgari, H.R., Emami, H. and Jafari, M., 2017. Stabilization of drifting sands using micro silica-lime-clay mixture as a mulch, *Arabian Journal of Geosciences* 10: 536, 8 p.
  31. Namdar Khojasteh, D.N., Bahrami, H.A., Kianirad, M. and Sprigg, W., 2017. Using Bio-mulch for Dust Stabilization (Case Study: Semnan Province, Iran). *Nature Environment & Pollution Technology*, 16(4).
  32. Newman, J.K., Tingle, J.S., Gill, R. and McCaffrey, T., 2005. Stabilization of silty sands using polymer emulsion. *International Journal Pavemal*, 4: 1–12.
  33. Okhvat, N., Pourhoseini, R., Abtahi, S.M. and Hejazi, S.M., 2010. Improving Soil Resistance Behaviors by Using Natural fibers, Department of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.
  34. Padidar, M., Jalalian, A., Abdouss, M., Najafi, P., Honarjoo, N. and Fallahzade, J., 2014. Effect of nanoclay on soil erosion control, *International Conference on Nanomaterials*, Brno Czech R., November 5th - 7th 2014, p 4.
  35. Pi, H., Huggins, D.R. and Sharratt, B., 2020.

- Influence of clay amendment on soil physical properties and threshold friction velocity within a disturbed crust cover in the inland Pacific Northwest. *Soil and Tillage Research*, 202, 104659.
36. Qi, Y., Ossowicki, A., Yang, X., Lwanga, E.H., Dini-Andreote, F., Geissen, V. and Garbeva, P., 2020. Effects of plastic mulch film residues on wheat rhizosphere and soil properties. *Journal of Hazardous Materials*, 387, 121711.
37. Rachman, A., Anderson, S.H., Gantzer, C.J. and Thompson, A.L., 2003. Influence of long-term cropping systems on soil physical properties related to soil erodibility. *Soil Science Society of America Journal*, 67(2), 637-644.
38. Rajabpour Kamalabadi, N., Shirani, H., Bassalatpour, A.A. and Padidar, M., 2015. Introducing new Nanoclay PAM mulch for stabilizing sand sands, Fifth National Conference on Chemical Applications in New Technologies. 8 p.
39. Rende, W., Guo, Z., Chang, C., Xiao, D. and Jiang, H., 2015. Quantitative estimation of farmland soil loss by wind-erosion using improved particle-size distribution comparison method (IPSDC). *Aeolian Research*. 19: 163-170
40. Sabzi, M., Asgari, H.R. and Afzali, S.F., 2018. Effectiveness of Biological Mulch Types on Sand Dune Stabilization, *Watershed Research*, 117, 83-93.
41. Santoni, R., Tingle, J. and Webster, S., 2002. Stabilization of Silty Sand with Nontraditional Additives. *Journal of the Transportation Research Board* 1-20.
42. Schjønning, P., Lamandé, M., Keller, T. and Labouriau, R., 2020. Subsoil shear strength-Measurements and prediction models based on readily available soil properties. *Soil and Tillage Research*, 200, 104638.
43. Shojaei, S., Ardakani, M.A.H. and Sodaiezhadeh, H., 2019. Optimization of parameters affecting organic mulch test to control erosion. *Journal of environmental management*, 249, 109414.
44. Taha, M.R., 2009. Geotechnical properties of soil-ball milled soil mixtures. In *Nanotechnology in Construction 3* (pp. 377-382). Springer, Berlin, Heidelberg.
45. Technical Guidelines for Evaluating the Effectiveness of Soil Stabilizers (Mulch), Regulation No. 783, Tahmasebi Birgani, A. M, Zare, S, Rafiei, Z. 2019, Planning and Budget Organization and National Environmental Agency, 160 pages.
46. Wang, Z., Wu, Q., Fan, B., Zheng, X., Zhang, J., Li, W. and Guo, L., 2019. Effects of mulching biodegradable films under drip irrigation on soil hydrothermal conditions and cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield. *Agricultural water management*, 213, 477-485.
47. Yang, K. and Tang, Z. 2012. Effectiveness of fly ash and polyacrylamide as a sand-fixing agent for wind erosion control. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(7), 4065-4074.
48. Yetimoglu, T., Inanir, M. and Inanir, O.E., 2005, "A study on bearing capacity of randomly distributed fiber-reinforced sand fills overlying soft clay", *Geotextiles and Geomembranes*, 23: 174-183.
49. Yousefi, H., Azari, V. and Khazaeian, A., 2018. The direct mechanical production of wood nanofibers from raw wood microparticles with no chemical treatment. *Ind. Crops Prod.* 115: 26-31, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.020>.
50. Zare, S., 2015. Efficacy of resin, mineral, polymer and biopolymer mulches for sand dune stabilization and their feasibility with oil mulch, Doctoral thesis, University of Tehran, 483 p.
51. Zimbone, S.M., Vickers, A., Morgan, R.P.C. and Vella, P., 1996. Field investigation of different techniques for measuring surface soil shear strength. *Soil Technology*, 9: 101-111.

## Investigating the effect of Lignocellulose Mulch on Sand Shear Strength

Maryam Mombeni<sup>1</sup>, Hamid Reza Asgari<sup>2\*</sup>, Ali Mohammadian Behbahani<sup>3</sup>, Salman Zare<sup>4</sup>, Hossein Yousefi<sup>5</sup>

Received: 21/03/2020

Accepted: 11/06/2020

### Expanded abstract

**Introduction:** As one of the most significant environmental problems in recent decades, wind erosion has caused environmental pollution throughout the world (Shojaei et al., 2019; Aliabad et al., 2019; Alipour et al., 2016.), inflicting damages to nearly 500 million hectares of land worldwide per year (equivalent to 46.4% of the world's degraded lands) (Rand et al., 2015). On the other hand, the presence of large areas of running sands, wind erosion-inflicted damages, and problems regarding the use of oil-based mulches, highlights the necessity of using nature- friendly mulches. This study, therefore, sought to investigate the effects of lignocellulosic nanomaterials and lignocellulosic micromaterials on shear strength of soft sands and to the positive and negative effects of such mulchs in that regard so that the most appropriate composition and extent of those mulchs could be identified in terms of increased shear strength of sand particles.

**Materials and methods:** To conduct this study, a sample of sandy soil with 89% sand particles was collected from the Isfahan's sand dunes (Rig Boland of Kashan) in the central Iran. Bagasse paste is used to make lignocellulose materials. Using blade mills and super disk mills, bagasse paste is transformed into lignocellulosic micromaterials and nanomaterials. Moreover, the Black liqueur is a paper industry's waste that is used as an adhesive element.

To investigate the effect of lignocellulose nanomaterials and lignocellulose micromaterials on soft sands' shear strength, nano and microparticles each with 0.3% concentration at three levels (2.5, 5 and 10 g/L in 0.3 m<sup>2</sup> soil), Black liqueur with 1% concentration at the level of 10 g/L in 0.3 m<sup>2</sup> soil, a combination of Nano lignocellulose (NL) and Black liqueur (BL) in three levels (2.5, 5 and 10 g/L at 0.3 m<sup>2</sup> of soil), composition of Micro-lignocellulose (ML) and black liqueur at three levels (2.5, 5 and 10 g / L in 0.3 m<sup>2</sup> soil), the control sample and all treatments in one-layer and two-layer thickness were sprayed on the surface of the sand. Furthermore, shear blades were used to measure the adhesion of the mulches under saturated and dry conditions.

**Results:** In saturated mode, the maximum shear strength of the double-layer microlignocellulose was found to be 10 g/0.3m<sup>2</sup>, with the shear strength increased to 13.6 kN/m<sup>2</sup> compared to the control sample (zero), followed by double layer- microlignocellulose at 5 g/0.3m<sup>2</sup> (8 kN/m<sup>2</sup>) level, double layer- nanolignocellulose at 10 g/0.3m<sup>2</sup> (7 kN/m<sup>2</sup>) level, and the combination of single-layer microlignocellulose plus Black liqueur at 10 g/0.3m<sup>2</sup> level (7 kN/m<sup>2</sup>). It was also found that the lowest shear strengths belonged to single-layer treatments of NL (at all levels), ML (2.5 and 5 g/0.3m<sup>2</sup>), and the combination ML + BL (2.5 g/0.3m<sup>2</sup>), as well as double-layer treatments of the combination of NL + BL (at all levels), and 2.5 g/0.3m<sup>2</sup> ML + BL.

1. PhD in Desertification, Desertification, Department of Desertification, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

2 Associate Professor of Desertification, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources; hras2010@gmail.com

3. Assistant Professor of Desertification, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

4. Assistant Professor, Department of Dry and Mountainous Rehabilitation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

5. Associate Professor of Wood Technology and Engineered wood, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

DOI: 10.22052/deej.2021.10.30.11

In the dry mode, the maximum shear strength belonged to double-layer NL + BL mulch at 10 g/0.3m<sup>2</sup> level, with its shear strength increased by 39 kN/m<sup>2</sup> compared to the control sample (zero), followed by double-layer ML at 10 g/0.3m<sup>2</sup> (36.33 kN/m<sup>2</sup>), and a combination of double-layer ML + BL (33.33 kN/m<sup>2</sup>), respectively. The study's findings indicated that there was no significant difference between these three types of mulches in terms of shear strength at 5% confidence level, while the results of the mean comparison between these three types of mulches and the control sample showed a significant difference in terms of shear strength (P <0.05).

**Table (7): Shear strength of different mulches in both saturated and dry conditions**

control (water)	Black Liqueur		Double Layer			One Layer						level	Saturation			
			lignocellulose + Black Liqueur			lignocellulose			lignocellulose + Black Liqueur					lignocellulose		
	Double Layer	One Layer	10	5	2.5	10	5	2.5	10	5	2.5	10	5	2.5		
0	0.3	3.3	0	0	0	7	6	1	3	4	1	0	0	0	Nano	Saturation
			6	3.6	0	13.6	8	1.33	7	3	0	0.66	0	0	Micro	
0	0	1	39	7	0	26	16	1	22	4	1	26	5	0	Nano	Dry
			33	15	2	36	14	1	13	1	0	5	0	0	Micro	

**Discussion and Conclusion:** As mentioned above, the amount of shear strength increased in the dry mode compared to the saturation one. Therefore, it seems that the passage of time and dryness of the sandy bed have increased the efficiency and strength of the mulch. While the findings of some studies have indicated a significant correlation between the soil's shear strength and time, other studies have proven the opposite. Moreover, this study found that the paper layer created by the spray of NL on the sand's surface increased the resistance to sand retardation as well as surface resistance to sinking. Therefore, it appears that the morphologic structure of NL which is comprised of long hole-less nano strings increased both abrasion and strengths.

According to the study's findings, the minimum amounts of shear strength belonged to the treatments of 2.5 gr/0.3m<sup>2</sup> NL, ML, ML+BL, 5 gr/0.3m<sup>2</sup> of single-layer ML, the combination of NL+BL, and double-layer BL, with the results of the mean comparison between these treatments (minimum shear strength) and the control sample proving no significant difference between them in terms of shear strength (P <0.05). The results of the study also showed that while a seemingly integrated layer had been created on the sand surface via the addition of those mulchs, limited suspensions may have prevented proper adhesion of the sand particles, leading to the easy disintegration of the particles. Therefore, it is recommended that these types of mulches be tested in the natural field first, and should they produced favorable results, be used for the stabilization of the running sands.

**Keywords:** Desertification, Mulch, Wind erosion, Shear strength, Micro-lignocellulose, Nano-lignocellulose.