

رتبه‌بندی مالچ‌های ویناسی بر اساس شاخص‌های محیط‌زیستی با استفاده از مدل تاپسیس (مطالعه شمال خرمشهر)

زینب نظری^۱، مظاهر معین‌الدینی^{۱*}، سلمان زارع^۲، رضا رفیعی^۱

^۱گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
^۲گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹

چکیده

امروزه، با توجه به اثرات منفی مالچ‌های نفتی بر محیط‌زیست، استفاده از مالچ‌های سازگار با محیط‌زیست توجه زیادی را به خود معطوف کرده است. هدف از پژوهش حاضر، تعیین بهترین ترکیب از ویناس، فیلتریک، باگاس و خاکستر باگاس به‌عنوان مالچ از نظر شاخص‌های محیط‌زیستی در شمال خرمشهر است. در این مطالعه، از ترکیب ویناس (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم) با باگاس (۰، ۲۵ و ۵۰ گرم)، خاکستر باگاس (۰، ۲۵ و ۵۰ گرم)، فیلتریک (۰، ۱۲/۵ و ۲۵ گرم) و یک لیتر آب، ۸۱ تیمار فراهم شده است. در گام اول، از بین ۸۱ تیمار، تیمارهای در محدوده مناسب شوری و اسیدیته تعیین شدند و در گام دوم، پس از مالچ‌پاشی (۳۵ تیمار بهینه در گام اول) روی سینی‌های آزمایشگاهی (۱۰۰×۳۰×۲ سانتی‌متر)، مقاومت برشی، مقاومت فشاری، مقاومت به ضربه، ضریب درز و ترک سطحی برای تیمارهای بهینه با حداقل سه تکرار اندازه‌گیری شده است. در گام سوم، مالچ‌های منتخب در گام دوم به‌صورت کیفی امتیازبندی شده است. در گام چهارم، تیمارهای منتخب در گام قبلی از لحاظ شاخص‌های عناصر سنگین (کادمیوم، کروم، سرب، روی، آرسنیک، جیوه، وانادیم و نیکل)، شوری، اسیدیته و خصوصیات شیمیایی (کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات، کلر، فسفر، پتاسیم، کربن آلی، نیتروژن و نسبت جذب سدیم)، مورد بررسی قرار می‌گیرند. در گام آخر تیمارها از لحاظ شاخص‌های محیط‌زیستی با استفاده از مدل تاپسیس رتبه‌بندی شدند و تیمار با بالاترین شاخص نزدیکی، به‌عنوان مالچ بهینه انتخاب شد. نتایج مدل تاپسیس نشان داد که تیمار ۱۹ (۱۰۰ گرم ویناس، ۵۰ گرم باگاس، فاقد خاکستر باگاس و ۱۲/۵ فیلتریک)، با شاخص نزدیکی ۰/۸۹ رتبه اول را به‌دست آورده است. براساس نتایج این پژوهش، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاربرد ویناس (۱۰۰ گرم) در تیمار بهینه، منجر به افزایش رتبه مالچ ویناسی از لحاظ شاخص‌های محیط‌زیستی با شاخص نزدیکی ۰/۸۹ خواهد شد. از سوی دیگر، حضور باگاس و فیلتریک در مالچ بهینه، بر افزایش مقاومت برشی (تا ۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع نسبت به شاهد) و کاهش ضریب درز و ترک (تا ۱/۸ درصد نسبت به شاهد) تاثیر به‌سزایی دارد.

کلید واژگان: ذرات معلق، باگاس، فیلتریک، خاکستر باگاس

مقدمه

ذرات معلق، حاوی مواد جامد میکروسکوپی یا قطرات مایع هستند که به قدری کوچک هستند که می‌توانند استنشاق شوند و مشکلات جدی برای سلامتی ایجاد کنند. ذرات ریز همچنین علت اصلی کاهش دید در بسیاری از مناطق کشور ما هستند (US EPA, 2021). داده‌های سازمان بهداشت جهانی نشان می‌دهد که تقریباً تمام جمعیت جهان (۹۱٪) هوای آلوده تنفس می‌کنند که سالانه به‌تنهایی منجر به هفت میلیون مرگ و میر می‌شود و کیفیت هوا در کشورهای با درآمد پایین و متوسط به مراتب پایین‌تر است (WHO, 2021). گرد و غبارها اثرات متعددی از جمله اختلالات تنفسی همانند برونشیت، آسم و ناهنجاری‌های قلبی عروقی و عصبی ایجاد می‌کنند (Zoheer et al., 2018). از منابع مهم انتشار آلاینده‌های هوا، کانون‌های تولید ذرات معلق ناشی از فرسایش بادی می‌باشد (Ara, 2010) که مناطق فرسایش بادی در آفریقا و آسیا تقریباً ۶۲ درصد را شامل می‌شود که منجر به خسارت جهانی به خاک تا ۹۱٪ می‌شود (Yang et al., 2021). باتوجه به اثرات زیان‌آور ذرات معلق ناشی از فرسایش بادی، می‌بایست علاوه بر شناسایی کانون‌های تولید ذرات معلق، اقداماتی در راستای تثبیت این کانون‌ها به‌وسیله مالچ‌ها انجام شود. مالچ‌ها موادی هستند که سطح خاک را پوشانده و آن را در مقابل عوامل فرساینده حفظ می‌نمایند. در این ارتباط مواد آلی با بهبود ویژگی‌های ساختمانی خاک، نقشی مهم و کلیدی در بالا بردن سرعت آستان Z فرسایش ایفا می‌نمایند. بنابراین در برنامه‌های حفاظتی، همواره تأکید ویژه‌ای به بهره‌گیری از مواد آلی در خاک می‌گردد (Dexter et al., 1985). از سوی دیگر، استفاده از پسماندهای صنعتی و مدیریت آنها به‌نحوی که کمترین آسیب را به محیط‌زیست برساند، یکی از مسائل مطرح در سطح جهان و ایران است. از پسماندهایی که در ایران می‌توان به آن‌ها اشاره کرد، پسماندهای کشت و صنعت نیشکر است که به لحاظ تولید زیاد، قابلیت کاربرد در سطح گسترده را دارد (Sharifi Moghaddam

2015, et al.). از مهمترین مشکلات و مسائل مربوط به تولید نیشکر، تولید پسماندهایی از قبیل باگاس، فیلترکیک، ملاس و ویناس است که علی‌رغم با ارزش بودن، استفاده‌ای از آن‌ها نشده است و عمدتاً با مسائل و مشکلات متعدد مدیریتی و محیط‌زیستی روبرو است (Hemayti et al., 2010).

یکی از پسماندهای مهم، ویناس است که یک فرآورده جانبی صنعت اتانول-شکر است که معمولاً کمپوست اسیدی، ماده‌ای قهوه‌ای رنگ و با میزان مواد آلی زیاد و با بوی نامطلوب برای انسان‌هاست. به‌طور متوسط ۱۰ تا ۱۵ لیتر ویناس به ازای هر لیتر اتانول بسته به تجهیزات تقطیر تولید شده و در حوضچه‌های تبخیر تخلیه می‌شود که بسته به فصل، نزدیکی و دوری به ورودی حوضچه‌ها، ویناس حدود ۱۰۰ تا ۱۳۰ گرم درلیتر وزن خشک دارد (Christofoletti et al., 2013). این ماده پس از طی فرآیندی، حاوی درصد قابل توجهی از ماده آلی، پتاسیم، نیتروژن و کلرید می‌شود که اگر به‌صورت اصولی مصرف گردد، می‌تواند به‌عنوان یک ماده مؤثر در افزایش راندمان تولید محصولات کشاورزی بکار رود (Hemati et al., 2015). باین‌حال، استفاده از ویناس به‌عنوان کود، اثرات منفی روی ویژگی‌های خاک دارد همانند افزایش اسیدیته، شوری و سمیت زیستی و علاوه بر آن می‌تواند باعث آلودگی آب به‌وسیله آبشویی فلزات از خاک به آب‌های زیرزمینی شود (Christofoletti et al., 2013; Alves et al., 2015).

براساس یافته‌های Carpenas و همکاران (۲۰۲۱)، استفاده از ویناس می‌تواند جایگزینی برای کودهای آلی معدنی باشد. در پژوهش Anacleto و همکاران (۲۰۱۷)، از ترکیب فیلترکیک و باگاس به‌عنوان کود استفاده شده است که آنالیز شیمیایی آن، پس از ۶ ماه تجزیه زیستی حاکی از کاهش فلزات، کل کربن آلی و نیتروژن می‌باشد. Silvia و همکاران (۲۰۱۴)، در مطالعه خود روی مالچ باگاس بیان کردند که این مالچ باعث افزایش زیست‌توده قارچی بستر و جوامع موجود در خاک شده‌است. بررسی تأثیر فیلترکیک

سطح میدانی صورت نگرفته است. مطالعات متعددی نشان می‌دهد که خاکستر باگاس غنی از اکسید آلومینیوم و اکسید سیلیسیم است و تمایل به واکنش با هیدروکسید کلسیم و آب دارد، بنابراین خاصیت قلیایی دارد (Yadav *et al.*, 2020). همچنین، فیلتریک به دلیل داشتن مواد آلی، آهک (Jamshidsafa *et al.*, 2015) در تعدیل pH ویناس می‌تواند نقش م^۷تری ایفا کند. از طرف دیگر، حضور باگاس در خاک به عنوان فیبر یا الیاف باعث افزایش انعطاف‌پذیری و افزایش نیروی برشی (Oliveira *et al.*, 2018) و افزایش مقاومت کششی می‌شود (Tadayonfar, 2015). از سوی دیگر، تولید حجم زیاد ویناس (۸۰۰ هزار مترمکعب) (Jamili *et al.*, 2015)، باگاس (دو میلیون و ۴۴۰ هزار و ۴۶۵ تن) (Hemayti *et al.*, 2010)، فیلتریک (به‌ازای هر ۱۰۰ تن نیشکر ۳ تن از این ماده) (Jamshidsafa *et al.*, 2015) در کشت و صنعت‌های نیشکر خوزستان، توجه قابل‌ملاحظه‌ای برای مدیریت این پسماندها در جهت حفاظت از محیط‌زیست به‌خود معطوف کرده است. بنابراین، باتوجه به مطالب ذکر شده، هدف از پژوهش حاضر تعیین ترکیبی بهینه از ویناس، فیلتریک، باگاس و خاکستر باگاس از نظر شاخص‌های محیط‌زیستی با استفاده از مدل تاپسیس در منطقه غبارخیز شمال خرمشهر جهت کنترل کانون‌های گرد و غبار است.

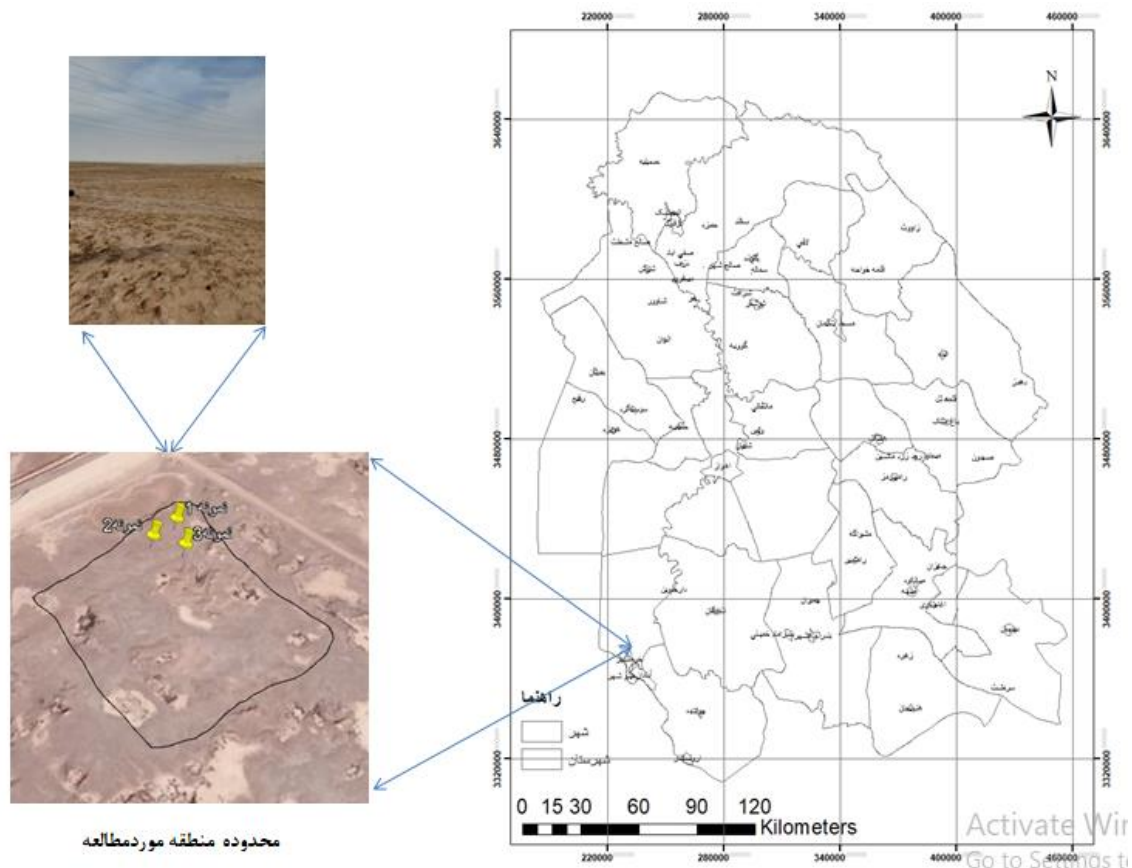
مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۰ با هدف بررسی کارایی استفاده از پسماندهای کشت و صنعت نیشکر خوزستان برای تهیه مالجه سازگار با محیط‌زیست جهت تثبیت خاک-های مناطق غبارخیز خرمشهر انجام شد. جهت تأمین خاک بستر کف سینی‌های آزمایشگاهی، یکی از مناطق غبارخیز در شمال خرمشهر (شکل ۱) با استفاده از نقشه کانون‌های گرد و غبار سازمان زمین‌شناسی انتخاب شد. شهرستان خرمشهر در ۱۲۵ کیلومتری اهواز و در جنوب‌غرب استان خوزستان قرار دارد. این شهرستان دارای آب و هوای گرم و بیابانی است. منشأ تولید گرد و غبار در شهرستان

نیشکر بر برخی از شاخص‌های کیفیت خاک توسط Mollaie و همکاران (۲۰۱۹)، نشان داد که کاربرد فیلتریک باعث افزایش میزان کربن آلی، فسفر زیست‌فراهم، تنفس پایه و تنفس برانگیخته، آنزیم فسفاتاز، میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها و کاهش وزن مخصوص ظاهری، نسبت به تیمار بدون فیلتریک می‌شود. براساس یافته‌های Sadeghi و همکاران (۲۰۱۶)، غلظت‌های بالای ویناس (۸ لیتر بر مترمربع) هدررفت خاک و غلظت رسوب را کاهش می‌دهد. نتایج حاصل از بررسی Sharifi Moghaddam و همکاران (۲۰۱۵)، نشان داد که افزودن پسماند آلی (ویناس) همیشه موجب جلوگیری از هدررفت خاک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک نخواهد شد. در مطالعه‌ی Jamili و همکاران (۲۰۱۵)، ویناس و فیلتریک به‌همراه خاک رس به‌عنوان مواد اولیه مالجه‌پاشی و شن روان به‌عنوان بستر در خوزستان در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار ویناس میزان نگره‌داشت آب لایه سطحی کاهش و میزان مقاومت خاک افزایش خواهد یافت، بنابراین، ویناس به‌دلیل افزایش نگره‌داشت آب در لایه‌های زیرسطحی و مقاومت بیشتر در برابر نیروهای فرساینده، به‌عنوان مالجه برتر برای تثبیت شن‌های روان اهواز شناخته شد. پژوهش Frahmehr و همکاران (۲۰۱۵)، نشان داد که در شرایط آزمایشگاهی برای تثبیت شن‌های روان اهواز، مالجه معدنی به‌دلیل داشتن مقاومت فروروی و مقاومت برشی مناسب و پاشش آسان بهترین ترکیب مالجه‌ی نسبت به سایر مالجه‌ها (مالجه‌های ناشی از فرآورده‌های نیشکر، معدنی و پلیمری) می‌باشد. Jamshidsafa و همکاران (۲۰۱۵)، مالجه ترکیبی متشکل از ۵۰ گرم رس و ۱۵۰ گرم فیلتریک را به‌دلیل داشتن مقاومت برشی و فروروی مناسب، بهترین ترکیب مالجه‌ی برای تثبیت شن‌های روان اهواز تشخیص دادند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در منطقه موردبررسی، مطالعاتی در زمینه ویناس و فیلتریک برای تثبیت شن‌های روان انجام گرفته است، اما تاکنون برای تثبیت خاک‌های حساس به فرسایش بادی مطالعه‌ای در سطح آزمایشگاهی و

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی خاک

بافت خاک	شن (%)	سیلیت رس	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	وزن مخصوص حقیقی (گرم بر سانتی متر مکعب)	درصد آهک
لومی شنی	۵۸/۲	۳۱/۴	۱/۳	۴/۶۷	۸/۰۲



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

تیمارها از ترکیب ویناس با باگاس، خاکستر باگاس، فیلترکیک (شکل ۲) و یک لیتر آب تهیه شده است. پساب ویناس شامل آب (۹۳٪)، جامدات آلی و مواد معدنی (۷٪) است که ماده آلی به شکل اسیدهای آلی و کاتیون‌های همانند پتاسیم و کلسیم است (Christofolletti et al., 2013). باگاس، باقیمانده فیبری پس از عصاره‌گیری شکر است که به صورت قطعات ریز چوبی و به رنگ کاهی است (Hemayti et al., 2010). خاکستر باگاس نیشکر یک ماده سیمانی مکمل است با خاصیت پوزولانی که غنی از آلومینا و سیلیکا است (Yadav et al., 2020). فیلترکیک مورد

خرمشهر شامل دشت‌های آبرفتی مسطح و دانه‌ریز هستند که فاقد پوشش گیاهی بوده و شوری زمین در آن‌ها بالاست (Heidarian et al., 2017). منطقه مورد مطالعه، پهنه‌ای با بارش کم و رطوبت نسبی بالا می‌باشد که میزان درجه-حرارت در سردترین و گرم‌ترین روزهای سال ۱۳ تا ۳۴ درجه سانتی‌گراد در نوسان است (Movahedi et al., 2012). نمونه‌برداری از خاک منطقه، از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری (Soil and Water Research Institute, 2006) انجام شد که ویژگی‌های فیزیکی خاک در جدول ۱، نشان داده شده است.



شکل ۲- مواد اولیه تیمارها به ترتیب از راست به چپ خاکستر باگاس، باگاس، فیلتریک، ویناس.

جدول ۲- ترکیب تیمارهای مورد بررسی.

تیمار	(V,B,BA,FC)*	تیمار	(V,B,BA,FC)*	تیمار	(V,B,BA,FC)*	تیمار	(V,B,BA,FC)*	تیمار	(V,B,BA,FC)*	تیمار	(V,B,BA,FC)*
۱	(۰،۰،۰،۰)	۱۵	(۰،۲۵،۲۵،۲۵)	۲۹	(۱۰۰،۰،۰،۱۲/۵)	۴۳	(۱۰۰،۲۵،۵۰،۰)	۵۷	(۲۰۰،۰،۰،۲۵)	۷۱	(۲۰۰،۲۵،۵۰،۱۲/۵)
۲	(۰،۰،۰،۱۲/۵)	۱۶	(۰،۲۵،۵۰،۰)	۳۰	(۱۰۰،۰،۰،۲۵)	۴۴	(۱۰۰،۲۵،۵۰،۱۲/۵)	۵۸	(۲۰۰،۰،۲۵،۰)	۷۲	(۲۰۰،۲۵،۵۰،۲۵)
۳	(۰،۰،۰،۲۵)	۱۷	(۰،۲۵،۵۰،۱۲/۵)	۳۱	(۱۰۰،۰،۲۵،۰)	۴۵	(۱۰۰،۲۵،۵۰،۲۵)	۵۹	(۲۰۰،۰،۲۵،۱۲/۵)	۷۳	(۲۰۰،۵۰،۰،۰)
۴	(۰،۰،۲۵،۰)	۱۸	(۰،۲۵،۵۰،۲۵)	۳۲	(۱۰۰،۰،۲۵،۱۲/۵)	۴۶	(۱۰۰،۵۰،۰،۰)	۶۰	(۲۰۰،۰،۲۵،۲۵)	۷۴	(۲۰۰،۵۰،۰،۱۲/۵)
۵	(۰،۰،۲۵،۱۲/۵)	۱۹	(۰،۵۰،۰،۰)	۳۳	(۱۰۰،۰،۲۵،۲۵)	۴۷	(۱۰۰،۵۰،۰،۱۲/۵)	۶۱	(۲۰۰،۰،۵۰،۰)	۷۵	(۲۰۰،۵۰،۰،۲۵)
۶	(۰،۰،۲۵،۲۵)	۲۰	(۰،۵۰،۰،۱۲/۵)	۳۴	(۱۰۰،۰،۵۰،۰)	۴۸	(۱۰۰،۵۰،۰،۲۵)	۶۲	(۲۰۰،۰،۵۰،۱۲/۵)	۷۶	(۲۰۰،۵۰،۲۵،۰)
۷	(۰،۰،۵۰،۰)	۲۱	(۰،۵۰،۰،۲۵)	۳۵	(۱۰۰،۰،۵۰،۱۲/۵)	۴۹	(۱۰۰،۵۰،۲۵،۰)	۶۳	(۲۰۰،۰،۵۰،۲۵)	۷۷	(۲۰۰،۵۰،۲۵،۱۲/۵)
۸	(۰،۰،۵۰،۱۲/۵)	۲۲	(۰،۵۰،۲۵،۰)	۳۶	(۱۰۰،۰،۵۰،۲۵)	۵۰	(۱۰۰،۵۰،۲۵،۱۲/۵)	۶۴	(۲۰۰،۲۵،۰،۰)	۷۸	(۲۰۰،۵۰،۲۵،۲۵)
۹	(۰،۰،۵۰،۲۵)	۲۳	(۰،۵۰،۲۵،۱۲/۵)	۳۷	(۱۰۰،۲۵،۰،۰)	۵۱	(۱۰۰،۵۰،۲۵،۲۵)	۶۵	(۲۰۰،۲۵،۰،۱۲/۵)	۷۹	(۲۰۰،۵۰،۵۰،۰)
۱۰	(۰،۲۵،۰،۰)	۲۴	(۰،۵۰،۲۵،۲۵)	۳۸	(۱۰۰،۲۵،۰،۱۲/۵)	۵۲	(۱۰۰،۵۰،۵۰،۰)	۶۶	(۲۰۰،۲۵،۰،۲۵)	۸۰	(۲۰۰،۵۰،۵۰،۱۲/۵)
۱۱	(۰،۲۵،۰،۱۲/۵)	۲۵	(۰،۵۰،۵۰،۰)	۳۹	(۱۰۰،۲۵،۰،۲۵)	۵۳	(۱۰۰،۵۰،۵۰،۱۲/۵)	۶۷	(۲۰۰،۲۵،۲۵،۰)	۸۱	(۲۰۰،۵۰،۵۰،۲۵)
۱۲	(۰،۲۵،۰،۲۵)	۲۶	(۰،۵۰،۵۰،۱۲/۵)	۴۰	(۱۰۰،۲۵،۲۵،۰)	۵۴	(۱۰۰،۵۰،۵۰،۲۵)	۶۸	(۲۰۰،۲۵،۲۵،۱۲/۵)		
۱۳	(۰،۲۵،۲۵،۰)	۲۷	(۰،۵۰،۵۰،۲۵)	۴۱	(۱۰۰،۲۵،۲۵،۱۲/۵)	۵۵	(۲۰۰،۰،۰،۰)	۶۹	(۲۰۰،۲۵،۲۵،۲۵)		
۱۴	(۰،۲۵،۲۵،۱۲/۵)	۲۸	(۱۰۰،۰،۰،۰)	۴۲	(۱۰۰،۲۵،۲۵،۲۵)	۵۶	(۲۰۰،۰،۰،۱۲/۵)	۷۰	(۲۰۰،۲۵،۵۰،۰)		

(فیلتریک، خاکستر باگاس، باگاس، ویناس) از راست به چپ: *(V, B, BA, FC)

بنابراین، براساس مطالعات گذشته مناسب‌ترین میزان مصرف مواد اولیه بر تثبیت خاک بدون اثرات منفی برای ویناس ۲۵۰ گرم در سطح ۰/۴۵ مترمربع (Jamili et al., 2015)، فیلتریک یک درصد وزنی (۲۰ تن در هکتار) (Karami et al., 2019)، باگاس ۲۵ گرم در سطح ۰/۱۵ مترمربع (Majdi et al., 2015) است، با توجه به نتایج مرور پژوهش‌های گذشته، ترکیب تیمارها در این پژوهش، در سه

استفاده حاوی مواد سلولزی، آهک، ساکاروز، مواد مومی، آلومینوید و ذرات خاک است که پس از تصفیه شربت خام، مقدار زیادی فیلتریک یا گل صافی یا گل کربنات کلسیم از کارخانه‌های نیشکر به دست می‌آید (Jamshidsafa et al., 2015). به منظور تعیین ترکیب تیمارها، پژوهش‌های گذشته در زمینه اثرات هر یک از مواد اولیه (ویناس، باگاس، خاکستر باگاس و فیلتریک) مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۳- ارزیابی کیفی (امتیازبندی) تیمارها براساس مقاومت برشی، مقاومت فشاری، مقاومت به ضربه، ضخامت لایه
(Plan and Budget Organization, 2019).

ضخامت لایه		مقاومت برشی			مقاومت فشاری			ضریب درز و ترک			مقاومت به ضربه			
طبقات	امتیاز	کیفیت	طبقات	امتیاز	کیفیت	طبقات	امتیاز	کیفیت	طبقات	امتیاز	کیفیت	طبقات	امتیاز	کیفیت
کمتر از ۰/۲	۱	ضعیف	کمتر از ۰/۵	۱	ضعیف	کمتر از ۱	۱	ضعیف	کمتر از ۰/۵	۴	بسیار خوب	بیشتر از ۲	۰	ضعیف
۰/۵ - ۰/۲	۲	متوسط	۱ - ۰/۵	۲	متوسط	۱ - ۲	۲	متوسط	۱ - ۰/۵	۳	خوب	۲ تا ۱	۱	متوسط
۱ - ۰/۵	۳	خوب	۱ - ۲	۳	خوب	۲ - ۴	۳	خوب	۱ - ۲	۲	متوسط	۱ تا ۰	۲	خوب
بیشتر از ۱	۴	خیلی خوب	بیشتر از ۲	۴	خیلی خوب	بیشتر از ۴	۴	خیلی خوب	بیشتر از ۲	۰	ضعیف	۰ تا ۰	۴	خیلی خوب

جدول ۴- مراحل محاسبه اوزان از روش آنتروپی شانون (Momeni, 2013).

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و کمی کردن ماتریس تصمیم‌گیری	$P_{ij} = \frac{r_j}{r_{ij}}$ برای شاخص‌های منفی
گام دوم: بی‌مقیاس‌سازی ماتریس با استفاده از روش نرم ساعتی	$E_j = -\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=0}^n P_{ij} \ln(P_{ij})$ ، برای شاخص‌های مثبت $K = 1/\ln(m)$ $D_j = 1 - E_j$ $W_j = \frac{D_j}{\sum_{j=0}^n D_j}$
گام سوم: محاسبه آنتروپی هر یک از شاخص‌ها	
گام چهارم: محاسبه درجه انحراف اطلاعات موجود هر یک از شاخص‌ها از مقدار آنتروپی	
گام پنجم: محاسبه وزن هر یک از شاخص‌ها	

جدول ۵- مراحل مختلف مدل تاپسیس (Momeni, 2013)

$V = R_D, W_{nm} = \begin{bmatrix} v_{11}, \dots & v_{1n} \\ \vdots & \vdots \\ v_{m1}, \dots & v_{mn} \end{bmatrix}$ $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$	گام اول: محاسبه ماتریس نرمال وزنی با استفاده از بردار وزن‌ها که از روش آنتروپی به دست آمده‌اند.
$A^- = \left\{ \min_i v_{ij} \mid j \in J, (\max_i v_{ij} \mid j \in J'), i = 1, \dots, m \right\} = \{v_1^-, \dots, v_n^-\}$ $A^+ = \left\{ \max_i v_{ij} \mid j \in J, (\min_i v_{ij} \mid j \in J'), i = 1, \dots, m \right\} = \{v_1^+, \dots, v_n^+\}$	گام دوم: تعیین راه حل ایده‌آل مثبت و راه حل ایده‌آل منفی
$D_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}$ و $D_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}$	گام سوم: محاسبه فاصله از نقطه ایده‌آل مثبت و نقطه ایده‌آل منفی برای هر گزینه
$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}$	گام چهارم: محاسبه شاخص نزدیکی نسبی برای هر گزینه نسبت به نقطه

آماري مناسب، طرح کاملاً تصادفی تشخیص داده شد. در گام اول، از بین ۸۱ تیمار، تیمارهای در محدوده مناسب شوری و اسیدیته تعیین (۳۵ تیمار بهینه) و در گام دوم، این تیمارهای بهینه روی سینی‌های آزمایشگاهی (۱۰۰×۳۰×۲ سانتی‌متر) مالچ‌پاشی شد. سپس، شاخص‌های مقاومت برشی

سطح ویناس (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم)، باگاس (۰، ۲۵ و ۵۰ گرم)، خاکستر باگاس (۰، ۲۵ و ۵۰ گرم)، فیلترکیک (۰، ۱۲/۵ و ۲۵ گرم) تهیه شد، به‌صورتی که اثرات مضر بر روی ویژگی‌های خاک نداشته باشد. با ترکیب این سطوح از مواد اولیه با یک لیتر آب، ۸۱ تیمار فراهم شد (جدول ۲). طرح

و خصوصیات شیمیایی از مدل رتبه‌بندی تاپسیس استفاده شده است. مدل تاپسیس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که اولین بار توسط هوانگ و یون مطرح شده است. براساس این تکنیک بهترین گزینه، گزینه‌ای است که به‌طور همزمان نزدیکترین فاصله به نقطه ایده‌آل مثبت و دورترین فاصله تا نقطه ایده‌آل منفی را داشته باشد (Malczewski, 1999). در این پژوهش وزن‌دهی هر پارامتر با استفاده از روش آنتروپی شانون صورت گرفت. مراحل و روابط انجام این روش در جدول (۴) نشان داده شده است. مراحل مختلف مدل تاپسیس در جدول ۵، ارائه شده است.

نتایج

آماره‌های توصیفی شاخص‌های مورد مطالعه: همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، انحراف معیار شاخص‌های مورد مطالعه از مقدار ۰ (روی) تا ۸۱۹۳۹/۹ (کلسیم) متغیر است.

بررسی تیمارها از نظر شوری و اسیدیته: نتایج نشان می‌دهد شوری تیمارها (جدول ۷)، بین ۰/۶ تا ۳۰/۶ دسی-زیمنس برمتر متغیر است و بالاترین شوری مربوط به تیمار ۸۰ (۱۲، ۰/۵، ۵۰، ۵۰ و ۲۰۰/۵) با مقدار ۳۰/۶ دسی-زیمنس برمتر است. هم‌چنین، pH تیمارها، بین ۶/۵ تا ۹/۹ متغیر است و بالاترین pH، متعلق به تیمار ۸ و ۹ (۰، ۰/۵، ۱۲، ۲۵ و ۵۰) با مقدار ۹/۹ است. هرچه میزان املاح در مواد تثبیت‌کننده خاک بیشتر باشد از مطلوبیت آن کاسته خواهد شد. حداکثر مقدار قابل قبول شوری برابر ۴ دسی‌زیمنس برمتر می‌باشد (Plan and Budget Organization, 2019). هم‌چنین، بهترین بازه pH محدوده خنثی یعنی ۶ تا ۸ است. هرچه pH مواد تثبیت‌کننده کمتر یا بیشتر از این محدوده باشد، از مطلوبیت آن کاسته خواهد شد (Plan and Budget Organization, 2019). در این مرحله، ۳۵ تیمار بهینه که دارای هم pH و هم شوری در محدوده مناسب می‌باشند (جدول ۷)، انتخاب شدند.

با استفاده از دستگاه پره‌برش (Plan and Budget Organization, 2019)، مقاومت فشاری با استفاده از دستگاه نفوذسنج (Plan and Budget Organization, 2019)، مقاومت به ضربه با استفاده از یک میله نوک مخروطی (Plan and Budget Organization, 2019)، ضخامت لایه با استفاده از کولیس (Plan and Budget Organization, 2019)، ضریب درز و ترک سطحی با استفاده از اندازه‌گیری طول و عرض و تعداد درز و شکاف (Plan and Budget Organization, 2019) برای تیمارهای بهینه با حداقل سه تکرار اندازه‌گیری شد. در گام سوم، مالجه‌های بهینه نهایی براساس پنج شاخص (مقاومت برشی، مقاومت فشاری، مقاومت به ضربه و ضخامت لایه) تعیین شده است. بدین منظور، برای هر یک از این شاخص‌ها جدول ارزیابی کیفی براساس دستورالعمل فنی ارزیابی کارائی تثبیت‌کننده‌های خاک تنظیم می‌شود (Plan and Budget Organization, 2019). سپس، مقادیر هر یک از شاخص‌های اندازه‌گیری شده برای تیمارها با جدول ۳ مقایسه می‌شود و به آن‌ها امتیاز داده می‌شود. در گام بعدی، مجموع امتیاز شاخص‌ها برای هر یک از تیمارها محاسبه خواهد شد. در گام آخر، براساس مجموع امتیازها، تیمارها به ترتیب از بیشترین امتیاز به کمترین امتیاز مرتب می‌شوند و به تیمار با بیشترین امتیاز بالاترین رتبه و به تیمار با کمترین امتیاز پایین‌ترین رتبه داده خواهد شد. در این پژوهش، تیمارهای با رتبه یک تا پنج به‌عنوان پنج تیمار بهینه انتخاب شدند.

در گام پنجم، خصوصیات تیمارهای منتخب باقیمانده از لحاظ عناصر سنگین (کادمیوم، کروم، سرب، روی، آرسنیک، جیوه، وانادیم، نیکل) (با دستگاه ICP-OES) و خصوصیات شیمیایی (کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، فسفر و نسبت جذب سدیم (با دستگاه ICP-OES)، سولفات، کلر، کربن آلی و نیتروژن کل (با روش تیتراسیون))، مورد بررسی قرار گرفتند (APHA, 2017). برای تعیین مالجه بهینه نهایی از لحاظ شاخص‌های محیط‌زیستی براساس عناصر سنگین

جدول ۶- آماره‌های توصیفی شاخص‌های مورد مطالعه.

انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	خصوصیات	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	خصوصیات
۶/۶	۳۹/۶	۵۰/۷	۲۷/۴	سرب	۹/۱	۱۶/۷	۳۱/۱	۰/۵۸	EC
۰/۷	۴/۰	۵/۷	۲/۵	کروم	۰/۸۱	۸/۲	۱۰	۵/۹	pH
۳/۶	۳۱/۹	۳۸/۴	۲۷/۶	کادمیوم	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۹	۰/۰	مقاومت فشاری
۰/۰	۰/۴	۰/۴	۰/۴	روی	۰/۲۱	۱/۸	۲/۵	۱/۵	مقاومت به ضربه
۱۶/۳	۶۳/۵	۱۰۲/۱	۴۲/۴	جیوه	۱/۹۱	۹/۳	۱۴/۰۵	۰/۳۸	ضخامت
۰/۴	۰/۷	۱/۵	۰/۴	آرسنیک	۰/۸	۱/۲	۳/۳	۰۰/۰	مقاومت برشی
۲/۱	۲۰/۸	۲۵/۰	۱۷/۶	وانادیم	۵۳۵۹/۹	۸۱۹۳۹/۹	۹۲۳۹۳/۲	۷۳۵۴۶/۴	کلسیم
۳/۶	۳۹/۸	۴۸/۹	۳۵/۲	نیکل	۹۰۱/۳	۱۲۶۲۹/۷	۱۴۴۸۵/۲	۱۱۴۵۹/۴	منیزیم
۳/۱	۴۴/۲	۵۵/۱	۴۰/۹	کربن آلی	۱۵۳۹/۱	۸۶۱۶/۶	۱۱۶۱۹/۵	۵۷۷۸۷/۷	سدیم
۷۵۴۳/۳	۵۸۳۶۶/۸	۷۲۱۸۷/۸	۴۵۸۲۳/۵	پتاسیم	۱۰۲۸۸/۸	۴۱۷۵۷/۱	۵۳۵۲۸/۰	۱۶۷۸۸/۰	کلر
۵۷۲/۱	۲۵۲۰/۸	۳۴۳۱/۵	۱۶۸۵/۳	فسفر	۸۷۱۸/۵	۷۸۴۸۲/۵	۹۲۷۵۰/۳	۵۸۱۴۳/۴	سولفات
					۷۱۵/۸	۱۲۰۱۵/۰	۱۳۹۳۰/۰	۱۱۱۲۰/۰	نیتروژن کل

(۱۰۰، ۱۹، ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰) ۲۲، (۰، ۵۰ و ۲۰۰) ۳۰، (۰، ۲۵، ۵۰ و ۲۰۰) ۳۲، (۰، ۲۵، ۵۰ و ۲۰۰) ۳۳ و (۱۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۲۰۰) ۳۴ رتبه اول تا دوم را به خود اختصاص دادند.

ارزیابی تیمارهای بهینه از نظر معیارهای محیط‌زیستی با استفاده از مدل تاپسیس: در پژوهش حاضر، معیارهای محیط‌زیستی دارای چهار شاخص عناصر سنگین، شوری، pH، خصوصیات شیمیایی می‌باشد. کلسیم، منیزیم، نیتروژن، پتاسیم، فسفر و کربن آلی شاخص‌های مثبت هستند.

بررسی تیمارها از نظر تأثیر بر خواص مکانیکی خاک (شاخص ضریب درز و ترک سطحی، ضخامت لایه مالچ، مقاومت برشی، مقاومت فشاری و مقاومت به-ضربه): در این پژوهش، معیار خواص مکانیکی خاک دارای پنج شاخص ضریب درز و ترک سطحی، ضخامت لایه مالچ، مقاومت برشی، مقاومت فشاری و مقاومت به ضربه می‌باشد. مقادیر شاخص‌های مورد مطالعه در جدول ۸ ارائه شده است. بر اساس نتایج، بالاترین ضخامت لایه مالچ، مقاومت برشی، مقاومت فشاری و مقاومت به ضربه و همچنین، کمترین ضریب درز و ترک سطحی به ترتیب با مقادیر ۱۲/۵۲، ۲/۸۷، ۱/۹۲، ۰/۵۶ و ۰/۶۴ به ترتیب مربوط به تیمارهای (۱۲/۵، ۰، ۲۵ و ۲۰۰) ۲۸، (۰، ۵۰، ۰ و ۰) ۵، (۰، ۰ و ۲۰۰) ۲۴، (۰، ۵۰ و ۰) ۹، (۰، ۵۰ و ۲۰۰) ۳۰ می‌باشد.

ارزیابی براساس روش کیفی: نتایج رتبه‌بندی گزینه‌ها در جدول ۹ و ۱۰ نشان می‌دهد که تیمارهای (۱۲/۵، ۰، ۵۰ و

جدول ۷- میانگین شوری (دسی‌زیمنس بر متر) و اسیدیته در ۸۱ تیمار مورد مطالعه.

تیمار	۱**	۲**	۳**	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰**	۱۱**	۱۲**	۱۳	۱۴	۱۵
EC	۰/۶	۱/۴	۲/۳	۴/۹	۵/۴	۶/۳	۸/۶	۹/۹	۹/۹	۰/۸	۱/۸	۲/۵	۴/۹	۵/۵	۵/۹
pH	۷/۲	۷/۷	۷/۷	۹/۶	۹/۲	۹/۱	۹/۹	۹/۷	۹/۵	۶/۸	۷/۲	۷/۲	۸/۹	۸/۸	۸/۴
تیمار	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹*	۲۰**	۲۱**	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸*	۲۹*	۳۰*
EC	۸/۲	۸/۹	۱۰/۱	۰/۹	۱/۹	۲/۵	۵/۴	۴/۸	۶/۸	۸/۶	۹/۱	۹/۵	۱۳/۵	۱۳/۸	۱۳/۷
pH	۹/۲	۹/۲	۸/۹	۷/۰	۷/۱	۷/۳	۸/۵	۸/۶	۸/۴	۸/۹	۸/۹	۸/۸	۷/۸	۷/۹	۷/۹
تیمار	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷*	۳۸*	۳۹*	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵
EC	۱۶/۷	۱۷/۰	۱۶/۴	۲۰/۵	۱۹/۷	۲۰/۹	۱۳/۱	۱۵/۸	۱۶/۳	۱۷/۲	۱۷/۶	۱۸/۱	۲۰/۳	۲۱/۱	۲۰/۸
pH	۹/۱	۸/۹	۷/۸	۹/۴	۹/۱	۸/۹	۶/۹	۶/۹	۷/۱	۸/۶	۸/۵	۸/۲	۸/۸	۸/۷	۸/۷
تیمار	۴۶*	۴۷*	۴۸*	۴۹*	۵۰*	۵۱*	۵۲	۵۳	۵۴	۵۵*	۵۶*	۵۷*	۵۸	۵۹	۶۰
EC	۱۷/۷	۱۷/۴	۱۸/۹	۲۱/۰	۲۰/۷	۱۹/۲	۲۱/۹	۲۰/۶	۲۱/۴	۲۴/۱	۲۵/۲	۲۵/۵	۲۸/۴	۲۸/۶	۲۸/۱
pH	۶/۸	۷/۱	۷/۰	۸/۰	۸/۰	۷/۸	۸/۵	۸/۳	۸/۳	۷/۶	۷/۷	۷/۷	۸/۷	۸/۵	۸/۵
تیمار	۶۱	۶۲	۶۳	۶۴*	۶۵*	۶۶*	۶۷	۶۸	۶۹	۷۰	۷۱	۷۲	۷۳	۷۴*	۷۵*
EC	۲۸/۹	۲۸/۳	۲۹/۴	۲۱/۴	۲۱/۴	۲۲/۱	۲۳/۶	۲۷/۴	۲۶/۶	۲۷/۷	۲۸/۳	۲۷/۴	۲۴/۳	۲۴/۱	۲۴/۷
pH	۸/۹	۸/۸	۸/۸	۷/۵	۷/۳	۷/۲	۸/۳	۸/۳	۸/۰	۸/۵	۸/۵	۸/۲	۶/۸	۶/۵	۶/۷
تیمار	۷۶*	۷۷*	۷۸*	۷۹	۸۰	۸۱									
EC	۲۵/۵	۲۶/۹	۲۶/۹	۲۹/۹	۳۰/۶	۲۹/۶									
pH	۷/۶	۷/۳	۷/۴	۸/۴	۸/۲	۷/۸									

جدول ۸- شاخص‌های موثر در مقاومت مالچ‌ها در مقابله با فرسایش بادی و ترکیب ۳۵ تیمار بهینه.

تیمارها	SR ^۱	IR ^۲	CR ^۳	LK ^۴	CC ^۵	(V, B, BA, FC)	تیمارها	SR ^۱	IR ^۲	CR ^۳	LK ^۴	CC ^۵	(V, B, BA, FC)
۱	-۰/۳	۱/۹	-۰/۴	۹/۷	۱۷/۷	(۰، ۰، ۰، ۰)	۱۹	۲/۰	۲	-۰/۱	۹/۴	۱/۸	(۱۰۰، ۵۰، ۰، ۱۲/۵)
۲	۱/۱	۲	-۰/۲	۹/۰	۱۶/۷	(۰، ۰، ۰، ۱۲/۵)	۲۰	۱	۲	۰	۷/۷	۴/۴	(۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۲۵)
۳	۱/۱	۱/۹	-۰/۵	۹/۷	۲۶/۵	(۰، ۰، ۰، ۲۵)	۲۱	-۰/۷	۱/۸	۰	۱۰/۴	۱/۷	(۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۰)
۴	۱/۲	۱/۶	-۰/۳	۹/۳	۲۱/۷	(۰، ۰، ۲۵، ۰)	۲۲	۱/۹	۱/۹	-۰/۰	۹/۹	-۰/۹	(۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۲/۵)
۵	۲/۹	۱/۸	-۰/۴	۱۰/۲	۲۰/۵	(۰، ۰، ۵۰، ۰)	۲۳	-۰/۹	۱/۸	-۰/۰	۱۱/۸	۲/۸	(۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۲۵)
۶	۱/۶	۲	-۰/۴	۹/۸	۸/۳	(۰، ۲۵، ۰، ۰)	۲۴	۰	۱/۹	-۰/۱	۷/۵	۹/۴	(۲۰۰، ۰، ۰، ۰)
۷	۲/۲	۱/۷	-۰/۳	۱۰/۵	۱۰/۹	(۰، ۲۵، ۰، ۱۲/۵)	۲۵	-۰/۰	۱/۹	۰	۸/۲	۵/۲	(۲۰۰، ۰، ۰، ۱۲/۵)
۸	۲/۷	۱/۶	-۰/۱۷	۹/۹	۹/۷	(۰، ۲۵، ۰، ۲۵)	۲۶	۰	۱/۹	-۰/۱	۷/۲	۳/۸	(۲۰۰، ۰، ۰، ۲۵)
۹	۱/۶	۱/۶	-۰/۶	۱۲/۳	۲۵/۳	(۰، ۵۰، ۰، ۰)	۲۷	۱	۱/۷	-۰/۱	۸/۷	۸/۶	(۲۰۰، ۲۵، ۰، ۰)
۱۰	۲/۱	۲/۱	-۰/۴	۱۰/۹	۱۰/۰	(۰، ۵۰، ۰، ۱۲/۵)	۲۸	۲	۱/۸	-۰/۰	۱۲/۵	۴/۹	(۲۰۰، ۲۵، ۰، ۱۲/۵)
۱۱	۱/۷	۱/۷	-۰/۵	۱۱/۷	۱۴/۲	(۰، ۵۰، ۰، ۲۵)	۲۹	۱/۲	۱/۹	۰	۹/۸	۲/۱	(۲۰۰، ۲۵، ۰، ۲۵)
۱۲	-۰/۳	۱/۹	-۰/۳	۱۰/۲	۹/۳	(۱۰۰، ۰، ۰، ۰)	۳۰	۲/۲	۱/۸	۰	۸/۴	-۰/۶	(۲۰۰، ۵۰، ۰، ۰)
۱۳	-۰/۶	۲	-۰/۱	۶/۷	۱۹/۹	(۱۰۰، ۰، ۰، ۱۲/۵)	۳۱	-۰/۷	۱/۷	-۰/۵	۶/۱	۱/۴	(۲۰۰، ۵۰، ۰، ۱۲/۵)
۱۴	-۰/۳	۲	-۰/۳	۹/۷	۱۴/۲	(۱۰۰، ۰، ۰، ۲۵)	۳۲	۱/۹	۱/۶	۰	۹/۱	۱/۵	(۲۰۰، ۵۰، ۰، ۲۵)
۱۵	-۰/۷	۱/۸	۰	۷/۷	۱۲/۹	(۱۰۰، ۲۵، ۰، ۰)	۳۳	۲/۰	۱/۷	۰	۷/۴	۱/۲	(۲۰۰، ۵۰، ۲۵، ۰)
۱۶	۱/۵	۲	-۰/۳	۹/۷	۱۲/۴	(۱۰۰، ۲۵، ۰، ۱۲/۵)	۳۴	۱/۸	۱/۶	۰	۷/۰	-۰/۹	(۲۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۲/۵)
۱۷	-۰/۶	۱/۶	-۰/۰	۱۰/۶	۱۲/۰	(۱۰۰، ۲۵، ۰، ۲۵)	۳۵	-۰/۷	۱/۶	۰	۹/۲	-۰/۷	(۲۰۰، ۵۰، ۲۵، ۲۵)
۱۸	۱/۰	۱/۷	-۰/۰	۷/۸	۲/۹	(۱۰۰، ۵۰، ۰، ۰)							

^{۱،۲،۳،۴،۵} مقاومت به ضربه (IR)، مقاومت فشاری (CR)، مقاومت برشی (SR)، ضخامت لایه (LT)، ضریب درز و ترک (CC).

جدول ۹- امتیازدهی به تیمارها براساس جدول ارزیابی شاخص‌ها.

تیمار	SR	IR	CR	LK	CC	مجموع امتیاز	تیمار	SR	IR	CR	LK	CC	مجموع امتیاز
۱	۱	۱	۱	۳	۰	۶	۱۹	۴	۱	۱	۳	۲	۱۱
۲	۳	۰	۱	۳	۰	۷	۲۰	۳	۰	۱	۳	۰	۷
۳	۳	۱	۱	۳	۰	۸	۲۱	۲	۱	۱	۴	۲	۱۰
۴	۳	۱	۱	۳	۰	۸	۲۲	۴	۱	۱	۳	۳	۱۲
۵	۴	۱	۱	۴	۰	۱۰	۲۳	۲	۱	۱	۴	۰	۸
۶	۳	۰	۱	۳	۰	۷	۲۴	۱	۱	۱	۳	۰	۶
۷	۴	۱	۱	۴	۰	۱۰	۲۵	۱	۱	۱	۳	۰	۶
۸	۴	۱	۱	۳	۰	۹	۲۶	۱	۱	۱	۳	۰	۶
۹	۳	۱	۱	۴	۰	۹	۲۷	۳	۱	۱	۳	۰	۸
۱۰	۴	۰	۱	۴	۰	۹	۲۸	۴	۱	۱	۴	۰	۱۰
۱۱	۳	۱	۱	۴	۰	۹	۲۹	۳	۱	۱	۳	۲	۱۰
۱۲	۱	۱	۱	۴	۰	۷	۳۰	۴	۱	۱	۳	۳	۱۲
۱۳	۲	۰	۱	۳	۰	۶	۳۱	۲	۱	۱	۳	۲	۹
۱۴	۱	۰	۱	۳	۰	۵	۳۲	۴	۱	۱	۳	۲	۱۱
۱۵	۲	۱	۱	۳	۰	۷	۳۳	۴	۱	۱	۳	۲	۱۱
۱۶	۳	۰	۱	۳	۰	۷	۳۴	۳	۱	۱	۳	۳	۱۱
۱۷	۲	۱	۱	۴	۰	۸	۳۵	۲	۱	۱	۳	۳	۱۰
۱۸	۲	۱	۱	۳	۰	۸							

افزایش آن‌ها کیفیت ماده تثبیت‌کننده از لحاظ شاخص‌های محیط‌زیستی کاهش می‌یابد. براساس نتایج جدول ۱۱، وزن شاخص‌ها بین ۰ تا ۰/۲ متغیر است. ارزیابی نهایی با استفاده از روش تاپسیس در جدول ۱۲، نشان داده شده است.

یعنی با افزایش آن‌ها، کیفیت ماده تثبیت‌کننده از لحاظ شاخص‌های محیط‌زیستی افزایش، ولی عناصر سنگین، شوری، pH، خصوصیات شیمیایی همانند سولفات، کلر و نسبت جذب سدیم شاخص منفی محسوب می‌شود، یعنی با

جدول ۱۰- رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس مرتب‌سازی مجموع امتیازها از صعودی به نزولی.

تیمار	۳۰، ۲۲	۳۴، ۳۳، ۳۲، ۱۹	۳۵، ۲۹، ۲۸، ۲۱، ۷، ۵	۳۱، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸	۲۷، ۲۳، ۱۸، ۱۷، ۳	۱۶، ۲۰، ۱۵، ۱۲، ۶، ۲	۲۶، ۲۵، ۲۴، ۱۳، ۱	۱۴
مجموع امتیاز	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵
رتبه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸

جدول ۱۱- شاخص‌های مؤثر محیط‌زیستی و ترکیب ۶ تیمار بهینه.

تیمارها	شوری	pH	سرب	کروم	کادمیوم	روی	جیوه	آرسنیک	وانادیم	نیکل	کلسیم	منیزیم	سدیم	کلر	سولفات	نیترژن کل	نسبت جذب سدیم	فسفر	پتاسیم	کربن آلی
۱۹	۱۷/۴	۷/۱	۰/۳	۲۸/۴	۰/۴	۵۰/۴	۳/۰	۲۶/۷	۱۸/۲	۳۶/۵	۷۶۹۹۳/۴	۱۱۶۸۳/۶	۷۶۵۲/۱	۴۸۶۷۲/۰	۸۴۶۵۴/۷	۱۱۹۰۵/۰	۳۶/۴	۲۹۱۳/۶	۵۹۹۰۹/۳	۴۵/۸
۲۲	۲۰/۷	۷/۹	۴/۰	۳۲/۳	۰/۴	۸۹/۸	۴/۰	۴۶/۹	۲۲/۱	۳۹/۱	۸۲۰۹۶/۰	۱۳۰۰۱/۶	۱۰۷۵۲/۶	۲۸۲۶۲/۵	۷۰۹۹۳/۶	۱۱۲۳۵/۰	۴۹/۳	۲۹۳۷/۸	۵۰۱۶۳/۵	۵۵/۱
۳۰	۲۴/۳	۶/۹	۴/۱	۲۹/۷	۰/۴	۴۳/۵	۴/۱	۲۳/۸	۱۹/۳	۳۸/۰	۷۹۰۹۶/۵	۱۱۸۸۲/۴	۶۹۰۳/۳	۴۷۳۷۹/۵	۷۱۵۷۶/۴	۱۲۴۲۵/۰	۳۲/۳	۱۷۸۰/۵	۵۹۰۰۵/۷	۴۵/۱
۳۲	۲۴/۷	۶/۸	۳/۷	۲۹/۶	۰/۴	۵۷/۳	۳/۷	۳۰/۵	۱۹/۹	۳۸/۴	۸۲۳۵۰/۰	۱۲۶۸۱/۴	۷۳۲۶/۰	۴۷۶۹۶/۰	۸۰۱۲۹/۵	۱۲۶۸۰/۰	۳۳/۷	۳۲۰۷/۵	۶۰۵۶۰/۵	۴۳/۴
۳۳	۲۵/۵	۷/۶	۵/۱	۳۸/۰	۰/۴	۶۵/۹	۵/۱	۳۵/۵	۲۳/۰	۴۵/۰	۸۷۱۲۱/۰	۱۳۵۱۴/۷	۹۶۲۳/۶	۴۳۳۷۴/۵	۸۸۲۳۰/۷	۱۱۴۶۵/۰	۴۳/۰	۲۰۵۲/۰	۶۵۲۹۶/۹	۴۲/۵
۳۴	۲۶/۹	۷/۳	۴/۲	۳۴/۰	۰/۴	۷۳/۹	۴/۲	۳۹/۰	۲۴/۴	۴۲/۴	۸۳۹۸۲/۴	۱۳۰۱۴/۴	۹۴۴۱/۷	۳۵۱۵۸/۰	۷۵۳۱۰/۳	۱۲۳۸۰/۰	۴۲/۹	۲۲۳۳/۳	۵۵۲۶۵/۱	۴۲/۰
نوع شاخص	منفی	منفی	منفی	منفی	منفی	منفی	منفی	منفی	منفی	منفی	مثبت	مثبت	منفی	منفی	منفی	مثبت	منفی	مثبت	مثبت	مثبت
وزن معیار	۰/۱	۰/۰	۰/۱	۰/۰	۰/۰	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۱	۰/۱	۰/۰	۰/۰	۰/۱	۰/۱	۰/۰	۰/۰

جدول ۱۲- محاسبه شاخص نزدیکی و رتبه‌بندی تیمارها.

تیمارها	۱۹	۳۲	۳۰	۳۳	۳۴	۲۲
شاخص نزدیکی نسبی	۰/۸۹	۰/۸۰	۰/۷۶	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۲۰
رتبه	۱	۲	۳	۴	۵	۶

فیلتریک حاوی آهک می‌باشد، به همین دلیل با افزایش آن، میزان اسیدیته افزایش می‌یابد.

باتوجه به نتایج جدول ۸، کاربرد ویناس (۱۰۰ و ۲۰۰ گرم) به عنوان مالچ نسبت به شاهد، افزایش مقاومت برشی و کاهش ضریب درز و ترک را به همراه دارد ولی افزایش ویناس از ۱۰۰ گرم به ۲۰۰ گرم تأثیر چندانی بر افزایش پارامترهای مورد بررسی ندارد. نتایج این پژوهش با مطالعات Jamili و همکاران (۲۰۱۵) و Farahmehr و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. براساس مطالعات (Jamili et al., 2015; Farahmehr et al., 2015) مشخص شد که ویناس به دلیل داشتن شوری زیاد باعث افزایش مقاومت برشی می‌گردد. در حقیقت، شوری با کاهش لایه دوگانه یونی باعث همآوری ذرات خاک می‌گردد و مقاومت مالچ‌ها را افزایش می‌دهد. همچنین، افزایش شوری باعث کاهش اثر پراکندگی ذرات خاک به وسیله سدیم می‌شود (Jamili et al., 2015). براساس نتایج این پژوهش (جدول‌های ۹ و ۱۰)، ورود باگاس و فیلتریک به مالچ‌های ویناسی بر افزایش مقاومت برشی و ضریب درز و ترک مؤثر است. نتایج این پژوهش با یافته‌های Majidi و همکاران (۲۰۰۶) و Jamshidsafa و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. در واقع، فیلتریک به دلیل داشتن موادآلی، آهک و رس دارای چسبندگی مناسبی است (Jamshidsafa, 2015). حضور باگاس در خاک به عنوان فیبر یا الیاف باعث افزایش انعطاف-پذیری و افزایش نیروی برشی (Oliveira et al., 2018) و افزایش مقاومت کششی می‌شود (Tadayonfar, 2015). زیرا آن‌ها قادر به پیوند با ذرات خاک برای ایجاد ساختارهای قوی در خاک هستند (Yang et al., 2018) و از سوی دیگر، میکروب‌ها، موادآلی موجود در باگاس، فیلتریک و ویناس را تجزیه می‌کنند، ماده چسبناکی تولید می‌کنند که ذرات خاک را در یک ساختار متخلخل کنار یکدیگر قرار می‌دهند (Abdulvand et al., 2017).

همان‌طور که در جدول ۱۲ مشاهده می‌شود، تیمار ۱۹ (۱۰۰ گرم ویناس، ۵۰ گرم باگاس، فاقد خاکستر باگاس و

شاخص نزدیکی بالاتر به معنی مالچ با کیفیت محیط‌زیستی بالاتر است که تیمارهای (۱۲/۵، ۰، ۵۰ و ۱۰۰) ۱۹، (۲۵، ۰، ۵۰ و ۲۰۰) ۳۲، (۲۰۰ و ۵۰، ۰، ۳۰) ۳۰، (۲۵، ۰، ۵۰ و ۲۰۰) ۳۳، (۱۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۲۰۰) ۳۴ و (۱۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰) ۲۲ به ترتیب با شاخص نزدیکی ۰/۸۹، ۰/۸۰، ۰/۷۶، ۰/۳۱، ۰/۲۵ و ۰/۲۰ رتبه‌های اول تا ششم را به خود اختصاص داده‌اند.

بحث و نتیجه گیری

بر اساس نتایج، تیمارهای با شوری قابل قبول فاقد ویناس اما محتوی باگاس (۲۵ و ۵۰ گرم) و یا فیلتریک (۱۲/۵ و ۲۵ گرم) و یا هر دو هستند. همچنین، با افزایش باگاس و فیلتریک شوری تا حد قابل قبول افزایش می‌یابد ولی ویناس و خاکستر باگاس سبب افزایش شوری تا حد غیر قابل-قبول در تیمارها شده است که این امر احتمالاً به دلیل وجود املاح زیاد در این مواد می‌باشد. نتایج این پژوهش با مطالعه Jamili و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد که در این مطالعه نشان داده شد که ویناس باعث افزایش شوری و نیز، فیلتریک دارای شوری کمتر از ویناس است. همچنین، براساس نتایج جدول‌های ۲ و ۷، تیمارهای حاوی فقط یکی از مواد اولیه (فیلتریک، باگاس و ویناس) pH آن‌ها در محدوده قابل قبول می‌باشند و با افزایش فیلتریک و ویناس (به دلیل املاح زیاد (۱۰ و ۶)) pH افزایش می‌یابد و با افزایش باگاس (به دلیل وجود موادآلی (۱۲)) pH کاهش می‌یابد. خاکستر باگاس (به دلیل وجود اکسیدهای قلیایی (۲۶)) pH را افزایش و آن را در محدوده نامناسب قرار می‌دهد. تیمارهای که حاوی ویناس (۱۰۰ و ۲۰۰ گرم) و فیلتریک می‌باشند، با افزایش فیلتریک pH افزایش و همچنین، تیمارهای که حاوی ویناس (۱۰۰ گرم) و باگاس (۲۵ و ۵۰ گرم) می‌باشند، با افزایش فیلتریک pH افزایش می‌یابد که این امر در مورد ویناس (۲۰۰ گرم) (احتمالاً به دلیل شوری بیشتر) برعکس است. نتایج این پژوهش با مطالعه Jamili و همکاران (۲۰۱۵)، مطابقت دارد که نشان می‌دهد که

می‌شود (Tadayonfar, 2015). در پژوهش حاضر در تیمار بهینه، خاکستر باگاس وجود ندارد. این امر احتمالاً به دلیل وجود فلزات سنگین موجود در آن می‌باشد. Lima و Sales (۲۰۱۰) بیان کردند که خاکستر باگاس ناشی از سوختن باگاس، چندین فلز سنگین در آن یافت می‌شود که باید استفاده از آن را به‌عنوان کود محدود کرد.

امروزه، باتوجه‌به مشکلات محیط‌زیستی که مالجهای نفتی در طبیعت به‌وجود آورده‌اند، کاربرد مالجهای سازگار با محیط‌زیست توجه زیادی را به خود معطوف کرده است. نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد ویناس (۱۰۰ گرم) در تیمار بهینه منجر به افزایش کیفیت مالج ویناسی از لحاظ شاخص‌های محیط‌زیستی خواهد شد و از سوی دیگر، حضور باگاس و فیلترکیک در مالج بهینه بر افزایش مقاومت برشی و کاهش ضریب درزوتراک تاثیر بسزایی دارد. بنابراین، توصیه به استفاده از این مالج ویناسی بهینه، به‌دلیل افزایش مواد مغذی خاک و همچنین، افزایش مقاومت خاک در مقابل فرسایش بادی می‌شود. از سوی دیگر، با بازیابی پسماندهای کشت و صنعت نیشکر (ویناس، باگاس، فیلترکیک و ویناس) به‌عنوان مالج به‌دلیل تولید سالانه حجم قابل توجهی از این پسماندها، به‌مدیریت صحیح آن‌ها کمک شایانی می‌کند و تا حد زیادی مشکلات محیط‌زیستی برطرف خواهد شد. پیشنهاد می‌شود به‌دلیل چسبندگی طبیعی خاک لومی ماسه‌ای (به‌دلیل وجود سلیت و رس در آن) تأثیر این مالجهای روی تپه‌های ماسه‌ای مورد بررسی قرار گیرد، زیرا اثرات آن‌ها بر مقاومت این نوع خاک‌ها محسوس‌تر است.

۱۲/۵ فیلترکیک)، بالاترین رتبه از نظر شاخص‌های محیط‌زیستی را به‌خود اختصاص داد. درحالی که در مطالعات متعددی ویناس ۲۵۰ گرم و فیلترکیک ۷۰ گرم استفاده شده است (Farahmehr et al., Jamili et al., 2015). البته در این مطالعات بیان کردند که مالج ویناس دارای شوری زیاد و سدیم کم نسبت به فیلترکیک است. در این پژوهش، به‌دلیل املاح زیاد در ویناس استفاده از ویناس تا ۱۰۰ گرم از نظر شاخص‌های محیط‌زیستی مجاز است به نحوی که تأثیر مثبتی بر شاخص‌های مقاومت خاک هم خواهد داشت. میزان استفاده از فیلترکیک در این پژوهش با یافته‌های Karami و همکاران (۲۰۱۹) تطابق دارد. براساس پژوهش Elsayed و همکاران (۲۰۰۸)، فیلترکیک منجر به افزایش موادآلی خاک، کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر و از سوی دیگر به‌دلیل داشتن موادآلی، آهک و رس دارای چسبندگی مناسبی است که می‌تواند بر ویژگی‌های مکانیکی خاک در افزایش مقاومت خاک در مقابل فرسایش بادی تأثیر مثبت قابل‌توجهی داشته باشد (Jamshidsafa, 2015). در این پژوهش، تیمار بهینه، حاوی ۵۰ گرم باگاس می‌باشد که با نتایج مطالعه‌ی Majdi و همکاران (۲۰۰۶) همخوانی دارد. در حقیقت، حضور باگاس به‌عنوان یک ماده‌ی آلی به‌دلیل ترکیب با فلزات سنگین و دیگر ترکیبات شیمیایی در خاک در کاهش آلودگی می‌تواند تأثیر به‌سزایی داشته باشد (Kabata-Pendias, 2011) از سوی دیگر، باگاس به‌عنوان فیبر یا الیاف باعث افزایش انعطاف‌پذیری و افزایش نیروی برشی (Oliveira et al., 2018) و افزایش مقاومت کششی

References

- Abdulvand, A., Abbasi N., Siavashnia, M., 2017. Improvement of divergent clay with high plasticity using bagasse ash. In: The 2nd International Conference on Civil Engineering, Architecture and Crisis Management, University of Majlisi Allameh, Tehran, Iran. pp: 1-12. (In Persian).
- Alves, P.R.L., Natal-da-Luz, T., Sousa, J.P., Cardoso, E.J.B.N., 2015. Ecotoxicological characterization of sugarcane vinasses when applied to tropical soils. Science of the Total Environment 526, 222-232.
- Anacleto, L.R., Roberto, M.M., Marin-Morales, M.A., 2017. Toxicological effects of the waste of the sugarcane industry, used as agricultural fertilizer, on the test system *Allium cepa*. Chemosphere 173, 31-42.
- APHA-American Public Health Association,

2017. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, twenty-third ed. Water Environmental Federation, Washington.
- Ara, M., 2010. Environmental Modeling and Health Risk Analysis (ACTS/RISK). Springer Dordrecht Heidelberg London New York. <http://extra.springer.com>.
- Carpanez, T.G., Moreira, V.R., Amaral, M.C.S., 2022. Sugarcane vinasse as organo-mineral fertilizers feedstock: Opportunities and environmental risks. *Science of The Total Environment* 832.
- Christofolletti, C.A., Escher, J.P., Correia, J.E., Marinho, J.F.U., Fontanetti, C.S., 2013. Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use. *Waste Management* 33, 2752-2761.
- Dexter A.R., Kroesbergen, B., 1985. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. *Journal of Agricultural Engineering Research* 31(2), 139-147.
- Elsayed, M.T., Babiker, M.H., Abdelmalik, M.E., Mukhtar, O.N., Montange, D., 2008. Impact of filter mud applications on the germination of sugarcane and small-seeded plants and on soil and sugarcane nitrogen contents. *Bioresource Technology* 99, 4164-4168.
- Farahmeh, F., Khalili Moghadam, B., Shahbazi, E., Rahnama, M., 2016. Comparison of the Environmentally Friendly Mulches Efficiency for Sand Dune Stabilization in Ahvaz. *Iranian Journal of Soil Research* 29(4), 463 -474 (in Persian).
- Heidarian, P., Salehi, H., Fatah, S., Ajdari, Ali., 2017. dust centers and Sand Zones of Khuzestan Province in each County. Geological Survey and Mineral Exploration Organization of Iran, Total office of South Western Region (Ahvaz), www.gsi.ir. (In Persian)
- Hemati, A., Alikhani, H. A., Rasapoor, M., Asgari Lajayer, H., 2015. Case Study of Survey of Occasional Application of Vinasse in Compost Production in Different Phases (during Production and after Producing Compost), at Waste Resumption Complex of Aradkoo in Tehran. *Journal of Water and Soil* 29(3), 708-717. (In Persian).
- Hemayti, s., Hamid, H., Taeqani, D., Emily, H., 2010. National Strategic Plan for Sugarcane Researches. Sugar Beet Seed Institute (SBSI) and the Institute of Researches, Training and Development of Sugarcane and By-Products, *Journal of Shekarshekan*, 13-14 (In Persian).
- Jamili, T., Khalilimoghadam, B., Shahbazi, E., 2015. Investigation of Water Holding Capacity of Sugarcane Mulch for Sand Dune Stabilization in Ahvaz. *Journal of Water and Soil* 29(5), 1278-1287. (In Persian)
- Jamshidsafa, M., Khalili Moghadam, B., Jafari, S., Ghorbani, S., 2015. Feasibility investigation of FilterCake using in mulch production for sand dune stabilization in Ahvaz. *Journal of Agricultural Engineering* 38(1), 29-42. (In Persian)
- Karami, Sh. , J. Yasrebi, S. Safarzadeh Shirazi , A. Ronaghi , R. Ghasemi Fasaei. 2019. Comparison of the Effects of Some Organic Compounds and Their Biochar on Some Soil Properties. *Iranian Journal of Soil Research* 33(3), 301–314 (In Persian).
- Majdi, H., Karimian- Eghbal, M., Karimzadeh, H. R., Jalalian, A., 2006. Effect of Different Clay Mulches on the Amount of Wind Eroded Materials_. *Journal of Water and Soil Science* 10(3), 137-149. (In Persian)
- Malczewski, J., 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis. Translators: Parhizkar, A., Ghafari Gilaneh, A, Samt Press, Tehran, Iran (In Persian).
- Mollaie, N., Sheklabadi, M., Safari Sinegani, M. A., Ghasemipor, A., 2019. *Applied Soil Research* 7(3), 54-66 (In Persian).
- Momeni, M., 2013. New topics of research in operations, Moalef Press, fifth edition, p.110. In: Ismaili, R., Jokar Sarhangi, I., Roshan Niko, Parvin. 2016. *Quarterly of Natural Geograph* 9(1), 77-87. (In Persian)
- Movahedi, S., Heydari Nasserabad, B., Hashemi Ala, S. K., Ranjbar, F., 2012. The Identification of Climatic Regions in Khouzeestan Province. *Journal of Geographical Space* 12(40), 73-64 (In Persian).
- Oliveira Venda, P. J., Correia, A. A.S., Cajada, J. C.A., 2018. Effect of the type of soil on the cyclic behaviour of chemically stabilised soils unreinforced and reinforced with polypropylene fibres. *oil Dynamics and Earthquake Engineering* 115, 336-343.
- Plan and Budget Organization. 2019. Technical Instructions for Evaluating Performance of Soil stabilizers (mulch) No. 783. Islamic Republic of Iran. www.Nezamfanni.ir. (In

- Persian)
- Sadeghi, S.H.R., Sharifi Moghadam, E., Khaledi Darvishan, A., 2016. Effects of subsequent rainfall events on runoff and soil erosion components from small plots treated by vinasse. *Catena* 138, 1-12.
- Sales, A., Lima, S.A., 2010. Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. *Waste Management* 30, 1114-1122.
- Sharifi Moghaddam, Eh., Sadeghi, S.H.R., Khaledi Darvishan, A., 2015. Small Plot Soil Hydrologic Components as Affected by Application of Vinasse Organic Residue. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 45(4), 499-508. (In Persian).
- Soil and Water Research Institute., 2006. Preparation of service descriptions and instructions for conducting soil studies and experiments. *Journal of Instructions for Doing Soil Studies* 466. www.swri.ir. (In Persian).
- Tadayonfar, Gh., Shahmiri N., 2015. Labor study of polymer effect on fine-grained soil stabilization and its role in reducing hazes in arid and semi arid areas. *Journal of Arid Regions Geographics Studies* 5(19), 1-11 (In Persian).
- United States Environmental Protection Agency., 2021. Particulate matter (PM) pollution US EPA. Retrieved from <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>
- Yang, B., Zhang, Y., Ceylan, H., Kim, S., Gopalakrishnan, K., 2018. Assessment of soils stabilized with lignin-based byproducts. *Transportation Geotechnics* 17, 122-132.
- Yang, G., Sun, R., Jing, Y., Xiong, M., Li, J., Chen, L., 2021. Global assessment of wind erosion based on a spatially distributed RWEQ model. *Prog. Phys. Geogr. Earth Environment* 46, 28-42.
- Zaheer, J., Jeon, J., Lee, S.B., Kim, J.S., 2018. Effect of particulate matter on human health. prevention, and imaging using PET or SPECT. *Progress in Medical Physics* 29, 81-91.