مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان

دورهٔ ۱۳، شمارهٔ ۴ (پیاپی ۴۵)، زمستان ۱۴۰۳، صفحه ۷۷ـ۸۸

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثرات مالچ نفتی بر غلظت فلزات سنگین ماسه‌زارهای ساحلی شرق استان هرمزگان

محمد اکبریان،[۱*] نوازاله مرادی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۱ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵**

چکیده

یکی از پرکاربردترین انواع مالچ در ایران، مالچ نفتی است. این ماده با افزایش پایداری سطح خاک در مقابل فرسایش بادی، فرصت مناسب برای استقرار گیاه و تثبیت دائم ماسه‌های روان را مهیا می‌کند. هدف این پژوهش، سنجش اثرات مالچ نفتی بر غلظت فلزات سنگین ماسه‌زارهای ساحلی شرق هرمزگان است. داده‌های پژوهش شامل غلظت عناصر وانادیوم، نیکل، قلع، آرسنیک، سرب، کروم، آهن، آلومینیوم، سزیم، منگنز، کبالت و سلنیوم در نمونه‌های خاک مناطق مالچ‌پاشی‌شده و محدوده‌های همجوار آن‌ها به‌عنوان شاهد است. وسایل نمونه‌برداری خاک، ادوات آزمایشگاهی فلزات سنگین، همچنین نرم‌افزارهای آماری SPSS و Excel، به‌عنوان ابزار استفاده شد. سه محدودهٔ جگین، سدیچ و بیاهی، به‌ترتیب در ۷۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلومتری شرق جاسک، انتخاب و از هر منطقه ۶، درمجموع ۱۸ نمونه خاک سطحی (تیمار و شاهد) برداشت شده، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و مقدار عناصر سنگین آن‌ها تعیین شد. برای تجزیه‌وتحلیل آماری، از روش تحلیل واریانس، طرح فاکتوریل دوعاملی استفاده شد. مقایسهٔ میانگین داده‌ها نیز با آزمون دانکن انجام شد. براساس نتایج، مالچ نفتی تأثیر قابل توجهی بر فلزات سنگین ماسه‌زارهای ساحلی، در سطح ۵ درصد معنی‌داری دارد. غلظت سرب، وانادیم، نیکل، آهن، آلومینیوم، سزیم، کبالت و سلنیم افزایش و مقدار منگنز کاهش پیدا کرده است. بر طبق نتایج، علاوه‌بر مالچ نفتی، تفاوت شرایط بین مناطق، نقش مهمی در غلظت فلزات سنگین ایفا می‌کند. درکل، اگرچه مالچ به‌دلیل وجود ترکیبات نفتی حاوی فلزات سنگین، باعث افزایش غلظت این عناصر در خاک می‌شود، در صورتی می‌توان آن را یک آلایندهٔ زیست‌محیطی لحاظ کرد که غلظت عناصر سنگین بالاتر از حد استاندارد افزایش یابد. نتایج این پژوهش برای تصمیم‌گیری مدیران ذی‌ربط در استفاده یا کنار گذاشتن مالچ نفتی، مفید ولی ناکافی است. لازم است سایر اثرات این ماده نظیر کاهش فرسایش بادی، بهبود شرایط فیزیکی خاک و تسریع فرایند خاک‌سازی نیز در نظر گرفته شود.

کلیدواژه‌ها: فرسایش بادی، فلزات سنگین، ماسه‌زارهای ساحلی، مالچ نفتی.

---

۱. دانشیار، گروه علوم جغرافیا، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، m.akbarian@hormozgan.ac.ir

۲. استادیار، گروه منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، nvz.moradi@hormozgan.ac.ir

DOI: 10.22052/DEEJ.2025.256662.1101

مقدمه

مالچ لایهٔ محافظی است که روی ماسه را می‌پوشاند و سطح زمین را در مقابل فرسایش بادی و نیز تبخیر و تعرق محافظت می‌کند (جعفریان، ۲۰۰۶). ترکیبات مالچ قادر است مقاومت خاک را در برابر نیروهای برشی باد افزایش داده و از جدا شدن ذرات تپه‌های ماسه‌ای جلوگیری کند (وودیویرا[1] و همکاران، ۲۰۱۱). این لایهٔ محافظ، انواع مختلفی دارد: پاشش مخلوطی از آب و رس، استفاده از یک لایهٔ نازک پلاستیکی، مواد نفتی از قبیل آسفالت، مشتقات سنگین نفتی و امثال آن (فائو،[2] ۱۹۹۳). از مالچ‌هایی مانند امولسیون قیر، محلول کلرید سدیم، کربنات‌های سدیم یا پتاسیم، الیاف، سنگ، پشم شیشه، لایه‌های نازک پلاستیک، پلی‌اتیلن و سلفون نیز برای تثبیت تپه‌های ماسه‌ای استفاده شده است (همائونی و یاسروبی،[3] ۲۰۱۱). ترکیبات مالچ می‌توانند چسبندگی ماسه و اصطکاک بین ذرات را در تپه‌های شنی افزایش دهند. مالچ‌های رسی، پلیمری، نفتی و آلی به‌دلیل خاصیت چسبندگی خود باعث چسبیدن ذرات تپه‌های شنی به یکدیگر می‌شوند. یکی از پرکاربردترین آن‌ها در ایران، مالچ نفتی است که از پسمانده‌های مواد نفتی تهیه شده و برای تثبیت موقت تپه‌های ماسه‌ای و آماده‌سازی شرایط نهال‌کاری استفاده می‌شود (ناطقی، ۲۰۰۰). این ماده به‌صورت امولسیون روی عرصه‌های ماسه‌ای پاشیده می‌شود؛ در سطح زمین با سطح خاک تماس پیداکرده، آب خود را از دست داده و قشر نازک و متخلخلی از ماده اصلی آن در سطح زمین به جا می‌ماند (کردوانی و همکاران، ۲۰۱۳). هدف از کاربرد مالچ نفتی، افزایش پایداری سطح خاک در مقابل فرسایش بادی است تا فرصت مناسب برای انجام و استقرار فعالیت‌های گیاهی به‌منظور تثبیت دائم ماسه‌های روان مهیا شده و گیاهان بتوانند مستقر شوند (غلامی طبسی و همکاران، ۲۰۱۴؛ صالحی مرکانی و همکاران، ۲۰۲۲). نظرات متفاوت و گاه متضادی در مورد استفاده از مالچ نفتی وجود دارد؛ برخی محققان معتقدند که مالچ با افزایش دمای لایهٔ سطحی خاک، تأثیرات متفاوت و گاه مخربی را بر جوانه‌زنی گیاهان خواهد داشت (جعفریان، ۲۰۰۶). از دیگر نظرات مخالف بیان می‌دارد خاکپوش‌های نفتی علاوه‌بر اینکه در شرایط رطوبتی و حرارتی ماسه بهبودی ایجاد نمی‌کنند، مانع از کارکرد طبیعی آن برای ذخیرهٔ رگبارهای مناطق خشک شده و دامنهٔ نوسان‌های شبانه‌روزی دمای خاک را نیز افزایش می‌دهند (رهبر و درویش، ۲۰۰۵)؛ بااین‌حال، به نظر می‌رسد که با رعایت ملاحظات زیست‌محیطی، برای تثبیت موقت اراضی وسیع ماسه‌ای، در شرایط اضطراری، بی‌رقیب باشد (رهبر و درویش، ۲۰۰۵). درکل، مالچ نفتی هرچند به‌دلیل اثرات زیان‌آور روی بافت زنده، باعث کاهش درصد موفقیت قلمه و نهال‌کاری می‌شود، در تثبیت عرصه‌های ماسه‌ای کاملاً موفق عمل کرده است (رضایی و همکاران، ۲۰۰۸). بررسی اثرات مالچ نفتی بر ماکروفون خاک نیز حاکی از افزایش غنا و تنوع ماکروفون خاک در مناطق مالچ‌پاشی‌شده است، درحالی‌که پوشش گیاهی منطقه مالچ‌پاشی‌شده از این نظر تغییر محسوسی نمی‌کند (جعفری و همکاران، ۲۰۱۷). مالچ نفتی با بهبود شرایط محیط، رشد گیاهان را بهبود می‌بخشد (جعفری و طویلی، ۲۰۱۰). این ماده با تثبیت مؤثر خاک، موجب حذف تنش حاصل از فرسایش بادی و جابجایی خاک شده، گیاهان را قادر می‌سازد عمدهٔ انرژی خود را صرف تولید و گسترش سیستم ریشه‌ای‌شان کنند (اختصاصی، ۲۰۱۰).

در ایران، جنگل‌کاری به‌منظور تثبیت ماسه‌های روان، اولین بار در سال ۱۳۳۸، در ابعاد محدودی در منطقهٔ الباجی اهواز شروع شده، سپس در سطح گسترده‌تری با جنگل‌کاری تاغ در نواحی مرکزی کشور و سمر در جنوب [در پناه مالچ نفتی به‌عنوان تثبیت‌کنندهٔ موقت] ادامه یافت (اختصاصی، ۲۰۱۰). در استان هرمزگان نیز به‌لحاظ بحرانی بودن شرایط ازنظر فرسایش بادی، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور به عاملیت اداره‌کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان هرمزگان، اقدام به برنامه‌ریزی برای مهار فرسایش بادی یا کاهش اثرات مخرب آن در قالب پروژه‌های تثبیت ماسه‌های روان با استفاده از مالچ نفتی و نهال‌کاری در منتهی‌الیه شرقی استان نموده است. اجرای طرح مذکور هرچند در نگاه اول با اقبال عمومی ساکنان منطقه مواجه شد، بحث‌های زیادی را درخصوص آلودگی خاک متأثر از مالچ نفتی و عناصر سنگین همراه آن، در این منطقه در پی داشته است. ازآنجاکه مالچ نفتی عمدتاً از فرآورده‌های نفتی به دست می‌آید، شامل هیدروکربن‌های اشباع (پارافین‌ها)، هیدروکربن‌های غیراشباع نظیر اولفین‌ها و آروماتیک‌ها (رایت،[4]

1. Wuddivira
2. F.A.O
3. Homauoni and Yasrobi
4. Wright

۲۰۱۰؛ موریس،[1] ۲۰۱۸)، سایر ترکیبات آلی مانند اسیدهای چرب، الکل‌ها و ترکیبات فنولی و معطر است (گُپا،[2] ۲۰۱۶؛ باکر،[3] ۲۰۱۹). لذا استفاده از آن می‌تواند آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی را در پی داشته باشد (گُپا، ۲۰۱۶؛ ویلیامز[4]، ۲۰۲۱). مالچ نفتی به‌طور قابل توجهی مقدار نیکل، کادمیوم، سرب، مس، روی، منگنز و آهن خاک را افزایش می دهد؛ بااین‌حال در درازمدت، این عناصر احتمالاً به‌دلیل افزایش مادهٔ آلی و شوری خاک در بافت سبک تپه‌های ماسه‌ای، شسته می‌شوند (آزوغ و همکاران، ۲۰۱۸). مطالعات انجام‌گرفته در زمین‌های کشاورزی نیز به‌وضوح حاکی از ریسک بالای فلزات سنگین مرتبط با نفت خام است (بُراه و دِکا،[5] ۲۰۲۳).

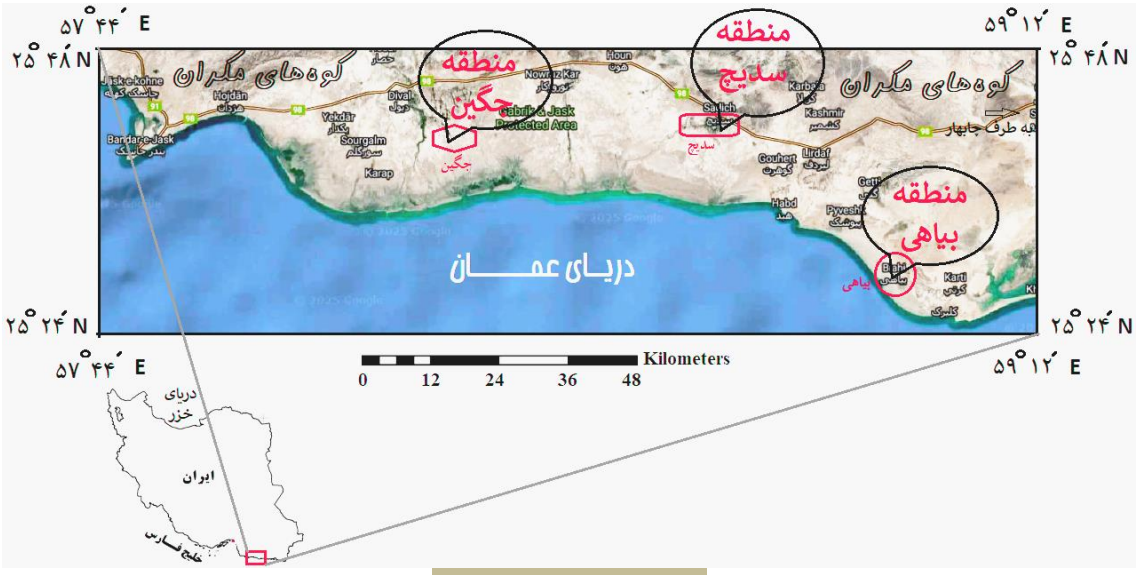
آلودگی خاک به عناصر سنگین می‌تواند تأثیرات جدی بر محیط‌زیست و سلامت انسان داشته باشد. وانادیوم علاوه‌بر اینکه تأثیر منفی بر روی گیاهان و میکروارگانیسم‌های خاک دارد، آسیب به سیستم تنفسی و قلبی-عروقی را سبب می‌شود (رایت، ۲۰۱۰). آرسنیک یک سم قوی است. آهن در غلظت‌های مناسب، عنصری ضروری برای رشد گیاهان است ولی در غلظت‌های بالا، باعث مسمومیت در گیاهان می‌شود؛ منگنز نیز در غلظت‌های بالا سمی بوده و بر روی رشد گیاهان و سلامت انسان تأثیر گذاشته، می‌تواند به اختلالات عصبی منجر شود (رایت، ۲۰۱۰). نیکل باعث مسمومیت در گیاهان و جانوران می‌شود، غلظت بالای سرب، آلومینیوم و کبالت نیز تأثیرات منفی بر روی گیاهان، میکروارگانیسم‌ها و درکل اکوسیستم خاک دارد (گُپا، ۲۰۱۶). کروم، ترکیبات قلع و غلظت‌های بالای سلنیوم در خاک، سمی بوده و بر رشد گیاهان و میکروبیوم خاک تأثیر منفی می‌گذارند (گراث،[6] ۲۰۰۲). در صورت آلودگی خاک، سزیم به تجمع در زنجیرهٔ غذایی منجر شده و تأثیرات منفی بر روی سلامت انسان و محیط‌زیست می‌گذارد (گراث، ۲۰۰۲). فلزات سنگین تأثیرات نامطلوبی بر خواص بیولوژیکی خاک گذاشته، فعالیت‌های آنزیمی خاک را مختل می‌کنند (سانچز- هارماندز[7] و همکاران، ۲۰۱۷). اگرچه استقرار گیاه بر تپه‌های ماسه‌ای یکی از روش‌های تثبیت آن‌هاست، غالباً استقرار گونه‌های گیاهی نیاز به تثبیت اولیه تپه‌های ماسه‌ای دارد (رضایی، ۲۰۰۹). ویژگی‌های اقلیمی، ژئومورفیک و پوشش گیاهی جلگهٔ ساحلی شرق هرمزگان، آن را مستعد فرسایش بادی کرده است (شایان و همکاران، ۲۰۱۴؛ اکبریان و همکاران، ۲۰۱۹؛ اکبریان و اسدپور، ۲۰۲۵). برای حفاظت از سکونتگاه‌ها، راه‌های مواصلاتی و سایر تأسیسات زیربنایی، بیش از چهار هزار هکتار از ماسه‌زارهای این منطقه، مورد عملیات تثبیت به کمک مالچ نفتی و نهال‌کاری قرار گرفته است (اکبریان، ۲۰۰۸). این تحقیق سعی دارد اثرات مالچ نفتی را که در پروژه‌های تثبیت ماسه‌های روان جلگه ساحلی شرق استان هرمزگان استفاده شده است، بر غلظت فلزات سنگین این ماسه‌زارها بسنجد. بدیهی است نتایج این پژوهش برای تصمیم‌گیری مدیران ذی‌ربط در استفاده یا کنار گذاشتن مالچ نفتی، کافی نبوده و لازم است سایر اثرات این ماده نظیر کاهش فرسایش بادی، بهبود شرایط فیزیکی خاک و تسریع فرایند خاکساری نیز در نظر گرفته شود.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مطالعاتی را نشان می‌دهد. منطقهٔ پژوهش در استان هرمزگان، شهرستان جاسک بین رودخانهٔ گابریک در غرب و خور کرتی در شرق واقع شده و دربرگیرندهٔ دلتای سدیچ، شرق دلتای جگین و جلگهٔ شرقی بخش لیردف (محدودهٔ آبادی بیاهی) است. این منطقه در سواحل دریای عمان، بین فاصلهٔ ۷۰ تا ۱۵۰ کیلومتری شرق بندر جاسک، در مسیر جادهٔ آسفالته جاسک به چابهار واقع شده است. از شمال به ارتفاعات مکران، جنوب به دریای عمان، شرق به خور کرتی و غرب به رودخانهٔ جگین محدود می‌شود. مختصات جغرافیایی آن ً ۱۴ °۵۸ تا ۱۲ ° ۵۹ طول شرقی و ً ۲۴ ° ۲۵ تا ۴۸ °۲۵ عرض شمالی است. پروژه‌های سنوات ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۶ تثبیت ماسه های روان استان هرمزگان عمدتاً در این محدوده‌ها متمرکز بوده است (شکل ۱). این محدوده‌ها شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژیک یکسانی داشته، به‌دلیل تحرک بستر (ماسه‌های روان)، فاقد پوشش گیاهی بومی بوده و به‌شیوهٔ یکسانی توسط مالچ نفتی و نهال‌کاری سُمر[8] تثبیت شده‌اند، به‌گونه‌ای که تحرک بستر ماسه‌ای به‌طور کامل مهار شده است.

1. Morris
2. Gupta
3. Baker
4. Williams
5. Borah & Deka
6. Grath
7. Sanchez- Hernandez
8. *Prosopis juliflora*



شکل (۱): موقعیت منطقهٔ پژوهش

Figure (1): Location of the research area

داده، ابزار و روش پژوهش

داده‌های تحقیق شامل غلظت عناصر فلزی سنگین در نمونه‌های خاک محدوده‌های اجرای پروژه‌های تثبیت ماسه‌های روان شرق استان هرمزگان و مناطق هم‌جوار آن‌ها به‌عنوان شاهد است. در این راستا مقدار عناصر V, Ni, Sn, As, Pb, Cr, Fe, Al, Cs, Mn, Co, Se نمونه‌های خاک استخراج شده و در فرایند تحقیق به کار گرفته شدند. از نقشه‌های توپوگرافی، ادوات آزمایشگاهی فلزات سنگین و وسایل نمونه‌برداری خاک و عملیات صحرایی، همچنین نرم‌افزارهای آماری اِس‌پی‌اِس‌اِس[1] و اِکسل[2] به‌عنوان ابزار استفاده شد. پس از مطالعات کتابخانه‌ای و جمع‌آوری کتاب‌ها، اسناد، مدارک و نقشه‌های مورد نیاز، مطالعه در گام‌های زیر پیگیری شد. در گام اول ضمن تهیهٔ نقشهٔ مناطق اجرای پروژه‌های تثبیت ماسه‌های روان، نسبت به تعیین نقاط نمونه‌برداری از این محدوده‌ها و مناطق هم‌جوار به‌عنوان شاهد اقدام شد. ازآنجاکه اجرای پروژه‌های مالچ‌پاشی از سال ۱۳۸۱ به بعد و در سال‌های مختلفی انجام شده است، محدوده‌هایی برای این مطالعه انتخاب شدند که حداقل پانزده سال از اجرای پروژه‌های تثبیت، در آن‌ها گذشته باشد. در هر محدوده، سه نمونه از خاک سطحی به‌عنوان تیمار و سه نمونه نیز به‌عنوان شاهد برداشت شد (شکل ۲). نمونه‌های تیمار نزدیک به تاج درختان و از مناطقی اخذ شد که علاوه‌بر مالچ‌پاشی، نهال‌کاری سُمر نیز انجام شده باشد. محدوده‌های شاهد به‌نحوی انتخاب شدند که ازنظر ویژگی‌های ژئومورفولوژیک تا قبل از اجرای پروژه، دقیقاً مشابه با محدودهٔ اصلی بوده و گسترهٔ واحدی را تشکیل داده باشند. درکل، سه محدودهٔ تیمار- شاهد شامل مناطق جگین، سدیج و بیاهی، به‌ترتیب در ۷۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلومتری شرق شهرستان جاسک، انتخاب و ۱۸ نمونه خاک سطحی (۹ نمونه از تیمار و ۹ نمونه شاهد) برداشت شد. شایان ذکر است این سه منطقه در بازه‌های زمانی مختلفی مورد عملیات تثبیت توسط مالچ نفتی و نهال‌کاری قرار گرفته‌اند. منطقهٔ بیاهی در سال ۱۳۸۱، محدودهٔ جگین در سال ۱۳۸۴ و محدودهٔ سدیج در سنوات ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ مالچ‌پاشی و نهال‌کاری شده‌اند.

1. SPSS
2. Excel

شکل (۲): نمایی از منطقهٔ پژوهش. الف، ب و پ، منطقهٔ جگین (به‌ترتیب منطقهٔ مالچ‌پاشی و نهال‌کاری‌شده، اخذ نمونه از خاک سطحی و شاهد). ت، ث و ح، منطقهٔ سدیچ (به‌ترتیب منطقهٔ مالچ‌پاشی و نهال‌کاری‌شده، اخذ نمونه از خاک سطحی و شاهد). خ و ج، منطقهٔ بیاهی

Figure (2): Overview of the research area. From right to left and up to down, A, B, and C represent the Jagin region (respectively: petroleum mulch-treated and afforested area, surface soil sampling site, and control site). D, E, and F represent the Sedich region (respectively: petroleum mulch-treated and afforested area, surface soil sampling site, and control site). G and H represent the Biahi region

در گام دوم، نمونه‌ها به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه هرمزگان منتقل شده و مقدار عناصر سنگین آن‌ها تعیین شد. در گام سوم داده‌های به‌دست‌آمده از مطالعات میدانی و آزمایشگاهی مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت. به این منظور با روش تحلیل واریانس، طرح فاکتوریل دوعاملی، داده‌ها در سطح معنی‌داری ۵ درصد مقایسه شد.

نتایج

جدول (۱) نتایج تجزیهٔ واریانس اثر منطقه (گذشت زمان) و مالچ نفتی را بر میزان فلزات سنگین لایهٔ سطحی خاک نشان می‌دهد. شایان ذکر است که موقعیت در اینجا نمادی از گذشت زمان است. همان‌گونه که در بخش روش ذکر شد، مناطق جگین، سدیچ و بیاهی، به‌ترتیب در ۷۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلومتری شرق شهرستان جاسک قرار دارند. منطقهٔ بیاهی در سال ۱۳۸۱، محدودهٔ جگین در سال ۱۳۸۴ و محدودهٔ سدیچ در سنوات ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ مالچ‌پاشی و نهال‌کاری شده است. منظور از مالچ، تأثیر پروژهٔ تثبیت ماسه‌های روان با مالچ نفتی و نهال‌کاری بر غلظت فلزات سنگین است. مالچ*موقعیت نیز اثر متقابل پروژهٔ تثبیت ماسه‌های روان با مالچ نفتی و نهال‌کاری و محل یا زمان اجرای پروژهٔ مالچ‌پاشی بر غلظت فلزات سنگین را نشان می‌دهد.

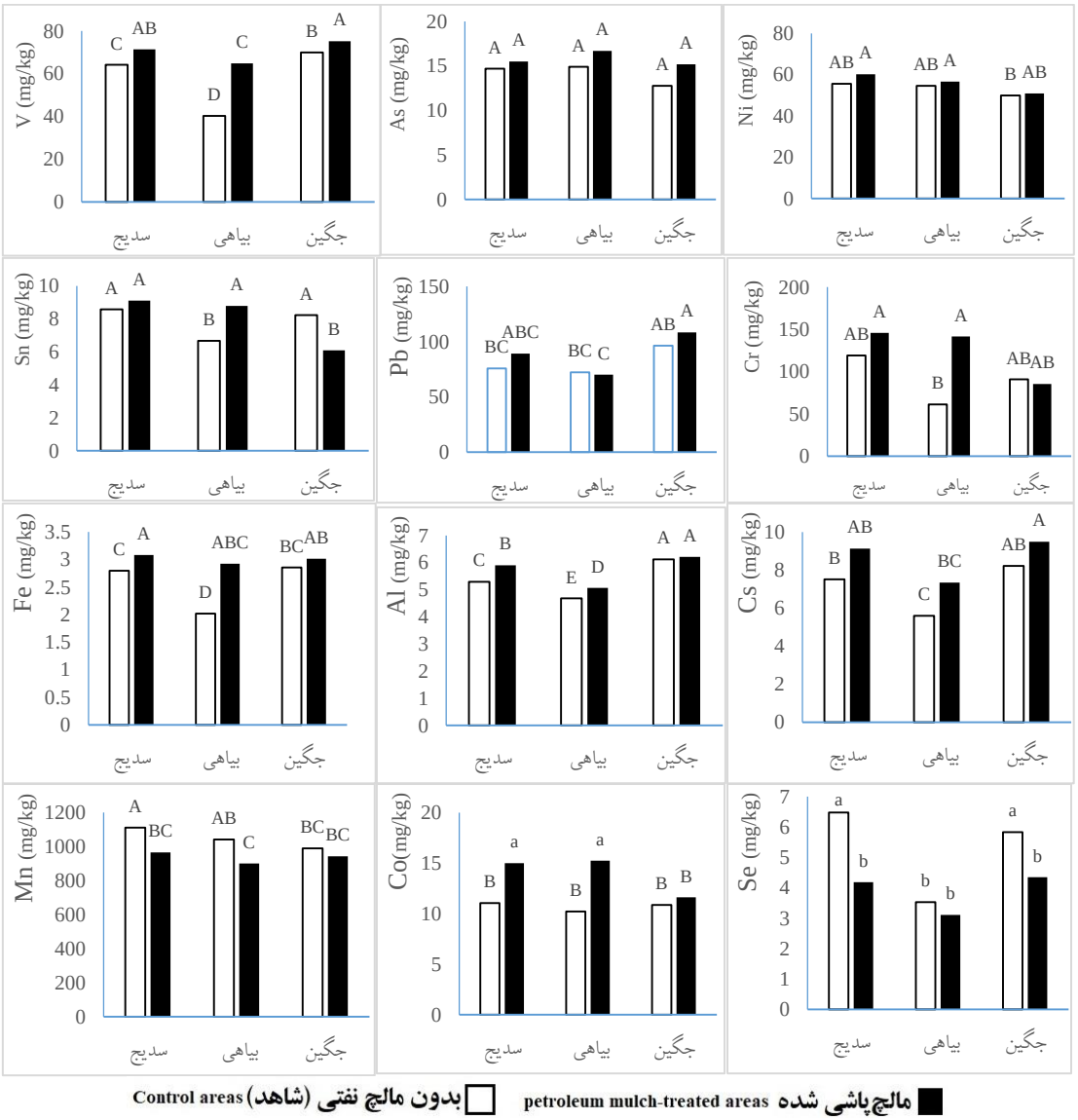
جدول (۱): تجزیهٔ واریانس اثر موقعیت و مالچ نفتی بر میزان فلزات سنگین خاک سطحی

Table (1): Analysis of variance (ANOVA) for the effects of location and petroleum mulch on heavy metal concentrations in surface soil

منابع تغییرات Sources of Variation	درجهٔ آزادی *df*	میانگین مربعات *MS*					
		سلنیم Se	کبالت Co	منگنز Mn	سزیم Cs	آلومینیوم Al	آهن Fe
موقعیت (Treatment: Location)	2	7.24**	9.37**	9810.59ns	9.37**	2.52**	0.436**
مالچ (Treatment: Mulch)	1	8.79**	10.74**	55638.1**	10.74**	0.59**	0.912**
مالچ*موقعیت (Mullch*Location)	1	1.33ns	0.09ns	4706.02ns	0.09**	0.10**	0.239**
خطا (Error)	12	0.641	1.496	2881.115	0.964	0.014	0.031
منابع تغییرات Sources of Variation	درجهٔ آزادی *df*	میانگین مربعات *MS*					
		کروم Cr	سرب Pb	آرسنیک As	قلع Sn	نیکل Ni	وانادیوم V
موقعیت (Treatment: Location)	2	3109.92 ns	1496.42 **	5.05ns	4.39**	118.66*	655.87**
مالچ (Treatment: Mulch)	1	5141.98ns	265.56**	12.55ns	0.13ns	182.02*	685.05**
مالچ*موقعیت (Mullch*Location)	1	2808.16 ns	110.33ns	0.99ns	6.91**	9.35ns	169.71**
خطا (Error)	12	1286.327	174.668	7.592	0.412	27.775	5.779

براساس نتایج تجزیهٔ واریانس طرح فاکتوریل دوعاملی، نوع تیمار (شاهد و مالچ نفتی) بر غلظت فلزات سنگین شامل سرب، وانادیم، نیکل، آهن، آلومینیم، سزیم، منگنز، کبالت و سلنیم در خاک، در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بنا بر این یافته، مالچ نفتی به‌طور چشمگیری غلظت این فلزات در خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. ازسوی دیگر، در دورهٔ زمانی پژوهش، موقعیت جغرافیایی نیز بر مقادیر اکثر عناصر خاک، به‌جز کروم، ارسنیک و منگنز، اثر معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشته است. این موضوع بیانگر نقش محیط و شرایط محلی در تغییرات غلظت عناصر است. بررسی اثر متقابل بین مالچ و موقعیت نیز آشکار کرد که این دو عامل به‌صورت هم‌زمان تنها بر غلظت عناصر سزیم، آلومینیم، آهن، قلع و وانادیم تأثیرگذار بوده‌اند، درحالی‌که بر سایر عناصر تأثیر معنی‌داری نداشته‌اند.

شکل (۳) مقایسهٔ میانگین غلظت هریک از عناصر سنگین خاک سطحی را بین مناطق مالچ‌پاشی‌شده و شاهد، به تفکیک موقعیت یا تاریخ مالچ‌پاشی (سدیچ ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶؛ بیاهی ۱۳۸۱؛ جگین ۱۳۸۴) نشان می‌دهد.

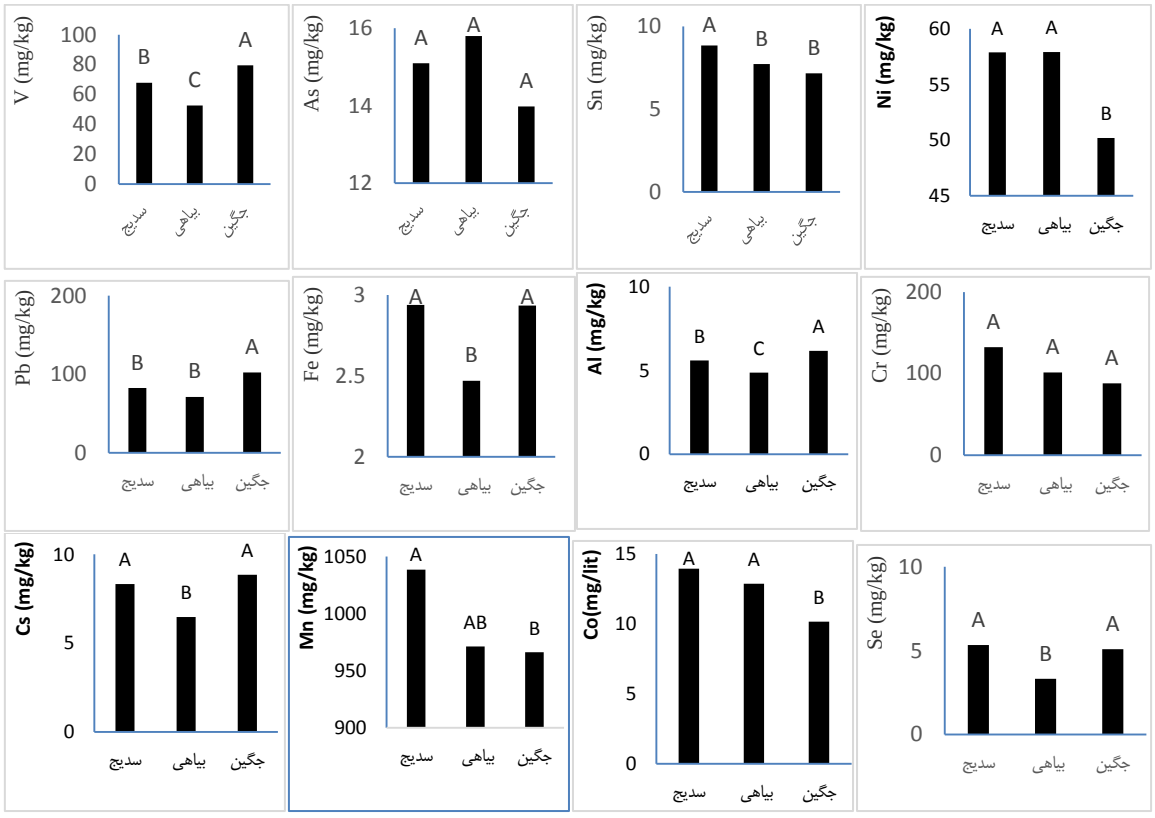


شکل (۳): مقایسهٔ میانگین هریک از عناصر سنگین خاک سطحی، بین مناطق مالچ‌پاشی‌شده و شاهد، به تفکیک موقعیت یا تاریخ مالچ‌پاشی (سدیچ ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶، بیاهی ۱۳۸۱، جگین ۱۳۸۴).

Figure (3): Comparison of the average concentrations of each heavy metal in surface soil between petroleum mulch-treated areas and control areas, categorized by location or date of petroleum mulch application (in each diagram, left: Sedich 2006 and 2007, middle: Biahi 2002, right: Jagin 2005)

این اطلاعات می‌تواند به درک تأثیرات زمانی (گذشت زمان از تاریخ پاشش مالچ) و تفاوت‌های مکانی مناطق مالچ‌پاشی شده بر غلظت فلزات سنگین خاک سطحی کمک کند. براساس نتایج فوق، غلظت برخی فلزات سنگین در منطقهٔ مالچ‌پاشی و نهال‌کاری‌شدهٔ سدیچ افزایش یافته است. این عناصر سنگین عبارت‌اند از نیکل، ارسنیک، وانادیم، کروم، مس، قلع، سزیم، آلومینیم، آهن و کبالت است که افزایش غلظت این عناصر می‌تواند به‌دلیل تأثیرات مالچ نفتی باشد. منطقهٔ تثبیت ماسه‌های روان (مالچ نفتی به‌همراه نهال‌کاری) بیاهی، غلظت‌های متفاوتی از برخی فلزات سنگین را نسبت به سایر مناطق نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد این تفاوت‌ها عمدتاً به شرایط خاص محیطی این مناطق مربوط باشد. منطقهٔ مالچ‌پاشی و نهال‌کاری‌شدهٔ جگین نیز نتایج خاص خود را دارد که هم مالچ نفتی و هم شرایط خاص محیطی می‌توانند تأثیرگذار باشند. درکل، غلظت عناصر سنگین در مناطق شاهد (بدون مالچ نفتی و نهال‌کاری) عمدتاً کمتر از مناطق مالچ‌پاشی‌شده است. این مسئله حاکی از تأثیر مالچ نفتی در افزایش غلظت فلزات سنگین خاک سطحی است.

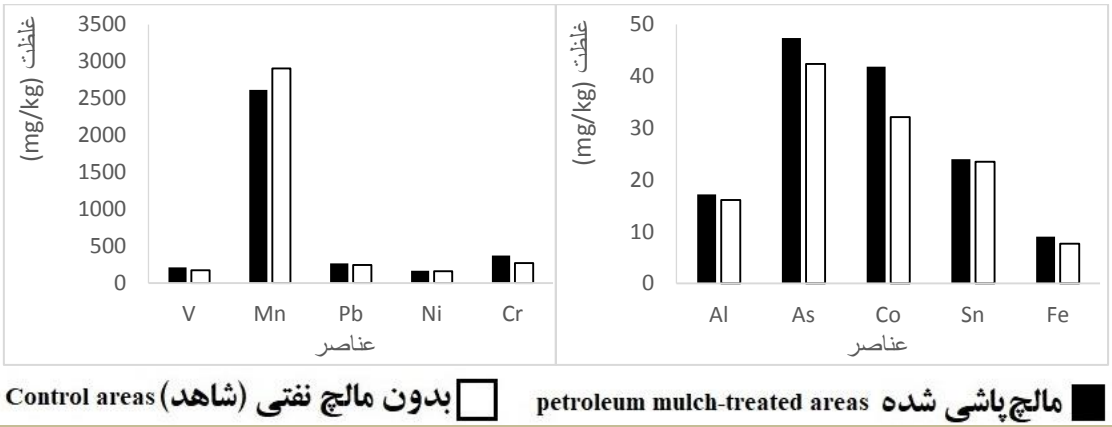
شکل (۴) غلظت عناصر اندازه‌گیری‌شده را در مناطق مختلف نشان می‌دهد. بر این اساس، تغییرات معناداری ازنظر غلظت عناصر در خاک مناطق مورد مطالعه می‌شود. قابل ذکر است که عامل موقعیت، نشان‌دهندهٔ زمان مالچ‌پاشی در هر منطقه است. بررسی این عامل، نشان‌دهندهٔ تأثیرات متفاوت شرایط اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در طول زمان بر غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه در مناطق مختلف است. در مناطق مختلف، روند تغییرات غلظت عناصر در طی زمان یکسان نبوده است. این موضوع بیانگر نقش تعیین‌کنندهٔ شرایط محیطی و ویژگی‌های محلی در تغییرات غلظت عناصر سنگین خاک هریک از این مناطق است. براساس نتایج آماری، بیشترین و کمترین غلظت عناصر وانادیم، سرب، آلومینیم و سزیم به‌ترتیب در مناطق جگین و بیاهی است. این تفاوت‌ها ازنظر آماری معنی‌دار بوده‌اند. برای عناصر نیکل، قلع، کروم، آهن، منگنز، کبالت و سلنیم، بیشترین غلظت‌ها مربوط به منطقهٔ سدیچ است.



شکل (۴): مقایسهٔ میانگین هریک از عناصر سنگین خاک سطحی، بین مناطق به تفکیک موقعیت یا تاریخ مالچ‌پاشی (سدیچ ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶، بیاهی ۱۳۸۱، جگین ۱۳۸۴)

Figure (4): Comparison of the average concentrations of each heavy metal in surface soil across regions, categorized by location or date of petroleum mulch application (in each diagram, left: Sedich 2006 and 2007, middle: Biahi 2002, right: Jagin 2005)

شکل (۵) مقایسهٔ میانگین‌های غلظت عناصر سنگین خاک سطحی بین مناطق مالچ‌پاشی‌شده و شاهد را نشان می‌دهد. غلظت برخی از عناصر سنگین در مناطق اجرای پروژهٔ مالچ‌پاشی به‌همراه نهال‌کاری نسبت به مناطق شاهد، افزایش یافته است. این مسئله ممکن است به‌دلیل ترکیبات شیمیایی مالچ و محتوای فلزات سنگین آن باشد. عناصری که غلظت آن‌ها در مناطق مالچ‌پاشی‌شده افزایش یافته‌اند، عبارت‌اند از: وانادیم، سرب، نیکل، کروم، آلومینیم، ارسنیک، کبالت، قلع و آهن. صرفاً غلظت منگنز است که در مناطق مالچ‌پاشی‌شده، کاهش پیدا کرده است.



شکل (۵): مقایسهٔ میانگین در مقدار کلی عناصر سنگین خاک سطحی، بین مناطق مالچ‌پاشی‌شده و شاهد، در کل محدودهٔ پژوهش

Figure (5): Comparison of the average total concentrations of heavy metals in surface soil between petroleum mulch-treated areas and control areas across the entire study region

بنابر جدول مقایسهٔ مناطق شاهد و مالچ‌پاشی‌شده (جدول ۱)، می‌توان گفت به‌علت وجود ترکیبات نفتی حاوی فلزات سنگین، افزودن مالچ باعث افزایش عناصر سنگین خاک شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که مالچ نفتی تأثیر قابل توجهی بر غلظت فلزات سنگین در لایهٔ سطحی خاک داشته است. براساس تجزیهٔ واریانس انجام‌شده، اثر نوع تیمار (شاهد و مالچ نفتی) بر غلظت فلزات سنگین شامل سرب، وانادیم، نیکل، آهن، آلومینیوم، سزیم، منگنز، کبالت و سلنیم در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. ازطرفی در حضور مالچ نفتی مقدار منگنز نسبت به شاهد کاهش پیدا کرده است که به دلایل بهبود شرایط محیطی احتمالاً توسط میکروارگانیسم‌ها و گیاهان جذب شده است. مالچ همچنین موقعیت جغرافیایی بر مقدار همهٔ عناصر در خاک به‌جز کروم، ارسنیک و منگنز تأثیر معناداری داشت. اثرات متقابل بین موقعیت و مالچ نیز در برخی موارد معنی‌دار است، که می‌تواند به درک بهتر از نحوهٔ تعامل این دو عامل کمک کند. بر طبق این نتیجه، علاوه‌بر مالچ نفتی، تفاوت شرایط بین مناطق و ویژگی‌های خاک در هر منطقه می‌تواند نقش مهمی در غلظت فلزات سنگین ایفا کند.

خلیلی مقدم و همکاران (۲۰۱۶) به تأثیر ترکیبات شیمیایی مالچ بر غلظت فلزات سنگین در خاک اشاره کردند. یافته‌های آن‌ها نیز نشان داد که ترکیبات مالچ می‌تواند غلظت فلزات سنگین را تحت‌تأثیر قرار دهد. غلامی طبسی و همکاران (۲۰۱۴) نیز در مطالعه‌ای تأثیر مالچ‌های نفتی را بر آلودگی خاک بررسی کردند و نتیجه گرفتند که مالچ‌های نفتی می‌توانند غلظت فلزات سنگین را به‌طور معناداری افزایش دهند. این یافته‌ها با نتایج پژوهش حاضر درزمینهٔ افزایش غلظت فلزات سنگین در مناطق مالچ‌پاشی‌شده همخوانی دارد. صالحی مُرکامی و همکاران (۲۰۲۲) نیز با اشاره به تغییرات معنی‌دار شرایط فیزیکی و ویژگی‌های شیمیایی خاک توسط مالچ نفتی، بر این نکته تأکید کردند که با گذر زمان، درنتیجهٔ بالا بردن رطوبت خاک توسط مالچ نفتی و استقرار پوشش گیاهی، ماسه‌های روان تثبیت شده و تغییرات ایجادشده به نفع طبیعت سیر می‌کند؛ درنتیجه کیفیت خاک بهبود می‌یابد.

نتایج پژوهش درمجموع نشان داد که مالچ نفتی بر غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی تأثیرگذار است. این اثرات به

شرایط محیطی مناطق تحت عملیات مالچ‌پاشی و نیز گذشت زمان از اجرای پروژه بستگی دارد. این یافته‌ها می‌تواند به درک بهتر اثرات زیست‌محیطی مالچ‌های نفتی و بهینه‌سازی روش‌های تثبیت ماسه‌های روان کمک کند. مالچ نفتی به‌همراه نهال‌کاری، به‌طور قابل توجهی خواص فیزیکی و شیمیایی تپه‌های ماسه‌ای را تغییر می‌دهد (آزوغ و همکاران، ۲۰۱۸). شایان ذکر است علاوه‌بر افزایش غلظت فلزات سنگین، مالچ نفتی اثرات مثبت زیادی بر تثبیت ماسه‌های روان، کاهش شدت فرسایش بادی و نیز بر اصلاح ساختمان خاک و تسریع فرایند خاک‌سازی در ماسه‌های روان دارد (اکبریان و نوحه‌گر، ۲۰۱۴). استفاده از مالچ نفتی، توأم با نهال‌کاری، باعث احیای پوشش گیاهی تپه‌های ماسه‌ای می‌شود (آزوغ و همکاران، ۲۰۱۸). جعفری و همکاران (۲۰۱۷) نیز با مطالعهٔ اثرات مالچ نفتی بر فلور و ماکروفون خاک، اذعان داشتند که پروژهٔ تثبیت ماسه‌های روان شرق استان هرمزگان (مالچ نفتی)، باعث افزایش غنا، تنوع و یکنواختی ماکروفون خاک نسبت به منطقهٔ شاهد شده، درحالی‌که پوشش گیاهی منطقهٔ مالچ‌پاشی‌شده از این نظر تغییری نکرده است. ازاین‌رو به نظر می‌رسد هرچند مالچ نفتی، افزایش غلظت فلزات سنگین را در خاک سطحی ماسه‌زارهای تثبیت‌شده به همراه دارد، این افزایش به‌حدی نبوده است که اثرات منفی بر ماکروفون خاک و فلور منطقه داشته باشد. لذا در فرایند تصمیم‌گیری استفاده از مالچ نفتی نیاز است هم اثرات مثبت و هم منفی به‌صورت جامع مد نظر قرار گیرند. درکل، به‌علت وجود ترکیبات نفتی حاوی فلزات سنگین، افزودن مالچ باعث افزایش عناصر سنگین خاک می‌شود. اما لازم است به این نکته توجه شود که صرفاً اگر غلظت این عناصر بالاتر از حد استاندارد زیست‌محیطی باشد، مالچ نفتی را می‌توان به‌عنوان یک آلایندهٔ زیست‌محیطی لحاظ کرد.

منابع

1. Akbarian, M. & Asadpour, R., 2025. Ecology and Ecogeomorphology of *Sphaerocoma aucheri* Bois in the coastal plain of Hormozgan province, Iran. University of Hormozgan press, 187p.
2. Akbarian, M. and Nohegar, A., 2014. Assessment the Afforestation projects impact in Controlling Wind Erosion Pibeshk Area, Jask County. Geographical Research, 29 (114), 179-190.
3. Akbarian, M., 2008. Guidelines for Sand Stabilization Contracts: Mulch Application and Tree Planting. Hormozgan Province Natural Resources General Department, 15 pages.
4. Akbarian, M., Farhangdoust, T., Zakeri, A., 2004. From Hamoun Basin to the Foothills of Taftan: A Report on the Visit to Sistan and Baluchestan Natural Resources. Hormozgan Province Natural Resources General Department, 25 pages.
5. Akbarian, M., Shayan, S., Yamani, M., 2019. Geomorphology of the western plain of Makkoran (Sandy landforms and processes), University of Hormozgan press, 161p.
6. Azoogh, L., Khalili Moghadam, B., Jafari, S. (2018). Interaction of petroleum mulching, vegetation restoration and dust fallout on the conditions of sand dunes in southwest of Iran, Aeolian Research, V 32, 124-132, DOI: 10.1016/j.aeolia.2018.01.007
7. Baker, J., 2019. Organic Compounds in Soil and Water.
8. Borah, G. and Deka, H., 2023. Crude Oil Associated Heavy Metals (HMs) Contamination in Agricultural Land: Understanding Risk Factors and Changes in Soil Biological Properties. Chemosphere, 310, Article ID: 136890.
9. Ekhtesasi, M., 2010. Plants Suitable for Stabilizing Sand Dunes and Sand Plains in Iran (Important Sand-Stabilizing Plants in Iran). Yazd University Press, 246 pages.
10. F.A.O corporate document repository, 1993. Dune fixation: a tool for desertification control. Forest & Wildlands Conservation Branch, Italy.
11. Gholami Tabasi, J., Jafari, M., Azarnivand, H., Sarparast, M., 2014. Investigation of the Effect of Oil Mulch on Vegetative Cover and Sandy Soil in Samadabad, Sarakhs. Desert Management Journal, (4): 43-50.
12. Grath, M. J., 2002. Heavy Metals in the Environment.
13. Gupta, S. K., 2016. Soil Pollution: Origin, Monitoring & Remediation.
14. Homauoni, Ziba & Yasrobi, Shahaboddin. (2011). Stabilization of Dune Sand with Poly(Methyl Methacrylate) and Polyvinyl Acetate Using Dry and Wet Processing. Geotechnical and Geological Engineering. 29. 571-579. 10.1007/s10706-011-9404-2. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136890
15. Jafari, F., Kartoolinejad, D., Amiri, M., Shayanmehr, M. and Akbarian, M., 2017. Long term effect of oil mulch on richness and biodiversity of soil macro-fauna and vegetation in Jask, Iran. Journal of Arid Biome, 7(1), 27-38. doi: 10.29252/aridbiom.7.1.27

16. Jafari, M., Tavili, A., 2010. Restoration of Arid and Desert Areas. Tehran University Press, 396 pages.
17. Jafarian, V., 2006. Mulch and Mulching in Iran. Rangeland and Soil Affairs Department, Forests, Rangelands, and Watershed Organization, 24 pages.
18. Kardavani, P., Alaei, E., Moshiri, S. R., Rahimi, N., 2013. Investigation of the Effect of Oil Mulch Application on the Stabilization of Shifting Sands and Vegetative Cover Development in Aran and Bidgol. Plant and Ecosystem Scientific Research Quarterly, 9(37): 101-112.
19. khalili moghadam, B. , Jamili, T. , Nadian, H. and Shahbazi, E., 2016. The influence of sugarcane mulch on sand dune stabilization in Khuzestan, the southwest of Iran. Iran Agricultural Research, 34(2), 71-80. doi: 10.22099/iar.2016.3446
20. Morris, R., 2018. Hydrocarbon Contaminants in the Environment.
21. Nateghi, M., 2000. A New Perspective on the Desert. Rural Development Publications, Tehran, 229 pages.
22. Rahbar, E., Darvish, M., 2005. Review of Research on Oil-Based Soil Covers. Iranian Journal of Rangeland and Desert Research, 12(1): 63-71.
23. Rezaei, S., Behlouli, B., Aghaei, M., Haghani, G., Farahi, A., Mahdi, F. (2008). Evaluation of the Efficiency of Poly Lattice Polymer Compared to Oil Mulch in the Stabilization of Shifting Sands and Plant Establishment. Forests and Rangelands Research Institute, Tehran, 41 pages.
24. Rezaei, S., Behlouli, B., Aghaei, M., Haghani, G., Farahi, A., Mahdi, F., 2008. Evaluation of the Efficiency of Poly Lattice Polymer Compared to Oil Mulch in the Stabilization of Shifting Sands and Plant Establishment. Forests and Rangelands Research Institute, Tehran, 41 pages.
25. Rezaie, S.A., 2009. Comparison between Polylatice polymer and petroleum mulch on seed germination and plant stabilizement in sand dune fixation. Iranian J. Range Desert Res. 16, 124-136 (In Persian).
26. Salehi morkani, M., Ghoohestani, G., Bagherpour, M., Zare, S., Mombeni, M., Khalili Moghadam, B., 2022. Investigating the Effects of Petroleum Mulching on Soil's Physico-Chemical Properties. Desert Ecosystem Engineering, 11(35), 115-128. doi: 10.22052/deej.2022.11.35.60
27. Sanchez-Hernandez, J. C., Sandoval, M., Pierart, A. (2017). Short-term response of soil enzyme activities in a chlorpyrifos-treated mesocosm: Use of enzyme-based indexes, Ecological Indicators, Volume 73, Pages 525-535, https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.10.022.
28. Shayan, S., Akbarian, M., Yamani,M., Sharifikia, M., Maghsoudi, M., 2014. Affect of Sea Hydrodynamic on Coastal Sand Masses Formation, Case study: Western Makran Coastal Palin, Quantitative Geomorphological Research, 2(4): 86-104.
29. Williams, H. (2021). Environmental Pollution and Its Effects on Human Health.
30. Wright, J. A., 2010. Environmental Pollution and Control.
31. Wuddivira, M.N., Stone, R.J., Ekwue, E.I. (2013). Influence of cohesive and disruptive forces on strength and erodibility of tropical soils, Soil and Tillage Research, Volume 133, Pages 40-48, https://doi.org/10.1016/j.still.2013.05.012.

An Evaluation of Petroleum Mulch's Impact on Heavy Metal Concentrations in Coastal Sand Dunes of Eastern Hormozgan Province, Iran

Mohammad Akbarian,[1]* Navazollah Moradi[2]

Received: 10/04/2025 Accepted: 26/05/2025

Extended Abstract

Introduction: Petroleum mulch is widely employed in Iran for wind erosion control, temporary sand dune stabilization, and aiding plant establishment (Jafarian, 2006; FAO, 1993). Applied as an emulsion, it forms a thin, porous layer upon dehydration, effectively stabilizing soil surfaces (Kardavani et al., 2013). However, petroleum mulch contains hydrocarbons, organic compounds, and trace amounts of heavy metals, which present potential risks of soil and groundwater contamination (McGrath, 2002; Wright, 2010; Gupta, 2016). Despite its demonstrated efficacy in reducing wind erosion and promoting vegetation growth, the heavy metal pollution resulting from its application necessitates further investigation (Azoogh et al., 2018). To ensure sustainable desertification mitigation practices, a thorough evaluation of its environmental advantages and drawbacks is crucial.

Materials and Methods: This research was conducted in eastern Hormozgan Province, Iran, a region geographically bordered by the Makran Mountains to the north and the Sea of Oman to the south. Sand dune stabilization projects, employing petroleum mulch, were implemented in this area between 2002 and 2007. The study aimed to analyze heavy metal concentrations in soil samples collected from both treated areas (those subjected to petroleum mulch application and afforestation) and adjacent, untreated control areas. The elements measured included vanadium (V), nickel (Ni), tin (Sn), arsenic (As), lead (Pb), chromium (Cr), iron (Fe), aluminum (Al), cesium (Cs), manganese (Mn), cobalt (Co), and selenium (Se). Steps Involved in Research:

1. **Mapping and Sampling:** Sampling points were identified within treated regions and their corresponding adjacent control areas. A crucial criterion for selection was that at least 15 years had elapsed since the completion of the stabilization projects. Treated areas were defined by the combined application of petroleum mulch and afforestation, while control areas exhibited identical geomorphological features to the treated sites prior to any intervention. Three treated-control pairs were selected for the study: Jagin, Sedich, and Biahi, located approximately 70 km, 100 km, and 150 km east of Jask, respectively. A total of 18 soil samples were collected, comprising 9 from treated areas and 9 from control areas.
2. **Laboratory Analysis:** All collected soil samples were transported to the central laboratory at Hormozgan University for the measurement of heavy metal concentrations.
3. **Statistical Analysis:** Data analysis was performed using SPSS, employing a two-factor factorial design to assess the individual and interactive effects of treatment (petroleum mulch application) and site conditions. Duncan's multiple range test was subsequently applied at a 5% significance level to compare the means of the various data sets.

Results: Table 1 presents the variance analysis for the effects of location (representing elapsed time since application) and petroleum mulch on heavy metal concentrations in topsoil. The application of petroleum mulch significantly influenced the concentrations of lead (Pb), vanadium (V), nickel (Ni), iron (Fe), aluminum (Al), cesium (Cs), manganese (Mn), cobalt (Co), and selenium (Se) at the 5% significance level. Over time, geographical factors also had a significant effect on most elements, with the notable exceptions of chromium (Cr), arsenic (As), and manganese (Mn). Furthermore, the interaction between mulch application and location significantly impacted elements such as cesium (Cs), aluminum (Al), iron (Fe), tin (Sn), and vanadium (V), highlighting their combined effects.

1. Associate professor of Physical Geography, Department of Geographical Sciences, Faculty of Humanities, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Hormozgan, Iran; E-mail: m.akbarian@hormozgan.ac.ir
2. Assistant professor, Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Hormozgan, Iran; E-mail: nvz.moradi@hormozgan.ac.ir

DOI: 10.22052/DEEJ.2025.256662.1101

Figure 3 illustrates the heavy metal concentrations across the three study locations (Sedich: 2006–2007 application; Biahi: 2002 application; Jagin: 2005 application). The results indicate increased concentrations of nickel (Ni), arsenic (As), vanadium (V), chromium (Cr), tin (Sn), cesium (Cs), aluminum (Al), iron (Fe), and cobalt (Co) in Sedich. This elevation is likely attributable to the chemical composition of the petroleum mulch used. Biahi exhibited distinct concentration patterns, possibly influenced by specific local environmental conditions, while Jagin's results reflected a combination of petroleum mulch effects and other site-specific factors. Consistently, control areas maintained lower heavy metal concentrations compared to their corresponding treated areas, underscoring the role of petroleum mulch in elevating heavy metal levels (as further supported by Table 1).
Figure 4 further emphasizes the significant regional differences in heavy metal concentrations. Vanadium (V), lead (Pb), aluminum (Al), and cesium (Cs) were highest in Jagin and lowest in Biahi, showing statistically significant variations among sites. In contrast, elements such as nickel (Ni), tin (Sn), chromium (Cr), iron (Fe), manganese (Mn), cobalt (Co), and selenium (Se) reached their peaks in Sedich, reinforcing the influence of regional variations.
Figure 5 visualizes the average heavy metal concentrations between treated and control areas. Elements including vanadium (V), lead (Pb), nickel (Ni), chromium (Cr), aluminum (Al), arsenic (As), cobalt (Co), tin (Sn), and iron (Fe) consistently showed higher levels in treated areas. This is attributed to the inherent heavy metal content within the petroleum mulch itself. Interestingly, manganese (Mn) levels decreased in treated areas, which could be due to its absorption by plants and microorganisms thriving in the improved environmental conditions. These findings suggest that if these observed concentrations exceed established environmental standards, petroleum mulch could potentially be classified as a significant pollutant.

Discussion and Conclusion: This study confirmed that petroleum mulch significantly impacts the concentrations of heavy metals in surface soil layers. Our variance analysis revealed that elements including lead (Pb), vanadium (V), nickel (Ni), iron (Fe), aluminum (Al), cesium (Cs), manganese (Mn), cobalt (Co), and selenium (Se) were significantly affected by the treatment type (control versus petroleum mulch application) at the 5% significance level. Notably, manganese concentrations decreased in areas treated with petroleum mulch, likely due to absorption by microorganisms and plants in the improved environmental conditions fostered by the mulch.
Geographical location also played a significant role in the concentrations of most elements, with the exceptions of chromium (Cr), arsenic (As), and manganese (Mn). Furthermore, interaction effects between mulch application and location were observed for some elements, emphasizing the crucial role of local conditions in determining heavy metal levels in the soil.

These findings are consistent with previous research. Moghadam et al. (2016) reported on the influence of mulch chemical compounds on soil heavy metal concentrations, similarly concluding that mulch compounds can alter these levels. Likewise, Gholami Tabasi et al. (2014) investigated the effects of petroleum mulches on soil contamination and found a significant increase in heavy metal concentrations due to their application.

While petroleum mulch clearly contributes to elevated heavy metal concentrations in soil, it also offers substantial benefits such as stabilizing sand dunes, reducing wind erosion, improving soil structure, and accelerating soil formation (Akbarian & Nohegar, 2014). Jafari et al. (2017) observed increased richness, diversity, and uniformity in soil macrobiofauna in treated areas, without significant negative changes to vegetation cover compared to control sites.

In conclusion, the application of petroleum mulch undoubtedly raises heavy metal levels in the soil due to its inherent chemical composition. However, it's crucial to note that it should only be classified as a pollutant if these concentrations exceed established environmental standards. Therefore, policymakers and decision-makers must carefully weigh both the positive environmental benefits and the potential negative impacts of petroleum mulch to ensure its sustainable use in desertification mitigation efforts.

Keywords: coastal sand dunes, heavy metals, petroleum mulch, wind erosion.