



## تأثیر معدن‌کاوی سنتی زغال سنگ بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و غلظت فلزات سنگین خاک در جنگل لاویج

مهسا توکلی<sup>۱</sup>، سید محمد حجتی<sup>۲\*</sup> و یحیی کوچ<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

<sup>۲</sup> دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

<sup>۳</sup> استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲)

### چکیده

معدن‌کاوی در جنگل با تأثیر بر کیفیت خاک، سلامت بوم‌سازگان جنگلی را به مخاطره می‌اندازد. هدف این پژوهش، بررسی میزان تأثیر فعالیت معدن‌کاوی بر مشخصه‌های خاک در سری ۲ طرح جنگلداری لاویج بود. پس از جنگل‌گردشی و تعیین موقعیت معدن، سطح مربع‌شکلی به مساحت ۴ هکتار با مرکزیت معدن تعیین و در آن، ۱۶ قطعه نمونه (۲۰×۲۰ متر) به صورت تصادفی-منظم (ابعاد شبکه ۶۰×۶۰ متر) مشخص شد. سپس منطقه‌ای در مجاور معدن که تحت تأثیر فعالیت معدن‌کاوی نبود، به عنوان منطقه شاهد در نظر گرفته شد. برای بررسی مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در دو منطقه، در مرکز هر قطعه نمونه، یک نمونه از لایه بالایی (۱۰-۰ سانتی‌متر) تهیه شد. در آزمایشگاه جرم مخصوص ظاهری، رطوبت وزنی، بافت، اسیدیته، هدایت الکتریکی، غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، سرب و کادمیم و درصد کربن آلی نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که معدن‌کاوی سبب کاهش معنی‌دار مقادیر رطوبت، واکنش خاک، هدایت الکتریکی، غلظت نیتروژن و پتاسیم شد. غلظت فلزات سرب و کادمیم در منطقه معدن به طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. با توجه به نتایج این تحقیق مبنی بر اثرهای منفی فعالیت معدن‌کاوی، باید اصلاح خاک آلوده در این مناطق در دستور کار سازمان‌های ذی‌ربط قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، سرب، کادمیم، معدن‌کاوی.

### مقدمه

مهم‌ترین (Mahdavi and Khermandar, 2015). آلاینده‌های خاک شامل مواد آلی، فلزات سنگین و بارش‌های اسیدی است که از این میان فلزات سنگین به واسطه تجزیه‌ناپذیر بودن و سمیت زیاد مورد توجه‌اند (Kumpiene et al., 2007). معدن‌کاوی از جمله مهم‌ترین فعالیت‌های انسانی است که سبب ورود فلزات سنگین به خاک می‌شود (Yalcin et al., 2007).

فعالیت‌های بی‌رویه بشر در دهه‌های اخیر، سبب تجمع مواد آلاینده در خاک شده است که آثار منفی و زیان‌بار آن بر سلامت انسان و موجودات دیگر، تهدید جدی زیست‌محیطی و عامل برهم خوردن تعادل و توازن آن محسوب می‌شود (Norouzi Haroni et al., 2018;).

می‌توان به سرب و کادمیم اشاره کرد. غلظت آلاینده فلزات سرب و کادمیم در خاک به ترتیب در دامنه ۴۰۰-۱۰۰ و ۱۰-۸ میلی‌گرم در کیلوگرم است (Alloway, 2013).

در زمینه تأثیر فعالیت معدن کاوی بر محیط زیست تحقیقات زیادی انجام گرفته است. Hafezi Moghadas et al. (2010)، به بررسی تأثیرات زیست‌محیطی معادن زغال سنگ اولنگ در حوضه آبریز قره‌چای بر منابع آب و خاک، ناپایداری دامنه‌ها و نیز فرسایش بستر رودخانه پرداختند. نتایج نشان داد که زه‌آب معادن سبب کاهش pH و مواد آلی آبراهه‌ها شد، اما تغییر چندانی در مقدار فلزات سنگین و دیگر ویژگی‌ها ایجاد نکرد. Yazdi et al. (2010) آلودگی ژئوشیمیایی آب در معدن البرز لایچ در بخش مرکزی البرز و نزدیک شهرستان آمل در اثر معدن کاوی را بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که مقدار آلودگی آب و خاک حاصل از تأثیر زغال سنگ در منطقه کم است. Ahirwal and Kumar Mait (2016) در تحقیق خود به بررسی اثر فعالیت معدن کاوی بر خصوصیات خاک منطقه معدن (خاک سطحی، محل دپو باطله‌ها و زمین کشاورزی) و منطقه اصلاح‌شده پرداختند. نتایج نشان داد که pH، EC و چگالی ظاهری در منطقه معدن کاوی، افزایش و مقدار عناصر غذایی (نیترژن، پتاسیم، فسفر) کاهش یافته است. Pandey et al. (2017) در پژوهش خود به بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه معدن در فصول مختلف در هند پرداختند. نتایج نشان داد که دما و چگالی خاک در منطقه معدن بیشتر از منطقه شاهد بود. مقادیر pH و کربن آلی خاک در منطقه معدن به‌طور معنی‌داری کمتر از منطقه شاهد بود.

با توجه به اطلاعات موجود، تاکنون در زمینه تأثیر فعالیت‌های معدن بر خصوصیات خاک در جنگل‌های شمال کشور پژوهشی صورت نگرفته است. با توجه به آثار انکارناپذیر و مخرب فعالیت معدن کاوی بر

معدن کاوی در تاریخ بشری سابقه‌ای طولانی دارد. انسان از گذشته‌های دور نیازهای خود را به روش‌های مختلف از زمین تأمین کرده و معدن کاوی نیز همراه با توسعه جوامع بشری به تکامل رسیده است. امروزه معدن از پایه‌های توسعه اقتصادی کشور است و از سوی دیگر از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط زیست نیز به‌شمار می‌آید که در این بین معادن زغال سنگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. بیشتر معادن زغال سنگ در شمال کشور، در بوم‌سازگان جنگلی واقع شده‌اند. از این‌رو این مسئله افزون‌بر تخریب بخش وسیعی از منابع جنگلی کشور، سبب بروز خسارات زیست‌محیطی و اکولوژیکی نیز می‌شود (Yazdi et al., 2010). به‌طور کلی بهره‌برداری غیراصولی از معادن زغال سنگ در محدوده جنگل، موجب تخریب رویشگاه جنگلی و همچنین تأثیر بر ساختار پوشش گیاهی منطقه می‌شود که از بین آنها می‌توان به تخریب جوامع طبیعی گیاهی (Frouz et al., 2011)، ریشه‌کن شدن درختان، خسارت و صدمه به نهال‌ها اشاره کرد (Sarma et al., 2005).

معدن کاوی نه‌تنها سبب تغییر و تخریب پوشش گیاهی می‌شود، بلکه بر مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و همچنین چرخه عناصر غذایی که عوامل اصلی و اساسی در سلامت اکوسیستم هستند، نیز اثرگذار است (Ghose, 2005). اجرای فعالیت معدن کاوی ممکن است سبب کوبیدگی خاک و از بین رفتن خاکدانه‌ها شود. همچنین از دیگر تأثیرات معدن کاوی می‌توان به تأثیر آن بر خصوصیات خاک جنگلی مانند فقیر شدن، تخریب، فرسایش و آلوده شدن خاک با عناصر سنگین اشاره کرد (Mohapatra and Goswami, 2012). تجمع مقدار زیاد این عناصر در گیاه نیز سبب کاهش جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، اختلال در فرایندهای متابولیسمی و کاهش رشد و تولید گیاهی می‌شود (Xu and Shi, 2000). از جمله فلزات سنگین که در طی فرایند معدن کاوی به سطح خاک اضافه می‌شود،

درجه سانتی‌گراد در آذر است. بیشترین بارندگی در فصل پاییز با ۳۳۲ میلی‌متر و کمترین آن در فصل تابستان با ۱۱۰ میلی‌متر رخ داد.

### روش پژوهش

برای اجرای این پژوهش، پس از جنگل‌گردشی، موقعیت معدن زغال سنگ در منطقه مشخص شد (شکل ۱). براساس نظر کارشناسان و همچنین اطلاعات موجود، در طی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵ از معدن مورد نظر به‌شکل سنتی (به‌صورت دستی و بدون استفاده از ابزارآلات مکانیزه) بهره‌برداری زغال سنگ انجام گرفت. در حدود شش ماه قبل از اجرای پژوهش حاضر و تهیه نمونه (تابستان ۱۳۹۵)، بهره‌برداری از این معدن به‌دلیل بازده کم و کاهش درآمد بهره‌برداری متوقف شد.

برای بررسی اثر فعالیت معدن کاوی بر خصوصیات خاک، سطح مربع‌شکلی به ابعاد  $200 \times 200$  متر با مرکزیت معدن در نظر گرفته شد. در این سطح با روش آماربرداری تصادفی منظم با ابعاد شبکه ۶۰ در ۶۰ متر، ۱۶ قطعه نمونه با ابعاد  $20 \times 20$  متر مشخص شد (Kooch et al., 2012; Rafeiejahed et al., 2014) و موقعیت مرکز هر قطعه نمونه با استفاده از دستگاه GPS ثبت شد (شکل ۱). سپس منطقه‌ای در مجاور معدن که تحت تأثیر فعالیت معدن کاوی نبود، به‌عنوان منطقه شاهد در نظر گرفته شده و با روش مشابه، قطعه نمونه در آن مشخص شد. به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی خاک، در مرکز هر قطعه، یک نمونه از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر تهیه شد (Pandey et al., 2017). برای بررسی خصوصیات شیمیایی خاک در هر قطعه نمونه، ابتدا در چهار جهت اصلی از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر ریزنمونه برداشت شد. ریزنمونه‌ها با هم آمیخته شدند و یک نمونه مرکب از هر قطعه نمونه تهیه شد. نمونه‌های خاک در کیسه‌های پلاستیکی ریخته و به آزمایشگاه منتقل شد.

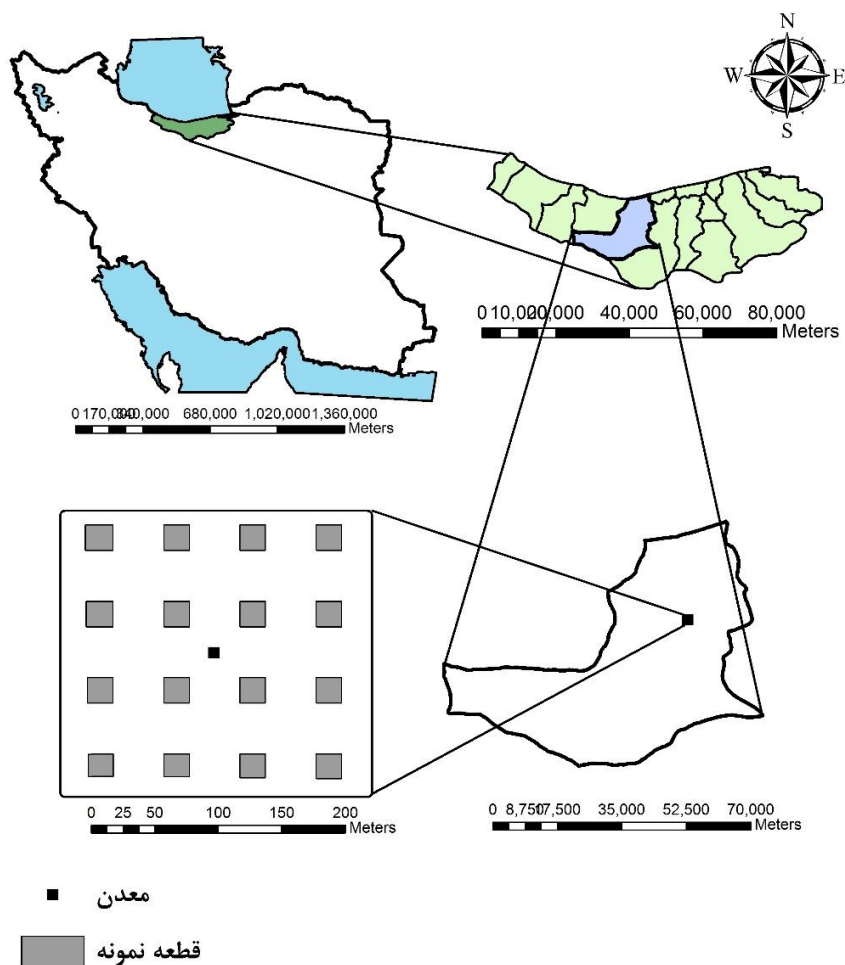
خصوصیات جنگل، ارزیابی آثار زیست‌محیطی و بررسی شدت خسارت ناشی از فعالیت‌های آنها می‌تواند در شناسایی، پیشگیری و کنترل عوامل آلوده‌کننده و همچنین در برنامه‌ریزی دقیق برای احیا و بازسازی مناطق تخریب‌یافته و مدیریت برای بهره‌برداری پایدار از بوم‌سازگان جنگلی مؤثر باشد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه پژوهش

این پژوهش در سری ۲ طرح جنگلداری لایوچ (جنگل پلم کتی) در حوالی روستای لایوچ از توابع شهرستان نور انجام گرفت (حوزه آبخیز ۴۹). منطقه دارای حدود ارتفاعی بین ۱۲۷۰-۹۵۰ متر از سطح دریاست و در جهت عمومی غربی تا جنوب غربی با شیب عمومی ۳۰ درصد قرار دارد. براساس اطلاعات مندرج در کتابچه طرح جنگلداری، میزان نفوذپذیری و پایداری سنگ مادری خیلی ضعیف و دارای شرایط رانش است (Anonymous, 1996).

منطقه لایوچ روی سازند شیلی زغال‌دار شمشک قرار گرفته است. در نقشه پهنه رسوبی-ساختاری ایران، منطقه لایوچ در شمال زون البرز مرکزی جای دارد. بیشتر واحدهای رسوبی این منطقه مربوط به دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک است. واحدهای زغال سنگی این منطقه در سازند شمشک با سن تریاس پایانی تا ژوراسیک آغازین تشکیل شده‌اند. سنگ‌های دربرگیرنده زغال سنگ‌ها در این معادن اغلب شامل ماسه‌سنگ، شیل، ماسه‌سنگ آهکی، سیلت و آرژیلیت است (Yazdi and Esmailnia, 2004). تیپ خاک از نوع قهوه‌ای شسته‌شده با افق آرژیلیک و از نظر نفوذپذیری در افق بالا خوب و در عمق ضعیف است. pH خاک نیز حدود ۵/۵-۶ است. براساس آمار بلندمدت اداره تحقیقات هواشناسی کاربردی مازندران، حداکثر مطلق دمای سالانه ایستگاه چمستان (نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه لایوچ)، ۴۰ درجه سانتی‌گراد در خرداد و حداقل مطلق دما ۸/۵-



شکل ۱- موقعیت معدن زغال سنگ و قطعات برداشت نمونه در منطقه تحقیق

عصاره‌گیری با اس‌تات آمونیم نرمال (Bower et al., 1952) اندازه‌گیری شد. در این پژوهش به منظور اندازه‌گیری غلظت کل عناصر سرب و کادمیم در خاک از روش هضم با اسید سولفوریک تحت فشار استفاده شد (Jackson, 1967). پس از عصاره‌گیری غلظت عناصر سرب و کادمیم با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Analiticjena, Contra AA) اندازه‌گیری شد.

### روش تحلیل

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون بررسی شد. خصوصیات خاک بین دو منطقه با

در آزمایشگاه، ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل درصد رطوبت به روش وزنی، چگالی ظاهری به روش کلوخه (Brasher et al., 1966) و بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1951) تعیین شد. ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل اسیدیته (pH) به روش پتانسیومتری (Anonymous, 1980); هدایت الکتریکی (EC) به روش هدایت‌سنجی (نسبت خاک به آب برابر با ۱ به ۲/۵)، کربن آلی به روش والکی و بلاک (Allison, 1975)، نیتروژن به روش کجلدال (Anonymous, 1990)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen et al., 1954) و پتاسیم به روش

معدن نشان داد که چگالی ظاهری (در سطح ۵ درصد)، درصد رطوبت و رس (در سطح ۱ درصد) دارای اختلاف معنی‌دارند و خصوصیات شن و سیلت اختلاف معنی‌داری ندارند. چگالی ظاهری و درصد رطوبت خاک در منطقه شاهد به‌طور معنی‌دار بیشتر از منطقه معدن بود، درحالی که درصد رس خاک در منطقه معدن به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقه شاهد بود (جدول ۱).

استفاده از نرم‌افزار SPSS v.16 و آزمون t مستقل مقایسه شد. همبستگی بین خصوصیات خاک با کمک تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) با استفاده از نرم‌افزار PC-ORD v 5.0 بررسی شد.

## نتایج

### مشخصات فیزیکی

براساس یافته‌های این پژوهش، مقایسه مشخصه‌های فیزیکی خاک بین دو منطقه شاهد و

جدول ۱- میانگین خصوصیات فیزیکی خاک در منطقه شاهد و معدن

مقدار آماره t	میانگین $\pm$ انحراف معیار	منطقه	مشخصات فیزیکی
۲/۳۲*	$\pm 0/111/92$	شاهد	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
	$0/63 \pm 1/61$	معدن	
۷/۲۴**	$1/87 \pm 52/34$	شاهد	رطوبت (درصد)
	$1/99 \pm 32/53$	معدن	
۳/۲۸**	$0/91 \pm 6/63$	شاهد	رس (درصد)
	$1/52 \pm 12/47$	معدن	
0/195 <sup>ns</sup>	$1/43 \pm 20/92$	شاهد	شن (درصد)
	$6/93 \pm 20/49$	معدن	
1/98 <sup>ns</sup>	$1/59 \pm 72/44$	شاهد	سیلت (درصد)
	$2/21 \pm 67/03$	معدن	

\*:  $p < 0/05$ ; \*\*:  $p < 0/01$ ; ns: بدون اختلاف معنی‌دار

### غلظت فلزات سنگین در خاک

غلظت فلزات سنگین در دو منطقه شاهد و معدن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بود. جدول ۳ نشان می‌دهد که متوسط غلظت کادمیم و سرب در منطقه معدن به‌طور معنی‌دار بیشتر از منطقه شاهد است.

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در مناطق تحت بررسی نشان داد که مؤلفه‌های اصلی محور اول و دوم به ترتیب ۳۰/۸۴ و ۱۶/۳۸ درصد از تغییرات منطقه‌های تحت بررسی را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). همچنین بیشترین تمرکز منطقه‌های

### مشخصات شیمیایی

براساس یافته‌های این پژوهش در زمینه مقایسه خصوصیات شیمیایی خاک بین دو منطقه، مشخصه‌های اسیدیته، نیتروژن کل، کربن آلی و فسفر دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد و هدایت الکتریکی و پتاسیم دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بودند. مشخصه‌های اسیدیته، هدایت الکتریکی و نیتروژن کل در منطقه شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقه معدن و پارامترهای فسفر و پتاسیم در منطقه معدن به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقه شاهد بودند (جدول ۲).

آلی و نیتروژن با منطقه شاهد بیشترین همبستگی را داشتند، درحالی که خصوصیات، رس، سیلت، آهک، پتاسیم، سرب و کادمیم با منطقه معدن بیشترین همبستگی را نشان دادند.

شاهد و معدن (به صورت قطعات نمونه مورد بررسی، C: شاهد و M: معدن) به ترتیب در سمت راست و چپ محور اول قرار گرفت (شکل ۲). خصوصیات رطوبت، چگالی ظاهری، درصد شن، pH، EC، کربن

جدول ۲- میانگین خصوصیات شیمیایی خاک در منطقه‌های شاهد و معدن

مقدار آماره t	میانگین $\pm$ انحراف معیار	منطقه	مشخصات شیمیایی
۲/۲۸*	۰/۱۶ $\pm$ ۶/۵۲	شاهد	اسیدیته
	۰ $\pm$ ۰/۶۰۸/۰۹	معدن	
۳/۸۱**	۰/۰۲ $\pm$ ۰/۸۸	شاهد	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
	۰/۰۳ $\pm$ ۰/۷۱	معدن	
۲/۱۰*	۰/۰۱ $\pm$ ۰/۳۸	شاهد	نیتروژن (درصد)
	۰/۰۳ $\pm$ ۰/۳۱	معدن	
۲/۳۱*	۰/۹۲ $\pm$ ۹/۱۸	شاهد	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
	۱/۳۳ $\pm$ ۱۲/۹۴	معدن	
۳/۷۶**	۱۷/۸۱ $\pm$ ۳۰۸/۹۸	شاهد	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
	۲۱/۵۸ $\pm$ ۴۱۴	معدن	
۲/۶۸*	۰/۳۵ $\pm$ ۷/۳۰	شاهد	کربن آلی (درصد)
	۰/۳۴ $\pm$ ۵/۹۷	معدن	
۲/۱۹*	۰/۲۱ $\pm$ ۳/۳۰	شاهد	درصد آهک
	۰/۳۰ $\pm$ ۴/۱۱	معدن	

ns: بدون اختلاف معنی‌دار؛ \* $p < 0.05$ ؛ \*\* $p < 0.01$ ؛ \*\*\* $p < 0.001$

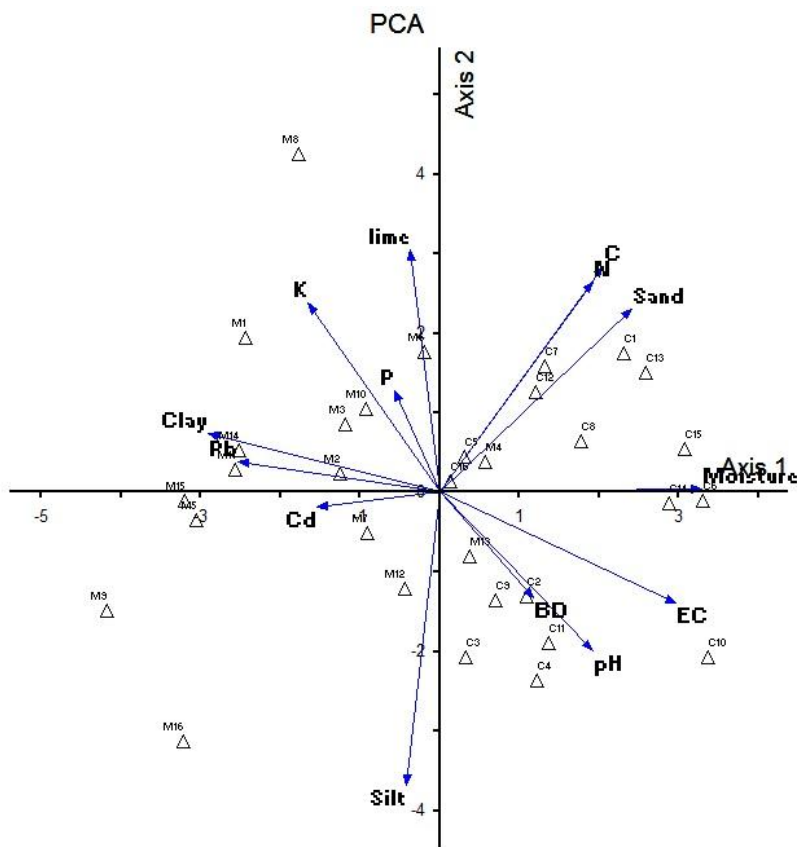
جدول ۳- میانگین غلظت فلزات سنگین خاک در منطقه‌های شاهد و معدن

مقدار آماره t	میانگین $\pm$ انحراف معیار	منطقه	
۳/۱۱**	۱۵/۷۷ $\pm$ ۱۳۱/۷۱	شاهد	کادمیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
	۶/۲۶ $\pm$ ۱۸۴/۴۷	معدن	
۴/۳۵**	۰/۱۷ $\pm$ ۹/۴۲	شاهد	سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
	۰/۳۰ $\pm$ ۱۰/۹۷	معدن	

\*\*\* $p < 0.001$

جدول ۴- خروجی آنالیز PCA برای خصوصیات خاک در منطقه‌های شاهد و معدن

محور	مقدار شاخص ارزش ویژه	درصد واریانس
۱	۴/۳۱	۳۰/۸۴
۲	۲/۲۹	۱۶/۳۸
۳	۱/۶	۱۱/۴۳



شکل ۲- پراکنش متغیرهای محیطی در تجزیه مؤلفه‌های اصلی PCA

## بحث

در این پژوهش اثر فعالیت معدن‌کاوی روی خصوصیات خاک بررسی شد. نتایج نشان داد که مقدار رطوبت و چگالی ظاهری خاک بین دو منطقه اختلاف معنی‌داری دارد و در منطقه شاهد بیشتر از منطقه معدن است. کمتر بودن چگالی ظاهری در منطقه معدن ممکن است به دلیل دخالت، ایجاد اختلال در خاک و به هم خوردن ساختمان خاک باشد. نتایج به دست آمده همسو با یافته‌های Sadhu et al., (2012) و Ghose (2005) است. به طور کلی رطوبت خاک در اطراف معدن بسیار متغیر است و به زمان، ضخامت سنگ و ضایعات معدن بستگی دارد. همچنین دلیل دیگر کمتر بودن رطوبت ممکن است ناشی از کمتر بودن مواد آلی و همچنین چگالی

ظاهری خاک باشد (Maiti, 2006). نتایج این تحقیق در مورد چگالی ظاهری نیز موافق با نتایج Pandey et al. (2017) و Zang et al. (2017) بود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مقدار رس در منطقه معدن به طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. Pandey et al. (2017) در معدنی واقع در منطقه چهارپا در هند بیان کردند که در طی عملیات استخراج و جابه‌جایی زغال سنگ، مقادیر زیادی زغال سنگ و همچنین ضایعات آن در سطح خاک منطقه پراکنده می‌شود که حاوی کانی‌هایی مانند ایلیت و کائولینیت است؛ بنابراین دلیل بیشتر بودن رس در منطقه معدن ممکن است هوازدگی این ضایعات باشد که در طی عملیات استخراج معدن به سطح خاک اضافه می‌شوند. همچنین می‌توان برداشت لایه‌هایی

آبشویی می‌شوند و به لایه‌هایی پایینی خاک انتقال می‌یابند ( Derome and Lindroos, 1998; Eruola, et al., 2015).

مقدار کربن آلی در منطقه معدن به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود که مهم‌ترین دلیل آن، قطع درختان، حذف پوشش گیاهی منطقه و در نهایت باز نگشتن مواد آلی به خاک در طی فرایند لاشه‌ریزی و در نتیجه سرعت کم تجزیه مواد آلی در منطقه معدن است. نتایج این تحقیق همسو با یافته‌های Sadhu et al. (2012) بود.

مقدار نیتروژن خاک در منطقه معدن به‌طور معنی‌داری کمتر از منطقه شاهد بود. این نتایج با یافته‌های Aghasi et al. (2011) و Talukdar et al. (2016) همسوست. دلیل اصلی کمتر بودن نیتروژن در منطقه معدن، کمتر بودن مواد آلی است، زیرا در خاک‌های جنگلی، تجزیه مواد آلی از دلایل اصلی افزایش مقدار نیتروژن در خاک است (Aghasi et al., 2011). دلیل دیگر کمتر بودن مقدار نیتروژن را می‌توان اثر فلزات سنگین بر فعالیت میکروارگانیزم‌های خاک بیان کرد. فلزات سنگین مانند سرب و کادمیم سبب کاهش فعالیت میکروارگانیزم‌هایی می‌شود که در چرخه نیتروژن خاک فعالیت دارند (Hamsa et al., 2017). مقدار فسفر در منطقه معدن به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقه شاهد بود که همسو با یافته‌های Talukdar et al. (2016) است. دلیل بیشتر بودن فسفر در خاک منطقه معدن، می‌تواند تثبیت فسفر توسط اکسیدهای آهن باشد که این اکسیدها در طی فرایند هوازدگی ضایعات معدن تشکیل شده و در نهایت سبب نگهداری فسفر در خاک می‌شوند (Rout et al., 2014). مقدار پتاسیم در منطقه معدن به‌طور معنی‌داری کمتر از منطقه شاهد بود که دلیل آن ممکن است کمتر بودن تجزیه لاشه‌برگ و باز نگشتن کاتیون‌های قلیایی به سطح خاک در منطقه معدن باشد. همچنین با توجه به اینکه اضافه شدن

روی و جابه‌جایی لایه‌های زیرین خاک را عامل دیگری در زیاد بودن مقدار رس بیان کرد.

مقدار واکنش خاک در منطقه معدن به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود. نتایج این تحقیق موافق با نتایج Pandey et al. (2017) و Zang et al. (2017) بود. به‌طور کلی واکنش خاک در منطقه معدن ممکن است به‌واسطه هوازدگی و اکسیداسیون سنگ‌ها سریع تغییر کند. کانی‌های  $FeS_2$  هنگام اکسید شدن سبب تولید اسیدسولفوریک شده و در نهایت سبب کاهش pH خواهد شد. همچنین می‌توان بیان کرد که قطع درختان و حذف پوشش گیاهی، به افزایش مقدار آب رسیده به سطح خاک می‌انجامد که در پی آن آبشویی کاتیون‌های قلیایی رخ خواهد داد.

هدایت الکتریکی در منطقه معدن به‌طور معنی‌داری کمتر از منطقه شاهد بود که با یافته‌های Sadhu et al. (2012) همسوست. درحالی‌که Pandey et al. (2017) بیان کردند که مقدار هدایت الکتریکی در مجاور معدن بیشتر است. کمتر بودن هدایت الکتریکی ممکن است ناشی از کمتر بودن مواد آلی نسبت به منطقه شاهد باشد. در منطقه شاهد در لایه سطحی خاک شرایط برای فعالیت میکروارگانیزم‌ها فراهم است، به‌طوری‌که میکروارگانیزم‌ها با تجزیه مواد آلی، سبب آزادسازی یون‌های معدنی به خاک و در نتیجه افزایش غلظت املاح محلول در خاک و متعاقب آن، افزایش هدایت الکتریکی می‌شوند (Oswald et al., 1999). دلیل دیگر کاهش هدایت الکتریکی در منطقه معدن ممکن است اضافه شدن فلزات سنگین به خاک سطحی باشد. فلزات سنگین مانند سرب و کادمیم جایگاه منفی روی کلئیدهای خاک (مواد آلی و رس‌ها) را اشغال می‌کنند و بنابراین کاتیون‌های قلیایی در خاک کاهش می‌یابد؛ به‌عبارت دیگر فلزات سنگین جانشین کاتیون‌های قلیایی روی سطوح کلئیدها می‌شوند و با توجه به باز بودن تاج پوشش و بیشتر بودن مقدار آبی که به سطح خاک می‌رسد، کاتیون‌های قلیایی



مشکلات زیست‌محیطی عناصر سمی، افزوده شدن آنها در طی فرایند آبشویی به خاک و آب‌های زیرزمینی است (Sarma et al., 2005) که موجب آلودگی منابع آبی می‌شود و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی را تغییر می‌دهد.

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بیانگر آن است که مؤلفه‌های اصلی اول شامل هدایت الکتریکی، واکنش خاک، نیتروژن، سرب، شن و رس بودند؛ پس می‌توان گفت که این مشخصات بیشترین تغییرات را در خصوصیات خاک ایجاد کردند. با توجه به شکل ۲ بیشترین تمرکز منطقه‌های شاهد و معدن به ترتیب در سمت راست و چپ محور اول قرار دارد. با توجه به اینکه پارامترهای غلظت سرب و کادمیم با منطقه معدن همبستگی زیادی داشتند، می‌توان بیان کرد که معدن‌کاوی سبب افزایش غلظت این عناصر در خاک شده است.

### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد که معدن‌کاوی تأثیرات معنی‌داری بر خصوصیات خاک دارد. نتایج مؤید آن است که مقدار رطوبت، واکنش خاک، هدایت الکتریکی، غلظت نیتروژن کل و پتاسیم در خاک منطقه شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقه معدن است. همچنین غلظت فلزات سرب و کادمیم در منطقه معدن به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقه شاهد است. با توجه به محدود بودن مساحت جنگل‌های شمال کشور و همچنین مسئله تخریب آنها، حفاظت و بازسازی این مناطق ضروری است؛ بنابراین آگاهی از ویژگی‌های خاک در مناطق تخریب‌شده، به‌ویژه تحت تأثیر فعالیت معدن‌کاوی، به ما در شناخت بهتر شدت تغییرات، خسارت‌ها و معرفی راهکارهای مناسب برای مدیریت پایدار جنگل و احیای این مناطق کمک خواهد کرد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و اثرهای منفی فعالیت معدن‌کاوی، باید نظارت و پایش دقیق‌تر

فلزات سنگینی مانند سرب و کادمیم به خاک سطحی ممکن است سبب جایگزینی آنها با کاتیون‌هایی قلیایی از جمله پتاسیم روی سطح کلوئیدها شود، با ورود بیشتر آب به کف جنگل (در اثر باز شدن تاج‌پوشش) آبشویی پتاسیم از لایه‌های بالایی خاک رخ خواهد داد (Eruola, et al., 2015). نتایج پژوهش در زمینه پتاسیم خاک، همسو با یافته‌های Sadhu et al. (2012) و Talukdar et al. (2016) بود. فعالیت معدن‌کاوی موجب افزایش مقدار سرب و کادمیم در خاک شد. Rout et al. (2014) و Pandey et al. (2017) نیز در تحقیق خود افزایش مقدار فلزات سنگین در خاک معدن را گزارش کردند که دلیل آن را می‌توان تولید ضایعات معدن و انباشت آنها در منطقه و همچنین غبار ناشی از خروج زغال سنگ و خود زغال سنگ بیان کرد. با توجه به آب‌وهوای معتدل و مرطوب هوازدگی ضایعات معدن که در مجاورت معدن انباشته می‌شوند، سبب آزاد شدن مقادیر زیادی از فلزات سنگین به خاک خواهد شد (Masto et al., 2011). عناصری مانند کادمیم و سرب مورد نیاز گیاه نیستند؛ غلظت بالای آنها در خاک منجر به ایجاد شرایط اسیدی و همچنین کاهش فعالیت جوامع میکروبی در خاک می‌شود (Lamhamdi et al., 2011). در بین عناصر سمی، کادمیم مهم‌ترین عنصر فلزی آلاینده خاک است که غلظت زیاد آن به کاهش فتوسنتز، کاهش جذب آب و مواد غذایی و حتی نهایت مرگ گیاه منجر می‌شود (Paz-Ferreiro et al., 2013). سرب نیز دیگر از عناصر مهم آلاینده زیست‌محیطی است که وجود بیش از حد آن در خاک تأثیرات منفی بر گیاهان دارد (Lamhadi et al., 2011). عناصر سمی در مواد مادری خاک جذب گیاهان نمی‌شوند و بنابراین اثر بسیار کمی بر گیاهان دارند، درحالی که فلزاتی که از طریق فعالیت‌های انسانی به خاک اضافه می‌شوند، جذب‌شدنی‌اند و تأثیرات منفی زیادی بر موجودات زنده خواهند داشت (Lamb et al., 2009). از دیگر

و مؤثر بر عملیات معدن کاوی و عملیات احیایی اصلاح خاک آلوده در این مناطق در دستور کار سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور قرار گیرد.

## References

- Aghasi, B., Jalalian, A., & Honarjoo, N. (2011). Decline in soil quality as a result of landuse change in Ghareh Aghaj watershed of Semirrom, Isfahan, Iran, *African Journal of Agricultural Research*, 6(4), 992-997.
- Ahirwal, J., & Kumar Maiti, S. (2016). Assessment of soil properties of different land uses generated due to surface coal mining activities in tropical Sal (*Shorea robusta*) forest, India. *Catena*, 140, 155-163.
- Allison, L. E. (1975). Organic carbon. In: Black CA ed Methods of soil analysis, part 2. American Society of Agronomy, *Madison*, pp 1367.
- Alloway, B.J. (2013). Sources of heavy metals and metalloids in soils. In *Heavy metals in soils*. Springer Netherlands, 11-50
- Anonymous, (1980). Soil and Plant Testing and Analysis as a Basis of Fertilizer Recommendation, F.A.O. *Soils Bulletin*, 38, 295.
- Anonymous. (1990). Kjeltex System 1902 Manual. Tecatorab, Hoganas.
- Anonymous. (1996). Forest Management Plan of Lavij Forest. Published by Forests, Range and Watershed Management Organization of Iran.
- Bouyoucos, G.J. (1951). A recalibration of the hydrometer for making mechanical analysis of soils. *American Society of Agronomy*. 43, 434-438.
- Bower, C.A., Reitemeier, R.F., & Fireman, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*. 73, 251-261.
- Brasher, B., Franzmeier, D., Valassis, V., & Davidson, S.E. (1966). Use of Saran Resin to Coat Natural Soil Clods for Bulk-Density and Water-Retention Measurements. *Soil Science*, 101, 108p.
- Derome, J., & Lindroos, A.J. (1998). Effects of heavy metal contamination on macronutrient availability and acidification parameters in forest soil in the vicinity of the Harjavalta Cu- Ni smelter, SW Finland. *Environmental pollution*, 99, 225-232.
- Eruola, A.O., Azike, N.I., & Ogunyemi, I.O. (2015). Assessment of the effects of cadmium and lead on pH and cation exchange capacity of soil under different plant canopy in the tropical wet-and dry climate. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 19, 659-663.
- Frouz, J., Kalčík, J., & Velichová, V. (2011). Factors causing spatial heterogeneity in soil properties, plant cover, and soil fauna in a non-reclaimed post-mining site. *Ecological Engineering*, 37(2), 1910-1913.
- Ghose, M.K. (2005). Soil conservation for rehabilitation and revegetation of mine-degraded land. *TIDEE – TERII Information Digest on Energy and Environment*, 4(2), 137-150.
- Hafezi Moghaddas, N., Kazemi, G.A., Amiri Moghaddam, H.R., Sanchooli, R., & Hejazi Nejad, F.S. (2010). The Environmental Impacts of Mining in Olang Area, Golestan Province (South Ramian). *Geosciences*, 75(19), 108-103.
- Hamsa, N., Yogesh, G.S., Koushik, U., & Patil, L. (2017). Nitrogen transformation in soil: effect of heavy metals. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6, 816-832.
- Jackson, M (1967) Soil Chemical Analysis Ed Prentice Hall of India Private Limited New Delhi

- Kooch, Y., Hosseini, S.M., Zaccone, C., Jalilvand, H., & Hojjati, S.M. (2012) Soil organic carbon sequestration as affected by afforestation: the Darab Kola forest north of Iran case study. *Journal of Environmental Monitoring*, 14, 2438-2446.
- Kumpiene, J., Lagerkvist, A., & Maurice, C. (2007). Stabilization of Pb- and Cu-contaminated soil using coal fly ash and peat. *Environment Pollution*. 145, 365–373.
- Lamb, D.T., Ming, H., Megharaj, M., & Naidu, R. (2009). Heavy metal (Cu, Zn, Cd and Pb) partitioning and bioaccessibility in uncontaminated and long-term contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, 171(1), pp.1150-1158.
- Lamhamdi, M., Bakrim, A., Aarab, A., Lafont, R., & Sayah, F. (2011). Lead phytotoxicity on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination and seedlings growth. *Comptes Rendus Biologies*, 334(2), pp.118-126.
- Mahdavi, A., & Khermandar, K. (2015). Assessment of the potential of *Acacia victoriae* seedlings in uptake of lead and zinc heavy metals. *Iranian Journal of Forest*, 7(2), 195-208.
- Maiti, S.K. (2006). Properties of minesoil and its affects on bioaccumulation of metals in tree species: A case study from a large opencast coalmining project. *International Journal of Mining Reclamation and Environment*, 20(2), 96 – 110.
- Masto, R.E., Ram, L.C., George, J., Selvi, V.A., Sinha, A.K., Verma, S.K., Rout, T.K., Priyadarshini, & Prabal, P. (2011). Impacts of opencast coal mine and mine fire on the trace elements content of the surrounding soil vis-à-vis human health risk. *Toxicology Environmental Chemistry*. 93, 223-237.
- Mohapatra., H., & Goswami, S. (2012). Impact of coal mining on soil characteristics around LB river coalfield, Orissa, India. *Journal of environmental Biology*, 751-756.
- Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A.L., Miller, R.H. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Agronomy, vol.9, 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison. WI, 961–1010.
- Norouzi Haroni, N., Badehian, Z., & Zarafshar, M. (2018). The effect of Oil Sludge Contamination on Seed Germination Response and Initial Growth of Several Broadleaf Saplings. *Iranian Journal of Forest*, 9(4), 467-480.
- Oswald, B.P. Cavenport, D., & Neenschwander, L.F. (1999). Effects of slash pile burning on the physical soil properties of Vasser soils, *Journal of Sustainable Forestry*, 8, 68-75.
- Pandey, B., Mukherjee, A., Agrawal, M., & Singh, S. (2017). Assessment of Seasonal and Site Specific Variations in Soil Physical, Chemical and Biological Properties around Opencast Coal Mines. *Pedosphere*.
- Paz-Ferreiro, J., Lu, H., Fu, S., Méndez, A., & Gascó, G. (2013). Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: a review. *Solid Earth Discussions*, 5(2). 2155-2179.
- Rafeiejahed, R.R., & Hosseini, S.M. (2014) The effect of natural and planted forest stands on soil fertility in the Hyrcanian region, Iran. *Biodiversitas*, 15, 206-214.
- Rasouli-Sadaghiani<sup>1</sup>, M.H., Karimi, S., Khodaverdiloo, H., Barin, M., & Banj-Shafiei, A. (2016). Impact of forest ecosystem land use on soil physico-chemical and biological indices. *Iranian Journal of Forest*, 8(2), 167-178.
- Rout, T.K., Masto, R.E., Padhy, P.K., George, J., Ram, L.C., & Maity, S. (2014). Dust fall and elemental flux in a coal mining area. *Journal of Geochemical Exploration*. 144, 443–455.
- Sadhu, K., Adhikari, K., & Gangopadhyay, A., (2012). Effect of mine spoil on native soil of Lower Gondwana coal fields: Raniganj coal mines areas, India. *International Journal of Environmental Sciences*, 2(3), 1675-1687.

- Sarma, K. (2005). "Impact of Coal Mining on Vegetation: A case Study in Jaintia Hills District of Meghalaya, India". Msc, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), 85p.
- Talukdar, B., Kalita, H.K., Basumatary, S., & Sarma, D. (2016). Impact of Coal Mining on Soil Characteristics of Simsang River, Meghalaya India. *Journal of Fundamental Renewable Energy Application*, 6, 219.
- Xu, Q., & Shi, G. (2000). The toxic effects of single Cd and interaction of Cd with Zn on some physiological index of [*Oenanthe javanica* (Blume) DC]. *Nanjing shida xuebao* (Natural Science) 23(4), 97-100.
- Yalcin, M. G., Battaloglu, R., & Ilhan, S. (2007). Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environmental Geology*, 53, 399-415.
- Yazdi, M., & Esmailnia, A. (2004). Geochemical properties of coal in the Lushan coalfield of Iran. *International Journal of Coal Geology*, 60, 73-79.
- Yazdi, M., Esmailpur, R., Navi, P., & Khakzad, A. (2010). Geochemical Environmental Impacts of Lavij Coal Deposit in the Central Alborz. *Environmental Sciences*, 8 (1), 1-10. (In Persian).
- Zang, F., Wang, S., Nan, Z., Ma, J., Zhang, Q., Chen, Y., & Li, Y. (2017). Accumulation, spatio-temporal distribution, and risk assessment of heavy metals in the soil-corn system around a polymetallic mining area from the Loess Plateau, northwest China. *Geoderma*, 305, 188-196.



*Research Article*

## **The Effect of Traditional Coal Mining on Soil Physical and Chemical Properties and Heavy Metals Concentrations in Lavij Forest**

**M. Tavakoli<sup>1</sup>, S. M. Hojjati<sup>2\*</sup>, and Y. Kooch<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Msc Student of Forestry, Dept. of forestry, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran

<sup>2</sup> Corresponding author Associate professor, Dept. of forestry, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran

<sup>3</sup> Assistant professor, Dept. of forestry, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran

(Received: 27 November 2018, Accepted: 22 January 2019)

### **Abstract**

Mining activity could affect forest ecosystem health by impact on soil quality. Therefore, the purpose of this study was to investigate effects of mining activities on soil properties in series No. 2, Lavij forest. After field visiting and determining the location of the mine, a square area (4 ha) was laid out with a systematic random sampling (60 × 60 m grid) and 16 plots (20 × 20 m) were systematic randomly considered. Then, an area adjacent to the mine, which was not affected by mining activities, was selected and considered as the control area and plots were also considered as the mentioned method. To study the physical and chemical properties of soil in the two areas, a sample was taken from the upper soil layer (0-10 cm) in each plot. In the laboratory, bulk density, moisture, texture, pH, EC, concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium, percentage of organic carbon, lead and cadmium concentrations of soil samples were measured. Results showed that mining caused significant decrease in moisture content, soil pH, and EC, nitrogen and potassium concentrations. The concentration of Pb and Cd in the mining area was significantly higher than the control. According to the results of this study, based on the negative effects of mining activities, it is necessary to consider reclamation of contaminated soil in these areas in the agenda of related Organization.

**Keyword:** mining, soil contamination, lead, cadmium.

