Journal of Range & Watershed Management
https://jrwm.ut.ac.ir/

Volume 77 (3)
Online ISSN: 2423-7795

Soil Sustainability Transformation Analysis Due to Sodium Sulfate Extraction (Case Study: South of Eyvankey City)

Azam Beigi | Naser Mashhadi* | Majid Karimpourreihan

International Desert Research Center, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. Karaj, Iran.
E-mail: nmashhad@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 06 Nov. 2023
Revised: 02 Jun. 2024
Accepted: 10 Jun. 2024
Published online: 22 Oct. 2024

Keywords:
Displaced soil layer,
Laboratory data,
Mining,
Organic matter,
Soil stability index.

Abstract

Mining activities are one of the most persistent causes of soil degradation due to the destabilization of the physicochemical structure of the soil. In this research, quantitative data of soil stability indicators were used to assess the effect of sodium sulfate extraction on soil properties and protective behavior of the earth's surface. The research method was based on tranformations in soil stability indicators, namely, acidity (pH), electrical conductivity (EC), exchangeable sodium percentage (ESP) and sodium absorption ratio (SAR), for natural surfaces (undisturbed topsoil), stripped topsoil layer (displaced soil layer) and sodium sulfate extraction layer. The results show that the concentration of exchangeable sodium percentage and the exchangeable calcium to magnesium ratio in the layer of displaced soil and the extraction layer of sulfate is reduced compared to the natural soil. While the organic matter content of soils does not change in all layers, and the value of electrical conductivity in the sulfate extraction layer is higher than all layers. The results of the soil stability data value show the instability of the displaced soil layer compared to the other two layers.Based on the presented results, it has been shown that the soil instability potential increases due to sodium sulfate extraction.

Cite this article: Beigi, A., Mashhadi, N., Karimpourreihan, M. (2024). Soil sustainability transformation analysis due to sodium sulfate extraction (Case study: South of Eyvankey city). *Journal of Range & Watershed Management*, 77 (3), 265-277. DOI: http//doi.org/10.22059/jrwm.2024.367755.1732

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

نشریه مرتع و آبخیزداری

دوره ۷۷ (۳)
شاپا الکترونیکی: ۷۷۹۵-۲۴۲۳

تجزیه و تحلیل تحولات پایداری خاک در اثر برداشت سولفات سدیم (مطالعه موردی: شهرستان ایوانکی)

اعظم بیگی | ناصر مشهدی* | مجید کریمپوراریحان

مرکز تحقیقات بین المللی بیابان، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
رایانامه: nmashhad@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱

چکیده

فعالیت‌های معدنی یکی از مهمترین علل تخریب خاک در اثر ناپایدار ساختن ساختار فیزیکوشیمیایی خاک است. در این تحقیق از داده‌های کمی شاخص‌های پایداری خاک، برای ارزیابی اثر استخراج سولفات سدیم بر ویژگی‌های خاک و رفتار حفاظتی سطح زمین استفاده شد. روش تحقیق بر پایه، تغییرات شاخص‌های پایداری خاک شامل، اسیدیته، هدایت الکتریکی، سدیم قابل تبادل، نسبت جذب سدیم و نسبت کلسیم قابل تبادل به منیزیم برای سطوح طبیعی (خاک سطحی دست نخورده)، لایه جداسازی شده خاک سطحی (خاک جابجا شده) و لایه برداشت سولفات سدیم انجام شد. نتایج نشان داد که مقدار درصد سدیم قابل تبادل و نسبت کلسیم قابل تبادل به منیزیم در لایه خاک جابجا شده و لایه استخراج سولفات نسبت به خاک طبیعی کاهش یافته است. در حالیکه محتوای ماده آلی خاک، در تمام لایه‌ها تغییری نکرده‌است و مقدار هدایت الکتریکی در لایه استخراج سولفات از همه لایه‌ها بیشتر است. نتایج ارزش داده‌های پایداری خاک نشان‌دهنده ناپایداری لایه خاک جابجا شده نسبت به دو لایه دیگر است. بر اساس نتایج ارائه شده، نشان داده شده است که پتانسیل ناپایداری خاک به دلیل استخراج سولفات سدیم افزایش می یابد.

کلیدواژه‌ها:
خاک جا به جا شده،
شاخص پایداری خاک،
داده‌های آزمایشگاهی،
ماده آلی،
معدن‌کاوی.

استناد: بیگی، اعظم؛ مشهدی، ناصر؛ کریم‌پوراریحان، مجید (۱۴۰۳). تجزیه و تحلیل تحولات پایداری خاک در اثر برداشت سولفات سدیم (مطالعه موردی: شهرستان ایوانکی). *نشریه مرتع و آبخیزداری*، ۷۷(۳)، ۲۷۷-۲۶۵.

DOI: http//doi.org/10.22059/jrwm.2024.367755.1732

ناشر : انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

پلایاها[1] (دریاچه‌های ناپایدار بیابانی[2]) سطوح پست حوزه‌های آبخیز بسته هستند که تحت تاثیر سه رژیم هیدرولوژی[3]، رسوبگذاری[4] و شوری[5] می‌باشند. هر فرایند رسوبگذاری اعم از فیزیکی یا شیمیایی در سطح یا در عمق می‌تواند مستقیم یا غیر مستقیم به رژیم هیدرولوژیک (آبهای سطحی یا زهکشی زیرزمینی) وابسته باشد (Mabbutt, 1977). آثار تسلط و کنترل سه رژیم فوق، در انواع گوناگون سطوح به وجود آمده در پلایا ظاهر می‌شود که به نظر می‌رسد بیشتر توسط طبیعت سطح ایستابی کنترل شود (Neal, 1965). یکی از این سطوح کفه‌های سیلتی–رسی با پوشش گیاهی تنک یا بدون پوشش گیاهی است که بر اساس شرایط سطح ایستابی و با توجه به بافت شکننده و پودری، می‌تواند به طور دوره‌ای، مستعد فرسایش بادی باشند. یکی از ویژگی‌های این سطوح، قرارگیری آنها در محدوده لوله‌های مویین است که باعث صعود و تشکیل نمک‌های مختلف از جمله نمک سولفات سدیم می‌شود که یک ترکیب مشترک بین پلایاهای جهان است (Langbein, 1961 ؛Rosen, 1994). سولفات سدیم نمکی است که ضمن تشکیل یک پوسته تبخیری، به تغییرات شرایط محیطی به ویژه فعالیت انسانی حساس است و به همین دلیل می‌تواند تخریب‌های گسترده‌ای را به وجود آورد. برای علل تخریب طبیعی ناشی از سولفات سدیم، فشار هیدراتاسیون و فشار تبلور ارائه شده است (Tsui et al, 2003 ؛ Flatt et al, 2002).

کیفیت خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌های تشکیل‌شده در این سطوح، تحت تاثیر فرایند رفتار ژئومرفولوژیک حاکم بر مناطق بیابانی است. هر گونه فرایند تخریبی از جمله کاهش تولید زیست‌توده، تغییر کاربری سرزمین و فعالیت اقتصادی انسانی (معدن‌کاوی) باعث تخریب ساختار خاک (Baumgartl et al, 1991) این مناطق می‌شود. وجه مشترک این گونه خاکها همراه با پوسته نمکی سولفات سدیم، پویا بودن این مناطق از لحاظ مرفولوژیکی و ژئوشیمیایی بوده و می‌توانند به سرعت به تغییرات شرایط محیطی محلی پاسخ دهند (Gillette et al, 2001). این تغییرات میتواند طبیعی بوده مانند تناوب خشک – مرطوب شدن سطوح توسط آب باران (Nield et al, 2015) یا آب‌های زیر زمینی و یا تغییرات انسانی به منظور استفاده اقتصادی از منابع نمک‌ها باشد. بنابراین می‌توانند پتانسیل انتشار گرد و خاک را در سطح یک منطقه تغییر دهند (Baddock et al, 2016).

پایداری ساختاری خاک یک ویژگی فیزیکی است که بر رفتار خاک در طی فرآیندهای تخریب تأثیر می‌گذارد (García et al, 2005). این یکی از عوامل اصلی کنترل هیدرولوژی خاک سطحی، قابلیت تشکیل پوسته و فرسایش پذیری است (De Ploey et al, 2020). پایداری خاک را باید اندازه‌گیری کرد و از راه مشاهده نمی‌شود آن را مشخص کرد. پایداری خاک، جز خصوصیات ذاتی آن بوده و تا حد زیادی توسط شیمی خاک تعیین می‌شود. شرایط حاضر خاک بازتابی از ثبات و مدیریت است. پایداری ذاتی یک خاک به تأثیر تعدادی از خواص خاک بستگی دارد. هنگامی که داده‌های آزمایشگاهی در دسترس هستند، نمره پایداری خاک می‌تواند به عنوان راهنمای کلی برای پایداری استفاده شود. امتیاز پایداری خاک مجموع امتیازهای مجزا برای چهار ویژگی خاک: سدیمیت، ماده آلی خاک، نسبت کلسیم به منیزیم و هدایت الکتریکی است (Moore, 2001).

در تمامی مناطق بیابانی ایران، در جایی‌که شرایط از نظر بافت خاک، رطوبت، دما، شرایط آب زیرزمینی و درجه حلالیت و غلظت نمک اجازه دهد نمک سولفات سدیم رسوب می‌کند (Mabbutt, 1977). این مناطق بطور معمول اراضی پایین‌دست دشت‌سرهای پوشیده و بالا دست پلایاها هستند. ته‌نشینی سولفات سدیم به طور معمول در عمق سی سانتیمتری از سطح زمین (بسته به بافت خاک) صورت می‌گیرد. استخراج رو باز این ماده یک فرایند فیزیکی شامل کنار زدن خاک سطحی با وسایل مکانیکی و رسیدن به عمق مناسب خاک همراه با سولفات یا لایه خالص سولفات (بندرت) است. ماده استخراجی از صحرا جمع‌آوری ودر کارخانه دپو می‌گردد و طی فرایندی

[1] Playas
[2] Desert ephemeral lakes
[3] Hydrological regime
[4] Sediment regime
[5] Salinity regime

خلوص آن زیاد شده و مورد استفاده‌های گوناگون قرار می‌گیرد. این فرایند استخراج روباز بر چشم‌انداز[1] محیط محلی و رفاه اجتماعی آن تأثیر می‌گذارد (Prematuri et al, 2020)، همچنین بر پوشش گیاهی و تنوع زیستی جانوری محیط تأثیر می‌گذارد (Craig et al, 2010). علاوه بر این، حذف لایه بالایی خاک باعث از بین رفتن ساختار و عملکرد و متعاقب آن کاهش تنوع زیستی آن و در نتیجه پیامدهای اجتماعی و اقتصادی می‌شود (Lad et al, 2015).

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق اراضی پائین دست منطقه ایوانکی بوده است که یکی از مناطقی است که بطور گسترده مورد برداشت سولفات سدیم قرار می‌گیرد که طبق اظهار نظر اهالی، منبعی برای فرسایش بادی و آلودگی هوا شده است (بیگی،۲۰۱۷). هدف مقاله بررسی تاثیر برداشت سطحی سولفات سدیم بر خاک در دو موقعیت خاک سطحی و زیر سطحی (منطقه برداشت) بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پایداری خاک است که از طریق مجموعه‌ای از نمونه‌های خاک در مکان‌های طبیعی و استخراج سولفات سدیم و آزمایش ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی آنها، مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب روستای چشمه نادی شهرستان ایوانکی در استان سمنان واقع است. از نظر موقعیت جغرافیایی در عرض ۳۵ درجه ۱۶ دقیقه و ۴۵ ثانیه تا ۳۵ درجه ۱۶ دقیقه و ۵۸ ثانیه شمالی و در طول ۵۱ درجه و ۵۸ دقیقه و ۰۸ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۵۸ دقیقه و ۳۲ ثانیه شرقی قراردارد. ارتفاع متوسط منطقه ۹۳۸ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۱).

متوسط بارندگی سالانه بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک گرمسار در دوره آماری ۲۰ ساله ۱۱۲ میلی‌متر می باشد که بیشترین درصد بارندگی در فصل سرد سال اتفاق می افتد. بر اساس همین آمار متوسط درجه حرارت سالانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. از نظر طبقه بندی اقلیمی آمبروژه، این منطقه جزء مناطق خشک سرد با بارش زمستانه می‌باشد. بررسیها نشان داد، در این منطقه برداشت سولفات سدیم بصورت روباز و از سطح زمین انجام می‌گیرد (کریم‌پور و همکاران، ۲۰۲۱).

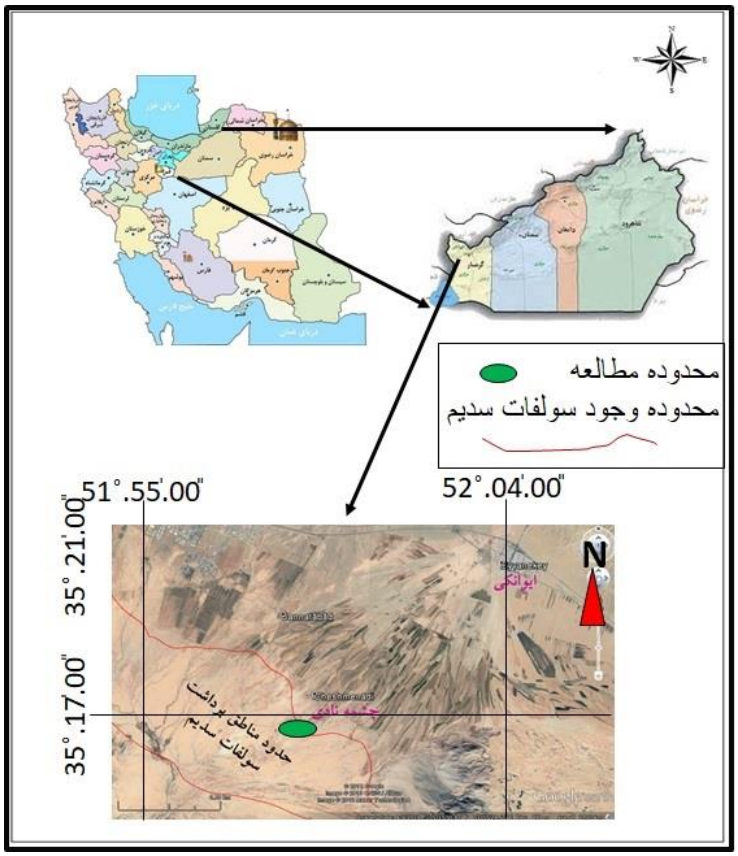
۲-۲. روش تحقیق

بر اساس بازدیدهای محلی و میدانی، مناطق برداشت و استخراج سولفات سدیم مشخص گردید. سپس با تعیین ویژگی‌های ژئومرفولوژی منطقه، مناطق مساعد وجود سولفات سدیم، در محیط نرم‌افزار Google Earth مشخص شد. گام بعد، بازدیدهای میدانی، جهت تعیین موقعیت مناطق برداشت سولفات سدیم و نمونه‌برداری خاک و رسوب از سطوح و عمق‌های مختلف خاک بود (شکل ۱). بر این اساس چهار نقطه جهت نمونه‌برداری در نظر گرفته شد. دو نقطه (۱ و ۲) به عنوان شاهد و شرایط طبیعی منطقه و در معرض بودن سطح آنها در برابر عوامل طبیعی همانند فرسایش بادی، از هر نقطه فقط یک نمونه از خاک سطحی (تا عمق ۵ سانتی‌متر) بر داشت شد. دو نقطه (۳ و ۴) به عنوان نقاطی که از آنها برداشت سولفات انجام می‌شود و وضعیت طبیعی خاک از نظر توپوگرافی و تغییرات فیزیکی خاک بهم ریخته شده است (شکل ۲). از هر نقطه ۳ و ۴، دو نمونه خاک شامل خاک کنارزده شده سطحی (به طور معمول تا ۳۰ سانتی‌متر) به عنوان خاک سطحی تخریب شده و خاک لایه برداشت سولفات سدیم (درست زیر خاک کنار زده شده ودر عمق بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر) به عنوان خاک همراه با مقدار زیاد سولفات سدیم و قابل استخراج (شکل ۳)، برداشت گردید.

با توجه به هدف طرح، ویژگی‌هایی از خاک شامل کلسیم، سدیم از عصاره گل اشباع، ماده آلی[2] با استفاده از بیکرومات پتاسیم، اسید

[1] Landscape
[2] Organic matter

سولفوریک غلیظ، معرف ارتوفنانترولین و محلول فروآمونیوم سولفات، بافت خاک[1] با روش هیدرومتری، هدایت الکتریکی[2] با آب مقطر و Ec متر، اسیدیته[3]، شوری[4]، درصد سدیم تبادلی[5] و نسبت جذب سدیم[6] در نظر و در هر نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. برای تعیین پایداری خاک از روش داده‌های آزمیشگاهی (Moore, 2001) استفاده شد. این شاخص پایداری خاک، بر اساس نمره پایداری به دست آمده از هر ویژگی‌های شیمیایی خاک مندرج در جداول ۱ تا ۴ استوار است و نمره نهایی پایداری برای هر نمونه از جدول ۵ استخراج می‌گردد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه

جدول ۱. ویژگی سدیمی بودن خاک (Moore, 2001)

ویژگی خاک	واحد اندازه‌گیری و نمره پایداری خاک		
سدیمی Soditsity	(درصد سدیم قابل تبادل) ESP		
	کمتر از ۶	۶-۱۵	بیشتر از ۱۵
نمره پایداری	۰	-۲	-۳

[1] Soil texture
[2] Electrical conductivity(EC)
[3] Acidity
[4] Salinity
[5] Exchangeable sodium percentage (ESP)
[6] Sodium absorption ratio (SAR)

جدول ۲. ویژگی ماده آلی خاک (Moore, 2001)

ویژگی خاک	واحد اندازه‌گیری و نمره پایداری خاک			
ماده آلی خاک Soil organic matter	(درصد کربن آلی)Organic carbon			
	کمتر از ۰/۸	۰/۸ – ۱/۵	۱/۵ – ۲/۵	بیشتر از ۲/۵
نمره پایداری	−۱	۰	+۱	+۲

جدول ۳. ویژگی نسبت کلسیم به منیزیم قابل تبادل خاک (Moore, 2001)

ویژگی خاک	واحد اندازه‌گیری و نمره پایداری خاک		
نسبت کلسیم به منیزیم قابل تبادل (Ca/Mg)	Ca:Mg نسبت کلسیم به منیزیم		
	کمتر از ۱	۱ – ۳	بیشتر از ۳
نمره پایداری	−۱	۰	+۱

جدول ۴. ویژگی هدایت الکتریکی خاک (Moore, 2001)

ویژگی خاک	واحد اندازه‌گیری و نمره پایداری خاک			
هدایت الکتریکی (EC)	میلی موس بر متر (EC)			
	کمتر از ۵۰	۵۰ – ۱۰۰	۱۰۰ –۱۵۰	بیشتر از ۱۵۰
نمره پایداری	−۲	−۱	+۱	+۲

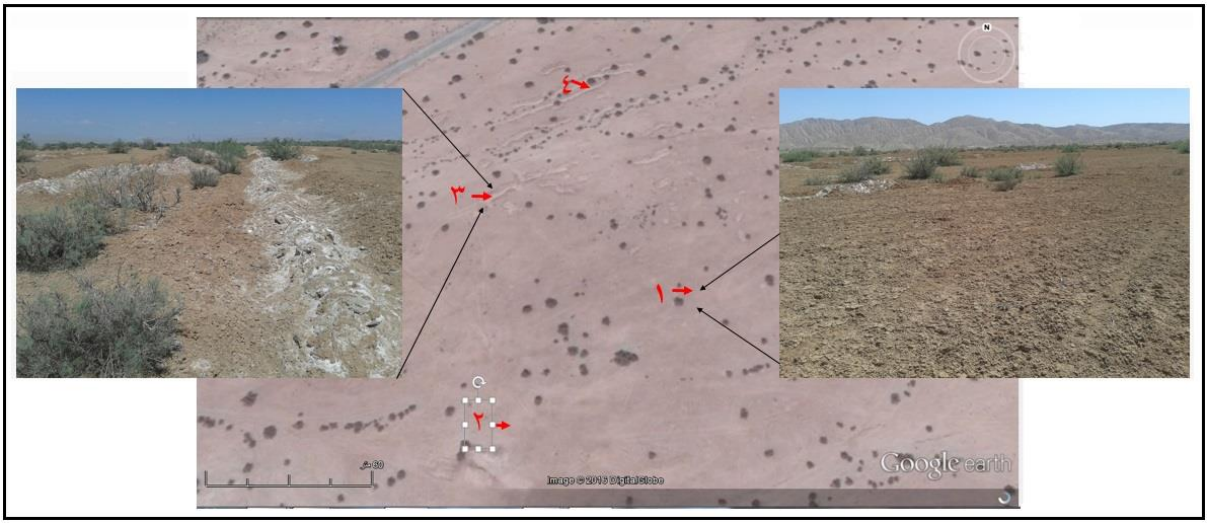
جدول ۵. تعیین نمره پایداری خاک برای خاک با بافت شنی لومی یا بافت ریزتر (Moore, 2001)

ردیف	جمع جبری امتیاز ۴ فاکتور	وضعیت پایداری خاک
۱	۵ تا ۳	زیاد
۲	۳ تا ۲-	متوسط
۳	۲- تا ۴-	کم
۴	۴- تا ۶-	خیلی کم

۳. یافته‌های پژوهش

۳-۱. شرایط اقلیمی

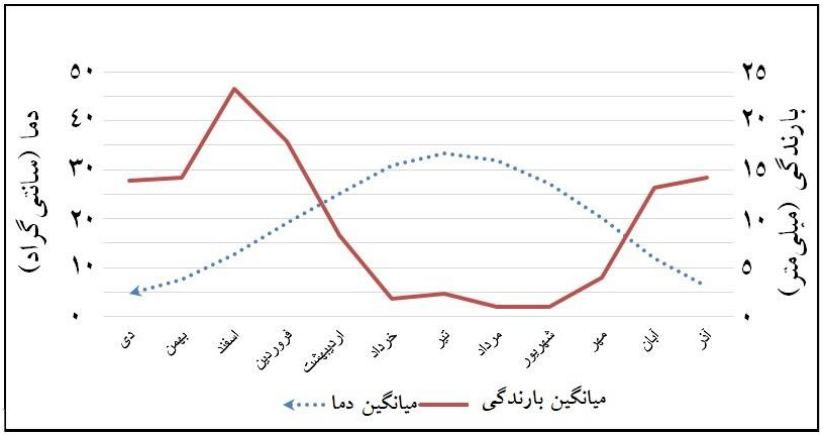
بر اساس نتایج حاصل ازآمار ایستگاه سینوپتیک گرمسار، میانگین بارش سالانه در دوره آماری ۲۰ ساله، ۱۱۲میلی‌متر بوده، که حداقل بارش ۰/۹۶ میلی‌متر مربوط به ماه شهریور و حداکثر بارش ۲۳/۳ میلی‌متر مربوط به ماه اسفند می‌باشد. میانگین دمای سالانه نرمال، ۱۸ درجه سانتی‌گراد، گرمترین ماه سال تیرماه با متوسط ۳۳/۴ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال با متوسط دمای ۴/۶ درجه سانتی‌گراد دی ماه بوده است.



شکل ۲. نقاط نمونه برداری و ویژگی‌های مرفولوژی آنها. عکس راست منطقه شاهد و چشم‌انداز طبیعی و عکس چپ منظره منطقه برداشت سولفات سدیم

شکل ۳. مرفولوژی سطوح تحت برداشت سولفات سدیم

مطالعه اقلیم منطقه براساس داده‌های ایستگاه گرمسار نشان داد که اقلیم منطقه بر اساس اقلیم نمای آمبروژه و ضریب بارندگی آمبروژه (Q)، شهرستان گرمسار در اقلیم خشک سرد با بارش زمستانه قرار می‌گیرد. به منظور شناخت بهتر از مدت و شدت خشکی منطقه، نمودار آمبروترمیک ایستگاه گرمسار ترسیم شد (شکل ۴). بر اساس این نمودار، در حدود ۷ ماه از سال شرایط خشکی بر منطقه حاکم است این حاکمیت خشکی می‌تواند بر پارامترهای تشدید کننده فرسایش بادی همچون رطوبت خاک، پوشش گیاهی تاثیرگذار باشد. دوره مرطوب منطبق بر فصول سرد سال یعنی زمستان و پاییز می‌باشد.



شکل ۴. نمودار آمبروترمیک ایستگاه گرمسار

۳-۲. نتایج آزمایشگاهی خاک

نمونه‌های خاک برداشت شده در شرایط طبیعی (شاهد) و مناطق برداشت سولفات سدیم از نظر خصوصیات فیزیکی (بافت خاک) و شیمیایی خاک (pH، EC، SAR، OM، ESP) مورد آزمایش قرار گرفتند (جدول ۶). میانگین نتایج آزمایشات فیزیکی و شیمیایی برای نقاط ۱ و ۲ (نقاط شاهد) و نقاط ۳و۴ (نقاط برداشت) در جدول ۷ ارایه شده است.

جدول ۶. نتایج پارامترهای شیمیایی و فیزیکی خاک

شماره نقاط	ویژگی عمق	SAR ----	pH ---	EC ds/m	ESP ---	Na mEq/L	Ca mEq/L	Mg mEq/L	OM %	Clay %	Silt %	Sand %
۱ شاهد	سطحی	۴/۰۰	۷/۲۰	۵/۱۰	۴/۵۰	۲۷/۲۰	۸۰/۰۰	۱۲/۰۰	۰/۵۵	۸/۴۰	۱۰/۴۰	۸۱/۲۰
۲ شاهد	سطحی	۷۱/۰۰	۸/۳۰	۱۹/۱۰	۵۰/۸۵	۴۴۳/۳۵	۶۰/۰۰	۱۸/۰۰	۰/۴۷	۸/۴۰	۳۰/۴۰	۶۱/۲۰
۳ منطقه برداشت سولفات سدیم	لایه سطحی کنار زده شده	۱۴/۵۰	۷/۶۰	۵/۰۷	۱۶/۷۳	۸۱/۸۳	۲۴/۰۰	۴۰/۰۰	۰/۴۶	۸/۴۰	۲۶/۴۰	۶۵/۲۰
	لایه برداشت سولفات سدیم	۶/۵۸	۷/۲۰	۹۴/۳۰	۷/۷۸	۳۶/۰۶	۳۴/۰۰	۲۶/۰۰	۰/۹۴	۲۵/۴۰	۲۶/۰۰	۴۸/۶۰
۴ منطقه برداشت سولفات سدیم	لایه سطحی کنار زده شده	۱۴/۰۰	۷/۴۰	۵/۰۰	۱۶/۰۰	۸۰/۳۳	۲۵/۵۰	۴۰/۵۰	۰/۴۰	۹/۰۰	۲۶/۰۰	۶۵/۰۰
	لایه برداشت سولفات سدیم	۴/۴۸	۷/۱۰	۷۸/۲۰	۵/۰۷	۳۴/۱۶	۲۴/۰۰	۹۲/۰۰	۱/۰۷	۰/۸۰	۴۲/۶۰	۵۶/۶۰

جدول ۷. میانگین پارامترهای شیمیایی و فیزیکی خاک برای مناطق شاهد و مناطق برداشت

شماره نقاط	ویژگی عمق	SAR ----	pH ---	EC ds/m	ESP ----	Na mEq/L	Ca mEq/L	Mg mEq/L	OM %	Clay %	Silt %	Sand %
شاهد	سطحی	۳۷/۵۰	۷/۷۵	۱۲/۱۰	۲۷/۶۷	۲۳۵/۲۷	۷۰/۰۰	۱۵/۰۰	۰/۵۱	۸/۴۰	۲۰/۴۰	۷۱/۲۰
منطقه برداشت سولفات سدیم	لایه سطحی کنار زده شده	۱۴/۲۵	۷/۵۰	۵/۰۳	۱۶/۳۶	۸۱/۰۸	۲۴/۷۵	۴۰/۲۵	۰/۴۳	۸/۷۰	۲۶/۲۰	۶۵/۱۰
	لایه برداشت سولفات سدیم	۵/۵۳	۷/۱۵	۸۶/۲۵	۶/۴۲	۳۵/۱۱	۲۹/۰۰	۵۹/۰۰	۱/۰۰	۱۳/۱۰	۳۴/۳۰	۵۲/۶۰

۳-۳. پایداری خاک

بر اساس ارزش و میانگین چهار پارامتر شیمیایی ارزیابی پایداری خاک شامل درصد سدیم تبادلی، ماده آلی، نسبت کلسیم به منیزیم قابل تبادل و هدایت الکتریکی (جداول ۶ و ۷) ارزیابی پایداری ذاتی خاک برآورد گردید (جداول ۸).

جدول ۸. نمره پایداری خاک در مناطق شاهد و برداشت سولفات سدیم بر اساس میانگین پارامترهای شیمیایی خاک

ویژگی خاک	شاهد	لایه سطحی کنار زده شده	لایه برداشت سولفات سدیم
درصد سدیم تبادلی	۲۷/۶۸	۱۶/۳۷	۶/۴۳
نمره پایداری	**-۳**	**-۳**	**-۲**
ماده آلی	۰/۵۱	۰/۴۳	۱/۰۱
نمره پایداری	**-۱**	**-۱**	**۰**
نسبت کلسیم به منیزیم قابل تبادل	۷/۷۲	۲/۴۳	۲/۶۷
نمره پایداری	**+۱**	**۰**	**۰**
هدایت الکتریکی	۱۲۱۰	۵۰۴	۸۶۲۵
نمره پایداری	**+۲**	**+۲**	**+۲**
جمع نمره	-۱	-۲	۰

۴. بحث و نتیجه‌گیری

۴-۱. بحث

۴-۱-۱. تغییرات در خواص شیمیایی

ماده آلی: ماده آلی به عنوان شاخص اصلی کیفیت، سلامت و پایداری خاک مطرح شده است (Obalum et al, 2017؛Romero et al, 2010) که به شدت تحت تاثیر مدیریت قرار می‌گیرد (Sullivan et al, 1999 ؛Ghimire et al, 2020). با توجه به جدول ۶ می‌توان بیان کرد که تغییرات ماده آلی در مناطق شاهد و مناطق برداشت سولفات سدیم قابل توجه و چشمگیر نیست، که می‌تواند ناشی از محیط اقلیمی خشک منطقه باشد. تغییرات اندک در میزان ماده آلی در نمونه‌ها می‌تواند وابسته به تغییرات جزیی در عناصر تشکیل‌دهنده بافت باشد. به طور کلی نتایج نشان داد که استخراج سولفات سدیم، تأثیری بر میزان ماده آلی خاک ندارد.

اسیدیته خاک (pH): اسیدیته خاک در منطقه برداشت مواد معدنی و احیا آنها مهم است زیرا دسترسی به مواد مغذی گیاه را تعدیل می‌کند (Shrestha et al, 2011). با توجه به جدول ۲، اسیدیته نمونه‌های خاک مورد آزمایش، قلیایی هستند. هرچند که نمونه شاهد ۲ اسیدیته کمی بالاتر از بقیه نمونه‌ها دارد که می‌تواند به دلیل وجود کاتیون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم باشد. با این وجود تغییرات افزایشی و کاهشی اسیدیته خاک در نمونه‌های مناطق برداشت با شاهد هم‌چنان در محدوده رشد بهینه گیاه است و این تغییرات قابل توجه نیستند. یا به عبارتی استخراج سولفات سدیم، تأثیری بر اسیدیته خاک نگذاشته است. مطالعه هو[1] و همکاران (۲۰۲۰) بر روی فعالیت‌های معدنی و اثرات پوشش گیاهی روی عناصر غذایی، فعالیت آنزیم‌ها و فلزات کمیاب خاک نشان داد که پس از استخراج، pH خاک معدن به طور قابل توجهی افزایش می یابد و مقدار pH با مواد مغذی خاک و فعالیت آنزیم‌ها همبستگی منفی دارد. شرستا و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعات خود نتیجه گرفته‌اند که در ۹ محل مطالعه شده فقط در ۴ محل است که pH خاک‌ها، تفاوت معنی داری در خاک‌های اصلاح‌شده با خاکهای دست نخورده داشته است. و نتیجه‌گیری کلی آنها این است که تغییرات در pH خاک به دلیل فعالیت‌های استخراج

[1] Hu

و احیاء در میان سری‌ها و اعماق خاک تفاوتی نداشت. این نتایج نیز توسط گانجیگونت[1] و همکاران نیز مشاهده شد (۲۰۰۹).

سدیم (Na): حلالیت نسبی نمک‌ها روند ته‌نشینی آنها را در مقیاس افقی یا عمودی تعیین می‌کند (Mabbutt, 1977). بیشترین قابلیت حل‌شدگی در کاتیون سدیم و آنیون کلریت است به همین دلیل در مقیاس افقی نمک هالیت آخرین ماده رسوبی در پلایا و در مقیاس عمودی بالاترین نمک است که در سطح زمین رسوب می‌کند (Davies, 2017 ؛ Rengasamy, 2006). در این روند بافت خاک بیشترین تاثیر را در رسوبگذاری این نمک دارد. همانگونه که جداول ۲ و۳ نشان می‌دهند میزان سدیم (کاتیون و قابل جذب) در نمونه‌های شاهد بالا است و در نمونه‌های خاک بر داشت سولفات سدیم کاهش یافته است که این می‌تواند به دلیل بهم ریختگی لوله‌های مویین و تعادل هیدرولوژیک در تبادل تبخیر توسط برداشت سولفات باشد، که از صعود آب‌زیرزمینی جلوگیری و در نتیجه رسوبگذاری هالیت را در سطح کاهش دهد (Duan et al, 2024). آدروجو[2] و فستیوس[3] ۲۰۱۳ با پایش و مستندسازی تأثیر شوری بر خواص شیمیایی خاک و پوشش گیاهی اطراف محل معدن نمک ایالت ناساراوا، نیجریه نشان دادند که برخلاف محل شاهد که دارای تنوع کمی از گیاهان است، هیچ گیاهی در محل استخراج نمک یافت نشد. که دلیل آنرا سدیمی شدن خاک بیان نمودند.

هدایت الکتریکی: هدایت الکتریکی خاک یک شاخص یکپارچه برای خواص فیزیکی و شیمیایی خاک است که به شدت با عملکرد محصول مرتبط است (Munshower, 1994). با توجه به جدول ۲ می‌توان بیان کرد که میزان هدایت الکتریکی نمونه‌های لایه برداشت سولفات سدیم نسبت به نمونه‌های دیگر تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد که می‌تواند ناشی از وجود نمک سولفات سدیم یا تخریب کانی‌ها باشد. بنابراین، عملیات استخراج و برداشت نمک سولفات سدیم باعث قرارگیری خاک نا مطلوب با هدایت الکتریکی بالا، در معرض عوامل محیطی و طبیعی می‌شود. گنجگونت و همکاران (۲۰۰۹) افزایش هدایت الکتریکی را در مقایسه معادن باز سازی شده با محل‌های دست نخورده برای عمق صفر تا ۵ سانتی متر مشاهده کردند. شرستا و همکاران (۲۰۱۱) و شلادویلر[4] و همکاران ۲۰۰۴ دریافتند که صرف نظر از عمق خاک، هیچ تفاوت قابل توجهی در هدایت الکتریکی برای بسیاری از محل‌های فعالیت استخراج و احیاء، مشاهده نشد، که ممکن است به دلیل اختلاط خاک سطحی اولیه در حین عملیات حفاری، ذخیره سازی و جایگزینی باشد.

نسبت جذب سدیم و درصد سدیم تبادلی: نسبت جذب سدیم (SAR) اندازه گیری برتری نسبی سدیم محلول در آب در مقایسه با مقادیر کلسیم و منیزیم محلول است. درصد سدیم قابل تعویض (ESP) مقدار سدیمی است که به شکل قابل تبادل در ترکیب تبادل کاتیونی خاک نگهداری می‌شود که به صورت درصدی از کل ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)[5] بیان می شود (Van de Graaff et al, 2001).

خاک‌هایی که ESP بیش از ۶ درصد دارند، دارای مشکلات پایداری ساختاری در رابطه با پتانسیل پراکندگی هستند. عوامل دیگر ممکن است این پتانسیل را تقویت یا محدود کنند و بنابراین ESP بیش از ۶ درصد نباید به صورت مطلق در نظر گرفته شود. سدیمی بودن تنها عامل دخیل در پراکندگی خاک رس نیست، رس‌های با خاصیت سدیمی با pH بالا بیشتر از pH پایین پراکنده می شوند (McBride, 1994).

با توجه به جدول ۲ می‌توان بیان کرد که SAR و ESP خاک سطحی کنار زده شده و خاک لایه برداشت سولفات سدیم به دلیل تغییر ویژگی‌های خاک سطحی، دارای مقادیر کمتری نسبت به خاک شاهد ۱ هستند که می‌تواند پتانسیل ناپایداری خاک سطح زمین (خاک در معرض جو) را افزایش دهد. آدروجو و فستیوس، ۲۰۱۳ در پژوهش تأثیر شوری بر خواص شیمیایی خاک و پوشش گیاهی اطراف محل معدن نمک دریافتند که اسیدیته، هدایت الکتریکی، درصد سدیم قابل تعویض و نسبت جذب سدیم خاک، در اطراف محل معدن نمک ایالت ناساراوا، نیجریه به طور قابل توجهی در اعماق مختلف در مقایسه با منطقه شاهد افزایش یافته است.

[1] Ganjegunte
[2] Aderoju
[3] Festus
[4] Munshower
[5] Cation exchange capacity(CEC)

۴-۱-۲. تغییرات در خواص فیزیکی

بافت خاک: خواص فیزیکی خاک، از جمله تراکم حجمی و بافت، تحت تأثیر فعالیت‌های استخراج و احیاء قرار می‌گیرند (Shrestha et al, 2011). نتایج مطالعه حاضر نشان داد اگر چه بافت خاک بسیاری از نمونه‌ها ماسه‌ای لومی است، و برداشت سولفات سدیم، بر روی بافت کلی خاک تاثیری ندارد، ولی تغییرات و جابجایی مکانی در مقیاس عمودی، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در محتویات بافت در نمونه‌های شاهد با نمونه‌های برداشت سولفات سدیم نشان داده است. به طوری که میزان رس در لایه برداشت سولفات، تغییرات از یک درصد (دارای سولفات سدیم زیاد و خالص‌تر) تا ۲۵ درصد (دارای سولفات سدیم کمتر) را نشان می‌دهد که این میزان در نمونه‌های شاهد، کمتر و حدود ۸ درصد است. این بدین معناست که با کنار زدن لایه سطحی و دست نخورده طبیعی خاک به میزان قابل توجهی رس که در لایه زیرین یعنی لایه سطحی کنار زده شده و لایه برداشت سولفات سدیم، در معرض محیط و عوامل فرسایش محیطی به ویژه فرسایش بادی با توجه به خشک و بیابانی بودن منطقه قرار گرفته است (کریمپور و همکاران، ۲۰۲۱). شرستا و همکاران (۲۰۱۱)، شرودر[1] و همکاران (۲۰۱۰) محتوای خاک با رس بالاتری را در افق‌های زیرسطحی معادن دست نخورده در مقایسه با معادن احیا شده گزارش کرده‌اند.

۴-۱-۳. تغییرات پایداری خاک

همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود ارزش پایداری درصد سدیم تبادلی در هر سه نوع نمونه پایداری پائین و ارزش پایداری هدایت الکتریکی در هر سه نوع نمونه (۳+) یا پایدار متوسط می‌باشد. بر اساس مجموع نمرات پایداری خاک می‌توان بیان کرد که پایداری خاک در منطقه مورد مطالعه از متوسط تا پایین تغییر می‌کند به طوریکه لایه‌های کنار زده شده سطح خاک با ارزش (۲-)، کمترین پایداری را در مقابل عوامل فرسایش از جمله فرسایش بادی دارند و لایه برداشت سولفات سدیم با ارزش پایدار ۰ (صفر) بیشترین پایداری را در مقابل عوامل فرسایش دارند. که این امر می‌تواند وجود حفر گودال در محل برداشت و در معرض قرار نگرفتن سطح زمین در مقابل عوامل فرسایش باشد. به طور کلی می‌توان بیان کرد که پایداری خاک در منطقه، محدوده‌ای بین صفر تا منفی دو را در بر می‌گیرد (جدول ۵) که نشان دهنده پایداری کم خاک در منطقه است که می‌تواند مربوط به ویژگی محیط و طبیعت خشک منطقه باشد. نتایج و آنالیز تغییرات درصد ذرات تشکیل دهنده خاک بر اساس کمتر شدن درصد ماسه و افزایش سیلت و رس در نمونه‌های مربوط به شاهد، لایه سطحی کنار زده شده و لایه برداشت سولفات سدیم این موضوع را تایید می‌کنند.

۴-۲. نتیجه گیری

مطالعات انجام شده در جهان و در این پژوهش، نشان داد که استخراج سطحی در منطقه با به‌هم ریختن مورفولوژی سطح زمین، آشفتگی لنداسکیپ، عناصر پشتیبانی کننده اکوسیستم و آسیب خدمات اکوسیستم، به آرامی و به طور پیوسته انواع پوشش سرزمین و فرایندهای اکولوژیک را از بین خواهد برد (Sonter et al., 2018; Lei et al., 2016). همان گونه که در گزارش بیگی و همکاران آمده، در مناطق پایان‌یافته برداشت سولفات سدیم در ده نمک گرمسار، آثار تخریب زیستگاه طبیعی بسیار قابل توجه است (بیگی و همکاران، ۲۰۱۷). بازدیدهای متعدد و پایش این منطقه و بررسی‌های انجام شده در مناطق دیگر نشان می‌دهد که تغییرات زمانی و مکانی ناپایداری خاک، در لایه خاک‌های سطحی جابه جا شده برای برداشت سولفات سدیم رخ می‌دهد. به طوریکه ارزش‌های شاخص‌های ناپایداری در این لایه، به جز هدایت الکتریکی به طور کامل منفی و ناپایداری از متوسط تا زیاد تغییر کرده است. از طرفی مطالعات فیزیک خاک (بافت خاک) نشان داد که جابه جایی خاک سطحی به منظور برداشت سولفات سدیم، باعث افزایش و در سطح قرار گرفتن مقادیر قابل توجه ذرات ریزدانه به ویژه رس و سیلت می‌گردد.

[1] Schroeder

References

Aderoju, D. O., & Festus, A. G. (2013). Influence of salinity on soil chemical properties and surrounding vegetation of Awe salt mining site, Nasarawa State, Nigeria. African Journal of Environmental Science and Technology, 7(12), 1070-1075.

Baddock, M. C., Ginoux, P., Bullard, J. E., & Gill, T. E. (2016). Do MODIS-defined dust sources have a geomorphological signature? Geophysical Research Letters, 43(6), 2606-2613.

Baumgartl, T., & Horn, R. (1991). Effect of aggregate stability on soil compaction. Soil and Tillage Research, 19(2-3), 203-213.

Beigi, A., Karimpour, M., & Mashhadi, N., (2017). Effects of sodium sulfate exploitation on soil and wind erosion potential. MSc thesis. International Desert Research Center (IDRC), University of Tehran. (In Persian).

Bybordi; M. (1388). Soil Physics. Tehran University Publications. (In Persian).

Davies, J. (2017). The business case for soil. Nature, 543(7645), 309-311.

Craig, M. D., Hobbs, R. J., Grigg, A. H., Garkaklis, M. J., Grant, C. D., Fleming, P. A., & Hardy, G. E. S. J. (2010). Do thinning and burning sites revegetated after bauxite mining improve habitat for terrestrial vertebrates? Restoration Ecology, 18(3), 300-310.

De Ploey, J., & Poesen, J. (2020). Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion. In Geomorphology and soils (pp. 99-120). Routledge.

Duan, Z., Song, K., Zhang, N., Zheng, L. C., Yan, X. S., & Zhang, M. M. (2024). Characteristics and mechanisms of soil structure damage under salt weathering. Soil and Tillage Research, 238, 106030.

Flatt, R. J., & Scherer, G. W. (2002). Hydration and crystallization pressure of sodium sulfate: a critical review. MRS Online Proceedings Library Archive, 712.

García-Orenes, F., Guerrero, C., Mataix-Solera, J., Navarro-Pedreño, J., Gómez, I., & Mataix-Beneyto, J. (2005). Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soils amended with biosolids. Soil and Tillage Research, 82(1), 65-76.

Ganjegunte, G. K., Wick, A. F., Stahl, P. D., & Vance, G. F. (2009). Accumulation and composition of total organic carbon in reclaimed coal mine lands. Land Degradation & Development, 20(2), 156-175.

Ghimire, R., & Khanal, B. R. (2020). Soil organic matter dynamics in semiarid agroecosystems transitioning to dryland. PeerJ, 8, e10199.

Gillette, D. A., Niemeyer, T. C., & Helm, P. J. (2001). Supply-limited horizontal sand drift at an ephemerally crusted, unvegetated saline playa. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 106(D16), 18085-18098.

Hu, Y., Yu, Z., Fang, X., Zhang, W., Liu, J., & Zhao, F. (2020). Influence of mining and vegetation restoration on soil properties in the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(12), 4288.

KarimPourrihan, M., Mashhadhi, N., & Begi.A. (2021). Effect of Sodium Sulfate Extraction on Aeolian Process (A Case Study of South of Eyvankey City). Geography and Environmental Planning, 32(3), 47-66. (In Persian).

Lad, R. J., & Samant, J. S. (2015). Impact of bauxite mining on soil: a case study of bauxite mines at Udgiri, Dist-Kolhapur, Maharashtra State, India. International Research Journal of Environment Sciences, 4(2), 77-83.

Langbein, W. B. (1961). Salinity and hydrology of closed lakes: A study of the long-term balance between input and loss of salts in closed lakes (Vol. 412). US Government Print. Office.

Lei, K., Pan, H., & Lin, C. (2016). A landscape approach towards ecological restoration and sustainable development of mining areas. Ecological Engineering, 90, 320-325.

Sonter, L. J., Ali, S. H., & Watson, J. E. (2018). Mining and biodiversity: key issues and research needs in conservation science. Proceedings of the Royal Society B, 285(1892), 20181926.

Mabbutt, J. A. (1977). Desert landforms. Australian National University Press.

McBride, M. B. (1994). Environmental Chemistry of Soils Oxford Press. New York.

Moore, G. A. (2001). Soilguide (Soil guide): A handbook for understanding and managing agricultural soils. Bulletin, 4343, 381.

Munshower, F. F. (2018). Practical handbook of disturbed land revegetation. CRC Press.

Neal, J. T. (1965). Environmental setting and general surface characteristics of playas (Environmental setting and general surface characteristics of Playas in United States- geology, mineralogy, and hydrology). 1965, 1-29.

Nield, J. M., Bryant, R. G., Wiggs, G. F., King, J., Thomas, D. S., Eckardt, F. D., & Washington, R. (2015). The dynamism of salt crust patterns on playas. Geology, 43(1), 31-34.

Obalum, S. E., Chibuike, G. U., Peth, S., & Ouyang, Y. (2017). Soil organic matter as sole indicator of soil degradation. Environmental monitoring and assessment, 189, 1-19.

Rengasamy, P. (2006). World salinization with emphasis on Australia. Journal of experimental botany, 57(5), 1017-1023.

Prematuri, R., Turjaman, M., Sato, T., & Tawaraya, K. (2020). Post Bauxite Mining Land Soil Characteristics and Its Effects on the Growth of Falcataria moluccana (Miq.) Barneby & JW Grimes and Albizia saman (Jacq.) Merr. Applied and Environmental Soil Science, 2020, 1-8.

Romero Diaz, A., & Damian Ruiz Sinoga, J. (2010, May). Organic matter as an indicator of soil degradation. In EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 7117).

Rosen, M. R. (1994). The importance of groundwater in playas: A review of playa classifications and. Paleoclimate and basin evolution of playa systems, 289, 1.

Schladweiler, B. K., Vance, G. F., Legg, D. E., Munn, L. C., & Haroian, R. (2004). Influence of variable topsoil replacement depths on soil chemical parameters within a coal mine in northeastern Wyoming, USA. Arid Land Research and Management, 18(4), 347-358.

Schroeder, P. D., Daniels, W. L., & Alley, M. M. (2010). Chemical and physical properties of reconstructed mineral sand mine soils in Southeastern Virginia. Soil science, 175(1), 2-9.

Shrestha, R. K., & Lal, R. (2011). Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation. Geoderma, 161(3-4), 168-176.

Sullivan, P. (1999). Sustainable soil management. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas.

Tsui, N., Flatt, R. J., & Scherer, G. W. (2003). Crystallization damage by sodium sulfate. Journal of cultural heritage, 4(2), 109-115.

Van de Graaff, R., & Patterson, R. A. (2001, September). Explaining the mysteries of salinity, sodicity, SAR and ESP in on-site practice. In On-site ‘01 conference: advancing on-site wastewater systems, University of Armidale, New England, and September (pp. 25-27).

Xiang, H., Wang, Z., Mao, D., Zhang, J., Zhao, D., Zeng, Y., & Wu, B. (2021). Surface mining caused multiple ecosystem service losses in China. *Journal of Environmental Management*, *290*, 112618.