Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Controllability of runoff generation and soil loss due to application of different sulfur wastes on a marl soil

Mahmood Sharifi Moghani[1], Seyed Hamidreza Sadeghi[2]✉, Nader Bahramifar[3]

1. Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran Province, Iran, E-mail: sharifimahmood@modares.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran Province, Iran, E-mail: Sadeghi@modares.ac.ir
3. Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran Province, Iran, E-mail: n.bahramifar@modares.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: June. 6, 2022

Revised: Apr. 6, 2023

Accepted: Apr. 10, 2023

Published online: Apr. 21, 2023

Keywords:
Refinery Wastes,
Runoff Management,
Soil Amendment,
Soil Erosion Management,
Waste Management.

ABSTRACT

In recent years, various studies have been conducted using natural and chemical amendments to reduce runoff and soil loss. However, in many cases, the idea of using special wastes in water and soil conservation has not been considered yet. In this regard, the present study aimed to apply three types of refinery sulfur wastes (i.e., clod, dusty, and mixed with soil) as an additive to evaluate the feasibility of inhibiting soil and water loss on a marl soil from the Marzanabad-Kandolus Region. The experiments were conducted in the Rainfall and Soil Erosion Simulation Laboratory of Tarbiat Modares University between February and July 2021. The study was conducted at a small plot scale with dimensions of 0.5×0.5×0.3 m in three replications. Three levels of one, two, and four g m-2 of any sulfur waste were applied to plots nested on a slope of 25% and subjected to a design rain with an intensity of 70 mm.h-1 and a duration of 30 min. The results showed that the total volume of runoff was significantly ($P \leq 0.04$) decreased due to the application of all three levels of sulfur wastes. The different types of sulfur wastes (i.e., clod, dust, and mixed with soil) also had a significant effect ($P \leq 0.03$) on runoff volume. Besides, the interaction between application level and type of sulfur waste was more significant ($P \leq 0.00$). The application of different levels of sulfur wastes significantly reduced ($P \leq 0.02$) soil loss. At the same time, types of sulfur wastes had a non-significant effect ($P \geq 0.06$) on soil loss reduction. However, the interaction effect of level and type of sulfur wastes on soil loss reduction was significant ($P \leq 0.01$) due to positive impacts of sulfur on quality and hydrologic behavior of the soil. Finally, it is concluded that the consumption of sulfur waste in each level or type is confirmed, preferentially use of 2 g m^{-2} of dust sulfur.

Cite this article: Sharifi Moghani, M., Sadeghi, S.H.R., & Bahramifar, N., (2023) Controllability of runoff generation and soil loss due to application of different sulfur wastes on a marl soil, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (2), 265-280. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.344083.669287

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.344083.669287

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۲ شاپا: ۲۴۲۳-۷۸۳۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

مهارپذیری تولید رواناب و هدررفت خاک با استفاده از پسماندهای مختلف گوگردی در خاک مارنی

محمود شریفی‌مغانی[۱] | سیدحمیدرضا صادقی[۲]✉ | نادر بهرامی‌فر[۳]

۱. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران، رایانامه: sharifimahmood@modares.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران، رایانامه: Sadeghi@modares.ac.ir

۳. گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران، رایانامه: n.bahramifar@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۱۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۲۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۲/۱

واژه‌های کلیدی:
افزودنی‌های خاک،
پسماند پالایشگاه،
مدیریت پسماند،
مدیریت رواناب،
مدیریت فرسایش.

چکیده

امروزه فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌کره است. از طرفی تأمین نیازمندی‌های مختلف جامعه بشری، تولید زباله و پسماندهای مختلف و اغلب بدون استفاده را به دنبال دارد. بر همین اساس رویکردهای مختلف مدیریت پسماندها و افزایش بهره‌وری آن‌ها از طریق استفاده در مدیریت منابع خاک‌وآب می‌تواند منافع زیادی را به دنبال داشته باشد. در پژوهش حاضر از سه نوع پسماند گوگردی پالایشگاهی (تکه‌ای ، غباری و مخلوط با خاک) به‌عنوان افزودنی برای امکان‌سنجی مهار رواناب و هدررفت خاک مارنی منطقه مرزن‌آباد-کندلوس در شرایط آزمایشگاهی و در آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش خاک دانشگاه تربیت‌مدرس بین بهمن ۱۳۹۹ تا تیر ۱۴۰۰مدنظر قرار گرفت. برای این منظور از کرت کوچک با ابعاد ۰/۵×۰/۵×۰/۳ متر و شیب ۲۵ درصد تحت بارش شبیه‌سازی‌شده با شدت ۷۰ میلی‌متر بر ساعت و دوام ۳۰ دقیقه استفاده شد. نتایج حاصل از پژوهش دلالت براثر معنی‌دار جداگانه سطح مصرف ($P\leq$۰/۰۴) و نوع پسماند گوگردی ($P\leq$۰/۰۳) و همچنین اثر متقابل سطح مصرف و نوع پسماند گوگردی ($P\leq$۰/۰۰) بر حجم رواناب داشت. در خصوص هدررفت خاک نیز تأثیر معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۲) سطح‌های مختلف و غیرمعنی‌دار ($P\geq$۰/۰۶) نوع پسماند گوگردی و همچنین اثر متقابل معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۱) سطح مصرف و نوع پسماند گوگردی بر هدررفت خاک از طریق تأثیر گوگرد بر ارتقای کیفیت و بهبود رفتار هیدرولوژیک خاک تائید شد. جمع‌بندی کلیه نتایج به‌دست‌آمده علاوه بر تأیید مصرف پسماند گوگردی در هریک از سطح‌ها و یا نوع، دلالت بر استفاده ترجیحی سطح دو گرم بر مترمربع گوگرد غباری داشته است.

استناد: شریفی‌مغانی؛ محمود، صادقی؛ سیدحمیدرضا، بهرامی فر؛ نادر، (۱۴۰۲). مهارپذیری تولید رواناب و هدررفت خاک با استفاده از پسماندهای مختلف گوگردی در خاک مارنی، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۲)، ۲۸۰-۲۶۵. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.344083.669287

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.344083.669287

مقدمه

خاک منبع اساسی تولید محصولات غذایی است، به‌نحوی‌که در حدود ۹۹ درصد غذا توسط خاک تولید می‌شود (صادقی و همکاران، ۱۳۹۶). علی‌رغم اهمیت حیاتی خاک برای ادامه بقای آدمی، پدیده فرسایش خاک[1] به‌عنوان معضلی جدی آن را تهدید می‌کند. فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین عوامل تهدید کمیت و کیفیت خاک محسوب می‌شود که پیامدهای ناخواسته آن را می‌توان به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مشکلات امروزی بوم‌سازگان مختلف، تلقی نمود (Wang *et al*., 2021).

ضرورت انجام پژوهش

فرسایش خاک باعث از بین رفتن خاک، کاهش سطح زیرکشت، کاهش حاصل‌خیزی خاک، از بین رفتن آب، کاهش ظرفیت آبراهه‌ها، کاهش ظرفیت مخازن، آلوده شدن آب‌ها، از بین رفتن ارزش‌های اجتماعی (Guo *et al*., 2021) شده است. فرسایش آبی[2] یکی از انواع مهم فرسایش است که درنتیجه پاسخ متقابل آب‌وهوا، رواناب سطحی، خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی، مدیریت اراضی و عملیات حفاظتی ایجاد می‌شود و تغییرات خود را درگذر زمان در سطح زمین نشان می‌دهد (Montenegro *et al*., 2013؛ Stefanidis *et al*., 2021). در این راستا به‌منظور کاهش اثرات برون منطقه‌ای فرسایش خاک، راه‌کارهای مدیریتی زیادی ارائه و اجراشده است. اما به سبب سهم بالای سطح دامنه‌ها در هدررفت خاک، مهار فرسایش خاک، به‌ویژه در مراحل اولیه آن، در مدیریت منابع طبیعی بسیار مهم است (Sadeghi *et al*., 2020). از این رو، انجام اقدامات حفاظتی در دامنه‌ها و در اولین گام اثرگذاری عوامل فرساینده نقش به سزایی در کاهش هدررفت خاک‌وآب خواهد داشت. ازجمله اقدامات حفاظتی برای مبارزه با فرسایش خاک استفاده از انواع اصلاح‌گرها، تثبیت‌کننده‌ها[3]و افزودنی‌های[4] خاک است. مهار فرسایش خاک با استفاده از افزودنی‌ها یک روش مؤثر برای کاهش رواناب[5] و از بین رفتن خاک است (Zare *et al*., 2021). به‌طورکلی افزودنی‌های خاک به دو دسته طبیعی و مصنوعی تقسیم‌شده (Miller, 2002) و شامل گچ، آهک، خاک‌اره و خاکستر چوب، پسماندهای شهری (Sojka *et al*., 2007) خاک‌پوش[6] با منشأ طبیعی و مصنوعی (Sadeghi *et al*., 2016) و پسماندهای معادن، کشاورزی، خاک‌پوش کاه و کلش، کود حیوانی، ذغال‌زیستی[7] و پلی‌آکریل‌آمید و پسماندهای مراکز صنعتی (Sadeghi *et al*., 2015; Zare *et al*., 2021; Sadeghi *et al* 2021; Sadeghi *al*., 2020) می‌باشند. طی پژوهش‌های مختلف انجام‌شده، تأثیر مثبت عملکرد افزودنی‌ها بر بهبود مؤلفه‌های تأثیرگذار بر کاهش فرآیندهای منتج به تولید رواناب و هدررفت خاک به اثبات رسیده است. امروزه برداشت و استفاده از نفت و فرآورده‌های نفتی منجر به تولید برخی مواد جانبی و پسماندهای پالایشگاهی می‌شود که می‌توان با مدیریت صحیح و کاربرد مناسب آن‌ها اثرات سوء این پسماندها بر محیط‌زیست را کاهش داده و برای توسعه پایدار از آن‌ها استفاده نمود.

هدف پژوهش

امروزه کاربرد تبدیلی پسماندهای صنعتی با کم‌ترین اثرات سوء بر محیط‌زیست و کاربرد سودمند آن در سایر زمینه‌ها به‌عنوان راه‌کاری اساسی برای مدیریت حجم انبوهی از پسماندهای صنعتی مطرح‌شده است. در ایران سالانه بیش از دو میلیون تن گوگرد[8] از صنایع نفت و گاز تولید می‌شود (قادری و همکاران، ۱۳۹۷) حال‌آنکه مقادیر کمی از این گوگرد در صنایع مختلف داخلی مصرف می‌شود، اگرچه اخیراً برای توسعه آن در کشاورزی اقداماتی صورت گرفته است ولی قسمت اعظم این گوگرد در محل تولید به شکل‌های مختلف تکه‌ای و پودری (غباری) انباشته‌شده و یا به‌صورت مخلوط با خاک در هنگام نقل‌وانتقال در حواشی مسیرهای ارتباطی تهدیدی برای محیط‌زیست محسوب می‌شود. یکی از راه‌های مدیریت این پسماندهای گوگردی استفاده از آن و تولید باارزش افزوده بالاست. به نظر می‌رسد پسماندهای گوگردی با اثرات مثبت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند به‌عنوان یک افزودنی در راستای کاهش رواناب و هدررفت خاک مورد ارزیابی قرار گیرد. بررسی منابع مرتبط با پژوهش حاضر نشان می‌دهد تاکنون پژوهشی در زمینه بررسی استفاده از گوگرد در عرصه منابع طبیعی صورت نگرفته است. ازاین‌رو پژوهش حاضر زمینه‌های لازم در خصوص تعیین شکل و مقدار مناسب مصرف ماده افزودنی

---

1. Soil erosion
2. Water erosion
3. Stabilizers
4. Amendment
5. Runoff
6. Mulch
7. Biochar
8. Sulfur

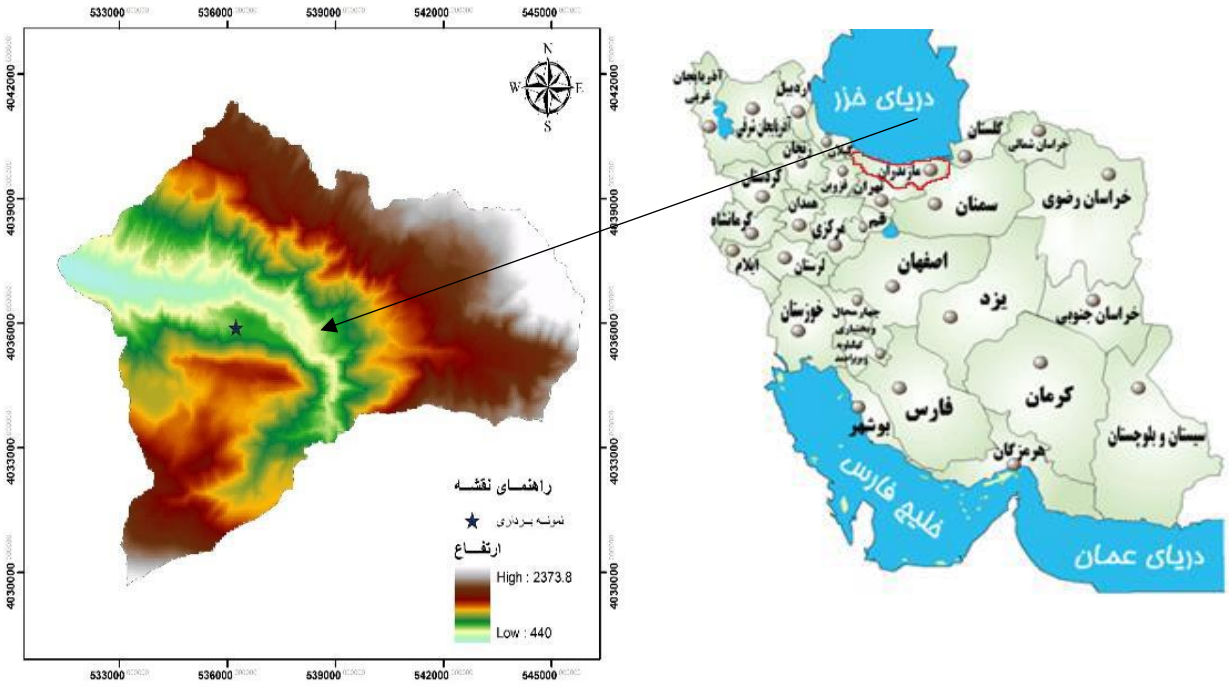
پسماند گوگردی به‌صورت تکه‌ای ، غباری و همراه با خاک در مهار فرسایش در عرصه‌های منابع طبیعی و طبعاً پیش از انجام آزمون‌های لازم در مقیاس بزرگ‌تر را مهیا خواهد کرد. در پژوهش حاضر بررسی مقایسه‌ای تأثیرپذیری مؤلفه‌های رواناب و هدررفت خاک در شرایط آزمایشگاهی از افزودنی پسماندهای گوگردی پالایشگاهی مدنظر بوده است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌منظور اندازه‌گیری آزمایشگاهی تولید رواناب و هدررفت خاک با لحاظ تیمارها و تکرارهای لازم با استفاده از کرت‌های کوچک فرسایشی و در سامانه شبیه‌ساز باران در دانشکده منابع‌طبیعی دانشگاه تربیت مدرس بین بهمن ۱۳۹۹ تا تیر ۱۴۰۰ صورت پذیرفت.

خاک مورداستفاده

خاک موردمطالعه از حواشی جاده مرزن‌آباد – کندلوس با طول جغرافیایی ۲۶ °۵۱ و عرض جغرافیایی ۲۷ °۳۶ واقع در غرب استان مازندران، جنوب شهرستان نوشهر و موقعیت ارائه شده در شکل ۱ تهیه شد. خاک موردمطالعه از عمق ۱۰ سانتی‌متری سطحی با بافت لومی رسی، خاکدانه متوسط با پایداری شکننده در حالت مرطوب، جرم مخصوص ظاهری ۱/۱۲ تا ۱/۲۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب، pH بین ۷/۴۲ تا ۷/۶۸، قابلیت هدایت الکتریکی از ۰/۱۷ تا ۰/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر، ماده آلی ۱/۶۳ درصد، آهک ۲۷/۹ درصد و نیتروژن کل ۰/۰۷ تا ۰/۱۴ درصد (Jafarpoor *et al.*, 2022) تهیه شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مادری خاک در حوزه آبخیز مرزن‌آباد-کندلوس، استان مازندران و ایران

آماده‌سازی کرت‌های آزمایشگاهی و تعیین تیمارهای پژوهش

برای انجام آزمایش ابتدا خاک انتقال داده‌شده هوا خشک، بقایای گیاهی، سنگ و سنگ‌ریزه آن‌ها حذف شد. قبل از انتقال خاک به کرت‌ها، برای شبیه‌سازی بهتر شرایط طبیعی خاک، هرکدام از کرت‌ها تا عمق ۱۸ سانتی‌متر از پوکه معدنی به‌عنوان لایه زه‌کش پر شد(Defersha Khaledi Darvishan *et al.*, 2013؛ *et al.*, 2011). هم‌چنین برای لایه بالایی کرت‌ها، از خاک عبور داده‌شده از الک هشت، چهار و دو میلی‌متری به سبب جلوگیری از شکستن خاکدانه‌ها، جداسازی سنگ و سنگ‌ریزه و کلوخه و مطابقت با شرایط خاک‌شناسی منطقه موردمطالعه استفاده شد. به‌منظور افزایش اصطکاک در مرز خاک و جداره کرت، یک لایه گونی کنفی نفوذپذیر در جداره‌های کرت در نظر

گرفته شد، به‌نحوی‌که ادامه آن در حدفاصل پالایه[1]و خاک نیز قرارگرفته و علاوه بر جلوگیری از اختلاط خاک و پالایه (Darvishan *et al*., 2013 Khaledi)، مانع افزایش سرعت حرکت رواناب در مرز خاک و جداره کرت شود. هم‌چنین به‌منظور دستیابی به جرم مخصوص مشابه باحالت طبیعی خاک به‌صورت لایه‌بندی در داخل کرت‌ها قرار داده شد به‌طوری‌که سطح خاک با سطح سرریز کرت‌ها یکسان باشد. سپس کوبیدگی لازم توسط غلتک دستی کوچک و تا رسیدن به جرم مخصوص ظاهری نمونه دست‌نخورده صورت گرفت. پس‌ازاین مرحله به‌منظور تأمین شرایط متوسط رطوبت پیشین خاک در منطقه مادری و نیز جاافتادگی مناسب خاک در کرت‌های مطالعاتی، حدود ۲۴ ساعت در شرایط اشباع از کف قرارگرفته و پس از خارج‌سازی آن‌ها از منبع آب، به مدت ۲۴ ساعت دیگر رها شد تا به حالت شرایط رطوبتی رطوبت مزرعه خاک برسد (Sadeghi *et al*., 2017 ؛ Kheirfam *et al*., 2017؛ Behzadfar *et al*., 2017). تیمارهای مورداستفاده در پژوهش حاضر شامل سطح‌های یک، دو و چهار گرم بر مترمربع متناسب با نتایج پژوهش‌های مقایسه‌ای استفاده از افزودنی‌های پودری در کاربری‌های پیشین (Sadeghi *et al*., 2013 & 2015) از سه نوع پسماند گوگرد پالایشگاهی (تکه‌ای ، غباری و مخلوط با خاک) در سه تکرار و پنج کرت شاهد و به تعداد کل ۳۲ کرت در دانشکده علوم دریایی و منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. سپس رهاسازی لازم برای اکسید شدن گوگرد و هم‌چنین عدم امکان حضور در دانشکده به سبب شیوع کرونا به مدت ۸۲ روز صورت گرفت. تصاویری از آماده‌سازی کرت‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

الف ب ج

شکل ۲- نمایی از آماده‌سازی کرت‌های آزمایشی شامل الک کردن خاک (الف)، پر کردن کرت به ترتیب الک و غلتک زدن تا حد کوبیدگی منطقه (ب) و اشباع کردن در آب به مدت ۲٤ ساعت (ج)

شبیه‌سازی رگبارهای پژوهش

شبیه‌سازی بارش با شدت حدود ۷۰ میلی‌متر بر ساعت، دوام ۳۰ دقیقه و دوره بازگشت بین ۳۰ تا ۵۰ سال متناسب با منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی منطقه انجام گرفت. برای تعیین شدت بارندگی و آزمون توزیع یکنواختی شبیه‌ساز باران از ضریب یکنواختی Christiansen استفاده شد. به‌منظور تعیین شدت بارش و ارزیابی یکنواختی بارش شبیه‌ساز از چیدمان پنج ظرف پلاستیکی با قطر ۱۵ سانتی‌متر و مساحت ۱۷۶/۶۳ سانتی‌مترمربع در چهار ظرف پلاستیکی دایره‌ای شکل در گوشه کرت و یک ظرف پلاستیکی در مرکز آن (Jingi *et al*., 2011) استفاده شد. پس از اندازه‌گیری آب جمع‌آوری‌شده در ظروف با استفاده از رابطه (۱)، مقادیر ضریب یکنواختی توزیع باران Christiansen (Mhaske *et al*., 2019) با شدت حدود ۷۰ میلی‌متر بر ساعت، ۹۳ درصد محاسبه شد. شکل ۳ شبیه‌سازی باران روی تیمارهای مطالعاتی را نشان می‌دهد.

$$CU = 1 - \frac{\sum_{i-1}^{n}|R_i - M|}{nM}$$ رابطه ۱)

در رابطه مذکور CU ضریب یکنواختی پخش باران Christiansen (درصد)، Ri حجم آب جمع شده در ظرف iام (میلی‌لیتر)، M

1. Filter

میانگین حجم آب جمع شده در ظرف‌های اندازه‌گیری (میلی‌لیتر) و n تعداد کل ظرف‌های اندازه‌گیری است.

شکل ۳- شبیه‌سازی باران روی تیمارهای مطالعاتی

اندازه‌گیری مؤلفه‌های رواناب و رسوب

در پژوهش حاضر پس از شروع واقعه بارش، زمان شروع جریان پیوسته رواناب در محل سرریز کرت آزمایشی، به‌عنوان زمان شروع رواناب ثبت شد. پس‌ازآن در سه گام زمانی دو دقیقه، سه گام زمانی سه دقیقه و تا پایان واقعه بارش با گام‌های زمانی پنج دقیقه و نهایتاً پس از پایان واقعه نمونه‌برداری از رواناب و هدررفت خاک (زارع و همکاران، ۱۳۹۹) انجام شد. حجم رواناب تولیدی در گام‌های زمانی مختلف، تا انتهای مدت‌زمان بارش طبق گام‌های زمانی ذکرشده، نمونه‌ها رأس زمان در نظر گرفته‌شده از خروجی کرت‌های مطالعاتی درون ظروف پلاستیکی جمع‌آوری شد. سپس با استفاده از استوانه مدرج مقدار رواناب محتوی رسوب قرائت شد و مقدار هدررفت خاک آن پس از ترسیب به مدت ۲۴ ساعت و قرار دادن در محیط کوره با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت و توزین توسط ترازوی رقومی، اندازه‌گیری و ثبت شد (Sadeghi *et al.*, 2021؛ Sadeghi *et al.*, 2016). هم‌چنین مقدار ضریب رواناب از تقسیم ارتفاع رواناب بر ارتفاع بارندگی محاسبه و مقدار هدررفت خاک از طریق روش برجای‌گذاری (شریفی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۳) محاسبه شد. تصاویری از اندازه‌گیری حجم رواناب، ته‌نشست رسوب و خشک‌کردن در کوره در شکل ۴ نشان داده‌شده است.

الف ب ج

شکل ٤- اندازه‌گیری حجم رواناب (الف)، ترسیب و جداسازی رسوب (ب) و خشک‌کردن رسوب در آون (ج)

آزمون آبشویی گوگرد

برای آزمون سولفید طبق روش یدومتری[1] از معرف‌های اسیدکلریدریک[2] شش نرمال، محلول استاندارد ید ۰/۰۰۲۵ نرمال، محلول استاندارد

1. Iodometry
2. Hydrochloric acid

تیوسولفات[1] سدیم ۰/۰۲۵ نرمال، محلول معرف نشاسته و روش عیارسنجی[2] استفاده شد (Jenkins, 1982). برای این منظور ابتدا در یک ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته و مقدار یک سی‌سی اسیدکلریک به آن اضافه شد. سپس محلول ید به‌صورت تخمینی اضافه تا رنگ زرد در محلول مشاهده شد. در ادامه مقدار محلول ید اضافه‌شده مشخص و مقدار آن حدود ۳۱۰ میکرولیتر برآورد شد. همین مراحل برای رواناب حاصل از کرت شاهد و تیمارهای پسماند گوگردی در سطح‌های مختلف انجام شد. برای تمام نمونه‌های آب‌مقطر، رواناب کرت شاهد و رواناب حاصل از کرت‌های تیمار شده با پسماند گوگردی در سطح‌های مختلف حجم محلول ید بین ۳۱۰ تا ۳۲۰ میکرولیتر و رنگ مشابه با نمونه آب مقطر حاصل شد که نشان‌دهنده عدم آبشویی گوگرد و یا مقدار ناچیز و قابل‌اغماض آن است. نمایی از عیارسنجی گوگرد در شکل ۵ نشان داده‌شده است.

ب الف

شکل ۵- نمایی از عیارسنجی گوگرد به روش یدومتری (الف) و تشابه رنگ (ب) در آب مقطر(۱)، با رواناب کرت شاهد (۲) و رواناب‌های سطح‌های یک (۳)، دو (٤) و چهار (۵) گرم بر مترمربع پسماند گوگردی

تجزیه‌وتحلیل آماری

به‌منظور انجام تجزیه‌وتحلیل آماری، پس از اندازه‌گیری اطلاعات داده‌های حاصل از نمونه‌برداری از رواناب و رسوب و ثبت داده‌ها، بانک اطلاعاتی داده در نسخه ۲۰۲۰ محیط نرم‌افزار Excel تشکیل شد. سپس نمودارهای موردنیاز رسم و روابط بین متغیرها موردبررسی قرار گرفت. آزمایش‌های مزبور در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی انجام شد. به‌منظور انجام مقایسه‌های آماری داده‌های به‌دست‌آمده، نرمال بودن داده‌ها و ارزیابی حداکثر اختلاف عملکرد بین تیمارها در نسخه ۲۶ نرم‌افزار SPSS ارزیابی شد. قبل از هرگونه تجزیه‌وتحلیل آماری ابتدا نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس‌ها به ترتیب با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk و Levene بررسی شد. نرمال‌سازی داده‌های غیرنرمال از طریق کاربرد تغییر شکل‌های مختلف داده‌ای (لگارتیم‌گیری، جذر و لگاریتم طبیعی) آزمون شد. پس از برقراری شرط‌های مطروحه، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون Duncan به سبب امکان سهولت مقایسه ترسیمی نتایج آماری، انجام و تجزیه واریانس یک‌طرفه برای بررسی اثرات یک‌جانبه و آزمون خطی عمومی[3] برای انتخاب بهترین تیمار یا تیمارها استفاده شد. لازم به ذکر است که در تمامی مراحل تجزیه‌وتحلیل تمام اختلاف‌ها در سطح معنی‌داری کمتر از ۵ درصد در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

بررسی نتایج اندازه‌گیری رواناب در تیمارهای مختلف پسماند گوگردی

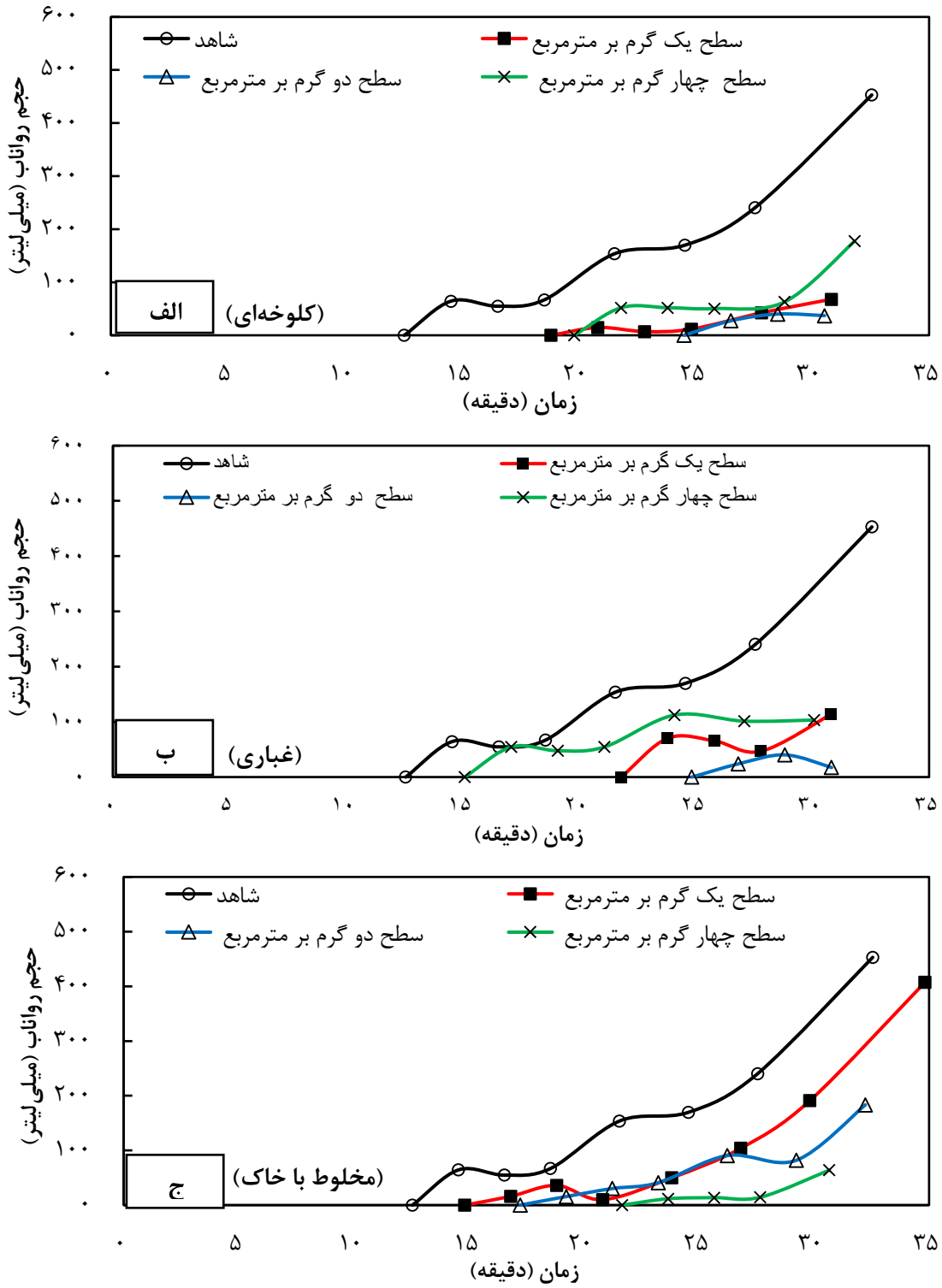
نتایج حاصل از اندازه‌گیری زمان شروع رواناب مندرج در شکل‌های ۶ و ۷ حاکی از این امر است که هر سه نوع پسماند گوگردی پالایشگاهی (تکه‌ای، غباری و مخلوط با خاک) سبب افزایش زمان شروع رواناب سطحی شده است که دراین‌بین بیش‌ترین زمان شروع رواناب سطحی در تیمار پسماند گوگردی پالایشگاهی تکه‌ای و غباری در سطح دو گرم بر مترمربع رخ داد.

بررسی نتایج (شکل ۶) نشان می‌دهد که حجم کل رواناب نیز در مقایسه با شاهد به‌صورت کلی پس از استفاده از هر سه نوع پسماند

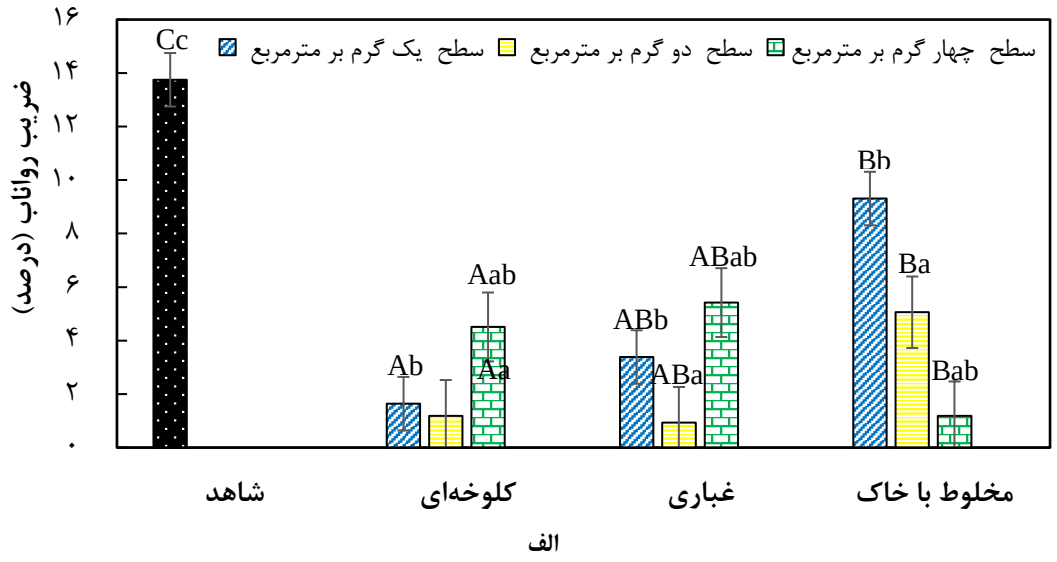
---

3. Thiosulfate
4. Titration
1. General Linear Model (GLM)

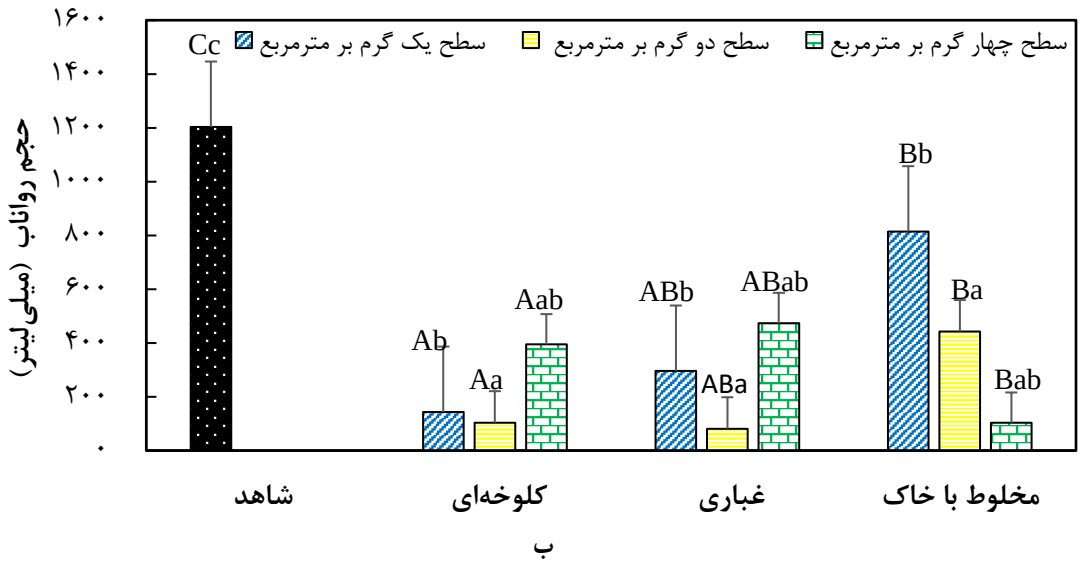
گوگردی پالایشگاهی (تکه‌ای ، غباری و مخلوط با خاک) به‌عنوان خاک‌پوش بین ۳۲ تا ۹۳ درصد کاهش پیداکرده است. در این میان کم‌ترین میزان تولید رواناب را پسماند گوگردی پالایشگاهی غباری در سطح دو گرم بر مترمربع داشت. نتایج (شکل ۷) حاکی از این امر بود که ضریب رواناب پس از استفاده از هر سه نوع پسماند گوگردی در هر سه سطح نسبت به شاهد کاهش پیداکرده است. لیکن تغییرات آن نیز مشخصاً با توجه به ثبات مقدار بارش از مقدار رواناب تبعیت کرده است.



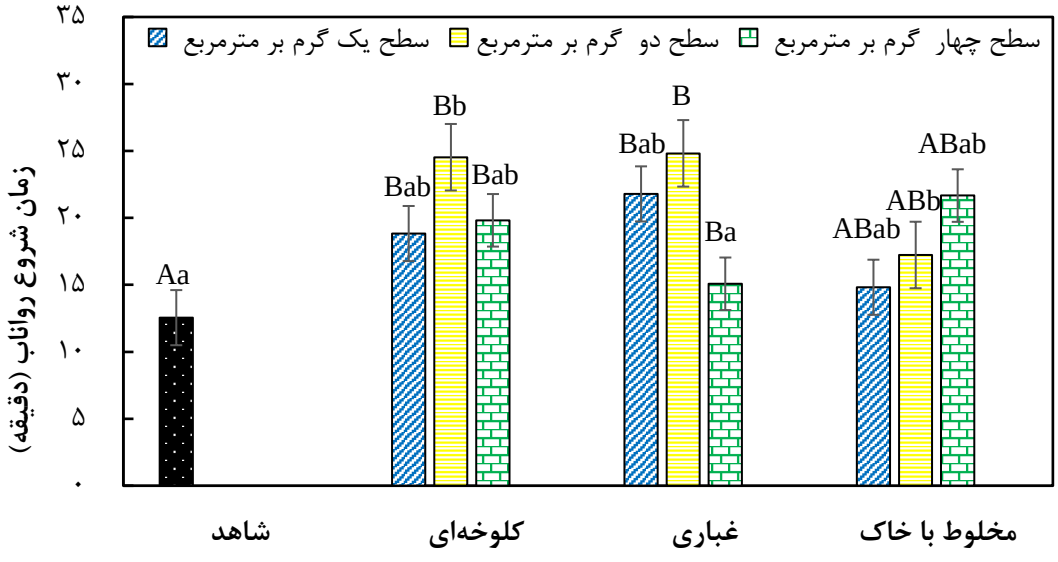
شکل ٦- تغییرات زمانی تولید رواناب در تیمار یک، دو و چهار گرم بر مترمربع سه نوع پسماند گوگردی پالایشگاهی تکه‌ای (الف)، غباری (ب) و مخلوط با خاک (ج)



الف



ب



ج

شکل ۷- مقایسه میانگین مؤلفه‌های رواناب، زمان شروع رواناب (الف)، حجم رواناب (ب) و ضریب رواناب (ج) در کرت‌های تحت تیمار انواع گوگرد

نتایج حاصل از برداشت زمان شروع و حجم کل رواناب نشان داد در ابتدا به علت واکنش گوگرد با خاک و با اکسیداسیون گوگرد، غلظت H^+ محیط بالا رفته و حلالیت آهک خاک و درنتیجه غلظت کلسیم محلول خاک افزایش داشته است. این امر سبب جانشین شدن کلسیم به‌جای سدیم در محل‌های تبادلی خاک شده و سدیم از طریق آبشویی به اعماق پایین‌تر حرکت کند و بدین ترتیب اثرات مخرب سدیم تبادلی خاک بر ساختمان و کاهش نفوذپذیری خاک تا حد قابل‌توجهی از بین می‌رود. این شرایط منجر به کاهش از هم‌پاشیدگی خاک و طبیعتاً منجر به افزایش نفوذپذیری شده است. تحلیل مشابهی توسط Hosyni (2017) در خصوص استفاده از گوگرد و افزایش پایداری خاک گزارش‌شده است. از طرفی حفظ پایداری خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک به سبب حرکت و ذخیره‌سازی آب در خاک توسط Lal & Broni(2005) تأییدشده است. از طرفی افزودن گوگرد عنصری بدون ماده آلی در مدت ۸۰ روز، باعث کاهش pH برخی خاک‌های مورد آزمایش تا ۰/۲ واحد می‌شود(کریمی‌نیا و شعبانپور 1382). بدیهی است شرایط ایجادشده باعث افزایش میزان نفوذپذیری، تأخیر در زمان شروع رواناب و کاهش حجم کل رواناب در مقایسه با شرایط شاهد و بدون استفاده از پسماند گوگردی شده است. لیکن کاهش نسبی اثر گوگرد در سطح چهار گرم بر مترمربع بر زمان شروع رواناب و حجم کل رواناب را می‌توان به ایجاد لایه چسبنده ناشی از آب‌بندی[1] سطح خاک و ممانعت از نفوذ آب به خاک و تبدیل سریع‌تر آن به رواناب نسبت داد. این تحلیل توسط *Smith et al.* (1990) و Briggs *et al.* (2055) در خصوص آب‌بندی سطح خاک و جلوگیری از نفوذ آب به خاک مدنظر قرارگرفته است. موارد مشابهی توسط سایر پژوهشگران در رابطه با آب‌بندی و شرایط آب‌گریزی[2] در خصوص استفاده از سطح‌های بالای افزودنی‌ها (2014) *et* Sadeghi *al.* پلی‌آکریل‌آمید، Sadeghi *et al.* (2016) ویناس و Sadeghi *et al.* (2016) ذغال‌زیستی گزارش‌شده است. در مورد پسماند گوگردی پالایشگاهی نوع مخلوط با خاک نتایج حاصل از برداشت زمان شروع و حجم کل رواناب نشان می‌دهد که با افزایش سطح تا چهار گرم بر مترمربع همچنان زمان شروع رواناب افزایش و حجم کل رواناب کاهش داشته است که این امر به سبب وجود حدود ۵۰ درصد گوگرد در این نوع پسماند است که اساساً با سطح دو گرم بر مترمربع سایر انواع پسماند گوگردی استفاده‌شده (تکه‌ای و غباری) برابری می‌نماید.

نتایج حاصل از آزمون مدل خطی عمومی نشان داد که تأثیر سطح مصرف (یک، دو و چهار گرم بر مترمربع) بر زمان شروع رواناب غیرمعنی‌دار ($P\geq ۰/۴۵$) و هم‌چنین نوع پسماند گوگردی (تکه‌ای ، غباری و مخلوط با خاک) بر زمان شروع رواناب غیرمعنی‌دار ($P\geq ۰/۶۴$) بوده است. همچنین اثر متقابل سطح مصرف و نوع پسماند گوگردی نیز غیرمعنی‌دار ($P\geq ۰/۳۱$) ارزیابی شد. حال آن‌که سطح (یک، دو و چهار گرم بر مترمربع) و نوع (تکه‌ای ، غباری و مخلوط با خاک) پسماند گوگردی مصرفی در پژوهش بر حجم رواناب اثر معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۴$) داشته است. هم‌چنین اثر متقابل سطح و نوع پسماند گوگردی بسیار معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۰$) ارزیابی شد. تأثیرپذیری ضریب رواناب از سطح‌های مختلف (یک، دو و چهار گرم بر مترمربع) و هم‌چنین انواع پسماند گوگردی (تکه‌ای ، غباری و مخلوط با خاک) مورداستفاده معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۴۷$) ارزیابی شد. هم‌چنین اثر متقابل سطح و نوع پسماند گوگردی بر کاهش ضریب رواناب بسیار معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۰$) بوده است.

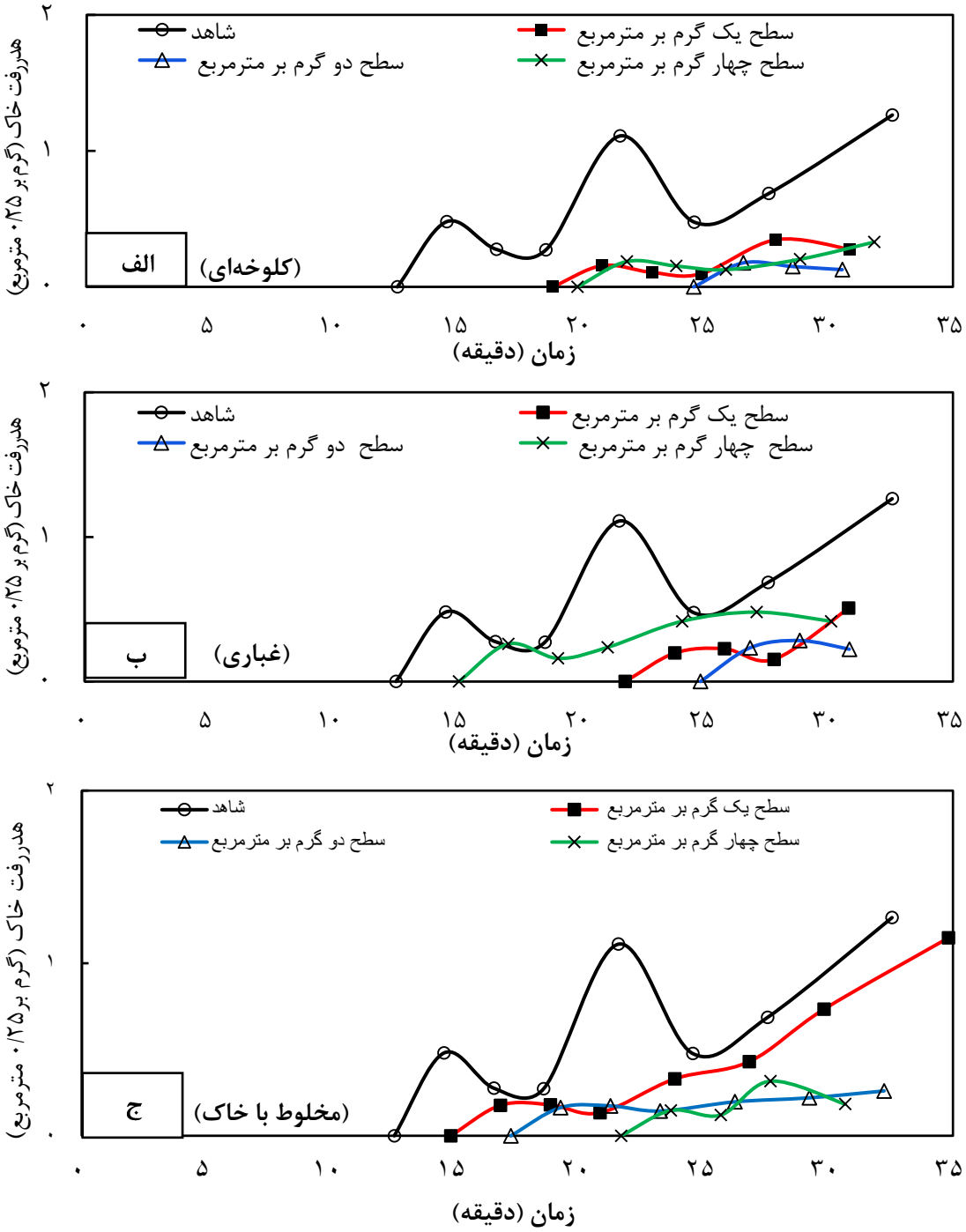
بررسی نتایج اندازه‌گیری هدررفت خاک در تیمارهای مختلف پسماند گوگردی

بررسی نتایج ارائه شده در شکل ۸ حاکی از این بود که هدررفت خاک در مقایسه با شاهد به‌صورت کلی پس از تیمارهای هر سه نوع پسماند گوگردی پالایشگاهی(تکه‌ای، غباری و مخلوط با خاک) و در هر سه سطح به‌صورت خاک‌پوش بین ۳۱ تا ۹۰ درصد در مقایسه با شاهد کاهش داشته است. در این میان کم‌ترین میزان هدررفت خاک را پسماند گوگردی نوع تکه‌ای در سطح دو گرم بر مترمربع به خود اختصاص داده است.

نتایج حاصل از میزان هدررفت خاک در طی مدت بارش نیز نشان داد که در پسماند گوگردی نوع تکه‌ای و غباری تا سطح دو گرم بر مترمربع میزان هدررفت خاک کاهش داشت اما با افزایش سطح به چهار گرم بر مترمربع روند هدررفت خاک در تعامل مستقیم با میزان حجم رواناب افزایشی شد. در پسماند گوگردی نوع مخلوط با خاک تا سطح چهار گرم بر مترمربع روند هدررفت خاک کاهشی بود و رابطه مستقیم با میزان حجم رواناب کل داشت که این امر به علت وجود حدود ۵۰ درصد گوگرد در این نوع پسماند گوگردی است. کاهش هدررفت خاک پس از تیمار خاک با سه نوع پسماند گوگردی (تکه‌ای ، غباری و مخلوط با خاک) نشان‌دهنده افزایش پایداری خاکدانه‌ها و مقاومت آن‌ها نسبت به فرسایش است که با نتایج کرمی و خاوازی (۱۳۹۷) مبنی بر افزایش پایداری خاکدانه پس از استفاده از گوگرد هم‌سو

1. Sealing
2. Hydrophobicity

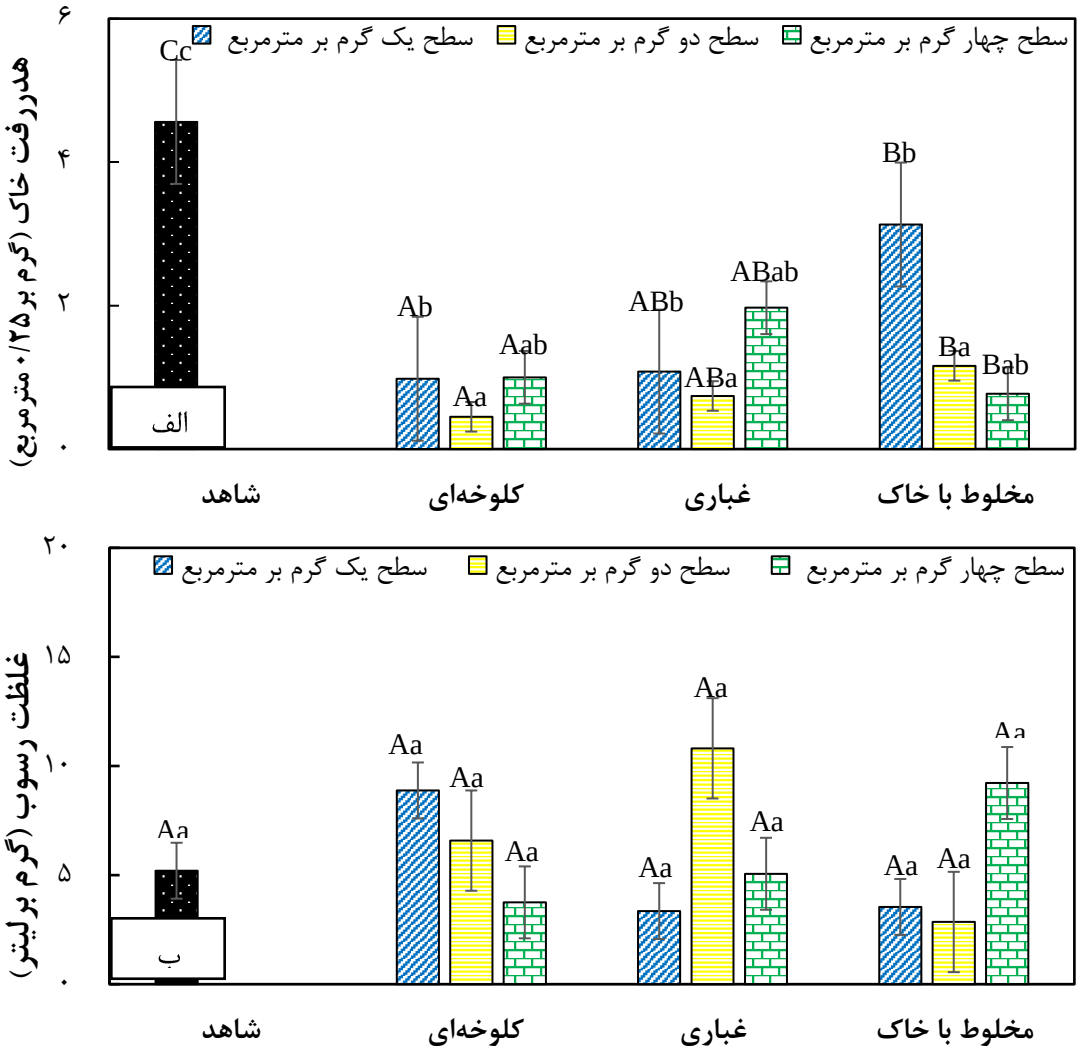
است.



شکل ۸- تغییرات زمانی هدررفت خاک در تیمار یک، دو و چهار گرم بر مترمربع سه نوع پسماند گوگردی پالایشگاهی تکه‌ای (الف)، غباری (ب) و مخلوط با خاک (ج)

بررسی نتایج اندازه‌گیری غلظت رسوب در تیمارهای مختلف پسماند گوگردی نتایج (شکل ۹) نشان داد که تأثیر سه نوع پسماند گوگردی در سطح‌های مطالعاتی بر غلظت رسوب متفاوت بوده است. بیش‌ترین مقدار غلظت رسوب در پسماند گوگردی نوع غباری در سطح دو گرم بر مترمربع و کمترین مقدار غلظت رسوب در پسماند گوگردی نوع مخلوط با خاک در سطح دو گرم بر مترمربع رخ داد. نتایج نشان داد که در پسماند گوگردی نوع تکه‌ای در سطح‌های پایین میزان غلظت رسوب نسبت به شاهد افزایش داشته است اما با افزایش سطح مصرف، غلظت رسوب کاهش پیداکرده است که تغییرات آن مشخصاً از تغییرات توأم حجم کل رواناب و هدررفت خاک تبعیت کرده است. نتایج نشان داد که در پسماند گوگردی نوع تکه‌ای در سطح‌های پایین میزان غلظت رسوب نسبت به شاهد افزایش داشته است اما

با افزایش سطح مصرف، غلظت رسوب کاهش پیداکرده است که تغییرات آن مشخصاً از تغییرات توأم حجم کل رواناب و هدررفت خاک تبعیت کرده است. در پسماند گوگردی نوع غباری در سطح یک گرم بر مترمربع میزان غلظت رسوب نسبت به شاهد کاهش داشته اما با رسیدن سطح به دو گرم بر مترمربع اگرچه در حالت کلی میزان رواناب و هدررفت خاک را کاهش داده اما غلظت رسوب افزایش پیداکرده است. هم‌چنین در سطح چهار گرم بر مترمربع اگرچه به‌طورکلی حجم رواناب و هدررفت خاک نسبت به سطح دو گرم بر مترمربع افزایش داشته اما غلظت رسوب کاهش‌یافته است. نوسانی بودن تغییرات به این دلیل است که در ابتدا به دلیل خشکی سطح خاک مقدار جذب توسط لایه سحطی خاک زیاد است با گذشت از شروع بارش و مرطوب شدن سطح خاک یک لایه نفوذناپذیر و آبگریز به مدت کوتاه ایجاد شده که باعث افزایش تبدیل بارش به رواناب شده است. درادامه بارش و مرطوب شدن کامل خاک نفوذپذیری افزایش یافته و میزان رواناب کاهش می‌یابد. با تداوم بارندگی و اشباع شدن خاک مجدداً میزان نفوذپذیری کاهش و رواناب افزایش می‌یابد که این روند علت نوسانات را توجیه کرده است.



شکل ۹ مقایسه میانگین مؤلفه‌های هدررفت خاک (الف) و غلظت رسوب (ب) در کرت‌های تحت تیمار انواع گوگرد

با توجه به نتایج دانه‌بندی، پسماند گوگردی غباری از دامنه قطری و میانگین بسیار کم‌تر و هم‌چنین جورشدگی بیش‌تر برخوردار است که شرایط را برای جذب بیش‌تر آب به خاطر سطح ویژه بیش‌تر فراهم می‌کند. لکن به سبب بروز آب‌گریزی و آب‌بندی‌سطحی، شرایط را برای انتقال حداقل مواد فرسایش‌یافته قابل‌دسترس[1] مهیا می‌نماید. درحالی‌که در شکل تکه‌ای مقدار رواناب به سبب برخورداری از سطح ویژه کم‌تر و هم‌چنین پوشش سطحی کم‌تر، میزان تولید رواناب کمی بیش‌تر از نوع غباری بوده است. حال‌آنکه عدم امکان تشکیل

1. Sediment availability

جریان پیوسته و برقراری اتصال هیدرولوژیکی[1] میزان انتقال رسوب قابل‌دسترس و طبعاً هدررفت خاک کم‌تر بوده است (Najafi *et al.*, 2021). در پسماند گوگردی نوع مخلوط با خاک در ابتدا و تا سطح دو گرم بر مترمربع غلظت رسوب نسبت به شاهد کاهش داشت، اما با افزایش سطح به چهار گرم بر مترمربع غلظت رسوب افزایش پیدا کرد. دلیل این امر را می‌توان به محتوی خاکی حدود ۵۰ درصد در این نوع پسماند و شسته شدن آن توسط رواناب و افزایش گل‌آلودگی و غلظت رسوب نسبت داد. نتایج حاصل از آزمون مدل خطی عمومی نیز نشان داد که تأثیر سطح مصرف (یک، دو و چهار گرم بر مترمربع) بر غلظت رسوب غیرمعنی‌دار ($P\geq ۰/۸۹$) و هم‌چنین نوع پسماند گوگردی (تکه‌ای ، غباری و مخلوط با خاک) بر غلظت رسوب غیرمعنی‌دار($P\geq ۰/۷۶$) بوده است. همچنین اثر متقابل سطح مصرف و نوع پسماند گوگردی نیز بر هدررفت خاک غیرمعنی‌دار ($P\geq ۰/۷۷$) ارزیابی شد.

نتیجه‌گیری

مقدار تلفات خاک اراضی مارنی بین ۱۲ تا ۳۴ تن بر هکتار در سال گزارش‌شده است. طبق برآوردهای صورت گرفته مساحت اراضی مارنی کشور بالغبر ۲۵ میلیون هکتار است با توجه به این امر ضرورت تلاش برای مهار رواناب و هدررفت خاک در سازندهای مارنی بیش‌ازپیش مشخص می‌شود (عرب‌خدری و همکاران، ۱۳۹۵). نظر به مساحت و وسعت اراضی مارنی در ایران و مقدار فرسایش این اراضی حدود ۸۵۰ میلیون تن در سال ضرورت تلاش برای تثبیت سازندهای مارنی اجتناب‌ناپذیر است. از طرفی امکان استفاده پسماندهای گوگردی تولیدی از صنایع نفت و گاز در حدود دو میلیون تن در سال است (قادری و همکاران، ۱۳۹۷) باتوجه به نتایج موفقیت‌آمیز در پژوهش حاضر، استفاده از انواع پسماندهای گوگردی موردمطالعه در کاهش رواناب و هدررفت خاک مورد تأیید است. بر همین اساس، مصرف پسماند گوگردی پالایشگاهی به‌صورت افزودنی سطحی در حفاظت از منابع آب‌وخاک در حوزه منابع طبیعی با توجه به وسعت مارن‌های موجود در کشور و هم‌چین شکل آسان استفاده آن از طریق پاشش هوایی و یا سایر ماشین‌آلات پیشنهاد می‌شود. حال با توجه به مقدار بهینه دو گرم بر مترمربع، مصرف سودمند پسماندهای گوگردی در حدود ۵۰۰ هزار تن در سال پیش‌بینی می‌شود. اگرچه مصرف تدریجی و همراه با پایش مستدام عملکرد آن مورد تأکید است.

تشکر و قدردانی

از آقای دکتر مهدی زیارتی‌تنها به عنوان استاد مشاور صنعتی پژوهش و شرکت پارس جنوبی به واسطه انعقاد قرارداد با شماره ۱۴۰۰/۱۱۳۶۰ و ارائه بخشی از حمایت مالی اجرای طرح مزبور کمال تشکر را دارد.

"هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

شریفی‌مقدم، ا.، صادقی، س.ح.ر.، خالدی‌درویشان، ع. و. ۱۳۹۳. تأثیرپذیری مؤلفه‌های رواناب و رسوب کرت‌های آزمایش کوچک از کاربرد پسماند آلی ویناس، تحقیقات آب‌وخاک ایران،۴۵(۴): ۵۰۸-۴۹۹.

صادقی، س.ح. ر.، قویمی.پ، م. ح.، یونسی، ح. ۱۳۹۶. امکان‌سنجی کاهش هدررفت خاک با استفاده از ذغال‌زیستی حاصل از پسماند کارخانه صنایع لبنی، پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، ۲۴(۲): ۲۲۶-۲۱۱.

عرب‌خدری، م.، جعفری اردکانی، ع.، بیات، ر.، شادفر، ص.، خواجوی، ا.، نبی پی لشکریان و همکاران. ۱۳۹۵. تدقیق ارقام فرسایش خاک برآوردشده در سطح کشور. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۱۱۸ صفحه

قادری، ج.، ملکوتی، م.، خاوازی، ک.، داوودی، م. ۱۳۹۷. تأثیر گوگرد در شرایط رطوبتی مختلف بر اکسیداسیون گوگرد و برخی از خصوصیات شیمیایی خاک، نشریه زیست‌شناسی خاک، ۶(۲): ۱۳۶-۱۲۵.

کرمی، ع.، خاوازی، ک. ۱۳۹۷. تعیین اثرات گوگرد کشاورزی بر ساختمان خاک با استفاده از هندسه فرکتالی و شاخص پایداری خاکدانه‌ها، نشریه علوم آب‌وخاک، ۲۳(۲): ۲۶۷-۲۸۰.

کریمی نیا، آرمین، و شعبان پورشهرستانی، محمود. (۱۳۸۲). ارزیابی توان اکسایش گوگرد توسط میکروار گانیسمهای هتروتروف در خاک

2. Hydrological connectivity

های مختلف. علوم خاک و آب، ۱۷(۱)، ۶۸-۷۹.

REFERENCES

Arabkhedri, M., Jafari Ardakani, A., Bayat, R., Shadfar, S., Khajavi. A. (2016). Verification of estimated soil erosion figures at the country level. The final report of the research project of the Soil Conservation and Watershed Research Institute. 118 pages

Behzadfar, M., Sadeghi, S.H.R., Khanjani, M.J., N Hazbavi, Z. (2017). Effects of rates & time of zeolite application on controlling runoff generation & soil loss from a soil subjected to a freeze-thaw cycle. *International Soil & Water Conservation Research*, 5 (2), 95-101.

Briggs, C. M., Breiner, J., & Graham, R. C. (2005). Contributions of *Pinus Ponderosa* charcoal to soil chemical & physical properties. *In The ASACSSA-SSSA International Annual Meetings. Salt Lake City, USA* (Vol. 13).

Defersha M.B., Quraishi S., Mellese A.M., 2011. The effect of slope steepness and antecedent moisture content on interrill erosion, runoff and sediment size distribution in the highlands of Ethiopia, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(1): 2367–2375.

Ghaderi, J., Malakouti, M.J., Khavazi, K., Davoodi, M.H. (2018). Sulfur Oxidation under Different Moisture Conditions & its Effect on some Chemical Soil Characteristics. *Journal of Soil Biology*, 6(2), 125-136. (In Persian)

Jenkins, S.H. (1982). "Standard methods for the examination of water & wastewater." *Water Research,* 16 (10), 1495–96.

Jingi, B.B., Danladi, U.D., Ahmed, A.S., Abubakar, Y. (2011). The effect of rainfall on aggregate stability & splash erosion on some agricultural soils of Borno State, Nigeria. *Journal of Technology,* 15(1), 45-48.

Karami, A., Khavazi, K. (2018). Determination of agricultural sulfur effects on the soil structure using fractal geometery & aggregate stability indices. *Journal of Science & Technology of Agriculture & Natural Resources*, 23(2), 267-280. (In Persian)

Kariminiya, A & Shabanpoor Shahrestani, M. (2003). Evaluation of sulfur oxidation power by heterotrophic microorganisms in different soils. *Journal of Soil and Water Sciences,* 17 (1), 68-79.

Khaledi Darvishan, A., Sadeghi, S.H.R., Homaee, M., Arabkhedri, M. (2013). Measuring sheet erosion using synthetic color-contrast aggregates. *Hydrological Processes,* 27(16), 2225-2382.

Kheirfam, H., Sadeghi, S.H.R., Homaee, M., Zarei Darki, B. (2017). Quality improvement of an erosion-prone soil through microbial enrichment. *Soil & Tillage Research,* 165, 230-238.

Mhaske, S.N., Pathak, K., Basak, A. (2019). A comprehensive design of rainfall simulator for the assessment of soil erosion in the laboratory, *Catena*, 172, 408-420.

Miller, R.M. (2002). The function of mycorrhizal fungi in soil restoration. P 21-22. In: International Workshop –Microbial Function in Revegetation Processes of Degraded Terrestrial Environments*. From Gene to Ecosystem, Tokyo, Japan, November 29,* 2002: p. 26.

Najafi, S., Sadeghi, S.H.R., Heckmann, T. (2021). Analysis of sediment accessibility & availability concepts based on sediment connectivity throughout a watershed. *Land Degradation & Development*, 2021, 1–22. Doi.org/10.1002/ldr.3964

Montenegro, A.D.A., Abrantes, J.R.C.B., De Lima, J.L.M.P., Singh, V., & Santos, T.E.M. (2013). Impact of mulching on soil & water dynamics under intermittent simulated rainfall. *Catena*, 109, 139-149.

Sadeghi, S.H.R., Ghavimi-Panah, M.H., Younesi, H., Kheirfam, H. (2018). Ameliorating some quality properties of an erosion-prone soil using biochar produced from dairy wastewater sludge, *Catena*, 171, 193-198.

Sadeghi, S.H.R., Gholami, L., Sharifi Moghadam, E. & Khaledi Darvishan, A.V. (2015). Scale effect on runoff & soil loss control using rice straw mulch under laboratory conditions. *Solid Earth,* 6,1-8.

Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z., Younesi, H., Behzadfar, M. (2013). Trend of soil loss & sediment concentration changeability due to application of polyacrylamide. *Journal of Soil & Water Resources Protection*, 2(4), 53-67. (In Persian)

Sadeghi, S.H.R., Hashemi Ariyan, Z., Karimi, Z. (2015). Runoff Generation & Soil loss Control using Combined Application of Vermicompost & Vinasse. *Journal of Water Recycling*, 2(1), 81-91. (In Persian)

Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z., Kiani-Harchegani, M., Younesi, H., Sadeghi, P., Angulo-Jaramillo, R., & Lassabatere, L. (2021). The hydrologic behavior of loess & marl soils in response to biochar &

polyacrylamide mulching under laboratorial rainfall simulation conditions. *Journal of Hydrology*, 592, 125620.

Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z., Younesi, H. & Bahramifar, N. (2016). Trade-off between runoff & sediments from treated erosion plots & polyacrylamide & acrylamide residues. *Catena*, 142, 213-220.

Sadeghi, S.H.R., Karimi, Z., Hashemiarian, Z. (2017). Effect of combined application of polyacrylamide & vermicompost on runoff & soil erosion control. *Management & Engineering Watershed of Journal*, 9(1), 1-10. (In Persian)

Sadeghi, S.H.R., Kheirfam, H., Homaee, M., Darki, B.Z. & Vafakhah M. (2017). Improving runoff behavior resulting from direct inoculation of soil micro-organisms, *Soil & Tillage Research*, 171, 35-41.

Sadeghi, S.H.R., Kheirfam, H., Zarei-Darki, B. (2020a). Controlling runoff generation & soil loss from field experimental plots through inoculating cyanobacteria, *Journal of Hydrology*, 585, 124814

Sadeghi, S.H.R., Kiani-Harchegani, M., Hazbavi, Z., Sadeghi, P., Angulo-Jaramillo, R., Lassabatere, L., Younesi, H. (2020). Field measurement of effects of individual & combined application of biochar & polyacrylamide on erosion variables in loess & marl soils, *Science of the Total Environment*, 728 (2020) 138866.

Sadeghi, S.H.R., Raisi, M.B., Hazbavi, Z. (2016a). Effects of polyacrylamide in controlling of splash erosion from a soil induced freeze-thaw cycle. *Journal of Water & Soil*, 29(6), 1601-1611.

Sharifi Moghadam, E., Sadeghi, S.H.R., Gholami, L. (2014). Effect of rice straw on surface runoff & soil loss in small plots. *Journal of Soil & Water Resources Protection*, 3(4), 73-83. (In Persian)

Smith, H.J.C., Levy, G.J. & Shainberg, I. (1990). Water-Droplet Energy & Soil Amendments: Effect on Infiltration & Erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 54, 1084-1087.

Sojka, R.E., Bjorneberg, D.L., Entry, J.A., Lentz, R.D., & Orts, W.J. (2007). Polyacrylamide in agriculture & environmental land management. *Advances in Agronomy*, 92, 75-162.

Zabihi, H.R., Nouri Hoseini, M. (2017). Application of Sulfur in Calcareous & Saline-Sodic Soils of Khorasan Razavi Province to Enhance Plant Yield. Scientific *Journal of Land Management Extension*, 5(1), 43-50.

Zare, S., Sadeghi, S.H.R., & Khosravani, A. (2021). Controllability of soil & water loss in small plots using nanofiber amendment produced from recycled old paperboard containers. *Soil & Tillage Research*, 209, 104949.

Controllability of runoff generation and soil loss due to application of different sulfur wastes on a marl soil

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Soil is the primary source of food production, as about 99% of food is produced by soil. Water erosion is one of the most critical types caused by the mutual response of climate, surface runoff, soil, topography, vegetation, land management, and conservation practices. In recent years, various studies have been conducted using natural and chemical amendments to reduce runoff and soil loss. However, the idea of using special wastes in water and soil conservation has yet to be considered in many cases. The present study aimed to apply three types of refinery sulfur wastes (i.e., clod, dusty, and mixed with soil) as an amendment to evaluate the feasibility of inhibiting soil and water loss on marl soil. In the current research, a comparative study of the impact of runoff components and soil loss in laboratory conditions was considered from the addition of refinery sulfur waste. The present research will provide the necessary platform for determining the proper form and amount of sulfur waste additive consumption in the form of pieces, dust, and with soil in controlling erosion in natural resources ecosystems.

Methods and Materials

In this regard, the present study aimed to apply three types of refinery sulfur wastes (i.e., clod, dusty, and mixed with soil) as an additive to evaluate the feasibility of inhibiting soil and water loss on a marl soil from the Marzanabad-Kandolus Region. The experiments were conducted in the Rainfall and Soil Erosion Simulation Laboratory of Tarbiat Modares University between February and July 2021. The study was conducted at a small plot scale with dimensions of 0.5×0.5×0.3 m in three replications. Three levels of one, two, and four g m^{-2} of any sulfur waste were applied to plots nested on a slope of 25% and subjected to a design rain with an intensity of 70 mm h^{-1} and a duration of 30 min.

Results and Discussion

The results showed that the total runoff volume was significantly ($P \leq 0.04$) decreased due to applying all three levels of sulfur waste. The different types of sulfur wastes (i.e., clod, dust, and mixed with soil) also had a significant effect ($P \leq 0.03$) on runoff volume. Besides, the interaction between application level and type of sulfur waste was more significant ($P \leq 0.00$). Applying different levels of sulfur waste significantly reduced soil loss ($P \leq 0.02$). At the same time, types of sulfur wastes had a non-significant effect ($P \geq 0.06$) on soil loss reduction. However, the interaction effect of the level and type of sulfur wastes on soil loss reduction was significant ($P \leq 0.01$) due to the positive impacts of sulfur on the quality and hydrologic behavior of the soil.

Conclusions

The successful results of the present research confirmed the use of the studied sulfur wastes in reducing runoff and soil loss. Based on this, the consumption of refinery sulfur wastes as a surface additive in the conservation of water and soil resources is suggested due to the extent of marls in the country and its easy use through aerial spraying or other machinery. Finally, it is concluded that the consumption of sulfur waste in each level or type is confirmed, preferentially use of 2 g m^{-2} of dust sulfur.

Keywords: Refinery Wastes, Runoff Management, Soil Amendment, Soil Erosion Management, Waste Management.