فصلنامهٔ علمی پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۷، شماره ۱، صفحه ۲۶-۱۵، (۱۴۰۰)

DOI: 10.30466/jfrd.2021.121005
DOR: 20.1001.1.24763551.1400.7.1.2.3

مقالهٔ پژوهشی

تأثیر انواع خاک‌پوش مایع بر نرخ رواناب و هدررفت خاک سطوح شیب‌دار

آیدین پارساخو[۱]، ایوب رضایی مطلق*[۲] و بنیامین متین‌نیا[۳]

۱- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (aidinparsakhoo@yahoo.com)
۲- دانشجوی دکتری مدیریت جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان ، ایران. (aiubrezaee@yahoo.com)
۳- دانشجوی دکتری مدیریت جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
(benjaminmati1372@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۲۴

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی اثر انواع خاک‌پوش مایع بر نرخ رواناب و هدررفت خاک دامنه‌ها و سطوح شیب‌دار است. بدین منظور ۱۳ نوع تیمار خاک‌پوش مایع متشکل از پلی‌اکریل‌آمید، ملاس نیشکر، خرده‌چوب، بذر فستوکا و لاشه کاه همراه با آب و تیمار خاک لخت به‌عنوان شاهد در قطعه‌نمونه‌های چوبی به ابعاد ۰/۶ متر عرض، ۱/۲ متر طول و ۰/۱ متر عمق با شیب ۳:۱ مستقر شدند. ۶۰ روز بعد از انجام تیمارها، شبیه‌سازی باران با شدت ۵۰ میلی‌متر در ساعت به‌مدت ۱۵ دقیقه از ارتفاع سه متری روی قطعه‌نمونه‌ها اجرا و رواناب خارج شده از قطعه‌نمونه‌ها در هر پنج دقیقه برداشت شد. نرخ رواناب بر حسب درصد، غلظت رسوب یا گل‌آلودگی بر حسب گرم در لیتر و نرخ هدررفت خاک بر حسب گرم در مترمربع محاسبه شد. بررسی جریان رواناب در بازه زمانی ۱۵ دقیقه نشان داد که پیک رواناب در ۵ دقیقه اول شبیه‌سازی باران به‌وقوع پیوست. همچنین نتایج نشان داد که تیمارهای خرده‌چوب با بذر (WM+S) و خاک‌پوش خرده‌چوب با بذر و پلی‌اکریل‌آمید (WM+S+P) به‌ترتیب نرخ رواناب را ۷۷/۴ و ۷۳/۷ درصد کاهش دادند. کمترین مقدار هدررفت خاک نیز با ۸۹/۸۲، ۸۷/۴۶ و ۸۳/۹۰ درصد کاهش به‌ترتیب برای تیمار WM+S+P، خاک‌پوش خرده‌چوب با بذر و ملاس نیشکر (WM+S+M) و خاک‌پوش لاشه کاه با پلی‌اکریل‌آمید و بذر (SM+S+P) به‌ثبت رسید. بدین‌ترتیب پلی‌اکریل‌آمید، ملاس و بذر فستوکا به‌عنوان مکمل خاک‌پوش‌ها توانستند عملکرد آن‌ها را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش دهند.

واژه‌های کلیدی: پلی‌اکریل‌آمید، رواناب، شبیه‌ساز باران، غلظت رسوب، ملاس نیشکر.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۳۹۹۲۰۸۹۸۷

مقدمه

تثبیت زیست‌مهندسی در هر مکانی که بر اثر فرآیندهای طبیعی و مصنوعی، خاک آن فاقد پوشش شده و در معرض عوامل فرساینده قرار گرفته باشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Najafian Seraji, 2010). بدین‌منظور روش‌های متنوعی مانند پاشیدن خاک‌پوش خرده‌چوب، خاک‌پوش کاه، مازاد مقطوعات، کوبیدن پیکه‌های چوبی، نصب روکش‌های کنترل فرسایش، چمن‌کاری و کشت نهال مورد استفاده واقع شده است. در سالیان اخیر ماده‌ای به‌نام خاک‌پوش مایع، پای به عرصه وجود گذاشته است که می‌تواند روند تثبیت دامنه‌های مستعد فرسایش را تسریع کند. در میان انواع پروژه‌های حفاظت خاک، پاشیدن خاک‌پوش می‌تواند به‌طور مؤثرتری سبب کاهش هدررفت خاک شود (Lin et al., 2018; Prosdocimi et al., 2016). خاک‌پوش مایع یا هیدرومالچ دوغابی زیست–پایه و مرکب از بذور گونه‌های مختلف علفی، آب، کود، غلظت‌دهنده (عامل چسباننده یا بایندر) و خرده مواد زیستی (خاک‌پوش) است و جهت مبارزه با انواع فرسایش آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. خاک‌پوش مایع محصول بیولوژیکی است که به آماده‌سازی و حفاظت فوری خاک در برابر عوامل فرساینده مانند باران، آسان کردن نفوذ باران یا آب در خاک، ترمیم سطوح آسیب‌دیده، کاهش فرسایش پاشمانی، ورقه‌ای و شیاری، جلوگیری از فشردگی خاک و افزایش حاصل‌خیزی و بهبود ساختمان خاک کمک می‌کند (Vahabi and Mehdian, 2010). خاک‌پوش مایع می‌تواند از خاک در برابر فلزات سنگین و دیگر آلاینده‌ها (روغن، گریس، علف‌کش‌ها، سموم و ...) نیز محافظت کند (Sheldon and Bradshaw, 1997).

یکی از اجزای مهم خاک‌پوش مایع غلظت‌دهنده است. ملاس نیشکر شیره قهوه‌ای رنگ و غلیظی است که پس از استحصال مواد قندی موجود در ساقه نیشکر از آن به‌جا می‌ماند. این ماده به‌عنوان غلظت–دهنده (چسباننده) ذرات ریز خاک را به یکدیگر می‌چسباند و از این طریق جلوی فرسایش خاک را می‌گیرد. ملاس فاقد هرگونه آثار منفی زیست‌محیطی است (Adams, 1988; Gotosa et al., 2015). استفاده از غلظت‌دهنده‌های بسیاری بر پایه اکریل‌آمید نیز به‌دلیل دوست‌دار محیط زیست بودن، ایمنی و قیمت ارزان آن‌ها به‌عنوان غلظت‌دهنده خاک‌پوش مایع در حال گسترش است. پلی‌اکریل‌آمیدها، بی‌بو، بی‌رنگ و بدون خاصیت آلایندگی در آب‌های سطحی و زیرزمینی، بافت‌های گیاهی و خاک هستند (Monafi et al., 2016). بذر چمن و بقولات که با غلظت‌دهنده و یا بدون آن به‌همراه خاک‌پوش و سایر افزودنی‌ها روی سطح پاشیده می‌شود، به‌علت وجود کودهای محرک رشد به‌سرعت جوانه زده و شیب را تثبیت می‌کند. زاویه شیب، درجه فشردگی خاک، شدت و مدت بارندگی و چسبندگی ذرات خاک از عواملی هستند که بر عملکرد خاک‌پوش مایع تأثیر می‌گذارند.

خاک‌پوش مایع به سه صورت قابل استفاده است که عبارتند از فرآیند یک مرحله‌ای که در آن آب، بذر، خاک‌پوش زیاد، غلظت‌دهنده و کود بر روی مناطق کم‌شیب و دارای شیارهای کوچک و کم‌عمق پاشیده می‌شود. در فرآیند دو مرحله‌ای که مناسب مناطق شیب‌دار و پر رفت و آمد است ابتدا آب، بذر و خاک–پوش اندک بر روی سطح پاشیده می‌شود و در مرحله بعد آب، بذر، خاک‌پوش زیاد، ماده غلظت‌دهنده و کود به‌کار می‌رود. فرآیند سه‌مرحله‌ای در مناطق به‌شدت فرسایش‌پذیر مورد استفاده واقع می‌شود و در آن ابتدا آب، بذر و خاک‌پوش اندک بر روی سطح پاشیده می‌شود و پس از غلتک زدن با تخماق‌های دستی و سفت کردن بستر در آخرین مرحله آب، بذر، خاک‌پوش

زیاد، غلظت‌دهنده و کود روی سطح پاشیده می‌شود (Grabau et al., 2011). به‌طور کل در تمامی پروژه‌های تثبیت خاک با خاک‌پوش مایع باید برای استقرار پوشش گیاهی دائمی برنامه‌ریزی کرد. با توجه به موارد اشاره شده ضروری است تا نسبت به تولید انواع خاک‌پوش و ارزیابی عملکرد هر یک در واحد سطح اقدام شود. بسیاری از کشورهای مناطق معتدله و نیمه‌خشک مدیترانه‌ای و کشورهایی مانند ایالات متحده آمریکا و فیلیپین از این محصولات در قالب فعالیت‌های تثبیت خاک با خاک‌پوش مایع به‌دلیل سرعت زیاد در اجرای کار، عملکرد بالا و هزینه کم استفاده می‌کنند. در ایران به‌دلیل عدم دست‌یابی به فرمولاسیون خاک‌پوش مایع و هزینه بالا واردات تاکنون از آن‌ها استفاده نشده است. با توجه به اینکه مقدار فرسایش خاک در ایران سالانه دو میلیارد تن بوده و تقریباً سه برابر شاخص جهانی است (۹۰۰ میلیون تن آن حاصل فرسایش آبی خاک است) می‌توان اذعان داشت که تدوین برنامه‌های حفاظت خاک و پژوهش راجع به فنون نوین از ضروریات مدیریت کلان حوزه‌های آبخیز است. متاسفانه باوجود اهمیت زیاد مسئله فرسایش خاک در کشور، تاکنون نسبت به کاربرد ماده زیست‌پایه خاک‌پوش مایع پژوهشی چندانی انجام نشده است. از این‌رو در این پژوهش تأثیر برخی از مهم‌ترین انواع خاک‌پوش‌ها بر مقدار رواناب و رسوب‌دهی خاک ترانشه‌های مصنوعی تحت شبیه‌سازی باران بررسی و مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی قطعه‌نمونه‌ها

این پژوهش در اردیبهشت و خرداد ۱۳۹۸ در آزمایشگاه مهندسی جنگل دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و در محوطه‌ای سرپوشیده به دور از باد و باران طبیعی به‌اجرا درآمد. در مجموع ۳۹ عدد قطعه‌نمونه چوبی به ابعاد ۰/۶ متر عرض، ۱/۲ متر طول و ۰/۱ متر عمق طراحی و ساخته شد (Shoemaker, 2009). سوراخ‌هایی به قطر سه سانتی‌متر به‌منظور زهکشی قطعه‌نمونه‌ها در کف آن‌ها تعبیه و توسط توده پارچه‌های نفوذپذیر ضخیم مسدود شد. در جلوی هر قطعه‌نمونه، ناودانی فلزی به‌طول ۳۰ سانتی‌متر برای هدایت رواناب به‌سمت ظروف نمونه‌برداری نصب شد (Shoemaker, 2009). قطعه‌نمونه‌ها در زوایه ۳:۱ (عمودی: افقی) مستقر شدند.

پیاده‌سازی تیمارها

خاک مورد نیاز از ترانشه‌های خاک‌برداری جاده‌های جنگلی طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا جمع‌آوری شده و پس از آنالیز بافت و اندازه‌گیری برخی مشخصات آن (جدول ۱) در داخل قطعه‌نمونه‌ها ریخته شده و تا رسیدن به وزن مخصوص ظاهری خشک خاک در حالت طبیعی (یک گرم بر سانتی‌مترمکعب) با پتک کوبیده شدند. سپس ۱۳ نوع تیمار به شرح جدول ۲ هر یک به‌طور جداگانه به‌حالت محلول در سه لیتر آب روی خاک پاشیده شد. هر تیمار در ۳ تکرار به‌اجرا درآمد. بذر مورد استفاده مربوط به گونه چمن فستوکا (*Festuca arundinacea L.*) بود. در تیمارهای حاوی بذر، آبیاری تیمارها در ماه اول، هفته‌ای دو بار و در ماه دوم هفته‌ای یک بار و هر بار به‌مقدار یک لیتر برای هر قطعه‌نمونه انجام شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی

Table 1. Some physical and chemical properties of the studied soil

رس (درصد) Clay (%)	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	بافت Texture	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) Electrical conductivity (dS/m)	اسیدیته pH
46	14	40	سیلتی رسی Silty clay	2.95	0.85	7.7

جدول ۲- مواد به‌کار رفته در ساختمان تیمارها بر حسب گرم در قطعه‌نمونه

(MDEQ, 2007, ALDOT, 2014, ASWCC, 2009)

Table 2. Materials used in treatments in gram per plot (MDEQ, 2007, ASWCC, 2009, ALDOT, 2014)

ردیف Rank	کد تیمار Treatment code	پلی‌اکریل‌آمید آنیونی Anionic polyacrylamide	لاشه کاه Carcass straw	ملاس نیشکر Sugarcanemolasses	خرده‌چوب Crumb wood	بذر فستوکا Seeds of Festuca	کودN-P-K N-P-K fertilizer
1	BS	0	0	0	0	0	0
2	P	0.7	0	0	0	0	0
3	M	0	0	300	0	0	0
4	WM+S	0	0	0	250	40	20
5	WM	0	0	0	250	0	0
6	WM+P	0.7	0	0	250	0	0
7	WM+M	0	0	300	250	0	0
8	WM+S+P	0.7	0	0	250	40	20
9	WM+S+M	0	0	300	250	40	20
10	SM+S+P	0.7	333	0	0	40	20
11	SM+S+M	0	333	300	0	40	20
12	SM+P	0.7	333	0	0	0	0
13	SM+M	0	333	300	0	0	0

خاک لخت (BS)، تیمار پلی‌اکریل‌آمید (P)، تیمار ملاس نیشکر (M)، خاک‌پوش خرده‌چوب با بذر و کود (WM+S)، خاک‌پوش خرده‌چوب بدون بذر (WM)، خاک‌پوش خرده‌چوب با پلی‌اکریل‌آمید (WM+P)، خاک‌پوش خرده‌چوب با ملاس نیشکر (WM+M)، خاک‌پوش خرده‌چوب با بذر و پلی-اکریل‌آمید و کود (WM+S+P)، خاک‌پوش خرده‌چوب با بذر و ملاس نیشکر و کود (WM+S+M)، خاک‌پوش لاشه‌کاه با ۷۵ درصد پوشش با پلی-اکریل‌آمید و بذر و کود (SM+S+P)، خاک‌پوش لاشه‌کاه با ۷۵ درصد پوشش با ملاس نیشکر و بذر و کود (SM+S+M)، خاک‌پوش لاشه-کاه با پلی‌اکریل‌آمید (SM+P) و خاک‌پوش لاشه‌کاه با ملاس نیشکر (SM+M).

Bare soil (BS), polyacrylamide treatment (P), sugarcane molasses treatment (M), wood mulch with seed and fertilizer (WM+S), wood mulch without seed (WM), wood mulch with polyacrylamide (WM+P), wood mulch with sugarcane molasses (WM+M), wood mulch with seed, polyacrylamide and fertilizer (WM+S+P), wood mulch with seed, sugarcane molasses and fertilizer (WM+S+M), 75% straw mulch cover with seed, polyacrylamide and fertilizer (SM+S+P), 75% straw mulch cover with seed, sugarcane molasses and fertilizer (SM+S+M), straw mulch cover with polyacrylamide (SM+P) and straw mulch cover with sugarcane molasses (SM+M).

شبیه‌سازی باران و جمع‌آوری داده‌ها

۶۰ روز بعد از پیاده‌سازی تیماها (در این مدت بذور سبز شده و فعل و انفعال تیمارها با خاک به‌طور کامل انجام می‌شود)، عملیات شبیه‌سازی باران با شدت ۵۰ میلی‌متر در ساعت به‌طور جداگانه برای هر قطعه نمونه با فواصل زمانی ۵ دقیقه به‌اجرا درآمد. طول مدت شبیه‌سازی باران ۱۵ دقیقه و ارتفاع نازل از سطح قطعه‌نمونه ۳ متر بود (شکل ۱). سپس نمونه‌های رواناب در هر ۵ دقیقه برداشت شد (Shoemaker, 2009). نمونه‌های رواناب از کاغذ صافی واتمن عبور داده شده و سپس وزن خشک رسوب باقی‌مانده روی کاغذ اندازه‌گیری شد. مقدار بار رسوب برحسب گرم، حجم رواناب برحسب لیتر، نرخ رواناب برحسب درصد، غلظت رسوب یا گل‌آلودگی برحسب گرم در

لیتر و نرخ هدررفت خاک برحسب گرم در مترمربع محاسبه شد. برای محاسبه غلظت رسوب از رابطه ۱ استفاده شد:

$$SC = \frac{SY}{RV}$$ رابطه (۱)

که در آن SC غلظت رسوب برحسب گرم در لیتر، SY بار رسوب یا وزن کل رسوب برحسب گرم وRV حجم کل رواناب برحسب لیتر است. نرخ فرسایش خاک برحسب گرم در مترمربع نیز از رابطه ۲ محاسبه شد:

$$ER = \frac{SY}{DA}$$ رابطه (۲)

که در آن ER نرخ فرسایش برحسب گرم در مترمربع، SY بار رسوب یا وزن کل رسوب برحسب گرم و DA مساحت قطعه‌نمونه برحسب مترمربع است. برای محاسبه نرخ رواناب از رابطه ۳ استفاده شد:

$$RC = \frac{FRV}{IRV} \times 100$$ رابطه (۳)

که در آن RC نرخ رواناب، FRV حجم رواناب نهایی در انتهای قطعه نمونه برحسب لیتر و IRV حجم بارندگی برحسب لیتر است.

شکل ۱- شبیه‌سازی باران روی انواع خاک‌پوش مایع

Figure 1. Simulation of rain on hydro-mulch types

تجزیه و تحلیل آماری

نرمال بودن توزیع مشاهدات با آزمون کولموگروف اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون بررسی شد. آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (به‌روش LSD در سطح احتمال ۹۵ درصد) با نرم‌افزار SAS انجام شد. در پایان هزینه اجری هر تیمار به‌منظور یافتن مقرون‌به‌صرفه‌ترین تیمار برآورد شد.

نتایج

حجم و نرخ رواناب

نتایج نشان داد که نرخ رواناب به‌طور معنی‌داری (P<۰/۰۰۱) متأثر از نوع خاک‌پوش مایع بود (جدول ۳). حجم و نرخ رواناب در خاک لخت (BS) و تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید (P) و ملاس نیشکر (M) به‌طور معنی‌داری بیشتر از دیگر تیمارها بود (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس یک‌طرفه اثر انواع خاک‌پوش مایع بر نرخ رواناب

Table 3. One way analysis of variance of the effect of hydro-mulch types on run off rate

منبع Source	درجه آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	F
خاک‌پوش مایع hydro-mulch	12	6868.22	564.02	63.94***

***معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱ درصد. *** Significant at 0.1% probability level

جدول ۴- رواناب تیمارهای مختلف

Table 4. Run off of different treatment

ردیف Rank	کدتیمار Treatment code	حجم رواناب (میلی‌لیتر) Run off volume (ml)	درصد کاهش Percent reduction	نرخ رواناب Run off rate
1	BS	2670	-	29.7^{A}
2	P	2310	13.5	25.7^{B}
3	M	2340	12.5	26.0^{B}
4	WM+S	600	77.4	6.7^{D}
5	WM	1530	42.8	17.0^{C}
6	WM+P	1020	61.9	11.3^{CD}
7	WM+M	1290	51.8	14.3^{C}
8	WM+S+P	706	73.7	7.8^{D}
9	WM+S+M	841	68.7	9.3^{D}
10	SM+S+P	1140	57.2	12.7^{CD}
11	SM+S+M	1191	55.5	13.2^{C}
12	SM+P	810	69.7	9.0^{D}
13	SM+M	1320	50.5	14.7^{C}

حروف مختلف در یک ستون نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است.

The different letters in a column indicate a significant difference at the 5% probability level based on the LSD test

بار و غلظت رسوب

نتایج نشان داد که غلظت رسوب به‌طور معنی‌داری ($P<۰/۰۰۱$) متأثر از نوع خاک‌پوش مایع بود (جدول ۵). بار و غلظت رسوب در خاک لخت (BS) و تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید (P) و ملاس نیشکر (M) به‌طور معنی‌داری بیشتر از دیگر تیمارها بود. خاک‌پوش‌های خرده‌چوب و کاه به‌طور مؤثری توانستند غلظت رسوب را کاهش دهند (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس یک‌طرفه اثر انواع خاک‌پوش مایع بر غلظت رسوب

Table 5. One way analysis of variance of the effect of hydro-mulch types on Sediment concentration

منبع Source	درجه آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	F
خاک‌پوش مایع hydro-mulch	12	1883.20	156.93	19.39***

***معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱ درصد

*** Significant at 0.1% probability level

جدول ۶- رسوب‌دهی تیمارهای مختلف

Table 6. Sedimentation of different treatment

ردیف	کدتیمار	بار رسوب	درصد کاهش	غلظت رسوب
Rank	Treatment code	Sediment yield (g)	Percent reduction	Sediment concentration (g l^{-1})
1	BS	45.39	-	17.00^{A}
2	P	27.41	30.20	11.87^{B}
3	M	31.20	21.56	13.33^{B}
4	WM+S	1.74	82.93	2.90^{D}
5	WM	11.73	54.89	7.67^{C}
6	WM+P	4.01	76.88	3.93^{CD}
7	WM+M	6.45	70.59	5.00^{CD}
8	WM+S+P	1.22	89.82	1.73^{D}
9	WM+S+M	1.79	87.47	2.13^{D}
10	SM+S+P	3.12	83.94	2.73^{D}
11	SM+S+M	3.85	81.00	3.23^{D}
12	SM+P	5.07	63.12	6.27^{C}
13	SM+M	8.93	60.18	6.77^{C}

حروف مختلف در یک ستون نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است.

The different letters in a column indicate a significant difference at the 5% probability level based on the LSD test

نرخ هدررفت خاک

نتایج نشان داد که خاک‌پوش‌های خرده‌چوب و کاه به‌طور مؤثری توانستند هدررفت خاک را کاهش دهند، به‌طوری که کمترین میانگین هدررفت خاک برای خاک‌پوش خرده‌چوب با بذر و کود (WM+S)، خاک-پوش خرده‌چوب با بذر و پلی‌اکریل‌آمید و کود (WM+S+P)، خاک‌پوش خرده‌چوب با بذر و ملاس نیشکر و کود (WM+S+M)، خاک‌پوش لاشه کاه با ۷۵ درصد پوشش با پلی‌اکریل‌آمید و بذر و کود (SM+S+P) و خاک‌پوش لاشه کاه با ۷۵ درصد پوشش با ملاس نیشکر و بذر و کود (SM+S+M) به‌ثبت رسید (جدول ۷).

جدول ۷- هدررفت خاک تیمارهای مختلف

Table 7. Soil loss in different treatment

ردیف	کد تیمار	هدررفت خاک	درصد کاهش
Rank	Treatment code	Soil loss (g m^{-2})	Percent reduction
1	BS	23.61^{A}	-
2	P	16.48^{B}	30.20
3	M	18.52^{B}	21.56
4	WM+S	4.03^{D}	82.93
5	WM	10.65^{C}	54.89
6	WM+P	5.46^{CD}	76.87
7	WM+M	6.94^{CD}	70.60
8	WM+S+P	2.41^{D}	89.79
9	WM+S+M	2.96^{D}	87.46
10	SM+S+P	3.80^{D}	83.90
11	SM+S+M	4.49^{D}	80.98
12	SM+P	8.70^{C}	63.15
13	SM+M	9.40^{C}	60.19

حروف مختلف در یک ستون نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD است.

The different letters in a column indicate a significant difference at the 5% probability level based on the LSD test

هزینه تهیه هر تیمار

نتایج نشان داد که کمترین مقدار هدررفت خاک و هزینه به‌ترتیب مربوط به تیمار خرده‌چوب با بذر و کود (WM+S) و تیمارهای (WM+S+M)، (SM+S+M) است (جدول ۸).

جدول ۸- هزینه تهیه هر یک از انواع خاک‌پوش‌های مایع برای تثبیت ۱۰۰ مترمربع (ریال)

Table 8. Cost of preparation of each type hydro-mulch for stabilization of 100 m^2 (Rial)

ردیف Rank	کدتیمار Treatment code	پلی‌اکریل‌آمید Anionic polyacrylamide	لاشه کاه Carcass straw	ملاس نیشکر Sugarcanemolasses	خرده‌چوب Crumb wood	بذر Seed	کود Fertilizer	هزینه کل Total cost
1	BS	0	0	0	0	0	0	0
2	P	5000000	0	0	0	0	0	5000000
3	M	0	0	3000000	0	0	0	3000000
4	WM+S	0	0	0	400000	2100000	300000	2800000
5	WM	0	0	0	400000	0	0	400000
6	WM+P	5000000	0	0	400000	0	0	5400000
7	WM+M	0	0	3000000	400000	0	0	3400000
8	WM+S+P	5000000	0	0	400000	2100000	300000	7800000
9	WM+S+M	0	0	3000000	400000	2100000	300000	5800000
10	SM+S+P	5000000	150000	0	0	2100000	300000	7550000
11	SM+S+M	0	150000	3000000	0	2100000	300000	5550000
12	SM+P	5000000	150000	0	0	0	0	5150000
13	SM+M	0	150000	3000000	0	0	0	3150000

بحث

حجم و نرخ رواناب در خاک لخت (BS) و تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید (P) و ملاس نیشکر (M) به‌طور معنی‌داری بیشتر از دیگر تیمارها بود. خاک‌پوش‌های خرده‌چوب و کاه به‌طور مؤثری توانستند نرخ رواناب را کاهش دهند. کمترین میانگین نرخ رواناب برای خاک‌پوش خرده‌چوب با بذر و کود (WM+S)، خاک‌پوش خرده‌چوب با بذر و پلی‌اکریل‌آمید و کود (WM+S+P)، خاک‌پوش خرده‌چوب با بذر و ملاس نیشکر و کود (WM+S+M) و خاک‌پوش لاشه کاه با پلی‌اکریل‌آمید (SM+P) به‌ثبت رسید. Prats et al. (2013) از خاک‌پوش مایع به مقدار ۳۵۰۰ کیلوگرم در هکتار که مرکب از فیبرهای آلی، آب و بذر بود برای کاهش رواناب و فرسایش خاک جنگلکاری‌های سوزنی‌برگ مرکز پرتقال استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از این تکنیک سبب کاهش رواناب و فرسایش خاک به‌ترتیب به‌مقدار ۷۰ درصد و ۸۳ درصد شد. Lotfalian et al. (2018) از +CBR برای بررسی رواناب جاده‌های جنگلی استفاده کردند. نتایج نشان داد که مقدار رواناب در قطعه‌نمونه‌های تیمار-شده با این ماده بیشتر از دیگر قطعه‌نمونه‌ها است. Sharifi et al. (2018) از یک نوع خاک‌پوش متشکل از ۱۵ ماده افزودنی اصلاح کننده خاک مانند پلی-اکریل‌آمید با استفاده از شبیه‌ساز باران با شدت بارندگی ۳۰، ۵۰ و ۸۰ میلی‌متر در ساعت برای کنترل فرسایش عرصه‌های شیب‌دار استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد که این نوع خاک‌پوش تأثیر به‌سزایی در پایداری خاک در دامنه شیب‌دار دارد. Bjorneberg et al. (2000) نیز با پراکندن ترکیب خاک‌پوش کاه و غلظت‌دهنده روی سطوح آسیب‌دیده دریافتند که

عملکرد ترکیبی این مواد بهتر از استفاده انفرادی از آن‌هاست.

بار و غلظت رسوب در خاک لخت (BS) و تیماهای پلی‌اکریل‌آمید (P) و ملاس نیشکر (M) به‌طور معنی‌داری بیشتر از دیگر تیماها بود. خاک‌پوش‌های خرده‌چوب و کاه به‌طور مؤثری توانستند غلظت رسوب را کاهش دهند، به‌طوری که کمترین میانگین غلظت رسوب برای خاک‌پوش خرده‌چوب با بذر و کود (WM+S)، خاک‌پوش خرده‌چوب با بذر و پلی‌اکریل‌آمید و کود (WM+S+P)، خاک‌پوش خرده‌چوب با بذر و ملاس نیشکر و کود (WM+S+M)، خاک‌پوش لاشه کاه با ۷۵ درصد پوشش با پلی‌اکریل‌آمید و بذر و کود (SM+S+P) و خاک‌پوش لاشه کاه با ۷۵ درصد پوشش با ملاس نیشکر و بذر و کود (SM+S+M) به‌ثبت رسید. Prosdocimi et al. (2016) نشان دادند که خاک‌پوش کاه گندم با مقدار ۷۵ گرم در مترمربع و هزینه ۱۵۵ یورو در هکتار سبب کاهش معنی‌دار نرخ رواناب (از ۵۲/۵۹ درصد به ۳۹/۲۷ درصد)، غلظت رسوب (از ۹/۸ گرم در لیتر به سه گرم در لیتر) و هدررفت خاک (از ۲/۸۱ مگاگرم در هکتار به ۰/۶۳ مگاگرم در هکتار) شد. Grabau et al. (2011) از خاک‌پوش گیاهی، اسیدهومیک و بذر برای کنترل فرسایش خاک استفاده کردند. نتایج نشان داد که مقدار رواناب و رسوب تا حدود ۹۰ درصد کاهش یافت. Kavian et al. (2014) بااستفاده از شبیه‌ساز باران تأثیر پلی‌اکریل‌آمید را بر مقدار فرسایش پاشمانی مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که این نوع خاک‌پوش تأثیر زیادی در کاهش فرسایش پاشمانی دارد.

خاک‌پوش‌های خرده‌چوب و کاه به‌طور مؤثری توانستند هدررفت خاک را کاهش دهند، به‌طوری که کمترین میانگین هدررفت خاک برای خاک‌پوش خرده‌چوب با بذر و کود (WM+S)، خاک‌پوش خرده‌چوب با بذر و پلی‌اکریل‌آمید و کود (WM+S+P)، خاک‌پوش خرده‌چوب با بذر و ملاس نیشکر و کود (WM+S+M)، خاک‌پوش لاشه کاه با ۷۵ درصد پوشش با پلی‌اکریل‌آمید و بذر و کود (SM+S+P) و خاک‌پوش لاشه کاه با ۷۵ درصد پوشش با ملاس نیشکر و بذر و کود (SM+S+M) به‌ثبت رسید. Gholami et al. (2014) اثر خاک‌پوش کاه و کلش (۰/۵ گرم بر مترمربع) بر زمان شروع رواناب، فرسایش پاشمانی، مقدار رواناب و تولید رسوب در شدت‌های بارندگی ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که این خاک‌پوش تغییرات معنی‌داری در سطح یک درصد بر خصوصیات رواناب و فرسایش خاک ایجاد می‌کند و حداکثر کاهش تولید رسوب در سطح ۶۳/۲۴ درصد در شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر بر ساعت بوده است. حداکثر افزایش زمان شروع رواناب در شدت بارش ۹۰ میلی‌متر بر ساعت و حداکثر کاهش ضریب رواناب در شدت‌های ۳۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت بوده است.

Fernández and Vega (2014) در پژوهشی در کشور اسپانیا دریافتند که عملکرد خاک‌پوش کاه در کاهش نرخ فرسایش خاک بهتر از خاک‌پوش خرده چوب بود. خاک‌پوش کاه و خرده‌چوب به‌ترتیب سبب کاهش ۹۰ درصدی و ۸۷ درصدی فرسایش خاک شدند. Hayes et al. (2005) دریافتند که استفاده از غلظت‌دهنده در ترکیب با بذر و خاک‌پوش می‌تواند به‌طور معنی‌داری گل‌آلودگی رسوب و هدررفت خاک را کاهش دهد. Lin et al. (2018) از خاک‌پوش کاه با درصدهای پوشش ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۵ برای مقابله با فرسایش خاک تحت شبیه‌سازی باران استفاده کردند. نتایج نشان داد که در مقایسه با خاک لخت، افزایش

پوشش خاک توسط کاه سبب کاهش نرخ هدررفت خاک از ۱۳ درصد تا ۹۰ درصد شد. علاوه براین پیک غلظت رسوب از ۲۰۰ گرم در لیتر به ۸۰ گرم در لیتر کاهش یافت. در این پژوهش مقدار بهینه کاه ۱/۵ تا ۳ تن در هکتار گزارش شد. Kukal and (2010) Sarkarبه بررسی تأثیر مالچ کاه به مقدار ۶ تن در هکتار و محلول پلی‌ونیل الکل ۰/۱ و ۰/۵ درصد بر فرسایش پاشمانی و نرخ نفوذپذیری دو نوع خاک تحت شبیه‌سازی باران در جنگل‌های نیمه‌خشک تروپیکال پرداختند. نتایج نشان داد که متوسط هدر-رفت خاک در تیمارهای مالچ کاه با پلی‌ونیل الکل ۰/۱ و ۰/۵ درصد به‌ترتیب ۵۶ درصد و ۸۴ درصد کاهش یافت. از میان تیمارهایی که کمترین مقدار هدررفت خاک را داشتند، تیمار خرده‌چوب با بذر و کود (WM+S) دارای کمترین هزینه بود، به‌طوری که تثبیت هر ۱۰۰ مترمربع ترانشه ۲۸۰۰۰۰۰ ریال هزینه دربرداشت.

نوع و ترکیب خاک‌پوش مهم‌ترین عامل کنترل-کننده نرخ رواناب و هدررفت خاک دامنه‌ها و شیب-های مستعد فرسایش است. براساس یافته‌های پژوهش حاضر پلی‌اکریل‌آمید، ملاس و بذر فستوکا به‌عنوان مکمل خاک‌پوش‌ها توانستد عملکرد آن‌ها را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش دهند. در حقیقت هرچه چسبندگی ذرات خاک بیشتر باشد در برابر فرسایش آبی مقاوم‌تر است. این مواد با افزایش پایداری خاکدانه‌ها و اتصال خاکدانه‌های خاک سطحی و ذرات منفرد به یکدیگر و بزرگ‌شدن آن‌ها سبب افزایش مقاومت در برابر فرسایش می‌شود. پلی‌اکریل‌آمید با ایجاد هیدروژل‌های مصنوعی قادر به تأمین آب مورد نیاز بذر تا زمان جوانه‌زنی بوده و پوشش چمن مستقر شده نیز به‌نوبه خود سبب تثبیت دامنه‌ها و سطوح شیب‌دار می‌شود. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی اثر غلظت‌های مختلف هیدروژل‌ها مانند پلی‌اکریل‌آمید و دیگر سوپر جاذب‌ها در به حداقل‌رساندن نیاز آبی چمن بررسی شود.

References

- Adams, J.W., Environmental effects of applying lignosulfonate to roads. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. Report number: 11, 1988, 170 p.
- ALDOT, QMSD. Available from http:// www.dot.state.al.us/mtweb/Testing/QMSD. html. Accessed 3th March 2014.
- ASWCC, Available form http://swcc.alabama.gov/pages/erosion_handbook. aspx. Accessed 15th June 2009.
- Gholami, L.; Banasik, K.; Sadeghi, S. H.; Khaledi Darvishan, A.; Hejduk, L., Effectiveness of straw mulch on infiltration, splash erosion, runoff and sediment in laboratory conditions, *Journal of Water and Land Development* **2014**, *22* (1), 51–60 (In Persion).
- Kavian, A.; Hayavi, F.; Boroghani, M., Polyacrylamide effects on splash erosion rate in different soils using rainfall simulator, *Journal. of Range and Watershed Management* **2014**, *67* (2), 203-216 (In Persion).
- Lotfalian, M.; Savadkoohi, A.; Parsakhoo A.; Karamirad, S., Effects of CBR+ nano materials on mechanical resistance and chemical characteristics of forest roads runoff, *Journal of Forest Research and Development* **2018**, *4* (3), 289-301 (In Persion).
- MDEQ, Available from http://opcgis.deq.state.ms.us/Erosion_Stormwater Manual. Accessed 5th March **2007**.
- Monafi, M. R.; Monafi P.; Daqah, H., Synthesis and investigation of rheological properties of poly (acrylamide-co-acrylic acid) used as soil stabilizer, *Journal of Applied Research in Chemistry* **2016**, *10* (4), 19-30 (In Persion).
- Najafian Seraji, L., Effect of rangeland vegetation on soil erosion using rain simulator. MS Thesis, University of Mazandaran, Faculty of Natural Resources, Sari, 2010**,** 88 p. (in Persian).

- Sharifi, F.; Solaimani, F.; Hosseini, S. A., Development and Evaluation of New Soil Stabilization Technologies to Reduce Runoff and Erosion and Stabilize Drainage Canal Sidewall and Steep Lands in Khuzestan, *Journal of Soil Research (Formerly Soil and Water Science)* **2018**, *32* (3), 343-360 (In Persion).
- Vahabi, J.; Mehdian, M. H., Investigation of the Effect of Vegetation Density and Soil Moisture on Runoff Production Using Rain Simulation. Proceedings of the 6th National Conference on Watershed Management Science and Engineering and 4th National Conference on Erosion and Sedimentation, Noor, Mazandaran, Iran. 2010, p. 1439-1445 (In Persion).
-Bjorneberg, D.; Aase, J.; Westermann, D., Controlling sprinkler irrigation runoff, erosion, and phosphorus loss with straw and polyacrylamide. *Transactions of the ASAE* **2000,** *43* (6), 1545.
-Fernández, C.; Vega, J. A., Efficacy of bark strands and straw mulching after wildfire in NW Spain: Effects on erosion control and vegetation recovery. *Ecological Engineering* **2014,** *63*, 50-57.
-Gotosa, J.; Nyamadzawo, G.; Mtetwa, T.; Kanda, A.; Dudu, V., Comparative road dust suppression capacity of molasses stillage and water on gravel road in Zimbabwe. *Advances in Research* **2015**, 198-208.
-Grabau, M. R.; Milczarek, M. A.; Karpiscak, M. M.; Raulston, B. E.; Garnett, G. N.; Bunting, D. P., Direct seeding for riparian tree re-vegetation: Small-scale field study of seeding methods and irrigation techniques. *Ecological Engineering* **2011,** *37* (6), 864-872.
-Hayes, S. A.; McLaughlin, R.; Osmond, D., Polyacrylamide use for erosion and turbidity control on construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation* **2005,** *60* (4), 193-199.
-Kukal, S. S.; Sarkar, M., Splash erosion and infiltration in relation to mulching and polyvinyl alcohol application in semi-arid tropics. *Archives of Agronomy and Soil Science* **2010,** *56* (6), 697-705.
-Lin, J.; Zhu, G.; Wei, J.; Jiang, F.; Wang, M.-k.; Huang, Y., Mulching effects on erosion from steep slopes and sediment particle size distributions of gully colluvial deposits. *Catena* **2018,** *160*, 57-67.
-Prats, S. A.; Malvar, M. C.; Vieira, D. C. S.; MacDonald, L.; Keizer, J. J., Effectiveness of hydromulching to reduce runoff and erosion in a recently burnt pine plantation in central Portugal. *Land degradation & development* **2016,** *27* (5), 1319-1333.
-Prosdocimi, M.; Jordán, A.; Tarolli, P.; Keesstra, S.; Novara, A.; Cerdà, A., The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards. *Science of the Total Environment* **2016,** *547*, 323-330.
-Sheldon, J.; Bradshaw, A., The development of a hydraulic seeding technique for unstable sand slopes. I. Effects of fertilizers, mulches and stabilizers. *Journal of Applied Ecology* **1977**, 905-918.
-Shoemaker, A., Evaluation of anionic polyacrylamide as an erosion control measure using intermediate-scale experimental procedures, MSc Thesis, Auburn University, **2009,** USA, 220p.

Effect of hydro-mulches on runoff and soil loss rate from steep slopes

A. Parsakhoo[1], A. Rezaei Motlagh[*2] and B. Matin Nia[3]

1- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Forest Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran. (aidinparsakhoo@yahoo.com)
2- Ph.D. student of forest management, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran. (aiubrezaee@yahoo.com)
3- Ph.D. student of forest management, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran. (benjaminmati1372@gmail.com)

Received: 26.03.2020 Accepted: 13.06.2020

Abstract

The objective of this study was to investigate the effect of hydro-mulches on runoff and soil loss from steep slopes. So, 13 treatments consist of polyacrylamide, sugar cane molasses, wood mulch, Festuca, straw mulch and bare soil (control) were established in wooden plots with dimensions of 0.6 m in width, 1.2 m in length and 0.1 m in depth with slope gradient of 1:3. 60 days after the implementation of the treatments, rainfall simulation with intensity of 50 mm hr^{-1} and duration of 15 minute was done on each plot and then runoff volume was collected every 5 minutes. Runoff rate was in % and sediment concentration were in g l^{-1}, beside soil loss rate was calculated in g m^{-2}. Investigation of the runoff behavior in 15 minutes showed that the peak of Runoff was occurred during first 5 minutes. In addition, results indicated that, runoff rates decreased 77.4% and 73.7% in wood mulch and seed (WM+S) and wood mulch, seed and polyacrylamide (WM+S+P) treatments, respectively. Minimum amount of soil loss with reduction of 89.82%, 87.46% and 83.90% was observed for treatments of WM+S+P, wood mulch, seed and molasses (WM+S+M) and straw mulch, seed and polyacrylamide (SM+S+P). In rainfall intensity of 80 mm h^{-1}, minimum runoff and soil loss was recorded for treatments of WM+S+P, WM+S+M and SM+S+P. It was concluded that polyacrylamide, molasses and Festuca seed as supplementary of mulch increased the efficiency of treatment.

Keywords: Polyacrylamide, Rainfall simulation, Runoff, Sediment concentration, Sugar cane molasses.

[*] Corresponding author Tel: +989399208987