

## اثرات هیدرومالچ و پلی آکریل آمید بر کنترل رواناب، رسوب و اتلاف عناصر N، P و K خاک در شرایط آزمایشگاهی

کیومرث عباسی<sup>۱\*</sup>، محمدرضا نیشابوری<sup>۲</sup>، شاهین اوستان<sup>۳</sup> و عباس احمدی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۲۸

<sup>۱</sup> دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>۳</sup> دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>۴</sup> استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a.qmars@yahoo.com

### چکیده

فرسایش خاک نه تنها به عنوان تهدیدی برای رفاه بشر بلکه تهدید جدی برای حیات او شناخته شده است. جوامع بشری با درک اهمیت این موضوع اقدامات متعددی برای کنترل فرسایش اتخاذ کرده‌اند. پژوهش حاضر روی اثرات شیب، شدت بارندگی و نوع پوشش خاک بر روان آب و رسوب حاصله از فرسایش انجام یافته است. ۲۴ آزمایش با استفاده از شبیه‌ساز باران روی نمونه خاک حساس به فرسایش جمع‌آوری شده از منطقه بناب واقع در شمال غرب ایران انجام گرفت. برای هر آزمایش تقریباً ۱۱۰ کیلوگرم خاک پس از گذراندن از الک ۴/۷۶ میلی‌متری در داخل سینی فلوم به ابعاد ۱×۱×۰/۱ متر قرار داده شد و مسطح گردید. تیمارهای آزمایش عبارت از دو شیب ۵٪ و ۲۵٪، دو شدت بارش ۴۰ و ۸۰ میلی‌متر در ساعت و دو نوع پوشش / اصلاح کننده خاک از جمله هیدرومالچ، پلی آکریل آمید و خاک بدون پوشش بود. طرح آزمایش به صورت فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. در هر آزمایش در طول ۳۰ دقیقه بارش ایجاد شده افزایش حجم رواناب، رسوب و اتلاف عناصر N، P، K خاک در رواناب و رسوب اندازه‌گیری گردید. هیدرومالچ و پلی آکریل آمید هر دو در کاهش رواناب و رسوب موثر بودند. هیدرومالچ مقادیر رسوب را عملاً حذف و حجم رواناب را حدود ۴۵ درصد کاهش داده است. مصرف پلی آکریل آمید به مقدار ۲۵ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با هیدرومالچ تاثیر کمتری در کاهش فرسایش خاک داشت، اما نسبت به شاهد مقادیر رسوب را ۳۰ تا ۶۲ درصد، رواناب را ۵ تا ۸ درصد پایین آورده است. در مورد اتلاف عناصر N، P، K هیدرومالچ و پلی آکریل آمید با تاثیر مثبتی که در کاهش میزان رسوب و رواناب داشتند بطور معنی‌دار موجب کاهش اتلاف عناصر مذکور شدند.

واژه‌های کلیدی: اتلاف عناصر غذایی، پلی آکریل آمید، رسوب، رواناب، شبیه‌ساز باران، هیدرومالچ

## Hydromulch and Polyacrylamide Effects on Runoff Control, Sediment Yield and N, P, K Losses in Laboratory Conditions

K Abbasi<sup>\*1</sup>, MR Neyshabouri<sup>2</sup>, SH Oustan<sup>3</sup> and A Ahmadi

Received: 13 July 2013 Accepted: 17 February 2014

<sup>1</sup>- Former M.Sc. Student, Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

<sup>2</sup>- Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

<sup>3</sup>- Assoc. Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

<sup>4</sup>- Assis. Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

\*Corresponding Author Email: a.qmars@yahoo.com.

### Abstract

Soil erosion not only is threatening human being welfare, but also is intimidating his life. Considering its importance, several approaches have been made to control the soil erosion. The present research investigates the effects of slope, rainfall intensity and kind of soil cover on the runoff and sediment yield generated by the erosion. Totally 24 experiment runs were carried out by employing a field rainfall simulator on a susceptible soil to erosion collected from Bonab region, north west of Iran. For each experiment, approximately 110 kg of the soil sample was passed through 4.76 mm sieve and was leveled down nearly flat on the flum of the simulator tray with 0.1 × 1 × 1 m dimensions. The experimental treatments were: two slopes %5 and %25, two rainfall intensities of 40 and 80 mm/hr and two types of soil cover/amendment including a hydromulch, polyacrylamide and the uncovered soil. The whole experiment layout was factorial design based on randomized complete blocks. In each experiment during the generated 30-min period of rainfall, the increments of runoff volume, sediment load and losses of N, P, K contents associated with both runoff and sediments were measured. Hydromulch and PAM both effectively reduced the runoff and erosion. Hydromulch practically eliminated the sediment yield and reduced the runoff volume by 45% comparing to the control. PAM application at the rate of 25 kg/ha was less effective in controlling runoff and erosion comparing to hydromulch but significantly reduced the sediment yield (30 to 62%) and the runoff (5-8%) as compared to the control. Regarding N, P, K losses, hydromulch and PAM reduced their losses significantly mainly through suppressing the sediment yield and runoff volume.

**Keywords:** Hydromulch, NPK losses, Polyacrylamide, Rainfall simulator, Runoff, Sediment yield

## مقدمه

تاثیر پلی‌اکریل‌آمید، بر فرسایش و پایداری خاکدانه‌ها، در سه خاک شن لومی، لوم و لوم رسی را تحت دو شدت بارش ۳۹ و ۷۹ میلی‌متر در ساعت مطالعه کردند. نتایج نشان داد که کلیه سطوح پلی‌اکریل‌آمید نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری در کاهش مقدار رواناب و خاک از دست رفته داشته است. روحی‌پور (۱۳۸۴) با بررسی تاثیر مواد اصلاحی (PAM و گچ) و خاک پوش‌ها در کاهش رواناب و رسوب در شیب‌های تند (۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد) و با شدت‌های مختلف بارندگی (۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌متر بر ساعت) نشان داد که خاکپوش‌های با روزنه ۱/۵ و ۰/۵ سانتی‌متر به ترتیب در کنترل رواناب و رسوب بیش‌ترین تاثیر را داشته‌اند و کاربرد ۳۰ تن در هکتار گچ به همراه ۷۵ کیلوگرم در هکتار PAM بیش‌ترین تاثیر را در کاهش رواناب و رسوب داشت.

اهمیت استفاده از مواد پوششی خاک در کنترل فرسایش و رواناب در دهه ۱۹۵۰ توسط مطالعات تجربی هادسون (۱۹۵۷) و دیگران به‌طور کامل مشخص گردید (سوزرلند و زیگلر ۲۰۰۶). هیدرومالچ شکل خاصی از مالچ آلی است که معمولاً با ترکیبی از مواد آلی (فیبر چوبی، کاغذ، الیاف کتان، نیشکر و غیره)، چسب‌های نگهدارنده قابل تجزیه، موادی برای نگهداری و جذب رطوبت وقتی کود و بذر گیاهان به صورت مخلوط در آب تهیه می‌شود و در حفاظت از شیب‌های حاشیه جاده‌ها و دامنه‌های شیب‌دار و صخره‌ای (قیاسی- آقایی و همکاران ۲۰۰۱)، شیب‌های حاشیه رودخانه‌ها و سدها و در اراضی فرسایش‌پذیر به منظور استقرار سریع پوشش گیاهی و کنترل فرسایش مورد استفاده قرار می‌گیرد (لندلوچ ۲۰۰۴، موریس ۲۰۰۷). هیدرومالچ پس از سفت شدن سطح خاک را پوشانده و موجب حفاظت خاک سطحی از فرسایش، کاهش سرعت خشک شدن آن بعد از بارندگی، تسریع در جوانه زنی بذور و استقرار سریع گیاه می‌شود. هیدرومالچ در عین حال نسبت به آب نفوذپذیر بوده و با جلوگیری از تخریب لایه سطحی خاک و انسداد سطحی باعث افزایش نفوذ آب در خاک نیز می‌شود. مهم‌ترین محدودیت هیدرومالچ هزینه بالای ساخت و تهیه

فرسایش خاک از اساسی‌ترین معضلات زیست محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است که اثرات مخربی بر تمام اکوسیستم‌های طبیعی و تحت مدیریت انسان دارد (شکل‌آبادی و همکاران ۱۳۸۲). این چالش در ایران به سبب شدت بالای فرسایش و عدم مدیریت صحیح آن از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد (بی‌نام ۱۹۹۹). از عوامل موثر بر فرسایش می‌توان به تندی شیب اشاره کرد که به صورت مستقیم و یا با تأثیر روی سایر عوامل دخیل باعث افزایش تولید رواناب و رسوب می‌شود. رواناب فرآیند مهمی است که از طریق هدر رفت و از بین بردن قشر سطحی خاک موجب کاهش حاصلخیزی و اتلاف عناصر غذایی خاک می‌شود (پرزلاتور و همکاران ۲۰۱۰). مهار رواناب در مناطق نیمه‌خشک، که تولید محصولات کشاورزی کاملاً وابسته به بارندگی می‌باشد اهمیت زیادی دارد. استفاده از مواد اصلاحی مصنوعی مانند پلی‌اکریل‌آمید<sup>۱</sup> (PAM) (لنتیز و سوچکا ۱۹۹۴، چادهاری و فلانگان ۱۹۹۸) و پوشش دهنده خاک (دیزکر و ریچاردسون ۱۹۶۱، سوزرلند و زیگلر ۲۰۰۶) و در دهه‌های اخیر هیدرومالچ<sup>۲</sup> (لندلوچ ۲۰۰۴) از جمله روش‌های کنترل فرسایش می‌باشد.

ترکیب PAM از مهم‌ترین و رایج‌ترین پلیمرهای مصنوعی محلول در آب است و مصرف آن از دهه ۱۹۹۰ به دلیل سهولت تهیه رشد فراوان داشته است (شاینبرگ و همکاران ۱۹۹۱). PAM مانع تشکیل انسداد سطحی<sup>۳</sup> شده و نفوذپذیری را افزایش داده و در نتیجه موجب کاهش شدت رواناب و فرسایش می‌گردد (لیوی و همکاران ۱۹۹۲). سپاس‌خواه و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی اثرات سطوح مختلف PAM (۰، ۱، ۲، ۴ و ۶ کیلوگرم در هکتار) در شیب‌های مختلف (۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد) با استفاده از شبیه ساز باران پرداختند. نتایج نشان داد که در شیب‌های تند (۷/۵ درصد) PAM به مقدار ۶ کیلوگرم در هکتار برای کاهش رواناب بیش‌ترین تاثیر را داشت. شکفته و همکاران (۱۳۸۴)

<sup>1</sup> Polyacrylamide

<sup>2</sup> Hydro mulch

<sup>3</sup> Surface sealing

### مواد و روش‌ها

خاک مورد نیاز برای این تحقیق از منطقه بناب با زیرردهی (Typic Calsixerpts) و با مختصات (۱۹°۵۱′۳۵″ عرض شمالی و ۴۶°۰۴′۳۰″ طول شرقی) و از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. به منظور تحقق اهداف پژوهش بایستی خاکی با حساسیت بالا نسبت به فرسایش انتخاب می‌شد، لذا با بررسی نقشه خاک استان آذربایجان شرقی و گزارش‌های مطالعات خاکشناسی موجود، در بین ۳۶ خاک مورد مطالعه توسط احمدی (۱۳۸۸)، خاک این منطقه دارای ضریب فرسایش‌پذیری بین شیباری (مدل WEPP) بالا (۴۲۰۳۶۶۰/۵ (kg/s/m<sup>4</sup>)) بوده بنابراین به‌عنوان محل نمونه‌برداری انتخاب گردید. نمونه‌های خاک پس از گذراندن از الک ۴/۷۶ میلی‌متری به آزمایشگاه انتقال یافت.

نمونه‌های خاک هوا خشک در فلوم شیب‌پذیر دستگاه شبیه‌ساز باران با نازل جارویی و از نوع تحت فشار (آزمایشگاه فیزیک خاک دانشکده کشاورزی-دانشگاه تبریز) با پلاتی به ابعاد ۱×۱×۰/۱ متر مربع بدون فشردگی ریخته و تا حد ممکن سطح آن صاف گردید. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

#### تیمارهای آزمایش

هیدرومالچ، اصلاح کننده PAM و شاهد در دو شیب ۵ و ۲۵ درصد و دو شدت بارش ۴۰ و ۸۰ میلی‌متر در ساعت به صورت طرح فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو تکرار و مجموع ۲۴ بار آزمایش انجام گرفت. تکرار برای کاهش اثر باقیمانده خطا لحاظ می‌شود. و افزایش تکرار موجب کاهش اثر خطا می‌شود. در برخی آزمایش‌ها متناسب با ماهیت آزمایش و وجود برخی محدودیت‌ها (نظیر محدودیت اقتصادی، کمی امکانات و مواد آزمایشگاهی، محدودیت زمان و غیره) تعداد تکرارها را می‌توان کمتر از ۳ نیز در نظر گرفت به شرط آن‌که کاهش تکرار در نتایج حاصله تاثیر معنی‌داری نداشته باشد. در آزمایش‌های شبیه ساز باران تمام مراحل قابل کنترل

تجهیزات مصرف آن است که در مقابل مزایای آن غالباً توجیه‌پذیر می‌باشد (لندلوچ ۲۰۰۲، لندلوچ ۲۰۰۴).

لندلوچ (۲۰۰۲) به مطالعه در مورد اثر انواع هیدرومالچ در کنترل رواناب و رسوب در بریدگی حاشیه جاده‌های کیولند<sup>۴</sup> (با شیب ۲۲-۲۸ درصد) پرداخت. نتایج نشان داد که هیدرومالچ با ماده زمینه کاغذ و یا کتان میزان فرسایش را در حدود ۸۵ درصد و هیدرومالچ با ماده زمینه نیشکر و یا مخلوطی از کاغذ و کتان میزان فرسایش را بیش از ۹۵ درصد در مقایسه با شاهد کاهش می‌دهد و بطور متوسط میزان رواناب در همه تیمارها بیش از ۱۴ درصد در مقایسه با شاهد کاهش می‌یابد.

از مهم‌ترین پیامدهای فرسایش علاوه بر کاهش حاصلخیزی خاک، افزایش آلودگی آب‌های سطحی و زیر سطحی از طریق اتلاف عناصر غذایی خاک می‌باشد. لذا روش‌های موثر در مهار فرسایش مانند کاربرد مواد اصلاحی و انواع مالچ‌ها می‌تواند در کاهش این پیامد بسیار موثر واقع شود. مالچ‌های آلی بکار رفته برای کنترل فرسایش و رسوب گرچه دارای عناصر غذایی بویژه عناصر معدنی و محلول بالایی در ترکیب خود هستند (فاست و همکاران ۲۰۰۵، واکندی و دانقا ۲۰۱۱). اما چون این مواد میزان رواناب و بار غذایی<sup>۵</sup> را کاهش می‌دهند لذا مصرف آن‌ها کمک موثری در کاهش اتلاف عناصر غذایی در اثر فرسایش را دارا می‌باشد.

بررسی سوابق گذشته نشان می‌دهد که شیب و شدت بارش بر میزان رواناب و رسوب موثر بوده است و از طرفی نوع پوشش خاک نیز در کنترل رواناب و رسوب موثر است. لذا در تحقیق حاضر به منظور برآورد نتایج دقیق‌تر و ارایه پیشنهادهای مدیریتی و کمی نمودن تغییرات رواناب و هدررفت خاک به بررسی تغییر همزمان اثر شیب، شدت بارش و نوع ماده اصلاحی یا مالچ بکار رفته در خاک روی رواناب، رسوب و اتلاف عناصر غذایی (N, P, K) پرداخته می‌شود.

<sup>۴</sup> Queensland

<sup>۵</sup> Nutrient loading

حد مطلوب برسد ادامه یافت تا مخلوط نسبتاً یکدستی حاصل گردید.

ساده‌ترین و بهترین عمل پاشیدن هیدرومالچ به کمک یک دستگاه دمنده بادی (پنوماتیک) است به خصوص در دامنه‌های شیبدار و مناطقی که دسترسی به آن‌ها مشکل می‌باشد. در این تحقیق به دلیل سطح کوچک خاک، نیاز به حجم کم خاک و نبودن دستگاه مذکور، هیدرومالچ به طور دستی و به ضخامت حدود ۵ میلی‌متر در سطح خاک قرار داده شد. ایجاد بارش بر روی خاک پوشیده شده پس از سفت شدن کامل هیدرومالچ صورت گرفت.

#### اندازگیری رواناب و رسوب

آب گل آلود (رواناب+رسوب) حاصل از بارش به طور کامل ابتدا در بازه‌های زمانی ۱، ۲، ۳ و ۴ دقیقه از ابتدای شروع رواناب و سپس هر ۵ دقیقه یکبار تا زمانی که شدت تولید رواناب به حالت پایدار برسد؛ بطور جداگانه در ظروف مخصوص در حجم ۵ لیتر جمع آوری و پس از توزین در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس در آون خشک و دوباره وزن گردید. بدین ترتیب برای هر بازه زمانی هم حجم رواناب و هم میزان رسوب خارج شده از سطح سینی خاک اندازه‌گیری شد. با در دست داشتن حجم رواناب حاصله و وزن رسوب داخل آن، غلظت رسوب برای هر آزمایش در زمان‌های مختلف به دست آمد. شدت فرسایش خاک (E) از تقسیم نمودن وزن مواد جامد بر جای مانده از هر حجم رواناب بر فاصله‌ی زمانی جمع‌آوری نمونه و بر واحد سطح فلووم (متر مربع) محاسبه گردید. شدت تولید رواناب (Q) نیز از تقسیم کردن حجم رواناب جمع‌آوری شده بر مدت زمان جمع‌آوری نمونه و سطح مقطع سینی (متر مربع) تعیین شد. بدین ترتیب مقادیر E و Q بعنوان تابعی از زمان در طول مدت بارش به دست آمد. اصولاً در هر زمانی که شدت تولید رواناب به حالت پایدار می‌رسد آن زمان بعنوان خاتمه بارندگی در نظر گرفته می‌شود (لال ۱۹۹۴) ولی در این تحقیق با توجه به تنوع تیمارهای حفاظتی (شاهد، PAM و هیدرومالچ) زمان حصول حالت پایدار برای رواناب، در همه تیمارها یکسان نبود لذا برای مقایسه اثر تیمارها

بوده و بروز خطا کم می‌باشد. بر این اساس در تحقیق حاضر از دو تکرار استفاده گردیده است.

با توجه به اینکه متوسط شیب محل نمونه‌برداری در حدود ۵ درصد می‌باشد و از طرفی دیگر متوسط شیب مجاز اراضی دیم در حدود ۵ تا ۹ درصد می‌باشد (نیک نامی و همکاران ۱۳۸۴). لذا یکی از شیب‌ها ۵ درصد انتخاب شد. برای تاثیرات هیدرومالچ و پلی‌اکریل‌آمید در شیب‌های تند (بریدگی حاشیه جاده‌ها و کانال‌های خاکی) شیب ۲۵ نیز درصد انتخاب گردید. شدت بارندگی ۴۰ میلی‌متر بر ساعت، حداکثر شدت بارندگی نیم ساعته با دوره بازگشت ۲۵ ساله در استان آذربایجان شرقی (وزیری ۱۳۶۳) می‌باشد. شدت بارندگی ۸۰ میلی‌متر بر ساعت به خاطر حصول اطمینان از بوجود آمدن رواناب در خاک‌های پوشیده شده از هیدرومالچ انتخاب گردید.

#### اعمال تیمارها

##### الف: پلی‌اکریل‌آمید

در این تحقیق از PAM آنیونی به صورت محلول با غلظت ۰/۵ گرم در لیتر معادل حدود ۲/۵ گرم در هر پلات ۱×۱ متر استفاده گردید. برای این منظور ۵ لیتر محلول مذکور با استفاده از آبفشان به طور یکنواخت روی خاک در سینی باران‌ساز پاشیده شد. پس از حدود ۲۴ ساعت که PAM به طور کامل و یکنواخت در سطح خاک پخش شد بارش اعمال گردید.

##### ب: هیدرومالچ

برای تهیه هیدرومالچ عمدتاً از موادی نظیر، کتان، نیشکر، کاغذ و غیره یا ترکیبی از این مواد، به همراه چسب خاص به صورت مخلوط در آب استفاده می‌شود (لندلوچ ۲۰۰۲). در این تحقیق با در نظر گرفتن امکانات و محدودیت‌ها از پوشال کاغذ (با عرض ۱ تا ۳ سانتی‌متر) که در کارتن‌سازی و یا برای ساخت شانه تخم‌مرغ و غیره مصرف می‌شود استفاده شد. برای تهیه هیدرومالچ پوشال‌های کاغذ به همراه حجم مشخصی از آب در مخزن دستگاه هم‌زن الکتریکی ریخته شد. پس از چند دقیقه به هم زدن چسب کافی اضافه گردید و به هم‌زدن تا جایی که اندازه کاغذها به

برای اندازه‌گیری عناصر مذکور حجم مشخصی از رواناب (۲۵ میلی‌لیتر) برداشته و اندازه‌گیری نیتروژن کل با دستگاه کجلدال، اندازه‌گیری غلظت فسفر با دستگاه اسپکتروفتومتر و اندازه‌گیری غلظت پتاسیم با دستگاه فلیم‌فتومتر صورت گرفت.

#### ب- اندازه‌گیری عناصر در رسوب

رسوب حاصل در این تحقیق از نظر دانه بندی کوچکتر از ۲ میلی‌متر بود و لذا نیازی به الک کردن نشد. نیتروژن کل به روش کجلدال (بریمنر و مولوانی ۱۹۸۲)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن (اولسن و سامرز ۱۹۸۲)، پتاسیم قابل استفاده به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک مولار (توماس ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد.

رواناب، غلظت رسوب، و اتلاف عناصر غذایی در هر یک از ۲۴ تیمار - تکرار اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل داده‌های حاصله با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و MSTAT-C و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD صورت گرفت.

مدت بارش اعمال شده بایستی یکسان در نظر گرفته شود. بیش‌ترین قدرت فرساینده‌گی باران در طول یک بارش چند ساعته، مربوط به ۳۰ دقیقه‌ای می‌شود که بیش‌ترین شدت بارندگی را دارد. از طرفی از آنجا که در این تحقیق شدت بارش در طول هر آزمایش ثابت بود. پس خاتمه بارش برای تمام تیمارها ۳۰ دقیقه اول بعد از شروع بارندگی در نظر گرفته شد.

#### اندازه‌گیری K, P, N در رواناب و رسوب

برای اندازه‌گیری K, P, N در رواناب و رسوب، فاز مایع و جامد باید به طور کامل از هم جدا شوند. برای این منظور پس از بهم زدن کامل هر یک از نمونه‌های آب گل‌آلود (رواناب + رسوب) جمع آوری شده در بازه‌های زمانی مختلف، ۲۵۰ میلی‌لیتر نمونه از آن‌ها تهیه و در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۵۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۸ دقیقه سانتریفیوژ گردید (رول ۱۹۹۴). عناصر غذایی در محلول صاف شده و رسوب به صورت زیر اندازه‌گیری شدند:

#### الف- اندازه‌گیری عناصر در رواناب

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

منبع	روش	مقدار	ویژگی خاک
گی و ار (۲۰۰۲)	هیدرومتر چهار قرائته	لوم رسی	کلاس بافت خاک
مک لین (۱۹۸۲)	گل اشباع	۷/۶	واکنش خاک (pH)
مک لین (۱۹۸۲)	گل اشباع	۳/۹ (dS/m)	هدایت الکتریکی (EC <sub>e</sub> )
تلسون و سامرز (۱۹۸۲)	والکی بلاک	۰/۲۲ درصد	کربن آلی (OC)
سرویس حفاظت خاک (بی‌نام) (۱۹۹۲)	تیتراسیون	۹/۹٪	کربنات کلسیم معادل (CCE)

## نتایج و بحث

### تاثیر تیمارهای آزمایش بر شدت رواناب

اثرات اصلی نوع پوشش خاک (هیدرومالج، PAM) در سطح احتمال ۵ درصد و شدت بارش در سطح احتمال ۱ درصد و همچنین اثر متقابل شدت بارش و نوع پوشش خاک در سطح احتمال ۱ درصد بر شدت رواناب معنی‌دار می‌باشد. ولی اثر شیب در سطوح مذکور معنی‌دار نیست. کاربرد PAM و هیدرومالج موجب کاهش شدت رواناب در مقایسه با

شاهد شده است (جدول ۲). مطابق جدول ۲ کاربرد PAM و هیدرومالج شدت رواناب را به ترتیب ۶ تا ۹ درصد و ۴۵ درصد نسبت به شاهد کاهش داده است. محققانی نظیر پترسون و همکاران و همکاران (۲۰۰۲)، لنتیز و سوچکا (۱۹۹۴) و روحی‌پور (۱۳۸۴) کاهش رواناب در نتیجه کاربرد PAM را گزارش کرده‌اند. از علل کاهش رواناب در اثر کاربرد PAM می‌توان به تجمع و ته نشینی ذرات خاک معلق در آب و در نتیجه کاهش انسداد سطحی و افزایش نفوذپذیری اشاره کرد.

رواناب پیدا نکردند. در مطالعه گروش و جرت (۱۹۹۴) نیز اختلاف معنی‌داری بین شدت رواناب در حالت پایدار در شیب‌های ۱۵ تا ۸۵ درصد مشاهده نشد. خاک مورد استفاده در این تحقیق حساس به تشکیل اندوده سطحی می‌باشد (احمدی ۱۳۸۸). در خاک‌های مقاوم به تشکیل اندوده سطحی، نفوذپذیری تحت تأثیر شیب قرار نمی‌گیرد، اما چنانچه خاک حساس به تشکیل اندوده سطحی باشد، رواناب ممکن است با افزایش شیب کاهش یابد. علت این است که در شیب‌های بالاتر میزان فرسایش تشدید یافته و از تشکیل اندوده سطحی جلوگیری می‌شود و در نتیجه سرعت نفوذ افزایش می‌یابد لذا احتمال دارد تفاوت چندانی در شدت رواناب با افزایش شیب مشاهده نشود. از طرفی با افزایش شیب از سطح موثر بارش کاهش نیز کاسته می‌شود (پوسن ۱۹۸۴).

تحقیقات در مورد اثرات هیدرومالچ در حفاظت خاک محدود می‌باشد ولی محققانی نظیر لندلوچ (۲۰۰۲) و موریس (۲۰۰۷) کاهش موثر رواناب با کاربرد هیدرومالچ را گزارش کرده‌اند. از علل کاهش رواناب در نتیجه کاربرد هیدرومالچ می‌توان به کاهش اثرات مخرب انرژی ضربات قطرات باران، ایجاد ناهمواری و زبری در سطح خاک و در نتیجه افزایش ذخیره سطحی آب و نفوذپذیری اشاره کرد.

اثر شیب در شدت رواناب در این تحقیق معنی‌دار نشده است. محققین بر این اعتقادند که با افزایش شیب شدت رواناب افزایش می‌یابد، علت آن نیز کاهش فرصت نفوذ عنوان شده است (فوکس و برایان ۱۹۹۹، زاسلواسکی و سینای ۱۹۸۱). اما در عین حال برخی از محققین نیز نتایج متفاوتی ارائه داده‌اند. بیر و کلین (۱۹۷۳) در تحقیقی رابطه مشخصی بین درجه شیب و

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل شدت بارش و نوع پوشش خاک بر شدت رواناب.

درصد کاهش نسبت به شاهد	شدت رواناب (mm/h)	پوشش خاک	شدت بارش (mm/h)
	۱۹/۰۲ <sup>c</sup>	شاهد	۴۰
-۹	۱۷/۳۳ <sup>c</sup>	پلی‌آکریل‌آمید	
-۴۵	۱۰/۴۵ <sup>c</sup>	هیدرومالچ	
	۵۵/۶۳ <sup>a</sup>	شاهد	۸۰
-۶	۵۲/۶۳ <sup>a</sup>	پلی‌آکریل‌آمید	
-۴۶	۳۰/۱۳ <sup>b</sup>	هیدرومالچ	

حروف لاتین متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ( $p \leq 0/05$ ) است. LSD;

فرسایش می‌شود می‌توان به بالا رفتن چسبندگی بین ذرات خاک توسط PAM اشاره کرد این خاصیت به مقدار زیادی جدا سازی و انفصال ذرات را توسط جریان رواناب سطحی کاهش می‌دهد. نقش PAM همچنین در خاک‌های فرسایش‌پذیر با بهبود پیوند خاکدانه‌های سطحی و نگهداری بهتر زبری سطح موجب کاهش فرسایش می‌شود (والاس و همکاران ۱۹۸۶). PAM مانع تشکیل انسداد سطحی شده و با افزایش نفوذپذیری موجب کاهش شدت رواناب و فرسایش می‌گردد (لیوی و همکاران ۱۹۹۲).

#### تأثیر فاکتورهای آزمایش بر غلظت رسوب

اثر اصلی شدت بارندگی، درصد شیب و نوع پوشش خاک و همچنین اثرات متقابل شدت بارندگی و شیب و نوع پوشش خاک بر غلظت رسوب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد. کاربرد PAM و هیدرومالچ به ترتیب غلظت رسوب را ۲۷ تا ۶۵ درصد و ۹۶ تا ۹۹ درصد نسبت به شاهد کاهش داده است (جدول ۳). کاهش غلظت رسوب با کاربرد PAM توسط گزارشات لنتیز و سوچکا (۱۹۹۴)، پترسون و همکاران و همکاران (۲۰۰۲) نیز گزارش شده است. از مکانیسم‌هایی که PAM توسط آن‌ها موجب کاهش

تفاوت خاصی با هیدرومالچ مورد استفاده در این تحقیق (هیدرومالچ با ماده زمینه کاغذ) ندارد. مطابق جدول ۳ در شیب‌های برابر با افزایش شدت بارش غلظت رسوب در تیمارهای شاهد و PAM افزایش می‌یابد ولی این افزایش در شیب ۲۵ درصد برای PAM معنی‌دار نیست (حروف لاتین مشابه) پس می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد PAM در شیب‌های تند اثر شدت بارش بر غلظت رسوب را کاهش می‌دهد بعبارت دیگر PAM در شیب‌های تند موثرتر است. این در حالی است که غلظت رسوب در تیمارهای هیدرومالچ با افزایش شدت بارش و شیب از لحاظ آماری معنی‌دار نیست بعبارت دیگر هیدرومالچ می‌تواند در شیب‌ها و شدت‌های بارندگی مختلف تأثیر مشابه داشته باشد.

هیدرومالچ با پوشش سطح خاک و افزایش زبری سطح؛ علاوه بر آن که مانع برخورد مستقیم ضربات قطرات باران بر سطح خاک می‌گردد با ایجاد ناهمواری در سطح موجب کاهش سرعت رواناب و به دام افتادن آب در چاله‌های کوچک شده که اولاً از متلاشی شدن خاکدانه‌ها در اثر ضربات قطرات باران و انتقال ذرات متلاشی شده توسط رواناب به پایین دست جلوگیری می‌کند و ثانیاً فرصت نفوذ برای آب را بالا می‌برد. محققانی نظیر لندلوچ (۲۰۰۲)، فاست و همکاران (۲۰۰۵) و موریس (۲۰۰۷) مشابه این تحقیق کاهش رسوب در اثر کاربرد هیدرومالچ را حدود ۹۵ تا ۹۹ درصد گزارش کردند. البته لندلوچ (۲۰۰۲) این میزان کاهش را برای هیدرومالچ‌هایی با ماده زمینه نیشکر و مخلوط کتان و کاغذ گزارش کرده‌است که نشان می‌دهد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل شدت بارش و نوع پوشش خاک و درصد شیب بر غلظت رسوب.

شیب (%)	شدت بارش (mm/h)	پوشش خاک	غلظت رسوب (mg/L)	درصد کاهش نسبت به شاهد
۵	۴۰	شاهد	۲۱/۱۳ <sup>d</sup>	
		پلی‌آکریل‌آمید	۱۵/۳۲ <sup>e</sup>	-۲۷
	۸۰	شاهد	۳۴/۱۹ <sup>c</sup>	
		پلی‌آکریل‌آمید	۲۲/۱۱ <sup>d</sup>	-۳۵
۲۵	۴۰	هیدرومالچ	۰/۷۳ <sup>f</sup>	-۹۶
		شاهد	۵۱/۶۷ <sup>b</sup>	
	۸۰	پلی‌آکریل‌آمید	۲۷/۹۱ <sup>c</sup>	-۴۶
		هیدرومالچ	۰/۹۵ <sup>f</sup>	-۹۹
	۴۰	شاهد	۸۲/۹۴ <sup>a</sup>	
		پلی‌آکریل‌آمید	۲۹/۱۹ <sup>c</sup>	-۶۵
	۸۰	شاهد	۸۲/۹۴ <sup>a</sup>	
		هیدرومالچ	۰/۶۶۵ <sup>f</sup>	-۹۹

حروف لاتین متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ( $p \leq 0/05$ ) است. LSD;

درصد معنی‌دار می‌باشد. با توجه به شکل ۱ در شدت‌ها و شیب‌های برابر روند مشخصی در مورد تغییرات فسفر در نتیجه کاربرد PAM در مقایسه با شاهد ملاحظه نمی‌شود ولی بیشترین کاهش را کاربرد هیدرومالچ در مقایسه با شاهد نشان می‌دهد. به‌طور متوسط کاربرد هیدرومالچ میزان غلظت فسفر را ۸۵ تا

#### اتلاف عناصر N، P و K در رواناب و رسوب

##### الف- اتلاف در رواناب

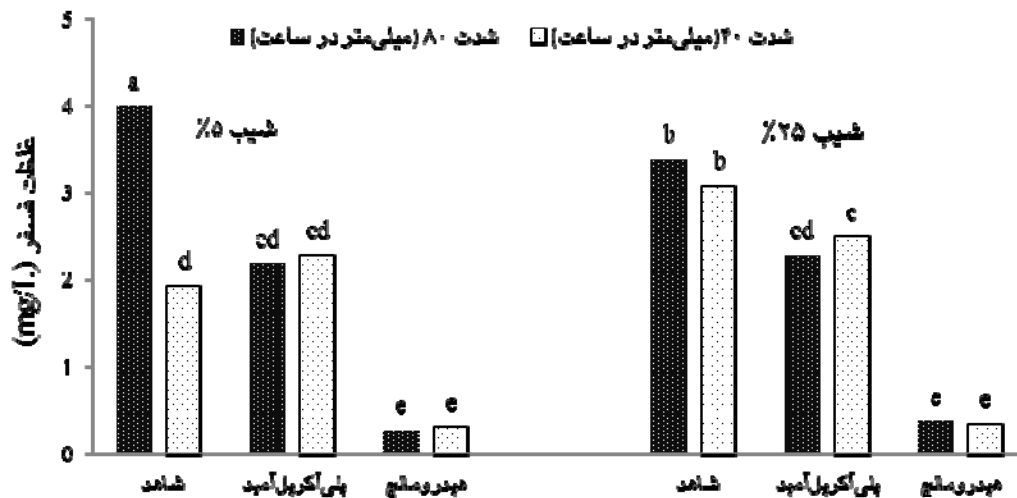
##### تلفات فسفر

اثرات اصلی پوشش خاک و شدت بارش و همچنین اثرات متقابل پوشش خاک، شدت بارش و درصد شیب بر روی غلظت فسفر در سطح احتمال ۱



هیدرومالچ در مقایسه با PAM موجب کاهش بیشتر انرژی ضربات قطرات باران و تخریب خاکدانه‌ها می‌شود لذا اتلاف فسفر را در مقایسه با PAM و شاهد توسط رواناب بیشتر کاهش می‌دهد. فاست و همکاران (۲۰۰۴) و موریس (۲۰۰۷) نیز مشابه این تحقیق کاهش تلفات فسفر در نتیجه کاربرد مالچ در مقایسه با شاهد را گزارش کردند.

۹۴ درصد در مقایسه با شاهد کاهش می‌دهد. فسفر عنصری غیرمتحرک بوده که جا به جایی آن در لایه‌های خاک به وسیله عوامل خارجی از جمله شستشو غیرممکن بوده و به وسیله ذرات و کانی‌های معدنی و یا کلوئیدهای آلی خاک جا به جا می‌شود. با تخریب خاکدانه‌ها فسفر بیشتری وارد فاز محلول شده و به راحتی توسط رواناب خارج می‌شود با توجه به این‌که



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل شدت بارش و نوع پوشش خاک و درصد شیب بر غلظت فسفر.

همچنین در شیب ۲۵ درصد کاربرد هیدرومالچ موجب افزایش نیتروژن در رواناب شده است که از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد. یافته‌های این تحقیق مشابه یافته‌های موریس (۲۰۰۷) نشان می‌دهد که در تیمارهای هیدرومالچ در شیب کم (۵ درصد) غلظت نیتروژن نسبت به شاهد کاهش و در شیب‌های تند غلظت نیتروژن نسبت به شاهد افزایش یافته است. که علت آن می‌تواند افزایش آبشویی در نتیجه افزایش شیب باشد. تلفات پتاسیم

تنها عامل شیب بر غلظت پتاسیم موثر است و افزایش شیب موجب کاهش غلظت پتاسیم شده است (جدول ۴). متحرک بودن عنصر پتاسیم سبب افزایش آبشویی این عنصر از سطح مورد مطالعه می‌شود و افزایش شیب می‌تواند موجب افزایش حجم رواناب و بروز اثر رقت در غلظت پتاسیم شود.

#### اتلاف نیتروژن

اثر متقابل پوشش خاک و شدت بارش در سطح احتمال ۵ درصد و اثر متقابل شدت بارش و درصد شیب بر غلظت نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. مطابق شکل‌های ۲ و ۳ در شیب ۵ درصد و شدت‌های برابر بیش‌ترین کاهش نیتروژن مربوط به کاربرد هیدرومالچ می‌باشد ولی این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد و همچنین در شیب ۵ درصد غلظت نیتروژن در تیمار PAM نسبت به شاهد افزایش نشان می‌دهد. علت این افزایش می‌تواند مربوط به فرمول PAM و همچنین فرم نیتروژن موجود در خاک و آب باشد (پترسون و همکاران ۲۰۰۲). چون نیتروژن با یک فرم مثلاً آمونیوم ( $NH_4$ ) توسط PAM نگهداری می‌شود ولی فرم نیتراتی آن توسط PAM نگهداری نمی‌شود (پترسون و همکاران ۲۰۰۲) و

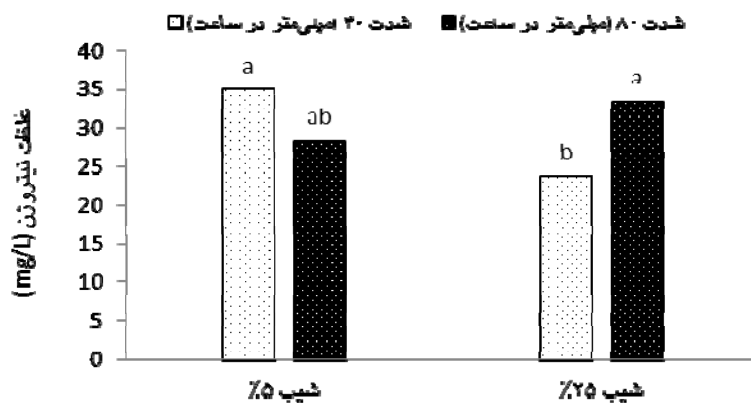
کاهش رسوب داشت غلظت عناصر خارج شده توسط رسوب را نزدیک به صفر تقلیل داد. لذا در تجزیه واریانس غلظت این عناصر در رسوب، هیدرومالچ عملاً کنار گذاشته شد و تجزیه واریانس فقط بین شاهد و PAM صورت گرفت.

#### ب- اتلاف عناصر NPK در رسوب

از آنجایی که کاربرد هیدرومالچ غلظت رسوب را ۹۷ تا ۹۹ درصد نسبت به شاهد کاهش می‌دهد. جدا کردن این مقدار ناچیز رسوب از رواناب جمع‌آوری شده و اندازه‌گیری عناصر در آن عملاً غیر ممکن گردید. بعبارت دیگر هیدرومالچ با نقش مثبتی که بر روی



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل شدت بارش و نوع پوشش خاک در غلظت نیترژن در رواناب.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل شدت بارش و شیب در غلظت نیترژن در رواناب.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی غلظت پتاسیم در رواناب.

غلظت K (mg/L)	شیب (%)
۲/۰۳۵ <sup>a</sup>	۵
۱/۹۷۲ <sup>b</sup>	۲۵

ندارد و علت آن می‌تواند مربوط به متحرک بودن این عناصر باشد که اتلاف آن‌ها بیشتر از طریق آبشویی و رواناب صورت می‌گیرد.

#### اتلاف نیترژن و پتاسیم

با بررسی نتایج حاصل مشخص می‌شود که کاربرد PAM در شیب‌ها و شدت‌های بارندگی ثابت هیچ تاثیر معنی‌داری بر غلظت نیترژن و پتاسیم در رسوب

## اتلاف فسفر توسط رسوب

شیب در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار می باشد. مطابق جدول ۵ در شدت های برابر میانگین غلظت فسفر قابل جذب در شاهد و تیمار PAM در یک کلاس قرار گرفته اند. بعبارت دیگر کاربرد PAM در شدت های برابر تاثیر معنی داری در میانگین غلظت فسفر نداشته است.

با بررسی نتایج حاصل مشخص می شود که از بین عناصر N، P و K تیمارهای آزمایش فقط بر غلظت فسفر در رسوب موثر بوده اند. همچنین با توجه به جدول مذکور اثرات اصلی شدت بارش و شیب و اثر متقابل پوشش و شیب و همچنین اثر متقابل شدت و

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل شدت بارش و نوع پوشش خاک بر غلظت فسفر (mg/kg) رسوب.

درصد کاهش نسبت به شاهد	میانگین (mg/kg)	پوشش خاک	شدت بارش (mm/h)
-	۳۱۵ <sup>ab</sup>	شاهد	۴۰
-۱۵	۳۵۰ <sup>a</sup>	پلی آکریل آمید	
-	۲۸۴۲ <sup>b</sup>	شاهد	۸۰
-۳۰	۲۷۱۶ <sup>b</sup>	پلی آکریل آمید	

توجه: مقدار P در کل رسوب تیمار هیدرومالچ نزدیک به صفر بود.

نیز افزایش می یابد. فسفر عنصری غیرمتحرک بوده که جا به جایی آن در لایه های خاک به وسیله عوامل خارجی از جمله شستشو غیرممکن بوده و به وسیله ذرات و کانی های معدنی و یا کلوئیدهای آلی خاک جا به جا می شود. لذا این احتمال وجود دارد که فسفر آزاد شده در نتیجه تخریب خاکدانه ها جذب سطحی رس های موجود در رسوبات شده و توسط رسوبات از سطح مورد مطالعه خارج شود.

طبق جدول ۶ شدت بارندگی بیشترین تاثیر را بر غلظت فسفر دارد. با افزایش شدت بارندگی انرژی جنبشی قطرات باران افزایش می یابد و افزایش انرژی ضربات قطرات باران موجب تخریب خاکدانه ها می شود و از طرفی افزایش شدت بارندگی شدت رواناب، قدرت فرساینده و قدرت حمل رواناب را افزایش می دهد به عبارت دیگر افزایش شدت بارندگی موجب افزایش اتلاف خاک (رسوب) از سطح مورد مطالعه می شود. با افزایش فرسایش احتمال خروج عناصر توسط رسوبات

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل شدت بارش و درصد شیب بر غلظت فسفر (mg/kg) رسوب.

درصد کاهش	میانگین (mg/kg)	شیب (%)	شدت بارش (mm/h)
-	۳۵۱۴ <sup>a</sup>	۵	۴۰
-۱۵	۳۱۳۶ <sup>a</sup>	۲۵	
-	۳۲۶۲ <sup>a</sup>	۵	۸۰
-۳۰	۲۲۹۶ <sup>b</sup>	۲۵	

توجه: مقدار P در کل رسوب تیمار هیدرومالچ نزدیک به صفر بود.

## نتیجه گیری کلی

استفاده از مواد اصلاحی آسیب ناشی از برخورد قطرات باران و تخریب خاک را به حداقل رساند. یافته های این تحقیق نشان می دهد که کاربرد PAM و

هنگامی که خاک ناپایدار و حساس به فرسایش است می توان با فراهم کردن یک پوشش سطحی یا

شرایطی با بارش‌های طبیعی برای یک یا دو سال انجام گردد. و با توجه به این‌که در ترکیب هیدرومالچ می‌توان از انواع بذور و کودهای شیمیایی استفاده کرد پیشنهاد می‌شود که ترکیب مذکور حداقل بعنوان یک پژوهش آزمایشگاهی برای استقرار پوشش گیاهی در شیب‌های تند و ناپایدار مورد بررسی قرار گیرد.

هیدرومالچ در حفاظت خاک و مهار فرسایش می‌تواند موثر و مفید باشد ولی از لحاظ کارایی و در شرایط آزمایشگاهی کاربرد هیدرومالچ در حفاظت خاک در مقایسه با PAM بهتر و مفیدتر است. ولی مصرف آن در سطح وسیع نیاز به بررسی‌هایی از لحاظ هزینه و صرفه اقتصادی دارد. پیشنهاد می‌شود تحقیق دیگری در مقیاس صحرایی و در شیب‌های ناپایدار و در

#### منابع مورد استفاده

- احمدی ع، ۱۳۸۸. کارائی شبکه‌های عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی فرسایش خاک و رواناب با به کارگیری ابعاد فرکتالی. رساله دکترای خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.
- بی‌نام، ۱۹۹۹. گزارش توسعه انسانی جمهوری اسلامی ایران. سازمان برنامه و بودجه جمهوری اسلامی ایران و برنامه توسعه سازمان ملل متحد (PBOUNDP)، تهران.
- شکفته ح، رفاهی ح ق و گرجی م، ۱۳۸۴. بررسی اثر ماده شیمیایی پلی‌اکریل‌آمید بر فرسایش و رواناب خاک‌ها. مجله علوم کشاورزی ایران. شماره یک. صفحه‌های ۱۷۷ تا ۱۸۶.
- روحی‌پور ح، ۱۳۸۴. بررسی تاثیر مواد اصلاحی و خاک پوش‌ها در کاهش رواناب و رسوب در شیب‌های تند با استفاده از شبیه‌سازی باران. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.
- شکل‌آبادی م، خادمی ح و چرخابی ا ح، ۱۳۸۲. تولید رواناب و رسوب در خاک‌های با مواد مادری متفاوت در حوزه آبخیز گل‌آباد، اردستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال هفتم، شماره دوم. صفحه‌های ۸۵ تا ۱۰۰.
- نیک نامی د، رزم جو پ، جفری ردکانی ع، بیات ف. ۱۳۸۴. بررسی رابطه کاهش فرسایش خاک و افزایش تولید در زاعت دیم. صفحه‌های ۶۴۶-۶۵۲. سومین همایش ملی فرسایش و رسوب. ۶-۹ شهریور. تهران.
- وزیری ف، ۱۳۶۳. تجزیه و تحلیل رگبارها و تعیین منحنی‌های شدت، مدت مناطق مختلف ایران. انتشارات جهاد دانشگاهی مجتمع فنی، چاپ اول.
- Anonymous, 1992. Soil Survey Laboratory Methods and Procedures for Collecting Soil Sample. USDA-SCS. Soil Survey Invest. Rep. No. 2. US Gov. Printing. Office, Washington, DC.
- Bremner JM and Mulvaney CS, 1982. Total nitrogen. Pp. 595-624. In: Page AL (ed.). Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed, ASA and SSSA Madison, WI, USA.
- Chaudhari K and Flanagan DC, 1998. Polyacrylamide effect on sediment yield, runoff and seedling emergence on a steep slope. Annual meeting, 12-16 July 1998. Paper No 98-2155. St. Joseph, Mich. ASAE.
- Diseker EG and Richardson EC, 1961. Roadside sediment production and control. Trans ASAE 4: 62-68.
- Faucette LB, Jordan CF, Risse LM and Cabrera M, 2005. Evaluation of stormwater from compost and conventional erosion control practices in construction activities. Journal of Soil and Water Conservation 59: 154-161.
- Faucette LB, Risse LM, Nearing AM, Gaskin JW and West LT, 2004. Runoff, erosion, and nutrient losses from compost and mulch blankets under simulated rainfall. Journal of Soil and Water Conservation 59: 154-161
- Fox DM and Bryan RB, 1999. The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient. Catena 38: 211-222.
- Gee GW and Or D, 2002. Particle size analysis. Pp. 255-293. In: Dane JH and Topp GC (eds). Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. ASA and SSSA. Madison, WI.
- Grosh JL and Jarrett AR, 1994. Interrill erosion and runoff on very steep slopes. Trans ASAE 37(4): 1127-1133.
- Gyasi-Agyei Y Sibley J and Ashwath N, 2001. Quantitative evaluation of strategies for erosion control on a railway embankment batter Hydrol Process 15: 3249-3268.
- Hudson NW, 1957. Erosion control research, progress report on experiments at Henderson Research Station. Rhodesian Agricultural Journal 54: 297-323.
- Lal R, 1994. Soil erosion by wind and water; problems and prospects. Pp. 1-9. In: Lal R (ed), Soil Erosion Research Methods. 2nd ed. Soil and Water Conserv Soc Ankeney Iowa.

- Landloch, 2002. Studies of hydromulch effectiveness, NCEA Publication. NCEA 1000437/1.
- Landloch, 2004. Standards for the supply and application of hydromulch products, stage 1- critical shear testing, Queensland Government Department of Main Roads, Australia.
- Lentez RD and Sojka RE, 1994. Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration. *Soil Sci* 158(4): 274-282.
- Levy GJ, Levin J, Gal M, Ben-Hure M and Shainberg I, 1992. Polymers effects on infiltration and soil erosion during consecutive simulated sprinkler irrigation. *Soil Sci Soc Am J* 56: 1926-1932.
- McLean EO, 1982. Soil pH and lime requirement. Pp. 199-224. In: Page AL (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. ASA and SSSA. Madison. WI.
- Morris CH, 2007. Comparison of recycled organic compost blankets with hydromulch in controlling soil erosion under simulated rainfall. *Department of Environment and Conservation NSW* 58: 1-26.
- Nelson DW and Sommers LE, 1982. Total carbon and organic matter. Pp. 539-580, In: Page AL (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Methods*. ASA and SSSA. Madison, WI, USA.
- Olsen SR and Sommers LE, 1982. Phosphorus. Pp. 403-430. In: Page AL (ed.), *Methods of Soil Analysis, Part2: Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Perez-Latorre FJ, Castro LD and Delgado A, 2010. A comparison of two variable intensity rainfall simulators for runoff studies. *Soil and Till Res* 107: 11-16.
- Peterson JR, Flanagan J and Shmact KT, 2002. PAM application method and electrolyte source effects on plot-scale runoff and erosion. *Trans ASAE* 45(6): 1859-1867.
- Poesen J, 1984. The influence of slope angle on infiltration rate and Hortonian overland flow volume. *Zeitschrift für Geomorphologie* 49: 117-131
- Rowell DL, 1994. *Soil Science: Methods and Applications*, Longman Scientific, Inc. London.
- Sepaskhah AR, Bazrafshan-Jahromi AR, 2006. Controlling runoff and erosion in sloping land with polyacrylamide under a rainfall simulator. *Biosystems Engineering* 93: 474- 497.
- Shainberg I, Levy GJ, Rengasamy P and Frenkel H, 1991. Aggregate stability and seal formation as affected by drops impact energy and soil amendments *Soil Sci Soc Am J* 154: 113-118.
- Sutherland RA and Ziegler AD, 2006. Hill slope runoff and erosion as affected by rolled erosion control systems: a field study. *Hydrol Proc* 20: 2839-2855.
- Thomas GW, 1982. Exchangeable cations. Pp. 159-165. In: Page AL (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 2<sup>nd</sup> ed. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Wakindiki IIC and Danga BO, 2011. Effect of straw mulch application on nutrient concentration in runoff and sediment in a humid region in Kenya. *African Journal of Agricultural Research* 6(3): 725-731.
- Wallace A, Wallace GA and Aouzamazam AM, 1986. Effects of excess levels of a polymer as a soil conditioner on yields and mineral nutrition of plants. *Soil Sci* 141:377-380.
- Yair A and Klein M. 1973. The influence of surface properties on flow and erosion processes on debris covered slopes in arid area. *Catena* 1: 1-18
- Zaslavsky D and Sinai G, 1981. Surface hydrology: IV. Flow in sloping, layered soil. *Journal of the Hydraulics Division, ASAE* 107: 53– 64.