تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۴ (ص ۴۵۳-۴۴۳)

# تغییرات تولید رواناب هنگام بارندگی در اثر کاربرد پودری و محلول سطوح مختلف پلی‌آکریل‌آمید

زینب کریمی[۱]، سید حمیدرضا صادقی[۲]*، حسین‌علی بهرامی[۳]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

۲. استاد گروه مهندسی آبخیزداری دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

۳. دانشیار گروه خاک‌شناسی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۹ـ تاریخ تصویب:۱۳۹۴/۳/۳۱)

## چکیده

تحلیل تغییرات زمانی تولید رواناب در شرایط معمولی یا کاربرد افزودنی‌های خاک از موضوعات مهم مدیریت منابع آب و خاک است. حال آنکه، به مقایسهٔ تغییرپذیری تولید رواناب از شکل مصرف افزودنی‌ها کمتر توجه شده است. پژوهش حاضر به منظور بررسی تغییرات زمانی تولید رواناب، از جمله مقدار رواناب در طول بارندگی در یک خاک لومی‌رسی، صورت گرفت. در همین زمینه، تأثیر سطوح مختلف پلی‌آکریل‌آمید با مقادیر ۰/۴، ۲، و ۶ گرم بر متر مربع از کاربرد نوع پودری و محلول در شرایط آزمایشگاهی بر تولید رواناب روی کرت‌های کوچک ۰/۲۵ متر مربعی انجام شد. شبیه‌سازی باران نیز با دو شدت ۵۰ و ۸۰ میلی‌متر بر ساعت به ترتیب با تداوم ۱۷ و ۸ دقیقه متناسب با شرایط حاکم بر منطقه، بعد از گذشت چهل و هشت ساعت از زمان استفاده از پلی‌آکریل‌آمید، انجام پذیرفت. نتایج آزمون مدل خطی عمومی بر اثر غیر معنادار تیمار ۰/۴ گرم بر متر مربع مصرف پودری و محلول پلی‌آکریل‌آمید و اثر معنادار ($p<0/00$) شدت بارندگی بر تولید رواناب دلالت داشت. حال آنکه اثر معنادار نوع مصرف پلی‌آکریل‌آمید در سطح ۲ و ۶ گرم بر متر مربع ($p<0/04$) و نیز شدت بارندگی ($p=0/00$) بر میزان رواناب تأیید شد. همچنین اثر متقابل شکل مصرف و شدت بارندگی بر مقدار رواناب در تیمار ۰/۴ گرم بر متر مربع غیر معنادار ($p>0/2$) و در تیمارهای ۲ و ۶ گرم بر مترمربع معنادار ($p<0/04$) ارزیابی شد.

**کلیدواژگان:** افزودنی‌های خاک، حفاظت خاک، شبیه‌سازی باران، مهار رواناب.

### مقدمه

بهره‌برداری بی‌رویه از منابع به دلیل افزایش جمعیت و به دنبال آن نیاز روزافزون به منابع غذایی به بر هم زدن تعادل طبیعی در اراضی منجر شده و در نهایت هدررفت خاک و افزایش میزان رواناب را به دنبال داشته است (Javadi *et al.*, 2011). رواناب به آن قسمت از نزولات جوی گفته می‌شود که به صورت جریان سطحی یا زیرسطحی به طرف آبراهه‌ها، رودخانه‌ها، دریاها، و اقیانوس‌ها حرکت می‌کند (Alizadeh, 2009). از آنجا که عدم مدیریت منابع آب در کشور خسارت‌های فراوانی ایجاد می‌کند، اتخاذ تدابیر مدیریتی منابع آب اهمیت شایان توجهی دارد. استفاده از به‌سازهای خاک[1] مؤثرترین روش در کاهش میزان رواناب است. در همین زمینه شناخت انواع افزودنی‌ها و انتخاب مناسب آن‌ها اهمیتی به‌سزا دارد. پلی‌آکریل‌آمید یکی از به‌سازهای متداول در حفاظت از آب و خاک است (Green and Stott, 2001). در واقع، پلی‌آکریل‌آمید از پلیمرهای مصنوعی مهم و رایج است که به دلیل داشتن قابلیت انعقاد و جداسازی فازهای جامد و مایع از یکدیگر کاربردی گسترده در صنایع مختلف دارد (Rabiee *et al.*, 2011) و مصرف آن در سال‌های اخیر، به دلیل سهولت فرایند تهیهٔ مونومر آکریل‌آمید، رشد فراوانی داشته است. پلی‌آکریل‌آمید به منزلهٔ یک اصلاح‌کننده برای پایدار کردن ساختمان خاک و کاهش میزان رواناب و فرسایش استفاده می‌شود.

پژوهش‌های انجام‌گرفته در سال‌های اخیر تأثیر به‌سزای پلی‌آکریل‌آمید را در مهار رواناب نشان می‌دهد. پلی‌آکریل‌آمید به دو حالت پودری یا محلول در آب استفاده می‌شود و تأثیر و کاربرد آن به طور جداگانه در نقاط مختلف جهان گزارش شده است. Sojka *et al.* (1998)، با مطالعهٔ اثر ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر پلی‌آکریل‌آمید محلول روی خاک‌های سیلتی‌لومی شمال شرق ایالت متحده، ۷۰ درصد کاهش رواناب در سیستم آبیاری را گزارش کردند. Roa-Espinosa *et al.* (1999) با پژوهشی روی پانزده کرت، با ابعاد ۱ متر در ۱ متر و شیب ۱۰ درصد، تأثیر

* نویسندهٔ مسئول: Sadeghi@modares.ac.ir

1. Soil Amendments

Archive of SID

www.SID.ir

پلی‌آکریل‌آمید پودری و محلول را در مناطق ساخت‌وساز بررسی کردند. نتایج تغییر شایان توجهی در میزان رواناب در خاک مطالعه‌شده در هیچ‌یک از دو شکل مصرف پلی‌آکریل‌آمید نشان نداد. Sirjacobs *et al.* (2000) نیز اثر ۱۰ گرم بر متر مکعب پلی‌آکریل‌آمید را روی دو نوع خاک سیلتی‌لوم آلفی‌سول و رس ورتی‌سول در فلوم‌های آزمایشگاهی، به منظور افزایش مقاومت برشی خاک در مقابل تنش برشی جریان، انجام دادند. نتایج حاکی از اثر خوب پلی‌آکریل‌آمید در کاهش مقدار رواناب به میزان ۳۷ درصد بود. همچنین Peterson *et al.* (2002) با کاربرد پلی‌آکریل‌آمید، در کرت‌هایی با ابعاد ۹/۱ متر طول و ۳ متر عرض با شیب ۱۷ درصد، اثر دو شکل پودری و محلول پلی‌آکریل‌آمید را بعد از بذرپاشی بررسی کردند. نتایج حاکی از تأثیر بیشتر پلی‌آکریل‌آمید به شکل محلول در کاهش مقدار رواناب به میزان ۶۲ تا ۷۶ درصد بود. در حالی که پلی‌آکریل‌آمید پودری تقریباً هیچ تأثیر معناداری بر کاهش رواناب نداشت. Flanagan *et al.* (2002) در مطالعه‌ای با مصرف ۸۰ کیلوگرم پلی‌آکریل‌آمید شاهد کاهش غیر معنادار ۲۸ درصدی میانگین رواناب تجمعی نسبت به شاهد بودند. Aase *et al.* (2003) با مطالعهٔ بر یک خاک لومی‌سیلتی با شیب ۲/۴ درصد دریافتند اضافه کردن ۲ کیلوگرم در هکتار پلی‌آکریل‌آمید به نخستین آبیاری رواناب ۷۰ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش می‌یابد. Yu *et al.* (2003) به منظور بهبود وضعیت نفوذپذیری خاک‌های سیلتی‌لومی ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم پلی‌آکریل‌آمید پودری را همراه ۲ تا ۴ تن در هکتار گچ استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها افزایش چهار برابری نفوذپذیری را نسبت به تیمار شاهد نشان داد. (Ajwa and Trout, 2006)، با توجه به اهمیت و ضرورت بهبود وضعیت نفوذپذیری خاک‌های شنی، تأثیر پلی‌آکریل‌آمید محلول (۱ و ۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر) را بر میزان نفوذپذیری خاک‌های شنی درهٔ San Joacun واقع در کالیفرنیا ارزیابی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها بر عدم تأثیر پلی‌آکریل‌آمید در افزایش نفوذپذیری خاک‌های شنی دلالت داشت. Sepaskhah and Bazrafshan-Jahromi (2006) در پژوهش خود سطوح مختلف پلی‌آکریل‌آمید محلول (۰، ۱، ۲، ۴، ۶ کیلوگرم در هکتار) را در شیب‌های مختلف (۲/۵ و ۵ و ۷/۵٪) با استفاده از باران‌ساز در آزمایشگاه دانشگاه شیراز بررسی کردند. نتایج بیشترین کاهش رواناب را در مقدار ۶ کیلوگرم در هکتار و در شیب‌های تند (۷/۵٪) نشان داد. در پژوهشی دیگر Jiang *et al.* (2010) بررسی سطوح مختلف (۰/۰۲، ۰/۰۵، ۰/۰۸، ۰/۱، ۰/۰۲٪) پلی‌آکریل‌آمید پودری را در شرایط آزمایشگاهی و صحرایی با شیب حدود ۲۷ درصد، واقع در چین، بررسی کردند. بر اساس نتایج، حجم رواناب در همهٔ سطوح استفاده‌شده از پلی‌آکریل‌آمید در مقایسه با تیمار شاهد کاهش معنادار داشت. همچنین Ai-Ping *et al.* (2011) در چین، در شرایط آزمایشگاهی و باران شبیه‌سازی‌شده با شدت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت، اثر دو پلی‌آکریل‌آمید محلول با دو وزن مولکولی (۱۲ و ۱۸ گرم در مول) را بر رواناب در شیب ۵ درصد بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها عدم کاهش معنادار رواناب را در اثر افزایش پلی‌آکریل‌آمید، با هر دو وزن مولکولی، نشان داد. Shin *et al.* (2013) نیز اثر افزودن پلی‌آکریل‌آمید پودری (۱ کیلوگرم بر متر مربع) را همراه چند افزودنی دیگر، شامل خاک‌اره و کاه و کلش و ژیپس، بر کاهش رواناب بررسی کردند. نتایج نشان داد افزودن پلی‌آکریل‌آمید مقدار رواناب را ۳ درصد کاهش می‌دهد. همچنین Prats *et al.* (2014) به تعیین کمیت تأثیر دو تیمار کاربرد مالچ (اکالیپتوس خردشده) و پلی‌آکریل‌آمید پودری بر کاهش رواناب، پس از آتش‌سوزی، در کرت‌های کوچک ۰/۵ متری در شمال پرتغال، پرداختند. نتایج نشان‌دهندهٔ کاهش میزان رواناب نسبت به تیمار شاهد بود. McLaughlin *et al.* (2014)، به منظور بررسی تأثیر کاربرد پلی‌آکریل‌آمید پودری و محلول در سطوح مختلف (۱، ۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر)، در مکان‌های ساخت‌وساز در خاک‌های شمال غربی ایتالیا، بر یک خاک معدنی با مواد آلی بالا از مزارع کشاورزی و سه نوع خاک از مناطق با شن و ماسهٔ بالا، با هدف مهار رواناب، پژوهشی انجام دادند. نتایج عملکرد بهتر پلی‌آکریل‌آمید محلول را نسبت به حالت پودری در مهار رواناب نشان داد. Inbar *et al.* (2015) اثر پلی‌آکریل‌آمید محلول در سطح ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم را در ۱ هکتار، در پلات‌های ۰/۵متر مربعی، پس از آتش‌سوزی، روی دو خاک با بافت لومی‌رسی‌شنی در منطقهٔ سوختهٔ جنگل Birya فلسطین اشغالی، در شیب ۳۰ درصد، و بافت لومی‌شنی Barbanza اسپانیا، در شیب ۴۰ درصد، با خواص بسیار متفاوت شیمیایی و ساختاری، بررسی کردند. نتایج نشان داد در هر دو خاک میزان رواناب در اثر کاربرد پلی‌آکریل‌آمید افزایش معنادار دارد.

در ایران نیز Shahbazi *et al.* (2005) مقادیر مختلف پلی‌آکریل‌آمید محلول (۱۰ و ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم) را با شدت‌های بارندگی ۳۰ و ۴۰ میلی‌متر بر ساعت در خاک‌های با بافت رسی و دارای شوری و قلیاییت متفاوت بررسی کردند. نتایج نشان داد مقدار ۰/۰۳ تن در هکتار پلی‌آکریل‌آمید در همهٔ بافت‌های خاک بیشترین تأثیر را در کاهش رواناب دارد؛ طوری که رواناب را نسبت به تیمار شاهد ۹۸ درصد کاهش می‌دهد. Shekofteh *et al.* (2005) طی پژوهشی به بررسی اثر مقادیر مختلف

Archive of SID
www.SID.ir

پلی‌آکریل‌آمید محلول (۰٫۰۱ و ۰٫۰۲ و ۰٫۰۳ تن در هکتار) در سه بافت لومی و شنی‌لومی و لومی‌رسی و بارندگی‌های با شدت ۳۹ و ۷۹ میلی‌متر بر ساعت پرداختند. نتایج نشان داد در بارندگی‌های با شدت ۳۹ و ۷۹ میلی‌متر بر ساعت کمترین مقدار رواناب در تیمار ۰٫۰۱ تن در هکتار پلی‌آکریل‌آمید در بافت‌های مختلف خاک است و خاک شنی‌لومی در بارندگی با شدت ۳۹ میلی‌متر بر ساعت هیچ‌گونه روانابی ندارد. Ghorbani Vaghei *et al.* (2008) اثر پلی‌آکریل‌آمید محلول در فرایند نفوذپذیری خاک را با بافت لوم‌رسی و رسی بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها مؤید تأثیر این ماده در افزایش نفوذپذیری خاک بود. آن‌ها گزارش کردند تأثیر این ماده بر مراحل اولیهٔ نفوذ بیشتر از مراحل نهایی آن است. Hazbavi *et al.* (2012) به بررسی اثر افزودنی پلی‌آکریل‌آمید به صورت محلول با هفت سطح مختلف (۰٫۴، ۰٫۶، ۱، ۲، ۳، ۴، ۶ گرم در متر مربع) روی خاک تهیه‌شده از منطقهٔ بدرانلو پرداختند. تحلیل نتایج تأثیر پلی‌آکریل‌آمید را بر کاهش میزان رواناب نشان داد؛ به نحوی که با افزایش پلی‌آکریل‌آمید تا مقدار ۲ گرم بر متر مربع میزان تولید رواناب خروجی کاهش یافت، اما از لحاظ آماری این کاهش غیر معنادار بود. Afrasiab *et al.* (2013) تأثیر مقادیر مختلف پلی‌آکریل‌آمید محلول (۰، ۳، ۶، ۹ گرم بر کیلوگرم) را در خاکی با بافت لومی‌رسی در دو آبیاری متوالی در مهار رواناب ارزیابی کردند. نتایج نشان داد با افزایش غلظت پلی‌آکریل‌آمید در شیب‌های مختلف رواناب کاهش می‌یابد و این کاهش رواناب در آبیاری دوم به مراتب بیشتر از آبیاری اول است.

جمع‌بندی پیشینهٔ پژوهش نشان می‌دهد اگرچه استفاده از پلی‌آکریل‌آمید با اهداف مختلف صورت گرفته، ارزیابی مقایسه‌ای کاربرد پلی‌آکریل‌آمید در دو شکل پودری و محلول مورد توجه قرار نگرفته است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تأثیرپذیری تولید رواناب از کرت‌های آزمایشی کوچک، در سطوح مختلف پلی‌آکریل‌آمید، در دو شکل پودری و محلول و در دو شدت متفاوت، به منظور مهار رواناب در عرصهٔ منابع طبیعی انجام شد.

## مواد و روش

### خاک استفاده‌شده

پژوهش حاضر روی خاک سطحی برداشت‌شده از منطقهٔ مرزن‌آباد- کندلوس، واقع در شهرستان نوشهر، بخش کجور استان مازندران، با ارتفاع ۱۹۵۰ متر و مختصات "۳۰ '۲۴ °۵۱ طول شرقی و "۴۶ '۲۸ °۳۸ عرض شمالی، به سبب حساسیت به فرسایش، انجام شد. متوسط دمای سالیانهٔ منطقه ۱۱٫۹ درجهٔ سانتی‌گراد با بارندگی سالیانه ۴۳۲ میلی‌متر است و طبق جدول آمبرژه اقلیم منطقه نیمه‌مرطوب سرد به شمار می‌رود. به منظور آگاهی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، آزمایش‌های لازم- از جمله اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، pH، چگالی ظاهری خاک، مواد آلی، بافت خاک- برای ارزیابی آن انجام شد. برای تعیین هدایت الکتریکی، مخلوط ۱:۵ خاک و آب مقطر به مدت سی دقیقه آماده و با دستگاه ECسنج الکترونیکی قرائت شد. pH خاک از طریق دستگاه pHمتر الکترونیکی و به‌کارگیری مخلوط ۱:۵ خاک و آب مقطر (Zarrinkafsh, 1993) با رعایت واسنجی دستگاه حین آزمایش به وسیلهٔ محلول‌های تامپون، تمیز نگه داشتن الکترودهای دستگاه، و تنظیم درجهٔ حرارت محلول انجام شد. چگالی ظاهری نمونه‌های خاک به روش کلوخه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب (Zarrinkafsh, 1993) تعیین شد. برای تعیین درصد مواد آلی خاک نیز از روش والکی و بلک (Zarrinkafsh, 1993) استفاده شد. بافت خاک با استفاده از روش بایکاس و بر مبنای تئوری تغییرات وزن مخصوص (وزن در واحد حجم) مخلوط خاک و آب طی رسوب‌گذاری تعیین شد. برای طبقه‌بندی بافت خاک از سیستم سازمان کشاورزی ایالت متحده (Zarrinkafsh, 1993) استفاده شد.

**جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مطالعه‌شده**

| بافت خاک | هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر) | pH | درصد کربن آلی | چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) |
|---|---|---|---|---|
| لومی‌رسی | ۲۱۷٫۹ | ۸٫۴۵ | ۰٫۹۵ | ۱٫۷ |

### آماده‌سازی کرت‌های فرسایشی

آزمایش‌های پژوهش، به علت امکان شبیه‌سازی باران با شدت‌های مختلف و تکرارهای لازم و همچنین مطالعهٔ دقیق رواناب، در آزمایشگاه و در مقیاس فلوم صورت گرفت. در این پژوهش از سه فلوم کوچک مکعبی به ابعاد ۰٫۵ متر طول، ۰٫۵ متر عرض، و ۰٫۳ متر ارتفاع (Hazbavi *et al.*, 2012) و قابل استقرار روی چهارپایه‌های فلزی ساخته‌شده در محل آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش خاک دانشگاه تربیت مدرس با شیب

Archive of SID
www.SID.ir

۳۰ درصد استفاده شد. برای شبیه‌سازی بهتر شرایط طبیعی خاک، یک لایهٔ زهکشی از جنس پوکهٔ معدنی به ضخامت ۱۷ سانتی‌متر در کف کرت‌ها ایجاد شد (Darboux *et al.* 2001; Defersha *et al.* 2011). هر کرت، علاوه بر صفحهٔ زهکشی در کف، مجهز به یک سرریز بود که به منظور جمع‌آوری رواناب از سطح کرت تعبیه شد. انتقال خاک به داخل کرت‌ها به منظور دست‌یابی به چگالی ظاهری مشابه با حالت طبیعی (۱٫۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب) به صورت لایه‌لایه صورت گرفت (Hazbavi *et al.*, 2012). سپس، کوبیدگی لازم توسط غلتک تا رسیدن به چگالی ظاهری نمونهٔ دست‌نخورده انجام و سطح خاک با سطح سرریز کرت‌ها یکسان شد. پس از این مرحله و به منظور تأمین شرایط متوسط رطوبت پیشین خاک در منطقهٔ مادری برابر با حدود ۲۵ درصد رطوبت حجمی، کرت‌های آزمایشی مزبور به مدت بیست و چهار ساعت در شرایط اشباع از کف در ظرف آب با عمق حدود ۱۵ سانتی‌متر قرار گرفت (Shekofteh *et al.*, 2005; Hawke *et al.*, 2006; Shoemaker, 2009).

**تیمارهای پژوهش**

در پژوهش حاضر از پلی‌آکریل‌آمید آنیونی (به وزن ملکولی ۴ـ۲۰ مول) به سبب تأثیر آن در کاهش رواناب (Shin *et al.*, 2013; Prats *et al.*, 2014) استفاده شد. با توجه به پیشینهٔ پژوهش (Hazbavi *et al.*, 2012; Sepaskhah and Bazrafshan-Jahromi, 2006; Shahbazi *et al.*, 2005; Shekofteh *et al.*, 2005) تیمارهای شاهد و مادهٔ افزودنی خاک شامل پلی‌آکریل‌آمید با سه سطح مختلف به ترتیب ۰٫۴ و ۲ و ۶ گرم بر متر مربع و به دو صورت پودری و محلول در نظر گرفته شد. پلی‌آکریل‌آمید پودری با استفاده از نمک‌پاش و هر یک از مقادیر نوع محلول آن در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب شهری حل و در نهایت از طریق دستگاه پخش‌کننده در سطوح کرت توزیع شد. بنابراین، تعداد کل تیمارهای آزمایشی با توجه به تیمارها و تکرارها و نیز چیدمان کرت‌ها برای آزمایش در مجموع پنجاه و چهار عدد (سه مقدار مصرف پلی‌آکریل‌آمید در دو شکل پودری و محلول همراه تیمار شاهد، دو شدت بارندگی، و سه تکرار) بود.

**دستگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش خاک**

برای پژوهش حاضر از شبیه‌ساز قابل حمل با ارتفاع ریزش حدود ۴ متر و متناسب با دسترسی به سرعت حد قطرات و نازل‌های تحت فشار BEX: 3/8 S24W استفاده شد (Wang and Pruppacher, 1997; Hazbavi *et al.*, 2012). بعد از گذشت چهل و هشت ساعت از زمان استفاده از پلی‌آکریل‌آمید روی سطوح کرت و با توجه به حداکثر و حداقل شدت بارندگی‌های محتمل با دورهٔ بازگشت دَه تا بیست سال در این منطقه، بارندگی با دو شدت ۵۰ و ۸۰ میلی‌متر بر ساعت و به ترتیب با دوام ۱۷ و ۸ دقیقه و بر اساس تحلیل باران‌نمود نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک به منطقهٔ مادری خاک (کجور) اعمال شد (شکل ۱).

**شکل ۱. کرت‌های کوچک فرسایشی و دستگاه شبیه‌ساز باران**

**اندازه‌گیری رواناب و تجزیه و تحلیل آماری**

تعیین روند تغییرات رواناب در سه سطح مطالعاتیِ کاربرد پلی‌آکریل‌آمید (۰٫۴ و ۲ و ۶ گرم بر متر مربع) تحت دو شدت بارندگی ۵۰ و ۸۰ میلی‌متر بر ساعت با تداوم ۱۷ و ۸ دقیقه صورت گرفت. در طول مدت اعمال بارش، رواناب به صورت هفت مرتبه در هر دو دقیقه یک بار (چهارده دقیقهٔ اول) و یک

Archive of SID
www.SID.ir

مرتبه در سه دقیقهٔ آخر آزمایش، پس از شروع رواناب تا خاتمهٔ آن، اندازه‌گیری شدند. دو دقیقهٔ اول برای برداشت نمونه از لحظهٔ شروع رواناب فرض شد. سپس، تا انتهای مدت زمان بارش، طبق گام‌های زمانی یادشده، نمونه‌ها رأس زمان درنظرگرفته‌شده از خروجی سطوح مطالعاتی به درون ظروف پلاستیکی جمع‌آوری شد. سپس، با استفاده از استوانهٔ مدرج مقدار رواناب قرائت شد. در مجموع، با محاسبهٔ سه تکرار، ۳۲۴ نمونه رواناب برداشت و سپس مقدار کل حجم رواناب خروجی از هر کرت محاسبه شد.

به منظور تجزیه و تحلیل آماری، ابتدا بانک اطلاعاتی منتج از نمونه‌برداری رواناب حاصل از کرت‌ها در نرم‌افزار Excel 2010 تشکیل و سپس نمودارهای مورد نیاز رسم و روابط بین متغیرها بررسی شد. مقایسه‌های آماری با استفاده از آزمون ANOVA یا کروسکال والیس، با توجه به سرشت نرمال یا غیر نرمال بودن داده‌ها، در نرم‌افزار SPSS 19 انجام شد. به همین منظور، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk به دلیل کمتر بودن تعداد داده‌های هر گروه از تیمارها از حد پنجاه داده (Razali and Wah, 2011) آزمایش شد. داده‌های غیر نرمال از طریق یکی از روش‌های متداول تبدیل داده‌ها (لگاریتم، جذر، لگاریتم طبیعی) تبدیل و نرمال بودن آن‌ها دوباره آزمایش شد. همچنین از آزمون همگنی واریانس Levene به منظور همگنی واریانس تیمارهای مختلف استفاده شد (Hazbavi *et al.*, 2012). در نهایت، پس از اخذ نتایج نهایی، مقدار مصرف کاربرد و شکل مناسب پلی‌آکریل‌آمید به صورت پودری یا محلول و نهایتاً تأثیرپذیری هر یک از مؤلفه‌های رواناب از تیمارهای آزمایشی تحلیل شد.

## نتایج و بحث

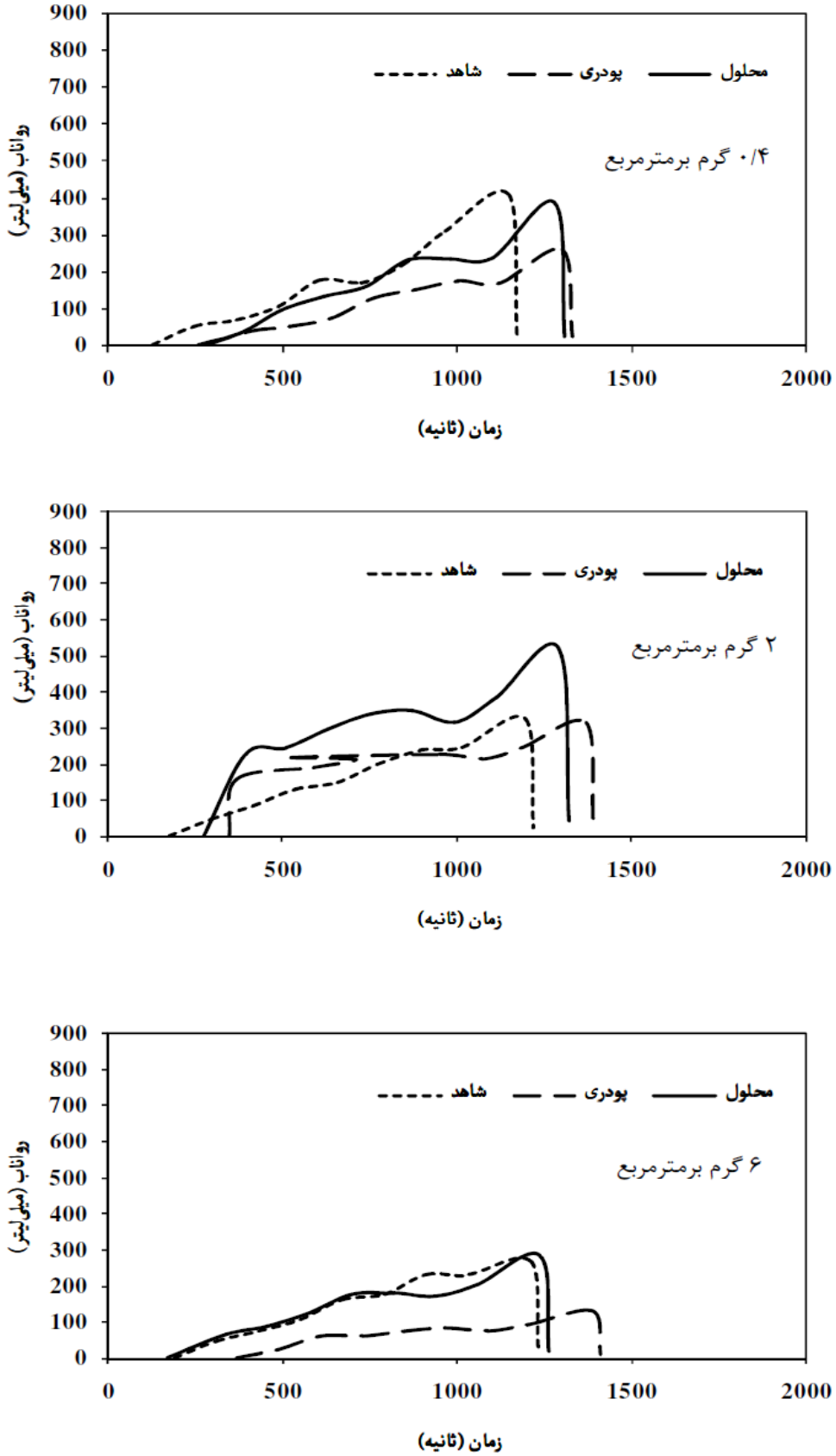
نتایج تغییرات رواناب خروجی تیمار شاهد و سطوح مختلف پلی‌آکریل‌آمید (۰/۴ و ۲ و ۶ گرم بر متر مربع) به دو شکل پودری و محلول و در دو شدت ۵۰ و ۸۰ میلی‌متر بر ساعت، به ترتیب، با تداوم ۱۷ و ۸ دقیقه بر ساعت، در شکل‌های ۲ و۳ می‌آید.

تحلیل نتایج تغییرات رواناب خروجی نسبت به زمان در این پژوهش نشان داد در اثر استفاده از سطوح مختلف پلی‌آکریل‌آمید (۰/۴ و ۲ و ۶ گرم بر متر مربع) در شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت، در هر دو شکل مصرف، روند تغییرات میزان رواناب نسبت به گام‌های زمانی مشخص‌شده از الگویی خاصی تبعیت کرده و افزایش رواناب در سه دقیقهٔ آخر آزمایش رخ داده است. اما در شدت ۸۰ میلی‌متر بر ساعت روند تغییرات رواناب در دو شکل مصرف متفاوت است؛ در حالت پودری زمان غالب افزایش رواناب در دو دقیقهٔ آخر و در حالت محلول در دو دقیقهٔ سوم اعمال بارش صورت گرفته است. همچنین تحلیل نتایج تغییرات رواناب خروجی نسبت به زمان و در سطوح مختلف پلی‌آکریل‌آمید (۰/۴ و ۲ و ۶ گرم بر متر مربع) در دو شکل مصرف (پودری و محلول) و در شدت‌های مختلف بارندگی ۵۰ و ۸۰ میلی‌متر بر ساعت، به ترتیب، با تداوم ۱۷ و ۸ دقیقه بر ساعت، در شکل‌های ۲ و ۳ و جدول‌های ۱ و ۲، ضمن تأیید تفاوت کلی الگوی توزیع زمانی تولید رواناب در شدت‌های مختلف، نشان می‌دهد که در هر دو شدت ۵۰ و ۸۰ میلی‌متر بر ساعت در شکل پودری کمترین میزان رواناب در سطح ۰/۴ و ۶ گرم بر متر مربع تولید شده است. دلیل این یافته را می‌توان تأثیر مناسب در تشکیل مناسب خاک‌دانه‌ها و حفظ ساختمان، بدون تشکیل سطح آب‌گریز[1] در خاک، و همچنین تکامل کامل ساختمان خاک در سطح بالای پلی‌آکریل‌آمید جست‌وجو کرد که با یافته‌های Awad *et al.* (2012) و Shine *et al.* (2013) همخوانی دارد. سطح ۲ گرم بر متر مربع نه‌تنها در کاهش رواناب بی‌تأثیر است، بلکه به افزایش رواناب نیز می‌انجامد. پس می‌توان اذعان کرد پلی‌آکریل‌آمید پودری بر تشکیل سله و کاهش رواناب مؤثر است و در نتیجه در سطح ۲ گرم بر متر مربع موجب ایجاد سطح آب‌گریز در سطح خاک و طبعاً تولید بیشتر رواناب می‌شود. حال آنکه در شدت ۸۰ میلی‌متر بر ساعت در سطح ۰/۴ و ۲ گرم بر متر مربع میزان رواناب افزایش می‌یابد. در این زمینه Ghorbani Vaghei *et al.* (2008) اثر پلی‌آکریل‌آمید را در شدت ۷۹ میلی‌متر در متلاشی کردن خاک‌دانه‌های سطحی و تشکیل سله در خاک سطحی و نهایتاً افزایش رواناب گزارش دادند. میزان رواناب در تیمار ۶ گرم بر متر مربع کاهش داشت. در همین زمینه Shekofteh *et al.* (2005) با استفاده از سه سطح ۱ و ۲ و ۳ گرم بر متر مربع در دو شدت ۳۹ و ۷۹ میلی‌متر بر ساعت به این نتیجه رسیدند که سطح ۱ گرم بر متر مربع بهترین عملکرد را در کاهش میزان رواناب دارد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی ندارد. نتایج پژوهش حاضر با یافتهٔ Sojka *et al.* (1998) و Sirjacobs (2000) و Ai-Ping *et al.* (2011) مطابقت ندارد.

1. Hydrophobic

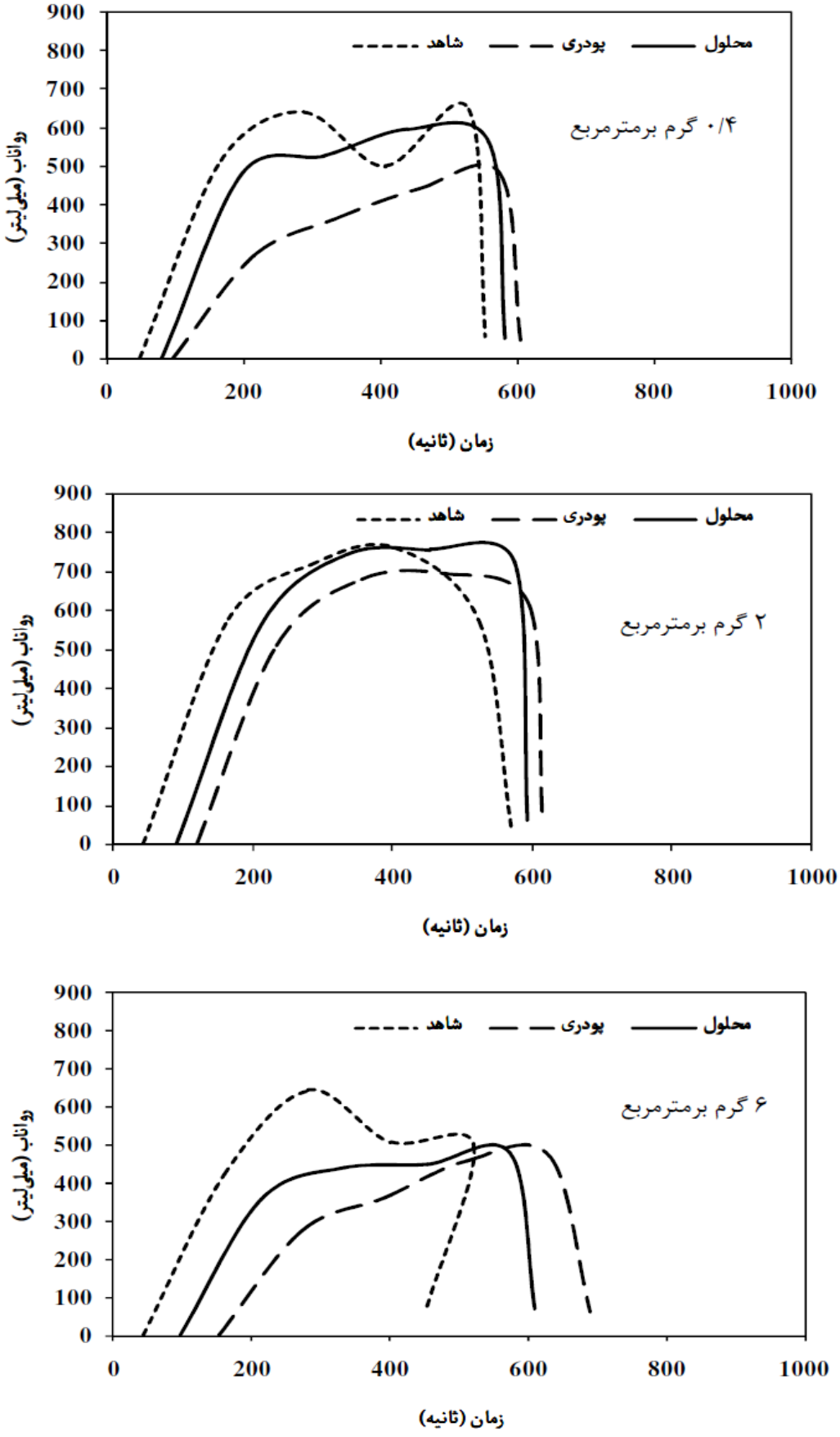
Archive of SID

www.SID.ir




شکل ۲. تغییرات زمانی رواناب برای کرت‌های آزمایشی از کاربرد پلی‌آکریل‌آمید، در شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت

www.SID.ir




شکل ۳. تغییرات زمانی رواناب برای کرت‌های آزمایشی از کاربرد پلی‌آکریل‌آمید، در شدت ۸۰ میلی‌متر بر ساعت

www.SID.ir

**جدول ۲. نتایج تجزیهٔ واریانس یک‌طرفه (ANOVA) اثر کاربرد سطوح مختلف پلی‌آکریل‌آمید در تیمارهای شاهد، پودری، و محلول و در دو شدت مطالعاتی با استفاده از آزمون دانکن بر میزان رواناب**

| پلی‌آکریل‌آمید (گرم بر متر مربع) | شدت (میلی‌متر بر ساعت) | منبع تغییرات | مجموع مربعات | درجهٔ آزادی | میانگین مربعات | آمارهٔ F | سطح معناداری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰٫۴ | ۵۰ | بین‌گروهی | ۶۹۴۷٫۲۰ | ۲ | ۳۴۷۳٫۶۰ | ۱٫۰۹ | ۰٫۳۲ |
| | | درون‌گروهی | ۱۹۰۹۴٫۸۰ | ۶ | ۳۱۸۲٫۴۶ | | |
| | | کل | ۲۶۰۴۲٫۰۱ | ۸ | | | |
| | ۸۰ | بین‌گروهی | ۰٫۰۵ | ۲ | ۰٫۰۲ | ۷٫۳۷ | ۰٫۰۲ |
| | | درون‌گروهی | ۰٫۰۲ | ۶ | ۰٫۰۰ | | |
| | | کل | ۰٫۰۷ | ۸ | | | |
| ۲ | ۵۰ | بین‌گروهی | ۳۰۹۰۴٫۱۵ | ۲ | ۱۵۴۵۲٫۰۷ | ۴٫۰۸ | ۰٫۰۷ |
| | | درون‌گروهی | ۲۲۷۱۵٫۶۷ | ۶ | ۳۷۸۵٫۹۴ | | |
| | | کل | ۵۳۶۱۹٫۸۳ | ۸ | | | |
| | ۸۰ | بین‌گروهی | ۰٫۰۰ | ۲ | ۰٫۰۰ | ۱٫۳۵ | ۰٫۳۲ |
| | | درون‌گروهی | ۰٫۰۰ | ۶ | ۰٫۰۰ | | |
| | | کل | ۰٫۱۲ | ۸ | | | |
| ۶ | ۵۰ | بین‌گروهی | ۱۰۰۳۶٫۲۲ | ۲ | ۵۰۱۸٫۱۱ | ۴٫۸۹ | ۰٫۰۵ |
| | | درون‌گروهی | ۶۱۵۲٫۰۰ | ۶ | ۱۰۲۵٫۳۳ | | |
| | | کل | ۱۶۱۸۸٫۲۲ | ۸ | | | |
| | ۸۰ | بین‌گروهی | ۲۱۷۰۴۹٫۷۱ | ۲ | ۱۰۸۵۲۴٫۸۶ | ۸۴٫۸۸ | ۰٫۰۰ |
| | | درون‌گروهی | ۷۶۷۱٫۳۳ | ۶ | ۱۲۷۸٫۵۵ | | |
| | | کل | ۲۲۴۷۲۱٫۰۵ | ۸ | | | |

**جدول ۳. نتایج آزمون مدل خطی عمومی (GLM) در شناسایی آثار یک‌جانبه و متقابل تیمارهای شکل‌های مختلف مصرف پلی‌آکریل‌آمید و شدت‌های مختلف بارندگی بر میزان رواناب**

| پلی‌آکریل‌آمید (گرم بر متر مربع) | منبع | مجموع مربعات | درجهٔ آزادی | میانگین مربعات | آماره | سطح معناداری |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰٫۴ | شکل مصرف | ۳۴۹۲٫۲۲ | ۲ | ۱۷۴۶٫۱۱ | ۱٫۰۹ | ۰٫۳۶ |
| | شدت باران | ۱۲۳۴۸۱٫۳۰ | ۱ | ۱۲۳۴۸۱٫۳۰ | ۷۷٫۶۰ | ۰٫۰۰ |
| | شکل مصرف × شدت باران | ۳۴۵۵٫۰۳ | ۲ | ۱۷۲۷٫۵۱ | ۱٫۰۸ | ۰٫۳۶ |
| | شکل مصرف | ۱۵۴۵۹٫۷۰ | ۲ | ۷۷۲۹٫۸۵ | ۴٫۰۸ | ۰٫۰۴ |
| ۲ | شدت باران | ۲۰۸۷۴۴٫۱۴ | ۱ | ۲۰۸۷۴۴٫۱۴ | ۱۱۰٫۲۷ | ۰٫۰۰ |
| | شکل مصرف × شدت باران | ۱۵۴۴۴٫۴۵ | ۲ | ۷۷۲۲٫۲۲ | ۴٫۰۷ | ۰٫۰۴ |
| | شکل مصرف | ۵۹۹۵٫۷۸ | ۲ | ۲۹۹۷٫۸۹ | ۴٫۸۵ | ۰٫۰۲ |
| ۶ | شدت باران | ۵۹۹۵۳٫۷۶ | ۱ | ۵۹۹۵۳٫۷۶ | ۹۶٫۹۸ | ۰٫۰۰ |
| | شکل مصرف × شدت باران | ۵۹۷۱٫۳۹ | ۲ | ۲۹۸۵٫۶۹ | ۴٫۸۳ | ۰٫۰۲ |

نتایج مندرج در جدول ۲ مربوط به تجزیه و تحلیل آماری (تجزیهٔ واریانس یک‌طرفه) نشان داد استفاده از پلی‌آکریل‌آمید در شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت در سطح ۰٫۴ گرم بر متر مربع از لحاظ آماری معنادار (p<۰٫۳۹) نیست؛ ولی در سطح ۲ و ۶ گرم بر متر مربع، به ترتیب، در سطح احتمال ۷ و ۵ درصد معنادار است. همچنین نقش پلی‌آکریل‌آمید در سطح ۰٫۴ و ۶ گرم بر متر مربع و در شدت ۸۰ میلی‌متر بر ساعت در سطح ۲ و ۰ درصد معنادار است که با نتایج Ai-Ping *et al.* (2011) همخوانی ندارد. حال آنکه کاربرد آن در سطح ۲ گرم بر متر مربع و شدت بارندگی مشابه معنادار (p=۰٫۳۲) نیست که با نتایج Awad *et al.* (۲۰۱۲) منطبق است. همچنین نتایج آزمون مدل خطی عمومی در جدول ۳ بر اثر غیر معنادار (p>۰٫۳)

Archive of SID

www.SID.ir

سطح مصرف ۰/۴ گرم بر متر مربع پلی‌آکریل‌آمید در دو شکل مصرف پودری و محلول و اثر معنادار (p=۰/۰۰) شدت‌های ۵۰ و ۸۰ میلی‌متر بر ساعت بر تولید رواناب دلالت دارد. نیز اثر متقابل شکل مصرف و شدت بارندگی بر رواناب غیر معنادار (p>۰/۳) بود. در سطوح ۲ و ۶ گرم بر متر مربع نیز تأثیر شکل مصرف پودری و محلول (p<۰/۰۴) و شدت بارندگی (p=۰/۰۰) بر تولید رواناب معنادار ارزیابی شد. همچنین اثر متقابل شکل مصرف و شدت بارندگی بر رواناب معنادار (p<۰/۰۴) بود. از طرفی معنادار نبودن اثر پلی‌آکریل‌آمید در کاهش رواناب مشخصاً با نظریات Yu *et al.* (2003)، مبنی بر عدم تأثیر پلی‌آکریل‌آمید بر کاهش رواناب، همخوانی دارد. آنان اعلام کردند محلول پلی‌آکریل‌آمید ذرات خاک را به صورت یک سطح چسبنده به هم متصل می‌کند و موجب بسته شدن خلل و فرج خاک می‌شود. بنابراین، کاهش نفوذپذیری ناشی از کاهش هدایت هیدرولیکی خاک نسبت به تشکیل سله و ایجاد لایهٔ آب‌بند در سطح است. حال آنکه این نتیجه با نتایج Aase *et al.* (2003) و Shahbazi *et al.* (2005) مطابقت ندارد. ولی با نتایج Ajwa and Trout (2006) مبنی بر عدم تأثیر پلی‌آکریل‌آمید در افزایش نفوذپذیری و در نتیجه کاهش رواناب مطابقت دارد. Flanagan *et al.* (2002) در استفاده از سطح مصرف ۸۰ کیلوگرم بر هکتار پلی‌آکریل‌آمید در رگبارهای مختلف گزارش کردند که فقط هفت واقعه از هفده واقعه به طور معناداری توانسته است میزان رواناب را کاهش دهد و در سایر وقایع کاهش معنادار نبوده و حتی در بعضی موارد از میزان رواناب تیمار شاهد هم بیشتر بوده است. در مواردی که پلی‌آکریل‌آمید نتوانسته رواناب را کاهش دهد دلیل آن را وقوع رگبارهای بزرگ، از جمله با عمق بارش بیش از ۵۵ میلی‌متر، بیان کردند. ایشان گزارش کردند که عدم توانایی پلی‌آکریل‌آمید در کاهش رواناب به دلیل رطوبت پیشین بالای خاک است که حدود ۷۱ میلی‌متر تخمین زده شده و به همین دلیل نفوذپذیری خاک کاهش و در نتیجه رواناب افزایش پیدا کرده است.

نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری زمان شروع رواناب نشان می‌دهد در هر دو شدت ۵۰ و ۸۰ میلی‌متر بر ساعت مصرف شکل پودری پلی‌آکریل‌آمید منجر به افزایش زمان شروع رواناب می‌شود و در شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت با افزایش سطح مصرف از ۰/۴ تا ۶ گرم بر متر مربع زمان شروع رواناب افزایش می‌یابد. در واقع زمان شروع رواناب با توجه به سطح مصرف پلی‌آکریل‌آمید از الگویی خاص تبعیت می‌کند. ولی در شدت ۸۰ میلی‌متر بر ساعت بیشترین کاهش رواناب در سطح ۰/۴ گرم بر متر مربع رخ می‌دهد. این تغییرات نشان می‌دهد که تیمارهای پژوهش متأثر از پلی‌آکریل‌آمید است. در واقع، پلی‌آکریل‌آمید به دلیل وزن ملکولی بالا و میزان جذب بالای آن توسط ذرات خاک در سطح باقی می‌ماند و یک شبکه در اطراف خاک‌دانه‌ها تشکیل می‌دهد و به پایداری و هماوری خاک‌دانه‌ها منجر می‌شود. بنابراین، در کنترل فرسایش و کاهش رواناب و بهبود کیفیت آب و هدررفت خاک مؤثر است. این حالت مزیتی برای پلی‌آکریل‌آمید به شمار می‌رود. از طرفی تشکیل لایهٔ چسبنده و ضد آب در سطح خاک بر مقدار نفوذ آب در خاک و تولید رواناب مؤثر است. Smith *et al.* (1990) دلیل این رخداد را مادهٔ آلی کم خاک قلمداد کردند. می‌توان گفت پلی‌آکریل‌آمید فقط در مقادیر کم با افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها نفوذپذیری را افزایش می‌دهد. این نتیجه با یافته‌های سایر محققان، از جمله Smith *et al.* (1990) و Shaiberg *et al.* (1992) همخوانی دارد.

## نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تأثیر دو شکل مصرف پلی‌آکریل‌آمید (پودری و محلول) در دو شدت بارندگی متفاوت بر مهار رواناب از سطح کرت‌های کوچک آزمایشگاهی انجام شد. بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت هر یک از شکل‌های مصرف پودری یا محلول پلی‌آکریل‌آمید به منزلهٔ یک افزودنی خاک ارزان در کاهش رواناب مؤثرند. لکن، تفاوت معنادار آماری در شکل مصرف پودری یا محلول پلی‌آکریل‌آمید بر تأثیر رواناب در مقادیر بالای مصرف (۲ و ۶ گرم بر متر مربع) آشکار شد. حال آنکه اثر شدت بارندگی در هر دو شکل مصرف و سطح مصرف پلی‌آکریل‌آمید بر تغییر رواناب تأیید می‌شود. اثر ترکیبی دو عامل مطالعاتی نیز در شکل مصرف پلی‌آکریل‌آمید و شدت مختلف بارندگی فقط در سطح مصرف کم پلی‌آکریل‌آمید (۰/۴ گرم بر متر مربع) معنادار ارزیابی نشده است. حال، از آنجا که کاهش رواناب به نوع پلی‌آکریل‌آمید، میزان کاربرد، روش استفاده، و هم‌چنین نوع و بافت و سطح خاک و پوشش آن بستگی دارد، پژوهش‌های گسترده‌تر و طبعاً در شرایط صحرایی و لحاظ سایر مؤلفه‌های مؤثر بر تولید رواناب برای رسیدن به جمع‌بندی نهایی ضروری است.

## REFERENCES


Aase, J. K., Bjorneberg, D. L., and Sojka, R. E. (1998) .Sprinkler Irrigation Runoff and Erosion Control with Polyacrylamide – Laboratory Tests. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 1681-1687.

Afrasiab, P. And Chari, M. (2013). Effect of polyacrylamide on runoff, soil erosion and water infiltration on slopes using rainfall simulator. *Journal of Water Research in Agricultural*, 27 (2), 261-290. (in Farsi)


Archive of SID

www.SID.ir

Ai-Ping, W., Fa-Hu, L., and Sheng-Min, Y. (2011). Effect of Polyacrylamide Application on Runoff, Erosion, and Soil Nutrient Loss Under Simulated Rainfall. *Pedosphere*, 21(5), 628–638.

Ajwa, H. A. and Trout, T. J. (2006). Polyacrylamide and water quality effects on Infiltration in sandy loam soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 643-650.

Alizadeh, A. (2009) Soil Physics, Tehran University Press, first edition, 440 p. (in Farsi)

Awad, Y. M., Blagodatskaya, E., Ok, Y. S.. and Kuzeyakov, Y. (2012). Effects of polyacrylamide, Biopolymer, and Biochar on Decomposition of Soil Organic Matter and Plant Residues as Determined by 14C and Enzyme Activities. *European Journal of Soil Biology*, 48, 1-10.

Darboux, F., Davy, Ph., Gascuel-Odoux, C., and Huang, C. (2001). Evolution of Soil Surface Roughness and Flowpath Connectivity in Overland Flow Experiments. *Catena*, 46(2-3), 125-139.

Defersha, M. B., Quraishi, S., and 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.

Flanagan, D. C., Chaudhari, K. L., and Norton, D. (2002). Polyacrylamide Soil Amendment Effects on Runoff and Sediment Yield on Steep Slopes: Part II. Natural Rainfall Conditions. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 45 (5), 1-13.

Green, V. S. and Stott, D. E. (2001). Polyacrylamide: A Review of the Use, Effectiveness, and Cost of a Soil Erosion Control Amendment. 10th International Soil Conservation Meeting, May 24-29, 1999, Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, 384-389.

Ghorbanie, vaghei H. and Bahrami, H. A., Ghafarian mogharab, M. H., Shahab, H., and Taliee Tabari, P. (2008). Efficiency of anionic polyacrylamide in water infiltration rate of the soil, *Journal of Soil and Water Research*, 39 (1), 77-84. (in Farsi)

Hazbavi, Z., Sadeghi, S. H. R., and Younesi, H. A. (2012). Analysis and Assessing Effectability of Runoff Components from Different Levels of Polyacrylamide. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2 (2), 1-12. (in Farsi)

Hawke, R. M., Price, A. G., and Bryan, R. B. (2006). The Effect of Initial Soil Water Content and Rainfall Intensity on Near-Surface Soil Hydrologic Conductivity: *A Laboratory Investigation*, *Catena*, 65(3), 237-246.

Inbar, A., Ben-Hur, M., Sternberg, M., and Lado, M. (2015). Using polyacrylamide to mitigate post-fire soil erosion. *Geoderma*, 239, 107-114.

Javadi, M.. Zahtabyan, Gh., Ahmadi, H., Aiobi, Sh., and Jafari, M. (2011). Comparison of estimated production potential of runoff and sediment in Vahdhaykary using Rainfall (Case Study: Watershed Nvmhrvd, *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Sciences*, 6 (2), 3-14. (in Farsi)

Jiang, T., Teng, L., Wei, Sh., Deng, L., Luo, Z., and Chen, Y. (2010). Application of Polyacrylamide to Reduce Phosphorus Losses from a Chinese Purple Soil: A Laboratory and Field Investigation. *Journal of Environmental Management*, 91, 1437-1445.

McLaughlin, R., Amoozegar, A., Duckworth, O., and Heitman, J. (2014). Optimizing Soil-Polyacrylamide Interactions for Erosion Control at Construction Sites. *Water Resources Research Institute of the University of North Carolina. Report No*. 441. 47 pp.

Peterson, J. R., Flanagan, D. C., and Tishmack, J.K. (2002). PAM Application Method and Electrolyte Source Effects on Plot-Scale Runoff and Erosion. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 45(6), 1859-1867.

Prats, S. A., Martins, M. A. S., Cortizo, M. M., Ben-Hur, M., and Keizer, J. J. (2014). Polyacrylamide Application versus Forest Residue Mulching for Reducing Post-Fire Runoff and Soil Erosion. *Science of the Total Environment*, 468, 464-474.

Rabiee, A., Gilani, M., and Jamshidi, e. (2011). Acrylamide-based anionic polyacrylamide prepared as soil stabilizers. *Journal of Polymer Science and Technology*, 4 (24), 291-300. (in Farsi)

Razali, N. M. and Wah Y. B., (2011) Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogrov-Smirnov, Lillifores and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21-33.

Roa-Espinosa, A., Bubuenzer, G. D., and Miyashita, E. S. (1999). Sediment and Runoff Control on Construction Sites using Four Application Methods of Polyacrylamide Mix. *American Society of Agricultural Engineers Annual Meeting Paper No*. 99-2013. Available at (webapp1.dlib.indiana.edu.sci-hub.org)

Sadeghi, S. H. R., Abdollahi, Z., and Khaledi Darvishan, A. V. (2013). Experimental Comparison of Some Techniques for Estimating Natural Rain Drop Size Distribution in Caspian Sea Southern Coast, Iran, *Hydrological Sciences Journal*, 58(6), 1374-1382.

Sepaskhah, A. R. and Bazrafshan-Jahromi, A. R. (2006). Controlling Runoff and Erosion in Sloping Land with Polyacrylamide under a Rainfall Simulator. *Biosystems Engineering*, 93(4), 469-474.

Sirjacobs, D., Shainberg, I., Rapp, I., And Levy, G. J. (2000). Polyacrylamide, Sediments, and Interrupted Flow on Rill Erosion and Intake Rate. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 1487-1495.

Sojka, R. E., Lentz, R. D., Ross, C. W., Trout, T. J., Bjorneberg, D. L., and Aas, J. K. (1998). Polyacrylamide Effects on Infiltration in Irrigated

Archive of SID

www.SID.ir

Agriculture. *Journal of Soil Water Conservation*, 53, 325-331.

Shainberg, I. G. J., Levy, P., Rengasamy, H., and Frenkel, H. (1991). Aggregate stability and seal formation as affected by drops impact energy and soil amendments. *Soil Science Society of America Journal*, 154, 113-118.

Shahbazi, A. S., Sarmadian, F., Refahi, H., and Gorgi, M. (2005). Effect of polyacrylamide on soil erosion and runoff Shvr- sodium. *Journal of Agricultural Science*, 36 (5), 1103-1112. (in Farsi)

Shekofteh, H., Refahi, H., and Gorgi, M. (2005). Effect of chemical amide soil erosion and runoff. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 36 (1) 177-186. (in Farsi)

Shin, M. H., Won, C. H., Jang, J. R., Choi, Y. H., Shin, J. Y., Lim, K. J., and Choi, J. D. (2013). Effect of Surface Cover on the Reduction of Runoff and Agricultural NPS Pollution from Upland Fields. *Paddy Water Environment*, 11: 493-501.

Shoemaker, A. E. (2009). Evaluation of Anionic Polyacrylamide as an Erosion Control Measure Using Intermediate - Scale Experimental Procedures. Auburn University MSc. Thesis, USA, 220p.

Sirjacobs, D., Shainberg, I., Rapp, I., and Levy, G. J. (2000). Polyacrylamide, Sediments, and Interrupted Flow Effects on Rill Erosion and Intake Rate. *Soil Science Society of America Journal*, 64,1487–1495.

Smith, H. J. C., Levy, G. J., and Shainberg, I. (1990). Water-droplet energy and soil amendments: Effect on infiltration and erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 54, 1084-1087.

Ventura, E., Nearing, M. A., Amore, E., and Norton, L. D. (2002). The Study of Detachment and Deposition on a Hillslope using a Magnetic Tracer, Catena, 48(3), 149-161.

Wang, P. K. and Pruppacher, H. R. (1977). Acceleration to Terminal Velocity of Cloud and Raindrops, *Journal of Applied Meteorology*, 16(3), 275-280.

Yu J., Lei T., Shainberg, I., Mamedov, A. I., and Levy, G. J. (2003). Infiltration and Erosion in Soils Treated with Dry PAM and Gypsum. *Soil Science Society of America Journal*, 67, 630–636.

Zarrinkafsh, M. (1993). *Applied Soil Science*, Tehran university Press, Tehran, 342p.

Archive of SID

www.SID.ir