Archive of SID

نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال دوازدهم- شماره ۴۲- پاییز ۱۳۹۷

Vol. 12, No. 42, Fall 2018

اثر مدت بارندگی و رطوبت خاک بر تغییرات پاشمان خاک

لیلا غلامی[1] و نبیه کریمی[2]

تاریخ دریافت:۱۳۹۶/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۰۹/۲۶

چکیده

اولین مرحله از فرسایش خاک پاشمان خاک است که توسط اثر قطرات باران بر سطح خاک ایجاد می‌شود. قطرات باران می‌توانند ذرات خاک را جدا کرده و موجب تغییر ساختار خاک شده و فرسایش خاک را افزایش می‌دهد. بنابراین بررسی عوامل موثر بر فرسایش پاشمانی که شامل عوامل فرساینده باران و فرسایش‌پذیری خاک می‌باشد می‌تواند در کنترل فرسایش پاشمانی تاثیرگذار باشد. دو پارامتر مدت زمان بارندگی و رطوبت پیشین خاک می‌توانند تاثیر زیادی روی مقادیر پاشمان خاک داشته باشند که کمتر بررسی شده‌اند. به همین منظور، پژوهش حاضر اثر مدت‌های بارندگی با مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه و رطوبت‌های پیشین خاک ۲۰ و ۴۰ درصد روی فرسایش پاشمانی در شدت ۳۰ میلی‌متر بر ساعت و مقیاس فنجان پاشمان را مطالعه نمود. نتایج نشان داد که متغیرهای مدت بارندگی و رطوبت پیشین خاک بر مقادیر پاشمان کل و خالص در واحد زمان و سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. در حالی‌که اثر متقابل رطوبت پیشین خاک و مدت بارندگی بر پاشمان کل و خالص در واحد زمان معنی‌دار نبود. نتایج هم‌چنین نشان داد که همبستگی معنی‌دار و معکوسی بین مدت بارندگی و پاشمان کل و خالص در واحد زمان وجود داشت چراکه با افزایش مدت بارندگی در هر دو رطوبت ۲۰ و ۴۰ درصد مقدار پاشمان کل و خالص در واحد زمان کاهش یافت. بررسی نتایج به‌دست آمده نشان داد که اثر رطوبت پیشین خاک ۴۰ درصد بر مقدار پاشمان کل و خالص در واحد زمان بیش‌تر از رطوبت پیشین خاک ۲۰ درصد بود.

۱- نویسنده مسئول و استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
پست الکترونیک: l.gholami@sanru.ac.ir
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

کلید واژه‌ها: *تولید رواناب و رسوب، شبیه‌ساز باران، شدت بارندگی، فرسایش خاک، کرت‌های فرسایش*

مقدمه

فرسایش خاک[2] و اثرات آن یکی از مشکلات بزرگ محیط‌زیست جهان می‌باشد که موجب تخریب خاک می‌شود و تقریبا در تمامی نقاط زمین رخ می‌دهد که اثرات زیستی، فیزیکی و شیمیایی آن هم در درون و هم در بیرون منطقه چشم‌گیر است [۲ و ۴۴]. شناخت عوامل و فرآیندهای موثر بر فرسایش خاک در یک منطقه در ارائه راه‌کاری برای حفاظت خاک و محیط زیست سالم ضروری می‌باشد. فرسایش خاک و تولید رسوب ناشی از آن مشکلات مهمی برای دستیابی به کاربری مناسب و کیفیت آب در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و دیگر منابع آب می‌باشد [۶ و ۳۰].

امروزه فرسایش خاک به‌طور خاص از بحث‌های مهم در مدیریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست، منابع آب و طبعاً مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز است [۴۰]. فرسایش آبی دارای چندین شکل شامل فرسایش پاشمان[3]، فرسایش سطحی[4]، فرسایش بین‌شیاری[5]، فرسایش شیاری[6] و آبکندی[7] است. فرسایش پاشمانی اولین مرحله فرآیند فرسایش آبی بوده که در نتیجه جدایش ذرات سطح خاک توسط قطرات باران صورت می‌گیرد [۷، ۱۶، ۲۵، ۲۶، ۴۳، ۴۷، ۴۸] . جدا شدن ذرات خاک در اثر نیروی کنش قطرات باران و سپس رواناب سطحی از توده و یا بستر اصلی خود، اوّلین نکته قابل تأمل در مباحث مربوط به پدیده فرسایش خاک می‌باشد [۱۵] . در اثر برخورد قطرات باران بر سطح خاک، خاک‌دانه‌های درشت سطح به خاک‌دانه‌های کوچک‌تر تقسیم شده و سپس به دلیل کاهش چسبندگی ذرات خاک، خیس شدن آن‌ها و ادامه روند بارش، جدا شدن خاک‌دانه‌ها سریع‌تر صورت می‌گیرد. بعد از مدتی از یک طرف به دلیل مسدود شدن منافذ خاک توسط ذرات ریز خاک و هم‌چنین کم شدن خاک‌دانه‌های سطحی و ایجاد لایه‌ای متراکم در سطح خاک، پاشمان نیز کاهش می‌یابد. با ایجاد لایه متراکم در سطح خاک، نفوذپذیری کاهش می‌یابد و رواناب رخ می‌دهد و در نهایت

2- Soil Erosion
3- Splash Erosion
4- Sheet Erosion
5- Interrill Erosion
6- Rill Erosion
7- Gully Erosion

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار رواناب، رسوب و در نهایت هدررفت خاک افزایش می‌یابد [۱۲، ۱۵، ۳۷] بنابراین فرسایش پاشمانی به‌عنوان اولین مرحله از فرآیند فرسایش دارای اهمیت زیادی است و به‌منظور کمی کردن مقدار پاشمان به‌تدریج روش‌هایی از جمله استفاده از قیف پاشمان[1] [۱۳، ۳۳]، فنجان پاشمان[2] [۱۰، ۲۲]، صفحه پاشمان[3] [۱۰] و سینی پاشمان[4] [۳۳] توسعه یافته است و بایستی توجه داشت که اندازه سطح مورد آزمایش، بر نتایج حاصله اثر می‌گذارد [۲۶].

جدا شدن ذرات خاک در فرسایش پاشمانی به‌عواملی از جمله انرژی قطرات باران، شدت بارندگی، مدت بارندگی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (ظرفیت نفوذ، خاک‌دانه‌ها، درصد مواد آلی، بافت، تخلخل، ظرفیت تبادل یونی، درصد رطوبت و درصد رس) بستگی دارد [۲۰]. بررسی مطالعات انجام شده در خارج از کشور نشان داد که جدایش ذرات خاک با استفاده از فنجان پاشمان با قطر ۷۳ میلی‌متر و عمق ۵۰ میلی‌متر مشابه طرح الیسون [۱۱] و در سه مدت زمان بارندگی ۴، ۱۲ و ۲۰ دقیقه با شدت ۸۱ میلی‌متر در ساعت اندازه‌گیری شد. ایشان با توجه به بررسی اثرات یک‌جانبه و متقابل عوامل فوق، به این نتیجه دست یافتند که در همه خاک‌ها با افزایش مدت بارندگی، جدایش ذرات خاک ناشی از پاشمان به صورت خطی افزایش یافته است. سپس آرسوالد [۳] اثر تغییرات رطوبت پیشین خاک[5] حاصل از کاهش عملیات خاک‌ورزی بر فرسایش خاک سیلتی لومی در شش کرت با ابعاد ۱۰/۶۷×۳/۶۶ متر و شیب سه تا چهار درصد با استفاده از شبیه‌ساز باران با میانگین شدت ۶۶ میلی‌متر در ساعت را بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که با افزایش رطوبت پیشین خاک، زمان شروع و ضریب رواناب افزایش یافتند. اما در ادامه با افزایش ضریب رواناب، ضخامت لایه پوشش آب روی سطح خاک نیز افزایش و در نتیجه پاشمان کاهش یافت. بیس‌سونایس و همکاران [۴] به بررسی اثرات متقابل ویژگی‌های خاک و رطوبت آن بر رواناب و فرسایش بین‌شیاری در خاکی با بافت سیلتی لومی و در سه سطح رطوبتی هواخشک، رطوبت متوسط در شرایط طبیعی خاک و مرطوب با استفاده از کرت ۰/۵ مترمربعی و شبیه‌سازی باران با شدت ۳۰ میلی‌متر بر ساعت و در شیب پنج درصد پرداختند. نتایج ضمن تأکید بر پیچیدگی اثرات رطوبت پیشین و دیگر ویژگی‌های خاک نشان داد که به‌طور کلی با افزایش رطوبت پیشین خاک میزان رواناب و فرسایش بین شیاری بیش‌تر شد. واتوتنگ و همکاران [۴۵] اثر متقابل رطوبت پیشین خاک در دو سطح خشک و تر و انرژی باران در دو سطح ۰/۰۶۴ و ۰/۵۳ وات در مترمربع بر پاشمان خاک اکسی‌سول منطقه هاوایی در شرایط کرت‌های آزمایشگاهی و با استفاده از شبیه‌ساز باران را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج ایشان حاکی از این بود که با افزایش شدت باران، مقدار پاشمان کل به صورت خطی افزایش یافت و اثر رطوبت پیشین خاک بر پاشمان خاک معنی‌دار نبود. فاکس و برایان [۱۴] به بررسی آزمایشگاهی رابطه بین فرسایش خاک ناشی از فرسایش بین‌شیاری و فرسایش پاشمانی با تندی شیب تحت باران شبیه‌سازی شده پرداختند. متوسط شدت بارندگی در این پژوهش ۴۹ میلی‌متر بود و آزمایش‌ها در خاکی با بافت شنی و جمع‌آوری شده از ۲۰ سانتی‌متر بالای افق A، خشک شده در هوای آزاد تا حد رطوبت هشت درصد با استفاده از کرت‌های خاک با ابعاد ۱۰۰ در ۴۰ سانتی‌متر مربع و عمق ۱۰ سانتی‌متر انجام شدند. نتایج نشان داد که پاشمان خاک در جهت پایین‌دست کرت‌ها هیچ‌گاه بیش‌تر از ۲۰ درصد کل فرسایش نبوده است. کاستیلو و همکاران [۵] به شبیه‌سازی اثر رطوبت پیشین خاک بر رواناب در سه حوزه آبخیز کوچک با بافت خاک لوم و سیلتی لوم و اقلیم نیمه خشک در جنوب اسپانیا پرداختند. نتایج نشان داد که پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز پس از بارندگی‌های شدید مستقل از محتوای رطوبت پیشین خاک بوده است در حالی‌که در بارندگی‌های با شدت متوسط و کم اثر رطوبت پیشین خاک بر رواناب کاملاً مشهود بود. هاوکه و همکاران [۱۸] به بررسی اثر رطوبت پیشین خاک در شدت‌های بارندگی مختلف و مدت ۱۲۰ دقیقه بر هدایت هیدرولوژیکی خاک[6] در کانادا پرداختند. نتایج نشان داد که محتوای رطوبتی لایه‌های سطحی خاک (عمق‌های پنج تا ۵۰ میلی‌متر) در شدت‌های بارندگی مختلف حداکثر در ۳۰ دقیقه به حالت نزدیک به اشباع می‌رسد و این مدت زمان برای شدت‌های بارندگی بالا (۸۵ میلی‌متر در ساعت) و در عمق کم‌تر از ۲۰ میلی‌متری سطح خاک، کم‌تر از ۱۰ دقیقه بوده است. این نتیجه نشان داد که حداکثر اثرگذاری مستقیم رطوبت پیشین بر پاسخ هیدرولوژیکی سطح خاک در دقایق اول پس از بارندگی رخ داده و پس از آن نیز به صورت غیرمستقیم ادامه یافته است. کوآیجوان و همکاران [۳۴] در مناطق مختلف چین نمونه‌های خاک را جمع‌آوری و تحت بارانی با شدت ۱/۲ میلی‌متر بر دقیقه برای مدت‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه قرار دادند و نمونه‌های پاشمان را جمع‌آوری نمودند. نتایج حاصل نشان داد در خاک‌های با پایداری خاک‌دانه و ماده آلی بالا و ساختمان خوب، فرسایش پاشمانی خاک حداقل و در خاک‌های لسی با مقدار زیادی ذرات شن فرسایش پاشمانی حداکثر بود. رویز سیوگا و همکاران [۳۶] با استفاده از شبیه‌ساز باران و کرت‌های صحرایی، به بررسی نقش رطوبت پیشین خاک در تنظیم فرآیندهای رواناب و فرسایش در یک دامنه با خصوصیات سنگ‌شناسی دگرگونی و اقلیم مدیترانه‌ای در جنوب اسپانیا پرداختند. نتایج این پژوهش‌گران نشان داد که محتوای رطوبتی کم خاک همراه با بالا بودن میزان مواد آلی در اواخر فصل خشک موجب ایجاد یک لایه آب‌گریز[7] در سطح خاک شده و شدت رواناب و غلظت رسوب را افزایش داده حال آن‌که با افزایش رطوبت پیشین خاک، شدت

1- Splash Funnel
2- Splash Cup
3- Splash Sheet
4- Splash Tray
5- Initial Soil Moisture

6- Soil Hydrologic Conductivity
7- Water Repellent

www.SID.ir

Archive of SID

رواناب و غلظت رسوب کاهش یافتند. آرووگان و همکاران [۲] در خاک لومی- شنی به بررسی اثر مدت زمان بارش در فواصل ۵ دقیقه با شدت بارش ۱۱۸/۷۵ میلی‌متر بر ساعت نشان دادند که با افزایش مدت زمان بارندگی، فرسایش پاشمانی تا زمان ۱۵ دقیقه افزایش یافت اما پس از آن تفاوت معنی‌داری در میزان فرسایش پاشمانی مشاهده نشد. جینگی و همکاران [۱۹] به بررسی اثرات قطر خاک‌دانه و مدت‌های بارندگی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه با شدت ثابت ۲۲۸/۶ میلی‌متر بر ساعت بر پایداری خاک‌دانه و فرسایش پاشمانی در دو نوع خاک کشاورزی در نیجریه پرداختند. نتایج نشان داد که در هر دو نوع خاک و در قطرهای مختلف خاک‌دانه، با افزایش مدت بارندگی، مقدار پاشمان افزایش و پایداری خاک‌دانه کاهش می‌یابد. دفرشا و ملسه [۸] به بررسی اثر شدت بارندگی (۵۵، ۷۰ و ۱۲۰ میلی‌متر در ساعت)، شیب (نه، ۲۵ و ۴۵ درصد) و رطوبت پیشین خاک (هوا خشک و رطوبت پس از زهکش ۲۴ ساعت) در سه نوع خاک از منطقه مادری شرق اتیوپی بر رواناب و غلظت رسوب پرداختند. نتایج نشان داد که رطوبت پیشین بر ضریب رواناب اثر معنی‌دار داشت. هم‌چنین نتایج نشان داد که اثر رطوبت پیشین وابسته به نوع خاک و شیب بوده به‌طوری‌که در خاک سبک و شیب کم، بیش‌ترین ضریب رواناب در خاک هوا خشک و در شیب زیاد در خاک مرطوب رخ داده است. اما در خاک‌های با بافت متوسط و سنگین، ضریب رواناب با افزایش رطوبت پیشین خاک افزایش یافته است. صادقی و همکاران [۳۸] تغییرپذیری توزیع اندازه ذرات پاشمان بالادست و پایین‌دست را تحت شیب‌های ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد و شدت باران ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت در خاک لوم رسی شنی در مقیاس آزمایشگاهی در مراتع ییلاقی کدیر را بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که پاشمان در دامنه پایین‌دست رابطه مستقیم و معنی‌داری با شدت بارندگی دارد و مواد پاشمان شده به دامنه بالادست و پایین دست شامل رس، سیلت و شن بوده و بیشترین پاشمان در شیب ۵ و ۱۵ درصد اتفاق افتاد. علاوه بر این طبقه بندی مواد پاشمان شده در دامنه بالادست و پایین دست معادل ۶/۶۲- ۴/۸۴ و ۶/۵۴-۵/۱۳ میکرومتر به‌ترتیب برای شدت‌های مختلف و شیب‌های مختلف کمتر از خاک اولیه (۸/۱۲) بود.

با بررسی پژوهش‌های انجام شده در داخل کشور، ارشم و همکاران [۳۲] به بررسی اثر رطوبت‌های قبلی خاک (چهار سطح هواخشک، حد فاصل هواخشک و ظرفیت زراعی، ظرفیت زراعی و نزدیک اشباع) بر مقادیر رواناب و رسوب تحت باران شبیه‌سازی شده با شدت ثابت ۸۰ میلی‌متر در ساعت در شرایط طبیعی خاک در دو شیب پنج و ۱۵ درصد در سه نوع خاک با بافت‌های سبک، متوسط و سنگین و کاربری زراعی در استان خوزستان پرداختند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین اختلاف بین تیمارها در ۱۰ دقیقه اول بارندگی وجود دارد و با افزایش رطوبت پیشین خاک در هر سه نوع خاک مورد بررسی، مقدار رواناب تولیدی بیش‌تر شده به‌طوری‌که اختلاف ضریب رواناب بین تیمارهای مختلف رطوبت پیشین خاک دو تا پنج برابر است. خالدیان و شاهویی [۲۱] با استفاده از ترکیب نوعی فنجان و سینی پاشمان و قرار دادن ماسه رودخانه‌ای با قطر میانه ۰/۸۵ میلی‌متر در معرض باران طبیعی، به اندازه‌گیری پاشمان و رابطه آن با شدت بارندگی۱۵۲ واقعه باران در سه ایستگاه سینوپتیک مریوان، زرینه و سقز در استان کردستان پرداختند. نتایج علاوه بر تایید رابطه توانی بین پاشمان و شدت بارندگی، نشان داد که توان شدت بارندگی در سه ایستگاه مریوان، زرینه و سقز به‌ترتیب ۰/۴۲، ۰/۵۲ و ۰/۵۱ بود. واعظی و همکاران [۴۱] به بررسی تغییرات زمانی فرآیندهای تخریب خاک‌دانه و پاشمان در خاک مارنی تحت شبیه‌سازی باران پرداختند. ایشان ۲۴ جعبه با ابعاد ۳۰ در ۴۰ سانتی‌مترمربع را از خاک‌دانه‌های با قطر ۶ تا ۸ میلی‌متر پرکرده و در مدت‌های ۷/۵، ۱۵، ۲۲/۵، ۳۰، ۳۷/۵، ۴۵، ۵۲/۵ و۶۰ دقیقه تحت شبیه‌سازی باران با شدت ثابت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت قرار دادند. میزان تخریب از طریق مقایسه میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها قبل و بعد از بارندگی به روش الک خشک و میزان پاشمان از طریق جمع‌آوری ذرات خاک پراکنده شده دراطراف جعبه‌ها طی هر رخداد بارندگی و تعیین وزن خشک آنها انجام شد. نتایج نشان داد که رابطه مثبت معنی‌دار بین تداوم بارندگی و میزان پاشمان وجود دارد. در دقیقه ۷/۵ پس از شروع بارندگی میزان پاشمان کم‌تر از میزان تخریب خاک‌دانه‌ها بود. در ۴۵ دقیقه پس از شروع بارندگی پاشمان به اوج خود رسیده و پس از این زمان تشکیل سله تقریباً از پاشمان و تخریب بیش‌تر خاک‌دانه‌ها جلوگیری نمود. خالدی درویشان و همکاران [۲۲] به بررسی فرسایش پاشمان در چهار سطح رطوبت پیشین خاک و در چهار سطح شدت بارندگی برای شنی- لومی مراتع ییلاقی البرز در آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس در فنجان‌های پاشمان پرداخت. بر طبق نتایج ایشان تاثیرپذیری پاشمان کل و خالص از رطوبت پیشین خاک و شدت بارندگی معنی‌دار نبود. . ایشان هم‌چنین بیان کردند که اثر متقابل رطوبت پیشین خاک و شدت بارندگی پاشمان معنی‌دار نبود. سلطانی گرد فرامرزی و همکاران [۳۹] مقدار فرسایش پاشمانی در سه مدت زمان بارندگی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه در شدت‌های ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت را بررسی نمودند. ایشان بیان نمودند که مقادیر مختلف شدت و مدت بارندگی بر افزایش میزان فرسایش پاشمانی اختلاف معنی‌دار داشتند اما اثر متقابل دو عامل شدت و مدت بر میزان پاشمان اختلاف معنی‌دار نداشت. یوسفی و همکاران [۴۷] اثر شدت و مدت زمان بارش بر فرسایش پاشمانی مورد ارزیابی قرار داند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که رابطه مثبت معنی‌داری بین زمان بارندگی و فرسایش پاشمانی وجود داشت و هم‌چنین با افزایش شدت بارش از ۱/۵ به ۲ میلی‌متر بر دقیقه میزان پاشمان از ۲۳/۸۴ به ۳۱/۱۰ گرم بر مترمربع رسید. کیانی هرچگانی و همکاران [۱۷] اثر شیب و شدت باران را بر مؤلفه‌های فرسایش ناشی از اثر قطره‌های باران در شیب‌های پنج، ۱۵ و ۲۵ درصد و شدت‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت در خاک لوم رسی شنی و مقیاس آزمایشگاهی

www.SID.ir

Archive of SID

در مراتع ییلاقی کدیر بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که تمامی متغیرهای بررسی شده شامل پاشمان بالادست و پایین‌دست و پاشمان کل و خالص متاثر از شدت بارش می‌باشد و تغییرات مکانی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر شیب بر تمام متغیرها به‌جز پاشمان خالص معنی‌دار بود. کاتبی کرد و همکاران [۲۰] به بررسی اثر مدت بارندگی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ دقیقه بر فرسایش پاشمانی کل و خالص با استفاده از شبیه‌ساز باران با سه تکرار مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان بر کاهش معنی‌دار میزان متوسط پاشمان در واحد سطح و زمان با افزایش مدت بارندگی و نیز بالا بودن میزان متوسط فرسایش پاشمانی در دقایق ابتدایی بارندگی تاکید داشت.

جمع‌بندی سابقه تحقیق نشان می‌دهد که با توجه به اهمیت فرسایش پاشمانی، هم‌چنین اثر رطوبت پیشین خاک و مدت بارندگی دو عامل مهم و موثر در فرسایش‌پذیری خاک بوده است. با توجه به منابع ثبت شده تاکنون اثرات متقابل رطوبت پیشین خاک و مدت بارندگی بر پاشمان خاک مورد توجه قرار نگرفته و در بسیاری از موارد نیز سطوح رطوبت پیشین خاک و مدت بارندگی به‌تنهایی، متناسب با دامنه تغییرات طبیعی عوامل انتخاب نشده و در نتیجه برای انجام تحلیل‌ها کافی نبوده است. بنابراین می‌توان گفت که به‌دلیل کم بودن سطوح رطوبت پیشین خاک و یا مدت بارندگی بر فرسایش پاشمانی و با توجه به اهمیت فرسایش پاشمانی می‌توان بیان نمود که پژوهش در این زمینه جای بحث زیادی دارد. به‌همین منظور تحقیق حاضر در حوزه آبخیز آموزشی پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس به‌منظور بررسی اثر دو رطوبت پیشین خاک در شرایط صحرایی ۲۰ و ۴۰ درصد در شدت ۳۰ میلی‌متر بر ساعت و مدت‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه، بر پاشمان خاک و مقیاس فنجان پاشمان انجام گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در حوزه آبخیز آموزشی پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس با مساحت ۵۰۰۰۰ هکتار در جنوب شرقی شهرستان نوشهر با توجه به وجود آزمایش‌های اولیه خاک انجام شد. بافت خاک شنی-لومی، عمق خاک یک متر، میانگین وزن مخصوص ظاهری لایه سطحی خاک ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. ارتفاع دامنه مورد بررسی ۱۶۴۰ متر از سطح دریا و شیب آن یکنواخت ۲۰ درصد و جهت شیب شمالی می‌باشد. ساختمان خاک محل انجام پژوهش دانه‌ای بوده و هم‌چنین مقادیر pH، EC و مواد آلی خاک به‌ترتیب ۷/۹۵، ۰/۰۷۶ میلی‌موهس بر سانتی‌متر و ۲/۱۷ درصد بوده است. متوسط بارندگی سالیانه در ایستگاه کجور ۳۲۲/۹۱ میلی‌متر بوده و اقلیم پایین‌دست حوزه آبخیز کجور از اقلیم مرطوب و معتدل خزری و در قسمت‌های بالادست از اقلیم مدیترانه‌ای برخوردار می‌باشد. حداکثر و حداقل متوسط بارندگی ماهیانه در دوره مذکور در ایستگاه کجور به‌ترتیب ۴۲/۰۱ میلی‌متر در ماه نوامبر (آبان) و ۱۱/۵۳ میلی‌متر در ماه ژولای (مرداد) محاسبه شد. از نظر زمین‌شناسی حدود ۹۰ درصد از سطح حوزه‌ی آبخیز کجور به دوران دوم زمین‌شناسی تعلق دارد. پوشش گیاهی دامنه مورد بررسی حاصل تبدیل جنگل‌های تنک بوده است و به‌دلیل قرارگیری در حاشیه روستای کدیر دامنه انجام پژوهش حاضر تحت چرای ترکیبی گاو و گوسفند می‌باشد [۱۷].

انتخاب سطح رطوبتی

از آنجایی‌که رطوبت پیشین خاک در دقایق اولیه پس از شروع بارندگی بیش‌ترین اثر مستقیم در کاهش مقاومت خاک‌دانه‌ها و فرآیند تخریب و تغییر ویژگی‌های سطح خاک و نیز زمان تشکیل رواناب را داشته [۱۵]. سطوح رطوبت پیشین خاک مورد بررسی در این پژوهش با در نظر گرفتن حالت هواخشک یعنی دقایق اولیه پس از شروع بارندگی و رطوبت نزدیک به اشباع [۲۲، ۳۲، ۴] تعیین شد به همین دلیل دو سطح رطوبتی ۲۰ و ۴۰ درصد برای انجام آزمایش‌ها مد نظر قرار داده شد. آزمایش‌ها در شدت بارندگی ۳۰ میلی‌متر بر ساعت با توجه به اطلاعات پژوهش‌های قبلی میانه قطر قطرات، متوسط سرعت نهایی قطره و انرژی جنبشی به‌ترتیب ۱/۰۲ میلی‌متر، ۴/۱۰ متر در ثانیه و ۹/۱۲ ژول بر مترمربع در هر میلی‌متر از باران [۲۴] و مدت زمان آزمایش برابر با ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه از نقطه نظر بررسی اثرات رطوبت پیشین خاک و مدت بارندگی نیز انتخاب گردید. در نهایت تعداد تیمارهای ترکیبی حاصل از ضرب تعداد سطوح مدت بارندگی در تعداد سطوح رطوبت پیشین خاک (۶×۲ تیمار) به تعداد ۱۲ تیمار و در قالب طرح عاملی [۸، ۹] در سه تکرار برای هر تیمار (در مجموع ۳۶ داده فنجان) مورد بررسی قرار گرفت.

متوسط تعداد روزهای ممتد بدون بارندگی یا با بارندگی کم‌تر از یک میلی‌متر در فصل خشک نیز با توجه به آمار استخراج شده برابر با ۱۰ روز بود که با اندازه‌گیری رطوبت خاک اشباع شده در فنجان‌های پاشمان بعد از گذشت ۱۰ روز سطح رطوبتی اول برابر با ۲۰ درصد حجمی تعیین شد. آمار موجود نشان‌دهنده متوسط تعداد روزهای ممتد بدون بارندگی یا با بارندگی کم‌تر از یک میلی‌متر در فصل مرطوب برابر با شش روز بوده و لذا سطح رطوبتی دوم نیز از طریق اندازه‌گیری رطوبت خاک اشباع شده در فنجان‌ها بعد از گذشت شش روز برابر با ۴۰ درصد حجمی تعیین شد.

اندازه‌گیری پاشمان خاک

در پژوهش حاضر برای اندازه‌گیری پاشمان خاک از فنجان پاشمان استفاده شد. فنجان پاشمان مورد استفاده در این پژوهش با در نظر گرفتن طرح مورگان [۲۹،۲۸] و تغییر عرض دهانه بزرگ از ۳۰ به ۲۵ سانتی‌متر ساخته شد [۲۳]. در این طرح دو صفحه عمودی در طرفین دهانه اصلی و در راستای عمود بر شیب سطح خاک به گونه‌ای قرار گرفت که بتوان حجم ذرات پاشمان شده در جهت‌های بالادست و پایین‌دست را از هم تفکیک نمود [۲۳،۳۱] و سپس با محاسبه تفاضل

www.SID.ir

Archive of SID

این دو مقدار، مقدار پاشمان خالص در جهت پایین‌دست حاصل شد [۲۷، ۲۹] شکل ۱ ابعاد و طرح نهایی فنجان پاشمان مورد استفاده در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

ذرات خاک پاشمان شده در داخل فنجان‌های پاشمان به تفکیک در هر دو جهت بالادست و پایین‌دست برای هر تیمار رطوبتی و شدت ۳۰ میلی‌متر بر ساعت با مدت‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه به کمک شستشو توسط آب مقطر به داخل ظروف دیگری با نشانه‌گذاری مشخصات کامل تیمار، تخلیه و در نهایت نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت به حالت سکون قرار داده شد. پس از طی مدت زمان مذکور مقدار آب اضافی نمونه‌ها تا حد امکان با استفاده از روش تخلیه [۴۳] حذف و باقی‌مانده آب و رسوب تغلیظ‌شده به داخل ظروف نازک آلومینیومی با وزن مشخص تخلیه و به آون منتقل شد. در این روش دما و زمان خشک کردن نمونه‌ها به‌ترتیب ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و ۲۴ ساعت در نظر گرفته شد [۱۶، ۱۷، ۳۱، ۳۶]. در نهایت مقدار پاشمان خالص حاصل تفاضل پاشمان بالادست از پایین‌دست [۱۷، ۲۰، ۳۵، ۴۸] نیز به‌عنوان مقدار جابجایی نهایی ذرات خاک ناشی از پاشمان محاسبه شد. سپس تفکیک و همگن‌بندی سطوح مدت‌های بارندگی با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد [۱] با استفاده از داده‌های به‌دست آمده پاشمان کل و پاشمان خالص، در نرم‌افزار SPSS انجام شد.

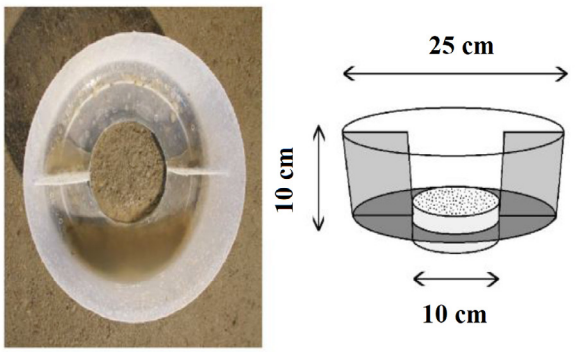
نتایج

داده‌های اندازه‌گیری شده پاشمان کل و پاشمان خالص در واحد زمان برای مدت بارندگی با مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه و رطوبت پیشین خاک ۲۰ و ۴۰ درصد در جدول ۱ ارائه شده است. هم‌چنین در جدول ۲ آزمون چند متغیره بین پاشمان کل و خالص در واحد زمان با رطوبت پیشین خاک و مدت بارندگی نشان داده شده است.

نتایج ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که دامنه تغییرات پاشمان کل و خالص در واحد زمان در تیمارهای مورد بررسی به‌ترتیب از حدود ۲/۳۲ تا ۴۰/۲۴ و ۱/۴۷ تا ۲۸/۹۸ گرم در متر مربع بود. این نتایج نشان‌دهنده تغییرات زیاد متغیرهای پاشمان در تیمارهای مختلف رطوبت خاک و مدت زمان بارندگی می‌باشد. جدول ۲ نیز نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری مقادیر مختلف میزان پاشمان کل و پاشمان خالص در واحد زمان برای مدت‌های بارندگی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه و رطوبت‌های ۲۰ و۴۰ درصد را نشان می‌دهد.

مقدار فرسایش پاشمان کل و خالص در مدت‌های بارندگی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه با رطوبت پیشین خاک ۲۰ درصد (علائم سفید) و رطوبت پیشین خاک ۴۰ درصد (علائم سیاه) به‌ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ ارئه شده است.

نتایج جدول ۲ بیان‌کننده این موضوع است که اثر جداگانه متغیرهای مدت بارندگی [۲۰] و رطوبت پیشین خاک بر مقادیر پاشمان خالص و ناخالص در واحد زمان در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. اما واتونگ و همکاران در دانشگاه علوم خاک هاوایی [۴۴] بیان نمودند که اثر رطوبت خاک متوسط و اشباع بر متغیر پاشمان خاک معنی‌دار نبود. در حالی‌که در این پژوهش اثر متقابل رطوبت پیشین خاک و مدت بارندگی بر فرسایش پاشمانی در واحد زمان معنی‌دار نبود نتایج پژوهش حاضر در این بخش با نتایج آرسوالد و همکاران [۳] مبنی بر اثر معنی‌دار و معکوس رطوبت پیشین خاک بر پاشمان مغایرت دارد که البته دلیل آن اختلاف روش مورد بررسی برای محاسبه پاشمان بوده است. به‌عبارت دیگر در پژوهش حاضر از فنجان پاشمان استفاده شد که در آن به‌دلیل محصور بودن اطراف فنجان، ایجاد و یا عبور رواناب روی سطح خاک غیرممکن بوده و به همین دلیل اثر لایه رواناب در کاهش پاشمان دیده نشده است. نتایج هم‌چنین نشان می‌دهد که همبستگی معنی‌دار و معکوسی بین مدت بارندگی و پاشمان کل و خالص وجود دارد چرا که با افزایش مدت بارندگی در هر دو رطوبت ۲۰ و ۴۰ درصد مقدار پاشمان



شکل ۱ ابعاد و طرح نهایی فنجان پاشمان استفاده شده در پژوهش حاضر [۱۹]

Figure 1. The dimension and final design of used cup in present study [19]

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ مقادیر پاشمان کل و خالص در واحد زمان در تیمارهای مختلف مدت بارندگی و رطوبت پیشین خاک

Table 1. Rates of total and net splash in various treatments of rainfall durations and initial soil moistures

تکرار Replication	رطوبت پیشین خاک Initial Soil Moisture	شدت بارندگی (میلی‌متر بر ساعت) Rainfall Intensity ($mm\ h^{-1}$)	مدت بارندگی (دقیقه) Rainfall Duration (mm) 5	10	15	20	25	30
			پاشمان کل (گرم بر مترمربع بر دقیقه) Total Splash ($g\ m^{-2}\ min^{-1}$)					
1			9.74	15.14	6.14	5.07	10.31	3.07
2	20	30	22.43	11.69	9.57	6.29	4.02	2.44
3			19.18	18.45	10.22	3.78	4.66	2.32
	میانگین Average		17.12	15.09	8.64	5.05	6.33	2.61
	انحراف معیار Standard Deviation		6.59	3.38	2.19	1.26	3.46	0.40
1			36.81	29.28	14.91	15.31	17.23	8.30
2	40	30	22.15	21.36	9.88	9.55	11.76	5.80
3			40.24	19.79	13.16	11.94	5.71	8.11
	میانگین Average		33.07	33.48	12.65	12.27	11.56	7.40
	انحراف معیار Standard Deviation		9.60	5.08	2.55	2.89	5.76	1.39
			پاشمان خالص (گرم بر مترمربع بر دقیقه) Net Splash (g m-2 min-1)					
1			6.54	10.98	4.86	3.59	7.29	2.03
2	20	30	17.48	8.97	6.26	4.55	2.52	1.62
3			15.71	12.03	6.81	2.96	2.97	1.47
	میانگین Average		13.24	10.66	5.98	3.70	4.26	1.71
	انحراف معیار Standard Deviation		5.87	1.56	1.01	0.80	2.63	0.29
1			21.38	19.31	9.48	8.94	11.09	5.52
2	40	30	14.43	14.31	6.32	5.96	6.98	3.80
3			28.98	12.74	7.67	7.67	3.66	4.71
	میانگین Average		21.60	15.45	7.82	7.52	7.24	4.68
	انحراف معیار Standard Deviation		7.28	3.43	1.59	1.50	3.72	0.860

کل و خالص در واحد زمان کاهش یافت (جدول ۱). این موضوع نشان دهنده اهمیت دقایق ابتدایی بارندگی و اثرات احتمالی تغییرات پاشمان بر تغییر حجم مواد فرسایش یافته آماده حمل در مراحل بعدی فرسایش تاکید دارد.

با توجه به نتایج شکل‌های ۲ و ۳ می‌توان بیان نمود که با افزایش درصد رطوبت پیشین خاک مقدار پاشمان کل و پاشمان خالص افزایش یافت. اما تاثیر این اختلاف در مدت‌های ۵ و ۱۰ دقیقه بیش‌تر بود. اما نتایج نشان داد با افزایش مدت زمان مقادیر پاشمان کل و پاشمان خالص نسبت به مدت‌های اولیه روند کاهش داشت. به‌عبارت دیگر در اولین دقایق بارندگی میزان پاشمان خاک شدید بوده و در ادامه با قرار گرفتن لایه‌ای از آب روی سطح خاک نیروی قطرات باران کم شده و نیز با تخریب سطحی‌ترین لایه خاک‌دانه‌ها، منابع در دسترس برای پاشمان خاک کاهش یافته و لذا با تداوم بارندگی متوسط پاشمان در واحد زمان نیز کاهش می‌یابد (شکل‌های ۲ و ۳). این نتیجه با یافته‌های آروگان [۲]، الیسون و همکاران [۱۱]، واعظی و همکاران [۴۱]، ارشم و همکاران [۳۲] و نیز کاتبی‌کرد و همکاران [۲۰] مبنی بر دقایق ابتدایی بارندگی در فرسایش پاشمانی نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند مطابقت دارد. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج دیگر پژوهش‌گران از جمله یوسفی وهمکاران [۴۷] وجینگی وهمکاران [۱۹] نیز تطابق دارد. هم‌چنین هاوکه و همکاران [۱۸]

www.SID.ir

Archive of SID

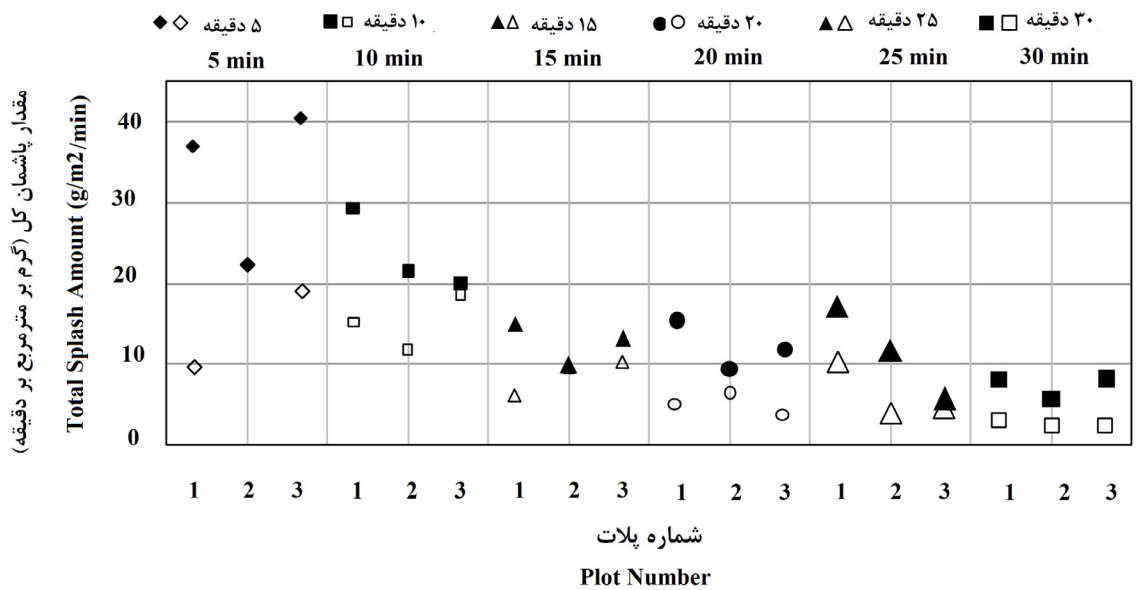
حداکثر اثرگذاری مستقیم رطوبت پیشین بر پاسخ هیدرولوژیکی سطح خاک در دقایق اول پس از بارندگی رخ می‌دهد. نتایج این پژوهش‌گران اگرچه نشان‌دهنده افزایش مقدار تجمعی پاشمان با افزایش مدت بارندگی است اما داده‌ها و تحلیل‌های ارائه شده در پژوهش‌های مذکور نیز نشان‌دهنده کاهش میزان متوسط پاشمان در واحد زمان با افزایش مدت بارندگی بوده ولذا منطبق با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد.

بررسی اثر رطوبت پیشین خاک به تنهایی نشان داد که با افزایش رطوبت خاک این عامل تاثیر معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد بر پاشمان کل و خالص در واحد زمان داشت (جدول ۲) و بنابراین با نتایج خالدی درویشان که اثر معنی‌دار رطوبت پیشین خاک بر متغیرهای پاشمان خالص و کل را بیان نمودند هم‌خوانی داشت.

جدول ۲ اثر مدت بارندگی و رطوبت پیشین خاک بر پاشمان کل و خالص در واحد زمان

Table 2. Effect of rainfall duration and initial soil moisture on total and net splash in time unit

عوامل مستقل Independent factors	عوامل وابسته Dependent factors	مجموع مربعات sum of squares	فراوانی Frequency	سطح معنی‌داری Significance level
رطوبت خاک Soil moisture	پاشمان کل Total Splash	519.61	25.80	0.000
	پاشمان خالص Net Splash	153.39	14.20	0.001
مدت بارندگی Rainfall duration	پاشمان کل Total Splash	348.48	17.31	0.000
	پاشمان خالص Net Splash	176.18	16.30	0.000
رطوبت خاک × مدت بارندگی Soil moisture × Rainfall duration	پاشمان کل Total Splash	29.06	1.44	0.245
	پاشمان خالص Net Splash	7.87	0.73	0.609

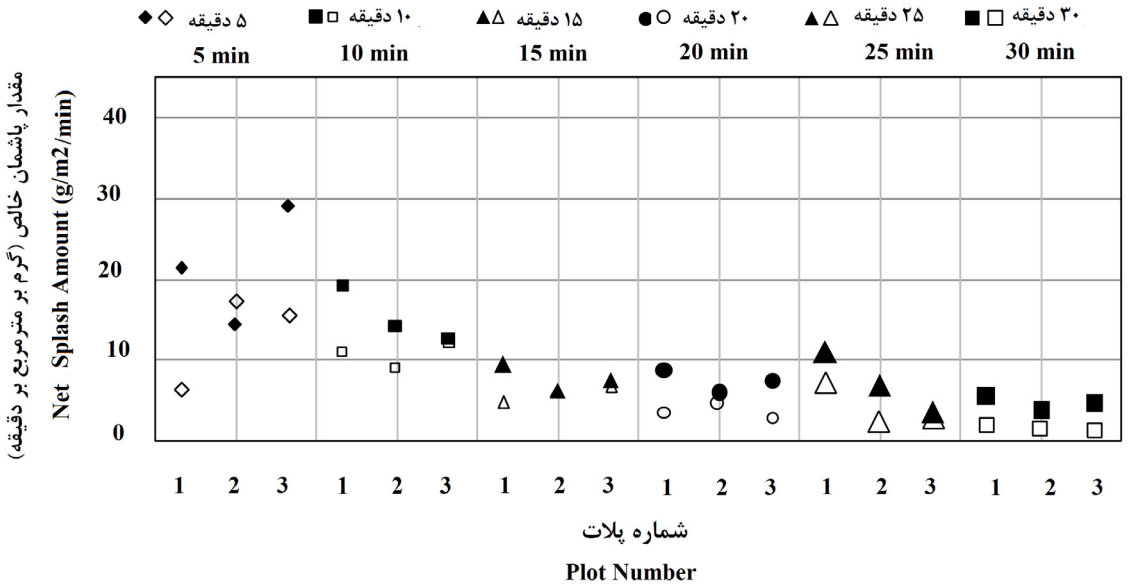


شکل ۲ – مقدار پاشمان کل در واحد زمان برای مدت‌های مختلف بارندگی با رطوبت پیشین خاک ۲۰ درصد (علائم سفید) و رطوبت پیشین خاک ۴۰ درصد (علائم سیاه)

Figure 2. Rate of total splash in time unit for various rainfall durations with initial soil moisture 20 percent (white symbols) and initial soil moisture 40 percent (black symbols)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ – مقدار فرسایش پاشمان خالص در واحد زمان برای مدت‌های مختلف بارندگی با رطوبت پیشین خاک ۲۰ درصد (علائم سفید) و رطوبت پیشین خاک ۴۰ درصد (علائم سیاه)

Figure 3. The rate of net splash in time unit for various rainfall durations with initial soil moisture 20 percent (white symbols) and initial soil moisture 40 percent (black symbols)

در رطوبت ۴۰ درصد درست است که با افزایش مدت بارندگی میزان فرسایش پاشمانی کاهش یافت. اما با بررسی دو رطوبت به‌کار برده شده ۲۰ و ۴۰ درصد مشخص شد که تاثیر رطوبت پیشین ۴۰ درصد بر مقدار پاشمان کل و خالص در واحد زمان بیش‌تر از رطوبت پیشین ۲۰ درصد بود (شکل‌های ۲ و ۳). نتایج به‌دست آمده در مورد اثر افزایشی رطوبت پیشین خاک با نتایج بیس‌سونتایس و همکاران [۴]، کاستیلو و همکاران [۵] و دفرشا و ملسه [۸] هم‌خوانی داشت. هم‌چنین یکی از دلایل مشهود بودن اثر رطوبت بارندگی می‌تواند به‌دلیل شدت بارندگی استفاده شد باشد، در این زمینه نیز کاستیلو و همکاران [۵] نشان دادند که پس از بارندگی‌های شدید پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز مستقل از محتوای رطوبت پیشین خاک بوده در حالی‌که در بارندگی‌های با شدت متوسط و کم اثر رطوبت پیشین خاک بر رواناب کاملاً مشهود خواهد بود. در حالی‌که با نتایج رویز سیوگا و همکاران [۳۶] هم‌خوانی نداشت چرا که ایشان نشان دادند که با افزایش رطوبت پیشین خاک، شدت رواناب و غلظت رسوب کاهش یافتند. رفاهی [۳۵] کاهش مقاومت برشی خاک در رطوبت‌های بالا و نزدیک به اشباع را دلیل افزایش پاشمان خاک می‌داند و در پژوهش حاضر نیز متغیرهای پاشمان با افزایش رطوبت پیشین خاک به‌طور معنی‌دار افزایش یافت.

تفکیک سطوح مدت بارندگی به زیرگروه‌های همگن برای متغیرهای پاشمان کل و پاشمان خالص در واحد زمان با استفاده از آزمون دانکن در جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج ارائه شده در جدول ۳ نشان داد که تفکیک و همگن‌بندی سطوح تیمار مدت بارندگی بر پاشمان کل و پاشمان خالص در واحد زمان با استفاده از آزمون دانکن، مدت‌های بارندگی ۳۰، ۲۰، ۲۵ و ۱۵ دقیقه در زیرگروه یک قرار داشتند این

جدول ۳ تفکیک و همگن‌بندی سطوح مدت‌های بارندگی با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد

Table 3. Separation and homogeneity of rainfall duration levels with Duncan's test in significant level of 5%

متغیر مورد بررسی studied variable	زیرگروه ۱ Subgroup 1	زیرگروه ۲ Subgroup 2	زیرگروه ۳ Subgroup 3
	زیرگروه‌بندی در سطوح تیمار مدت بارندگی Subgrouping in rainfall levels		
پاشمان کل (گرم بر مترمربع بر دقیقه) Total Splash (g m^{-2} min^{-1})	30,20,25,15 (5.000),(8.66),(8.95),(10.65)	10 (19.29)	5 (25.09)
پاشمان خالص (گرم بر مترمربع بر دقیقه) Net Splash (g m^{-2} min^{-1})	30,20,25,15 (3.19),(5.61),(5.75),(6.90)	10 (13.06)	5 (17.42)

www.SID.ir

Archive of SID

موضوع نشان دهنده این است که متغیرهای پاشمان کل پاشمان خالص در واحد زمان برای سطوح ۳۰، ۲۰، ۲۵ و ۱۵ دقیقه تغییر معنی‌داری نداشتند. هم‌چنین جدول ۳ نشان داد که مدت‌های بارندگی ۳۰، ۲۰، ۲۵ و ۱۵ دقیقه کمترین مقدار پاشمان خالص و کل در واحد زمان را داشتند و این مطلب نشان‌دهنده این است که با افزایش مدت زمان بارندگی میزان فرسایش پاشمانی کل و خالص در واحد زمان کاهش می‌یابد [۲۰] و نشان‌دهنده روند کاهشی میزان پاشمان با افزایش مدت بارندگی می‌باشد. در حالی‌که دو مدت دیگر بارندگی یعنی ۱۰ و ۵ دقیقه به‌ترتیب در زیرگروه‌های ۲ و ۳ قرار داشتند و مدت زمان ۵ دقیقه بیش‌ترین تاثیر بر پاشمان کل و پاشمان خالص را در واحد زمان داشت که با نتایج کاتبی کرد و همکاران [۲۰] مبنی بر تاثیر بیش‌تر مدت‌زمان بارندگی در زمان‌های کمتر بر پاشمان کل و پاشمان خالص در واحد زمان هم‌خوانی دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

انجام پژوهش‌هایی در زمینه فرسایش پاشمانی به‌عنوان مرحله آغازین فرسایش آبی از اهمیت بسیاری برخوردار است. لذا پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر مدت‌های مختلف بارندگی و رطوبت خاک پاشمان کل و خالص انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد که با افزایش مدت بارندگی، متغیرهای پاشمان در واحد زمان با تغییر رطوبت و مدت دارای اختلاف‌هایی. بایستی توجه داشت که با افزایش مدت بارندگی به‌علت اینکه لایه‌ای از آب در سطح خاک قرار می‌گیرد پاشمان کل و خالص کاهش می‌یابد.

منابع:

1. Arnaez, J., Lasanta, T., Ruiz-Flano, P. and Ortigosa L. 2007. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. Soil and Tillage Research. 93: 324-334

2. Arowoogun, E. 2011. The influence of rainfall duration on splash produced from a loamy sand soil. Department of agricultural engineering in partial fulfillment Abeokuta Ogun State. Thesis. 49 p.

3. Auerswald, K. 1993. Influence of Initial Moisture and Time since Tillage on Surface Structure Breakdown and Erosion of a Loessial Soil. Catena Supplement. 24: 93-101.

4. Bissonnais, L. Renaux, Y., Delouche, H. 1995. Interactions between soil properties and moisture content in crust formation, runoff and interrill erosion from tilled loess soils. Catena. 25: 33-46.

5. Castillo, V.M., Gomez-Plaza, A. and Martinez-Mena, M. 2003. The role of antecedent soil water content in the runoff response of semiarid catchments: A simulation approach. Journal of Hydrology. 284: 114-130.

6. Cesar, J., Santos, N., Andrade, E.M., Medeiros, P.H. A., João, M. Guerreiro, S. and Palácio, H.A.Q. 2017. Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. Revista Ciência Agronômica. 48(2): 251-261.

7. Cheng, Q., Cai, Q. and Ma, W. 2008. Comparative study on rain splash erosion of representative soils in China. Chinese Geographical Science. 18(2): 155-161.

8. Defersha M.B. and Mellese A.M. 2012. Effect of rainfall intensity, slope and antecedent moisture content on sediment concentration and sediment enrichment ratio. Catena. 90: 47-52.

9. Ekwue, E.I. 1991. The effects of soil organic matter content, rainfall duration and aggregate size on soil detachment. Soil Technology. 4: 197-207.

10. Ellison, W.D. 1944. Studies of raindrop size erosion. Agricultural Engineering. 25: 131-136.

11. Ellison, W.D. 1947. Soil erosion studies, Part II. Agricultural Engineering. 28: 197-201.

12. Farres P.J. 1987. The dynamics of rain splash erosion and the role of soil aggregate stability. Catena.14: 119-130.

13. Fernández-Raga M., Fraile R., Keizer J.J., Tiejiero M.E.V., Castro A., Palencia C., Calvo A.I., Koenders J. and Marques R. 2010. The kinetic energy of rain measured with an optical disdrometer: An application to splash erosion. Atmospheric Research. 2010: 96: 225–240.

14.. Fox D.M. and Bryan, R.B. 1999. The Relationship of Soil Loss by Interrill Erosion to Slope Gradient. Catena. 38: 211-222.

15. Gholami, L., Sadeghi, S.H.R., Khaledi Darvishan, A.V. and Telvari, A.R., 2009. Storm-Wise sediment yield prediction using rainfall and runoff variables. Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology Journal). 22(2): 263-271. (In Persian)

16. Gholami, L., Sadeghi, S.H.R. and Homae, M., 2016. Different effects of sheep manure conditioner on runoff and soil loss components in eroded soil. Catena. 139: 99–104.

17. Kianai Harchegani, M., Sadeghi, S.H.R. and Asadi, H. 2015. Comparative analysis of the effect of rainfall intensity and slope of laboratory palettes on the effects of rainfall erosion. Iranian Soil and Soil Research. 46(4):631-640. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

erosion. Erosion and Sediment Transport Measurement (Proceedings of the Florence Symposium), June 1981, IAHS Publication No. 133: 373-382.

30. Mutua, B. M. and Klik, A. 2006. Estimating Spatial Sediment Delivery Ratio on a Large Rural Catchment. Journal of Spatial Hydrology. 6(1): 64-80.

31. Nanko, K., Mizugaki, S. and Onda, Y., 2008. Estimation of soil splash detachment rates on the forest floor of an unmanaged Japanese Cypress plantation based on field measurements of throughfall drop sizes and velocities. Catena. 72: 348-361.

32. Orsham, A., Akhund ali, A.M. and Behnia, A. 2010. Effect of soil antecedent moisture contents on runoff and sedimentation values with simulated rainfall method. Iranian journal of Range and Desert Reseach. 16 (4), 445-455. (In Persian)

33. Poesen J. and Torri D. 1988. The effect of cup size on splash detachment and transport measurements. Part I: field measurements. Catena Supplement. 12: 113-126.

34. Quijuan, Ch., Qiangguo, C. and Wenjun, M. 2008. Comparative study on rain splash erosion of representative soils in China. Chinese Geographical Science.18(2): 155–161.

35. Refahi, H. 2003. Water erosion and conservation (4th Ed.). The Tehran University Press. 671 p. (In Persian)

36. RuizSinoga J.D. Romero Diaz A. FerreBueno E. and Martinez Murillo J.F. 2010. The role of soil surface conditions in regulating runoff and erosion processes on a metamorphic hillslope (Southern Spain), soil surface conditions, runoff and erosion in Southern Spain. Catena. 80: 131-139.

37. Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z. and Younesi, H. 2015. Sustainable watershed management through applying appropriate level of soil amendments. Sustainable Watershed Management-Gonenc, Wolflin and Russo. 2015. Taylor and Francis Group, London, ISBN978-1-138– 00,018–6.

38. Sadeghi, S.H.R., Kianai Harchegani, M. and Asadi, H. 2017. Variability of particle size distributions of upward/ downward splashed materials in different rainfall intensities and slopes. Geoderma. 290: 100-106.

39. Soltani, S., Ghezel seflo, N. and Broghani, M. 2014. Change rates splash in intensities and different duration rainfall Marl soils. Research of Environmental Erosion. 3(15): 72-84. (In Persian)

40. UNESCO. 2009. Integrated water resources

18. 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: 237-246.

19. Jingi, B.B., Danladi, D.D., Abdukadir, S.A. and Abubakar, Y. 2011. The effect of rainfall on aggregate stability and splash erosion on some agricultural soils of Borno State, Nigeria. AU J.T., 15(1): 45-48.

20. Katebi kord, A., Khaledi Darvishan, A. and Alavi, S.J. 2014. The average time variation rate of splash erosion. International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges with a Focus on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism. (In Persian)

21. Khaledian, H. and Shahooei, S.S. 2010. Splash erosion measurement and its relationship with rainfall intensity in Kurdistan. Journal of Water Research. 4(6) 19-24. (In Persian)

22. Khaledi Darvishan, A., Sadeghi, S.H.R., Homaee, M. and Arabkhedri, M. 2014. Measuring sheet erosion using synthetic color-contrast aggregates. Hydrological Processes. 28(15): 4463-4471.

23. Khaledi Darvishan, A., Banasik, K. Sadeghi, S.H.R., Gholami, L. and Hejduk, L. 2015. Effects of rain intensity and initial soil moisture on hydrological responses in laboratory conditions. International Agrophysics. 29: 165-1729.

24. Khaledi Darvishan, A.V., Homayounfar, V. and Sadeghi, S.H.R. 2016. Design, construction and calibration of portable rain simulator for runoff studies and soil erosion. (In Persian)

25. Kukal, S.S. and Sarkar, M. 2010. Splash erosion and infiltration in relation to mulching and polyvinylalcohol application in semi-arid tropics. Archive of Agronomy and Soil Science. 56(6): 697-705.

26. Leguédois, S., Planchon, O., Legout, C. and Le Bissonnais, Y. 2005. Splash projection distance for aggregated soils. Soil Science Society of America Journal: 69(1): 30-37.

27. Mizugaki, Sh., Nanko, K. and Onda, Y., 2010. The effect of slope angle on splash detachment in an unmanaged Japanese cypress plantation forest. Hydrological Processes. 24: 576-587.

28. Morgan, R.P.C., 1978. Field studies of rainsplash erosion. Earth Surface Processes and Landforms. 3: 295-299.

29. Morgan, R.P.C., 1981. Field measurement of splash

www.SID.ir

Archive of SID

management guidelines at river basin level, Part 1, 24 p.

41. Vaezi, A., Rostami, A. and Mohammadi, M. 2012. Time changes of degradation and splash erosion in Marl soils under rainfall simulator. Journal of soil researches. 25(4): 361-371. (In Persian).

42. Van Dijk, A.I.J.M., Bruijnzeel, L.A. and Eisma, E.H. 2003. A methodology to study rain splash and wash processes under natural rainfall. Hydrological Processes. 17(1): 153-167.

43. Walling, D.E., Collins, A.L., Sichingabula, H.M. and Leeks, G.J.L. 2001. Integrated assessment of catchment suspended sediment budgets: A Zambian example. Land Degradation and Development. 12: 387-415.

44. Wang, L. Ma, B. and Wu, F. 2017. Effects of wheat stubble on runoff, infiltration, and erosion of farmland on the Loess Plateau, China, subjected to simulated rainfall. Solid Earth. (8): 281-290.

45. Watung, R.L., Sutherland, R.A. and El-Swaify, S.A., 1996. Influence of rainfall energy flux density and antecedent soil moisture content on splash transport and aggregate enrichment ratios for a Hawaiian Oxisol. Soil Technology. 9(4): 25l-272.

46. Wuddivira, M.N., Stone, R.J. and Ekwue, E.I. 2009. Clay, organic matter, and wetting effects on splash detachment and aggregate breakdown under intense rainfall. Soil Science Society of America Journal. 73(1): 226-232.

47. Yousefi, A., Farokhiyan Firozi, A. and Khalil Moghadam, B. 2013. Effect of intensity and duration of rainfall on splash erosion using multivariate rainfall simulator. Second National Conference on Agriculture for Sustainable Development and Healthy Environment. (In Persian).

48. Zachar, D., 1982. Soil erosion. Elsevier. 548 p.

www.SID.ir