

اثر خصوصیات خاک بر تولید روان آب و رسوب در مقیاس مزرعه (مطالعه موردی بخشی از اراضی کشاورزی اطراف شهرستان ساری)

عطاله کاویان^{1*}، راضیه عسگریان²، زینب جعفریان جلودار¹ و محمدعلی بهمنیار³

تاریخ دریافت: 91/05/08 تاریخ پذیرش: 91/12/08

¹ - استادیار دانشکده منابع طبیعی و پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

² - دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

³ - استاد دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a.kavian@sanru.ac.ir

چکیده

ویژگی‌های خاک، متغیرهای مهمی در فرایندهای روان آب و فرسایش خاک می‌باشند. لذا این پژوهش برای بررسی شماری از متغیرهای موثر خاک در تولید روان آب و هدررفت خاک، در اراضی کشاورزی واقع در محدوده شهرستان ساری انجام شد. جهت انجام نمونه‌برداری از منطقه مورد نظر، شبکه بندی به صورت سیستماتیک جمعا در 60 نقطه، با فواصل 20 متر انجام گرفت. همچنین با بهره‌گیری از دستگاه شبیه‌ساز باران اقدام به ایجاد باران شد. شدت و مدت بارندگی برای کلیه آزمایش‌های باران ثابت و برابر 2 میلی‌متر بر دقیقه و با مدت زمان 15 دقیقه در نظر گرفته شد. همزمان نمونه‌های خاک نیز از نقطه مجاور شبیه‌سازی از عمق 0-30 سانتی‌متری جمع آوری شد. نتایج نشان داد که متغیرهای رطوبت پیشین خاک، ماده آلی، درصد ذرات شن و وزن مخصوص ظاهری به ترتیب با میزان همبستگی 0/56 ، 0/40 ، 0/29 و 0/28 بیشترین تاثیر را در تولید روان آب دارند. همچنین در فرآیند هدررفت خاک نیز متغیرهای درصد ماده آلی و رس با ضریب همبستگی 0/303 و 0/30 بیشترین تاثیر را در اراضی زراعی داشته‌اند. نتایج ارائه مدل رگرسیون چند متغیره خطی نشان داد که با بهره‌گیری از متغیرهای درصد ماده آلی، رطوبت پیشین خاک و رس می‌توان میزان تولید روان آب و هدررفت خاک را به ترتیب با ضریب تبیین 0/493 و 0/71 برآورد نمود.

واژه‌های کلیدی: باران‌ساز، روان آب، زمین کشاورزی، فرسایش خاک

Effect of Soil Properties on Runoff and Sediment Yield in Farm Scale (Case study: a part of Sari town's neighboring Croplands)

A Kavian^{1*}, R Asgariyan², Z Jafarian Jeloudar¹ and MA Bahmanyar³

Received: 29 July 2012 Accepted: 26 February 2012

¹ Assist. Prof., College of Natural Resources, Genetic & Agric. Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agric. Sci. and Natural Resources Univ., Po.Box 578, Sari, Iran

² Former M.Sc. Student of Watershed Management, Sari Agric. Sci. and Natural Resources Univ. Iran

³ Prof., College of Crop Sci., Sari Agric. Sci. and Natural Resources Univ. Iran

*Corresponding Author Email: a.kavian@sanru.ac.ir

Abstract

Soil characteristics are important variables in runoff and soil erosion processes. Therefore, this study was conducted to investigate some variables affecting runoff and soil erosion, in agricultural lands located around Sari town. Systematic sampling was done at 60 points with 20 m intervals. Also, rain was generated using a rainfall simulator. For all simulated rains the intensity and duration were set at 2 millimeters per minute and 15 minutes, respectively. Soil samples were collected from adjacent points to the rainfall simulator from depth of 0-30 cm. Results showed that soil moisture, organic matter, sand percentage and bulk density had the most influences on runoff generation with 0.56, 0.40, 0.29 and 0.28 values of correlation coefficients, respectively. Organic matter and clay content had the greatest effect on soil loss from croplands with 0.303 and 0.30 values of correlation coefficient, respectively. The results of multiple linear regression models showed that runoff and soil erosion could be predicted based on percentages of soil's organic matter, moisture and clay content variables with coefficients of determination of 0.493 and 0.71, respectively.

Keywords: Agricultural land, Rainfall simulator, Runoff, Soil erosion

خواهد شد که این عمل منجر به شستشوی خاک سطحی، مواد آلی و در نهایت کاهش بدست آمده حاصلخیزی خاک خواهد شد (کلارستاقی و همکاران 1387، هن و همکاران 2008). برپایه برآوردهای انجام شده بر اثر فرسایش خاک سالیانه چندین میلیون هکتار از اراضی کشاورزی جهان نابود می‌شود. فرسایش موجب فقیر شدن خاک و متروک شدن مزارع می‌شود.

مقدمه

هدررفت خاک و پیامدهای ناشی از آن، امروزه یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی به شمار می‌رود (ایکو و همکاران 2009). هدررفت خاک یک چالش جهانی بوده که به طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند (کیونگ دنگ و همکاران 2008). فرسایش خاک در آغاز منجر به تشکیل شیار و در ادامه ایجاد خندق

همکاران 2007)، ایجاد شرایط رگبار و بارندگی در سطح کوچک قطعه با محدودیت مواجه هستند (شریدان و همکاران 2008)، اما شبیه‌سازی باران می‌تواند یک وسیله مفید برای مقایسه و کمی کردن فرایندهای روان-آب و هدررفت خاک بشمار آید. به طور کل از این روش می‌توان برای درجه‌بندی و اعتبارسنجی مدل‌های فرسایشی فیزیکی بر پایه باران (سیگر 2007، لوچ 2000) و از نتایج شبیه‌سازی باران، به منظور هدف‌های مقایسه‌ای بهره‌گیری کرد (فوستر و همکاران 2000). با توجه به مطالب ذکر شده بهره‌گیری از باران‌سازها به دلیل برتری‌های یاد شده برای پژوهش در جنبه‌های مختلف فرسایش و تولید رسوب در سطح جهان رایج است (سیگر 2007). روان آب سطحی بدست آمده از بارندگی و فرسایش خاک، تابع عوامل مختلفی بوده که هر یک از این عوامل، عامل دیگری را تقویت و یا تضعیف می‌کند (بیگوریا و همکاران 2006). یکی از متغیرهای مهم و قابل بررسی در رخداد روان آب و هدررفت خاک، ویژگی‌های خاک می‌باشد.

پژوهش‌های مختلفی در ارتباط با ویژگی‌های موثر خاک بر روان آب و هدررفت خاک انجام شده است. کاسیرمیرو و همکاران (2004) به منظور بررسی تاثیر پوشش گیاهی و متغیرهای خاک در میزان فرسایش از باران‌ساز استفاده کردند. نتایج نشان داد که بیشتر متغیرهای اندازه‌گیری شده در خاک، همبستگی ضعیفی را با میزان فرسایش نشان داد، و در مقابل نوع پوشش گیاهی و درصد ماده آلی خاک را به عنوان عامل‌های اصلی کنترل‌کننده فرسایش بیان کردند. گیرمای و همکاران (2009) با بررسی روان آب و هدررفت خاک تحت کاربری‌های کشاورزی، مرتع و جنگل دست‌کاشت در 31 قطعه 20 متر مربعی در شمال اتیوپی، به این نتیجه رسیدند که ضریب روان آب، حجم روان آب و تولید رسوب در اراضی جنگلی 16 برابر کمتر از اراضی کشاورزی بوده، و بیان کردند که میزان روان آب در صورت پوشش بیش از 72 درصد قابل

از طرفی انسان برای ادامه ی حیات خود به مواد غذایی نیاز دارد که در اثر وجود آب و خاک به دست می‌آید. عاملی که وجود آب و خاک را به خطر می‌اندازد، فرسایش است که همواره برای از بین بردن آنها عمل می‌کند. در نتیجه یکی از عواملی که در کشاورزی بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد و عامل اصلی نابودی بسیاری از زمین‌های حاصل خیز کشاورزی و تبدیل آن به مکان‌های غیرقابل کشت می‌باشد، پدیده فرسایش خاک است. فرسایش خاک یعنی از دست رفتن مواد غذایی خاک برای زیست گیاه. به همین خاطر جابه‌جا شدن مواد غنی خاک می‌تواند با از میان رفتن فعالیت‌های کشاورزی همراه باشد. در ابتدا فرسایش خاک باعث برداشت لایه‌های غنی خاک و ضعیف شدن آن می‌شود. محصول این عملکرد خشکسالی و استفاده نکردن از زمین برای زراعت است. وقتی زمین‌های زیرکشت به دلیل غنی نبودن خاک کاهش پیدا می‌کند، محصولات کشاورزی نیز کم می‌شوند حتی محصول تولید شده نیز دارای کیفیت خوبی نیست.

جلوگیری از هدررفت خاک هدف مهمی در مدیریت و حفاظت از منابع طبیعی به شمار می‌رود (هادسون 1995). جدا شدن ذرات خاک توسط قطرات باران و انتقال ذرات جدا شده توسط روان آب، دو فرایند پایه‌ای هدررفت خاک می‌باشند (کوانسا 1981). لذا بررسی روان آب به عنوان یکی از فرایندهای اصلی هدررفت خاک، امری ضروری می‌باشد. از آنجا که اندازه‌گیری میزان روان آب و هدررفت خاک تحت شرایط طبیعی بارندگی، زمان‌بر و پرهزینه است (شریدان و همکاران 2008)، بهره‌گیری از شبیه‌سازهای باران می‌تواند در حل این دشواری کارگشا باشد. هر چند تفاوت‌های مهمی بین ویژگی‌های بارندگی طبیعی و شبیه‌سازی شده، مانند توزیع اندازه قطره، سرعت قطره، سرعت حد و .. وجود داشته (مینگو و همکاران 2007)، و از نظر برقراری شرایط طبیعی به طور کامل (چوردن و مارتینز-زاوالا 2008، آرناز و

خاک، ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری و درصد ذرات شن به ترتیب بیشترین تاثیر را در تولید روان آب دارند. همچنین در فرایند فرسایش خاک نیز به ترتیب متغیرهای درصد ماده آلی، رطوبت پیشین خاک و سیلت بیشترین تاثیر را در اراضی جنگلی دارند نتایج تحقیق صادقی و همکاران (1390) با استفاده از شبیه سازی باران در کرت‌های کوچک آزمایشی موید تاثیر تندی شیب بر حجم روان آب بوده است.

با توجه به این که آگاهی از میزان روان آب و همچنین جلوگیری از هدررفت خاک، هدف مهمی در مدیریت و حفاظت از منابع طبیعی و به خصوص در اراضی زراعی به شمار می‌رود، لذا برآورد بهینه از میزان روان آب و فرسایش خاک و شناخت عوامل موثر بر رخداد آن در مناطق تحت کشت، امری ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این مطالعه بررسی اثر خصوصیات خاک بر تولید روان آب و هدررفت خاک در اراضی کشاورزی شهرستان ساری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی عبارت از مزرعه‌ای است به مساحت 2000 متر مربع با شیب تقریباً 10 درصد که در حد فاصل شهرهای ساری و نکا، در طول جغرافیایی $36^{\circ} 33'$ شمالی و $53^{\circ} 12'$ شرقی و عرض جغرافیایی $33^{\circ} 36'$ شمالی در دامنه ارتفاعی 225 تا 250 متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین بارندگی سالانه بیش از 600 میلی-متر و میانگین دمای سالانه حدود $17/5$ درجه سلسیوس می‌باشد. خاک‌های منطقه در ردیف دشت‌های آبرفتی رودخانه‌ای است که دارای خاک خیلی عمیق (عمق بیش از $1/5$ متر) به رنگ قهوه‌ای مایل به خاکستری خیلی تیره، رس غالب ایلیت، ساختمان دانه‌ای یا مکعبی و با بافت میانگین (لوم و لوم رسی) می‌باشد که به عنوان خاک‌های قهوه‌ای جنگلی پهنه‌بندی شده‌اند. مزرعه مذکور دارای تناوب کشت گندم و کلزا، همراه با

چشم‌پوشی است. صفارپور (1383) به منظور بررسی عوامل موثر در تعیین آستانه شروع روان آب، از یک باران ساز قابل حمل استفاده کرد. نتایج آزمایشات شبیه‌سازی باران با شدت‌ها و مدت‌های مختلف نشان داد که متغیرهای موثر در تعیین آستانه شروع روان آب با ثابت بودن رطوبت اولیه خاک به ترتیب اهمیت عبارتند از ارتفاع بارش، شدت بارش، درصد پوشش، درصد شن، درصد رس و درصد شیب. فیض نیا و همکاران (1384) در تحقیقی به بررسی عوامل موثر در تولید رسوب خاک‌های لسی استان گلستان پرداختند. به همین منظور از شبیه‌ساز باران جهت اندازه‌گیری روان آب و رسوب استفاده گردید. آنان با بررسی متغیرهای مختلف به این نتیجه رسیدند که دو عامل شاخص خشکی دومارتن و ماده آلی خاک بیشترین همبستگی را با تولید رسوب در خاک‌های رسی دارا هستند. مرادی و همکاران (1385) به بررسی حساسیت به فرسایش و رسوب‌زایی نهشته‌های کوتاه‌تر در منطقه سجزی واقع در کوهپایه اصفهان، طی شبیه‌سازی باران پرداختند. بنا به نتایج مدل‌های رگرسیونی در میزان فرسایش نهشته‌ها، متغیرهای سیلت، ماسه، ماسه ریز، رطوبت نسبی و آهک، و در فرسایش‌پذیری آنها نیز درصد سیلت به همراه ماسه خیلی ریز، آهک، سیلت، رس، ماسه خیلی ریز و هدایت الکتریکی نقش موثر داشته‌اند. وهابی و نیک کامی (2008) به بررسی اثر بافت خاک، رطوبت اولیه خاک، شیب و پوشش گیاهی در میزان رسوب تولیدی در حوضه آبخیز طالقان پرداختند. لذا از شبیه‌ساز باران بهره گرفتند. نتایج بیانگر این امر بود که رسوب تولیدی همبستگی منفی را پوشش گیاهی داشته است. همچنین درصد رس، سیلت و رطوبت اولیه خاک دارای همبستگی مثبت و درصد ذرات شن نیز همبستگی منفی با میزان رسوب تولیدی نشان داده است. کاویان و همکاران (1389) نقش برخی از خصوصیات خاک را در بر روان آب و هدررفت خاک در اراضی جنگلی بررسی کردند. نتایج نشان داد که متغیرهای رطوبت پیشین

به ترتیب برابر 2 میلی متر بر دقیقه و با مدت زمان 15 دقیقه می باشد. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی، شدت مورد استفاده به رغم اینکه بیشترین فراوانی را ندارد و به طور متوسط هر 100 سال یک بار اتفاق می افتد، بدون تردید از جمله بارش های فرساینده و ایجادکننده روان آب و رسوب می باشد. از سوی دیگر، در آزمایش با باران ساز معمولاً شدت های زیاد و حتی غیر معمول به کار می رود تا بتوان با ایجاد هدررفت خاک و تولید روان آب در زمان کوتاه تر شرایط را برای مقایسه تکرارها و تیمارهای مختلف فراهم نمود (فیض نیا و همکاران، 1384).

روش نمونه برداری و تجزیه آزمایشگاهی

جهت نمونه برداری از منطقه مورد نظر، شبکه بندی به صورت سیستماتیک جمعا در 60 نقطه انجام گرفت. با توجه به سطح کوچک مزرعه و با هدف بالا بردن دقت مطالعات تغییرپذیری مکانی، معمولاً نمونه برداری با تراکم زیاد مد نظر قرار می گیرد و بدین منظور فواصل نقاط از همدیگر 20 متر انتخاب شد. از خاک قبل از کاشت به وسیله مته (اوگر) از عمق صفر تا 30 سانتی متری با مختصات معلوم صورت گرفت. به منظور تعیین جرم مخصوص ظاهری نیز در همان نقاط نمونه برداری از خاک به وسیله ی سیلندر انجام شد.

پس از تهیه دستگاه باران ساز، شبیه سازی باران در همان نقاطی که نمونه های خاک برداشت شده بود انجام شد. برای اینکه تنها بتوان متغیرهای کمی مد نظر خاک را در میزان روان آب و هدررفت خاک دخالت داد، شدت و مدت بارش، شیب، میکروتوپوگرافی و شرایط سطحی هر قطعه در همه آزمایش های شبیه سازی باران ثابت و یکسان در نظر گرفته شد. همچنین به منظور کاهش اثر میکروتوپوگرافی در روان آب و فرسایش، سطح قطعه بصورت دستی هموار شد (زهنتر و میلر 2003) و باقی مانده گیاهان، لاشبرگ و کلوخه و سنگریزه های بزرگتر از 4 سانتی متر پیش از هر شبیه-

کوددهی و تحت مدیریت زارعین محلی می باشد. کود مصرفی شامل کود سیاه (سوپر فسفات تریپل) که موقع کاشت محصول اضافه شده و دیگری کود اوره که یک بار بعد از کاشت و دیگری 3 ماه پس از آن به زمین اضافه می گردد. جنگلهای منطقه از نوع متراکم و حفاظت شده با گونه های غالب ممرز و انجیلی می باشد (کاویان و همکاران 1389).

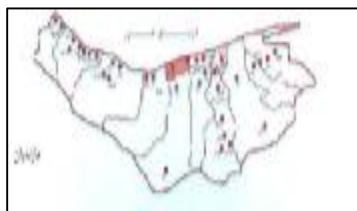
ویژگی های دستگاه شبیه ساز باران

دستگاه باران ساز صحرایی مورد بهره گیری در این تحقیق در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور طراحی و ساخته شده است. باران ساز مورد بررسی در اندازه قطعه 0/09 متر مربع (30 سانتی متر در 30 سانتی متر) بر مبنای نمونه استاندارد موجود در دانشگاه واخنینگین¹ هلند طراحی شده که به آسانی قابل حمل و نقل می باشد. این باران ساز برای تعیین مقدار جدایش ذرات و هدررفت خاک، میزان نفوذ آب و همچنین تحقیقات حفاظت خاک و نیز تعیین فرسایش پذیری نهشته های سطحی به کار می رود (کامپورست 1987) و در سال های اخیر توسط مرادی و همکاران (1385)، صادقی و همکاران (1387) و کاویان و همکاران (1389) مورد استفاده قرار گرفته است. باران ساز مورد بررسی از 3 قسمت آب پاش با تنظیم کننده فشار برای تولید بارش استاندارد، پایه برای آب پاش و قاب فلزی که نمونه خاک مورد آزمایش در درون آن قرار می گیرد، تشکیل شده است.

به منظور دستیابی به مشخصات بارندگی جهت استفاده در شبیه سازی باران از داده های ایستگاه هواشناسی دشت ناز ساری استفاده گردید. با استفاده از داده های حداکثر بارش 24 ساعته این ایستگاه، حداکثر شدت 15 دقیقه ای با دوره بازگشت 100 ساله از روش وزیری (1363) استخراج گردید. شدت و مدت بارندگی برای کلیه آزمایش های باران مصنوعی ثابت و

¹ Wageninngen

نمونه‌های خاک پس از برداشت خشک و پس از عبور دادن از الک 2 میلی‌متری به آزمایشگاه منتقل شد. با انتقال نمونه‌های خاکی به آزمایشگاه، تجزیه‌های مختلف بر روی آنها صورت گرفت. بافت خاک شامل درصد رس، سیلت و ماسه به روش هیدرومتری تعیین شد (واکلی و بلک، 1934). وزن مخصوص ظاهری خاک با روش سیلندر (استوانه) محاسبه شد (بلک و هارتگ 1986). رطوبت پیشین خاک به روش وزنی از اختلاف وزنی خاک پیش و پس از خشک کردن با آون در دمای 105 درجه سلسیوس تعیین شد (فولتز و همکاران 2009). درصد ماده آلی به روش والکی و بلک (1934)، هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک با تهیه عصاره اشباع (ریچاردز، 1954)، به وسیله EC متر و pH متر دیجیتالی و درصد کربنات کلسیم نیز از روش تیتراسیون (لاپرت و سوارز، 1996) محاسبه شد. چگونگی شبیه‌سازی باران در اراضی کشاورزی نیز در شکل 2 نشان داده شده است.



سازی باران جمع‌آوری شد (دیوکر و همکاران 2001). به منظور حذف عامل تاج پوشش گیاهی در تولید روان-آب و فرسایش، یکسان‌سازی شرایط در همه نقاط آزمایشی و با توجه به سطح محدود قطعه، مناطقی بدون پوشش گیاهی گزینش شد (فیض نیا و همکاران 1384). پس از هر رخداد بارش، حجم روان‌آب با اندازه-گیری مستقیم توسط استوانه مدرج تعیین شد (مارکوز و همکاران 2007). بار معلق با عبور دادن 100cc محلول آب گل‌آلود که نمونه متوسطی از هر آزمایش شبیه‌سازی باران بود، از کاغذ صافی واتمن 40 در آون با دمای 105 درجه سلسیوس خشک و توزین شد. از تقسیم میزان رسوب بر حجم روان‌آب، غلظت رسوب بر حسب گرم در لیتر محاسبه شد (صادقی و همکاران 1387). در هر آزمایش شبیه‌سازی باران از مجاورت هر نقطه، نمونه خاک سطحی (0-30 سانتی‌متر) برای تعیین عامل‌های مورد بررسی برداشت شد (جویدن و مارتینز-زاوالا 2008، کاسیرمیرو و همکاران 2004).



شکل 1- موقعیت مزرعه مورد بررسی در شهرستان ساری.



شکل 2- شبکه نمونه برداری و چگونگی همانندسازی باران در مزرعه مورد بررسی.

در نظر گرفته شد (صادقی و همکاران 1384). نهایی- سازی مدل‌ها با ضریب تبیین و خطای برآورد قابل قبول، معیار مجذور میانگین مربعات خطای کوچکتر، ضریب کارایی بزرگتر و در نهایت کمتر بودن شمار اجزای پیشگوکننده در یک معادله به شرح ارائه شده در روابط زیر مد نظر قرار گرفت.

$$RE = \sum_{i=1}^n \left| \frac{Qo_i - Qe_i}{Qo_i} \right| * 100 \quad [1]$$

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Qo_i - Qe_i|}{\sum_{i=1}^n |Qo_i - \bar{Q}|} \quad [2]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Qo_i - Qe_i)^2}{n}} \quad [3]$$

که در آنها RE خطای نسبی، RMSE مجذور میانگین مربعات خطا، CE ضریب کارایی، Qo مقدار مشاهده شده متغیر، \bar{Q} میانگین مقادیر مشاهده شده متغیر، Qe میزان برآوردی متغیر و n تعداد نمونه می- باشد.

تجزیه و تحلیل آماری

پس از جمع‌آوری و ثبت داده‌ها در محیط نرم افزاری Excel برای تجزیه آماری از نرم افزار SPSS16 بهره‌گیری شد. در نخستین مرحله، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف انجام شد (گیسن و همکاران 2009). سپس از روش همبستگی پیرسون، میزان تاثیر و معنی‌داری هر یک از متغیرهای اندازه‌گیری شده در خاک بر میزان روان آب و فرسایش خاک مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با بهره‌گیری از متغیرهای موثر در میزان روان آب و فرسایش، اقدام به گسترش مدل‌های چند متغیره خطی برای برآورد روان آب و فرسایش خاک شد (کاویان و همکاران 1389). از آنجایی که شرط لازم برای تعیین اعتبار یک مدل همخوانی نتایج به دست آمده با نتایج واقعی می‌باشد، برای تعیین بهترین مدل‌ها در بین مدل‌های ارائه شده از شاخص‌های خطای نسبی تخمین¹ (رابطه 1) (صادقی و همکاران 1384)، مجذور میانگین مربعات خطا² (رابطه 2) (هویوس و همکاران 2005) و ضریب کارایی³ (رابطه 3) (کلارستاقی و همکاران 1387) بهره‌گیری شد. برای تعیین میزان خطای نسبی نیز معادله‌های با خطای نسبی کمتر از 40%

¹ Estimated error

² Square of error root mean

³ Coefficient of efficiency

نتایج و بحث

بررسی‌ها نشان می‌دهد که خاک‌های دارای درصد بالای شن، به دلیل داشتن سرعت نفوذ آب بیشتر، روان‌آب کمتری تولید می‌کنند (سانتوس و همکاران 2003). به طوری که خاک‌های ریزدانه به دلیل دارا بودن ویژگی چسبندگی و تخلخل کم، دارای نفوذ-پذیری کم و در نتیجه حجم روان‌آب بیشتری می‌باشند. همبستگی منفی ذرات شن با میزان روان‌آب نیز در نتایج آدکالو و همکاران (2007)، وهابی و مهدیان (2008) و کاویان و همکاران (1389) تایید شده است. نتایج ضریب همبستگی بین روان‌آب تولیدی در اراضی کشاورزی و ارتباط آن با ماده آلی خاک، گویای تاثیر مثبت ماده آلی خاک در کاهش میزان روان‌آب می‌باشد (جدول 3). در این زمینه سیگرسیت و همکاران (1998) بیان کردند که وجود ماده آلی در خاک موجب افزایش تخلخل، ظرفیت نگهداری آب و در نتیجه نفوذپذیری خاک خواهد شد. لذا با افزایش ماده آلی حجم روان‌آب کاهش می‌یابد.

نتایج مربوط به متغیرهای اندازه‌گیری شده در خاک اراضی کشاورزی مورد بررسی در جدول 1 نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود خاک مزرعه دارای میزان رطوبت پیشین بالایی بوده است (38/64%). همچنین نتایج بدست آمده از شبیه-سازی باران در جدول 2 ارائه شده است. به منظور شناخت ارتباط بین متغیرهای کمی اندازه‌گیری شده در خاک با میزان روان‌آب و فرسایش در اراضی کشاورزی مورد بررسی، ماتریس همبستگی شکل گرفت که نتایج بدست آمده از آن در جدول 3 ارائه شده است. با توجه به نتایج همبستگی ارائه شده در جدول 3 مشخص می‌شود که متغیرهای شن، ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری و رطوبت پیشین خاک ارتباط معنی-داری را با میزان روان‌آب در اراضی کشاورزی دارند. این نتایج نشان داد که درصد شن و ماده آلی خاک دارای ضریب همبستگی منفی و درصد رطوبت پیشین و وزن مخصوص ظاهری خاک دارای ضریب همبستگی مثبت با میزان روان‌آب می‌باشند.

جدول 1- مشخصه‌های آماری متغیرهای خاک در منطقه ی مورد بررسی.

متغیر	تعداد نمونه	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
اسیدیته گل اشباع (pH)	60	6/14	7/10	6/59	0/22	3/33
هدایت الکتریکی (ds/m)	60	60/20	288	160/82	49/81	30/97
جرم مخصوص ظاهری (g/cm ³)	60	0/77	1/34	1/07	0/12	11/32
رس (%)	60	24/60	46/60	30/35	4/98	14/08
شن (%)	60	12	38	34/477	3/96	20/33
سیلت (%)	60	26	43/40	33/76	5/34	12/20
ماده آلی (%)	60	1/56	4/18	2/73	0/64	23/44
آهک (%)	60	0/60	7/10	3/31	1/51	37/84
رطوبت قبلی خاک (%)	60	33/52	45/99	38/64	3/30	8/54

جدول 2- نتایج حاصل از شیب سازی باران در منطقه مورد بررسی.

متغیر	تعداد نمونه	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
ارتفاع روان آب (mm)	60	0/83	5/56	2/03	0/99	48/76
ضریب هرز آب	60	0/038	0/25	0/092	0/045	48/85
بارمعلق (g/L)	60	0/70	9/40	3/63	1/75	37/79
بار رسوب (t/ha)	60	0/01	0/30	0/092	0/055	59/78

جدول 3- ضریب همبستگی بین ویژگی‌های خاک و میزان روان آب و رسوب در مزرعه مورد بررسی.

مشخصات خاک	تکرار	ارتفاع روان آب (mm)	بار معلق (g/L)	بار رسوب (t/ha)
اسیدیته (pH)	60	همبستگی	همبستگی	همبستگی
هدایت الکتریکی (dS/m)	60	0/125	+0/138	+0/059
وزن مخصوص (g/cm ³)	60	+0/121	-0/198	-0/113
رس (%)	60	0/287*	+0/031	0/079
شن (%)	60	-0/172	-0/161	-0/300*
سیلت (%)	60	-0/293*	0/000	-0/129
ماده آلی (%)	60	+0/218	0/270	0/130
آهک (%)	60	-0/402**	-0/345*	-0/303*
رطوبت (%)	60	-0/242	-0/029	-0/086
	60	0/565**	0/164	0/233

* و ** به ترتیب معنی داری در سطوح پنج درصد و یک درصد

شده، به طوری که بر پایه این نتایج، ضریب همبستگی 0/565 بین رطوبت پیشین خاک و میزان روان آب برقرار می‌باشد. همبستگی مثبت رطوبت پیشین خاک با میزان روان آب نیز با یافته‌های کاستیلو و همکاران (2003)، وهابی و مهدیان (2008) و کاویان و همکاران (1389) همخوانی و با نتایج مولینا و همکاران (2007) مغایرت دارد. در این تحقیق نیز بین متغیرهای رس، سیلت، هدایت الکتریکی، اسیدیته و درصد آهک با میزان روان آب ارتباط معنی‌داری در سطح احتمال 5 درصد دیده نشد.

در تحلیل رگرسیون، میزان روان آب و فرسایش به عنوان متغیرهای وابسته، و در برابر متغیرهای رس، سیلت، ماسه، ماده آلی، وزن مخصوص، رطوبت پیشین، اسیدیته و آهک خاک، به عنوان متغیرهای مستقل بر پایه بررسی همبستگی خطی در نظر گرفته شد (جدول 3).

همبستگی مثبت ماده آلی خاک در میزان نفوذ نیز دریافته‌های بوپیندرپال-سینگ و همکاران (2004) و آرنائو روزالین و همکاران (2008) نشان داده شده است. ضریب همبستگی خطی ایجاد شده بین وزن مخصوص ظاهری خاک و روان آب نشان داد که با افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک، میزان روان آب افزایش خواهد یافت. می‌توان بیان کرد که افزایش فشردگی سطح خاک موجب افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک، کاهش تخلخل و نفوذپذیری خاک شده و در پایان موجب می‌شود که حجم بیشتری از روان آب جاری شود. کاویان و همکاران (1389)، مسری و ریان (2006) و آدکالو و همکاران (2007) از جمله محققانی بودند که در بررسی‌های خود به ارتباط مثبت وزن مخصوص ظاهری خاک با میزان روان آب اشاره کردند. با توجه به نتایج جدول 3 مشخص شد که رطوبت پیشین خاک عاملی مهم و تاثیرگذار در میزان روان آب شناخته

خطا، ضریب کارایی و نیز ضریب تبیین مدل های ارائه شده در جدول 5 آورده شده است.

همچنین با توجه به نتایج ماتریس همبستگی ارائه شده در جدول 3 این نتیجه بدست آمد که متغیرهای رس و ماده آلی ارتباط معنی داری را با میزان فرسایش در اراضی کشاورزی مورد بررسی دارند. بنا به نتایج بدست آمده از این تحقیق، درصد رس در این اراضی، ارتباط منفی با میزان هدررفت خاک نشان داده است (جدول 3). می توان بیان داشت که ذرات رسی همانند سیمان در خاکدانه ها عمل کرده (رفاهی 1382) و به دلیل داشتن ویژگی چسبندگی، موجب افزایش ثبات خاکدانه ها و در نتیجه کاهش هدررفت خاک می شوند. آتو و همکاران (1998) نیز بر این باورند که جزء رس خاک می تواند به خاکدانه سازی و افزایش پایداری ساختمان خاک و کاهش میزان هدررفت خاک کمک نماید. بنا به نتایج به دست آمده (جدول 3)، درصد مواد آلی همبستگی منفی و معنی داری را با میزان هدررفت خاک نشان داده است. ماده آلی موجود در خاک موجب بهبود ساختمان خاک، پایداری خاکدانه ها و در نتیجه کاهش هدررفت خاک می شود. ارتباط منفی ماده آلی با میزان هدررفت خاک نیز در بررسی های بسیاری از محققان از جمله کاسمیرو و همکاران (2004)، فیض نیا و همکاران (1384) و تجادا و گونزالز (2008) دیده شده است. در این تحقیق بین متغیرهای شن، سیلت، وزن مخصوص، هدایت الکتریکی، اسیدیته، درصد رطوبت پیشین خاک و درصد آهک ارتباط معنی داری با فرسایش در سطح احتمال 5 درصد دیده نشد. با توجه به مدل رگرسیونی ارائه شده مشخص شد که متغیرهای درصد ماده آلی خاک و رس به ترتیب بیشترین تاثیر را در میزان هدررفت خاک داشته و وارد مدل نهایی شدند (جدول 4). اثر کاهشی ماده آلی و درصد رس بر فرسایش در سطح احتمال 0/001 معنی دار شد. بر این پایه می توان میزان فرسایش را بنا به مدل ارائه شده در جدول 5 با دقت بالایی برآورد نمود.

روش های مختلف داخل شدن¹، گام به گام²، حذف شدن³، پیشرو⁴ و پسرو⁵ آزمایش شدند که در نهایت مدل گام به گام به عنوان مدلی که دارای خطای نسبی پایین تر و ضریب تبیین بالاتری نسبت به دیگر مدل ها بوده، گزینش شد. با توجه به نتایج جدول 4، متغیرهای شن، ماده آلی، وزن مخصوص و رطوبت پیشین خاک موثر در روان آب شناخته شده و وارد مدل اولیه شدند. نتایج این بررسی نشان داد بیشترین همبستگی بین درصد رطوبت پیشین خاک و میزان روان آب (0/565) برقرار می باشد. همچنین با توجه به نتایج جدول 4 متغیرهای رس و ماده آلی در میزان فرسایش موثر شناخته شده و وارد مدل اولیه برآورد فرسایش خاک شدند.

با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق، مشخص شد که از بین متغیرهای مورد نظر خاک در این تحقیق، در نهایت 2 عامل رطوبت پیشین و درصد ماده آلی خاک به عنوان متغیرهای تاثیرگذار در مدل نهایی شناخته شدند. بر پایه جدول 4، با توجه به ضریب تاثیرگذاری^t و سطح معنی داری بیشتر رطوبت پیشین خاک نسبت به ماده آلی، اثر رطوبت پیشین خاک در افزایش روان آب بیشتر از اثر کاهشی ماده آلی خاک در روان آب بوده است. بر این پایه می توان میزان روان آب را بر پایه مدل ارائه شده در جدول 5 با دقت بالایی برآورد نمود.

از آنجا که در این تحقیق مدل های نهایی با توجه به ضریب تبیین و خطای تخمین قابل قبول، مجذور میانگین مربعات خطای کوچکتر، ضریب کارایی بزرگتر و نهایتاً کمتر بودن تعداد اجزای پیشگو کننده در معادله نهایی مد نظر قرار گرفت، بدین منظور مدل های نهایی و همچنین درصد خطای نسبی، مجذور میانگین مربعات

¹ Enter² Stepwise³ Remove⁴ Forward⁵ Backward

جدول 4- ضرایب رگرسیونی اثر ویژگی‌های خاک بر روان آب و رسوب.

معنی داری	t	ضرایب استاندارد Beta	انحراف معیار	ضرایب استاندارد نشده B	مدل
0/001	-3/672		1/446	-0/311	مقدار ثابت
0/000	4/234	0/501	0/038	0/161	روان آب رطوبت پیشین
0/017	2/470	-0/292	0/177	-0/437	ماده آلی
0/000	4/929		0/057	0/283	مقدار ثابت بار
0/013	-2/596	-0/347	0/010	-0/025	ماده آلی رسوب
0/013	-2/575	-0/344	0/001	-0/003	رس

جدول 5- مدل‌های نهایی برآورد روان آب و رسوب در منطقه مورد بررسی.

ضریب	ضریب	مجذور میانگین	خطای نسبی	مدل چند متغیره	
تبیین	کارایی	مربعات خطا			
0/493	0/41	4/01	13/34	$R = -0/311 + 0/161 (\%ISM) - 0/437 (\%SOM)$	روان آب
0/71	0/68	1/50	9/91	$S.Y = 0/283 - 0/025 (\%SOM) - 0/003 (\%CI)$	بار رسوب

R = روان آب (میلیمتر)، S.Y = بار رسوب (تن بر هکتار، ISM = درصد رطوبت پیشین خاک، S.O.M = درصد ماده آلی، CI = درصد رس

نتیجه‌گیری کلی

درصد ماده آلی خاک و درصد سیلت به ترتیب بیشترین تاثیر را داشته‌اند، که می‌توان میزان هدررفت خاک را با ضریب تبیین 0/71 و ضریب کارایی 0/68 برآورد نمود. از آنجایی که هدررفت خاک در اراضی کشاورزی منجر به شستشوی خاک سطحی، مواد آلی و در نهایت کاهش بدست آمده حاصلخیزی خاک خواهد شد، و از آنجا که آگاهی از میزان تولید روان آب و هدررفت خاک در یک منطقه کشاورزی بر تصمیمات مدیریتی آن منطقه تاثیرگذار خواهد بود، لذا برای دستیابی به روابط دقیق‌تر در این زمینه در اراضی کشاورزی، پژوهش‌های بیشتری باید صورت گیرد.

با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش در اراضی کشاورزی مورد بررسی، می‌توان نتیجه گرفت که متغیرهای ماده آلی، رطوبت پیشین خاک، وزن مخصوص ظاهری و درصد ذرات رس و شن در روان آب و هدررفت خاک تاثیر دارند. نتایج نشان داد که متغیرهای رطوبت پیشین خاک، درصد ماده آلی، ذرات شن وزن و مخصوص ظاهری به ترتیب بیشترین تاثیر را در تولید روان آب دارند که می‌توان میزان روان آب را با ضریب تبیین 0/49 و ضریب کارایی 0/41 برآورد نمود. همچنین در فرایند فرسایش خاک نیز متغیرهای

منابع مورد استفاده

رفاهی حق، 1382. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، 671 صفحه.
صادقی سحر، هدایتی زاده ر، نادری ح و حسین علی زاده م، 1387. مقایسه تولید روان آب و رسوب در سازندهای مختلف کواترن در مراتع سرچاه عماری بیرجند. مجله مرتع، جلد 4. صفحه های 436 تا 469.
صادقی سحر، یثربی ب و نور محمدی ف، 1384. تهیه و تحلیل مدل های بارش- روان آب ماهانه حوزه آبخیز هراز در استان مازندران. پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، شماره 1. صفحه های 1 تا 21.

- صفرپور ش، 1383. تخمین آستانه شروع روان آب با استفاده از شبیه سازی داده های بارش- روان آب. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس.
- فیض نیا س، غیومیان ج و خواجه م، 1384. بررسی عوامل فیزیکی، شیمیایی و آب و هوایی در تولید رسوب ناشی از فرسایش سطحی خاکهای لسی (مطالعه موردی در استان گلستان). پژوهش و سازندگی، جلد 66. صفحه های 14 تا 24.
- کاویان ع، آزموده ع، سلیمانی ک و وهاب زاده ق، 1389. تاثیر ویژگی های خاک بر روان آب و فرسایش خاک در اراضی جنگلی. نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران. جلد 24، شماره 3. صفحه های 1 تا 13.
- کلارستاقی ع، احمدی ح، اسمعیلی عوری ا، جعفری م، قدوسی ج، 1387. مقایسه تولید روان آب و رسوب در تیمارهای مختلف کاربری کشاورزی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. جلد 2، شماره 5. صفحه های 41 تا 52.
- مرادی ح. ر، غضنفرپور ن و فیض نیا س، 1385. بررسی حساسیت به فرسایش و رسوب زایی نهشته های کوآترنری دشت سجزی، کوهپایه اصفهان. آب و آبخیز، جلد 2، شماره 3. صفحه های 52 تا 60.
- وزیری ف، 1363. تجزیه و تحلیل رگبارها و تعیین منحنی های شدت - مدت مناطق مختلف ایران. انتشارات جهاددانشگاهی، مجتمع دانشگاهی فنی مهندسی تهران - واحد طرح و تحقیقات، 540 صفحه.
- Adekalu KO, Olorunfemi IA and Osunbitan JA, 2007. Grass mulching effect on infiltration, surface runoff and soil loss of three agricultural soils in Nigeria. *Bioresource Technology* 98: 912-917.
- 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.
- Arnau-Rosalen E, Calvo-Cases A, Biox-Fayos C and Sarah P, 2008. Analysis of soil surface component patterns affecting runoff generation. An example of methods applied to Mediterranean hill slopes in Alicante (Spain), *Geomorphology* 101: 595-606.
- Attou F, Bruand A and Le Bissonnais Y, 1998. Effect of clay content and siltclay fabric on stability of artificial aggregates Euro. *Journal of Soil Science* 49: 569-577.
- Begueria S, López-Moreno JI, Gómez-Villar A, Rubio V, Lana-Renault N and García-Ruiz JM, 2006. Fluvial adjustments to soil erosion and plant cover changes in the Central Spanish Pyrenees. *Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography* 88: 177-186.
- Bhupinderpal-Singh Hedley MJ, Saggat S and Francis GS, 2004. Chemical fractionation to characterize changes in sulphur and carbon in soil caused by management. *Eur. Journal of Soil Science* 55: 79-90.
- Blake GR and Hartge KH, 1986. Bulk density. Pp.363-375 In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1, 2nd Edition*. ASA and SSSA, Madison, WI
- Casermiro MA, Molina JA, Caravaca MTDL, Costa JH, Massanet MIH and Moreno PS, 2004. Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean Climate *Catena* 57: 91-107.
- Castillo VM, 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.
- Duiker SW, Flangman DC and Lal R, 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of south-west Spain. *Catena* 45: 103-121.
- Ekwue EI, Bharat C and Samaroo K, 2009. Effect of soil type, peat and farmyard manure addition, slope and their interactions on wash erosion by overland flow of some Trinidadian soils. *Biosystems Engineering* 102: 236-243.
- Foltz RB, Copeland NS and Elliot WJ, 2009. Reopening abandoned forest roads in northern Idaho, USA: Quantification of runoff, sediment concentration, infiltration, and interrill erosion parameters. *Journal of Environmental Management* 90: 2542-2550.
- Foster IDL, Fullen MA, Brandsma RT and Chapman AS, 2000. Drip-screen rainfall simulators for hydro- and pedo-geomorphological research: the Coventry experience. *Earth Surface Process and Landforms* 25: 691-707.
- Geissen V, Sánchez-Hernández R, Kampichler C, Ramos-Reyes R, Sepulveda-Lozada A, Ochoa-Goana S, de Jong BHI, Huerta-Lwanga E and Hernández-Daumas S, 2009. Effects of land-use change on some properties of tropical soils-An example from Southeast Mexico. *Geoderma* 151: 87-97.
- Girmay G, Sing BR, Nyssen J and Borrosen T, 2009. Runoff and sediment-associated nutrient losses under different land uses in Tigray, Northern Ethiopia. *Journal of Hydrology* 376: 70-80.
- Haene K, Vermang J, Cornelis WM, Leroy Ben LM, Schiettecatte W, De Neve S, Gabriels D and Hofman G, 2008. Reduced tillage effects on physical properties of silt loam soils growing root crops. *Soil and Tillage Research* 99: 279-290.

- Hoyos N, Waylen PR and Jaramillo A, 2005. Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Journal of Hydrology* 314: 177-191.
- Hudson N, 1995. *Soil Conservation*. Iowa State University Press, Ames, IA, USA.
- Jordan A and Martinez-Zavala L, 2008. Soil loss and runoff rates on unpaved forest roads in southern Spain after simulated rainfall. *Forest Ecology and Management* 255: 913-919.
- Kamphorst A, 1987. A small rainfall simulator for the determination of soil erodibility, Netherlands. *Journal of Agriculture Science* 35: 407-415.
- Loch RJ, 2000. Using rainfall simulation to guide planning and management of rehabilitated areas. Part 1. Experimental methods and results from a study at the North-Parkes mine, Australia. *Land Degradation and Development* 11: 221-240.
- Loeppert, R. H. and Suarez, D. L. 1996. Carbonate and Gypsum, pp.437-474 In: Sparks, DL (ed). *Methods of Soil Analysis, Part 3*, American Society of Agronomy Inc., Madison, WI. USA.
- Marques MJ, Bienes R, Jiménez L and Pérez-Rodríguez R, 2007. Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events. *Rainfall simulation over USLE plots. Science of the Total Environment* 378: 161-165.
- Masri Z and Ryan J, 2006. Soil organic matter and related physical properties in a Mediterranean wheat-based rotation trial. *Soil and Tillage Research* 87: 146-154.
- Mingguo Z, Qiangguo C and Hao C, 2007. Effect of vegetation on runoff-sediment yield relationship at different spatial scales in hilly areas of the Loess Plateau, North China. *Acta Ecologica Sinica* 27(9): 3572-3581.
- Molina A, Govers G, Vanacker V, Poesen J, Zeelmaekers E and Cisneros F, 2007. Runoff generation in a degraded Andean ecosystem: Interaction of vegetation cover and land use. *Catena* 71: 357-370.
- Qiang Deng Z, de Lima Joao LMP and Shin Jung H, 2008. Sediment transport rate-based model for rainfall-induced soil erosion. *Catena* 76: 54-62.
- Quansahn C, 1981. The effect of soil type, slope, rain intensity and their interactions on splash detachment and transport. *Journal of Soil Science* 32: 215-224.
- Richardes LA, 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Agri Handbook NO.60. USDA, Washington DC. USA.
- Santos FL, Reis, JL, Martins OC, Castanheria NL and Serralherio RP, 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigation soils. *Biosystems Engineering* 86: 355-364.
- Seeger M, 2007. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena* 71: 56-67.
- Sheridan G, Noske P, Lane P and Sherwin C, 2008. Using rainfall simulation and site measurements to predict annual inter rill erodibility and phosphorus generation rates from unsealed forest roads: Validation against in-situ erosion measurements. *Catena* 73: 49-62.
- Siegrist S, Schaub D, Pfiffner L and Mader P, 1998. Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 69: 253-264.
- Tejada M and Gonzalez JL, 2008. Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. *Geoderma* 145: 325-334.
- Vahabi J and Nikkani D, 2008. Assessing dominant factors affecting soil erosion using a portable rainfall simulator. *International Journal of Sediment Research* 23: 375-385.
- Vahabi J and Mahdian MH, 2008. Rainfall simulation for the study of the effects of efficient factors on runoff rate. *Soil Conservation and Watershed Management Research Center* 95: 1439-1445.
- Walky, A. and Block, I. A. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- Zehetner F and Miller WP, 2006. Erodibility and runoff-infiltration characteristics of volcanic ash soils along an altitudinal climosequence in the Ecuadorian Andes. *Catena* 65: 201-213.