

Comparing runoff and sediment production in three land use in Fandoghlu area, Ardabil province

Moradikeia, N.¹  | Esmali Ouri, A.²  | Asghari, Sh.³  | Golshan, M.⁴ 

1. Department of watershed, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: n.moradikeia@gmail.com

2. **Corresponding Author**, Department of Natural Resources, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: esmalioori@uma.ac.ir

3. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: shasghari@uma.ac.ir

4. Department of watershed, Faculty of Natural Resource, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran. E-mail: m.golshan20@gmail.com

(Received: 23 Jan 2022, Revised: 4 April 2022, Accepted: 4 Oct 2022, Published online: 14 June 2023)

Summary

The process of converting rainfall into runoff in a region is complex and is affected by many different factors. There is a close relation between land use and erosion. Soil erosion involves the separation and transport of soil particles by runoff. Therefore, runoff production is an important process that is related to soil loss and environmental effects of agricultural operations due to its involvement in nutrient loss. As a result, it is necessary to study the amount of runoff produced as one of the main processes of soil erosion.

Rainfall simulator allow repeated measurements in different fields to determine the factors affecting runoff and erosion. Despite the challenges, the use of simulators is common worldwide due to its many benefits in various fields of soil erosion and sediment production. In Iran this method was used in many researches with different targets. Kaviani et al (2019) simulated the effect of herbaceous residues on runoff production, Golshan et al (2018) using the rainfall simulator compared the SWAT model and Regression model. In other countries other research can be mentioned the researches of Biddoccu et al (2016), Zhang et al (2018a) and Wang et al (2018).

For this purpose, in the present study, which was carried out in one of the forest areas in the east of Ardabil province, called Fandoghlu forest area, the amount of runoff and sediment from the rainfall was measured and compared in different land uses using a rainfall simulator machine. In this study, the relationship between land use and runoff and sediment production was investigated in the Fandoghlu forest with 4378 ha area, using a rainfall simulator machine. The used rainfall simulator has 1 m² area with the ability to adjust the intensity and duration of rainfall. The rainfall simulator machine was installed at 104 points with 21.867 mm / hr. rainfall intensity during the 15 mints in the three different land use consisting of forest, rang and agriculture. Soil sampling was performed from each land use from a depth of 0-20 cm. 34 samples were taken for forest use and 35 samples of intact and untouched soil were collected for each of the agricultural and rangeland uses, and a total of 104 soil samples were collected. The location of the points was recorded via the Global Positioning System (GPS).

Using laboratory soil samples, parameters of initial soil moisture, bulk density, organic carbon, soil particle size distribution, true bulk density, total porosity, saturated hydraulic conductivity, saturated moisture, field capacity, permanent and susceptible wilting point usage and weight average of aggregate diameter were measured. The mean values of soil bulk density in forest, rangeland and agricultural uses were 0.881, 1.067 and 1.355 g / cm³, respectively. In rangeland use, the increase in specific gravity of the soil relative to the forest can be attributed to the kicking of livestock due to uncontrolled grazing (Ferrerias et al., 2006). The mean values of true specific gravity and total soil porosity in forest were obtained. The rangeland and agricultural uses are equal to 1.905, 2.018 and 2.162, and 53.60, 46.46, 37.09 respectively. The reason for the reduction of true specific gravity in forest use is because the organic part of the soil inherently has a small true specific gravity. As by increasing the share of soil organic matter, the actual specific gravity decreases (Zhang et al., 2018b). In forest, rangeland and agricultural uses, the amount of runoff was equal to 868.5, 925 and 1425 ml/m². Also, the amount of sediment concentration in each of the land uses was 1.937, 8.889 and 44.222, respectively. The results showed that vegetation, slope, soil characteristics and land use change have a significant effect on runoff and sediment components in the study area.

Field studies and direct statistics of harvesting are very important in watershed management and estimating runoff and sediment production. The rainfall simulator used in this research can be transported to difficult areas that can provide integrated information from the watershed. The distribution of soil particle size on runoff and sediment components showed that there is a significant difference between different amounts of silt, clay and sand in each of the land uses and runoff volume. So that the amount of clay and silt from the forest to the pasture and arable land is reduced and the amount of sand is increased. Silty soils have low permeability due to low adhesion and porosity and as a result, more runoff volume. Therefore, land use management in this area can play a very important role in reducing runoff and fertile soil.

Keywords: Rainfall Simulator, Statistical Context, Fandoghlu Area, Land Use, Soil, Management.

Cite this article: Moradikeia, N., Esmali Ouri, A., Asghari, Sh., & Golshan, M. (2023). Comparing runoff and sediment production in three land use in Fandoghlu area, Ardabil province. *Journal of the Earth and Space Physics*, 49(1), 1-14. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2022.336693.1007394>

مقایسه تولید رواناب و رسوب در سطح سه کاربری منطقه فندوقلوی استان اردبیل

نقی مرادی کیا^۱ | اباذر اسمعلی عوری^۲ | شکراله اصغری^۳ | محمد گلشن^۴

۱. گروه آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: n-moradikeia@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: esmalouri@uma.ac.ir

۳. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: shasghari@uma.ac.ir

۴. گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: m.golshan20@gmail.com

(دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۳، بازنگری: ۱۴۰۱/۱/۱۵، پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۷/۱۲، انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۳/۲۴)

چکیده

فرایند تبدیل بارندگی به رواناب در یک منطقه پیچیده بوده و متأثر از عوامل زیادی است. در این پژوهش ارتباط بین نوع استفاده از اراضی و تولید رواناب و رسوب با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران در منطقه مطالعاتی با مساحت ۹۵۸۳۱ هکتار بررسی شد. برای این منظور در ۱۰۴ نقطه دستگاه شبیه‌ساز باران به صورت تصادفی نصب و شبیه‌سازی باران با شدت ۲۱/۸۶۷ میلی‌متر بر ساعت و در مدت ۱۵ دقیقه در هر سه کاربری منطقه فندوقلوی اجرا و نمونه‌های خاک، رواناب و رسوب برداشت شدند. در کاربری‌های جنگل، مرتع و زراعی مقادیر میانگین جرم‌مخصوص ظاهری از ۰/۸۸۱ تا ۱/۳۵۵ گرم در سانتی‌متر مکعب روند افزایشی، مقادیر میانگین جرم‌مخصوص حقیقی (برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب) و درصد تخلخل کل خاک به ترتیب از ۱/۹۰۵ تا ۲/۱۶۲ روند افزایشی و از ۵۳/۶۰ تا ۳۷/۰۹ روند کاهشی را نشان دادند. در کاربری‌های جنگل، مرتع و زراعی مقدار رواناب به ترتیب برابر با ۸۶۸/۵، ۹۲۵ و ۱۴۲۵ میلی‌لیتر در مترمربع و همچنین مقدار درصد غلظت رسوب در هر یک از کاربری‌ها به ترتیب برابر با ۱/۹۳۷، ۸/۸۸۹ و ۴۴/۲۲۹ به دست آمد. بنابراین در این منطقه مدیریت کاربری اراضی و جلوگیری از تبدیل کاربری‌های جنگل و مرتع به کاربری زراعی می‌تواند نقش بسیار مهمی در کاهش هدر رفت آب و خاک حاصلخیز داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: باران‌ساز، زمین‌آمار، کاربری اراضی، خاک، مدیریت.

۱. مقدمه

آن در هدررفت عناصر غذایی مرتبط است (شریدان و همکاران، ۲۰۰۸). در نتیجه بررسی میزان رواناب تولیدی به عنوان یکی از فرایندهای اصلی فرسایش خاک، امری ضروری است. از آنجایی که اندازه‌گیری میزان فرسایش خاک تحت شرایط طبیعی بارندگی، زمان‌بر و پرهزینه است (شریدان و همکاران، ۲۰۰۸)، لذا شبیه‌ساز باران به عنوان ابزاری در تحقیقات، به‌طور وسیعی در شناخت فرسایش خاک و فرایندهای مربوط، مورد استفاده قرار گرفته است.

باران‌سازها امکان اندازه‌گیری مکرر در زمین‌های مختلف برای تعیین عوامل مؤثر بر رواناب و فرسایش را فراهم می‌کنند (لانگ، ۱۹۹۰). استفاده از مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی در بیشتر زمینه‌های مطالعاتی یکی از مهم‌ترین روش‌ها جهت به‌دست آوردن اطلاعات است.

تخریب خاک ناشی از فرسایش آبی یک مشکل جدی در کاهش کیفیت خاک محسوب شده که بشر برای تأمین غذای خود به آن وابسته است. فرسایش خاک یک مسئله محیطی جهانی است که از حاصلخیزی خاک و کیفیت آب کاسته، رسوب‌زایی و احتمال ایجاد سیل را افزایش می‌دهد (بیزونایس و همکاران، ۲۰۰۱؛ ژو و همکاران، ۲۰۰۸؛ اواینگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ ویلدهاگر و همکاران، ۲۰۱۱).

به‌طور کلی باید اظهار داشت که نوع بهره‌برداری از زمین و کاربری اراضی و فرسایش رابطه نزدیکی با یکدیگر داشته است (مولینا و همکاران، ۲۰۰۷). فرسایش خاک شامل جدا شدن و انتقال ذرات خاک توسط رواناب است. بنابراین تولید رواناب فرایند مهمی است که با هدررفت خاک و اثرات محیطی عملیات کشاورزی به سبب دخالت

استناد: مرادی کیا، نقی؛ اسمعلی عوری، اباذر؛ اصغری، شکراله و گلشن محمد (۱۴۰۲). مقایسه تولید رواناب و رسوب در سطح سه کاربری منطقه فندوقلوی استان اردبیل. مجله

فیزیک زمین و فضا، ۴۹(۱)، ۱-۱۴. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2022.336693.1007394>

مصنوعی اقدام به اندازه‌گیری تأثیر پس‌ماندهای علفی با پوشش صفر، ۵۰ و ۹۰ درصد بر تولید رواناب کردند که نتایج نشان داد در هر دو تراکم رواناب به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. گلشن و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از باران‌ساز مصنوعی، مدل رگرسیون منطقه‌ای و مدل SWAT میزان تولید رواناب و رسوب در حوضه شمس آباد اردبیل را بررسی کردند. نتایج نشان داد که باران‌ساز مصنوعی از قابلیت مناسبی برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب برخوردار است. وانگ و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر پوشش علفی را بر تولید رواناب در شمال چین را با استفاده از شبیه‌ساز باران بررسی کردند. این تحقیق در شیب‌ها ۱۵ و ۲۰ درصد با شدت‌های ۳۰ و ۴۵ دقیقه بر ساعت انجام شد. نتایج نشان داد که وجود پوشش گیاهی بین ۲۷ تا ۷۲ درصد در کاهش رواناب مؤثر است. صادقی و همکاران (۱۳۹۴) در حوزه آبخیز گلاز اشویه در آذربایجان غربی تأثیر نوع و توزیع مکانی کاربری‌های جنگل، مرتع و کشاورزی را بر تولید رسوب بررسی کردند که نتایج نشان داد کاربری‌های مرتع، کشاورزی و جنگل به‌ترتیب دارای بیشترین غلظت رسوب تولیدی می‌باشند. همچنین در این زمینه می‌توان به مطالعات ژانگ و همکاران (۲۰۱۸a)، رستگار و همکاران (۱۳۹۳) و عسگری و همکاران (۲۰۲۱) اشاره کرد.

بنابراین، تدوین یک برنامه مناسب از کاربری اراضی با در نظر گرفتن طرح آمایش سرزمین، جهت اداره و مدیریت آبخیزهای کشور لازم و ضروری است. بدین منظور برای انجام پژوهش حاضر که در یکی از عرصه‌های شرق استان اردبیل، به نام منطقه جنگلی فندوقلو به انجام رسید، با استفاده از دستگاه باران‌ساز، میزان رواناب و رسوب حاصل از دستگاه باران‌ساز در کاربری‌های مختلف اندازه‌گیری و مقایسه شد.

۲. روش پژوهش

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در منطقه فندوقلو واقع در ۲۵ کیلومتری

در مطالعات رواناب و رسوب انجام عملیات صحرایی جهت بررسی فرایند بارش-رواناب می‌تواند کمک مهمی به شناخت فرایندهای مختلف مؤثر در این فرایند کند. باتوجه به وسعت بالای حوزه‌های آبخیز و مشکلات موجود در نمونه‌برداری با بارندگی‌ها طبیعی، استفاده از باران‌ساز می‌تواند به‌عنوان یک روش مؤثر مورد استفاده قرار گیرد (اسمعی و همکاران، ۲۰۲۰؛ موسوی و همکاران، ۲۰۲۱). باید توجه داشت که استفاده از باران‌سازها خود با محدودیت‌هایی مواجه بوده، به‌طوری که باران‌سازها هرگز نمی‌توانند شرایط طبیعی بارندگی را به‌طور کامل شبیه‌سازی کنند (جردن و مارتینز زاوالا، ۲۰۰۸). اما به‌رغم چالش‌های موجود، استفاده از شبیه‌سازها به‌دلیل مزایای ذکر شده برای پژوهش در زمینه‌های مختلف فرسایش خاک و تولید رسوب در سطح جهان رایج است (سیگر، ۲۰۰۷). از این روش می‌توان برای درجه‌بندی و اعتبارسنجی مدل‌های فرسایشی-فیزیکی بر پایه باران و از نتایج شبیه‌سازی باران، به‌منظور هدف‌های مقایسه‌ای بهره‌گیری کرد (موسوی و همکاران، ۲۰۲۱؛ سیگر، ۲۰۰۷). با توجه به مطالب گفته شده، بهره‌گیری از باران‌سازها به‌دلیل برتری‌های یادشده برای پژوهش در جنبه‌های مختلف فرسایش و تولید رسوب در سطح جهان رایج است (اسمعی و همکاران، ۲۰۲۰).

رواناب سطحی به‌دست آمده از بارندگی و فرسایش خاک، تابع عوامل مختلفی بوده که هر یک از این عوامل، ممکن است عامل دیگری را تقویت و یا تضعیف کنند (بگوریا و همکاران، ۲۰۰۶). یکی از متغیرهای مهم و قابل بررسی در رخداد رواناب و هدررفت خاک، تغییر کاربری اراضی است. تغییر در کاربری اراضی مرتع و جنگل سبب هدررفت کربن آلی، تخریب ساختمان خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی خاک می‌شود. تغییر در کاربری اراضی همچنین سبب کاهش نفوذ آب در خاک و افزایش رواناب و فرسایش می‌شود (ذولفقاری و حاج‌عباسی، ۱۳۸۷).

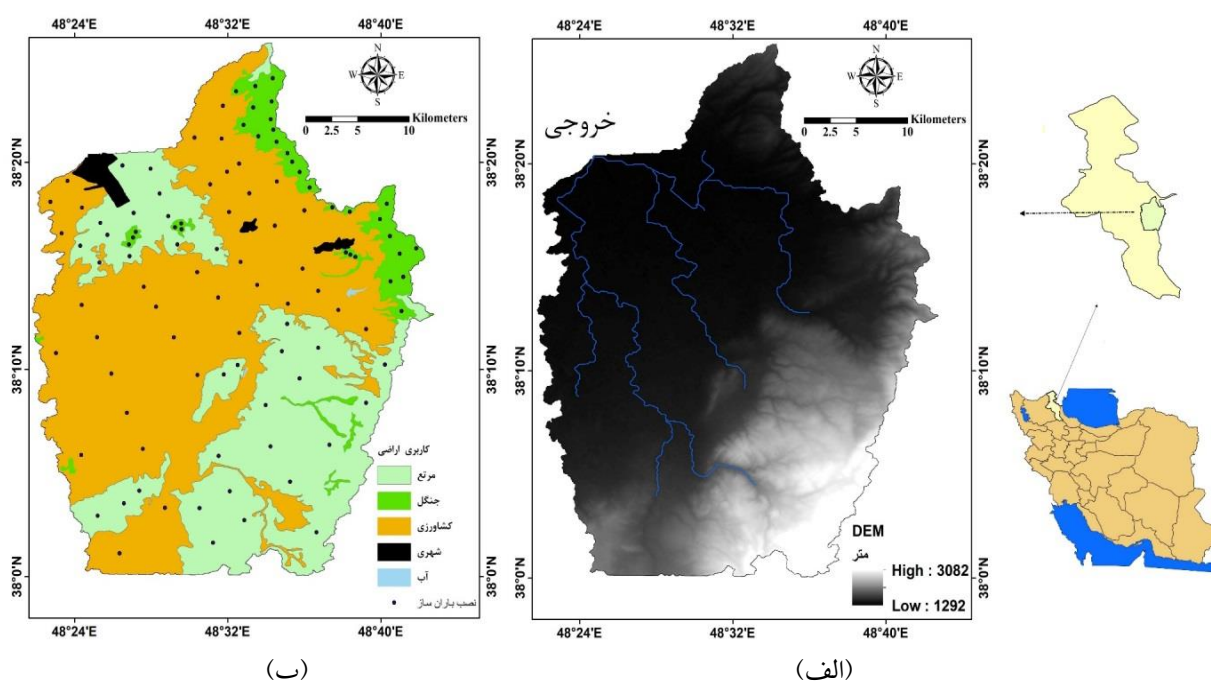
کاوایان و همکاران (۱۳۹۸) با استفاد از دستگاه باران‌ساز

کشاورزی از عمق ۲۰-۳۰ سانتی متری زمین انجام شد. برای کاربری جنگل ۳۴ نمونه و برای هر کدام از کاربری‌های زراعی و مرتع ۳۵ نمونه خاک دست‌خورده و دست‌نخورده و در مجموع ۱۰۴ نمونه خاک برداشته شد. منطقه نصب باران‌سازها به صورت تصادفی انتخاب شدند، لذا در عرصه‌های جنگلی باران‌سازها در زیراشکوب درختان از جنس‌های مختلف نصب شدند. دستگاه شبیه‌ساز باران مورد استفاده در این تحقیق امکان حمل در مناطق صعب‌العبور را نیز دارد که این قابلیت منجر به آرایه اطلاعات یکپارچه از حوزه آبخیز می‌شود (گلشن و همکاران، ۱۳۹۷).

۲-۲. اندازه‌گیری پارامترهای کمی و کیفی خاک

با استفاده از نمونه‌های برداشته شده پارامترهای رطوبت اولیه خاک، جرم‌مخصوص ظاهری، کربن آلی، توزیع اندازه ذرات خاک، جرم‌مخصوص حقیقی، تخلخل کل، هدایت هیدرولیکی اشباع، رطوبت‌های اشباع، ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم و قابل استفاده و میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD) اندازه‌گیری شدند.

شمال‌شرقی شهرستان اردبیل به طرف آستارا بین ۱۶' و ۳۸' تا ۳۲' و ۳۸° عرض شمالی و در ۳۲' و ۴۸° تا ۴۰' و ۴۸° طول شرقی با ارتفاع ۱۲۹۲ تا ۳۰۸۲ متر از سطح دریا انجام شد. میانگین بارندگی سالانه در دوره ۲۰ ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۴) باتوجه به آمار ایستگاه‌های ویلیکیج و نمین، ۴۵۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۸°C است. از نظر اقلیمی وجود مه‌های دائمی و ریزش باران‌های فصلی، رطوبت این منطقه را به حد کافی تأمین می‌کند (اسمعی و عبدالمی، ۱۳۹۰). مساحت کل منطقه ۹۵۸۲۱ هکتار می‌باشد که طبق نقشه تهیه شده توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور شامل کاربری جنگلی به وسعت ۶۳۶۴ هکتار با گونه‌های غالب درختچه‌ای فندق همراه با درختان بلوط، راش، افرا، زالزالک و ازگیل (یوسف‌پور و همکاران، ۱۳۸۳)، کاربری مرتعی به مساحت ۳۳۳۵۵ هکتار، کاربری کشاورزی به مساحت ۵۴۷۳۳ هکتار، کاربری مسکونی به مساحت ۱۲۶۶ هکتار و پوشش آبی به مساحت ۶۲ هکتار که غالباً مربوط به پهنه آبی سد سقزجی در منطقه می‌باشد. نمونه‌برداری خاک از سه کاربری جنگل، مرتع و



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه: الف) نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه، ب) نقشه کاربری اراضی منطقه.

۱-۲-۲. رطوبت اولیه خاک

رطوبت اولیه خاک به روش وزنی در آزمایشگاه اندازه گیری شد. به این ترتیب که نمونه های دست نخورده با استفاده از استوانه های فولادی به قطر و ارتفاع ۵ سانتی متر از منطقه فندوقلو برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس نمونه ها توزین و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک شد و مقادیر درصد رطوبت وزنی به دست آمد (عسگری و همکاران، ۱۳۹۷).

۲-۲-۲. جرم مخصوص ظاهری

برای تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک، از روش استوانه (بلک و هارتگ، ۱۹۸۶) استفاده شد. پس از خشک کردن نمونه خاک در آون و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد، به مدت ۲۴ ساعت توزین و جرم مخصوص ظاهری از رابطه زیر محاسبه شد:

$$D_b = \left(\frac{m_d}{v_t} \right) \quad (۱)$$

که در این رابطه D_b : جرم مخصوص ظاهری ($g \text{ cm}^{-3}$)، m_d : جرم خاک خشک آون (g) در ۱۰۵ درجه سانتی گراد و v_t : حجم داخلی استوانه (cm^3) است.

۳-۲-۲. کربن آلی

برای اندازه گیری کربن آلی خاک (OC) از روش والکلی بلک (نلسون و سامرز، ۱۹۸۲) استفاده شد. برای این منظور، نیم گرم از خاک هوا خشک گذرانده شده از الک ۰/۵ میلی متری آماده شده را در ارلن مایر پانصد میلی لیتر ریخته و به آن ده میلی لیتر بی کرومات پتاسیم یک نرمال اضافه شد. پس از نیم ساعت پنجاه میلی لیتر آب مقطر اضافه و بعد از سرد شدن ده قطره معرف ارتوفانترولین افزوده و با فرو آمو نیوم سولفات ۰/۵ نرمال تیتیر شد. حجم فرو آمو نیوم سولفات مصرفی برای تغییر رنگ محلول از سبز به قرمز یادداشت و از رابطه زیر کربن آلی محاسبه شد:

$$OC = \frac{M \times 0.39 \times (V_1 - V_2)}{5} \quad (۲)$$

که در این رابطه OC: مقدار کربن آلی (درصد)، M : نرمالیه فرو آمو نیوم سولفات، V_1 : حجم فرو آمو نیوم سولفات مصرفی برای شاهد (ml)، V_2 : حجم فرو آمو نیوم سولفات مصرفی برای نمونه خاک (ml) و S : وزن خاک هوا خشک (g) است.

۴-۲-۲. توزیع اندازه ذرات خاک

توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتری ۴ قرائته (جاکوب و کلارک، ۲۰۰۲) و با استفاده از مثلث بافت خاک به روش طبقه بندی آمریکایی (USDA) تعیین شد.

۵-۲-۲. جرم مخصوص حقیقی

جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر (بلک و هارتگ، ۱۹۸۶) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$D_p = \left(\frac{m_d}{v_s} \right) \quad (۳)$$

که در این رابطه D_p : جرم مخصوص حقیقی ($g \text{ cm}^{-3}$)، m_d : جرم خاک خشک آون (g) و v_s : حجم ذرات جامد خاک (cm^3) است.

۶-۲-۲. تخلخل کل

تخلخل کل خاک ها با اساس جرم مخصوص ظاهری و حقیقی (دانلیسون و سوترلند، ۱۹۸۶) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$n = \left(1 - \frac{D_b}{D_p} \right) \times 100 \quad (۴)$$

که در این رابطه n : درصد تخلخل کل ($\% \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)، D_b : جرم مخصوص ظاهری خاک ($g \text{ cm}^{-3}$) و D_p : جرم مخصوص حقیقی خاک ($g \text{ cm}^{-3}$) است.

۷-۲-۲. هدایت هیدرولیکی اشباع

برای اندازه گیری هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s)، از نمونه های دست نخورده برداشته شده با استوانه های به قطر و ارتفاع ۵ سانتی متر استفاده شد. با استفاده از محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار نمونه ها اشباع و از طریق دستگاه

بار افشان K_s اندازه گیری و از رابطه ۵ محاسبه شد (عسگری و همکاران، ۱۳۹۷؛ گلشن و همکاران، ۱۳۹۷).

$$k_s = \frac{al}{At} \ln \frac{H_1}{H_2} \quad (5)$$

که در این رابطه K_s : هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (cm min^{-1})، a : سطح مقطع لوله (cm^2)، l : طول ستون خاک (cm)، A : سطح مقطع ستون خاک (cm^2)، t : زمان (min) و H_1 و H_2 به ترتیب فاصله خط نشان بالا و پایین از ته ستون خاک است.

۳-۲. رطوبت‌های اشباع، ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم و قابل استفاده

رطوبت ظرفیت زراعی (FC) معادل مکش ۰/۱ بار (به دلیل کلاس بافت لوم شنی نمونه‌های خاک) و رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP) رطوبت معادل مکش ۱۵ بار در نظر گرفته شد (بیور و بلک، ۱۹۹۲). جهت تعیین رطوبت ظرفیت زراعی نمونه‌های دست‌نخورده (استوانه‌ها) به مدت ۲۴ ساعت در محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار قرار داده شده و پس از اشباع شدن در روی صفحات اشباع شده دستگاه صفحه فشاری قرار داده شد. سپس دستگاه بر روی مکش ۰/۱ تنظیم شد. جهت تعیین زمان به تعادل رسیدن نمونه‌ها در مکش اعمال شده روی دستگاه، در زیر خروجی آب مربوط به دستگاه ظرفی قرار داده شده و خروج آب به‌طور روزانه کنترل شد. پس از قطع خروج آب، نمونه‌ها توزین و به مدت ۲۴ ساعت در آون (دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد) خشک شدند. بر اساس جرم خاک خشک آون و جرم آب نگهداری شده در مکش ۰/۱ بار، رطوبت نمونه‌ها به دست آمد. رطوبت نقطه پژمردگی دائم نیز با استفاده از نمونه‌های دست‌خورده و پس از حصول تعادل در مکش ۱۵ بار توسط دستگاه صفحه فشاری به روش وزنی اندازه‌گیری شد.

۴-۲. اندازه‌گیری پوشش گیاهی و شیب

پوشش گیاهی سطح زمین تأثیر بسزایی بر روی رواناب و

رسوب دارد؛ به‌ویژه در هنگام برخورد مستقیم قطرات باران بر روی سطح خاک و از هم پاشیدن ذرات خاک و جداسازی آن دارد (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴). به همین خاطر مقادیر درصد تاج پوشش گیاهی محل نمونه‌برداری از هر سه کاربری اراضی با استفاده از پلات‌های نمونه‌برداری 1×1 متر مربعی اندازه‌گیری و ثبت شد.

بی شک یکی دیگر از مهم‌ترین فاکتورهای فیزیوگرافی حوزه‌های آبخیز، شیب دامنه است که همواره فرسایش، رواناب و رسوب تولیدی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (عسگری و همکاران، ۱۳۹۷؛ عسگری و همکاران، ۱۳۹۹). بنابراین لازم شد تا با استفاده از دستگاه شیب‌سنج مدل Sunto تپ ۵/۴۰۰pm، مقادیر درصد شیب در نقاط نمونه‌برداری ثبت و یادداشت شود.

۵-۲. محاسبه و ترسیم نمودار شدت، مدت و فراوانی

جهت ایجاد رگبار با دستگاه باران‌ساز

با بررسی‌های انجام شده روی منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی فرمول‌های تجربی متعددی ارائه شده که در این بین قهرمان و سپاسخواه (۱۳۶۹) با استفاده از دو پارامتر مستقل میانگین حداکثر بارش روزانه و میانگین بارش سالانه رابطه‌ای را برای ایران ارائه کرده‌اند. با توجه به تحقیقات عزیزاده (۱۳۷۳)، گلشن و همکاران (۱۳۹۷) و بسیاری از تحقیقات دیگر این رابطه در کشور کارایی دارد؛ بنابراین در این تحقیق نیز مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور در این تحقیق از آمار ۲۰ ساله (۱۳۷۴-۱۳۹۵) ایستگاه هواشناسی نمین استفاده شد.

۶-۲. اندازه‌گیری رواناب و رسوب

با استفاده از دستگاه باران‌ساز، شدت بارش ثابت برای تمام نمونه‌ها و به مدت ۱۵ دقیقه اجرا شد. آستانه شروع رواناب توسط کرنومتر ثبت شد. نمونه‌برداری رواناب و رسوب در مرداد ماه ۱۳۹۹ در ۱۰۴ نقطه انجام و نمونه‌های رواناب و رسوب جمع‌آوری شده از عملیات میدانی را به آزمایشگاه انتقال داده و پس از ته‌نشینی رسوبات، مخلوط آب و رسوب با کاغذ صافی واتمن و با استفاده از

نتایج بررسی نمونه‌های خاک (جدول ۱) نشان داد میانگین جرم‌مخصوص ظاهری در کاربری‌های جنگل، مرتع و زراعی به ترتیب برابر با ۰/۸۸۱، ۱/۰۶۷ و ۱/۳۵۵ گرم در سانتی‌متر مکعب می‌باشند. میانگین جرم‌مخصوص (گرم بر سانتی‌متر مکعب) حقیقی و تخلخل کل خاک (برحسب درصد) در کاربری‌های جنگل، مرتع و زراعی به ترتیب برابر با ۱/۹۰۵، ۲/۰۱۸ و ۲/۱۶۲؛ ۵۳/۶۰، ۴۶/۴۶ و ۳۷/۰۹ به دست آمد. همچنین مقدار میانگین کربن آلی در کاربری‌های جنگل، مرتع و زراعی به ترتیب برابر با ۵/۹۸۱، ۳/۱۴۲ و ۲/۳۲ ثبت شد. در شکل ۴ تغییرات کربن آلی خاک در ارتباط با رواناب و رسوب ارائه شده است.

در این جدول FC، Ks، MWD، Silt، Sand، Clay، θ_s ، D_p ، D_b و n به ترتیب بیانگر کربن آلی، رس، شن، سیلت، میانگین وزنی قطر خاکدانه، هدایت هیدرولیکی اشباع، رطوبت ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم، آب قابل استفاده، رطوبت اشباع، جرم‌مخصوص حقیقی، جرم‌مخصوص ظاهری و تخلخل کل خاک می‌باشند.

استوانه‌های مدرج جداسازی شد و حجم رواناب تولیدی بر حسب میلی‌لیتر برای تک‌تک نمونه‌ها در استوانه‌های مدرج قرائت شد. نمونه‌های رسوب بر جای مانده بر روی کاغذ صافی به مدت ۲۴ ساعت در آون و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد. نمونه‌های خشک رسوب توزین شده و بدین ترتیب وزن خشک رسوب بر حسب گرم به دست آمد. در ادامه، تصاویری از نحوه استقرار و نمونه‌برداری رواناب و رسوب با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران آورده شده است (شکل ۲).

مختصات نقاط نمونه‌برداری ثبت شده در دستگاه GPS، با استفاده از نرم‌افزار Oziexplorer به کامپیوتر و نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) منتقل شد سپس نقشه پراکنش نقاط نمونه‌برداری شده و نحوه توزیع آنها در سه کاربری جنگل، زمین زراعی و مرتع ترسیم شد.

۳- نتایج

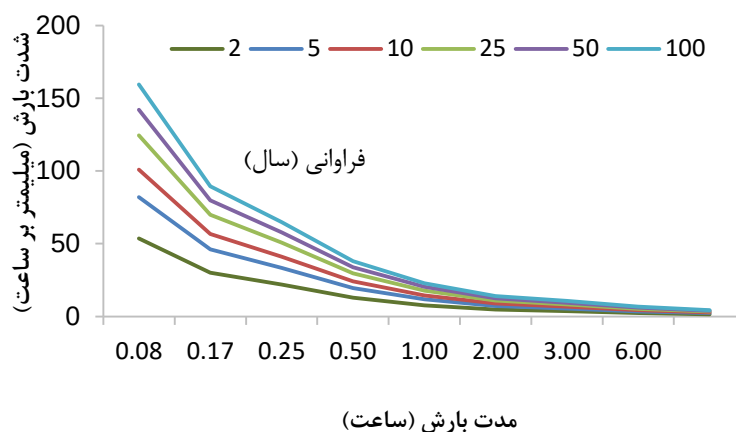
۳-۱. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های خاک، درصد تاج پوشش گیاهی و شیب



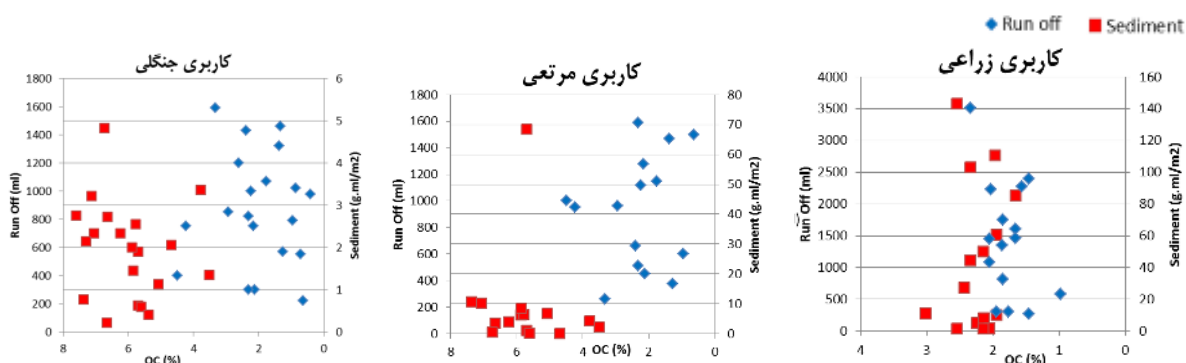
شکل ۲. استقرار دستگاه باران‌ساز در کاربری‌های مختلف.

جدول ۱. توصیف آماری خصوصیات خاک اندازه‌گیری شده در سه کاربری منطقه مورد مطالعه.

متغیر	واحد	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	کاربری
OC	%	۱/۱۰۶	۵/۹۸۱	۷/۶	۳/۵۱	جنگلی
		۰/۲۴۵	۳/۱۴۲	۳/۵۸	۲/۷۴	مرتعی
		۰/۳۱۴	۲/۳۲	۳/۰۲	۱/۶۶	زراعی
Clay	%	۰/۹۳۱	۵/۴۸۵	۶/۹۶	۴/۰۷	جنگلی
		۴/۱۹۱	۴/۸۳	۱۵/۱۷	۱/۳۱	مرتعی
		۱/۵۲۵	۴/۹	۷/۹۶	۲/۵۴	زراعی
Sand	%	۳/۴۴۵	۵۴/۳۵	۶۰/۷۳	۴۸/۲۶	جنگلی
		۳/۰۷۲	۵۷/۹۲	۶۳/۲	۵۲/۵۷	مرتعی
		۴/۱۱۳	۶۲/۲۳	۶۹/۱۲	۵۲/۴۷	زراعی
Silt	%	۳/۲۸۶	۴۰/۰۶	۴۵/۷۷	۳۳/۱۷	جنگلی
		۴/۰۸۶	۳۷/۳۷	۴۶/۰۹	۳۱/۲۷	مرتعی
		۳/۸۷۹	۳۲/۸۶	۳۹/۵۷	۲۳/۹۶	زراعی
MWD	mm	۰/۳۴۳	۱/۱۹۹	۱/۷	۰/۲۰	جنگلی
		۰/۱۸۱	۰/۹۸۹	۱/۳۰	۰/۷۰	مرتعی
		۰/۲۱۸	۰/۳۶۰	۰/۸۰	۰/۱۰	زراعی
KS	cm min ⁻¹	۰/۰۹۰	۰/۴۷۶	۰/۶۷	۰/۳۶	جنگلی
		۰/۰۲۰	۰/۳۴۸	۰/۳۹	۰/۳۲	مرتعی
		۰/۰۴۳	۰/۱۹۲	۰/۲۸	۰/۱۲	زراعی
FC	% g g ⁻¹	۴/۸۳۱	۴۸/۷۱	۵۷/۰۶	۴۱/۱۱	جنگلی
		۲/۱۳۷	۴۰/۷۶	۴۴/۵۵	۳۷/۴۳	مرتعی
		۳/۰۴۸	۲۵/۲۲	۳۲/۱۲	۱۸/۰۳	زراعی
PWP	% g g ⁻¹	۳/۶۹۳	۲۸/۲۴	۳۴/۷۲	۲۲/۰۲	جنگلی
		۱/۴۰۳	۲۱/۹۷	۲۵/۵۹	۲۰/۰۳	مرتعی
		۲/۸۴۸	۲۰/۳۴	۲۵/۱۴	۱۴/۹۱	زراعی
AW	% g g ⁻¹	۴/۹۹۱	۲۰/۴۷	۳۰/۴۲	۱۱/۳۸	جنگلی
		۱/۷۳۶	۱۸/۷۸	۲۱/۶۵	۱۶/۰۴	مرتعی
		۱/۴۵۳	۴/۸۷۷	۷/۸۴	۳/۱۲	زراعی
Θ _s	% g g ⁻¹	۱/۹۰۳	۶۱/۰۶	۶۵/۱۴	۵۸/۶۹	جنگلی
		۲/۷۵۱	۵۵/۰۸	۵۸/۹۰	۵۱/۰۴	مرتعی
		۴/۶۴۶	۴۸/۷۸	۵۴/۶۷	۴۰/۲۳	زراعی
D _p	g cm ⁻³	۰/۲۷۱	۱/۹۰۵	۲/۳۲	۱/۴۸	جنگلی
		۰/۳۰۰	۲/۰۱۸	۲/۴۲	۱/۳۱	مرتعی
		۰/۲۰۰	۲/۱۶۲	۲/۴۹	۱/۷۶	زراعی
D _b	g cm ⁻³	۰/۱۲۷	۰/۸۸۱	۱/۲۰	۰/۶۹	جنگلی
		۰/۱۰۱	۱/۰۶۷	۱/۲۶	۰/۷۸	مرتعی
		۰/۱۱۶	۱/۳۵۵	۱/۵۹	۱/۱۹	زراعی
n	% cm ³ cm ⁻³	۳/۳۵۷	۵۳/۶۰	۵۸/۸۰	۴۴/۲۳	جنگلی
		۵/۲۳۸	۴۶/۴۶	۵۵/۵۱	۳۹/۰۵	مرتعی
		۴/۴۳۷	۳۷/۰۹	۴۹/۵۰	۳۱/۱۱	زراعی



شکل ۳. نمودار شدت، مدت و فراوانی بارندگی.



شکل ۴. ارتباط بین کربن آلی خاک با رواناب و رسوب تولیدی در کاربری‌های متفاوت در حوزه آبخیز فندوقلو.

بازگشت‌های کوتاه، دوره بازگشت ۲ ساله انتخاب شد (شکل ۳).

با در نظر گرفتن شرایط یکسان در نمونه‌برداری، مقادیر عددی رواناب و رسوب حاصل از دستگاه شبیه‌ساز باران در طی دوره پژوهش و در هر یک از کاربری‌های زراعی، مرتعی و جنگلی در جدول ۳ و شکل ۵ آورده شده است.

۲-۳. اندازه‌گیری رواناب و رسوب با استفاده از دستگاه باران‌ساز

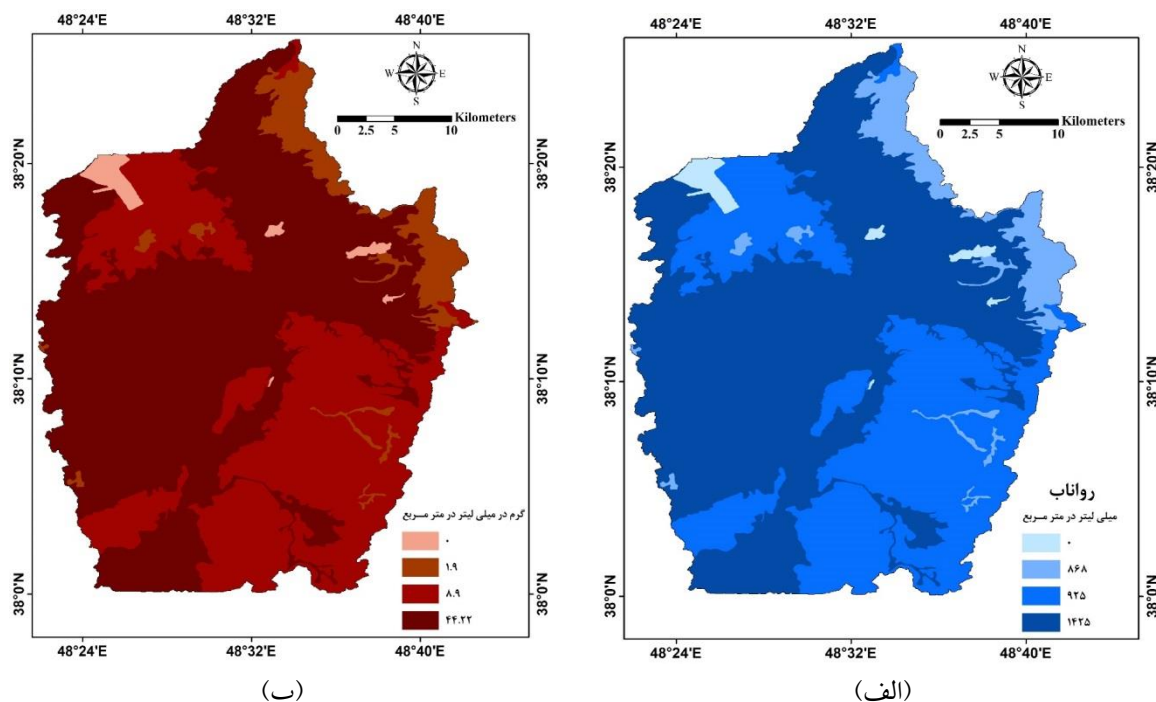
مقدار و شدت بارندگی در دوره بازگشت‌ها و زمان‌های مختلف با استفاده از روش قهرمان و سپاسخواه (۱۳۶۹) به‌دست آمد (جدول ۲). در این تحقیق جهت بررسی مقدار رواناب و رسوب حاصل از بارندگی با دوره

جدول ۲. ویژگی‌های یکسان اعمال شده در دستگاه باران‌ساز برای هر یک از کاربری‌ها.

عامل	بارش (میلی‌متر)	شدت (میلی‌متر بر ساعت)	مدت بارش (دقیقه)	دوره بازگشت (سال)	فشار داخلی مخزن آب (بار)
مقدار	۵/۴۶۶	۲۱/۸۶۷	۱۵	۲	۱

جدول ۳. توصیف آماری رواناب و رسوب اندازه‌گیری شده در سه کاربری.

متغیر	کاربری	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
رواناب (میلی‌لیتر در متر مربع)	جنگلی	۲۲۰	۱۵۹۰	۸۶۸/۵	۳۹۴/۱۲
	مرتعی	۲۶۰	۱۵۹۰	۹۲۵	۴۱۷/۱۶
	زراعی	۲۷۰	۳۵۱۰	۱۴۲۵	۸۸۹/۲۶
رسوب (گرم در میلی‌لیتر در متر مربع)	جنگلی	۰/۲۲	۴/۸۲	۱/۹۳۷	۱/۱۲۸
	مرتعی	۰/۱۳	۶۸/۴۶	۸/۸۸۹	۱۶/۲۷۳
	زراعی	۱/۲۶	۱۴۳/۰۶	۴۴/۲۲۹	۴۵/۰۷۶



شکل ۵. الف) رواناب تولیدی، ب) رسوب تولیدی.

خاکورزی، شخم زمین و برهم زدن خاک سطحی موجب کاهش کربن آلی و در پی آن ترکیب خاک می شود و در نتیجه خلل و فرج خاک کاهش پیدا کرده و جرم مخصوص ظاهری افزایش می یابد که در مطالعات جین و همکاران (۲۰۲۰) و چن و همکاران (۲۰۲۰) به این موضوع اشاره شده است.

مقادیر میانگین جرم مخصوص حقیقی (برحسب گرم بر سانتی متر مکعب) و تخلخل کل خاک (بر حسب درصد) در کاربری های جنگل، مرتع و زراعی به ترتیب از ۱/۹۰۵ تا ۲/۱۶۲ روند افزایشی و از ۵۳/۶۰ تا ۳۷/۰۹ روند کاهشی دارند. دلیل کاهش جرم مخصوص حقیقی در کاربری جنگل به این علت است که بخش آلی خاک ذاتاً دارای جرم مخصوص حقیقی کوچک بوده با افزایش سهم ماده آلی خاک جرم مخصوص حقیقی کاهش می یابد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸b). میزان میانگین کربن آلی (بر حسب درصد) در کاربری های جنگل بیشترین با ۵/۹۱ و در کاربری زراعی با ۲/۳۲ کمترین مقدار مشاهده شد. تغییر کاربری اراضی جنگلی به مرتع و زراعی به علت لگدکوبی بقایای گیاهی و نیز اکسید شدن مواد آلی

مقادیر میانگین رواناب در کاربری های جنگل، مرتع و زراعی به ترتیب برابر با ۸۶۸/۵، ۹۲۵ و ۱۴۲۵ میلی لیتر در مترمربع و همچنین مقادیر میانگین درصد غلظت رسوب در هر یک از کاربری های جنگل، مرتع و زراعی به ترتیب برابر با ۱/۹۳۷، ۸/۸۸۹ و ۴۴/۲۲۹ به دست آمد.

۴. بحث

مقادیر میانگین جرم مخصوص ظاهری در کاربری های جنگل، مرتع و زراعی از ۰/۸۸۱ تا ۱/۳۵۵ گرم در سانتی متر مکعب به دست آمد که روند افزایشی را دارد. در مطالعات عسگری و همکاران (۱۳۹۹) در حوزه آبخیز قره شیروان اردبیل مقدار متوسط جرم مخصوص ظاهری ۱/۱۸ (گرم بر سانتی متر مکعب) و در مطالعات گلشن و همکاران (۱۳۹۷) در حوزه آبخیز شمس آباد اردبیل ۱/۲۳ (گرم بر سانتی متر مکعب) به دست آمده که به نتایج این تحقیق نزدیک می باشد. در کاربری مرتع افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک نسبت به جنگل را می توان به لگدکوبی دام ها در اثر چرای بی رویه نسبت داد (فرارس و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین در کاربری زراعی عملیات

رواناب و رسوب حاصل از دستگاه باران‌ساز در این پژوهش مطابقت دارد.

۵. نتیجه‌گیری

کاربری زراعی با مقدار میانگین جرم‌مخصوص ظاهری برابر با $۱/۳۵۲$ گرم در سانتی‌متر مکعب بیشترین مقدار رواناب و رسوب تولیدی را به‌ترتیب با مقادیر میانگین ۱۴۲۵ میلی‌لیتر و $۴۴/۲۲۹$ گرم در میلی‌لیتر در مترمربع نسبت به کاربری مرتعی و جنگلی دارا است. همچنین نتایج نشان داد حجم رواناب و غلظت رسوب تولیدی در منطقه فندوقلو با تغییر کاربری از جنگل به مرتع و زمین زراعی افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که طبق نتایج دستگاه شبیه‌ساز باران بیشترین مقدار میانگین رواناب و رسوب تولیدی در کاربری زراعی به‌دست آمد. با افزایش پوشش گیاهی مقدار رواناب و رسوب به‌صورت قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. به‌منظور مدیریت رواناب و رسوب تولیدی در این منطقه جلوگیری از تبدیل کاربری اراضی مرتع به کاربری زراعی و تبدیل کاربری زراعی کم‌بازده به کاربری مرتع می‌تواند تأثیرگذار است. استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران در تعیین برآوردی از مقدار رواناب و رسوب در حوزه‌های آبخیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. دستگاه شبیه‌ساز باران مورد استفاده در مطالعات صحرایی با توجه به این که باید با دست جهت نصب در محل مورد نظر حمل شوند بسیار زمان‌بر می‌باشد. همچنین محل نصب در عرصه دارای خصوصیات بسیار متفاوتی می‌باشند که نیاز به برداشت تعداد نمونه‌های بالایی دارد که باعث افزایش هزینه می‌شود.

منابع

اسمعیلی، ا. و عبدالحی، خ. (۱۳۹۰). *آبخیزداری و حفاظت خاک*. چاپ دوم. اردبیل: انتشارات دانشگاه اردبیل، ص ۵۴۶.

بهتری، م. و واعظی، ع. (۱۳۹۶). تأثیر مقدار رطوبت اولیه

خاک در این عملیات، شخم باعث کاهش کربن آلی خاک شده است. کولینز و همکاران (۲۰۱۹) کاهش کربن آلی در اثر کشت و کار را به‌دلیل به‌هم خوردن خاک سطحی، در نتیجه تسریع تجزیه بیولوژیک مواد آلی و تشدید فرسایش خاک و به‌دنبال آن هدر رفت مواد آلی همراه با رواناب گزارش کردند. همچنین در مطالعات کیوان بهجو و همکاران (۱۳۹۵) در اکوسیستم‌های مرتعی تالش، لگدکوبی در عرصه‌های جنگلی از عوامل اصلی کاهش تخلخل کل و مواد آلی خاک بیان شده است.

با توجه به مقادیر میانگین غلظت رسوب در کاربری‌های جنگل، مرتع و زراعی به‌ترتیب برابر با $۱/۹۳۷$ ، $۸/۸۸۹$ و $۴۴/۲۲۹$ مقدار متوسط رسوب در کل منطقه برابر با $۱۸/۳۵$ است. میزان تولید رسوب در مطالعات گلشن و همکاران (۱۳۹۷) در اردبیل، بهتری و واعظی (۱۳۹۶) در زنجان، فرهودی و همکاران (۱۳۹۷) در کرمانشاه و رستگار و همکاران (۱۳۹۲) در نور مازندران به‌ترتیب $۲۲/۴$ ، $۱۷/۳$ ، $۸/۸۳$ و $۱۰/۷$ گرم بر لیتر به‌دست آمد که نتایج این تحقیق با مطالعات انجام شده مطابقت دارد. در این مطالعه علت افزایش رواناب و رسوب از کاربری جنگل به مرتع و از مرتع به زراعی را می‌توان در تقلیل پوشش گیاهی و در نتیجه برخورد مستقیم قطرات باران با سطح خاک، کاهش مواد آلی خاک، تغییر در دانه‌بندی خاک، افزایش جرم‌مخصوص ظاهری، فشردگی خاک، شخم در جهت شیب و چرای دام بیان داشت (اسمعیلی و همکاران، ۲۰۲۰). به‌طوری‌که بیشترین مقدار رواناب از ۱۰۴ پدیده بارش رخ داده در کاربری زراعی به مقدار ۳۵۱۰ میلی‌لیتر و کمترین رواناب نیز در کاربری جنگلی با مقدار ۲۲۰ میلی‌لیتر در مترمربع به‌دست آمد. همچنین بیشترین مقدار غلظت رسوب نیز با $۱۴۳/۰۶$ گرم در میلی‌لیتر در مترمربع به‌دست آمد که با نتایج ویلدهاگر و همکاران (۲۰۱۱) و نیز موسوی و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد.

بنابراین با تغییر کاربری اراضی از جنگل به مرتع و زمین زراعی مقدار ماده آلی خاک تنزل پیدا کرده و مقدار رواناب و رسوب تولیدی افزایش می‌یابد که با داده‌های

- مشهد. مجله علوم و صنایع کشاورزی، ۱(۸)، ۶۶-۵۵.
- فرهودی، م.ح.، بهشتی، ع.، آقاییگی، س.، بذرافشان، ا. و اسماعیلی‌پور، ی. (۱۳۹۷). تأثیرپذیری رواناب و رسوب از افزودنی‌های ورمی کمپوست و کاه و کلش. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۲۹(۱)، ۱۲-۱.
- قهرمان، ب. و سپاسخواه، ع. (۱۳۶۹). تخمین رابطه شدت و تناوب بارندگی در ایران با استفاده از باران یک ساعته ده‌ساله. *مجموعه مقالات سومین کنگره بین‌المللی مهندسی راه و ساختمان ایران* ۲۴-۲۸ اردیبهشت دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز.
- کاویان، ع.، عسگریان، ر.، جعفریان جلودارلو، ز. و بهمنیار، م.ع. (۱۳۹۸). اثر خصوصیات خاک بر تولید رواناب و رسوب در مقیاس مزرعه (مطالعه موردی: بخشی از اراضی کشاورزی اطراف شهرستان ساری). *دانش آب و خاک*، ۴(۲۳۹)، ۵۷-۴۵.
- کیوان بهجو، ف.، زندی اصفهان، ا. و محبوب، ب. (۱۳۹۵). مطالعه تأثیر فعالیت‌های تفریحی بر تغییرات خاک در اکوسیستم مرتعی تالش. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۳(۲)، ۳۵۶-۳۴۴.
- گلشن، م.، کاویان، ع.، اسمعیلی، ا. و زیگلر، ا. (۱۳۹۷). مدل‌سازی تولید رواناب و رسوب با استفاده از خصوصیات هیدروژئومورفولوژیک در حوزه آبخیز سامیان، استان اردبیل. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۲(۴۳)، ۱۲۷-۱۱۶.
- یوسف‌پور، ر.، مهاجر، م. و ثاقب، خ. (۱۳۸۳). بررسی توالی توده‌های راش در جنگل‌های فندقلو اردبیل. *مجله منابع طبیعی ایران*، ۵۷(۴)، ۷۱۴-۷۰۳.
- خاک بر تولید رواناب و هدر رفت خاک در بافت‌های مختلف تحت باران شبیه‌سازی شده. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۱(۳۹)، ۱۹-۱۱.
- ذولفقاری، ع.ا. و حاج‌عباسی، م.ع. (۱۳۸۷). تأثیر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات فیزیکی و ابرگریزی خاک در مراتع فریدون‌شهر و جنگل‌های لردگان. *آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۲(۲)، ۲۵۱-۲۶۲.
- رستگار، ش.، بارانی، ح.، دریجانی، ع. و بردی شیخ، و. (۱۳۹۲). مقایسه میزان هدررفت خاک و رسوب برخی سازندهای زمین‌شناسی در گرا دیان‌های پوشش گیاهی با استفاده از شبیه‌ساز باران. *مرتع و آبخیزداری*، ۶۷(۱۹)، ۴۴-۳۱.
- صادقی، س.ح.، مصطفی‌زاده، ر. و سعدالدین، ا. (۱۳۹۴). پاسخ رسوب نمود و حلقه‌های سنج‌رسوب به نوع و توزیع مکانی کاربری اراضی. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۷(۱)، ۱۵-۶.
- عسگری، ا.، اسمعیلی‌عوری، مصطفی‌زاده، ر. و احمدزاده، غ. (۱۳۹۷). تغییرات مکانی رواناب، رسوب و آستانه شروع رواناب در حوزه آبخیز قره‌شیروان اردبیل. *فیزیک زمین و فضا*، ۴۴(۳)، ۷۱۳-۶۹۷.
- عسگری، ا.، اسمعیلی‌عوری، مصطفی‌زاده، ر. و احمدزاده، غ. (۱۳۹۹). تأثیر سازندهای مختلف زمین‌شناسی حوضه آبریز قره‌شیروان اردبیل بر تولید رواناب و رسوب با استفاده از شبیه‌ساز باران. *هیدروژئومورفولوژی*، ۶(۲۲)، ۲۰۳-۱۷۷.
- علیزاده، ا. (۱۳۷۳). روابط شدت - تناوب بارندگی در

Asgari, E., Hoseini, S. Z., Mostafazadeh, R., & (2021). Determination of the Relationship and Spatial Variations of Discharge and Suspended Sediment Values in Watersheds of Ardabil Province. *Geography and Development*, 18(61), 143-148.

Bauer, A., & Blak, AL. (1992). Organic carbon effects on available water capacity of three soil textural groups. *Journal Soil Science Society of American*, 56(1), 248 -254.

Begueria, S., Lopez-Moreno, J. I., Gomez-Villar,

A., Rubio, V., Lana-Renault, N., & Garcia-Ruiz, J. M. (2006). Fluvial adjustments to soil erosion and plant cover changes in the central Spanish Pyrenees. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 88 A, 177-186.

Biddoccu, M., Ferraris, S., Opsi, F., & Cavallo, E. (2016). Long-term monitoring of soil management effects on runoff and soil erosion in sloping vineyards in Alto Monferrato (North-West Italy). *Soil and Tillage Research*, 155, 176-189.

- Bissonnais, Y. L., Monnier, C., Jamagne, M., Daroussin, J., & King, D. (2001). Mapping erosion risk for cultivated soil in France. *Catena*, 46, 207-220.
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Bulk density, P 363-375. In: Klute, A. (Ed). *Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. Agronomy. Monograph. 9.* ASA, Madison, WI.
- Chen, K. Y., Liu, Y. T., Hsieh, Y. C., & Tzou, Y. M. (2020). Organic fragments newly released from heat-treated peat soils create synergies with dissolved organic carbon to enhance Cr (VI) removal. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 201, 110800.
- Collins, H. P., Paul, E. A., Paustian, K., & Elliott, E. T. (2019). Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In *Soil organic matter in temperate agroecosystems*, 51-72. CRC Press.
- Danielson, R. H., & Suterland, P.L. (1986). Porosity. In: Klute, A (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph, 9. 2nd edition, ASA and SSSA, Madison, WI.* 443 - 460.
- Esmali Ouri, A., Golshan, M., Janizadeh, S., Cerdà, A., & Melesse, A. M. (2020). Soil erosion susceptibility mapping in Kozetopraghi catchment, Iran: a mixed approach using rainfall simulator and data mining techniques. *Land*, 9(10), 368.
- Ferreras, L., Gumez, E., Toresani, S., Firpo, I., & Rotondo, R. (2006). Effects of organic amendments on some physical. *chemical and biological properties in a horticultural soil Bio resource Technology*, 97, 635-640.
- Golshan, M., Kaviani, A., Esmali Ouri, A., & Ziegler, A.D. (2018). Modeling runoff and sediment yield using of Hydro-Geomorphologic characters in Samian watershed, Ardabil Province. *Iranian Journal of watershed Management Science*, 12(43), 116-127.
- Jacob, H., & Clarke, G. (2002). Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A (Ed.). *Methods of soil analysis, Part 4, Physical Method.* Soil Scienc of American, Inc, Madison, Wisconsin, USA. 1692 p.
- Jin, Z., Ping, L., & Wong, M. (2020). Systematic relationship between soil properties and organic carbon mineralization based on structural equation modeling analysis. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123338.
- Jordan, A., & 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.
- Lang, R. D. (1990). The effect of ground cover on runoff and erosion from plots at scone, New South Wales. Unpubl MS Thesis, School of Earth Sciences, Macquarie University, NSW, Australia.
- Molina, A., Govers, G., Vanacker, V., Poesen, J., Zeelmaekers, E., & Cisneros, F. (2007). Runoff generation in a degraded Andean ecosystem: Interaction of vegetation cover and land use. *Catena*, 71, 357 – 370.
- Mosavi, A., Golshan, M., Choubin, B., Ziegler, A. D., Sigaroodi, S. K., Zhang, F., & Dineva, A. A. (2021). Fuzzy clustering and distributed model for streamflow estimation in ungauged watersheds. *Scientific Reports*, 11(1), 1-14.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. PP 539-579. In: Page, AL., Miller, RH. and Keeny, DR. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, Part 2, Soil Science Society of American, Madison, WI.
- Ouyang, W., Hao, F., Skidmor, A. K., & Taxopeus, A.G. (2010). Soil erosion and sediment yield and their relationships with vegetation cover in upper stream of the Yellow River. *Science of the Total Environment*, 409, 396-403.
- Seeger, M. (2007). Uncertainty of factor determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena* 71, 56-67.
- Sheridan, G., Noske, P., Lane, P., & Sherwin, C. (2008). Using rainfall simulation and site measurement to predict annul inter rill erodibility and phosphorus generation rate from unsealed forest roads: Validation against in-site erosion measurements. *Catena* 73, 49-62.
- Wang, Q., Li, C., Pang, Z., Wen, H., Zheng, R., Chen, J., & Que, X. (2018). Effect of grass hedges on runoff loss of soil surface-applied herbicide under simulated rainfall in Northern China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 253, 1-10.
- Wildhaber, Y. S., Banninger, D., Burr, K., & Alewell, C. (2011). Evaluation and application of a portable rainfall simulator on Subalpain grassland, *Catena*, 75, 2-7.
- Zhang, X., Li, Z., Li, P., Tang, S., Wang, T., & Zhang, H. (2018a). Influences of sand cover on erosion processes of loess slopes based on rainfall simulation experiments. *Journal of Arid Land*, 10(1), 39-52.
- Zhang, X., Xin, X., Zhu, A., Yang, W., Zhang, J., Ding, S., & Shao, L. (2018b). Linking macroaggregation to soil microbial community and organic carbon accumulation under different tillage and residue managements. *Soil and Tillage Research*, 178,

- 99-107.
- Zhou, P., Lukkanen, O., Tokalo, T., & Nieminen, J. (2008). Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. *Catena*, 75, 319-325.