

## Investigation of the effects of storm pattern and area characteristics on sediment yield of the watershed

Parisa Fattah<sup>1</sup>, Khosrow Hosseini<sup>2\*</sup>, Seyed Ali Asghar Hashemi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> MSc Student, Water Resources Management Engineering, Department of Water Department, Faculty of Civil Engineering, Semnan University

<sup>2</sup> Professor, Department of Water Department, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Semnan, Iran

Received: 21 July 2022

Accepted: 29 November 2022

### Extended abstract

#### Introduction

Soil is one of the most important natural resources of any country, which plays a key role in food security, self-sufficiency in food production, national economy, and sustainable agriculture. Soil erosion is one of the most obvious factors of soil loss, and rain erosion is one of the most important forms of erosion. Therefore, the knowledge of the processes governing soil erosion and sediment transport is very important in water and soil resources management, as well as, the development of soil erosion models to achieve sustainable development is of great importance. Previous research has shown that rainfall patterns are one of the factors influencing rain erosion. Vegetation also reduces soil erosion by protecting the soil against the effects of raindrops and runoff. Rain erosion is especially important in arid and semi-arid areas due to the lack of vegetation and low initial soil moisture. This research was conducted, regarding the effect of rainfall patterns on rain erosion, by investigating the rainfall pattern and vegetation changes over 25 years in Ebrahim Abad and Royan watersheds situated in Semnan City.

#### Materials and methods

First, the physical characteristics of the watersheds were obtained; using ArcGIS software, and the precipitation information was extracted from the rain gauge sheets with an accuracy of 10 minutes. To compare the rainfall for different amounts of precipitation, the dimensionless cumulative rainfall curve of each event was obtained. The time of each rainfall was divided into 10 parts and the percentage of rainfall was determined for each part. The rainfall curve was divided into 4 quartiles (1st, 2nd, 3rd, and 4th quartiles) depending on the occurrence of the maximum precipitation. According to the information on the sediment layers in check dams located at the outlet of each watershed and the precipitation data, the storm-related to each sediment layer was determined and the effect of the storm pattern on the sediment pattern was investigated. To check the similarity of precipitation and sedimentation patterns in check dams, the average difference in precipitation and sedimentation in each time step and standard deviation changes were used. Considering the dynamic changes of vegetation compared to other characteristics of the watershed, remote sensing data were used to investigate the changes in vegetation and its area. Due to the effective performance and high accuracy of NDVI index and landsat satellite images in dry areas, Google Earth Engine system was used to estimate vegetation cover, manage and recall the satellite images. Then, the influence of watershed characteristics such as slope, area, soil type, shape factor, and vegetation cover on watershed sedimentation was investigated.

#### Results and discussion

The average similarities in precipitation and sediment pattern in Ebrahim Abad and Royan watersheds were 48.2 and 46.1%, respectively. Also, the percentage of coarse-grained sediments augments by increasing the precipitation quarter number, during each storm event, which shows the important role of the rainfall pattern on the sedimentation pattern in each watershed. The average monthly vegetation cover (obtained from Landsat images) in Ebrahim Abad and Royan watersheds during the mentioned period was 5.15 and 4.99%, respectively, which is less estimated than reported by previous research. In this

\* Corresponding author: khoseini@semnan.ac.ir

research, a threshold limit of 0.1 has been used for the NDVI index, in which very weak vegetation has been omitted.

### **Conclusion**

In both watersheds, in more than 51% of cases, by increasing vegetation cover in each storm event, the thickness of the corresponding sediment layer augments, which shows the effect of vegetation cover on the erosion and sedimentation of the watersheds.

**Keywords:** Erosion, Landsat, NDVI, Rainfall changes, Small watersheds

Cite this article: Fattah, P., Hosseini, Kh., Hashemi, S.A.A., 2023. Investigation of the effects of storm pattern and area characteristics on sediment yield of the watershed. *Watershed Engineering and Management* 15 (2), 264–280.

© 2023, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## بررسی اثرات الگوی رگبار و ویژگی‌های منطقه بر رسوبدهی حوزه آبخیز

پریسا فتاح<sup>۱</sup>، خسرو حسینی<sup>۲\*</sup> و سید علی اصغر هاشمی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد مهندسی مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

<sup>۲</sup> استاد گروه آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

<sup>۳</sup> استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، سمنان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۳۰

### چکیده مبسوط

#### مقدمه

خاک یکی از مهمترین منابع طبیعی هر کشور است که نقش کلیدی در امنیت غذایی، اقتصاد ملی و کشاورزی پایدار ایفا می‌کند. فرسایش خاک، از بارزترین عوامل هدررفت خاک است که فرسایش بارانی از شکل‌های مهم آن است. از این‌رو، شناخت دقیق فرایندهای حاکم بر فرسایش خاک و انتقال رسوب در زمینه مدیریت صحیح منابع آب و خاک به‌منظور رسیدن به توسعه پایدار و همچنین توسعه مدل‌های فرسایش خاک از اهمیت بالایی برخوردار است. پژوهش‌های پیشین نشان داده است که الگوی بارش از عوامل تاثیرگذار بر فرسایش بارانی است. پوشش گیاهی نیز با حفظ خاک در برابر اثر قطرات بارش و رواناب از فرسایش خاک می‌کاهد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، با توجه به کمبود پوشش گیاهی و رطوبت اولیه بسیار کم خاک، فرسایش بارانی اهمیت ویژه دارد. این پژوهش با توجه به تاثیر الگوی بارش بر فرسایش بارانی و با بررسی الگوی بارش و تغییرات پوشش گیاهی طی ۲۵ سال در دو حوزه آبخیز ابراهیم‌آباد و رویان شهرستان سمنان انجام گرفت.

### مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، ابتدا ویژگی‌های فیزیکی حوزه‌های آبخیز با کمک نرم‌افزار ArcGIS به‌دست آمد و اطلاعات بارش از باران‌نگار با دقت ۱۰ دقیقه، استخراج شد. به‌منظور مقایسه بارندگی‌ها با مقادیر متفاوت بارش، منحنی بی بعد بارش تجمعی هر رویداد به‌دست آمد. زمان هر بارش به ۱۰ گام زمانی تقسیم شد و برای دهک‌های زمانی آن (گام‌های زمانی)، درصد مقدار بارش مشخص شد. دسته‌بندی رگبارها بسته به این‌که وقوع بیشینه بارش در کدام چارک زمانی اتفاق افتاده است، به چارک‌های یک، دو، سه، چهار تقسیم‌بندی شد. با توجه به بیشترین مقدار بارندگی بارش در هر چارک، الگوهای آن نامگذاری شد. با توجه به اطلاعات لایه‌های رسوبی در سدهای کوتاه مخزنی واقع شده در خروجی هر حوضه و اطلاعات بارش، رگبارهای مربوط به هر لایه رسوبی مشخص شد و تاثیر الگوی رگبار بر الگوی رسوب مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی شباهت الگوهای بارش و رسوب، از معیارهای میانگین اختلاف در هر گام بارش و رسوب و تغییرات انحراف استاندارد استفاده شد. با نگرش به تغییرات پویای پوشش گیاهی نسبت به دیگر ویژگی‌های حوضه برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی و مساحت آن از داده‌های سنجنش از دور استفاده شد. با توجه به عملکرد موثر و دقت زیاد شاخص NDVI و تصاویر ماهواره‌ای لندست در مناطق خشک، برای برآورد پوشش گیاهی، مدیریت و فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای، سامانه Google Earth Engine مورد استفاده قرار گرفت. سپس، به بررسی تاثیر ویژگی‌های

حوضه از جمله شیب، مساحت، جنس خاک، ضریب شکل حوضه و پوشش گیاهی مناطق بر رسوبدهی حوضه‌ها پرداخته شد.

### نتایج و بحث

نتایج نشان داد، میانگین شباهت‌ها در الگوی بارش و رسوب در حوضه‌های ابراهیم‌آباد و رویان به ترتیب ۴۸/۲ و ۴۶/۱ درصد بوده است. همچنین، با افزایش شماره چارک بارش، درصد رسوبات درشت‌دانه نیز طی هر رگبار افزایش یافت که گویای نقش مهم الگوی رگبار بر الگوی رسوبدهی حوضه‌ها است. میانگین ماهانه پوشش گیاهی (حاصل از تصاویر لندست) در حوضه‌های ابراهیم‌آباد و رویان در طی دوره مذکور به ترتیب ۵/۱۵ و ۴/۹۹ درصد به دست آمده است که نسبت به پژوهش‌های پیشین کمتر برآورد شده است. در این پژوهش، از حد آستانه ۰/۱ برای شاخص NDVI استفاده شده است که در آن از پوشش‌های گیاهی بسیار ضعیف صرف‌نظر شده است.

### نتیجه‌گیری

در مجموع می‌توان بیان کرد که در هر دو حوضه در بیش از ۵۱ درصد موارد، با افزایش پوشش گیاهی در هر رگبار، ضخامت لایه رسوب مربوطه کاهش یافته است که تاثیر مقادیر و تغییرات پوشش گیاهی بر فرسایش و رسوب حوضه‌ها را بیان می‌کند.

### واژه‌های کلیدی: تغییرات باران، حوضه‌های کوچک، فرسایش، Landsat, NDVI

### مقدمه

حاکم بر آن، پژوهشگران بسیاری به بررسی عوامل موثر بر فرسایش خاک پرداخته‌اند که نتایج تعدادی از این پژوهش‌ها در دهه گذشته در ادامه بیان شده است.

بررسی تاثیر الگوی بارش بر فرسایش بین‌شیاری با کمک شبیه‌ساز باران نشان داده است که تفاوت معنی‌داری در هدررفت خاک در بین الگوهای مختلف بارندگی وجود دارد (Wang et al., 2017) و پژوهش در حوزه آبخیز Zhenjiangguan با اقلیم خشک و با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی نشان داده است که بارش مهمترین عامل تاثیرگذار بر رواناب و میزان رسوب در حوضه است، به این صورت که تغییر ۱۰ درصدی سالانه بارش می‌تواند ۱۷ تا ۲۴ درصد تولید رسوب را تغییر دهد (Zhang et al., 2019).

همچنین، مطالعه فرسایش‌پذیری خاک لوم با کمک باران‌ساز، نشان داده است که فرسایش ذرات با توجه به بافت آن متفاوت است. به طوری که ذرات کوچک‌تر از هشت میکرون، بیشترین تاثیر را از شیب و ذرات سیلت، ماسه و شن، بیشتر از تغییرات شدت بارش متاثر می‌شوند (Kiani-Harchegani et al., 2019). تحلیل خاک با بافت رسی در منطقه نیمه

فرسایش خاک به عنوان عامل اصلی تخریب خاک در نظر گرفته می‌شود، زیرا فرسایش خاک منجر به از بین رفتن خاک سطحی و مواد آلی خاک می‌شود که برای رشد گیاهان ضروری است (Phuong et al., 2017). فرسایش آبی یک فرایند سه مرحله‌ای که شامل جدا شدن ذرات خاک از توده آن، انتقال ذرات جدا شده تحت انرژی جنبشی قطره‌های باران یا جریان رواناب سطحی و مرحله آخر، رسوبگذاری است و در شکل‌های مختلف از جمله فرسایش پاشمانی، ورقه‌ای، شیاری، بین‌شیاری و غیره به طور همزمان یا مستقل اتفاق می‌افتد (Hao et al., 2019).

شناخت پتانسیل فرسایش در حین بارش‌های نادر و شدید، با توجه به پیش‌بینی‌ها مبنی بر وقوع بیشتر این حوادث در آینده به دلیل تغییرات آب و هوایی بسیار مهم است (Puntenney-Desmond et al., 2020). از عوامل موثر بر فرایند فرسایش خاک می‌توان ویژگی‌های بارندگی، میزان نفوذ خاک، میزان رواناب سطحی، ویژگی‌های خاک و سطح مانند طول شیب را نام برد (Alavinia et al., 2019). با توجه به اهمیت فرسایش خاک و برای شناخت فرایندهای

شاخص<sup>۱</sup> NDVI، یک روش مفید برای تمایز بین عرصه‌هایی با پوشش گیاهی انبوه، تنک و بایر در هر منطقه (Aneseyee et al., 2020) و ابزاری موثر و دارای دقت بالا در طبقه‌بندی پوشش گیاهی است که بیشترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی دارد (Abolfathi et al., 2015). همچنین، شاخصی مفید از شرایط پوشش زمین و ورودی قابل اعتماد به مدل‌های پویای خاک است (Tadesse et al., 2017) که روند صعودی آن نشان‌دهنده افزایش، فراوانی و همگنی پوشش گیاهی زمین و کاهش آن بیان‌کننده سطوح متنوع دیگر از جمله آب، زمین بایر و غیره است (Mohammadyari et al., 2015) و با دما و بارش نیز همبستگی زیادی دارد (Zhang et al., 2019).

شاخص‌های پوشش گیاهی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، دقت نسبتاً بالایی در برآورد پوشش گیاهی مناطق خشک دارند (Pordel et al., 2017). روند صعودی سالانه شاخص NDVI، مربوط به تغییرات بارندگی و دمای هوا و تاثیر آن بر طولانی شدن فصل رشد گیاهان است (Huang et al., 2020). Falahatkar et al., (2018) گزارش کردند که برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای لندست و شاخص‌های NDVI، SAVI<sup>۲</sup>، EVI<sup>۳</sup> و نقشه‌های کاربری اراضی استفاده کرده‌اند و شاخص NDVI نسبت به دو شاخص دیگر طی ۳۰ سال مطالعه، عملکرد بهتری داشته است.

مرور پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که الگوی بارش از عوامل تاثیرگذار بر فرسایش خاک است. این پژوهش، با هدف بررسی ارتباط الگوهای رگبار و ویژگی‌های حوضه با الگوهای رسوب در دو حوزه آبخیز واقع شده در اقلیم خشک و نیمه‌خشک شهرستان سمنان انجام شده است. در راستای این هدف، از اطلاعات بارش، دانه‌بندی رسوبات جمع‌آوری شده در سدهای کوتاه مخزنی واقع در خروجی حوضه ها، اطلاعات پوشش گیاهی و ویژگی‌های فیزیکی از جمله شیب و نوع خاک حوضه استفاده شده است. مطالعه میدانی دو حوزه آبخیز با یک اقلیم و بررسی

خشک استان زنجان در چهار شیب متفاوت در شرایط آزمایشگاهی حاکی از آن است که میانگین قطر ذرات رسوب در قسمت‌های پایین دست متاثر از بافت خاک، شیب و ضربه قطرات باران است و همگنی ذرات در شیب‌های مختلف متاثر از بافت اولیه خاک است (Sadeghian et al., 2020).

الگوی بارش از نوع تاخیری، تا شش برابر بیشتر نسبت به بارش‌های یکنواخت باعث افزایش رواناب و ظرفیت انتقال رسوب می‌شود (Dunkerley, 2012). با بررسی پنج الگوی بارش از جمله پیشین، پیشین-میانی، میانی، میانی-تاخیری و تاخیری نشان داده است که بارش با الگوی تاخیری باعث رواناب بیشتر و هدررفت خاک بیشتری می‌شود و تاثیرات الگوی بارش بر فرایند فرسایش خاک پیچیده و بسیار غیرخطی است (de Lima et al., 2013). دسته‌بندی بارش‌های رخ داده طی بیش از دو دهه، با هدف شناخت الگوی باران‌های موثر بر فرسایش، نشان داده است که الگوی میانی و تاخیری بارش، دارای رواناب و هدررفت خاک بیشتری است (Mehl et al., 2001). تحلیل ۵۴ رویداد بارندگی و الگوهای آن طی سه سال در فلات لس چین نشان داد که الگوی میانی، بیشترین درصد رسوبدهی را ایجاد می‌کند. هرچند الگوی پیشین در این حوضه، الگوی غالب بوده است (Liu et al., 2020). انتظار می‌رود فرسایش تا حد زیادی متاثر از تغییرات بارش باشد. همچنین، بررسی‌ها نشان داده است که تغییرات پوشش گیاهی از عوامل کنترل‌کننده فرسایش است (Jin et al., 2021) که افزایش پوشش گیاهی یک راه حل موثر برای حفاظت از خاک است و باعث کاهش حجم رواناب و بار رسوب می‌شود (Zhao et al., 2019). افزایش پوشش گیاهی می‌تواند ۹۸ تا ۹۹ درصد از فرسایش خاک را نسبت به زمین بایر کاهش دهد که میانگین هدررفت خاک طی رگبارها نسبت به باران‌های معمولی یک تا ۱۵ برابر شده است (Yue et al., 2020). در مناطقی با ساختار گیاهی غیرهمگن، باران اثرات تصاعدی بر فرسایش خاک داشته است و متوسط پوشش گیاهی از عوامل موثر شناخته شده بر فرسایش حوضه است (Zhou et al., 2016).

<sup>1</sup> Normalized Difference Vegetation Index

<sup>2</sup> Soil Adjusted Vegetation Index

<sup>3</sup> Enhanced Vegetation Index

بافت اثرگذار از نوع لوم و کاربری مرتع هستند. در این دو حوضه، میانگین بارش سالیانه ۱۵۵ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۲/۱ درجه سانتی‌گراد است (Hashemi, 2005). در راستای تغذیه آب زیرزمینی و کنترل سیلاب، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری در خروجی این دو حوضه، سدهای خاکی همگن کوچکی در سال ۱۳۷۲ احداث کرده است. مرز حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه، بر اساس مختصات جغرافیایی سدها در محیط نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از مدل رقومی ارتفاع با دقت ۱۲/۵ متر مشخص شدند و نقشه‌های شیب، زیرحوضه‌ها، جهت جریان و آبراهه نیز به دست آمدند. جدول ۱، مشخصات سدها و حوضه‌های آن‌ها و شکل ۱، موقعیت حوضه‌های آبخیز سدها را نشان می‌دهد.

تغییرات الگوی‌های بارندگی و تحلیل اطلاعات دانه-بندی رسوبات حاصل از آن طی یک بازه بلندمدت (۲۵ سال)، باعث شناخت بهتری از تاثیرگذاری عوامل موثر شده است. پژوهش‌های پیشین انجام شده در خصوص تاثیر الگوی بارش بر فرسایش، در مقیاس آزمایشگاهی بوده است و در مقیاس حوزه آبخیز با توجه به عامل‌های متعدد دخیل در فرسایش حوضه، تا کنون صورت نگرفته است.

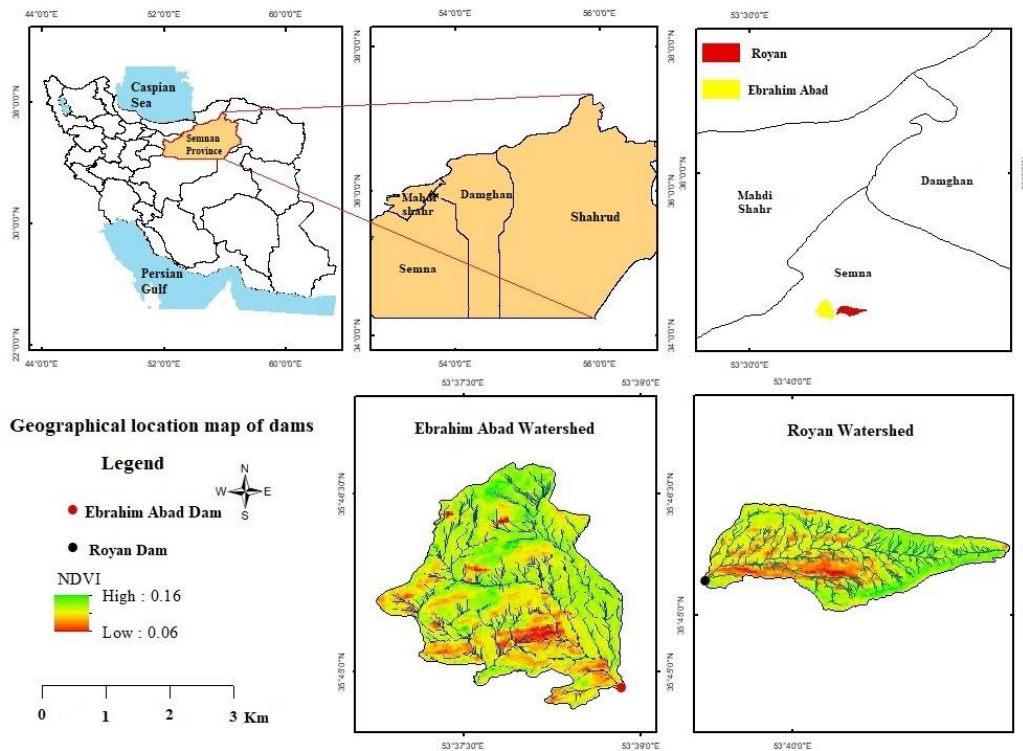
### مواد و روش‌ها

این پژوهش، در حوضه‌های آبخیز ابراهیم‌آباد و رویان واقع در شهرستان سمنان انجام شده است. این دو حوضه دارای اقلیم نیمه‌خشک، با شباهت‌های فیزیکی یکسان از جمله مساحت، فشردگی، شیب و

جدول ۱- مشخصات سدها و حوضه‌های آن‌ها

Table 1. Characteristics of dams and their watersheds

Name of Dam	Longitude	Latitude	Perimeter (km)	Gravillius coefficient	Average slope (°)	Year of dam construction	Area (ha)
Ebrahim Abad	53°38'50.22"	35°44'51.70"	14.02	1.48	12.44	1993	705.06
Royan	53°39'50.26"	35°45'22.12"	15.42	1.87	12.97	1993	531.70



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه‌ها، شبکه آبراهه و وضعیت توپوگرافی

Fig 1. Geographical location of watersheds, waterway network and topography

حوضه، برای پایش تغییرات پوشش گیاهی و مساحت آن از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸، استفاده شد. با توجه به قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روزه ماهواره لندست و پایش تصاویر در بازه ۲۵ سال، برای هر حوضه ۵۷۰ تصویر مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن در شکل ۱، آورده شده است.

**مراحل دریافت اطلاعات پوشش گیاهی:** برای به‌دست آوردن اطلاعات پوشش گیاهی و مدیریت و فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای، سامانه Google Earth Engine مورد استفاده قرار گرفت.

**شاخص پوشش گیاهی NDVI:** شاخص‌های پوشش گیاهی به ویژگی‌های گیاه بستگی دارد و میزان تابش فعال فتوسنتز، مقدار کلروفیل، سطح برگ و ساختار پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. شاخص NDVI، نیز وضعیت پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. این شاخص از تقسیم اختلاف بازتاب نوار مادون قرمز نزدیک و نوار قرمز بر مجموع مقادیر آن‌ها حاصل می‌شود که در رابطه (۳) نشان داده شده است. مقادیر این شاخص بین اعداد منفی یک و مثبت یک متغیر است و برای پدیده‌های آب، ابر و پوشش برف، منفی است. در حالی که این شاخص برای خاک بایر، شن و ماسه نزدیک به صفر است و برای پوشش گیاهی سالم و سرسبز دارای مقادیر مثبت است (Soltani و همکاران، 2021).

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + P_{RED}} \quad (3)$$

**مساحت سطحی پوشش گیاهی منطقه:** برای محاسبه میانگین مساحت پوشش گیاهی منطقه، با ورود به بخش کدنویسی سامانه GEE<sup>1</sup>، ابتدا مناطق مورد مطالعه به سامانه معرفی شد. سپس، تصاویر ماهواره‌ای لندست فراخوانی و کد مربوطه به بازه‌های زمانی ماهانه بر روی تصاویر اعمال و سپس برای شاخص NDVI، حد آستانه ۰/۱ تعریف شد. مجموع مساحت سطحی واحدهای تصاویر با شاخص NDVI بزرگ‌تر از ۰/۱، به‌عنوان مساحت دارای پوشش گیاهی در نظر گرفته و سپس، سری زمانی ماهانه مساحت دارای پوشش گیاهی هر حوضه، دریافت شد.

**استخراج الگوهای رسوب:** اطلاعات لایه‌های رسوب از نتایج پژوهش (Rahgoshay 2019) اخذ شده است.

**داده‌های مورد استفاده، اطلاعات بارش و استخراج الگوی رگبار:** برای بررسی الگوی بارش از ایستگاه شه‌میرزاد با توجه به موقعیت و کامل بودن آمار بارشی آن استفاده شده است و اطلاعات بارش روزانه در قالب برگه‌های باران‌نگار جمع‌آوری و از اطلاعات بارشی آن طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶ استفاده شد. در ابتدا، هر لایه رسوب به بزرگ‌ترین رگبار از نظر مقدار و شدت بارش رخ داده اختصاص داده شد. بارش‌های تطبیق داده شده با لایه‌های رسوب با توجه به بیشترین مقدار بارش رخ داده در هر چارک زمانی، به بارش از نوع چارک یک، دو، سه و چهار نامگذاری شدند. سپس، اطلاعات بارش ۱۰ دقیقه‌ای تمامی برگه‌های باران‌نگار به کمک نرم‌افزار Get Data استخراج و زمان هر بارش به ۱۰ قسمت تقسیم و درصد مقدار بارش در دهک‌های زمانی هر بارش مشخص شد تا بتوان همه بارش‌ها با مقادیر متفاوت را بر اساس دهک‌های زمانی آن یا به عبارتی، گام‌های زمانی بارش، مقایسه کرد. در نهایت، منحنی بی بعد بارش تجمعی هر رویداد به‌دست آمد.

اگر مقدار کل بارش (میلی‌متر) در یک رگبار معین را با  $R_i$  و مقدار بارش از زمان شروع آن تا گام زمانی  $t_i$  با  $r_i$  نشان داده شود، درصد بارش تجمعی تا انتهای بازه زمانی مربوط به هر رگبار با رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$S_i = \frac{r_i}{R_i} \times 100 \quad (1)$$

که در آن،  $S_i$  درصد بارش تجمعی تا انتهای بازه زمانی  $t_i$  و درصد زمان متناظر با  $S_i$  از رابطه (۲) به‌دست آمد و  $n$  مجموع گام‌های زمانی است (Alavi و همکاران، 2019). در این پژوهش،  $n$  برابر با ۱۰ در نظر گرفته شده است زیرا هر بارش به ۱۰ گام زمانی تقسیم شده است.

$$t_i = \frac{i}{n} \times 100 \quad (2)$$

**مشخصات حوضه:** مشخصات حوضه شامل موقعیت جغرافیایی، شیب، مساحت و ضریب شکل، از تصاویر ماهواره‌ای و به کمک نرم‌افزار ArcGIS استخراج شد. در جدول و شکل ۱، جزئیات و موقعیت و شبکه آبراهه‌های حوضه‌ها نشان داده شده است.

**داده‌های سنجش از دور:** با توجه به اهمیت پوشش گیاهی و تغییرات پویای آن نسبت به دیگر ویژگی‌های

<sup>1</sup> Google Earth Engine

ابراهیم‌آباد را نشان می‌دهد. در این پژوهش، با توجه به اطلاعات خام رسوبات برداشته شده، ساخت و تحلیل الگوهای دانه‌بندی رسوبات انجام گرفت. اطلاعات درصد ذرات خاک رس، سیلت، ماسه و شن مربوط به هر افق رسوبی در دو حوضه به‌صورت الگوی رسوبی ترسیم و برای تحلیل در مراحل بعد آماده شدند.

آن‌ها رسوبات مخازن حوضه‌های مورد نظر را نمونه برداری و پس از دانه‌بندی، به کمک مثلث فولک، افق‌های رسوبات را نامگذاری و افق‌های رسوبی پروفیل‌های برداشته شده در هر حوضه را ترسیم کرده‌اند. برای حوضه‌های ابراهیم‌آباد و رویان به‌ترتیب، ۱۵ و ۱۳ لایه رسوبی که مجموع ضخامت لایه‌های رسوبی آن‌ها به‌ترتیب ۱۹۵ و ۲۰۵/۵ سانتی‌متر بوده، مشخص شده است. برای نمونه، جدول ۲، افق رسوبی حوضه

جدول ۲- افق‌های رسوبی حوضه ابراهیم‌آباد (Rahgoshay, 2019)

Table 2. Sedimentary horizons of Ebrahim Abad Watershed (Rahgoshay, 2019)

Sample number	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture of sediment	Thickness of layers (cm)
EB <sub>1</sub>	0	6.2	79.1	14.7	Silt	10
EB <sub>2</sub>	0	6.1	76.4	17.5	Silt	12
EB <sub>3</sub>	0.2	54.8	39.3	5.7	Silty sand	18
EB <sub>4</sub>	0	4	75.5	20.5	Silt	6
EB <sub>5</sub>	0	50.6	41.5	7.9	Sandy silt	19
EB <sub>6</sub>	0	6.7	76	17.3	Silt	20
EB <sub>7</sub>	0	35.5	55.1	9.3	Sandy silt	4
EB <sub>8</sub>	0	6	70.7	23.3	Silt	24
EB <sub>9</sub>	0	31.5	59.6	8.9	Sandy silt	2
EB <sub>10</sub>	0	11.8	70.5	17.7	Sandy silt	5
EB <sub>11</sub>	13.2	53.3	25.5	8	Gravelly silty sand	10
EB <sub>12</sub>	0	48.1	46.5	5.3	Sandy silt	15
EB <sub>13</sub>	0.5	9.1	69.7	20.6	Sandy silt	28
EB <sub>14</sub>	0.2	32.6	60	7.2	Sandy silt	4
EB <sub>15</sub>	0.1	6.7	73.4	19.9	Silt	18

رگبارها از نوع چارک یک، دو، سه و چهار، به بررسی شباهت‌های موجود در بین الگوهای بارش و رسوب، در هر گروه بارشی با چارک یکسان پرداخته شد. در مرحله آخر به بررسی شباهت‌های موجود در بین الگوهای بارش و رسوب در افق‌هایی با نوع رسوب یکسان، پرداخته شد و برای تک بودن چارک بارش (الگوی بارش) و نوع رسوب لایه رسوبی که امکان مقایسه وجود نداشت، تحلیل صورت نگرفت.

معیارهای شباهت بین الگوهای بارش با نوع چارک یکسان و همچنین، الگوی رسوب یکسان در جدول ۳، آورده شده است. برای مثال بارش P<sub>1</sub> مربوط به سطحی‌ترین لایه رسوبی است و بارش P<sub>2</sub> مربوط به لایه دوم رسوب از سطح زمین است و هر دو در گروه چارک دو قرار می‌گیرند. برای بررسی شباهت میان این دو بارش، ابتدا میانگین اختلاف درصد بارش در هر گام و سپس تغییرات انحراف استاندارد آن‌ها محاسبه شد. این دو بارش، رسوباتی از نوع سیلت به همراه داشته‌اند. برای بررسی شباهت میان الگوهای رسوبی، میانگین اختلاف و تغییرات انحراف استاندارد

تطبیق الگوی بارش و الگوی رسوب: در ابتدا، برای هر حوضه از ۳۲۳ رگبار موجود، تعداد ۵۰ رگبار، با بیشترین مقدار بارش تجمعی و میانگین شدت بارش، انتخاب شدند. سپس، با توجه به نوع رسوب، ضخامت و ترتیب نهشته شدن هر افق رسوبی در هر حوضه با سه تا پنج مرتبه آزمون و خطا، رگبارهایی به افق‌های رسوبی آن نظیر شدند و به‌ترتیب نهشته شدن لایه‌ها از سطح زمین، بارش‌ها در هر حوضه شماره‌گذاری شدند. انتخاب تعدادی رگبار (متناسب با لایه‌های رسوبی پشت سدها) از میان ۵۰ بارش، بر اساس بارش‌هایی که مدت زمان بارش آن‌ها کمتر از ۵۰ درصد بارش بیشینه‌ای و بیشتر از زمان تمرکز حوضه بوده است و اطمینان از آورد رسوبات به‌واسطه آن بارش به پشت سدهای کوتاه مخزنی، صورت گرفته است.

بنابراین، هم شدت و هم حجم بارش در محدوده بارش حداکثری برای انتخاب بارش‌ها صورت گرفته است و به هر یک از لایه‌های رسوبی بارشی تخصیص یافته است. در هر حوضه، با توجه به دسته‌بندی



ندارد، ولی شباهت بسیار زیاد در الگوی رسوب وجود دارد. در بارش‌های P<sub>5</sub> و P<sub>12</sub>، الگوی بارش به‌طور ناگهانی تغییر می‌کند، به‌گونه‌ای که شیب منحنی الگوی رسوب نیز ناگهان تغییر می‌کند که منجر به افزایش درصد ماسه‌های درشت دانه‌های در نمونه‌ها می‌شود.

بارش‌های P<sub>3</sub>، P<sub>7</sub> و P<sub>8</sub> از نوع چارک سه هستند. بارش‌های P<sub>3</sub> و P<sub>7</sub> شباهت بسیار زیاد در الگوی بارش ولی شباهت کم در الگوی رسوب دارند. بارش‌های P<sub>3</sub> و P<sub>8</sub> نیز شباهت خوبی در الگوی بارش دارند اما در الگوی رسوب بدون شباهت هستند. بارش‌های P<sub>11</sub>، P<sub>13</sub> و P<sub>15</sub> از نوع چارک چهار هستند. بارش‌های P<sub>11</sub> و P<sub>13</sub> دارای شباهت بسیار زیاد در الگوی بارش اما عدم شباهت در الگوی رسوب آن‌ها دیده می‌شود. بارش‌های P<sub>13</sub> و P<sub>15</sub> شباهت زیاد در الگوی بارش و شباهت بسیار زیاد در الگوی رسوب دارند. شکل ۲، الگوی بارش‌ها و رسوبات آن را نشان می‌دهد که محور مربوط به گام‌های زمانی، بارش بی بعد بوده و هر گام، ۱۰ درصد زمان بارش را نشان می‌دهد.

به‌صورت کلی، در تمام رگبارها، سیلت بخش عمده رسوبات فرسایش یافته حوضه را شامل می‌شود. در خصوص رگبارهایی که شدت آن‌ها بیشتر (منحنی‌های تجمعی با شیب تندتر) است، مصالح درشت دانه‌تر با جنس ماسه نیز مشاهده می‌شود.

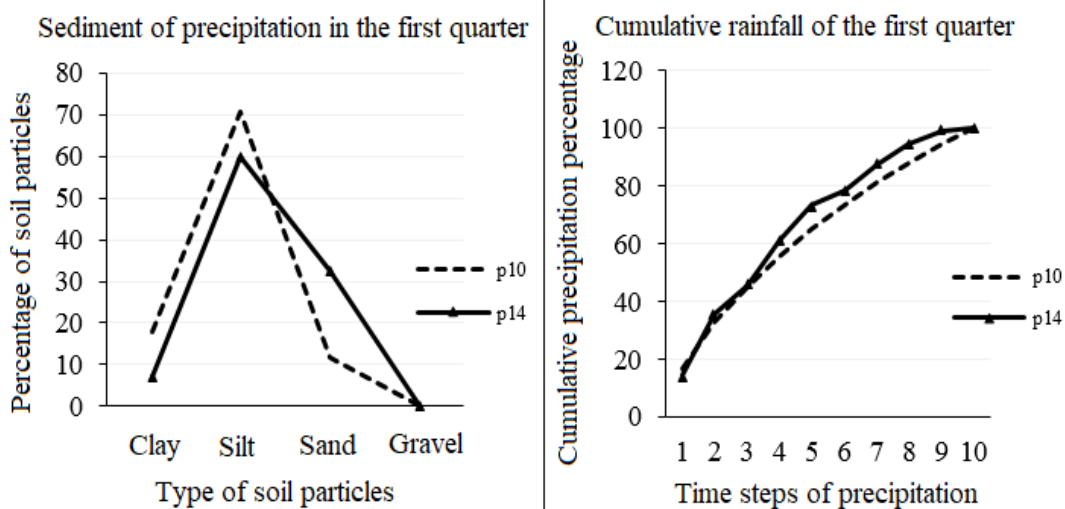
برای درصد ذرات خاک‌های رس، سیلت، ماسه و شن مربوط به هر دو افق رسوبی محاسبه شد.

جدول ۳- معیارهای شباهت الگوی بارش یا الگوی رسوب  
Table 3. Similarity criteria of precipitation pattern or sedimentation pattern

Similarity type	Very high	High	Good	Low
The average difference in each step of precipitation and sediment (%)	0-4	4-6	6-8	8-10
Standard deviation changes	0-3.5	0.5-4.5	2-4.5	4-8.5

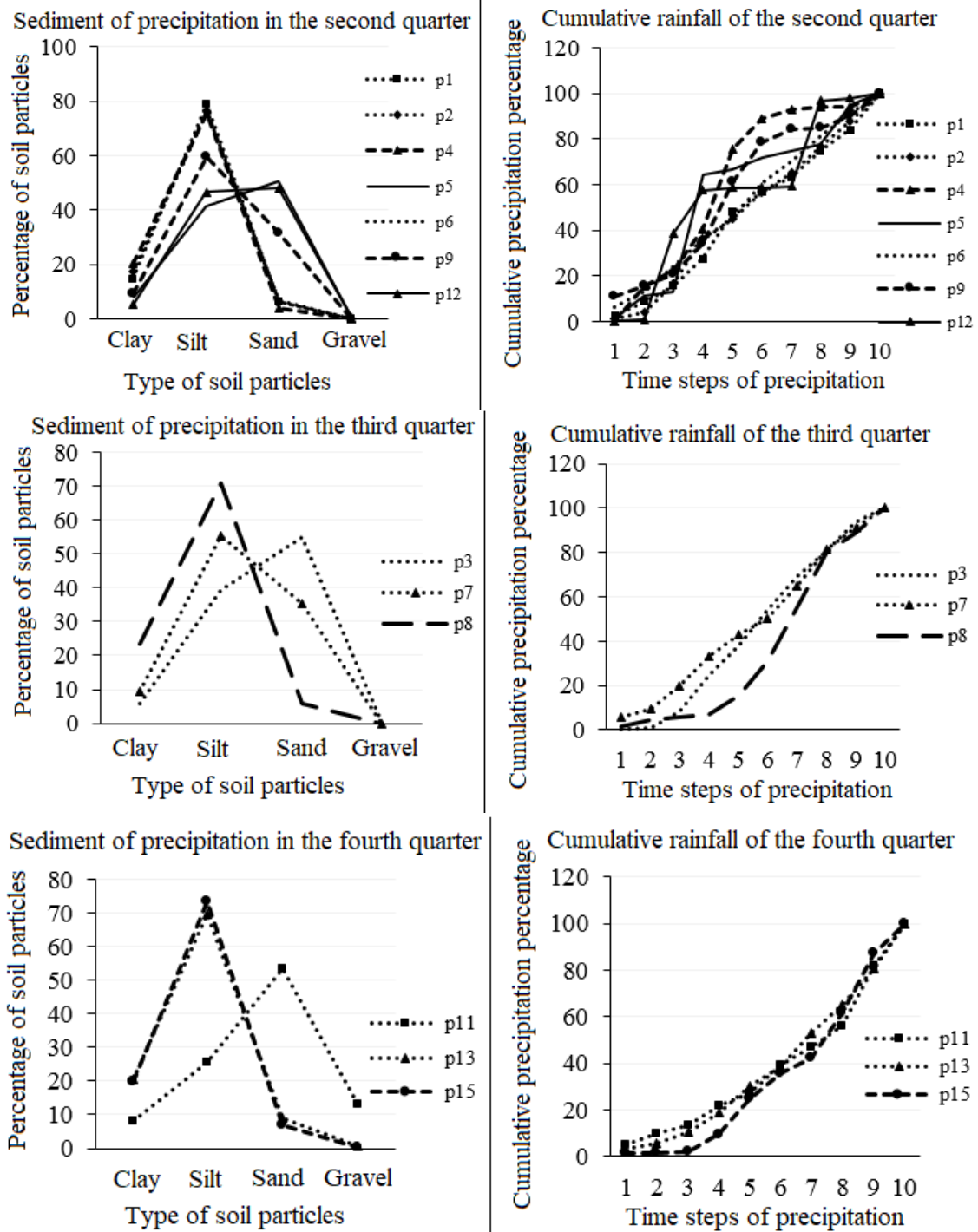
### نتایج و بحث

بررسی الگوی بارش و رسوب در چارک‌های یکسان در حوضه ابراهیم‌آباد: در این حوضه، P<sub>10</sub> و P<sub>14</sub> (به‌ترتیب بارش مربوط به افق ۱۰ و ۱۴ رسوبی از سطح زمین) از نوع چارک یک هستند که در الگوی بارش شباهت بسیار زیاد و در الگوی رسوب شباهت کمی دارند. بارش‌های P<sub>1</sub>، P<sub>2</sub>، P<sub>3</sub>، P<sub>4</sub>، P<sub>5</sub>، P<sub>6</sub>، P<sub>9</sub> و P<sub>12</sub> از نوع چارک دو هستند. بارش‌های P<sub>1</sub>، P<sub>2</sub> و P<sub>6</sub> شباهت بسیار زیادی در الگوی بارش و رسوب خود دارند. بارش‌های P<sub>4</sub> و P<sub>9</sub>، شباهت خوبی در الگوی بارش و شباهت کمی در الگوی رسوب دارند. در بارش‌های P<sub>5</sub> و P<sub>12</sub>، شباهتی در الگوی بارش وجود



شکل ۲- الگوی بارش‌هایی از نوع چارک یکسان و رسوب‌های متناظر با آن در حوضه ابراهیم‌آباد

Fig 2. The pattern of rainfall of the same quarter type and the corresponding sediments in Ebrahim Abad Watershed



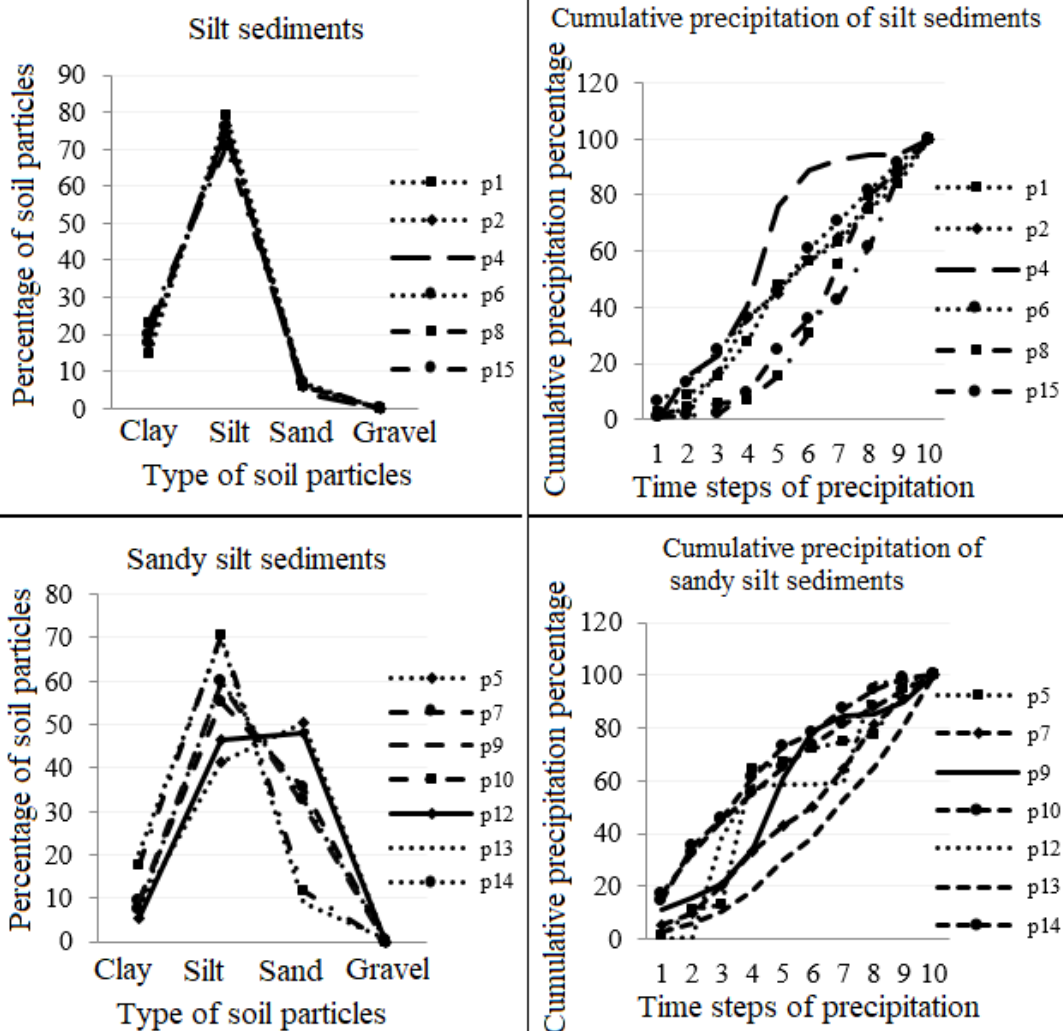
ادامه شکل ۲  
Fig 2 Continued

شباهت بسیار زیادی دارند و بارش‌های  $P_4$  و  $P_6$  شباهت خوبی در الگوی بارش و شباهت بسیار زیادی در الگوی رسوب دارند. بارش‌های  $P_5$ ،  $P_7$ ،  $P_9$ ،  $P_{10}$ ،  $P_{12}$ ،  $P_{13}$  و  $P_{14}$  رسوباتی از نوع سیلت ماسه‌ای به همراه داشته‌اند. بارش‌های  $P_{10}$  و  $P_{13}$ ، همچنین بارش‌های  $P_9$  و  $P_{14}$  شباهت خوبی در الگوی بارش و رسوب

بررسی الگوی رسوب و بارش در افق‌های رسوبی یکسان برای حوضه ابراهیم‌آباد: رسوبات این حوضه شامل سیلت، ماسه سیلتی، سیلت ماسه‌ای و ماسه سیلتی گراولی است. بارش‌های  $P_1$ ،  $P_2$ ،  $P_4$ ،  $P_6$ ،  $P_8$  و  $P_{15}$  رسوباتی از نوع سیلت به همراه داشته‌اند. بارش‌های  $P_1$ ،  $P_2$ ،  $P_6$ ،  $P_8$  و  $P_{15}$  در الگوی بارش و رسوب

بسیار زیاد در الگوی بارش دارند اما بارش‌های  $P_{10}$  و  $P_{14}$  که دارای شباهت یکسان در الگوی بارش هستند و با  $P_{12}$  شباهتی ندارند، در الگوی رسوبگذاری نیز این عدم شباهت‌ها مشخص است. شکل ۳، الگوی رسوبی در افق‌های رسوبی یکسان و بارش‌های متناظر آن را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۳، مشخص است، سیلت، رسوب غالب را تشکیل می‌دهد و بارش‌هایی که باعث حمل رسوبات ماسه‌ای از حوضه شده‌اند، در برخی از بخش‌های منحنی تجمعی دارای شب تندرتری هستند.

شباهت بسیار زیادی در الگوی رسوب دارند. بارش‌های  $P_7$  و  $P_{10}$  شباهت زیادی در الگوی بارش دارند ولی در الگوی رسوب شباهتی ندارند و بارش‌های  $P_{10}$  و  $P_{14}$  شباهت بسیار زیاد در الگوی بارش و شباهت کم در الگوی رسوب دارند. بارش‌های  $P_7$  و  $P_{14}$  شباهت زیادی در الگوی بارش و الگوی رسوب دارند. بارش‌های  $P_7$  و  $P_{13}$  نیز شباهت بسیار زیاد در الگوی بارش و شباهت خوبی در الگوی رسوب دارند. در بارش‌های  $P_5$  و  $P_{12}$  شباهتی در الگوی بارش وجود ندارد اما شباهت بسیار زیاد در الگوی رسوب وجود دارد. بارش‌های  $P_7$  و  $P_9$  نیز شباهت خوبی در الگوی بارش و شباهت



شکل ۳- الگوی رسوبی افق‌های رسوبی یکسان و بارش‌های متناظر آن در حوضه ابراهیم‌آباد

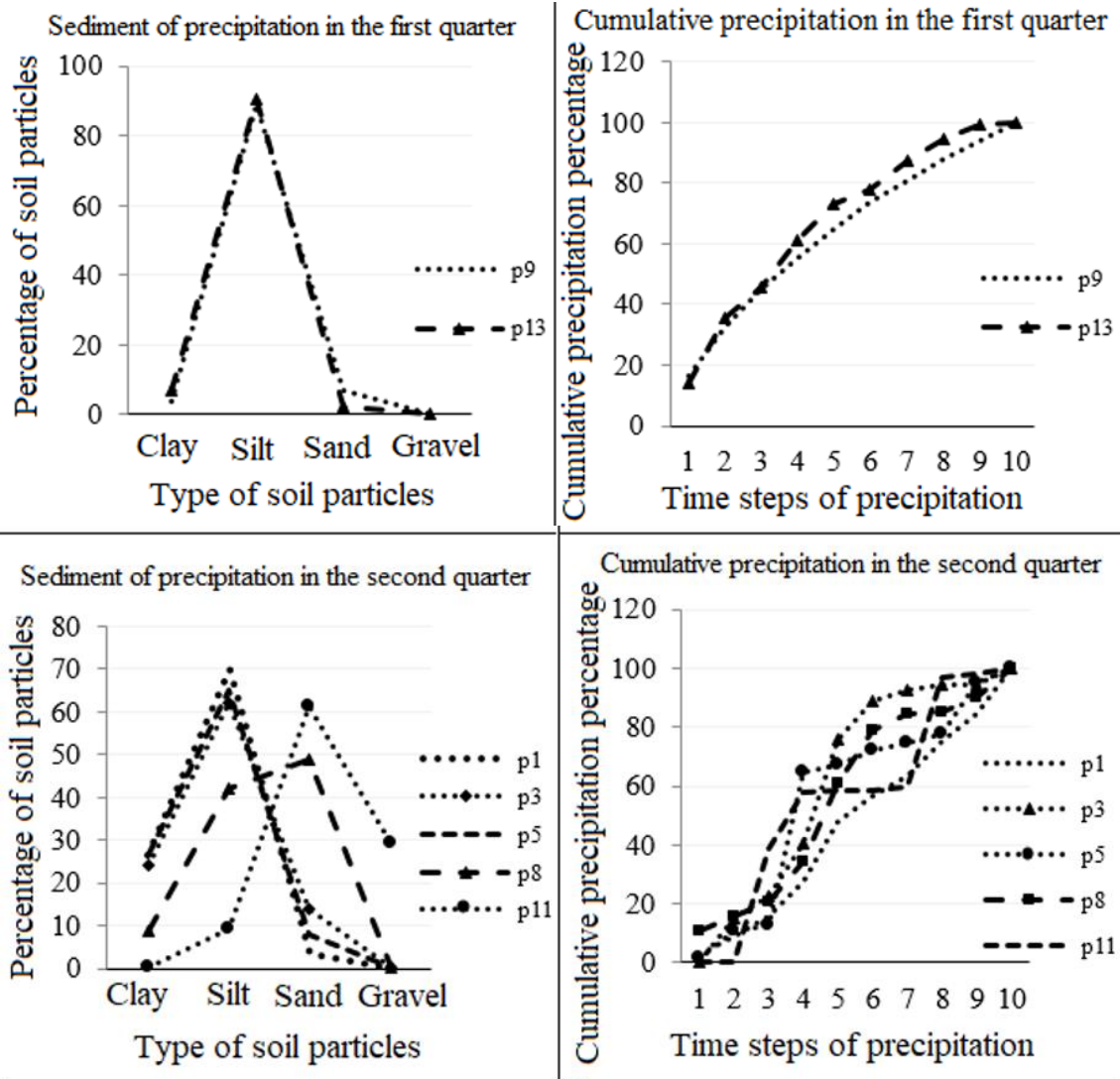
Fig 3. The sedimentary pattern of the same sedimentary horizons and its corresponding rainfall in the Ebrahim Abad Watershed

$P_{13}$  و  $P_9$  بارش‌هایی از نوع چارک یک هستند که در الگوی بارش و رسوب شباهت بسیار زیادی دارند.

بررسی الگوی بارش و رسوب در چارک‌های یکسان در حوضه رویان: در این حوضه بارش‌های

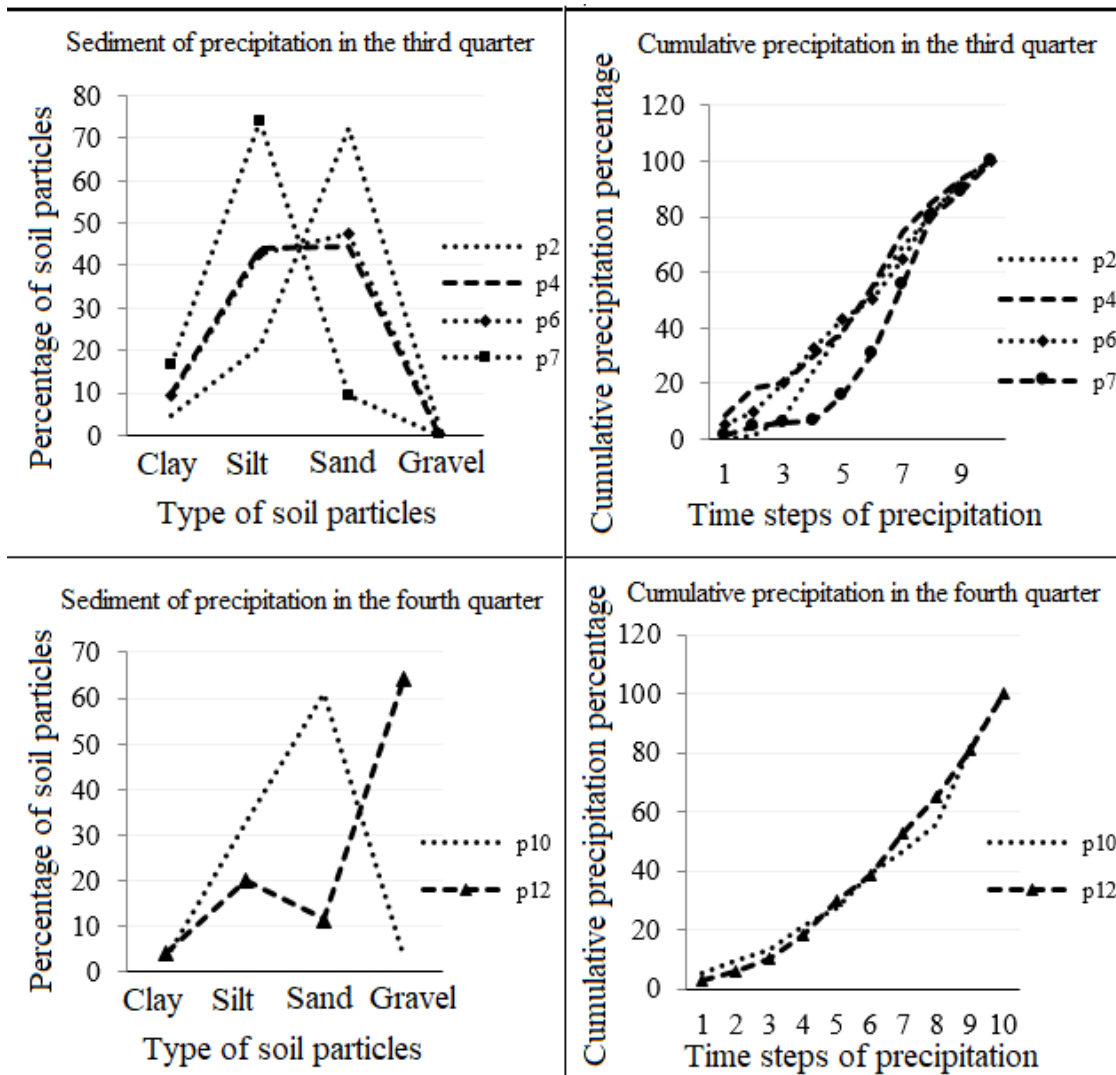
ندارند. بارش‌های P<sub>2</sub> و P<sub>7</sub> شباهت زیادی در الگوی بارش دارند ولی شباهتی کاملاً معکوس و زیادی با یکدیگر دارند. بارش‌های P<sub>10</sub> و P<sub>12</sub> از نوع چارک چهار هستند که در الگوی بارش شباهت بسیار زیادی دارند اما در الگوی رسوب شباهتی ندارند. شکل ۴، الگوی بارش‌ها و رسوبات متناظر با آن را نشان می‌دهد. رسوبات فرسایش یافته حوضه عمدتاً سیلت و در مواردی با ماسه و رس همراه بوده است. همچنین، شیب تند در منحنی‌های تجمعی بارش نشان‌دهنده ذرات خاک درشت است و برای بارش‌های چارک دو و سه، سهم رس نسبت به چارک‌های دیگر بیشتر است.

بارش‌های P<sub>1</sub>، P<sub>3</sub>، P<sub>5</sub> و P<sub>8</sub> از نوع چارک دو هستند. بارش‌های P<sub>1</sub> و P<sub>3</sub> شباهت خوبی در بارش و شباهت بسیار زیاد در الگوی رسوب دارند. بارش‌های P<sub>8</sub> و P<sub>11</sub> شباهتی در الگوی بارش و در الگوی رسوب ندارند. بارش‌های P<sub>3</sub> و P<sub>8</sub> شباهت زیادی در الگوی بارش و شباهت کم در الگوی رسوب دارند. بارش‌های P<sub>1</sub> و P<sub>8</sub> نیز شباهت زیادی در الگوی بارش دارند و شباهت کم در الگوی رسوب دارند. بارش‌های P<sub>2</sub>، P<sub>4</sub>، P<sub>6</sub> و P<sub>7</sub> از نوع چارک سه هستند که بارش‌های P<sub>4</sub> و P<sub>6</sub> شباهت بسیار زیاد در الگوی بارش و رسوب دارند و بارش P<sub>2</sub> نیز شباهت زیادی در الگوی بارش با بارش‌های P<sub>4</sub> و P<sub>6</sub> دارد اما در الگوی رسوب شباهتی



شکل ۴- الگوی بارش‌هایی از نوع چارک یکسان و رسوب‌های متناظر با آن در حوضه رویان

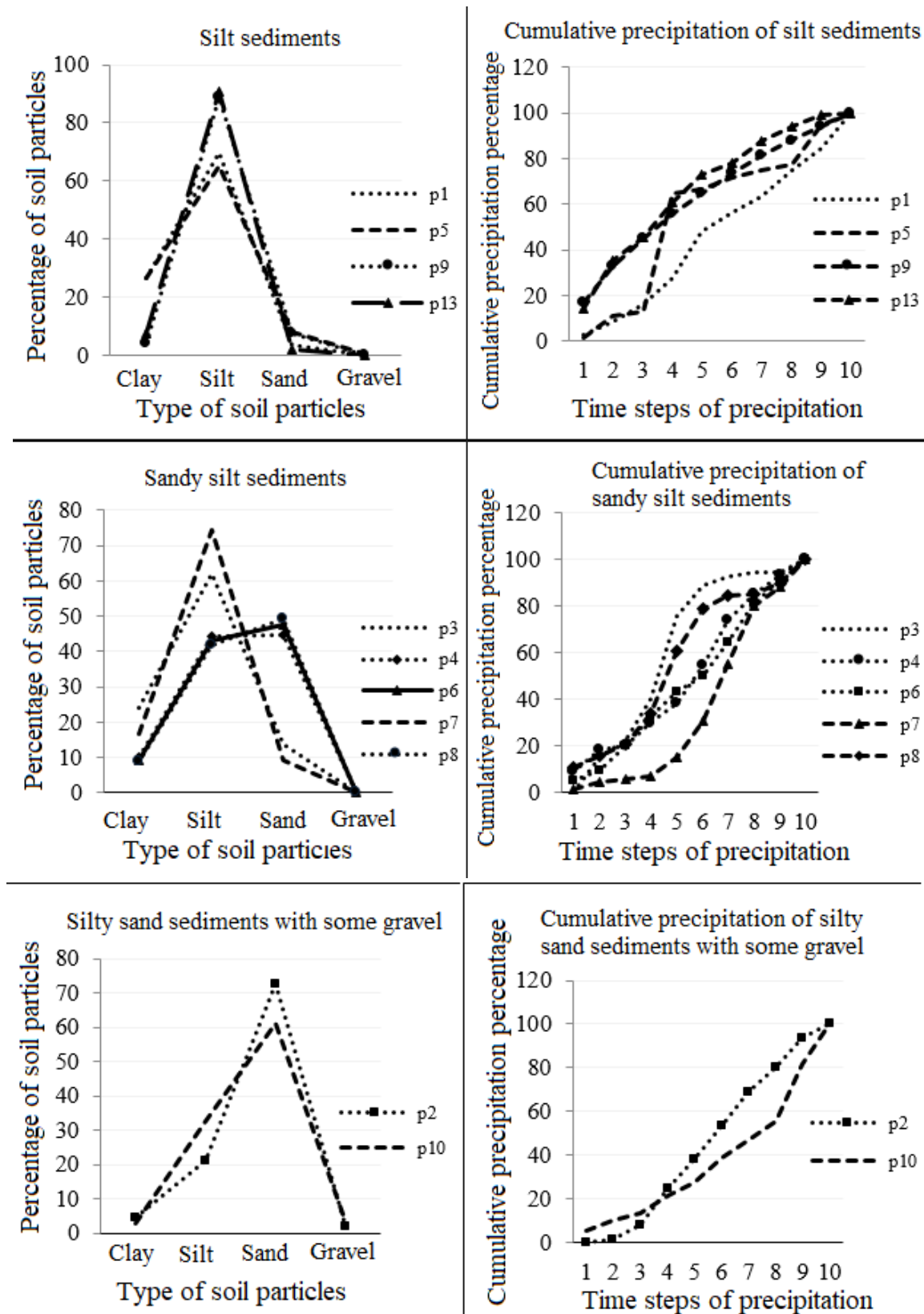
Fig 4. The pattern of precipitations of the same quarter type and the corresponding sediments in the Royan Watershed



ادامه شکل ۴  
Fig 4 Continued

الگوی بارش و رسوب دارند و بارش‌های  $P_6$  و  $P_7$  شباهت زیادی در الگوی بارش دارند اما شباهتی در الگوی رسوب ندارند. بارش‌های  $P_2$  و  $P_{10}$  رسوباتی از جنس ماسه سیلتی با کمی گراول به همراه داشته‌اند و شباهت زیادی در الگوی بارش و رسوب دارند. شکل ۵، الگوی رسوبی در افق‌های رسوبی یکسان و بارش‌های متناظر آن را نشان می‌دهد. وجود شیب‌های تند در منحنی‌های تجمعی بارش‌ها منجر به اضافه شدن ماسه به عنوان مصالح فرسایش یافته حوضه شده‌اند. البته در کلیه بارش‌ها، رس درصدی از رسوبات فرسایش یافته حوضه را تشکیل می‌دهد. غالب بارش‌هایی که منجر به فرسایش ماسه از حوضه شده‌اند، بارش‌هایی با شیب تند منحنی تجمعی بوده‌اند.

بررسی الگوی رسوب و بارش در افق‌های رسوبی یکسان برای حوضه روپان: رسوبات این حوضه شامل سیلت، سیلت ماسه‌ای، ماسه سیلتی با کمی گراول، ماسه سیلتی گراولی، گراول سیلت ماسه‌ای است. بارش‌های  $P_1$ ،  $P_5$ ،  $P_9$  و  $P_{13}$  رسوباتی از نوع سیلت به همراه داشته‌اند. بارش‌های  $P_1$  و  $P_5$  شباهت زیاد در الگوی بارش و شباهت بسیار زیاد در الگوی رسوب دارند. بارش‌های  $P_9$  و  $P_{13}$  شباهت بسیار زیاد در الگوی بارش و الگوی رسوب دارند. بارش‌های  $P_3$ ،  $P_4$ ،  $P_6$ ،  $P_7$  و  $P_8$  رسوباتی از نوع سیلت ماسه‌ای به همراه داشته‌اند که بارش‌های  $P_3$  و  $P_8$  شباهت زیاد در الگوی بارش دارند ولی شباهتی در الگوی رسوب ندارند. بارش‌های  $P_4$  و  $P_6$  شباهت بسیار زیاد در



شکل ۵- الگوی رسوبی در افق‌های رسوبی یکسان و بارش‌های متناظر آن در حوضه رویان

Fig 5. Sedimentary pattern in the same sedimentary horizons and its corresponding rainfall in Royan Watershed

نزدیکی یکدیگر واقع شده‌اند و درجه شیب بسیار نزدیک و دارای بافت موثر خاک از جنس لوم هستند.

تاثیر ویژگی‌های حوضه بر خصوصیات رسوبات فرسایش یافته: حوضه‌های ابراهیم‌آباد و رویان در



نتایج پوشش گیاهی در پژوهش‌های آبخیزداری استان سمنان تا سال ۱۳۸۴، برای دو حوضه ابراهیم آباد و رویان به ترتیب مقادیر ۱۰/۲ و ۱۲/۹۲ درصد را نشان می‌دهد (Hashemi, 2005). در این پژوهش، درصد پوشش گیاهی کمتر برآورد شده است که دلیل آن، حد آستانه اعمال شده در شاخص NDVI است که از پوشش‌های گیاهی بسیار ضعیف صرف نظر شده است. در این دو حوضه بیشترین شباهت الگوهای بارش و رسوب در رسوباتی از جنس سیلت ماسه‌ای بوده است. این نتایج، موید تاثیر زیاد الگوی بارش بر الگوی رسوبدهی در این دو حوضه است که با نتایج Wang et al., (2017) و Alavinia et al., (2019) همسو است.

عوامل فیزیکی و مورفولوژیکی حوضه نیز بر رسوبدهی حوضه تاثیر دارند، از جمله شیب که با افزایش آن مقدار رسوبدهی حوضه و درصد درشت دانه‌ها افزایش یافته است. دلیل آن را می‌توان این‌گونه بیان کرد که با افزایش شیب زمین، رواناب‌ها با سرعت بیشتری به پایین‌دست منتقل می‌شوند، در نتیجه، انرژی جنبشی و قدرت فرساینده‌گی آن افزایش می‌یابد که خود باعث حمل ذرات بیشتر و بزرگ‌تر خواهد شد. همچنین، با افزایش شیب زمین، پایداری دامنه‌های خاکی کاهش می‌یابد و سبب سهولت فرایند فرسایش می‌شود که با نتایج Sadeghian et al., (2020) همخوانی دارد.

با افزایش پوشش گیاهی در منطقه، مقدار رسوبدهی آن کاهش یافته است که با نتایج Aneseyee et al., (2020), Zhou et al., (2016), Jin et al., (2021) همسو است. پوشش گیاهی مانع از برخورد مستقیم قطرات باران بر سطح خاک و جداسازی ذرات خاک می‌شود. همچنین، ریشه گیاهان نقش تحکیم و تثبیت‌کننده خاک را دارند و وجود ساقه گیاهان مقاومت در برابر جریان‌های سطحی را افزایش می‌دهد. در پژوهش‌های Aneseyee et al., (2020), Zhao et al., (2019), Jin et al., (2021)، به ترتیب از تصاویر لندست، شبیه‌ساز باران و شاخص NDVI استفاده شده است و کاربری حوضه‌های این پژوهش (مرتفع)، در پژوهش‌های آن‌ها نیز مورد آزمایش قرار گرفته است.

در طی ۲۵ سال مورد مطالعه، به ترتیب دارای میانگین ماهانه پوشش گیاهی ۵/۱۵ و ۴/۹۹ درصد هستند و مجموع ضخامت لایه رسوب نزدیک به هم و به ترتیب ۱۹۵ و ۲۰۵/۵ سانتی‌متری دارند. حوضه رویان، ضریب فشردگی بیشتری نسبت به حوضه ابراهیم‌آباد دارد. از آنجا که تمام اطلاعات و خصوصیات حوضه‌ها تقریباً برابر هستند، این شباهت در رسوبات فرسایش یافته نیز مشاهده می‌شود، به جز تفاوت‌های ناچیزی در درصد رسوبات از جنس شن، ماسه و سیلت که به ترتیب ۶/۸، شش و ۱۰/۳ است که می‌تواند متاثر از تفاوت شیب حوضه‌ها باشد. هرچند در این دو حوضه می‌توان تاثیر تفاوت جزئی میانگین پوشش گیاهی بر تفاوت ناچیز ضخامت لایه رسوب را نیز مشاهده کرد. در حوضه ابراهیم‌آباد و رویان به ترتیب در ۵۴ و ۵۱ درصد موارد با افزایش مساحت پوشش گیاهی در زمان وقوع رگبارها، ضخامت لایه رسوب مربوط به هر رگبار، کاهش یافته است که نشان‌دهنده تاثیر تغییرات و مقادیر پوشش گیاهی بر فرسایش و رسوب در هر دو حوضه است.

نتایج نشان می‌دهد که در هر دو حوضه و در هر دو گروه‌بندی (چارک و نوع رسوب) در الگوی بارش و رسوب شباهت‌ها در بیشتر موارد از نوع زیاد و بسیار زیاد است. درصد شباهت در الگوی بارش و رسوب در دسته‌بندی چارک‌ها در حوزه‌های آبخیز ابراهیم‌آباد و رویان به ترتیب ۴۶/۴ و ۳۳/۳ است و در دسته‌بندی نوع رسوب به ترتیب ۵۰ و ۵۸/۸ درصد است که میانگین این شباهت‌ها در الگوی بارش و رسوب، در حوضه‌های ابراهیم‌آباد و رویان به ترتیب ۴۸/۲ و ۴۶/۱ درصد است.

در بررسی حالت‌هایی که در الگوی بارش شباهت وجود دارد، اما در الگوی رسوب شباهت یکسانی دیده نمی‌شود، می‌توان علت را مربوط به تفاوت مقدار بارش جمعی، شدت بارش، مدت زمان بارش، شرایط پوشش گیاهی و رطوبت اولیه خاک متفاوت در زمان بارش دانست، چرا که در همه رگبارها، همه مولفه‌های بارش، تغییرات پوشش گیاهی (فصل بارندگی، تصاویر ماهواره‌ای) و رطوبت اولیه خاک (بارندگی تا دو روز قبل) بررسی شده است.

نقش پوشش گیاهی بر فرسایش و رسوبدهی هر دو حوضه است. با توجه به شباهت الگوی بارندگی و رسوبدهی حوضه (به‌طور میانگین ۴۶ تا ۴۸ درصد در حوضه‌های مذکور)، با بررسی شباهت‌های الگوی بارش و رسوب، الگوی رسوبدهی در حوضه قابل پیش‌بینی است. همچنین، انتظار می‌رود با افزایش پوشش گیاهی، ضخامت لایه‌های رسوبی کاهش یابد.

از آنجایی که دامنه عامل‌های موثر بر رسوبدهی حوضه می‌تواند نوع و الگوی رسوبدهی را تحت تاثیر قرار دهد، پیشنهاد می‌شود در حوضه‌های دیگر نیز تاثیر عامل‌های بیشتری مورد ارزیابی قرار گیرد و با یکدیگر مقایسه شوند. البته چنانچه بتوان تحت شرایط کنترل‌شده تاثیر عوامل مختلف از جمله رطوبت اولیه خاک، نوع رسوبات حوضه و پوشش گیاهی را طی یک باران مشخص بررسی کرد، نتایج، با دقت بیشتری همراه خواهد بود.

#### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند که از شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان برای همکاری و در اختیار قرار دادن اطلاعات بارش و باران‌نگارهای ایستگاه شه‌میرزاد تشکر و قدردانی به عمل آورند.

#### نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر برای بررسی اثر الگوی بارش و ویژگی‌های حوضه از جمله پوشش گیاهی، شیب و بافت موثر خاک بر رسوبدهی حوضه در حوزه‌های آبخیز رویان و ابراهیم‌آباد واقع در شهرستان سمنان انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که الگوی بارش از عوامل تاثیرگذار بر رسوبدهی هر دو حوضه است. در حالت کلی، با بالا رفتن شماره چارک بارش‌ها، به درصد درشت‌دانه‌های رسوبات حاصل از آن‌ها نیز افزوده می‌شود و بارش‌هایی با شیب تند در منحنی تجمعی، غالباً منجر به فرسایش ماسه از حوضه شده‌اند.

برای رگبارهایی که بیشترین مقدر بارش در زمان‌های پایانی رگبار رخ می‌دهد، فرسایش حوضه با مصالح ریزدانه (سیلت و رس) شروع شده و همزمان با اوج‌گیری شدت و مقدار بارش، مصالح درشت‌دانه‌تر فرصت حمل به واسطه رواناب حاصل را پیدا می‌کنند.

در هر دو حوضه، در بیش از ۵۰ درصد موارد، کاهش ضخامت لایه‌های رسوبی با افزایش پوشش گیاهی در زمان وقوع رگبارها مشاهده شد که بیانگر

#### منابع مورد استفاده

- Abolfathi, K., M. Alikhah-Asl and M. Rezvani. 2015. Range classification and evaluation using Geographic Information System (GIS) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), case study: Hablehrood Subwatershed of Shahrabad Basin. *Human and Environment*, 13: 45-55 (in Persian).
- Alavi, E.S., Y. Dinpashoh and E. Asadi. 2019. Analysis of hourly storms for the purpose of extracting design hyetographs using the Huff method. *Geography and Environmental Planning*, 30: 41-58 (in Persian).
- Alavinia, M., F. Nasiri Saleh and H. Asadi. 2019. Effects of rainfall patterns on runoff and rainfall-induced erosion. *International Journal of Sediment Research*, 34: 270-278.
- Aneseyee, A.B., E. Elias, T. Soromessa and G.L. Feyisa. 2020. Land use/land cover change effect on soil erosion and sediment delivery in the Winike Watershed, Omo Gibe Basin, Ethiopia. *Science of the Total Environment*, 728: 138776.
- de Lima, J.L., S.C. Carvalho and M.I.P. de Lima. 2013. Rainfall simulator experiments on the importance of when rainfall burst occurs during storm events on runoff and soil loss. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*, 57: 91-109.
- Dunkerley, D. 2012. Effects of rainfall intensity fluctuations on infiltration and runoff: rainfall simulation on dryland soils, Fowlers Gap, Australia. *Hydrological Processes*, 26: 2211-2224.
- Falahatkar, S., R. Saberfar and S.H. Kia. 2018. Analysis of vegetation indices change in sensors of landsat satellite, case study: Persian juniper fields of East Golestan National Park and Ghorkhod protected area. *Natural Ecosystems of Iran*, 9: 71-90 (in Persian).
- Hao, H.X., J.G. Wang, Z.L. Guo and L. Hua. 2019. Water erosion processes and dynamic changes of sediment size distribution under the combined effects of rainfall and overland flow. *Catena*, 173: 494-504.



- Hashemi, S.A.A. 2005. Evaluation of MPSIAC and EPM models using sedimentation survey within some small dam reservoirs in Semnan Province. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, 93 pages (in Persian).
- Huang, S., X. Zheng, L. Ma, H. Wang, Q. Huang, G. Leng, E. Meng and Y. Guo. 2020. Quantitative contribution of climate change and human activities to vegetation cover variations based on GA-SVM model. *Journal of Hydrology*, 584: 124687.
- Jin, F., W. Yang, J. Fu and Z. Li. 2021. Effects of vegetation and climate on the changes of soil erosion in the Loess Plateau of China. *Science of the Total Environment*, 773: 145514.
- Kiani-Harchegani, M., S.H.R. Sadeghi, V.P. Singh, H. Asadi and M. Abedi. 2019. Effect of rainfall intensity and slope on sediment particle size distribution during erosion using partial eta squared. *Catena*, 176: 65-72.
- Liu, Y., M. Yang, F. Zhang and J. Zhang. 2022. The effect of rainfall pattern on sediment source in a small catchment on the Chinese Loess Plateau. *EGU22-3726*.
- Mehl, H.U., F.L.F. Eltz, J. Reichert and I. Didoné. 2001. Characterization of rainfall patterns occurring in Santa Maria (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25: 475-483.
- Mohammadyari, F., H. Pourkhabaz, M. Tavakoli and H. Aghdar. 2015. Mapping vegetation and monitoring its changes using remote sensing and GIS techniques, case study: Behbahan City. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 23: 23-34 (in Persian).
- Puong, T.T., R.P. Shrestha and H.V. Chuong. 2017. Redefining diversity and dynamics of natural resources management in Asia, Volume 3. Elsevier, 265 pages.
- Pordel, F., A. Ebrahimi and Z. Azizi. 2017. Evaluating of the most suitable vegetation indices of estimating of canopy cover and above-ground phytomass in arid rangelands during different growth periods. *Journal of Arid Biome*, 7: 57-71 (in Persian).
- Puntenney-Desmond, K.C., K.D. Bladon and U. Silins. 2020. Runoff and sediment production from harvested hillslopes and the riparian area during high intensity rainfall events. *Journal of Hydrology*, 582: 124452.
- Rahgoshay, M. 2019. Assessment of climate change using sediment data of reservoir dams and small dams, case study: Semnan Province. Ph.D. Thesis, Semnan University, 366 pages (in Persian).
- Sadeghian, N., A. Vaezi and A. Majnooni Heris. 2020. Effect of raindrops impact on hydraulic properties of the rill flow under slope gradients. *Journal of Water and Soil Science*, 24: 83-94 (in Persian).
- Soltani, K., I. Ebtehaj, A. Amiri, A. Azari, B. Gharabaghi and H. Bonakdari. 2021. Mapping the spatial and temporal variability of flood susceptibility using remotely sensed normalized difference vegetation index and the forecasted changes in the future. *Science of the Total Environment*, 770: 145288.
- Tadesse, L., K.V. Suryabagavan, G. Sridhar and G. Legesse. 2017. Land use and land cover changes and soil erosion in Yezat Watershed, North Western Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 5: 85-94.
- Wang, B., J. Steiner, F. Zheng and P. Gowda. 2017. Impact of rainfall pattern on interrill erosion process. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42: 1833-1846.
- Yue, L., J. Juying, T. Bingzhe, C. Binting and L. Hang. 2020. Response of runoff and soil erosion to erosive rainstorm events and vegetation restoration on abandoned slope farmland in the loess Plateau region, China. *Journal of Hydrology*, 584: 124694.
- Zhang, S., Z. Li, X. Hou and Y. Yi. 2019. Impacts on watershed-scale runoff and sediment yield resulting from synergetic changes in climate and vegetation. *Catena*, 179: 129-138.
- Zhao, B., L. Zhang, Z. Xia, W. Xu, L. Xia, Y. Liang and D. Xia. 2019. Effects of rainfall intensity and vegetation cover on erosion characteristics of a soil containing rock fragments slope. *Advances in Civil Engineering*, 2019: 7043428.
- Zhou, J., B. Fu, G. Gao, Y. Lü, Y. Liu, N. Lü and S. Wang. 2016. Effects of precipitation and restoration vegetation on soil erosion in a semi-arid environment in the Loess Plateau, China. *Catena*, 137: 1-11.