

## بررسی رسوبدهی حوزه‌های آبخیز کوچک تحت الگوی بارش و خصوصیات حوضه در اقلیم خشک و نیمه‌خشک

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

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۱)

### چکیده

فرسایش بارانی نقش مهمی در تلفات خاک به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک با پوشش گیاهی فقیر ایفا می‌کند. در این مقاله با تحلیل الگوی رگبارهای رخ داده طی ۲۶ سال در چهار حوضه واقع در شهرستان سمنان به بررسی تأثیر آنها بر الگوی رسوبات فرسایش یافته از حوضه پرداخته شده است. برای این منظور، افق‌های رسوبی حاصل از نمونه‌برداری رسوبات سدهای تأخیری در سال ۱۳۹۶ به بارش‌های متناظر مرتبط شده‌اند. با توجه به وقوع بیشترین میزان بارندگی در هر یک از چارک‌های بارش، هایتوگراف بارش‌ها به ۴ دسته تقسیم شد. دسته منحنی‌های تجمعی بارش با چارک مشابه در یک شکل ترسیم شده و با منحنی‌های رسوبات و بالعکس با لحاظ کردن خصوصیات فیزیکی حوضه مقایسه شدند. نتایج نشان داد که حوضه علی‌آباد (با شیب کمتر و کشیدگی بیشتر) با چارک مؤثر نوع ۳ بیشترین میزان شباهت را در الگوهای بارش و رسوب دارد و همچنین حوضه سولدره غربی (با بیشترین شیب و کمترین کشیدگی) با چارک مؤثر نوع ۲ کمترین میزان شباهت را در الگوهای بارش و رسوب دارد. نتایج بیانگر نقش مهم الگوی رگبار بر الگوی رسوبات ناشی از آن است که شباهتی تا ۸۵ درصد را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات باران، فرسایش آبی، الگوی رسوب، مخازن، چارک‌های بارش

۱. مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲. گروه آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۳. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سمنان، ایران

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Khhoseini@semnan.ac.ir

## مقدمه

خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشور است. امروزه فرسایش خاک به‌عنوان خطری برای رفاه انسان و حتی برای حیات او به‌شمار می‌آید و پس از رشد جمعیت، دومین چالش زیست‌محیطی جهان است (۴). فرسایش به فرایندی گفته شود که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا شود و به‌کمک یک عامل انتقال‌دهنده به مکانی دیگر حمل شود. در صورتی که عامل جدا کننده ذرات از بستر و انتقال آنها آب باشد به آن فرسایش آبی گفته می‌شود (۱۲). عوامل مؤثر بر فرسایش حوزه آبخیز از دیرباز مورد توجه پژوهشگران بوده است و به‌دنبال ارائه مدلی مناسب برای تخمین رسوب حوضه مبتنی بر مدل‌سازی آزمایشگاهی و روابط عددی بوده‌اند. در این راستا تحقیقات میدانی بسیار اندک صورت گرفته است. در ادامه تعدادی از این پژوهش‌ها آمده است. علوی‌نیا و همکاران برای بررسی تأثیر الگوی بارش بر رسوب حاصل از بارش، به آزمایش ۴ الگوی باران شبیه‌سازی شده پرداختند و نتیجه گرفتند که با تغییر الگوی بارش، تفاوت‌های قابل توجهی در تلفات خاک در بین الگوها و مراحل مختلف بارندگی مشاهده می‌شود (۲). دی آسونسو و همکاران به بررسی تغییرات الگوی زمانی حین رخداد رگبار، در جزایر فرناردو برزیل پرداختند و الگوی بارش را به سه دسته ابتدایی، میانی و تأخیری تقسیم کردند و نتیجه گرفتند که بارش با الگوهای تأخیری که بیشترین شدت بارش در انتهای بارش رخ می‌دهد بیشترین تأثیر را بر فرسایش خاک دارند (۵). دلیما و همکاران با کمک شبیه‌ساز باران به بررسی اهمیت زمان وقوع بیشینه شدت بارش و تأثیر آن بر تلفات خاک پرداختند. آنها در این مطالعه ۵ الگوی بارشی را بررسی کردند و اعلام کردند که بارش با الگوی تأخیری باعث تلفات بیشتر خاک می‌شوند و اهمیت تأثیر تغییرات زمانی باران در هنگام بارندگی بر فرایندهای فرسایش خاک را خاطر نشان ساختند (۶). دانکرلی به بررسی نوسانات شدت بارندگی با کمک باران شبیه‌سازی شده، در غرب نیوساوت ولز استرالیا پرداخته و برای این منظور، الگوهای مختلف بارشی را بررسی کرده است. نتایج نشان داد تغییرات الگوی بارشی، تأثیر زیاد و

قابل توجهی بر میزان اوج رواناب و حجم رواناب داشته و نرخ اوج جریان در الگوی بارش از نوع تأخیری شش برابر نسبت به بارش‌های یکنواخت، بیشتر است که منجر به افزایش ظرفیت انتقال رسوب حوضه می‌شود (۷). طبق نظر وی و همکاران (۱۵) فرسایش به رژیم بارش حساس بوده و بارش‌هایی با شدت زیاد و مدت کوتاه و دارای فرکانس بالا، منجر به رواناب بیشتر و هدررفت بیشتر خاک می‌شود. بررسی‌های مدیریوس و آروجو (۱۰) نشان داده است که تغییرات زمانی فرسایش بیشتر ناشی از رژیم بارندگی است و تغییرات زمانی بارش تأثیر قابل توجهی بر ظرفیت حمل ذرات خاک و تولید رسوب می‌گذارد. بررسی‌های واعظی و رستمی (۱۳) نشان داده است که بارندگی‌های با شدت کم نیز در فرسایش خاک در مناطق نیمه‌خشک تأثیرگذار بوده و ضریب همبستگی ۰/۹۶ بین فرسایش خاک و انرژی جنبشی بارش و بیشینه شدت بارش ۷/۵ دقیقه‌ای، دیده شده است. فنگ و همکاران (۸) نشان دادند که با افزایش شدت بارندگی، میزان رسوب فرسایش یافته افزایش پیدا می‌کند و در خاک‌های با نفوذپذیری کمتر، با افزایش شیب، حتی در بارندگی‌های با شدت کم نیز شیارهای زیاد ایجاد می‌شود. لیو و همکاران (۹) گزارش کردند که بیشترین مقدار فرسایش خاک در زمین‌های بایر، مربوط به بارش‌هایی با ترکیب بیشترین شدت، کمترین عمق و مدت است. ونگ و همکاران (۱۴) با بررسی ۸۴ بارش طبیعی و تقسیم‌بندی آنها در ۴ رژیم بارش: یکنواخت، ابتدایی، میانی و تأخیری نتیجه‌گیری کردند که الگوی تأخیری بیشترین تلفات خاک و الگوی یکنواخت کمترین فرسایش خاک را ایجاد می‌کند. بلیانی و واعظی (۳) نشان دادند که خاک با بافت سیلت بیشترین فرسایش پاشمانی را دارا بوده و وجود رطوبت اولیه در بافت‌های متفاوت خاک، اثر متفاوتی بر فرسایش بارانی داشته و متأثر از ویژگی فیزیکی ذرات خاک هستند. تحقیقات میدانی صورت گرفته بیشتر اختصاص به نتایج مبتنی بر تحقیقات به‌وسیله باران سازهای مصنوعی داشته و کمتر مرتبط به بررسی‌های میدانی در حوزه آبخیز بوده است. در این تحقیق، با نمونه‌گیری و دانه‌بندی رسوبات جمع‌آوری شده در سدهای تأخیری واقع در خروجی

به‌دست آمده است. مشخصات و موقعیت سدها در جدول ۱ و جانمایی حوزه آبخیز بالادست سدها و نقشه شیب آنها در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. شیب حوزه‌های سولدره شرقی و سولدره غربی در حدود ۲/۵ برابر شیب حوزه‌های عمروان و علی‌آباد است. به‌نظر می‌رسد در حوزه‌های سولدره شرقی و سولدره غربی با توجه به وسعت کم حوضه و شیب تند، وجود رسوبات دانه درشت در مخزن سد محتمل‌تر است.

#### داده‌های مورد استفاده

برای تحلیل الگوی بارش، ایستگاه شه‌میرزاد با توجه به فاصله تا حوزه‌های مورد مطالعه و کامل بودن آمار بارش آن انتخاب و اطلاعات بارش روزانه با مقدار بیش از ۵ میلی‌متر طی سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۶ تجزیه و تحلیل شد. تعداد رویدادها ۳۲۳ رگبار است و علت انتخاب سال‌های فوق با توجه به زمان احداث سدها و زمان برداشت اطلاعات رسوبی از پشت سدها بوده است. بیشترین و کمترین تعداد بارش‌ها به ترتیب در فصل‌های بهار و تابستان و همچنین بیشترین و کمترین تعداد بارش‌ها در بازه زمانی ۲ تا ۶ ساعت و بیش از ۲۴ ساعت واقع شده است.

#### استخراج الگوی‌های رگبار

برای به‌دست آوردن الگوی یکنواخت و بدون بعد از کلیه رگبارها، ابتدا برگه‌های باران‌نگار با کمک برنامه Get Data به بارش‌های جزئی با ۱۰ گام زمانی تقسیم شده و درصد بارش در دهک‌های زمانی هر بارش مشخص شد تا بتوان منحنی بی‌بعد بارش تجمعی هر رویداد را به‌دست آورد. سپس این بازه زمانی به چهار چارک تقسیم شد و با توجه به اینکه بیشترین میزان بارندگی در کدامیک از چارک‌ها اتفاق افتاده، بارش‌ها به چارک‌های یک، دو، سه و چهار دسته‌بندی شدند.

اگر مقدار کل بارش (به میلی‌متر) در یک رگبار معین را با  $R_T$

های حوضه، الگوی رسوبدهی ۴ حوزه آبخیز واقع در اقلیم خشک و نیمه‌خشک به الگوهای بارش اتفاق افتاده مرتبط شده‌اند و به بررسی تأثیر الگوی بارندگی و خصوصیات منطقه بر رسوبدهی حوضه پرداخته شده است. بررسی چندین حوزه آبخیز با خصوصیات مختلف، واقع در یک اقلیم، تغییرات الگوی بارش‌های رخ داده و رسوبات برداشت شده طی بازه بلند مدت (۲۶ سال) می‌تواند کمک فراوانی به شناخت تأثیرگذاری هر یک از عوامل شاخص کند.

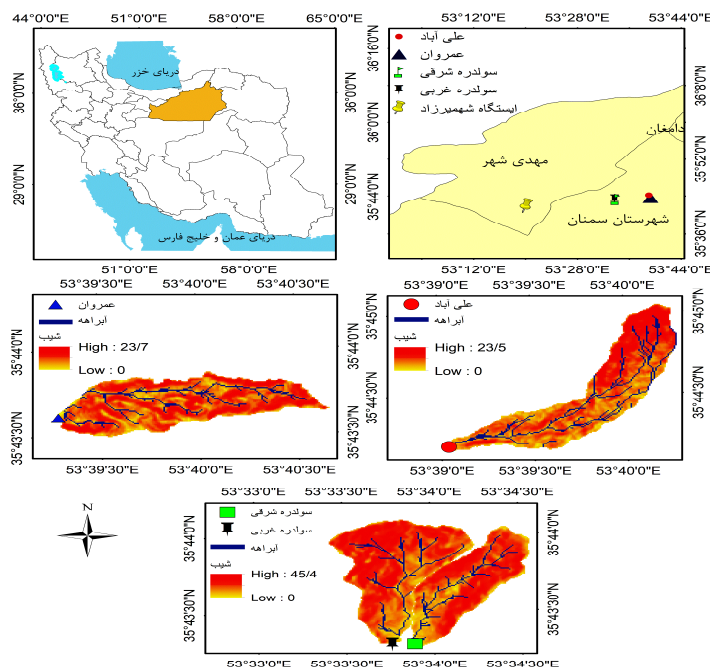
#### مواد و روش‌ها

##### معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل ۴ حوضه علی‌آباد، عمروان، سولدره‌های شرقی و غربی است. میانگین بارش سالانه ۱۵۳/۷ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد است (۱۱). این حوضه‌ها دارای مساحت‌های مساوی و در حدود یک کیلومتر مربع ولی دارای شیب‌های مختلف است. در خروجی این حوضه‌ها سدهای کوچک خاکی همگن با هدف تغذیه آب زیرزمینی و کنترل سیلاب در سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۷۲ توسط اداره آبخیزداری سازمان جهاد کشاورزی احداث شده‌اند. کاربری اراضی حوضه بالادست این سدها مرتع است. این حوضه‌ها در شرق شهرستان مهدیشهر از استان سمنان قرار دارند و به‌طور میانگین ۲۲ کیلومتر از مرکز این شهرستان فاصله دارند. بافت مؤثر خاک در حوضه علی‌آباد شامل بخش‌های فاقد خاک و لومرسی است و در حوضه عمروان شامل لوم و لوم‌شنی و در حوضه سولدره شرقی شامل بخش‌های فاقد خاک و لوم‌سیلتی است. و بخش‌های فاقد خاک و لوم رسی بافت‌های مؤثر در حوضه سولدره غربی است. مرز حوزه‌های آبخیز مورد تحقیق بر اساس مختصات جغرافیایی سدها در محیط نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی زمین با دقت ۱۲/۵ متری بسته شده‌اند و نقشه‌های آبراهه، جهت جریان، زیرحوضه‌ها، شیب و درنهایت نقشه‌های اصلاح شده حوضه

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی حوضه‌ها

ردیف	عنوان حوضه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)	فشرده‌گی (ضریب گراویلیوس)	میانگین شیب (درجه)	سال احداث سد	در خروجی حوضه
۱	علی‌آباد	۵۳°۳۹'۱۹۷"	۳۵°۴۴'۱۱/۴۸"	۰/۹۶	۵/۹۰	۱/۶۹	۸/۹۸	۱۳۷۲	
۲	عمروان	۵۳°۳۹'۱۶/۶۲"	۳۵°۴۳'۳۶/۶۴"	۰/۸۵	۵/۱۳	۱/۵۶	۷/۹۳	۱۳۷۲	
۳	سولدره شرقی	۵۳°۳۳'۵۳/۰۶"	۳۵°۴۳'۱۷/۴۳"	۰/۷۰	۴/۰۴	۱/۳۵	۲۰/۳۱	۱۳۷۱	
۴	سولدره غربی	۵۳°۳۳'۴۵/۱۹"	۳۵°۴۳'۱۷/۱۴"	۰/۹۶	۴/۷۲	۱/۳۵	۲۲/۲۳	۱۳۷۱	



شکل ۱. نقشه موقعیت و شیب حوضه‌های علی‌آباد، عمروان، سولدره شرقی و سولدره غربی در شهرستان سمنان (رنگی در نسخه الکترونیکی)

### استخراج الگوهای رسوب

ره‌گشای (۱۱) از رسوبات مخازن چهارگانه نمونه‌برداری و سپس به روش‌های الک‌تر و هیدرومتری رسوبی، دانه‌بندی کرد. سپس به کمک مثلث فولک، افق‌های رسوبات را نام‌گذاری کرده و افق‌های رسوبی برای هر یک از پروفیل‌های برداشته شده از مخزن سدها حوضه که حاصل فرسایش حوضه در بازه زمانی احداث سد و زمان برداشت رسوبات بوده است را ترسیم کرد. برای حوضه‌های علی‌آباد، عمروان، سولدره شرقی و سولدره غربی به ترتیب، ۱۰، ۱۰، ۱۲ و ۱۰ افق رسوبی مشخص شده است. برای نمونه جدول ۲ افق‌های رسوبی

و مقدار بارش از زمان شروع آن تا بازه زمانی  $i$  ام با  $F_i$  نشان داده شود، درصد بارش تجمعی تا انتها بازه زمانی مربوط به هر رگبار توسط رابطه ۱ تعریف می‌شود:

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^i F_j}{R_t} \quad (1)$$

که در آن  $R_i$ ، درصد بارش تجمعی تا انتهای بازه زمانی  $i$  ام است و  $n$  تعداد گام‌های زمانی است که در این پژوهش  $n$  برابر با ۱۰ در نظر گرفته شده است و درصد زمان متناظر با  $R_i$  از رابطه ۲ به دست آمد (۱):

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

جدول ۲. افق‌های رسوبی حوضه علی‌آباد (۱۱)

نام رسوب	درصد رس	درصد سیلت	درصد ماسه	درصد شن	شماره نمونه	نام پروفیل
سیلت ماسه‌ای	۱۵/۱	۷۳/۹	۱۰/۹	۰/۱	AL <sub>1</sub>	Aliabad (AL)
سیلت	۸/۵	۸۵/۶	۵/۹	۰	AL <sub>2</sub>	
سیلت ماسه‌ای	۱۳/۷	۶۷	۱۹/۲	۰/۱	AL <sub>3</sub>	
سیلت ماسه‌ای	۶/۷	۷۹/۳	۱۴	۰	AL <sub>4</sub>	
سیلت ماسه‌ای	۱۲/۷	۵۹/۷	۲۷/۶	۰	AL <sub>5</sub>	
گل ماسه‌ای	۱۵/۱	۷۵/۲	۹/۶	۰/۱	AL <sub>6</sub>	
ماسه سیلنی	۵/۹	۲۷/۴	۶۶/۷	۰	AL <sub>7</sub>	
گل ماسه‌ای	۱۴/۷	۷۴/۶	۱۰/۷	۰	AL <sub>8</sub>	
سیلت ماسه‌ای	۸/۹	۷۷/۴	۱۳/۷	۰	AL <sub>9</sub>	
شن ماسه‌ای گلی	۳/۵	۲۸/۱	۳۵/۴	۳۳	AL <sub>10</sub>	

در هر گروه بارشی با چارک یکسان پرداخته شد و در مرحله آخر به بررسی شباهت‌های موجود بین الگوهای بارش و رسوب، در افق‌هایی با نوع رسوب یکسان پرداخته شد. در صورت یگانه بودن چارک بارش یا نوع رسوب، امکان مقایسه وجود نداشت و از ترسیم منحنی‌های مربوطه اجتناب شده است. الگوها ابتدا با توجه به شکل ظاهری آنها به ۴ دسته با شباهت کم، خوب، زیاد و بسیار زیاد تقسیم‌بندی شدند. سپس با بررسی پارامترهای آماری مختلف، معیارهایی که با گروه‌بندی ظاهری تطابق داشتند، به‌عنوان معیار شباهت انتخاب شدند. معیار شباهت بین الگوهای بارش با نوع چارک یکسان و همچنین الگوی رسوب یکسان در جدول ۳ آورده شده است.

### نتایج و بحث

در ادامه، به بررسی و تناظر الگوهای به‌دست آمده از رگبارها و رسوب حوضه‌های مختلف پرداخته شده است.

### بررسی الگوی بارش و رسوب متناظر برای چارک‌های یکسان در حوضه علی‌آباد

در حوضه علی‌آباد متناظر با ۱۰ افق رسوبی (۱۰ لایه تشخیص داده شده از برداشت میدانی)، تعداد ۱۰ رگبار مؤثر برای

برداشت شده در خروجی حوضه علی‌آباد را نشان می‌دهد. در این مقاله با توجه به اطلاعات خام رسوبات برداشته شده، به ساخت و تحلیل الگوهای دانه‌بندی رسوبات پرداخته شده است. اطلاعات درصد خاک دانه‌های رس، سیلت، ماسه و شن مربوط به هر افق رسوبی در همه حوضه‌ها در قالب منحنی ترسیم شده‌اند.

### استخراج الگوی بارش و الگوی رسوب در هر حوضه و تطبیق آنها

در ابتدا برای هر حوضه تعداد ۵۰ رگبار از تولید ۳۲۳ رگبار موجود که دارای بیشترین مقدار بارش و دارای بیشترین شدت بارش بودند به‌عنوان بارش‌های مؤثر برای رسوب از حوضه انتخاب شدند. دامنه مقادیر بارش در ۵۰ رگبار مؤثر از ۱۷ تا ۸۶ میلی‌متر و دامنه شدت آنها از ۲ تا ۱۳ میلی‌متر بر ساعت بوده است. سپس با توجه به تعداد پروفیل‌های رسوبی، نوع رسوب، ضخامت و ترتیب نهشته شدن هر افق رسوبی در هر حوضه، با ۳ تا ۵ مرتبه آزمون و خطا، رگبارهایی به افق‌های رسوبی آن، متناظر شدند و به ترتیب نهشته شدن افق‌ها از سطح زمین، بارش‌ها در هر حوضه، شماره گذاری شدند. در هر حوضه، با توجه به دسته‌بندی رگبارها از نوع چارک ۱، ۲، ۳ و ۴، به بررسی شباهت‌های موجود در بین الگوهای بارش و رسوب،

جدول ۳. معیار شباهت الگوی بارش یا الگوی رسوب

نوع شباهت	بسیار زیاد	زیاد	خوب	کم
میانگین اختلاف در هر گام بارش (%)	۰ - ۴	۴ - ۶	۶ - ۸	۸ - ۱۰
تغییرات انحراف استاندارد	۰ - ۳/۵	۰/۵ - ۴/۵	۲ - ۴/۵	۴ - ۸/۵

ای، گل ماسه‌ای، ماسه سیلتی و شن ماسه‌ای گلی است. برای بارش‌های P<sub>1</sub>، P<sub>3</sub>، P<sub>4</sub>، P<sub>5</sub> و P<sub>9</sub> رسوبات فرسایش یافته حوضه از نوع سیلت ماسه‌ای بوده است. بین بارش‌های P<sub>1</sub>، P<sub>3</sub>، P<sub>4</sub> و P<sub>9</sub> در الگوی رسوب شباهت زیاد وجود دارد و این شباهت در الگوی بارش نیز دیده می‌شود. همچنین در الگوی بارش و رسوب P<sub>1</sub> و P<sub>5</sub> نیز شباهت خوبی وجود دارد. بارش‌های P<sub>6</sub> و P<sub>8</sub> رسوبات گل ماسه‌ای به همراه داشته اند. این دو بارندگی در الگوی بارش شباهتی نداشته‌اند اما در الگوی رسوب آنها شباهت بسیار زیادی وجود دارد.

### بررسی الگوی بارش و رسوب متناظر برای چارک‌های

#### یکسان در حوضه عمروان

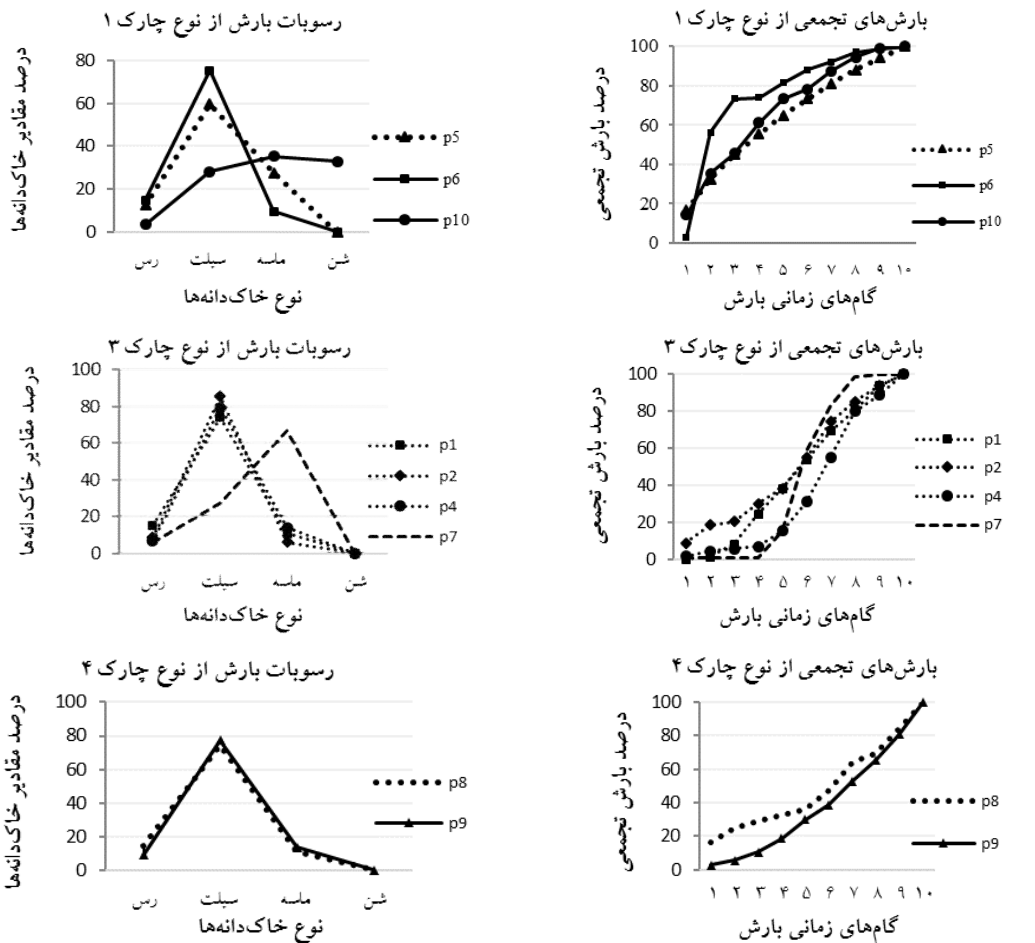
در این حوضه، متناظر با ۱۰ افق رسوبی (۱۰ لایه تشخیص داده شده از برداشت میدانی)، تعداد ۱۰ رگبار مؤثر برای فرسایش حوضه تشخیص داده شدند. در صورت یگانه بودن الگوی بارش یا افق رسوبی امکان مقایسه وجود نداشته و عنوان نشده است. در این تناظر، سه گروه منحنی تشخیص داده شد. شکل ۴ الگوی بارش‌ها و رسوبات مرتبط با آن را نشان می‌دهد. رسوب تولید شده در این حوضه از نوع سیلت ماسه‌ای با مقادیر متغیر از کم تا زیاد ماسه است. در این حوضه بارش‌های P<sub>2</sub>، P<sub>3</sub>، P<sub>6</sub> و P<sub>8</sub> از نوع چارک دو هستند. بارش‌های P<sub>1</sub>، P<sub>4</sub> و P<sub>5</sub> از نوع چارک سه و بارش‌های P<sub>9</sub> و P<sub>10</sub> از نوع چارک چهار هستند و به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که بین الگوی بارش‌ها و الگوی رسوب شباهت زیاد وجود دارد. برای همه بارش‌ها، عمده رسوبات فرسایش یافته از نوع سیلت بوده ولی درصد سیلت فرسایش یافته از حوضه برای بارش‌های

فرسایش حوضه تشخیص داده شدند. در صورت یگانه بودن الگوی بارش یا افق رسوبی امکان مقایسه وجود نداشته و عنوان نشده است. در این تناظر، سه گروه منحنی تشخیص داده شد. شکل ۲ الگوی بارش‌ها (شکل‌های سمت راست) و رسوبات متناظر (شکل‌های سمت چپ) با الگوی بارش را نشان می‌دهد. عمده رسوب حاصل از فرسایش حوضه از نوع سیلت به همراه ماسه بوده است. رسوبات حاصل در دسته‌های شن و رس بسیار اندک و ناچیز بوده‌اند. در این حوضه افق‌های رسوبی ۵، ۶ و ۱۰ مربوط به بارش‌های از نوع چارک یک (P<sub>5</sub>، P<sub>6</sub> و P<sub>10</sub>) هستند. در بارش‌های P<sub>5</sub> و P<sub>6</sub> شباهت زیادی در الگوی بارش و رسوب وجود دارد. با وجود شباهت زیاد بین الگوی بارش‌های P<sub>1</sub>، P<sub>2</sub>، P<sub>4</sub> و P<sub>7</sub> از نوع چارک سه است و در بارش‌های P<sub>1</sub>، P<sub>2</sub> و P<sub>4</sub> در الگوی بارش و رسوب شباهت زیادی دارند. علت میل کردن نوع رسوبات از سیلت به سمت ماسه برای بارش P<sub>7</sub> را می‌توان شیب تند بارش را در گام‌های زمانی ۵ تا ۷ دانست. بارش‌های P<sub>8</sub> و P<sub>9</sub> از نوع چارک چهار هستند. این دو بارندگی هم در الگوی بارش و هم در الگوی رسوب دارای شباهت زیاد هستند. بارش P<sub>3</sub> از نوع چارک ۲ بوده و به علت یگانه بودن چارک، امکان مقایسه شباهت میان الگوی بارش و الگوی رسوب وجود نداشته و عنوان نشده است.

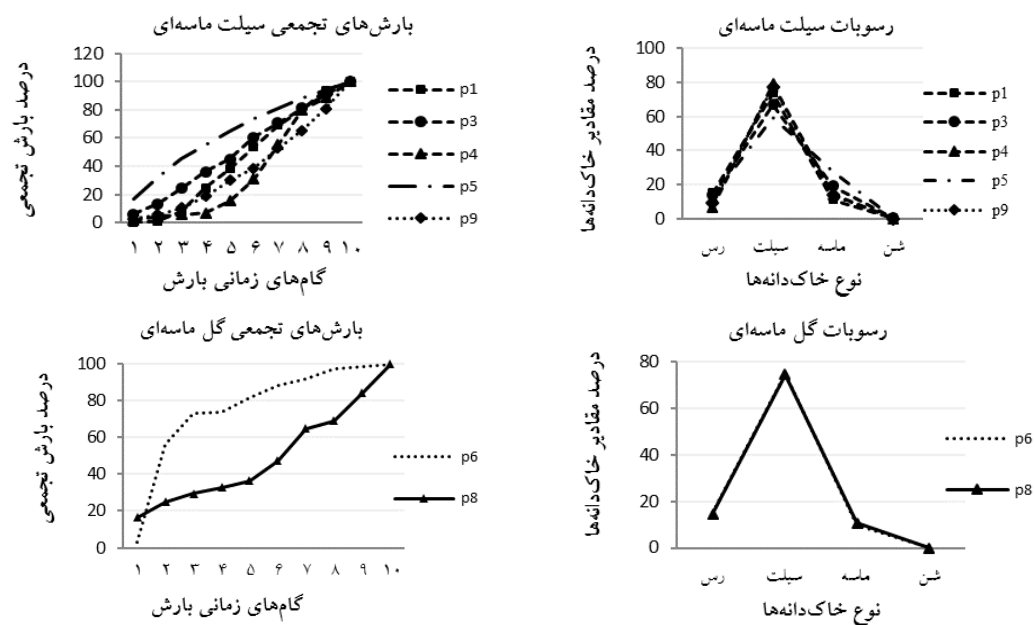
### بررسی الگوی رسوب و بارش‌های متناظر برای افق‌های

#### رسوبی یکسان در حوضه علی‌آباد

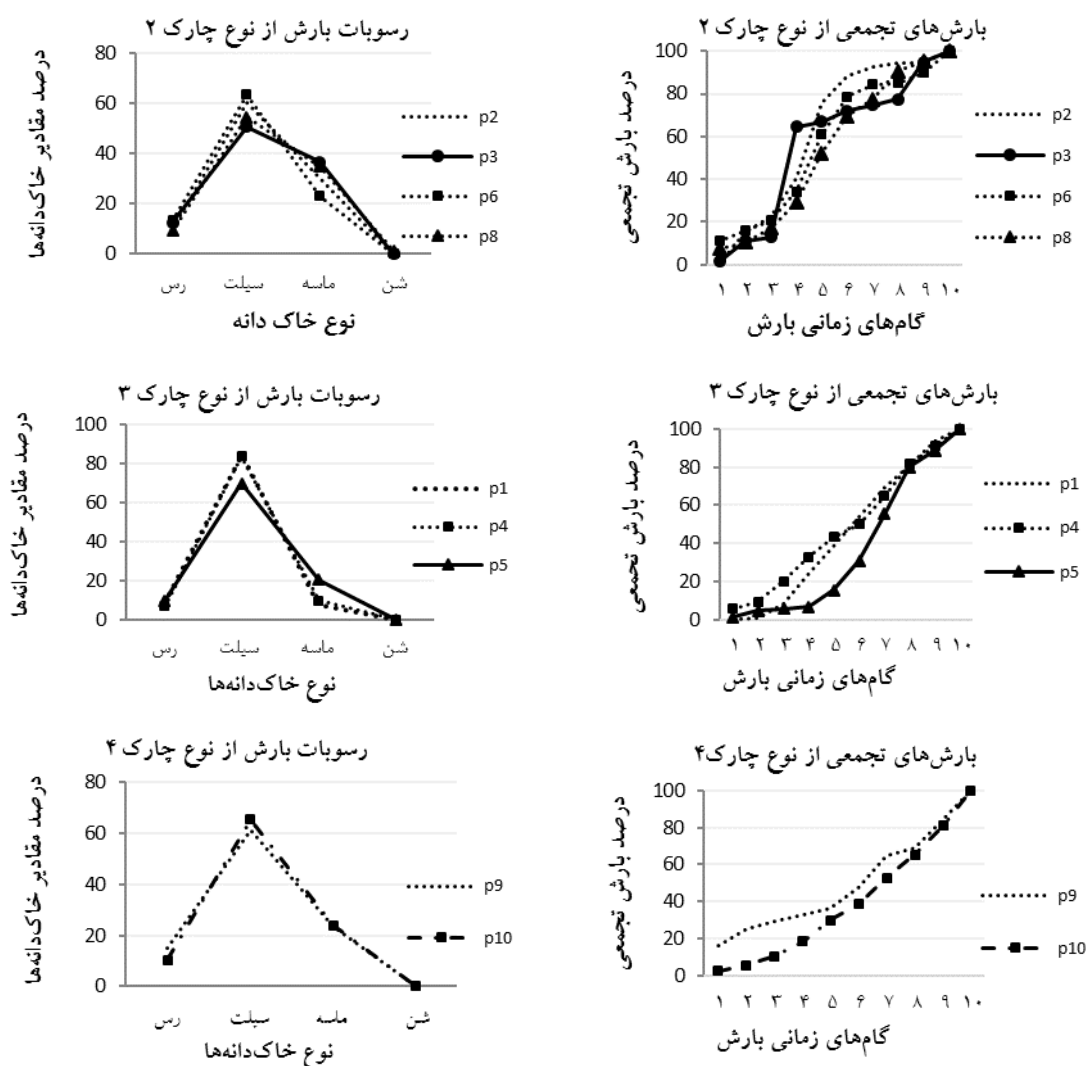
در شکل ۳ الگوی افق‌های رسوبی یکسان (سمت راست) و بارش‌های متناظر با آنها (سمت چپ) در حوضه علی‌آباد نشان داده شده است. رسوبات این حوضه شامل سیلت، سیلت ماسه



شکل ۲. الگوی بارش‌ها با چارک یکسان و رسوبات متناظر با آن در حوضه علی‌آباد



شکل ۳. افق‌های رسوبی یکسان و بارش‌های متناظر آن در حوضه علی‌آباد



شکل ۴. الگوی بارش‌هایی از نوع چارک یکسان و رسوبات متناظر با آن در حوضه عمروان

سمت چپ) را نشان می‌دهد. رسوبات این حوضه شامل سیلت، سیلت ماسه‌ای، گل ماسه‌ای، ماسه سیلتی و گل ماسه‌ای با کمی شن هستند. دامنه رسوبی برای کلیه بارش‌ها با وجود تغییرات تقعر منحنی‌های بارش نسبت به دهک‌های زمانی بارش، یکسان است بارش  $p_3$  با الگوی بارش قدری متفاوت با دیگر الگوهای بارشی منجر به الگوی رسوب متفاوت شده است. این الگوی بارش نشان دهنده بارش حداکثری در چارک دوم است. از خصوصیات رسوبات فرسایش یافته این حوضه، وجود درصد قابل توجهی از ماسه است.

چارک ۳ بیشترین مقدار را داشته ولی درصد ماسه فرسایش یافته برای چارک‌های ۲ و ۴ بیشترین مقدار را دارا است. بارش  $p_7$  از نوع چارک یک بوده و به علت یگانه بود چارک، امکان مقایسه شباهت میان الگوی بارش و الگوی رسوب وجود نداشته و عنوان نشده است.

بررسی الگوی رسوب و بارش‌های متناظر برای افق‌های رسوبی یکسان در حوضه عمروان  
شکل ۵ الگوی رسوبی در افق‌های رسوبی یکسان (شکل های سمت راست) و بارش‌های متناظر آن (شکل‌های





شکل ۵. الگوی رسوبی در افق‌های رسوبی یکسان و بارش‌های متناظر آن در حوضه عمروان

امکان مقایسه شباهت میان الگوی بارش و الگوی رسوب وجود نداشته و عنوان نشده است.

### بررسی الگوی رسوب و بارش‌های متناظر برای افق‌های رسوبی یکسان در حوضه سولدره شرقی

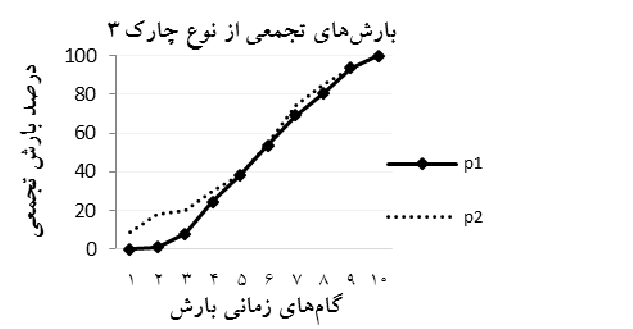
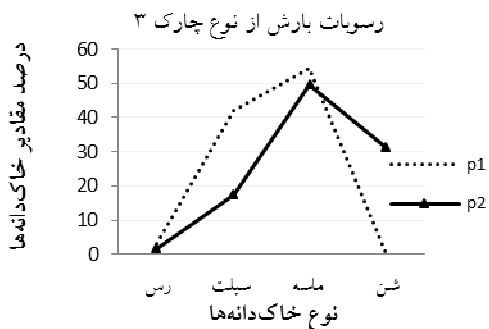
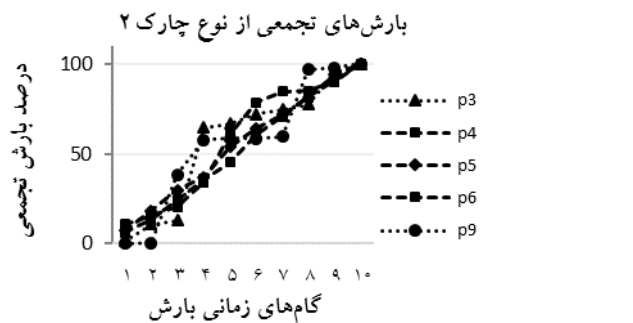
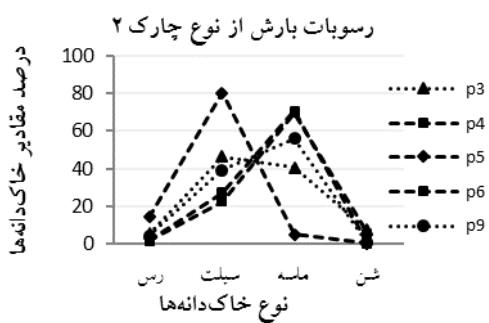
شکل ۷ الگوی رسوبی در افق‌های رسوبی یکسان و بارش‌های متناظر آن را نشان می‌دهد. رسوبات این حوضه شامل سیلت، سیلت ماسه‌ای، ماسه سیلتی، سیلت ماسه‌ای شنی، ماسه سیلتی با کمی شن، ماسه سیلتی شنی و شن ماسه‌ای سیلتی هستند. بارش‌های P1 و P4 رسوباتی از جنس ماسه سیلتی به همراه داشته‌اند که شباهت بسیار زیاد در الگوی بارش و همچنین در الگوی رسوب دارند. بارش‌های P6، P7 و P9 رسوباتی از جنس ماسه سیلتی با کمی شن به همراه داشته‌اند. بارش‌های P6 و P7 شباهت زیادی در الگوی بارش و شباهت بسیار زیادی در الگوی رسوب دارند و P9 در مقایسه با بارش P7 در الگوی بارش شباهتی ندارند اما شباهت زیادی در الگوی رسوب دارند. بارش‌های P11 و P12 رسوباتی از جنس شن ماسه‌ای سیلتی به همراه داشته‌اند و شباهت زیادی در الگوی بارش و رسوب دارند. این بارش‌ها در دسته‌بندی چارک چهارم قرار می‌گیرند. به نظر می‌رسد بارش‌های چارک چهارم منجر به فرسایش شدیدتر حوضه می‌شوند.

### بررسی الگوی بارش و رسوب متناظر برای چارک‌های یکسان در حوضه سولدره غربی

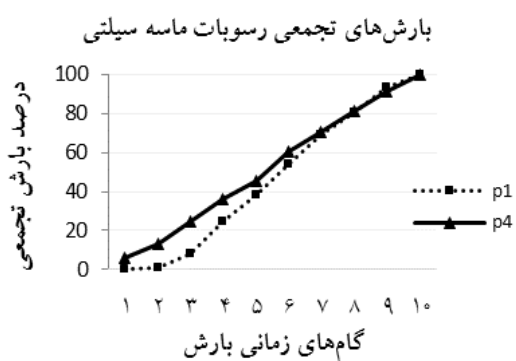
در این حوضه، متناظر با ۱۰ افق رسوبی (۱۰ لایه تشخیص داده

### بررسی الگوی بارش و رسوب متناظر برای چارک‌های یکسان در حوضه سولدره شرقی

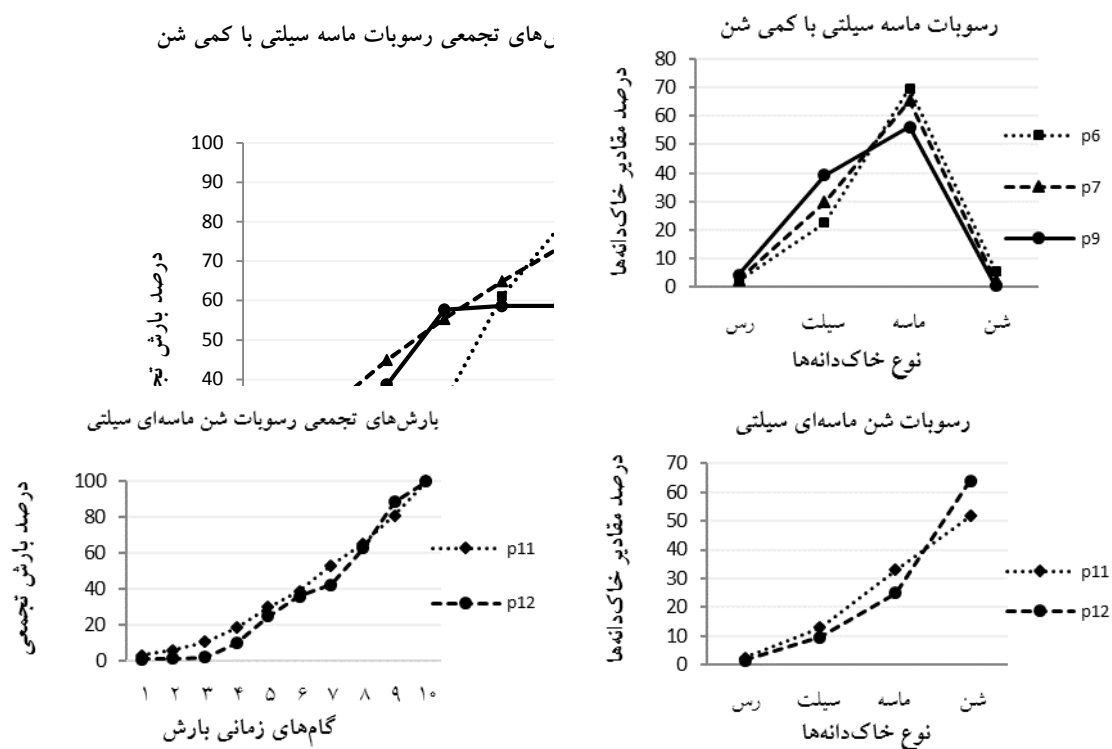
در این حوضه، متناظر با ۱۲ افق رسوبی (۱۲ لایه تشخیص داده شده از برداشت میدانی)، تعداد ۱۲ رگبار مؤثر برای فرسایش حوضه تشخیص داده شدند. در صورت یگانه بودن الگوی بارش یا افق رسوبی امکان مقایسه وجود نداشته و عنوان نشده است. در این تناظر، سه گروه منحنی تشخیص داده شد. شکل ۶ الگوی بارش‌ها و الگوی رسوبات فرسایش یافته متناظر با آنها را نشان می‌دهد. رسوبات فرسایش یافته حوضه دارای سیلت، ماسه و شن متناظر با الگوی بارش است. در این حوضه بارش‌های P3، P4، P5، P6 و P9 از نوع چارک دو هستند. هماهنگی و همبستگی چندانی بین الگوی بارش و الگوی رسوبات فرسایش یافته حوضه دیده نمی‌شود به‌عنوان مثال بارندگی‌های P3 و P9 بدون شباهت در الگوی بارش هستند اما شباهت خوبی در الگوی رسوب دارند. بارش‌های P4 و P5 شباهت بسیار زیادی در الگوی بارش دارند اما در الگوی رسوب شباهت بسیار زیاد و معکوس میان درصد شن و ماسه آنها وجود دارد. بارش‌های P4 و P6 شباهت زیادی در الگوی بارش و الگوی رسوب هستند. بارش‌های P1 و P2 از نوع چارک سه هستند. که شباهت زیاد در الگوی بارش دارند. اما شباهتی در الگوی رسوب ندارند. بارش‌های P8، P10، P11 و P12 از نوع چارک چهار است و بارش‌های P8، P11 و P12 شباهت زیادی در الگوی بارش و رسوب دارند و بارش P10 با تفاوت در الگوی بارش، در الگوی رسوب نیز متفاوت است. بارش P7 از نوع چارک یک بوده و به علت یگانه بودن چارک،



شکل ۶. الگوی بارش‌هایی از نوع چارک یکسان و رسوبات‌های متناظر با آن در حوضه سولدره شرقی



شکل ۷. الگوی رسوبی در افق‌های رسوبی یکسان و بارش‌های متناظر آن در حوضه سولدره شرقی



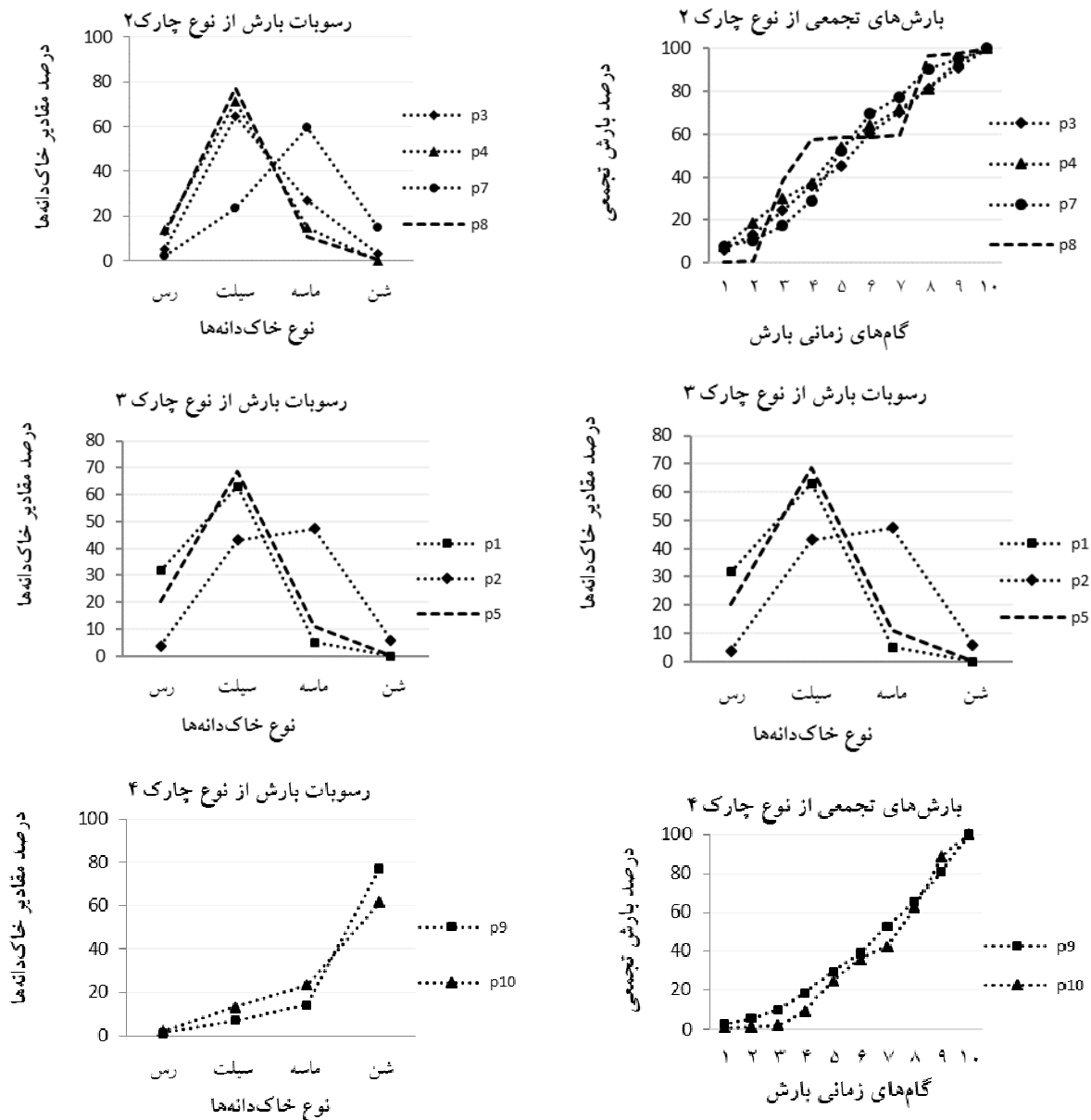
ادامه شکل ۷

شبهات الگوی بارش p<sub>2</sub> با دیگر الگوهای بارش این چارک، الگوی رسوبگذاری آن متفاوت است. بارش‌های p<sub>9</sub> و p<sub>10</sub> از نوع چارک چهار هستند و شباهت زیادی در الگوی بارش و رسوب دارند. عمده رسوبات از نوع شن هستند. بارش p<sub>6</sub> از نوع چارک یک بوده و به‌علت یگانه بودن چارک، امکان مقایسه شباهت میان الگوی بارش و الگوی رسوب وجود نداشته و عنوان نشده است.

#### بررسی الگوی رسوب و بارش متناظر برای افق‌های رسوبی یکسان در حوضه سولدره غربی

رسوبات این حوضه شامل سیلت، سیلت ماسه‌ای، سیلت ماسه ای با کمی شن، ماسه گلی با کمی شن، ماسه سیلتی شنی و شن ماسه‌ای سیلتی هستند. بارش‌های p<sub>4</sub>، p<sub>5</sub>، p<sub>6</sub> و p<sub>8</sub>

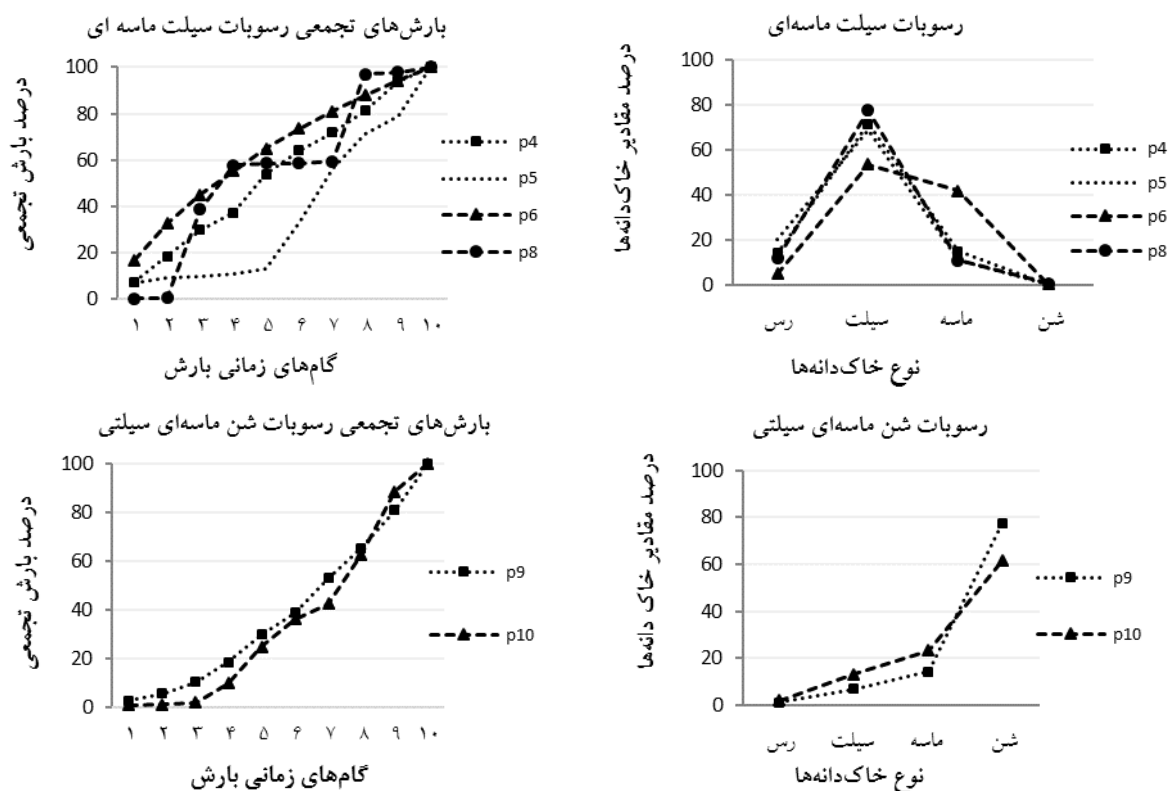
شده از برداشت میدانی)، تعداد ۱۰ رگبار مؤثر برای فرسایش حوضه تشخیص داده شدند. در صورت یگانه بودن الگوی بارش یا افق رسوبی امکان مقایسه وجود نداشته و عنوان نشده است. در این تناظر، سه گروه منحنی تشخیص داده شد. شکل ۸ الگوی بارش‌ها و رسوبات فرسایش یافته متناظر با آنها را نشان می‌دهد. رسوبات فرسایش یافته حوضه دارای سیلت، ماسه و شن متناظر با الگوی بارش است. در این حوضه بارش‌های p<sub>3</sub>، p<sub>4</sub>، p<sub>7</sub> و p<sub>8</sub> از نوع چارک دو است. برای بارش p<sub>7</sub> چندان همبستگی بین الگوی بارش و الگوی رسوبات فرسایش یافته دیده نمی‌شود. الگوی رسوبگذاری برای بارش p<sub>8</sub> نیز با وجود تفاوت در الگوی بارش، کاملاً شبیه الگوی رسوبگذاری برای بارش‌های p<sub>3</sub> و p<sub>4</sub> است. بارش‌های p<sub>1</sub>، p<sub>2</sub> و p<sub>5</sub> از نوع چارک سه هستند. با وجود



شکل ۸. الگوی بارش‌هایی از نوع چارک یکسان و رسوب‌های متناظر با آن در حوضه سولدره غربی

رسوباتی از جنس شن ماسه‌ای سیلتی به‌همراه داشته‌اند که شباهت زیادی در الگوی بارش و شباهت خوبی در الگوی رسوب دارند. شکل ۹ الگوی رسوبی در افق‌های رسوبی یکسان و بارش‌های متناظر آن را نشان می‌دهد. همانگونه که در این شکل مشخص است بارش‌هایی از نوع چارک چهارم موجب فرسایش رسوبات درشت‌دانه‌تر نسبت به چارک‌های دیگر می‌شود.

رسوباتی از جنس سیلت ماسه‌ای به‌همراه داشته‌اند و بارش‌های p4 و p6 شباهت بسیار زیادی در الگوی بارش دارند اما شباهتی در الگوی رسوب ندارند. بارش‌های p4 و p8 شباهتی در الگوی بارش ندارند اما شباهت بسیار زیادی در الگوی رسوب آنها دیده می‌شود. بارش p4 و p5 شباهت کمی در الگوی بارش دارند. اما شباهت بسیار زیادی در الگوی رسوب آنها دیده می‌شود. بارش‌های p9 و p10



شکل ۹. الگوی رسوبی در افق‌های رسوبی یکسان و بارش‌های متناظر آن در حوضه سولدره غربی

۱۴/۳ درصد در افق‌های رسوبی یکسان است.

در هر حوضه با توجه به تعداد شباهت‌ها در بارش‌های با چارک یکسان حوضه، به بررسی چارک مؤثر در حوضه پرداخته شد که این چارک‌ها در جدول ۵ آورده شده است. چنانچه مساحت، کشیدگی و شیب حوضه از عوامل تأثیرگذار بر رسوبدهی حوضه در نظر گرفته شوند و میزان شباهت‌ها با عنایت به این عوامل سنجیده شوند، بیشترین میزان شباهت در گروه چارک‌های یکسان مربوط به حوضه های علی‌آباد و عمروان با کمترین شیب است و کمترین میزان شباهت در گروه چارک‌های یکسان مربوط به حوضه سولدره- شرقی با شیب زیاد و کمترین مساحت است. بیشترین میزان شباهت در گروه افق‌های رسوبی یکسان مربوط به حوضه علی‌آباد با کشیدگی زیاد و شیب کم است و کمترین میزان شباهت در افق‌های رسوبی یکسان مربوط به حوضه سولدره- غربی با کمترین کشیدگی و بیشترین شیب است.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بارش از عوامل تأثیرگذار بر فرایند فرسایش حوزه آبخیز است. در این مقاله نخست به بررسی الگوی بارش منطقه پرداخته شده و سپس تأثیر الگوی بارش بر الگوی رسوب دهی حوضه مطالعه شده است. به منظور تعیین میزان شباهت‌های موجود در کلیه الگوهای بارش و افق‌های رسوبی، شباهت‌ها با توجه به معیارهای ارائه شده در جدول ۳ جمع‌بندی و در جدول ۴ خلاصه شده‌اند. با توجه به جدول، شباهت الگوی بارش و الگوی رسوب در حوضه ها از مقدار بیشتر به کمتر به ترتیب حوضه‌های علی‌آباد، سولدره شرقی، عمروان و سولدره غربی است که بیشترین درصد شباهت مربوط به حوضه علی‌آباد با ۸۰ درصد شباهت در چارک‌های یکسان و ۹۰/۹ درصد در افق‌های رسوبی یکسان است و کمترین آن مربوط به حوضه سولدره غربی با ۶۰ درصد شباهت در چارک‌های یکسان

جدول ۴. شباهت‌های الگوی بارش و رسوب در هر حوضه

نام حوضه	علی‌آباد	عمروان	سولدره شرقی	سولدره غربی
شباهت در چارک‌های یکسان (%)	۸۰	۸۰	۴۱/۲	۶۰
شباهت در افق‌های رسوبی یکسان (%)	۹۰/۹	۳۳/۳	۸۰	۱۴/۳

جدول ۵. چارک مؤثر در هر حوضه

نام حوضه	علی‌آباد	عمروان	سولدره شرقی	سولدره غربی
چارک مؤثر	۳	۳	۴	۲
شباهت (%)	۸۳/۳	۱۰۰	۵۰	۶۶/۶

حوضه به نظر می‌رسد با کاهش کشیدگی و افزایش درجه شیب در حوضه میزان میانگین شباهت در الگوی بارش و رسوب کاهش می‌یابد. در اکثر مواردی که شباهت در الگوی بارش وجود دارد اما در الگوی رسوب شباهت معادل وجود ندارد، می‌توان علت را تفاوت در مقادیر بارش و شدت بارش و همچنین پوشش گیاهی و رطوبت اولیه خاک متفاوت در زمان وقوع رگبار دانست زیرا در همه رگبارها، مقدار و شدت بارش و تغییرات در پوشش گیاهی خاک (فصل بارندگی) و تغییرات رطوبت خاک بر میزان رسوبدهی حوضه تأثیرگذار هستند.

جنس خاک حوضه بر تناظر الگوی بارش و الگوی فرسایش حوضه نیز تأثیرگذار است به صورتی که با افزایش میزان ذرات سیلت و ماسه در خاک حوضه، از میزان شباهت الگوی رسوب بارش‌هایی با چارک یکسان در حوضه کاسته شده و بیشترین مقدار شباهت مربوط به حوضه‌های با خاک غالب از جنس لوم رسی بوده است و کمترین مقدار مربوط به حوضه‌های با خاک غالب از جنس لوم بوده است. بیشترین و کمترین مقدار میانگین شباهت به ترتیب در حوضه‌هایی با چارک مؤثر از نوع ۳ و ۲ اتفاق افتاده است. حوضه در خصوص تأثیر چارک بر مقدار و نوع رسوب حوضه، بارش‌هایی با چارک ۴ منجر به فرسایش رسوبات درشت دانه تری شده‌اند. به گونه‌ای که بیشتر رسوب با نام اصلی شن مربوط به بارش‌هایی با این چارک است. این نتایج با نتایج گزارش شده توسط دی‌آسونسو و همکاران (۵)، دلیما و همکاران (۶) و

دانکرلی (۷) که بیشترین ظرفیت انتقال رسوب و فرسایش را مربوط به الگوی تأخیری می‌دانند (الگوهایی که در آن بیشترین مقدار بارش در زمان‌های انتهایی رگبار اتفاق می‌افتد) همخوانی دارد. بیشترین رسوبات با نام اصلی ماسه مربوط به چارک ۳ است و بیشتر رسوبات سیلت ماسه‌ای مربوط به بارش‌هایی با چارک ۲ است. اما در بارش با چارک ۱ روند خاصی مشاهده نشد. این نتایج تأثیر الگوی بارش بر الگوی رسوب را نشان می‌دهد و با نتایج علوی‌نیا و همکاران (۲)، مدریوس و آروجو (۱۰) و ونگ و همکاران (۱۴) که تغییرات الگوی بارش در حین بارندگی را از عوامل مهم و تأثیرگذار بر رسوبدهی حوضه گزارش کرده‌اند، همخوانی دارد.

پیشنهاد می‌شود این روند شباهت‌یابی در الگوی بارش‌های جزئی و با همین معیارها انجام شود و نتایج، با الگوی بارش‌های تجمعی مقایسه شود. از آنجایی که دامنه پارامترهای مؤثر بر رسوبدهی حوضه می‌تواند نوع و الگوی رسوبدهی را تحت تأثیر قرار دهد، همچنین در حوضه‌های متفاوت نیز تأثیر پارامترها مورد ارزیابی قرار گیرد و با یکدیگر مقایسه شوند. چنانچه در صورت امکان، تحت شرایط کنترل شده تأثیر عوامل مختلف از جمله رطوبت اولیه خاک، پوشش گیاهی و جریان‌های سطحی حین بارش بررسی شود، نتایج با دقت بیشتری همراه خواهد بود. در ضمن چنانچه بتوان روند تغییرات در کاربری اراضی را طی دوره‌های زمانی برداشت رسوبات نیز بررسی کرد، می‌توان به درک بهتری از الگوی رسوبدهی حوضه تحت عوامل مختلف دست یافت.

## منابع مورد استفاده

1. 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(3): 41-58.
2. Alavinia, M., F. N. Saleh and H. Asadi. 2019. Effects of rainfall patterns on runoff and rainfall-induced erosion. *International Journal of Sediment Research* 34(3): 270-278.
3. Baliani, A. and A. R. Vaezi. 2018. Investigation of the relationships between rainfall erosion processes, slope and antecedent water content in semi-arid soils. *Water and Soil* 32(5): 943-959. (in Farsi).
4. Basati, R. 2018. Effects of rainfall intensity and duration on runoff and sediment (Case Study: Kuhdasht basin). Master thesis, Lorestan University, Lorestan, I.R. Iran.
5. De Assunção Montenegro, A. A., T. E. M. dos Santos Souza, E. R. de Souza and S. M. G. L. Montenegro. 2018. Temporal dynamics of soil moisture and rainfall erosivity in a tropical volcanic archipelago. *Journal of Hydrology* 563: 737-749.
6. 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.
7. Dunkerley, D. 2012. Effects of rainfall intensity fluctuations on infiltration and runoff: rainfall simulation on dryland soils, Fowlers Gap, Australia. *Hydrological Processes* 26(15): 2211-2224.
8. Fang, H., L. Sun and Z. Tang. 2015. Effects of rainfall and slope on runoff, soil erosion and rill development: an experimental study using two loess soils. *Hydrological Processes* 29(11): 2649-2658.
9. Liu, Y. -J., J. Yang, J. -M. Hu, C. -J. Tang and H. -J. Zheng. 2016. Characteristics of the surface-subsurface flow generation and sediment yield to the rainfall regime and land-cover by long-term in-situ observation in the red soil region, Southern China. *Journal of Hydrology* 539: 457-467.
10. Medeiros, P. H. A. and J. C. de Araújo. 2014. Temporal variability of rainfall in a semiarid environment in Brazil and its effect on sediment transport processes. *Journal of Soils and Sediments* 14(7): 1216-1223.
11. Rahgoshay, M. 2019. Climate change through evaluation of sedimentation data in reservoirs and small dams (Case study: Semnan province) Ph.D Thesis, Islamic Azad University, Tehran, I.R. Iran.
12. Refahi, H. Gh. 2009. Water Erosion and Conservation. Tehran University Press, Tehran.
13. Vaezi, A. R. and Y. Rostami. 2017. Developing rainfall erosivity index based on field soil loss measurements at the small plots in a semi-arid region. *Iranian Journal of Watershed Management Science & Engineering* 10(35): 9-14. (in Farsi).
14. Wang, W., S. Yin, Y. Xie, B. Liu and Y. Liu. 2016. Effects of four storm patterns on soil loss from five soils under natural rainfall. *CATENA* 141: 56-65.
15. Wei, W., L. Chen, B. Fu, Z. Huang, D. Wu and L. Gui. 2007. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. *Journal of Hydrology* 335(3): 247-258.

## Investigation of Sedimentation of Small Catchments under Precipitation Pattern and Basin Characteristics in Arid and Semi-Arid Climate

P. Fattah<sup>1</sup>, k. Hosseini<sup>2\*</sup> and S. A. A. Hashemi<sup>3</sup>

(Received: March 26-2021 ; Accepted: November 22-2021)

### Abstract

Splash (raindrop) erosion plays an significant role in soil loss, especially in arid and semi-arid regions with poor vegetation. In this paper, by analyzing the pattern of rainfalls that occurred during 26 years in four basins located in Semnan County, their effect on the pattern of eroded sediments from the basin was investigated. Sedimentary layers from the sampling of retarding reservoir sediments in 2017 were related to the corresponding precipitations. Due to the occurrence of the highest amount of rainfall in each quarter of rainfall, rainfall hyetographs were divided into four categories. Cumulative precipitation curves with similar quartiles were drawn in one shape and compared with sediment curves and vice versa taking into account the physical characteristics of the basin. The results showed that the Aliabad basin (with less slope and more elongation) with an effective quarter of type 3 had the highest similarity in precipitation and sediment patterns. Also, the Western Soldereh basin (with the highest slope and the least elongation) with an effective quarter of type 2 had the least similarity in precipitation and sediment patterns. The results indicate the vital role of rainfall patterns on the resulting sediment patterns, which show up to 85% similarity.

**Keywords:** Rainfall changes, Water erosion, Sediment pattern, Reservoirs, Precipitation quartiles

---

1. Water resource management, Semnan University, Semnan, Iran.

2. Water and Hydraulic Structures Department, Civil Engineering Faculty, Semnan University, Semnan, Iran.

3. Semnan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Semnan, Iran.

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