

بیشینه و کمینه فرسایندهای باران به ترتیب در ماه دی و فصل تابستان (ماه‌های تیر، مرداد و شهریور) با میزان حدود ۱۸۲ و ۰/۱ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت بوده است. بیش‌ترین مقادیر عامل فرسایندهای باران و رسوبدهی ۱۵ روزه، در نیمه دوم دی و آذر به ترتیب حدود ۱۰۴ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت و ۱۴۸۲۴۱ تن رخ داده است. رسوبدهی و فرسایندهای باران ماهانه در این حوضه، هر یک دارای دو اوج هستند، که دو اوج رسوبدهی در ماه‌های آذر و فروردین و فرسایندهای باران در ماه‌های دی و فروردین اتفاق افتاده است.

**کلید واژه‌ها:** بار معلق، تغییرات فصلی فرسایندهای، دبی اوج، سرخاب، میان‌یابی،  $EI_p$

#### مقدمه

فرسایش خاک یکی از مشکلات مهم اجتماعی و اقتصادی و یک عامل ضروری در ارزیابی سلامتی و کارکرد اکوسیستم است [۹]. یکی از مهم‌ترین پیامدهای منفی این پدیده رسوبدهی است که شناسایی و بررسی نوع و مقدار رسوب تولید شده به دلیل اثرات آن بر محیط زیست، شبکه‌های آبیاری، سدها و مخازن آب و غیره از درجه‌ی اهمیت بالایی برخوردار است [۲۸]. از دیدگاه زیست‌محیطی، نقش رسوبات معلق در انتقال عناصر غذایی، سموم و سایر آلاینده‌ها، اخیراً مورد توجه بیشتری قرار گرفته است و به این علت که بار معلق بخش عمده رسوب حمل شده در اکثر رودخانه‌ها را تشکیل می‌دهد، برای کسب شناخت اولیه از فرسایش حوزه‌های نیز قابل استفاده هستند [۱]. شدت فرسایش در زمان‌ها و مکان‌های مختلف متغیر بوده و این تغییرات می‌توانند کوتاه مدت یا بلند مدت باشند. علاوه بر تغییر فرسایش به دلیل مقدار و فراوانی وقوع بارش‌ها، شدت فرسایش دارای نوسان‌های فصلی نیز می‌باشد [۲۵]. در مراحل اولیه فرسایش آبی، نیروی فرسایندهای ناشی از برخورد قطرات باران با جدا نمودن ذرات خاک و ایجاد رواناب سطحی مهم‌ترین تأثیر را در پدیده فرسایش و بالاترین همبستگی را با آن دارد. فرسایندهای باران نیروی محرکه یا توان عامل فرسایش را در جداسازی و انتقال ذرات خاک است [۲۰]. این عامل تحت تأثیر عوامل مختلفی، تغییرات زمانی و مکانی دارد که ویژگی‌های بارندگی از عوامل مؤثر در میزان تغییرات آن می‌باشند [۲۴]. همچنین این تغییرات دارای چرخه‌ای است که هر سال در

## تغییرات رسوبدهی معلق تحت تأثیر چرخه فرسایندهای باران در حوزه آبخیز سرخاب

زهرا گرامی<sup>۱</sup>، محمود عرب‌خداری<sup>۲</sup>، حسین اسدی<sup>۳</sup> و رضا بیات<sup>۴</sup>  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۳

### چکیده

یکی از مهم‌ترین پیامدهای پدیده‌ی فرسایش خاک، رسوبدهی است که شناسایی و بررسی نوع و مقدار رسوب تولید شده به دلیل اثرات آن بر محیط زیست، شبکه‌های آبیاری، سدها و مخازن آب از درجه‌ی اهمیت بالایی برخوردار است. این پژوهش با هدف تعیین چگونگی تأثیر چرخه فرسایندهای باران بر تغییرات رسوبدهی معلق در حوزه آبخیز سرخاب واقع در استان لرستان انجام شد. ابتدا، شاخص فرسایندهای باران ( $EI_{30}$ ) ۱۵ روزه و ماهانه، با تحلیل آمار ۱۳ ایستگاه موجود در داخل و اطراف حوضه محاسبه و پس از انجام درون‌یابی به روش کریجینگ، نقشه‌های فرسایندهای برای هر یک از بازه‌های زمانی فوق تهیه شد. در نهایت، میانگین ۱۵ روزه و ماهانه فرسایندهای باران در حوضه به دست آمد. در مرحله بعد رسوبدهی ایستگاه کشور (خروجی حوضه) با استفاده از روش برون‌یابی تلفیق منحنی سنج رسوب و آمار جریان روزانه برآورد شد. پس از محاسبه‌ی شاخص فرسایندهای رسوب خروجی از حوضه در بازه‌های ۱۵ روزه و ماهانه، همبستگی و روند بین این دو، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشینه و کمینه رسوبدهی معلق حوضه به ترتیب با مقدار حدود ۲۴۶۲۱۶ و ۱۲۷۲ تن در ماه‌های آذر و شهریور رخ داده است. همچنین در بررسی ماهانه‌ی چرخه‌ی فرسایندهای در حوضه سرخاب،

۱- نویسنده مسؤل و کارشناس ارشد فیزیک و حفاظت خاک- دانشگاه گیلان، z.gerami@yahoo.com

۲- دانشیار گروه مهندسی حفاظت آب و خاک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، arabkhedri@scwmri.ac.ir

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران، ho.asadi@ut.ac.ir

۴- مربی گروه مهندسی حفاظت آب و خاک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، bayat@scwmri.ac.ir

فصلی مقدار آن زیاد و در فصلی کم است [۲۵ و ۱۸]. انتقال رسوب معلق در کنار عوامل زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و سایر عوامل فیزیوگرافی حوضه، وابستگی شدیدی به الگوهای بارشی، توزیع زمانی و مکانی بارش، رژیم‌های هیدرولوژی جریان سطحی و غیره دارد [۱۶].

شاخص‌های فرساینده‌گی باران را می‌توان به دو گروه شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی، و شاخص‌های مبتنی بر آمار سهل‌الوصول بارندگی تقسیم‌بندی کرد. از گروه اول می‌توان به  $EI_{30}$  اشاره کرد که مقبولیت جهانی دارد. در ایران نیز نیک کامی و مهدیان [۲۶] در پژوهشی به بررسی و تعیین مناسب‌ترین شاخص فرساینده‌گی باران در مناطق مختلف ایران پرداخت. در این مطالعه ارتباط بین ۶۴ شاخص فرساینده‌گی مختلف مبتنی بر شدت باران با تلفات خاک در پلات‌ها بررسی شده است. نهایتاً نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص  $EI_{30}$ ، برای تعیین فرساینده‌گی کشور مناسب است. همچنین در پژوهشی دیگر حکیم‌خانی و حکیم‌خانی [۱۵] برای محاسبه فرساینده‌گی از شاخص  $EI_{30}$  استفاده کردند و این شاخص را مناسب استان لرستان تشخیص دادند.

مهم‌ترین شاخص‌ها در گروه دوم شاخص فرساینده‌گی فورنیه  $\frac{p^2}{p}$  و فورنیه اصلاح شده  $\frac{\sum_{i=1}^{12} p^2}{p}$ ، می‌باشند که بیش از شاخص‌های دیگر در تعیین فرساینده‌گی باران و تهیه نقشه‌ی فرساینده‌گی به‌ویژه برای مناطق فاقد آمار مورد توجه محققان قرار گرفته است [۱۷]. برای میان‌یابی مقادیر فرساینده‌گی باران که به‌صورت نقطه‌ای است، از روش‌های زمین‌آمار مناسب استفاده می‌شود [۱۴] و فرساینده‌گی ماهانه حوضه از آن استخراج می‌شود.

برای برآورد رسوب‌دهی معلق، معمولاً به دلیل کافی نبودن تعداد اندازه‌گیری غلظت در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی، محاسبه‌ی رسوبدهی به روش‌های درون‌یابی<sup>۱</sup> منطقی نیست. به این دلیل، این کار بر اساس روش برون‌یابی<sup>۲</sup> یعنی تلفیق منحنی سنج رسوب<sup>۳</sup> و آمار جریان، انجام می‌شود [۵]. در چند مطالعه [۵] و [۲۲] نشان داده شده است که روش تلفیق جریان روزانه و منحنی سنج حد وسط دسته‌ها، دقیق‌تر و صحیح‌تر از سایر روش‌های سنج رسوب است و بهترین قابلیت پیش‌بینی را در برآورد رسوب دارد.

یانگ و همکاران [۳۳] در بررسی و تعیین مدل اثر تغییر فصلی بارش بر فرساینده‌گی باران و خطر فرسایش دامنه‌ای در جنوب شرق استرالیا نشان داد که الگوی فصلی بین مدل‌های مورد بررسی، شبیه هم هستند و مدل‌ها فرساینده‌گی بالایی در تابستان و فرساینده‌گی کم در زمستان را نشان دادند. تحلیل توزیع مکانی و زمانی رسوب معلق در حوزه آبریز قره سو توسط فرج زاده و قره چورلو [۱۲] نشان داد که در ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه بیش‌ترین بارندگی در ماه اردیبهشت رخ داده است که بارش بیش‌تر این

ماه نسبت به ماه‌های دیگر به دلیل فعالیت سامانه‌های غربی و وجود منبع رطوبتی دریای مدیترانه و نیز عامل همرفت دامنه‌ای در فصل بهار می‌باشد که شرایط را برای وقوع بیشینه بارش ماهانه در آذربایجان فراهم می‌آورد. در مقابل مرداد ماه به خصوص به دلیل نبود منابع رطوبتی کم‌ترین بارندگی را داشته است. حداکثر و حداقل رسوب متوسط ماهانه به ترتیب در ماه فروردین و مرداد رخ داده است که با حداقل بارش حوضه مطابقت دارد و بیش‌ترین میزان رسوبدهی در فصل بهار و کم‌ترین آن در فصل پاییز بوده است.

رحمتی [۲۷] در بررسی پتانسیل رسوبدهی در حوضه‌های فرعی رودخانه‌ی سرخاب کشور به این نتیجه رسید که میانگین رسوبدهی معلق سالانه ۶۷۷۰۰۰ تن در سال و رسوبدهی ویژه حوضه ۲۰۵۱ تن در کیلومتر مربع در سال می‌باشد که خیلی زیاد است. همچنین ایشان بیان نموده‌اند که حدود ۸۷ درصد از کل مواد معلق رسوبی سالانه رودخانه سرخاب در ۲۲ روز از سال (۶ درصد زمان) عبور می‌کند که این زمان مربوط به زمان سیلابی رودخانه با دبی بیش‌تر از ۱۷ متر مکعب در ثانیه می‌باشد.

در کشور برزیل مشخص شد که ماه‌های دسامبر (۱۰ آذر تا ۱۰ دی) و ژانویه (۱۱ دی تا ۱۱ بهمن) بیش‌ترین میزان فرساینده‌گی را داشته، در حالی که کم‌ترین میزان از ماه میلادی جون (۱۱ خرداد تا ۹ تیر) تا سپتامبر (۱۰ شهریور تا ۸ مهر) مشاهده شده است [۳۱]. حکیم‌خانی و حکیم‌خانی [۱۵] برای تهیه نقشه‌ی فرساینده‌گی باران برای استان لرستان، آمار ۶۱ ایستگاه دارای آمار شدت بارندگی و آمار روزانه‌ی بارندگی را بررسی کردند و نشان دادند که میانگین حداکثر و حداقل فرساینده‌گی سالانه این استان، به ترتیب برابر با ۵۹۴/۹۴، ۲۲۵۷/۳ و ۹۸/۵۴ مگاژول میلی‌متر بر هکتار در ساعت در سال به‌دست آمد. نکته‌ی قابل توجهی که در این مطالعه وجود دارد این است که یکی از ایستگاه‌های انتخابی، ایستگاه کشور می‌باشد. در این ایستگاه میزان فرساینده‌گی سالانه ۱۵۹۳ مگاژول میلی‌متر بر هکتار در ساعت در سال می‌باشد که توان فرساینده‌گی این ایستگاه زیاد ارزیابی شده است.

در نهایت می‌توان گفت که، مطالعات بسیاری [۳۰] و [۳۲] همبستگی قوی بین شاخص فرساینده‌گی باران و رسوب تولیدی را تأیید کرده‌اند. از آنجا که پارامترهای بارندگی بر سیستم رسوبگذاری حوزه‌ی آبخیز تأثیرگذارند، با افزایش میزان و شدت باران همراه با فراوانی تعداد رخداد‌های بارندگی، افزایش فرسایش پاشمانی و تولید رسوب در حوضه مشاهده و انتقال رسوب تسهیل می‌یابد. به این منظور حوزه آبخیز سرخاب که طبق پژوهش عرب‌خردی [۴] بیش‌ترین رسوبدهی معلق ویژه کشور را داراست و همچنین به علت اینکه آمار نسبتاً مناسب بارش، جریان و رسوبدهی را دارد، انتخاب شد و با بررسی تغییرات رسوبدهی معلق با در نظر گرفتن چرخه فرساینده‌گی باران در این حوضه، می‌توان به برنامه‌ریزی مدیریت و حفاظت خاک کمک کرد.

- 1- Interpolation
- 2- Extrapolation
- 3-Sediment rating curve

## مواد و روش‌ها

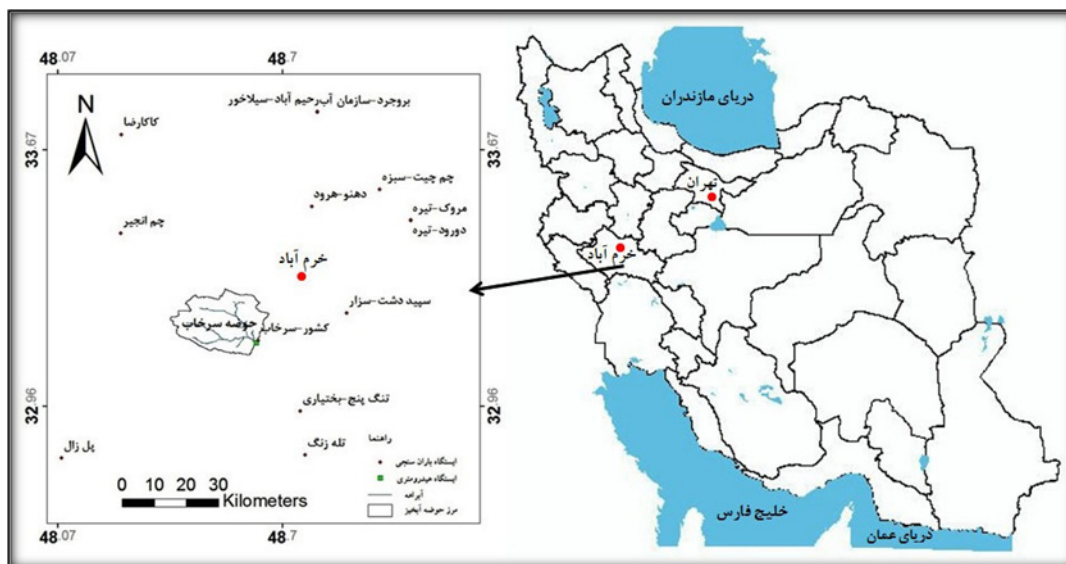
این پژوهش با هدف تعیین نحوه تغییرات رسوبدهی معلق تحت تاثیر چرخه فرساینده‌گی باران در حوزه آبخیز سرخاب-کشور، واقع در زاگرس شرقی انجام گرفته است. حوضه‌ی سرخاب در جنوب شرقی شهرستان خرم‌آباد و بین طول‌های ۲۹° تا ۲۸°۴۸' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۳° تا ۳۳°۱۱' شمالی قرار دارد. حداکثر و حداقل ارتفاع از سطح دریای آزاد به ترتیب ۲۹۱۹ متر و ۷۷۴ متر بوده و مساحت حوضه ۳۴۳/۵۳ کیلومتر مربع است. شیب متوسط حوضه ۱۴/۲۹ درصد و طول آبراهه‌ی اصلی حوضه ۳۲ کیلومتر می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه این حوضه ۹۵۰ میلی‌متر است. اقلیم منطقه بر اساس اقلیم‌نمای دومارتن گسترش یافته از نوع نیمه مرطوب سرد با زمستانی بسیار سرد می‌باشد و نظام بارندگی مدیترانه‌ای در این حوضه برقرار است. این منطقه پوشیده از رسوبات غیر قابل نفوذ مانند مارن، رس، شیل و شیست است و علت نام‌گذاری این حوضه به سرخاب، سرخ بودن مارن و رس آن می‌باشد. اراضی جنگلی منطقه پوشیده از جنگل‌های بلوط- بنه و بلوط ایرانی با تراکم‌های مختلف، اراضی مرتعی با گیاهان یک‌ساله و چندساله، زمین‌های زراعی دیم و آبی می‌باشد. اراضی زراعی منطقه عمدتاً در زیر درختان جنگلی بوده و به صورت اراضی مشجر وجود دارد [۲۷]. نقطه‌ی خروجی این حوضه، ایستگاه رسوب‌سنجی کشور با کد ۲۸۹-۲۱ می‌باشد [۱۹]. شکل (۱) موقعیت حوزه‌ی آبخیز مورد مطالعه همراه با ایستگاه‌های باران‌سنجی را نشان می‌دهد.

جمع‌آوری و بررسی صحت و دقت داده‌ها داده‌ها و آمار مورد نیاز از قبیل، آمار و اطلاعات اقلیمی حوضه مانند بارندگی روزانه و بارش‌های یک دقیقه‌ای به ترتیب از باران‌سنج‌های

معمولی و باران‌نگار، دمای ماهانه از ایستگاه‌های تبخیرسنجی و آمار جریان و غلظت رسوب معلق ایستگاه رسوب‌سنجی خروجی هر حوضه، از شرکت منابع آب ایران که زیرمجموعه وزارت نیرو است، جمع‌آوری گردید. داده‌های دبی جریان، آمار رسوب و بارش هر کدام به صورت جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. ابتدا، ایستگاه‌های باران‌سنجی مجهز به باران‌نگار با آمار یک دقیقه‌ای باران شناسایی و ایستگاه‌های با آمار طولانی‌تر انتخاب شد. نکته قابل توجه در این ایستگاه‌ها این است که آمار تمامی بارش‌ها به صورت داده‌های پردازش شده، در شرکت منابع آب ایران ثبت نشده‌اند و عمدتاً آمار رگبارهای فرساینده گزارش شده است. کیفیت آمارهای بارش و دما ایستگاه‌های هواشناسی منتخب و همچنین غلظت رسوب و جریان متناظر با آن و جریان روزانه ایستگاه آب‌سنجی خروجی حوضه مورد بررسی قرار گرفت و در صورت نیاز با روش‌های مرسوم مانند میانگین‌گیری و همبستگی بین دو ردیف داده‌ها [۲۱] بازسازی شد. بر اساس داده‌های موجود، دوره‌ی آماری انتخاب شده در حوضه‌ی سرخاب، سال‌های آبی ۷۱-۷۰ تا ۸۳-۸۲، برای محاسبات در نظر گرفته شد.

### برآورد رسوبدهی معلق حوضه

در ایستگاه کشور که در خروجی حوضه‌ی سرخاب قرار دارد، ۴۰ سال آمار دبی و رسوب وجود داشت که شامل ۱۷۰۵ عدد مشاهده‌ی غلظت و رسوب بود. در این ایستگاه حداکثر رسوب حمل شده، ۴۳۵/۸۷۹ تن در روز و حداکثر جریان که از آن برای محاسبه‌ی بار معلق استفاده شد، ۳۷۳ متر مکعب بر ثانیه بود. برای برآورد رسوبدهی از روش تلفیق منحنی سنج رسوب و آمار جریان روزانه [۵] استفاده شد. برای رسم منحنی سنج رسوب، ابتدا یک



شکل ۱- موقعیت حوضه‌ی سرخاب در ایران و ایستگاه‌های باران‌سنجی  
Fig 1. Location of Sorkhab watershed and the studied rain gauge stations

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار در حوضه‌ی سرخاب

Table 1. Specifications of rain gauge stations around of the Sorkhab watershed

نام ایستگاه	طول جغرافیایی ثانیه-دقیقه- درجه Long (° °, ', ")	عرض جغرافیایی ثانیه-دقیقه- درجه Lat (° °, ', ")	ارتفاع (متر) Elevation (m)	تعداد رگبار Number of storms	بیش‌ترین شدت ۳۰دقیقه‌ای رگبار (میلی‌متر بر ساعت) Maximum Storm I <sub>30</sub> (mmh-1)	تعداد سال‌های آماری موجود Years of record	Station
کشور (Keshvar)	48-38-05	33-08-21	970	230	29.55	13	
سپید دشت (Sepiddasht)	48-53-00	33-13-00	770	61	216.96	7	
تنگ پیچ (Tangepich)	48-45-12	32-56-29	540	178	271.04	10	

کل دوره آماری بر حسب مگاژول میلی‌متر بر هکتار. ساعت به طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^m (EI_{30})_r \quad (3)$$

که در آن n برابر تعداد سال‌های دوره آماری، m برابر تعداد رخداد‌های فرساینده در یک ماه یا ۱۵ روزه معین (j) و EI<sub>30</sub> شاخص فرساینده‌ی باران برای هر رخداد مجزا (r) است. بنابراین R برابر میانگین بلندمدت مقدار EI<sub>30</sub> جمعی ماهانه و ۱۵ روزه در دوره‌ای معین است.

مطابق توصیه ابداع‌کنندگان مدل RUSLE، در محاسبات EI<sub>30</sub>، رگبارهایی که مقدار ارتفاع مجموع بارندگی آن کم‌تر از ۱۲/۷ میلی‌متر و بیش از شش ساعت با رگبار دیگر فاصله داشته باشند، حذف می‌شوند، مگر اینکه مقدار بارش در طی ۱۵ دقیقه حداقل ۶/۳ میلی‌متر بوده یا حداکثر شدت ۱۵ دقیقه‌ای آن ۲۴ میلی‌متر در ساعت یا بیش‌تر باشد [۲۹].

در این حوضه، سه ایستگاه باران‌نگار به نام‌های کشور، سپید دشت و تنگ پیچ انتخاب و فرساینده‌ی در آنها محاسبه شد. دو ایستگاه سپیددشت و تنگ پیچ به دلیل آنکه از نظر ارتفاع و فاصله با حوضه بسیار متفاوت بودند و احتمال اینکه معرف مناسبی برای حوضه نباشند، حذف شدند. در جدول ۱ تعداد رگبارهای مورد بررسی در هر ایستگاه، بیش‌ترین شدت بارندگی رخ داده، تعداد سال‌های آماری موجود در سه ایستگاه مجهز به باران‌نگار آمده است. پس از محاسبه شاخص فرساینده‌ی باران (R) در ایستگاه کشور، رابطه‌ی رگرسیونی بین شاخص فرساینده‌ی (R) ماهانه و ۱۵ روزه با شاخص‌های سهل‌الوصول مانند باران ماهانه، مجموع باران ۱۵ روزه، حداکثر بارندگی روزانه، باران ماهانه به توان ۲، باران ۱۵ روزه به توان ۲ در این ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت. با برقراری روابط رگرسیونی در نرم‌افزار Excel 2010، بهترین رابطه از نظر ضریب

بانک اطلاعاتی از داده‌های رسوب و دبی جریان در نرم‌افزار Excel 2010 تهیه شد.

پس از بررسی داده‌ها، در صورتی که نقصی در داده‌های دبی وجود داشت، از طریق داده‌های اشل تکمیل شد. پس از بازسازی داده‌های دبی، اگر نقصی در داده‌های غلظت متوسط رسوب (CM) وجود داشت، با برقراری رابطه‌ی رگرسیونی با غلظت نقطه‌ای رسوب معلق (CF) برطرف گردید. سپس داده‌های رسوب مورد بررسی قرار گرفتند. اگر در این داده‌ها نیز نواقصی دیده شد، توسط دبی جریان روزانه و غلظت متوسط رسوب معلق بازسازی شدند و در انتها منحنی سنج به روش حد وسط دسته‌ها ترسیم شد. در مرحله بعد با معادله به‌دست آمده از منحنی، رسوب روزانه متناظر با هر دبی روزانه تعیین شد که متعاقباً برای محاسبه‌ی رسوب ماهانه و ۱۵ روزه در دوره‌ی آماری مورد بررسی، به‌کار رفت.

محاسبات فرساینده‌ی باران

پس از جمع‌آوری داده‌های رگبار با فواصل ۱ دقیقه‌ای در ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار داخل و اطراف حوضه‌ی سرخاب، فرساینده‌ی هر رخداد با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد [۲۹]:

$$EI_{30} = \sum (e_r v_r) \cdot I_{30} \quad (1)$$

که در آن؛ EI<sub>30</sub> شاخص فرساینده‌ی باران بر حسب مگاژول میلی‌متر بر هکتار. ساعت، e<sub>r</sub> انرژی واحد رگبار بر حسب مگاژول بر میلی‌متر. هکتار، v<sub>r</sub> مقدار بارش بر حسب میلی‌متر در طول فاصله زمانی r و I<sub>30</sub> حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای یک رخداد بر حسب میلی‌متر بر ساعت است.

مقدار انرژی واحد از رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$e_r = 0.29[1 - 0.72 \exp(-0.05i_r)] \quad (2)$$

که در آن؛ e<sub>r</sub> انرژی با واحد مگاژول بر میلی‌متر. هکتار و i<sub>r</sub> شدت باران یک دقیقه‌ای بر حسب میلی‌متر بر ساعت است [۸].

مقدار عامل فرساینده‌ی ماهانه (R<sub>month</sub>) و ۱۵ روزه (R<sub>15days</sub>)، در

تعیین ( $R^2$ ) انتخاب شد. در ایستگاه کشور حوضه‌ی سرخاب، شاخص فرساینده‌گی (R) ماهانه با میانگین باران ماهانه و شاخص فرساینده‌گی (R) ۱۵ روزه با میانگین باران ۱۵ روزه بهترین همبستگی را نشان داد.

$$R^2 = 0.91, EI_{30(month)} = 0.0759P_{mean}^{1.699}$$

$$R^2 = 0.77, EI_{30(15days)} = 0.5527P_{mean}^{1.053}$$

تحقیقات قربان‌پور و همکاران [۱۴] در منطقه‌ی بابلسر نیز به ارتباط قوی شاخص فرساینده‌گی ماهانه با میزان بارندگی ماهانه با ضریب همبستگی بالا (۸۲ درصد) اشاره دارد. در ادامه از رابطه رگرسیون ذکر شده برای محاسبه فرساینده‌گی ماهانه و ۱۵ روزه در سایر ایستگاه‌های داخل و خارج هر حوضه استفاده شد که در این حوضه ۱۲ ایستگاه برای محاسبه فرساینده‌گی باران انتخاب شد و دیگر ایستگاه‌ها به علت کمبود آمار بارش روزانه حذف گردیدند که در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌ها نسبت به حوضه مشاهده می‌شود. پس از به‌دست آمدن فرساینده‌گی هر ایستگاه، از آن برای میان‌یابی و ترسیم نقشه‌های فرساینده‌گی ماهانه و ۱۵ روزه استفاده شد.

برای میان‌یابی داده‌های فرساینده‌گی باران، ابتدا همبستگی مکانی داده‌ها بررسی شد. در این مطالعه به منظور بررسی آزمون وجود همبستگی مکانی بین داده‌های شاخص فرساینده‌گی باران و همچنین بررسی چگونگی این همبستگی از واریوگرام<sup>۲</sup> استفاده شد. ترسیم و بررسی واریوگرام با استفاده از نرم‌افزار (GS+ (version 5.1) انجام گرفت و مدلی که دارای کم‌ترین مجموع مربعات باقیمانده (RSS)<sup>۳</sup> و بیش‌ترین ضریب تعیین بود، بر واریوگرام تجربی برازش داده شد. جهت پهنه‌بندی شاخص فرساینده‌گی در سطح حوضه، ابتدا نقشه فرساینده‌گی باران در محدوده‌ی ایستگاه‌های انتخاب شده در داخل و خارج از حوضه‌ها با استفاده از بخش آمار مکانی نرم‌افزار Arc/GIS 9.3 تهیه گردید که برای میان‌یابی داده‌ها و تهیه نقشه‌های فرساینده‌گی ماهانه و ۱۵ روزه حوضه از روش کریجینگ معمولی استفاده شد. سپس ارزیابی میزان خطای روش مورد استفاده صورت گرفت. در انتها با استفاده از نرم‌افزار Arc/GIS 9.3 نقشه فرساینده‌گی باران ماهانه و ۱۵ روزه حوضه تهیه و مقادیر میانگین ۱۲ ماه و ۲۴، پانزده روزه برای سطح حوضه استخراج گردید.

پس از محاسبه‌ی مقادیر متوسط ۱۵ روزه و ماهانه دو متغیر فرساینده‌گی باران و رسوب معلق خروجی حوضه، منحنی چرخه فرساینده‌گی و رسوبده‌ی حوضه رسم شد. با توجه به کوهستانی بودن منطقه و احتمال ریزش بخشی از باران به صورت برف در ماه‌های سرد، در نمودار خطی تغییرات فرساینده‌گی و رسوب ماهانه، میانگین دمای ماهانه‌ی یک ایستگاه موجود در منطقه نیز

وارد شد تا اثر دما بر تغییرات این دو سری داده مشاهده شود که برای این منظور ایستگاه تبخیر سنجی رحیم آباد در حوضه سرخاب که در داخل حوضه قرار دارد، انتخاب شد. نتایج از طریق بررسی نمودارهای رسوبده‌ی معلق و فرساینده‌گی باران ماهانه و ۱۵ روزه حوضه با در نظر گرفتن دما تحلیل شد. همچنین همبستگی بین مقادیر رسوبده‌ی معلق و فرساینده‌گی باران ماهانه و ۱۵ روزه حوضه نیز بررسی شد.

## نتیجه و بحث

نتایج رسوبده‌ی معلق حوضه

به منظور برآورد بار رسوب معلق خروجی حوضه سرخاب در ایستگاه کشور، منحنی سنجه حد وسط با بالاترین ضریب تعیین (۰/۹۴) با رابطه ۴ به‌دست آمد.

$$Q_s = 33.439 Q_w^{1.6869} \quad (4)$$

مقدار رسوبده‌ی ویژه در حوضه سرخاب ۲۱۲۷ تن بر کیلومتر مربع برآورد شد که رسوبده‌ی ویژه در حوضه سرخاب نسبت به حوضه‌های بزرگ مانند حوزه‌ی آبخیز کرخه با حداکثر رسوبده‌ی ویژه ۷۷۳ تن بر کیلومتر مربع [۷]، خیلی زیاد می‌باشد. مقادیر برآورد شده‌ی رسوبده‌ی ویژه حوضه‌ی مورد بررسی در این تحقیق با مقادیر برآورد شده در رحمتی [۲۷]، گزارشات جاماب [۱۹] و عرب‌خدیری و همکاران [۵] به ترتیب ۲۰۵۱، ۱۸۱۷، ۲۳۹۱ تن بر کیلومتر مربع، همخوانی دارد و احتمالاً اختلاف عددی مشاهده شده به علت تعداد سال‌های آماری مورد استفاده باشد.

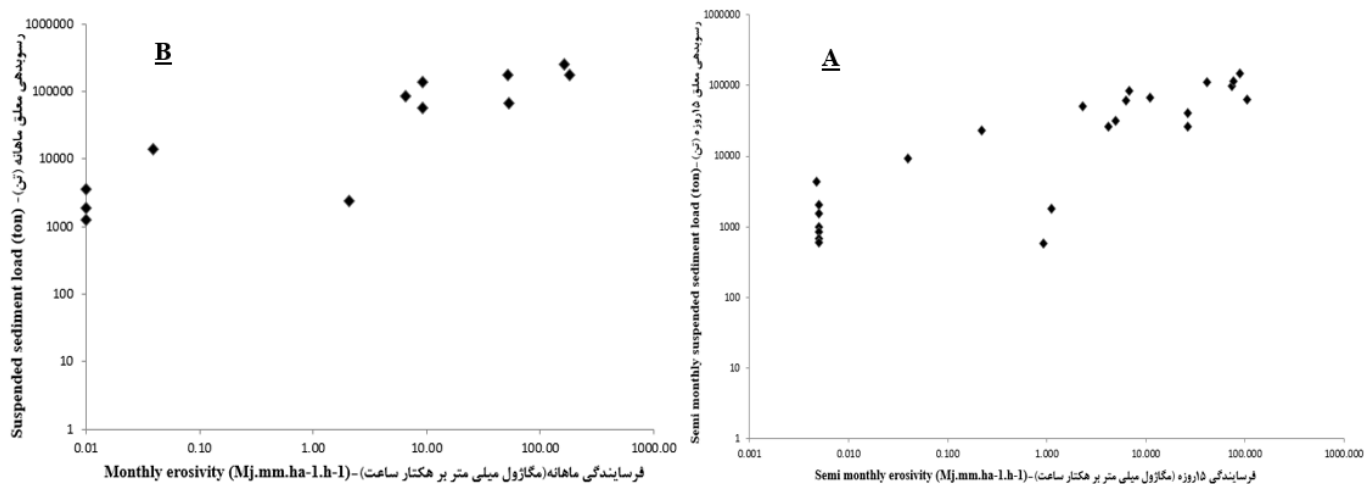
رابطه بین فرساینده‌گی باران و رسوبده‌ی معلق حوضه

پس از محاسبه‌ی متوسط شاخص فرساینده‌گی باران (R) و رسوبده‌ی معلق کل حوضه در دوره‌ی آماری در نظر گرفته شده در دوره‌های ۱۵ روزه و ماهانه، به بررسی ارتباط و اثر نوسانات فصلی فرساینده‌گی باران بر تغییرات زمانی رسوبده‌ی معلق پرداخته شد. رابطه‌ی رسوبده‌ی معلق با شاخص فرساینده‌گی در مقیاس ۱۵ روزه و ماهانه در حوضه‌ی سرخاب در شکل ۲ دیده می‌شود. در هر دو شکل، با در نظر نگرفتن مقادیر صفر فرساینده‌گی، می‌توان گفت که روندی در داده‌ها دیده می‌شود که نشان دهنده‌ی رابطه مثبت بین آنهاست و با افزایش فرساینده‌گی باران، رسوب معلق هم افزایش می‌یابد. مقادیر ضریب تبیین در نمودارهای ماهانه و ۱۵ روزه به ترتیب برابر ۰/۷۸ و ۰/۸۷ می‌باشد که این مقادیر نشان‌دهنده‌ی آن است که فرسایش و رسوبده‌ی در این منطقه تأثیر قابل توجه باران و فرساینده‌گی آن به خصوص در دوره‌های ۱۵ روزه است. نتایج اسمعی و همکاران [۱۱] در بررسی رابطه‌ی بین قدرت فرساینده‌گی باران با رسوبده‌ی ویژه در استان اردبیل، نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی بسیار خوب شاخص‌های فرساینده‌گی که از شدت باران استفاده کرده‌اند، با رسوب معلق ویژه بوده است، اما شاخص‌هایی که به مقدار بارندگی مربوط بوده اند، روابط خوبی با رسوب ویژه از خود نشان ندادند.

1. Coefficient of determination
2. Semivariogram
3. Residual Sum of Squares

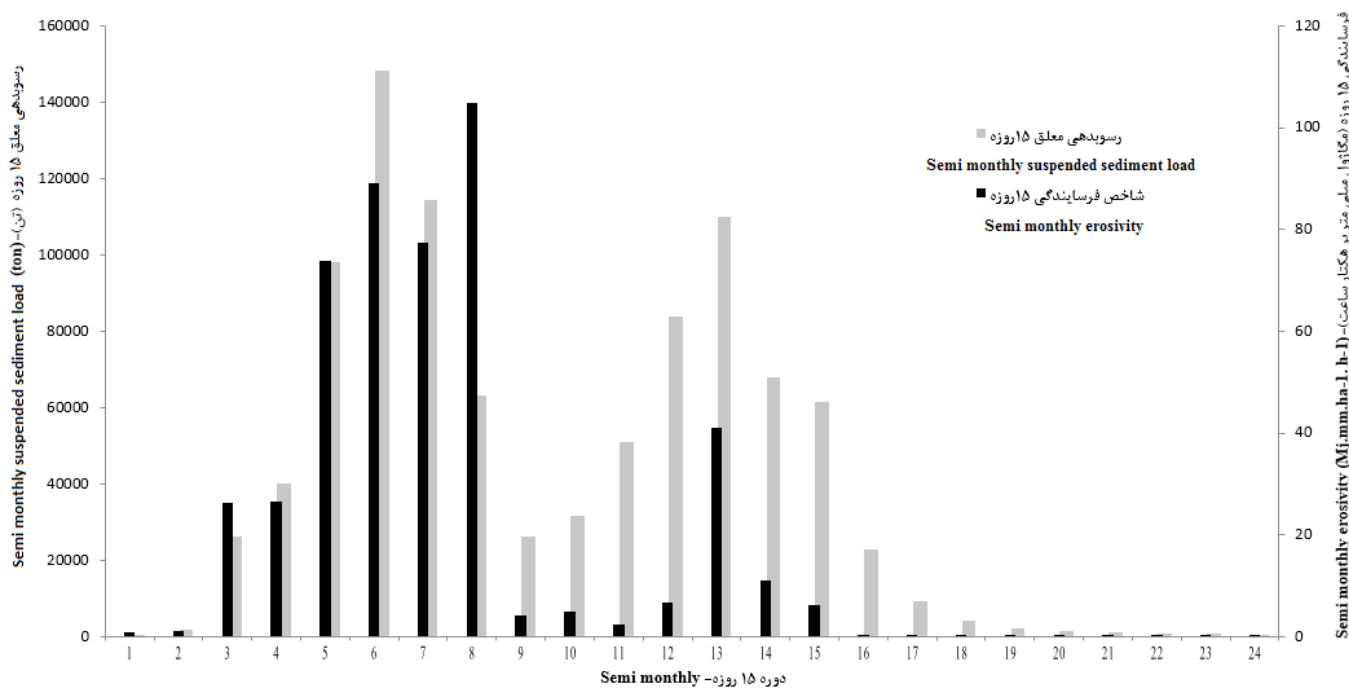
فروردین، اسفند، آبان و بهمن و کم‌ترین رسوبدهی در ماه‌های شهریور و مرداد رخ داده است [۲۳]. همچنین نتایج به‌دست آمده از تحقیقات مرادی و همکاران [۲۴] در استان خوزستان، نشان داد که از بین فصول سال، فصل زمستان و نیز ماه‌های بهمن، آذر، اسفند و دی در اولویت اول از نظر خطر فرساینده‌گی قرار دارند و ماه‌های خرداد، تیر و شهریور دارای مقادیر ضریب فرساینده‌گی صفر هستند. اثر چرخه زمانی فرساینده‌گی باران بر تغییرات رسوبدهی معلق در حوضه سرخاب به‌صورت نمودارهای میله‌ای در شکل‌های ۳ و ۴ دیده می‌شود. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، روند

مقایسه تغییرات رسوبدهی معلق با فرساینده‌گی باران در بررسی ماهانه‌ی چرخه‌ی رسوبدهی معلق و فرساینده‌گی باران در حوضه‌ی سرخاب، مشخص شد که حداکثر و حداقل رسوبدهی در حوضه سرخاب در ماه آذر و شهریور به ترتیب حدود ۲۴۶۲۱۶ و ۱۲۷۲ تن و حداکثر و حداقل فرساینده‌گی باران به ترتیب در ماه دی و فصل تابستان (ماه‌های تیر، مرداد و شهریور) با میزان حدود ۱۸۲ و ۰/۱ مگاژول میلی‌متر بر هکتار. ساعت رخ داده است. در بررسی تغییرات زمانی رسوبدهی در حوزه‌ی آبخیز دریاچه نمک مشاهده شده است که بیش‌ترین مقدار رسوبدهی اردیبهشت،



شکل ۲- همبستگی لگاریتم فرساینده‌گی و لگاریتم رسوبدهی معلق - A: ۱۵ روزه، B: ماهانه

Fig 2. Correlation between erosivity and suspended sediment on logarithmic graph, A) Semi-monthly, B) Monthly



شکل ۳- چرخه‌ی زمانی فرساینده‌گی باران و رسوبدهی معلق ۱۵ روزه در حوضه سرخاب - شروع دوره اول مهر

Fig 3. Temporal cycle of rainfall erosivity variation and suspended sediment load, semi-monthly, in the Sorkhab watershed - Started at 23 Sep.

فرساینندگی باران ۱۵ روزه با رسوبدهی معلق ۱۵ روزه در حوضه‌ی سرخاب نزدیک به هم است. بیش‌ترین مقادیر عامل فرساینندگی باران و رسوبدهی به ترتیب در نیمه دوم دی و آذر با مقادیر حدود ۱۰۴ مگاژول میلی‌متر بر هکتار. ساعت و ۱۴۸۲۴۱ تن رخ داده است. در چرخه‌ی فرساینندگی ۱۵ روزه، سه اوج دیده می‌شود که اولین اوج در اواخر آذر، دومین اوج در نیمه‌ی دوم دی و آخرین اوج در ۱۵ روزه‌ی اول فروردین رخ داده است. در دو اوج نیمه دوم آذر و نیمه اول فروردین رسوبدهی نیز مقادیر بالایی دارد اما در اوج سوم فرساینندگی (نیمه‌ی دوم دی)، رسوبدهی نسبت به ۱۵ روزه‌ی اول دی کاهش یافته است. در این نمودار دیده می‌شود که از نیمه‌ی اول آبان تا پایان دی ماه مقادیر فرساینندگی زیاد است اما از ابتدای بهمن تا انتهای اسفند مقدار فرساینندگی کاهش یافته و با شروع فروردین تا نیمه اول اردیبهشت فرساینندگی افزایش یافته است. در همین بازه‌ی زمانی، رسوبدهی تا نیمه‌ی اول دی ماه زیاد بوده است اما از نیمه‌ی دوم دی تا اواسط اسفند مسیر نزولی داشته است، اما باز هم رسوبدهی زیادی ایجاد شده است. بررسی رسوبدهی معلق ماهانه در حوضه‌ی گرگانود نشان داده است که ۷۶ درصد از رسوب معلق در چهار ماه فروردین، مرداد، شهریور و اسفند حمل می‌شود. نصف این مقدار به ماه‌های اسفند و فروردین که ذوب برف در جریان آن نقش دارد و نصف دیگر به شهریور و مرداد که جریان آن از باران نشأت می‌گیرد، مربوط است [۶].

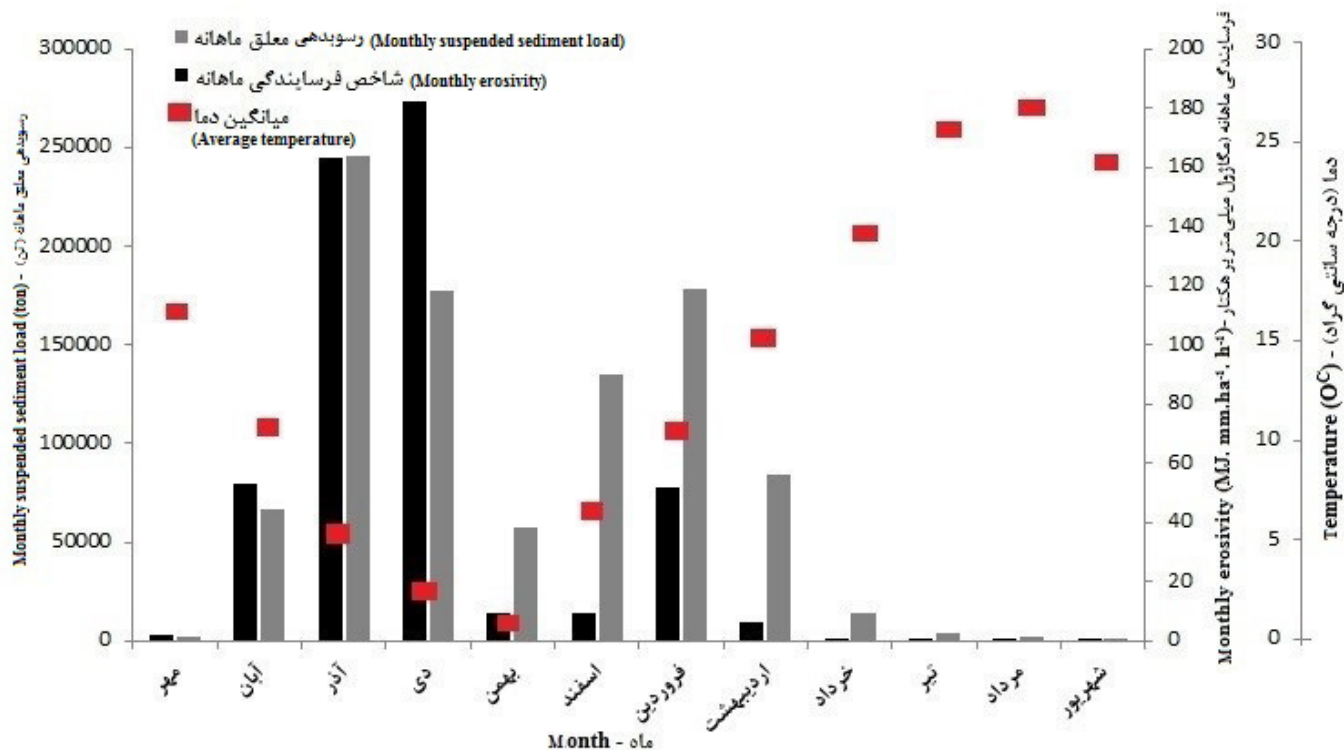
در شکل ۴، بررسی تغییرات فرساینندگی و رسوبدهی ماهانه در حوضه‌ی سرخاب آمده است. چرخه‌ی فرساینندگی باران و رسوبدهی ماهانه تقریباً دارای روند همسانی هستند. در فاصله‌ی خرداد تا مهر میزان هر دو عامل بسیار کم است. در حالی که فرساینندگی باران و رسوبدهی در ماه‌های آبان تا فروردین مقادیر زیادی به خود اختصاص داده‌اند، اما در این میان در ماه‌های بهمن و اسفند فرساینندگی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است.

وقتی روند کاهشی فرساینندگی با میانگین دما در ایستگاه کشور که معرف شرایط حوضه است، مقایسه شود و با در نظر گرفتن اینکه زمستان‌ها در این حوضه بسیار سرد می‌باشد، می‌توان به این نتیجه رسید که در این دو ماه با توجه به روند نزولی دما، بارش‌ها به صورت برف بوده است و به همین علت فرساینندگی باران در این دو ماه کاهش یافته است. پس از این سیر نزولی، فرساینندگی و رسوبدهی روند افزایشی داشته‌اند که احتمالاً علت این روند، این باشد که با آمدن زمستان، خاک‌ها یخ زده و سپس با گرم شدن زمین در بهار ذوب می‌شوند. داوری و همکاران [۱۰] در بررسی برآورد رسوبدهی با استفاده از مدل PSIAC در حوضه سرخاب، بیان کردند که در این حوضه به دلیل ریزش برف به ویژه در اواخر فصل پاییز و در طول زمستان و ماندگاری برف در مناطق کوهستانی تا اواسط فصل بهار که مستند بر آمار هواشناسی منطقه است، به طور معمول سیلاب‌های شدید و رواناب‌های پر حجم در اثر ذوب برف و ریزش بارندگی در مواقعی که زمین پوشیده از برف است، حاصل می‌شود.

همانطور که در شکل ۴ دیده می‌شود، فرساینندگی و رسوبدهی هر دو دارای دو اوج هستند. دو اوج رسوبدهی معلق در حوضه سرخاب در ماه‌های آذر و فروردین اتفاق افتاده‌اند. علت دو اوجی بودن رسوبدهی در حوضه سرخاب این است که در ماه‌های آذر، دی و بهمن ۵۰ درصد بارندگی‌ها اتفاق می‌افتد و همچنین این حوضه به علت دارا بودن مقادیر زیادی از سازندهای حساس به فرسایش، همیشه مواد در دسترس برای فرسایش و حمل دارد، در نتیجه میزان رسوبدهی در ماه آذر و دی افزایش می‌یابد.

همچنین دو اوج فرساینندگی در ماه‌های دی و فروردین رخ داده است که علت این امر نظام بارش مدیترانه‌ای حوضه است. در اقلیم مدیترانه‌ای فصل تابستان خشک است و بارندگی‌ها در فصل‌های دیگر رخ می‌دهد. در این حوضه نیمی از بارندگی، با توجه به اطلاعات سازمان هواشناسی، در فصل زمستان (ماه‌های آذر، دی و بهمن)، ۳۴ درصد فصل بهار (ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت)، ۱۶ درصد پائیز (ماه‌های شهریور، مهر و آبان) و صفر درصد تابستان (ماه‌های خرداد، تیر و مرداد) رخ می‌دهد [۲۷]. دو اوجی بودن فرساینندگی در طول سال در مناطقی از اسپانیا با آب و هوای مدیترانه‌ای نیز توسط آنگولو و بگوریا [۳] گزارش شده است. طبق تحقیقات آنگولو و بگوریا [۳] دو اوج فرساینندگی باران، یکی در اواخر بهار (ماه‌های می و جون) و دیگری در انتهای تابستان (ماه‌های آگوست و سپتامبر) اتفاق افتاده است. همچنین بیان کردند که بیش‌ترین مقدار باران در بهار و پاییز و بیش‌ترین فرساینندگی در پاییز بوده است.

نکته‌ی مهمی که در نتایج آنها بیان شده این است که نقاط اوج باران‌های بهاری فرساینده‌تر از نقاط اوج باران‌های پاییزی نبوده است که به علت تفاوت این فصل‌ها در مکانیسم‌های تولید باران است و باران‌های ثبت شده در طول فصل بهار از چندین رویداد بارندگی به نسبت با شدت کم ناشی می‌شوند، در حالی که بارندگی در پاییز معمولاً قابل استناد به چند رویداد بسیار شدید بوده است. نتایج گرامی و همکاران [۱۳] در بررسی تاثیر نوسانات زمانی فرساینندگی باران بر تغییرات فصلی رسوبدهی معلق در حوضه کسلیان واقع در استان مازندران نیز نشان داد که فرساینندگی باران ماهانه حوضه کسلیان دارای دو اوج یکی در اواخر پاییز در ماه‌های آبان و آذر با مقدار ۴۱ و ۲۹ مگاژول میلی‌متر بر هکتار. ساعت و دیگری در اوایل بهار در فروردین ماه با مقدار ۲۴ مگاژول میلی‌متر بر هکتار. ساعت بود.



شکل ۴- چرخه‌ی زمانی فرساینده‌ی باران و رسوبدهی معلق ماهانه در حوضه سرخاب

Fig 4. Monthly temporal cycle of rainfall erosivity variation and suspended sediment load in the Sorkhab watershed

جدول ۲- تعدادی از رگبارهای فرساینده همراه با دبی جریان و وزن رسوب در ایستگاه کشور

Table 2. A few erosive storms and their corresponding recorded flow and sediment discharges in Keshvar station

وزن رسوب حداکثر (تن)	دبی جریان حداکثر (متر مکعب بر ثانیه)	تاریخ وقوع جریان حداکثر*	وزن رسوب (تن)	دبی جریان (متر مکعب بر ثانیه)	میزان فرساینده (مگاژول میلی متر بر هکتار. ساعت)	تاریخ وقوع رگبار	ردیف
Maximum sediment discharge (ton)	Maximum water discharge (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Date for maximum water discharge	Sediment discharge (ton)	Water discharge (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Erosivity (MJ. mm.ha <sup>-1</sup> . h <sup>-1</sup> )	Date for storm event	Raw No
34450	61.2	1370/09/18	1384	9.1	347.6	1370/09/17	1
42746	69.6	1370/09/21	298	3.7	122.7	1370/09/20	2
58905	84.2	1370/12/05	7251	24.3	192.8	1370/12/04	3
9695	28.9	1371/01/11	3255	15.1	105.6	1371/01/10	4
30291	56.7	1371/02/07	6799	23.4	87.5	1371/02/04	5
56844	82.4	1371/09/24	717	6.2	193.8	1371/09/22	6
43567	70.4	1372/02/06	12048	32.8	92.2	1372/02/05	7
59497	84.7	1372/11/12	1056	7.8	121.9	1372/11/11	8
1664	10.2	1372/11/15	1979	11.3	129.3	1372/11/14	9
66379	90.4	1373/08/16	735	6.3	528.9	1373/08/13	10
44195	71.0	1373/09/02	3072	14.6	249.9	1373/08/25	11
63081	87.7	1373/09/04	2364	12.5	119.3	1373/09/01	12
46304	73.0	1373/09/06	6273	22.3	323.7	1373/09/03	13



19420	43.6	1374/10/16	22	0.8	82.3	1374/10/13	14
21554	46.4	1375/01/25	2207	12.0	133.9	1375/01/24	15
59047	84.3	1376/01/09	560	5.3	117.1	1376/01/08	16
385202	256.4	1377/01/05	2526	13.0	106.6	1377/01/04	17
34318	61.1	1377/12/01	224	3.1	90.3	1377/11/30	18
104099	118.0	1379/01/05	3970	17.0	1332.2	1379/01/04	19
8285	26.3	1379/12/28	11900	32.6	154.7	1379/12/27	20
123966	130.9	1380/09/15	34006	60.8	277.4	1380/09/13	21
118679	127.5	1380/10/17	94973	111.8	128.4	1380/10/15	22
1377	9.1	1381/09/18	157	2.5	177.4	1381/09/17	23
17659	41.2	1382/02/03	24475	50.0	225.6	1382/02/02	24
64581	88.9	1382/08/14	24640	50.2	602.2	1382/08/07	25
42126	69.0	1383/02/05	1560	9.8	117.3	1383/02/03	26
1557931	1972.9					جمع (Sum)	
12	5					درصد از مقدار کل (Percent of the total amount)	

\*: تاریخ وقوع جریان حداکثری پس از رسیدن جریان بالادست حوضه به خروجی حوضه

تأثیر چرخه فرسایندهگی باران در حوزه آبخیز سرخاب-کشور صورت گرفت. نتایج نشان داد که به منظور برآورد بار رسوب معلق خروجی حوضه سرخاب در ایستگاه سرخاب منحنی سنجح حدوسط با بالاترین ضریب تعیین ۰/۹۴ حاصل گردید.

تغییرات رسوبدهی ماهانه در حوضه سرخاب نشان داد که حداکثر و حداقل رسوبدهی معلق در ماه آذر و شهریور به ترتیب حدود ۲۴۶۲۱۶ و ۱۲۷۲ تن رخ داده است. تغییرات رسوبدهی ماهانه دارای دو اوج، که در ماه‌های آذر و فروردین اتفاق افتاده اند. علت دو اوجی بودن رسوبدهی در حوضه سرخاب این است که در ماه‌های آذر، دی و بهمن ۵۰ درصد بارندگی‌ها اتفاق می‌افتد و همچنین این حوضه به علت دارا بودن مقادیر زیادی از سازندهای حساس به فرسایش همیشه مواد آماده فرسایش دارد، در نتیجه میزان رسوبدهی در ماه آذر و دی افزایش می‌یابد. در بررسی ماهانه‌ی چرخه‌ی فرسایندهگی در حوضه سرخاب، حداکثر و حداقل فرسایندهگی باران به ترتیب در ماه دی و فصل تابستان (ماه‌های تیر، مرداد و شهریور) با میزان حدود ۱۸۲ و ۰/۰۱ مگاژول میلی‌متر بر هکتار. ساعت رخ داده است. بیش‌ترین مقادیر عامل فرسایندهگی باران و رسوبدهی ۱۵ روزه، در نیمه دوم اسفند و آذر به ترتیب حدود ۵۷ مگاژول میلی‌متر بر هکتار. ساعت و ۱۴۸۲۴۱ تن رخ داده است. روند فرسایندهگی باران ۱۵ روزه با رسوبدهی معلق ۱۵ روزه در حوضه‌ی سرخاب نزدیک به هم است. بیش‌ترین مقادیر عامل فرسایندهگی باران و رسوبدهی به ترتیب در نیمه دوم دی و آذر با مقادیر حدود ۱۰۴ مگاژول میلی‌متر بر هکتار. ساعت و ۱۴۸۲۴۱ تن رخ داده است. در چرخه‌ی فرسایندهگی ۱۵ روزه، سه اوج دیده می‌شود که اولین اوج در اواخر

رابطه رگبارهای فرساینده انتخابی با رسوب تولیدی آنها فرسایندهگی باران ۲۳۰ رگبار در طی دوره آماری مورد مطالعه، در ایستگاه کشور که مجهز به باران‌نگار می‌باشد، بررسی گردید. تعدادی از رگبارهایی که از فرسایندهگی بیش‌تری برخوردار بودند همراه با دبی جریان و وزن رسوب در روز وقوع رگبار و زمانی که جریان بالادست حوضه به خروجی حوضه می‌رسد، در جدول ۲ آمده است. ۲۶ رگبار انتخابی دارای فرسایندهگی بالایی است و این رگبارها ۱۲ درصد از رسوب کل سال‌های مورد بررسی را شامل می‌شود. همانطور که در جدول ۲ دیده می‌شود، زمان وقوع رگبار، دبی جریان و وزن رسوب در نقطه خروجی حوضه، ایستگاه کشور، به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد اما پس از وقوع رگبار دبی جریان و وزن رسوب با تأخیری، دوباره به مقدار حداکثری می‌رسد که علت این تأخیر آن است که فرسایندهگی باران، دبی جریان و وزن رسوب در خروجی حوضه اندازه‌گیری شده اند و در همان روز دبی و رسوب افزایش می‌یابند، در صورتیکه در بالادست حوضه نیز بارش باریده است که با یک تأخیر زمانی به خروجی حوضه رسیده است و یک حداکثر قابل توجهی نسبت به حداکثر دبی جریان و رسوب روز وقوع رگبار مشاهده می‌گردد. این پدیده تأخیر را در فرسایندهگی برف هم می‌توان مشاهده کرد که در زمستان بارش برف رخ می‌دهد اما اثر آن را در بهار مشاهده می‌شود.

### نتیجه‌گیری

انجام این مطالعه با هدف بررسی تغییرات رسوبدهی معلق تحت

sediment yield in river basins of Iran. Iranian Journal of Water Resources Research 1(2), 51-60. (In Persian, Extended abstract in English)

5. Arabkhedri, M., S. Hakimkhani and J. varvani. 2004. The validity of extrapolation methods in estimation of annual mean suspended sediment yield (17 Hydrometric stations). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11(3), 123 – 131. (In Persian, Abstract in English)

6. Arabkhedri, M., D. Nikkami and Sh. Hakimkhani. 2003. Comparison of several statistical methods to estimate suspended sediment in an area with snow-rain regime. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran. (In Persian, Abstract in English)

7. Bayat, R., M. Arabkhedri, B. Ghermezcheshmeh, A. Jafari Ardekani, M. Shariat Jafari, H.R. Peyrovan and A.A. Nourozi. 2016. Revision, completion and publishing of erosion and flood atlas for river basins of Iran (Karkheh watershed). Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran. (In Persian, Abstract in English)

8. Brown, L.C. and G.R. Foster. 1987. Storm erosivity using idealized intensity distributions. Trans. The Center for Association Leadership. 30(): 379-386.

9. Chmelova, R and Sarapatka, B. 2002. Soil erosion by Water: Contemporary research methods and their use. Gerographica. 37(): 23-30.

10. Davari, M., H.A. Bahrami and J. Ghodosi. 2005. Assessing the amount of sediment yield in watershed level using MPSIAC model (a case study in Nojian watershed). Watershed Management Research Journal (Pajouhesh and Sazandegi) 67, 88-103. (In Persian, Abstract in English)

11. Esmali Ouri, A., M. Abedini, A. kavian and H. Saadati. 2010. Study of Relations between Rainfall Erosivity and Sediment Yield Using Geostatistics and GIS in Ardabil Province. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering 4(10), 51-57. (In Persian, Abstract in English)

12. Farajzadeh, M and M. Garahchorlo. 2011. Analysis of the Spatioal and Temporal Suspended sediment of Qarahu Drainage Basin. Journal of Environmental Erosion Researches 1(3), 61-84. (In Persian, Abstract in English)

13. Gerami, Z., M. Arabkhedri, H. Asadi and R. Bayat. 2015. The influence of rainfall erosivity temporal

آذر، دومین اوج در نیمه‌ی دوم دی و آخرین اوج در ۱۵ روزه‌ی اول فروردین رخ داده‌است. در دو اوج نیمه دوم آذر و نیمه اول فروردین رسوبدهی نیز مقادیر بالایی دارد اما در اوج سوم فرساینده‌ی (نیمه‌ی دوم دی)، رسوبدهی نسبت به ۱۵ روزه‌ی اول دی کاهش یافته است. یکی از محدودیت‌های اصلی در مسیر این تحقیق، کم و ناقص بودن آمار بارش ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار و ناکافی بودن تعداد این ایستگاه‌ها در داخل حوضه بود. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در صورت وجود داده‌های به‌روز، طولانی مدت و کامل از باران‌نگارها، این مطالعه با داده‌های ذکر شده مجدد انجام شود تا نتایج با قابلیت اعتماد بیشتری حاصل شود. با اطلاعات حاصل از بررسی تغییرات رسوبدهی معلق با در نظر گرفتن چرخه فرساینده‌ی باران در این حوضه یا حوزه‌های آبخیز دیگر، می‌توان با ارائه زمان‌های بحرانی که در آن اوقات، زمین‌ها مستعد فرسایش و تولید رسوب هستند، به برنامه‌ریزی، مدیریت و حفاظت خاک کمک کرد که در اینجا نقش مدیریت پوشش گیاهی، زراعی و خاک در جلوگیری از فرسایش و تولید رسوب پررنگ می‌شود. در مدیریت پوشش گیاهی همواره باید توجه داشت که حداکثر پوشش در سطح خاک وجود داشته باشد تا مقدار زیادی فرسایش خاک رخ ندهد. در مدیریت زراعی نیز تأمین پوشش گیاهی مناسب بر سطح خاک اهمیت دارد و باید توجه داشت که چه نوع گیاهانی کشت می‌شوند و این گیاهان با چه سرعتی رشد می‌کنند تا سطح زمین را در مواقع بحرانی پوشانده باشند. همچنین در مدیریت خاک هم می‌توان به انجام شخم به‌موقع اشاره کرد. به این معنی که در زمان‌هایی که رگبار فرساینده رخ می‌دهد و خاک پوششی ندارد، شخم صورت نگیرد تا این عمل موجب افزایش فرسایش خاک نشود. نقش مؤثر تثبیت‌کننده‌های خاک در مدیریت خاک در زمان‌های بحرانی از نظر فرسایش و تولید رسوب را نیز می‌توان اشاره کرد.

## منابع

1. Ahmadi, H., A. Malekian and R. Abedi. 2012. The most Appropriate Statistical Method for Suspended Sediment Estimation of Rivers ( case study: Roodak station of the Jajrod basin). Journal of Environmental Erosion Researches 2(5), 78-88. (In Persian, Abstract in English)

2. Alipour, Z.T., M.H. Mahdian, E. Pazira, S. Hakimkhani and M. Saeedi. 2012. Determination of  $EI_{30}$ , Lal, Hudson and Onchevindices in Namak Lake Basin. Journal of Agricultural Sciences 2(1), 484-494. (In Persian)

3. Angulo-Martínez, M. and S. Beguería. 2009. Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: a comparison among methods using data from the Ebro Basin (NE Spain). Journal of Hydrology. 379 (1-2): 111-121.

4. Arabkhedri, M. 2005. A study on the suspended

24. Moradi, H., M. Behzadfar and S. Sadeghi. 2006. Investigate the relationship between rainfall parameters and rainfall erosivity factor in Khuzestan Province. *Journal of Agricultural* 29(4), 69-83. (In Persian, Abstract in English)
25. Morgan, R. P. C. 2005. *Soil Erosion and Conservation*. 3rd edn., Silsoe College, Cranfield University. 303 pp.
26. Nikkami, D and M.H. Mahdian. 2015. Rainfall erosivity mapping in Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management* 6(4), 364-376. (In Persian, Abstract in English)
27. Rahmati, E. 2000. Check sedimentation potential in sub-Rouge River Country (Area Nojian), Dez watershed model hydrophysic. (M.Sc. Thesis), Tehran University, Tehran, Iran.(In Persian, Abstract in English)
28. Refahi, H. 2009. *Water erosion and its control*. First edn., University of Tehran Press, Tehran, Iran, 671 pp. (In Persian)
29. Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yoder .1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Agriculture Handbook* No. 703, USDA, Washington, DC, USA .404p.
30. Salles, C., J. Poesen, 2000. Rain properties controlling soil splash detachment, *Hydrol, process*. 14(2): 287-306.
31. Silva, A.M. 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*. 57: 251-259.
32. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. USDAARS.Agric.Handbook, No. 537, Washington.US. Pp.59
33. Yang, X., B. Yu and Q.G. Zhu. 2015. Climate change impacts on rainfall erosivity and hillslope erosion in NSW. 21st International Congress on Modelling and Simulation, 29 Nov to 4 Dec, Australia.
- variation on suspended sediment load seasonality (Case study: Kasiliyan basin). *Journal of Watershed Management Research* 7 (14), 167-176. (In Persian, Abstract in English)
14. Ghorbanpour, D., M. K. Mirnia., S.H. Ahmadiyan and M. Deghani. 2005. Investigation on estimation of rainfall erosivity index based on rainfall parameters – Babolsar area. The 3rd Erosion and Sediment National Conference, Tehran, Iran. (In Persian)
15. Hakimkhani, Sh and I, Hakimkhani. 2011. Rainfall Erosivity Mapping for Lorestan province. *Watershed Management Research Journal (Pajouhesh and Sazandegi)* 89, 62-72. (In Persian, Abstract in English)
16. Halimi, M. 2012. View authors examine the impact of climate change on the long-term trend for grades and transferring suspended in the lake's basin. 10th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures , 19-21 Nov, Tehran. (In Persian)
17. Hermado, D and M.G. Romana. 2015. Estimating the rainfall erosivity factor from monthly precipitation data in the Madrid Region (Spain). *Journal of Hydromech.* 63(1): 55-62.
18. Hudson, N. 1995. *Soil Conservation*. Iowa State University Press, Michigan, U.S.A, 391 pp.
19. Jamab Consulting Engineers Company. 1999. *Water Master Plan for the Caspian Sea region*. Ministry of energy. (In Persian)
20. Lal, R and W. Elliot. 1994. *Erodibility and erosivity*. Second Edition. *Soil Erosion Research Methods*, pp: 181-208.
21. Mahdavi, M. 2011. *Applied Hydrology*. Vol. 1 and 2, 7th edn., University of Tehran Press, Tehran, Iran, 779 pp. (In Persian)
22. Mirzayi, M., M. Arabkhedri., S. Feyznia and H. Ahmadi. 2003. Comparison of statistical methods to estimate suspended sediment in rivers. *Iranian Journal of Natural Resources* 58(2), 301- 315. (In Persian, Abstract in English)
23. Mohammadi, A. 2003. *temporal variation of suspended sediment load in the Salt Lake watershed*. (M.Sc. Thesis), Tehran University, Tehran, Iran.(In Persian, Abstract in English)



*Abstract*

## Suspended Sediment Changes Under the Influence of Rainfall Erosivity Cycle in Sorkhab Watershed

Z. Gerami<sup>1</sup>, M. Arabkhedri<sup>2</sup>, H. Asadi<sup>3</sup> and R. Bayat<sup>4</sup>

Received: 2016/06/12 Accepted: 2017/03/13

One of the most important consequences of soil erosion is sedimentation. The detection and surveying the type and amount of sediment is important because of its effects on irrigation networks, environment, and reservoirs. This study was performed in order to investigate the suspended sediment changes under the influence of rainfall erosivity cycle in Sorkhab- Keshvar watershed in the Lorestan province. For estimating the suspended sediment, we used a combination of sediment rating curve of mean loads within discharge classes and average daily discharge data. Monthly and semi-monthly EI30-based erosivity indices were calculated in 13 rain gauging stations inside and around of the watershed. In the next stage, erosivity maps based on kriging interpolation were produced in order to calculate the average monthly and semi-monthly rain erosivities. After calculating monthly and semi-monthly sediment loads, their correlations with corresponding erosivities were investigated. The results show that the maximum and minimum of suspended sediment occurred in Azar and Shahrivar (Iranian month equal to Nov. 22 to Dec. 21 and Aug. 23 to Sep. 22) with the values of 246216 and 1272 ton, respectively. Also, the maximum and minimum of rainfall erosivity occurred in Dey (Iranian month equal to Dec. 22 to Jan. 20) and summer respectively with the values of 182 and 0.01 MJmm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. The highest values of semi-monthly erosivity and sediment observed in second half of Dey and Azar (Iranian month equal to Dec. 22 to Jan. 20 and Nov. 22 to Dec. 21) with the values of 104 MJmm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> and 148241 ton, respectively. Sediment and erosivity showed two peaks in the watershed, two peaks of sediment occurred in Azar and Farvardin (Iranian month equal to Nov. 22 to Dec. 21 and Mar. 21 to Apr. 20) and for the erosivity occurred in Dey and Farvardin (Iranian month equal to Dec. 22 to Jan. 20 and Mar. 21 to Apr. 20).

**Keywords:** *EI30, Erosivity, Interpolation, Peak discharge, Season variation, Sorkhab, Suspended load*

1. MSc Graduated Student, Guilan University. Corresponding Author. Email: z.gerami@yahoo.com

2. Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.

3. Associate Professor, Department of soil Engineering and Science, Terhran University.

4. Associate Professor, Department of soil Engineering and Science, Terhran University.