



مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

# پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مازان تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

## پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر فرساینده‌های باران در آبخیز تالار استان مازندران، ایران

شمیم احمدی<sup>۱</sup>، عطا اله کاویان<sup>۲\*</sup>، کریم سلیمانی<sup>۲</sup>، کاکا شاهی<sup>۴</sup>، عبدالواحد خالدی درویشان<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی دکتری آبخیزداری، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲، ۳ و ۴- استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۵- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس نور

### چکیده مبسوط

#### مقدمه و هدف

تغییرات اقلیمی یکی از چالش‌های بزرگ زیست‌محیطی است که تأثیرات گسترده‌ای بر فرایندهای طبیعی و انسانی دارد. این تغییرات می‌توانند چرخه‌های هیدرولوژیکی را تحت تأثیر قرار داده و موجب تغییر در الگوی بارش و فرسایش خاک شوند. افزایش دما و تغییرات در میزان و شدت بارش‌ها می‌تواند تأثیرات مخربی بر پایداری منابع آب و خاک داشته باشد. کاهش بارش در برخی مناطق و افزایش آن در نواحی دیگر منجر به تغییر در توزیع مکانی و زمانی رواناب خواهد شد که می‌تواند بر ظرفیت ذخیره‌سازی آب‌های سطحی و زیرزمینی تأثیر بگذارد. با توجه به اهمیت مدیریت منابع طبیعی و پیش‌بینی پیامدهای تغییرات اقلیمی در این پژوهش، تأثیر تغییرات اقلیمی بر بارندگی و فرساینده‌های باران در آبخیز تالار بررسی شد. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی اثرات سه سناریوی اقلیمی SSP۱-۲.۶، SSP۲-۴.۵ و SSP۵-۸.۵ بر بارش و فرساینده‌های باران در آینده نزدیک سال ۱۴۲۵ بود. با پیش‌بینی تغییرات اقلیمی آینده نزدیک سال ۱۴۲۵، می‌توان برای اثرات کوتاه‌مدت آن مانند کمبود آب، خشک‌سالی و سیلاب آماده شد و برنامه‌ریزی‌های لازم در زمینه مدیریت منابع آب و خاک، کشاورزی، زیرساخت‌ها و توسعه اقدامات مناسب برای سازگاری با تغییرات اقلیمی را انجام داد. همچنین، بررسی تغییرات اقلیمی به سیاست‌گذاران کمک خواهد کرد تا در طراحی و اجرای برنامه‌های بلندمدت توسعه پایدار تصمیمات مؤثرتری اتخاذ کنند.

#### نوع مقاله: پژوهشی

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

استناد: احمدی، ش.، کاویان، ع.، سلیمانی، ک.، شاهی، ک.، خالدی درویشان، ع. ۱۴۰۴. پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر فرساینده‌های باران در آبخیز تالار استان مازندران، ایران. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۸(۱): ۷۸-۹۵.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2024.366200.1588

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱  
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۴۶، بهار ۱۴۰۴، صفحه‌های ۷۸ تا ۹۵.

© نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



## مواد و روش‌ها

روش‌شناسی این پژوهش شامل استفاده از داده‌های بارش پنج ایستگاه (قراخیل، شیرگاه، پل سفید، سنگده، آلاشت) در منطقه مطالعه‌شده در بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ بود. سپس، بارش آینده نزدیک با استفاده از داده‌های مدل‌های اقلیمی CMIP6 شامل MIROC6، ACCESS\_CM2، CAN5 و CNRM\_CM6 و نرم‌افزار ریزمقیاس نمایی CMHYD شبیه‌سازی شد. انتخاب بهترین مدل برای ریزمقیاس‌نمایی بارش، بر اساس مقایسه نتایج مدل‌های مختلف با داده‌های مشاهداتی انجام شد. به منظور ارزیابی و مقایسه مدل‌های شبیه‌سازی، از معیارهای میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین ( $R^2$ )، ضریب نش-ساتکلیف (NSE) و همبستگی (R) و منحنی تیلور استفاده شد. بر اساس نتایج، بهترین عملکرد در شبیه‌سازی بارش و فرساینده‌گی باران آبخیز تالار مربوط به مدل MIROC6 با روش LI بود. شاخص فرساینده‌گی باران (R) برای دوره پایه و آینده محاسبه و تغییرات آن در سناریوهای مختلف بررسی گردید. علاوه بر این، برای تحلیل تغییرات مکانی و زمانی بارندگی و فرساینده‌گی باران از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد. این تحلیل‌ها کمک کردند تا نواحی آسیب‌پذیر شناسایی شده و در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مورد توجه قرار گیرند.

## نتایج و بحث

نتایج نشان داد که تغییرات بارندگی تحت تأثیر تغییر اقلیم در سناریوهای گوناگون متفاوت است. یافته‌های پژوهش بیانگر آن بود که در آینده در سناریوی خوش‌بینانه SSP1-2.6، با افزایش ۴۳٪ بارش، فرساینده‌گی باران نیز ۱۶/۸۹٪ افزایش یافت. این افزایش می‌تواند در دوره‌های خشک و تر تأثیرات متفاوتی بر فرسایش خاک داشته باشد، به گونه‌ای که در دوره‌های مرطوب باعث افزایش فرسایش خاک شده و در دوره‌های خشک موجب تغییر در الگوی رواناب می‌شود. در سناریوهای متوسط SSP2-4.5 و بدبینانه SSP5-8.5، با کاهش بارش به ترتیب ۳۸/۶ و ۱/۲۸٪، فرساینده‌گی باران نیز به ترتیب ۳۷/۹ و ۱۰/۸٪ کاهش یافت. نتایج تحلیل مکانی نشان داد در بخش‌هایی از آبخیز که شامل کاربری‌های جنگل و مرتع بودند، بارش و فرساینده‌گی باران کاهش یافت. همچنین، در مناطق مسکونی مانند پل سفید، افزایش ساخت و ساز و ایجاد سطوح نفوذناپذیر سبب کاهش پوشش گیاهی و افزایش آسیب‌پذیری در برابر بارش‌های شدید شد. در مناطق مانند شیرگاه، با افزایش بارش و فرساینده‌گی باران، خطر زمین‌لغزش‌ها و فرسایش در ترانشه‌های جاده‌ای افزایش یافت. این تغییرات می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر فرسایش خاک و مدیریت منابع آب در منطقه داشته باشد. در این راستا، لزوم توجه به اقدامات حفاظتی و پایش مستمر تغییرات اقلیمی در منطقه تأکید می‌شود.

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یافته‌های این پژوهش نشان داد که تغییرات اقلیمی تأثیرات جدی بر منابع طبیعی و معیشت ساکنان آبخیز تالار دارند. از این رو، اقدامات بیدرنگ در راستای مدیریت پایدار منابع آب و خاک، برای سازگاری با این تغییرات لازم و ضروری است. این اقدامات شامل نظارت بر تعداد دام ورودی به مراتع، حفاظت از پوشش گیاهی و کشت گیاهان مقاوم به فرسایش و توسعه روش‌های آبخیزداری است. همچنین برای کاهش آسیب‌های ناشی از بارش‌های شدید، استفاده از پوشش‌های گیاهی مناسب در مناطق مستعد فرسایش، پایش تغییرات پوشش گیاهی و به‌کارگیری روش‌های مهار فرسایش در آبخیزها مورد توجه قرار گیرد. سیاست‌گذاران و مدیران منابع طبیعی می‌توانند از نتایج این پژوهش در تصمیم‌گیری‌های مناسب برای کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی و بهبود مدیریت منابع آب و خاک استفاده کنند. افزون بر این، برای توسعه پژوهش‌های بیشتر و برنامه‌ریزی‌های راهبردی در زمینه مدیریت آبخیزها می‌توان از داده‌های پیش‌بینی‌شده فرسایش باران آینده از این پژوهش استفاده کرد. علاوه بر بررسی تغییرات شدت بارندگی و تأثیر آن بر فرسایش خاک در پژوهش‌های آینده توصیه می‌گردد. همچنین، انجام مطالعات میدانی و استفاده از مدل‌های عددی پیشرفته می‌تواند در بهبود دقت پیش‌بینی‌ها و تدوین راهکارهای مناسب برای مدیریت تغییرات اقلیمی مفید باشد.

واژگان کلیدی: cmhyd، بارش، تغییرات اقلیمی، گزارش ششم

## مقدمه

فرسایش خاک آب، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی جهان، وابستگی زیادی به تغییرات اقلیمی و توسعه پایدار دارد (شوو و همکاران ۲۰۲۳؛ ملبوسی و همکاران ۲۰۲۳). گرمایش جهانی به‌عنوان یکی از پیامدهای تغییر اقلیم است که با افزایش تبخیر از سطوح اقیانوسی و ورود آن به جو موجب افزایش بارش در کره زمین می‌شود. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد پاسخ اقلیم غرب آسیا به گرمایش جهانی، در خصوص بارش، عموماً کاهش است (باباییان و همکاران ۲۰۱۰؛ ای پی سی سی ۲۰۱۴؛ دولابیان و همکاران ۲۰۲۰). تغییرات در وضعیت‌های بارندگی طبیعی ناشی از تغییرات اقلیم و فعالیت‌های انسانی است که می‌تواند تأثیرات مستقیم بر فرسایش آبی داشته باشد (نیرینگ و همکاران ۲۰۰۴؛ ما و همکاران ۲۰۲۳). در کشور ایران بررسی اثرات تغییر اقلیم در بخش کشاورزی، تولید و امنیت مواد غذایی به یکی از چالش‌های اصلی تبدیل شده است (پیبانی و همکاران ۲۰۱۰). آگاهی از روند تغییرات بارش و دیگر متغیرهای اقلیمی می‌تواند مقاومت و انعطاف‌پذیری جامعه‌ها را در برابر پیامدهای ناگوار تغییر اقلیم افزایش دهد (باباییان و همکاران ۲۰۲۳). مطالعات پرشماری قدرت فرساینده‌گی باران را تحت تأثیر تغییر اقلیم بررسی کرده‌اند. در این راستا، توانگر و همکاران (۲۰۱۶) اثر تغییرات اقلیم بر فرساینده‌گی باران در سواحل جنوبی خزر را بررسی کردند. این پژوهشگران دریافتند که در بیشتر نقاط منطقه مطالعه‌شده تغییر اقلیم منجر به افزایش عامل فرساینده‌گی باران شد که دلیل آن افزایش شدت بارش و رخدادهای بیشتر حدی بارش در آینده پیش‌بینی شد. در پژوهشی، فلاح و همکاران (۲۰۲۱) اثرات تغییر اقلیم آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) را با استفاده از مدل‌های اقلیمی (CMIP5)<sup>۱</sup> و (CMIP6)<sup>۲</sup> در منطقه طشک بختگان شبیه‌سازی کردند و گزارش کردند در بیشتر مدل‌ها و

سناریوها، کاهش بارش (۰/۵ و ۱/۱۵٪) مشاهده شد. خادم‌رسول و عامری (۲۰۲۲) گزارش کردند اندازه بارش منطقه جنوب‌غرب ایران در آینده کاهش خواهد یافت و این کاهش سبب کاهش عامل فرساینده‌گی باران و در نتیجه کاهش فرسایش خاک نیز خواهد شد. شکوهیده و همکاران (۲۰۲۲) شاخص فرساینده‌گی باران خراسان جنوبی را برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله برآورد کردند. نتایج این پژوهش نشان داد در هر دو سناریوی اقلیمی SSP126 و SSP245 اندازه فرساینده‌گی باران از دوره بازگشت ۲ سال به ۱۰۰ سال افزایش یافت. کوه‌شاهی و همکاران (۲۰۲۳) اثرات تغییر اقلیم بر عامل فرساینده‌گی باران در آبریز میناب را ارزیابی کردند. به این منظور داده‌های خروجی دو مدل BCC-CSM2-MR و CanESM5، سناریوهای ۲/۶، ۴/۵، ۸/۵ و شاخص فرساینده‌گی باران سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ برآورد شد. این پژوهشگران دریافتند که روند عامل فرساینده‌گی باران متأثر از تغییرات اقلیمی، افزایشی بود و در آینده نزدیک (۲۰۴۰) موجب افزایش فرسایش خواهد شد. پانگوس و همکاران (۲۰۲۲) افزایش قابل‌توجهی در فرساینده‌گی باران جهانی برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ پیش‌بینی کردند. نتایج پژوهش‌ها نیز در رومانی (پاتریش و همکاران ۲۰۲۳)، چین (لی و همکاران ۲۰۲۴؛ وانگ و همکاران ۲۰۲۳)، ایالات‌متحده (تاخلم‌بام و همکاران ۲۰۲۳) و اروپای مرکزی (اوبر و همکاران ۲۰۲۴) نشان‌دهنده تغییرات قابل‌توجه در الگوهای بارندگی و فرساینده‌گی باران در بیشتر مناطق مطالعه‌شده بود. در این پژوهش‌ها از مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)<sup>۳</sup>، سناریوهای گوناگون انتشار (RCP)<sup>۴</sup> و (SSP)<sup>۵</sup> و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی و اثرات آن استفاده شده است. نتایج پژوهش‌ها بیانگر تغییرات قابل‌توجه در روند بارش و فرساینده‌گی باران تحت تأثیر تغییر اقلیم است و بر اهمیت در نظر گرفتن این تغییرات در برنامه‌ریزی‌های آینده، به‌ویژه در زمینه

3-Global Circulation Model (GCM)

4-Representative Concentration Pathways (RCP)

5-Shared Socioeconomic Path ways (SSP)

1-Coupled Model Intercomparison Project Phase5 (Cmip5)

2-Coupled Model Intercomparison Project Phase6 (Cmip6)

های دوره پایه است. در این پژوهش به‌منظور هماهنگی در انتخاب دوره پایه در پژوهش‌های گوناگون تغییر اقلیم و امکان مقایسه آن‌ها، با در نظر گرفتن بیشترین هم‌پوشانی داده‌ها، امکان مقایسه با دوره آینده پیش‌بینی شده (۱۴۲۵) دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۵ به‌عنوان دوره پایه انتخاب شد. متغیرهای اقلیمی لازم در این پژوهش شامل سری زمانی ۳۰-۱۰ ساله از داده‌های روزانه، بارش (ایستگاه‌های همدید و باران‌سنجی) بود. برای تهیه نقشه با دقت مطلوب از تمام داده‌های موجود استفاده شد. مشخصات ایستگاه‌های استفاده‌شده در جدول ۱ ارائه شده است.

### عامل فرساینده‌گی باران R

فرساینده‌گی باران بیانگر تنش واردشده از سوی قطرات باران بر خاکدانه‌های سطح خاک است و به‌منظور بررسی اثر متغیر اصلی فرساینده (باران) بر فرسایش خاک ارائه شده است (عظیمی‌سرداری و همکاران ۲۰۱۹). در این پژوهش لازم بود تا داده‌های بارندگی برای بیشترین دوره آماری موجود از تمام ایستگاه‌های هواشناسی (همدید و باران‌سنجی) در درون و پیرامون آبخیز جمع‌آوری شود. به‌دلیل کمبود داده در این مقیاس از اندازه‌های بارندگی ماهانه و سالانه ایستگاه‌ها در آبخیز برای برآورد شاخص R استفاده شد و این شاخص با استفاده از رابطه ۱ برآورد شد (بابو و همکاران ۲۰۰۴؛ جین و داس ۲۰۱۰؛ بناویدز و همکاران ۲۰۱۸).

$$R = 81.5 + (0.38 \times P) \quad (1)$$

P: میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر) برای یک ایستگاه و R: فرساینده‌گی باران سالانه همان ایستگاه است. این رابطه برای مناطقی با میانگین بارندگی سالانه ۳۴۰ تا ۳۵۰۰ میلی‌متر قابل استفاده است.

مدیریت منابع آب و حفاظت خاک تأکید می‌کند. با توجه به اهمیت خاک و هدررفت آن، و همچنین ضرورت پیش‌بینی و پایش درازمدت شرایط آب و هوایی شمال کشور و ارزیابی اندازه تغییرات، عامل فرساینده‌گی در سال‌های آینده آبخیز تالار برای بررسی انتخاب شد تا برای اثرات کوتاه‌مدت آن برنامه‌ریزی‌های لازم انجام شود. در این پژوهش پس از انتخاب مناسب‌ترین مدل اقلیمی آبخیز تالار در میان مدل‌های اقلیمی MIROC6، ACCESS\_CM2، CAN5، CNRM\_CM6 گزارش ششم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، قدرت فرساینده‌گی باران برای آینده نزدیک (۱۴۲۵) آبخیز تالار برآورد شد و تغییرات آن ارزیابی شد.

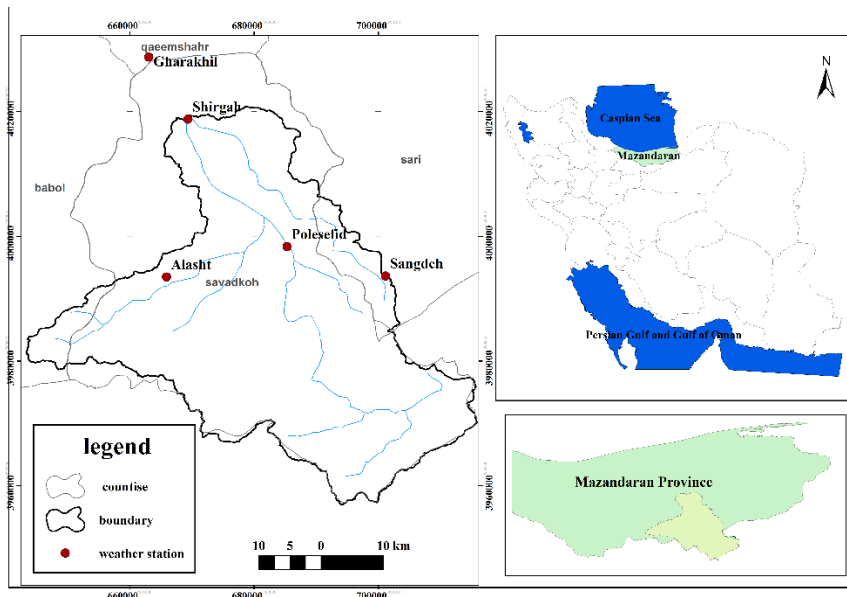
### مواد و روش‌ها

#### منطقه مطالعه شده

آبخیز تالار در البرز مرکزی از آبخیزهای دریای خزر است. منطقه مطالعه شده یک رود اصلی با طول ۱۵۲ کیلومتر و پنج رود فرعی دارد. میانگین سالانه بارندگی ۶۲۵ میلی‌متر، کمترین و بیشترین دمای سالانه ۷/۷ و ۲۱°C و وضعیت بارش مدیترانه‌ای است. مساحت کل آبخیز ۲۰۵۳ کیلومترمربع است. بلندی آبخیز تالار از ۲۸- تا ۳۹۱۰ متر از سطح دریای آزاد است. شکل عمومی آبخیز پهن و امتداد شمالی-جنوبی دارد (شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران ۲۰۰۹؛ حسینی و همکاران ۲۰۱۱؛ محمدی و همکاران ۲۰۱۶). منطقه مطالعه شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

#### روش پژوهش

با توجه به اهمیت پایش‌های اقلیمی برای پیش‌بینی روند رخداد‌های فرسایشی، آبخیز تالار برای مطالعه انتخاب شد. در پژوهش‌های تغییر اقلیم، نیاز به داده



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعه‌شده در استان مازندران و کشور.  
 Figure 1- Location of the study area in Mazandaran Province and the country.

جدول ۱- ایستگاه‌های هواشناسی استفاده‌شده در این پژوهش.

Table 1- Meteorological Stations Used in This Study.

| Elevation (m) | Latitude | Longitude | Available statistical period | Type of station | Station name |
|---------------|----------|-----------|------------------------------|-----------------|--------------|
| 14.7          | 36.45    | 52.77     | 30                           | Synoptic        | Qarakhil     |
| 529           | 36.17    | 52.53     | 30                           | Rain gauge      | Shirgah      |
| 610           | 36.06    | 53.03     | 15                           | Rain gauge      | Pol Sefid    |
| 1337          | 36.04    | 53.14     | 30                           | Rain gauge      | Sang Deh     |
| 1805          | 36.07    | 58.84     | 11                           | Synoptic        | Alasht       |

مدل مناسب جهت ریزمقیاس نمایی انتخاب شد. سرانجام، سری زمانی بارش آینده تولید شد. این داده‌ها با نرم‌افزار اکسل به نرم‌افزار ArcMap انتقال یافت. در مرحله بعد با استفاده از روش‌های پهنه‌بندی از حالت نقطه‌ای و گسسته به یک لایه سطحی و پیوسته تبدیل شد. بر اساس پژوهش‌های پیشین روش پهنه‌بندی IDW برای تهیه لایه رستری عامل فرساینده‌ی باران R استفاده شد (احمدی و همکاران ۲۰۱۴). روندنمای ساخت لایه فرساینده‌ی باران برای آینده نزدیک در شکل ۲ نشان داده شده است. در مدل‌های فاز ششم از

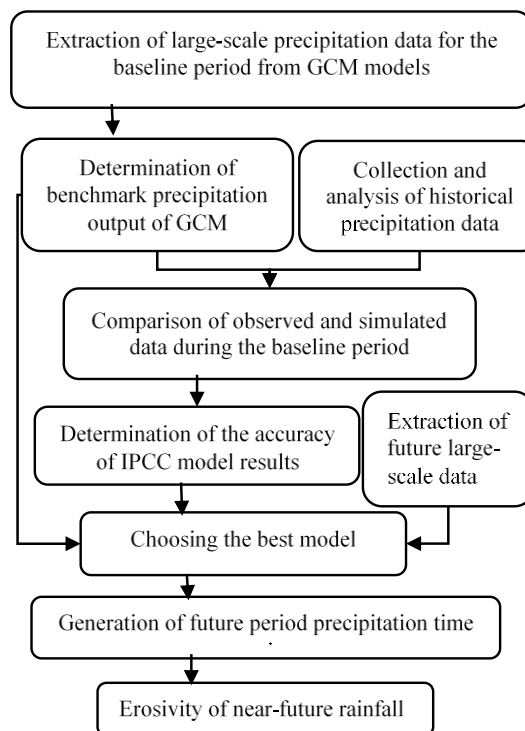
به‌منظور ساخت لایه فرساینده‌ی باران گذشته از داده‌های موجود بارندگی منطقه استفاده شد و برای آینده از گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) و سناریوهای واداشت تابشی متغیر اقلیمی بارش استفاده شد. از محدودیت‌های مدل‌های اقلیمی GCM، بزرگ‌مقیاس بودن متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی‌شده است. با استفاده از نرم‌افزار ریزمقیاس نمایی (CMHYD)، سری زمانی بارش آینده نزدیک ۱۴۲۵ تولید شد. پس از ارزیابی مدل‌ها در دوره پایه و انتخاب مدل مناسب برای برازش، با استفاده از از منحنی تیلور

7-Climate Model data for Hydrologic modeling

6-Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

اجتماعی اقتصادی مانند رشد جهانی-جمعیت، توسعه اقتصادی و پیشرفت‌های فناوری استفاده شد.

تلفیق سناریوهای اجتماعی اقتصادی و سناریوهای واداشت تابشی نماینده غلظت گازهای گلخانه‌ای برای تحلیل پس‌خورهای میان تغییر اقلیم و عامل‌های



شکل ۲- روندنمای ساخت لایه فرساینده باران برای آینده نزدیک (۱۴۲۵).

Figure 2- Process of Creating the Rainfall Erosivity Layer for the Near Future (2046).

استفاده شد. ابتدا از میان مدل‌های سری CMIP6، مدل‌هایی که داده‌هایی با دوره‌های مشترک تاریخی و پیش‌نگری داشتند و تفکیک مکانی افقی ۲۵۰ کیلومتر و دقیق‌تر داشتند، بررسی شدند (جدول ۲). کارایی هر یک از مدل‌های در دسترس CMIP6 با مقایسه داده‌های تاریخی آن‌ها با داده‌های بازکاوی با رسم نمودار تیلور مشخص شد (تیلور ۲۰۰۱). نمودار تیلور شامل مشخصه‌های نمایه‌های اربیبی، انحراف معیار و جذر میانگین مربعات است.

به دلیل سهولت در دریافت، امکان برش زمانی و مکانی داده‌ها، داده‌های مدل‌های CMIP6 از پایگاه کوپرنیکوس<sup>۸</sup> دریافت شد.

در این پژوهش از داده‌های بارش مدل‌های MIROC6، ACCESS-CM2، CNRM-CM6 با تفکیک مکانی افقی ۲۵۰ کیلومتر و ۵۰۰ کیلومتر در دو بازه تاریخی (۲۰۱۴ - ۱۹۸۵)، آینده (۲۰۱۰ - ۲۰۱۵) با سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به عنوان سناریوهای خوش‌بینانه، متوسط و بدبینانه

8-<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-cmip6>

جدول ۲- مدل‌های CMIP6 با داده‌های بارش در دسترس پس از غربال‌گری داده‌های مشترک سه سناریوی SSP تاریخی.

Table 2- CMIP6 Models with Available Precipitation Data after Screening Common Data for Three SSP Scenarios and Historical Period.

| variant         | SSP5_8.5 | SSP2_4.5 | SSP1_2.6 | HIS | RESOLUTION |     | Model      |
|-----------------|----------|----------|----------|-----|------------|-----|------------|
|                 |          |          |          |     | 500        | 250 |            |
| <i>r1i1p1f1</i> | ■        | ■        | ■        | ■   |            | *   | MIROC6     |
| <i>r1i1p1f1</i> | ■        | ■        | ■        | ■   |            | *   | ACCESS-CM2 |
| <i>r1i1p1f1</i> | ■        | ■        | ■        | ■   | *          |     | CAN5       |
| <i>r1i1p1f1</i> | ■        | ■        | ■        | ■   |            | *   | CNRM-CM6   |

در بخش پردازش، داده‌های ورودی شامل داده‌های دیدبانی و مدل اقلیمی پردازش شده و ریزمقیاس‌نمایی می‌شوند و در بخش رسم، خروجی‌ها رسم می‌شوند. بخش پردازش به چهار زیر بخش اصلی شامل ورودی داده‌های دیدبانی، ورودی مدل اقلیمی، انتخاب دایرکتوری خروجی‌های ریزمقیاس‌نمایی شده و فرایند اجرای مدل تقسیم می‌شود. در نرم‌افزار CMHyd شکل داده‌های ورودی می‌تواند ASCII یا netcdf باشد. کمبود داده‌های آماری با کد ۹۹/۹ یا ۹۹/۰ نشان داده می‌شوند. در تمامی مراحل ریزمقیاس‌نمایی، داده‌های تاریخی و آینده باید در سال‌های کیبسه به ۳۶۶ روز تبدیل شوند.

### ریزمقیاس‌نمایی به‌وسیله CMHYD

برای ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های گردش عمومی جو از نرم‌افزار CMHYD استفاده شد. این نرم‌افزار برای مدل‌سازی آب‌شناسی به‌وسیله رادجنز و همکاران (۲۰۱۶) در دانشگاه پردو آمریکا و با زبان پایتون توسعه داده شده است. در فرایند تصحیح اریبی الزاماً کاهش مقیاس انجام نمی‌شود و تفکیک مکانی داده‌های تصحیح‌شده با داده‌های خام مشابه است. اجرای سریع، امکان انتخاب گزینه‌های گوناگون و امکان ریزمقیاس‌نمایی بارش (۵ روش) و دما (۴ روش) از مزایای این نرم‌افزار است. نرم‌افزار CMHyd از دو بخش اصلی پردازش و رسم تشکیل شده است.

جدول ۳- روش‌های اختصاصی ریزمقیاس‌نمایی آماری برای بارش و دما در نرم‌افزار CMHyd (رادجنز و همکاران ۲۰۱۶).

**Table 3- Specific Statistical Downscaling Methods for Precipitation and Temperature in the CMHYD Software (Rathjens et al 2016).**

| Temperature | Precipitation | Downscaling method   |
|-------------|---------------|--|
|             | ✓             | Linear Scaling (multiplicative) (LS)                       |
| ✓           |               | Linear Scaling (additive) (LS)                             |
|             | ✓             | Delta-Change correction (multiplicative) (DC)              |
| ✓           |               | Delta-Change correction (additive) (DC)                    |
|             | ✓             | Precipitation Local Intensity scaling (LI)                 |
|             | ✓             | Power Transformation of precipitation (PT)                 |
| ✓           |               | Variance Scaling of temperature (VS)                       |
| ✓           | ✓             | Distribution Mapping of precipitation and temperature (DM) |

### نتایج و بحث

#### نتایج بررسی مدل‌ها

از این‌رو، اگرچه مدل Can5 نتایج قابل قبول و همبستگی زیادی با داده‌های مشاهده‌ای نشان داد، اما با توجه به قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر انتخاب نشد. تغییرات بارندگی در دوره آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم

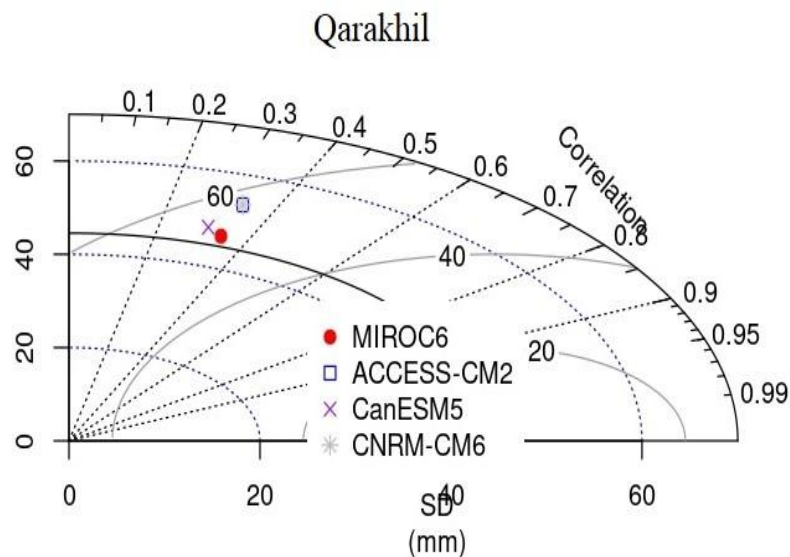
تغییرات بارندگی تحت تأثیر تغییر اقلیم در سناریوهای اقلیمی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در آینده نزدیک (۲۰۴۶-۲۰۱۵) و آینده میانه (۲۰۷۵-۲۰۴۷) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶) در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج این پژوهش تا سال ۲۱۰۰، روند بارندگی با سناریوی SSP1-2.6 افزایشی است. انتظار می‌رود در سناریو اقلیمی SSP5-8.5 و SSP2-4.5، روند بارندگی در آینده نزدیک تا آینده میانه کاهش باشد، اگرچه این کاهش در آینده دور کمتر برآورد شد. همچنین، در ایستگاه آلاشت با سناریوی اقلیمی SSP5-8.5 برای آینده نزدیک و میانه تغییرات قابل توجهی مشاهده نشد.

پس از ریزمقیاس‌نمایی شاخص اقلیمی بارش به شکل ماهانه، مدل مناسب با توجه به نمودار تیلور برای ایستگاه‌ها انتخاب شد (شکل ۳ (به عنوان نمونه) و جدول ۴). به منظور ارزیابی و مقایسه کارایی مدل از میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین ( $R^2$ )، ضریب نش-ساتکلیف (NSE) و همبستگی (R) استفاده شد (عظیمی‌سرداری و همکاران ۲۰۱۹). مدل MIROC6 با استفاده از روش ریزمقیاس‌نمایی (LI) در مقایسه با دیگر روش‌ها عملکرد بهتری داشته و نتایج قابل توجهی را ارائه داده این مدل با بیشترین ضریب نش-ساتکلیف (NSE)، کمترین خطای میانگین مربعات ریشه (RMSE) و بهترین همبستگی مکانی و سنج‌های آماری خطا، بهترین عملکرد را نشان داد. این یافته با نتایج پژوهش‌های قانع و همکاران (۲۰۲۳) هم‌خوانی دارد. انتخاب مدل مناسب برای هر آبخیز، به‌ویژه با توجه به تغییرپذیری شدید منطقه، باعث دستیابی به نتایج قابل اعتمادتر می‌شود (ستودهیان و همکاران ۲۰۲۲).



جدول ۴- ارزیابی روش‌های ریزمقیاس‌نمایی بارش ایستگاه‌ها.

| Table 4- Evaluation of Downscaling Methods for Station Precipitation. |      |        |      |        |           |
|---|------|--------|------|--------|-----------|
| R <sup>2</sup>  | R    | RMSE   | NSE  | Method | Station   |
| 1   | 1    | 0.0029 | 0.99 | LS     | Qharakhil |
| 1   | 1    | 0.0021 | 1    | PT     |           |
| 1   | 1    | 0.0005 | 1    | LI     |           |
| 1   | 0.99 | 0.90   | 0.99 | DM     |           |
| 1   | 1    | 0.15   | 0.93 | LS     | Sang Deh  |
| 1   | 0.99 | 0.15   | 0.93 | PT     |           |
| 1   | 1    | 0.15   | 0.93 | LI     |           |
| 0.99  | 0.96 | 0.9    | 0.82 | DM     |           |
| 1   | 1    | 0.002  | 1    | LS     | Shirgah   |
| 1   | 1    | 0.002  | 1    | PT     |           |
| 1   | 1    | 0.0006 | 1    | LI     |           |
| 0.99  | 0.99 | 0.59   | 0.99 | DM     |           |
| 0.004   | 0.69 | 0.2    | 0.25 | LS     | Pol Sefid |
| 1   | 1    | 0.001  | 1    | PT     |           |
| 1   | 1    | 0.009  | 1    | LI     |           |
| 0.99  | 0.99 | 0.32   | 0.99 | DM     |           |
| 1   | 1    | 0.002  | 1    | LS     | Alasht    |
| 1   | 1    | 0.001  | 1    | PT     |           |
| 1   | 1    | 0/002  | 1    | LI     |           |
| 0.97  | 0.98 | 0.63   | 0.97 | DM     |           |



شکل ۳- نمودار تیلور ایستگاه قراخیل.

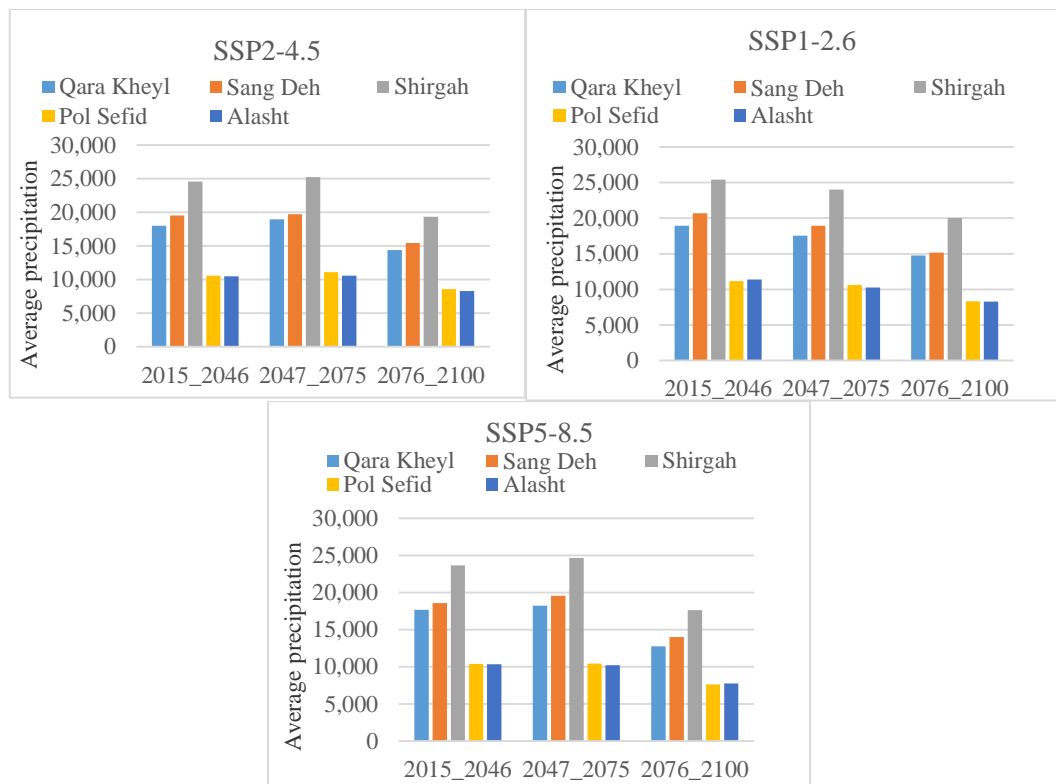
Figure 3- Taylor Diagram for Qarakhil Station.

نزدیک با سناریوی خوش‌بینانه SSP1-2.6 و بدبینانه SSP5-8.5 در بیشتر ایستگاه‌ها افزایشی بود. درصد این افزایش در سناریوی خوش‌بینانه بیشتر از سناریوی بدبینانه بود و در سناریوی متوسط SSP2-4.5 روند اندازه‌های بارش، کاهشی بود. با مقایسه میانگین بارش ایستگاه‌ها و اندازه‌های پیش‌بینی شده مشخص شد با هر سه سناریوی اقلیمی، بارش ایستگاه

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، اندازه باران برای آینده نزدیک (سال ۱۴۲۵) میانگین بارش آبخیز با سناریوهای اقلیمی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به ترتیب ۳/۴۳، ۶/۳۸، ۲۸/۱٪ تغییر کرد. به‌منظور درک بهتر تغییرات اندازه‌های بارندگی آینده نزدیک و میانگین بارندگی ایستگاه‌های آبخیز برآورد شد (جدول ۵). بر پایه داده‌های جدول ۵، روند بارش در آینده

2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به ترتیب ۸۹۶ و ۳۸۳/۷ و ۶۳۳ میلی‌متر تغییر کرد (شکل ۵).

پل سفید در آینده کاهش خواهد یافت. میانگین بارندگی در آینده نزدیک با سناریوهای اقلیمی SSP1-2.6



شکل ۴- تغییرات بارندگی آینده نزدیک، میانه و دور برای سه سناریوی خوش‌بینانه، بدبینانه و متوسط در ایستگاه‌های آبخیز تالار.

Figure 4- Future Changes in Near-Median and Far Rainfall for Optimistic, Pessimistic, and Intermediate Scenarios at Stations in the Talar Watershed.

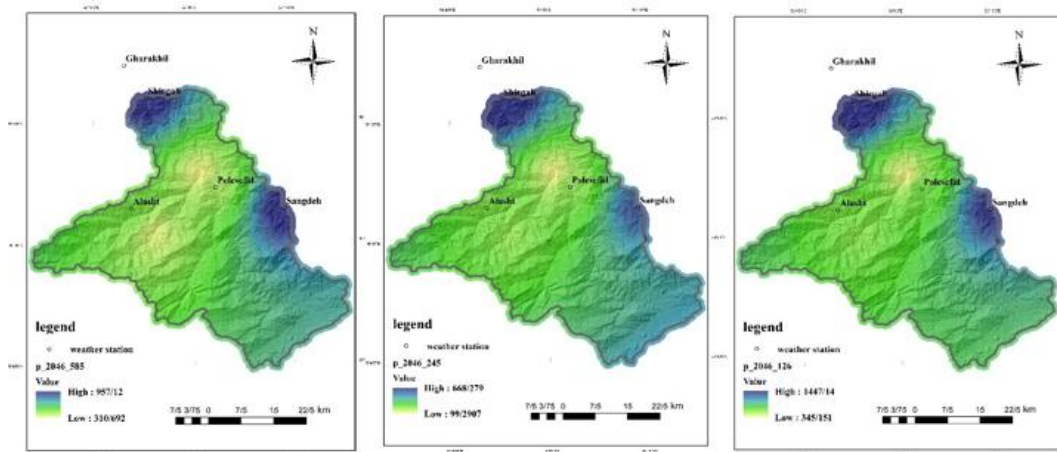
جدول ۵- اندازه‌های بارش میانگین دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۵) و آینده (۲۰۴۶) ایستگاه‌های آبخیز تالار.

Table 5- Average Precipitation Values for the Base Period (1985-2014) and Future (2046) at Stations in the Talar Watershed.

| Pessimistic<br>SSP5-8.5 | Moderate<br>SSP2-4.5 | Optimistic<br>SSP1-2.6 | Average<br>precipitation (mm) | Station Name |
|-------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------|--------------|
| 730.2                   | 458.4                | 757.1                  | 591.99                        | Qharakhil    |
| 945.1                   | 474.6                | 1129.2                 | 863.5                         | Sang Deh     |
| 957.1                   | 668.3                | 1447.1                 | 1036.1                        | Shirgah      |
| 401.2                   | 187.1                | 557.6                  | 600.4                         | Pol Sefid    |
| 458.1                   | 206.6                | 539.5                  | 532.8                         | Alasht       |

میلی‌متر بر هکتار سال) در دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۴) با سناریوهای اقلیمی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به ترتیب به ۴۲۲، ۲۲۷ و ۳۲۲ (مگاژول میلی‌متر بر هکتار سال) تغییر کرد. بر اساس نتایج این پژوهش در آینده نزدیک فقط در سناریوی خوش‌بینانه فرساینده‌گی باران ۱۶/۸۹٪ افزایش یافت.

شاخص فرساینده‌گی باران در دوره آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم فرساینده‌گی باران آینده نزدیک آبخیز با سناریوهای اقلیمی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به ترتیب ۱۶/۸۹، ۳۷/۱۲، -۱۰/۸۰٪ برآورد شد (شکل ۶). میانگین فرساینده‌گی آبخیز معادل ۳۶۱ (مگاژول

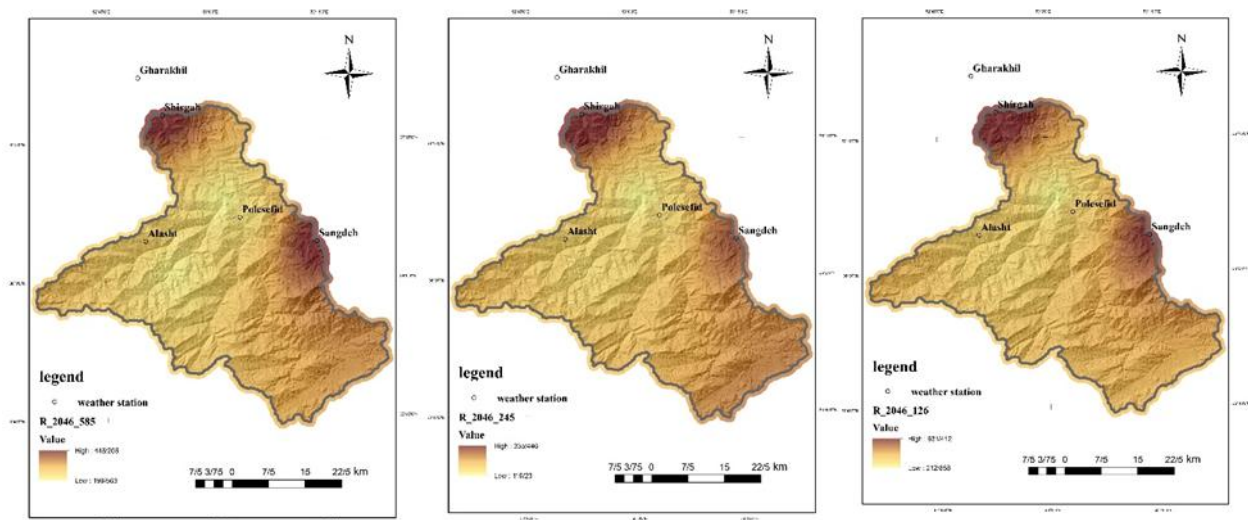


شکل ۵- نقشه میانگین بارش سال ۱۴۲۵ آبخیز تالار بر اساس سناریوهای خوش‌بینانه SSP1-2.6، متوسط SSP2-4.5 و بدبینانه SSP5-8.5

Figure 5- Map of Average Precipitation in the Year 2046 for the Talar Watershed Based on Optimistic (SSP1-2.6), Moderate (SSP2-4.5), and Pessimistic (SSP5-8.5) Scenarios.

در مقایسه با دوره پایه موجب افزایش ۱۶/۸۹٪ فرسایندهای باران شد. افزایش فرسایندهای باران می‌تواند در دوره‌های خشک و مرطوب سبب افزایش تولید رسوب و فرسایش خاک شود (نظری‌سامانی و همکاران، ۲۰۱۹). در سناریوی متوسط (SSP2-4.5) و بدبینانه (SSP5-8.5)، به ترتیب با کاهش ۳۸/۶٪ و ۱/۲۸٪ بارش آبخیز، فرسایندهای باران در مقایسه با دوره پایه ۳۷/۹٪ و ۱۰/۸۰٪ کاهش یافت. انتظار می‌رود افزون بر اندازه بارش، نوع و شدت بارش‌ها نیز تغییر یابد که می‌تواند بر پوشش گیاهی و منابع آب و خاک آبخیز اثرات منفی داشته باشد (جیا و همکاران ۲۰۲۰). اگرچه در ایستگاه سنگده، انتظار می‌رود پوشش جنگلی راش در بالادست افزایش فرسایندهای ناشی از باران را تا حدی خنثی کند، اما هم‌اکنون آبخیز تالار به دلیل تغییرات شدید کاربری زمین‌ها و نابودی و فرسایش خاک و ساخت و ساز در مناطق کوهستانی و جاده‌سازی به شدت در معرض فرسایش‌پذیری است (وهاب‌زاده و احمدی ۲۰۲۲). بر اساس نتایج این پژوهش، انتظار می‌رود که با کاهش بارش و فرسایندهای باران به ویژه در مناطق میان‌بند و بالادست که کاربری عمده آن جنگل و مرتع است (از جمله شهرستان سوادکوه).

تأثیر تغییر اقلیم بر بارش و فرسایندهای باران نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات بارش در آینده نزدیک (سال ۱۴۲۵) با سناریوهای گوناگون تغییر اقلیم در ایستگاه‌های مختلف آبخیز (قراخیل، سنگده، شیرگاه، پل سفید، آلاشت) تفاوت‌های چشمگیری داشت. در سناریوی خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، بارش در مقایسه با دوره پایه افزایش یافت؛ بیشترین افزایش در ایستگاه قراخیل (۴۵٪) و کمترین در ایستگاه آلاشت (۱/۲۶٪) مشاهده شد. این افزایش بارش، به ویژه در ایستگاه‌های پست مانند قراخیل، می‌تواند موجب افزایش خطر آبگرفتگی و سیلاب شود. در سناریوی بدبینانه (SSP5-8.5)، تغییرات بارش در ایستگاه‌های جنوبی و جنوب‌شرقی (شیرگاه، پل سفید و آلاشت) کاهش و در دامنه‌های غربی و جنوب‌غربی و مناطق پست آبخیز (قراخیل و سنگده) افزایش یافت. می‌توان گفت تفاوت در بلندی، پستی‌بلندی و موقعیت ایستگاه‌ها در دامنه، موجب تفاوت در اندازه‌های بارش دریافتی ایستگاه‌ها شد. این یافته با نتایج پژوهش نیرینگ و همکاران (۲۰۰۴) هم‌خوانی دارد. بر اساس مدل استفاده‌شده، تغییرات فرسایندهای باران تابعی از تغییرات بارندگی سالانه بود. برای آینده نزدیک در سناریوی خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، افزایش ۴۳٪ بارش



شکل ۶- نقشه فرساینده‌گی باران سال ۱۴۲۵ آبخیز تالار بر اساس سناریوهای خوش‌بینانه SSP1-2.6، متوسط SSP2-4.5 و بدبینانه SSP5-8.5.

Figure 6- Map of Rainfall Erosivity in the Year 2046 for the Talar Watershed Based on Optimistic (SSP1-2.6), Moderate (SSP2-4.5), and Pessimistic (SSP5-8.5) Scenarios.

می‌تواند خطرات جدی همچون حمله آفات و رخداد آتش‌سوزی‌های مهیب را به دنبال داشته باشد و تهدیدی جدی برای امنیت غذایی و معیشت ساکنان منطقه باشد.

#### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یافته‌های این پژوهش نشان داد که تغییرات اقلیمی تأثیرات مهمی بر منابع طبیعی و معیشت ساکنان آبخیز تالار دارند. با توجه به کاهش پیش‌بینی شده بارش و قرارگیری بخش‌هایی از آبخیز در بلندی‌های بالادست، اجرای اقدامات بیدرنگ برای مدیریت پایدار منابع آب و خاک ضروری است. در این راستا، پیشنهاد می‌شود از روش‌های نوین آبیاری، تغییر الگوی کشت، استفاده از گونه‌ها و نژادهای کم‌آبر و بازچرخانی آب منطقه بهره‌برداری شود. همچنین، کاهش بارش و پوشش گیاهی می‌تواند به افزایش فرسایش منجر شود که نیازمند پژوهش و بررسی است. نتایج نشان داد که نوع و اندازه پوشش گیاهی تأثیر زیادی در جلوگیری از فرسایش دارد. به طوری که در سطح آبخیز خطر فرسایش در مناطق با پوشش جنگلی متراکم در مقایسه با مناطق با پوشش مرتعی و دامنه‌های با شیب بسیار تند و بدون پوشش، کمتر بود. همچنین در بخش مرتعی

پوشش گیاهی کاهش یابد. همچنین، افزایش ساخت و ساز و ایجاد سطوح نفوذناپذیر در مناطق پل سفید و شیرگاه موجب کاهش پوشش گیاهی و آسیب‌پذیری بیشتر نسبت به بارندگی‌های شدید در آینده شود.

همچنین، در مناطق مرتفع و پر باران، مانند شهرستان سوادکوه، کاهش فرساینده‌گی باران و بارش پیش‌بینی شده تأثیرات قابل توجهی در تغییرات کاربری اراضی و تولید رسوب خواهد داشت.

در راستای این تغییرات، انجام اقدامات آبخیزداری، به‌ویژه با تأکید بر احیای پوشش گیاهی و استفاده از روش‌های سازهای در آبراهه‌های فرعی، می‌تواند به‌طور چشمگیری فرسایش را در دهه‌های آینده کاهش دهد. همچنین، کشت گیاهان مقاوم با عملکرد زیاد (مانند درختان افرا، ممرز، راش، توسکا و سپیدار) در بخش‌های جنگلی و گیاهان بوته‌ای و علفی (مانند شبدر، یونجه و چمن یک‌ساله) در بخش‌های مرتعی می‌تواند تأثیرات منفی فرساینده‌گی باران را کاهش دهد (عرب‌خدری و همکاران ۲۰۲۰).

در نهایت، با توجه به کاهش بارش پیش‌بینی شده در بخش‌های میان‌بند و بالادست آبخیز تالار، که پوشش جنگلی انبوه و خاک حاصلخیز بود، این تغییرات

**دسترسی به داده‌ها**

داده‌ها و نتایج استفاده‌شده در این پژوهش با مکاتبه با نویسندهٔ مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

**مشارکت نویسندگان**

شمیم احمدی: مفهوم‌سازی اولیه - نگارش نسخه اولیه مقاله

عطاالله کاویان: مشاوره، نظارت، بازبینی متن، روش‌شناسی

کریم سلیمانی: راهنمایی، بررسی نتایج، تحلیل آماری

کاکا شاهدی: تحلیل آماری

عبدالواحد خالدی‌درویشان: راهنمایی، تحلیل‌های

نرم‌افزاری/آماري، بررسی نتایج، تحلیل آماری

آبخیز (بخش میان‌بند و بالادست)، نظارت بیشتر بر اجرای طرح‌های مرتع‌داری مانند قرق، بذرپاشی، مدیریت دام و رعایت ظرفیت چرا ضروری است. داده‌های پیش‌بینی‌شده فرسایش باران می‌تواند در توسعه پژوهش‌ها و سیاست‌گذاری‌های مرتبط با فرسایش خاک و تغییرات اقلیمی مؤثر باشد. همچنین، بررسی تغییرات شدت بارندگی در آبخیز در پژوهش‌های آتی ضروری است. پیشنهاد می‌شود با توجه به این که در کشور ایران داده‌های مناسب با پراکنش کافی در دسترس نیست، از مدل‌های با پیکسل اندازهٔ کوچک‌تر استفاده شود.

**تضاد منافع نویسندگان**

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

**فهرست منابع**

- Ahmadi H, Javadi M, Salavati A. 2014. Zonation of rainfall erosivity strength using furnier method and some interpolation techniques (Case study: Ghazvin Province). *Natural Ecosystems of Iran*. 5(2): 1–14. (In Persian). <https://sid.ir/paper/215292/fa>
- Arabkhedri M, Asadi H, Eslami F, Gerami Z, Vazifehdooost M. 2020. Application of vegetation cover seasonality. temporal variation of rainfall erosivity and sediment yield for land utilization planning. *Journal of Water and Soil Conservation*. 27(5): 217–232. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jwsc.2021.18005.3362>
- Azimi Sardari MR, Bazrafshan O, Panagopoulos T, Sardooi ER. 2019. Modeling the impact of climate change and land use change scenarios on soil erosion at the minab dam watershed. *Sustainability*. 11(12): 3353. <https://doi.org/10.3390/su11123353>
- Babaeian I, Modirian R, Khazanedari L, Karimian M, Kouzegaran S, Kouhi M, Falamarzi Y, Malbusi S. 2023. Projection of iran's precipitation in 21<sup>st</sup> century using downscaling of selected cmip6 models by cmhyd. *Journal of the Earth and Space Physics*. 49(2): 431–449. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jesphys.2023.332410.1007436>
- Babaeian I, Najafinik Z, Zabol Abbasi F, Adab H, Malbousi Sh. 2010. Climate change assessment over iran during 2010-2039 by using statistical downscaling of echo-g model. *Journal of Geography and Development*. 7(16): 135–152. (In Persian). <https://doi.org/10.22111/gdij.2009.1179>
- Babu R, Dhyani B, Kumar NK. 2004. Assessment of erodibility status and refined iso-erodent map of Indian. *Journal of Soil Conservation*. 32(3): 171–177.
- Benavidez R, Jackson B, Maxwell D, Norton K. 2018. A review of the (revised) universal soil loss equation (rusle) with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*. 22(11): 6059–6086. <https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018>
- Doulabian S, Golian S, Toosi AS, Murphy C. 2020. Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for iran using rcp scenarios. *Journal of Water and Climate Change*. 12(1): 166–184. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.114>
- Eslami H. 2020. Evaluation of spatio-temporal variations of rainfall erosivity index using cokriging method in Khouzestan province. *Water Engineering*. 8(3): 2228–5784. (In Persian). [https://jwe.shoushtar.iau.ir/article\\_686786.html](https://jwe.shoushtar.iau.ir/article_686786.html)
- Fallah Kalaki M, Shokri Kuchak V, Ramezani Etedali H. 2021. Simulating the effects of climate



change on runoff using the cmip5 and cmip6 climate models by swat hydrological model (Case study: Tashk-bakhtegan Basin). *Iran-Water Resources Research*. 17(3): 345–359. (In Persian).

<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17352347.1400.17.3.20.5>

Ghane MR, Motevalli S, Janbaz Ghobadi GR, Kouhi M. 2023. Evaluation of the ability of three statistical methods to downscale the output of temperature and precipitation of cmip6 models in the kashfrud basin. *Journal of Climate Research*, 1402(53): 117–132. (In Persian).

Gholami A, Shahedi K, Habibneghad M, Vafakhah M, Solymani K. 2017. Forecasting and comparison of future climate change by using of GCM Models under different scenarios in Talar Watershed of Mazandaran Province. *Journal of Range and Watershed Management*, 70(1): 181–196. (In Persian).

<https://doi.org/10.22059/jrwm.2017.61975>

Haji K, Khaledi Darvishan A, Mostafazadeh R. 2023. Spatiotemporal variations of the rainfall erosivity with considering snow cover correction coefficient in the iranian part of the Caspian Sea Basin. *Watershed Management Research*. 36(3): 70-89. (In Persian).

Hong J, Javan K, Shin Y, Park JS. 2021. Future projections and uncertainty assessment of precipitation extremes in iran from the Cmp6 ensemble. *Atmosphere*. 12(8): 1052. <https://doi.org/10.3390/atmos12081052>

Hosseini M, Jafari H, Solari F. 2011. Determination of organochlorine pesticides in river waters in talaar and tajan rivers. *Regional Water Company Mazandaran*. pp. 122–126. (In Persian).

<https://doi.org/10.22092/wmrj.2023.359311.1484>

IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. AR5 Synthesis report: Climate change 2014 IPCC. Contribution of working groups i, ii and iii to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [Core Writing Team, Pachauri R.K, and Meyer L.A, (eds.)]. Geneva Switzerland. 151 p. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

Jain MK, DAS D. 2010. Estimation of sediment yield and areas of soil erosion and deposition for watershed prioritization using gis and remote sensing. *Water Resources Management*. 24(10):2091–2112.

<https://doi.org/10.1007/s11269-009-9540-0>

Jia L, ZhanBin L, GoCe X, ZongPing R, Peng L, Ting cheng Yu, YiXin Z, Bin W, JiaXin Z, Shu Y. 2020. Dynamic change of vegetation and its response to climate and topographic factors in the xijiang river basin. *China. Journal of*

*Environmental Science and Pollution Research*. 27(11):11637–11648.

<https://doi.org/10.1007/s11356-020-07692-w>

Khademalrasoul A, Amerikhah H. 2022. Forecasting of short-term and mid-term variations of rainfall erosivity index using sarima. *Journal of Agricultural Engineering*. 45(1):79-95. (In Persian).

<https://doi.org/10.22055/agen.2022.39147.1621>

Koohshahi FM, Akbarian M, Khorani A. 2023. Evaluation of climate change effects on rainfall erosivity factor in minab watershed. Ninth Conference of the Iranian Geomorphology Association. (In Persian).

<https://civilica.com/doc/1687633/>

Li X, Xiao P, Hao S, Wang Z. 2024. Rainfall erosivity characteristics during 1961–2100 in the loess plateau. *China. Journal of Remote Sensing*, 16(4):661. <https://doi.org/10.3390/rs16040661>

Ma Y, Sun D, Niu Z, Wang X. 2023. Contribution of climate change and human activities to runoff and sediment discharge changes based on budyko theory and water–sediment relationships during 1960–2019 in the Taohe River Basin. *China. Journal of Atmosphere*, 14(7): 1144. <https://doi.org/10.3390/atmos14071144>

Malboosi S, Abbasi F, Pakdaman M, Javanshiri Z. 2023. Investigation of changes in the extreme of temperature and precipitation in iran in the last 60 years. *Journal of Climate Research*. 14(54): 157–172. (In Persian).

Mohammadi M, Fallah M, Kaviani A, Gholami L, Omidvar E. 2016. The application of RUSLE model in spatial distribution determination of soil loss hazard Iranian. *Journal of Ecohydrology*. 3(4): 645–658. (In Persian).

<https://doi.org/10.22059/ije.2016.60368>

Nazari Samani A, Zarrin B, Khalighi Sigaroudi S. 2019. The role of climate variability on spatio-temporal of rainfall erosivity (Case study: Fashand drainage basin). *Journal of Range and Watershed Management*. 72(1): 279–290. (In Persian).

<https://doi.org/10.22059/jrwm.2019.126934.886>

Nearing MA, PRUSKI F, O'NEAL MR. 2004. Expected climate change impacts on soil erosion rates a review. *Journal of Soil and Water Conservation*. 59(1): 43–50.

Panagos P, Borrelli P, Matthews F, Liakos L, Bezak N, Diodato N, Ballabio C. 2022. Global rainfall erosivity projections for 2050 and 2070. *Journal of Hydrology*. 610(1): 127865. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127865>

Patriche CV, Roșca B, Pîrnău RG, Vasiliniuc I, Irimia LM. 2023. Simulation of rainfall erosivity dynamics in romania under climate

change scenarios. Sustainability. 15(2): 1469 p. <https://doi.org/10.3390/su15021469>

Piani C, Weedon GP, Best M, Gomes SM, Viterbo P, Hagemann S, Haerter JO. 2010. Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. Journal of Hydrology. 395(3):199–215.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.024>

Rathjens H, Bieger K, Srinivasan R, Chaubey I, Arnold JG. 2016. CMhyd user manual documentation for preparing simulated climate change data for hydrologic impact studies (User manual).

[https://swat.tamu.edu/media/115265/bias\\_cor\\_man.pdf](https://swat.tamu.edu/media/115265/bias_cor_man.pdf).

Research Project by the Regional Water Company Mazandaran. 2009. Optimization studies of water resource atlas in mazandaran and east gilan basins. Rivers between Sefidrud and Gharesoo, Volume 1. (Part1) (1): 276–277. (In Persian). <https://www.glrw.ir/st/77>

Shokohideh H, Vafakhah M, Zare S, Chamani R. 2022. Evaluation of the variability of the rain erosion index under the influence of climatic scenarios in the afin watershed of south

khurasan. The Fourth National Conference of Hydrology of Iran, 14 p. (In Persian). <https://civilica.com/doc/1544702/>.

Sotoudeheian S, Jalilvand E, Kermanshah A. 2022. Using high-resolution climate models to identify climate change hotspots in the middle east (Case study: Iran). Climate, 10(11): 161. <https://doi.org/10.3390/cli10110161>.

Takhellambam BS, Srivastava P, Lamba J, McGehee RP, Kumar H, Tian D. 2023. Projected mid-century rainfall erosivity under climate change over the southeastern united states. Science of The Total Environment. 865(C2023): 161119.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161119>

Tavangar S, Moradi H, Massah Bavani A, Azari M. 2016. Forecasting climate change impact on rainfall erosivity factor in the southern coast of caspian sea. Watershed Engineering and Management, 8(4): 414–424. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.107178>

Taylor KE. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. Journal of Geophysical Research, 106 (D7):7183–7192.



## Predicting the Effect of Climate Change on Rainfall Erosivity in the Talar Watershed of Mazandaran Province, Iran

Shamim Ahmadi<sup>1</sup>, Ataollah Kavian<sup>2\*</sup>, Karim Soleimani<sup>3</sup>, Kaka Shahidi<sup>4</sup>, Abdul Vahid Khalidi Darwshan<sup>5</sup>

- 1- Ph.D. Student in Watershed Management, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari  
2, 3 and 4 - Professor, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari  
5- Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor

### Extended Abstract

#### Introduction and Goal

Climate change is one of the major environmental challenges, with extensive impacts on both natural and human processes. These changes can affect hydrological cycles, leading to alterations in rainfall patterns and soil erosion. Rising temperatures and variations in the amount and intensity of precipitation may have detrimental effects on the stability of water and soil resources. Decrease in precipitation in some areas and an increase in others will alter the spatial and temporal distribution of runoff, which can impact the storage capacity of surface and groundwater resources. Given the importance of natural resource management and the need to predict the consequences of climate change, This study investigates the effects of climate change on precipitation and rainfall erosivity in the Talar watershed. The main objective of the present research is to evaluate the effects of three climate scenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5 on precipitation and rainfall erosivity in the near future year 2046. By forecasting climate change in the near future 2046, we can prepare for its short-term impacts, such as water scarcity, droughts, and floods, and to carry out necessary planning in this areas of water and soil resource management, agriculture, and infrastructure development of appropriate measures for adapting to climate change. Additionally, the analysis of climatic changes will assist policymakers in making more effective decisions when designing and implementing long-term sustainable development programs.

**Article Type:** Research Article

**\*Corresponding Author E-mail:** a.kavian@sanru.ac.ir

**Citation:** Ahmadi, Sh., Kavian, A., Soleimani, K., Shahidi, K., Khalidi darwshan, A. 2025. Predicting the Effect of Climate Change on Rainfall Erosivity in the Talar Watershed of Mazandaran Province, Iran. *Watershed Management Research*. 38(1): 78-95.

**DOI:** 10.22092/wmrj.2024.366200.1588

**Received:** 26 June 2024, **Received in revised form:** 08 August 2024, **Accepted:** 21 September 2024

**Published online:** 21 March 2025

*Watershed Management Research*, Vol.38, No.1, Ser. No:146, Spring 2025, pp. 78-95.

**Publisher:** Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)





### Materials and Methods

The methodology of this research includes using precipitation data from five stations (Qharakhil, Sang Deh, Shirgah, Pol Sefid, and Alasht) in the study area for the period 1985–2014. Subsequently, near-future precipitation was simulated using climate model data from CMIP6, including MIROC6, ACCESS\_CM2, CAN5, and CNRM\_CM6, along with the CMHYD downscaling software. The selection of the best model for downscaling precipitation was based on a comparison of the results from various models with observational data. Metrics such as Root Mean Square Error (RMSE), coefficient of determination ( $R^2$ ), Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), Pearson correlation coefficient (R), and Taylor diagram were used to evaluate and compare the simulation models. The results indicate that the MIROC6 model with the LI method has the best performance in simulating precipitation and rainfall erosivity in the Talar watershed. The Rain Erosivity Index (R) was calculated for both the baseline and future periods, and its variations under different scenarios were examined. Additionally, Geographic Information Systems (GIS) were utilized to analyze the spatial and temporal changes in rainfall and rainfall erosivity. These analyses helped identify vulnerable regions, which were subsequently considered in management planning.

### Results and Discussion

The results indicated that rainfall variations under the influence of climate change differ across various scenarios. The research findings suggest that in the future, under the optimistic SSP1-2.6 scenario, a 43% increase in precipitation leads to a 16.89% increase in rainfall erosivity. This increase could have different effects on soil erosion during dry and wet periods. Specifically, in wet periods, it leads to increased soil erosion, while in dry periods, it alters the runoff pattern. In the moderate SSP2-4.5 and pessimistic SSP5-8.5 scenarios, precipitation decreases by 38.6% and 1.28%, respectively, resulting in corresponding reductions of 37.9% and 10.8% in rainfall erosivity. The results of spatial analysis reveals that reduced precipitation and rainfall erosivity in forested and rangeland areas. Additionally, in residential areas like Pol Sefid, increased construction and the creation of impervious surfaces lead to reduced vegetation cover and increased vulnerability to intense rainfall. In areas like Shirgah, increased precipitation and rainfall erosivity could elevate the risk of landslides and erosion in road trenches. These changes can have significant impacts on soil erosion and water resource management in the region. In this regard, the necessity of adopting protective measures and continuously monitoring climate variations in the area is emphasized.

### Conclusion and Suggestions

Overall, the findings highlight that climate change can significantly impact natural resources and livelihoods in the Talar watershed. Urgent actions, including the sustainable management of water and soil resources, are necessary for adaptation to these changes. Such actions involve monitoring livestock grazing in pastures, protecting vegetation cover, and cultivating erosion-resistant plants and developing watershed management techniques. It is also recommended to mitigate the damages caused by intense rainfall by employing appropriate vegetation cover in erosion-prone areas, monitoring vegetation cover changes, and implementing erosion control measures in watersheds. The outcomes of this research can assist policymakers and natural resource managers in making informed decisions to mitigate the adverse effects of climate change and improve the management of water and soil resources. Additionally, projected data on the future erosion by rainfall can be used for the further research development and strategic planning in watershed management. Furthermore, it is recommended that future research examine changes in rainfall intensity and their impact on soil erosion. Additionally, conducting field studies and utilizing advanced numerical models can enhance the accuracy of predictions and contribute to the development of effective strategies for climate change management.

**Keywords:** Climate Change, Cmhyd, cmip6, precipitation

**Conflicts of interest**

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

**Data Availability Statement**

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

**Authors' Contribution**

Shamim Ahmadi 1: Writing - original draft preparation

Ataollah Kaviani 2: Visualization, Supervision, Conceptualization, methodology

Karim Soleimani 3: Resources, Manuscript editing, Formal analysis and investigation

Kaka Shahidi 4: Formal analysis and investigation

Abdul Wahid Khalidi Darwshan 5: Visualization, Supervision, Conceptualization, methodology.