



دانشگاه آذربایجان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره دوم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12223.2679

پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر خطر فرسایش خاک در حوزه آبخیز ناورود

*حسین اسدی^۱، محمد جعفری^۲، افشین اشرف‌زاده^۳ و آرزو شریفی^۴

^۱دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه گیلان،

^۲استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان، ^۳دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۲

چکیده

سابقه و هدف: تغییر اقلیم می‌تواند با تغییر الگوی بارش فرسایش خاک را به‌عنوان مهم‌ترین عامل تخریب اراضی جهان، تحت‌تأثیر قرار دهد. بنابراین ارزیابی خطر فرسایش خاک و ارزیابی اثر تغییرات اقلیمی بر آن امری ضروری به‌نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش که در حوزه آبخیز ناورود در استان گیلان انجام شد، بررسی اثر تغییر اقلیم در آینده بر خطر فرسایش و تلفات خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر، روند تغییر اقلیم در استان گیلان با استفاده از برخی متغیرهای مؤثر اقلیمی با استفاده از نرم‌افزار XLSTAT بر مبنای آمار دو ایستگاه رشت و بندرانزلی بررسی شد. سپس خطر فرسایش خاک با تلفیق نسخه تجدیدنظر شده معادله جهانی هدررفت خاک، سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در حال حاضر و دو دوره ۲۰ ساله آینده، در حوزه آبخیز ناورود مورد ارزیابی قرار گرفت. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به عامل‌های K ، LS ، C و P معادله جهانی تجدیدنظر شده هدررفت خاک از پژوهش قبلی اخذ شد. مدل گردش عمومی جو و سه سناریوی $A1B$ ، $A2$ و $B1$ به‌منظور بررسی تغییر اقلیم استفاده شد. بر مبنای خروجی این مدل و با استفاده از آمار روزانه بارش در دوره پایه ۲۰۰۷-۲۰۰۲ و مدل LARS-WG، بارش روزانه دو دوره ۲۰ ساله ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ برای سه ایستگاه خرجگیل، خلیان و ناو که در درون حوزه واقع شده‌اند، شبیه‌سازی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بارندگی در آینده در دو ایستگاه خلیان و ناو، کاهش و در ایستگاه خرجگیل، افزایش می‌یابد. با این وجود، به‌دلیل افزایش شدت بارندگی‌ها، در تمامی حالت‌ها میزان عامل فرساینده باران در آینده بیش‌تر از دوره پایه می‌باشد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، خطر فرسایش در دوره پایه بین صفر تا بیش از ۷۷ تن در هکتار در سال، برای دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶، بین صفر تا بیش از ۱۱۵ تن در هکتار در سال و در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ بین صفر تا بیش از ۹۸ تن در هکتار در سال متغیر است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد طی دوره‌های آینده، میزان فرساینده به‌علت افزایش شدت بارندگی افزایش می‌یابد. بیش‌تر سطح حوزه دارای خطر فرسایش کم، و نواحی جنوب‌غرب حوزه و بخش‌های میانی شمال آن عمدتاً دارای خطر فرسایش زیاد هستند. هم‌چنین بررسی نتایج نشان می‌دهد با وجود این‌که فرساینده باران در تعدادی از

* مسئول مکاتبه: ho.asadi@ut.ac.ir

ایستگاه‌ها بیش‌ترین میزان است، اما مقدار فرسایش آن‌ها زیاد نیست، که می‌تواند به‌علت تأثیر پوشش گیاهی باشد. افزایش تراکم پوشش گیاهی به‌ویژه اگر از نوع پوشش متراکم جنگلی باشد، می‌تواند تأثیر فرسایش باران را کاهش داده و در نتیجه خطر فرسایش کم شود.

واژه‌های کلیدی: فرسایش باران، مدل LARS-WG، معادله هدررفت خاک تجدیدنظر شده، سناریوی تغییر اقلیم

مقدمه

خاک، منبعی ضروری برای زنجیره غذایی و جوامع انسانی است. تشکیل خاک فرایندی کند است، در حالی‌که تخریب و هدررفت آن سریع است. از این‌رو خاک به عنوان یک منبع غیرقابل تجدید شناخته می‌شود که پایداری آن مهم است. فرسایش که یکی از تهدیدات پیش‌روی خاک می‌باشد، پدیده‌ای طبیعی است و می‌تواند با تغییرات جهانی تحت‌تأثیر قرار گیرد (۲۶). افزایش دما و تغییر الگوی آب و هوای جهانی یکی از این تغییرات است که بیش‌تر بر مقدار و تغییرات بارندگی و درجه حرارت تأثیر گذاشته و از طریق تغییر شدت بارندگی، پوشش گیاهی و تولید رواناب سطحی، فرسایش خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۲۴). بر اساس گزارش هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم^۱، از اوایل دوران صنعتی و به‌دلیل تغییر میزان گازهای گلخانه‌ای، دمای کره زمین در بین سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۰۶ به میزان ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته (۶) و رژیم بارندگی جهان تغییر کرده است (۷). گزارش‌های این هیئت نشان می‌دهد در صورت ادامه روند مصرف سوخت‌های فسیلی، غلظت گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن از ۲۸۰ در سال ۱۷۵۰ و ۳۷۹ در سال ۲۰۰۵ می‌تواند به بیش از ۶۰۰ قسمت در میلیون تا پایان قرن ۲۱ برسد. در حالی‌که اگر انتشار این گازها کاهش نیابد، متوسط افزایش دمای سطحی کره زمین تا سال ۲۱۰۰ می‌تواند به ۱/۱ تا ۶/۴

درجه سانتی‌گراد رسیده و باعث پدیده تغییر اقلیم به‌ویژه در نیم‌کره شمالی شود (۱ و ۸). مطالعات نشان می‌دهد که با افزایش هر درجه دمای، متغیرهای اقلیمی فصلی شدت بیش‌تری می‌یابند (۱۳ و ۳۴). به این صورت که فصل تابستان در مناطق خشک و نیمه‌خشک، خشک‌تر و گرم‌تر شده و حجم آب و شدت جریان رواناب سطحی کاهش می‌یابد (۵).

مقدار بارندگی، از مهم‌ترین مشخصه‌های اقلیمی است که تأثیری جدی بر منابع آب دارد و می‌تواند به‌وسیله تغییر اقلیم تغییر کند (۱). معتبرترین روش برای پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی، استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو است. این مدل‌ها اقدام به پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی برای دوره‌های آینده با توجه به اثر تغییر اقلیم می‌نمایند. مدل LARS-WG یکی از مشهورترین این مدل‌ها و از مولدهای داده‌های تصادفی هواشناسی است که برای تولید داده‌های دمای کمینه و بیشینه، تابش، بارش و تبخیر-تعرق مرجع در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم حال و آینده به کار می‌رود (۳۶). این مدل دارای بانک اطلاعاتی از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو بوده و توانایی ارزیابی و شبیه‌سازی تحت سه سناریوی تغییر اقلیم A1B، A2 و B1 را دارد. سناریوی بدبینانه A1B ترسیم‌کننده جهانی با رشد سریع اقتصادی و جمعیتی است، به‌طوری‌که بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن رخ داده و پس از آن روند رشد جمعیت، کاهش

1- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

خواهد بود. هم‌چنین رشد سریع فناوری‌های نوین و مؤثر بر اساس این سناریو در دوره‌های آتی رخ خواهد داد. سناریوی متوسط A2، مبین رشد سریع جمعیت جهان اما همراه با رشد اقتصادی ناهمگن در مناطق مختلف است، بنابراین تغییر اقلیم متوسطی برای دوره‌های پیش‌رو را ترسیم می‌کند. بر طبق سناریوی خوش‌بینانه B1 در دهه‌های آتی، هم‌گرایی جمعیت در سطح جهان رخ خواهد داد و تغییر در ساختار اقتصادی با کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر صورت خواهد گرفت (۳۵).

با تلفیق معادله جهانی تجدیدنظر شده هدررفت خاک (RUSLE) (۳۰)، سنجش از دور (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌توان اثر تغییر اقلیم بر میزان خطر فرسایش را پیش‌بینی کرد. با این روش، مطالعات زیادی در سطح جهان انجام شده است که به‌عنوان نمونه می‌توان به مطالعه لو و همکاران (۲۰۰۴) در منطقه آمازون برزیل (۱۹)، پراسانکومار و همکاران (۲۰۱۱ و ۲۰۱۲) در هند (۲۷) و ۲۸، پراشون و همکاران (۲۰۱۳) در سوئیس (۲۹)، گاتیب و لاریبی (۲۰۱۴) در مراکش (۱۱)، کبد و همکاران (۲۰۱۵) در اتیوپی (۱۸)، و فاتنابی و همکاران (۲۰۱۵) در سیسیل ایتالیا (۹) اشاره کرد.

بابائیان و همکاران (۲۰۰۹) خروجی مدل گردش عمومی جو ECHO-G تحت سناریوی A1 برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ را در تعدادی از ایستگاه‌های سینوپتیک کشور بررسی کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بارندگی در کل کشور کاهش، اما آستانه بارش‌های سنگین و خیلی سنگین و میانگین سالانه دما افزایش می‌یابد (۴). علاوه بر این، مساح‌بوانی و مرید (۲۰۰۵) اثر تغییر اقلیم بر دما، بارندگی و رواناب را در حوزه رودخانه زاینده‌رود اصفهان با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 در دوره‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و

۲۰۹۹-۲۰۷۰ بررسی کردند. نتایج نشان از کاهش بارندگی و افزایش درجه حرارت در هر دو دوره و به‌خصوص دوره دوم داشت (۲۱). نصیری و یارمرادی (۲۰۱۷) با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های HADCM3 براساس سه سناریوی تغییر اقلیم A2، B1 و A1B در دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۵۵ نشان دادند که دمای کمینه، دمای بیشینه و متوسط دمای هوا در هر سه سناریو در همه فصل‌ها افزایش پیدا کرده و میانگین ساعات آفتابی کاهش خواهد یافت. طبق این نتایج شرایط اقلیمی استان لرستان در ۵۰ سال آینده تفاوت محسوسی با شرایط فعلی خواهد کرد (۲۳). غلامی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از مدل LARS-WG و تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 پدیده تغییر اقلیم را در قراخیل قائم‌شهر بررسی کرده و نتیجه گرفتند که تغییرات بارشی که در آینده در این منطقه رخ خواهد داد منجر به وقوع سیلاب‌های فصلی در ماه‌های پربارش و وقوع خشکسالی و کمبود آب در فصول کم‌بارش خواهد شد (۱۲). صلاحی و همکاران (۲۰۱۷) وقوع یخبندان در سه ایستگاه کرمانشاه، سرپل ذهاب و کنگاور با استفاده از مدل LARS-WG در دو دهه آینده را بررسی کرده و نشان دادند که این ایستگاه‌ها در سال‌های آینده گرم‌تر شده و شروع یخبندان‌های متوسط با گذشت زمان در آن‌ها به‌سمت فروردین میل خواهد کرد. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که در سال‌های آینده از تعداد روزهای یخبندان متوسط و شدید این ایستگاه‌ها کاسته شده و دما افزایش می‌یابد (۳۳).

روتچک و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی میزان فرسایش در ساکسونی آلمان تحت سناریو بدبینانه A1B تغییر اقلیم در مدل‌های ECHAM5-OPYC3، WETTREG2010 و METVER پرداختند و فرسایش خاک را برای دو دوره کوتاه آینده شامل

زیادی در مورد پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر میزان خطر فرسایش و تلفات خاک در داخل کشور و در این منطقه انجام نشده است، هدف از پژوهش حاضر پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر خطر فرسایش خاک در حوزه آبخیز ناورود با تلفیق معادله جهانی تجدیدنظر شده هدررفت خاک، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی بوده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و خصوصیات حوزه آبخیز:

حوزه آبخیز معرف ناورود (شکل ۱) یکی از حوزه‌های آبخیز مهم غرب استان گیلان در محدوده شهرستان تالش است که بین $48^{\circ} 35'$ تا $48^{\circ} 54'$ شرقی و $37^{\circ} 36'$ تا $37^{\circ} 45'$ شمالی قرار گرفته است (۱۶). این حوزه دارای مساحت حدود $260/34$ کیلومترمربع بوده و پوشش گیاهی آن از دو تیپ جنگل و مرتع تشکیل شده است (۱۰). پوشش جنگلی آن از نوع پهن‌برگان شامل بلوط، راش، ممرز، نمدر، شیردار و غیره، و پوشش مرتعی آن از نوع شبدر، علف بره، درمنه، گون، بومادران، علف باغی، گل قاصدک و غیره می‌باشد.

۲۰۵۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۹۱ شبیه‌سازی کردند که نتایج نشان داد که در آینده میزان بارندگی کاهش، در حالی که شدت بارش افزایش می‌یابد (۳۱). پارویسن و همکاران (۲۰۱۵) پایداری خاک نسبت به فرسایش را در ناحیه لاپین فرانسه در دو دوره آب و هوایی و کاربری، در شرایط کنونی و در انتهای قرن ۲۱ مطالعه کردند. نتایج نشان داد که در آینده نسبت به دوره کنونی شدت متوسط فرسایش خاک محاسبه شده افزایش و طول عمر مورد انتظار خاک کاهش می‌یابد (۲۶). نتایج مشابهی نیز توسط انیل و همکاران (۲۰۰۵) در آمریکا (۲۵) و سرپا و همکاران (۲۰۱۵) در پرتغال گزارش شده است (۳۵).

حوزه آبخیز ناورود یکی از حوزه‌های مهم آبخیز غرب استان گیلان و جزو حوزه‌های جنگلی با دامنه‌های بسیار شیب‌دار می‌باشد (۱۵). عوامل غیرطبیعی مانند تغییر کاربری، چرای بیش از حد، قطع بی‌رویه درختان جنگلی برای مصارفی مانند تبدیل اراضی جنگلی به مناطق مسکونی یا زراعی و یا قاچاق چوب، و جاده‌سازی و توسعه راه‌های ارتباطی موجب بروز شرایط حاد فرسایش در این منطقه شده است (۳ و ۱۰). بنابراین از آنجا که تاکنون مطالعات



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز ناورود و ایستگاه‌های هواشناسی موجود در آن.

Figure 1. Geographical position of Navrood watershed and meteorological stations.

حالی که در مناطق با پوشش اندک و مناطق مرتعی که از اواسط حوزه تا نقاط غربی وجود دارند، مقادیر عامل C از ۰/۱۵ تا ۰/۸۵ است. بیشترین مقادیر C (۰/۸۵-۱) در شمال غرب حوزه مربوط به اراضی بدون پوشش، زمین‌های بایر و بیرونزدگی سنگی است. بعد از تعیین K و تهیه نقشه فرسایش‌پذیری در محیط GIS بر مبنای نقشه واحدهای کاری، مقادیر عامل طول و درجه شیب، براساس نقشه جهت جریان به کمک تابع مدل‌سازی هیدرولوژی GIS و با استفاده از مدل رقومی ارتفاع به دست آمد و نقشه جریان تجمعی به وسیله تابع مربوطه در GIS از نقشه جهت جریان حاصل شد. در نهایت نقشه عامل LS با استفاده از نقشه‌های شیب و جریان تجمعی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تولید شد. عامل LS در سطح حوزه از ۰ تا ۲۸۹ متغیر است که نشان‌دهنده توپوگرافی بسیار شدید حوزه آبخیز ناورود است (۳ و ۱۶).

به منظور تعیین شاخص فرسایش‌پذیری برای شرایطی که اطلاعات شدت بارندگی در دسترس نیست، از شاخص فورنیه اصلاح شده (MF) (۲) که همبستگی بالایی با R دارد، استفاده می‌شود. MF با استفاده از میانگین بارش محاسبه می‌شود:

$$MF = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{P} \quad (1)$$

که در آن، P_i متوسط بارندگی ماه i ام سال بر حسب میلی‌متر در طول دوره آماری و P مقدار متوسط بارندگی سالانه است.

برای پیش‌بینی میزان بارش در آینده از مدل گردش عمومی جو NCCCSM به عنوان بهترین مدل در گیلان (۱۴) و برای شبیه‌سازی بارش روزانه از مدل LARS-WG استفاده شد. پس از برآورد میزان بارش که در این مطالعه برای دو دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 شبیه‌سازی شد، برای محاسبه فرسایش‌پذیری باران در

حوزه آبخیز ناورود به دلیل قرار گرفتن در دامنه شمالی رشته کوه‌های البرز و نیز موقعیت کوهستانی آن، دارای بارندگی‌های نسبتاً خوبی در طول سال است میانگین بارش سالانه در کل حوزه ۸۳۶ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۰/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۳). اقلیم آن در مناطق جلگه‌ای مرطوب و در ارتفاعات مرطوب سرد می‌باشد (۲۰ و ۳۲). رژیم رطوبتی حوزه زیریک و یودیک و رژیم حرارتی آن مزیک و فریجید می‌باشد. هم‌چنین در این منطقه سه رده خاک انتی‌سول، اینسپتی‌سول و آلفی‌سول دیده می‌شود (۳۲).

بررسی روند تغییر اقلیم: به منظور بررسی روند کلی تغییر اقلیم در استان، از میانگین بیش‌ترین رطوبت نسبی، میانگین بیش‌ترین دما، مجموع بارش، تعداد روزهای با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر و تعداد روزهای با بارش برف یا برف‌آبه به صورت سالانه طبق آمار ۵۵ ساله ایستگاه رشت و ۶۰ ساله ایستگاه بندرانزلی استفاده شد. این اطلاعات در محیط نرم‌افزار XLSTAT تحت آزمون ناپارامتری من‌کندال، و فرض صفر عدم وجود روند بین سری‌های زمانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بررسی آمارهای ذکر شده رشت و بندرانزلی به این منظور صورت گرفت که روند کلی تغییرات اقلیم در منطقه مشخص شود و با توجه به این که حوزه ناورود در این منطقه قرار دارد، تغییرات به ایستگاه‌های موجود در حوزه ناورود تعمیم داده شد. برای بررسی وجود روند در آماره‌های اقلیمی از آزمون من-کندال (۲۲) و از نرم‌افزار XLSTAT 2014 استفاده شد.

مدل‌سازی فرسایش: برای شبیه‌سازی فرسایش خاک از RUSLE استفاده شد. برای تعیین مقدار عددی هر کدام از عامل‌های مدل از نتایج پژوهش قبلی استفاده شد (۳ و ۱۶). بر این اساس، کم‌ترین مقدار عامل C (۰/۱۵-۰/۰۱) در بخش شرقی تا میانی حوزه که دارای پوشش جنگلی انبوه است، مشاهده شد. در

برای محاسبه فرسایندهای باران در آینده استفاده شد. موقعیت و برخی اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی خرجگیل، خلیان و ناو در جدول ۱ آمده است.

آینده، ابتدا رابطه رگرسیونی بین R و MF در دوره پایه برای سه ایستگاه درون حوزه به دست آمد. سپس MF دوره‌های شبیه‌سازی آینده توسط رابطه ۹ محاسبه و در نهایت از معادله رگرسیونی به دست آمده

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌ها، میانگین آمار مشاهده شده و مقادیر عامل فرسایندهای.

Table 1. Characteristics of the stations, mean values of observed statistics and rainfall erosivity data.

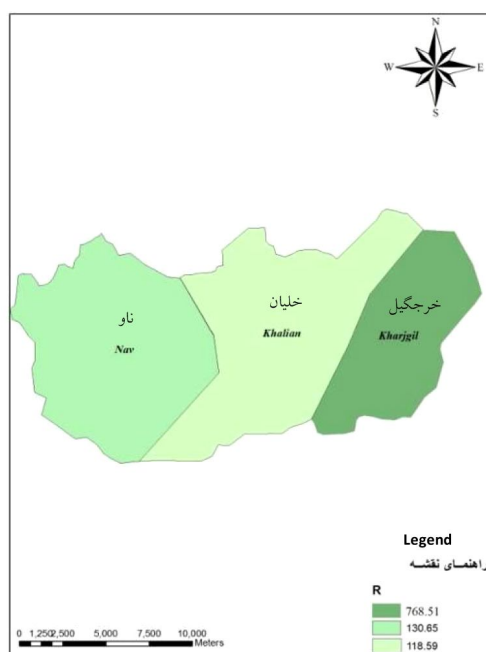
ایستگاه (Station)	ارتفاع از سطح دریا (Height above sea level) (m)	عرض جغرافیایی (Latitude)	طول جغرافیایی (Longitude)	متوسط بارش سالانه (Mean annual precipitation) (mm)	متوسط شاخص فورنیه سالانه (Mean annual Fournier index) (mm)	عامل فرسایندهای (Erosivity factor) (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ y ⁻¹)
خرجگیل (Kharajgil)	130	37°42'40"	48°53'45"	1239.7	136.78	768.51
خلیان (Khalian)	780	37°40'27"	48°43'56"	722.6	79.62	118.59
ناو (Nav)	1000	37°39'00"	48°41'27"	715.0	81.49	130.65

میانگین بیش‌ترین رطوبت نسبی و تعداد روزهای بارش بیش از ده میلی‌متر، روند کاهشی و تعداد روزهای بارش برف و برفابه، روند افزایشی دارد. در ایستگاه رشت، کل بارش و تعداد روزهای بارش بیش از ده میلی‌متر، روند کاهشی و تعداد روزهای بارش برف و برفابه، میانگین‌های حداکثر دما و بیش‌ترین رطوبت نسبی، روند افزایشی دارند. میانگین تعداد بارندگی‌های بیش از ۲۰ و ۴۰ میلی‌متر و نیز حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در اکثر دوره‌های شبیه‌سازی تحت هر سه سناریو، نشان از افزایش شدت بارندگی‌ها در آینده دارد که موجب افزایش میزان فرسایندهای باران در آینده خواهد شد (جدول‌های ۲، ۳ و ۴).

تهیه نقشه فرسایش و نقشه خطر فرسایش خاک در آینده: برای تهیه نقشه فرسایش خاک حوزه، نقشه عامل فرسایندهای با استفاده از GIS به صورت نقطه‌ای برای سه ایستگاه ذکر شده ترسیم شد. محدوده ایستگاه‌ها بر اساس توپوگرافی و وضعیت پوشش گیاهی تعیین شد. محدوده تعیین شده برای سه ایستگاه و نقشه فرسایندهای باران آن‌ها در دوره پایه در شکل ۲ آمده است. به منظور تهیه نقشه خطر فرسایش خاک در آینده، ابتدا لایه فرسایندهای باران تحت سناریوهای مختلف A1B، A2 و B1 در محیط GIS ایجاد و سپس بر اساس مدل معادله جهانی تجدیدنظر شده هدررفت خاک لایه‌ها در هم ضرب شدند و نقشه نهایی فرسایش آماده شد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی روند کلی تغییر اقلیم نشان داد که در ایستگاه بندرانزلی، کل بارش، میانگین حداکثر دما،



شکل ۲- نقشه فرساینده‌ی باران حوزه در دوره پایه بر مبنای فرساینده‌ی در ایستگاه‌های خرجگیل، خلیان و ناو.

Figure 2. Rainfall erosivity map of the watershed for the base period based on erosivity at Kharajgil, Khalian and Nav stations.

جدول ۲- بارندگی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و مشخصات آن در ایستگاه خلیان.

Table 2. Observed and simulated precipitation and their characteristics at Khalian station.

B1		A2		A1B		مشاهده شده (Observed)	مشخصه اقلیمی (Climatic characteristic)
2080-2099	2046-2065	2080-2099	2046-2065	2080-2099	2046-2065	2002-2008	
1.88	1.99	1.92	1.89	1.88	1.96	1.98	میانگین بارندگی ۲۴ ساعته (mm) (Mean 24-h precipitation)
65.6	61.5	65.4	66.5	57.3	73.8	60.5	حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته (mm) (Max 24-h precipitation)
میانگین سالانه تعداد بارندگی‌های بیش از (Annual mean number of the precipitation higher than)							
22.4	23.6	22.5	22.4	22.1	22.7	22.5	۱۰ میلی‌متر در روز (10 mm day ⁻¹)
6	7	6	6	5.9	6.1	5	۲۰ میلی‌متر در روز (20 mm day ⁻¹)
1.3	1.6	1.7	1.4	1.6	1.6	0.7	۴۰ میلی‌متر در روز (40 mm day ⁻¹)

جدول ۳- بارندگی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و مشخصات آن در ایستگاه ناو.

Table 3. Observed and simulated precipitation and their characteristics at Nav station.

B1		A2		A1B		مشاهده شده (Observed)	مشخصه اقلیمی (Climatic characteristic)
2080-2099	2046-2065	2080-2099	2046-2065	2080-2099	2046-2065	2002-2008	
1.87	1.97	1.91	1.87	1.85	1.92	1.93	میانگین بارندگی ۲۴ ساعته (mm) (Mean 24-h precipitation)
61.9	67.9	73.3	62.5	61.8	64.4	62	حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته (mm) (Max 24-h precipitation)
میانگین سالانه تعداد بارندگی‌های بیش از (Annual mean number of the precipitation higher than)							
22.3	23.1	22.7	22.5	21.8	22.9	21	۱۰ میلی‌متر در روز (10 mm day ⁻¹)
5.5	6.9	6	5.4	5.7	5.3	4.8	۲۰ میلی‌متر در روز (20 mm day ⁻¹)
1.3	1.3	1.4	1.3	1.0	1.4	0.7	۴۰ میلی‌متر در روز (40 mm day ⁻¹)

جدول ۴- بارندگی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و مشخصات آن در ایستگاه خرگیل.

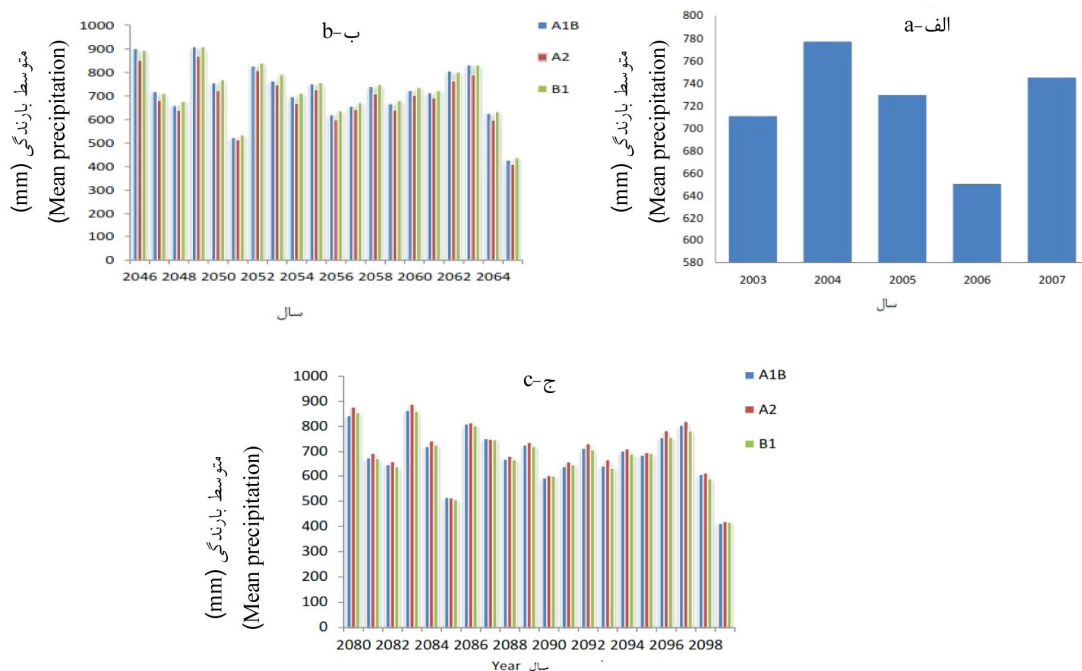
Table 4. Observed and simulated precipitation and their characteristics at Kharajgil station.

B1		A2		A1B		مشاهده شده (Observed)	مشخصه اقلیمی (Climatic characteristic)
2080-2099	2046-2065	2080-2099	2046-2065	2080-2099	2046-2065	2002-2008	
3.52	3.72	3.63	3.55	3.54	3.73	3.21	میانگین بارندگی ۲۴ ساعته (mm) (Mean 24-h precipitation)
111.9	117.8	120.8	122.4	117.1	122.1	110	حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته (mm) (Max 24-h precipitation)
میانگین سالانه تعداد بارندگی‌های بیش از (Annual mean number of the precipitation more than)							
40	38.7	38	38	39.5	39.5	35	۱۰ میلی‌متر در روز (10 mm day ⁻¹)
21.5	20.5	19.7	19.7	21.1	21.1	16.3	۲۰ میلی‌متر در روز (20 mm day ⁻¹)
6.3	6	5.6	5.7	6.3	6.3	4.2	۴۰ میلی‌متر در روز (40 mm day ⁻¹)

در استان گیلان به نتایج مشابهی در فصل بهار و پاییز رسیدند (۱۷).

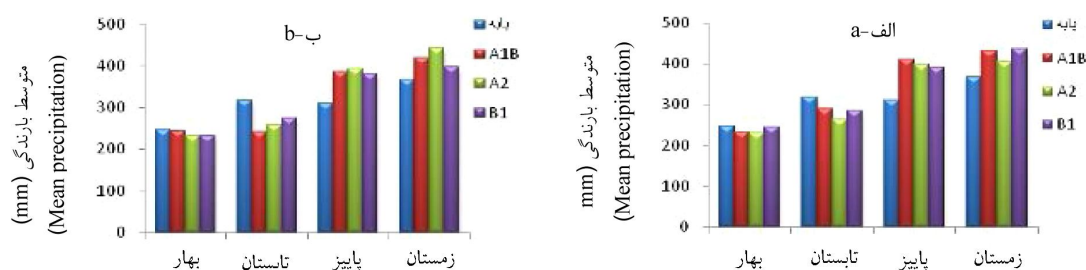
همان‌طور که از نمودارهای متوسط بارش سالانه و فصلی ایستگاه‌ها مشخص است (شکل‌های ۳ و ۴ به‌عنوان نمونه)، پراکندگی و تغییرپذیری بارش سالانه بسیار زیاد، ولی تغییرات کلی آن، روند منفی دارد، یعنی در کل، میزان بارش در آینده کم می‌شود. علاوه بر این، همان‌گونه که از نمودارهای فصلی بارش پیدا است (شکل ۴)، بیش‌ترین تغییرات بارش در فصل تابستان و پاییز صورت گرفته که روند متفاوتی دارد، در تابستان بیش‌تر از نوع کاهشی و در پاییز افزایشی است که با نتایج روتچک و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد (۳۱).

مقادیر سالانه و فصلی بارندگی: نتایج حاصل از مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده بارندگی نشان‌دهنده متغیر بودن بارش سالانه در آینده می‌باشد. طی دوره‌های ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰، متوسط مقدار بارش در دو ایستگاه ناو و خلیان (شکل ۳) کم‌تر و در ایستگاه خرچگیل بیش‌تر از مقدار متوسط بارش پایه است. نتایج بیانگر روند کاهشی بسیار ملایم در بارش فصل بهار، روند کاهشی در بارش تابستانه، و روند افزایشی در فصل پاییز و زمستان در اکثر دوره‌های شبیه‌سازی است (به‌عنوان نمونه شکل ۴ برای خرچگیل). کتیرایی و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهش خود که آمار بارش مربوط به ۳۸ ایستگاه هواشناسی در ایران را مورد تجزیه تحلیل قرار دادند،



شکل ۳- مقادیر متوسط بارندگی ایستگاه خلیان: الف) مشاهده شده، ب) شبیه‌سازی شده ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ج) شبیه‌سازی شده ۲۰۹۹-۲۰۸۰.

Figure 3. The mean precipitation at Khalian station; A) observed, B) simulated 2046-2065 and C) simulated 2080-2099.



شکل ۴- مقادیر متوسط بارندگی فصلی پایه و شبیه‌سازی شده (الف) ۲۰۴۶-۲۰۶۵، (ب) ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در ایستگاه خرجگیل.

Figure 4. Mean seasonal precipitation of base and simulated periods of A) 2046-2065, B) 2080-2099 at Kharajgil station.

دوره پایه می‌باشد. کم‌ترین مقدار فرساینده در دوره شبیه‌سازی شده مربوط به سناریو B1 ایستگاه خلیان و بیش‌ترین مقدار فرساینده مربوط به سناریو A1B در ایستگاه خرجگیل است.

عامل فرساینده باران: میزان عامل فرساینده در دوره پایه و دوره‌های شبیه‌سازی شده برای هر سه سناریوی تغییر اقلیم در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۵ آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در تمامی حالت‌ها میزان عامل فرساینده بیش‌تر از

جدول ۵- مقدار عامل فرساینده مشاهده شده و شبیه‌سازی میزان آن در آینده بر حسب $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ y^{-1}$.

Table 5. The observed and simulated erosivity factor in future ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ y^{-1}$).

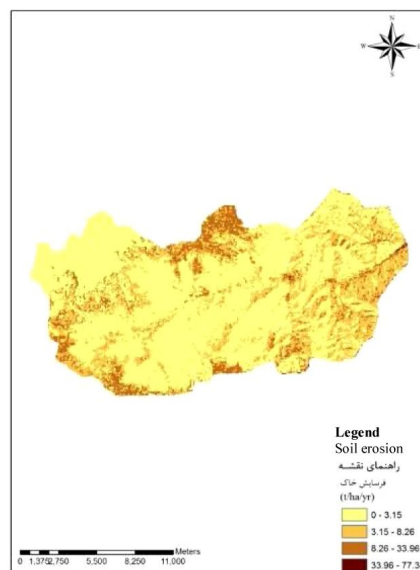
B1		A2		A1B		مشاهده شده (Observed)	ایستگاه (Station)
(2080-2099)	(2046-2065)	(2080-2099)	(2046-2065)	(2080-2099)	(2046-2065)		
148.12	308.85	296.80	175.30	206.70	296.10	130.65	ناو (Nav)
123.21	147.24	143.82	127.99	134.77	144.41	118.59	خلیان (Khalian)
773.99	827.51	821.55	798.36	798.94	835.91	768.51	خرجگیل (Kharajgil)

خلیان (جدول‌های ۲، ۳ و ۴) و دیگری نوع بارش که از بارندگی به برف تبدیل می‌شود. با محاسبه فرساینده ایستگاه‌ها و ساخت لایه‌های فرساینده باران دوره پایه و دو دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ و با در اختیار داشتن سایر لایه‌ها، این لایه‌ها در محیط GIS بر اساس مدل RUSLE در یکدیگر ضرب شدند و نقشه خطر فرسایش به دست آمد (شکل‌های ۵، ۶ و ۷). نتایج نشان می‌دهد که میزان خطر فرسایش خاک در دوره پایه از صفر تا بیش

پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک: نتایج نشان می‌دهد که میزان عامل فرساینده از $118/59$ تا $148/12$ $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ y^{-1}$ در دوره پایه و دوره شبیه‌سازی شده متغیر است (جدول ۵). بیش‌ترین مقادیر فرساینده به مقدار $835/91$ ، مربوط به سناریوهای A1B و $827/51$ از سناریوی B1 در ایستگاه خرجگیل و کم‌ترین مقدار آن $123/21$ ، از سناریوی B1 در ایستگاه خلیان است. این تغییرات می‌تواند به دو دلیل باشد، یکی کاهش بارندگی، از خرجگیل به سمت

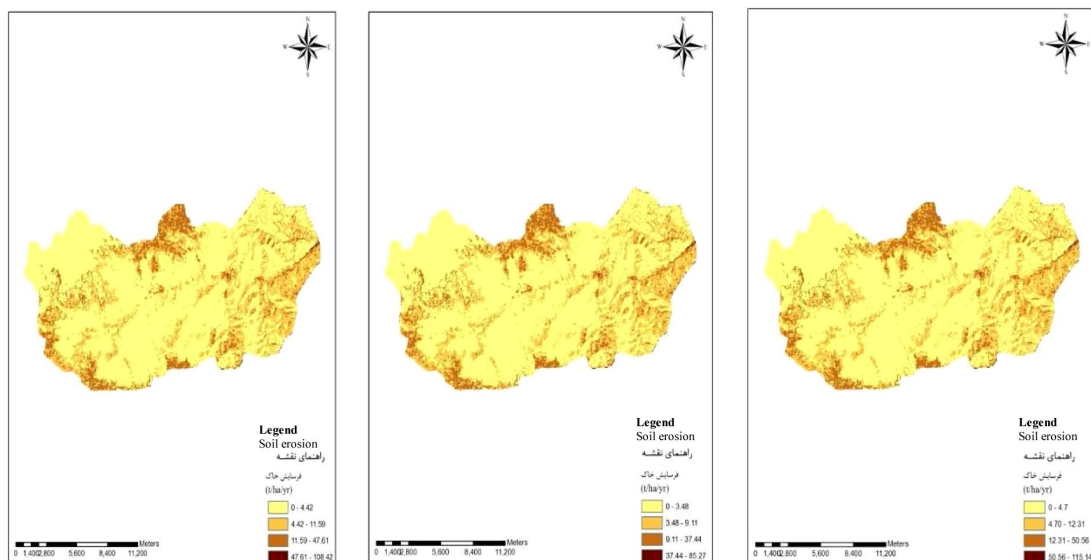
خرجگیل بیشترین مقدار است، اما میزان فرسایش آن زیاد نیست. افزایش تراکم پوشش گیاهی که غالباً از نوع پوشش متراکم جنگلی است می‌تواند تأثیر فرساینده‌ی باران را کاهش داده و در نتیجه این منطقه خطر فرسایش کمی داشته باشد. هم‌چنین بررسی نقشه‌ها نشان می‌دهد که محدوده ایستگاه ناو نیز خطر فرسایش متوسطی دارد که می‌توان علت آن را در نوع پوشش گیاهی آن که بیش‌تر از نوع مرتع است و نیز در حد متوسط بودن میزان عامل فرساینده‌ی باران آن جستجو کرد. کم‌ترین وسعت مربوط به مناطق با فرسایش‌پذیری زیاد است که در کل سطح حوزه نیز به‌صورت پراکنده دیده می‌شوند و بیش‌ترین وسعت را در جنوب‌غرب و بخش میانی شمال حوزه دارند که می‌توان آن‌ها را به شیب‌های بسیار تند با پوشش گیاهی ضعیف منطقه نسبت داد. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد که وجود پوشش گیاهی متراکم جنگلی خطر فرسایش خاک را در سطح وسیعی از حوزه کاهش می‌دهد و این در حالی است که تغییر اقلیم خطر فرسایش خاک را افزایش می‌دهد.

از ۷۷ تن در هکتار در سال، در دوره شبیه‌سازی‌شده ۲۰۶۵-۲۰۸۰، از صفر تا بیش از ۱۱۵ تن در هکتار در سال و در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹، از صفر تا بیش از ۹۸ تن در هکتار در سال متفاوت است. بیش‌ترین مقادیر آن ۱۱۵ تن در هکتار در سال مربوط به سناریوی B1 و ۱۰۸ تن در هکتار در سال مربوط به سناریوی A1B در دوره ۲۰۶۵-۲۰۸۰ است. بررسی نقشه‌ها هم‌چنین نشان می‌دهد که در شمال‌غرب حوزه، مقدار فرسایش صفر است که به‌دلیل رخنمون سنگی آن (که به‌صورت پراکنده در سطح حوزه هم دیده می‌شود) است. مناطق با فرسایش کم از شرق تا غرب حوزه دیده می‌شود که بیش‌ترین پراکنش را در نقاط میانی حوزه دارند. ایستگاه خلیان در این قسمت قرار دارد، کم بودن عامل فرساینده‌ی باران در محدوده ایستگاه خلیان و افزایش تراکم پوشش گیاهی که غالباً از نوع جنگلی است، احتمالاً باعث می‌شود این منطقه مقدار فرسایش کمی را نشان دهد. مناطق با فرسایش متوسط نیز از شرق تا غرب حوزه گسترده شده‌اند و حداکثر پراکنده‌ی آن‌ها در مناطق شرقی وجود دارد. به‌عنوان مثال، با وجود این‌که فرساینده‌ی باران در ایستگاه

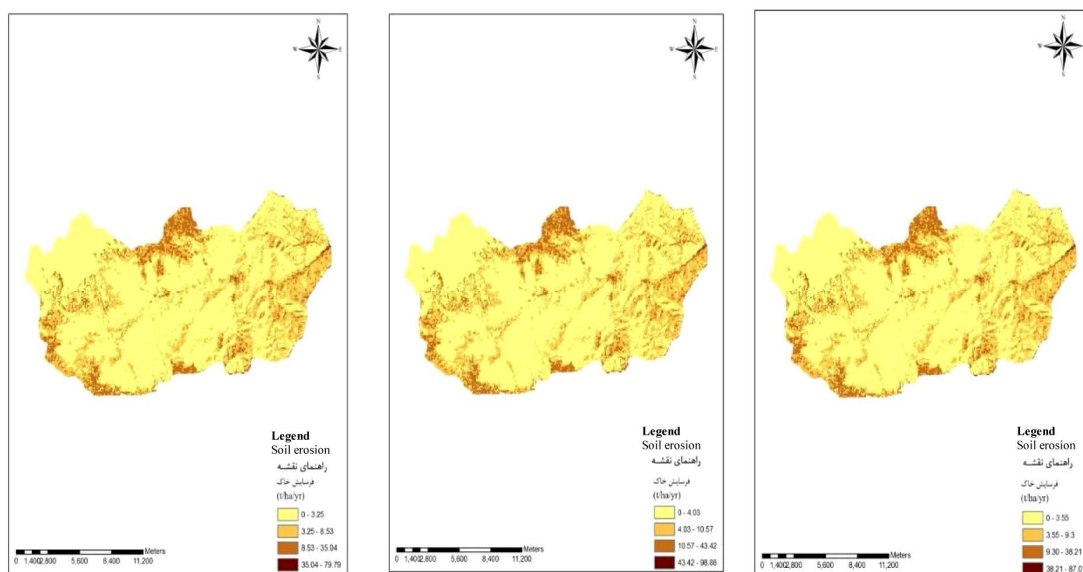


شکل ۵- نقشه نهایی خطر فرسایش خاک در دوره پایه.

Figure 5. Final map of soil erosion risk for the base period.



شکل ۶- نقشه نهایی خطر فرسایش خاک برای دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ الف) سناریو A1B، ب) سناریو A2 و ج) سناریو B1.
 Figure 6. Final map of soil erosion risk for the 2046-2065 period, A) A1B, B) A2 and C) B1 scenarios.



شکل ۷- نقشه نهایی خطر فرسایش خاک برای دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ الف) سناریو A1B، ب) سناریو A2 و ج) سناریو B1.
 Figure 7. Final map of soil erosion risk for the 2046-2065 period, A) A1B, B) A2 and C) B1 scenarios.

به‌ترتیب در سیستم شخم حفاظتی و شخم سنتی شد. علاوه بر این نتایج نشان داد که به‌دلیل افزایش شدت بارندگی که در آینده رخ خواهد داد هدررفت خاک هم افزایش خواهد یافت. نتایج هم‌چنین نشان داد که در اواخر تابستان بیش‌ترین هدررفت خاک در شخم سنتی قابل مشاهده است که علت آن می‌تواند به‌خاطر

ژانگ و همکاران (۲۰۰۴) در اوکلاهما آمریکا اثر تغییر اقلیم بر میزان فرسایش خاک در دوره ۲۰۵۶-۲۰۸۵ و در سیستم شخم سنتی و شخم حفاظتی بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییرات در بارش آینده باعث افزایش رواناب به‌میزان ۱۵ تا ۱۷ درصد، هدررفت خاک به مقدار ۱۰ تا ۱۹ درصد

شخم زدن زمین برای کشت محصولات زمستانه، هم‌چنین عدم پوشش خاک به‌وسیله بقایای گیاهی باشد (۳۷).

نتیجه‌گیری

بررسی آمار ایستگاه‌های رشت و بندرانزلی، کاهش روند کلی بارش در آینده را نشان می‌دهد، به این معنی که میزان کل بارندگی در آینده کاهش می‌یابد. این در حالی است که تعداد روزهای بارش برف و برف‌آبه در حال افزایش است که فرض رخ داد پدیده تغییر اقلیم و تأثیر آن بر متغیرهای اقلیمی در منطقه را تقویت می‌کند. نتایج حاصل از نمودارهای فصلی بارش بیان می‌کند که بیش‌ترین تغییرات بارش در فصل تابستان و پاییز صورت گرفته که در تابستان بیش‌تر از نوع کاهشی و در پاییز افزایشی است. بررسی‌ها نشان داد که میزان فرساینده‌های باران (R) در دوره‌های شبیه‌سازی‌شده نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. بیش‌ترین مقدار R مشاهده شده مربوط به ایستگاه خرجگیل و کم‌ترین مربوط به ایستگاه خلیان می‌باشد. علاوه بر این،

شبیه‌سازی ارتفاع بارش و محاسبه میزان فرساینده‌گی در دو دوره شبیه‌سازی‌شده نشان داد که بیش‌ترین مقدار R مربوط به سناریو بدبینانه A1B در ایستگاه خرجگیل و کم‌ترین آن مربوط به سناریو خوشبینانه B1 در ایستگاه خلیان می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که شدت بارش و عامل فرساینده‌گی در هر سه سناریو بدبینانه A1B، متوسط A2 و خوشبینانه B1 در هر سه ایستگاه افزایش می‌یابد. هم‌چنین نتایج حاصل از میزان خطر فرسایش خاک در سطح حوزه بیان‌گر افزایش خطر فرسایش خاک در آینده است. به‌طورکلی نتایج نشان داد که با وجود کاهش میزان بارش طی دوره‌های آینده، میزان فرساینده‌گی افزایش می‌یابد. یکی از دلایل این پدیده افزایش شدت بارندگی می‌باشد. علاوه بر این، بررسی‌ها نشان از تأثیر بسیار بالای پوشش گیاهی و نوع آن بر جلوگیری از فرسایش دارد. به‌طوری‌که در سطح حوزه مناطق دارای پوشش متراکم جنگلی دارای خطر فرسایش کم و مناطق دارای پوشش مرتعی دارای خطر فرسایش متوسط و دامنه‌های با شیب بسیار تند و فاقد پوشش، دارای بیش‌ترین خطر فرسایش خاک می‌باشد.

منابع

1. Arnell, N.W., and Reynard, N.S. 1996. The effects of climate change due to global warming on river flows in Great Britain. *J. Hydrol.* 183: 397-424.
2. Arnoldus, H.M.J. 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In: M. DeBoodt, D. Gabriels, (Eds.), *Assessment of Erosion*. Chichester, New York. Pp: 127-132.
3. Asadi, H., Honarmand, M., Vazifedoust, M., and Mousavi, A. 2017. Assessment of Changes in Soil Erosion Risk Using RUSLE in Navrood Watershed, Iran. *J. Agric. Sci. Tech.* 19: 231-244.
4. Babaeian, I., Najafi Nik, Z., Zabol Abasi, F., Habibi Nokhandan, M., Adab, H., and Malbusi, Sh. 2009. Iranian climatic changes between 2010 and 2039 using small scale measurements of the general circulation model data on atmosphere (ECHO-G). *J. Geograph. Dev.* 16: 135-152. (In Persian)
5. Boonij, M.J. 2005. Impact of climate change on river flooding assessed with different spatial model resolutions. *J. Hydrol.* 303: 176-198.
6. Chmura, D.J., Anderson, P.D., Howe, G.T., Harrington, C.A., Halofsky, J.E., Peterson, D.L., Shaw, D.C., and Clair, J.B. 2011. Forest responses to climate change in the northwestern United States: Ecophysiological foundations for adaptive management. *Forest Ecology and Management.* 261: 7. 1121-1142.

7. Church, J.A., Gregory, J.M., Huybrechts, P., Kuhn, M., Lambeck, K., Nhuan, M.T., Qin, D., and Woodworth, P.L. 2001. Changes in sea level. In: Houghton J.T., Ding Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Xiaosu, D. (Eds.), *Climate Change 2001. The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, Pp: 639-693.
8. Diodato, N. 2004. Local models for rainstorm induced hazard analysis on Mediterranean river torrential geomorphological systems. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 4: 389-397.
9. Fantappiè, M., Priori, S., and Costantini, E.A.C. 2015. Soil erosion risk, Sicilian region (1:250,000 scale). *J. Maps.* 11: 2. 323-341.
10. Fatolazadeh, T. 2015. Examine the types and severity of erosion in the sub-basins watershed Navrood. *J. Physic. Geograph.* 8: 27. 25-38. (In Persian)
11. Gaatib, R., and Larabi, A. 2014. Integrated evaluation of soil erosion hazard and risk management in the Oued Beht watershed using remote sensing and GIS techniques: Impacts on El Kansra Dam Siltation (Morocco). *J. Geogr. Inf. Syst.* 6: 677-689.
12. Gholami, A., Shahedi, K., Habib-Nejad-Roshan, M., Vafakhah, M., and Soleimani, K. 2017. Forecasting and comparison of future climate change by using of GCM models under different scenarios in Talar watershed of Mazandaran province. *J. Range Water. Manage.* 70: 1. 181-196. (In Persian)
13. Haas, L. 2002. Mediterranean water resource planning and climate change adaptation. *Water, wetlands and climate change, Building linkages for their integrated management. Mediterranean Regional Roundtable. Athens, Greece, December 10-11 Draft for Discussion*, 62p.
14. Hadinia, H. 2013. Impact of climatic change on rice water demand in Rasht. M.Sc. Thesis, the Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan. 95p. (In Persian)
15. Hasanpour Kashani, M., Ghorbani, M.A., Dinpazhouh, Y., and Shahmorad, S. 2015. Rainfall-runoff simulation in the Navrood river basin using Truncated Volterra model and artificial neural networks. *J. Water. Manage. Res.* 6: 12. 1-10. (In Persian)
16. Honarmand, M. 2010. Assessment and mapping of soil erosion hazard using revised universal soil loss equation (RUSLE), geographic information system (GIS) and remote sensing (RS) in Navrood watershed (Guilan province). M.Sc. Thesis, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan. 105p. (In Persian)
17. Katirayee, P.S., Hejam, S., and Iran Nejad, P. 2006. The role of frequency variation and daily rainfall intensity in shaping rainfall patterns during 1960-2001 in Iran. *J. Earth Space Physic.* 33: 67-83. (In Persian)
18. Kebede, W., Habitamu, T., Efrem, G., and Fantaw, Y. 2015. Soil erosion risk assessment in the Chaleleka wetland watershed, Central Rift Valley of Ethiopia. *Environmental Systems Research* 4:5, DOI 10.1186/s40068-015-0030-5.
19. Lu, D., Li, G., Valladares, G.S., and Batistella, M. 2004. Mapping soil erosion risk in Rondonia, Barzilian Amazonia using RUSLE, remote sensing and GIS. *Land Degradation and Development*, 15: 499-512.
20. Masoom Pour, F. 2005. Examination of the efficiency of MPSIAC model for estimating erosion and sediment in Navrood watershed. M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources. The University of Mazandaran, Iran. 78p. (In Persian)
21. Massah Bovani, A., and Morid, S. 2005. Effects of climatic change on Zayandeh Rood water flow in Isfahan. *J. Natur. Resour. Agric. Sci.* 9: 4. 12-27. (In Persian)
22. Mohammadi, B. 2011. Analysis of annual precipitation trends in Iran. *J. Geograph. Environ. Program.* 22/43: 3. 95-106. (In Persian)
23. Nasiri, B., and Yarmoradi, Z. 2017. Predict changes in climate parameters Lorestan province in 50 years by using HADCM3. *Scientific Research Quarterly of Geographical Data.* 26: 101. 143-154. (In Persian)
24. Nunes, J., and Nearing, M. 2011. *Modelling impacts of climatic change: Case studies using the new generation of erosion models*. Wiley- Blackwell, Oxford, Pp: 289-312.

25. O'Neal, M.R., Nearing, M.A., Vining, Z.C., Southworth, J., and Pfeifer, R.A. 2005. Climate change impacts on soil erosion in Midwest United States with changes in crop management. *Catena*. 61: 165-184.
26. Paroissien, J.B., Darboux, F., Couturier, A., Devillers, B., Mouillot, F., Raclot, D., and Le Bissonais, Y. 2015. A method for modeling the effects of climate and land use changes on erosion and sustainability of soil in a Mediterranean watershed (Languedoc, France). *J. Environ. Manage.* 150: 57-68.
27. Prasannakumar, V., Shiny, R., Geetha, N., and Vijith, H. 2011. Spatial prediction of soil erosion risk by remote sensing, GIS and RUSLE approach: A case study of Siruvani river watershed in Attapady valley, Kerala, India. *Environ. Earth Sci.* 64: 965-972.
28. Prasannakumar, V., Vijith, H., Abinod, S., and Geetha, N. 2012. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. *Geoscience Frontiers*. 3: 2. 209-215.
29. Prasuhn, V., Liniger, H.P., Herweg, K., Candinas, A., and Clement, J.P. 2013. A high-resolution soil erosion risk map of Switzerland as strategic policy support system. *Land Use Policy*. 32: 281-291.
30. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., and Yoder, D.C. 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.
31. Routschek, A., Schmidt, J., and Kreienkamp, F. 2014. Impact of climate change on soil erosion: A- high-resolution projection on catchment scale until 2100 in Saxony/Germany. *Catena* 121: 99-109.
32. Sabz Gostar Consultation Engineering Co. 2003. Multi-purpose Comprehensive Scheme at the Watershed 7 Nav, Asalem. Natural Resources Administration of Guilan Province, Iran. Ministry of Agriculture. (In Persian)
33. Salahie, B., Ali Jahan, M., Eini, S., and Derakhshi, J. 2017. Prediction of initiation and ends dates of moderat and severe frosts in Kermanshah province selected on the outputs of some climate models. *J. Geograph. Plan.* 21: 59. 175-195.
34. Sereda, J., Bogard, M., Hudson, J., Helps, D., and Dessouki, T. 2011. Climate warming and the onset of salinization: Rapid changes in the limnology of two Northern Plains lakes. *Limnologica*. 41: 1-9.
35. Serpa, D., Nunes, J.P., Santos, J., Sampaio, E., Jacinto, R., Veiga, S., Lima, J.C., Moreira, M., Keizer, J.J., Abrantes, N., and Corte, J. 2015. Impacts of climate and land use changes on the hydrological and erosion processes of two contrasting Mediterranean catchments. *Science of the Total Environment*. 538: 64-77.
36. Sobhani, B., Eslahi, M., and Babaeian, I. 2015. The functionality of fine patterns of statistical downscaling model (SDSM) and LARS-WG patterns in simulation of meteorological variables at Orumiyeh lake watershed. *The Quarterly of Investigations on Natural Geography*. 47: 4. 499-516. (In Persian)
37. Zhang, X.C., Nearing, M.A., Garbrecht, J.D., and Steiner, J.L. 2004. Downscaling monthly forecasts to simulate impacts of climate change on soil erosion and wheat production. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 68: 1376-1385.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(2), 2018

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12223.2679

Forecasting the effect of climate change on soil erosion hazard in Navrood watershed

*H. Asadi¹, M. Jafari², A. Ashrafzadeh³ and A. Sharifi⁴

¹Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tehran,

²M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Guilan,

³Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Guilan,

⁴Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman

Received: 12.01.2016; Accepted: 04.22.2018

Abstract

Background and Objectives: Climate Change can affect soil erosion, as the most important factor in the degradation of land in the world, by changing precipitation patterns. Therefore, it is essential to assess the impact of climate change on soil erosion risk. This study was aimed to evaluate the impacts of future climate change on soil erosion risk in Navrood watershed, located in west of Guilan province, North of Iran.

Materials and Methods: In this study, the climate change trend was evaluated by XLSTAT software using effective climatic parameters obtained from Rasht and Bandar Anzali stations. Then, the soil erosion risk was predicted using RUSLE in combination with geographic information system and remote sensing, in Navrood watershed. The data of previous research were used to calculate the K, LS, C and P factors for the RUSLE model. The atmospheric general circulation models (NCCCSM), was used to produce synthetic weather series, over three A1B, A2 and B1 scenarios. Based on the outputs of NCCCSM, daily rainfall values of the base period 2002-2007 and the LARS-WG model, daily rainfall pattern were simulated for two 20-year periods of 2046-2065 and 2080-2099 for Kharajgil, Khalian and NAV stations located inside the watershed.

Results: The results showed that the precipitation in the future will decrease in two stations of Khalian and Nav and will increase at the Kharajgil station. In contrast, due to increase of rainfall intensity, in all scenarios and stations the rainfall erosivity in the future is more than the base period. Based on the obtained results, soil erosion risk varies from zero to more than 77 tons per hectare per year, from zero to more than 115 tons per hectare per year and from zero to more than 98 ton per hectare per year for the base period (2002-2007) and 2046-2065 and 2080-2099 periods, respectively.

Conclusion: The results showed that rainfall erosivity in the coming periods increases due to increasing rainfall intensity. Most area of the watershed has a low erosion risk and the southwest areas of the region and northern parts of the north are mainly at risk of erosion. Additionally, although rainfall erosivity is at its highest level at some parts, the amount of erosion is not high, which can be due to the effect of vegetation. Increasing vegetation density, particularly forest type, can reduce the effect of rainfall erosion and thus reduce the risk of erosion.

Keywords: Climate change scenario, LARS-WG Model, Rainfall erosivity, RUSLE

* Corresponding Author; Email: ho.asadi@ut.ac.ir