

پیش‌بینی تأثیر سناریوهای مختلف اقلیمی بر میزان فرسایش و رسوب در حوزه‌ی آبخیز کندران

فاطمه تیموری: دانشجوی دکتری گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

ام‌البین بنذرافشان*: دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۸

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۱)

چکیده

تغییر اقلیم، فرسایش خاک را از طریق تغییر رژیم بارش تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین، ارزیابی خطر فرسایش خاک و اثر تغییرات اقلیمی بر آن امری ضروری است. هدف از این پژوهش، برآورد فرسایش با استفاده از مدل RUSLE در آبخیز کندران در دوره‌ی پایه (۱۹۸۲-۲۰۱۵)، ریزمقیاس‌نمایی بارش با استفاده از مدل SDSM، برآورد فاکتور فرساینده‌ی بارش تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دو دوره‌ی (۲۰۱۶-۲۰۳۰) و (۲۰۳۱-۲۰۵۰) در آینده، و پیش‌بینی فرسایش و رسوب با استفاده از مدل RUSLE است. بنابراین برای ریزمقیاس‌نمایی بارش، از مدل اقلیمی SDSM طی دوره‌ی پایه ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۵ استفاده شد و بر اساس معادله‌ی فاکتور فرساینده‌ی بارش در مدل RUSLE، فاکتور فوق طی دو دوره‌ی زمانی (۲۰۱۶-۲۰۳۰ و ۲۰۳۱-۲۰۵۰) در آینده پیش‌بینی و میزان فرسایش و رسوب طی دوره‌ی مذکور برآورد شد. نتایج حاصل از پیش‌بینی بارش با استفاده از مدل SDSM و سه سناریوی مذکور، حاکی از افزایش بارش در آینده است که به تبع آن، به افزایش فاکتور فرساینده‌ی بارش منجر می‌شود؛ به طوری که به طور متوسط، میزان بارش از ۹۶/۵۸ میلی‌متر به ۱۲۶/۵ میلی‌متر در دوره‌ی آتی و میزان عامل فرساینده‌ی بارش نیز از ۷۸/۲ به ۹۱/۸۹ مگا ژول در میلی‌متر در هکتار در ساعت در سال برآورد شده است. نتایج استفاده از مدل فرسایش و رسوب RUSLE نشان می‌دهد که میزان فرسایش ویژه ۹/۶۸ تن در هکتار در سال در دوره‌ی کنونی است که طی پنج دهه‌ی آینده این مقدار به حدود ۱۰/۲۳ تن در هکتار در سال افزایش خواهد یافت. همچنین پیشنهاد می‌شود، دیگر عوامل مؤثر بر فرسایش خاک مانند کاربری اراضی و ارزیابی اثرات آن در آینده بررسی و پیش‌بینی شود.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، فرسایش خاک، فرساینده‌ی باران، مدل RUSLE.

۱- مقدمه

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین تهدیدهای محیط‌زیست در کره‌ی زمین به‌شمار می‌رود که کیفیت آب، زیستگاه‌های گیاهی و جانوری و تأمین خدمات بونظام را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (Azimi Sardari et al, 2019). افزایش ظرفیت رطوبت و مقدار بخار آب جو، به تغییر در ویژگی‌های بارندگی و رژیم بارش و در نتیجه وقوع بارش-های شدید منجر می‌شود. تغییر اقلیم به تغییر ویژگی‌های بارش نظیر مقدار، فراوانی و تیپ بارش منجر می‌شود و

ویژگی مقادیر حدی بارش را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Paroissien et al, 2015). تغییر در بیلان آبی که ناشی از تغییرات اقلیمی است، می‌تواند بسیاری از فرآیندهای طبیعت را مانند فرسایش، پایداری شیب، تغییر کانال و انتقال رسوب تحت تأثیر قرار دهد (Mukundan et al, 2013). با تغییر اقلیم، انتظار می‌رود فرسایش خاک به دلایل گوناگون تشدید یابد و این امر بیش از همه به تغییر در قدرت عامل فرساینده بارش بازمی‌گردد. افزایش قدرت فرساینده بارش، فرسایش خاک را به طور مستقیم تشدید می‌کند (Nearing et al, 2004). مطالعات انجام شده در آمریکای یک دوره‌ی هشتاد ساله نشان می‌دهد که با تغییر اقلیم، فرساینده بارش می‌تواند بین ۱۶ تا ۵۸ درصد افزایش یابد (Nearing, 2001).

تغییر اقلیم، بر فرسایش و هدررفت خاک تأثیر بسیار زیادی دارد (Mullan et al, 2012) و در بین پارامترهای تأثیرپذیر از تغییر اقلیم، بارش و به تبع آن قدرت فرساینده بارش، بیشترین تأثیرپذیری را دارد (Zhang et al, 2005). این عامل، یکی از متغیرهای اساسی در مدل‌های مربوط به فرسایش خاک است؛ به طوری که در معادله‌ی جهانی فرسایش خاک، به عنوان عامل فرساینده بارش به کار می‌رود (Azimi Sardari et al, 2018).

تغییرات اقلیمی مرتبط با فرسایش خاک، به طور عمده تغییر در درجه‌ی حرارت و بارش است. بر اساس آخرین گزارش IPCC^۱، در دوره‌ی ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲ میانگین جهانی دمای سطح ۰/۸۵ (از ۰/۶۵ به ۱/۰۶) افزایش یافته‌است (IPCC, 2013). اثرات تغییرات اقلیمی بر فرسایش خاک، از سال ۱۹۴۰ قابل توجه قرار گرفته‌است (Bryan and Albritton, 1943). از آن جا که پیش‌بینی وضعیت اقلیم آینده تحت پدیده‌ی تغییر اقلیم به‌طور قطع ممکن نیست؛ راه‌حل جایگزین، استفاده از سناریوهای اقلیمی است. اینک معتبرترین ابزار برای تولید این سناریوها، مدل‌های GCM است. مدل‌های گردش عمومی، شرایط توپوگرافی و پوشش سطحی و شرایط اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتری در نظر می‌گیرد؛ در حالی که ممکن است شرایط واقعی سطح زمین در محدوده‌ی مورد بحث کاملاً متفاوت باشد.

مدل ریزگردانی (SDSM)، بسته‌ی نرم‌افزاری کاربر پسندی است که برای اجرای روش‌های ریزگردانی آماری در تولید با وضوح بالای اطلاعات ماهانه‌ی آب و هوا، با شبیه‌سازی از مدل‌های آب و هوای با قدرت تفکیک پایین (GCM^۲) به کار می‌رود (Wilby et al, 2007).

با تلفیق معادله‌ی جهانی تجدیدنظر شده‌ی هدررفت خاک (RUSLE^۳)، سنجش از دور (RS^۴) و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS^۵)، می‌توان اثر تغییر اقلیم را بر میزان خطر فرسایش پیش‌بینی کرد. با این روش، مطالعات زیادی در سطح جهان انجام شده‌است.

در پژوهشی، به بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر آسیب‌پذیری فرسایش خاک در ایالات متحده‌ی آمریکا پرداخته شد. در این مطالعه با سه مدل گردش عمومی و با سه سناریوی B₁، A₂ و A_{1B}، برای اولین بار به بررسی تغییرات عامل فرساینده بارش (R) در ۹ اقلیم مختلف پرداخته شد. در این پژوهش مشخص شد که روند فرسایش در قسمت-

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

² General circulation model

³ Revised Universal Soil Loss Equation

⁴ Remote Sensing

⁵ Geographic information system

های مختلف متفاوت است؛ حوضه‌های شمال غربی و شمال شرقی، روند افزایشی قوی دارد و حوضه‌های غرب و جنوب غربی، روند افزایشی ضعیف (Seguara et al, 2014). همچنین در مطالعه‌ای در ناحیه‌ی لاپین فرانسه، در دو دوره‌ی آب و هوایی و کاربری به بررسی پایداری خاک نسبت به فرسایش در شرایط کنونی و در انتهای قرن ۲۱ پرداخته شد. نتایج نشان داد که شدت متوسط فرسایش خاک محاسبه شده در آینده، نسبت به دوره‌ی کنونی افزایش می‌یابد و از طول عمر مورد انتظار خاک کاسته می‌شود (Paroissien et al, 2015).

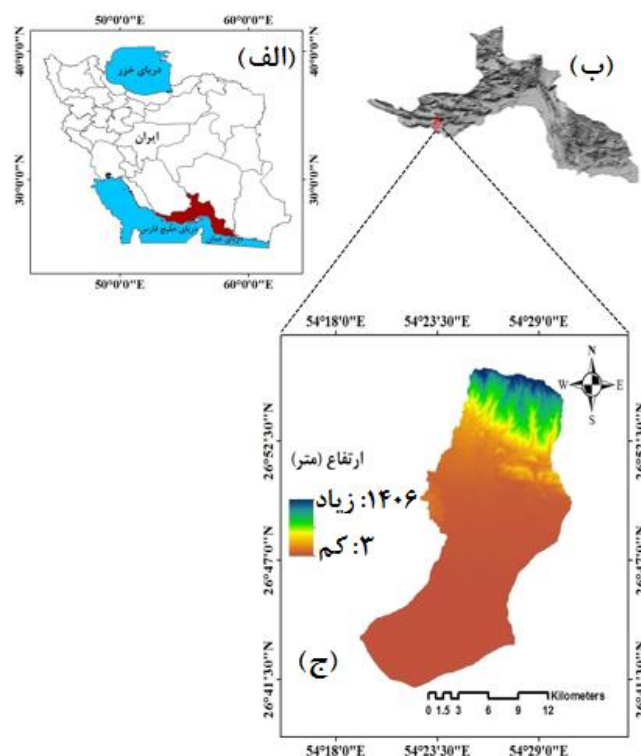
در پژوهشی، به شبیه‌سازی و پیش‌بینی فرسایش خاک تحت تأثیر سناریوهای تغییرات اقلیمی در آبخیز کاسیلیان واقع در شمال کشور ایران پرداخته شد. در این مطالعه برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی از سه سناریوی A_2 ، B_1 و $IPCM_4$ ، همچنین برای برآورد میزان فرسایش و رسوب از مدل $RUSLE$ استفاده شد. نتایج نشان داد که فاکتور فرسایش در مدل $RUSLE$ ، تأثیر مستقیمی بر تغییرات اقلیمی دارد؛ به طوری که میزان فعلی فرسایش — که ۲۱/۸۲ تن در هکتار در سال بوده است — با افزایش ۱۰-۳۵٪ فاکتور فرسایش، فرسایش خاک به میزان ۳۲-۱۰٪ در طول سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۰ افزایش خواهد یافت (Zare et al, 2016). در پژوهش دیگری نیز به پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر عامل فرسایش در سواحل جنوبی خزر پرداخته شد؛ به این منظور، از خروجی‌های مدل اقلیمی $HadCM3$ تحت سناریوی انتشار A_1B استفاده و ریزمقیاس‌نمایی، با استفاده از مدل $LARS-WG$ انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد که در طول قرن اخیر، عامل فرسایش در اکثر نقاط منطقه‌ی شمال کشور افزایش خواهد بود (Tavangar et al, 2015). در تحقیقی صورت گرفته، به بررسی اثر تغییر اقلیم بر خطر فرسایش خاک در آبخیز ناورود پرداخته شد. آنها با استفاده از مدل اقلیمی $LARS-WG$ و سه سناریوی A_1B ، B_1 و A_2 ، به بررسی تغییر اقلیم پرداختند. سپس خطر فرسایش خاک با تلفیق نسخه‌ی تجدیدنظر شده‌ی معادله‌ی جهانی هدررفت خاک، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، در حال و دو دوره‌ی بیست ساله‌ی آینده در آبخیز ناورود ارزیابی شد. نتایج نشان داد که طی دوره‌های آینده، میزان فرسایش شدت بارندگی افزایش می‌یابد. همچنین با وجود اینکه فرسایش بارش در تعدادی از ایستگاه‌ها بیشترین میزان را دارد، اما مقدار فرسایش آنها زیاد نیست که این امر می‌تواند به دلیل تأثیر پوشش گیاهی باشد (Asadi et al, 2015). در مطالعه‌ی دیگر با استفاده از گزارش پنجم تغییر اقلیم، به پیش‌بینی تغییرات فرسایش و رسوب در حوزه‌ی آبخیز سد میناب پرداخته شد. در این تحقیق علاوه بر پیش‌بینی R -factor، تأثیر تغییرات پوشش گیاهی طی دوره‌های آینده نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش بارش، به افزایش پوشش گیاهی و همزمان به افزایش فاکتور فرسایش منجر می‌شود؛ اما اثرات آن در سناریوهای مختلف، متفاوت است (Azimi Sardari et al, 2019).

عموم تحقیقات انجام شده در این زمینه، با استفاده از گزارش چهارم هیأت بین‌الدول تغییرات اقلیمی و سناریوهای جهانی یا منطقه‌ای بود، اما در تحقیق فوق از گزارش پنجم تغییر اقلیم و سناریوهای واداشت تابشی آن استفاده شد. با توجه به روند رو به توسعه‌ی تغییرات کاربری اراضی، خشکسالی‌های پیاپی، روند افزایشی بارش‌های با شدت زیاد و مدت کم، تخریب خاک و تولید فرسایش و رسوب در آبخیز کندانر اجتناب‌ناپذیر است؛ پس پیش‌بینی میزان فرسایش آینده در اراضی‌ای که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی است، برای اقدامات آبخیزداری متناسب با شرایط حوزه برای کنترل فرسایش و کاهش تولید رسوب امری ضروری است. بر این مبنای اهداف تحقیق حاضر شامل این موارد است:

برآورد فرسایش با استفاده از مدل RUSLE در آبخیز کندران در دوره پایه‌ی (۱۹۹۵-۲۰۱۵)، ریزمقیاس‌نمایی بارش با استفاده از مدل SDSM، برآورد فاکتور فرساینده‌ی بارش با استفاده سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دو دوره‌ی (۲۰۱۶-۲۰۳۰) و (۲۰۳۱-۲۰۵۰)، و پیش‌بینی فرسایش و رسوب با استفاده از مدل RUSLE با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم در آینده.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

آبخیز کندران، در شهرستان بندرلنگه و در بخش مرکزی آن قرار دارد. این حوزه از شمال به کوه سفید، از جنوب به بندر حسینه و خلیج فارس، از شرق به روستای سورو و از غرب به حدود روستای مراغ محدود می‌شود. مرتفع‌ترین نقطه‌ی حوزه، در شمال غرب محدوده‌ی مطالعاتی با ارتفاع ۱۴۰۹ متر و پایین‌ترین نقطه، در جنوب غرب آن با ارتفاع ۱ متر از سطح آزاد آب دریا واقع است. محدوده‌ی مورد مطالعه، وسعتی برابر ۲۵۸/۸۶ کیلومتر مربع و محیط ۸۵/۰۲ کیلومتر دارد و از نظر آب و هوایی دارای میانگین بارش ۵۷ میلی‌متر، دمای ۲۶ درجه‌ی سانتی‌گراد و براساس اقلیم‌بندی دومارتن، دارای اقلیم فراهشک گرم و باران‌های با شدت زیاد و مدت کم است که با توجه به سازند حساس و فرسایش‌پذیر، به بروز خندق در منطقه منجر شده‌است. نقشه‌ی ۱، موقعیت حوضه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نقشه‌ی موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه، الف: کشور ایران، ب: استان هرمزگان، ج: آبخیز کندران.

۳- مواد و روش

تحقیق حاضر شامل سه مرحله است: برآورد فرسایش خاک در دوره‌ی پایه، ریزمقیاس‌نمایی بارش و برآورد فاکتور فرسایش‌گری باران در دوره‌ی آینده، و پیش‌بینی فرسایش در دوره‌ی آینده. روند نمای تحقیق نیز در شکل ۲ ارائه شد.

اولین تلاش برای فرموله کردن فرسایش خاک توسط Koock (۱۹۳۶) انجام شد، وی عواملی مانند حساسیت خاک به فرسایش و قدرت فرسایش‌گری بارش را مطرح کرد. اولین معادله که برای تخمین فرسایش در یک منطقه پیشنهاد شد، معادله‌ی Zing (۱۹۴۰) بود که در آن تنها دو عامل درجه و طول شیب در نظر گرفته شده بود. این تحقیق به تدریج تکامل یافت تا اینکه در سال ۱۹۷۸، ویشمایر و اسمیت (Wischmeier and Smith, 1978) پس از حدود ۳۰ سال مطالعه در مورد فرسایش آبی در ۴۶ ایستگاه تحقیقاتی در ۲۶ ایالت مختلف آمریکا با شرایط مختلف آب و هوایی و با در نظر گرفتن نتایج بررسی‌های دیگران، فرمول جهانی فرسایش خاک (USLE) را معرفی کردند (Bazrafshan and Teimouri, 2017). بعدها رینارد و همکاران در سال ۱۹۹۷، مدل اصلاح شده‌ی USLE یعنی RUSLE را معرفی کردند. این معادله به شکل کلی مقابل است:

$$A=R*K*L*S*C*P$$

رابطه‌ی ۱

که در آن A : مقدار خاک فرسایش‌یافته برحسب تن در هکتار، R : عامل فرسایش‌گری بارندگی (مگاژول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت در سال)، K : عامل فرسایش‌پذیری و حساسیت ذاتی خاک (تن در هکتار بر میلی‌متر)، L : عامل طول شیب، C : عامل پوشش گیاهی و P : عامل عملیات حفاظت خاک است. در جدول ۱، نحوه‌ی محاسبه‌ی هر شاخص ارائه شده‌است.

جدول ۱: فاکتورهای مدل RUSLE

معرفی عامل رابطه	رابطه	عامل
F : عامل فرسایش‌گری باران؛ P_i : متوسط بارندگی در ماه i ام و P متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)	$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{\sum_{i=1}^{12} P}$	عامل فرسایش‌گری بارش (R) (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۸۷)
A : مساحت دامنه بالادست و S میزان شیب است که از رابطه ۴ بدست می‌آید.	$L = \frac{1}{4} [AS / 22.13]^{0.4}$	عامل‌های طول شیب (L) و درجه شیب (S) (مک‌کول و همکاران، ۱۹۸۹)
B : زاویه شیب بر حسب درجه است.	$S = \left[\frac{\sin \beta}{0.0896} \right]^{0.33}$	(۴)
C : کاربری و پوشش زمین	براساس جدول ارائه شده توسط سرویس حفاظت خاک آمریکا (۱۹۷۲)	عامل مدیریت پوشش (C)
P : عملیات حفاظتی	براساس جدول ارائه شده توسط ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸)	عامل عملیات حفاظتی (P)

برای برآورد میزان فرساینده‌گی بارش در کل حوزه، از آمار بارش ایستگاه‌های کیش، بندرلنگه، بندرچارک و بستک طی دوره‌ی آماری ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۵ استفاده شد. فاکتور R برای هر ایستگاه با استفاده از رابطه‌ی ۲، محاسبه و با استفاده از روش میان‌یابی کرجینگ در نرم‌افزار ArcMap، به کل حوزه تعمیم داده شد. در مرحله‌ی بعدی، فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K) با توجه به بافت، میزان ماده آلی و نفوذپذیری ساختمان خاک از گزارش تفصیلی فرسایش و رسوب‌کنندگان تهیه شد؛ بدین صورت که تعداد ۳۰ نقطه به طور تصادفی در تیپ‌های اراضی موجود در محدوده‌ی مورد مطالعه - کوه‌ها، تپه‌ها، دشت‌های سیلابی و واریزه‌های بادبزی شکل سنگریزه‌دار- تعیین و نمونه‌برداری خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری صورت گرفت. سپس از طریق نمودار فرسایش‌پذیری، برآورد و در تمام سطح حوزه، با استفاده از تکنیک میان‌یابی در محیط نرم‌افزاری ArcMap تهیه شد. فاکتور LS (رابطه‌ی ۴) نیز از روی نقشه‌ی رقمی ارتفاع منطقه‌ی مورد مطالعه - با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰- در محیط نرم‌افزاری مذکور تهیه شد. فاکتور C، از پرکاربردترین معیار رویش پوشش گیاهی، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال (NDVI) و با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ی Landsat، سنجنده‌های OLI و TIRS در آوریل ۲۰۱۵ به دست آمد. از آن جایی که مقادیر فاکتور C بین صفر و یک است؛ مقدار صفر به پیکسل‌های با مقادیر منفی و عدد یک به پیکسل‌هایی با مقدار بیش از یک اختصاص یافت. فاکتور P، نسبت خاک فرسایش‌یافته در شرایط اجرای عملیات حفاظتی، به فرسایش ایجاد شده در شرایط استاندارد یعنی شخم در جهت شیب است. با توجه به اینکه در حوزه جز چند نمونه هلالی آبگیر که تقریباً اثر خاصی در اصلاح و مدیریت خاک ندارند (AREEO, 2017)، هیچ گونه عملیات اصلاحی و مدیریتی صورت نگرفت. ارزش P نیز براساس کاربری و پوشش اراضی مختلف تعیین شد.

پس از ارزیابی عوامل مؤثر در تولید فرسایش و رسوب حوزه‌ی مورد مطالعه، شاخص همپوشانی برای لایه‌ها انجام شد؛ به عبارت دیگر در این حالت، سلول‌های هم‌مختصات با همدیگر ترکیب و تلفیق می‌شوند که برای این حالت، داده‌ها باید ساختار رس‌تری داشته باشند تا امکان تلفیق آنها وجود داشته باشد. بنابراین، با استفاده از روی هم‌اندازی لایه‌ها، نقشه‌ی فرسایش برای حوزه‌ی مورد مطالعه به دست می‌آید. در این مطالعه، نسبت تحویل رسوب با استفاده از روش (Mutchler-Bowie, 1975) محاسبه شد که مبتنی بر مساحت فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی حوزه‌ی آبخیز است.

$$SDR = 0.488 - 0.006A + 0.01R_o \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

که در آن SDR: نسبت تحویل رسوب، A: مساحت حوزه‌ی آبخیز (مایل مربع) و R_o : متوسط ارتفاع رواناب سالانه (اینچ) است.

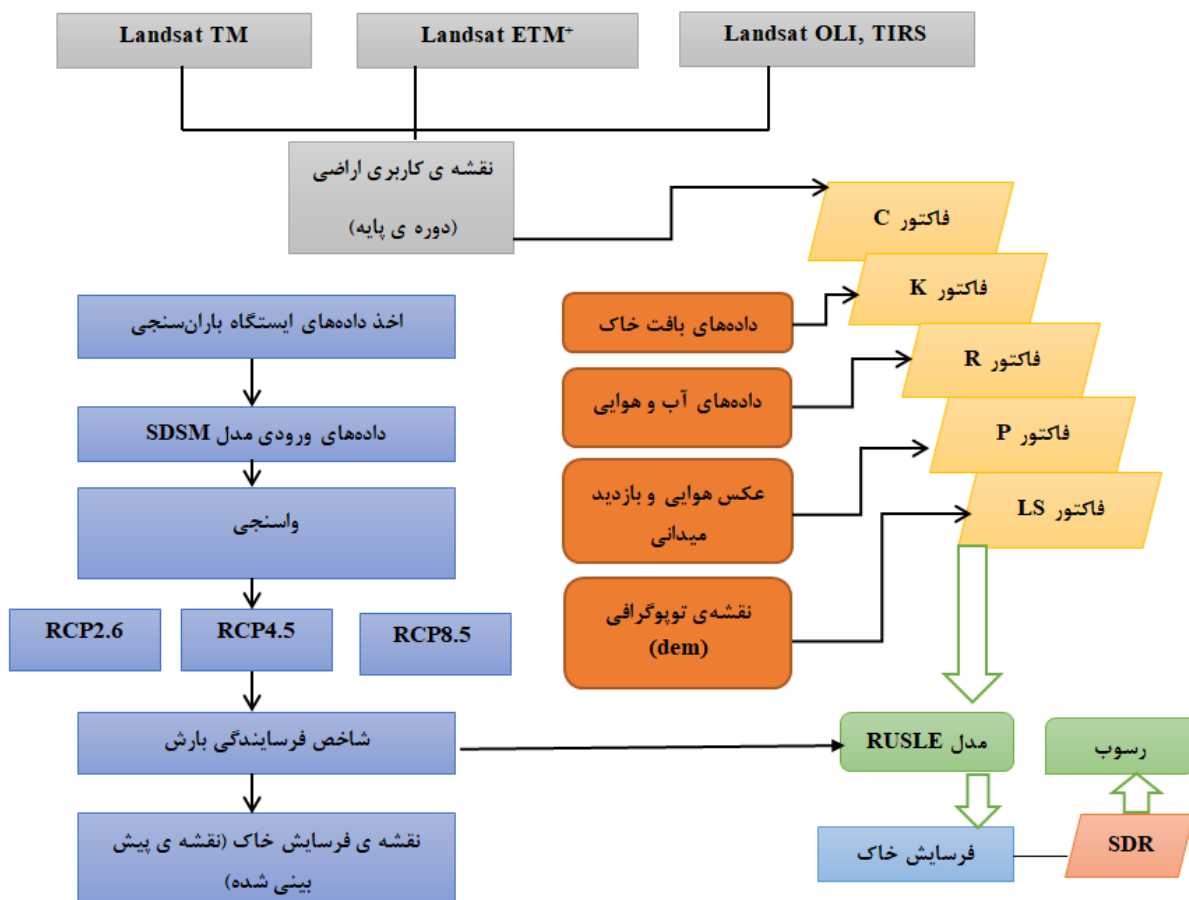
مدل‌سازی تغییر اقلیم و کوچک مقیاس کردن مقادیر بارندگی با مدل SDSM

در پژوهش حاضر به منظور برآورد داده‌های بارش آینده، از مدل گردش عمومی جو CanESM2 تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، و از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM4.2.9 برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های خروجی استفاده شد. مدل CanESM2، مدلی جامع و جفت شده و چهارمین نسل از مدل‌های گردش عمومی جفت شده (CGCM4) است و جزء سری مدل‌های CMIP5 و گزارش پنجم (AR5) هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) به شمار می‌رود (Arora et al, 2011). جدول ۲، مشخصات این مدل را نشان می‌دهد.

مدل SDSM، یک ابزار رگرسیون بنیان چندگانه است و امروزه به‌عنوان پرکاربردترین مدل ریزمقیاس‌نمایی و بهترین مولد داده‌ی شرطی در سطح جهان شناخته شده‌است. عملکرد و ساختار مدل SDSM در چند مرحله خلاصه می‌شود: واسنجی مدل، ارزیابی مدل و تولید سناریوهای آتی (Wilby et al, 2007).
 به منظور کالیبره کردن و واسنجی مدل SDSM داده‌های مورد استفاده، ایستگاه‌های مشاهداتی بندرلنگه، کیش، چارک و جاسک (جدول ۲) و داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی کانادا NCEP، به دو دوره‌ی ۱۸ ساله (۲۰۰۰-۱۹۸۲) و ۱۵ ساله (۲۰۱۵-۲۰۰۰) تقسیم شد که از ۱۸ سال نخست، برای کالیبره کردن مدل با استفاده از روش بهینه‌سازی حداقل مربعات استفاده شد. بعد از کالیبره کردن مدل به منظور حصول اطمینان از اینکه توانایی شبیه‌سازی داده‌ها را خارج از محدوده‌ی زمانی کالیبراسیون دارد، نیاز است مدل ارزیابی شود؛ بدین منظور با استفاده از مدل SDSM کالیبره شده، بارش برای دوره‌ی ۲۰۱۶-۲۰۳۰ و ۲۰۳۱-۲۰۵۰ تحت سه سناریو شبیه‌سازی شد. سپس با مقایسه‌ی داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های شبیه‌سازی شده، کارایی مدل برای ایستگاه‌های مذکور بررسی شد. در این تحقیق به منظور بررسی میزان کارایی مدل، از سه معیار آماری میانگین خطای مطلق (MAE)، درصد اریبی (PBIAS) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد (Azimi Sardari et al, 2018).

جدول ۲: مشخصات مدل CanESM (Arora et al, 2011)

نام مدل	قدرت تفکیک اتمسفری (درجه) (طول * عرض)	قدرت تفکیک اقیانوسی (درجه) (طول * عرض)	گروه مؤسس	دوره‌ی شبیه‌سازی تاریخی / آینده	سناریوهای شبیه‌سازی
CanESM2 (۲۰۱۰)	$2.81^\circ \times 2.81^\circ$	$1.41^\circ \times 1.41^\circ$	CCCMA، (کانادا)	۱۸۵۰-۲۰۰۵ ۲۰۰۶-۲۱۰۰	RCP 2.6 RCP4.5 RCP8.5

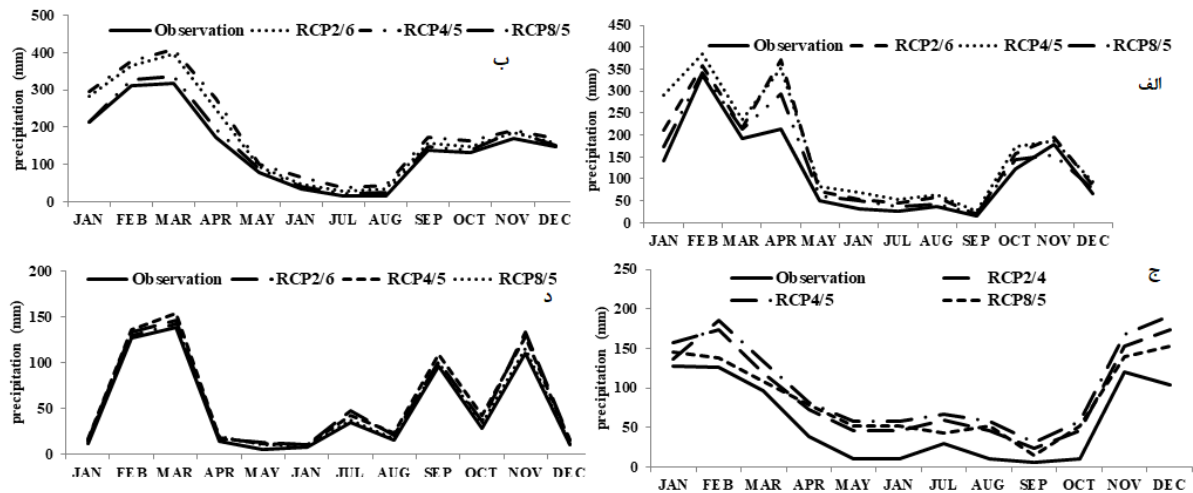


شکل ۲: روند نمای تحقیق

۴- یافته‌ها (نتایج)

نتایج حاصل ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی با استفاده از مدل SDSM

داده‌های بارش برای دوره‌ی آینده‌ی نزدیک ۲۰۵۰-۲۰۱۶، در سناریوهای مختلف تولید شد. در شکل ۳ (الف تا د)، به ترتیب داده‌های میانگین ماهانه‌ی بارش در مقابل داده‌های مشاهداتی تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در ایستگاه‌های بندر چارک، بستک، جزیره‌ی کیش و بندرلنگه فراهم شد.



شکل ۳: نمودار مقایسه‌ی میانگین ماهانه‌ی بارش مشاهده‌ی و تولید شده‌ی سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 الف: بندر چارک، ب: بستک، ج: کیش و د: بندرلنگه

جدول ۳: صحت‌سنجی مدل SDSM

ایستگاه	R^2	MAE	PBIAS
بندرلنگه	۰/۸۷۲۱۵۲	۰/۱۹۲۴۸۶	۰/۰۶۳۲۴۹
کیش	۰/۸۸۵۶۳۴	۰/۳۹۰۱۸۹	۰/۱۱۲۳۵۸
چارک	۰/۸۷۶۹۵۴	۰/۵۳۲۶۹۷	۰/۴۸۳۵۴۸
جاسک	۰/۸۷۱۵۶۷	۰/۲۳۱۵۹۸	۰/۳۳۲۵۸۹

براساس جدول ۳، نتایج نشان داد که بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی انطباق زیادی وجود داد که مقادیر پایین RMSE و MAE، و بالا بودن مقدار R^2 در تمامی ایستگاه‌ها بیانگر همین انطباق است و نشان می‌دهد که مدل SDSM، در کوچک مقیاس‌سازی داده‌های بارش در مدل IPCC5 توانایی قابل قبولی دارد؛ بنابراین، می‌توان از مدل مذکور برای تولید داده‌های اقلیمی طی دوره‌ی آتی استفاده کرد.

براساس شکل ۳، داده‌های میانگین ماهانه‌ی بارش مشاهداتی دوره‌ی پایه، در مقابل داده‌های آینده‌ی تولید شده‌ی این متغیر تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 ذکر شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان بارش در ایستگاه بندر چارک، در ماه مارس تحت سناریوی RCP4.5 با مقدار ۴۰۹ میلی‌متر و کمترین میزان، در ماه آگوست در داده‌های مشاهداتی با مقدار ۱۴ میلی‌متر است. بیشترین میزان بارش در ایستگاه بستک، در ماه ژانویه تحت سناریوی RCP4.5 و با مقدار ۲۹۰ میلی‌متر و کمترین میزان، در ماه سپتامبر با مقدار ۱۴ میلی‌متر در داده‌های مشاهداتی است. در ایستگاه جزیره‌ی کیش نیز بیشترین میزان بارش در ماه مارس تحت سناریوی RCP4.5 با مقدار ۱۵۴ میلی‌متر و کمترین مقدار، در ماه جولای تحت سناریوی RCP8.5 با مقدار ۹ میلی‌متر بوده‌است. در بندرلنگه، بیشترین میزان در ماه دسامبر تحت سناریوی RCP4.5 با مقدار ۱۹۲ میلی‌متر و کمترین مقدار، در ماه سپتامبر با میزان ۵ میلی‌متر در داده‌های مشاهداتی است. در نهایت در هر ۴ ایستگاه فوق، مقدار بیشینه‌ی بارش تحت سناریوی RCP4.5 تولید شده‌است.

جدول ۴: میانگین بارش سالانه‌ی تحت سناریوهای مدل SDSM

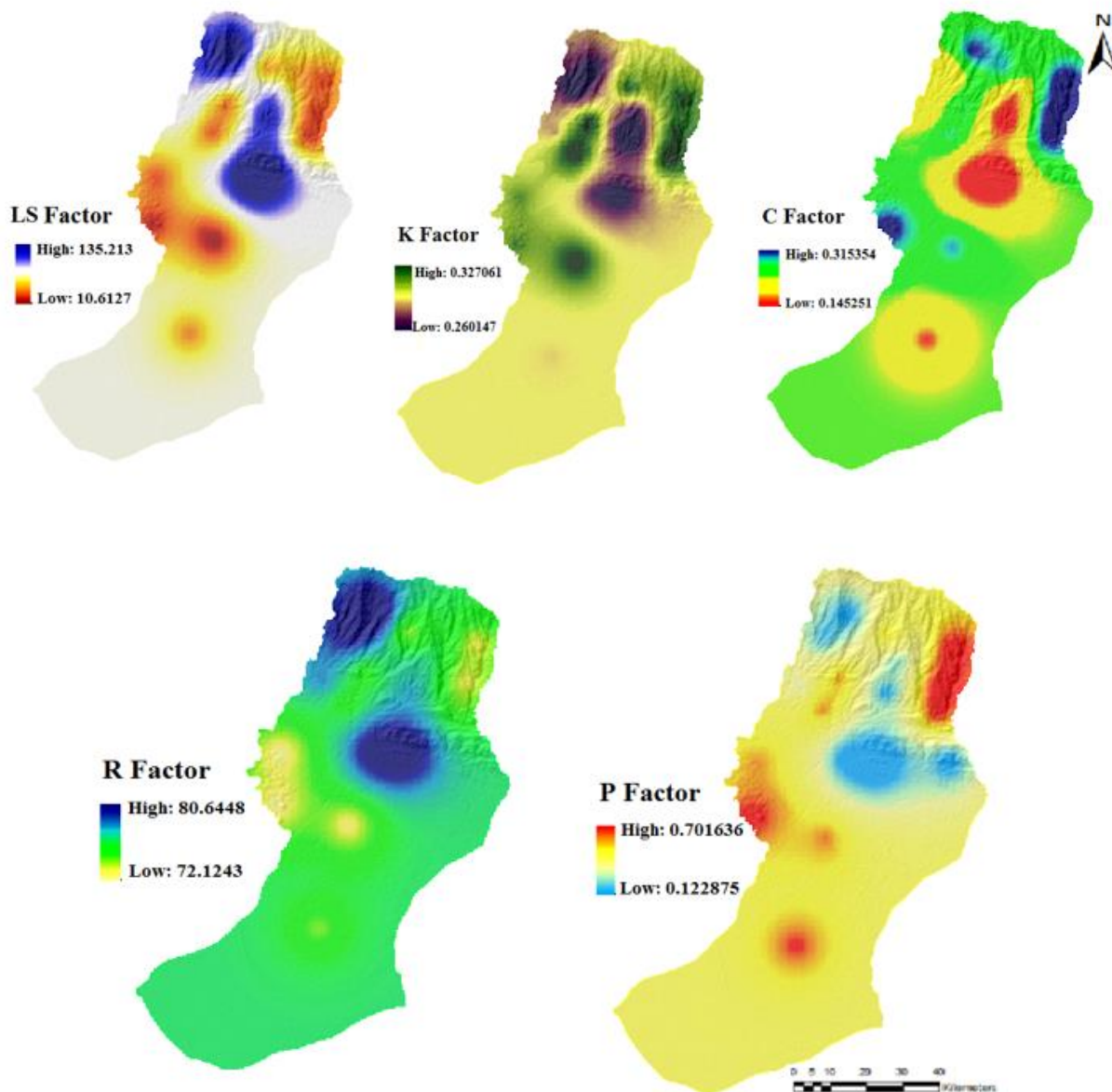
سناریوی RCP8.5		سناریوی RCP4.5		سناریوی RCP2.6		داده‌های	ایستگاه
-۲۰۵۰	-۲۰۳۰	-۲۰۵۰	-۲۰۳۰	-۲۰۵۰	-۲۰۳۰	مشاهداتی	
۲۰۳۱	۲۰۱۶	۲۰۳۱	۲۰۱۶	۲۰۳۱	۲۰۱۶	(۱۹۸۲-۲۰۱۴)	
۷۲	۸۶	۸۳	۱۰۲	۶۸	۹۳	۵۷	بندرلنگه
۵۲	۵۳	۵۷	۵۹	۶۷	۵۸	۵۰	جزیره‌ی کیش
۱۴۹	۱۵۶	۱۸۹	۱۹۲	۱۵۳	۱۷۸	۱۴۶	بندر چارک
۱۲۹	۱۳۳	۱۳۸	۱۶۷	۱۶۲	۱۵۳	۱۱۷	بستک

جدول ۴، میانگین بارش سالانه‌ی داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده را در دو دوره‌ی زمانی آینده ۲۰۱۶-۲۰۳۰ و ۲۰۳۱-۲۰۵۰ تحت سناریوهای مدل SDSM نشان می‌دهد که در ایستگاه بندرلنگه بیشترین میزان بارش، در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۶-۲۰۳۰ با مقدار ۱۰۲ میلی‌متر تحت سناریوی RCP4.5 و در دوره‌ی زمانی ۲۰۳۱-۲۰۵۰ با مقدار ۸۳ میلی‌متر تحت سناریوی RCP4.5 است. در ایستگاه جزیره‌ی کیش نیز بیشترین میزان بارش در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۶-۲۰۳۰ با مقدار ۵۹ میلی‌متر تحت سناریوی RCP4.5 و در دوره‌ی زمانی ۲۰۳۱-۲۰۵۰ با مقدار ۶۷ میلی‌متر تحت سناریوی RCP2.4 است. همچنین در ایستگاه بندر چارک، بیشترین میزان بارش در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۶-۲۰۳۰ با مقدار ۱۹۲ میلی‌متر تحت سناریوی RCP4.5 و در دوره‌ی زمانی ۲۰۳۱-۲۰۵۰ با مقدار ۱۸۹ میلی‌متر تحت سناریوی RCP4.5 است و در ایستگاه بستک نیز بیشترین میزان بارش در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۶-۲۰۳۰ با مقدار ۱۶۷ میلی‌متر تحت سناریوی RCP4.5 و در دوره‌ی زمانی ۲۰۳۱-۲۰۵۰ با مقدار ۱۶۲ میلی‌متر تحت سناریوی RCP2.6 است.

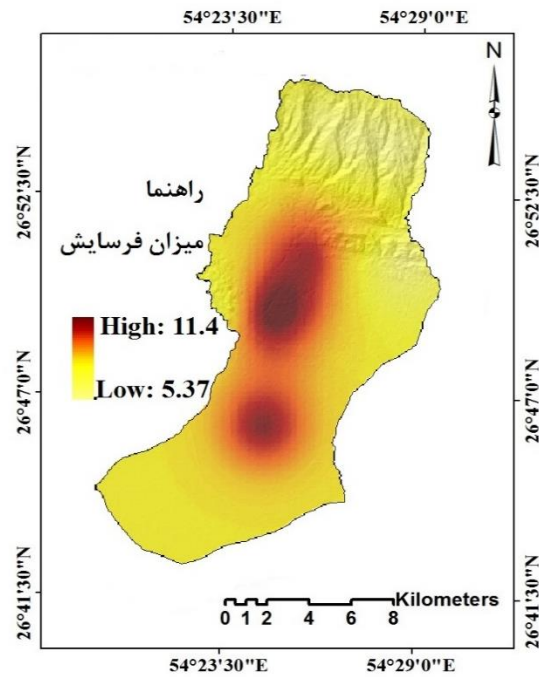
نتایج حاصل از برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل RUSLE

برای تهیه‌ی نقشه‌ی میزان رسوب‌دهی آبخیز کندران، پنج لایه‌ی تولید شده شامل لایه‌های شیب و طول شیب به صورت لایه‌ی ارتفاعی، لایه‌ی فرسایش‌پذیری خاک، حفاظت خاک، پوشش گیاهی و فرساینده‌ی بارش در محیط GIS با یکدیگر ترکیب شد و نقشه‌ی نهایی به دست آمد. شکل شماره ۴، تصویر فاکتورهای تولید شده در روش RUSLE و میزان رسوب‌دهی آبخیز کندران را با توجه به نتایج به دست آمده نشان می‌دهد.

بررسی نقشه‌ی خطر فرسایش خاک نشان داد که مناطق با خطر فرسایش متوسط تا زیاد، عمدتاً در مناطق کم ارتفاع حوضه با پوشش گیاهی فقیر قرار دارد و بخش اعظم حوزه، دارای کلاس فرسایش کم است که عمدتاً در بخش‌های کناری حوضه واقع شده است (شکل ۵). مقادیر فرسایش خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه، ۹/۶۸ رسوب ویژه ۴/۸۴ تن در هکتار در سال و میزان نسبت تحویل رسوب ۰/۳۹ متغیر می‌باشد. طبق گزارش سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (۲۰۱۷)، مقدار رسوب مشاهده‌ای در حوزه آبخیز کندران ۶/۷۸ تن در هکتار در سال است. براساس محاسبه‌ی خطای نسبی، اختلاف رسوب مشاهده شده با مقدار برآورد شده‌ی RUSLE، ۴/۹۱ تن در هکتار در سال است؛ بدین مفهوم که مقدار رسوب برآورد شده، حدود ۲۸/۶ درصد بیش از رسوب مشاهده شده است. بنابراین، تفاوت چندانی بین رسوب مشاهده شده و برآوردی وجود ندارد و می‌توان گفت مدل RUSLE کارایی نسبتاً خوبی دارد.



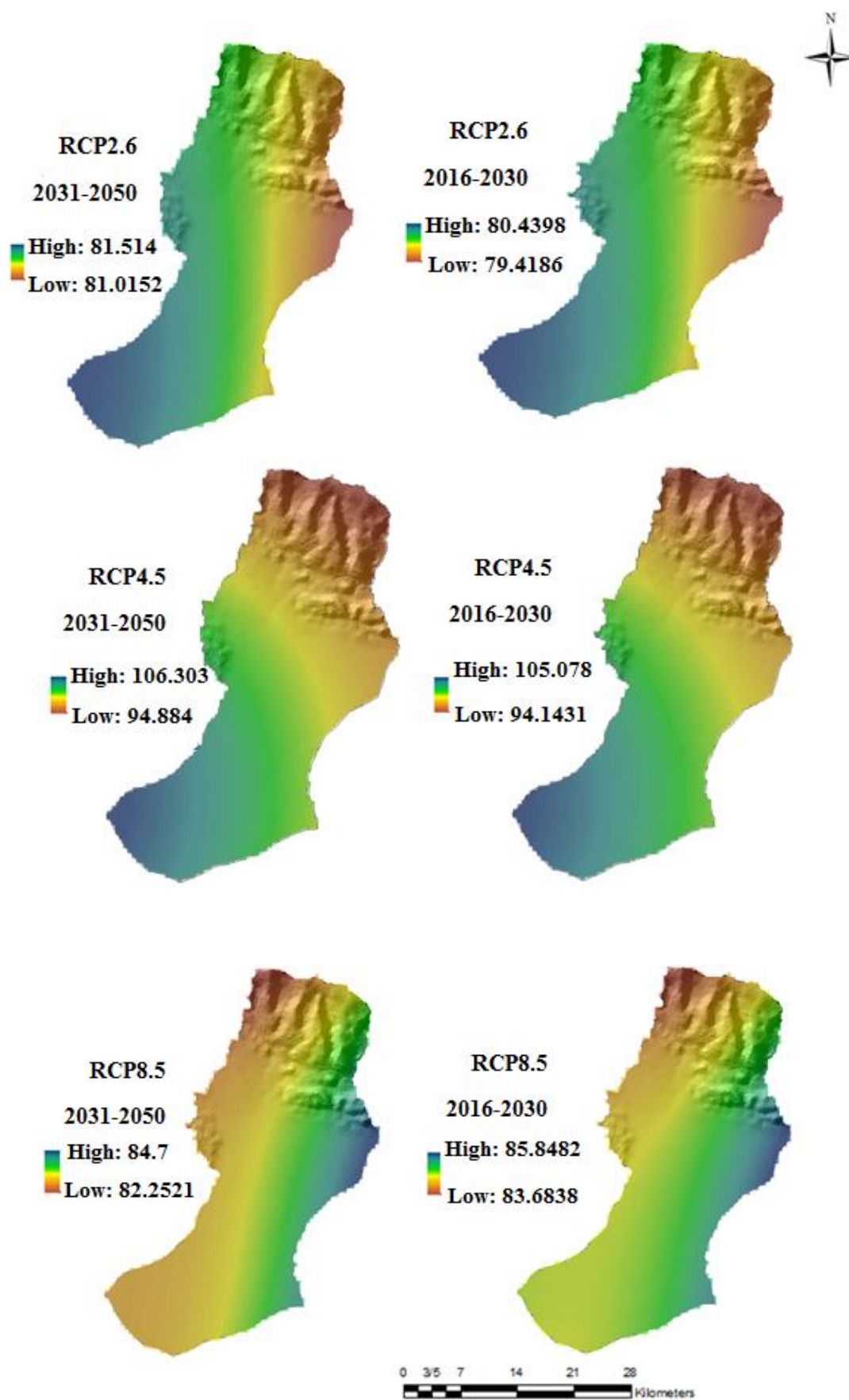
شکل ۴: نقشه‌ی عوامل برآورد رسوب کندران با مدل RUSLE



شکل ۵: نقشه‌ی فرسایش خاک آبخیز کندران در دوره‌ی پایه

برآورد فرساینده‌گی بارش در آینده

عامل فرساینده‌گی بارش تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP6.5، در دو دوره‌ی زمانی ۲۰۱۶-۲۰۳۰ و ۲۰۳۱-۲۰۵۰ تهیه شد (شکل ۶). با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین میزان R در دو دوره‌ی زمانی مورد بررسی در آینده، تحت سناریوی RCP4.5 است که مقدار آن در دوره‌ی اول (۲۰۱۶-۲۰۳۰) بین ۹۴/۱۴ تا ۱۰۵/۰۷ است و در دوره‌ی ۲۰۳۱-۲۰۵۰ از ۹۴/۸۸ تا ۱۰۶/۳ مگاژول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت در سال متغیر خواهد بود. به طور کلی، در آینده شاهد افزایش روند عامل فرساینده‌گی بارش خواهیم بود.



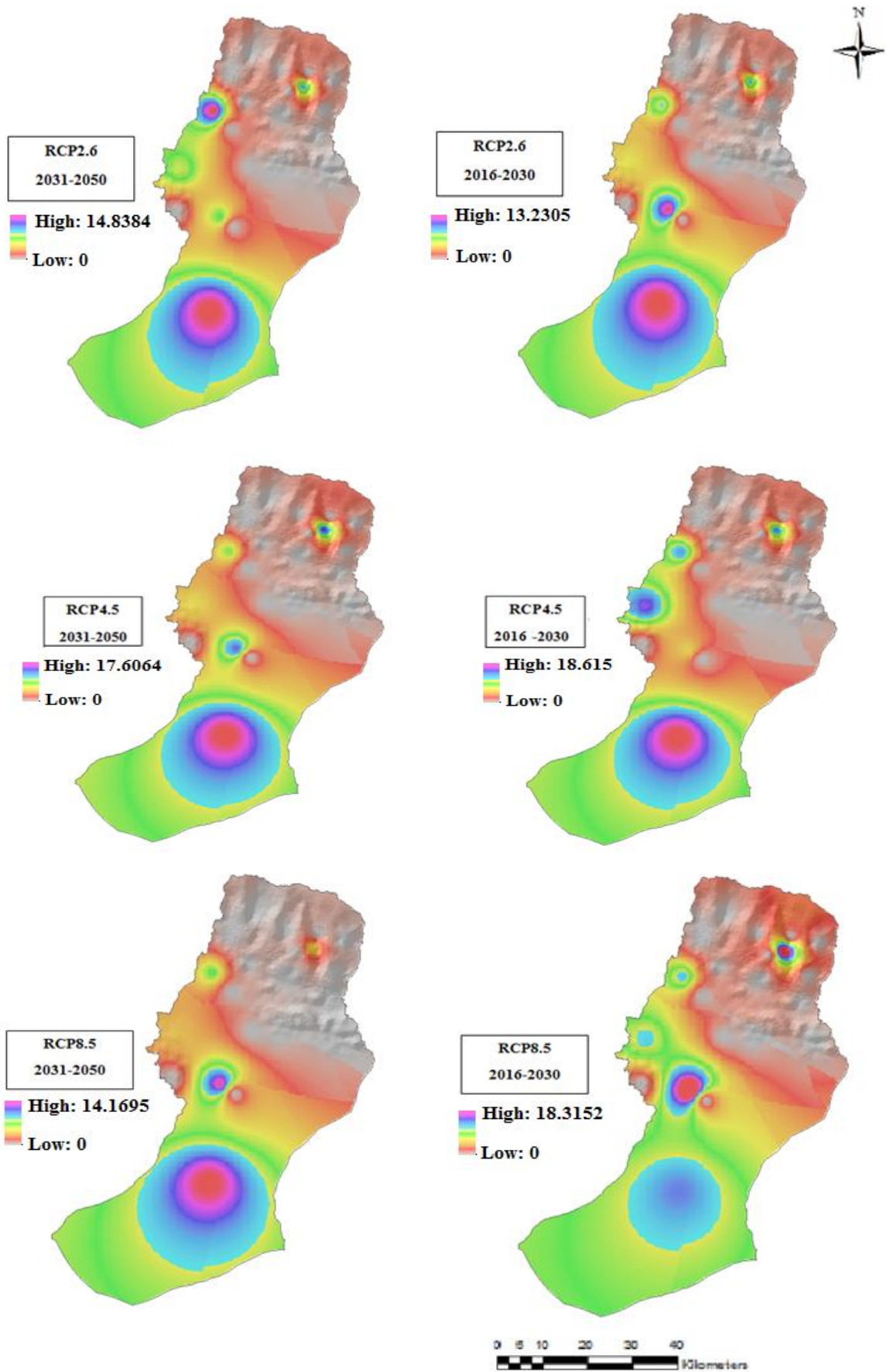
شکل ۶: نقشه‌ی عامل فرساینده‌ی بارش تحت سناریوهای مدل تغییر اقلیم

برآورد فرسایش و رسوب در آینده

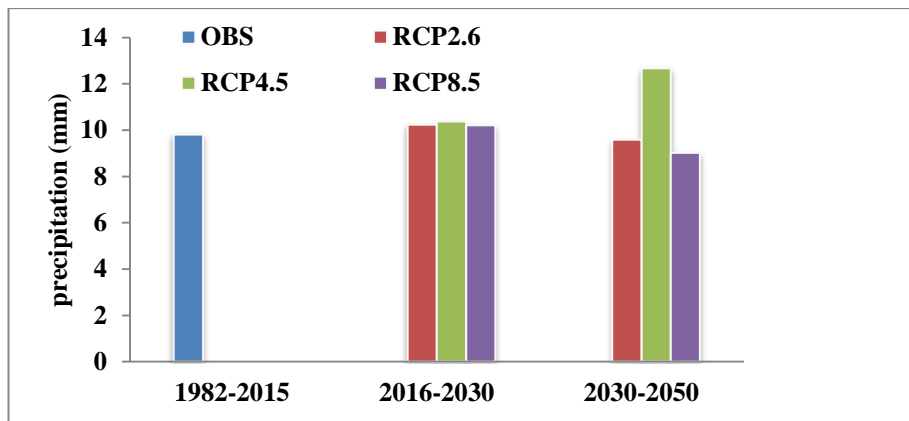
در نهایت، با جای‌گذاری عامل فرساینده‌گی بارش (R-factor) و ثابت در نظر گرفتن سایر عوامل مؤثر در معادله‌ی **RUSLE**، میزان فرسایش خاک در دو دوره‌ی زمانی آینده در سناریوهای مختلف پیش‌بینی و محاسبه شد (شکل ۷). نتایج حاکی از آن است که با توجه به افزایش میزان بارش و به تبع آن افزایش عامل فرساینده‌گی بارش، میزان فرسایش خاک نیز افزایش خواهد یافت. با توجه به جدول ۵، بیشترین میزان فرسایش پیش‌بینی شده در هر دو دوره‌ی زمانی، تحت سناریوی **RCP4.5** بود که مقدار آن در دوره‌ی زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۶، ۱۰/۳۷ تن در هکتار در سال و در دوره‌ی زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۱، ۱۲/۶۷ تن در هکتار در سال محاسبه شد. شکل ۸ نیز روند افزایشی فرسایش خاک را در دوره‌های آینده نشان می‌دهد. با توجه به افزایش فرساینده‌گی بارش در این دوره، میزان فرسایش نیز بالاتر است.

جدول ۵: نتایج حاصل از پیش‌بینی میزان فرسایش و رسوب آبخیز کندهران با استفاده از مدل **RUSLE** تحت سناریوهای مورد استفاده

رسوب ویژه		نسبت تحویل رسوب (SDR)		فرسایش ویژه		
۲۰۳۰-۲۰۵۰	۲۰۱۶-۲۰۳۰	۲۰۳۰-۲۰۵۰	۲۰۱۶-۲۰۳۰	۲۰۳۰-۲۰۵۰	۲۰۱۶-۲۰۳۰	
۷/۵۹	۶/۲۵	۰/۷۳	۰/۳۷	۹/۵۸	۱۰/۲۳	RCP2.6
۸/۹۶	۷/۶۱	۰/۴۸	۰/۵۳	۱۲/۶۷	۱۰/۳۷	RCP4.5
۵/۲۳	۷/۳۳	۰/۴۹	۰/۴۲	۹/۰۲	۱۰/۲۱	RCP8.5



شکل ۷: نقشه‌ی فرسایش پیش‌بینی شده در دو دوره‌ی آینده تحت سناریوهای مختلف SDSM



شکل ۸: نمودار میزان فرسایش ویژه در زمان حال و آینده (۲۰۱۶-۲۰۳۰ و ۲۰۳۱-۲۰۵۰)

۵- بحث و نتیجه‌گیری

هدف این تحقیق، ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر فرسایش و رسوب طی دو دوره‌ی زمانی در آینده است. بر این اساس، فاکتور فرسایش‌نگی بارش طی دوره‌های آینده با استفاده از سه سناریوی گزارش پنجم، برآورد و میزان فرسایش و رسوب با مدل RUSLE محاسبه شد.

پیش‌بینی داده‌های بارش در دو دوره‌ی آینده‌ی نزدیک ۲۰۱۶-۲۰۳۰ و ۲۰۳۱-۲۰۵۰، با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM صورت گرفت. نتایج حاصل شده، حاکی از روند افزایشی بارش در سال‌های آتی است؛ چرا که در هر سه سناریوی RCP2.4، RCP4.5 و RCP8.5، مقادیر بارش بیش از مقادیر مشاهداتی است. Koocheki و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از خروجی‌های مدل GFDL، و Abbasi و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل ECHAM4، کاهش بارش را در جنوب ایران پیش‌بینی کردند؛ در حالی که تحقیقات Nateghi و همکاران (۲۰۱۶)، افزایش بارش در جنوب ایران را گزارش دادند. تحقیق Lelieveld و همکاران (۲۰۱۲) نیز با استفاده از گزارش چهارم و سناریوی A1B، افزایش بارش را در خلیج فارس و خلیج عرب نشان دادند. همچنین Solomon و همکاران (۲۰۰۷)، افزایش ۲۵٪ بارش را تا سال ۲۰۵۰ در مناطق حاره‌ای پیش‌بینی کردند. بنابراین، به نظر می‌رسد در آینده افزایش بارش در این حوضه قابل انتظار است. از طرفی طبق نظر Parry و همکاران (۱۹۹۹)، اختلاف در پیش‌بینی‌های اقلیمی، انواع مدل‌های GCM، ناشی از فرضیات به کار گرفته شده، شیوه‌ی ریزمقیاس‌نمایی و منطقه‌ی مورد مطالعه است که در بسیاری از پژوهش‌ها نیز گزارش شده است.

در پژوهش حاضر بعد از واسنجی و ارزیابی مدل، پارامتر بارندگی توسط مدل SDSM برای دوره‌ی (۱۹۸۲-۲۰۱۵) میلادی توسط داده‌های NCEP در آبخیز کندران شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد مدل NCEP و سناریوها، در برآورد میزان بارندگی کارایی و دقت نسبتاً مناسبی دارند. مدل SDSM، ابزاری است که می‌تواند به تولید داده‌های روزانه‌ی اقلیمی تحت سناریوهای مختلف و براساس نظرات کارشناسی در دوره‌ی حاضر و کارشناسی بوده است. مدل فوق به دلیل سهولت در استفاده و عملکرد سریع، از سوی بسیاری از محققان از جمله Wilby و همکاران (۲۰۰۷)، Tesfay و همکاران (۲۰۱۴) و Zare و همکاران (۲۰۱۶) قابل توجه قرار گرفته است.

نتایج تولید داده‌های اقلیمی مصنوعی NCEPT در مدل SDSM در سناریوهای مختلف نشان داد که هر سه سناریو، افزایش میزان بارندگی را پیش‌بینی می‌کند و در صورتی که روند بارش سالانه ادامه داشته باشد، میزان فرسایش بارش تحت سناریوی هر سه سناریو افزایش خواهد یافت. نتایج این تحقیق با نتایج مطالعات Sang و همکاران (۲۰۱۱) و Zhang و همکاران (۲۰۰۵)، مبنی بر افزایش فرسایش بارش در دوره‌های آتی مطابقت دارد. در واقع، نتایج نشان می‌دهد که میزان تغییرات شاخص فرسایش بارش با میزان بارندگی سالانه مرتبط است. تغییرات مکانی فرسایش بارش در حوزه‌ی آبخیز کندان نشان می‌دهد که در سه سناریوی مورد بررسی، بیشترین میزان فرسایش به مناطق کم ارتفاع بازمی‌گردد. بنابراین، در سال‌های آتی مرز فرسایش بارش تغییر می‌کند و به سمت مناطق کم ارتفاع گرایش می‌یابد؛ به طوری که این مناطق در معرض خطر فرسایش است و این وضعیت برای تمامی نقشه‌های به دست آمده یکسان می‌باشد. نتایج Azimi Sardari و همکاران (۲۰۱۹) نیز حاکی از افزایش فرسایش بارش در حوزه‌ی آبخیز میناب است.

به طور کلی، فرسایش خاک از طریق سه سناریوی RCP2.4، RCP4.5 و RCP8.5 پیش‌بینی شد که نتایج به دست آمده نشان داد در هر سه حالت به واسطه‌ی افزایش میزان بارندگی و در پی آن عامل فرسایش باران، میزان فرسایش نیز افزایش خواهد یافت. Zhang و همکاران (۲۰۰۵) در چین، Mullan و همکاران (۲۰۱۲) در ایرلند و Zare و همکاران (۲۰۱۶) در شمال ایران نشان دادند که به دلیل تغییر در ویژگی‌های بارش تحت تأثیر اقلیم، میزان بارش افزایش می‌یابد و در پی آن، افزایش بارش به افزایش میزان فرسایش و هدررفت خاک منجر می‌شود.

در نهایت، از آن جایی که فاکتور پوشش گیاهی (C-factor) در مدل RUSLE به طور مستقیم تحت تأثیر تغییرات بارش و غیرمستقیم تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرد، پیشنهاد می‌شود با استفاده از ابزارها و روش‌های موجود مانند مدل‌ساز تغییر کاربری اراضی، فاکتور پوشش گیاهی و تغییرات کاربری اراضی (LULCC) در دوره‌های مختلف در آینده پیش‌بینی شود و به عنوان دومین فاکتور پیش‌بینی شده، به مدل وارد و اثرات آن به همراه R-factor در تغییرات فرسایش و رسوب در آبخیز مورد مطالعه بررسی شود. همچنین به دلیل کم بودن مساحت حوزه‌ی آبخیز مورد مطالعه، اثرات تغییر اقلیم بر میزان تغییرات مشهود نیست و از طرفی به دلیل فقدان ایستگاه‌های سینوپتیک یا دور بودن از آن، نتایج فاقد قطعیت است. بنابراین، نتایج این تحقیق به مطالعه‌ی میدانی بیشتری نیاز دارد و باید با احتیاط استفاده شود.

منابع

1. Arora, V. K.; Scinocca, J. F.; Boer, G. J.; Christian, J. R.; Denman, K. L.; Flato, G. M.; Kharin, V. V.; Lee, W. G.; & W. J. Merryfield, 2011. Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases, *Geophysical Research Letters*, 38(5), 1-6.
2. Abbasi, F.; Babaian, A.; Habibi Nokhandan, M.; Goli Mokhtari, L.; Malbousi, S. H.; & S. H. Asgari, 2011. Assessing the impact of climate change on Iran's temperature and precipitation over the coming decades, or the MAGICC-SCENGEN model, *Natural Geography Research*, 5(72), 91-109.

3. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), 2017. Detailed Report of Kondoran Watershed Studies, Hormozgan Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. (In Persian)
4. Asadi, H.; Jafari, M.; Ashrafzadeh, A.; & A. Sharifi, 2018. The prediction of the effect of climate change on the risk of soil erosion in Nawarud watershed, *Soil and Water Protection Research*, 25(2), 235-250. (In Persian)
5. Azimi Sardari, M. R.; Bazrafshan, O.; Panagopoulos, T.; & E. R. Sardooi, 2019. Modeling the impact of climate change and land use change scenarios on soil erosion at the Minab Dam Watershed, *Sustainability*, 11(12), 3353.
6. Azimi Sardari, M. R.; Bazrafshan, O.; Panagopoulos, T.; & E. R. Sardooi, 2018. Estimating the present and future of soil erosion in the watershed of Esteghlal Dam in Minab using RUSLE-3D model and climate change scenarios, *Desert Management*, 7(14), 119-132. (In Persian)
7. Bazrafshan, O., & F. Teimouri., (2018). Comparison of the efficiency the RUSLE and EPM models in estimating soil erosion and sediment yield according to the sediment rating curve (case study: Jask-Gabrik watershed). 12(23), 50-62. (In Persian)
8. Bryan, K., & C. C. Albritton., (1943). Soil phenomena as evidence of climatic changes. *Am. Sci.* 241 (8), 469-490.
9. IPCC, 2013. Climate Change: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, UK and New York, USA.
10. Koocheki, A.; Nassiri Mahallati, M.; & L. Jafari, 2016. Evaluation of Climate Change Effect on Agricultural Production of Iran: I. Predicting the Future Agroclimatic Conditions, *Iranian Field Crops Research*, 4(13), 651-664. (In Persian)
11. Lelieveld, J.; Hadjinicolaou, P.; Kostopoulou, E.; Chenoweth, J.; Maayar, M.; Giannakopoulos, C.; & E. Xoplaki, 2012. Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle East, *Climatic Change*, 114(3-4), 667-687.
12. Mullan, D.; Favis-Mortlock, D.; & R. Fealy, 2012. Addressing key limitations associated with modelling soil erosion under the impacts of future climate change, *Agricultural and Forest Meteorology*, 156, 18-30.
13. Mukundan, R.; Pradhanang, S. M.; Schneiderman, E. M.; Pierson, D. C.; Anandhi, A.; Zion, M. S.; & T. S. Steenhuis, 2013. Suspended sediment source areas and future climate impact on soil erosion and sediment yield in a New York City water supply watershed, USA. *Geomorphology*, 183, 110-119.
14. Mutchler, A., & J. Bowie., (1975). National Engineering Hand book, Section 3, Sedimentation.
15. Nateghi, S.; Nohegar, A.; Ehsani, A.; & O. Bazrafshan, 2016. Coastal desert land use monitoring using change vector analysis technique during 2001 to 2014 (Case study: Qeshm Island), 23(2), 416-404.
16. Nearing, M. A., 2001. Potential changes in rainfall erosivity in the US with climate change during the 21st century. *Journal of Soil and Water Conservation*. 56(3), 229-232.
17. Nearing, M. A.; Pruski, F. F.; & M. R. O'Neal, 2004. Expected climate change impacts on soil erosion rates: a review, *Journal of Soil and Water Conservation*, 59(1), 43-50.
18. Parry, M.; Rosenzweig, C.; Iglesias, A.; Fischer, G.; & M. Livermore, 1999. Climate change and world food security: a new assessment, *Global Environmental Change*, 9, 51-67.

19. Paroissien, J. B.; Darboux, F.; Couturier, A.; Devillers, B.; Mouillot, F.; Raclot, D.; Y. Le Bissonnais, 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), *Environ Manage*, 150, 57-68.
20. Sang, L.; Zhang, C.; Yang, J.; Zhu, D.; & W. Yun, 2011. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model, *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3-4), 938-943.
21. Segura, C.; Sun, G.; McNulty, S.; & Y. Zhang, 2014. Potential impacts of climate change on soil erosion vulnerability across the conterminous United States, *Soil Water Conserv*, 69(2), 171-181.
22. Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M.; & H. L. Miller, 2007. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
23. Tavangar, S. H.; Moradi, H.; Masha-Boani, A. S.; & M. Azari, 2015. Prediction of climate change effect on rainfall erosion on the southern coast of the Caspian Sea, *Engineering and Watershed Management*, 4, 424-414.
24. Tesfay, L.; Wang, W.; Deng, Z.; Hatcher, H.; Miller, L. D.; & S. V. Torti, 2014. IRP2 regulates breast tumor growth, *Cancer research*, 74(2), 497-507.
25. Wilby, R. L.; Dawson, C. W.; Murphy, C.; & P. O. Connor, 2007. Tati tical own caling Mo l – ci ion ntric (SDSM-DC): conceptual basis and applications, *Climate Research*, 61(3), 251-268.
26. Wischmeier, W. H., & D. D. Smith., (1978). Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning.
27. Zare, M.; Nazari, A. A.; Mohammadi, M.; Teimourian, T.; & J. Bazrafshan, 2016. Simulation of soil erosion under the influence of climate change scenarios, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 75, 1405.
28. Zhang, Y.; Tan, Y. W.; Stormer, H. L.; & P. Kim, 2005. Experimental observation of the quantum Hall Effect and Berry's phase in graphene, *Nature*, 438, 48-85.

Prediction of Climate Change Scenarios on Soil Erosion and Sediment Yield in Konoran Catchment

Fatemeh Teimouri: *Ph.D Student in Watershed Management, Natural Resources Department, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Hormozgan, BandarAbbas*

Ommolbanini Bazrafshan¹: *Associate professor, Natural Resources Department, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Hormozgan, BandarAbbas*

Article History (Received: 2020/01/10

Accepted: 2021/01/27)

Extended abstract

1- Introduction

Climate change is a real phenomenon and is the long-term average changes of weather conditions in an area with significant effects on the ecosystem of the region. Given the potential of climate change to increase soil erosion and its associated adverse impacts, modeling future rates of erosion is a fundamental step in its assessment as a potential future environmental problem. Among the increasingly important tools used by resource managers are the climate change scenarios, scenario designs, and other prediction models. These climate scenarios provide resource managers and decision-makers with a plausible representation of future climate to better anticipate potential impacts of climate change. In our case, the prediction models are helpful in assessing the response of soil erosion to future climate change. To provide an effective result for soil erosion hazard assessment and simulation of soil erosion risk in future, remote sensing (RS) and geographical information system (GIS) technologies were adopted and a numerical model was developed using RUSLE method.

2- Methodology

The area selected for carrying out the experiment is Kondoran catchment in Kol-Mehran basin in southern part of Iran. The geographical classification of this selected area is arid and has a warm climate with annual precipitation of 57 mm. This watershed area has a minimum and maximum height of 1 and 1409 m, respectively and belongs to southern Zagros with saldomes and these formations include Ghachsaran, Mishan and Aghajari.

In the following, the soil loss is computed for a basis period (1984-2015) and for two other future periods (2016-2030) and (2031-2050) for each of four sets of downscaled climate data corresponding to two Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) global emissions scenarios (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) each modeled using one GCMs (canESM2).

3- Results

The result of climate change scenarios using SDSM-DC model in Bandare Lenge Station are cited here. By applying RCP2.6 in the first period of stimulated future climate (2015-2030), the precipitation will increase to 126 mm in study area. In the RCP4.5, the precipitation will reduce to 102 mm, and finally, in the third scenario (RCP8.5), precipitation will increase to 86 mm.

The results of first and second simulated periods indicate that the annual precipitation level will rise and will be more than the basis period. The same results were gained in the other three stations (Kish Island, Bandar-e charak and Bastak).

In the following, the rainfall erosivity factor (R factor) was generated under RCP2.6, RCP4.5 and RCP6.5 scenarios in two periods of (2016-2030) and (2031-2050). According to the results, the highest amount of R is in the period (2016-2030) under RCP4.5 scenario, which is between 94.14

¹ Corresponding Author: o.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

and 105.07 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ y⁻¹ and in the period (2030-2050) under the RCP4.5 scenario, which is between 94.88 and 106.3 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ y⁻¹. In general, we will see an increase in the trend of R-factor in the future.

The result depicts that the average annual soil loss will increase from 9.8 (tons ha⁻¹ year⁻¹) in historical period to 10.23 (tons ha⁻¹ year⁻¹) in future decades. Moreover, according to the results the soil erosion in the base period was lower than all scenarios of climate change during 2030 and 2050 and showed that R-factor in the RUSLE model is directly influenced by climate changes.

- Discussion & Conclusions

According to the results gathered, climate change has an important impact on the rainfall erosivity. Soil erosion was simulated during 1984–2015 to 2016–2050 using RUSLE model and SDSM downscaling models. The developed approach addresses the issue of the impact of climate on soil sustainability. It allows for the assessment of both the soil erosion for various land use and climate change scenarios. The results showed that in all of the scenarios precipitation will increase in the future period, so these changes affect the R-factor and consequently erosion of soil.

Key Words: Climate Change, Soil Erosion, Rainfall erosivity, RUSLE Model.