

فرم پیشنهاد طرح پژوهشی

عنوان طرح: شناسایی کانون‌های بحران‌زای اقلیمی (Hotspot) در استان قزوین تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های CMIP6

۱- اطلاعات مربوط به محقق

نام: ابراهیم نام خانوادگی: اسعدی اسکویی محل اشتغال: پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو
رشته تحصیلی: هواشناسی کشاورزی آخرین مدرک تحصیلی: دکتری
شماره تلفن ثابت: ۰۵۱۳۳۸۲۲۲۰۳ شماره تلفن همراه: ۰۹۱۱۳۳۱۲۷۵۷ امضاء محقق

۲- اطلاعات مربوط به طرح

الف) عنوان طرح: شناسایی کانون‌های بحران‌زای اقلیمی (Hotspot) در استان قزوین تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های CMIP6

معادل انگلیسی عنوان طرح:

Identifying Climate Change Hotspots in Qazvin Province Under Climate Change Conditions Using CMIP6 Models

ب) نوع تحقیق: بنیادی ۱ ☐ کاربردی ۲ ☒ توسعه فناوری ۳ ☐

پ) مدت زمان اجرای طرح: ۹ ماه تاریخ شروع: ۱۴۰۴/۰۷/۲۵ تاریخ خاتمه (تقریبی): ۱۴۰۵/۰۴/۲۵

ت) تاریخ پیشنهاد طرح: ۱۴۰۴/۴/۲۵

ث) سازمان متقاضی طرح پژوهشی: اداره کل هواشناسی استان قزوین

ج) پرسش(های) تحقیق (فرضیه های تحقیق):

- کدام نواحی از استان قزوین بیشترین میزان تغییرپذیری اقلیمی را در دهه‌های اخیر تجربه کرده‌اند؟

- با استفاده از روش فاصله اقلیدسی استاندارد (SED)، چه نقاطی در استان قزوین به عنوان کانون‌های اقلیمی بحران‌زا شناسایی می‌شوند؟
 - این کانون‌های بحران‌زا چه تغییراتی را تحت سناریوهای سناریوهای مسیرهای اجتماعی-اقتصادی مشترک (SSPs) نشان خواهند داد؟
 - تحت کدام سناریوی ها SSP (سناریوی میانه و بدبینانه) چه مناطقی بیشترین تغییرات اقلیمی را تجربه خواهند کرد؟
- چ) اهداف طرح:

- شناسایی و تحلیل مکانی-زمانی کانون‌های بحران‌زای اقلیمی استان قزوین در گذشته و آینده،
- محاسبه و تحلیل میانگین و فرین‌های اقلیمی دما و بارش برای استان قزوین در دوره‌های مشاهداتی و آینده تحت سناریوهای SSPs

- تعیین روند و الگوهای زمانی-مکانی تغییرات اقلیمی تحت دو سناریوی میانه و بدبینانه SSP
- شناسایی کانون‌های بحرانی اقلیمی با استفاده از روش‌های تحلیل چندمتغیره مانند فاصله اقلیدسی استاندارد (SED) و تحلیل خوشه‌ای.

- مقایسه جابه‌جایی مکانی و شدت کانون‌های بحران‌زا اقلیمی بین دوره گذشته و آینده.
 - ارائه نقشه‌ها و توصیه‌های مدیریتی برای آمادگی و سازگاری اقلیمی استان قزوین.
- ح) اگر طرح از نوع کاربردی یا توسعه فناوری است کدام بخش‌های جامعه و دستگاه‌های اجرایی از آن بهره‌مند می‌شوند؟
- اداره کل کنترل و مدیریت بحران استانداری قزوین، دفتر امور روستایی استانداری قزوین، اداره کل هواشناسی استان قزوین، اداره کل، جهاد کشاورزی استان قزوین، صندوق بیمه کشاورزی، مرکز آموزش و تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین.

۳- بیان مسئله (تشریح ابعاد، حدود مسئله، معرفی دقیق مسئله، بیان جنبه‌های مجهول و متغیرهای مربوط به پرسش‌ها یا فرضیه‌های تحقیق)

در دهه‌های اخیر، تغییر اقلیم موجب بروز تغییرات در شدت و فراوانی رویدادهای فرین جوی و واقلمی نظیر سیل، خشکسالی، موج گرما و سرمای ناگهانی در مناطق مختلف ایران شده است. این پدیده، تهدید بزرگ‌تری برای کشورهای بیشتر در معرض خطر و آسیب‌پذیر، جوامع و گروه‌های اجتماعی ایجاد می‌کند (Lecoutere et al., 2023). اثرات منفی تغییر اقلیم بر تمام مناطق جهان تأثیر خواهد گذاشت، به ویژه کشورهای خاورمیانه که رشد اقتصادی را بر حفاظت از محیط زیست ترجیح داده‌اند. در عین حال، این تأثیرات توزیع مکانی یکنواختی ندارند و برخی مکان‌ها، به ویژه نقاط بحران‌زای تغییر اقلیم، بیشتر از پیامدهای تغییرات اقلیمی رنج خواهند برد.

شناسایی نقاط بحرانی در شرایط تغییر اقلیم به منظور اتخاذ استراتژی‌های مؤثر کاهش و سازگاری بسیار حیاتی است، زیرا این مناطق به طور خاص در برابر تأثیرات اقلیمی کنونی و آینده آسیب‌پذیر هستند (Sherbinin, 2013, Fab et al., 2021). نقاط بحرانی تغییرات اقلیمی مکان‌هایی هستند که تغییرات قابل توجهی در متغیرهای اقلیمی، مانند دما و بارش، را تجربه می‌کنند و اغلب با افزایش خطرات برای امنیت انسانی، اکوسیستم‌ها و زیرساخت‌ها همراه هستند (Sherbinin, 2013).

^۱ The Standard Euclidean Distance

^۲ Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)

چندین روش برای شناسایی نقاط داغ تغییرات اقلیمی وجود دارد، هر کدام با نقاط قوت و محدودیت‌های خود یک رویکرد رایج شامل محاسبه تغییرات یکپارچه در میانگین‌های بارش و دما، تغییرات بین‌سالی، و فرین‌ها تحت سناریوهای آتی اقلیمی (سطوح مختلف گرمایش آینده) و یک دوره پایه است (Fan et al., 2021). مطالعات قبلی روش‌های دقیقی برای شناسایی نقاط بحران زای تغییر اقلیم، به ویژه در شرایط اقلیمی فرین، توسعه داده‌اند. نمونه‌ها شامل پژوهش‌هایی در مورد نقاط بحران زای بارش فرین (Xu et al 2021a)، نقاط بحران زای اقلیمی فرین (Xu et al 2019)، و رویکردهای پیشنهادی Diffenbaugh and Giorgi(2012) می‌باشد. فاصله اقلیدسی استاندارد^۴ (SED) اغلب برای کمی‌سازی این تغییرات یکپارچه استفاده می‌شود، که امکان شناسایی نواحی با تغییرات اقلیمی بارزتر را فراهم می‌کند (Du et al., 2025). به عنوان مثال، یک مطالعه با استفاده از مجموعه مدل اقلیمی CMIP6 اقدام به شناسایی نقاط بحرانی در آمزون و آفریقای مرکزی و غربی نمود (Fan et al., 2021). در پژوهش‌های دیگر با تمرکز بر تغییر اقلیم و با در نظر گرفتن تفاوت‌های آماری بارش و دما بین دوره‌های زمانی مختلف، نقاط داغ (بحرانی) شناسایی شده است (Turco et al., 2015). در سایر پژوهش‌ها نیز با بررسی‌های انجام شده، مناطقی مانند آمزون، ساحل، غرب آفریقا حاره ای، اندونزی و آسیای مرکزی شرقی به عنوان نقاط داغ اصلی شناسایی شده‌اند (Turco et al., 2015).

شاخص‌های مختلفی می‌توانند برای شناسایی نقاط داغ تغییرات اقلیمی استفاده شوند. به عنوان مثال، شاخص داغی مبتنی بر دما^۵ (THIn) می‌تواند برای دسته‌بندی مناطق بر اساس حساسیت آن‌ها به تغییرات دما استفاده شود (Sarkar & Maity, 2024). با توجه به اینکه فرین‌های دما و بارش اغلب تأثیرات بیشتری بر روی انسان‌ها و اکوسیستم‌ها دارند، شاخص جدید نقاط داغ تغییرات اقلیمی مدیرانه‌ای^۶ (Med-HIS) که با تمرکز بر فرین‌های اقلیمی است ارائه شده است. (Lazoglou et al., 2024). در برخی مطالعات از روش چند مدلی و سناریوهای انتشار متفاوت به منظور شناسایی نقاط بحرانی برای دوره‌های آتی استفاده شده است مانند شناسایی نقاط داغ در چین با استفاده از مدل‌های CMIP5 تحت سناریوهای RCP (Gu et al., 2014).

شناسایی نقاط داغ تغییرات اقلیمی در مقیاس‌های مکانی مختلف از جهانی تا منطقه‌ای و محلی انجام شده است. مطالعات جهانی اغلب از مدل‌های اقلیمی با قدرت تفکیک مکانی پایین برای شناسایی الگوهای کلی تغییر اقلیم استفاده می‌کنند، در حالی که مطالعات منطقه‌ای و محلی از داده‌های با وضوح بالا (قدرت تفکیک مکانی بالاتر) برای شناسایی مناطق خاصی که بیشتر در معرض آسیب ناشی از گرمایش جهانی هستند، استفاده کرده‌اند (Sotoudeheian et al., 2022). به عنوان مثال، مدل‌های اقلیمی با وضوح بالا برای شناسایی نقاط بحران زای اقلیمی در کشورهایی مانند رومانی (Cheval et al., 2020)، هند (Sarkar & Maity, 2024)، ترکیه (An et al., 2025) بکار رفته‌اند. منطقه‌هایی مانند فلات تبت، مغولستان و شبه‌جزیره عربی به دلیل واکنش‌های سریع به گرمایش به عنوان نقاط بحران زای اقلیمی پایدار ظاهر شده‌اند (Du et al., 2025). (Du et al., 2025) در نظر گرفتن ابعاد اجتماعی-اقتصادی نقاط بحران زای اقلیمی تحت شرایط تغییر اقلیم، اقدام به ترسیم نقشه‌های مرتبط با نقاط بحران زای مرتبط با نابرابری اقلیمی-کشاورزی-جنسیتی نمود که به شناسایی مکان‌هایی منجر شد که زنان در سیستم‌های کشاورزی-غذایی در بالاترین خطر اقلیمی قرار دارند (Lecoutere et al., 2023). برای ایران نیز پژوهش‌هایی با تمرکز شناسایی نقاط بحران زای اقلیمی با تأکید بر بارش‌های سنگین انجام شده است (میرموسوی و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج بررسی‌ها نشان داده است که ایران و به ویژه مناطق مرکزی (شامل قزوین) با افزایش دما و کاهش بارش مواجه خواهند شد (Vaghefi et al., 2019; Mohammadi et al., 2024). Sotoudeheian et al., 2022. نشان دادند تغییر اقلیم، غرب و جنوب ایران را در آینده نزدیک و تحت سناریوی RCP4.5 بیشتر متاثر خواهد کرد. بررسی نوسانات فصلی نشان داد تابستان و پاییز جزو فصل‌های هدف برای نقاط بحران زای اقلیمی در آینده نزدیک هستند. در پژوهشی دیگر، کوهی و اسعدی اسکویی (۱۴۰۳) به

^۴ The Standard Euclidean Distance

^۵ the Temperature-based Hotspot Index

^۶ TheMediterranean climate change hotspot index

شناسایی و تحلیل مخاطرات دمایی استان قزوین با استفاده از داده‌های ERA5-Land و شاخص‌های اقلیمی مانند روزهای یخبندان، شب‌های حاره‌ای و طول دوره‌های گرما پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که نواحی مرکزی استان، شامل مناطق شهری پرجمعیت مانند قزوین و تاکستان، دارای بیشترین هم‌پوشانی مخاطرات دمایی هستند و به‌عنوان نقاط داغ اقلیمی (hotspots) شناسایی شدند. پژوهش دیگری در حوزه کشاورزی استان قزوین نشان داد که تغییرات اقلیمی از جمله افزایش دما و کاهش بارش تأثیر منفی مستقیم بر عملکرد محصولات زراعی مانند گندم، جو، ذرت و کلزا داشته است. (تحلیل اقتصادی اقلیم و کشاورزی دشت قزوین، ۱۳۹۹، مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی).

استان قزوین، با ویژگی‌های توپوگرافی متنوع و اقلیم نیمه‌خشک، به طور خاص، در معرض مخاطرات جوی و اقلیمی قرار دارد. وجود دشت‌های حاصلخیز، مراکز صنعتی و منابع طبیعی حساس در این استان، لزوم پایش و پیش‌نگری رفتارهای اقلیمی و جوی را دوچندان کرده است. مطالعات پهنه‌بندی اقلیمی نشان داده است که شرایط اقلیمی استان قزوین به‌شدت متنوع است و از مناطق خشک جنوبی (مانند بوئین‌زهرا) تا نواحی نیمه‌مرطوب شمالی (الموت) دارای تفاوت‌های آشکار در روزهای یخبندان، بارش و ساعات آفتابی است (اصغری سرسکانرود و همکاران، ۱۳۹۸). این یافته‌ها به‌طور کلی بر لزوم تدوین برنامه‌های سازگاری اقلیمی، اصلاح الگوی کشت و مدیریت بهینه منابع آب در استان قزوین تأکید دارند. در شرایط فعلی، نبود تحلیل‌های چندمتغیره مکانی-زمانی که هم رفتار گذشته و هم پیش‌نگری‌های آینده را پوشش دهند، باعث شده است شناخت دقیقی از نقاط بحرانی اقلیمی این استان وجود نداشته باشد. بنابراین، شناسایی دقیق کانون‌های بحران‌زای اقلیمی، به‌ویژه با استفاده از داده‌های آینده‌نگر، ضرورتی انکارناپذیر برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی‌های آتی در زمینه سازگاری با تغییر اقلیم محسوب می‌شود. شناسایی نواحی بحرانی یا به‌اصطلاح Hotspotهای اقلیمی می‌تواند پایه‌ای برای مدیریت منابع، سازگاری با تغییر اقلیم، و کاهش آسیب‌پذیری منطقه باشد. بررسی پیشینه تحقیق در راستای پیش‌نگری‌های آینده نشان داده است استان قزوین به دلیل قرارگیری در منطقه مرکزی ایران، احتمالاً با افزایش دما، کاهش بارش و تشدید خشکسالی مواجه خواهد شد که تهدیدی برای کشاورزی و منابع آب منطقه است. گرچه تا کنون پژوهش‌هایی با هدف شناسایی نقاط بحران‌زای تغییر اقلیم در ایران انجام شده است، اما تحت سناریوهای جدید گزارش ششم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم یعنی سناریوهای SSP تا کنون پژوهشی در رابطه با شناسایی نقاط بحران‌زای اقلیمی بویژه برای استان قزوین انجام نشده است. لذا انجام این پژوهش با توجه به حساسیت بخش‌های مختلف (کشاورزی، صنعتی و ...) این استان نسبت به تغییر اقلیم ضروری می‌باشد. این شناسایی‌ها نقشه راهی برای تدوین راهبردهای سازگاری اقلیمی در سطح استان فراهم می‌کنند.

۴- روش تحقیق (روش اجرای طرح)

مراحل پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

۱- داده‌های مشاهداتی و مدل

داده‌های مشاهداتی از ایستگاه‌های هواشناسی اداره کل هواشناسی استان قزوین و همچنین داده‌های شبکه‌ای روزانه دما و بارش تهیه شده در پژوهشکده اقلیم‌شناسی و تغییر اقلیم و همچنین داده‌های بازتحلیل دما و بارش ERA5-land خواهد بود. برای داده‌های آینده از مدل‌های اقلیمی CMIP6 استفاده می‌شود. اولین گام، انتخاب مدل‌های CMIP6 است که عملکرد خوبی در ایران، به‌ویژه برای استان قزوین، دارند. چندین مطالعه عملکرد مدل‌های CMIP6 برای ایران را ارزیابی کرده‌اند، و درباره دقت این مدل‌ها در شبیه‌سازی دما و بارش نتایجی را ارائه داده‌اند در کل نتایج نشان داده است که مدل‌های NorESM2-MM، AWI-ESM-1-1-LR، MPI-ESM1-2-LR و برای بارش و INM-CM4-8، TaiESM1، MPI-ESM1-2-LR و IITM-ESM برای دما بهترین عملکرد را داشته‌اند. بر اساس نتایج این پژوهش‌ها، چند مدل به منظور پیش‌نگری‌های اقلیمی بکار خواهند رفت. این امر (چند مدلی) به منظور کاهش عدم قطعیت استفاده خواهد شد، که با بهترین شیوه‌ها و توصیه‌های IPCC در مدل‌سازی اقلیمی هم‌راستا است.

۲-۱- سناریوها و دوره‌های آماری داده‌های شبکه ای دما و بارش روزانه

در این مطالعه از سناریوهای مسیرهای اجتماعی-اقتصادی مشترک (SSPs) برای پیش‌نگری‌های آینده دما و بارش و مقادیر فرین استفاده خواهد شد. از بین سناریوهای موجود SSP1-2.6 (سناریوی خوشبینانه- انتشارات کم)، سناریوی SSP2-4.5 (سناریوی میانه) و سناریوی بدبینانه یا SSP5-8.5 (انتشارات بالا)، که طیف گسترده‌ای از آینده‌های محتمل اقلیمی را پوشش می‌دهد انتخاب شده است. دوره‌های آماری شامل:

- پایه تاریخی (پایه): ۱۹۹۰-۲۰۱۴ (بسته به دوره آماری ایستگاه‌های هواشناسی موجود در سطح استان قزوین)
- آینده نزدیک: ۲۰۲۶-۲۰۵۵
- آینده دور: ۲۰۵۶-۲۰۸۵

این دوره‌ها امکان مقایسه با مشاهدات تاریخی و پیش‌نگری تغییرات آینده را فراهم می‌کنند، که با توصیه‌های IPCC سازگار است.

۳-۱- جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌ها و تصحیح خطا

داده‌های مدل‌های CMIP6 داده‌های بارش و دما از مدل‌های انتخاب‌شده برای دوره‌های تاریخی (۱۹۹۰-۲۰۱۴) و آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۵۱-۲۰۸۰) تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5، و SSP5-8.5 استخراج می‌شوند. کوچک‌سازی مقیاس و تصحیح خطا: داده‌ها با استفاده از درون‌یابی دوخطی ریزمقیاس شده و با روش نگاشت چندک^۷ (QM) تصحیح خطا می‌شوند. داده‌های مشاهده‌ای از ایستگاه‌های هواشناسی قزوین یا داده‌های شبکه‌ای دما و بارش روزانه تهیه شده در پژوهشکده اقلیم شناسی و تغییر اقلیم یا داده‌های بازتحلیل ERA5-land^۸ برای تصحیح اریبی استفاده می‌شوند.

۲- تحلیل زمانی و مکانی

استان قزوین در سطح سلول‌های شبکه‌ای یا تقسیمات اداری (مثلاً شهرستان‌ها) برای جزئیات مکانی تحلیل خواهد شد. از نظر زمانی، سال به فصل‌ها تقسیم می‌شود، علاوه بر تغییرات سالانه دو فصل زمستان و تابستان هم بررسی می‌شود. زمستان (کلیدی برای بارش، تأثیر بر دسترسی به آب) و تابستان (حیاتی برای دماهای فرین، تأثیر بر کشاورزی و سلامت). این تمرکز فصلی با اقلیم قزوین، که در آن بارش زمستانی حیاتی است و موج‌های گرمایی تابستانی ریسک بالایی دارند، هم‌راستا است.

۳- تعریف شاخص تغییر اقلیم (Climate Change Index)

شاخص تغییر اقلیم (CCI)، با در نظر گرفتن تغییرات بارش و دما، توسعه می‌یابد، که آسیب‌پذیری منطقه را منعکس می‌کند. متغیرها شامل موارد زیر هستند:

- تغییر در میانگین بارش سالانه
- تغییر در میانگین دمای سالانه
- تغییر به عنوان مثال در تعداد روزهای خشک (بارش زیر آستانه، مثلاً ۱ میلی‌متر)
- تغییر در تعداد روزهای گرم (دما بالای آستانه، مثلاً ۳۵ درجه سانتی‌گراد)

۳- محاسبه شاخص CCI

شاخص CCI بر اساس فاصله اقلیدسی استاندارد (Standard Euclidean Distance - SED) محاسبه می‌شود که تغییرات متغیرهای اقلیمی کلیدی را نسبت به دوره تاریخی نشان می‌کند. در ادامه، مراحل محاسبه CCI به صورت گام‌به‌گام شرح داده می‌شود.

۳-۱- انتخاب متغیرهای اقلیمی

بر اساس روش پیشنهادی، چهار متغیر اقلیمی کلیدی برای محاسبه CCI در نظر گرفته می‌شوند که برای اقلیم نیمه‌خشک قزوین مناسب هستند:

^۷ Quantile Mapping

^۸ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) latest fifth-generation reanalysis

- تغییر در میانگین بارش سالانه (ΔP_{mean}): تفاوت میانگین بارش سالانه بین دوره آینده (مثلاً ۲۰۲۱-۲۰۵۰ یا ۲۰۵۱-۲۰۸۰) و دوره تاریخی.

- تغییر در میانگین دمای سالانه (ΔT_{mean}): تفاوت میانگین دمای سالانه بین دوره‌های آینده و تاریخی.
- تغییر در تعداد روزهای خشک (ΔD_{dry}): تفاوت تعداد روزهایی با بارش کمتر از ۱ میلی‌متر در سال.
- تغییر در تعداد روزهای گرم (ΔD_{hot}): تفاوت تعداد روزهایی با دمای بیش از ۳۵ درجه سانتی‌گراد در سال.

این شاخص‌ها به دلیل تأثیرات قابل توجهشان بر منابع آبی، کشاورزی، و سلامت در قزوین انتخاب شده‌اند.

۳-۲- محاسبه تغییرات:

برای هر متغیر، تفاوت بین دوره آینده و تاریخی محاسبه می‌شود که در آن X_i نشان‌دهنده هر یک از متغیرها (بارش، دما، روزهای خشک، روزهای گرم) است.

$$\Delta X_i = X_{i,\text{future}} - X_{i,\text{historical}} \quad (1)$$

۳-۳- نرمال سازی متغیرها

با توجه به متفاوت بودن واحدها و مقیاس‌های متغیرهای منتخب، به منظور امکان مقایسه و مقایسه پذیری تغییرات متغیرها (ΔX_i) باید نرمال شوند که از رابطه زیر انجام می‌شود یا بر پایه مقدار بیشینه همان متغیر (به منظور مقایسه نسبی در کل منطقه):

$$\Delta x_{i,\text{norm}} = \frac{\Delta x_i - \mu_i}{\sigma_i}$$

(۲)

μ_i : میانگین تغییرات متغیر i در تمام نقاط شبکه‌ای قزوین

σ_i : انحراف معیار تغییرات متغیر i در تمام نقاط شبکه‌ای

۵- محاسبه فاصله اقلیدسی استاندارد (SED)

$$SED = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta x_{i,\text{norm}})^2}$$

(۳)

که در آن $\Delta x_{i,\text{norm}}$ تغییر هر متغیر (مثلاً بارش، دما) بین دوره‌های تاریخی و آینده است، و n تعداد متغیرها (اینجا ۴) است.

شاخص CCI بر اساس فاصله اقلیدسی استاندارد محاسبه می‌شود که تغییرات نرمال شده متغیرها را ترکیب می‌کند:

$$CCI = \frac{SED - SED_{\min}}{SED_{\max} - SED_{\min}}$$

(۴)

که در آن:

$SED_{\min}$ کمینه SED در تمام نقاط شبکه‌ای قزوین.

$SED_{\max}$ بیشینه SED در تمام نقاط شبکه‌ای قزوین.

بر اساس مقدار CCI، مقدار CCI نوساناتی بین ۰ (تغییرات اقلیمی کم) و ۱ (تغییرات اقلیمی شدید) خواهد داشت، که مناطق با CCI بالا به عنوان کانون‌های بحران‌زای اقلیمی شناسایی می‌شوند.

۴- توزیع و تحلیل مکانی و ترسیم نقشه

با استفاده از ابزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به طور خاص، بسته‌های نرم افزاری تحلیل مکانی مانند Raster و Terra در محیط R، مقادیر CCI برای هر نقطه شبکه‌ای یا تقسیمات اداری (مثلاً شهرستان‌های قزوین) محاسبه و ترسیم می‌شوند.

مناطق با CCI بالا (مثلاً $CCL > 0.7$) به عنوان کانون‌های بحران‌زای اقلیمی علامت‌گذاری می‌شوند.

نقشه‌ها برای سناریوها و دوره مد نظر مثلاً SSP5-8.5 در ۲۰۵۱-۲۰۸۰ ترسیم و تغییرات در شدت و توزیع کانون‌ها بررسی شود.

۵- روش ردیاب ژئوبی (GDM)

برای تحلیل سهم متغیرهای اقلیمی در تغییرات توزیع نقاط بحران‌زای اقلیمی از روش ردیاب ژئوبی (GDM) استفاده می‌شود تا ناهمگونی فضایی هر عامل را نسبت به توزیع SED کمی‌سازی شود. از این روش آماری نوین و توانمند به منظور برای شناسایی عوامل مؤثر بر پراکندگی مکانی یک پدیده است. این روش برای تحلیل داده‌های مکانی-زمانی بسیار مناسب است، به‌ویژه در مطالعات اقلیم، آسیب‌پذیری، و تغییرات محیطی.

۶- شناسایی کانون‌ها و اعتبارسنجی

به منظور اطمینان از صحت شاخص تغییر اقلیم (CCI) می‌توان مقادیر CCI با داده‌های تاریخی (مانند رویدادهای خشکسالی یا موج‌های گرما در قزوین) و یا با نتایج مطالعات مشابه مقایسه شوند. نقشه‌های CCI با استفاده از ابزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تولید می‌شوند، و مناطقی با بالاترین مقادیر به‌عنوان کانون‌های بحران‌زای اقلیمی مشخص می‌کنند. اعتبارسنجی شامل مقایسه نتایج با اثرات ناشی از پدیده‌های اقلیمی تاریخی (مثلاً موج‌های گرما) و مطالعات موجود در مورد تغییر اقلیم در ایران می‌باشد.

در کل نتایج عمده مورد انتظار از این پژوهش شامل شناسایی مناطق خاصی در استان قزوین را به‌عنوان کانون‌های بحران‌زای اقلیمی، بر اساس تغییرات بارش، دما و رویدادهای فرین، ارایه نقشه‌های دقیق CCI و تعیین مناطق هدف برای سازگاری و کمک به سیاست‌گذاری برای تاب‌آوری اقلیمی خواهد بود.

محدودیت‌های این پژوهش شامل عدم قطعیت‌هایی به دلیل تنوع مدل‌ها و دسترسی به داده‌های ایستگاهی (محدود بودن ایستگاه‌های هواشناسی با دوره آماری طولانی)، داده‌های مرتبط با شاخص آسیب‌پذیری است که ممکن است بر نتایج مؤثر باشند. استفاده از چندین مدل و تصحیح خطا برخی از این عدم قطعیت‌ها را کاهش می‌دهد.



شکل ۱- روند نمای پژوهش

۵- مهمترین منابع و مأخذی که از آنها استفاده می شود (استناد به روش APA)

- کوهی، منصوره و اسعدی اسکویی، ابراهیم. (۱۴۰۳). شناخت الگوهای مکانی مخاطرات دمایی استان قزوین. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۲۸۰-۳۰۹، ۱۳(۳). doi: 10.22067/geoh.2023.83713.1401
- Eyring, V., et al. (2016). *Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization*. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937-1958. DOI: [10.5194/gmd-9-1937-2016](https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016)

- Giorgi, F. (2006). *Climate change hot-spots*. Geophysical Research Letters, 33(8). DOI: [10.1029/2006GL025779](https://doi.org/10.1029/2006GL025779)
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Maity, R., et al. (2019). *Copula-based bias correction method for non-stationary climate change scenarios*. Journal of Hydrology, 578, 124055. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2019.124055](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124055)
- O'Neill, B. C., et al. (2016). *The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6*. Geoscientific Model Development, 9(9), 3461-3482. DOI: [10.5194/gmd-9-3461-2016](https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016)
- Du, Z., Han, X., Ji, F., Xu, Z., Guan, X., & Huang, J. (2025). Observed evolution of global climate change hotspots. *Environmental Research Letters*, 20(7), 074031.
- Sarkar, S., Maity, S. S., & Maity, R. (2023). Precipitation-based climate change hotspots across India through a multi-model assessment from CMIP6. *Journal of Hydrology*, 623, 129805.
- Azad, N., Ahmadi, A. Assessment of CMIP6 models and multi-model averaging for temperature and precipitation over Iran. *Sci Rep* 14, 24165 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74789-4>
- Sotoudeheian, S., Jalilvand, E., & Kermanshah, A. (2022). Using high-resolution climate models to identify climate change hotspots in the Middle East: a case study of Iran. *Climate*, 10(11), 161.
- Vaghefi, S.A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F. et al. The future of extreme climate in Iran. *Sci Rep* 9, 1464 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38071-8>
- Mohammadi, M., & Khoorani, A. (2024). Spatiotemporal changes and hot spots of UHCI index over Iran. *Urban Climate*, 56, 102031.

۶-برآورد هزینه اجرای طرح (آنالیز هزینه ها)

ردیف	عنوان هزینه	شرح فعالیت یا ابزار	مبلغ (ریال)
۱	نیروی انسانی	پژوهشگر + مشاور + کارشناس پژوهشی (برای ۱۲ ماه)	۱,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
۲	داده‌های هواشناسی	تهیه و انجام کنترل کیفی و همگنی داده‌های روزانه دما، بارش، تبخیر برای ۳۰ سال از ۵-۱۰ ایستگاه استان قزوین (از سازمان هواشناسی) + سایر داده‌های کمکی از سازمان‌های مربوطه	۲۰۰,۰۰۰,۰۰۰
۳	مدل‌های اقلیمی (CMIP6)	دانلود و پردازش داده‌های خام و اخذ سناریوهای SSP برای دوره‌های آینده (۲۰۳۰، ۲۰۵۰، ۲۱۰۰) + اصلاح اریبی + اینترنت	۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰
۴	ریز مقیاس گردانی داده‌ها	پیاده‌سازی ریز مقیاس گردانی (Downscaling) با استفاده از روش‌های آماری (مثلاً SDSM یا BCSD) + سرور پردازش	۲۰۰,۰۰۰,۰۰۰
۵	تحلیل فضایی و GIS	تحلیل Hotspot، ترسیم نقشه‌های CCI با ArcGIS/ QGIS	۲۰۰,۰۰۰,۰۰۰
۶	ابزار و نرم‌افزارها	مجوز یا نصب ابزارهای لازم (Python Env, ArcGIS Pro, MATLAB, SDSM) + فضای ابری	۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰
۷	بازدید میدانی و اعتبارسنجی	سفر میدانی به مناطق بحرانی استان قزوین + عکس‌برداری میدانی و GPS	۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰

۸	تدوین نهایی و انتشار	نگارش گزارش نهایی، چاپ ۳ نسخه گزارش، طراحی گرافیکی نقشه‌های رنگی و تهیه مقاله علمی	۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰
۹	هزینه‌های پشتیبانی و غیرمستقیم	سربار دانشگاهی، بیمه، حمل و نقل، تجهیزات جانبی و غیره (۱۰٪)	۳۰۰,۰۰۰,۰۰۰
	جمع کل		۲,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰

۷- برآورد زمان انجام طرح

ردیف	فعالیت‌ها یا مراحل کار	ماه‌های سال											
		مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مهر	آبان
۱	تدوین مبانی نظری و پیشینه پژوهش												
۲	جمع آوری داده‌ها												
۳	تحلیل داده‌ها												
۴	تدوین گزارش مربوط به یافته‌های پژوهشی												
۵	تدوین گزارش مربوط به نتیجه‌گیری												
۶	جمع‌بندی و ویرایش کل گزارش پژوهشی												
۷	تدوین مقاله												

۸- همکاران محقق

ردیف	حیطه مسئولیت در طرح پژوهشی	نام و نام خانوادگی	محل اشتغال	رشته تحصیلی	امضاء
۱	همکار طرح	منصوره کوهی	پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو- پژوهشکده اقلیم‌شناسی و تغییر اقلیم	هواشناسی کشاورزی	

۲	همکار طرح	مهدی رهنما	پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو	دکتری - سنجش از دور
۳	همکار طرح	ابراهیم فتاحی	پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو	دکتری - هواشناسی کشاورزی
۴	همکار طرح	منصوره کوهی	پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو- پژوهشکده اقلیم شناسی و تغییر اقلیم	دکتری- هواشناسی کشاورزی
۵	همکار طرح	شراره ملبوسی	پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو- پژوهشکده اقلیم شناسی و تغییر اقلیم	IT کارشناسی ارشد
۶	همکار طرح	مرتضی پاکدامن	پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو- پژوهشکده اقلیم شناسی و تغییر اقلیم	دکتری- ریاضی کاربردی
۷	همکار طرح	یاشار فلامرزی	پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو- پژوهشکده اقلیم شناسی و تغییر اقلیم	دکتری- مهندسی منابع آب
۸	همکار طرح	فاطمه عباسی	پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو- پژوهشکده اقلیم شناسی و تغییر اقلیم	کارشناسی ارشد- هواشناسی
۹	همکار طرح	آزاده محمدیان	پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو- پژوهشکده اقلیم شناسی و تغییر اقلیم	کارشناسی ارشد- آبیاری و زهکشی