



تحلیل آماری - فضایی بارش پیش‌بینی شده ایران توسط مدل جفت شده گردش عمومی جو -

اقیانوسی HADCM3

غلامعلی مظفری^۱، شهاب شفیع^{۲*}، بهنوش رکن‌الدینی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۵

چکیده

هدف این مطالعه، بررسی پراکندگی فضایی بارش روزانه دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۰) و پیش‌بینی مقادیر بارش طی دوره ۳۰ ساله آینده (۲۰۴۰-۲۰۱۱) می‌باشد. در انجام تحقیق، یک روش ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل جفت شده گردش عمومی جو- اقیانوسی HADCM3 واسنجی و ارزیابی شده است. داده‌های مورد استفاده از پایگاه داده مرکز پیش‌بینی مطالعات محیطی آمریکا (NCEP) که برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۱۰۰ موجود می‌باشد، دریافت و داده‌های مدل گردش عمومی جو از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی و واکاوی قرار گرفت. خروجی مدل- های HADCM3 از سال ۲۰۱۱ تا سال ۲۰۴۰ با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری مدل (SimCLIM) ریزمقیاس شده و سپس پراکندگی و تغییرات بارش مشاهداتی و پیش‌بینی شده با روش‌های آماری فضایی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با تکنیک‌های موران محلی و لکه‌های داغ (Hot Spot) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که میانگین طولانی‌مدت بارش ایران دارای روند افزایشی به میزان متوسط ۵/۱ میلی‌متر است که این افزایش در سواحل دریای خزر و شمال‌غربی کشور و همچنین مرکز ایران به‌خصوص بخشی از استان‌های یزد و اصفهان محسوس است ولی در قسمت‌های جنوبی کشور بارش کاهش داشته است. نتایج تحلیل فضایی موران محلی بارش مشاهداتی و پیش‌بینی شده نشان داد از ناخوشه‌های بارش یعنی بارش‌های کم منطقه جنوب شرقی و مرکز کشور کاسته شده این نشانه روند افزایش بارش در دوره پیش‌بینی در مناطق مذکور است، و همچنین وجود خوشه‌ای از افزایش بارش در شمال شرق کشور، مؤید روند افزایشی بارش در این منطقه است. نقشه‌های تحلیل پراکندگی لکه‌های داغ این روند را تصدیق می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی بارش، HADCM3، ایران زمین، SimCLIM، تحلیل آمار فضایی، گردش عمومی جو- اقیانوسی

مقدمه

(۱۳۹۲). پیش‌بینی‌های اقلیمی و ارزیابی‌های تغییر اقلیم با مشکلاتی نظیر برآورد سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌ها در دهه‌های آتی، بزرگ‌مقیاس بودن تفکیک مکانی و زمانی الگوهای گردش عمومی جو و نظایر آن مواجه است. این عوامل با عدم قطعیت‌های زیادی مواجه هستند. مشکل دیگری که در رابطه با طراحی الگوهای مناسب اقلیمی وجود دارد، یکپارچه کردن تمام بازخوردهایی است که در سیستم جفت شده جو- اقیانوس- زیست کره- جامعه وجود دارند. بعضی از این بازخوردها حتی در پیشرفته‌ترین الگوهای گردش عمومی (GCM) به‌صورتی که ابتدای پارامترسازی شده‌اند. یکی دیگر از مشکلات، روش الگوسازی سامانه‌های فوق‌الذکر

بارش از مهم‌ترین عناصر اقلیمی می‌باشد که در تعیین و پراکندگی دیگر عناصر اقلیمی نیز مؤثر است (عساکره، ۱۳۸۶). به‌عبارتی بارش به‌عنوان یکی از عناصر مهم هواشناسی مطرح می‌باشد که شناخت لازم از میزان این عنصر، تغییرات و پیش‌بینی آن، از یک سو به جهت داشتن برنامه‌ریزی دقیق‌تر در مدیریت بخش‌های کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی ضروری می‌نماید (عرفانیان و همکاران،

^۱ دانشیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیای دانشگاه یزد

^۲ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه یزد

* نویسنده مسئول: (shafieshahab@gmail.com)

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه یزد

توصیف کرد. بعد از مشخص کردن سهم مؤلفه‌های اصلی مانند میزان افزایش جمعیت و رشد اقتصادی با استفاده از مراجع بین‌المللی مانند سازمان ملل متحد، بانک جهانی و سازمان بین‌المللی انرژی، شش سناریوی اصلی (سناریوهای خانواده A1, A2, B1, B2) به چهار سناریو با جزئیات بیشتر تقسیم شدند که همه آنها دارای اعتبار واحدی هستند. اطلاعات تکمیلی از هر کدام از سناریوهای IPCC سناریوهای تدوین شده توسط سایر سازمان‌ها در قالب یک بانک اطلاعات مدون در سایت IPCC به آدرس www.IPCC.ch قابل دسترسی می‌باشد. از آنجا که یکی از ضعف‌های الگوهای GCM بزرگ بودن مقیاس مکانی و زمانی متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده می‌باشد، بنابراین می‌بایست خروجی آن‌ها را توسط تکنیک‌های مختلف، کوچک مقیاس نمود (صمدی و همکاران، ۱۳۸۶). روش آماری ریزمقیاس کردن در مقایسه با روش‌های دینامیکی، خصوصاً در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است. انواع مدل‌های ریز-مقیاس‌نمایی آماری شامل LARS-WG⁴, CLIMGEN⁵, SDSM⁶, MET & ROLL⁷ و... می‌باشد (بابائیان و نجفی نیک، ۱۳۸۶). در این تحقیق به منظور پیش‌بینی بارش کشور از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری با استفاده از یک سیستم ترکیبی مدل و داده‌های هواشناسی به نام (SimCLIM)، خروجی‌های مدل HADCM3 استفاده شده است. SimCLIM ترکیب پیچیده‌ای از مدل و داده‌ها است که پیوند عمودی با داده‌های جهانی، محلی و بخشی دارد، که به بررسی تغییرات آب و هوا، سازگاری و همچنین اثرات آب و هوا بر کشاورزی، بهداشت، منابع آب و... می‌پردازد (واریک⁸، ۲۰۰۹). تاکنون مطالعات و پژوهش‌های زیادی در زمینه‌ی مدلسازی رفتار اقلیم مناطق مختلف جهان با استفاده از مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مقاله تامسون و مولان⁸

است. این کار نیاز به شبیه‌سازی‌های چندگانه به‌منظور جداسازی اثرات انسانی از نوسانات طبیعی دارد. الگوهای اقلیمی نیاز به زمان زیادی برای ارزیابی، آزمایش و اجرا دارند و ممکن است ماه‌ها و سال‌های زیادی برای طراحی، اجرا و تشخیص مجموعه مناسبی از آزمایش‌ها لازم باشد. آن‌ها همچنین نیاز به ظرفیت محاسباتی بالایی دارند. بنا به دلایل یادشده الگوهای تولید سناریوهای اقلیمی (CSGS¹) گزینه‌های مناسبی برای این منظور هستند، به شرطی که: الف) بتوانند رفتار الگوهای پیچیده تر را تبیین کنند، ب) عدم قطعیت‌های پیش‌بینی‌های اقلیمی را به طور مؤثر و با سرعت کشف کنند و ج) به آسانی در بسیاری از مناطق استفاده شوند (عباسی و اثری، ۱۳۹۰). تعدادی از این CSG ها در سال‌های اخیر توسعه یافته و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به‌منظور شبیه‌سازی وضعیت متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی نیاز به معرفی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی است. به این منظور سناریوهای انتشار که در برگزیده اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی - اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین می‌باشد، توسط هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم IPCC² تدوین گردیدند. اولین سناریوهای انتشار در سال ۱۹۹۲ با عنوان IS92a برای استفاده در ورودی الگوهای گردش عمومی جو جهت الگوسازی سناریوهای تغییر اقلیم تدوین شد. آن‌ها اولین سناریوهای جهانی برای برآورد تغییرات گازهای گلخانه‌ای بودند که برای استفاده در ورودی الگوهای گردش عمومی جو عنوان IS92 جهت الگوسازی سناریوهای تغییر اقلیم تدوین شد. آن‌ها اولین شش سناریوی IS92f تا IS92a را شامل می‌شدند. IPCC در سال ۲۰۰۰ سری جدیدی از سناریوهای انتشار را تحت عنوان SRES³ برای لحاظ در گزارش ویژه سوم سناریوهای انتشار تدوین کرد. گروه SRES سه خانواده سناریوهای تغییر اقلیم با نام‌های A1, A2 و B1, B2 را برای توصیف ارتباط بین فرآیندهای تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای و آژروسول‌ها و نحوه تغییرات آن‌ها در طی قرن بیست و یکم در مناطق مهم کره زمین را

⁴ LARS-WG Stochastic Weather generator

⁵ Climatic Data Generator

⁶ Statistical Downscaling model

⁷ Warrick

⁸ Thompson & Mullan

¹ Climate Scenario Generators

² Inter-Governmental Panel on Climate Change

³ Special Report an Emissions Scenarios

تحقیق از مدل LARS-WG برای ساختن سناریوهای اقلیمی روزانه استفاده گردید. استیل و همکاران^۸ (۲۰۰۸) با استفاده از مدل گردش عمومی و کوچک‌مقیاس کردن اثر تغییر اقلیم را بر ۹ حوضه واقع در کشور ایرلند بررسی کردند. نتایج نشان داد در دوره آتی (۲۰۶۰-۲۰۱۰) افزایش بارش زمستانه و کاهش بارش تابستانه خواهد داشت. اختر و همکاران^۹ (۲۰۰۸) تأثیر تغییر اقلیم را در حوضه رودخانه هندوکش- کاراکروم واقع در هیمالیا برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۰ مورد بررسی قرار دادند و نتایج کار آن‌ها افزایش دما و بارش را در حوضه مورد مطالعه نشان داد. بویر و همکاران^{۱۰} (۲۰۰۵) به بررسی تغییر اقلیم بر حوضه لارنس پرداختند. در این مدل از ۵ مدل GCM استفاده کردند. نتایج افزایش بارش در زمستان، کاهش بارش در بهار و کاهش بارش جامد (برف) نسبت به مایع (باران) نشان داد. چو و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۰) یک مدل کوچک‌مقیاس آماری درجه حرارت، تبخیر و بارش در حوضه رودخانه هایمه در چین مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج حاصل از این ارزیابی نشان داد که الگوهای تغییرات متغیرهای اقلیمی می‌تواند با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی شود. بابائیان و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای تغییرات اقلیمی کشور کره جنوبی با استفاده از مدل LARS-WG در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ مورد ارزیابی قرار دادند. عباسی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی را در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از مدل LARS-WG مورد بررسی قرار دادند. آبابایی و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای عملکرد مدل LARS-WG را در ۴ ایستگاه ساحلی شمالی و ۸ ایستگاه ساحلی جنوبی ایران در رابطه با شبیه‌سازی سری روزهای خشک و مرطوب، بارندگی، دما، تابش خورشیدی و نیز شبیه‌سازی وقایع حدی مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه مقدار بارش ایران از خروجی مدل گردش عمومی جفت‌شده جوی- اقیانوسی (HADCM3) را از سال ۲۰۱۱ تا سال ۲۰۴۰ با نرم‌افزار simCLIM for Arc GIS پیش‌بینی کرده و سپس بارش ایران را در دوره

(۱۹۹۵) در ارتباط با مدل‌سازی ۳۰ سال اقلیم ایستگاه‌های هواشناسی در نیوزلند اشاره کرد. همچنین جانسون^۱ و همکاران (۱۹۹۶) دو مدل مختلف تولید داده‌های هواشناسی به نام‌های USCLIMATE و CLIGEN را مورد بررسی قرار داد. الشمی^۲ و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقی اثرات هیدرولوژی تغییر اقلیم به‌وسیله مدل‌های گردش عمومی جو و یک مدل کوچک‌مقیاس‌کننده آنالوگ در جنوب انگلستان مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه چگونگی تبدیل داده‌های ماهانه به روزانه توسط تکنیک تولید داده مورد بررسی قرار گرفته‌است. نتایج نشان داد که این روش داده‌های هواشناسی روزانه را بهتر از داده‌های فصلی کوچک مقیاس می‌کند. ویلی^۳ و همکاران (۲۰۰۲) مدل SDSM، را برای ریزمقیاس‌نمایی اطلاعات بارش و دما با استفاده از روش‌های آماری ابداع کردند. ویلی در تحقیقی کوچک-مقیاس کردن بارش فصلی با استفاده از پارامترهای تولید شده در انگلستان را مورد بررسی قرار داد. ویلکس^۴ و همکاران (۱۹۹۹) روشی را برای کاربرد سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل WGEN که یک مدل مولد داده‌های هواشناسی است ابداع کردند. این مدل می‌تواند برای تولید مقادیر روزانه دمای بیشینه، کمینه، بارندگی و تابش روزانه به‌کار رود. مک‌کی^۵ و همکاران (۱۹۹۵) توانمندی مدل CLIMGEN را برای شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های انتاریوی جنوبی در کانادا مورد مطالعه قرار دادند. در مطالعه‌ای دوبروسکی^۶ (۱۹۹۸) در جمهوری چک ارزیابی مدل MET&ROLL را انجام داد. این مدل داده‌های دمای بیشینه و کمینه، تابش خورشیدی و بارش را بر روی یک ایستگاه هواشناسی مدل‌سازی می‌نماید. زمنف و بارو^۷ (۲۰۰۲) در مطالعه‌ای شبیه‌سازی داده داده‌ها با استفاده از مدل LARS-WG در انگلستان مورد مطالعه قرار داد. علاوه بر آن زمنف در مطالعه دیگری سناریوهای تغییر اقلیم را در انگلستان بررسی نمود. در این

¹ Johnson et al.

² Elshamy et al.

³ Wilby et al.

⁴ Wilks

⁵ McKee et al.

⁶ Dubrovsky

⁷ Semenov & Barrow

⁸ Steele et al.

⁹ Akhtar et al.

¹⁰ Boyer et al.

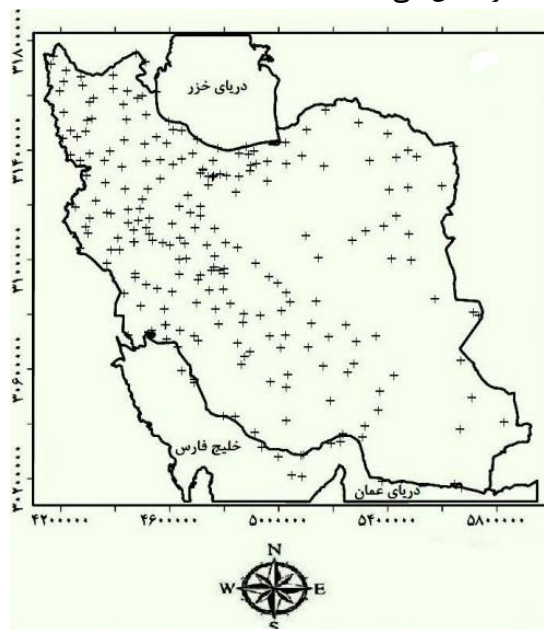
¹¹ Chu et al.

مدل HadCM3 با نرم‌افزار SimCLIM اجرا می‌شود، که روش ریزمقیاس‌نمایی آماری بر مبنای رگرسیون علاوه بر داده‌های هواشناسی به‌عنوان متغیر وابسته به خروجی مدل گردش عمومی جو به‌عنوان متغیر مستقل نیز احتیاج دارد. مرکز ملی پیش‌بینی محیطی^۲ و مرکز ملی تحقیقات جوی^۳ جوی^۳ به‌منظور تولید داده‌های شبکه‌بندی‌شده جهت برآورده کردن نیاز محققین اقلیم‌شناسی، پروژه‌ای را تحت عنوان تحلیل مجدد آغاز نمودند. این کار شامل باز یافت داده‌های زمینی، دریایی، رادیویی، هوایی و ماهواره‌ای و دیگر داده‌های ثبت شده و کنترل کیفیت و شبکه‌بندی آن‌هاست. این شبکه دارای ابعاد ۱/۸۷۵ درجه طول و عرض جغرافیایی می‌باشد (سیاری و همکاران، ۱۳۹۰). در این مطالعه برای کالیبراسیون و ارزیابی روش ریزمقیاس‌نمایی آماری از این داده‌ها استفاده می‌شود. این داده‌ها از مرکز پیش‌بینی مطالعات محیطی آمریکا، که به نام NCEP مشهورند از سال ۱۹۶۱ تا ۲۱۰۰ و داده‌های مدل گردش عمومی جو موجودند، واکاوی شدند، که همه این داده‌ها نسبت به میانگین و انحراف معیار داده‌ها نرمال شده‌اند. داده‌های NCEP شامل ۴۱ سال داده‌های پیش‌بینی‌کننده روزانه حاصل از آنالیز مجدد NCEP و نرمال‌سازی‌شده می‌باشند. در این مقاله از پارامتر بارش روزانه با استفاده از نرم‌افزار simCLIM for Arc Gis در دوره آماری ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ پیش‌بینی شد. یکی از مهم‌ترین مراحل ریزمقیاس‌نمایی آماری، انتخاب متغیرهای مستقلی است که در مدل نهایی از آن‌ها استفاده می‌شود. به متغیرهای مستقل انتخاب‌شده از بین متغیرهای موجود، متغیر غالب گفته می‌شود. متغیرهای غالب از نظر فیزیکی با متغیرهای وابسته مرتبط باشند، از نظر آماری همبستگی بالایی با متغیر وابسته باشند. در دوره زمانی مورد مطالعه در دسترس بوده و در نهایت با دقت خوبی مدل شده باشند. به علت اینکه تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته در زمان‌های مختلف، متفاوت می‌باشد، تصمیم‌گیری در مورد متغیرهای غالب فرآیندی بسیار پیچیده است. متغیرهای غالب را می‌توان با استفاده از روش‌های تجربی توصیه می‌شود که انتخاب ما شامل

آماری ۲۰۴۰-۲۰۱۱ و دوره مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۷۱) بررسی نموده و پراکندگی و تغییرات آن در دوره‌های مذکور با استفاده از روش‌های تحلیل آماری فضایی با استفاده از GIS مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه کل ایستگاه‌های سینوپتیک سراسر ایران است، شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

برای بررسی مقدار بارش از خروجی مدل گردش عمومی جفت‌شده جوی- اقیانوسی (HadCM3) تحت سناریوی انتشار A2 استفاده شد، سناریوی A2 از مجموعه سناریو-های انتشار SRES بر روی تقویت نیروهای جمعیتی منطقه‌ای با تأکید بر ارزش خانواده و رسوم آن، رشد زیاد جمعیت و نوسان کم‌تر در سرعت پیشرفت اقتصادی تأکید می‌کند (عباسی و اثمري، ۱۳۹۰). خروجی این مدل با روش رگرسیونی گام به گام و مدل SimCLIM ریزمقیاس می‌شود. مدل HadCM3 دارای شبکه‌ای با ابعاد ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی است، که توسط گردون^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۰ ارائه شده است.

² National Center for Research: NCAR

³ National Center for Environmental Prediction: NCEP

¹ Gordon et al.

توزیع آماری پدیده‌ها در فضا می‌باشد. اگر فرض کنیم تعدادی عارضه جغرافیایی وزن‌دهی شده داشته باشیم، این ابزار نشان می‌دهد که در کجاها مقادیر زیاد یا کم این پدیده‌ها در فضا به‌طور خوشه‌ای توزیع شده‌اند و همچنین کدام عارضه دارای مقادیری بسیار متفاوت از عوارض پیرامونشان هستند. این ابزار همچنین ناخوشه‌های فضایی را شناسایی می‌نماید. برای انجام این مسئله این ابزار به محاسبه مقدار موران محلی، امتیاز Z ، P Value و یک کد که بیان‌گر معناداری مقدار شاخص محاسبه شده می‌باشند. آماره موران محلی I طبق معادله ۱ به‌دست می‌آید (عسگری، ۱۳۹۰).

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij} (x_j - \bar{X}) \quad (1)$$

که در آن x_i خصیصه عارضه i ، \bar{X} میانگین خصیصه مربوطه و W_{ij} وزن فضایی بین عارضه i و j می‌باشد.

$$S_i^2 = \frac{j = \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij}}{n-1} - \bar{X}^2 \quad (2)$$

که در آن n برابر با تعداد کل عارضه‌ها است. امتیاز استاندارد ZI_i به‌صورت معادله ۳ محاسبه می‌شود.

$$ZI_i = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad (3)$$

در اینجا معادله ۴ را خواهیم داشت.

$$E[I_i] = - \frac{j = \sum_{j=1, j \neq i}^n V[I_{ij}]}{n-1} \quad (4)$$

$$V[I_i] = E[I_i^2] - E[I_i]^2$$

ب) تحلیل لکه‌های داغ

تحلیل لکه‌های داغ (Hot Spot Analysis) آماره گتیس -ارد جی (Getis-Ord G_i^*) را برای کلیه عوارض موجود در داده‌ها محسوب می‌شود. امتیاز Z محاسبه‌شده، نشان می‌دهند که در کجاها مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده‌اند. این ابزار در حقیقت به هر عارضه در چارچوب عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارند نگاه می‌کند. اگر عارضه‌ای مقادیر بالا داشته باشد جالب و مهم است، ولی به نهایه‌ی ممکن است یک لکه داغ معنادار از نظر آماری معنا دار نباشد. برای اینکه یک عارضه لکه داغ تلقی شود و از نظر آماری معنادار نیز باشد باید هم خودش و هم عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارند دارای مقادیر بالا باشند. جمع محلی

متغیرهایی باشد که گردش اتمسفر (مانند سرعت مداری)، ضخامت اتمسفر (ارتفاع ژئوپتانسیل)، پایداری (فشار در تراز صفر) و میزان رطوبت (رطوبت ویژه) را توضیح می‌دهند (ویلیبی و همکاران، ۲۰۰۲). قرار دادن تمام متغیرها در مدل رگرسیونی روش مناسبی نیست، زیرا که متغیرها به یکدیگر وابسته بوده و استفاده از تمام آن‌ها در مدل، وارد کردن اطلاعات اضافی می‌باشد. کاهش تعداد متغیرها امری رایج برای کاستن خطاهای تصادفی مدل‌های گردش عمومی جو در رابطه با متغیرهای بزرگ‌مقیاس و متغیر سطحی می‌باشد. برای انتخاب متغیرها می‌توان از روش آماری نظیر همبستگی جزئی و رگرسیون گام به گام استفاده نمود. در این مقاله برای انتخاب متغیرهای غالب از روش رگرسیون گام به گام پس‌رو استفاده شد. این روش برای انتخاب متغیرهای غالب مفید می‌باشد. دو روش کلی برای انجام رگرسیون گام به گام، روش‌های پیش‌رو و پس‌رو می‌باشند. در روش پیش‌رو در ابتدا تمام متغیرهای مستقل خارج از مدل رگرسیونی هستند و در هر مرحله متغیری به مدل اضافه می‌شود، این کار ادامه پیدا می‌کند تا در هر مرحله واریانس بیشینه شود. در هر مرحله بعد از انتخاب متغیر یک آزمون فرض برای سنجش مؤثر بودن متغیر اضافه شده انجام می‌شود. روش پس‌رو مشابه روش پیش‌رو است، با این تفاوت که در ابتدا تمام متغیرهای مستقل در مدل قرار می‌گیرند و در هر مرحله متغیری که کمترین تأثیر را بر مدل دارد حذف می‌شود. این کار تا وقتی ادامه پیدا می‌کند که تمام متغیرهای موجود در مدل تأثیر معنی‌داری بر متغیر مستقل داشته باشند (سیاری و همکاران، ۱۳۹۰). در مرحله بعد با استفاده از پارامترهای پیش‌بینی‌شده تحلیل آماری فضایی نظیر تحلیل خوشه و ناخوشه و تحلیل لکه‌های داغ (Hot Spot) محاسبه و با دوره پایه (۲۰۱۰ - ۱۹۷۱) مورد مقایسه قرار گرفتند.

الف) تحلیل خوشه و ناخوشه

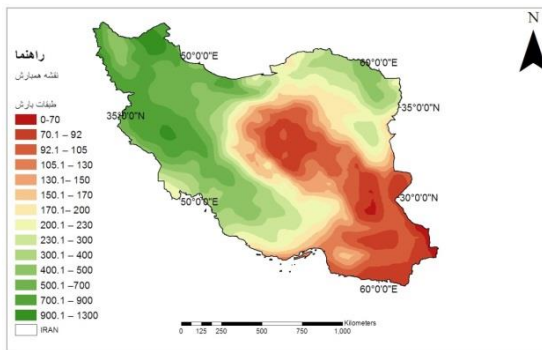
تحلیل خوشه و ناخوشه^۱ که به شاخص انسلین محلی موران^۲ نیز شناخته می‌شود از ابزارهای مفید برای نمایش

¹ Outlier

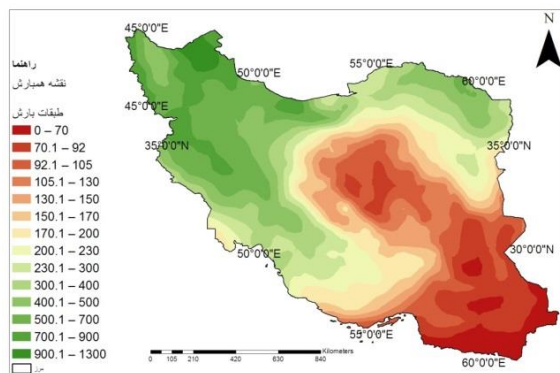
² Anselin Local Moran

بارش

همان‌طور که از مقایسه نقشه‌های همبارش دوره پایه و پیش‌بینی شده مشاهده می‌شود میانگین بارش طولانی‌مدت بارش ایران دارای روند افزایشی است و به مقدار ۵/۱ میلی-متر افزایش داشته که این افزایش در قسمت‌های سواحل دریای خزر و شمال‌غربی کشور و همچنین مرکز ایران به-خصوص بخشی از استان‌های یزد و اصفهان محسوس است، اما در قسمت‌های جنوبی و غربی کشور روند کاهشی داشته است.



شکل ۲- نقشه بارش مشاهده شده ایران در دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۱۰)



شکل ۳- نقشه بارش پیش‌بینی شده ایران برای دوره آماری (۲۰۱۱-۲۰۴۰)

شکل ۴ مقادیر بارش داده‌های NCEP و مقادیر محاسباتی مدل SimCLIM را نشان می‌دهد. که خط برازش رگرسیونی تطابق بارش پیش‌بینی شده و مشاهده شده را نشان می‌دهد، مؤید دقت بسیار رضایت‌بخش این روش در پیش‌بینی می‌باشد. در جدول ۱ نیز مشاهده می‌شود ضریب همبستگی (۰/۸۸) در پیش‌بینی بارش نشان‌دهنده اجرای

(Local sum) یک عارضه و همسایگانش به‌طور نسبی با جمع کل عارضه‌ها مقایسه می‌شود. زمانی که جمع محلی به-طور زیاد و غیر منتظره‌ای از جمع محلی مورد انتظار بیش‌تر باشد که نتوان آن را در نتیجه تصادف دانست، در نتیجه امتیاز Z به‌دست خواهد آمد. آماره گتیس-ارد جی (Getis-Ord Gi) طبق معادله ۵ محاسبه می‌شود.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{\sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}} \quad (5)$$

در این فرمول مقدار خصیصه برای عارضه j ، w_{ij} وزن فضایی بین عارضه i و j و n برابر با تعداد کل عارضه‌ها می-باشد.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (6)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{x}^2)} \quad (7)$$

از آنجا که G_i خودش نوعی امتیاز Z است دیگر نیاز به محاسبه دیگری نیست (عسگری، ۱۳۹۰).

ارزیابی کارایی مدل

جهت ارزیابی کارایی مدل SiCLIM در این پژوهش از سه شاخص آماری طبق معادله‌های ۸ تا ۱۰ استفاده گردیده است.

$$SE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

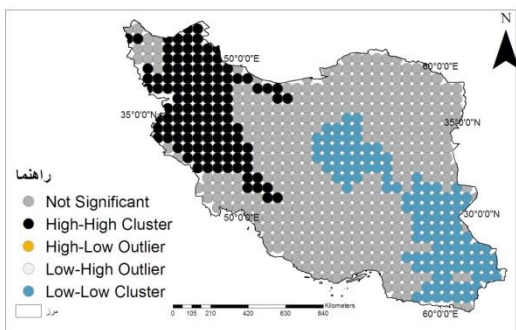
$$MAE = \frac{\sum |p_i - o_i|}{N} \quad (9)$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - p_i)}{\sum_{i=1}^n o_i - \bar{o}}} \quad (10)$$

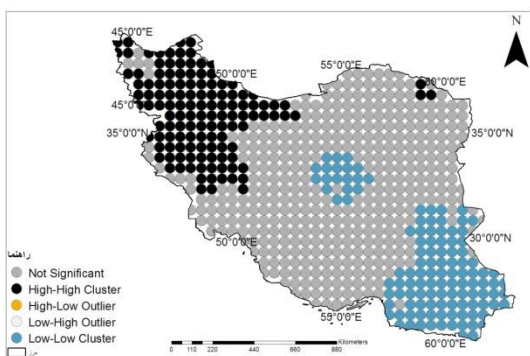
در این معادله‌ها P_i و O_i به ترتیب مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده، \bar{P} و \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و N تعداد نمونه‌ها می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

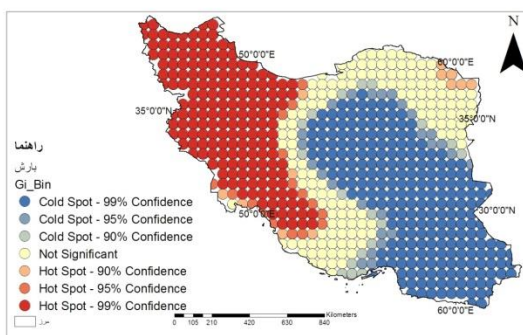
در این مطالعه از میانگین روزانه ۴۰ ساله ۱۹۷۱-۲۰۱۰ از پارامترهای بارش روزانه داده‌های مرکز NCEP برای کالیبراسیون و پیش‌بینی مدل استفاده شده و با استفاده از نرم افزار SimCLIM for Arc GIS در دوره آماری ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ پیش‌بینی شدند.



شکل ۵- نقشه پراکندگی موران محلی بارش مشاهده شده ایران در دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۱۰)



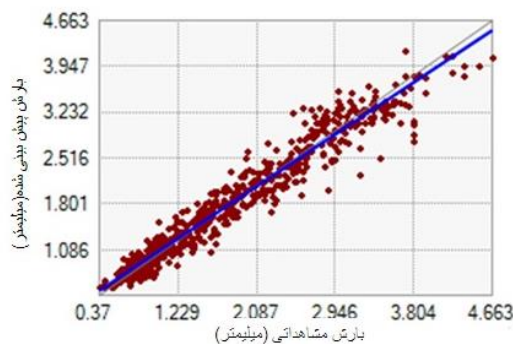
شکل ۶- نقشه پراکندگی موران محلی بارش پیش‌بینی شده ایران برای دوره آماری (۲۰۱۱-۲۰۴۰)



شکل ۷- نقشه پراکندگی لکه‌های داغ بارش مشاهده شده ایران در دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۱۰)

اما در جنوب و جنوب شرقی تا مرکز ایران پراکندگی لکه‌های سرد با رنگ آبی پررنگ در سطح ۹۹ درصد و رنگ آبی کم‌رنگ در سطح ۹۵ درصد مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده کمبود بارش در این مناطق است. از مقایسه نقشه لکه‌های داغ دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۱۰) با نقشه لکه‌های داغ بارش پیش‌بینی شده دوره (۲۰۱۱-۲۰۴۰) مشاهده می‌شود که

نسبتاً خوبی در مدلسازی می‌باشد. نتایج تحلیل فضایی موران محلی بارش مشاهداتی نشان می‌دهد که بیشترین مقدار بارش در غرب، شمال غرب کشور و سواحل دریای خزر پراکنده شده است و کمترین مقدار بارش در جنوب شرقی و مرکز ایران مشاهده می‌شود.



شکل ۴- خط برازش رگرسیونی مقادیر بارش داده‌های NCEP و بارش محاسباتی مدل SimCLIM

جدول ۱- نتایج ضریب همبستگی و خطاهای حاصل از پیش‌بینی مدل SimCLIM

MAE	RMSE	R
۰/۸۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۴

در شکل ۶ مشاهده می‌شود که مقدار پراکندگی مقدار بارش زیاد در دوره پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه در غرب کشور کاسته شده و همچنین یک خوشه از بارش‌های زیاد در شمال شرقی کشور در دوره پیش‌بینی شده مشاهده می‌شود. در مقایسه شکل‌های ۵ و ۶ همچنین مشاهده می‌شود از ناخوشه‌های بارش یعنی بارش‌های کم منطقه جنوب، جنوب شرقی و مرکز کشور کاسته شده، این نشانه روند افزایش بارش در دوره پیش‌بینی در مناطق مذکور است. در شکل ۷ نقشه پراکندگی و تغییرات بارش با استفاده از تحلیل آمار فضایی لکه‌های داغ (Hot Spot Analysis) مشاهده می‌شود که لکه‌های داغ در سواحل دریای خزر، غرب و شمال غرب کشور دیده می‌شود که با رنگ قرمز نشان داده شده است که بیشترین بارش در این مناطق وجود دارد.

۲۰۴۰ پیش‌بینی شدند و سپس با روش‌های آماری فضایی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با روش‌های موران محلی و لکه‌های داغ (Hot Spot) پراکندگی و تغییرات بارش روزانه مشاهداتی و پیش‌بینی شده مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج نشان داد: میانگین بارش طولانی‌مدت بارش ایران دارای روند افزایشی است و به مقدار ۵/۱ میلی-متر افزایش داشته که این افزایش در قسمت‌های سواحل دریای خزر و شمال‌غربی کشور و همچنین مرکز ایران به-خصوص بخشی از استان‌های یزد و اصفهان محسوس است، اما در قسمت‌های جنوبی و غرب کشور روند کاهشی داشته است. نتایج تحلیل فضایی موران محلی بارش مشاهداتی نشان می‌دهد که بیشترین مقدار بارش در غرب، شمال غرب کشور و سواحل دریای خزر پراکنده شده است و کمترین مقدار بارش در جنوب شرقی و مرکز ایران مشاهده می‌شود، مقدار پراکندگی بارش زیاد در دوره پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه در غرب کشور کاسته شده و همچنین یک خوشه از بارش‌های زیاد در شمال شرقی کشور در دوره پیش‌بینی-شده مشاهده شد و همچنین از ناخوشه‌های بارش یعنی بارش‌های کم منطقه جنوب، جنوب شرقی و مرکز کشور کاسته شده این نشانه روند افزایش بارش در دوره پیش‌بینی در مناطق مذکور است. نقشه‌های پراکندگی لکه‌های داغ (Hot Spot Analysis) این روند را تصدیق می‌کنند.

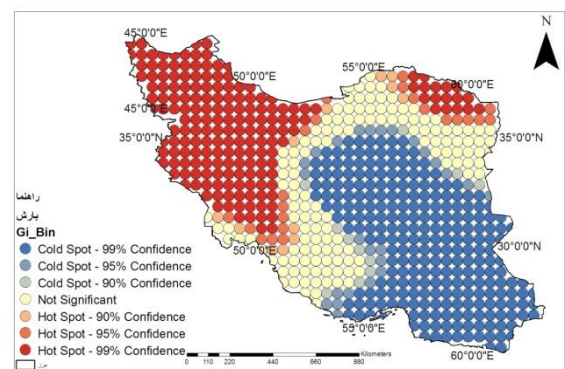
منابع

آبایی، ب، میرزایی، ف، سهرابی، ت. ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG در ۱۲ ایستگاه هواشناسی ساحلی ایران. مجله پژوهشی آب ایران، ۵(۹): ۲۱۷-۲۲۲.

بابائیان، ا، نجفی نیک، ز. ۱۳۸۶. مدل‌سازی اقلیم ایران در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹، پروژه خاتمه یافته پژوهشکده اقلیم‌شناسی: صص ۱۳-۵ و ۱۰۷.

سیاری، ن، علیزاده، امین، بنایان اول، م، فرید حسینی، ع، حسامی، م. ۱۳۹۰. بررسی روند خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم در حوضه کشف‌رود (ایستگاه مشهد) در دوره‌های آتی با استفاده از مدل HadCM3 و دو سناریو انتشار B2، A2. نشریه پژوهش‌های اقلیم-

ایران دارای روند کلی افزایش بارش است، اما در منطقه غرب کشور در دوره پیش‌بینی شده دارای روند کاهشی است یعنی تعداد لکه‌های داغ رو به کاهش است و همچنین در جنوب و جنوب شرق کشور نیز دارای روند کاهشی است. اما در مرکز، شمال شرق، شمال غرب و سواحل دریای خزر دارای روند افزایشی است، به‌خصوص در شمال شرق ایران تعداد خوشه‌های لکه-های داغ افزایش زیادی داشته است که نشان‌دهنده روند افزایشی بارش در این منطقه است، که نقشه پراکندگی بارش پیش‌بینی شده موران محلی نیز این افزایش بارش در شمال شرق کشور را تأیید می‌کند.



شکل ۸- نقشه پراکندگی لکه‌های داغ بارش پیش‌بینی شده ایران برای دوره آماری (۲۰۱۱-۲۰۴۰)

نتیجه‌گیری

در این مقاله خروجی‌های مدل گردش عمومی جو-اقیانوسی HADCM3 با سناریوی A2 به منظور تحلیل آماری فضایی بارش روزانه ایران زمین در دوره آماری ۲۰۴۰-۲۰۱۱ بر روی تمام ایستگاه‌های ایران ریزمقیاس شدند. به منظور بررسی پراکندگی فضایی بارش و دمای گذشته و آینده کشور در این مطالعه برای کالیبراسیون و ارزیابی روش ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل جفت‌شده گردش عمومی جو-اقیانوسی استفاده شده است. این داده‌ها از مرکز پیش‌بینی مطالعات محیطی آمریکا که به نام NCEP مشهورند از سال ۱۹۶۱ تا ۲۱۰۰ و داده‌های مدل گردش عمومی جو از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ موجودند واکاوی شده‌اند و با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری مدل (SimCLIM) خروجی‌های مدل HADCM3 تا سال

- Korea Meteorological Research Institute, Clim. Res. lab., 34(2): 98 p.
- Chu, J. T., Xia, J., Xu, C. Y., Singh, V.P. (2010). Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China. *Theor. Appl. Climatol.*, 99: 149-161.
- Dubrovsky, M. 1998. Met & Roll: the stochastic generator of daily weather series for the crop growth model. *Meteorol. Bull.*, 49: 97-105.
- Elshamy, M. E., Wheatler, H. S., Gedney, N., Huntingford, C. 2005. Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. *J. Hydrol.*, 326:1-24.
- Gordon, C., Cooper, C., Seiner, C. A., Banks, H., Gregory, J. M., Johns, T. G., Mitchell, J. F. B., Wood, R. A. 2000. The simulation of SST, Sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Center coupled model without flux adjustment. *Climate Dynamics*, 16: 147-168.
- Johnson, G. L., Hanson, C. L., Hardegree, S.P., Ballard, E.B. 1996. Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models. *J. Appl. Meteorol.* 35: 1878-1896.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. 1995. "Drought Monitoring with Multiple Time Scales" . In Proc, 9th Conf. on Applied Climatology, January 15-20, American Meteorological Society, Massachusetts: 233-236.
- Semenov, M. A., Barrow, E. M. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version3.0.
- Thompson, C. S., Mullan, A. B. 1995. Weather Generators. NIWA Internal report, 115- 120.
- Steele - Dunne, S., Lynch, P., McGrath, R., Semmler, T., Wang, S. H., Hanafin, J., Nolan, P. 2008. The impacts of climate change on hydrology in Ireland. *J. Hydrol.*, 356: 28-45.
- Wilby, R. L., Conway, D., Jones, P. D. 2002. Prospects for downscaling seasonal precipitation variability using conditioned weather generator parameters, hydrological processes, 16:1215-1234.
- شناسی انتشارات پژوهشکده اقلیم‌شناسی مشهد، ۸ و ۷: ۲۰-۴۲.
- صمدی، ز، مساح بوانی، ع، مهدوی، م. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر روش‌های کوچک‌مقیاس کردن رگرسیونی بر رژیم سیلاب رودخانه، کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب: ص ۸۳.
- عباسی، ف، اثمري، م. ۱۳۹۰. پیش‌بینی و ارزیابی تغییرات دما و بارش ایران در دهه‌های آینده با الگوی MAGICC-SCENGEN. نشریه آب و خاک، ۱: ۷۰-۸۳.
- عباسی، ف، ملبوسی، ش، بابائیان، ا، اثمري، م، برهانی، ر. ۱۳۸۹. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس-نمایی آماری. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲: ۲۱۸-۲۲۲.
- عرفانیان، م، انصاری، ح، علیزاده، ا. ۱۳۹۲. پیش‌بینی بارش و دمای متوسط ماهانه با استفاده از الگوهای پیوند از دور به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مشهد). فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱۱: ۵۳-۷۳.
- عساکره، ح. ۱۳۸۶. کاربرد رگرسیون خطی و تحلیل روند بارش سالانه تبریز. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۲(۸۷): ۳-۲۶.
- عسگری، ع. ۱۳۹۰. تحلیل‌های آمار فضایی با Arc GIS، انتشارات سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران، چاپ اول: ص ۷۰-۷۴.
- Akhtar, M., Ahmad, N., Booij. M. j. 2008. The impact of climate change on the water resources of Hindukush - Karakorum region under different glacier coverage scenarios. *J. Hydrol.*, 355: 148-163.
- Boyer, C. Diane, C. Isabelle. Andre, G. R. 2005. Impact of change on the hydrology of ST. Lawrence TRIBUTARIES. *J. hydrol.*, 384: 65-83.
- Babaeian, I., Kwon, W.T., Im, E.S. 2004. Application of weather generator technique for climate change assessment over Korea.

- Warrick, M. 2009. From CLIMFACTS to SimCLIM: The development of an integrated model for assessing impacts and adaptation to climate change. In: C. G. Knight and J. Jaeger (eds.), Integrated Regional Assessment: Challenges and Case Studies. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Willby, R. L., Dawson, C. W., Barrow, E. M. 2002. SDSM Version 3.1 –A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts.
- Wilks, D. S., Wilby, R. L. 1999. The weather generation game: a review of stochastic weather models. Prog. Phys. Geogr., 23: 329-357.



Spatial-statistical analysis of the predicted precipitation of Iran using HADCM3 atmospheric-oceanic coupled model

Gh. Mozafari¹, Sh. Shafiei^{2*}, B. Roknadini³

Received: 11/01/2015

Accepted: 14/02/2015

Abstract

The aim of this study is to investigate the spatial distribution of daily observed precipitation of Iran during baseline (1970-2010) and future (2011-2040) periods using outputs of HADCM3 coupled atmospheric-oceanic (GCM) model. For downscaling these outputs a statistical model namely SimCLIM were used and calibrated. Required data were retrieved from National Center Environmental Prediction (NCEP) which provides a dataset for 1961-2100 period. The data of GCM model of 1970 to 2010 were used. SimCLIM weather generator was applied for, downscaling future prediction during period of 2011-2040. Furthermore, using spatial-statistical tool in Geographical Information System (GIS), the Local Moran and hot spots methods, observed and predicted dispersion and changes of precipitation were examined. The results of the study showed an increasing long-term trend in country's precipitation with average amount of 5.1 millimeter, which is more obvious in Caspian Sea coasts, northwest and also central parts of Iran, especially some parts of Yazd and Isfahan provinces, while precipitation has decreased in southern parts of the country. The results of local Moran spatial analysis of observed and predicted precipitation showed that no-clustered precipitations, that is the low precipitations of southeast and central parts of Iran, have decreased, which indicates the rising trend of precipitation in future period in these regions. Besides, the existence of a cluster of rising precipitation in northeast of the country is observed which indicates that in the future, northeast parts of the country will experience increasing trend of precipitation. This can be confirmed by generated hot spots map also.

Keywords: precipitation prediction, HADCM3, Iran, SimCLIM, spatial statistical analysis, atmospheric-oceanic general circulation

¹ Associate Professor of Climatology, Yazd University

² Ph.D. student of Climatology, Yazd University

(*Corresponding author email address: shafieshabab@gmail.com)

³ M. Sc. Student in Climatology