

ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی و دوره‌های خشک و تر در صد سال آتی با  
تلفیق روش‌های وزن‌دهی عکس فاصله و عامل تغییر  
(مطالعه موردی زیرحوضه تهران-کرج)

محمدجواد خردادی (دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده مسئول)

[khordadi@ag.iut.ac.ir](mailto:khordadi@ag.iut.ac.ir)

امین علیزاده (استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد)

[alizadeh@gmail.com](mailto:alizadeh@gmail.com)

مهدی نصیری محلاتی (استاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد)

[mnassiri@um.ac.ir](mailto:mnassiri@um.ac.ir)

دل‌آرام هوشمند (دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه فردوسی مشهد)

[delaramhooshmand2000@yahoo.com](mailto:delaramhooshmand2000@yahoo.com)

#### چکیده

در این پژوهش تلاش شد تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر پنج پارامتر هواشناسی از جمله دمای حداقل، حداکثر و میانگین، بارندگی و رطوبت نسبی در زیرحوضه تهران-کرج بررسی شود. بدین منظور از مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوی انتشار A2 استفاده شد که سه دوره آینده ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ به عنوان دوره‌های آینده نزدیک، میانی و دور و ۱۹۷۶-۲۰۰۵ به عنوان دوره پایه در نظر گرفته شد. هرچند مدل‌های گردش عمومی مناسب‌ترین ابزار بررسی پدیده تغییر اقلیم شناخته شده‌اند اما با توجه به وضوح مکانی پایین این مدل‌ها، استفاده از آن‌ها در مقیاس منطقه‌ای امکان‌پذیر نیست. در این پژوهش روش ریزمقیاس‌نمایی وزن‌دهی عکس فاصله با هشت سلول محاسباتی ارایه شد و سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از روش عامل تغییر به‌دست آمد و با تشکیل سری زمانی سناریو اقلیمی در آینده، محدوده تغییرات و متوسط آن در دوره‌های مختلف برآورد شد. در تمامی دوره‌ها سه پارامتر مربوط به دما نسبت به دوره پایه، افزایش یافته بود بطوری که در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میزان آن نسبت به دو دوره دیگر بیشتر بود. در مورد رطوبت نسبی وضعیت برعکس است؛ به‌ویژه در ماه‌های گرم سال این کاهش شدت

بیشتری یافته است. این در حالی است که بارندگی تغییرات چشم‌گیری نداشته است اما کاهش آن در دوره‌های آینده قابل پیش‌بینی است. در نهایت تأثیر تغییر اقلیم بر دوره‌های خشک و تر با استفاده از روش میانگین متحرک ۵ ساله ارزیابی شد که نتایج بدست آمده نشان داد با نزدیک شدن به دوره آینده دور، تأثیر رو به افزایش تغییر اقلیم تأیید می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** تغییر اقلیم، مدل گردش عمومی، ریزمقیاس نمایی، سناریو اقلیمی، زیرحوضه تهران - کرج.

#### ۱- مقدمه

##### ۱-۱- بیان مسأله

فعالیت‌های اقتصادی جوامع و به دنبال آن رشد صنایع، کارخانه‌ها و تغییر کاربری اراضی از جمله عوامل اصلی افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌باشند. افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر باعث به هم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده است که به آن پدیده تغییر اقلیم، گفته می‌شود (IPCC, 2010). تأثیرات منفی این پدیده با توجه به تمایل جوامع به پیشرفت صنعت و کم‌توجهی به محیط زیست در آینده می‌تواند شدت یابد. بررسی‌های مختلف نشان داده‌اند این پدیده می‌تواند تأثیرات منفی بر سیستم‌های مختلف از جمله منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد داشته باشد. اهمیت و خطرات تغییر اقلیم در مجامع جهانی مختلف از جمله نشست سران گروه G-8 (هشت کشور صنعتی دنیا) بسیار مورد توجه قرار گرفت و راهکارهای مقابله با آن برای حفاظت از منابع آب، کشاورزی و منابع زیست‌محیطی مدنظر قرار گرفت. با توجه به اینکه، آب یکی از منابعی است که در معرض آسیب تغییرات اقلیم قرار دارد، بررسی تغییرات آن در سال‌های آینده می‌تواند راه‌گشای مشکلاتی مانند خشکسالی، سیلاب‌های ناگهانی، تغییرات تبخیر و مواردی از این قبیل باشد (خردادی و همکاران، ۱۳۸۶: ۷۴) و (Eslamian & et al, 2011:1).

لان و همکاران (۱۹۹۹) اشاره کرده‌اند براساس گزارش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم، دمای سطحی زمین به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای، ۰/۳ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد طی قرن گذشته افزایش یافته-

است که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۱۰۰ مقدار آن ۱ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد. همچنین براساس پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی، با فرض افزایش سالانه یک درصدی غلظت گاز گلخانه‌ای، میانگین دمای سطحی ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌باید که به احتمال ۹۵٪ بین ۱/۷ تا ۴/۹ درجه سانتی‌گراد است. ارتباط تنگاتنگی بین چرخه هیدرولوژی و سیستم اقلیمی وجود دارد؛ هر تغییری در اقلیم، روی عناصر هیدرولوژی ناآثیر می‌گذارد. رواناب، آبدهی رودخانه‌ها، آب‌های زیرزمینی، شدت سیلاب و خشکسالی، متأثر از بارندگی و دما به عنوان مهم‌ترین عناصر اقلیمی محسوب می‌شوند (Lane & et al., 1999:200).

به منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع مختلف در دوره‌های آینده، ابتدا باید متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تغییرات گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی شوند. روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دوره‌های آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم ایجاد شده‌اند که معتبرترین آن‌ها، کاربرد داده‌های مدل گردش عمومی جو یا GCM<sup>۱</sup> است. مدل‌های GCM، مدل‌های سه بعدی-اند که روابط فیزیکی حاکم بر اتمسفر، کریوسفر، بیوسفر و هیدروسفر را بیان می‌کنند. سپس برای حل معادلات دیفرانسیل مربوط، کره زمین شبکه‌بندی شده و متغیرهای اقلیمی تحت سناریوهای مختلف انتشار (A1, A2, B1, B2) در دوره‌های زمانی مختلف شبیه‌سازی می‌شوند (آشفته و مساح بوانی، ۱۳۸۶:۳۵).

نتایج مطالعات گوناگون در این باره نشان داده‌اند میزان گازهای گلخانه‌ای در دوره آینده حتی با در نظر گرفتن مطلوب‌ترین سناریوهای اقتصادی-اجتماعی و محیط زیست برای کره زمین (سناریوی B2)، افزایش خواهد یافت و این امر باعث افزایش دمای کره زمین در دوره‌های آینده خواهد شد. از سوی دیگر شبیه‌سازی‌های انجام شده توسط مدل‌های مختلف AOGCM<sup>۲</sup> تحت سناریوی B2 در مناطق مختلف کره زمین نشان داده‌اند سیستم اقلیم کره زمین در این مناطق از تعادل خارج شده و پیامدهای منفی متعددی به دنبال داشته‌است. بنابراین

1. General Circulation Model
2. Atmosphere-Ocean General Circulation Model

می‌توان ادعا کرد بیشتر مناطق کره زمین در خوشبینانه‌ترین وضعیت سناریوهای اقتصادی، تحت تأثیر پیامدهای منفی پدیده تغییر اقلیم قرار دارند (Fakhri et al., 2011:913).

مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) به بررسی، تأثیرات این پدیده بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان پرداختند که از داده‌های مدل HadCM3 و دو سناریوی A2 و B2 در دو دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ استفاده کرده‌اند. نتایج مشاهدات آنان نشان دهنده کاهش بارندگی و افزایش دما تا سال ۲۱۰۰، به ویژه در سال‌های پایانی قرن بود (مساح بوانی و مرید، ۱۳۸۴:۲۶).

### ۱-۲- تولید سناریوهای اقلیمی

روش‌های مختلفی برای تولید سناریوهای اقلیمی وجود دارد که در این تحقیق از مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس - اتمسفر گردش عمومی جو GCM استفاده شد. مدل‌های GCM بر پایه قوانین فیزیکی بنا شده‌اند که با روابط ریاضی ارایه می‌شوند. این روابط در یک شبکه سه بعدی در سطح کره زمین تحلیل می‌شوند.

به منظور شبیه‌سازی اقلیم کره زمین، فرآیندهای اصلی اقلیمی (اتمسفر، اقیانوس، سطح زمین، یخ پسته و زیست کره) در مدل‌های فرعی جداگانه شبیه‌سازی شدند. سپس تمام مدل‌های فرعی مربوط به اتمسفر و اقیانوس با یکدیگر جفت شدند و مدل‌های گردش عمومی اقیانوس - اتمسفر AOGCM ایجاد شدند. برای بررسی وضعیت اقلیم گذشته کره زمین، مقادیر مشاهداتی گازهای گلخانه‌ای، نوسانات تابش خورشیدی و ذرات معلق ناشی از فوران‌های آتشفشانی تا سال ۲۰۰۰ به عنوان ورودی به مدل‌های GCM ارایه گردید و متغیرهای اقلیمی به صورت سری زمانی شبیه‌سازی شدند. پس از اینکه متغیرهای اقلیمی در دوره‌های گذشته توسط مدل‌های GCM شبیه‌سازی شدند به منظور شبیه‌سازی وضعیت این متغیرها در دوره‌های آینده، معرفی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آینده برای این مدل‌ها ضرورت می‌یابد. بدین منظور ابتدا میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ارایه شده در سناریوهای انتشار (که معمولاً تا سال ۲۱۰۰ می‌باشند) توسط مدل‌های دیگر به غلظت و نهایتاً به میزان نیروی تابشی تبدیل گشته، سپس این مقادیر به عنوان ورودی به مدل‌های GCM ارایه می‌شوند. نتایج شبیه‌سازی مدل‌های GCM تحت سناریوهای انتشار، سری زمانی متغیرهای اقلیمی را تا سال

۲۱۰۰ ارائه می‌دهد. در حال حاضر معتبرترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس-اتمسفر گردش عمومی جو می‌باشد (Abbasi et al, 2011:149). هیئت بین دول تغییر اقلیم IPCC<sup>۱</sup> که در سال ۱۹۸۸ بوسیله سازمان هواشناسی جهان WMO<sup>۲</sup> و برنامه محیط زیست سازمان ملل UNEP<sup>۳</sup> تاسیس شد، وظیفه شناخت تمام جنبه‌های پدیده تغییر اقلیم را برعهده دارد و در سال ۱۹۹۸، IPCC کمیته‌ای به منظور جمع‌آوری خروجی مدل‌های GCM به نام DDC<sup>۴</sup> تشکیل داد. یکی از اهداف اصلی این مرکز جمع‌آوری خروجی مدل‌های GCM برای استفاده از تحقیقات مربوط با تغییر اقلیم بود. همچنین سری جدید سناریوهای انتشار به نام SRES<sup>۵</sup> را ارائه کرد. خروجی مدل‌های تحت سناریوهای مختلف در بخش DDC، در سایت IPCC قرار دارد که در این پژوهش از آن‌ها استفاده شد (IPCC-WG, 2010).

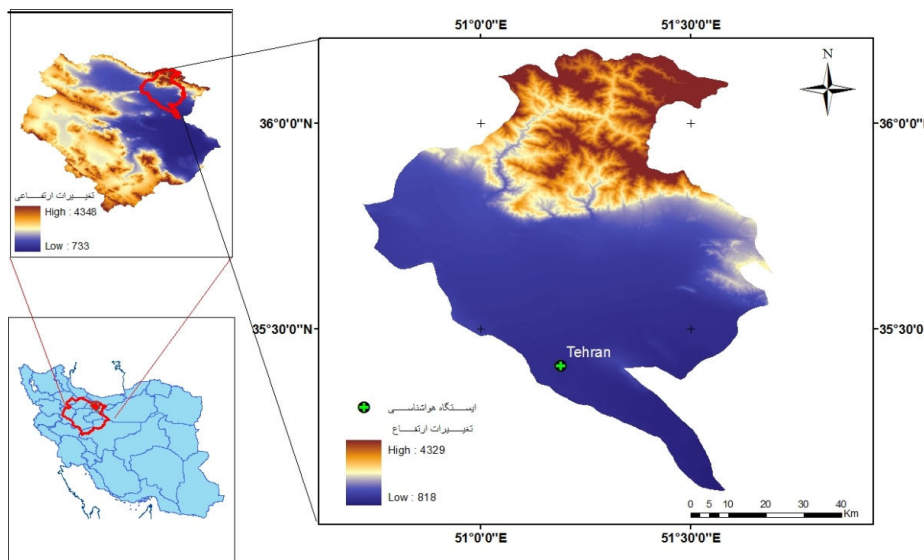
## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

درین پژوهش، زیرحوضه تهران-کرج که زیرمجموعه حوضه دریاچه نمک است به‌عنوان زیرحوضه مورد مطالعه انتخاب شد. ارتفاع این زیرحوضه بین ۴۳۲۹-۸۱۸ متر از سطح دریاست. ایستگاه همدیدی یا سینوپتیک مهرآباد تهران یکی از مهم‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه است که به دلیل دارا بودن بیشترین طول دوره آماری، برای مطالعات تغییر اقلیم مناسب بوده و به‌عنوان نماینده منطقه مورد مطالعه با طول جغرافیایی ۱۹° ۵۱' عرض جغرافیایی ۴۱° ۳۵'، ۱۱۹۰/۸ متر ارتفاع از سطح دریا و اقلیم خشک سرد در نظر گرفته شد که در دشت واقع در مرکز و جنوب حوضه قرار دارد. شکل (۱) موقعیت حوضه، زیرحوضه و ایستگاه همدیدی مورد نظر را نشان می‌دهد. برای دوره پایه پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه

1. Intergovernmental Panel on Climate Change
2. World Meteorological Organization
3. United Nation Environmental Program
4. Data Distribution Center, (IPCC-DDC-1998)
5. Special Reports on Emission Scenario

مشاهداتی ماهانه ۲۰۰۵-۱۹۷۶ استفاده شد. متغیرهای اقلیمی مورد نیاز این پژوهش، دمای حداقل، حداکثر و میانگین، بارندگی و رطوبت نسبی بود.



شکل ۱: موقعیت زیرحوضه و ایستگاه همدیدی انتخابی

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۱

## ۲-۲- تولید متغیرهای اقلیمی از مدل منتخب GCM

به منظور بررسی تاثیرات تغییر اقلیم در دوره آتی از سناریوی انتشار A2 استفاده شد و دوره‌های زمانی مورد مطالعه از جمله ۲۰۰۵-۱۹۷۶ بود که به عنوان دوره پایه در نظر گرفته شد و ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ به ترتیب به عنوان دوره‌های آینده نزدیک، میانی و دور آرایه شدند.

یکی از ضعف‌های مدل‌های AOGCM بزرگ مقیاس بودن سلول محاسباتی<sup>۱</sup> آن‌ها از نظر مکانی و زمانی نسبت به منطقه مورد مطالعه است. بنابراین این متغیرها برای مطالعات

هیدرولوژی و منابع آب از دقت کافی برخوردار نیستند. روش‌های مختلفی برای تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های AOGCM وجود دارد که به آن‌ها روش‌های کوچک مقیاس کردن<sup>۱</sup> گفته می‌شود. در این مطالعه از روش آماری IDW<sup>۲</sup> یا وزن-دهی عکس فاصله استفاده شد که در ادامه به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت.

### ۲-۳- مدل HadCM3

در این تحقیق خروجی مدل HadCM3 از مرکز تحقیقات و پیش بینی اقلیم Hadley انگلستان و تحت سناریو A2 که از زیرمجموعه سناریوهای انتشارست، استفاده شد. این مدل یکی از مدل‌های معرفی شده به وسیله IPCC است که با استفاده از خروجی‌های این مدل مطالعات مختلفی در مناطق مختلف ایران مانند خراسان، کرمانشاه، اصفهان، شهرکرد انجام شده است و در مقایسه با مدل‌های دیگر، دارای نزدیک‌ترین نتایج نسبت به داده‌های مشاهداتی است (Samadi et al., 2009) و (Farzaneh et al, 2011) و (مساح بوانی، ۱۳۸۵). مشخصات کلی این مدل در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱: خصوصیات مربوط به مدل HadCM3 (IPCC-TAGCIA, 1999)

HadCM3	خصوصیات
۲/۵ × ۳/۷۵	دقت مکانی (درجه) (طول × عرض)
۲/۵ × ۳/۷۵	دقت مکانی (درجه) (عرض × طول)
CO <sub>2</sub> : ۱۸۶۰-۱۹۸۹ SO <sub>4</sub> : ۱۸۶۰-۱۹۸۹	دوره شبیه سازی گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق در گذشته
(دوره کنترل: ۲۴۰) (سناریوهای SRES: ۱۹۵۰-۲۰۹۹)	طول دوره شبیه سازی (سال)
A1, A2, B1, B2	سناریوهای شبیه سازی شده SRES

مأخذ: Gordon et al., 2000

1. Downscaling
2. Inverse Distance Weighting

## ۲-۴- روش وزن دهی عکس فاصله (IDW)

در این روش که مبتنی بر فاصله سلول‌ها (گریدها) GCM است، ابتدا اطلاعات گرید مربوط به ایستگاه هواشناسی و ۸ گرید اطراف آن دریافت شده و سپس بر اساس فواصل آن‌ها وزن‌دهی‌ها صورت می‌گیرد. در پژوهش مساح (۱۳۸۵) در حوضه زاینده‌رود، روش IDW با هشت سلول محاسباتی برای کوچک مقیاس کردن پیشنهاد شده بود. در این روش فرض بر این است نقاط نزدیک به نقطه مورد درون‌یابی، تأثیر بیشتری بر میزان کمیت مورد درون‌یابی نسبت به نقاط دورتر دارند. کمیت موردنظر بر اساس مقادیر این کمیت در دیگر نقاط محدوده درون‌یابی می‌شوند. بدین منظور باید  $Z^*$  محاسبه شود که از فرمول (۱) استفاده می‌گردد:

$$Z^*(X_j) = \frac{\sum \frac{Z(X_i)}{(h_{ij} + S)^p}}{\sum \frac{1}{(h_{ij} + S)^p}} \quad (1)$$

$i$  شماره پیکسل و  $j$  شماره ماه موردنظر،  $S$  فاکتور همواری<sup>۱</sup> ( $S = 0.1$ )،  $P$  نمای وزن‌دهی ( $P=3$ )،  $h_{ij}$  فاصله از ایستگاه و  $Z$  مقدار کمیت مورد نظر در هر پیکسل را نشان می‌دهد. در برنامه‌های نوشته شده، ابتدا مقادیر پارامترهای اقلیمی موردنظر برای دوره پایه و دوره‌های آتی به‌عنوان مقادیر  $Z$  وارد معادله فوق می‌شود، سپس میانگین وزنی این داده‌ها محاسبه می‌گردد. لازم به توضیح است برای محاسبه فاصله از ایستگاه مورد مطالعه، ابتدا مختصات ۹ فایل خروجی که در بالای هر کدام قرار دارد خوانده شد و پس از آن به UTM تبدیل گشت، سپس با فرمول (۲) فاصله حساب شد و در نهایت  $Z^*$  محاسبه گردید.

$$h_{ij} = \sqrt{(X_i - X_{station})^2 + (Y_i - Y_{station})^2} \quad (2)$$

---

1. Smoothing



## ۲-۵- روش عامل تغییر<sup>۱</sup>

به دلیل بزرگ مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی مدل‌های AOGCM و عدم معرفی رخصاره های موثر (اروگرافی) بر متغیرهای سطحی اتمسفر در این مدل‌ها، شبیه سازی نوسانات اقلیمی (نوسانات روزانه یا ماهانه) این متغیرها همراه با اغتشاشات<sup>۲</sup> همراه است. به گونه‌ای که مقیاس خروجی این مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی، نمایان‌گر وجود اختلاف در نوسانات متغیر مورد مطالعه است. در حالی که با مقایسه میانگین بلندمدت این متغیرها و داده‌های مشاهداتی نشان‌دهنده توانایی بالای این مدل‌ها در شبیه سازی میانگین بلندمدت متغیرهای اقلیمی است. بنابراین برای حذف اغتشاشات غیر معتبر درون مدلی معمولاً به جای استفاده مستقیم از داده‌های AOGCM در محاسبات تغییر اقلیم، از میانگین دوره‌ای این داده‌ها استفاده می‌شود. تحقیقات نشان داده‌اند بهترین طول دوره آماری برای محاسبه سیگنال‌های تغییر اقلیم ۳۰ سال است.

با متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده برای دوره‌های گذشته توسط مدل‌های AOGCM، می‌توان تغییرات متغیر اقلیمی موردنظر در دوره‌های آتی نسبت به دوره گذشته را محاسبه کرد و سناریوی تغییر اقلیم آن متغیر را می‌توان با استفاده از روش عامل تغییر به دست آورد. در این حالت برای دما از اختلاف بین دو متغیر استفاده می‌شود و برای بارندگی و رطوبت نسبی، از نسبت بین آن‌ها استفاده می‌شود (Jones & Hulme, 1996). به عنوان مثال برای بارندگی، نسبت میانگین ۳۰ ساله هر ماه در دوره‌های آینده و دوره شبیه‌سازی شده پایه، توسط همان مدل و برای هر سلول از شبکه محاسباتی سلول‌ها، محاسبه می‌شود. این مقادیر بیان‌گر میانگین ۳۰ ساله تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه است. بدین ترتیب می‌توان برآوردی از میانگین بارندگی، رطوبت نسبی و دما برای دوره‌های آینده داشت که در تحقیق حاضر این مقادیر برای سه افق زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ برآورد شدند. نهایتاً برای به دست آوردن سری زمانی سناریوی اقلیمی در آینده، این مقادیر به مقادیر اندازه‌گیری شده افزوده می‌شود. (Wilby & Harris, 2006) و (Diaz-Nieto & Wilby, 2005)

1. Change Factor
2. Noise

بدین منظور مقادیر به‌دست‌آمده از رابطه (۱) را در سه فرمول (۳)، (۴) و (۵) جایگزین کرده و مقادیر  $\Delta P$ ،  $\Delta RH$  و  $\Delta T$  را محاسبه می‌کنیم.

$$\Delta P = \frac{P(\text{future}) - P(\text{base})}{P(\text{base})} \times 100 \quad (۳)$$

$$\Delta RH = \frac{RH(\text{future}) - RH(\text{base})}{RH(\text{base})} \times 100 \quad (۴)$$

$$\Delta T = T_{\text{future}} - T_{\text{base}} \quad (۵)$$

در روابط فوق ( $\Delta P$ )، ( $\Delta RH$ ) و ( $\Delta T$ ) به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به بارندگی، رطوبت نسبی و دماها برای میانگین دراز مدت ۳۰ ساله برای هر ماه،  $T_{\text{future}}$  میانگین ۳۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آینده برای هر ماه،  $T_{\text{base}}$  میانگین ۳۰ ساله دمای شبیه‌سازی توسط AOGCM در دوره مشاهداتی یا پایه برای هر ماه می‌باشند. بنابراین در اولین گام، متغیرهای اقلیمی ماهانه موردنظر مربوط به سلول اصلی (سلولی که ایستگاه تهران در آن قرار گرفته) و ۸ سلول اطراف آن برای دوره پایه و دوره‌های آینده از سایت IPCC استخراج شد. سپس نوبت به کوچک مقیاس کردن سناریوهای تغییر اقلیم می‌رسد که با استفاده از روش IDW انجام می‌شود. لازم به‌ذکرست برای تصویرسازی مختصات جغرافیایی به کارترین از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. سپس با کسر مقادیر ماهانه طولانی مدت دوره پایه از مقادیر متناظر آن در دوره‌های آینده، سناریوهای تغییر اقلیم که آن را تغییر میدان<sup>۱</sup> می‌نامند، برای هر دوره به‌دست آمد. مقادیر بارندگی و رطوبت نسبی از تقسیم تغییرات دوره آتی نسبت به آینده بر دوره پایه حاصل شد و در نهایت سناریو تغییر اقلیم محدوده مطالعاتی برای مدل در هر دوره به‌دست آمد.

## ۲-۶- کوچک مقیاس کردن زمانی و تولید سناریوی اقلیمی<sup>۲</sup>

در پژوهش حاضر برای کوچک مقیاس کردن داده‌های طرح به لحاظ زمانی از روش عامل تغییر استفاده شد. در این روش برای به‌دست آوردن سری زمانی سناریوی اقلیمی در آینده،

1. Change Field
2. Climate Scenario

سناریوهای تغییر اقلیم به مقادیر مشاهداتی (۲۰۰۵-۱۹۷۶) طبق روابط (۶)، (۷) و (۸) افزوده می‌شود:

$$T = T_{\text{base}} + \Delta T \quad (۶)$$

$$P = P_{\text{base}} \times \Delta P \quad (۷)$$

$$RH = RH_{\text{base}} \times \Delta RH \quad (۸)$$

در رابطه (۶)  $T_{\text{base}}$  بیانگر سری زمانی دمای مشاهداتی ماهانه در دوره پایه،  $T$  نشاندهنده سری زمانی دما حاصل از پدیده تغییر اقلیم در دوره آینده و  $\Delta T$  سناریوی تغییر اقلیم کوچک مقیاس شده است. در روابط (۷) و (۸) برای بارندگی و رطوبت نسبی نیز موارد ذکر شده برقرار می‌باشد.

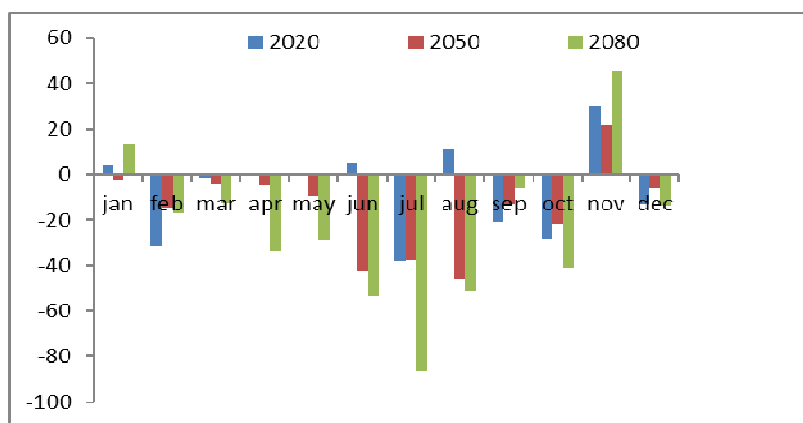
### ۳- یافته‌های تحقیق

#### ۳-۱- محاسبه سناریوهای تغییر اقلیم پارامترهای مورد مطالعه در دوره آینده

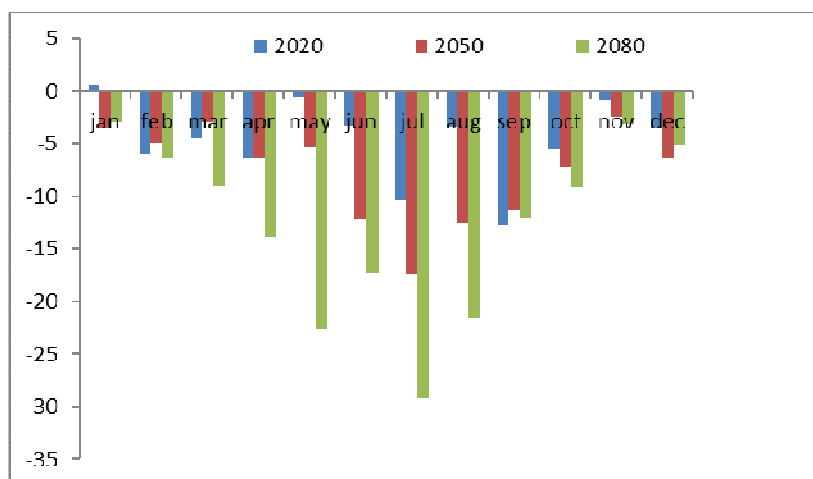
برای محاسبه سناریو تغییر اقلیم تهران، ابتدا سری زمانی پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه شامل دمای کمینه، بیشینه و میانگین، رطوبت نسبی و بارندگی حاصل از مدل HadCM3 تحت سناریو A2 در سلول اصلی و هشت سلول دیگر تهیه شد، سپس با اعمال تکنیک IDW فرآیند کوچک مقیاس صورت پذیرفت. پس از آن متوسط دراز مدت پارامترهای هر ماه در دوره آینده ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ و دوره شبیه‌سازی شده پایه توسط همان مدل (۲۰۰۵-۱۹۷۶) محاسبه شد. نهایتاً با استفاده از روابط (۳) و (۴) و (۵) سناریوهای تغییر اقلیم پارامترهای اقلیمی منطقه محاسبه گردید و تغییرات به صورت گراف در شکل‌های (۲) تا (۶) قابل مقایسه است.

همانطور که مشاهده می‌شود، انتظار می‌رود دمای کمینه منطقه در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ بین ۱/۶۵-۰/۱۷، در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ بین ۳/۶۱-۱/۳۸ و در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بین ۶/۴-۲/۲۸ درجه سانتیگراد نسبت به دوره پایه افزایش یابد. این مقادیر برای پارامتر دمای حداکثری در دوره های آینده مختلف به ترتیب ۲/۲۳-۰/۴۳، ۴/۱۶-۱/۷۹، ۷/۵۹-۳/۲۳، برای پارامتر دمای متوسط به ترتیب ۲/۹۳-۷/۰۲، ۳/۹۲-۱/۷۴، ۰/۶۳-۲

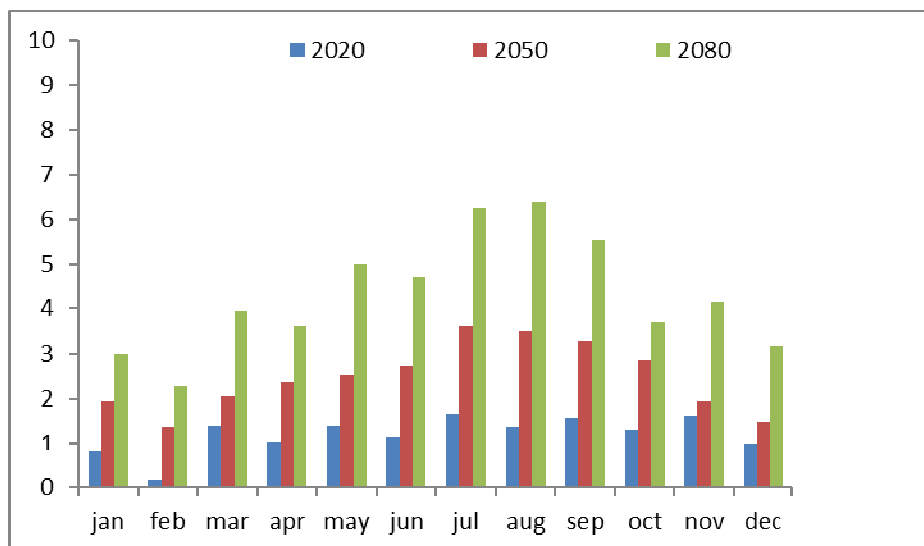
تقریباً در تمام ماه‌ها به غیر از نوامبر و ژانویه درصد بارش کاهش یافته است که در مورد فصول گرم سال قابل توجه‌تر است. درصد پارامتر رطوبت نسبی نیز در تمامی دوره‌ها و ماه‌ها کاهش یافته است به طوری که این کاهش در ارتباط با فصول گرم نسبت به فصول سرد سال قوی‌تر است. براین اساس بیشترین تغییرات به دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ مربوط می‌شود.



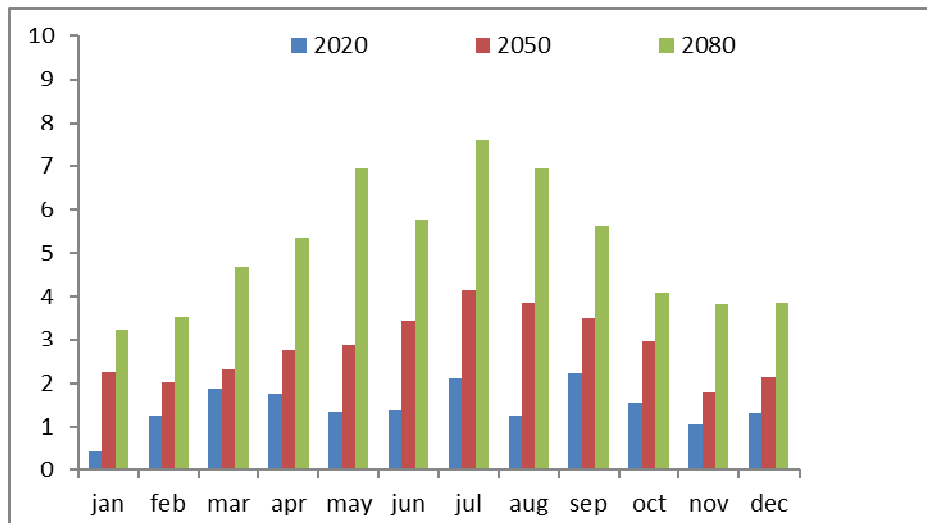
شکل ۲: سناریوی تغییر میزان بارندگی در صورت تغییر اقلیم طی سه دوره آینده  
مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۱



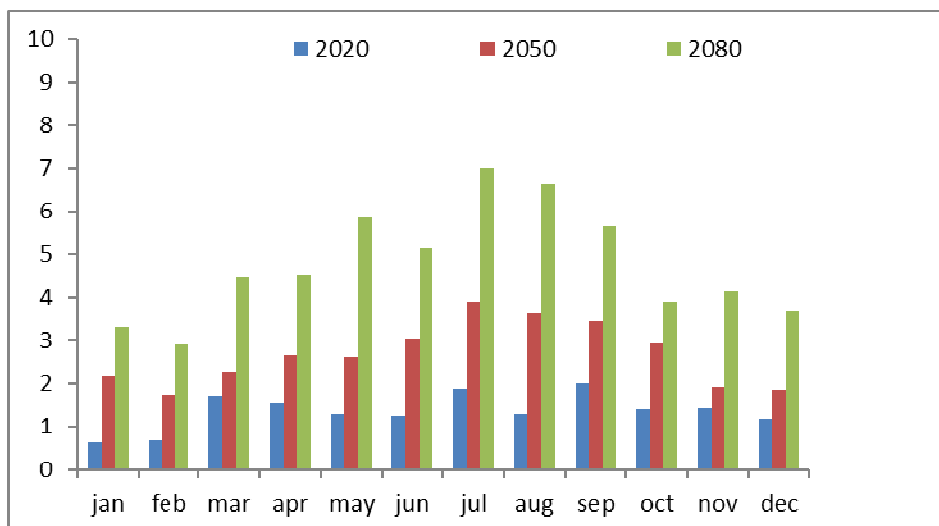
شکل ۳: سناریوی تغییر میزان رطوبت نسبی در صورت تغییر اقلیم طی سه دوره آینده  
مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۱



شکل ۴: سناریوی تغییر میزان دمای کمینه در صورت تغییر اقلیم طی سه دوره آینده  
 مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۱



شکل ۵: سناریوی تغییر میزان دمای بیشینه در صورت تغییر اقلیم طی سه دوره آینده  
 مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۱



شکل ۶: سناریوی تغییر میزان دمای میانگین در صورت تغییر اقلیم طی سه دوره آینده

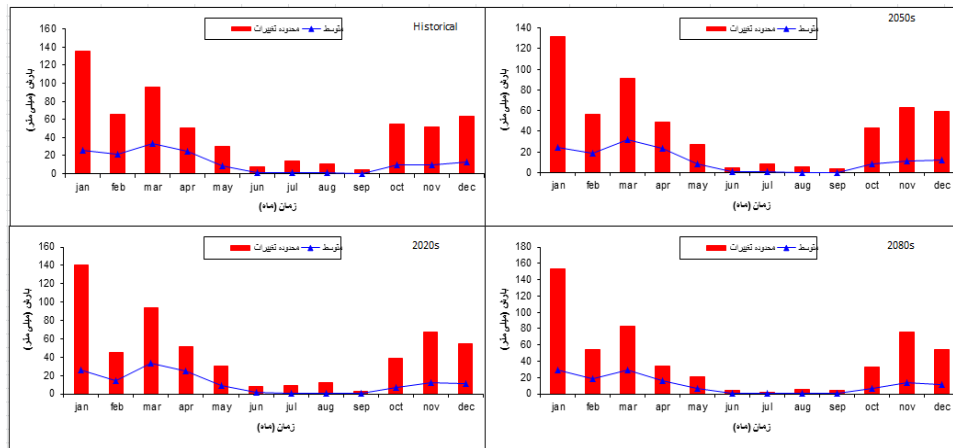
مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۱

### ۳-۲- محاسبه سری زمانی و محدوده تغییرات پارامترهای اقلیمی تحت تأثیر تغییر اقلیم

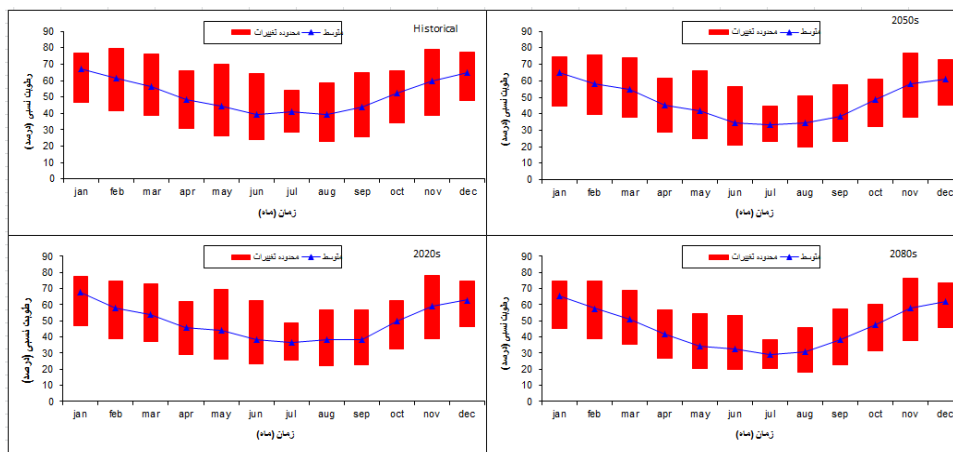
پس از به دست آوردن مقادیر سناریوهای تغییر اقلیم پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه ایستگاه تهران در سه دوره آینده با استفاده از روابط (۶)، (۷) و (۸)، سری زمانی ماهانه این پارامترها محاسبه شد. لازم به ذکر است در این روابط، از سری زمانی میانگین ایستگاه برای متغیرهای مشاهداتی استفاده شد.

تا این مرحله سعی شد ضریب تغییرات بارش و رطوبت نسبی دوره های آینده میانی، نزدیک و دور با استفاده از خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A2 بررسی شود اما مسئله اساسی بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه است. بدین منظور با استفاده از روش عامل تغییر، تلاش شد مقادیر به دست آمده بر سری زمانی دوره پایه اعمال گردد. پس از آن محدوده تغییرات هر پارامتر به همراه مقادیر متوسط آن در دوره ماهانه ترسیم

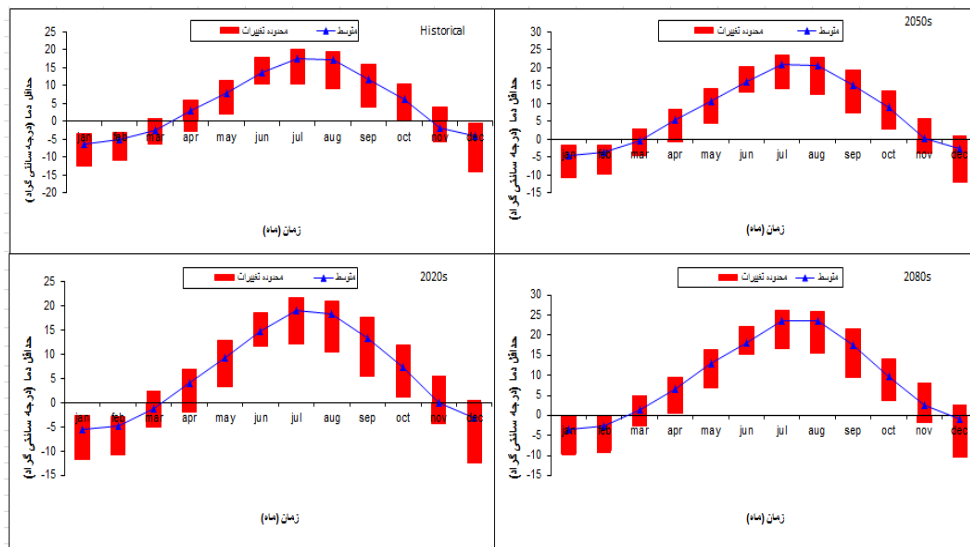
شد و به‌طور هم‌زمان تأثیرات تغییر اقلیم بر محدوده تغییرات و مقادیر متوسط ارایه شد. نتایج در شکل‌های (۷) تا (۱۱) آمده‌است.



شکل ۷: محدوده تغییرات بارش دوره گذشته و تأثیرات تغییر اقلیم بر آن در دوره آتی  
مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۱

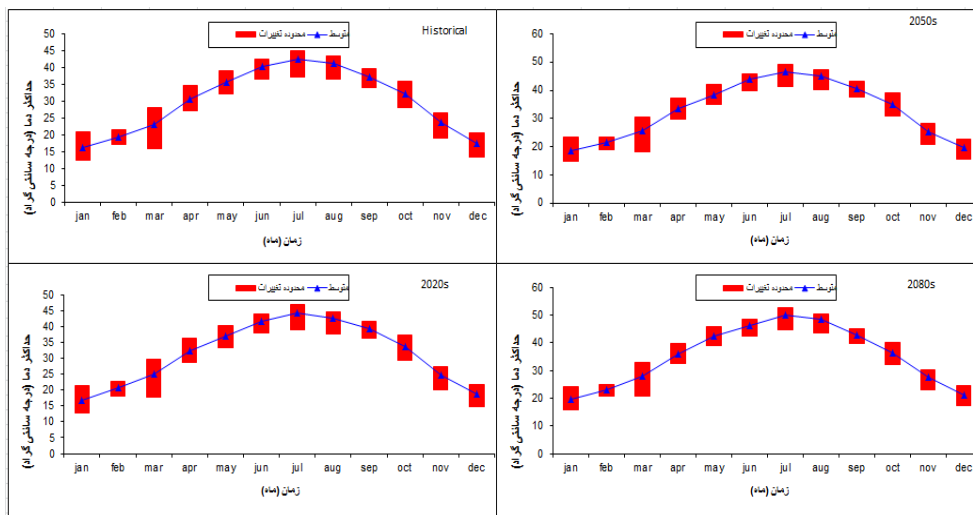


شکل ۸: محدوده تغییرات رطوبت نسبی دوره گذشته و تأثیرات تغییر اقلیم بر آن در دوره آتی  
مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۱



شکل ۹: محدوده تغییرات دمای حداقل دوره گذشته و تأثیرات تغییر اقلیم بر آن در دوره آتی

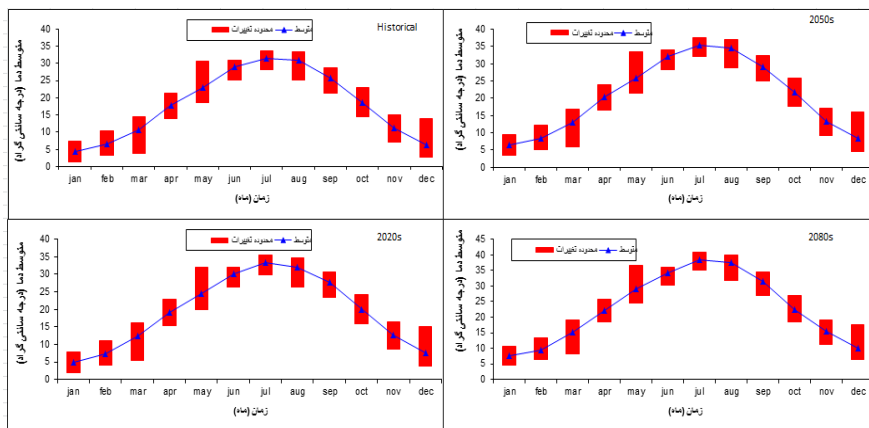
مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۱



شکل ۱۰: محدوده تغییرات دمای حداکثر دوره گذشته و تأثیرات تغییر اقلیم بر آن در دوره آتی

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۱





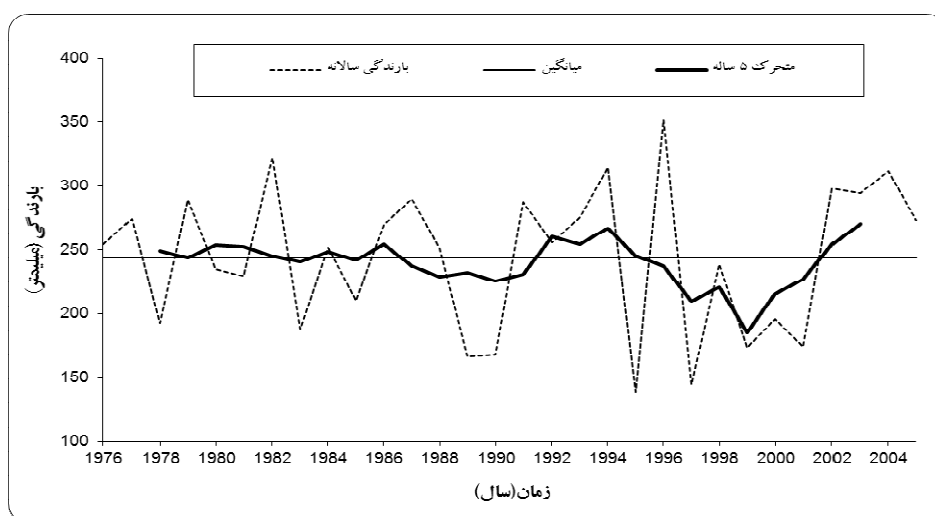
شکل ۱۱: محدوده تغییرات دمای متوسط دوره گذشته و تأثیرات تغییر اقلیم بر آن در دوره آتی  
 مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۱

محدوده تغییرات و متوسط بارش دچار تغییرات چشم‌گیری ارزیابی نمی‌شود و این میزان بین ۴ میلی‌متر افزایش در نوامبر و ۸ میلی‌متر کاهش در آوریل متغیر بوده است اما در مجموع افت بارش در ده ماه از سال وجود داشته‌است. متوسط رطوبت نسبی روند کاهشی محسوس داشته‌است به ویژه در ماه‌های گرم سال این کاهش شدت بیشتری یافته است تا حدی که کاهش ۱۲ درصدی بین دوره پایه و آینده دور در ماه جولای به حد بیشینه رسیده است. میزان تغییرات با نزدیک شدن به دوره آینده دور کاهش یافته است و دمای کمینه افزایش داشته است که از ۲ درجه در ماه‌های سرد تا ۶/۴ درجه در ماه‌های گرم در نوسان بوده است؛ دامنه تغییرات نیز دچار روند افزایشی شده است. دمای بیشینه نیز نشاندهنده دامنه افزایشی از ۳ درجه سانتی‌گراد تا ۷/۵ درجه میل است و در نهایت دامنه افزایشی دمای متوسط بین ۷-۲/۹ درجه برآورد گردید و محدوده تغییرات همانند دمای کمینه و بیشینه دارای روند افزایشی بود. لازم به ذکر است مقادیر کمی افزایش و کاهش بر مبنای تفاوت دوره‌های پایه و آینده دور (۲۰۷۰-۲۰۹۹) استوارند که بیشترین تغییرات را به خود اختصاص داده‌اند.

### ۳-۳- بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر دوره‌های خشک و تر

دوره‌های خشک و تر یکی از مولفه‌های کاربردی بارش محسوب می‌شوند. پس از بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی، آنالیز مربوط به بررسی دوره‌های خشک و تر و

تأثیرات تغییر اقلیم بر آن در نظر گرفته شد. بدین منظور ابتدا مجموع بارش سالانه دوره پایه ترسیم شد و دوره‌های خشک و تر با استفاده از روش میانگین متحرک ۵ ساله، برای دوره گذشته تعیین شد. همان‌طوری که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود، دو دوره خشک غالب و دو دوره تر غالب وجود دارد. میانگین مجموع بارش سالانه دوره پایه  $243/74$  میلی‌متر بوده است.

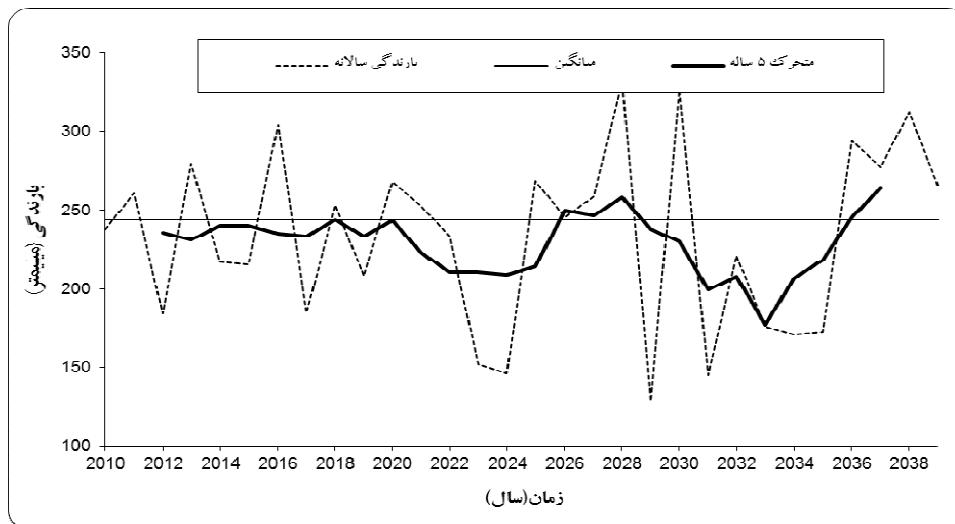


شکل ۱۲: دوره‌های خشک و تر دوره گذشته

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۱

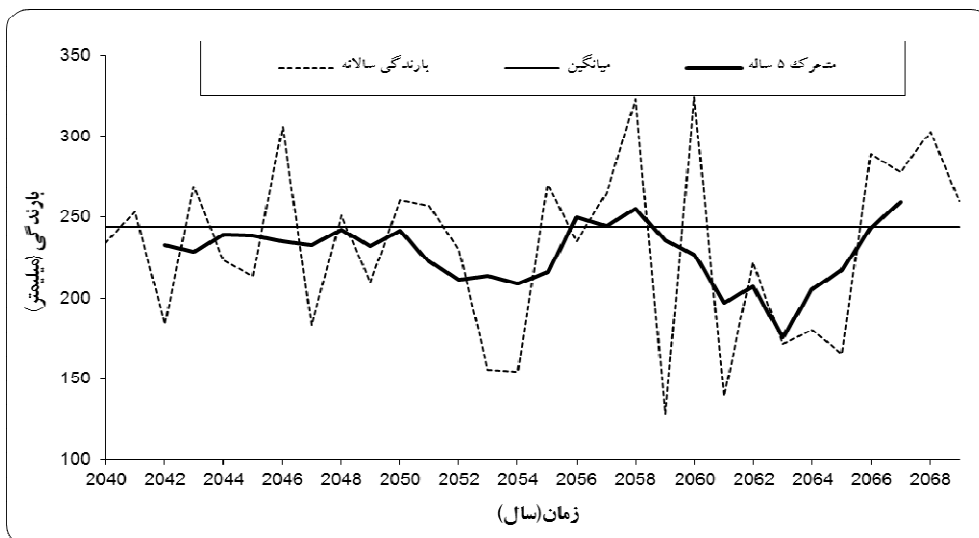
در مرحله بعد با اعمال ضرایب به دست آمده به عنوان نسبت تغییرات بارش در دوره‌های آینده نزدیک، میانی و دور، بطور مجزا ضرایب بر سری زمانی بارش دوره گذشته اعمال گردید و بدین وسیله سری زمانی بارش مربوط به سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۹ تولید گردید. با استفاده از این سری زمانی، تأثیر تغییر اقلیم بر دوره‌های خشک و تر آینده نزدیک، میانی و دور مشخص شد. همان‌طوری که در شکل‌های (۱۳) تا (۱۵) مشاهده می‌شود، با گذشت زمان و نزدیک شدن به دوره آینده دور، میانگین متحرک بارش در منطقه مورد مطالعه کاهش یافته است. این امر منجر شده میانگین متحرک به سمت کاهش مقدار متوسط بارش دوره پایه حرکت کند تا جایی که با این روش در دوره آینده دور کلیه نمودار به زیر میانگین انتقال یافته است و نشان‌دهنده

افزایش دوره‌های خشک نسبت به دوره گذشته است که بر این اساس تأثیر روبه افزایش تغییر اقلیم با نزدیک شدن به این دوره تأیید می‌شود.



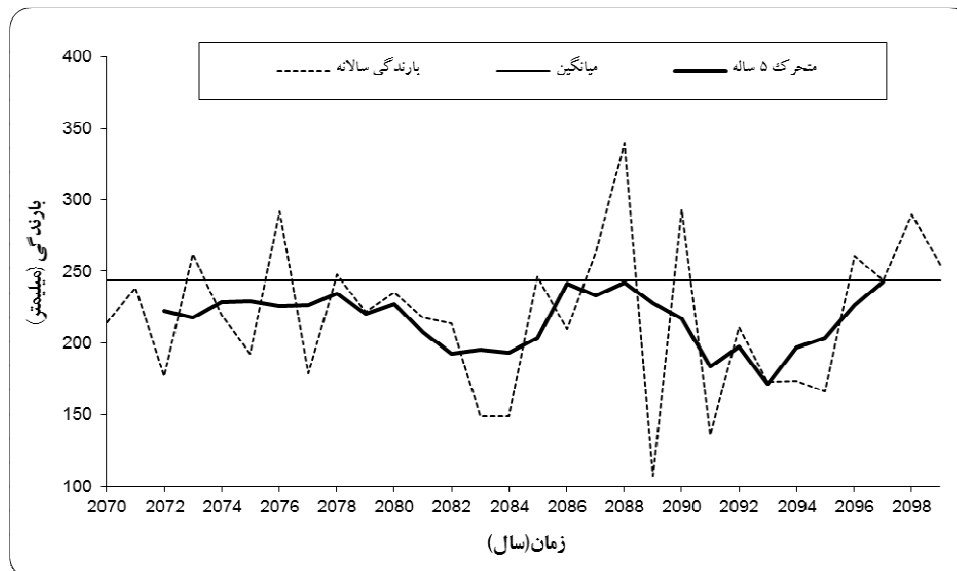
شکل ۱۳: دوره‌های خشک و تر دوره آینده نزدیک

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۱



شکل ۱۴: دوره‌های خشک و تر دوره آینده میانی

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۱



شکل ۱۵: دوره‌های خشک و تر دوره آینده دور

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۱

#### ۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله تلاش شد، تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات پارامترهای اقلیمی و دوره‌های خشک و تر ایستگاه همدیدی مهرآباد تهران بررسی شود که این ناحیه به عنوان نماینده زیرحوضه تهران-کرج در سه دوره آینده ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ در نظر گرفته شد که با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوی A2 تجزیه و تحلیل شد. درین بررسی، نه سلول محاسباتی از جمله سلولی که ایستگاه همدیدی موردنظر در آن قرار داشت و هشت سلول اطراف آن با استفاده از تکنیک IDW کوچک مقیاس شد. به‌طورکلی نتایج پژوهش نشان‌دهنده افزایش پارامترهای دما و کاهش رطوبت نسبی در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه بود به‌طوری‌که برای نمونه انتظار می‌رود پارامتر دمای متوسط تا انتهای دوره آینده بین ۲/۹ تا ۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد. هم‌چنین برآورد شد با نزدیک شدن به دوره آینده دور، افت تدریجی بارش سبب افزایش دوره‌های خشک می‌گردد. برآورد این تغییرات دراز

مدت در متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی نیاز به مدیریت دقیق‌تر منابع آب دارد که در نظر گرفتن پیامدهای تغییرات اقلیمی به ویژه در فصول گرم سال ضرورت دارد.

#### کتابنامه

۱. آشفته، پریسا سادات؛ مساح بوانی، علیرضا. (۱۳۸۶). «تأثیر تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی سیلاب در دوره‌های آتی، مطالعه موردی حوضه آیدوغموش آذربایجان شرقی». تهران: مجموعه مقالات کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. صص ۳۱-۴۷.
۲. خردادای، محمدجواد؛ اسلامیان، سعید و عابدی کویایی، جهانگیر. (۱۳۸۶). «بررسی روند پارامترهای هواشناسی در چند منطقه از ایران». تهران: مجموعه مقالات کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، صص ۷۳-۸۰.
۳. مساح بوانی، علیرضا. (۱۳۸۵). «ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب، مطالعه موردی حوضه زاینده رود اصفهان». تهران: رساله دکتری دانشگاه تربیت مدرس.
۴. مساح بوانی، علیرضا و مرید، سعید. (۱۳۸۴). «اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان». مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۹(۴): ۱۷-۲۷.
5. Abbasi, F., Asmari, M. & Arabshahi, H. (2011). *Climate change assessment over Zagros during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G model*. Environmental Research Journal, 5(4):149-155.
6. Diaz-Nieto, J. & Wilby, R. L. (2005). *A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: impacts on low flows in the River Thames, United Kingdom*. Climatic Change. 69: 245-268.
7. Eslamian, S. S., Khordadi, M. J. & Abedi-Koupai, J. (2011). *Effects of Variations in Climatic Parameters on Evapotranspiration in the Arid and Semi-arid Regions*. Global and Planetary Change, 78, (3-4):188-194.
8. Fakhri, M., Farzaneh, M. R., Eslamian, S. S. & Khordadi, M. J. (2011). *Confidence interval assessment to estimate dry and wet spells under climate change in Shahrekord Station, Iran*. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE. 18(7): 911-918.

9. Farzaneh M. R., Eslamian, S. S., Samadi S. Z. & Akbarpour, A. (2011). *An Appropriate general circulation model (GCM) to investigate climate change*. International Journal of Hydrology Science & Technology. 2(1): 43-51.
10. IPCC-TGCI. (1999). *Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment*. UK: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Publications.
11. IPCC-WG. (2010), <http://www.ipcc.ch>
12. Jones, P. D. & Hulme, M. (1996). *Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations*. International journal of climatology. 16: 361-377.
13. Lane , M. E., Kirshen, P. H. & Vogel, R. M. (1999). *Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources*. ASCE Journal of Water Resources Planning and Management. 125(4): 194-204.
14. Samadi, S. Z., Mahdavi, M., Sharifi, F. & Bihamta, M. R. (2009). *Methodology for selecting the best predictor for climate change impact assessment in Karkheh Basin, Iran*. Journal of Environmental Science and Engineering. 61: 18-33.
15. Wilby R. L. & Harris, I. (2006). *A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK*. Water Resources Research. 42(2): 1-10.