

مدل سازی اقلیم استان های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WG و مقایسه تغییرات آن در جبهه های شمالی و جنوبی البرز مرکزی

نفیسه حق طلب^{۱*}

nafise_haghtalab@yahoo.com

محسن گودرزی^۲

مجید حبیبی نوخندان^۳

احمدرضا یآوری^۴

حمیدرضا جعفری^۴

تاریخ پذیرش: ۸۸/۲/۲۸

تاریخ دریافت: ۸۸/۱/۱۵

چکیده

افزایش گازهای گلخانه ای در چند دهه اخیر باعث برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده که به آن پدیده تغییر اقلیم (Climate Change) اطلاق می شود. مهم ترین تبعات تغییر اقلیم افزایش دمای متوسط کره زمین، افزایش پدیده های حدی اقلیمی نظیر سیل، طوفان، تگرگ، طوفان های حاره ای، امواج گرمایی، افزایش سطح آب دریاها، ذوب شدن یخ های قطبی، امواج گرمایی و سرماهای نابهنگام خواهد بود. در این تحقیق ایستگاه های سینوپتیک دو استان تهران و مازندران در دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۸ مورد بررسی قرار گرفته و برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WG و ریز مقیاس نمایی داده های گردش عمومی جو پیش بینی شده است. هدف اصلی مقایسه میزان تغییرات در دو جبهه شمالی و جنوبی رشته کوه البرز مرکزی بوده است. در نهایت با توجه به افزایش دما و کاهش بارندگی در هر دو استان کویرزایی در آینده سرعت بیشتری خواهد یافت، که این نرخ رشد در دامنه جنوبی البرز مرکزی بسیار چشمگیرتر از دامنه شمالی آن است. همچنین احتمال افزایش بارندگی های سیل آسا و رگباری در هر دو دامنه وجود دارد که این احتمال برای بارش های با شدت بیشتر در مازندران و با دوره برگشت کوتاهتر در تهران بیشتر است.

واژه های کلیدی: تغییر اقلیم استان های تهران و مازندران، مدل LARS-WG، بارش سیل آسا، کویرزایی.

۱- مدرس، گروه مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر* (مسئول مکاتبات).

۲- عضو هیات علمی، گروه مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر.

۳- عضو هیات علمی پژوهشکده هواشناسی، مدیریت پژوهشکده اقلیم شناسی.

۴- عضو هیات علمی، گروه مدیریت برنامه ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه ای در چند دهه اخیر باعث برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده که به آن پدیده تغییر اقلیم (Climate Change) اطلاق می شود. مهم ترین تبعات تغییر اقلیم افزایش دمای متوسط کره زمین، افزایش پدیده های حدی اقلیمی نظیر سیل، طوفان، تگرگ، طوفان های حاره ای، امواج گرمایی، افزایش سطح آب دریاها، ذوب شدن یخ های قطبی، امواج گرمایی و سرماهای ناهنگام خواهد بود. بررسی ها نشان می دهند که این پدیده می تواند برسیستم های مختلف اعم از منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد (۱) معتبر ترین ابزار جهت بررسی اثرات این پدیده بر سیستم های مختلف استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه سازی شده توسط مدل های جفت شده اتمسفر- اقیانوس گردش عمومی جو^۱ GCM می باشد. (۲)

با تدوین سناریو های انتشار گاز های گلخانه ای توسط هیات بین الدول تغییر اقلیم^۲ (IPCC)، مدل های گردش عمومی جو با فرضیات مختلف انتشار مانند A1, A2, B1, B2... و توسعه یافته اند تا وضعیت اقلیمی دهه های آتی را مشخص کنند. در مطالعات ارزیابی تاثیر اقلیم در سطوح منطقه ای، یکی از مشکلات اصلی در استفاده از مدل های موجود، وسعت محدوده پیش بینی متغیرها در این مدل ها (بررسی محدوده هایی در حدود 5000 Km^2) است که با توجه به تغییرات توپوگرافی و اقلیم در این محدوده، نمی توان از نتایج مستقیماً در مقیاس ایستگاهی استفاده نمود. به عبارت دیگر، مدل شرایط توپوگرافی و پوشش سطحی و شرایط اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتری در نظر می گیرد، در حالی که ممکن است شرایط واقعی سطح زمین در محدوده مورد بحث کاملاً متفاوت باشد. برای رفع این نقیصه، روش های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی در مقیاس منطقه ای ایجاد شده اند که به آن ها ریز مقیاس کردن (Down-Scaling) گفته می شود. روش های ریز مقیاس کردن به دو بخش عمده تقسیم می شوند: ۱- آماری، ۲- دینامیکی. با استفاده از روش های

مختلف ریز مقیاس کردن می توان تغییرات اقلیمی را در آینده موردبررسی قرارداد (۳)

مدل های دینامیکی منطقه ای دارای دقت فضایی مناسبی برای ارزیابی های اقلیمی بوده و همچنین فرآیندهای ریز مقیاس جوی و اقلیمی تا حد ممکن لحاظ می شوند اما استفاده از این مدل ها برای ریز مقیاس نمایی خروجی مدل های گردش عمومی جو با محدودیت زمانی اجرای مدل مواجه است. در مدل های آماری علاوه بر داده های یک مدل گردش عمومی جو، داده های دیدبانی شده نیز جهت کشف ارتباط آماری بین داده های مدل گردش عمومی جو در گذشته و داده های دیدبانی مورد نیاز است. با روش آماری در زمانی در حد ثانیه می توان ریز مقیاس نمایی آماری را برای یک ایستگاه مشخص انجام داد. روش آماری ریز مقیاس کردن در مقایسه با روش های دینامیکی، خصوصاً در مواقعی که هزینه کم تر و ارزیابی سریع تر عوامل موثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت ها و قابلیت های بیشتری برخوردار است. از مدل هایی که برای ریز مقیاس نمایی دینامیکی استفاده می شود می توان به RegCM3, MM5 و PRECIS اشاره کرد. انواع مدل های ریز مقیاس نمایی آماری عبارتند از: LARS-WG, CLIMGEN, SDSM, USCLIMATE, GEM, MET& Roll و ... (۴)

در این پروژه از داده های سناریوی A1 مدل ECHO—G که هم اکنون در دانشگاه هامبورگ آلمان و مرکز تحقیقات هواشناسی کره جنوبی اجرا می شود، برای ارزیابی تغییرات اقلیمی ایستگاه های سینوپتیک استان های تهران و مازندران با استفاده از تکنیک ریز مقیاس نمایی آماری و با به کارگیری مدل تولید داده LARS-WG استفاده شده است.

معرفی مدل LARS-WG و روش تحقیق:

یکی از مشهورترین مدل های مولد داده های تصادفی وضع هوا LARS-WG است که برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت های بیشینه و کمینه روزانه در یک

معیار روزانه تنظیم شده اند. به طور ساده، هر دوی این ها برای مقادیر تر و خشک در طول یک سال ثابت در نظر گرفته شده اند. مقادیر باقی مانده که از تفریق مقادیر میانگین از مقدار دیدبانی شده به دست می آیند، در تحلیل خود همبستگی زمانی داده های کمینه و بیشینه مورد استفاده قرار می گیرند. تحلیل میزان تابش روزانه در هر مکان نشان می دهد که توزیع نرمال تابش روزانه در یک اقلیم مشخص نامناسب است. میزان تابش روزانه در روزهای تر و خشک به طور معنی داری متفاوت است. بنابراین جدا کردن توزیع نیمه تجربی برای توزیع تابش در روزهای تر و خشک به کار برده می شود. تابش به طور مجزا از دما مدل سازی می شود. بنابراین ورودی های این مدل آمار روزانه اقلیمی شامل میزان بارندگی، دما و تابش است و خروجی های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، میانگین دمای ماهانه و سالانه، مقادیر بارش و تابش می باشند (۷).

تولید داده توسط مدل در سه مرحله انجام می شود که عبارتند از: کالیبره کردن، ارزیابی و ایجاد داده های هواشناسی. در این مدل داده های مدل گردش عمومی جو ECHO-G شامل بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش به صورت روزانه استخراج شده و برای هر شبکه مدل گردش عمومی جو یک سناریوی خاص مدل LARS-WG تدوین می شود. برای تدوین این سناریو داده های شبکه ای مدل ECHO-G در دوره ارزیابی با دوره پایه مقایسه شود. در این جا دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۸۸ و دوره آینده ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در نظر گرفته شده است. برای اجرای مدل LARS-WG علاوه بر سناریوی تدوین شده برای هر شبکه محاسباتی، نیاز به فایل مشخصه رفتار اقلیم گذشته ایستگاه های واقع در داخل آن شبکه نیز وجود دارد. مکانیسم عمل مدل به این صورت است که آن در ابتدا با استفاده از سناریوی تولید داده ماهانه که در برگیرنده رفتار اقلیم پایه می باشد، تمامی داده های ماهانه را مطابق فرمول:

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base}) \quad (۱)$$

ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می رود. اولین نسخه LARS-WG در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان ابزاری برای ریز مقیاس نمایی آماری در کشور مجارستان ابداع شد. مدل LARS-WG برای مدل سازی متغیرهای هواشناسی توزیع های آماری پیچیده ای را بکار می برد. مبنای این مدل برای مدل سازی طول دوره های خشک و تر، بارش روزانه و سری های تابش توزیع نیمه تجربی می باشد. خروجی های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش می باشند (۵).

آخرین مدل این نرم افزار عبارت است از LARS-WG 4.0 که در تولید داده های تصادفی هواشناسی در دوره زمانی طولانی توسعه زیادی یافته و کاملا پیشرفته است. مدل LARS-WG برای مدل سازی متغیرهای هواشناسی توزیع های آماری پیچیده ای را به کار می برد. مبنای این مدل برای مدل سازی طول دوره های خشک و تر، بارش روزانه و سری های تابش توزیع نیمه تجربی می باشد. شبیه سازی بارندگی بر اساس روزهای تر و خشک مدل سازی می شود، این در حالی است که روزهای تر به روزی اطلاق می شود که بارندگی بیشتر از ۰ میلی متر باشد. طول هر سری به طور اتفاقی در هر ماه انتخاب می شوند. برای تعیین توزیع ها، داده های مشاهده شده در دوره گذشته نیز در همان ماه جای می گیرند. برای محاسبه روز های خشک، میزان بارندگی از توزیع نیمه تجربی بارندگی برای ماه خاصی که به سری های تر یا به میزان بارندگی در روز قبل بستگی ندارد، ایجاد می شود (۶). سری های فوریه، درجه حرارت را تخمین می زند درجه حرارت های کمینه و بیشینه روزانه به صورت فرآیندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل سازی می شوند. سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی با توزیع نرمال به کار می روند. سری های فوریه شبیه سازی شده برای میانگین ها با میانگین مقادیر مشاهده شده متناسب هستند. قبل از متناسب کردن مقادیر سری های فوریه انحراف معیار مقادیر دیدبانی برای هر ماه برای تخمین میانگین انحراف

معرفی منطقه مطالعاتی

استان مازندران در شمال ایران و در حاشیه دریای خزر واقع شده است. همچنین جبهه شمالی البرز مرکزی ایران در این استان واقع شده است. دامنه رشته کوه البرز در این استان پوشیده از جنگل های منحصر به فرد هیرکانی است. مطالعه حاضر بر روی ایستگاه های بابلسر و نوشهر در دوره پایه ۱۹۸۸-۲۰۰۵ میلادی انجام شده است. در جدول ۱ مشخصات جغرافیایی این ایستگاه ها آورده شده است.

محاسبه می کند. در این فرمول ها fut: آینده، obs: گذشته، سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار آن هارا مطابق فرمول:

$$STD_{fut} = \frac{STD_{OBS}}{STD_{GCM_{base}}} \times STD_{GCM_{fut}} \quad (2)$$

تغییر می دهد خروجی های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش می باشد. (۷)

در این مطالعه وضعیت اقلیمی هر کدام از ایستگاه های سینوپتیک استان های مازندران و تهران در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی مدل سازی شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است تا میزان تفاوت اقلیم در دو دامنه رشته کوه البرز مرکزی نمایان شود.

جدول ۱- موقعیت و طول دوره آماری ایستگاه های مورد مطالعه

تعداد	ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	طول دوره آماری
۱	بابلسر	۳۶/۴۳	۵۲/۳۹	-۲۱	۱۹۸۸-۲۰۰۵
۲	نوشهر	۳۶/۳۹	۵۱/۳۰	-۲۰/۹	۱۹۸۸-۲۰۰۵

منبع: (۸)

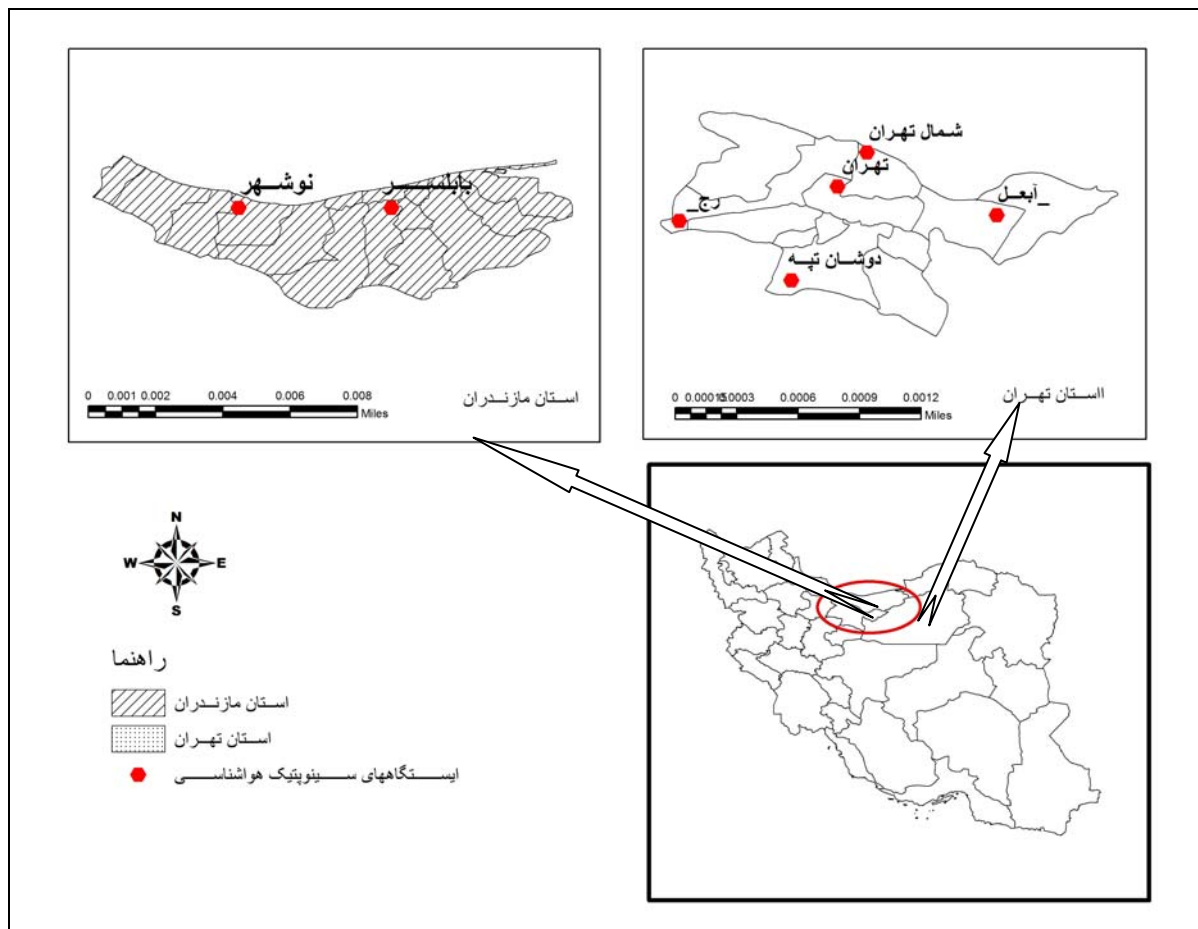
موقعیت جغرافیایی ایستگاه های سینوپتیک مورد بررسی آورده شده است. شکل ۱ نیز موقعیت منطقه مطالعاتی در سطح کشور و موقعیت ایستگاه ها را در سطح استان نشان می دهد.

استان تهران در جنوب استان مازندران قرار دارد که جبهه جنوبی رشته کوه های البرز مرکزی در این استان واقع شده است. در این دامنه جنگل های هیرکانی را نداریم و در مخروط افکنه این دامنه ابر شهر تهران قرار دارد. در جدول ۲

جدول ۲- موقعیت و طول دوره آماری ایستگاه های مورد مطالعه در استان تهران

تعداد	ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	طول دوره آماری
۱	آبعلی	۳۵/۴۵	۵۱/۵۳	۲۴۶۵/۲	۱۹۸۸-۲۰۰۵
۲	دوشان تپه	۳۵/۴۲	۵۱/۲۰	۱۲۰۹	۱۹۸۸-۲۰۰۵
۳	کرج	۳۵/۵۵	۵۰/۵۴	۱۳۱۲/۵	۱۹۸۸-۲۰۰۵
۴	تهران	۳۵/۴۱	۵۱/۱۹	۱۱۹۰/۸	۱۹۸۸-۲۰۰۵
۵	تهران - شمال	۳۵/۴۷	۵۱/۳۷	۱۵۴۸/۲	۱۹۸۸-۲۰۰۵

منبع: (۸)



شکل ۱ - موقعیت ایستگاه های سینوپتیک مورد مطالعه در استان و موقعیت استان ها در کشور ایران (۹)

کالیبراسیون مدل

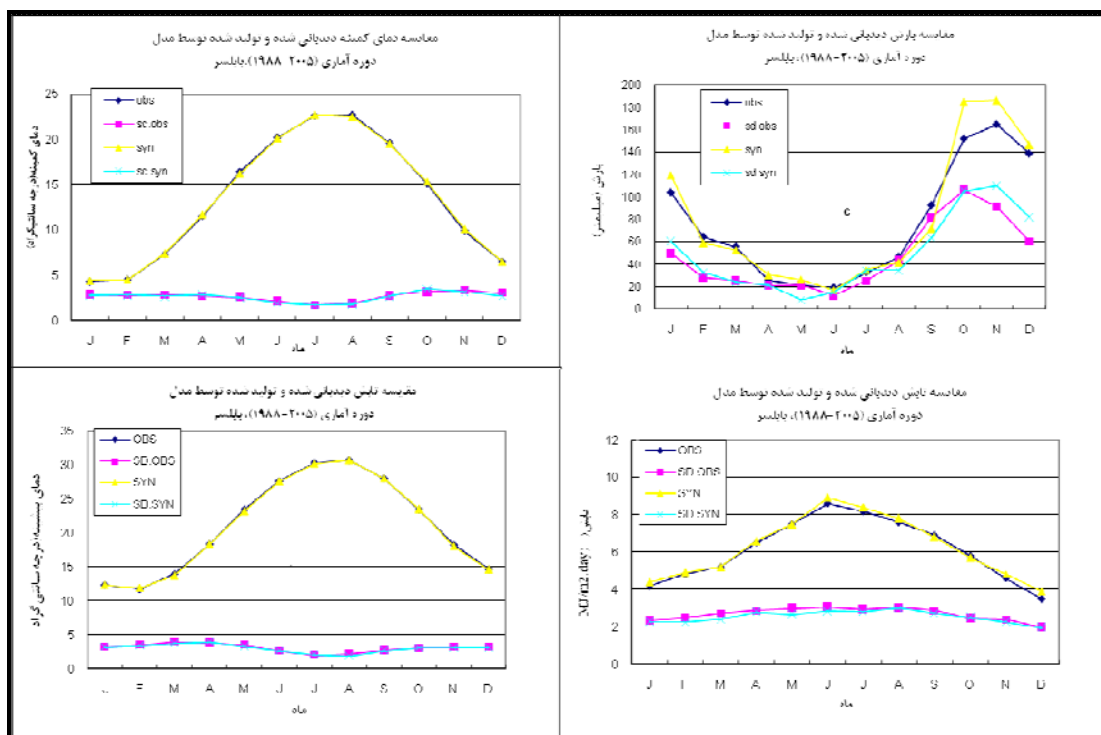
استفاده گردید. مقایسه آماری این داده ها برای ۴ پارامتر مذکور و خصوصیات آماری آن ها شامل میانگین ماهانه انحراف معیار، خطاهای نسبی مقادیر متوسط، خطاهای نسبی انحراف معیار و میزان همبستگی و دیگر آزمون ها (T-test و...) تهیه شدند. نتایج نشان دادند که توانمندی مدل مورد بررسی در مدل سازی دمای کمینه و بیشینه و تابش دوره آماری در مقایسه با بارش بسیار خوب و قابل قبول می باشد، نتایج آزمون T استیودنت بارش نیز نشان داد که اختلاف بین مقادیر مدل سازی و واقعی با خطای بحرانی ۰/۰۵ قابل قبول می باشد. از طرفی مقادیر همبستگی پیرسون بین مقادیر مدل سازی و واقعی با خطای بحرانی ۰/۰۱ مورد پذیرش قرار می گیرد. بنابر این، مدل LARS-WG توانمندی خوبی در جهت تولید داده و مدل سازی اقلیم دوره گذشته ایستگاه های استان دارا است.

ارزیابی مدل LARS-WG از طریق مقایسه داده های دوره آماری و داده های تولیدشده توسط مدل با استفاده از آزمون های آماری و نمودارهای مقایسه ای انجام یافت. برای این کار یک سناریوی حالت پایه برای دوره آماری ۱۹۸۸-۲۰۰۵ تهیه و مدل برای دوره پایه مذکور اجرا گردید. برای ارزیابی خروجی های مدل LARS-WG داده های دیدبانی و مدل شده برای ۴ پارامتر دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش و همچنین خصوصیات آماری آن ها شامل میانگین ماهانه انحراف معیار و... تهیه شدند و توانمندی مدل برای ایجاد اقلیم گذشته ایستگاه های استان های تهران و مازندران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

به منظور مقایسه داده های دیدبانی و تولید شده توسط مدل از آزمون های آماری و نمودارهای مقایسه ای

عنوان نمونه آورده شده است.

در شکل ۲ مقایسه مقادیر دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش تولید شده توسط مدل و مقادیر دیدبانی شهرستان بابلسر به



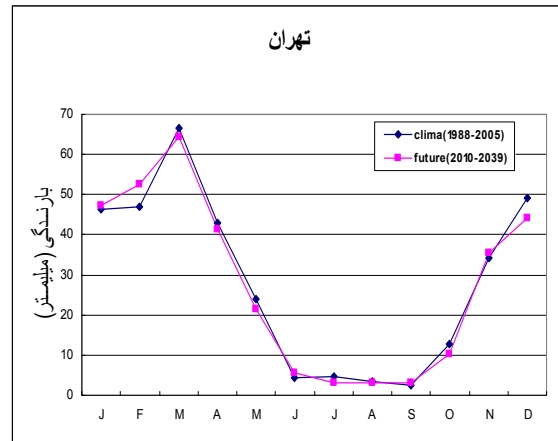
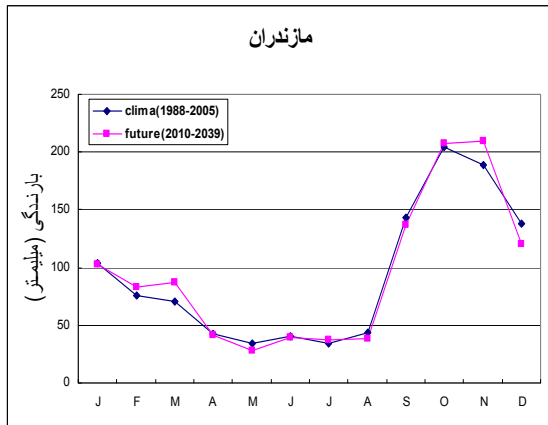
شکل ۲- مقایسه مقادیر مدل شده و دیدبانی برای پارامترهای الف. بارش، ب. دمای کمینه، ج. دمای بیشینه و د. تابش در ایستگاه سینوپتیک نوشهر برای دوره ۱۹۸۸-۲۰۰۵ (obs) مقدار دیدبانی شده، sd.obs انحراف معیار مقادیر دیدبانی شده، syn مقادیر تولید شده توسط مدل، sd.syn انحراف معیار مقادیر تولید شده توسط مدل

نتایج حاصل از مدل

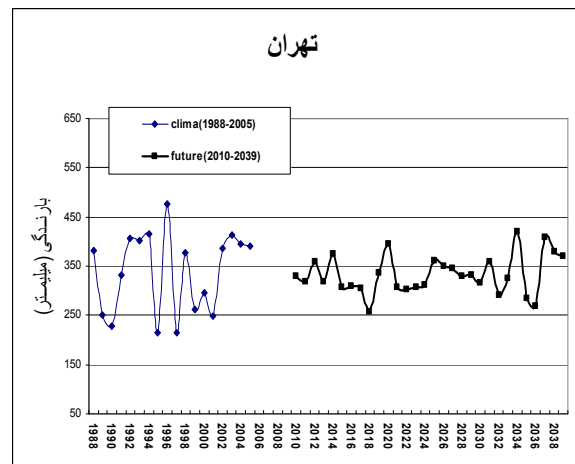
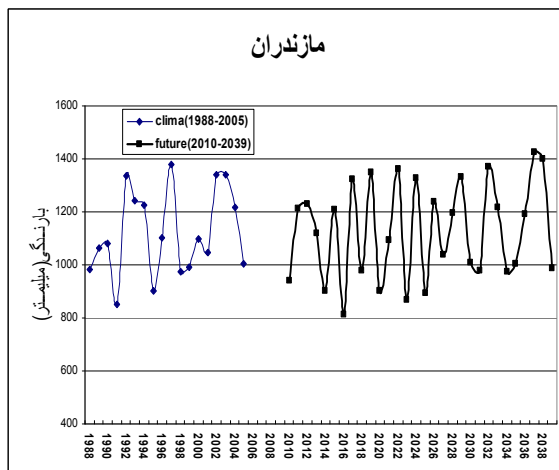
بارندگی

می باشد. اما در جبهه جنوبی به طور میانگین میزان بارندگی ماهانه حدود ۴/۸ میلی متر کاهش می یابد. بیشترین افزایش در فصل بهار به میزان ۱۱٪ و بیشترین کاهش در فصل زمستان به میزان ۳۳٪ پیش بینی شده است. بارندگی سالانه افزایش ۱۲۹ میلی متری را نسبت به دوره گذشته نشان می دهد. در شکل ۳ نمودار ماهانه بارش دو استان آورده شده است.

با استفاده از خروجی های مدل و روش میانگین گیری حسابی بین ایستگاه های مورد مطالعه، مقدار میانگین ماهانه بارش در دهه ۲۰۲۰ و همچنین انحراف معیار آن محاسبه گردیده و با میانگین دوره آماری مقایسه گردیده است. نتایج نشان داد که در جبهه شمالی میزان بارش ها در فصل تابستان و بهار در مقایسه با میزان نرمال با کاهش مواجه خواهد شد. اما در فصل پاییز و زمستان افزایش می یابد. بیشترین افزایش بارندگی در فصل سرد سال یعنی زمستان به میزان ۸٪ می باشد و بیشترین کاهش متعلق به فصل تابستان حدود ۴٪



شکل ۳- میانگین ماهانه بارش مازندران و تهران در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ و مقایسه آن با دوره آماری



شکل ۴- میانگین سالانه بارش مازندران و تهران در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ و مقایسه آن با دوره آماری

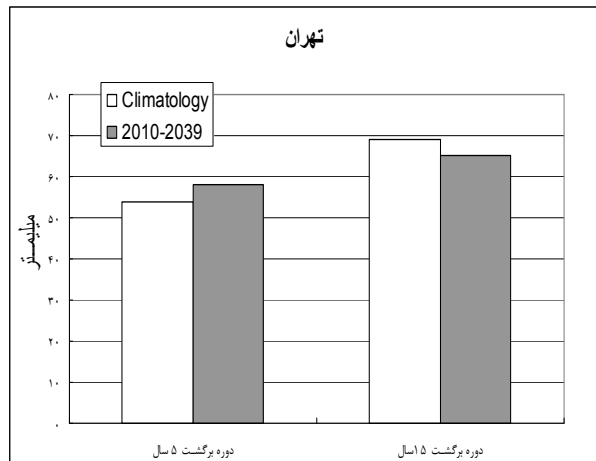
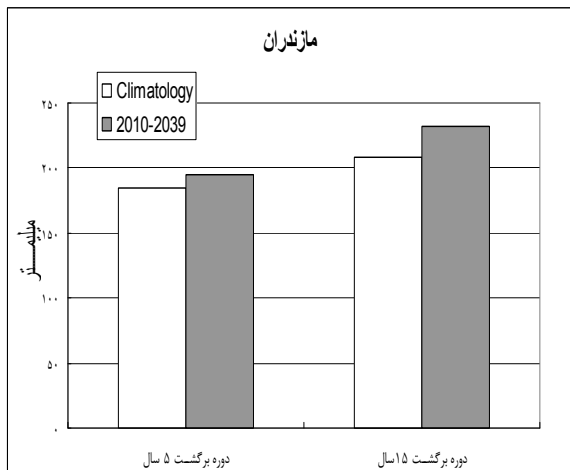
بارش های سنگین و خیلی سنگین

۱۹۴/۴ میلی متر در دوره آماری به ۲۳۱/۷ میلی متر در آینده می رسد، یعنی با افزایش ۱۱ درصدی مواجه خواهند بود. به طور کلی بارش های سیل اسا در دهه ۲۰۲۰ افزایش می یابد. در استان تهران بارش های سنگین در دوره آینده حدود ۷/۸٪ افزایش خواهد داشت، آستانه بارش های سنگین از ۵۴ میلی متر به ۵۸/۲ میلی متر خواهد رسید. اما بارش های خیلی سنگین در این استان کاهش خواهد یافت، به طوری که آستانه آن از ۶۹ میلی متر به ۶۵/۳ میلی متر خواهد رسید و حدود ۵/۳۵٪ کاهش خواهد داشت. (شکل ۵)

بارش های سنگین، بارش هایی با دوره برگشت ۵ ساله و بارش های خیلی سنگین با دوره برگشت ۱۵ ساله می باشند.

در شکل ۵ نمودار مقایسه ای آستانه بارش های سنگین و خیلی سنگین آورده شده ست. نتایج نشان می دهد که آستانه بارش های سنگین در مازندران از ۱۸۵ میلی متر در دوره گذشته به ۲۰۸ میلی متر در دوره آینده خواهد رسید و بارش های سنگین به میزان ۵٪ نسبت به نرمال افزایش می یابد.

بارش های خیلی سنگین نیز مانند بارش های سنگین روند افزایشی داشته، به طوری که در مازندران از

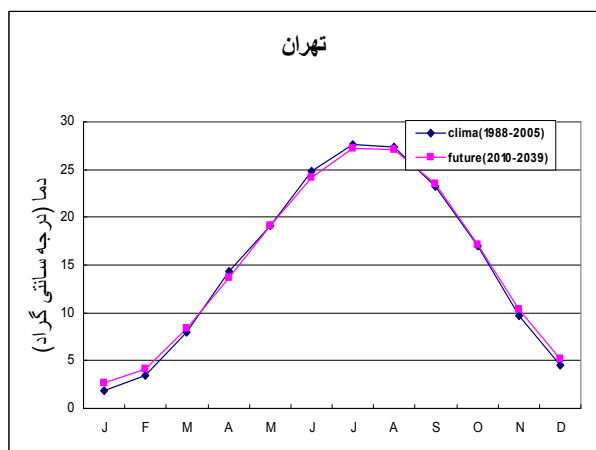
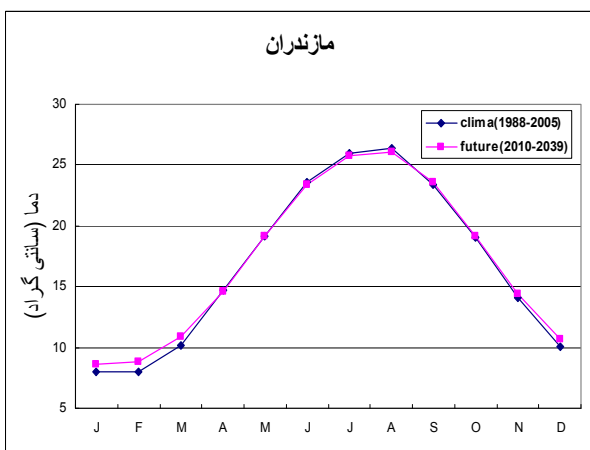


شکل ۵- تغییرات آستانه بارش های سنگین و خیلی سنگین در استان های تهران و مازندران

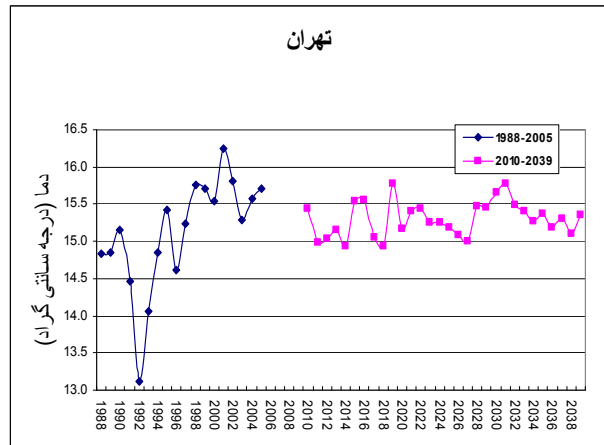
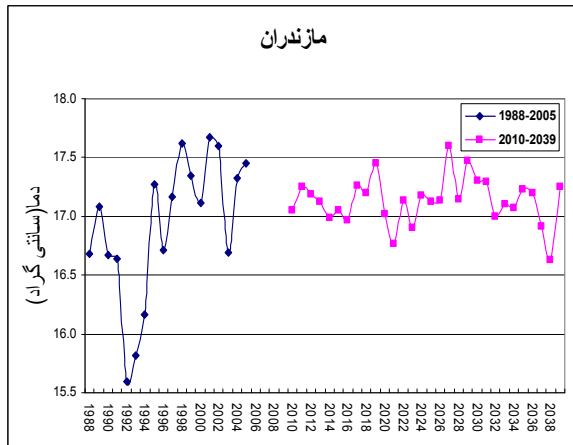
دما

آماري گذشته ۰/۲ درجه افزایش خواهد یافت. در استان تهران میانگین دمای ماهانه حدود ۰/۲ درجه سانتی گراد افزایش خواهد داشت، بیشترین افزایش در ماه ژانویه در حدود ۰/۸ درجه می باشد که حدود ۴۱٪ افزایش دارد و در حالی که در ماه آوریل حدود ۰/۶ درجه سردتر می شود که برابر ۴٪ کاهش دماست.

میانگین دمای استان مازندران در دوره مورد بررسی به جز در ماه های آگوست، ژوئن و جولای که اندکی افزایش دارد(شکل ۶)، میانگین دما بیشتر از حد نرمال خواهد بود. بیشترین افزایش میانگین دما مربوط به فصل های زمستان با ۰/۷ درجه سانتی گراد و پاییز با ۰/۳ درجه افزایش می باشد. میانگین دمای سالانه استان در دهه ۲۰۲۰ نسبت به دوره



شکل ۶- میانگین دمای ماهانه استان های مازندران و تهران تا سال ۲۰۳۹ میلادی



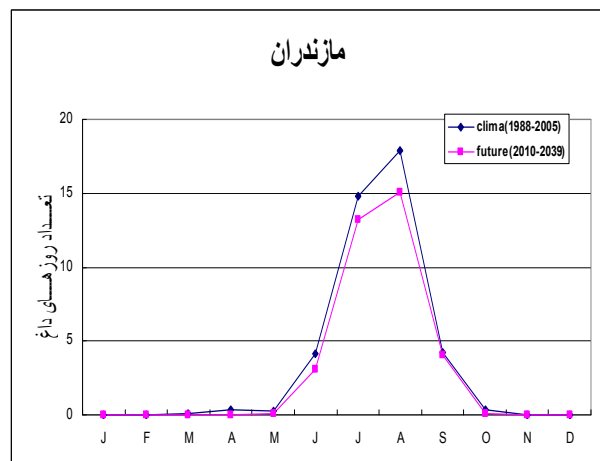
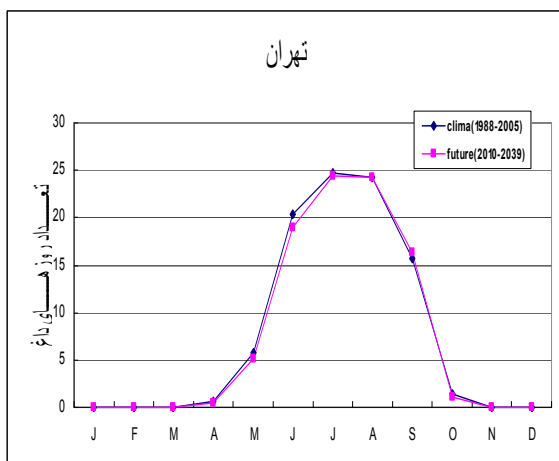
شکل ۷- میانگین دمای سالانه استان های مازندران و تهران تا سال ۲۰۳۹ میلادی

روزهای داغ

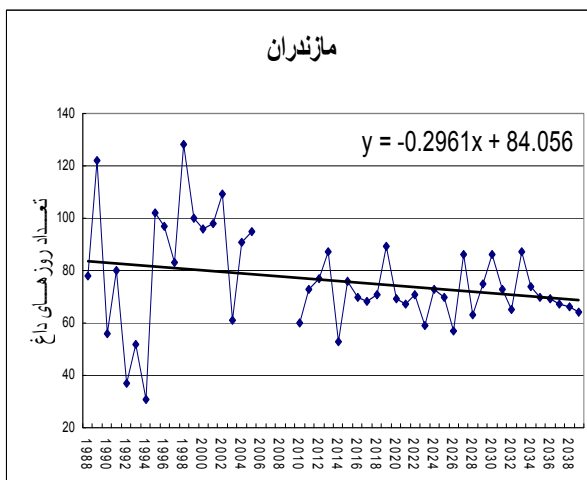
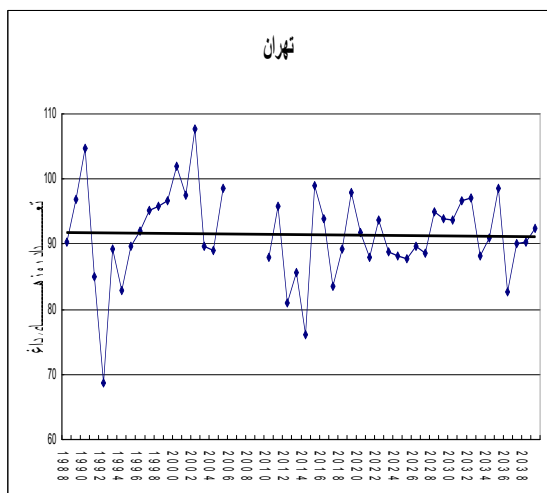
بیشتر است. به طوریکه در ماه ژوئن و ژولای به ترتیب ۱ و ۱/۶ روز تعداد روزهای داغ نسبت به نرمال کاهش می یابد. در استان تهران نیز تعداد روزهای داغ کاهش پیدا خواهد کرد، بیشترین کاهش مربوط به ماه ژوئن با ۱/۵ روز در سال و در ماه سپتامبر حدود ۰/۵ روز در ماه افزایش تعداد روزهای داغ مشاهده خواهد شد. بیشترین کاهش تعداد روزهای داغ مربوط به ایستگاه کرج با ۵ روز کاهش در سال و کمترین میزان مربوط به ایستگاه تهران با ۰/۷ روز در سال پیش بینی شده است.

روز داغ به روزی گفته می شود که دمای بیشینه آن از ۳۰ درجه سانتی گراد بیشتر باشد. با استفاده از خروجی های مدل تعداد روزهای داغ استان برای دوره آماری ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ محاسبه شده است.

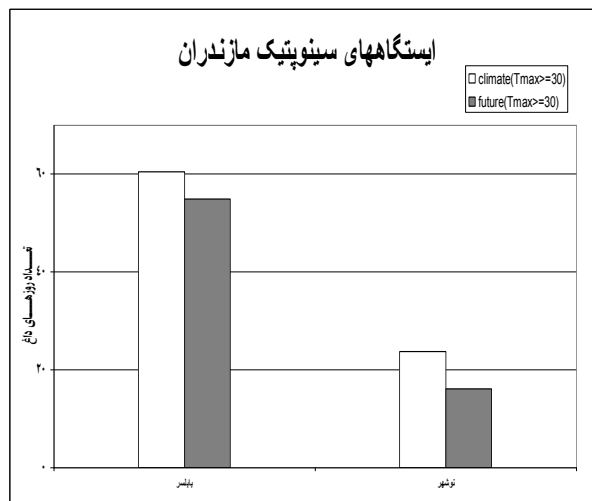
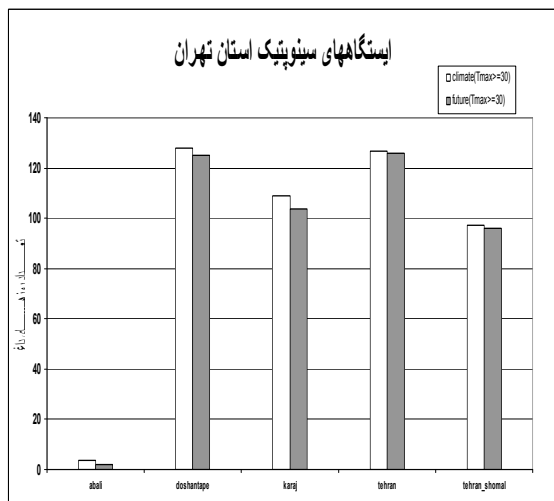
نتایج نشان داده اند در استان مازندران در ماه های ژانویه، فوریه، نوامبر و دسامبر در دوره آینده همانند گذشته روز داغی وجود ندارد و در سایر ماه های سال تعداد روزهای داغ آینده کاهش می یابد که بیشترین کاهش مربوط به ماه آگوست با ۲/۹ روز در سال می باشد (شکل ۸). به طور کلی در فصل تابستان کاهش تعداد روزهای داغ نسبت به گذشته به مراتب



شکل ۸- میانگین ماهانه تعداد روزهای داغ استان های مازندران و تهران در دهه ۲۰۲۰ و دوره آماری



شکل ۹- میانگین سالانه تعداد روزهای داغ استان های مازندران و تهران در دهه ۲۰۲۰ و دوره آماری



شکل ۱۰- میانگین تعداد روزهای داغ در سال، در ایستگاه های منتخب استان های تهران و مازندران در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ و دوره آماری

روزهای یخبندان

حدود ۰/۷ روز در ماه تعداد روزهای یخبندان کمتر از دوره گذشته می باشد. که بیشترین کاهش در ماه های ژانویه و فوریه پیش بینی شده است. همچنین براساس شکل ۱۲ تعداد روزهای یخبندان سالانه کاهش می یابد به طوری که در سال ۲۰۱۴ میلادی بیشترین مقدار خود یعنی ۳۷/۴ روز در سال کاهش دارد.

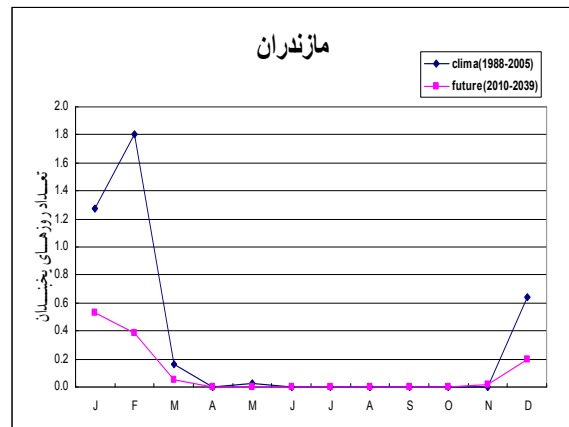
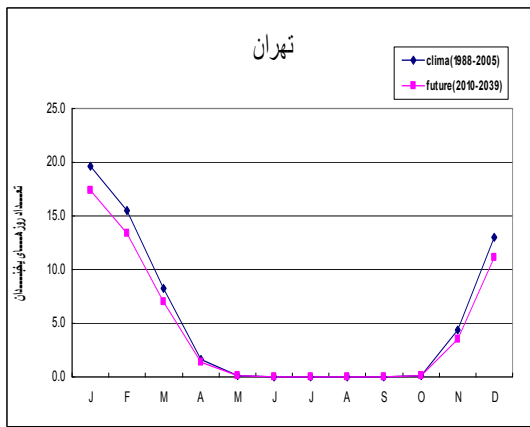
همان طور که در نمودار ۱۳ ملاحظه می شود، تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه های سینوپتیک هر دو استان کاهش خواهد یافت. در استان تهران بیشترین کاهش مربوط به

روزهای یخبندان به روزهایی اطلاق می شود که درجه حرارت هوا صفر یا زیر صفر باشد، نتایج نشان داده اند که در اکثر ماه های سال در دوره آینده همانند گذشته یخبندان وجود ندارد. فقط در ماه های ژانویه، فوریه، مارس و دسامبر تعداد روزهای یخبندان کاهش یافته است. بیشترین کاهش روزهای یخبندان در ماه فوریه به میزان ۱/۴ روز می باشد (شکل ۱۱).

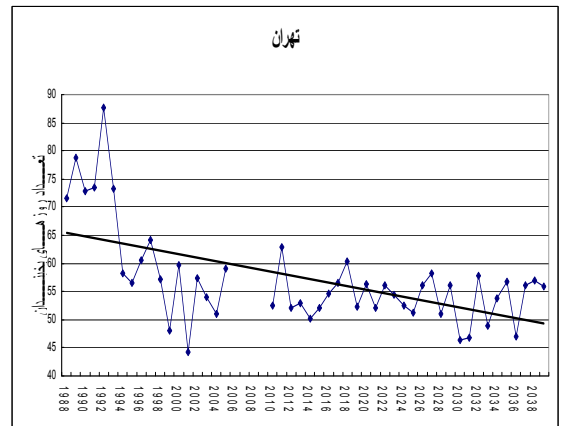
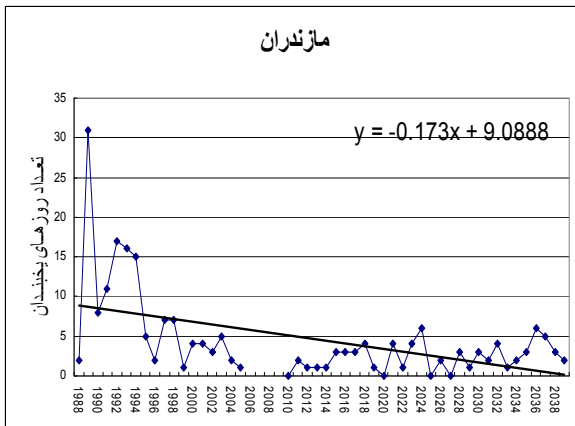
در جبهه جنوبی البرز مرکزی تعداد روزهای یخبندان در دهه ۲۰۲۰ کاهش خواهد داشت. به طور میانگین

ایستگاه های بابلسر و نوشهر میزان کاهش روزهای یخبندان به ترتیب ۱/۸ و ۳/۶ روز در سال برآورد شده است.

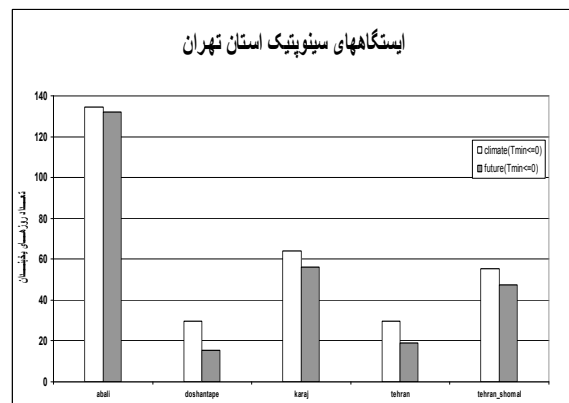
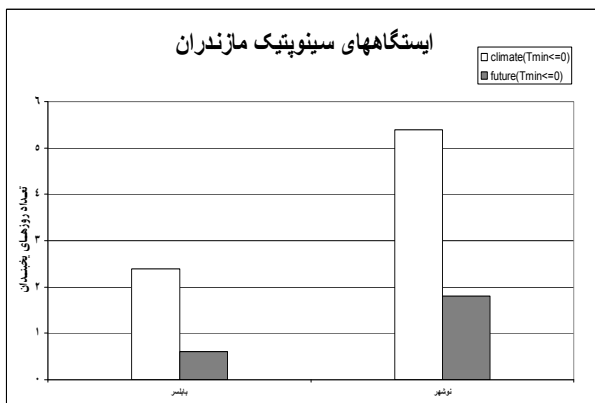
ایستگاه دوشان تپه با ۱۴/۵ روز در سال و کم ترین میزان آن در ایستگاه آبدلی با ۲/۵ روز در سال و در استان مازندران در



شکل ۱۱- میانگین ماهانه تعداد روزهای یخبندان استان های مازندران و تهران در دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۳۹



شکل ۱۲- میانگین سالانه تعداد روزهای یخبندان استان های مازندران و تهران در دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۳۹



شکل ۱۳- میانگین تعداد روزهای یخبندان در سال، در ایستگاههای منتخب استان های تهران و مازندران در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ و دوره آماری

بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش از داده های هواشناسی در ایستگاه های سینوپتیک استان های مازندران و تهران جهت مدل سازی و ارزیابی تغییرات اقلیم در رشته کوه البرز مرکزی استفاده شده است. نتایج حاصل از مدل سازی اقلیم در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ نشان می دهد که:

در استان مازندران میزان بارندگی به طور کلی کاهش می یابد، به طوری که در فصل زمستان حدود ۰/۴٪ افزایش و در فصل تابستان ۰/۸٪ کاهش پیش بینی شده است. در استان تهران نیز میزان بارندگی در دوره آینده کاهش می یابد، در زمستان حدود ۰/۱۱٪ افزایش و در تابستان حدود ۰/۳۳٪ کاهش خواهد داشت.

میانگین دمای ماهانه در استان تهران بیشترین افزایش را در ماههای ژانویه و آوریل حدود ۰/۸ درجه سانتی گراد کاهش خواهد داشت. در استان مازندران در زمستان حدود ۰/۷ درجه و در پاییز حدود ۰/۳ درجه سانتی گراد افزایش پیش بینی شده است.

میانگین تعداد روزهای داغ به طور کلی در مازندران کاهش می یابد، بیشترین کاهش در ماه آگوست حدود ۳ روز می باشد. در تهران کاهش روزهای داغ در ماه ژوئن به بیشترین مقدار خود یعنی حدود ۱/۵ روز می رسد در حالی که در ماه سپتامبر افزایش تعداد روزهای داغ حدود ۰/۵ روز می باشد.

میانگین تعداد روزهای یخبندان در دوره آینده کاهش خواهد یافت. بیشترین کاهش در مازندران در ماه فوریه حدود ۱/۴ و در تهران در ماه ژانویه حدود ۰/۷ روز می باشد.

با توجه به نتایج بدست آمده، به طور کلی در هر دو جنبه شمال و جنوبی البرز مرکزی میزان بارندگی در دهه ۲۰۲۰ نسبت به دوره ۱۹۸۸-۲۰۰۵ کاهش پیدا خواهد کرد. این در حالی است که میزان کاهش در استان تهران نسبت به مازندران به مراتب بیشتر و چشمگیرتر است. در نتیجه بیابان زایی در استان تهران در دهه ۲۰۲۰ سرعت بیشتری خواهد داشت. در هر دو استان میانگین دمای ماهانه افزایش خواهد یافت. به این ترتیب که در مازندران زمستان سردتر و پاییز گرم

تری پیش بینی شده است. در نتیجه اختلاف دما بین فصل ها افزایش می یابد. اما تعداد روزهای داغ و یخبندان در این دو استان کاهش می یابد.

به طور کلی بارش های سیل اسا در دهه ۲۰۲۰ افزایش می یابد. آستانه بارش های سنگین در مازندران به میزان ۵٪ نسبت به نرمال افزایش می یابد.

بارش های خیلی سنگین نیز مانند بارش های سنگین روند افزایشی خواهد داشت، به طوریکه با افزایش ۱۱ درصدی مواجه خواهد بود. در استان تهران نیز بارش های سنگین در دوره آینده حدود ۷/۸٪ افزایش خواهد داشت. اما بارش های خیلی سنگین در این استان کاهش خواهد یافت، به طوری که آستانه آن از ۶۹ میلی متر به ۶۵/۳ میلی متر خواهد رسید و حدود ۵/۳۵٪ کاهش خواهد داشت. بنابراین احتمال می رود در استان مازندران در دهه ۲۰۲۰ بارش های رگباری و سیل آسا نسبت به گذشته افزایش چشمگیری نشان دهد. در استان تهران نیز بارش های سیل آسا با شدت کم تر نسبت به مازندران اما با دوره برگشت کوتاه تر اتفاق خواهد افتاد.

در نهایت با توجه به افزایش دما و کاهش بارندگی در هر دو استان کویرزایی در آینده سرعت بیشتری خواهد یافت، که این نرخ رشد در دامنه جنوبی البرز مرکزی بسیار چشمگیرتر از دامنه شمالی آن است. همچنین احتمال افزایش بارندگی های سیل آسا و رگباری در هر دو دامنه وجود دارد که این احتمال برای بارش های با شدت بیشتر در مازندران و با دوره برگشت کوتاه تر در تهران بیشتر است.

منابع

1. IPCC: Climate Change: The Scientific Basic. Contribution of Working Group 1 to The Third Assessment report to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, N.Y., U.S.A., 881pp. 2001
2. Dubrovsky, M., 1996: Met&Roll: the stochastic generator of daily weather

- University of Oxford.
6. Harmel, R. D, et.al, 2002: Evaluating the Adequacy of Simulating Maximum and Minimum Daily Air Temperature With the Normal Distributian, Canadian Society for engineering , 26pp.
 7. Mikhai A. et all, 2002: LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual.
 8. www.whether.ir
 ۹. نقشه های ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش، ۱۳۸۵.
 - series for the crop growth model. Meteorological Bulletin 49, 97-105.
 3. Dubrovsky, M., 1996: Validation of the stochastic Weather Generator Met&ROLL, Meteorologickeo Zpravy, Vol49, pp. 12q – 1380.
 4. Semenov M.A. & Brooks R.J. (1999), Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in great Britain. Climate Research 11, 137-148.
 5. Downing, T.E., Harrison, P.A., Butterfield, R.E & Lonsdale, K.G., (2000), Climate Change Climatic Variability and Agriculture in Europe, An integrated assessment. Environmental Change Institute,