

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب

پایان نامه کارشناسی ارشد

ریز مقیاس نمائی داده‌های هیدرولوژیکی با استفاده از خروجی مدل‌های GCM و روش‌های داده محور

(مطالعه موردی حوضه بالا دست سد لتیان)

نگارنده:

رضا حاجی حسینی

اساتید راهنما:

دکتر سعید گلیان

دکتر جعفر یزدی

شهریور ۱۳۹۵

شماره: ۹۵
تاریخ: ۱۷/۲
۴۵،۷،۱۱

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

ویرایش:

فرم شماره ۷: صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای رضا حاجی حسینی به شماره دانشجویی ۹۳۰۵۸۵۴ رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب تحت عنوان ریز مقیاس نمائی داده‌های هیدرولوژیکی با استفاده از خروجی مدل‌های GCM و روش‌های داده محور (مطالعه موردی حوضه بالا دست سد لتیان) که در تاریخ ۱۳۹۵/۰۶/۱۳ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: بسیار خوب امتیاز ۱۸) ☒ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

- ۱- عالی (۲۰ - ۱۹)
۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)
۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)
۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر جعفر یزدی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر سعید گلپای	استادیار	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر مهدی گلی	استادیار	
۴- استاد ممتحن اول	دکتر احمد احمدی	دانشیار	
۵- استاد ممتحن دوم	دکتر ایمان آقایان	استادیار	

رئیس دانشکده:

تقدیم اثر:

سپاس و ستایش خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمر و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند.

حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی شان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

و اینک ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است

به استوارترین تکیه گاهم، دستان پرمهر پدرم و به روشن ترین نگاه زندگی ام، چشمان مادرم که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانی - تان را سپاس نتوانم بگویم . امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

تشکر و قدر دانی:

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. بی شک جایگاه معلم، والاتر از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بیش‌آیه او، با زبان قاصر و دست ناتوان، متنی بنگارم لیکن از آنجا که تجلیل از مقام معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می‌کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ بر خود لازم میدانم سپاسگذار زحمات عزیزانم باشم: پدر و مادر عزیزم، نخستین آموزگاران زندگی‌ام، که همواره بر کوتاهی و درشتی من قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشتند و در تمامی عرصه‌های زندگی یار و یاور بی چشم داشت من بوده‌اند. آنان که دعای خیرشان بدرقه راه پر فراز و نشیب تحصیل بوده و هست. و بسی شایسته است تا سپاس گویم خدمت اساتید خود جناب دکتر گلیان و جناب دکتر یزدی. شما که روشنایی بخش تاریکی جان هستید و ظلمت اندیشه را نور می‌بخشید. چگونه سپاس گویم مهربانی و لطف شما را که سرشار از عشق و یقین است. چگونه سپاس گویم تأثیر علم آموزی شما را که چراغ روشن هدایت را بر کلبه‌ی محقر وجودم فروزان ساخته است. آری در مقابل این همه عظمت و شکوه شما مرا نه توان سپاس است و نه کلام وصف. اساتیدی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و صبوری، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند. همچنین از اساتید دیگر جناب آقای دکتر احمدی، ریاست محترم دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود، جناب دکتر آقایان و جناب دکتر گلی که زحمت داوری پاسان نامه بنده را به عهده گرفتند نیز تشکر ویژه‌ای دارم. در خاتمه وظیفه خود می‌دانم از حمایت و همکاری خانم مهندس صاحبی و جناب دکتر نیک قوجق و دیگر عزیزان در شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان و همچنین جناب دکتر محمدرضا فرزانه، عضو هیات علمی دانشگاه منابع طبیعی گلستان و دوست عزیزم جناب مهندس مهدی مهری کمال تشکر و قدردانی را به جا آورم.

تعهد نامه

اینجانب رضا حاجی حسینی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی و مدیریت منابع آب دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ریز مقیاس نمائی داده‌های هیدرولوژیکی با استفاده از خروجی مدل‌های GCM و روش‌های داده محور (مطالعه موردی حوضه بالا دست سد لتیان) تحت راهنمایی دکتر جعفر یزدی و دکتر سعید گلیان متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

در دهه های اخیر تغییر اقلیم بویژه گرمایش زمین یکی از مسائل مهم برای جامعه جهانی بوده است. این مسئله عامل مخرب و تهدید کننده ای برای زندگی بشر است. لذا پیش بینی تغییرات اقلیمی در آینده امری ضروری به حساب می آید. یکی از روش های پیش بینی تغییرات اقلیم، استفاده از خروجی مدل های گردش عمومی هوا (GCM) است. ولی با توجه به قدرت تفکیک مکانی پایین این مدل ها، قابل استفاده برای مطالعات منطقه ای و ایستگاهی نمی باشند. به منظور افزایش قدرت تفکیک، خروجی این مدل ها ریزمقیاس می گردند. در این پژوهش از داده های مشاهداتی بارش روزانه ایستگاه امامه در دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۰۵ و همچنین استفاده از داده های پیش بینی ۲۶ پارامتر مدل HadCM^۳ از سناریو چهارم سازمان بین المللی تغییر اقلیم (AR^۴) و همچنین ۲۶ پارامتر مدل CanESM^۲ از سناریو پنجم سازمان بین المللی تغییر اقلیم (CMIP^۵) استفاده شد. به منظور ریزمقیاس کردن خروجی مدل های تغییر اقلیم، سه روش داده محور شبکه عصبی (ANN)، روش ناپارامتریک K- نزدیک ترین همسایگی (KNN) و روش استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS) بکار گرفته شد. در این مطالعه داده های ۲۶ پارامتر دو مدل را بصورت جداگانه به عنوان ورودی و داده های بارش روزانه مشاهداتی به عنوان خروجی به مدل خورانده شد. سپس داده های شبیه سازی شده (ریز مقیاس شده) بصورت ماهانه محاسبه شده و متوسط داده های شبیه سازی شده با متوسط داده های مشاهداتی ماهانه مقایسه شد. نتایج بدست آمده، برتری مدل KNN را نسبت به دو روش دیگر نشان می دهد. هر چند هر سه روش ANN، KNN و ANFIS برای هر دو مدل اقلیمی HadCM^۳ و CanESM^۲ پاسخ خوبی را نسبت به ریز مقیاس سازی در این منطقه نشان می دهد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، ریزمقیاس نمایی، GCM، HadCM^۳، CanESM^۲، ANN، KNN، ANFIS

لیست مقالات:

- ۱- حاجی حسینی، ر.، یزدی، ج.، گلیان، س.، " ریز مقیاس نمایی داده های GCM به کمک روش K- نزدیک ترین همسایگی (KNN)" اولین کنفرانس بین المللی آب، محیط زیست و توسعه پایدار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه محقق اردبیلی، ۶-۸ مهر ۱۳۹۵
- ۲- حاجی حسینی، ر.، یزدی، ج.، گلیان، س.، " ریزمقیاس نمایی داده های GCM به کمک روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN)"، دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲-۴ شهریور ۱۳۹۵، دانشگاه صنعتی اصفهان

فهرست مطالب

فصل اول) طرح و کلیات تحقیق	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- مفهوم تغییر اقلیم	۵
۱-۳- گرمایش جهانی	۷
۱-۴- اثر گلخانه ای	۸
۱-۵- ضرورت انجام تحقیق	۱۴
۱-۶- سؤال‌های اساسی تحقیق	۱۵
۱-۷- اهداف تحقیق	۱۶
۱-۸- سازمان دهی فصول پایان نامه	۱۷
فصل دوم) مروری بر تحقیقات پیشین	۱۹
۲-۱- مقدمه	۲۰
۲-۲- پیشینه مطالعات در ایران	۲۰
۲-۳- پیشینه مطالعات در سایر نقاط دنیا	۲۴
۲-۴- جمع بندی	۲۶
فصل سوم) منطقه تحقیق و داده‌ها	۲۷
۳-۱- مقدمه	۲۸
۳-۲- منطقه مورد مطالعه	۲۸
۳-۳- داده‌های مورد استفاده	۳۱
۳-۴- تغییر اقلیم	۳۵
۳-۵- انواع مدل های اقلیمی	۳۶
۳-۶- مدل های گردش عمومی جو (GCM)	۳۶

۳۸	۷-۳- معرفی مدل گردش عمومی HadCM ^۳
۳۹	۸-۳- مدل‌های GCM سری CMIP ^۵
۳۹	۳-۸-۱- معرفی مدل گردش عمومی CanESM ^۲
۴۰	۹-۳- جمع بندی
۴۱	فصل چهارم) روش تحقیق
۴۱	۱-۴- مقدمه
۴۲	۲-۴- ریزمقیاس نمایی
۴۳	۴-۲-۱- روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری
۴۵	۴-۲-۲- مدل‌های رگرسیونی
۴۶	۴-۲-۳- مدل‌های تصادفی
۴۶	۴-۲-۴- روش‌های ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی
۴۷	۳-۴- شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network (ANN)
۵۰	۴-۳-۱- نرمال کردن داده ها
۵۰	۴-۴- روش K- نزدیک ترین همسایگی (KNN)
۵۴	۵-۴- مدل استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS)
۵۵	۴-۵-۱- معرفی شبکه تطبیقی
۵۷	۴-۵-۲- انواع سیستم های استنتاج فازی
۵۸	۴-۵-۳- شبکه تطبیقی بر اساس سیستم‌های با منطق فازی (ANFIS)
۵۹	۴-۵-۴- خوشه‌بندی
۶۰	۴-۶- روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)
۶۱	۴-۷- ارزیابی عملکرد شبکه
۶۱	۴-۷-۱- متوسط قدر مطلق خطا
۶۱	۴-۷-۲- متوسط قدر مطلق خطای نسبی
۶۲	۴-۷-۳- ضریب همبستگی
۶۳	فصل پنجم) نتایج و بحث

۵-۱- مقدمه	۶۴
۵-۲- تهیه‌ی داده‌های مورد استفاده برای ریز مقیاس نمایی توسط مدل	۶۴
۵-۲-۱- نتایج مدل HadCM۳	۶۴
۵-۲-۲- نتایج مدل CanESM۲	۸۰
۵-۳- پارامترهای آماری مورد استفاده جهت ارزیابی نتایج واسنجی و صحت‌سنجی	۹۵
فصل ششم) نتیجه‌گیری و پیشنهادها	۱۰۲
۶-۱- نتایج	۱۰۳
۶-۲- بحث پیرامون نتایج حاصل از این تحقیق	۱۰۴
۶-۳- نتایج روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	۱۰۴
۶-۳-۱- مدل HadCM۳	۱۰۴
۶-۳-۲- مدل CanESM۲	۱۰۴
۶-۴- نتایج روش K- نزدیک ترین همسایگی (KNN)	۱۰۵
۶-۴-۱- مدل HadCM۳	۱۰۵
۶-۴-۲- مدل CanESM۲	۱۰۵
۶-۵- نتایج مدل استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS)	۱۰۵
۶-۵-۱- مدل HadCM۳	۱۰۵
۶-۵-۲- مدل CanESM۲	۱۰۵
۶-۶- پیشنهادها	۱۰۶
منابع	۱۰۷

فهرست اشکال

شکل (۱-۱) تاثیر عوامل مختلف در گرم شدن سطح زمین (میانگین دمای کره زمین)	۷
شکل (۲-۱) موازنه انرژی بین سطح زمین و اتمسفر	۸
شکل (۱-۳) موقعیت حوضه امامه در ایران و واقع در شمال شرق تهران	۲۶

- شکل (۲-۳) سری زمانی تغییرات بارش ماهانه ایستگاهی..... ۲۸
- شکل (۳-۳) شبکه‌بندی اتمسفر و سطح زمین در مدل‌های گردش عمومی..... ۳۲
- شکل (۴-۳) ساختار افقی و قائم مدل جفت شده جوی-اقیانوسی HadCM۳..... ۳۳
- شکل (۱-۴) الگوریتم پیشنهادی برای ریزمقیاس نمایی بارش..... ۳۶
- شکل (۲-۴) تصویر شماتیک ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های گردش عمومی..... ۳۷
- شکل (۳-۴) نمای شماتیک شبکه عصبی مصنوعی چندلایه..... ۴۳
- شکل (۴-۴) ساختار شبکه ANFIS..... ۵۲
- شکل (۵-۴) انتخاب محورهای جدید برای داده‌های دو بعدی..... ۵۴
- شکل (۱-۵) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۵۸
- شکل (۲-۵) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۵۸
- شکل (۳-۵) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۵۹
- شکل (۴-۵) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۵۹
- شکل (۵-۵) بیشترین بارش روزانه در ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۶۰
- شکل (۶-۵) بیشترین بارش روزانه در ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۶۰
- شکل (۷-۵) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۶۱
- شکل (۸-۵) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۶۱
- شکل (۹-۵) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۶۲
- شکل (۱۰-۵) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۶۲

شکل (۵-۱۱) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل

شکل (۵-۱۲) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل

شکل (۵-۱۳) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل

شکل (۵-۱۴) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل

شکل (۵-۱۵) بیشترین بارش روزانه در ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM3 از

شکل (۵-۱۶) بیشترین پارش روزانه در ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از

شکل (۵-۱۷) پارس ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM3 از روش KNN برای

شکل (۵-۱۸) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM3 از روش KNN برای

شکل (۵-۱۹) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM3

شکل (۵-۲۰) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM3

شکل (۵-۲۱) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل

شکل (۵-۲۲) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل

شکل (۵-۲۳) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل

شکل (۵-۲۴) بیشترین دوره روزه‌های مربوط ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل

- شکل (۵-۲۵) بیشترین بارش روزانه در ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست ۷۰
- شکل (۵-۲۶) بیشترین بارش روزانه در ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست ۷۰
- شکل (۵-۲۷) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست ۷۱
- شکل (۵-۲۸) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست ۷۱
- شکل (۵-۲۹) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست ۷۲
- شکل (۵-۳۰) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HadCM۳ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست ۷۲
- شکل (۵-۳۱) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست ۷۳
- شکل (۵-۳۲) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست ۷۳
- شکل (۵-۳۳) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست ۷۴
- شکل (۵-۳۴) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست ۷۴
- شکل (۵-۳۵) بیشترین بارش روزانه در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست ۷۵
- شکل (۵-۳۶) بیشترین بارش روزانه در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست ۷۵
- شکل (۵-۳۷) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست ۷۶
- شکل (۵-۳۸) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست ۷۶

[illegible]

- شکل (۵-۵۳) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۸۴
- شکل (۵-۵۴) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۸۴
- شکل (۵-۵۵) بیشترین بارش روزانه در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۸۵
- شکل (۵-۵۶) بیشترین بارش روزانه در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۸۵
- شکل (۵-۵۷) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۸۶
- شکل (۵-۵۸) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۸۶
- شکل (۵-۵۹) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۸۷
- شکل (۵-۶۰) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست..... ۸۷
- شکل (۵-۶۱) مقدار R^2 مربوط به مدل HadCM۳ و برای قسمت آزمایش..... ۹۰
- شکل (۵-۶۲) مقدار R^2 مربوط به مدل HadCM۳ و برای قسمت آموزش..... ۹۱
- شکل (۵-۶۳) مقدار MAE مربوط به مدل HadCM۳ و برای قسمت آزمایش..... ۹۱
- شکل (۵-۶۴) مقدار MAE مربوط به مدل HadCM۳ و برای قسمت آموزش..... ۹۲
- شکل (۵-۶۵) مقدار R^2 مربوط به مدل CanESM۲ و برای قسمت آزمایش..... ۹۲
- شکل (۵-۶۶) مقدار R^2 مربوط به مدل CanESM۲ و برای قسمت آموزش..... ۹۳
- شکل (۵-۶۷) مقدار MAE مربوط به مدل CanESM۲ و برای قسمت آزمایش..... ۹۳
- شکل (۵-۶۷) مقدار MAE مربوط به مدل CanESM۲ و برای قسمت آموزش..... ۹۴

فهرست جداول

جدول (۱-۱) خلاصه مشخصات گازهای گلخانه ای.....	۱۰
جدول (۲-۱) تأثیر تغییرات اقلیمی را بر منابع آبی.....	۱۲
جدول (۱-۳) برخی از اطلاعات مربوط به داده‌های مشاهداتی.....	۲۸
جدول (۲-۳) لیست پیش‌بینی‌کننده‌های اقلیمی برای دو مدل HadCM۳ و canESM۲.....	۲۹
جدول (۱-۴) محدوده‌ی مقادیر ضریب همبستگی R.....	۵۵
جدول (۱-۵) روش شبکه عصبی مصنوعی برای مدل HadCM۳.....	۸۸
جدول (۲-۵) روش K- نزدیک ترین همسایگی برای مدل HadCM۳.....	۸۸
جدول (۳-۵) روش استنتاج عصبی - فازی تطبیقی برای مدل HadCM۳.....	۸۹
جدول (۴-۵) روش شبکه عصبی مصنوعی برای مدل CanESM۲.....	۸۹
جدول (۵-۵) روش K- نزدیک ترین همسایگی برای مدل CanESM۲.....	۸۹
جدول (۶-۵) روش استنتاج عصبی - فازی تطبیقی برای مدل CanESM۲.....	۹۰

فصل اول

طرح و کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

در سال های گذشته برنامه ریزی آبی و مدیریت منابع آب بر این فرض استوار بود که آب و هوای آینده مانند گذشته خواهد بود و تمام سیستم های تامین آب با این فرض طراحی و ساخته شدند. اکنون ما در آستانه ی تغییرات شرایط اقلیمی به علت گستره ی وسیعی از فعالیت های بشری هستیم که این فعالیت ها شامل انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از سوختن فسیلی و تخریب جنگل ها می باشد [۱]. بسیاری از کمیته های علمی اعتقاد دارند که تغییر شرایط اقلیمی جهانی به زودی با شدت بیشتری به وقوع خواهد پیوست. در واقع بسیاری از دانشمندان اعتقاد دارند که انسان ها وقوع تغییرات اقلیمی را غیر قابل اجتناب کرده اند، مگر اینکه جوامع بشری به سرعت انتشار گازهای گلخانه ای را کاهش دهند [۱]. یک توافق علمی گسترده وجود دارد که تغییرات اقلیمی یک مشکل اساسی در جهان است و این مسئله سیکل های هیدرولوژیکی را به روش های مختلف تغییر خواهد داد، اما اینکه چگونه این تغییرات رخ خواهد داد و این تغییرات به طور قطع چه اندازه بر سیستم های تأمین آب و تقاضای آب تأثیرگذار خواهد بود، قطعیت کمی وجود دارد [۲]. چالش تغییرات اقلیمی سوالات زیادی را در ذهن دانشمندان ایجاد کرده است از جمله :

✓ با توجه به این عدم قطعیت ها چه توصیه ای می توان به مسئولان امور آب کرد؟

✓ این تغییرات چه اندازه بر تقاضای آب تأثیر گذار خواهد بود؟

✓ در صورت تغییر روند سیکل های هیدرولوژیکی آیا تأسیسات آبی قادر به انعطاف با شرایط

جدید هستند؟

برای پاسخ به این سوالات و بسیاری سوالات دیگر در اواخر سال ۱۹۸۰ تلاش های زیادی به وسیله دانشمندان با رشته های مختلف انجام گرفت تا به طور گسترده فهم ما را در مورد سیستم اتمسفر و رفتار آن افزایش دهند [۳]. مطالعات مروری مختلف، جلسات و گردهمایی های زیاد و پروژه های تحقیقاتی کوچک و بزرگی در زمینه های علمی، بسیاری از سوالات را که باید برای درک بیشتر از آب و هوا جواب دهیم جست و جو کردند. یکی از بزرگترین پروژه ها توسط هیات بین الدول تغییر

اقلیم (IPCC)^۱ انجام شد. چندین لایه ارزیابی علمی از تغییرات اقلیمی تحت نظر سازمان های هواشناسی جهانی و سازمان های ملی برنامه ریزی شد. با همکاری بیش از ۱۲۵ سازمان اقلیم شناسی دنیا، اولین گزارش IPCC در سال ۱۹۹۰ منتشر شد [۴]. این گزارش به مدیریت منابع آب و آغاز یک دوره آزمایشات جدید برای تغییر معیارهای طراحی سازه های آبی و ایجاد قوانین عملکرد جدید و همچنین بررسی خط مشی های جدید برای افزایش ضریب اطمینان و مدیریت اصرار دارد تا این مجموعه عملیات موجب افزایش انعطاف پذیری سیستم های آبی در برخورد با عدم قطعیت های تغییرات اقلیمی شود. این گزارش همچنین بر مدیریت تقاضا نسبت به ساخت تسهیلات جدید اصرار دارد که نشان دهنده یک تغییر در مدیریت منابع آب سنتی است که در گذشته به ساخت سازه های بزرگ و گران قیمت وابسته بود. طراحی بسیاری از سازه های گران قیمت مدیریت منابع آب برای ذخیره و انتقال آب از سدهای بزرگ تا تسهیلات آبیاری کوچک بر اساس آنالیزهای رکوردهای گذشته اقلیمی و پارامترهای هیدرولوژیکی گذشته استوار هستند. بعضی از این سازه ها برای ۵۰ یا ۱۰۰ سال و شاید بیشتر طراحی شده و خواهند شد. با توجه به افزایش تأثیر تغییر اقلیم، نوشته ها و بایگانی های گذشته آب و هوا و شرایط هیدرولوژیکی راهنمای خوب و قابل اعتمادی برای آینده نیستند. بنابراین باید در طراحی و مدیریت سیستم های منابع آب سازه ای و غیر سازه ای تأثیر تغییرات اقلیمی لحاظ شوند. مطالعات مختلفی توسط انجمن پیشبرد علوم آمریکا (AAAS)^۲ در سال ۱۹۹۰ منتشر شد که به طور وضوح بر تأثیر تغییرات اقلیمی بر منابع آب در ایالات متحده تمرکز داشت. عمده تغییرات اقلیمی که کشورها احتمالاً با آن مواجه هستند عبارتند از افزایش دما، افزایش تبخیر، تسریع ذوب شدن یخ ها، تغییر سیکل سیلاب ها، تغییر مقادیر حدی، افزایش سطح آب دریاها، افزایش شدت توفان های سهمگین و طیف وسیعی از تأثیرات ژئوفیزیکی. بنابراین کشورها باید قوانین و عملکردهای جدید جهت مدیریت منابع آب با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی ایجاد کنند. تغییرات در چرخه های هیدرولوژیکی بسیاری از رودخانه ها عمدتاً با بارش فصلی و دما که نسبتی بین برف و

^۱ Intergovernmental Panel of Climate Change

^۲ American Association for the Advancement of Science

باران را برقرار می سازد، تعیین می شود [۵]. مطالعات، تغییراتی را در رواناب سالیانه رودخانه ها در بسیاری از حوضه های آبریز در چند دهه ی گذشته مشاهده کردند. در برخی از مناطق مقدار رواناب رودخانه ای افزایش یافته است در حالی که در مناطق دیگر مقدار آن کاهش یافته است. پیش بینی ها افزایش این تغییرات را برای رواناب سالیانه نشان می دهد. افزایش گاز دی اکسید کربن (CO_2) باعث افزایش درجه ی حرارت و رطوبت مطلق در لایه های هوای نزدیک به سطح زمین می گردد. هر چند افزایش CO_2 میزان بارندگی را افزایش می دهد ولی افزایش بارندگی در نقاط مختلف یکسان نیست. به طور کلی در مناطقی با عرض جغرافیایی زیاد میزان بارندگی و رواناب افزایش می یابد ولی در مناطق با عرض جغرافیایی کم بارندگی بسته به منطقه می تواند افزایش یا کاهش یابد. علاوه بر تغییرات سالیانه، تغییرات فصلی نیز در جریانات رودخانه ای بر اثر تغییر اقلیم بوجود می آید. بارش برف و ذوب آن در مناطق کوهستانی مهم ترین اثر هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در این مناطق می باشد. برای مثال، دماهای بالا در مناطق کوهستانی مقدار بارش به صورت برف را کاهش می دهد و همچنین منجر به کاهش نگهداشت زمستانی برف و افزایش مقدار رواناب زمستانی می گردد. این افزایش رواناب سالانه با افزایش بارش در زمستان تشدید شده و موجب سیل ها با شدت زیاد می شود و همچنین ذوب شدن برف در بهار منجر به تغییر سطوح پیک جریان می گردد. کاهش ذخیره ی برف، زودتر ذوب شدن برف و کاهش بارش تابستانی باعث می شود که در تابستان دوره هایی طولانی تر با جریان رودخانه ای کم مشاهده شود. همچنین تغییرات در رژیم جریان ممکن است خطر سیلاب و خشکسالی را افزایش دهد. ذوب یخ، سریع تر می تواند بر روی ظرفیت مخزن و عملکرد آن و همچنین دسترسی به آب ذخیره شده برای استفاده های خانگی و کشاورزی در اواخر سال آبی تأثیرگذار باشد [۶]. علاوه بر تأثیرات مستقیم تغییرات اقلیمی بر سازه های هیدرولیکی می توان به اثرات ثانویه چون تغییر در نیاز خاک به آب اشاره کرد، در بعضی مناطق به دلیل افزایش بخار آب و افزایش رطوبت هوا احتیاج خاک برای مصارف کشاورزی کاهش یافته است و این مسئله نیز ساخت سدهای بلند برای مهار آب های سطحی و همچنین کانال های بزرگ برای آبیاری پایین دست سد را کاهش

می‌دهد در حالی که در بعضی مناطق دیگر عکس این مسئله اتفاق می‌افتد و نیاز خاک به آب افزایش می‌یابد در نتیجه حجم تأسیسات آبی لازم برای تأمین آب کشاورزی افزایش می‌یابد.

۱-۲- مفهوم تغییر اقلیم

اقلیم کره ی زمین متشکل از چهار جز شامل اتمسفر، کریوسفر، بیوسفر و هیدروسفر می‌باشد که در ادامه به شرح مختصری از آن‌ها پرداخته می‌شود.

اتمسفر: در بر گیرنده هوای اطراف کره زمین می‌باشد که از گازهای مختلفی پر شده است. در میان این گازها، گازهای گلخانه ای و در رأس آن‌ها گاز CO_2 تأثیر عمده ای بر دمای اتمسفر دارد. به گونه ای که عبور نور خورشید با طول موج کوتاه از این گازها و رسیدن آن‌ها به سطح زمین باعث گرم شدن سطح زمین و ساطع شدن امواج مادون قرمز که دارای طول موج بلند است می‌شود که به این گازها برخورد نموده و دوباره به سطح زمین منعکس می‌شود. این عمل باعث بالا رفتن درجه حرارت اتمسفر خواهد شد.

کریوسفر: در بر گیرنده یخ‌های موجود در کره زمین می‌باشد که نقش مهمی را در پدیده ی آلبیدو یعنی انعکاس امواج رسیده به سطح زمین دارد.

بیوسفر: که نقش مهمی را در میزان انرژی سیستم اقلیمی دارد، به عنوان یکی از منابع اصلی تولید و مصرف گاز CO_2 به شمار می‌رود.

عوامل مختلفی باعث برهم خوردن شرایط حاکم بر اجزا مختلف سیستم اقلیم کره زمین می‌شود که می‌تواند تأثیراتی را بر اجزا دیگر بگذارد. هرگونه تغییر در اقلیم را می‌توان ابتدا به علل طبیعی و در دوران اخیر علل انسانی تقسیم نمود. عوامل طبیعی اقلیم نیز به دو بخش عوامل داخلی ناشی از کنش‌های متقابل بین اجزای سیستم اقلیم و عوامل خارجی طبیعی ناشی از تابش خورشیدی، فعالیت‌های آتشفشانی و افزایش غیر طبیعی گازهای گلخانه ای قابل تقسیم می‌باشند. عوامل خارجی عموماً چرخه ای هستند و شامل تغییرات در مدار خورشید در داخل کهکشان راه شیری، عبور ستاره‌های دنباله دار، تغییرات در خروجی خورشید (تئوری سیمپسون)، تغییرات در پارامترهای مداری (فرضیه

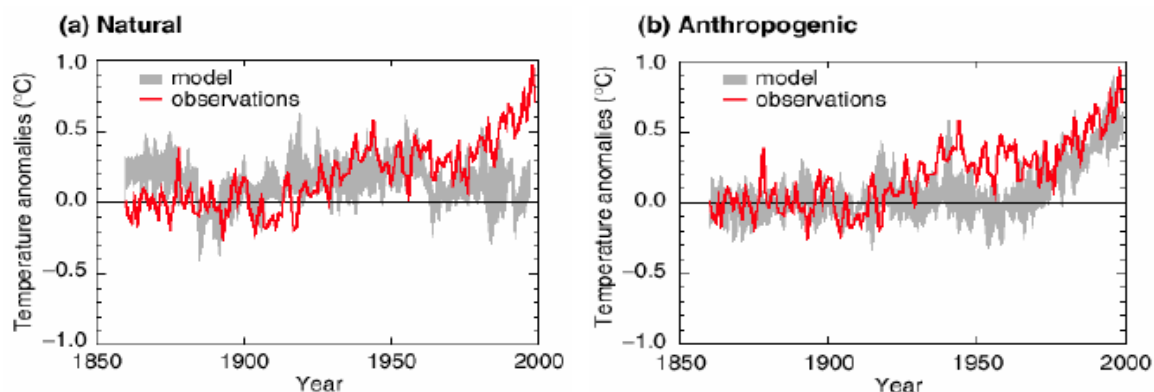
میلانکوویچ) می‌شوند. عوامل داخلی به طور کلی به دو طریق سبب تغییر اقلیم می‌شوند. این عوامل یا از طریق ترکیب جو و یا از طریق تغییر پوشش سطحی زمین، زمینه‌های تغییر در موازنه گرمایی و در نتیجه تغییر اقلیم را بوجود می‌آورد. عوامل طبیعی داخلی بیشتر منشاء زمین‌شناسی دارند و شامل رانش قاره‌ها، کوه‌زایی، فعالیت آتشفشانی و تغییر در مغناطیس زمین می‌شود. به تغییرات ایجاد شده به واسطه عامل اول نوسانات درونی سیستم اقلیم و به واسطه عامل دوم نوسانات خارجی اقلیم گفته شده و به مجموعه این تغییرات، نوسانات طبیعی اقلیمی گفته می‌شود. از بین این عوامل ذکر شده، تنها افزایش گازهای گلخانه‌ای است که به صورت غیر طبیعی بر سیستم اقلیم کره زمین تأثیر می‌گذارد. به طوری که در قبل نیز آمد پس از آغاز انقلاب صنعتی و به تبع آن افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، تولید گازهای گلخانه‌ای مخصوصاً گاز CO_2 افزایش یافته به گونه‌ای که غلظت این گاز از 280 ppm در سال 1750 به 379 ppm در سال 2005 افزایش یافته است. تحقیقات نشان می‌دهد که در صورت ادامه روند کنونی مصرف سوخت‌های فسیلی، غلظت این گاز تا قبل از پایان قرن بیست و یکم می‌تواند به بیش از 600 ppm برسد. افزایش گازهای گلخانه‌ای تغییراتی را در اقلیم کره زمین به وجود آورده است که در نوشته‌های علمی به آن تغییر اقلیم^۳ گفته می‌شود [۷]. بین تغییر اقلیم و نوسانات اقلیمی از نظر علمی تفاوت وجود دارد. واژه نوسانات اقلیمی به تغییرات آب و هوایی حول مقدار متوسط اطلاق می‌شود. این تغییرات که نسبتاً کوتاه مدت و موضعی می‌باشد، نمایانگر روند، گرمایش یا سرمایش نبوده، از سالی به سال دیگر متفاوتند. به عبارتی دیگر، شامل بحران‌ها و تفاوت‌های مقادیر ماهانه و سالانه از مقدار انتظاری (میانگین زمانی) اقلیم می‌باشد. خشکسالی ناشی از نوسانات اقلیمی می‌باشد، این تفاوت‌ها معمولاً به نام آنومالی نامیده می‌شوند. تغییر اقلیم یک پدیده‌ی اتمسفری-اقیانوسی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای بوده که باعث گرم شدن زمین و تغییر رفتارهای هیدرولوژیکی برخی مناطق جهان می‌گردد. گرم‌تر شدن کره‌ی زمین نیز به نوبه‌ی خود بر وضعیت اجزاء دیگر سیستم اقلیم تأثیر گذاشته و پدیده تغییر اقلیم را موجب

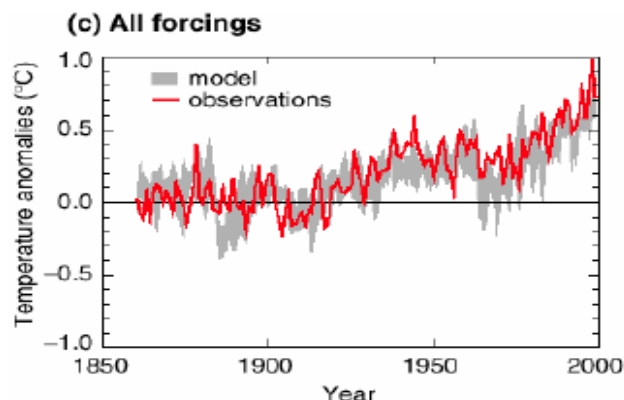
^۳ Climate Change

می‌گردد. به طور کلی عبارت "تغییر اقلیم" در تغییر دراز مدت میانگین یک متغیر اقلیمی که مقدار آن تغییر به طور قابل توجهی معنی دار باشد بکار گرفته می‌شود. در حالی که نوسان اقلیم اشاره به تغییرات طبیعی از سالی به سال دیگر دارد.

۳-۱- گرمایش جهانی

در بین عوامل ذکر شده‌ی بالا اجماع علمی دانشمندان بر آن است که میزان گازهای گلخانه‌ای در آینده افزایش خواهد یافت. از نتایج آن بالا رفتن میانگین دمای جهانی به همراه تأثیرات ثانویه آن ها است [۸]. چرا که غلظت CO_2 جوی بعد از انقلاب صنعتی ۳۰ درصد افزایش یافته است و اگر انتشار این گاز در سطح امروز باقی بماند غلظت در ۱۰۰ سال آینده دو برابر خواهد شد. هر چند اقلیم زمین به وسیله عواملی همچون تابش کلی، آلودگی زمین، جریانات انرژی سطح، ویژگی‌های ابرناکی، فعالیت‌های انسانی و غیره کنترل می‌شود. اما دانشمندان معتقدند که عامل اصلی گرم شدن زمین در قرن بیستم افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو است [۱۵]. طبق تحقیقات اخیر دانشمندان مبنی بر تأثیر عوامل موثر بر گرم شدن زمین اگر چه تأثیر عوامل طبیعی بر گرم شدن زمین حتمی بوده، اما سهم عوامل غیر طبیعی (افزایش گازهای گلخانه‌ای، آروسل ها و غیره ناشی از فعالیت‌های انسانی) در این رخداد تأثیر بیشتری داشته است (شکل ۱-۱) [۹].





شکل (۱-۱) تاثیر عوامل مختلف در گرم شدن سطح زمین (میانگین دمای کره زمین) a: تاثیر عوامل طبیعی، b: تاثیر عوامل انسانی و c: تاثیر توأم تمام عوامل

انسان ها با مصرف انرژی حاصل از سوخت های فسیلی و تولید بیش از حد گازهای گلخانه ای توازن انرژی زمین را بهم می زنند. ادامه ی روند افزایش میزان تقاضا و مصرف انرژی در چند دهه آینده، تغییر کاربری زمین، گسترش فعالیت های کشاورزی و دامداری و افزایش ضایعات جامد و مایع پدیده گلخانه ای را در جو زمین تشدید خواهد کرد. مدل های جوی پیش بینی می کنند که اگر روند افزایش غلظت گازهای گلخانه ای در جو تغییر نکند، تا سال ۲۱۰۰ دمای کره ی زمین حدود ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت که این تغییر آب و هوایی بزرگترین تغییر در طول ۱۰۰۰ سال گذشته است [۱۰].

۱-۴- اثر گلخانه ای^۴

تابش های خورشیدی پس از عبور از فضا به زمین و اتمسفر رسیده و قسمت اعظم آن توسط کره زمین جذب می شود. کره ی زمین پس از گرم شدن، امواج گرم را به صورت تابش های فروسرخ به فضا باز می تاباند. قسمتی از این تابش های فروسرخ از اتمسفر عبور می کند و قسمتی دیگر توسط گازهای گلخانه ای موجود در اتمسفر جذب و به سطح زمین بازتابانیده می شود (شکل ۱-۲).

^۴ Green house Effect



شکل (۱-۲) موازنه انرژی بین سطح زمین و اتمسفر

گازهای گلخانه‌ای موجود در جو زمین، کسری از انرژی خورشیدی رسیده به زمین را در داخل اتمسفر نگه می‌دارند و دمای زمین در اثر این انرژی در حد مناسبی ثابت باقی می‌ماند. این عمل گازهای گلخانه‌ای را "اثر گلخانه‌ای" نامیده‌اند. لازم به ذکر است که اگر اثر گلخانه‌ای در اتمسفر زمین وجود نداشت، دمای کره‌ی زمین حدود ۱۵/۵ درجه‌ی سانتیگراد نسبت به حال کمتر می‌شد و عصر یخبندان دیگری را رقم می‌زد. در صورتی که موجودی گازهای گلخانه‌ای در داخل اتمسفر، زیاده‌تر از حد متعارف شود، موازنه انرژی زمین بهم می‌خورد و انرژی بیشتری در داخل اتمسفر زمین باقی می‌ماند. انرژی بیشتر، گرم شدن زمین را به دنبال خواهد داشت. بخار آب (H_2O)، دی‌اکسید کربن (CO_2)، اکسید دی‌نیترو (N_2O)، متان (CH_4)، ازن جو پایین (O_3)، کلروفلوئوروکربنه ($CFCs$)، هیدروفلوئوروکربن‌ها ($HFCs$) و پرفلوئوروکربن‌ها ($PFCS$) گازهای گلخانه‌ای نام دارند. تمامی این گازها در ایجاد پدیده گلخانه‌ای در جو زمین نقش دارند و در این میان بخار آب و دی‌اکسید کربن مجموعاً ۹۰ درصد از سهم اثر گلخانه‌ای را به خود اختصاص می‌دهند. گازهای گلخانه‌ای به طور طبیعی در جو زمین وجود دارند اما فعالیت‌های انسان‌ها و آلودگی‌های ناشی از این فعالیت‌ها، مقدار گازهای مذکور را به طور غیر طبیعی افزایش می‌دهد. در نتیجه گرمای ناشی از تابش اشعه‌ی

خورشید در جو زمین محبوس می‌شود و دمای کره ی زمین را بالا می‌برد. گازهای گلخانه ای دارای منابع تولید کننده طبیعی و غیر طبیعی هستند. این منابع چشمه های گازهای گلخانه ای نامیده می- شوند. از طرفی مقدار گازهای گلخانه ای در اثر تغییر و تحولات شیمیایی در جو یا توسط منابع جذب کننده این گازها که اصطلاحاً چاهک نامیده می‌شوند، کاهش می یابد. هر گاز گلخانه ای طول عمر مشخصی دارد و با توجه به نوع گاز گلخانه ای میزان تأثیر آن بر شدت اثر گلخانه ای نیز متفاوت است. معمولاً گاز دی اکسید کربن به عنوان مبنای تعیین میزان تأثیر گاز گلخانه ای بر گرمای زمین، در نظر گرفته می‌شود و پتانسیل گرمایش سایر گازها نسبت به این گاز سنجیده می‌شود. جدول (۱)-

(۱) گازهای گلخانه ای، منابع انتشار و طول عمر آن ها را در جو زمین نشان می‌دهد.

جدول (۱-۱) خلاصه مشخصات گازهای گلخانه ای

گلخانه ای	منابع		چاهک ها	طول عمر در جو زمین
	غیر طبیعی	طبیعی		
دی اکسید کربن CO_2	سوزاندن سوخت های فسیلی، جنگل زدایی، تخمیر هوازی ضایعات جامد و مایع	---	اقیانوس ها جنگل ها	۵۰ سال
متان CH_4	فضولات حیوانی، شالیزار های برنج و سوزاندن سوخت های فسیلی، تخمیر بی هوازی ضایعات جامد و مایع	مرداب و اقیانوس ها	جذب توسط باکتری های موجود در خاک و انجام واکنشهای شیمیایی در جو	۱۰ سال
اکسید نیترو N_2O	خاک های تقویت شده با کودهای شیمیایی، سوختن زیست توده و احتراق سوخت های فسیلی	فرآیندهای میکروبی در خاک و آب اقیانوس ها و خاک های طبیعی	جذب بوسیله خاک و واکنش های فتوشیمیایی در استراتوسفر	۱۴۰-۱۹۰ سال
اوزن O_3	---	واکنش های پیچیده فتوشیمیایی در جو	واکنش با رادی کالهای آزاد در جو و واکنشهای پیچیده فتوشیمیایی	چند ساعت تا چند روز

سوالاتی که در اینجا مطرح می شود این است که : گرم شدن زمین چه عواقبی را به دنبال دارد؟ دما و میزان بارش برف و باران، هر دو بر تغییرات آب و هوا تأثیر می گذارند. افزایش و یا کاهش مقادیر دما و میزان کل بارش در هر منطقه نیز متأثر از عرض جغرافیایی ، ارتفاع محل و جریان های اقیانوسی آن منطقه می باشد. تغییر آب و هوا پدیده ای است که میزان تأثیر متغیرهای اقلیمی را بر آب و هوای هر منطقه تغییر می دهد و اثرات نامطلوبی را به جای می گذارد ؛

- بالا آمدن سطح آب دریاها و کاهش منابع آب شیرین
- تغییرات آب و هوای منطقه ای در عرض های بالا و نیمکره ی شمالی
- تغییر در میزان بارش باران و جهت وزش باد
- افزایش بلایای طبیعی مثل طوفان ، گردباد و سیل
- افزایش میزان خشکسالی و توسعه ی مناطق بیابانی

- اثر احتمالی بر گسترش بیماری هایی نظیر مالاریا

در ده های اخیر افزایش گاز های گلخانه ای باعث شدید تر شدن پدیده تغییر اقلیم شده است. تغییر اقلیم باعث تغییر در مدت، شدت و زمان بارش در مناطق مختلف کره زمین، تغییر دما، تغییر در میزان تبخیر و تعرق از سطح گیاهان و تاثیر آن بر افزایش تقاضای آب در بخش کشاورزی، کاهش ذخایر برفی در کوهستان ها می گردد. این عوامل نیز باعث تغییر سایر پارامترهای هیدرولوژیکی خواهند شد. اثرات ناشی از تغییر اقلیم بسته به موقعیت جغرافیایی منطقه متفاوت خواهد بود. همچنین عوامل دیگری مانند افزایش جمعیت و رشد صنعت در تغییر اقلیم نقش دارد. بررسی درازمدت اقلیم هر منطقه و شناسایی پارامترهای موثر در تشدید تغییرات و دگرگونی های اقلیمی کمک شایانی به تعدیل و کاهش خسارات ناشی از آن می نماید. امروزه تغییر اقلیم یک تهدید بسیار جدی پیشروی جوامع است که اثرات نامطلوبی بر سیستم های اجتماعی، اقتصادی و محیط زیست بشری می گذارد. از مهم ترین اثرات وقوع تغییرات اقلیمی اثر آن بر چرخه هیدرولوژی و سیستم های منابع آب از طریق تاثیر بر کمیت و کیفیت آب و میزان عرضه و تقاضا است. تغییر اقلیم کاهش منابع آب رودخانه ای، وقوع دوره های خشکی پی در پی و افزایش پیک سیلاب را نیز در پی داشته است. این موضوع طراحی دقیق تر زیربناهای مربوط به آب و فاضلاب و طراحی عملکرد سیستم های آبی و مدیریت بهینه تقاضا را می طلبد [۱۱]. در دو دهه آخر قرن بیستم چندین همایش جهانی گسترده در ارتباط با اقلیم و تغییر پذیری آن صورت گرفته که نتایج آنها به صورت گزارش IPCC در سال های ۱۹۹۶، ۱۹۹۱، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶ انتشار یافته است. مطالب این گزارش ها حاصل بررسی نتایج مطالعات چندین هزار دانشمند علوم زمینی از کشورهای مختلف جهان است. برای نمونه، برخی از نتایج مهم ذکر شده در گزارش IPCC که مورد تأیید بسیاری از مدل های اقلیمی جهانی بوده و مربوط به تغییر اقلیم مشاهده در قرن بیستم و یا پیش بینی شده در قرن ۲۱ است، به شرح زیر می باشد:

دمای میانگین جهانی هوا از قرن ۱۹ تا انتهای قرن ۲۰ بین ۰/۳ تا ۰/۶ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. تمرکز دی اکسید کربن احتمالاً از ۲۸۰ ppm دوران انقلاب صنعتی به ۵۰۰ ppm تا انتها

قرن ۲۱ خواهد رسید. افزایش سطح گازهای گلخانه ای احتمالاً منجر به افزایش دمای میانگین جهانی هوای سطحی بین ۲/۵-۴/۵ درجه سانتیگراد تا انتها قرن ۲۱ خواهد شد. سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها نیز بین ۱۰ تا ۲۵ سانتیمتر در طی ۱۰۰ سال گذشته افزایش یافته است که بخش عمده ای از آن به افزایش دما می‌تواند مربوط باشد. انتظار می‌رود میانگین سطح آب دریا تا سال ۲۱۰۰ بین ۱۵ تا ۹۵ سانتیمتر (با احتمال بیشتر ۵۰ سانتیمتر) افزایش یابد [۱۲]. به طور خلاصه می‌توان تأثیر تغییرات اقلیمی را بر منابع آبی به صورت جدول (۲-۱) خلاصه کرد [۱۳].

جدول (۲-۱) تأثیر تغییرات اقلیمی را بر منابع آبی

منابع	خلاصه تأثیرات اصلی	تأثیرات بالقوه
منابع هیدرولژیکی	بارندگی تبخیر تعرق (Transpiration) رواناب تغذیه (Recharge)	تغییر در رطوبت خاک کاهش تغذیه منابع آبهای زیر زمینی کمبود یا ازدیاد آب شکست سدها بدلیل افزایش رسوب کاهش ذخیره سدها بدلیل افزایش رسوب
کیفیت آب	دمای آب شوری آب تمرکز آلودگی تأثیر بر گیاهان و جانداران	تغییر در کیفیت شیمیایی تغییر در کیفیت زیستی و میکروبی تغییر در کیفیت حرارتی
سیستم های آبی	جریان سیلاب فرسایش و رسوب تغییر در سطح آب آب های سطحی	خشکسالی یا سیلاب شکست سدها بدلیل سیلاب کاهش ذخیره سدها بدلیل افزایش رسوب

د		تغییر در سطح آب آب های زیر زمینی	
ر			
این			
پایان			
نامه	تهیه آب	تقاضای سرانه آب تقاضای آب کشاورزی	افزایش تقاضای آب فراتر از سطح پیش بینی شده کاهش ذخیره ی آب
سعی	سیستم های منابع آب	جریان آب سطح آب در آب های سطحی سطح آب در آب های زیرزمینی	تغییر نیروبر تأسیسات ذخیره آب تغییر در پتانسیل تولید نیروی برق آبی
شده			
است به			

کمک مدل های گردش عمومی جو که دربرگیرنده ی تاثیرات گازهای گلخانه ای و موارد ذکر شده می باشد، و استفاده از داده های بارش مشاهداتی ایستگاه امامه ریز مقیاس نمایی را برای این منطقه انجام دهیم تا به کمک آن بتوان میزان و کیفیت بارش را در سال های آینده به منظور کمک به تخمین روند تغییر در منابع آبی کشور تعیین کرد.

۱-۵- ضرورت انجام تحقیق

اثبات پدیده تغییر اقلیم به راحتی و بطور قطع امکان پذیر نیست و بررسی های دراز مدت آماری را می طلبد. با این حال آنچه که بطور قطع می توان پذیرفت روند افزایش درجه حرارت کره زمین و غلظت گاز CO_2 جو است. نوسانات آب و هوایی بطور قابل ملاحظه ای بر چرخه هیدرولوژیک تاثیر دارد [۱۴]. تغییرات نامنظم الگوهای بارندگی و افزایش پدیده های حدی مانند خشکسالی ها و سیلاب ها، تغییر در مقدار و توزیع زمانی رواناب رودخانه ها از جمله اثرات تغییرات اقلیمی در عصر حاضر است. شناخت و ارزیابی میزان وابستگی و حساسیت منابع آبی به تغییرات اقلیمی از آن جهت قابل توجه است که رشد اقتصاد جهانی، درگیری ها و چالش های اجتماعی و جنگ آب و سیر قهقرایی محیط زیست همگی متأثر از آن می باشد. همانطور که از تحقیقات انجام شده بر می آید، روش های مختلفی برای ریز مقیاس سازی خروجی های مدل های GCM توسعه داده شده و توسط محققین مختلف بکار گرفته شده است. مسلماً سطح دقت و اعتمادپذیری این روشها بر حسب نوع و

کیفیت داده های ورودی ممکن است متفاوت بوده و منجر به پیش بینی های متفاوتی از سناریوهای اقلیمی گردند. با توجه به این نکته، در این پایان نامه تلاش خواهد شد با بهره گیری از داده های موجود منطقه ای (داده های مشاهداتی و ثبت شده در ایستگاه ها) و همچنین دریافت پارامترهای هواشناسی مدل های GCM، با کمک روش های داده محور نظیر شبکه های عصبی مصنوعی، K نزدیکترین همسایگی و مدل استنتاج عصبی - فازی تطبیقی ریز مقیاس نمائی مکانی به روش آماری برای متغیرهای هواشناسی انجام مورد و عملکرد مدل های مختلف داده محور از نظر دقت مقایسه شده و مدل مناسب معرفی شود. در ادامه مدل مناسب جهت ریز مقیاس نمائی به منظور تصویر سازی شرایط اقلیمی آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت و شرایط هیدروکلیماتولوژی در منطقه تحت سناریوهای مشخص تغییر اقلیم مطالعه خواهد شد. نتایج تحقیق به منظور بررسی و پایش کمی منابع آب منطقه در آینده و برنامه ریزی های منابع آب می تواند حائز اهمیت باشد. منطقه مورد مطالعه، بالادست سد لتیان در شمال استان تهران پیشنهاد می شود و همچنین ایستگاه مورد مطالعه ایستگاه امامه برای دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۰۵ خواهد بود.

۱-۶- سؤال های اساسی تحقیق

- ۱- آیا برای پیش بینی پارامترهای هواشناسی آینده نیازی به استفاده از مدل های اقلیمی گردش عمومی جو می باشد؟
- ۲- آیا در نظر گرفتن تاثیرات تغییر اقلیم بر روی مطالعات آینده باعث افزایش کیفیت نتایج و اعتبار آنها می شود؟
- ۳- آیا بدون ریزمقیاس کردن داده های مدل های گردش عمومی جو می توان از آنها برای پیش بینی دوره های آتی استفاده کرد؟
- ۴- چه تفاوتی بین مدل های گردش عمومی جو نسل گذشته و نسل جدید وجود دارد؟

۱-۷- اهداف تحقیق

میزان متوسط بارش در ایران کمتر از ۲۵۰ میلی متر در سال بوده که این رقم کمتر از یک سوم متوسط جهانی است. به علاوه میزان متوسط تبخیر-تعرف در این کشور ۳ برابر متوسط جهانی است که با قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه خشک جهانی، کمبود منابع آبی را به عنوان یک محدودیت ذاتی دو چندان می نماید. از این رو لازم است تا با در نظر گرفتن عواملی که ممکن است اقلیم یک منطقه و در پی آن منابع آبی، محیط زیست، کشاورزی، صنعت و غیره را دستخوش تغییرات کند، پارامترهای اساسی مانند بارش را پیش بینی کنیم و بهترین راه پیش بینی متغیرهای هواشناسی، استفاده از داده های مدل های گردش عمومی جو است تا با ریز مقیاس سازی آنها بتوان نگاهی درست به آینده داشت. این تحقیق در جستجوی شناخت تغییرات اقلیمی بارش طی دوره آماری مشخص در راستای آگاهی از وجود یا عدم وجود تغییر بارش می باشد تا ضمن شناخت تغییرات، نتایج حاصل از تحقیق در امور مختلف محیطی برای تدوین برنامه های منطقه ای مورد استفاده قرار گیرد. چنانچه که امروز بیشتر مسائل اقتصادی و اجتماعی بر اساس پروژه های دراز مدتی نظیر منابع آب، آبیاری و خشکسالی، احداث سد، کشاورزی و غیره بر مبنای متوسط های اقلیمی در نظر گرفته می شود و بر اساس تجزیه و تحلیل میانگین داده ها، صورت می گیرد. بنابراین اهداف کلی این طرح بررسی تغییرات بارش می باشد که به شرح زیر خلاصه می گردد:

۱- بررسی وضعیت پارامترهای اقلیمی دو مدل گردش عمومی جو در مقابل پارامتر بارش مشاهداتی

۲- شبیه سازی هیدرولوژیکی حوضه

۳- ترسیم نمودارهای مربوط به روندها و تغییرات در داده ها

۴- بررسی همبستگی داده های اقلیمی و مشاهداتی

۵- تجزیه و تحلیل نمودارها و نتیجه گیری کلی برای رسیدن به اهداف مورد نظر

۱-۸- سازمان دهی فصول پایان نامه

مطالب این پایان نامه در پنج فصل ارائه شده است. پس از مقدمه، در فصل دوم سابقه مطالعات انجام شده در ایران و در سایر نقاط جهان در زمینه ی روش های بکار رفته در این پژوهش و همین طور مباحث مربوط به تغییر اقلیم جهانی بررسی می شود. در فصل سوم ابتدا تاثیرات تغییر اقلیم و وضعیت آن در کره زمین و سپس انواع مدل های اقلیمی را بیان می شود. سپس به تشریح مدل های گردش عمومی جو (GCM)^۵ پرداخته و دو مدل HADCM^۳ و CanESM^۲ را معرفی خواهد شد. بعد از آن توضیحاتی را راجع به ریز مقیاس نمایی داده می شود و به معرفی شبکه عصبی مصنوعی، ANFIS، KNN پرداخته خواهد شد. در نهایت نیز منطقه مورد مطالعه را معرفی می کنیم. اطلاعات کلی منطقه شامل موقعیت جغرافیایی، وضعیت آب وهوایی، مکان های مهم این منطقه شامل شهرهای واقع در حوزه، ایستگاه های هواشناسی، باران سنجی، هیدرومتری و وضعیت هیدرولوژیک رودخانه اصلی حوزه ارائه می شود و در نهایت داده های مورد استفاده در این پژوهش ارائه می شود. در ادامه در فصل چهارم تمامی نتایج و خروجی های روش های بکار گرفته شده و مدل های اقلیمی بررسی شده در این پژوهش و همچنین بررسی معیارهای عملکردی مدل ها نشان داده خواهد شد. در نهایت و در آخر این فصل دستاوردهای پایان نامه جمع بندی و نتیجه گیری شده است و پیشنهاد هایی جهت مطالعات بعدی ارائه می گردد.

^۵ General Circulation Model

فصل دوم

مروری بر تحقیقات

پیشین

۲-۱- مقدمه

در این فصل، پیشینه مطالعات در دو بخش بررسی پیشینه مطالعات در ایران و بررسی پیشینه مطالعات سایر نقاط جهان ارائه شده است. در پایان همین فصل، مروری بر سوابق مطالعات انجام می-شود و ایده اصلی تحقیق حاضر با توجه به سوابق ذکر شده عنوان می‌گردد.

۲-۲- پیشینه مطالعات در ایران

خلیلی و همکاران با استفاده از شبکه های عصبی پرسپترون چندلایه میزان بارش را با دقت قابل قبولی در ایستگاه سینوپتیک مشهد پیش بینی کردند [۱۵]. قلی زاده و دارند میزان بارش ماهانه را در تهران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی تخمین زدند [۱۶]. فاتحی مرج و مهدیان ارتباط بین پدیده انسو را با بارش در حوضه دریاچه ارومیه بررسی و برای پیش بینی بارش پاییزه در دو ایستگاه تبریز و ارومیه از مدل شبکه های عصبی مصنوعی استفاده کردند. نتایج آن ها نشان داد که مدل غیرخطی با استفاده از شاخص های اقلیمی مورد استفاده، بارش پاییزه را با دقت بیشتری پیش بینی می‌کند [۱۷]. فلاح قاله‌ری و همکاران، کارکرد دو مدل سیستم استنباط فازی و شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی بارش در منطقه خراسان بزرگ را مقایسه و نشان دادند که شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی بارش موفق تر از مدل فازی می‌باشد [۱۸]. فلاح قاله‌ری و خوشحال، میزان بارش را در استان خراسان رضوی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی پیش بینی کرده و به این نتیجه رسیدند که شبکه

عصبی مصنوعی در تمامی سال ها می تواند بارش را با دقت قابل قبولی پیش بینی کند [۱۹]. علیجانی و قویدل رحیمی با استفاده از روش های رگرسیون خطی و شبکه های عصبی مصنوعی به مقایسه و پیش بینی تغییرات دمای سالانه تبریز با ناهنجاری های دمایی کره ی زمین در طول دوره ی آماری ۵۴ ساله (۲۰۰۳-۱۹۵۱) پرداختند و نشان دادند که مدل های غیر خطی (ANNS) بسیار قویتر از مدل های خطی و نیمه خطی عمل می کنند [۲۰]. چویدار ورودی ماهانه ی دریاچه ی سد شهید مدنی تبریز را بر اساس تأثیر عناصر اقلیمی با استفاده از شبکه های عصبی پیش بینی کرد نتایج حاکی از موفقیت این روش بود [۲۱]. احمدی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی به طبقه بندی تغییرات درونی داده ها اقلیمی و رژیم بارش پرداخته است. به این منظور از داده های بارندگی ایستگاه بوشهر به عنوان ورودی سیستم استفاده کرده است. نتایج حاصل از مدل ANN با روش آنالیز خوشه ای، مبتنی بر الگوریتم خوشه بندی سلسله مراتبی با معیار مجموع مربعات خطا مقایسه شدند و به این نتیجه رسیدند که مدل ANN در تشخیص مشخصه های فرعی توانا تر بوده و می تواند برای بیشتر پارامترهای اقلیمی بکار رود و همچنین هر قدر انحراف درون گروهی کم باشد، طبقه بندی دقیق تر است [۲۲]. بسطامی و همکاران از شبکه های عصبی مصنوعی برای پیش بینی بارش و تراز آب رودخانه بوداپ استفاده کردند. نتایج این پژوهش آشکار ساخت که دقت پیش بینی ۹۶/۴ درصد است. همچنین آنان به کمک خروجی پیش بینی شده بارش، تراز آب رودخانه را با دقت ۸۵/۳ درصد محاسبه کردند. این نتایج بیانگر کارایی خوب و مناسب شبکه های عصبی مصنوعی برای بارش و تراز آب است که یکی از ضروری ترین ورودی های هیدرولوژیکی است [۲۳]. شافعی و همکاران از شبکه های عصبی مصنوعی برای پیش بینی بارش اسکندریه مصر استفاده کردند. آنها مدل شبکه های عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون چند متغیره را با هم مقایسه کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که مدل شبکه های عصبی مصنوعی مناسب تر و دقیق تر است [۲۴]. کارآموز و همکاران با استفاده از شبکه های عصبی به پیش بینی بلند مدت بارش حوضه های غربی ایران پرداخته اند و کارایی خوب و دقت قابل قبول شبکه های عصبی را اثبات کردند [۲۵]. فرزانه و همکاران، رواناب حوضه بهشت آباد

کارون شمالی را در دوره ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ میلادی مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور ابتدا با استفاده از سناریوهای اقلیمی مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس - اتمسفر گردش عمومی جو و دوره پایه ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰، به انتخاب مدل معرف منطقه پرداختند و سپس با در نظر گرفتن ایستگاه‌های سینوپتیک شهرکرد و بروجن، مراحل ریزمقیاس‌نمایی آماری رگرسیونی خروجی مدل AOGCM معرف صورت گرفت. نتایج مدل HadCM۳ نهایی نشان‌دهنده کاهش ۴۹ درصدی مجموع بارش متوسط و افزایش ۳۰ درصدی دمای حداقل و افزایش ۱۰ درصدی دمای حداکثر در دوره آینده می‌باشد، که باعث کاهش رواناب و تبدیل اقلیم منطقه از نیمه خشک به خشک خواهد شد [۲۶]. اسدیانی یکتا از الگوریتم KNN و مدل استنتاج تطبیقی عصبی فازی (ANFIS) برای برآورد میزان بار معلق ورودی به مخزن سد اکباتان استفاده کرد. هدف از این تحقیق یافتن رابطه ای بین میزان رسوبات معلق با دبی رودخانه با کمترین میزان خطا نسبت به روش سنتی سنج رسوب بوده است [۲۷]. عزمی و همکاران نشان داده اند که می توان با استفاده از الگوریتم نزدیک ترین همسایگی (KNN)، نتایج خروجی حاصل از مدل های منفرد پیش بینی را به گونه ای ترکیب کرد که نتایج نهایی حاصل از این ترکیب اطلاعات دقیق تر و مطلوب تر از نتایج مدل های منفرد و حتی روش های ترکیب اطلاعات کلاسیک باشد [۲۸]. عراقی نژاد و برن نشان دادند که می توان با استفاده از تلفیق روش های زمین آماری و روش K-NN به پیش بینی دقیق تر پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی پرداخت و از نتایج پیش بینی ها برای مدیریت بلند مدت منابع آب اقدام نمود [۲۹]. قربانی به ارزیابی مدل های داده کاوی در ریزمقیاس نمایی بارش روزانه حاصل از مدل گردش عمومی جو NCEP پرداخت و نتیجه گرفت بارش پیش بینی شده به کمک سه روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) درخت تصمیم (M۵) و K- نزدیک ترین همسایگی (KNN) از مدل های داده کاوی، از میانگین و انحراف معیار کمتری نسبت به بارش مشاهداتی برخوردار هستند و این مدل ها مقادیر حدی بارش را نمی توانند به خوبی پیش بینی کنند. با این وجود روش KNN نسبت به دیگر روش ها نتایج بهتری را ارائه می کند [۳۰]. کوهی و همکاران، با هدف ارائه ی دورنمایی از وضعیت آتی رویدادهای حدی دما و بارش با استفاده از خروجی-

های مدل HadCM^۳، و با بکارگیری مدل SDSM اقدام به ریزمقیاس‌نمایی میانگین و نمایه‌های حدی دو متغیر دمای بیشینه و بارش روزانه در سطح حوضه کشف‌رود نمودند. داده‌های استفاده شده برای ارزیابی مدل شامل متغیرهای بزرگ مقیاس جوی بدست آمده از داده‌های بازتحلیل روزانه NCEP (۲۰۰۱ - ۱۹۶۱)، برون‌داد میانگین روزانه مدل اقلیمی HadCM^۳ تحت دو سناریوی A_۲ و B_۲ (۲۰۹۹ - ۱۹۶۱) و میانگین ناحیه‌ای بارش و دمای بیشینه این حوضه به ترتیب طی دوره آماری ۲۰۰۱ - ۱۹۶۹ و ۲۰۰۰ - ۱۹۷۲ میلادی بود. نتایج نشان داد که میانگین دمای بیشینه، بطور معنی‌داری طی سه دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش و میانگین بارش ماهانه، نسبت به دوره پایه کاهش خواهد داشت [۳۱]. بابائیان و کوان تغییرات اقلیمی کشور کره جنوبی را در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی A_۱ با استفاده از خروجی‌های مدل Echo-g مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در کل میزان بارش در آینده افزایش خواهد داشت. همچنین آستانه بارش‌های سنگین در آینده روند افزایشی خواهد داشت و میانگین دما در دهه‌های آینده نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد یافت [۳۲]. آذرانفر و ابریشم چی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما را در حوضه آبریز زاینده رود در دو دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ با استفاده از مدل گردش عمومی اتمسفر CGCM^۳ تحت دو سناریوی انتشار A_۲ و B_۲ با استفاده از کوچک مقیاس‌نمایی به روش آماری مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دهنده افزایش دما به اندازه ۵-۲ درجه سانتی‌گراد در دوره‌های آینده و همچنین افزایش بارش در ماه‌های دسامبر و ژانویه می‌باشد [۳۳]. همچنین کمال و مساح‌بوانی با استفاده از خروجی سناریوی A_۲ مدل HADCM^۳ و ریزمقیاس‌نمایی توسط مدل SDSM نوسانات و مقادیر متوسط متغیرهای دما و بارش حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی را شبیه‌سازی نموده و افزایش دما در ماه‌های مختلف سال بین ۰/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد و تغییرات بارش بین ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر گزارش نمودند [۳۴]. طباطبایی و حسینی، براساس بارش ماهانه و متوسط دمای ماهانه، به بررسی تغییر اقلیم در شهر سمنان پرداختند. آنها در این تحقیق به این نتیجه رسیدند که بارش در فصل زمستان تا حدودی افزایش می‌یابد و در تابستان تبخیر بیشتر می‌شود و اقلیم خشک و گرم‌تر خواهد

شد [۳۵]. شهابفر و همکاران با استفاده از داده‌های ماهانه روند دمای میانگین، حداقل مطلق و تعداد روزهای و روند افزایشی کلی در دما و کاهش در تعداد روزهای یخبندان را مشاهده کردند [۳۶].

۲-۳- پیشینه مطالعات در سایر نقاط دنیا

بچلت و همکاران، از مدل‌های اقلیمی MIROC۵، CCSM۴ و CanESM۲، از مجموعه مدل‌های CMIP۵ و تحت سناریوهای rcp۴.۵ و rcp۸.۵، جهت پیش‌بینی دما و بارش، در بیابان‌های جنوب کالیفرنیا استفاده کردند. بر اساس نتایج ریزمقیاس شده این سه مدل، افزایش دما در این منطقه، به‌خصوص در فصل تابستان پیش‌بینی می‌شود. روند بارش در این سه مدل، افزایش در فصل زمستان و کاهش در سایر فصول را نشان می‌دهد [۳۷]. پومو و همکاران، از نتایج ریزمقیاس شده مدل‌های اقلیمی CMIP۵، به منظور پیش‌بینی وضعیت جریان در چند رودخانه فصلی مدیترانه‌ای استفاده کردند. نتایج حاصل از پیش‌بینی میزان دبی این رودخانه‌ها تحت سناریوهای rcp۴.۵ و rcp۸.۵، روند کاهشی را نشان می‌دهد که این میزان کاهش تحت سناریو rcp۸.۵ بیشتر است [۳۸]. ترافالیس و همکاران از روش شبکه عصبی مصنوعی و چند روش دیگر برای تخمین بارش استفاده کردند که در نهایت روش رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) را بعنوان روشی که بهترین نتیجه را می‌دهد معرفی کردند [۳۹]. هاکورتا بارش‌های موسمی دراز مدت را برای ۹۳ زیربخش هواشناسی هند با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی بررسی کرد [۴۰]. ماکي سورن و همکاران با رویکردی به تغییر اقلیم جهانی و توجه به مدیریت منابع آب به عنوان یک موضوع بحرانی در سراسر جهان به پیش‌بینی کوتاه مدت جریان رود در حوضه آبخیز نیمه خشک در تکزاس جنوبی پرداخته و بین دو مدل هوش مصنوعی الگوریتم ژنتیک (GP) و مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) مقایسه‌ای را انجام داده است. وی بر داده‌های درجه حرارت سطح دریا (SST) توسط رادار نسل آینده (NEXRAD) هواشناسی توسط ایستگاه‌های هواشناسی محلی و داده‌های قدیمی جریان رود توسط ایستگاه‌های اندازه‌گیری سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) تاکید داشته و به این نتیجه رسیده است که داده‌های بارندگی رادار نسل آینده بیشترین تأثیر در پیش‌بینی ۳ روز آینده را داشته و همچنین درجه

حرارت سطح دریا در اقیانوس اطلس اثر بیشتری نسبت به درجه حرارت سطح دریا (SST) اقیانوس آرام در پیش‌بینی جریان رود داشته است. علاوه بر آن مدل الگوریتم ژنتیک GP مشتق شده می‌تواند حتی جریان رود ۳۰ روز آینده را با خطای ۵/۴ و مربع همبستگی ۰/۴ پیش‌بینی کند [۴۱]. حال و همکاران بارش تگزاس را به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌بینی کردند. نتایج آنان نشان داد که همبستگی خطی بین مقادیر پیش‌بینی شده بارش با مقادیر واقعی ۰/۹۵ است. در حال حاضر، نه تنها از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی مقادیر بارش در مقیاس‌های مختلف زمانی استفاده می‌شود؛ بلکه بسیاری از پژوهشگران از آن به عنوان ابزاری جهت پیش‌بینی رخداد‌های فرین بارش نیز بهره برده‌اند [۴۲]. بدری و سیرماک از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی مقادیر فرین بارش که در تابستان منجر به رخداد سیل در منطقه مراویا (شرق جمهوری چک) می‌شود، استفاده کردند. آنها شبکه را به کمک انتشار رو به عقب و با داده‌های ماهانه ۳۸ سال مربوط به دو ایستگاه در منطقه، آموزش دادند و مقایره بارش ماه بعد و بارش تابستان سال بعد را پیش‌بینی کردند. نتایج آنان نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی به خوبی مقادیر بارش فرین را پیش‌بینی می‌کند؛ چرا که بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده‌ی بارش اختلاف اندکی دیده می‌شود [۴۳]. میدا و همکاران نیز بارش ژاپن را به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌بینی کردند و نتایج حاصله را با پیش‌بینی‌های ساعتی سازمان هواشناسی ژاپن مقایسه کردند. نتایج آنان نیز نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی ابزار مناسبی برای پیش‌بینی بارش و کاهش مخاطرات ناشی از آن می‌باشد [۴۴]. لکشمی و همکاران به کمک شاخص انسو و چرخه‌های لکه‌های خورشیدی بارش تابستانه‌ی هند را با ابزار شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌بینی کردند [۴۵]. هانگ و همکاران از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بارش بانکوک تایلند استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد که مدل توسعه یافته‌ی شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی زمان واقعی بارش و مدیریت سیلاب در بانکوک تایلند مناسب است [۴۶]. وانگ و شینگ بارش ژینگ ژوی چین را به کمک رگرسیون عمومی شبکه‌های عصبی پیش‌بینی کردند. نتایج این پژوهش حکایت از این داشت که رگرسیون عمومی شبکه‌های عصبی

مقادیر خطای پیش بینی کمتری را نسبت به شبکه های مصنوعی انتشار به عقب دارند [۴۷]. شرما و همکاران با استفاده از تابع چگالی غیر پارامتری کرنل و استفاده از شاخص های انسو، توزیع احتمالاتی بارش حوضه سد واراگامبای استرالیا را ارائه نمودند [۴۸].

۲-۴- جمع بندی

با بررسی سوابق مطالعاتی در زمینه های ریزمقیاس نمایی، استفاده از روش های مختلف ریزمقیاس نمایی آماری، استفاده از مدل های اقلیمی پیش بینی بلند مدت اقلیمی در حوزه های آبریز با شرایط متفاوت در ایران و دیگر نقاط جهان می توان مشاهده نمود که روش های داده محور نظیر شبکه عصبی مصنوعی، روش ناپارامتریک K- نزدیک ترین همسایگی، روش آماری رگرسیونی و تصادفی SDSM، مدل مولد مصنوعی داده های آب و هوایی LARS-WG و رگرسیون های معمولی بیشترین استفاده را به خود اختصاص داده اند. در یک جمع بندی کلی نتیجه می شود که در سال های آتی وقوع تغییر اقلیم و اثرات آن در منابع آب امری اجتناب ناپذیر است و با توجه به افزایش گازهای گلخانه ای و در صورت عدم کنترل انتشار گازهای گلخانه ای و دیگر آلاینده ها و بی توجهی به بحث کنترل جمعیت و رشد کارخانه ها و دیگر عواملی که بر تغییر اقلیم اثرات منفی می گذارند، چالش های جدی اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی را پیش رو خواهیم داشت.

فصل سوم

منطقه تحقیق و داده‌ها

۳-۱- مقدمه

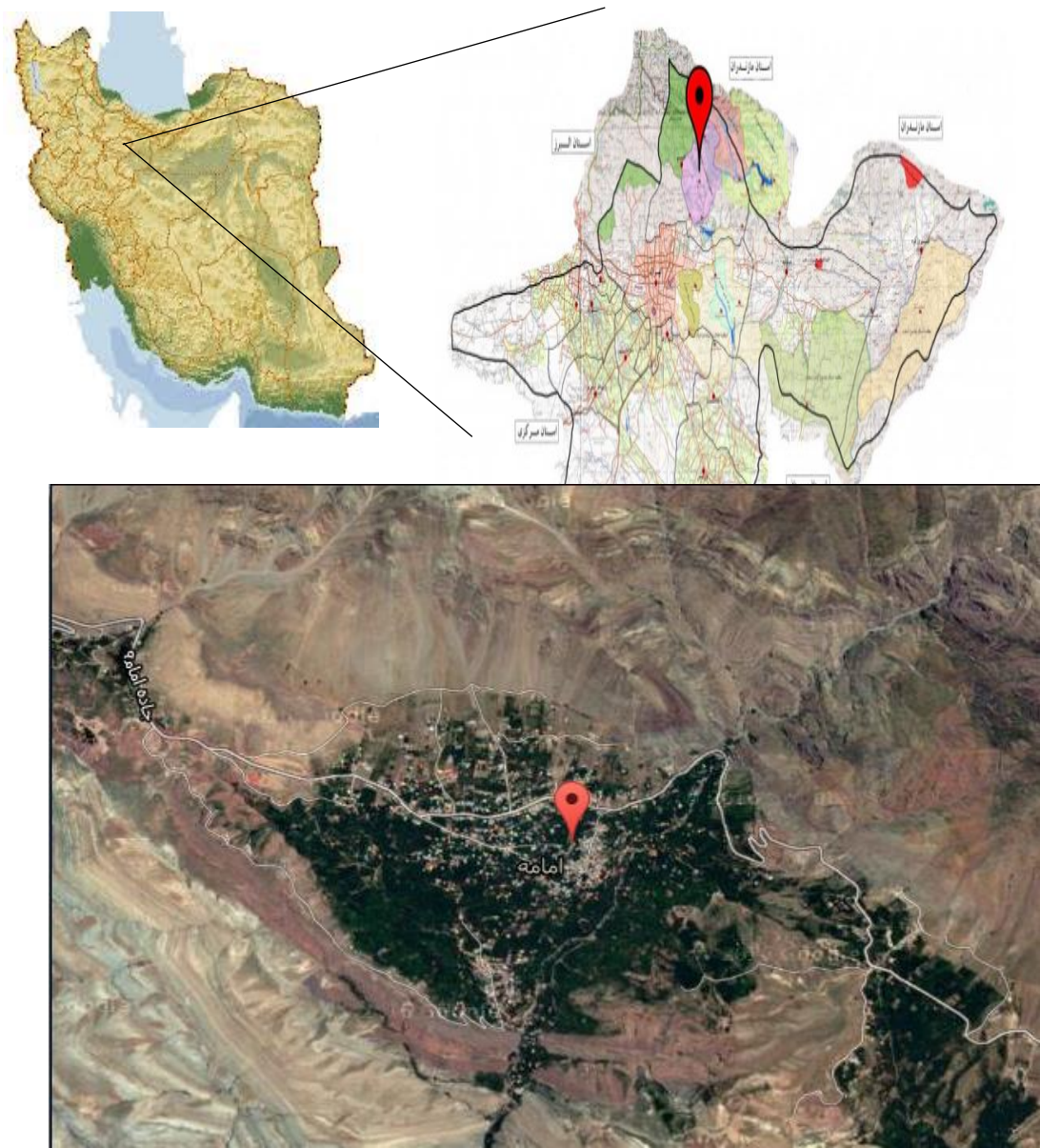
در این فصل ابتدا به معرفی حوضه مورد مطالعه پرداخته خواهد شد. سپس درباره اطلاعات مورد نیاز برای انجام این پژوهش توضیحاتی ارائه می‌شود. همچنین تغییر اقلیم و مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) نیز مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۳-۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز سد لتیان از لحاظ تقسیمات کشوری در شمال شرقی شهر تهران در حد فاصل طول‌های شرقی ۵۱ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۵ دقیقه و عرض‌های شمالی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه می‌باشد و به طور کامل در محدوده ی فرمانداری شهرستان شمیرانات است که با پنج شهرستان نور، آمل، دماوند، کرج و تهران مرز مشترک دارد و از دو بخش (لواسان و رودبار) و سه دهستان (لواسان بزرگ، لواسان کوچک و رودبار قصران) تشکیل شده است. این حوضه از شمال به حوضه آبخیز سد لار، از غرب به حوضه آبخیز کرج، از جنوب به حوضه آبخیز شمال تهران و از شرق به حوضه آبخیز دماوند محدود می‌شود. این حوضه بر اساس اهمیت شکل‌گیری رودخانه‌های آن عموماً در مطالعات آبخیزداری به ۹ زیر حوضه تقسیم شده است. امامه از روستاهای بزرگ دهستان رودبار قصران شهرستان شمیران است که در شمال شرقی تهران قرار دارد. این روستا در موقعیت ۳۵ درجه و ۵۴ دقیقه و ۲۲/۲ ثانیه عرض جغرافیایی و ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقه و ۱۴/۶ ثانیه طول جغرافیایی و ارتفاع آن ۲۲۳۴ متر از سطح دریا واقع شده است. از شمال به روستای راحت آباد و از جنوب به اوشان و از شرق به کوه‌های ورجین لشکرک و از غرب به فشم محدود و از دو محله امامه بالا(علیا) و امامه پایین (سفلی) تشکیل شده است. امامه روستایی است مرتفع، کوهستانی و سردسیر در دامنه جنوبی البرز مرکزی که آب آن از رود محلی و قنات و چشمه تأمین می‌گردد. این روستا به دلیل واقع شدن در منطقه کوهستانی شمال استان تهران و نیز ارتفاعات البرز دارای آب و هوای نیمه

مرطوب و مرطوب با زمستان‌های طولانی و سرد می باشد، بطوریکه متوسط درجه حرارت در سردترین ماه سال تا پائین تر از منفی ۱۵ درجه سانتی گراد می‌رسد. آب و هوای این منطقه به طور کلی تحت تاثیر عوامل جغرافیایی به خصوص ناهمواری‌ها است. هرچه از دو راهی جاده‌ی فشم به سمت امامه اوج می‌گیریم بر برودت و سرمای هوا اضافه می‌شود. وجود پوشش گیاهی و حیاط وحش جانوری متنوع؛ عوامل اکولوژیکی، توپوگرافی، خاک و سایر عوامل حیاتی باعث بوجود آمدن پوشش گیاهی بسیار زیبا و متنوع در این مناطق شده است. به طور کلی پوشش گیاهی منطقه از تیپ علفزار مشتمل بر گندمیان، پایا و بوته زاری و پوشش های آلی تشکیل شده و گیاهان دارویی، صنعتی و غذایی اکوسیستم کوهستانی لواسانات و رودبار قصران نیز متنوع و دارای معروفیت و سابقه ای طولانی است که می توان از والک، گلپر، چای کوهی، گل گاوزبان، شیرین بیان، کاسنی، آویشن، پیازک، موسیر، باریجه، ریواس، قارچ و غیره نام برد. به علت موقعیت کوهستانی و آب منطقه در فصول مختلف سال پرندگان مهاجر و بومی چون کبک، دری، حواصیل سفید و خاکستری، انواع عقاب و از پستانداران می توان از قوچ، میش البرز مرکزی، کل، بز، پلنگ، گرگ، خرس، گراز، شغال و روباه نام برد و از خزندگان، دوزیستان و آبزبان افعی البرز مرکزی، یله مار، بزمنجه، مارمولک، قورباغه و آبی معروف منطقه نیز ماهی قزل آلا خال قرمز می باشد. یکی از ویژگی های طبیعی اکوسیستم کوهستانی لواسانات و رودبار قصران وجود باغات در دامنه های کوه های منطقه است؛ ویژگی کوهستانی بودن منطقه باعث بوجود آمدن کشاورزی از نوع باغداری در جهت تعادل و توازن و دستیابی به اهداف چند جانبه می شود، تا تولید و حفاظت توأم انجام گیرد. به طور مثال درختان سیستمی از کشاورزی را به خود اختصاص می دهند که هم در توسعه منابع غذایی و هم در حفاظت خاک و هم در تلطیف هوا به کار می رود. امروزه این سیستم چندمنظوره از دامنه کوه به دلیل فشارهای اقتصادی و اجتماعی مورد تهدید جدی قرار گرفته است. کوه های موجود در اکوسیستم کوهستانی لواسانات و رودبار قصران به منزله منابع یا برج های آبی شهر تهران؛ وجود برف های دائمی در قله این منطقه کوهستانی باعث بوجود آمدن رودخانه جاجرود و چشمه های فراوان شده که از منابع تأمین کننده آب آشامیدنی شهر

تهران می باشد. وجود چال های گوناگون در ارتفاعات لواسانات و رودبار قصران از دیگر ویژگی های این اکوسیستم کوهستانی می باشد. وجود چالهای فراوان با نام های استرچال، سی چال، سرکچال، سفید کمرچال و غیره در دامنه های پرشیب منطقه که بسیار سرسبز و در هر ماه و هفته با شکوفا شدن گل های جدید رنگ نو به خود می گیرد، می تواند کاربری های بسیار زیادی در حفظ محیط زیست و گردشگری داشته باشد. حوضه امامه به عنوان یکی از زیر حوضه های سد لتیان در این تحقیق مد نظر قرار گرفته است. رودخانه امامه یکی از شاخه های رودخانه جاجرود بوده که به سد لتیان منتهی می شوند. این سد، قسمت اعظمی از نیاز آبی شهر تهران را تامین می کند، لذا مطالعات هیدرو اقلیمی روی این رودخانه حائز اهمیت است. در شکل ۳-۱، موقعیت منطقه مورد نظر در استان تهران و همین طور بصورت جداگانه نمایش داده شده است.



شکل (۱-۳) موقعیت حوضه امامه در ایران و واقع در شمال شرق تهران

۳-۳- داده‌های مورد استفاده

در روش های بکار رفته در این پایان نامه شامل سه روش داده محور شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، روش ناپارامتریک K- نزدیک ترین همسایگی (KNN) و روش استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS)، از داده های دو مدل های گردش عمومی جو به نام شامل مدل HADCM^۶ و CanESM^۷ به عنوان داده های ورودی به مدل و از داده های بارش روزانه مشاهداتی به عنوان داده های خروجی استفاده شده است. برخی از اطلاعات مربوط به داده‌های روزانه مشاهداتی در جدول ۳-۱ آورده شده است. همچنین سری زمانی تغییرات بارش ماهانه ایستگاهی نیز در شکل ۳-۲ نمایش داده شده است. برای بکار گیری روش‌های ذکر شده از یک سری کد که در محیط برنامه MATLAB نوشته شده است، استفاده شد. این کد تقریباً همانند کدهایی است که در قسمت Toolbox برنامه MATLAB وجود دارد. اما برای استفاده بهتر از این مدل و بدست آوردن نتایج صحیح قسمتی از آن به صورت دستی تغییر داده شده است. در این پژوهش ۶۶ درصد داده ها به قسمت آموزش، ۱۵ درصد به قسمت اعتبارسنجی و ۱۹ درصد به قسمت آزمایش و تست اختصاص داده شده است. همین‌طور قسمتی از کد، به دستور PCA^۸ اختصاص داده شد. به کمک این دستور، شبکه در ابتدا بین ۲۶ پارامتر ورودی که داده های دو مدل اقلیمی را تشکیل می‌دهند، داده هایی که بیشترین همبستگی را با داده های هیدرولوژیکی دارد به ترتیب همبستگی بیشتر در مقابل داده های خروجی قرار می‌دهد. این ۲۶ پارامتر مدل گردش عمومی جو در جدول ۳-۲ نشان داده شده است. در هر بار Run کردن مدل می‌بایست عدد PCA را تغییر داد تا بررسی شود چه تعداد از این متغیرها با داده های اصلی

^۶ Hadley Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Model

^۷ Canadian Earth System Model

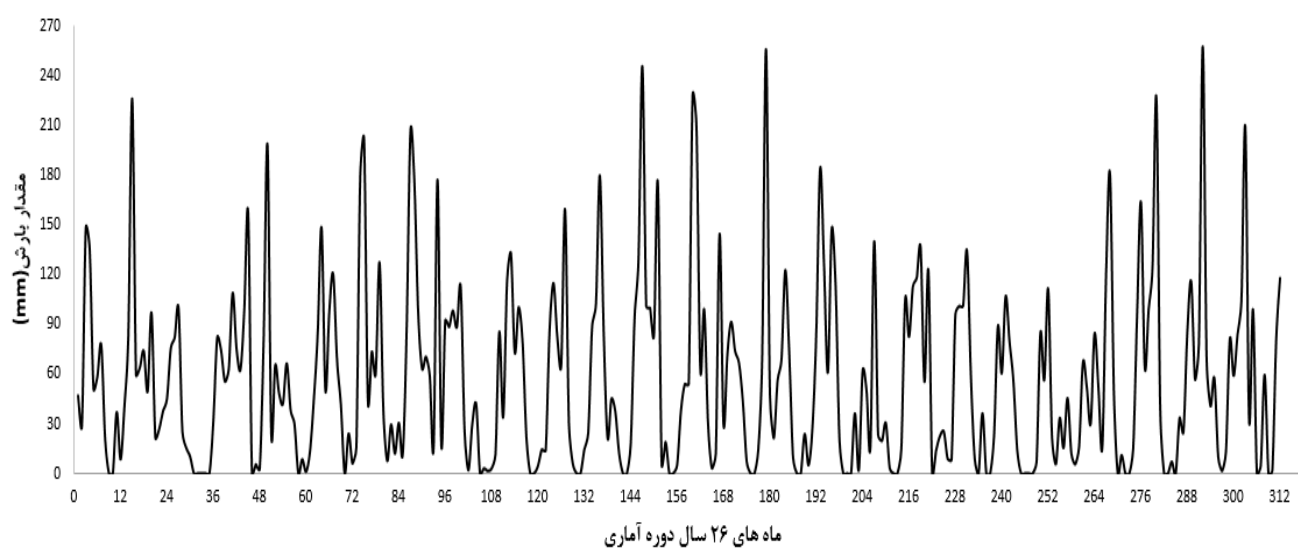
^۸ Principal Component Analysis

همبستگی دارند. در این پژوهش $PCA=15$ بهترین جواب‌ها را در اختیار قرار داد. پس از نوشتن کدها و درصد دهی به هر قسمت، داده‌های روزانه ورودی (داده‌های هر یک از دو مدل GCM) و داده‌های خروجی (داده‌های هیدرولوژیکی) به مدل وارد می‌شوند. نتایج بدست آمده از این مدل، همان داده‌های شبیه‌سازی شده و در واقع داده‌های ریز مقیاس شده می‌باشند. پس از دریافت این داده‌ها، بایستی آنها را با داده‌های مشاهداتی برازش داد و نتیجه کار مدل را مشخص کرد. برای این کار در ابتدا داده‌های روزانه شبیه‌سازی شده به داده‌های ماهانه تبدیل می‌شوند. این کار برای داده‌های ایستگاه مشاهداتی نیز انجام می‌شود. سپس متوسط ماهانه هر دو مجموعه با یکدیگر مقایسه می‌شوند. نتایج این مقایسه‌ها در قسمت بحث و نتایج درج گردیده است.

جدول (۱-۳) برخی از اطلاعات مربوط به داده‌های مشاهداتی

پارامتر مورد نظر	مقدار (mm)
کمترین بارش روزانه	۰
بیشترین بارش روزانه	۹۰
میانگین بارش روزانه	۱/۹
کمترین بارش ماهانه	۰
بیشترین بارش ماهانه	۲۵۸ (آوریل ۲۰۰۴)
میانگین بارش ماهانه	۵۷/۰۲۷
کمترین بارش سالانه	۳۳۹/۴۶۸۶ (سال ۱۹۸۲)
بیشترین بارش سالانه	۱۰۷۳/۲۰۷ (سال ۱۹۸۷)

۶۸۴/۳۲۸	میانگین بارش سالانه
۱۷۷۸۴	مجموع کل بارش ۲۶ سال



شکل (۳-۲) سری زمانی تغییرات بارش ماهانه ایستگاهی

جدول (۲-۳) لیست پیش‌بینی‌کننده‌های اقلیمی برای دو مدل HadCM۳ و canESM۲

ردیف	متغیر پیش‌بینی‌کننده	تعریف	توضیحات
۱	pΔ_f	Geostrophic airflow velocity at ۵۰۰ hPa	سرعت جریان هوای ژئواستروفیک در ۵۰۰ هکتوپاسکال
۲	pΔ_u	Horizontal wind at ۵۰۰ hPa	باد افقی در ۵۰۰ هکتوپاسکال
۳	pΔ_v	Zonal wind at ۵۰۰ hPa	باد ناحیه‌ای در ۵۰۰ هکتوپاسکال
۴	pΔ_z	Vorticity at ۵۰۰ hPa	تاوایی در ۵۰۰ هکتوپاسکال
۵	pΔth	Wind direction at ۵۰۰ hPa	جهت باد در ۵۰۰ هکتوپاسکال
۶	pΔzh	Divergence at ۵۰۰ hPa	ارتفاع دیورژانس در ۵۰۰ هکتوپاسکال
۷	pΔ۰۰	Geopotential height at ۵۰۰ hPa	ارتفاع ژئوپتانسیل در ۵۰۰ هکتوپاسکال
۸	rΔ۰۰	Relative humidity at ۵۰۰ hPa	رطوبت نسبی در ۵۰۰ هکتوپاسکال
۹	p_f	Surface geostrophic airflow	جریان هوای ژئواستروفیک سطحی
۱۰	p_u	Surface horizontal wind	باد افقی سطحی
۱۱	p_v	Surface zonal wind	باد ناحیه‌ای سطحی
۱۲	p_z	Surface vorticity	تاوایی سطحی
۱۳	p_th	Surface wind direction	جهت باد سطحی
۱۴	p_zh	Surface divergence	دیورژانس سطحی
۱۵	p^۸_f	Geostrophic airflow velocity at ۸۵۰ hPa	سرعت جریان هوای ژئواستروفیک در ۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۶	p^۸_u	Horizontal wind at ۸۵۰ hPa	باد افقی در ۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۷	p^۸_v	Zonal wind at ۸۵۰ hPa	باد ناحیه‌ای در ۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۸	p^۸_z	Vorticity at ۸۵۰ hPa	تاوایی در ۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۹	p^۸th	Wind direction at ۸۵۰ hPa	جهت باد در ۸۵۰ هکتوپاسکال
۲۰	p^۸zh	Divergence at ۸۵۰ hPa	دیورژانس در ۸۵۰ هکتوپاسکال
۲۱	p^۸Δ۰۰	Geopotential height at ۸۵۰ hPa	ارتفاع ژئوپتانسیل در ۸۵۰ هکتوپاسکال
۲۲	r^۸Δ۰۰	Relative humidity at ۸۵۰ hPa	رطوبت نسبی در ۸۵۰ هکتوپاسکال
۲۳	mslp	Mean sea level pressure	فشار متوسط از سطح دریا
۲۴	rhum	Near surface relative humidity	رطوبت نسبی نزدیک سطح
۲۵	shum	Near surface specific humidity	رطوبت خاص نزدیک سطح
۲۶	temp	۲-m air temperature	دمای هوای ۲ متری

۳-۴- تغییر اقلیم

امروزه تغییر اقلیم یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین چالش‌های پیش روی بشر است که اثرات نامطلوبی بر ابعاد مختلف حیات بشری دارد. این پدیده با تحت تاثیر قرار دادن سیستم های اقتصادی، اجتماعی و زیستی سهم بسزایی در توسعه یا عقب ماندگی جوامع خواهد داشت. بنابراین شناسایی عوامل کاهنده‌ی این اثرات و بررسی راهکارهای مقابله با خطرات ناشی از آن حائز اهمیت می‌باشد. در این راستا پایش اقلیم دراز مدت هر منطقه راهکاری مناسب جهت کنترل و رویارویی با عوارض ناشی از تغییرات پیش رو است. بهترین و مناسب ترین راه بررسی تغییرات اقلیم در آینده پیش‌بینی اقلیم آتی است که این مهم جز با استفاده از مدل‌های اقلیمی چرخه عمومی جو امکان پذیر نمی‌باشد [۴۹]. مطالعات گسترده در نقاط مختلف جهان حاکی از آن است که افزایش غلظت دی اکسید کربن در جو، منجر به افزایش دمای کره زمین شده و این مسئله دگرگونی های قابل توجهی را در میزان بارش و تبخیر، زمان و پراکنش مکانی آن در پی خواهد داشت. همچنین مطالعات صورت گرفته پیرامون کمیت منابع آب در دسترس نشان می‌دهد. با وقوع تغییرات اقلیمی مناطق گرم و خشک از نظر کاهش منابع آبی آسیب پذیرتر از سایر نقاط خواهد بود و فاصله زمانی وقوع خشکسالی ها و سیلاب ها نیز کاهش قابل توجهی خواهد داشت. در این راستا لازم است صحت و اعتبار این تحقیقات در هر منطقه متناسب با شرایط اقلیمی آن مورد سنجش قرار گیرد. با اجرای مدل های چرخه عمومی جو و استفاده از رویکردهای تولید داده های اقلیمی در مناطق مختلف می‌توان ادعا کرد که دمای بالاتر موجب چرخه‌ی آبی قویتر است [۵۰]. به این معنی که احتمال افزایش وقوع دوره های خشکی یا سیلاب های شدید در بعضی مناطق و کاهش آنها در مناطق دیگر وجود دارد. مدل های چرخه عمومی جو اغلب افزایش شدت بارش را به عنوان پیامد تغییر اقلیم نشان می‌دهند. نتیجه این نوع مدل ها، تشدید بارش های سنگین به گونه ای است که سیلاب ها و رواناب ها افزایش یافته و ظرفیت نفوذ آب کاهش می یابد [۵۱]. مدل های اقلیمی مدل های عددی کامپیوتری هستند که به شبیه سازی و پیش بینی اقلیم آینده کره زمین می‌پردازند. اصلی ترین ورودی این مدل ها میزان انتشار گازهای

گلخانه ای در جو است. تعیین میزان دقیق این گازها بطور قطع امکانپذیر نیست. بنابراین راه جایگزین، استفاده از سناریوهای اقلیمی است. برای این مدل ها سناریوهای مختلفی طراحی شده که میزان انتشار گازهای گلخانه ای در جو را در شرایط متفاوت در برمی گیرند [۵۲].

۳-۵- انواع مدل های اقلیمی

مدل های اقلیمی را می توان بطور کلی بر اساس ساختار و نوع عملکرد به چهار دسته مدل های یک بعدی تابشی- همرفتی (RCM)^۹، مدل های دو بعدی دینامیکی- استاتیکی (SDM)^{۱۰}، مدل های سه بعدی گردش عمومی (GCM) و مدل هایی که بر اساس توازن انرژی عمل می کنند (EBM)^{۱۱} تقسیم بندی نمود. انتخاب نوع مدل بستگی به هدف مورد انتظار از اجرای مدل دارد. در مواردی که هدف شبیه سازی تمامی فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی سیستم اقلیمی می باشد از مدل های ترکیبی GCM استفاده می شود. در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریو های اقلیمی مدل های جفت شده اقیانوس- اتمسفر گردش عمومی جو (AOGCM) می باشد.

۳-۶- مدل های گردش عمومی جو (GCM)

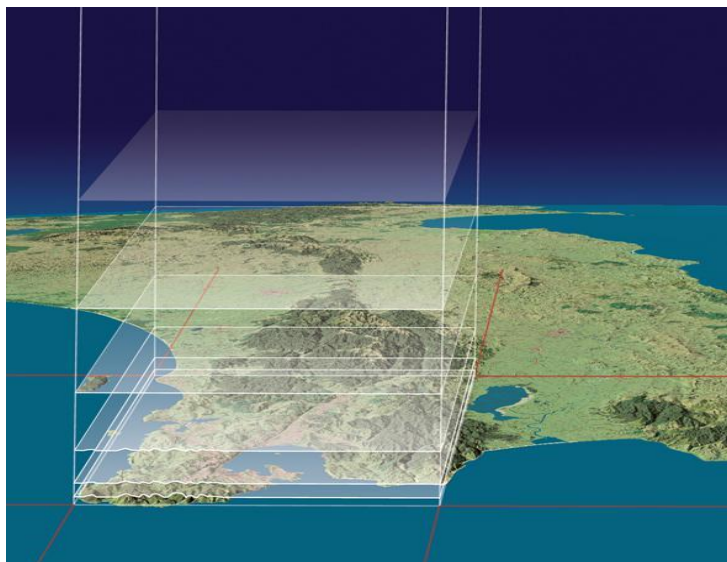
مدل های گردش عمومی در دهه شصت میلادی برای اولین بار معرفی شدند [۵۳]. برای درک ماهیت پیچیده جو و پیش بینی تغییرات آن در آینده، بایستی اتمسفر زمین را مدل کرد. یعنی با استفاده از قوانین حاکم بر جو، بین پارامترهای مختلف جوی روابط ریاضی پیدا کرد. به علت پیچیدگی معادلات از نظر ریاضی و تعداد آنها و نیز پیچیده بودن شرایط مرزی، حل این معادلات به روش تحلیلی امکان پذیر نیست [۵۴]. بنابراین دانشمندان به روش های عددی برای حل این معادلات متوسل شده اند. ریچاردسون در سال ۱۹۲۲ اولین مدل عددی را معرفی کرد. تا چندین سال این معادلات به صورت دستی و با دقت پایین حل می شد تا اینکه در دهه ۱۹۶۰ با ظهور کامپیوترها، تحول

^۹ Regional Climate Model

^{۱۰} Species Distribution Modeling

^{۱۱} Energy Balance Model

عظیمی در مدل کردن اقلیم بوجود آمد [۵۵]. ساختار این مدل‌ها همانند ساختار مدل‌های پیش‌بینی می‌باشد. اختلاف عمده این مدل‌ها در این است که پیش‌بینی‌های آب و هوایی در دوره‌های زمانی کوتاه (در حد چند روز) با تعریف شرایط اولیه دقیق اجرا می‌شوند و دقتشان در حد منطقه‌ای با ابعاد کمتر از ۱۵۰ کیلومتر مربع است. اما شبکه‌ای که برای مدل‌های چرخه عمومی تعریف می‌شود، چند طول و عرض جغرافیایی را در بر می‌گیرد و ممکن است برای شبیه‌سازی بلندمدت آب و هوایی که معمولاً مترادف با تغییرات اقلیمی است استفاده شوند [۵۶]. مدل‌های گردش عمومی، بهترین اطلاعات درباره تغییرات جو با توجه به افزایش گازهای گلخانه‌ای را فراهم می‌نمایند. این مدل‌ها وابسته به زمان و دارای شبیه‌سازی‌های عددی سه‌بعدی شامل حرکات جوی، تبادلات گرمایی و اندرکنش‌های یخ، اقیانوس و خشکی هستند [۵۷]. مدل‌های گردش عمومی دارای شبکه‌بندی سه‌بعدی در کره زمین می‌باشند که به‌طور معمول دارای دقت تفکیک مکانی بین ۲۵۰ تا ۶۰۰ کیلومتر مربع در سطح افقی و دارای ۱۰ تا ۲۰ لایه شبیه‌سازی در جو و گاهی تا ۳۰ لایه شبیه‌سازی در اقیانوس‌ها می‌باشند. در شکل ۳-۲، شماتیکی از شبکه‌بندی زمین در مدل‌های گردش عمومی نمایش داده شده است.



شکل (۳-۳) شبکه‌بندی اتمسفر و سطح زمین در مدل‌های گردش عمومی

در مدل‌های اولیه گردش عمومی، مشخصه‌های فیزیکی جو در سطح زمین بعنوان شرایط مرزی در نظر گرفته می‌شد اما اخیراً در این مدل‌ها برای اقیانوس‌ها از شرایط مرزی اقیانوس - جو و برای

سطح زمین از درجه حرارت سطح و رطوبت خاک نیز استفاده می‌شود. محدودیت اصلی این مدل‌ها بزرگ مقیاس بودن آنها است. بدلیل بزرگ مقیاس بودن خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو هیچگاه نمی‌توان بطور مستقیم از آن در شبیه‌سازی و پیش‌بینی‌های بلند مدت اقلیمی بدون ریز مقیاس‌نمایی استفاده نمود. مدل‌های GCM گوناگونی بر پایه تفاوت‌هایی در ابعاد شبکه بندی در اقیانوس و خشکی، تعداد لایه‌ها، غلظت CO₂ و کاربردهای مختلف در مراکز مختلف اجرا شده‌اند.

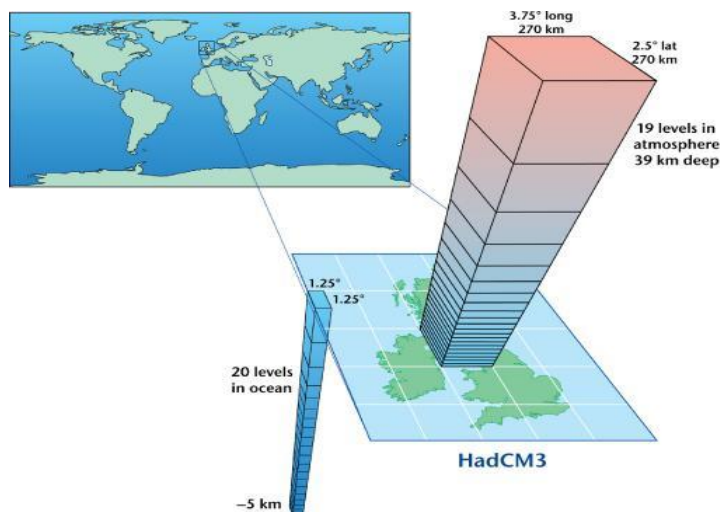
۳-۷- معرفی مدل گردش عمومی HadCM^۳

HadCM^۳ از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی (AOGCM)^{۱۲} است که در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است. HadCM^۳ از دو مولفه جوی و اقیانوسی به نام‌های HadAM^۳^{۱۳} (مدل جوی) و HadOM^۳^{۱۴} (مدل اقیانوسی) که دارای یک مدل یخ-دریا نیز می‌باشد، تشکیل شده است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم از داده‌های مدل گردش عمومی HadCM^۳ برای تهیه گزارش سوم استفاده کرده است (در گزارش دوم از برونداد مدل HadCM^۲ استفاده شد). قدرت تفکیک بالای مولفه اقیانوسی، مهمترین مزیت این مدل می‌باشد. از جمله دیگر مزیت این مدل هماهنگی خوب بین مولفه‌های جوی و اقیانوسی آن می‌باشد. در شکل ۳-۳ ساختار کلی مدل مشاهده می‌شود. نرم افزار PRECIS از داده‌های مدل HadCM^۳ برای ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی استفاده می‌کند.

^{۱۲} Atmosphere Ocean General Circulation Model

^{۱۳} Hadly center Atmospheric Model

^{۱۴} Hadly center Ocean Model



شکل (۳-۴) ساختار افقی و قائم مدل جفت شده جوی-اقیانوسی HADCM3

۳-۸-۱- مدل‌های GCM سری CMIP5^{۱۰}

در سال ۲۰۰۸ برنامه مطالعات اقلیمی سازمان جهانی هواشناسی، کارگروه هماهنگ کننده مدل‌های جفت‌شده اقلیمی را با عضویت مراکز بین‌المللی فعال در زمینه مدل‌سازی اقلیمی، با هدف ایجاد مجموعه‌ای از مدل‌های اقلیمی: الف - برای شناخت مکانیسم‌های موثر در شبیه‌سازی ضعیف بازخوردهای بین چرخه کربن و ابرناکی، ب - آزمایش پیش‌بینی‌پذیری اقلیمی و شناسایی توانایی مدل‌ها در پیش‌بینی اقلیم در مقیاس زمانی دهه، و ج - از همه مهم‌تر اینکه چرا مدل‌های با ساختار فیزیکی، دینامیکی، عددی و شرایط اولیه یکسان، دامنه مختلفی از پیش‌بینی‌ها را ارائه می‌دهند، ایجاد کرد. در سال ۲۰۱۱ اولین خروجی مدل‌های سری CMIP5 در دسترس کارگروه مذکور، برای انجام مطالعات برای نیل به سه هدف فوق، قرار گرفت. در سال ۲۰۱۳ مقالاتی با استناد به داده‌های یاد شده منتشر گردید و نهایتاً گزارش پنجم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، بر اساس داده‌های مجموعه مدل‌های سری CMIP5 در سال ۲۰۱۴ منتشر شد [۴۹].

۳-۸-۱- معرفی مدل گردش عمومی CanESM2

CanESM2 ورژن دوم مدل سیستم زمینی از نسل چهارم مدل‌های آب و هوایی می‌باشد. این مدل یکی از مدل‌های گردش عمومی هواستکه توسط مرکز مدل‌سازی و تحلیل آب و هوای کانادا

^{۱۰} Coupled Model Intercomparison Project Phase ۵

(CCCma)^{۱۶} زیر نظر سازمان محیط‌زیست این کشور توسعه یافته است. در این مدل، کل سطح زمین به صورت ۶۴×۱۲۸ سلول، شبکه‌بندی شده است که هر سلول حدود ۲/۸۱۲۵ درجه را پوشش می‌دهد [۵۸].

۳-۹- جمع‌بندی

در این فصل ابتدا به معرفی حوضه مورد مطالعه و داده‌های استفاده شده در این پژوهش توضیحاتی ارائه شد. سپس وضعیت تغییر اقلیم و چالش‌های آن را مورد بررسی قرار گرفت. بعد از آن انواع مدل‌های اقلیمی را نام برده شد. سپس مدل گردش عمومی جو (GCM) و دو مدل بکار گرفته شده در این پژوهش یعنی مدل HADCM^۳ و مدل CanESM^۲ معرفی شدند.

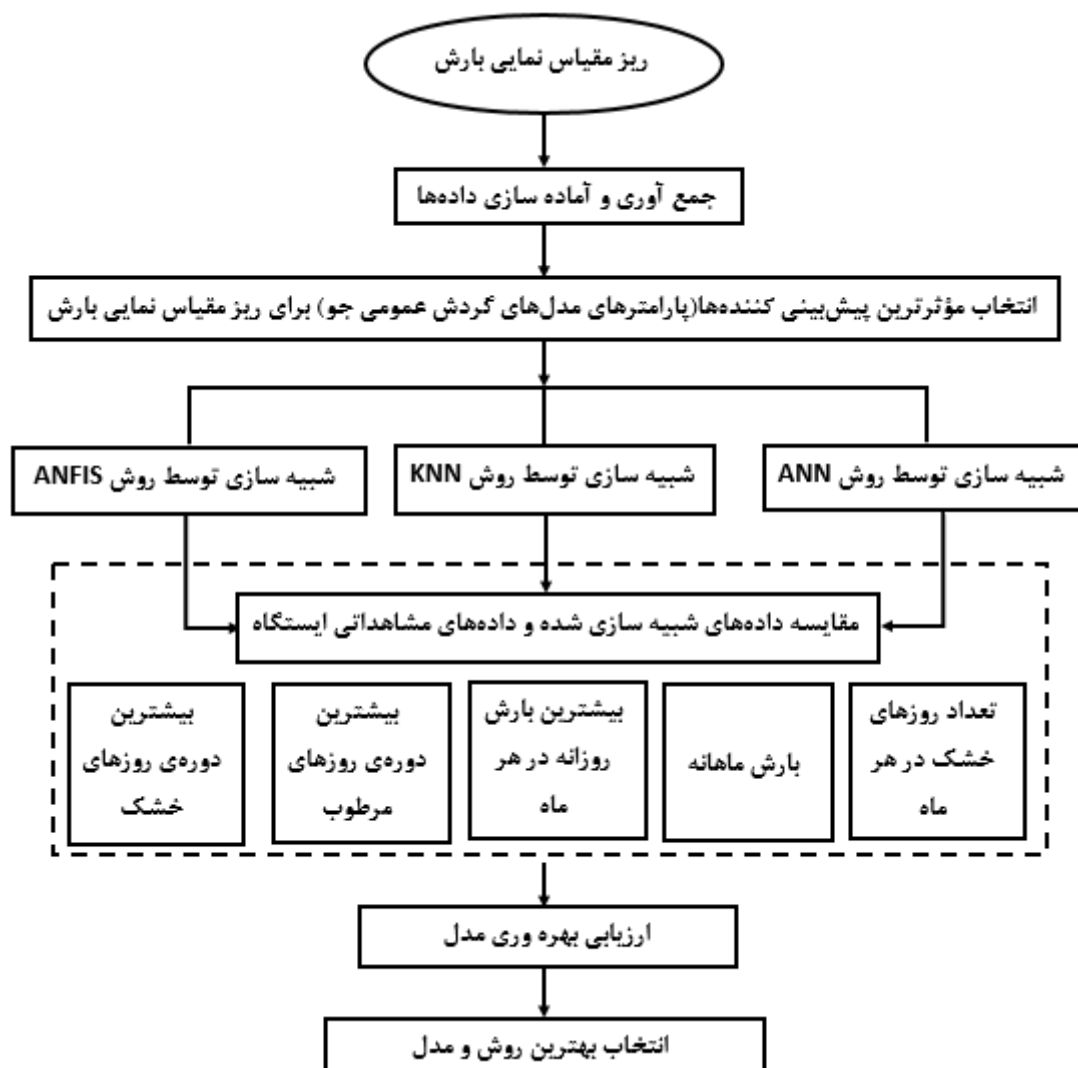
^{۱۶} The Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis

فصل چهارم

روش تحقیق

۴-۱- مقدمه

بطور خلاصه کارهای صورت گرفته در این پژوهش و مراحل ریز مقیاس نمایی و شبیه سازی را در این تحقیق به صورت فلوچارت در شکل ۴-۱ نشان داده شده است:

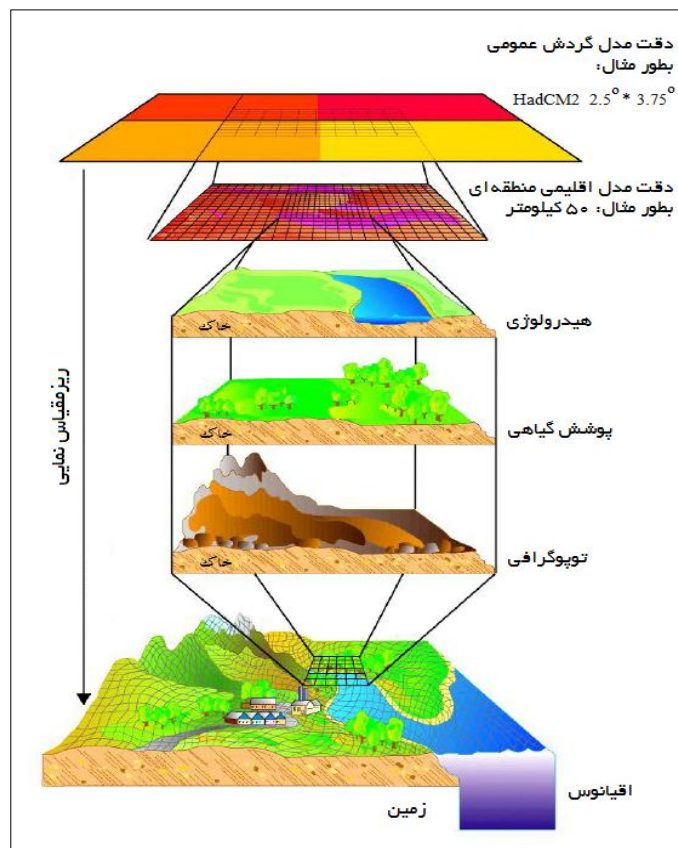


شکل (۴-۱) الگوریتم پیشنهادی برای ریزمقیاس نمایی بارش

۴-۲- ریزمقیاس نمایی

یکی از محدودیت‌های اصلی در استفاده از داده‌های اقلیمی مدل‌های گردش عمومی، این است که قدرت تفکیک مکانی آن‌ها با دقت مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژیکی مطابقت ندارد. شبکه‌بندی این مدل‌ها همچنین برای کاربرد خصوصا در مناطق کوهستانی و شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی نظیر بارش و دما نامناسب می‌باشد [۵۹]. برای حل این مسئله، اقدام به ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های این مدل‌ها می‌شود. ریزمقیاس‌نمایی به‌طور کلی، به‌عنوان یک ایجادکننده ارتباط میان چرخه‌های بزرگ-مقیاس (پیش‌بینی‌کننده‌ها) و متغیرهای اقلیمی در مقیاس محلی (پیش‌بینی‌شونده‌ها) تعریف شده

است. در این راستا ریزمقیاس‌نمایی به عنوان روشی برای درون‌یابی متغیرهای جوی بزرگ‌مقیاس و استخراج داده‌های ریزمقیاس هواشناسی ابداع شد. در شکل ۴-۲ شماتیکی از ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی نشان داده شده است.



شکل (۴-۲) تصویر شماتیک ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های گردش عمومی

با استفاده از روش ریزمقیاس‌نمایی می‌توان خروجی این مدل‌ها را به متغیرهای سطحی در مقیاس حوضه مورد مطالعه تبدیل نمود. ریزمقیاس‌نمایی در حقیقت به فرایند حرکت از پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ‌مقیاس به پیش‌بینی‌شونده‌ها در مقیاس محلی اطلاق می‌شود.

۴-۲-۱- روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری

بسیاری از تکنیک‌های ریزمقیاس‌نمایی، برای تبدیل خروجی مدل‌های بزرگ مقیاس GCM به دقت مکانی و زمانی ریزتر توسعه پیدا کرده‌اند. ساده‌ترین روش، روش دلتا (CF)^{۱۷} می‌باشد. در این

^{۱۷} Change Factor

روش، تفاوت بین دوره شبیه‌سازی شده کنترل و آینده، به داده‌های مشاهداتی اعمال می‌شود. بنابراین، این روش می‌تواند به سرعت به چندین مدل بزرگ‌مقیاس برای تولید سناریوهای اقلیمی اعمال شود، اما دارای نواقصی نیز می‌باشد. اول اینکه این روش، یک انحراف همیشگی و ثابت را با گذر زمان در نظر می‌گیرد؛ و بعد اینکه CFها فقط می‌توانند به حداکثر، حداقل و متوسط متغیرهای اقلیمی اعمال شوند و نحوه تغییرپذیری نادیده گرفته می‌شود. همچنین فرض بر این است که الگوی محلی اقلیم ثابت باقی خواهد ماند. روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری دقیق‌تر، در سه گروه طبقه‌بندی می‌شوند:

- مدل‌های رگرسیونی

- مدل‌های دسته‌بندی داده‌های هواشناسی

- مدل‌های تصادفی

هرگروه، محدوده‌ای از روش‌ها را پوشش می‌دهد که همه آنها بر پایه یک اصل کلی شکل گرفته‌اند: مدل‌های محلی تابعی از متغیرهای بزرگ‌مقیاس می‌باشند. این رابطه ممکن است به صورت تابعی تصادفی و یا قطعی بین متغیرهای اتمسفری بزرگ‌مقیاس (پیش‌بینی‌کننده‌ها) و متغیرهای اقلیمی منطقه‌ای یا محلی (پیش‌بینی‌شونده‌ها) بیان شود. اساساً در این روش‌ها می‌توان تابع را به صورت زیر تعریف کرد:

$$R = F(X) \quad (۱-۴)$$

به طوری که R، متغیر اقلیمی محلی که ریزمقیاس شده است را نشان می‌دهد. X نیز مجموعه متغیرهای اقلیمی بزرگ‌مقیاس می‌باشد و F، تابعی است که دو متغیر را به هم مربوط می‌کند. بنابراین، در این روش پس از تعیین تابع مطلوب، متغیرهای اقلیمی بزرگ‌مقیاس که توسط مدل‌های گردش عمومی در دوره‌های آتی شبیه‌سازی شده‌اند، به عنوان ورودی در این توابع اعمال شده و متغیر سطحی موردنظر نتیجه خواهد شد. اگرچه این روش نسبت به روش‌های قبلی نتایج بهتری را ارائه

می‌کند، ولی نیاز به داده‌های مشاهداتی زیاد و قضاوت متخصصین به‌منظور برقراری رابطه مناسب را دارد. مزیت اصلی این روش، کاربرد آسان آن نسبت به روش‌های دیگر و تناسب توابع تبدیل استخراجی با منطقه کاربرد آن می‌باشد. در ادامه، مدل‌های رگرسیونی و تصادفی، به‌اختصار معرفی می‌گردند.

۴-۲-۲- مدل‌های رگرسیونی

این روش جزو اولین روش‌های ریزمقیاس‌نمایی است. در این روش، هدف بدست آوردن رابطه‌ای مناسب بین پارامترهای بزرگ‌مقیاس و متغیرهای اقلیمی ریزمقیاس (مقیاس حوضه یا ...) است. ساده‌ترین راه، استفاده از تکنیک درونیابی می‌باشد. اولین استفاده از این روش در زمینه تغییرات اقلیمی توسط کیم و همکاران در سال ۱۹۴۸ صورت گرفت. کیم در این تحقیق، بین میانگین ماهانه درجه حرارت و بارندگی و خروجی‌های GCM (پیش‌بینی‌کننده) با استفاده از رگرسیون خطی رابطه‌ای پیدا کرد. برگر در سال ۱۹۹۶، روش پیچیده‌تری به نام روش ریزمقیاس‌نمایی مبسوط ارائه کرد. در این روش، بین کوواریانس متغیرهای محلی با کوواریانس متغیرهای GCM رابطه‌ای خطی برقرار شده است. روش شبکه‌های عصبی مصنوعی را نیز می‌توان جزو روش‌های رگرسیونی به‌حساب آورد، زیرا وزن‌های داخلی شبکه‌های عصبی، مشابه ضرایب رگرسیون غیرخطی هستند. روش شبکه‌های عصبی مصنوعی، اولین بار توسط هوستون و کرن در سال ۱۹۹۲ برای محاسبه بارندگی استفاده شد. وان استورچ در سال ۱۹۹۳ در اسپانیا، رابطه‌ای رگرسیونی بین بارش در زمستان و الگوهای فشار در سطح دریا پیدا کرد. به‌طور مشابه، ویگلی در سال ۱۹۹۰ بین درجه حرارت و بارندگی با میانگین بارندگی و درجه حرارت در یک منطقه، الگوی فشار در تراز دریا و ارتفاع ژئو پتانسیل ۷۰۰ میلی بار، رابطه‌ای رگرسیونی پیدا کرد. با کمی تفاوت، پیدا کردن رابطه‌ای بین یک پارامتر در مقیاس‌های مکانی مختلف نیز جزو روش ریزمقیاس‌نمایی رگرسیونی است. برای مثال کاربونه و برامانته در سال ۱۹۹۵ بین میانگین مکانی ماهانه درجه حرارت (حداقل و حداکثر) در یک منطقه و همین پارامتر در چندین ایستگاه در جنوب شرقی آمریکا، رابطه‌ای رگرسیونی پیدا کردند. در سال ۲۰۰۲، ویلی و همکاران

اولین مدل رایانه‌ای را برای کاهش مقیاس با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره به نام SDSM ارائه کردند. آنها کاربرد این مدل را در ساخت سناریوهای بارش و دمای روزانه برای شهر تورنتو در کشور کانادا و در بازه زمانی آینده ۲۰۴۰-۲۰۶۹ نشان دادند [۶۰].

۴-۲-۳- مدل‌های تصادفی

رویکردهای ریزمقیاس‌نمایی تصادفی یا استوکستیک، به‌طور معمول شامل تعیین و بهینه‌سازی پارامترهای مدل‌های تولید داده‌های اقلیمی نظیر WGEN، LARS-WG و یا EARWIG می‌باشد. برای مثال مدل WGEN از زنجیره مارکوف درجه اول دو فازی استفاده می‌کند. سناریوهای تغییر اقلیم استوکستیک با استفاده از پارامترهای تعیین شده در مرحله آموزش و استفاده از خروجی‌های مدل‌های GCM تولید می‌شوند. مزیت اصلی این روش در توانایی خوب آن در دوباره‌سازی بسیاری از متغیرهای اقلیمی مشاهداتی می‌باشد. یکی دیگر از مدل‌های مولد داده‌های تصادفی هواشناسی LARS-WG است. LARS-WG یک مولد آب و هوایی تصادفی است، که می‌توان برای شبیه‌سازی داده‌های آب و هوا در یک محل مشخص تحت شرایط اقلیمی حال و آینده بکار رود. این داده‌ها از نوع سری‌های زمانی روزانه برای متغیرهای اقلیمی از قبیل بارش (mm)، دمای حداقل و حداکثر ($^{\circ}\text{C}$) و انرژی یا تابش خورشیدی می‌باشد.

۴-۲-۴- روش‌های ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی

یکی دیگر از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی، استفاده از روش‌های عددی با وضوح بالاتر در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که به‌طرق مختلف انجام می‌گیرد. در یک روش می‌توان مدل گردش عمومی را با وضوح بالاتر اما در زمان محدودتر اجرا کرد، یا در روش دیگر، مدل گردش عمومی با دقت مختلف در سطح کره زمین اجرا می‌گردد. به گونه‌ای که در سطح منطقه مورد مطالعه، دقت بالاتری را خواهد داشت. همچنین در برخی از موارد، از مدل‌های منطقه‌ای با دقت بالا استفاده می‌شود، به گونه‌ای که خروجی‌های مدل چرخه عمومی به‌عنوان شرایط مرزی این مدل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در

روشی دیگر، از خروجی‌های یک مدل منطقه‌ای به عنوان شرایط مرزی مدل منطقه‌ای دیگر با دقت بالاتر استفاده می‌شود. این مدل‌ها از نظر تئوری، همان روش‌های مدل‌های اقلیمی را دنبال می‌کنند و تنها تفاوت آنها این است که از شبکه‌بندی کوچکتری استفاده می‌کنند.

۴-۳- شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network (ANN)

شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یک روش نوین، در مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی غیرخطی و غیرماندگار فرآیندهایی که برای شناخت و توصیف دقیق آنها راه حل و رابطه صریحی وجود ندارد، عملکرد خوبی از خود نشان داده است. شبکه عصبی با برخورداری از قابلیت تشخیص الگو، رابطه خوبی بین داده‌های ورودی و خروجی برقرار می‌کند. این روش در قیاس با دیگر روش‌ها، حساسیت کمتری نسبت به وجود خطا در اطلاعات ورودی دارد. مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با آموزشی که دیده‌اند، می‌توانند بدون ایجاد رابطه صریح ریاضی، رفتار سیستم را پیش‌بینی کنند. اکنون این شبکه‌ها با ساختارهای متنوع و وسیع، در بسیاری از علوم، از جمله مهندسی آب، گسترش یافته‌اند. نظریه شبکه‌های عصبی مصنوعی برای بار نخست در سال ۱۹۴۳م. توسط مک‌کلاچ و پیتز ارائه شد که در حقیقت از ساختار عصبی مغز انسان الهام گرفته بودند. شبکه‌های عصبی از یک سری لایه‌هایی شامل اجزای ساده‌ای به نام نرون تشکیل شده است؛ که بصورت موازی باهم عمل می‌کنند. اکثر شبکه‌های عصبی دارای سه لایه و یا بیشتر می‌باشند. لایه ورودی که برای ورود داده‌ها به شبکه استفاده می‌شود، لایه خروجی، برای تولید پاسخ‌های مناسب به ورودی‌های داده شده و یک یا تعداد بیشتر لایه حد واسطه که از گره‌های پردازشگر تشکیل شده‌اند و محل پردازش داده‌ها بشمار می‌روند. تعداد نرون‌های موجود در لایه‌های ورودی و خروجی با توجه به ماهیت مسأله مورد بررسی مشخص می‌شود. حال آن که شمار لایه‌های مخفی و تعداد نرون در هر لایه مخفی معمولاً بوسیله روش آزمون و خطا در جهت کاهش مقدار خطا توسط طراح مشخص می‌شود [۲۲]. با این حال توصیه شده است که تعداد لایه‌های پنهان تا حد امکان باید کم باشد. بطوری که ابتدا شبکه با یک لایه پنهان آموزش داده شده و در صورت عملکرد نامناسب، تعداد لایه‌ها افزوده می‌شود. این موضوع در مورد تعداد نرون‌های لایه‌های مخفی نیز صدق

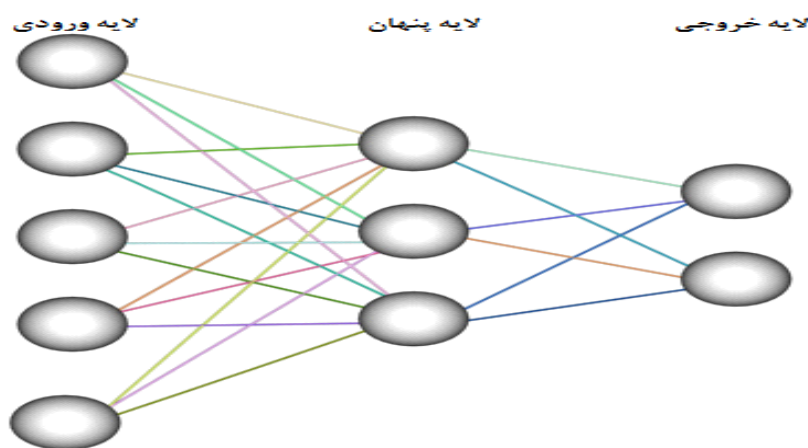
می‌کند. به گونه ای که در ابتدا تعداد نرون های کم مورد بررسی قرار گرفته و در صورت همگرا نشدن به جواب مطلوب، آنها را افزایش می‌دهند. گره های لایه های مجاور در شبکه بطور کامل با هم در ارتباط هستند [۲۵]. ورودی های هر گره ممکن است از متغیرهای ورودی یا از خروجی گره های دیگر حاصل شود. هر گره دارای یک تابع تبدیل گر (محرک) است که سه تابع معروف فوق عبارت است از: تابع تانژانت سیگموئید، خطی و لگاریتم سیگموئید (دموٹ و بیلہ) ورودی ها به شکل یک بردار $(X_1, X_2, \dots, X_n)$ هستند و هر ورودی توسط یک وزن به گره پردازشگر مربوط می‌شود و در نهایت تسلسلی از وزن ها به شکل بردار وزن $(W_1, W_2, \dots, W_n)$ به گره مورد نظر مرتبط می‌گردد. خروجی گره که Y نامیده می‌شود طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Y = f(X.W - b)$$

(۲-۴)

که در رابطه فوق X داده های ورودی، W بردار وزن و b مقدار آستانه یا بایاس می‌باشد.

به طور کلی شبکه های عصبی به دو نوع پیشرو و پسرو تقسیم می شوند. تفاوت آنها در این است که در شبکه های پسرو، حداقل یک سیگنال برگشتی از یک نرون به همان نرون یا نرون های همان لایه و یا



لایه قبل وجود دارد. در بیشتر موارد، شبکه های عصبی پسرو می توانند بسیار مفید واقع شوند، ولی با این حال در ۸۰ درصد کاربردها از شبکه های عصبی پیشرو استفاده می شود. با گذشت ۶۰ سال از مطرح شدن ایده اولیه شبکه های عصبی، نخستین کاربرد عملی آن با معرفی شبکه های پرسپترون چند لایه انجام شد. در شبکه های فوق، هر نرون در هر لایه به تمام نرون های لایه قبل متصل است. این شبکه ها از نوع پیشرو بوده که یکی از پرکاربردترین مدل های شبکه عصبی مصنوعی در مدل سازی و پیش بینی عناصر اقلیمی است [۲۰]. جهت آموزش شبکه های عصبی چهار الگوریتم آموزشی مرسوم که بر اساس ساختار پرسپترون چند لایه می باشد، وجود دارد. معروف ترین این روش ها عبارتند از: انتشار خطا به عقب، گرادیان مزدوج و لونبرگ-مارکوات. الگوریتم لونبرگ-مارکوات از سال ۱۹۹۳م تا امروز به عنوان سریع ترین روش آموزش شبکه های عصبی شناخته شده است. در شکل ۴-۳، نمای شماتیک شبکه عصبی مصنوعی چندلایه نشان داده شده است.

شکل (۴-۳) نمای شماتیک شبکه عصبی مصنوعی چندلایه

۴-۳-۱- نرمال کردن داده ها

وارد کردن داده ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می شود. لذا با استفاده از رابطه زیر داده های ورودی و خروجی در ابتدا نرمال شده و سپس وارد شبکه عصبی می شود. کلیه

$$X_n = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (3-4)$$

وارد کردن داده ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می شود. لذا با استفاده از رابطه زیر کلیه داده های ورودی و خروجی در ابتدا نرمال شده و سپس وارد شبکه عصبی می شود.

در رابطه فوق X_n - داده نرمال شده و اندیس های X_{max}, X_{min}, i به ترتیب مربوط به ردیف، حد اقل و حداکثر آن داده در مجموعه خود است.

۴-۴- روش K- نزدیک ترین همسایگی (KNN)

ساختار مدل دارای سه بخش می باشد. در بخش اول مدل براساس الگوریتم بهبود یافته KNN به تولید داده های هواشناسی روزانه برای N سال آماری (۲۶ سال) می پردازد. فرضیات الگوریتم بدین صورت می باشد که X_t بیان کننده بردار متغیرهای هواشناسی روزانه برای روز t در یک ایستگاه بوده که در آن $t=1,2,...,T$ و T برابر کل تعداد روزهای موجود در سری زمانی داده های مشاهداتی است. این بردار به شکل زیر تعریف می شود:

$$X_t = (x_{1,t}, x_{2,t}, \dots, x_{p,t})$$

که در آن $X_{i,t}$ ، مقدار پارامتر هواشناسی i بوده و $i=1,2,...,p$ می باشد. بنابراین می تواند شامل p متغیر در هر روز باشد که در این مطالعه متغیر هواشناسی تنها بارش روزانه است و این بردار تبدیل به یک مقدار بارش در روز t می شود. این الگوریتم جهت شبیه سازی متغیرهای هواشناسی روزانه در روز $t+1$ ، ۸ مرحله را طی می کند که با تکرار آن مقدار متغیرهای هواشناسی برای روزهای یک سال و سپس برای سال های بیشماری ساخته می شود. مراحل به شرح ذیل می باشند:

۱- ابتدا روزی که $t+1$ مقدار بردار متغیرهای هواشناسی آن باید شبیه سازی شود مشخص می گردد (مانند اول ژانویه). سپس مقادیر بردارهای متناظر با روز $t+1$ در دوره مشاهداتی انتخاب می گردند. آنگاه از بین تمامی بردارهای روز t ام در N سال مشاهداتی یک بردار بطور تصادفی انتخاب می شود.

۲- تعیین اندازه مجموعه ای از داده ها که شامل تمامی همسایگان ممکن برای بردار مشخصه روز منتخب (t) بوده و از آن بازنمونه گیری انجام می شود. یک پنجره زمانی با گستره W انتخاب می شود و تمامی روزها در داخل این پنجره به عنوان همسایگان محتمل برای بردار مشخصه روز مورد نظر لحاظ می شود. یاتس و همکاران از یک پنجره زمانی ۱۴ روزه ای استفاده کردند، بطور مثال اگر روز منتخب ۲۰ ژانویه سال ۲۰۰۰ باشد تمامی روزهای بین ۱۳ تا ۲۷ ژانویه در تمامی N سال مشاهداتی بجز روز ۲۰ ژانویه در همان سال به عنوان پنجره همسایگان در نظر گرفته می شود. بنابراین مجموعه داده همسایگان محتمل که از آن بازنمونه گیری می شود برابر است

$$L = (W + 1) \times N - 1 \quad (5-4)$$

۳- محاسبه ماتریس کوواریانس C_t برای روز منتخب t با استفاده از مجموعه داده با اندازه $L \times P$ در این مورد بخصوص زمانی که $p=1$ ماتریس کوواریانس به ماتریس واریانس بردار نزدیکترین همسایگی ساده می شود ($L \times 1$).

۴- تعیین تعداد K تا نزدیکترین همسایگی از مجموع L همسایگی که برای بازنمونه گیری انتخاب شده اند. لال و شارما پیشنهاد کردند که انتخاب K با استفاده از اعتبارسنجی تعمیم یافته (GCV)^{۱۸} انجام شود که مشابه معیار اطلاعاتی آکاییک مورد استفاده در مدل های اتو رگرسیون سنتی می باشد. راجاگوپالان و لال؛ یاتس و همکاران استفاده از یک روش ابتکاری را در انتخاب K توصیه کردند که در آن $K = \sqrt{L}$ است. همچنین نشان دادند که عملکرد الگوریتم با این مقدار K خوب بوده است.

^{۱۸} Generalized Cross Validation

۵- محاسبه فاصله ماحالانوبیس بین بردار آب و هوای روز منتخب $\hat{X}_t$ و بردار میانگین آب و هوای $\bar{X}_j$ روز j که $j = 1, 2, \dots$ می باشد. فاصله مورد نظر به شکل زیر تعریف می شود:

$$d_j = \sqrt{(\hat{X}_t - \bar{X}_j) C_t^{-1} (\hat{X}_t - \bar{X}_j)^T}$$

که در آن T عملگر ترانهاده و C_t^{-1} معکوس ماتریس کوواریانس می باشد.

۶- فواصل ماحالانوبیس بصورت صعودی مرتب شده و از اولین مقدار تا K امین مقدار به عنوان مجموعه نزدیکترین همسایگی در نظر گرفته می شود. یک توزیع احتمال گسسته که بیشترین وزن را به نزدیکترین همسایه نسبت دهد برای باز نمونه گیری از K تا نزدیکترین همسایگی مورد استفاده قرار گرفته است. وزن های اختصاص داده شده به هر یک از K همسایگی توسط رابطه زیر تعریف می شود:

$$W_j = \frac{\frac{1}{j}}{\sum_{j=1}^k \frac{1}{j}} \quad (7-4)$$

احتمال تجمعی P_j توسط رابطه زیر بدست می آید:

$$P_j = \sum_{i=1}^k W_i \quad (8-4)$$

به همسایگی ای با کمترین فاصله بیشترین وزن اختصاص می یابد در حالیکه به همسایگی ای با بیشترین فاصله (مانند K امین همسایه) کمترین وزن تعلق می گیرد. لال و شارما این تابع را با استفاده از تقریب محلی پویسون از تابع چگالی احتمال فضای همسایگان توسعه دادند.

۷- تعیین نزدیکترین همسایه به روز منتخب با استفاده از مقدار احتمال تجمعی بدست آمده از رابطه ۵. ابتدا یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ تولید کرده، آنگاه روز j ام که r نزدیکترین مقدار به P_j است انتخاب می شود. اگر $r \leq 1$ ، روز متناظر با فاصله d_1 و اگر $r = P_k$ آنگاه روز متناظر با d_k انتخاب

می‌شود. مقادیر مشاهده شده برای روز متناظر با نزدیکترین همسایگی منتخب به عنوان آب و هوای روز $t+1$ لحاظ می‌شود. در روش اصلاح شده، که در این جا ارائه شده است، سری زمانی بازنمونه گیری شده توسط روش پایه ای KNN با افزودن جزء تصادفی همانطور که در گام ۸ در زیر توصیف شده، دارای اغتشاش می‌شود.

۸- برای هر متغیر در ایستگاه، یک توزیع ناپارامتریک به K تا نزدیکترین همسایگی توصیف شده در گام ۶ برازش داده می‌شود. که این شامل محاسبه انحراف معیار مشروط σ و پهنای باند λ می‌باشد. اغتشاش مقادیر متغیرهای آب و هوایی بدست آمده از روش پایه ای KNN طی مراحل زیر محاسبه می‌شود:

الف- σ_i انحراف معیار مشروط متغیر i برای ایستگاه موردنظر است که از K نزدیکترین همسایگی محاسبه می‌شود. Z_{t+1} متغیر تصادفی برای روز $t+1$ در دوره شبیه سازی است که از یک توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس یک بدست می‌آید. λ پهنای باند (تابعی برحسب تعداد نمونه) می‌باشد که توسط شارما و همکاران تعیین شده است. بنابراین مقدار جدید متغیر آب و هوایی i برای روز $t+1$ توسط رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Y_{i,t+1} = X_{i,t+1} + \lambda \sigma_i Z_{t+1} \quad (9-4)$$

که در آن $X_{i,t+1}$ مقدار متغیر آب و هوایی i برای روز $t+1$ است که از مدل پایه ای KNN بدست می‌آید، $Y_{i,t+1}$ مقدار متناظر پس از بدست آوردن اغتشاش می‌باشد.

ب- از آنجائیکه مقادیر بارش کراندار می‌باشند، این احتمال وجود دارد که رابطه ۹ در مرحله بالا منجر به ایجاد مقادیر منفی بارش شود. برای فائق آمدن به این مشکل، پهنای باند تبدیل به مقداری می‌شود که احتمال تولید مقدار منفی بسیار بزرگ باشد. حد آستانه احتمال α برای تولید یک مقدار منفی انتخاب شده است. شارما و اونیل از $\alpha = 0.06$ استفاده کردند که $Z = -1.55$ می‌باشد. بنابراین بزرگترین مقدار λ متناظر با احتمال تولید یک مقدار منفی توسط رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\lambda^{\alpha} = \frac{X_{r,t+1}^j}{1.55\sigma_r^j}$$

که در آن اندیس ۳، مربوط به مقادیر بارش می‌باشد و λ^{α} بزرگترین مقدار قابل قبول از λ است. اگر مقدار محاسبه شده λ بزرگتر از λ^{α} ، آنگاه از مقدار λ^{α} بجای λ استفاده می‌شود.

پ- اگر بارش محاسبه شده در گام (ب) ۸ هنوز منفی باشد، یک مقدار جدید از متغیر تصادفی تولید Z_{t+1} مقدار بارش از رابطه ۵ باز تولید می‌شود. اینکار تا زمانی که مقدار بارش تولیدی نامنفی شود تکرار می‌گردد.

پس از تولید داده های روزانه (بارش) برای ۲۶ سال آماری در بخش دوم مدل صحت و درستی سری داده های ساختگی مورد آزمون قرار می‌گیرد [۶۱].

۴-۵- مدل استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS)

ساختار ANFIS که در سال ۱۹۹۳ ارائه شده، حاصل تلفیق شبکه‌های عصبی تطبیقی و منطق فازی است که با به کارگیری فرآیند یادگیری هابیرید، می‌توان پارامترهای آن را برای مدل‌سازی سیستم‌ها براساس داده‌بهای ورودی-خروجی موجود تنظیم نمود. ساختارهایی که پیش از سال ۱۹۹۳ ارائه شده اند، در مقایسه با ANFIS قابلیت تطبیق کمتری داشتند. پس از سال ۱۹۹۳ نیز ساختارهای فازی-عصبی متنوعی ارائه شدند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به شبکه فازی-عصبی تحویل‌پذیر (EFNN)^{۱۹}، سیستم فازی-عصبی پویای تحویل‌پذیر (DENFIS)^{۲۰}، GenSOFNN^{۲۱} و SAFIN^{۲۲} اشاره نمود. ساختارهای یاد شده (به استثنای ANFIS) به نوعی از خوشه بندی داده ها برای مدل‌سازی استفاده می‌کنند. به عنوان مثال در فرآیند آموزش شبکه فازی-عصبی تحویل‌پذیر و سیستم فازی-عصبی پویای تحویل‌پذیر، قوانین فازی جدید تولید شده و خوشه‌بندی نیز به صورت تحویل‌پذیر انجام می‌-

^{۱۹} Evolving Fuzzy Neural Networks

^{۲۰} Evolving Fuzzy Neural Networks

^{۲۱} Generic Self Organizing Fuzzy Neural Network

^{۲۲} Self Adaptive Fuzzy Inference Network

شود. به همین دلیل این ساختارها با عنوان تحویل‌پذیر نام‌گذاری شده‌اند. در این شبکه‌ها تعداد و محدوده خوشه‌ها ضمن آموزش تغییر می‌کند [۶۲، ۶۳]. شبکه فازی-عصبی (GenSoFNN) از روش خوشه‌بندی گسسته افزایشی (DIC)^{۲۳} به منظور دسته‌بندی داده‌ها استفاده می‌کند [۶۴]. ساختار SAFIN نیز روش خوشه‌بندی CLIP^{۲۴} را به کار می‌برد [۶۵]. یکی از اشکالات وارد بر شبکه ANFIS این است که هرچند افزایش تعداد پارامترها باعث افزایش دقت شناسایی می‌شود اما سرعت شبیه‌سازی را به شدت کاهش می‌دهد. در این مقاله ساختار فازی-عصبی ANFIS تقویت شده با خوشه‌بندی ARC^{۲۵} ارائه شده است که در آن ضمن افزایش تعداد پارامترها و دقت شبیه‌سازی، زمان مدل‌سازی در مقایسه با ANFIS معمول، تغییر چندانی ندارد. ساختار ANFISRC حاصل اجرای خوشه‌بندی بر روی فضای ورودی-خروجی شبکه ANFIS بر اساس خطای شبیه‌سازی به منظور افزایش دقت تخمین است.

۴-۵-۱- معرفی شبکه تطبیقی

شبکه تطبیقی، شبکه‌ای چندلایه شامل گره‌ها و لینک‌های ارتباطی جهت‌دار (رو به جلو) است. در این شبکه همه یا تعدادی از گره‌ها تطبیقی هستند به عبارت دیگر خروجی آنها به پارامترهایی بستگی دارد که براساس الگوریتم‌های یادگیری به منظور کاهش خطای مدل‌سازی تنظیم می‌شوند. در شبکه تطبیقی هریک از گره‌ها تابع مشخصی را بر روی سیگنالی که دریافت می‌کند، اجرا می‌نماید که به تابع گره‌ای معروف است. این تابع که از گره‌ای به گره دیگر تغییر می‌کند وابسته به پارامترهای گره است. در این شبکه، لینک‌ها تنها جهت عبور سیگنال را نمایش می‌دهند و وزنی به آنها اختصاص داده نمی‌شود. قاعده اساسی به کار رفته در آموزش شبکه‌های تطبیقی، قانون کاهش گرادیان است. استفاده از کاهش گرادیان به تنهایی به علت کندی و تمایل به کمینه‌های محلی برای تنظیم پارامترهای شبکه، مطلوب نیست. درحالی‌که روش‌های هابیرید که حاصل ترکیب روش کاهش

^{۲۳} Discrete Incremental Clustering

^{۲۴} Categorical Learning Induced Partitioning

^{۲۵} ANFIS Reinforced by Clustering

گرادیان و سایر روش‌ها مانند تخمین حداقل مربعات (LSE) هستند، منتج به افزایش سرعت یادگیری می‌شوند. مجموعه پارامترهای یک شبکه تطبیقی شامل پارامترهای کلیه گره‌های آن شبکه است که می‌بایست بر اساس داده‌ها و روش یادگیری مبتنی بر کاهش گرادیان تنظیم شوند. با فرض اینکه یک شبکه تطبیقی دارای L لایه بوده و K امین لایه آن دارای K گره باشد، گره‌ای که در i امین جایگاه K امین لایه است با (k,i) خروجی گره با O_i^k نمایش داده می‌شود. خروجی هر گره به پارامترهای آن $(a,b,c,...)$ و سیگنال ورودی بستگی دارد که سیگنال ورودی تابع خروجی گره پیشین است. بنابراین می‌توان نوشت:

$$O_i^k = O_i^k(O_1^{k-1}, O_2^{k-1}, \dots, O_{K-1}^{k-1}, a, b, c \dots)$$

چنانچه P زوج ورودی- خروجی برای آموزش شبکه در اختیار باشد، خطای اندازه گیری برای p امین ورودی از بین داده های آموزش $(1 \leq p \leq P)$ به صورت رابطه ۱۲ تعریف می‌شود. در این رابطه $T_{m,p}$ ، m امین جز p امین بردار خروجی واقعی و $O_{m,p}^L$ ، m امین جز بردار خروجی حاصل از مدل است. در این صورت عبارت کلی خطا به صورت رابطه ۱۳ است که مجموع خطای اندازه گیری هر یک از ورودی‌ها است [۲۷].

$$E_p = \sum_{m=1}^L (T_{m,p} - O_{m,p}^L)^2 \quad (12-4)$$

$$E = \sum_{p=1}^P E_p \quad (13-4)$$

مطابق با الگوریتم یادگیری منطبق بر قانون کاهش گرادیان، ابتدا باید نرخ تغییر خطا به صورت

$$\frac{\partial E_p}{\partial \alpha} \quad \text{برای } P \text{ امین داده آموزش و خروجی هر گره محاسبه شود. نرخ تغییر خطا برای هریک از}$$

گره‌های لایه خروجی (L,i) به صورت رابطه ۱۴ خواهد بود:

$$(14-4)$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial O_{i,p}^L} = -\gamma(T_{i,p} - O_{i,p}^L)$$

برای گره‌های داخلی از قاعده زنجیره‌ای استفاده می‌شود. اگر α یکی از پارامترهای شبکه و S مجموعه گره‌هایی که خروجی آنها به پارامتر α بستگی دارد، باشد نرخ تغییرات خطای کل نسبت به پارامتر α به صورت رابطه ۱۵ خواهد بود. نرخ یادگیری η نیز به صورت رابطه ۱۶ محاسبه می‌شود که در آن β نرخ انتقال گرادیان در فضای پارامتر می‌باشد که با تغییر آن سرعت همگرایی تغییر خواهد کرد [۱۰۸].

$$\frac{\partial E}{\partial \alpha} = \sum_{p=1}^P \frac{\partial E_p}{\partial \alpha} \quad (15-4)$$

$$\eta = \frac{\beta}{\sqrt{\sum_{\alpha} (\partial E / \partial \alpha)^2}} \quad (16-4)$$

پس از محاسبه η ، پارامتر α مطابق رابطه ۱۷ به اندازه $\Delta\alpha$ تغییر خواهد کرد.

$$\Delta\alpha = -\eta \frac{\partial E}{\partial \alpha} \quad (17-4)$$

معمولاً β به صورت تطبیقی تغییر می‌کند. تغییر تطبیقی β به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود. چنانچه خطای اندازه‌گیری برای چهار تکرار متوالی کاهش یافت، β حدود ۱۰ درصد افزایش داده می‌شود. چنانچه خطای اندازه‌گیری طی دو زوج متوالی از تکرارها، یک مرتبه افزایش و یک مرتبه کاهش داشت، β حدود ۱۰ درصد کاهش داده می‌شود.

۴-۵-۲- انواع سیستم های استنتاج فازی

انواع سیستم های استنتاج فازی با توجه به فرم قواعد آنها دو دسته اند:

۱- ممدانی (Mamdani)

در این سیستم هم قسمت مقدم قواعد و هم قسمت تالی (نتیجه) قواعد فازی است.

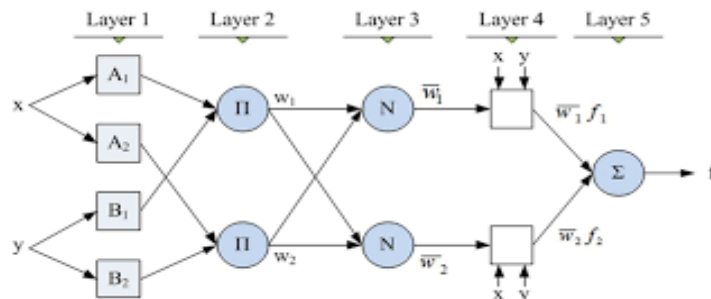
۲- سوگنو یا تاکاگی-سوگنو-کانگ (Kang-Sugeno-Takagi) یا TSK

در این سیستم قسمت مقدم قواعد فازی است اما قسمت نتیجه غیرفازی و ترکیبی خطی از متغیرهای ورودی است.

۴-۵-۳- شبکه تطبیقی بر اساس سیستم‌های با منطق فازی (ANFIS)

این ساختار حاصل تلفیق شبکه تطبیقی با قوانین فازی است. در این ساختار هیچ محدودیتی بر روی توابع گره‌ای وجود ندارد به جز اینکه باید به طور قطعی مشتق‌پذیر باشند. قوانین فازی به صورت تاکاگی-سوگینو در نظر گرفته می‌شوند و اگر X و Y دو متغیر بخش مقدمه قانون فازی i ام باشند، موخره این قانون فازی به صورت ترکیب خطی X و Y به همراه یک مقدار ثابت خواهد بود. ساختار شبکه ANFIS با پنج لایه در شکل ۴-۴ نشان داده شده است. لایه اول دارای گره‌های قابل تنظیم است که معمولاً توابع تعلق مربوط به آنها به صورت گاوسی یا زنگوله شکل، با مقدار پیشینه‌ای برابر یک و کمینه‌ای برابر صفر می‌باشند. پارامترهای توابع تعلق که همان پارامترهای مقدمه قوانین فازی هستند، بر اساس توصیف زبانی مربوط به متغیرها و زیرفضاهای فازی و براساس روش هایبرید تنظیم می‌شوند. گره‌های لایه دوم ثابت در نظر گرفته می‌شوند. این گره‌ها دو سیگنال ورودی را در هم ضرب کرده و حاصل را به عنوان خروجی تحویل شبکه می‌دهند. سیگنال‌های ورودی این گره‌ها در واقع میزان سازگاری ورودی با هریک از توابع تعلق و خروجی آنها، وزن مربوط به هریک از قوانین است. گره‌های لایه سوم نیز ثابت بوده و وظیفه آنها محاسبه وزن نرمالیزه هریک از قوانین است. گره‌های لایه چهارم وزن نرمالیزه هر یک از قوانین فازی را در خروجی بخش موخره آن قانون ضرب کرده و تنها گره لایه پنجم نیز کلیه سیگنال‌های خروجی از گره‌های لایه چهارم را جمع کرده و به عنوان خروجی شبکه تحویل می‌دهد. الگوریتم هایبرید به صورت مستقیم برای شناسایی و تخمین

پارامترهای شبکه قابل اعمال است. پارامترهای موخره قوانین همان پارامترهای خطی شبکه هستند که به روش LSE تخمین زده می‌شوند. پارامترهای مقدمه نیز به روش کاهش گرادیان تنظیم می‌شود.



شکل (۴-۴) ساختار شبکه ANFIS

۴-۵-۴- خوشه‌بندی

یکی از نکات بسیار مهم در طراحی سیستم‌های فازی، انتخاب تعداد مناسب قواعد است. انتخاب تعداد زیادی از قواعد باعث پیچیده شدن سیستم می‌شود و انتخاب تعداد کمی از قواعد ممکن است سیستم فازی ضعیفی را ایجاد کند که اهداف مورد نظر را تامین نمی‌کند. در این قسمت تعداد قواعد، به عنوان یک پارامتر مهم در سیستم‌های فازی در نظر گرفته شده و براساس زوج‌های ورودی- خروجی و خطای مدل‌سازی، تعیین می‌شود. علت اصلی خوشه‌بندی، گروه‌بندی زوج‌های ورودی- خروجی در دسته‌های مختلف و استفاده از یک قاعده یا قانون فازی برای هر دسته است. در نهایت تعداد قواعد با تعداد خوشه-ها برابر خواهد بود. از نظر مفهومی خوشه‌بندی به معنی افراز داده‌ها به زیر مجموعه‌ها یا خوشه‌های مجزا است، به نحوی که داده‌های یک خوشه تا حد امکان به هم شبیه و در عین حال متفاوت از داده‌های خوشه‌های دیگر باشند. الگوریتم‌های مختلفی برای خوشه‌بندی پیشنهاد شده است که مهم‌ترین آنها به شرح زیر است:

(۱) خوشه‌بندی براساس مکانیابی مرکز خوشه

(۲) خوشه‌بندی به روش K-means

۳) خوشه‌بندی براساس مکان یابی تصادفی برای مرکز خوشه

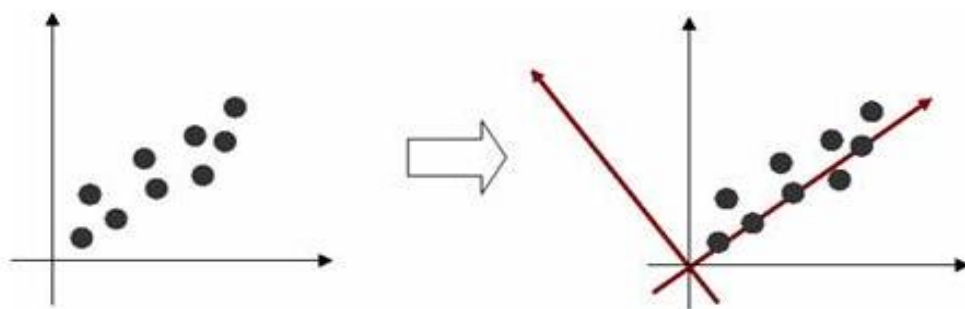
۴) خوشه بندی کنترل شده با در نظر گرفتن ورودی و خروجی برای مکانیابی مرکز خوشه

۵) خوشه‌بندی براساس خطا

۶) خوشه‌بندی براساس بهینه‌سازی غیرخطی برای مکان مراکز خوشه‌ها

۴-۶- روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)

تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) تبدیلی در فضای برداری است که بیشتر برای کاهش ابعاد مجموعه-ی داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی در سال ۱۹۰۱ توسط کارل پیرسون ارائه شد. این تحلیل شامل تجزیه‌ی مقدارهای ویژه ماتریس کواریانس می‌باشد. آنالیز مؤلفه اصلی یک روش اختیاری چند متغیری است. تکنیک PCA بهترین روش برای کاهش ابعاد داده به صورت خطی می‌باشد. یعنی با حذف ضرایب کم‌اهمیت بدست آمده از این تبدیل، اطلاعات از دست رفته نسبت به روش‌های دیگر کمتر است. البته کاربرد PCA محدود به کاهش ابعاد داده نمی‌شود و در زمینه‌های دیگری مانند شناسایی الگو و تشخیص چهره نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش محورهای مختصات جدیدی برای داده‌ها تعریف شده و داده‌ها براساس این محورهای مختصات جدید بیان می‌شوند. اولین محور باید در جهتی قرار گیرد که واریانس داده‌ها ماکزیمم شود (یعنی در جهتی که پراکندگی داده‌ها بیشتر است). دومین محور باید عمود بر محور اول به گونه‌ای قرار گیرد که واریانس داده‌ها ماکزیمم شود. به همین ترتیب محورهای بعدی عمود بر تمامی محورهای قبلی به گونه‌ای قرار می‌گیرند که داده‌ها در آن جهت دارای بیشترین پراکندگی باشند. در شکل ۴-۵ این مطلب برای داده‌های دو بعدی نشان داده شده است.



شکل (۴-۵) انتخاب محورهای جدید برای داده‌های دو بعدی

۴-۷- ارزیابی عملکرد شبکه

برای مقایسه داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل، می‌توان از پارامترهای آماری مختلفی استفاده نمود. در این زمینه معیارهای متفاوتی برای مطابقت دادن داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در مدل‌سازی پیشنهاد شده است. در این پژوهش جهت ارزیابی عملکرد شبکه و انتخاب بهترین حالت، از سه معیار متوسط قدر مطلق خطا، ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی که به ترتیب در روابط ۱۸ تا ۲۰ آورده شده، استفاده شده است:

۴-۷-۱- متوسط قدر مطلق خطا^{۲۶}

این پارامتر طبق توصیه راهنمای مدل، یکی از بهترین پارامترهای آماری برای ارائه در گزارشات می‌باشد. در واقع این پارامتر مقدار متوسط خطاها را در مجموعه‌ی پیش‌بینی‌ها، بدون در نظر گرفتن جهت آن‌ها اندازه‌گیری می‌کند.

$$MAE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |X_{i,m} - X_{i,o}| \quad (4-18)$$

۴-۷-۲- متوسط قدر مطلق خطای نسبی^{۲۷}

یکی دیگر از پارامترهای آماری که کاربرد زیادی دارد، متوسط قدر مطلق خطای نسبی است که برای بیان تفاوت مابین مقادیر پیش‌بینی شده و شبیه‌سازی شده در مدل بکار می‌رود و معیار مناسبی برای

^{۲۶} Mean Absolute Error

^{۲۷} Relative Mean Absolute Error

درک کارایی مدل است. رابطه آن به صورت زیر می‌باشد. مقادیر کمتر RMAE حاکی از دقت بالاتر مدل است.

$$RMAE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{|X_{i,m} - X_{i,o}|}{X_{i,o}}$$

۴-۷-۳- ضریب همبستگی^{۲۸}

ضریب همبستگی ابزاری آماری برای تعیین نوع و درجه رابطه یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر (و یا یک مجموعه داده با یک مجموعه داده دیگر) است.

$$R = \frac{M \sum_{i=1}^M X_{i,m} \cdot X_{i,o} - \sum_{i=1}^M X_{i,m} \cdot \sum_{i=1}^M X_{i,o}}{\sqrt{\left[M \sum_{i=1}^M X_{i,m}^2 - \left(\sum_{i=1}^M X_{i,m} \right)^2 \right] \cdot \left[M \sum_{i=1}^M X_{i,o}^2 - \left(\sum_{i=1}^M X_{i,o} \right)^2 \right]}} \quad (۴-۲۰)$$

که در روابط فوق M-تعداد کل داده های ورودی، $X_{i,m}$ -معرف i امین داده پیش بینی شده با استفاده از یکی از چهار مدل فوق و $X_{i,o}$ -معرف i امین داده مشاهده شده است.

طبیعی است بهترین روش، آن است که دارای کمترین مقدار MAE و RMAE و همچنین بیشترین مقدار R باشد. محدوده‌ی مقادیر ضریب همبستگی R در جدول ۴-۱ نشان داده شده است.

جدول (۴-۱) محدوده‌ی مقادیر ضریب همبستگی R

دسته بندی	عالی	بسیار خوب	خوب	ضعیف	خیلی ضعیف
معیار جمعی	بیشتر از ۰/۸۵	۰/۷-۰/۸۵	۰/۵۵-۰/۷	۰/۴-۰/۵۵	کمتر از ۰/۸۵

^{۲۸} correlation coefficient

فصل پنجم

نتایج و بحث

۵-۱- مقدمه

این مطالعه به بررسی موضوعاتی از قبیل تغییر اقلیم و ریزمقیاس نمایی برای دوره تاریخی ۲۰۰۵-۱۹۸۰ در حوضه بالا دست سد لتیان و زیر حوضه امامه پرداخته است. با توجه به مطالبی که در فصول گذشته به آن پرداخته شد و مواردی که در این فصل به آن خواهیم پرداخت، نتایج بدست آمده را به صورت کامل نمایش خواهیم داد.

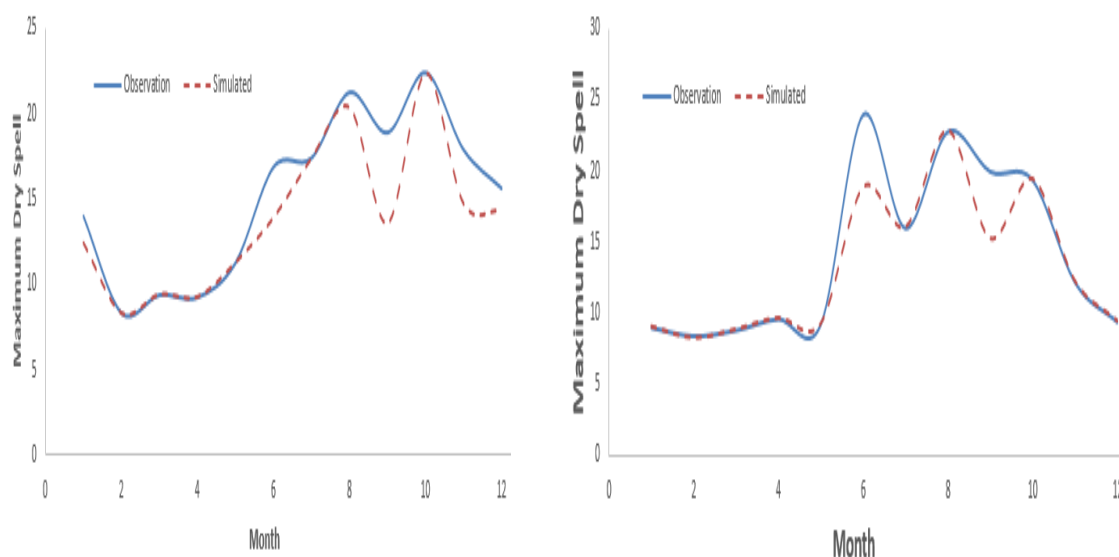
۵-۲- تهیه داده های مورد استفاده برای ریز مقیاس نمایی توسط مدل

۵-۲-۱- نتایج مدل HADCM3

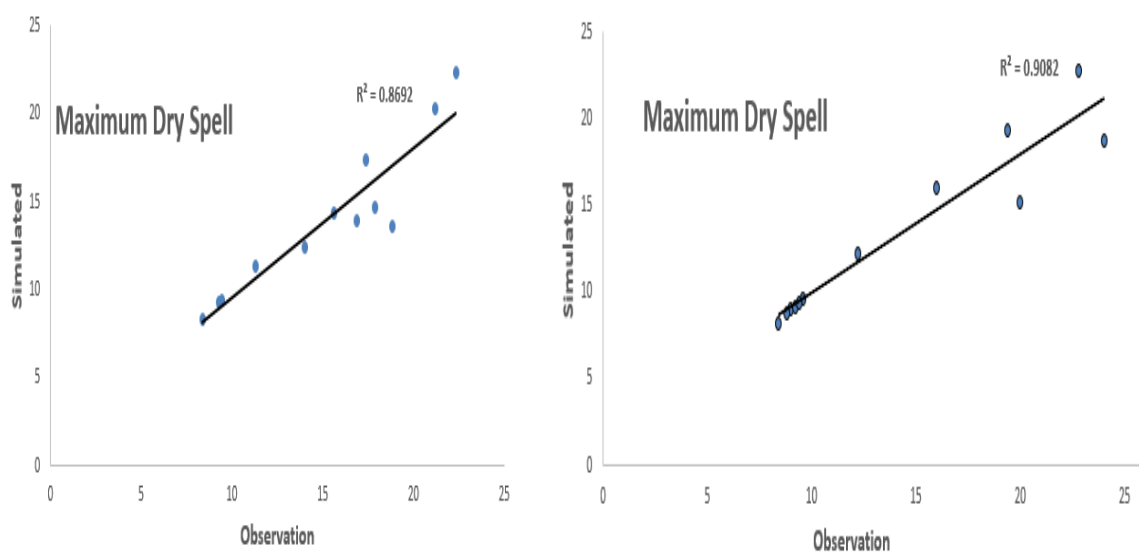
همانطور که در فصول گذشته توضیح داده شد، برای استفاده از هر سه مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، K- نزدیک ترین همسایگی (KNN) و مدل استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS) نیاز به دو مجموعه داده داریم. ابتدا باید داده های مشاهداتی و هیدرولوژیکی را فراهم کنیم. با توجه به دوره آماری در نظر گرفته شده در این پژوهش (داده های روزانه از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵) برای این دوره تاریخی ۹۴۹۰ داده ی روزانه خواهیم داشت. این داده ها به عنوان داده های خروجی (هدف) به دستگاه خورنده می شود. داده های مدل HADCM3 را می توان بطور کامل و دقیق از سایت کانادایی به آدرس (www.cccsn.ec.gc.ca) دانلود کرد. داده های دریافتی شامل ۲۶ پارامتر و برای دوره ی تاریخی ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ می باشد که پارامترها در جدول ۴-۲ فصل چهارم شرح داده شد. این داده ها به عنوان داده های ورودی به مدل ها خورنده می شود. با توجه به تعداد زیاد پارامترهای ورودی با استفاده از دستور PCA این ۲۶ پارامتر را اولویت بندی کرده و با توجه به الویت هایی که روش PCA می دهد، شبیه سازی انجام می شود. پس از آماده کردن داده های ورودی (داده های مدل HADCM3) و داده های هدف (داده های مشاهداتی) برای مدل های شبیه سازی، برای آموزش مدل ها و اعتبارسنجی آنها اقدام می شود. خروجی های مدل، همان داده های شبیه سازی شده خواهند بود که بصورت روزانه و برای ۹۴۹۰ روز خواهند بود. با توجه به مطالبی که در فصول گذشته به طور کامل به آن پرداخته شد، نتایج ۳ روش شبکه عصبی مصنوعی، K- نزدیک ترین همسایگی و مدل استنتاج عصبی - فازی تطبیقی به شرح زیر می باشد.

شکل های ۵-۱ تا ۵-۱۰ مربوط به نتایج خروجی شبکه عصبی مصنوعی در ریزمقیاس نمایی داده های HADCM3 برای ۵ متغیر بیشترین دوره ی روزهای خشک (Maximum Dry Spell)،

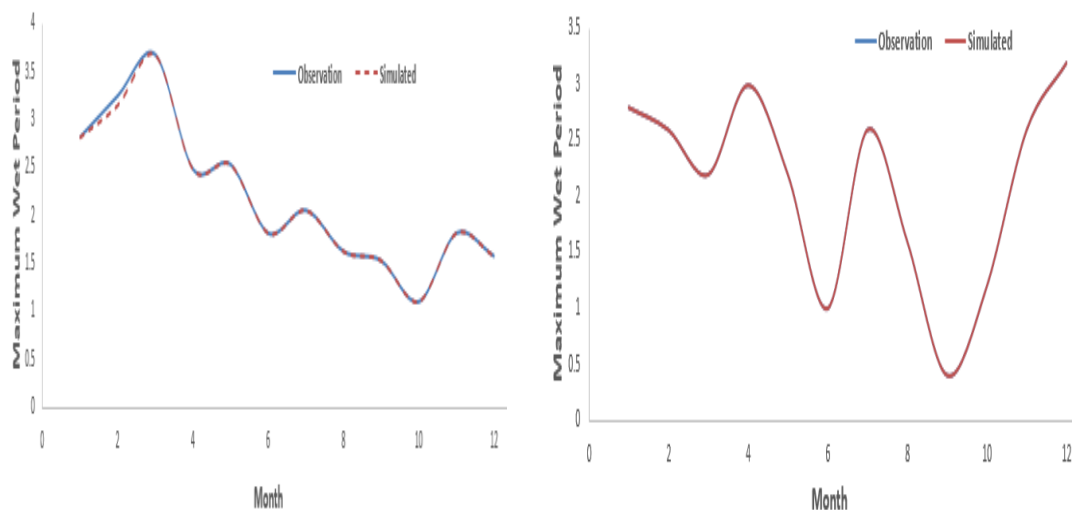
بیشترین دوره‌ی روزهای مرطوب (Maximum Wet Spell)، بیشترین بارش روزانه در هر ماه (Maximum Dially Rainfall)، بارش ماهانه (Monthly Rainfall) و تعداد روزهای خشک در هر ماه (NO.Dry Day) می‌باشد:



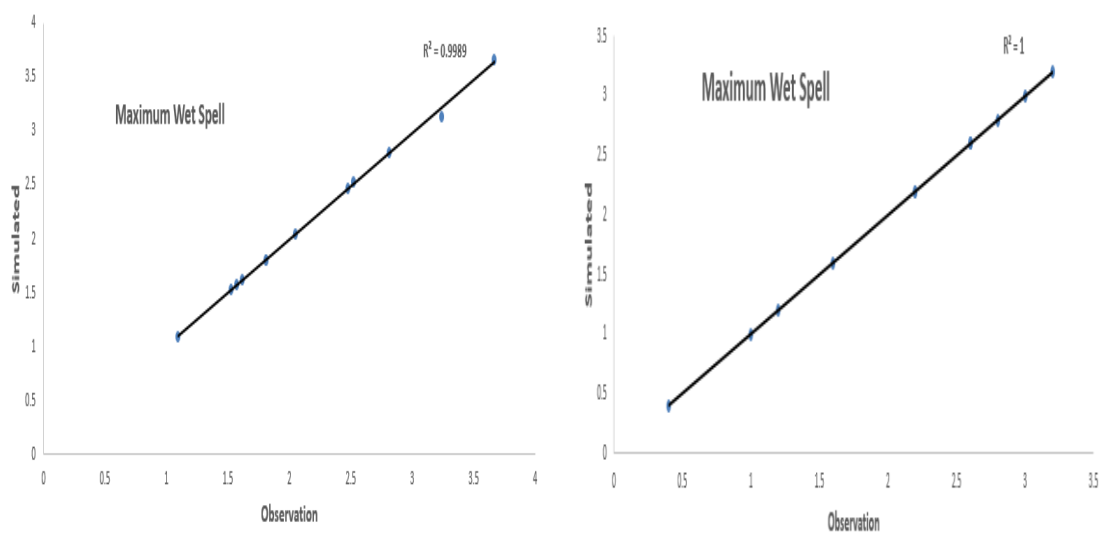
شکل (۵-۱) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



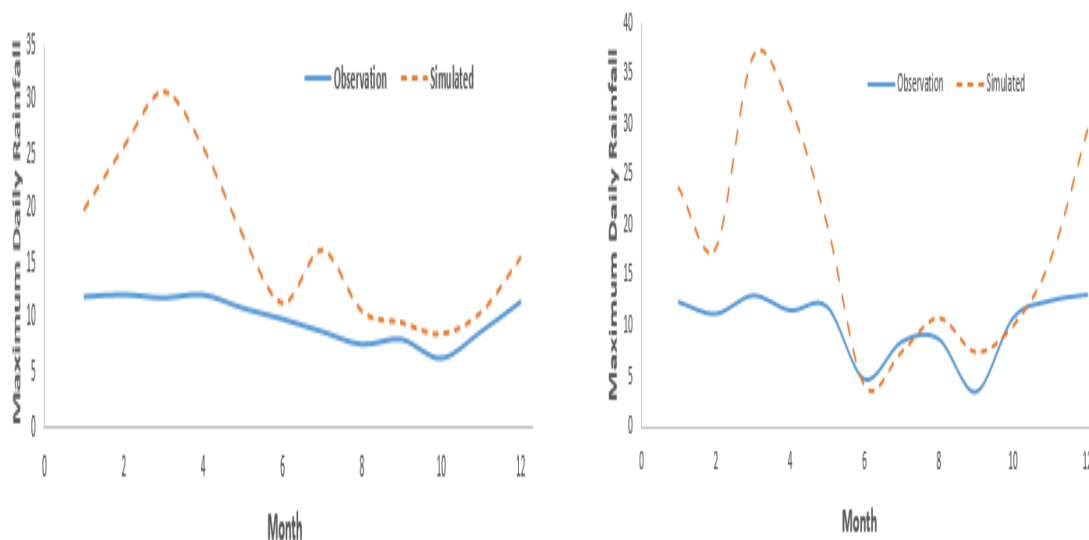
شکل (۵-۲) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



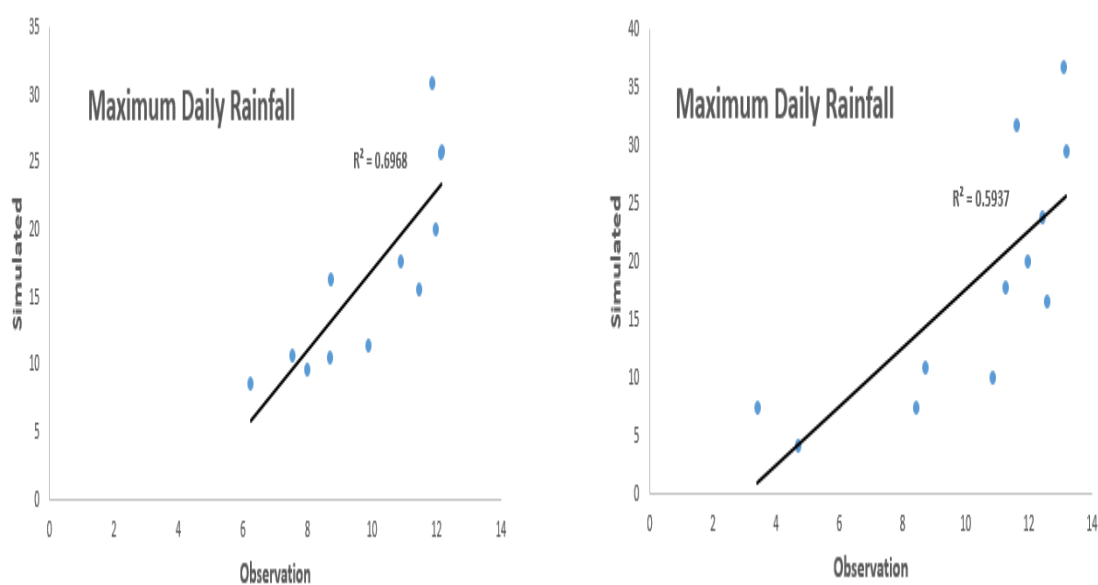
شکل (۵-۳) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



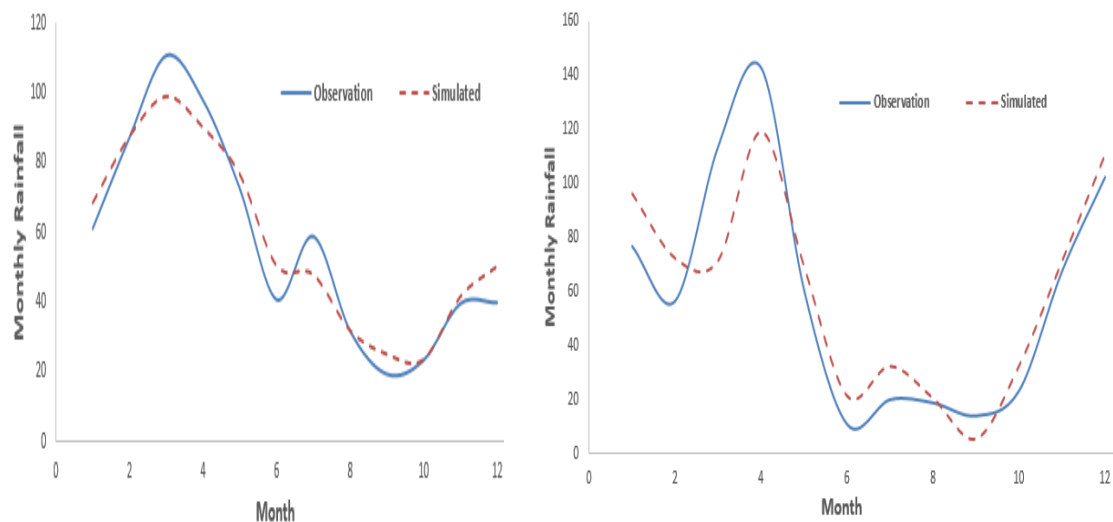
شکل (۴-۵) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



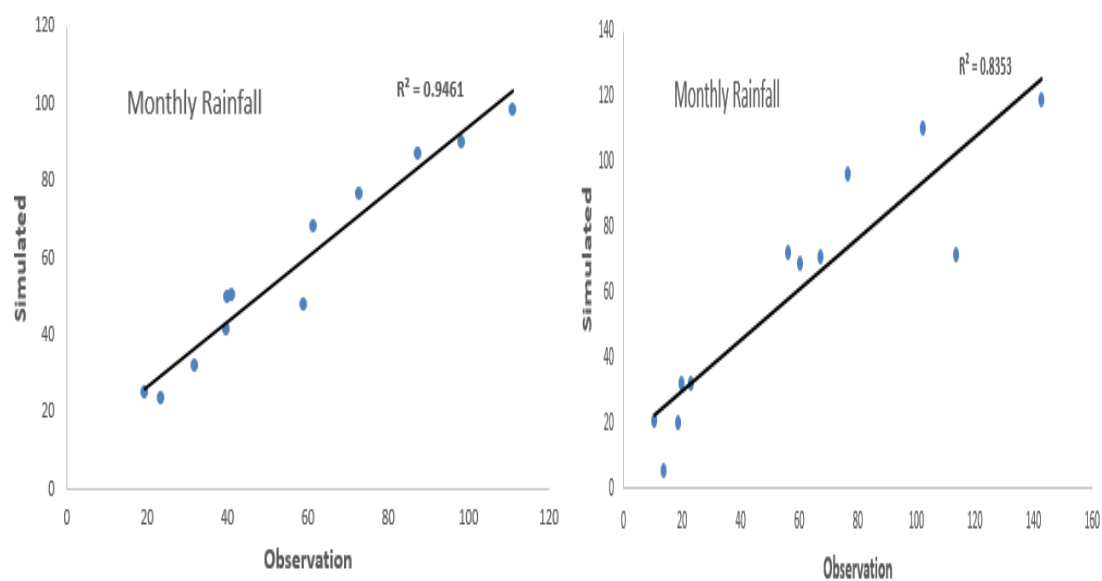
شکل (۵-۵) بیشترین بارش روزانه در ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



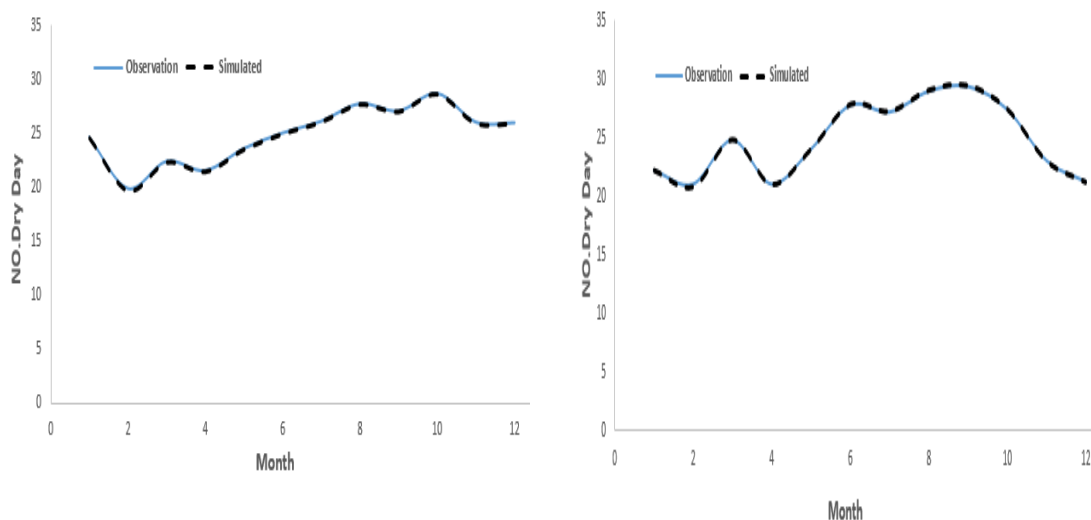
شکل (۵-۶) بیشترین بارش روزانه در ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



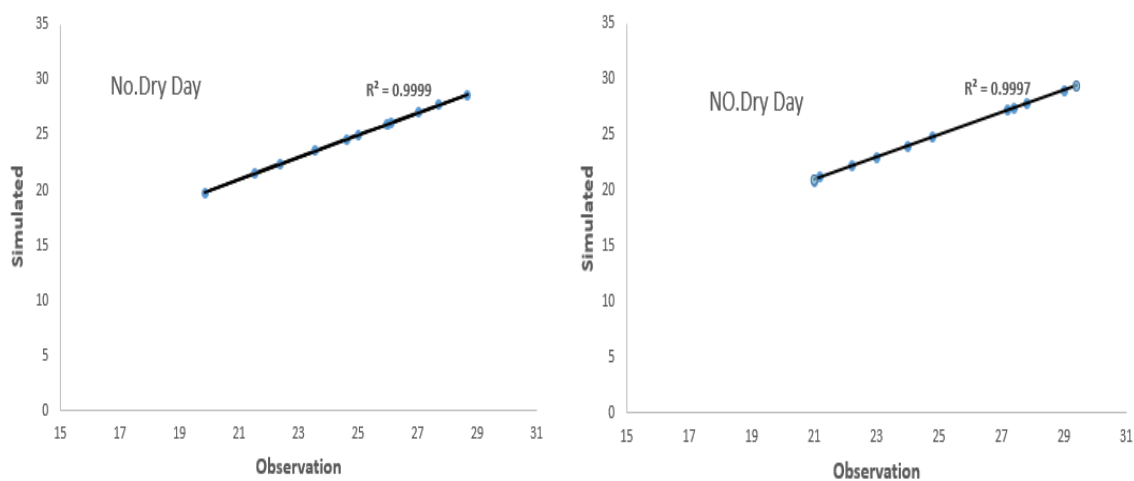
شکل (۵-۷) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



شکل (۸-۵) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست

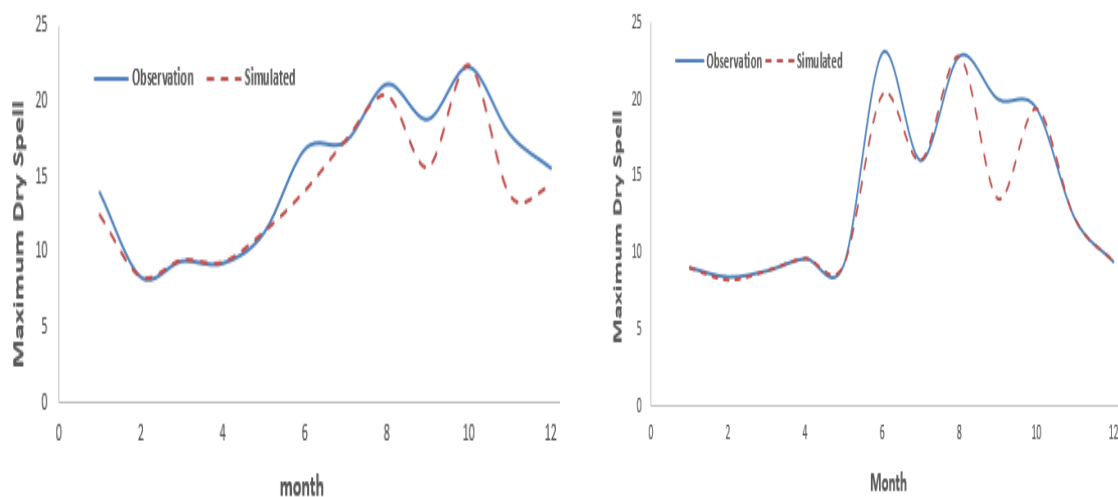


شکل (۹-۵) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست

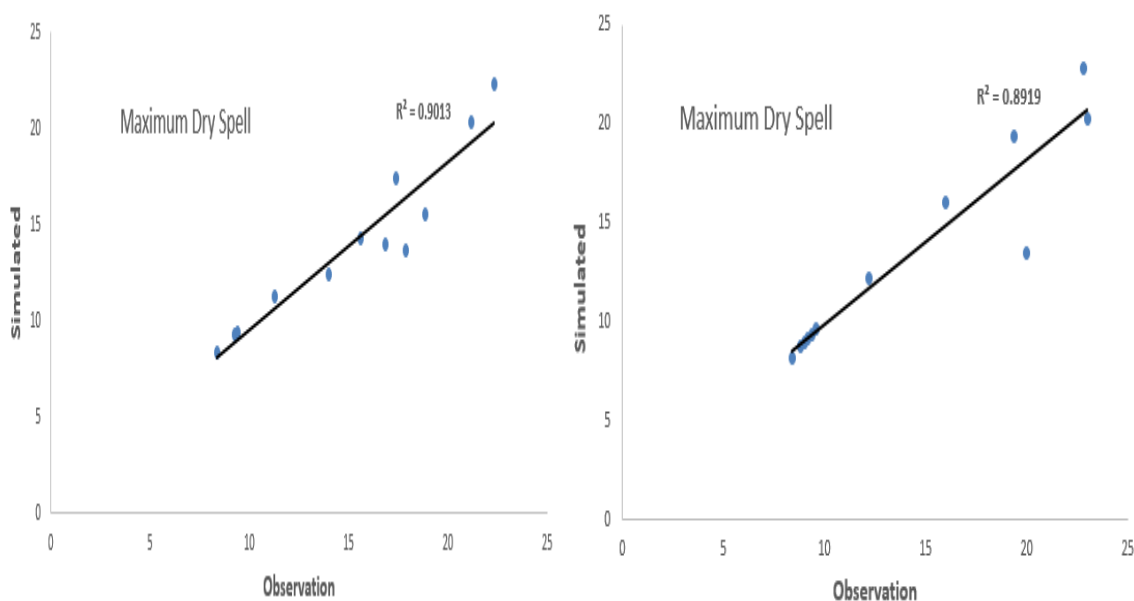


شکل (۱۰-۵) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست

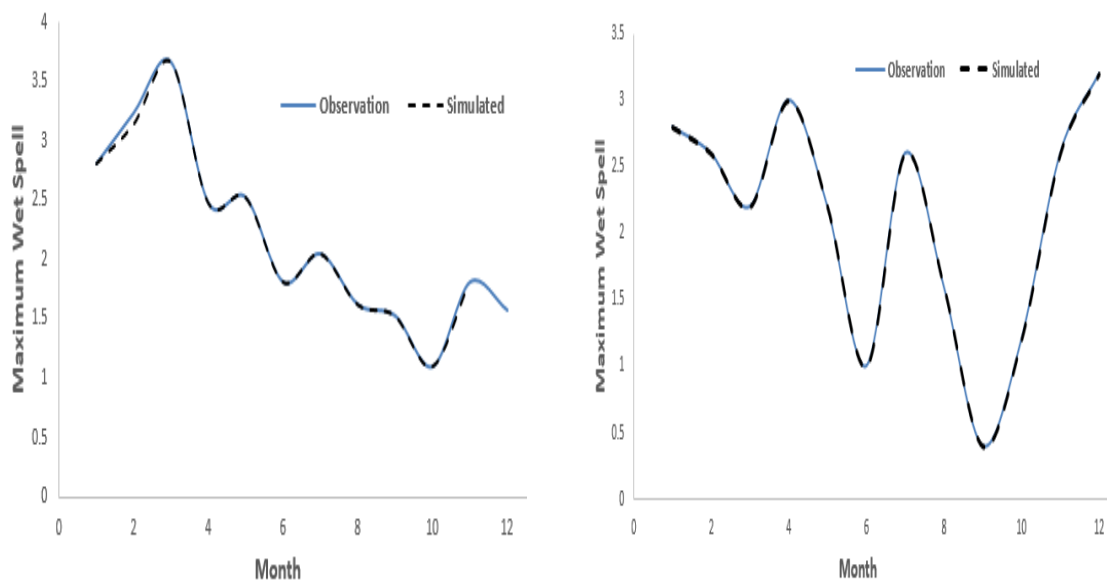
شکل‌های ۵-۱۱ تا ۵-۲۰ مربوط به نتایج خروجی روش KNN مربوط به مدل HADCM۳ برای همان ۵ پارامتری که در شبکه عصبی نیز ذکر شد:



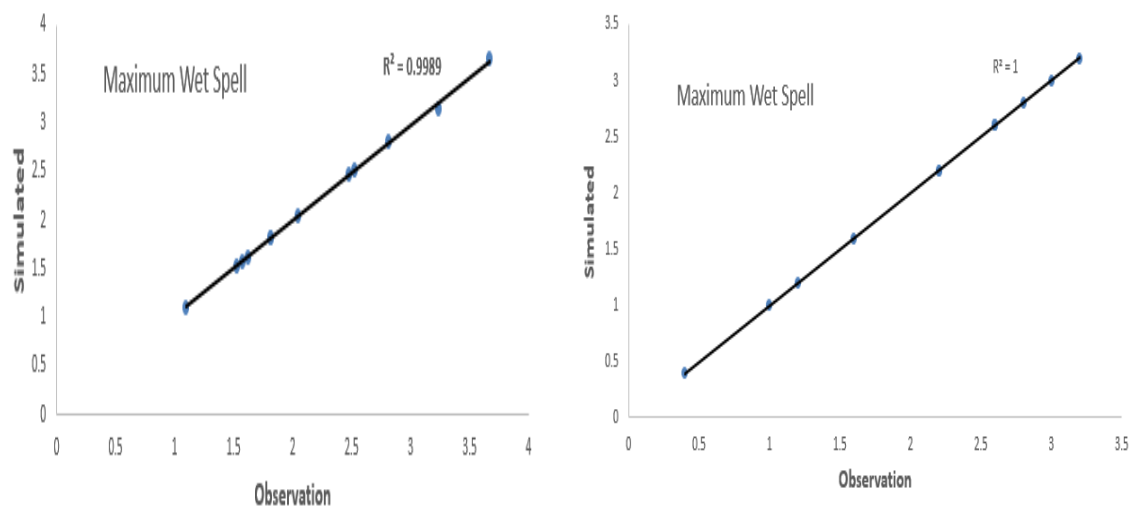
شکل (۵-۱۱) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



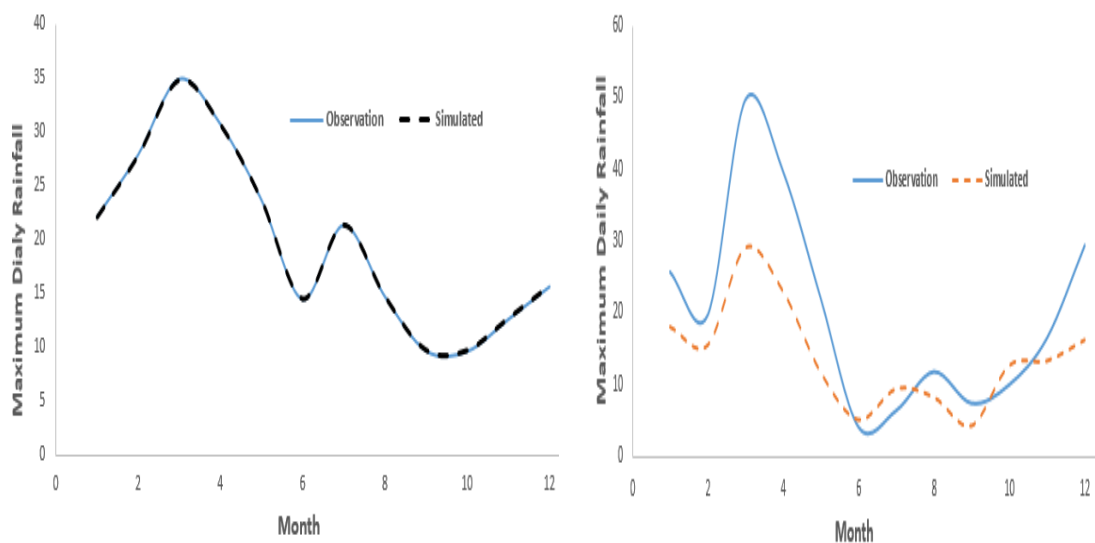
شکل (۵-۱۲) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



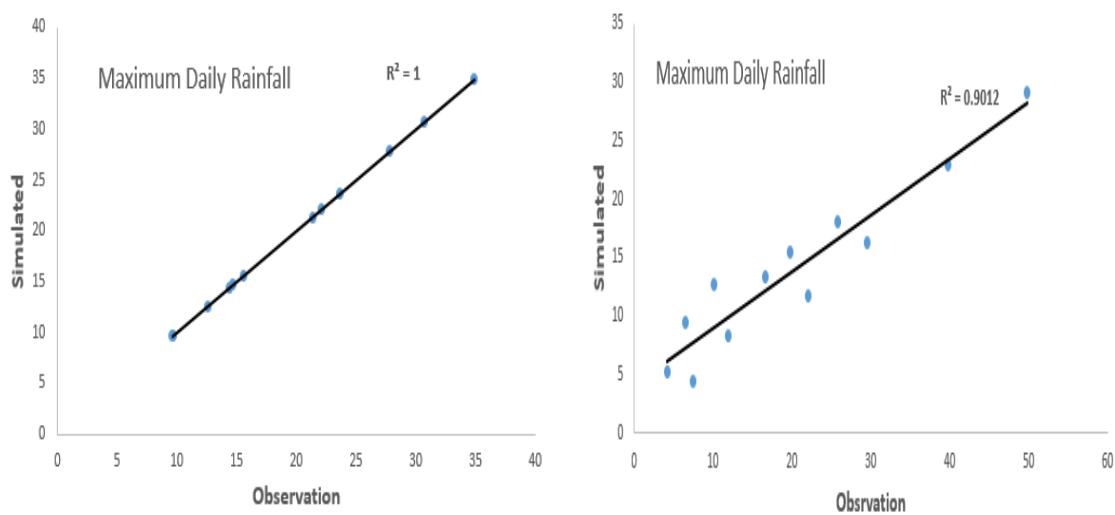
شکل (۵-۱۳) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



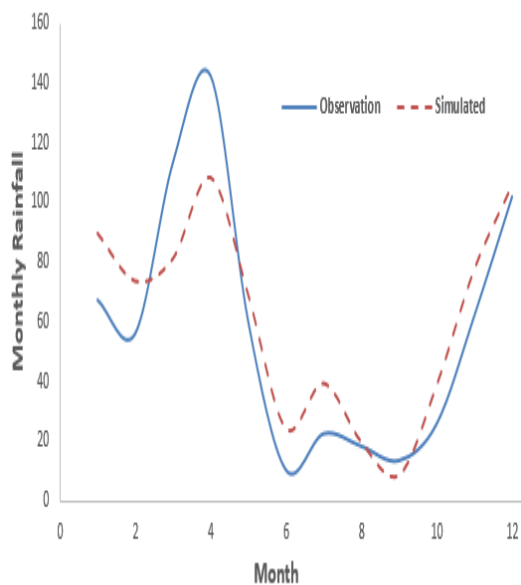
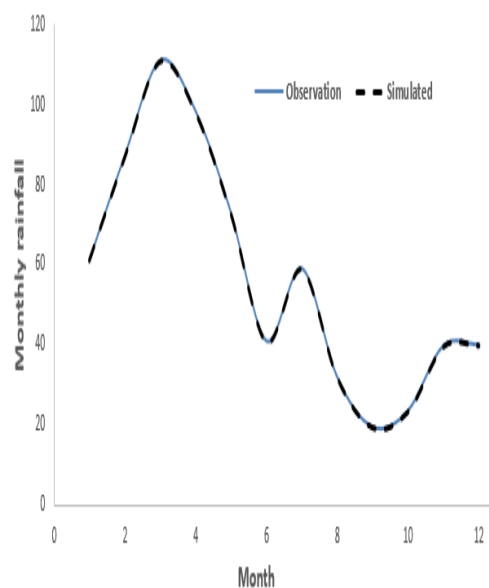
شکل (۵-۱۴) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



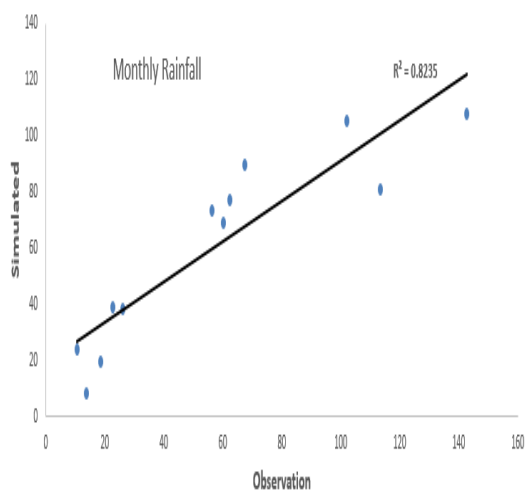
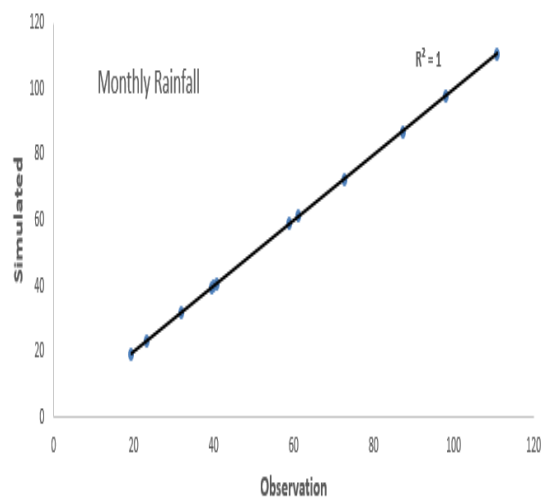
شکل (۵-۱۵) بیشترین بارش روزانه در ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست- تست



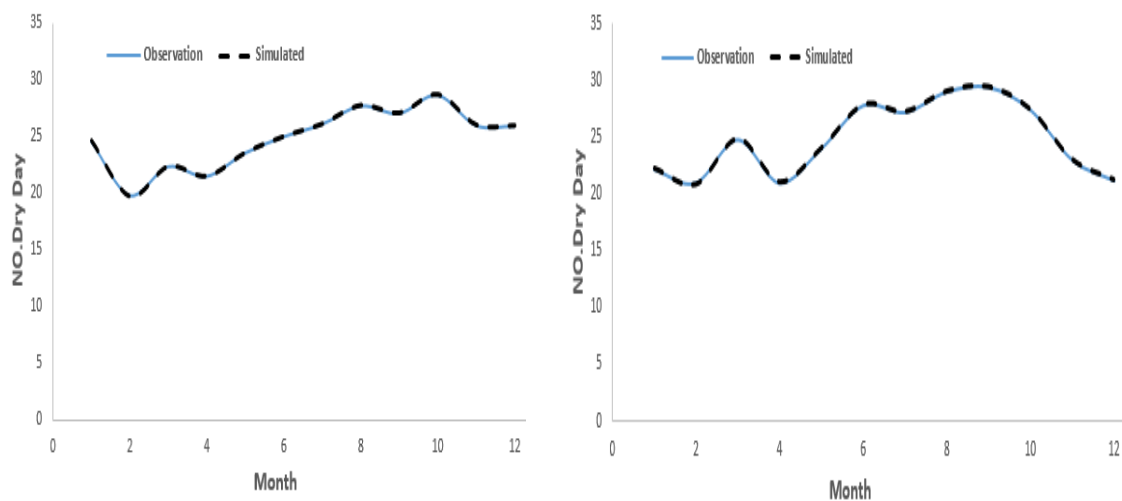
شکل (۵-۱۶) بیشترین بارش روزانه در ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست- تست



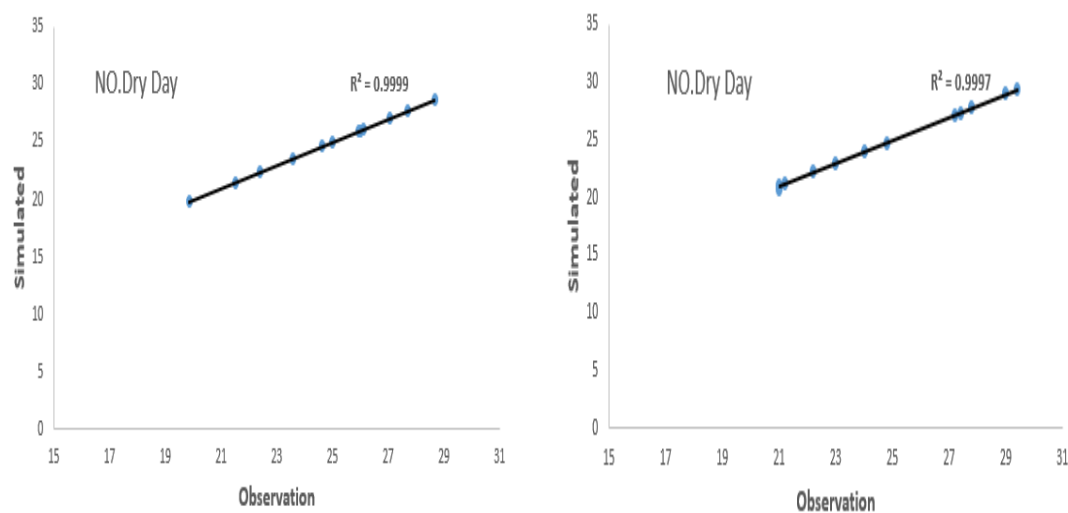
شکل (۵-۱۷) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



شکل (۵-۱۸) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست

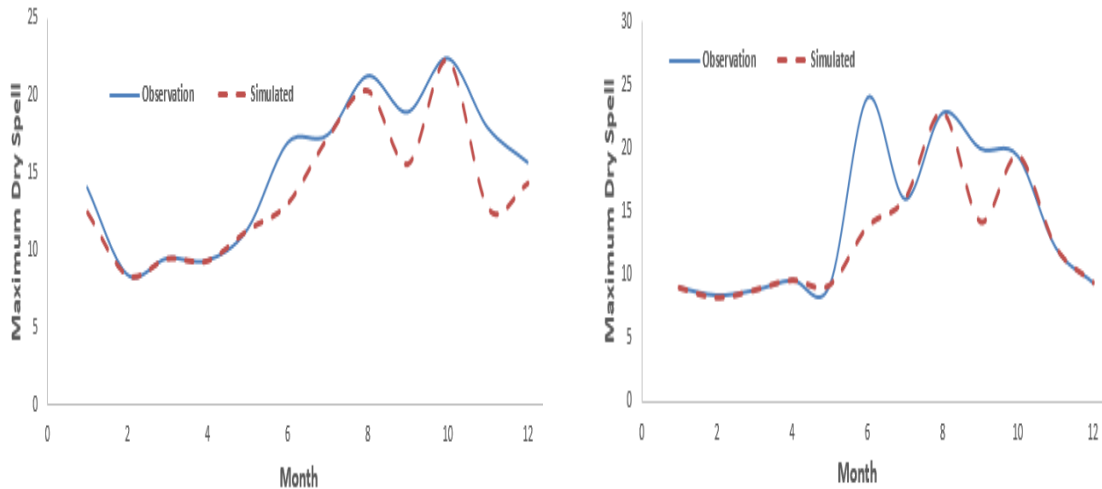


شکل (۵-۱۹) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست

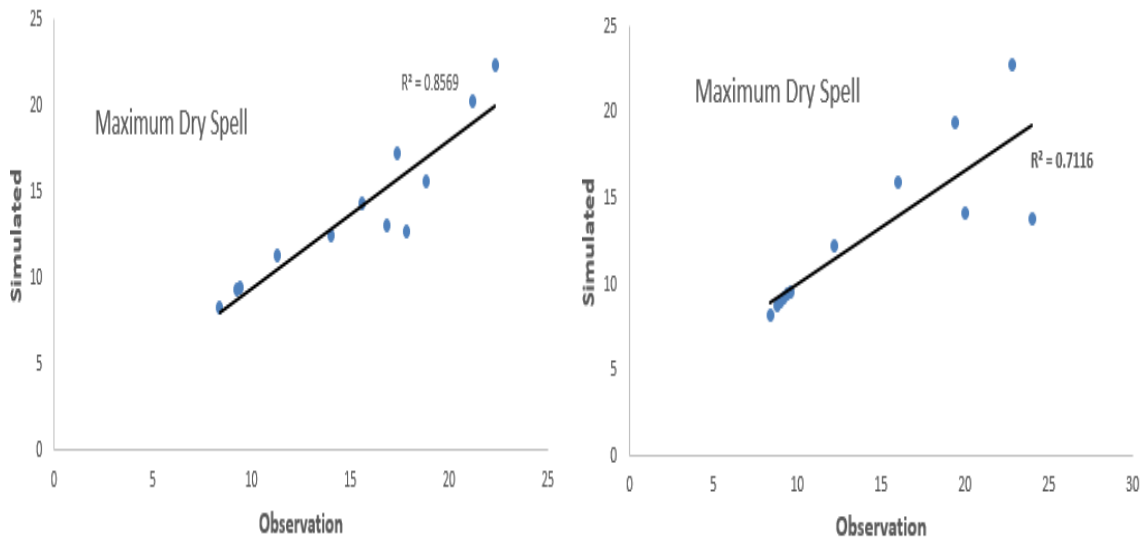


شکل (۵-۲۰) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست

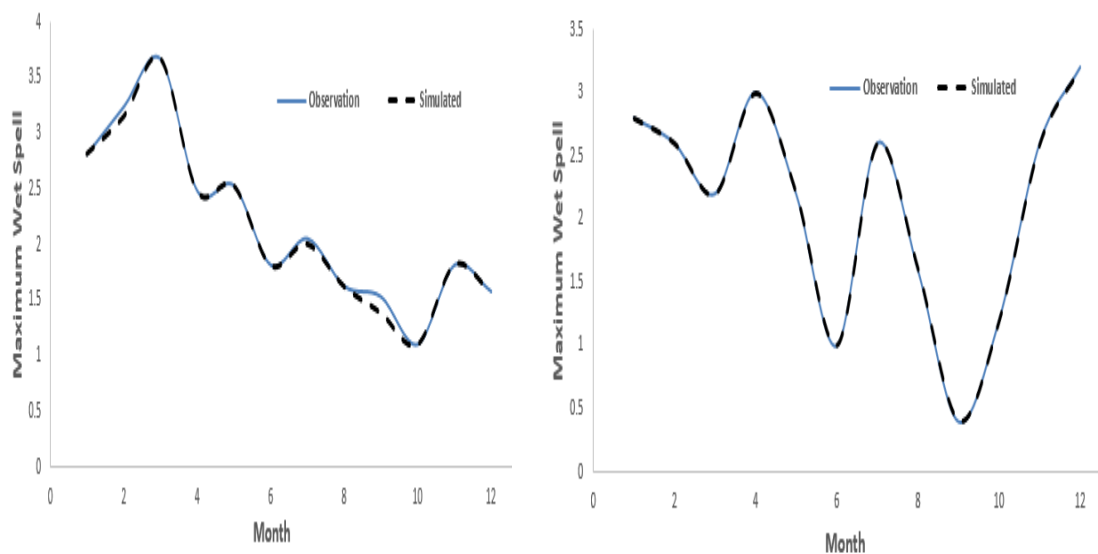
شکل‌های ۵-۲۱ تا ۵-۳۰ مربوط به نتایج خروجی روش ANFIS مربوط به مدل HADCM۳ برای همان ۵ پارامتری که در دو روش قبل نیز ذکر شد:



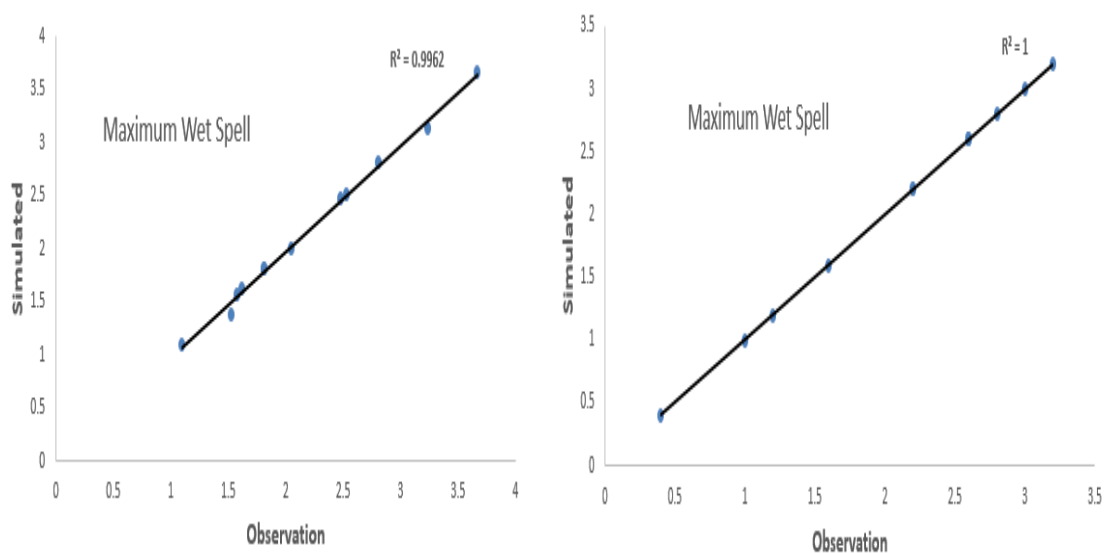
شکل (۵-۲۱) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



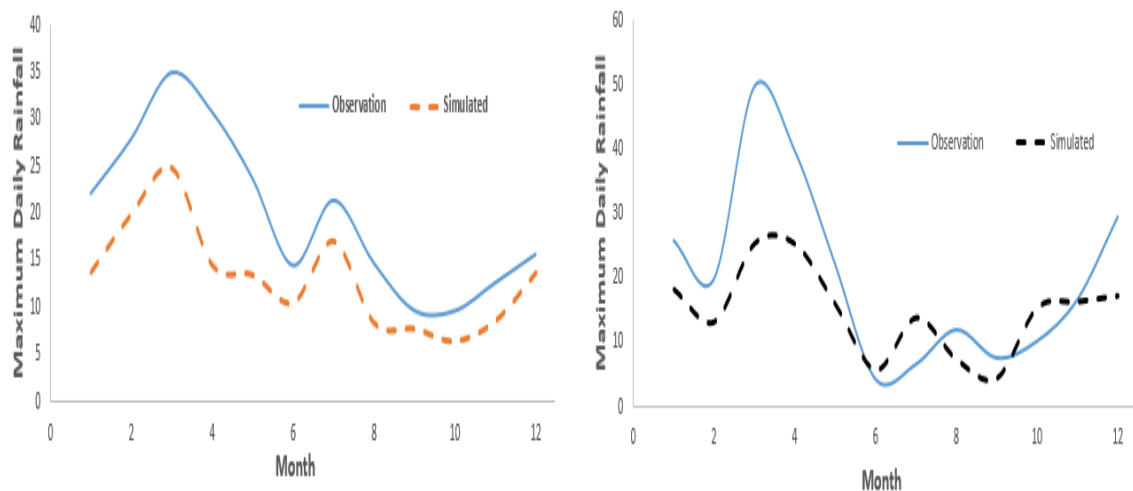
شکل (۵-۲۲) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



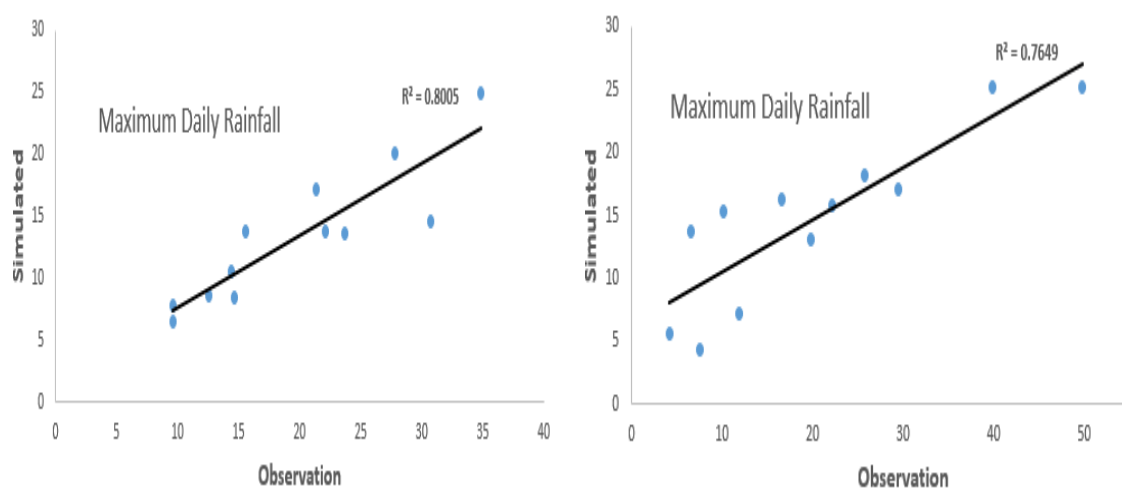
شکل (۵-۲۳) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



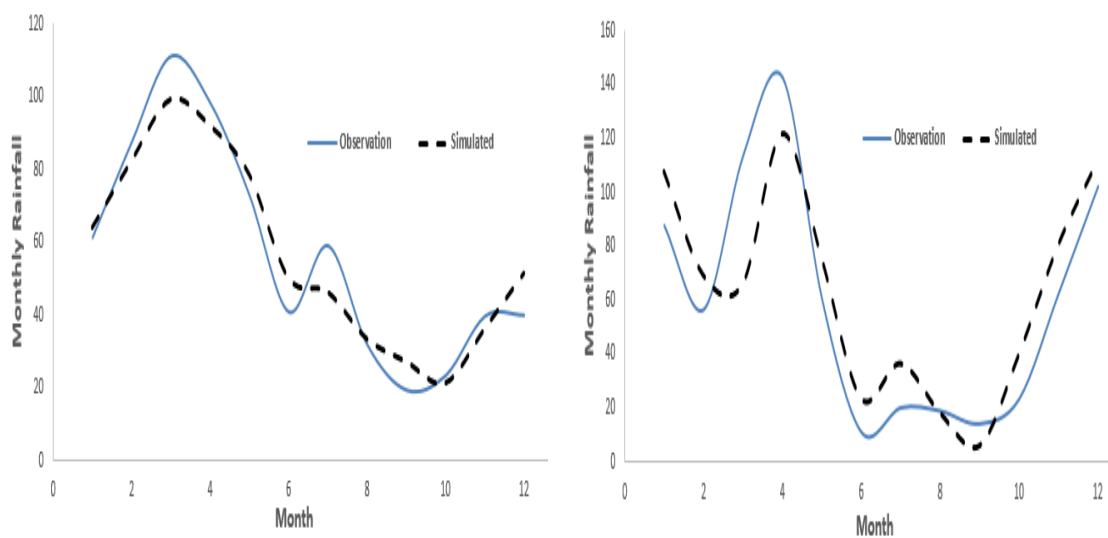
شکل (۵-۲۴) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



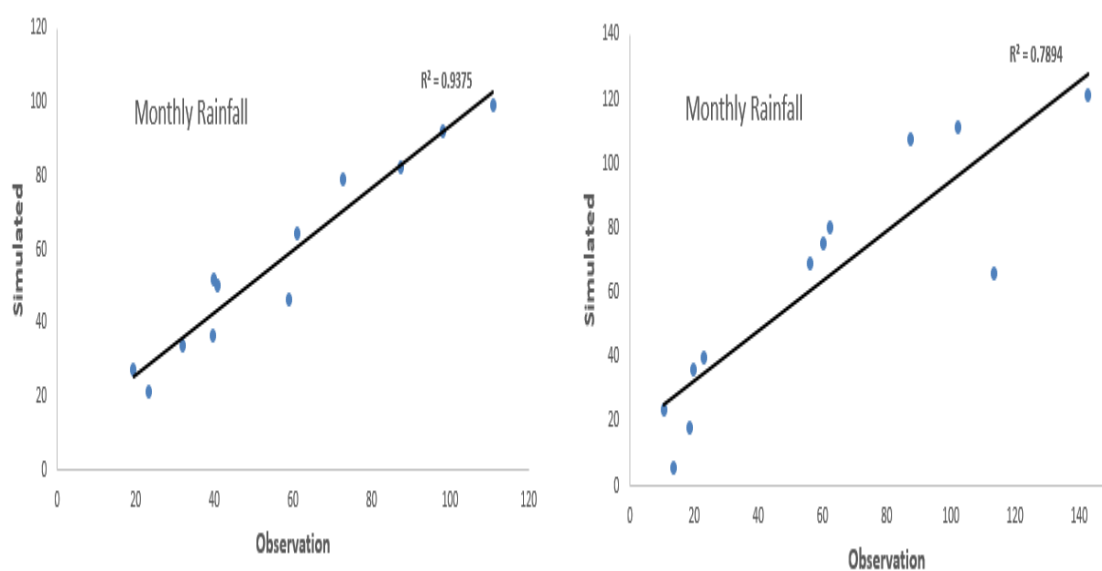
شکل (۵-۲۵) بیشترین بارش روزانه در ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM3 از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



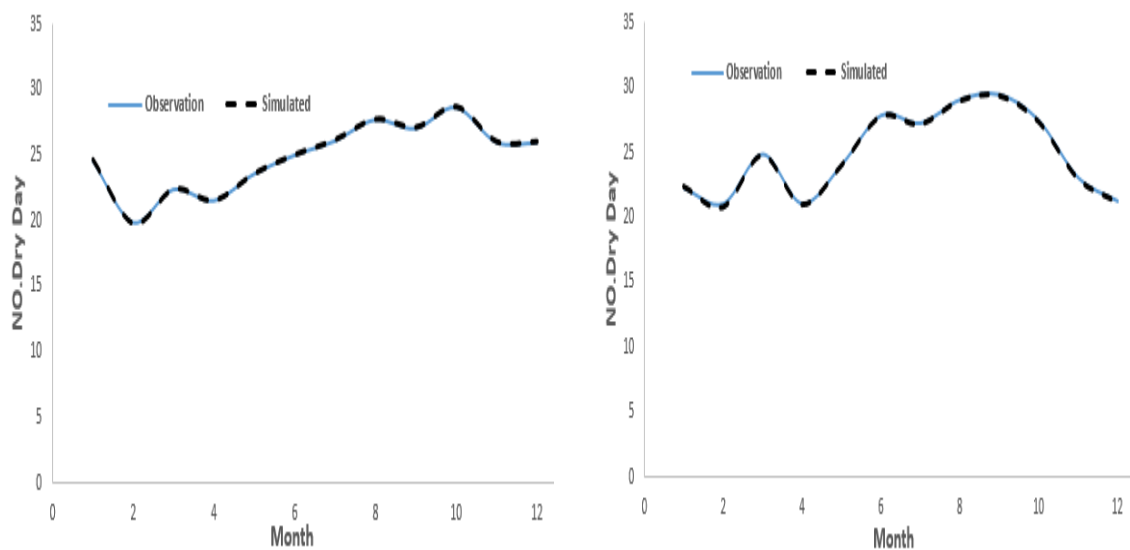
شکل (۵-۲۶) بیشترین بارش روزانه در ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM3 از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



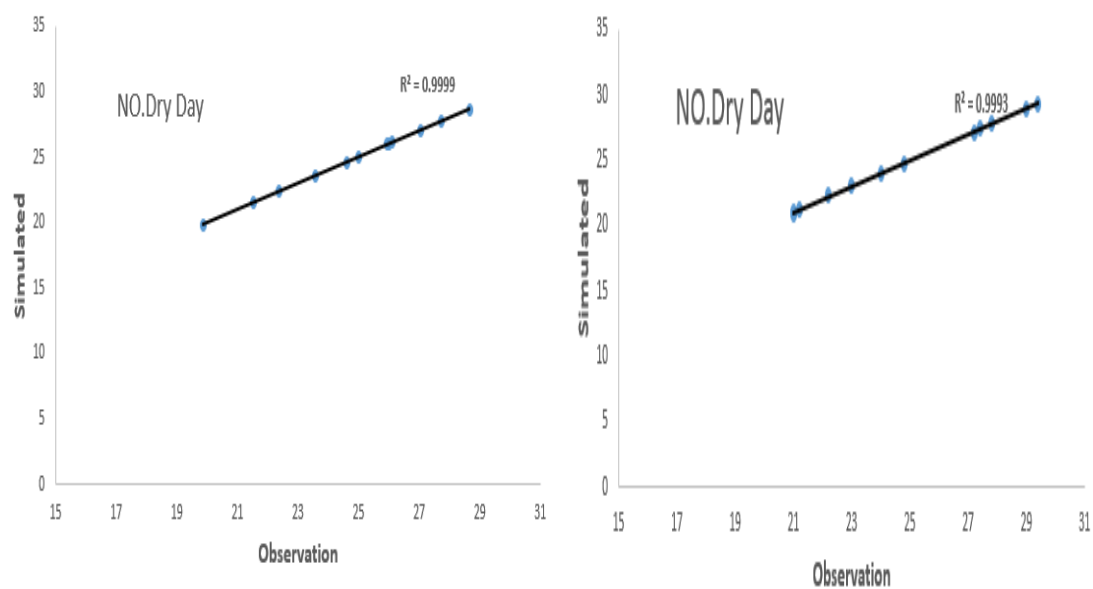
شکل (۵-۲۷) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



شکل (۵-۲۸) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



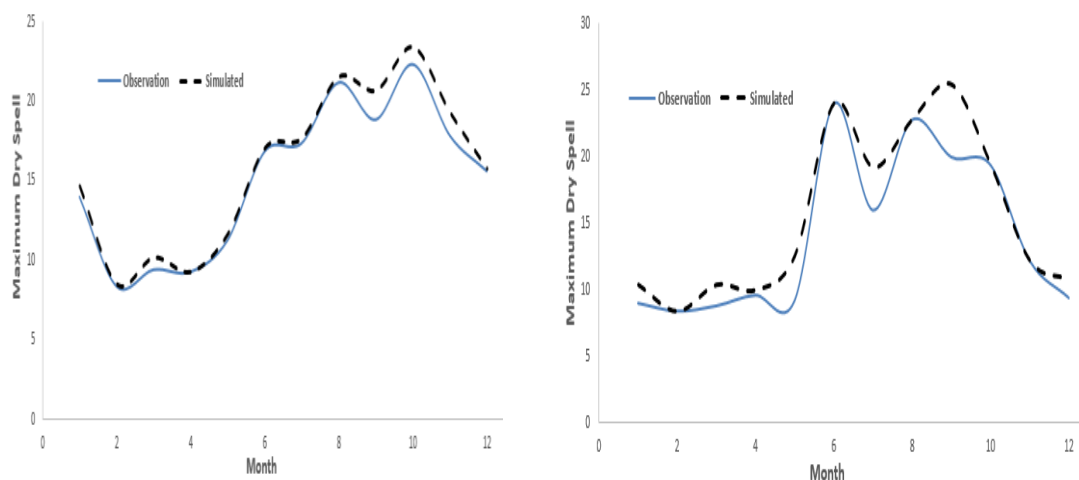
شکل (۵-۲۹) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



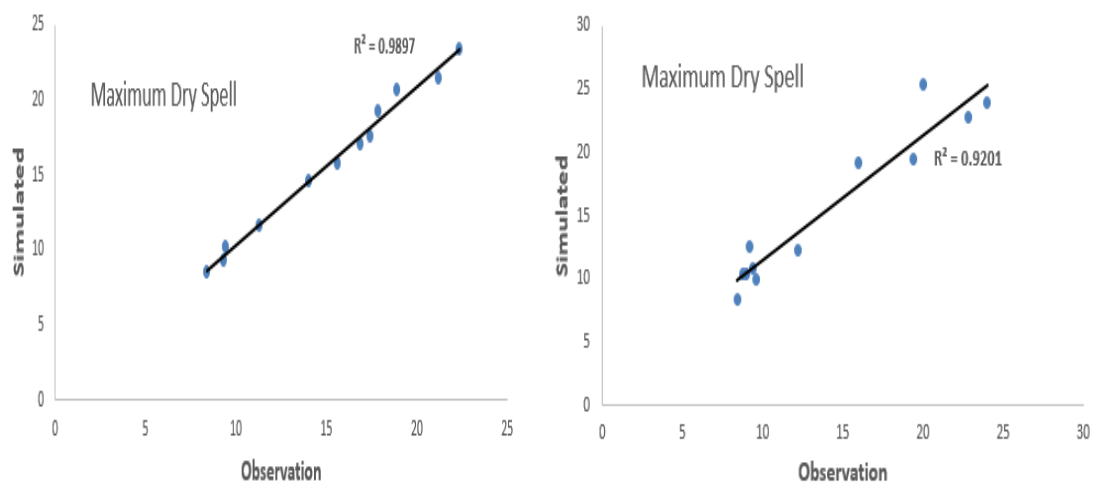
شکل (۵-۳۰) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل HADCM۳ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست

۵-۲-۲- نتایج مدل CanESM۲

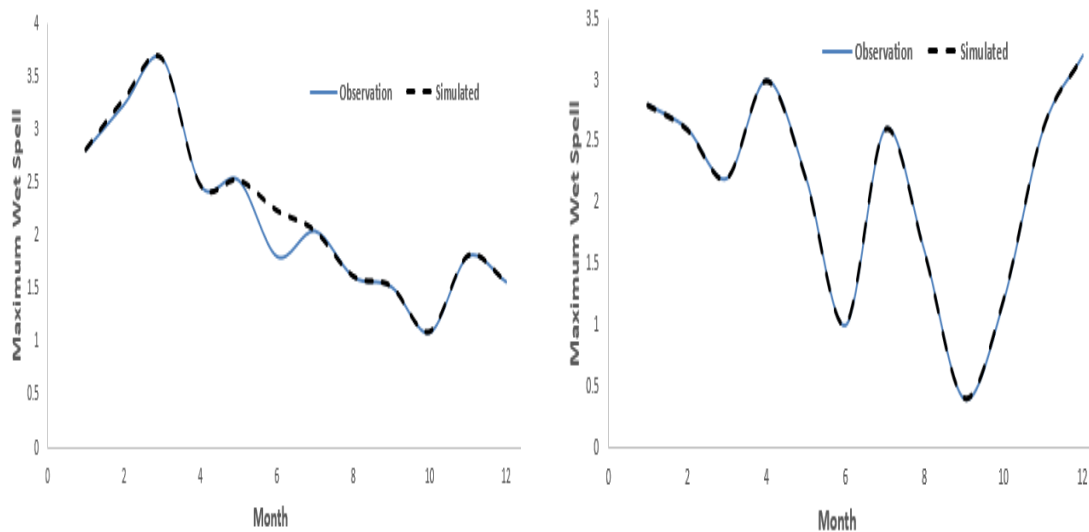
همچنین برای مدل CanESM۲ نیز مانند مدل HADCM۳ از ۵ متغیر بیشترین دوره‌ی روزهای خشک (Maximum Dry Spell)، بیشترین دوره‌ی روزهای مرطوب (Maximum Wet Spell)، بیشترین بارش روزانه در هر ماه (Maximum Dially Rainfall)، بارش ماهانه (Dialy Rainfall) و تعداد روزهای خشک در هر ماه (NO.Dry Day) استفاده شده است که در ابتدا نتایج روش شبکه عصبی مصنوعی برای این مدل در شکل‌های ۵-۳۱ تا ۵-۴۰ نشان می‌دهیم:



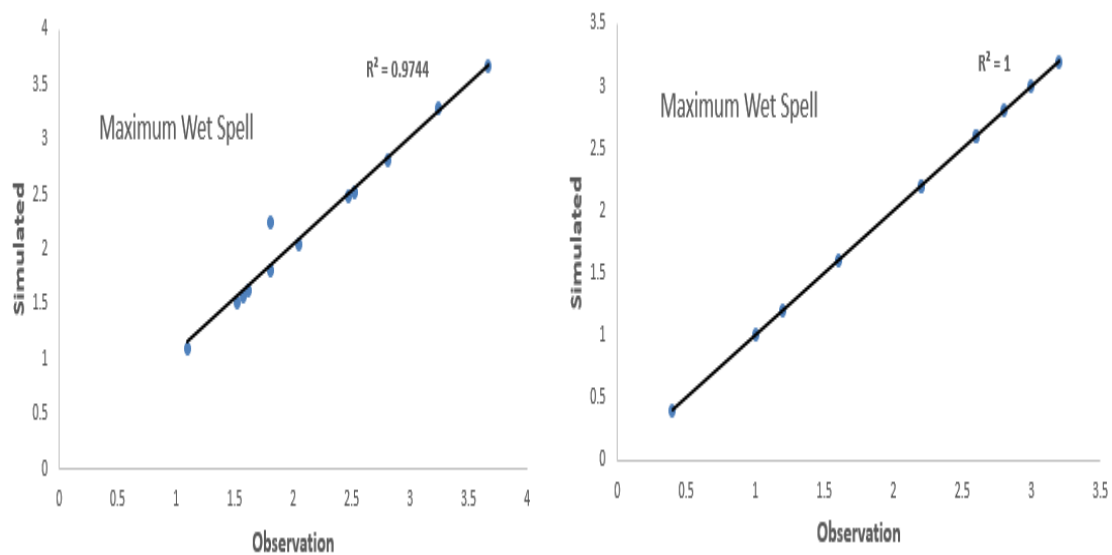
شکل (۵-۳۱) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



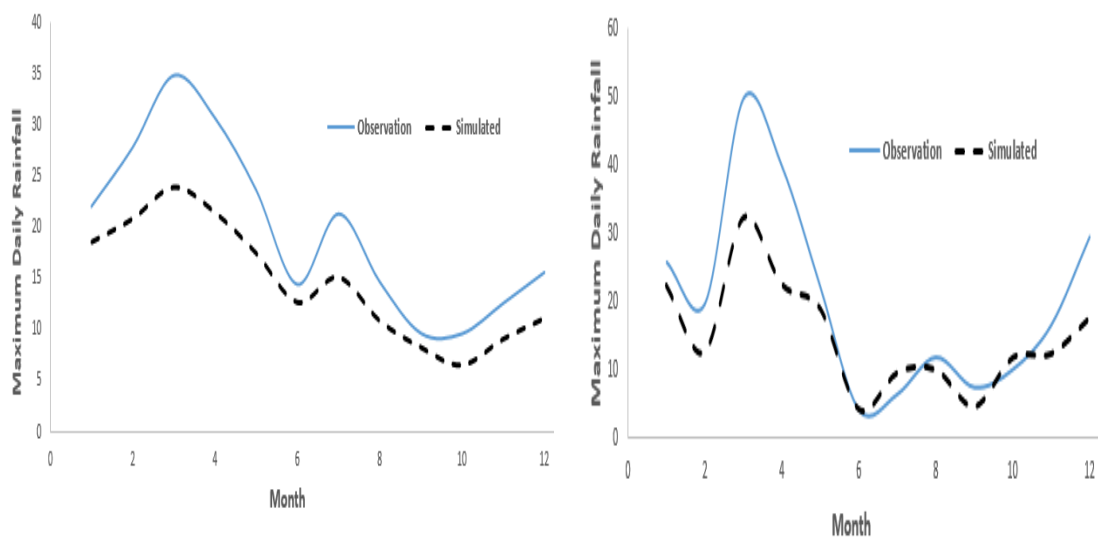
شکل (۵-۳۲) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



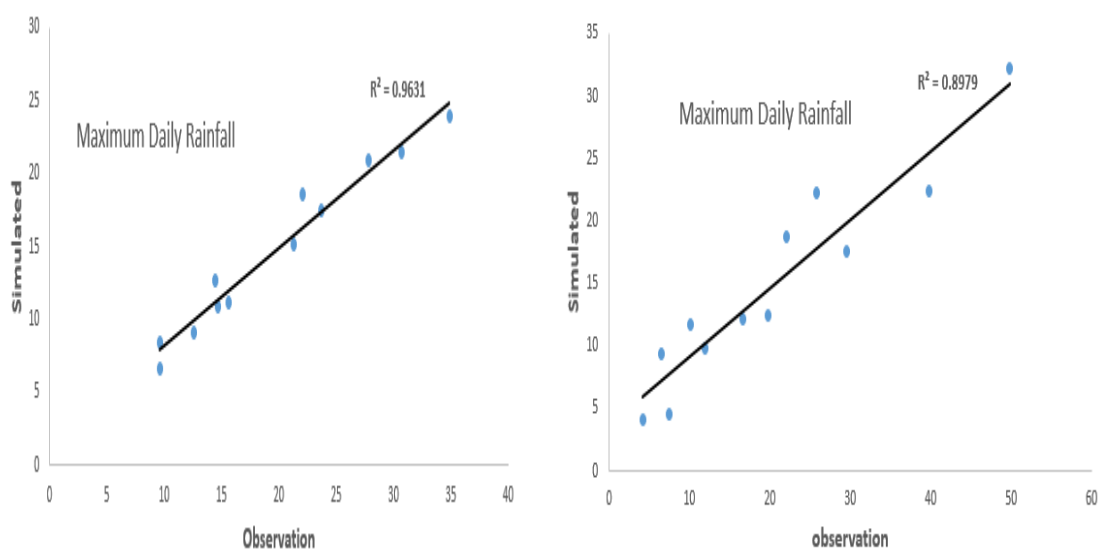
شکل (۳۳-۵) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



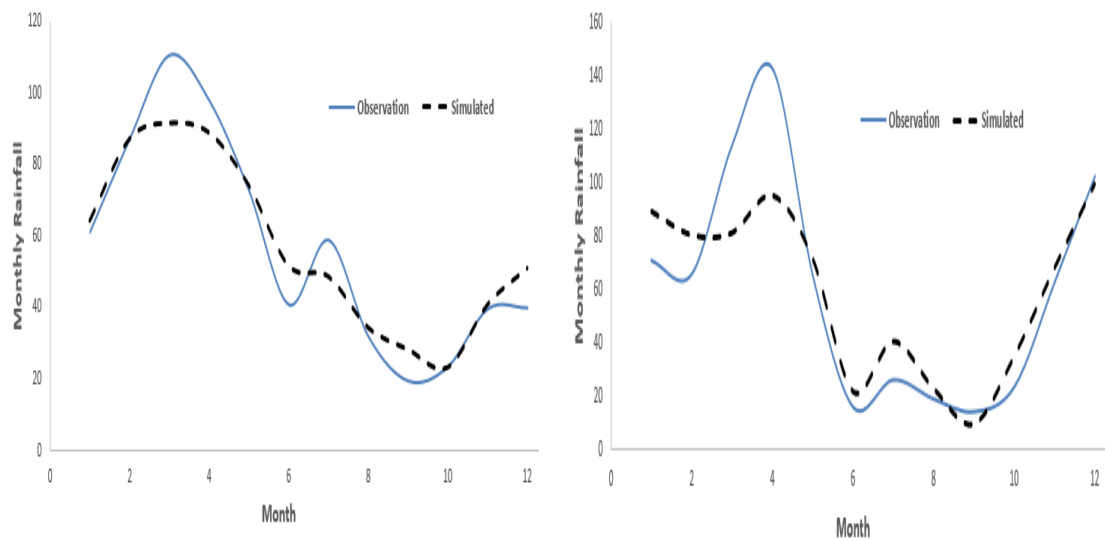
شکل (۳۴-۵) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



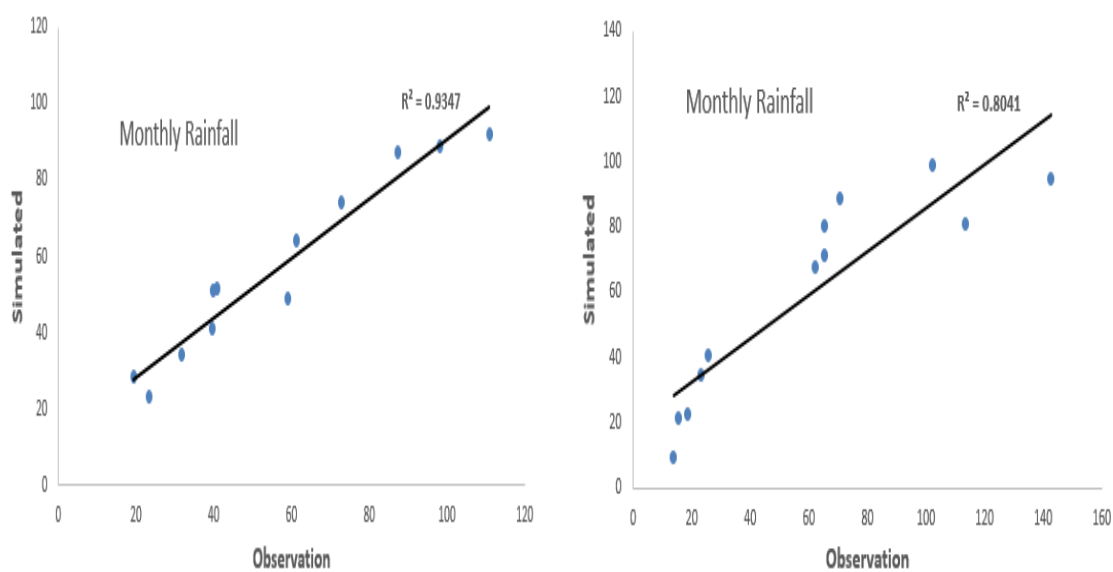
شکل (۵-۳) بیشترین بارش روزانه در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



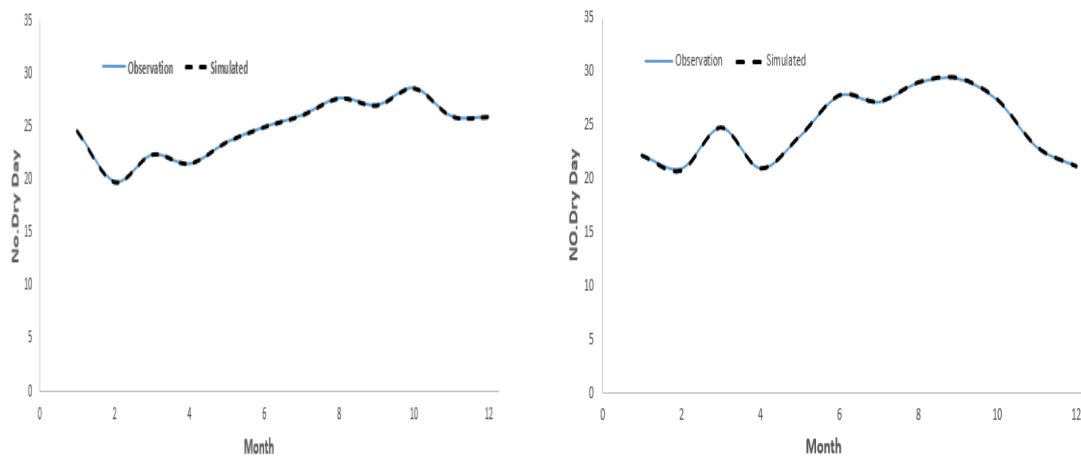
شکل (۵-۳۶) بیشترین بارش روزانه در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



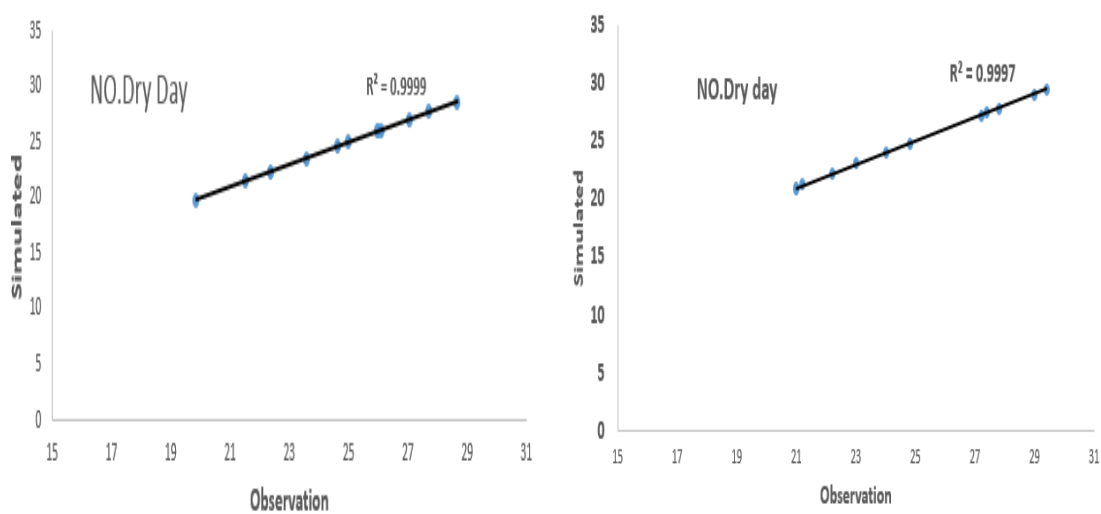
شکل (۵-۳۷) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



شکل (۵-۳۸) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست

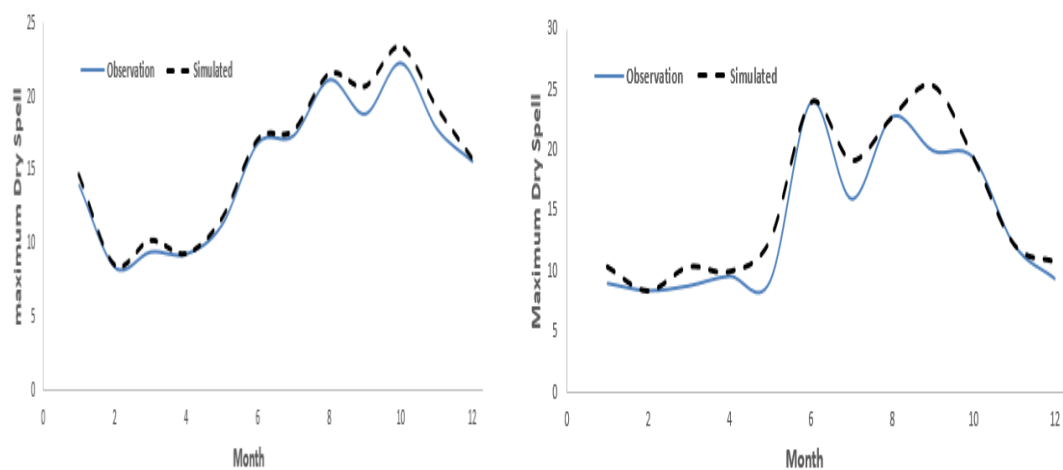


شکل (۵-۳۹) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست

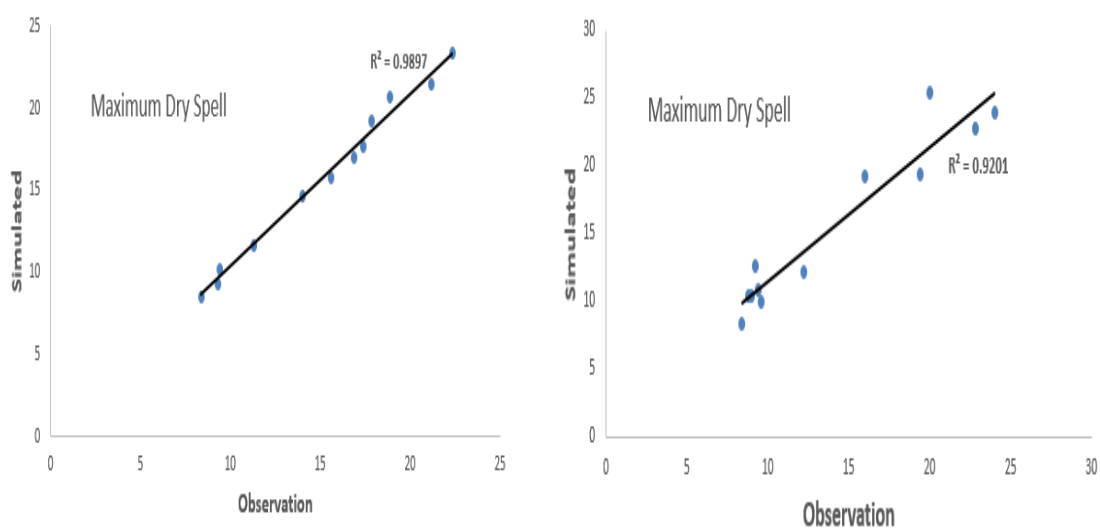


شکل (۵-۴۰) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست

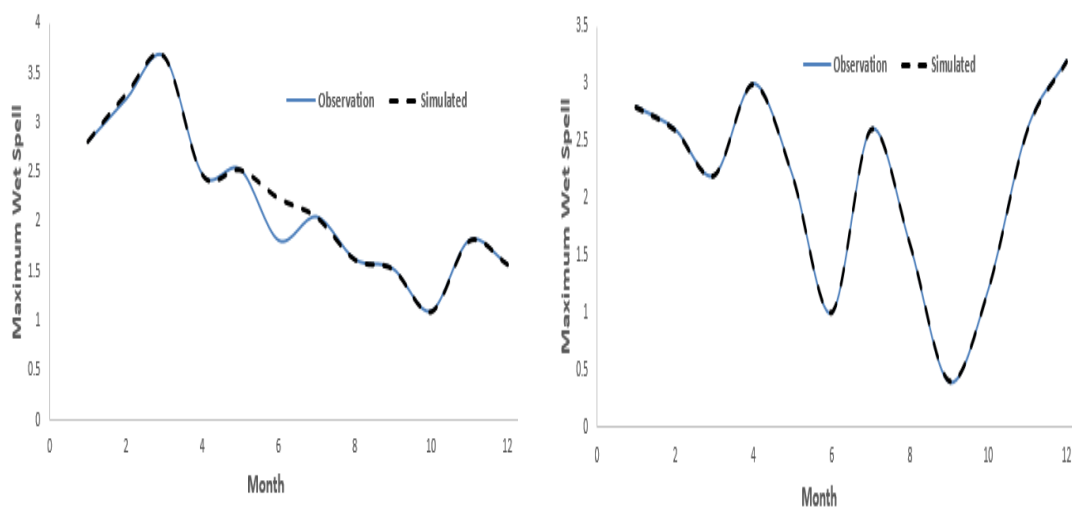
شکل‌های ۵-۴۱ تا ۵-۵۰ مربوط به نتایج خروجی روش KNN مربوط به مدل CanESM۲ برای همان ۵ پارامتری که در شبکه عصبی نیز ذکر شد:



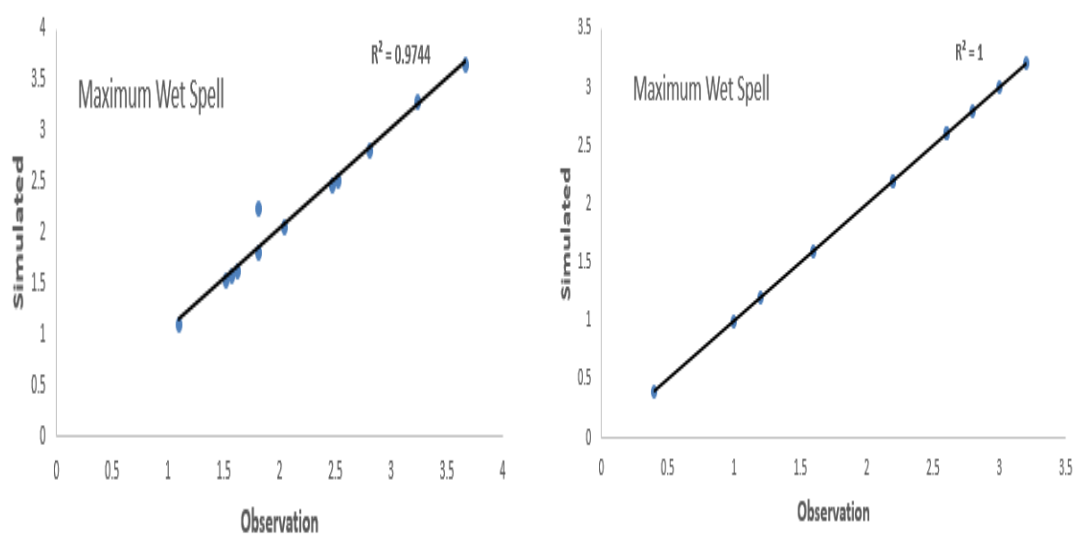
شکل (۴۱-۵) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



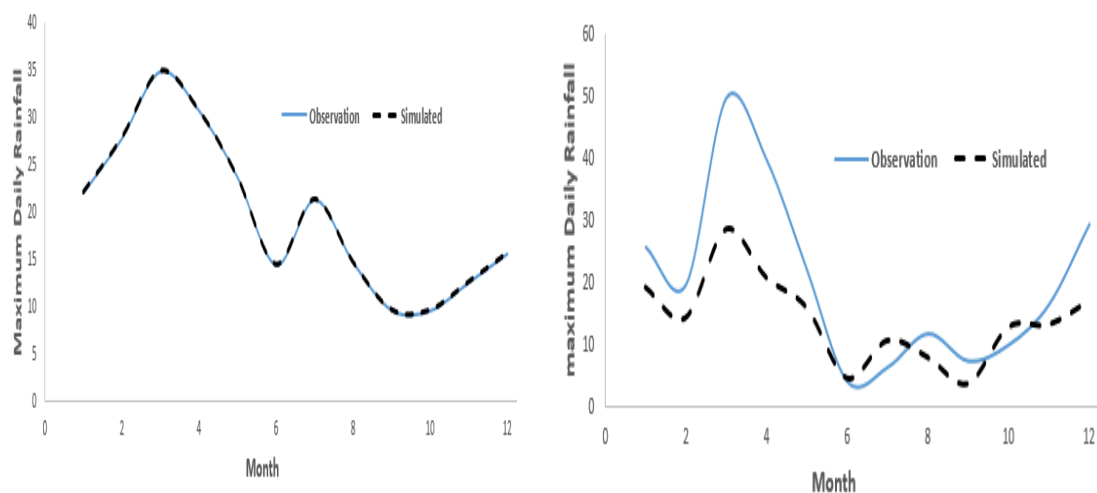
شکل (۴۲-۵) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



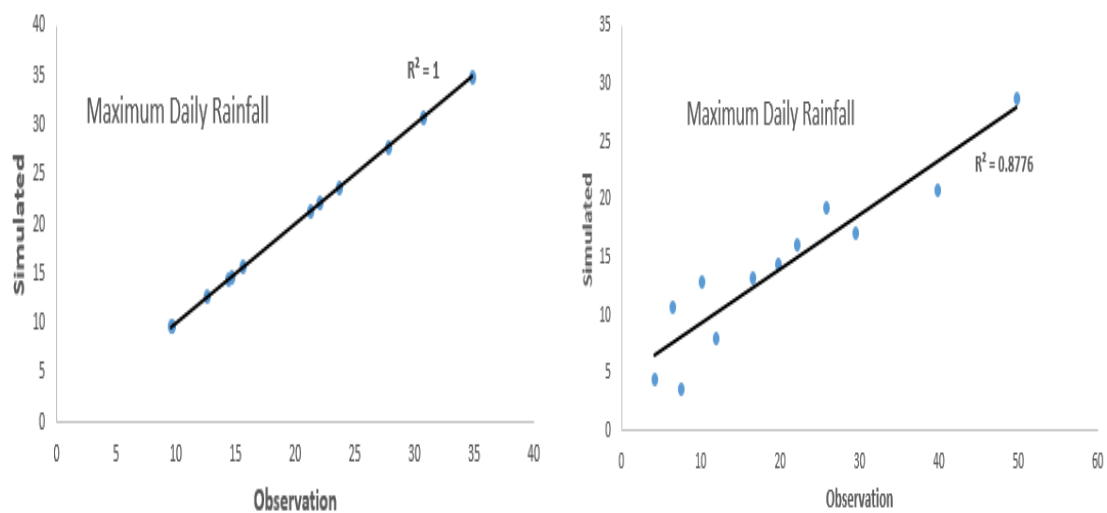
شکل (۴۳-۵) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



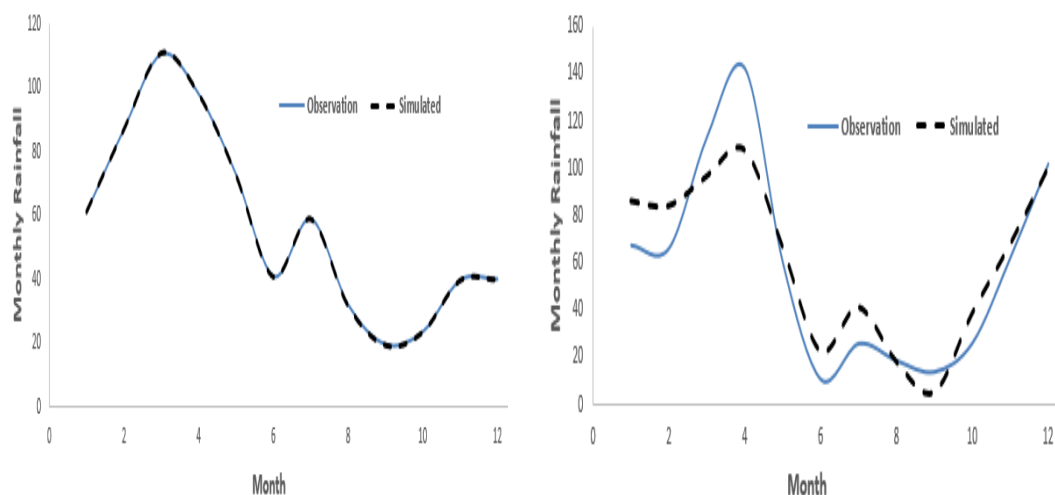
شکل (۴۴-۵) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



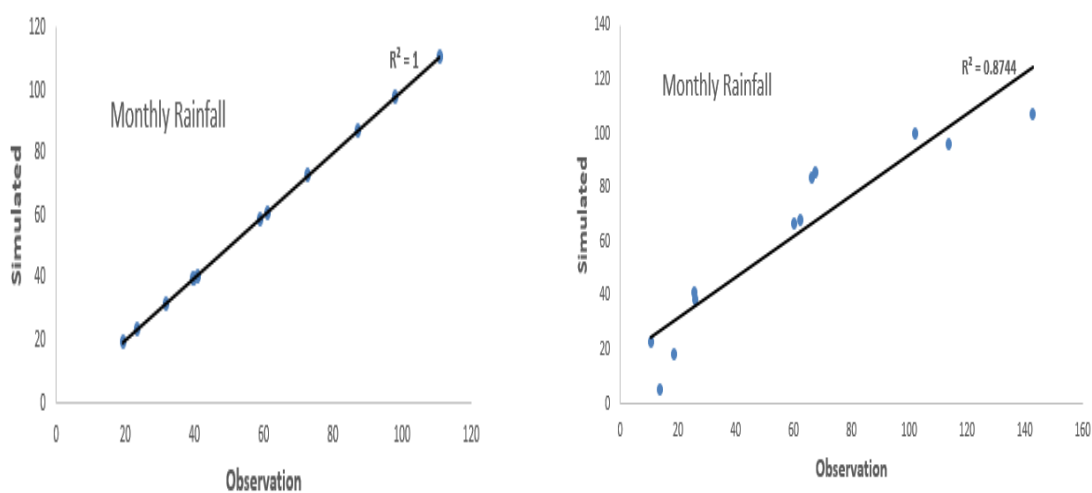
شکل (۴۵-۵) بیشترین بارش روزانه در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



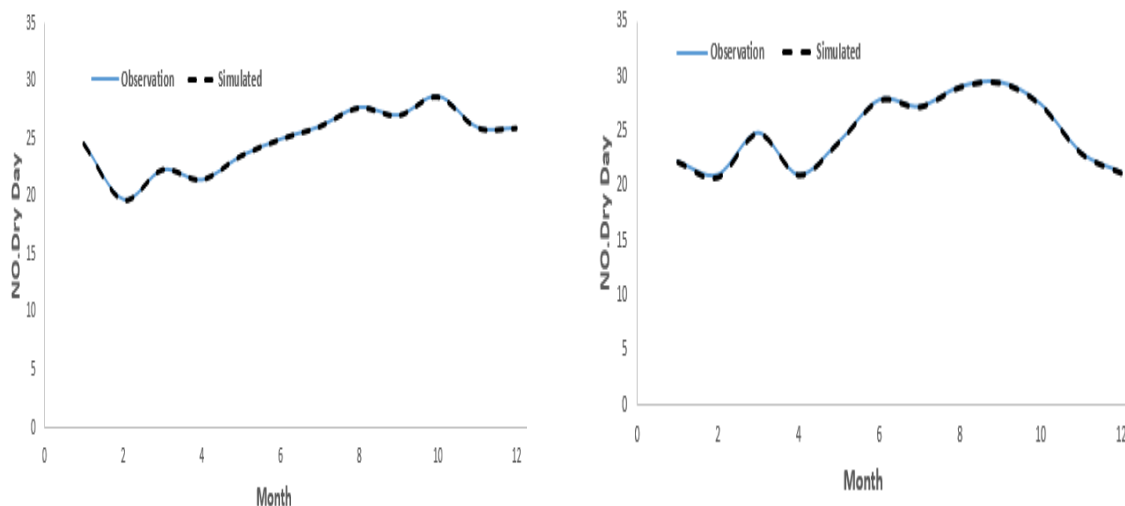
شکل (۴۶-۵) بیشترین بارش روزانه در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



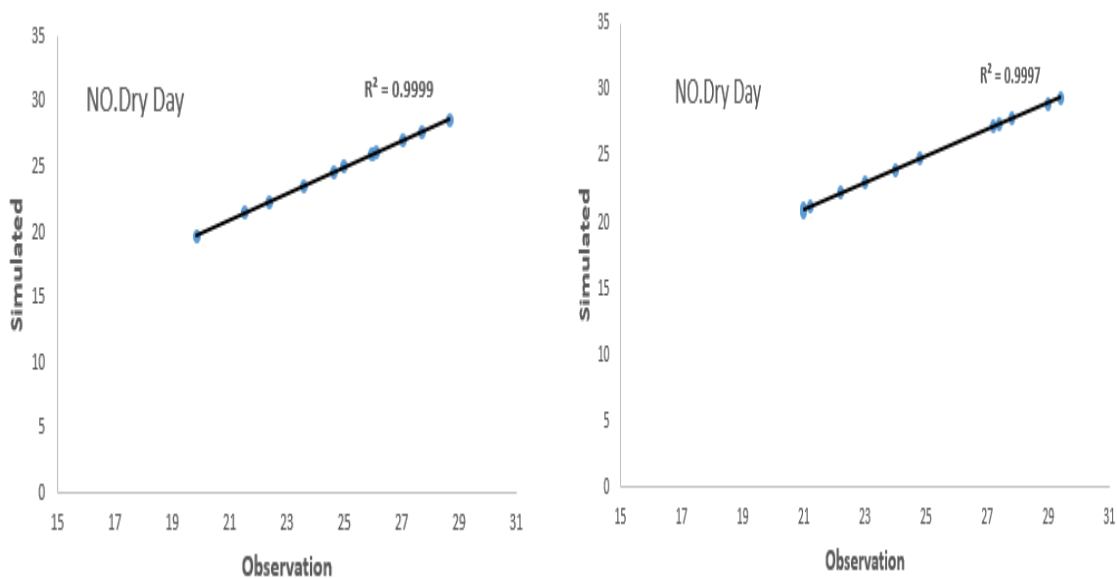
شکل (۴۷-۵) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



شکل (۴۸-۵) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست

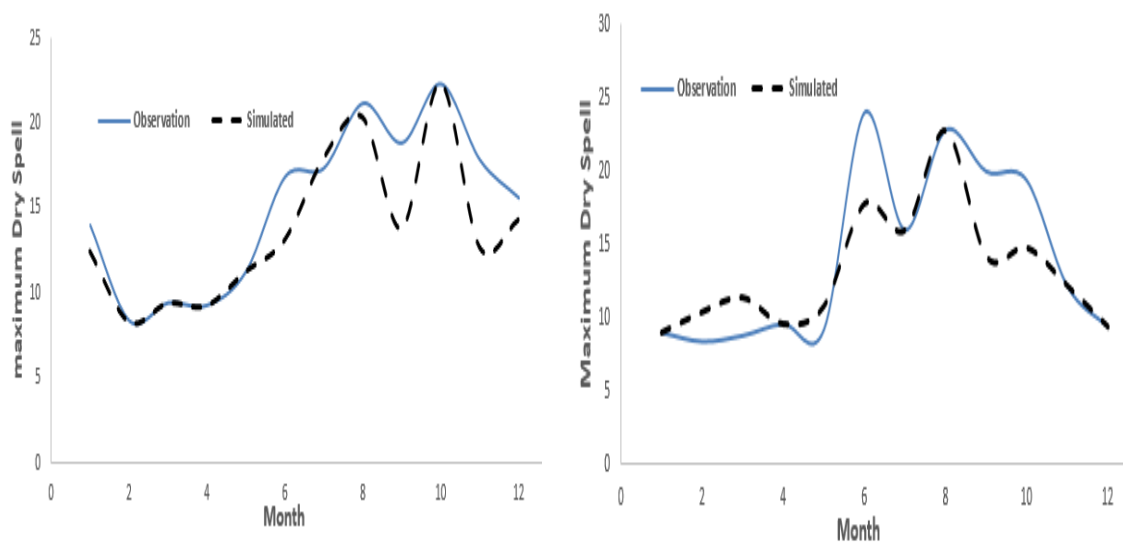


شکل (۵-۴۹) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست- تست

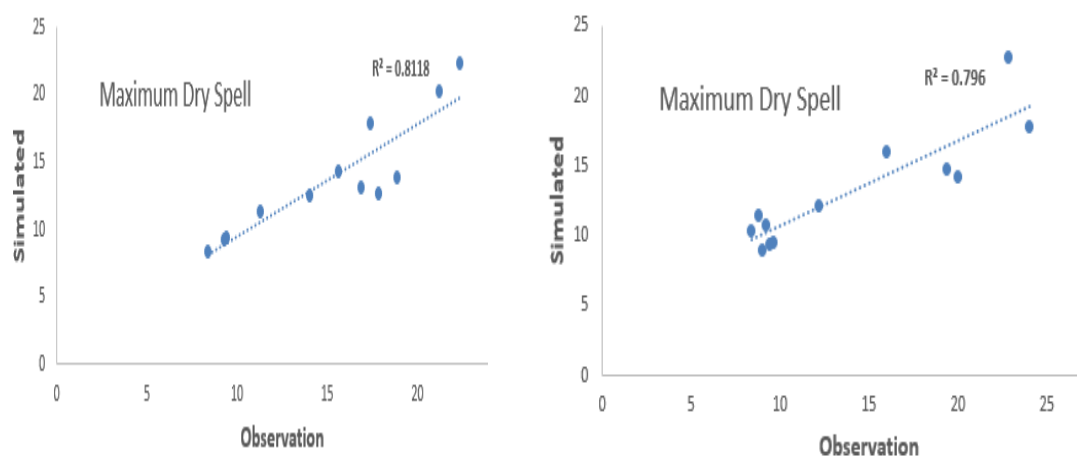


شکل (۵-۵۰) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش KNN برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست- تست

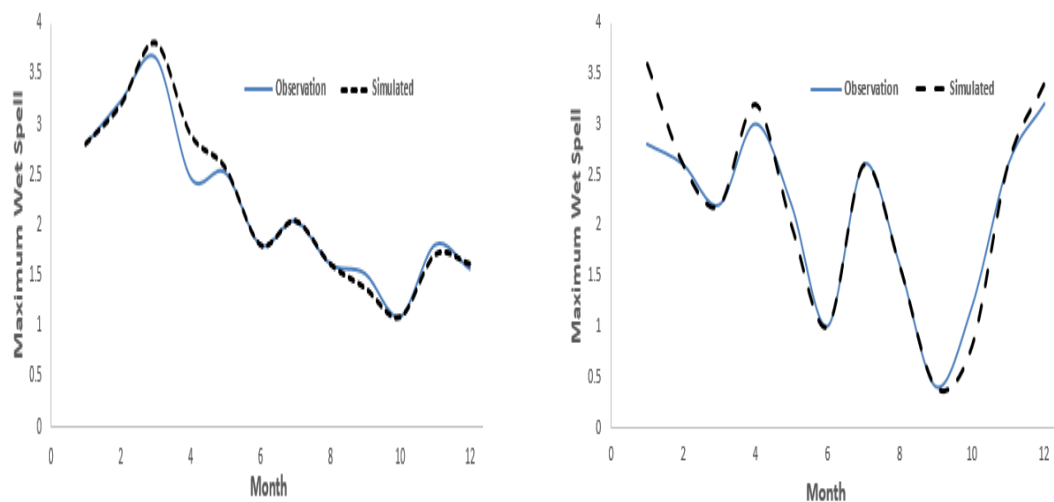
شکل‌های ۵-۵۱ تا ۵-۶۰ مربوط به نتایج خروجی روش ANFIS مربوط به مدل CanESM۲ برای همان ۵ پارامتری که در دو مدل قبل نیز ذکر شد:



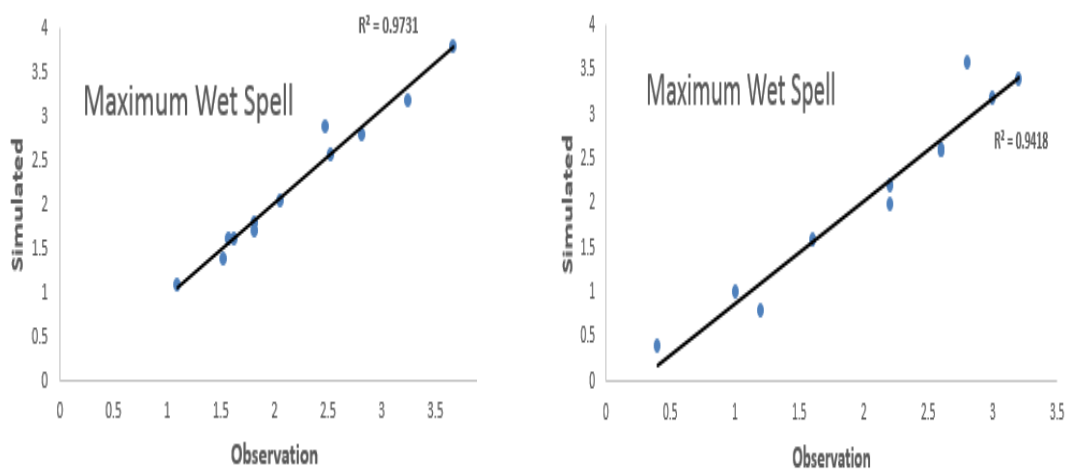
شکل (۵-۵۱) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



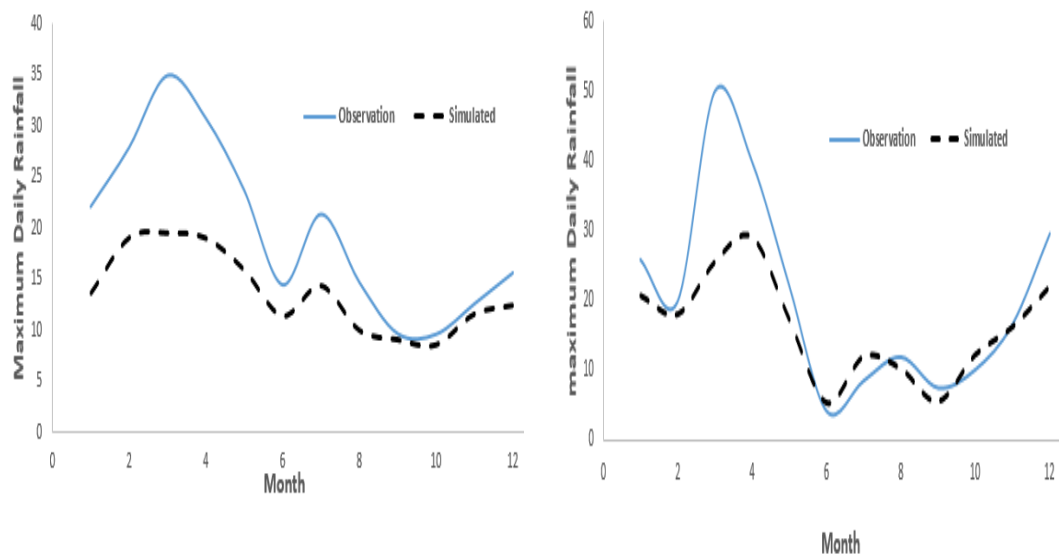
شکل (۵-۵۲) بیشترین دوره روزهای خشک ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



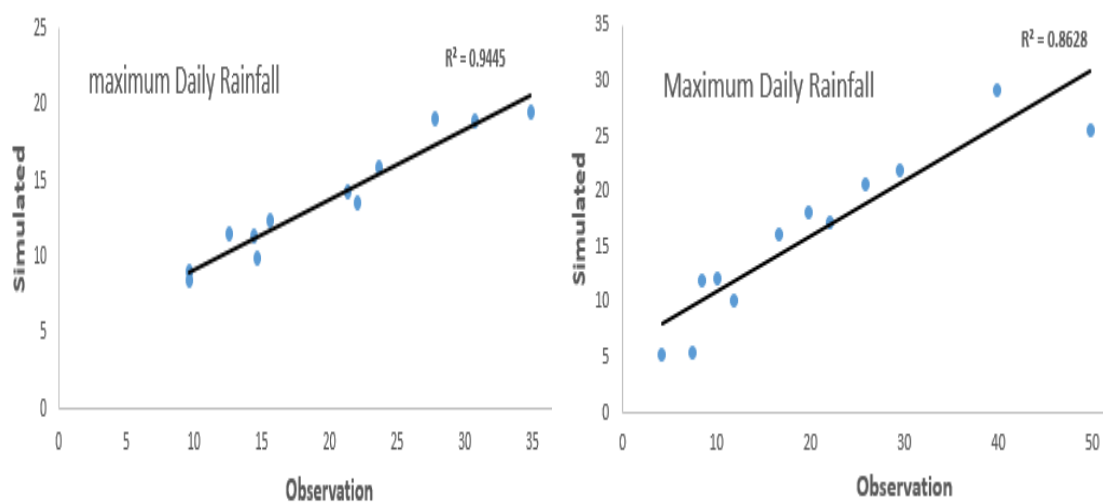
شکل (۵۳-۵) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



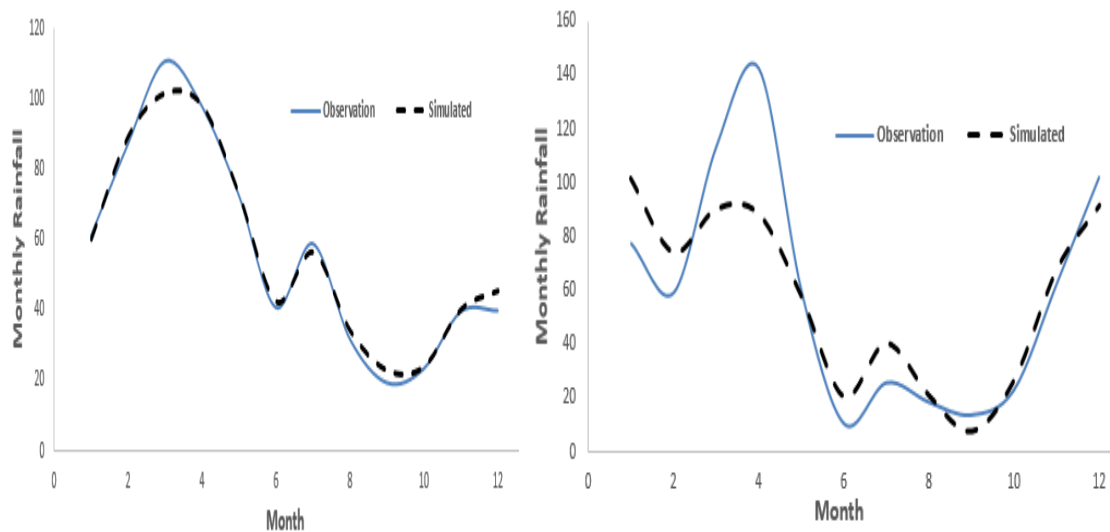
شکل (۵۴-۵) بیشترین دوره روزهای مرطوب ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



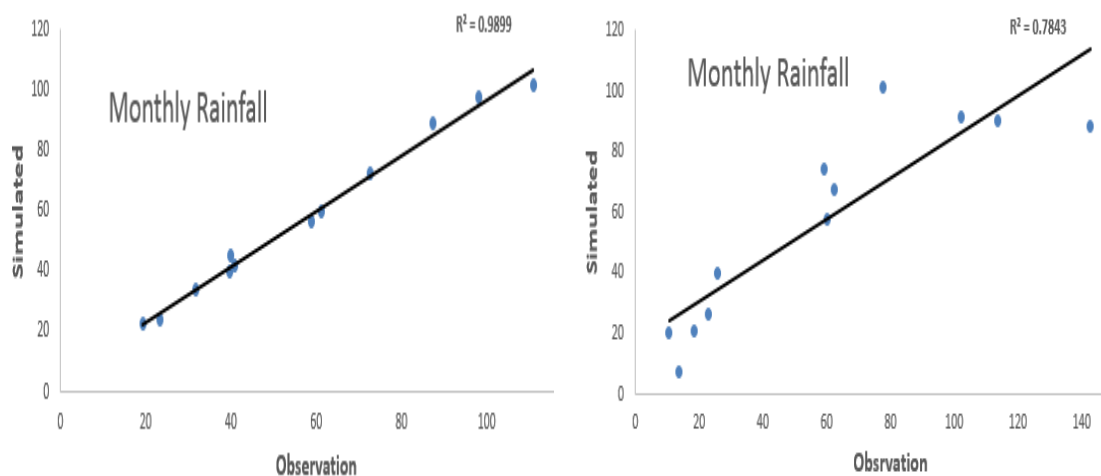
شکل (۵-۵۵) بیشترین بارش روزانه در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



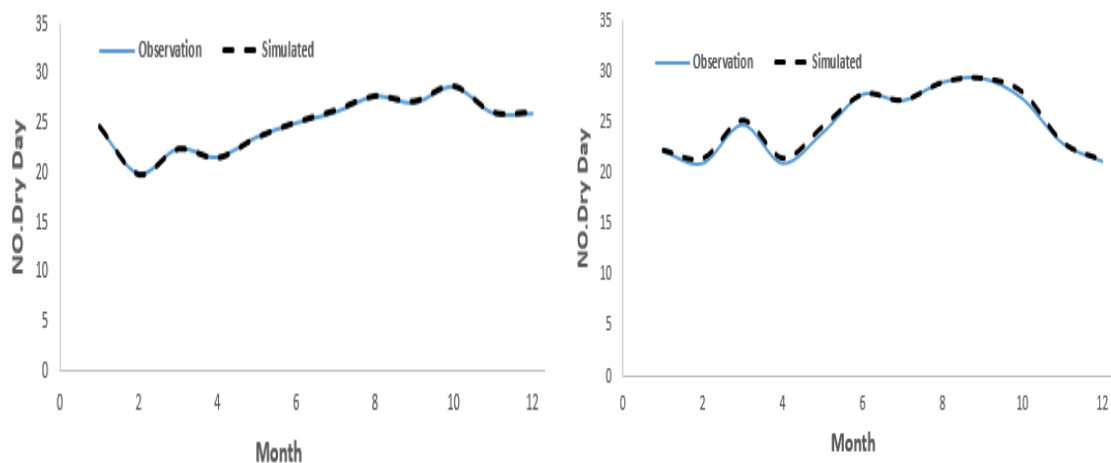
شکل (۵-۵۶) بیشترین بارش روزانه در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



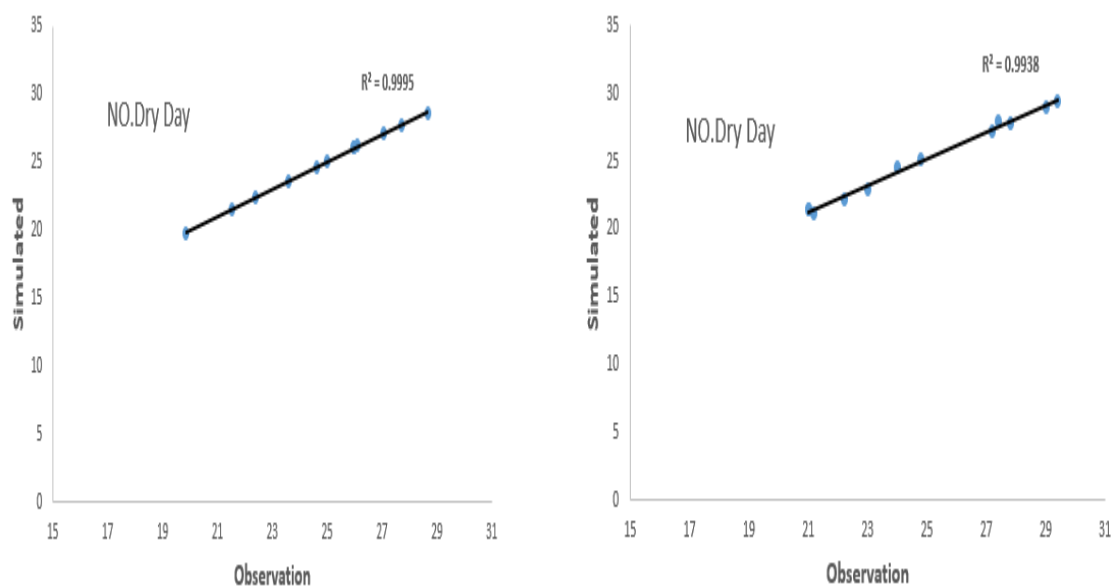
شکل (۵-۵۷) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



شکل (۵-۵۸) بارش ماهانه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ-آموزش و سمت راست-تست



شکل (۵-۵۹) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست



شکل (۵-۶۰) تعداد روزهای خشک در هر ماه برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل CanESM۲ از روش ANFIS برای داده‌های سمت چپ- آموزش و سمت راست- تست

۵-۳- پارامترهای آماری مورد استفاده جهت ارزیابی نتایج واسنجی و صحت‌سنجی

با توجه به نتایج فوق که در شکل‌های ۵-۱ تا ۵-۶ نشان داده شد، روش های مورد استفاده در این پژوهش برای دو مدل اقلیمی HADCM^۳ و CanESM^۲ را با استفاده از سه معیار متوسط قدر مطلق خطا، ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی، ارزیابی و نتایج در جداول شماره ۵-۱ تا ۵-۶ ارائه شده است.

جدول (۵-۱) روش شبکه عصبی مصنوعی برای مدل HADCM^۳

Simulated Parameters	MAE		RMAE		R	
	Train	Test	Train	Test	Train	Test
Maximum Dry Spell	۰/۶۳	۰/۴۲۵	۰/۰۳۶	۰/۰۲	۰/۸۶۹۲	۰/۹۰۸۲
Maximum Wet Spell	۰/۰۰۳	۰	۰/۰۰۱	۰	۰/۹۹۸۹	۱
Maximum Monthly Rainfall	۳/۴۷	۴/۱۱	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۶۹۶۸	۰/۵۹۳۷
Monthly Rainfall	۲/۹۶	۶/۸۷	۰/۰۵۹	۰/۱۷	۰/۹۴۶۱	۰/۸۳۵۳
Number of Dry Days	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۷

جدول (۵-۲) روش K- نزدیک ترین همسایگی برای مدل HADCM^۳

Simulated Parameters	MAE		RMAE		R	
	Train	Test	Train	Test	Train	Test
Maximum Dry Spell	۰/۵۸	۰/۳۹	۰/۳	۰/۰۱	۰/۹۰۱۳	۰/۸۹۱۹
Maximum Wet Spell	۰/۰۰۳	۰	۰/۰۰۱	۰	۰/۹۹۸۹	۱
Maximum Monthly Rainfall	۰	۳/۷۳	۰	۰/۱۷	۱	۰/۹۰۱۲
Monthly Rainfall	۰	۷/۵۸	۰	۰/۱۸	۱	۰/۸۲۳۵
Number of Dry Days	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۷

جدول (۳-۵) روش استنتاج عصبی - فازی تطبیقی برای مدل HADCM^۳

Simulated Parameters	MAE		RMAE		R	
	Train	Test	Train	Test	Train	Test
Maximum Dry Spell	۰/۶۷۲	۰/۶۷۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۸۵۶۹	۰/۷۱۱۶
Maximum Wet Spell	۰/۰۱۱	۰	۰/۰۰۶۱	۰	۰/۹۹۶۲	۱
Maximum Monthly Rainfall	۳/۲۲	۳/۹۲	۰/۱۵	۰/۲	۰/۸۰۰۵	۰/۷۶۴۹
Monthly Rainfall	۳/۲۲	۸/۲۸	۰/۰۷	۰/۲	۰/۹۳۷۵	۰/۷۸۹۴
Number of Dry Days	۰/۰۰۹	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۷	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۳

جدول (۴-۵) روش شبکه عصبی مصنوعی برای مدل CanESM^۲

Simulated Parameters	MAE		RMAE		R	
	Train	Test	Train	Test	Train	Test
Maximum Dry Spell	۱/۸۹	۰/۶۷	۰/۱۵۲	۰/۳۱۴	۰/۹۸۹۷	۰/۹۲۰۱
Maximum Wet Spell	۰/۰۰۵	۰	۰/۰۰۲	۰	۰/۹۷۴۴	۱
Maximum Monthly Rainfall	۱/۳۶۹	۴/۹۳	۰/۰۷۳	۰/۵۶	۰/۹۶۳۱	۰/۸۹۷۹
Monthly Rainfall	۱/۷۸	۶/۸	۰/۱۱۱	۰/۳۶	۰/۹۳۴۷	۰/۸۰۴۱
Number of Dry Days	۰/۳۵	۲/۰۳	۰/۰۱۵	۰/۰۸۴	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۷

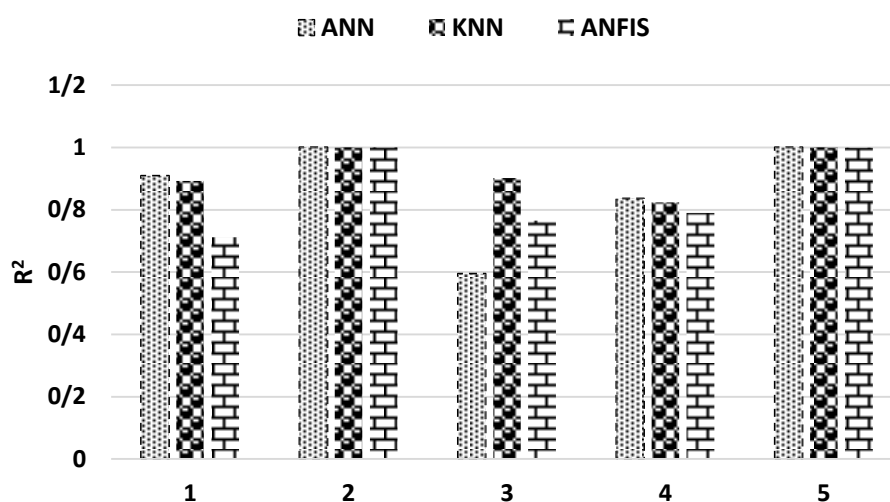
جدول (۵-۵) روش K- نزدیک ترین همسایگی برای مدل CanESM^۲

Simulated Parameters	MAE		RMAE		R	
	Train	Test	Train	Test	Train	Test
Maximum Dry Spell	۰/۲۹	۰/۷	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۹۸۹۷	۰/۹۲۰۱
Maximum Wet Spell	۰/۰۰۵	۰	۰/۰۰۲	۰	۰/۹۷۴۴	۱
Maximum Monthly Rainfall	۰	۵/۱	۰	۰/۲۱	۱	۰/۸۷۷۶
Monthly Rainfall	۰/۰۱	۶/۰۳	۰	۰/۲۴	۱	۰/۸۷۴۴
Number of Dry Days	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۷

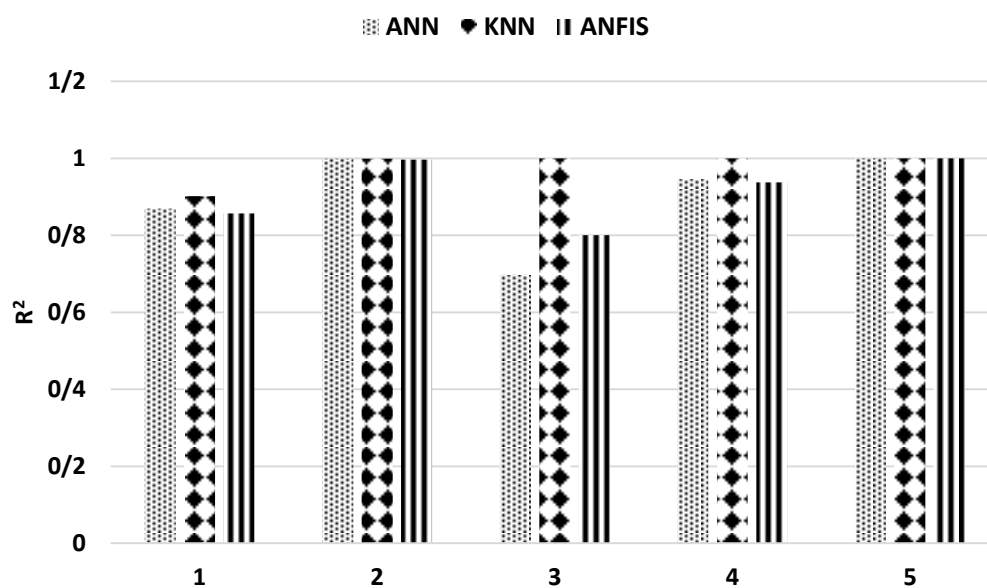
جدول (۵-۶) روش استنتاج عصبی - فازی تطبیقی برای مدل CanESM^۲

Simulated Parameters	MAE		RMAE		R	
	Train	Test	Train	Test	Train	Test
Maximum Dry Spell	۰/۷۵	۰/۹۵	۰/۰۴۳	۰/۰۶۲	۰/۸۱۱۸	۰/۷۹۶
Maximum Wet Spell	۰/۰۳۹	۰/۰۷۵	۰/۰۱۷	۰/۰۳۴	۰/۹۷۳۱	۰/۹۴۱۸
Maximum Monthly Rainfall	۳/۰۵	۲/۶۹	۰/۱۱۳	۰/۱۱۷	۰/۹۴۴۵	۰/۸۶۲۸
Monthly Rainfall	۱/۱۸۶	۷/۱۴۴	۰/۰۲۵	۰/۱۵	۰/۹۸۹۹	۰/۷۸۴۳
Number of Dry Days	۰/۰۳۳	۰/۰۱	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۴۲	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۳۸

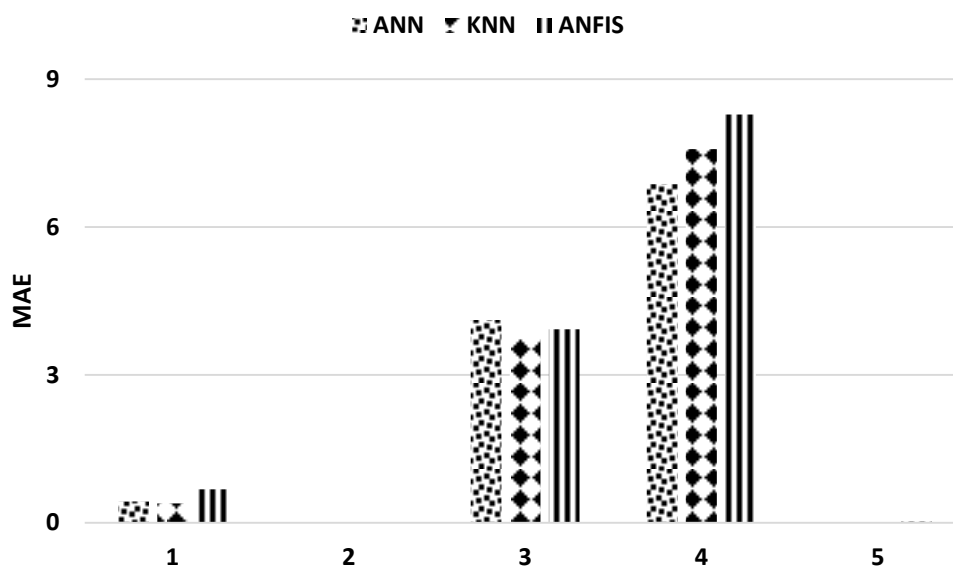
برای مقایسه‌ی بهتر معیارهای ارزیابی، آنها را در شکل‌های ۵-۶۱ تا ۵-۶۸ با یکدیگر مورد مقایسه قرار داده شده است که در این شکل‌ها برای وضوح بهتر شکل، از اعداد ۱ تا ۵ در محور افقی استفاده شده است که به ترتیب بیانگر بیشترین دوره روزهای خشک، بیشترین دوره روزهای مرطوب، بیشترین بارش روزانه در هر ماه، بارش ماهانه و تعداد روزهای خشک در هر ماه می‌باشد.



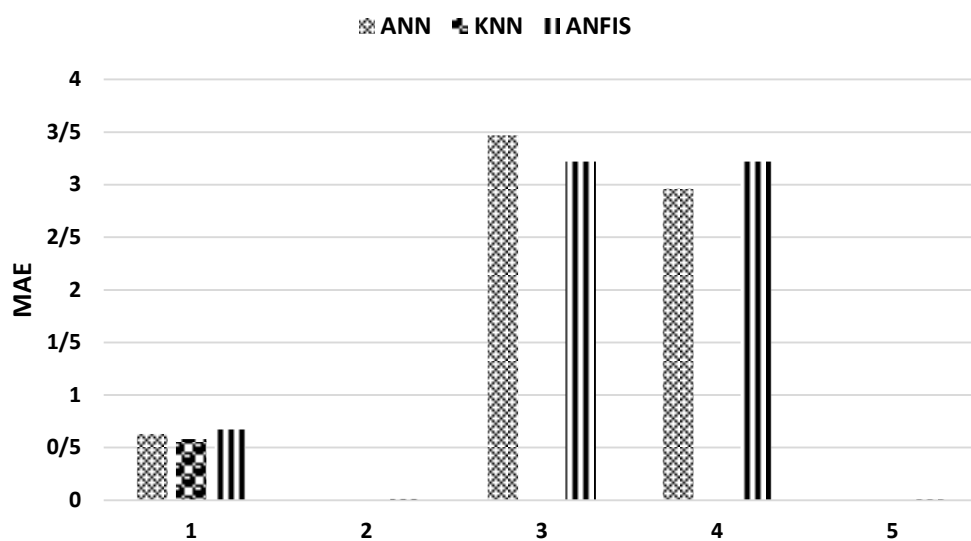
شکل (۵-۶۱) مقدار R^2 مربوط به مدل HadCM^۳ و برای قسمت آزمایش



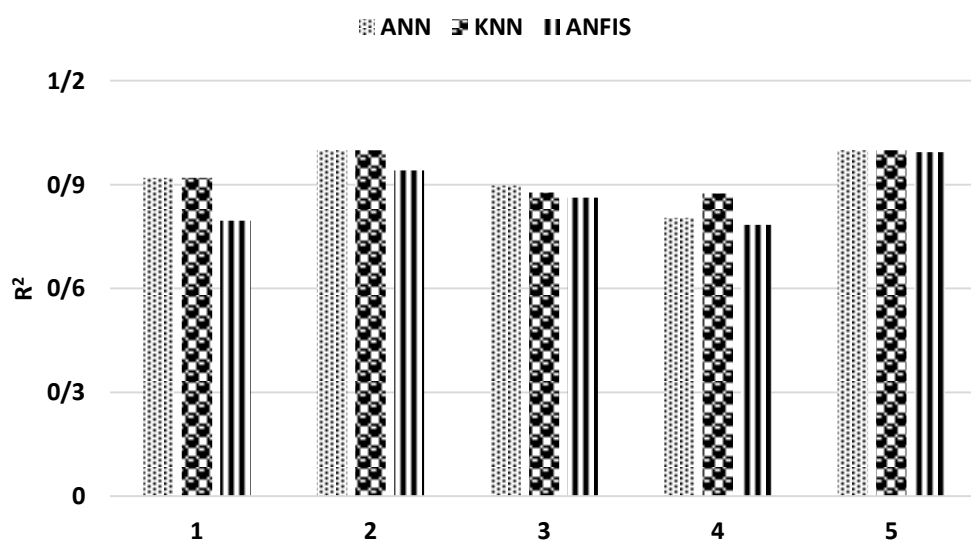
شکل (۵-۶۲) مقدار R^2 مربوط به مدل HadCM۳ و برای قسمت آموزش



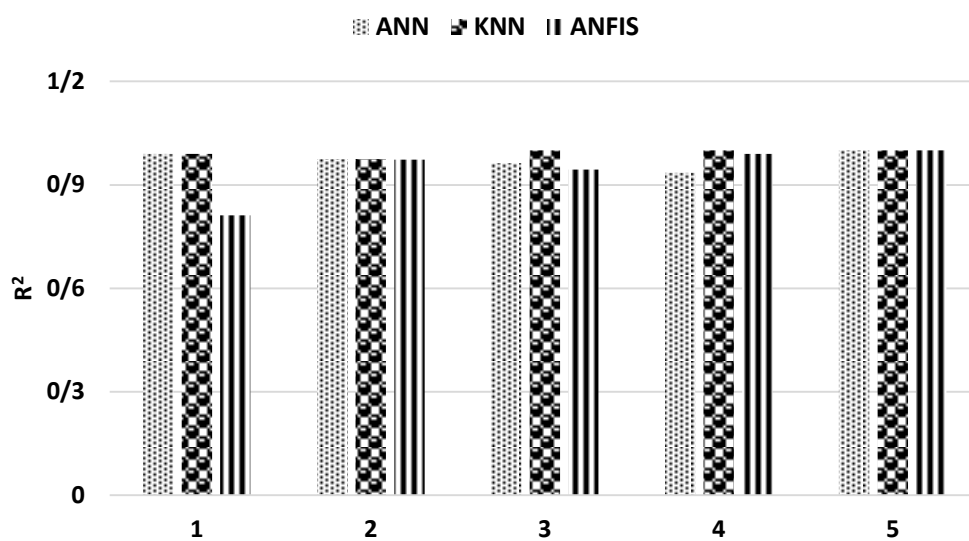
شکل (۵-۶۳) مقدار MAE مربوط به مدل HadCM۳ و برای قسمت آزمایش



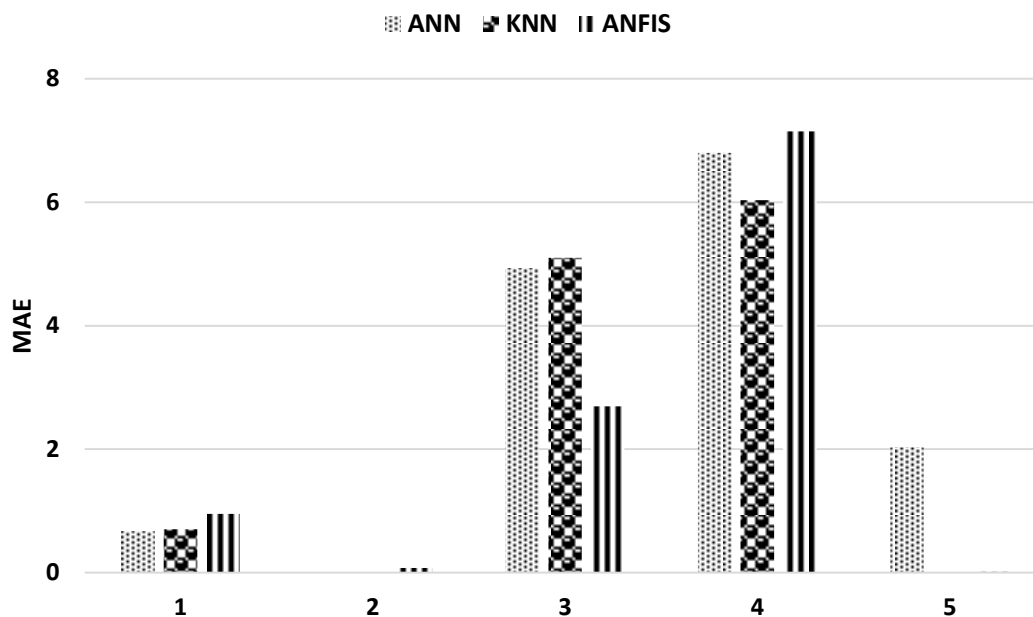
شکل (۵-۶۴) مقدار MAE مربوط به مدل HadCM۳ و برای قسمت آموزش



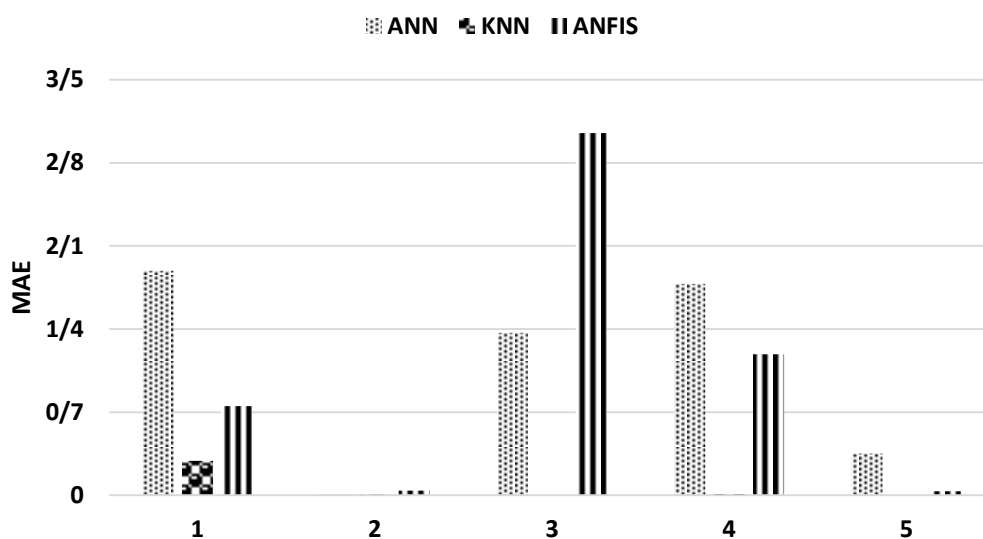
شکل (۵-۶۵) مقدار R^2 مربوط به مدل CanESM۲ و برای قسمت آزمایش



شکل (۵-۶۶) مقدار R^2 مربوط به مدل CanESM۲ و برای قسمت آموزش



شکل (۵-۶۷) مقدار MAE مربوط به مدل CanESM۲ و برای قسمت آزمایش



شکل (۵-۶۷) مقدار MAE مربوط به مدل CanESM۲ و برای قسمت آموزش

با توجه به جداول بالا نتیجه می‌شود که روش K- نزدیک ترین همسایگی (KNN) نسبت به سایر روش‌ها دارای دقت بیشتری در ریز مقیاس کردن خروجی مدل‌های GCM مورد بررسی در این تحقیق دارد. همچنین با مقایسه نظیر به نظیر معیارهای ارزیابی می‌توان نتیجه گرفت که مدل گردش عمومی جو CanESM۲ نسبت به مدل HADCM۳ نتایج بهتری در منطقه مورد تحقیق ارائه می‌دهد.

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهادها

۶-۱- نتایج

هدف اصلی از انجام این تحقیق، ارزیابی کارایی شبیه سازی سه روش داده محور شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، K- نزدیک ترین همسایگی (KNN) و مدل استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS) برای مدل CanESM^۲ از گزارش پنجم سازمان بین المللی تغییر اقلیم و مدل HADCM^۳ از گزارش چهارم سازمان بین المللی تغییر اقلیم مربوط به حوضه‌ی امامه واقع در منطقه‌ی بالا دست سد لتیان در شمال تهران بوده است. تا در نهایت بتوان روش و داده‌های مناسب را جهت پیش بینی پارامترهای آینده با در نظر گرفت اثرات تغییر اقلیم در این منطقه معرفی کرد. پس از اخذ نتایج در فصل قبل، در این فصل نتایج حاصل در قسمت‌های مختلف با توجه به اهداف در نظر گرفته شده، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است و در ادامه‌ی آن، پیشنهادهایی به منظور کمک به پژوهش های آینده ذکر شده است.

۶-۲- بحث پیرامون نتایج حاصل از این تحقیق

نتایج حاصل در این پژوهش به ۳ دسته نتایج روش شبکه عصبی مصنوعی، نتایج روش k - نزدیک ترین همسایگی و نتایج مدل استنتاج عصبی - فازی تطبیقی و در هر روش برای دو مدل اقلیمی HAdCM^3 و CanESM^2 تقسیم بندی می‌شود.

۶-۳- نتایج روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

۶-۳-۱- مدل HAdCM^3

با توجه به نتایج بدست آمده توسط روش شبکه عصبی مصنوعی برای مدل HAdCM^3 مشاهده می‌شود که با توجه همبستگی بدست آمده بین داده های مشاهداتی و داده های شبیه سازی شده، بجز پارامتر بیشترین دمای روزانه در هر ماه که دارای همبستگی متوسط است، باقی پارامترهای همبستگی و پاسخ بسیار خوب شبکه عصبی را برای مدل HAdCM^3 در این منطقه نشان می‌دهند. با توجه به اینکه هم داده های قسمت آموزش و اعتبار سنجی و همین‌طور داده های قسمت آزمایش، دارای نتایج بسیار خوبی بودند و همین‌طور پایین بودن درصد خطا می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از داده های شبیه سازی شده توسط شبکه عصبی و مدل HAdCM^3 برای این منطقه در پژوهش‌های دیگر قابل قبول خواهد بود.

۶-۳-۲- مدل CanESM^2

در این مدل نیز همانند دیگر مدل با توجه به نتایج بدست آمده توسط روش شبکه عصبی مصنوعی مشاهده می‌شود که همبستگی بدست آمده بین داده های مشاهداتی و داده های شبیه سازی شده بسیار مناسب و قابل قبول می‌باشد. با مقایسه عملکرد این دو مدل می‌توان مشاهده کرد که مدل CanESM^2 نتایج بهتری را نسبت به مدل HAdCM^3 در اختیار قرار می‌دهد. قبل از انجام عمل شبیه سازی هم می‌توانستیم حدس بزنیم که این نتیجه حاصل می‌شود؛ چرا که مدل CanESM^2 نسل جدیدتری از داده های مدل‌های اقلیمی می‌باشد و در این مدل سعی شده داده های اقلیمی دقیق‌تر باشند. در نهایت برای این مدل نیز با توجه به اینکه هم داده های قسمت آموزش و اعتبار سنجی و

همین‌طور داده‌های قسمت آزمایش، دارای نتایج بسیار خوبی بودند و همین‌طور درصد خطا نیز در حد قابل قبولی بود، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده توسط شبکه عصبی و مدل CanESM^۲ برای این منطقه در پژوهش‌های دیگر قابل قبول خواهد بود.

۴-۶- نتایج روش K- نزدیک‌ترین همسایگی (KNN)

۴-۶-۱- مدل HadCM^۳

این روش نیز همانند روش شبکه عصبی برای مدل HadCM^۳ نتایج قابل قبولی را ارائه داده است. باید توجه کرد که عملکرد این روش نسبت به روش شبکه عصبی و روش استنتاج عصبی - فازی تطبیقی بهتر بوده است.

۴-۶-۲- مدل CanESM^۲

این مدل نیز مانند مدل HadCM^۳ نتایج خوبی را برای بحث ریز مقیاس‌نمایی ارائه می‌دهد.

۵-۶- نتایج مدل استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS)

۵-۶-۱- مدل HadCM^۳

این روش نیز همانند روش ANN و KNN برای مدل HadCM^۳ نتایج قابل قبولی را ارائه داده است. هر چند دو روش دیگر نتایج بهتری را نسبت به روش استنتاج عصبی - فازی تطبیقی نشان می‌دهند.

۵-۶-۲- مدل CanESM^۲

این روش نیز همانند روش شبکه عصبی و KNN برای مدل CanESM^۲ نتایج قابل قبولی را ارائه داده است. هر چند که دو روش دیگر نتایج بهتری را نسبت به روش استنتاج عصبی - فازی تطبیقی نشان می‌دهند.

۶-۶- پیشنهادها

با توجه به پژوهش صورت گرفته، پیشنهادهایی در جهت بهبود نتایج و ارتقای کیفیت تحقیق به منظور کاهش چالش های پیش روی منابع آب در سطح ملی و منطقه ای در زیر ارائه شده است.

۱- استفاده از دیگر روش های بررسی ریز مقیاس نمایی نظیر نرم افزار LARS-WG، روش SDSM، SOGDS و روش های ریز مقیاس نمایی آماری دیگر و مقایسه آنها با روش های بکار رفته در این پژوهش.

۲- استفاده از روش ریز مقیاس نمایی دینامیکی برای همین منطقه و مقایسه نتایج با یکدیگر.

۳- بکار گیری روش های بکار رفته در این پژوهش برای سایر حوضه ها با خصوصیات اقلیمی متفاوت.

۴- استفاده از مدل های مدل های گردش عمومی جو (GCM) دیگر و بکار گیری روش های بکار گرفته شده در این پژوهش و مقایسه آنها با یکدیگر.

۵- افزایش تعداد ایستگاه های مورد بررسی در حوضه مورد مطالعه و بررسی کیفیت نتایج.

منابع

[۱] Ihara C, Y. Kushnir, and M. A. Cane, "Warming trend of the Indian Ocean SST and Indian Ocean Dipole from ۱۸۸۰ to ۲۰۰۴", Journal of Climate, Vol. ۲۱, pp. ۲۰۳۵–۲۰۴۶, ۲۰۰۸.

[۲] منتظری م. و فهمی ه، (۱۳۸۲)، "اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب کشور"، سومین کنفرانس

منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم.

[۳] طاهریون م، (۱۳۸۹)، "تدوین الگوی مدیریت تغذیه‌گرایی مخزن سد"، رساله دکتری مهندسی

عمران - محیط‌زیست، دانشکده‌ی عمران، دانشگاه تهران.

[۴] WMO & UNEP, Common Questions about Climate Change, ۲۰۰۲.

[۵] ابریشم چی ا.، تجربی م. و سید قاسمی س.، (۱۳۸۵)، "ارزیابی تغییرات جریان رودخانه زاینده رود بر اثر تغییر اقلیم"، دانشگاه صنعتی اصفهان، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب.

[۶] خواجه پور م. ا.، (۱۳۹۰)، "شبیه سازی دو بعدی حرارت و شوری در مخزن سد پانزده خرداد"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-هیدرولیک، دانشگاه رازی.

[۷] Marshall, E., Randhir, T., (۲۰۰۸)، "Effect of climate change on watershed system: a regional analysis", Climate Change, Vol. ۸۹, pp. ۲۶۳-۲۸۰.

[۸] U.S. EPA, Nutrient Criteria Technical Guidance Manual Lakes and Reservoirs, ۲۰۰۰.

[۹] جمشیدی م.، (۱۳۸۷)، "مدل سازی انتشار نیترات در حوزه رودخانه جاجرود (بالا دست سد لتیان) به کمک مدل SWAT"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف.

[۱۰] تجربی م.، (۱۳۸۵)، "آشنایی، بررسی و تحلیل پدیده لایه بندی در مخازن سدها"، مجموعه مقالات کارگاه تخصصی تغذیه گرایی و مدیریت آن در مخازن سدها، تهران.

[۱۱] E. Komatsu, T. Fukushima, H. Harasawa, (۲۰۰۷)، "A modeling approach to forecast the effect of long-term climate change on lake water quality", Ecological Modelling, Vol. ۲۰۹, pp. ۳۵۱-۳۶۶.

[۱۲] Y. Hosaka, (۲۰۰۷)، "Impacts of Climate Change on Water Quality and Measures against Future Issues". Retrieved from: <http://www.niph.go.jp/soshiki/suido/pdf/abstract>

[۱۳] اسپنانی ف.، (۱۳۹۲)، "ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در مناطق خشک و نیمه خشک، مطالعه موردی: حوضه آبریز زاینده رود"، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران - آب، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[۱۴] S. Liu, Y. Wu, A.L. Gallant, (۲۰۱۲)، "Predicting impacts of increased CO₂ and climate change on the water cycle and water quality in the semiarid James River Basin of the Midwestern USA", Science of the Total Environment, Vol. ۴۳۰, pp. ۱۵۰-۱۶۰.

[۱۵] خلیلی ن.، س.ر. خدشناس، ک. داوری و م. موسوی بایگی، (۱۳۸۷)، "پیش بینی بارش با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی"، مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک، جلد ۲، شماره ۱، ص ۸۹-۹۸

[۱۶] قلی زاده، م.ح و م. دارند، (۱۳۸۸)، "پیش بینی بارش ماهانه با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی (مورد: تهران)"، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۱، ص ۶۳-۵۱.

[۱۷] فاتحی مرج، ا. و م.ح. مهدیان، (۱۳۸۸)، "پیش بینی بارش پاییزه با استفاده از شاخص های انسو به روش شبکه عصبی در حوضه دریاچه ارومیه"، پژوهش های آبخیزداری، شماره ۸۴، ص ۴۲-۵۲.

[۱۸] فلاح قاله‌ری، غ.ع.، م. موسوی بایگی و م. حبیبی نوخندان، (۱۳۸۸)، "مقایسه نتایج به دست آمده از کاربرد سیستم استنباط فازی و شبکه های عصبی مصنوعی در پیش بینی بارش فصلی، مطالعه موردی: منطقه خراسان"، تحقیقات منابع آب ایران، سال پنجم، شماره ۲ ص ۵۲-۴۰.

[۱۹] فلاح قاله‌ری، غ.ع. و ج. خوشحال، (۱۳۹۳)، "پیش بینی بارش بهاره استان خراسان رضوی بر اساس سیگنال های بزرگ مقیاس اقلیمی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی"، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۹، ص ۱۳۳-۱۱۵.

[۲۰] علیجانی ب.، قویدل رحیمی ی، (۱۳۸۴)، "مقایسه و پیش‌بینی تغییرات دمای سالانه تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره زمین با استفاده از روش رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی"، مجله جغرافیا و توسعه دانشگاه سیستان و بلوچستان، ج ۳، ش ۶، ص ۳۸-۲۱.

[۲۱] چوبدار الف، (۱۳۸۶)، "پیش‌بینی ورودی ماهانه دریاچه سد شهید مدنی تبریز (ونیار) براساس تأثیر عناصر اقلیمی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی"، پایان‌نامه دکترای تخصصی (جغرافیای طبیعی) (کلیماتولوژی)، دانشگاه تبریز.

[۲۲] احمدی اسماعیل، (۱۳۸۲)، "طبقه‌بندی تغییرات بارش بوشهر با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی مبتنی بر مدل خود سازمانده کوهن"، گروه جغرافیا دانشگاه تربیت معلم تهران

[۲۳] Bustami, R., N. Bessaih, Ch. Bong and S. Suhaili, (۲۰۰۷)، "Artificial Neural Network for Precipitation and Water Level Predictions of Bedup River", IAENG International Journal of Computer Science, ۳۴:۲, IJCS_۳۴_۲_۱۰.

[۲۴] Shafie, A.H, A. El-Shafie, Hasan G. El Mazoghi, A. Shehata and Mohd. R. Taha (۲۰۱۱) "Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to Alex, Egypt", International Journal of the Physical Sciences Vol. ۶(۶), ۱۳۰۶-۱۳۱۶.

[۲۵] کارآموز محمد، رضایی فرید، رضوی سامان، (۱۳۸۵)، "پیش‌بینی بلند مدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی"، هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران. دانشگاه تربیت مدرس تهران.

[۲۶] فرزانه م.ر، (۱۳۸۹)، "بررسی عدم قطعیت مدل چندگانه خطی SDSM بر رواناب رودخانه (مطالعه موردی: حوزه بهشت‌آباد کارون شمالی، ایران)"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه بیرجند.

[۲۷] Asadiani, Yekta, A., and Sultani, F. (۲۰۰۷)، "Comparing sediment estimation of inflow load to Ekbatan dam between ANFIS and K-NN algorithm." ۷th Conf. of Iran Hydraulic, Shahid Abbaspour University, Tehran. (In Persian)

[۲۸] Azmi, M., Araghinejad, S., and Kholghi, M. (۲۰۱۰)، "Multi model data fusion for hydrological forecasting using k- nearest ۱۱۰ neighbor method." Iranian J. of Science and Technology, Transaction B, Engineering, ۳۴, ۸۱-۹۲.

[۲۹] Araghinejad, S. H., and Burn, D. (۲۰۰۵), "Probabilistic forecasting of hydrological events using geostatistical analysis." *Hydrological Sciences Journal- des Sciences Hydrologiques*, ۵۰(۵), ۵۷-۶۶.

[۳۰] قربانی، خ، (۱۳۹۴)، "ارزیابی مدل‌های داده‌کاوی در ریزمقیاس‌نمایی بارش بر اساس داده‌های مدل گردش عمومی NCEP؛ مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه"، *مجله پژوهش آب ایران*. ص ۱۷۷-۱۸۶

[۳۱] کوهی، م، (۱۳۹۱)، "شبیه‌سازی و ریزمقیاس‌کردن رویدادهای حدی آب و هوایی با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) (مطالعه موردی: حوزه کشف رود)"، *پایان‌نامه دوره کارشناسی-ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد*.

[۳۲] Babaeian, I., Kwon, W.T., and Im, E.S., (۲۰۰۴), "Application of weather generator technique for Climate change assessment over Korea" Korea Meteorological Research Institute, climate research lab, ۹۸pp

[۳۳] آذرانفر، آ و ابریشم چی، ا و تجریشی، م، (۱۳۸۶)، "ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بارش و دما در حوضه آبریز زاینده رود با استفاده از خروجی مدل‌های چرخش عمومی جو"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شریف دانشکده مهندسی عمران*.

[۳۴] کمال ع. و مساح بوانی ع. (۱۳۸۹)، "تاثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی". *مجله آب و خاک*، جلد ۲۴، شماره ۵، ۹۳۱-۹۲۰.

[۳۵] طباطبایی سید علی و حسینی م، (۱۳۸۲)، "بررسی تغییر اقلیم در شهر سمنان براساس پارامترهای بارش ماهیانه و متوسط دمای ماهیانه". *مجموعه مقالات سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم* ص ۹۸-۹۱.

[۳۶] شهابفر علیرضا و محمدنیا قرائی س و جاودانی خلیفه ن، (۱۳۸۲)، "بررسی تغییرات زمانی روزهای یخبندان در مشهد". مجموعه مقالات سومین کنفرانس منطقهای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم ۸۱-۷۴.

[۳۷] D. Bachelet, K. Ferschweiler, T. Sheehan, J. Strittholt, (۲۰۱۶)، "Climate change effects on southern California deserts", Journal of Arid Environments, Vol. ۱۲۷, pp. ۱۷-۲۹.

[۳۸] D. Pumo, D. Caracciolo, F. Viola, L. V. Noto, (۲۰۱۶)، "Climate change effects on the hydrological regime of small non-perennial river basins", Science of the Total Environment, Vol. ۵۴۲, pp. ۷۶-۹۲.

[۳۹] Trafalis, T.B., B. Santosa and M.B. Richman. (۲۰۰۵)، "Learning networks in rainfall estimation" ،CMS (۲): ۲۲۹-۲۵۱.

[۴۰] Hakurta, P.G. (۲۰۰۸)، "Long lead monsoon rainfall prediction for meteorological sub-divisions of India using deterministic artificial neural network model" ،Meteorology and Atmospheric Physic (۱۰۱): ۹۳-۱۰۸.

[۴۱] Makkeasorn, A., Chang, N. B., and Zho, X., (۲۰۰۸)، "Short-term Stream Flow Forecasting with Global Climate Change Implications – A Comparative Study between Genetic Programming and Neural Network Models" ، Journal of Hydrology, Volume ۳۵۲, Issues ۳-۴, ۱۵ May ۲۰۰۸, Pages ۳۳۶-۳۵۴.

[۴۲] Hall, T, H.E. Brooks and Ch.A. Doswell، (۱۹۹۹)، "Precipitation Forecasting Using a Neural Network. Weather and forecasting", Vol. ۱۴, ۳۳۸-۳۴۵.

[۴۳] Bodri, L and V. Cermak، (۲۰۰۰)، "Prediction of extreme precipitation using a neural network: application to summer flood occurrence in Moravia" ،Advances in Engineering Software, Vol. ۳۱, ۳۱۱-۳۲۱.

[۴۴] Maeda, N, K. Shun'ichi, I. Kaoru IZUMI, K. Shigekazu and A. Michihiro، (۲۰۰۱) ، "Prediction of Precipitation by A neural Networ Method, Journal of Natural Disaster Science", Volume ۲۳, Number ۱, pp ۲۳-۳۳.

[୧୦] Lakshami, S.S., R.K. Tiwari and V.K. Somvanshi, (୨୦୦୩), "Prediction of Indian Rainfall Index (IRF) using the ENSO variability and sunspot cycles-An artificial neural network approach" , Journal of Indian Geophysics Union, Vol.୮, ୧୨୩-୧୩୧.

[୧୧] Hung, N.Q., M. S. Babel, S. Weesakul, and N. K. Tripathi, (୨୦୦୪), "An artificial neural network model for rainfall forecasting in Bangkok, Thailand, Hydrology and Earth Sciences Discussion", Vol. ୦, ୧୫୩-୨୧୫.

[୧୨] Wang, Z.L and H.H sheng, (୨୦୦୦), "Rainfall Prediction Using Generalized Regression Neural Network: Case study Zhengzhou. International Conference on Computational and Information Sciences" ୧୮-୧୯ December, ୧୨୧୦-୧୨୧୫.

[୧୩] Sharma, A., Luck, K. C., Cordery, I., and Lall, U. , (୨୦୦୦), "Seasonal to interannual rainfall probabilistic Forecast for improved water supply management: Part ୨-Predictor Identification of quarterly rainfall using Ocean-atmosphere information" J. of Hydrology, ୨୩୭, ୨୧୦-୨୧୫.

[୧୪] IPCC, (୨୦୦୮) Climate change, the physical science basis. Cambridge University Press, Cambridge.

[୧୫] D. Pumo, D. Caracciolo, F. Viola, L. V. Noto, (୨୦୦୬), "Climate change effects on the hydrological regime of small non-perennial river basins", Science of the Total Environment, Vol. ୩୫୨, pp. ୮୧-୯୨.

[୧୬] [୧୭] Pohlert, T., Huisman, J. A., Breuer, L., Frede, H. G.(୨୦୦୦), "Modelling of point and non-point source pollution of nitrate with SWAT in the river Dill, Germany", Advances in Geosciences, Vol. ୦, pp. ୮-୧୨.

[୧୮] I. Barlund, T. Kirkkala, O. Malve, J. Kamari, (୨୦୦୮) "Assessing SWAT model performance in the evaluation of management actions for the implementation of the Water Framework Directive in a Finnish catchment", Environmental Modelling & Software, Vol. ୨୨, pp. ୮୧୭-୮୨୧.

[୧୯] IPCC-TGCI, Carter, T.R., Hulme, M., Lal, M., (୧୯୯୯), "Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment", Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, Version ୧, pp. ୧୭.

[۵۴] Semenov, M.A., and Porter, J.R., (۱۹۹۵), "Climate variability and the modeling of crop yields", Journal of Agricultural and Forecast Meteorology, Vol. ۷۳, pp. ۲۶۵-۲۸۳, ۱۹۹۵.

[۵۵] Williams, G.D.V., Fautley, R.A., Jones, K.H., Stewart, R.B., and Wheaton, E.E., (۱۹۸۸) "Estimating effects of climate change on agriculture in Saskatchewan, Canada", The Impact of Climate Variations on Agriculture, Kluwer, Dordrecht, the Netherlands, Vol. ۱. Assessments in Cool Temperate and Cold Regions. Parry, M.L., Carter, T.R. and Konijn, N.T., pp. ۲۱۹-۳۷۹.

[۵۶] Zhang, S., and Foufoula-Georgiou, E., (۱۹۹۷), "Subgrid-scale rainfall variability and its effects on atmospheric and surface variable predictions", Journal of Geophysical Research, Vol. ۱۰۲, pp. ۱۹۵۵۹-۱۹۵۷۳.

[۵۷] Baedi, A.P.M., Ahlonsou, E., Ding, Y., Schimal, D., (۲۰۰۱), "The climate system: An overview in climate change, the scientific basis", Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp. ۵۲۵-۵۸۲.

[۵۸] Wigley, T.M.L., Jones, P.D., Briffa, K.R., Smith, G., (۱۹۹۰), "Obtaining sub-gridscale information from coarse-resolution general circulation model output", Journal of Geophysical Research, Vol. ۹۵, pp. ۱۹۴۳-۱۹۵۳.

[۵۹] Dracup, J.A., Vicuna, S., (۲۰۰۵), "An overview of hydrology and water resources studies on climate change: The California experience", Proceeding of EWRI ۲۰۰۵: Impact of Global Climate Change.

[۶۰] Wilby, R.L., Dawson, C.W., Barrow, E.M., (۲۰۰۲), "SDSM- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts", Journal of Environmental Modeling & Software, Vol. ۱۷, pp. ۱۴۷-۱۵۹.

[۶۱] سید کابلی ح., آخوندی ع., مساح بوانی ع., رادمنش ف., (۱۳۹۱), "ارائه مدل ریزمقیاس‌نمایی

داده‌های اقلیمی براساس رو ناپارامتریک نزدیکترین همسایگی". نشریه آب و خاک، علوم و صنایع

کشاورزی. جلد ۲۶. شماره ۴. ص ۷۷۹-۸۰۸

- [62] Nikola Kasabov, (2001), "Evolving Fuzzy Neural Networks for Supervised/Unsupervised On-line, Knowledge-Based Learning", IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics, Part B _Cybernetics, vol. 31, No. 6, pp. 902-918.
- [63] Nikola K.Kasabov, Qun Song, (2002), "DENFIS: Dynamic Evolving Neural-Fuzzy Inference System and Its Application for Time Series Prediction" ,IEEE Trans. On Fuzzy Systems, Vol. 10, No. 2, pp. 144-154.
- [64] W.L.Tung, C.Quek, (2002), "GenSoFNN: A Generic Self- Organizing Fuzzy Neural Network", IEEE Trans. On Neural Networks, Vol. 13, No. 5, pp. 1075-1086.
- [65] Sau Wai Tung, Chai Quek, Cuntai Guan, (2001), "SaFIN: A Self-Adaptive Fuzzy Inference Network" IEEE Trans. On Neural Networks, Vol. 12, No. 12, pp. 1928-1940, 2001.

Abstract

In recent decades, climate change, particularly global warming has been an important issue for the international community. This problem is destructive and threatening to human life. Therefore, predicting future climate change is considered essential. One of the methods of climate change forecasting is using the air outlet of general circulation models. But considering the low spatial resolution of these models, they cannot be used for Regional Studies. To increase the power of resolution, the output of these models will be downscaled. In this research, Amameh station daily precipitation observed data in the period ۱۹۸۰-۲۰۰۵, also forecast data of ۲۶ parameters of HadCM۳ model, the fourth scenario of the International Organization for Climate Change (AR۴) and ۲۶ parameters of CanESM۳ model, the fifth scenario of the International Organization for Climate Change (CMIP۵) had been used. In order to downscale the output of climate change models, three methods of ANN, KNN and ANFIS were used. In this research, data of ۲۶ parameters of two models separately as input and daily observed rainfall data were fed into the model as output. Then simulated data (Downscaled) was calculated monthly and the average of simulated data was compared with the average of monthly observed data. The result shows that KNN model is superior to the other two methods. Although all three methods of ANN, KNN, and ANFIS for both climate models of HadCM۳ and CanESM۳ show a good response to downscaling in this area.

Keywords: Climate change, Downscaling, GCM, HadCM۳, CanESM۳, ANN, KNN, ANFIS



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

MSc Thesis in Engineering and Water Resources Management

**Downscaling of hydrological parameters by GCM outputs and data-driven models
(Case Study: Latyan Dam Watershed)**

By:

Reza Haji Hosseini

Supervisors:

Dr. Saeed Golian

Dr. Jafar Yazdi

Advisor:

Hamid Hasanpour

September ۲۰۱۶