



دانشکده مهندسی عمران

گروه مهندسی آب و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد

تأثیرات تغییر اقلیم بر کمیت و کیفیت منابع آب سطحی (مطالعه موردی رودخانه بالیخلی چای)

مرتضی اقتطاف

اساتید راهنما

دکتر بهناز دهر آزما

دکتر مهدی ضرغامی

استاد مشاور

دکتر سید فضل الله ساغروانی

آذر ۱۳۹۴



تقدیم به پدر و مادرم:

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

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان سبز مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان

را سپاس نتوانم بگویم.

امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

تشکر و قدردانی:

به مصداق «من لم يشكر المخلوق لم يشكر الخالق» بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه سرکار خانم دکتر بهناز دهر آزما که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی های کار ساز و سازنده بارور ساختند، تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر مهدی ضرغامی، که در کمال اخلاق و حوصله فراوان در طی این مدت راهنمایی های ارزنده خود را از من دریغ ننمودند، کمال تشکر را دارم. از استاد محترم جناب آقای دکتر سید فضل الله ساغروانی که مشاوره پایان نامه را پذیرفتند، بسیار سپاسگزارم.

همچنین جای دارد از کمک های بی دریغ مهندس صفاری تشکر نمایم.

از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر عابدینی و دکتر گلیان و کارشناسان گرامی جناب آقای محمدی و خانم کیوانلو تشکر و قدردانی می نمایم. از اساتید گرامی جناب آقای دکتر احمدی و جناب آقای دکتر یزدی که زحمت دآوری پایان نامه را پذیرفتند، سپاسگزارم.

تعهد نامه

اینجانب مرتضی اققطاف دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تاثیرات تغییر اقلیم بر کمیت و کیفیت منابع آب سطحی (مطالعه موردی رودخانه بالیخلی چای) تحت راهنمایی دکتر بهناز دهرآزما 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 اخلاقی 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

تحقیق حاضر با هدف بررسی تاثیرات تغییر اقلیم بر پارامتر های بارش، دما، رواناب و کیفیت منابع آب سطحی در حوضه آبریز بالیخلی چای واقع در استان اردبیل پایه گذاری گردیده است. در این تحقیق ابتدا با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG خروجی های مدل HADCM3 تحت سناریو A2 در سطح حوضه بالیخلی چای در بازه های زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ میلادی تدقیق شد. نتایج حاکی از افزایش دما در حدود ۵ درجه سانتی گراد و کاهش میانگین بارش سالانه تا ۱۴ میلیمتر در دوره ی ۲۰۸۰ الی ۲۰۹۹ میلادی است. سپس با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی، رواناب ورودی سد یامچی در سه بازه مطالعاتی مذکور برآورد و هیدروگراف آن رسم گردید. نتایج حاکی از کاهش ۱۱ و ۱۳ و ۱۷ درصدی رواناب ورودی به سد در بازه های مطالعاتی ذکر شده است. در گام پایانی با استفاده از پارامتر های دما، بارش و رواناب و استفاده از مدل شبکه های عصبی تغییرات مقادیر TDS و EC که به ترتیب به عنوان پارامتر های مهم کیفیت آب در بخش آشامیدنی و کشاورزی مطرح هستند، تحت شرایط تغییر اقلیم برآورد شد. نتایج نشان دهنده افزایش (۳درصد) در هر یک از پارامتر های فوق می باشد، شایان ذکر است که روند افزایش پارامتر های TDS و EC در فصل تابستان، با توجه به گرم و خشک تر شدن تابستان ها در سال های آتی، شدید تر است. بر اساس نتایج بدست آمده، مدیریتی قویتر بر منابع آب سطحی و همچنین اعمال سیاست های مناسب در سال های آتی برای منطقه مورد مطالعه مورد نیاز می باشد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، رواناب، کیفیت، LARS-WG، شبکه عصبی مصنوعی

لیست مقالات استخراج شده از پایان نامه

اقتطاف م، دهر آزما ب، ساغروانی س.ف، (۱۳۹۴)، "بررسی تغییر اقلیم با کمک مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG وپایش خشکسالی SPI مطالعه موردی حوضه آبریز بالیخلی چای"، نخستین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه فردوسی، مشهد.

اقتطاف م، دهر آزما ب، ضرغامی م، ساغروانی س.ف، (۱۳۹۴)، "ارزیابی تاثیرات تغییر اقلیم بر میزان بارش در حوضه آبریز رودخانه بالیخلی چای (استان اردبیل)", نخستین کنفرانس ملی دستاوردهای نوین در علوم زیستی و کشاورزی، دانشگاه زابل، تهران.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

۱-۱	مقدمه	۲
۲-۱	بیان مسئله	۴
۳-۱	ضرورت و هدف تحقیق	۵
۴-۱	ویژگی های منطقه مورد مطالعه	۷
۱-۴-۱	حوضه آبریز بالیخلی چای	۷
۲-۴-۱	آب و هوا و اقلیم	۷
۵-۱	سازمان بندی پایان نامه	۸

فصل دوم:

مروری بر مطالعات پیشین

۱-۲	مقدمه	۱۲
۲-۲	تغییرات اقلیم و تاثیرات آن بر کمیت منابع آب سطحی	۱۲
۳-۲	کاربرد شبکه های عصبی (ANN) در برآورد رواناب	۱۶
۳-۲	مطالعات صورت گرفته در زمینه کیفیت منابع آب سطحی	۱۹

فصل سوم:

مواد و روش ها

۱-۳	مقدمه	۲۴
۲-۳	مراحل انجام تحقیق	۲۴
۳-۳	مدل های گردش عمومی جو GCM	۲۸
۴-۳	معرفی مدل گردش عمومی HADCM3	۲۹
۵-۳	ریز مقیاس نمایی (Downscaling)	۳۰

۳۰	 مدل LARS-WG
۳۴	 شبکه های عصبی (Artificial neural networks)
۳۵	 اجزای یک شبکه عصبی
۳۸	 ویژگی های شبکه عصبی
۳۹	 ساختار های مختلف شبکه های عصبی
۴۱	 روش های آموزش شبکه عصبی
۴۳	 آزمون های نکویی برازش
۴۳	 آزمون (t-test) دو نمونه مستقل
۴۴	 آزمون (F-test) دو نمونه مستقل
۴۵	 معیار های گرافیکی
۴۵	 جذر میانگین مربعات خطاها (RMSE)
۴۵	 ضریب قطعیت R2
۴۶	 ایستگاه های مطالعاتی

فصل چهارم:

بحث و نتایج

۴۹	 نتایج اعتبار سنجی مدل تغییر اقلیم در ایستگاه اردبیل
۵۰	 ۱-۱-۴ سری های تر و خشک
۵۱	 ۲-۱-۴ بارش
۵۳	 ۳-۱-۴ دمای حداقل
۵۵	 ۴-۱-۴ دمای حداکثر
۵۷	 ۵-۱-۴ نتایج نهایی بررسی توانمندی مدل LARS-WG ، در ایستگاه اردبیل
۵۷	 ۶-۱-۴ نتایج برآورد تغییر اقلیم در ایستگاه های مطالعاتی حوضه بالیخلی چای
۶۵	 ۷-۱-۴ منحنی های هم باران و هم دما در حوضه بالیخلی چای
۶۸	 ۲-۴ برآورد رواناب تحت شرایط تغییر اقلیم در حوضه بالیخلی چای

۶۹	۴-۲-۱ زیر حوضه مطالعاتی.....
۷۲	۴-۲-۲ انتخاب مدل مناسب از داده های ورودی.....
۷۴	۴-۲-۳ انتخاب نوع شبکه.....
۷۵	۴-۲-۴ شبیه سازی رواناب حوضه تحت شرایط تغییر اقلیم.....
۷۶	۴-۳ کیفیت منابع آب سطحی.....
۷۶	۴-۳-۱ TDS (کل مواد محلول).....
۷۹	۴-۳-۱-۱ بررسی روند تغییرات TDS در مقیاس فصلی در بازه ی (۸۷-۱۳۸۳).....
۸۱	۴-۳-۱-۲ انتخاب مدل شبکه عصبی مناسب.....
۸۴	۴-۳-۱-۳ برآورد پارامتر TDS تحت شرایط تغییر اقلیم طی دوره ی (۲۰۳۰-۲۰۱۱).....
۸۴	۴-۳-۲ EC (هدایت الکتریکی آب).....
۸۴	۴-۳-۲-۱ بررسی روند تغییرات EC در بازه ی زمانی (۸۷-۱۳۸۳).....
۸۶	۴-۳-۲-۲ انتخاب مدل شبکه عصبی مناسب.....
۸۸	۴-۳-۲-۳ پیش بینی پارامتر EC تحت شرایط تغییر اقلیم طی دوره ی (۲۰۳۰-۲۰۱۱).....

فصل پنجم:

نتیجه گیری و پیشنهادات

۹۲	۵-۱ مقدمه.....
۹۲	۵-۲ نتیجه گیری و جمع بندی.....
۹۴	۵-۳ پیشنهادات.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ حوضه آبریز بالیخلی چای ۸
- شکل ۱-۳ فلوچارت تحقیق حاضر ۲۵
- شکل ۲-۳ تغییرات غلظت گاز CH_4 و CO_2 طی یک هزار سال اخیر ۲۵
- شکل ۳-۳ طرح شماتیک سناریو های تغییر اقلیم (ضرغامی و همکاران، ۱۳۸۹) ۲۷
- شکل ۴-۳ ساختار افقی و قائم مدل جفت شده جوی-اقیانوسی HADCM3 ۲۹
- شکل ۵-۳ طرح شماتیک یک نرون (گایتان، ۱۳۷۲) ۳۵
- شکل ۶-۳ تابع سیگموئید (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹) ۳۷
- شکل ۷-۳ تابع تانژانت هایپربولیک (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹) ۳۷
- شکل ۸-۳ شبکه پشخور ۳۹
- شکل ۹-۳ شبکه پیشخور ۴۰
- شکل ۱۰-۳ ایستگاه های منتخب مطالعاتی ۴۸
- شکل ۱۱-۳ موقعیت ایستگاه های رودخانه ی بالیخلی چای ۴۸
- شکل ۱-۴ توانمندی مدل در شبیه سازی بارش ماهانه در ایستگاه اردبیل ۵۲
- شکل ۲-۴ توانمندی مدل در شبیه سازی دمای حداقل ماهانه در ایستگاه اردبیل ۵۴
- شکل ۳-۴ توانمندی مدل شبیه در سازی دمای حداکثر در ایستگاه اردبیل ۵۵
- شکل ۴-۴ تغییرات بارش ماهانه ایستگاه اردبیل تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ۵۸
- شکل ۵-۴ تغییرات دما ماهانه ایستگاه اردبیل تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ۵۸
- شکل ۶-۴ تغییرات بارش ماهانه ایستگاه گیلانده تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ۵۹
- شکل ۷-۴ تغییرات بارش ماهانه ایستگاه پل الماس تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ۶۰
- شکل ۸-۴ تغییرات بارش ایستگاه یامچی علیا تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ۶۰
- شکل ۹-۴ تغییرات بارش ماهانه ایستگاه لای تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ۶۱

- شکل ۴-۱۰ تغییرات دمای ماهانه ایستگاه لای تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ۶۱
- شکل ۴-۱۱ تغییرات بارش ماهانه ایستگاه نیر تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ۶۲
- شکل ۴-۱۲ تغییرات دمای ماهانه ایستگاه نیر تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ۶۲
- شکل ۴-۱۳ تغییرات بارش ماهانه ایستگاه سرعین تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ۶۳
- شکل ۴-۱۴ تغییرات دما ماهانه ایستگاه سرعین تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ۶۳
- شکل ۴-۱۵ تغییرات بارش (میلیمتر) طی دوره ی ۳۰-۲۰۱۱ تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ... ۶۵
- شکل ۴-۱۶ تغییرات بارش (میلیمتر) طی دوره ی ۶۵-۲۰۴۶ تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ... ۶۶
- شکل ۴-۱۷ تغییرات بارش (میلیمتر) طی دوره ی ۹۹-۲۰۸۰ تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ... ۶۶
- شکل ۴-۱۸ تغییرات دما طی دوره ی ۳۰-۲۰۱۱ تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ۶۷
- شکل ۴-۱۹ تغییرات دما طی دوره ی ۶۵-۲۰۴۶ تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ۶۷
- شکل ۴-۲۰ تغییرات دما طی دوره ی ۹۹-۲۰۸۰ تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 ۶۸
- شکل ۴-۲۱ زیر حوضه مطالعاتی ایستگاه یامچی علیا ۷۰
- شکل ۴-۲۴ بارش میانگین ماهانه زیر حوضه یامچی علیا به روش تیسن (۱۳۹۲-۱۳۸۰) ۷۱
- شکل ۴-۲۵ هیدروگراف تاریخی و شبیه سازی شده در ایستگاه یامچی علیا تحت سناریو A2 ۷۵
- شکل ۴-۲۶ زیر حوضه مطالعاتی ایستگاه یامچی علیا ۷۷
- شکل ۴-۲۷ دمای میانگین ماهانه ایستگاه نیر (۱۳۸۷-۱۳۸۳) ۷۸
- شکل ۴-۲۸ مقدار TDS ماهانه ایستگاه یامچی علیا (۱۳۸۷-۱۳۸۳) ۷۸
- شکل ۴-۳۵ مقایسه مقادیر TDS محاسباتی و مشاهداتی در سه بازه ۸۳
- شکل ۴-۳۶ پیش بینی مقادیر TDS در آب طی دوره ۳۰-۲۰۱۱ ۸۴
- شکل ۴-۴۱ مقایسه مقادیر ماهانه EC مشاهداتی و محاسباتی در سه بازه ۸۸
- شکل ۴-۴۲ مقادیر پیش بینی شده EC نسبت به مقادیر مشاهداتی ۸۸

فهرست جداول

جدول ۴-۱	مقادیر آزمون کای-دو و احتمال سری های تر و خشک برای دوره های سه ماهه در ایستگاه اردبیل	۵۱
جدول ۴-۲	مقادیر کای-دو و احتمال بارش ماه های سال در ایستگاه اردبیل	۵۱
جدول ۴-۳	میانگین های ماهانه، انحراف معیار و مقادیر t و F و احتمال در ایستگاه اردبیل	۵۳
جدول ۴-۴	مقادیر کای-دو و احتمال دمای کمینه ماه های سال در ایستگاه اردبیل	۵۳
جدول ۴-۵	میانگین ماهانه، انحراف معیار و آزمون t و F دمای کمینه در ایستگاه اردبیل	۵۴
جدول ۴-۶	مقادیر کای-دو و احتمال دمای بیشینه ماه های سال در ایستگاه اردبیل	۵۵
جدول ۴-۷	میانگین ماهانه، انحراف معیار و آزمون t دمای بیشینه در ایستگاه اردبیل	۵۶
جدول ۴-۸	تغییرات مقادیر بارش (درصد) و دما (سانتی گراد) طی سه دوره مطالعاتی	۶۴
جدول ۴-۹	گزارش نهایی تغییر اقلیم در سطح حوضه	۶۵
جدول ۴-۱۰	ماتریس همبستگی بین متغیر های هیدرولوژیکی مدل (۱)	۷۲
جدول ۴-۱۱	ماتریس همبستگی بین متغیر های هیدرولوژیکی مدل (۲)	۷۳
جدول ۴-۱۳	ماتریس همبستگی بین متغیر های هیدرولوژیکی مدل (۴)	۷۳
جدول ۴-۱۴	نتایج ارزیابی ۴ مدل شبکه عصبی	۷۵
جدول ۴-۱۵	ماتریس همبستگی مدل ۱	۸۱
جدول ۴-۱۶	ماتریس همبستگی مدل ۲	۸۲
جدول ۴-۱۷	آزمون R^2 برای مدل های ۱ و ۲	۸۳
جدول ۴-۱۸	ماتریس همبستگی مدل ۱	۸۶
جدول ۴-۱۹	ماتریس همبستگی مدل ۲	۸۷
جدول ۴-۲۰	نتایج آزمون R^2 برای مدل های ۱، ۲	۸۷
جدول ۴-۲۱	مقادیر استاندارد پارامتر های کیفیت آب (Askari Marnani et al., 2001)	۸۹
جدول ۴-۲۲	مقدار استاندارد هدایت الکتریکی (Askari Marnani et al., 2001)	۸۹

فصل اول

کلیات

تغییرات دمای کره زمین یا گرمایش جهانی به عنوان یکی از عوامل اصلی تغییرات اقلیم در قرن حاضر مطرح می باشد. طی گزارش چهارم ارائه شده توسط هیئت بین الدول تغییر اقلیم، متوسط افزایش دمای کره زمین تا انتهای قرن ۲۱، ۱/۸ الی ۴ درجه سانتیگراد خواهد بود و این در حالیکه در قرن گذشته تغییرات دمای کره زمین ۰/۷۶ درجه سانتی گراد بوده است. پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم، چرخه و منابع آب حوضه های آبریز را نیز تحت تاثیر قرار داده است. لذا بررسی تاثیرات تغییر اقلیم در سال های آتی بر حوضه های آبریز و پیش بینی تمهیدات لازم جهت مقابله با شرایط بحرانی امری ضروری است که سعی شده است تا در تحقیق حاضر به این مهم پرداخته شود.

چرخه آب یا سیکل هیدرولوژی، ردیابی سیر حرکت آب در کره زمین یا همان گردش آب در طبیعت است. چرخه هیدرولوژی یک مسیر ساده نیست، بلکه مجموعه ای از مسیرها و حلقه های مختلف است که در سه بخش کره زمین یعنی اتمسفر، هیدروسفر و لیتوسفر صورت می گیرد. سیکل هیدرولوژی چرخه ای است بدون ابتدا و انتها که در آن آب از سطح دریاها و خشکی ها تبخیر شده و وارد اتمسفر می گردد و سپس دوباره بخار آب موجود در جو طی فرآیند های گوناگون به صورت نزولات به سطح زمین یا روی دریا فرو می ریزد. این نزولات ممکن است توسط شاخ و برگ گیاهان جذب شوند (برگاب)، مستقیماً تبخیر و به هوا بازگردد، در سطح زمین جاری شود (رواناب) و یا در خاک نفوذ کند (علیزاده، ۱۳۸۵).

تغییر اقلیم بیانگر تغییرات مشخص در الگوهای است که بشر از وضعیت میانگین آب و هوایی انتظار دارد که در طولانی مدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم کره زمین، رخ می دهد. تغییر اقلیم نشان دهنده ی تغییرات غیر عادی در اقلیم درون اتمسفر زمین و پیامدهای ناشی از آن در قسمت های مختلف کره ی زمین می باشد. تغییر اقلیم می تواند ناشی از فرآیندهای دینامیکی زمین و یا عوامل بیرونی همچون تغییرات در شدت تابش آفتاب و یا فعالیت های انسانی (افزایش غلظت گازهای

گلخانه‌ای) باشد. بسیاری از تغییرات درونی در سیستم اقلیمی زمین با تأخیر رخ می‌دهند، زیرا این سیستم بسیار بزرگ است و به ورودی‌ها با تأخیر پاسخ می‌دهد. برای مثال یک سال خشکسالی تنها سبب کاهش آرام سطح دریاچه‌ها می‌گردد. در سال‌های بعدی این شرایط ممکن است به کاهش بارش منجر شود که احتمالاً به یک سال خشک‌تر دیگر منجر می‌گردد. مطالعات اخیر بیان می‌دارد که نیروی تابشی در اثر گازهای گلخانه‌ای عامل اصلی گرم شدن جهانی کره زمین می‌باشد. گازهای گلخانه‌ای نیز نقش مهمی در درک تاریخچه اقلیمی زمین دارند (America's Climate Choices, 2010).

تغییرات گازهای گلخانه‌ای که ناشی از فعالیت‌های بشر می‌باشد، به عنوان مهم‌ترین عامل در پدیده تغییر اقلیم قلمداد می‌شود. عوامل موثر انسانی، فعالیت‌هایی هستند که به وسیله آن انسانها محیط را تغییر داده و بر اقلیم تاثیر می‌گذارند. بزرگترین عامل مورد نظر کنونی افزایش سطح CO_2 در اثر برون‌داد‌های مربوط به احتراق سوخت فسیلی است. این تغییرات تعادل موجود در زیست کره و علی‌الخصوص گازهای گلخانه‌ای را تحت الشعاع قرار داده است. با افزایش غلظت این گازها، میزان پرتوهای (مادون قرمز) جذب شده انعکاسی از سطح زمین افزایش می‌یابد. عامل ذکر شده موجب افزایش دمای سطح زمین شده و تاثیراتی را بر هیدروسفر می‌گذارد. عوامل دیگر، از جمله استفاده از زمین، استهلاک

ازن و تخریب جنگلها نیز بر اقلیم تاثیر گذار هستند (ضرغامی و همکاران، ۱۳۸۹).

مقدار آبی که توسط رودخانه در شرایط مختلف جابجا می‌شود، از موضوعات بسیار مهم و حتی اساسی‌ترین موارد مطرح در هیدرولوژی است. با توجه به این مهم، تلاش‌های زیادی برای تحلیل جریان و همچنین برآورد مقادیر دبی در شرایط مختلف صورت گرفته است. با توجه به این که عوامل مختلفی در میزان و نحوه ی جریان آب در سطح زمین تاثیر گذار هستند، ارائه روش‌هایی که بتوان با توسل

به آنها جریان را تحلیل نمود، می تواند در بررسی هیدرولوژیکی و حتی ژئو مورفولوژیکی از روش های کلیدی محسوب شود.

بخشی از نزولات جوی در سطح زمین جریان می یابند و به رودخانه، دریاچه و دریا ها می پیوندند که به آن ها رواناب می گویند. این عمل زمانی رخ می دهد که شدت بارندگی بیشتر از سرعت نفوذ آب در خاک و نگه داشت پستی و بلندی های سطح زمین باشد. رواناب، جریان سطحی، جریان روی زمینی واژه های مترادفی هستند که این عنصر چرخه هیدرولوژیکی را توصیف می کنند. جابجایی آب در سطح زمین با سرعت و مقادیر متفاوت صورت می گیرد، که مقدار و سرعت آن وابسته به عوامل گوناگونی از جمله شرایط جوی، سطحی و زیر سطحی است (علیزاده، ۱۳۹۰).

۱-۲ بیان مسئله

روابط حاکم بر پدیده ی بارش- رواناب، روابطی غیر خطی و پیچیده هستند. تعیین این ارتباط از گذشته مورد توجه مهندسين آب بوده است. پدیده بارش- رواناب به سه روش تجربی، فیزیکی و محاسباتی قابل مدلسازی است. مدل تجربی به دنبال یک رابطه ی ریاضی خاص بین عوامل موثر در پدیده می باشد و از بررسی آمار هیدرولوژیکی حاصل می شود. این مدل ها پس از تهیه شدن برای یک حوضه خاص برای حوضه ای دیگر کاربرد ندارند. مدل های فیزیکی شکل ساده ای از مکانیزم فیزیکی پدیده هستند و ساخت این مدل ها بسیار پر هزینه و وقت گیر است. همچنین برای افزایش دقت در این مدل ها به افراد با تجربه و کارآمد نیاز است. در مدل های محاسباتی شبیه سازی پدیده و روابط حاکم بر آن به کمک کامپیوتر انجام می شود. شبکه عصبی، بعنوان زیر شاخه ای از هوش محاسباتی، خود زیر مجموعه ای از مدل های محاسباتی است (باجلان و همکاران، ۱۳۸۴).

با توجه به اهمیت استفاده از این مدل ها در مدیریت منابع آب سطحی، در تحقیق حاضر با استفاده از نرم افزار های GIS، LARS-WG، MATLAB و شبکه عصبی به بررسی و ارزیابی و برآورد تغییرات

دما، بارش و رواناب و همچنین تغییرات کیفی در حوضه آبریز بالیخلی چای واقع در استان اردبیل پرداخته شده است.

۳-۱ ضرورت و هدف تحقیق

همواره آب به عنوان منبع حیاتی برای انسان مطرح بوده است، لذا رودخانه ها و آب های جاری به عنوان مناسب ترین محل برای آغاز تمدن ها و زندگی انتخاب شده اند. در راستای بهره گیری از این نعمت الهی، مراکز کشاورزی و صنعتی در نزدیکی رودخانه شکل گرفت. اما رشد روز افزون جمعیت و به تبع آن گسترش آلودگی، شرایط رودخانه ها و آبخوان ها را روز به روز نامناسب تر کرده است. لذا در راستای نظارت و مدیریت کیفی، توصیه می شود تا شناخت کیفیت آب های سطحی برای مصارف شرب، صنعتی و کشاورزی به عنوان امری اجتناب ناپذیر در زمینه مدیریت کیفیت منابع آب سطحی با استفاده از روش های کم هزینه و در زمان های کوتاهتری صورت گیرد.

کیفیت آب را می توان به خواص شیمیایی، فیزیکی، زیست شناختی و پرتو شناختی تقسیم نمود. در تعریفی دیگر، کیفیت میزان مطابقت با استانداردهای مرتبط است. در حال حاضر غلظت های زیاد آفت کش ها و کود های شیمیایی تاثیراتی منفی بر کیفیت آب و زندگی آبزیان گذاشته است. بیشترین استانداردهای کیفیت آب مربوط به بهداشت زیستی و آب آشامیدنی مورد نیاز انسان ها است (Nancy, 2009).

لذا ضرورت انجام تحقیق حاضر با توجه به اهمیت بررسی تغییرات دما، بارش و رواناب در حوضه های آبریز و همچنین برآورد کیفی تغییرات آب های سطحی در طی زمان جهت مدیریت بهینه منابع آب سطحی مشخص می گردد.

هدف کلی این تحقیق عبارت است از بررسی تاثیرات تغییر اقلیم بر کمیت و کیفیت منابع آب سطحی (مطالعه موردی رودخانه بالیخلی چای).

در تحقیق حاضر، ریز مقیاس نمایی خروجی های مدل های GCM تحت سناریو های انتشار SRES برای مدلسازی تغییرات دما و بارش و ارزیابی اثر آن بر روی رواناب حوضه آبریز رود خانه بالیخلی چای با استفاده از شبکه های عصبی مورد توجه قرار گرفته است، سپس با توجه به نتایج حاصل از بررسی رواناب و منابع آلودگی که سلامت رودخانه را تهدید می کنند، با استفاده از مدل شبکه عصبی به بررسی پارامتر های کیفی موثر در حوضه و همچنین تغییرات آن ها طی چند سال آینده پرداخته و راهکار های مناسب ارائه شده است.

در تحقیق حاضر اهداف جزئی زیر دنبال می گردد:

- استفاده از داده های اخذ شده تاریخی جهت ریز مقیاس نمایی خروجی های مدل های GCM توسط مدل LARS-WG

- بررسی نتایج حاصل از ریزمقیاس نمایی پارامتر های بارش و دما و تاثیر آنها بر رواناب حوضه توسط شبکه های عصبی

- بررسی پارامتر های کیفی در بخش های شرب و کشاورزی در حوضه و پیش بینی آن ها برای سال های آتی مقایسه پارامتر های کیفی حوضه در سال های آتی، نسبت به دوره ی مشاهداتی

- آرایه راهکار های مناسب جهت مدیریت حوضه

مطالعات انجام گرفته در تحقیق حاضر چه از لحاظ کمیت و چه از لحاظ کیفیت در حوضه مذکور برای اولین بار در ایران صورت گرفته است، لذا تحقیق حاضر بدلیل موارد ذکر شده دارای نوآوری و ابتکار می باشد.

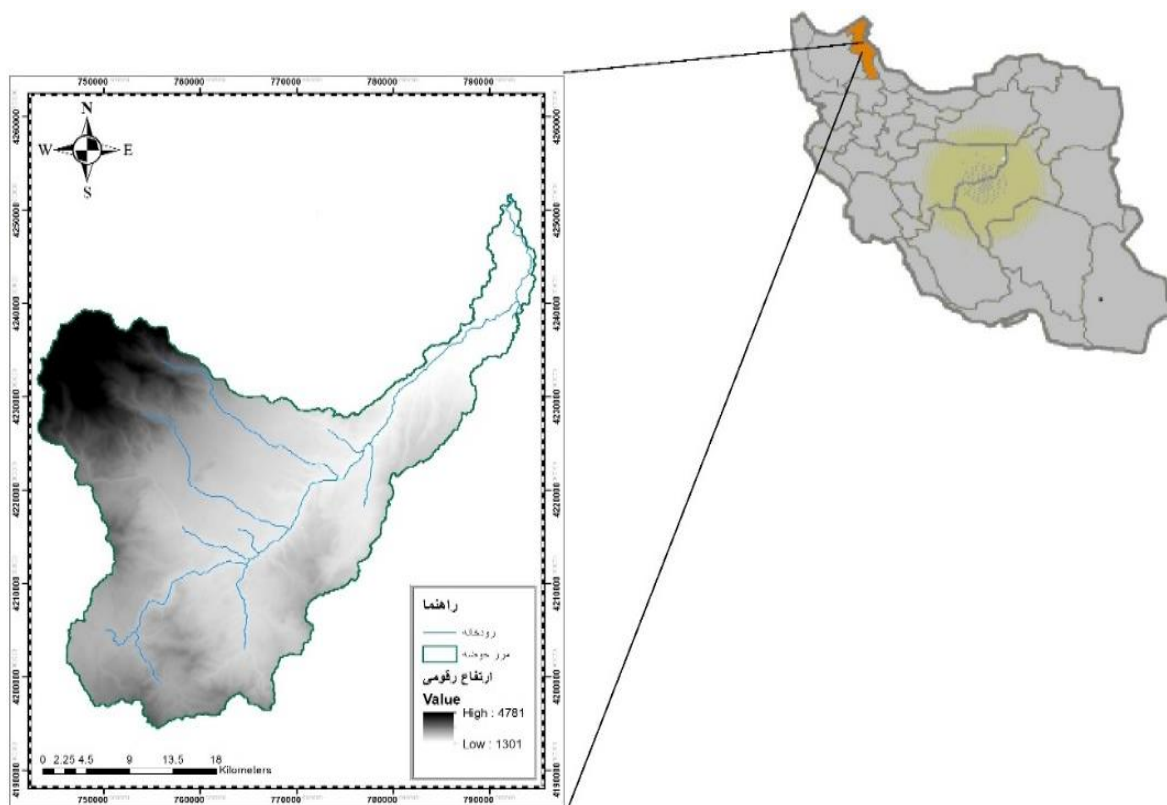
۴-۱ ویژگی های منطقه مورد مطالعه

۱-۴-۱ حوضه آبریز بالیخلی چای

منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز رودخانه بالیخلی چای در شمالغرب ایران و در استان اردبیل می باشد. حوضه آبریز بالیخلی چای با توجه به تقسیمات کلی هیدرولوژیکی ایران جزء حوضه آبریز دریاچه خزر می باشد. حوضه بالیخلی چای در محدوده ی طول شرقی ۴۷-۷۶ تا ۴۸-۳۷ و عرض شمالی ۳۷-۴۶ تا ۳۸-۳۶ قرار دارد. مهم ترین رودخانه واقع در آن رودخانه بالیخلی چای است. رودخانه بالیخلی چای سرشاخه اصلی رودخانه قره سو است که از دامنه های جنوبی سبلان سرچشمه گرفته ابتدا در جهت جنوب شرق جریان یافته و سپس به سمت شرق تغییر مسیر داده و وارد دشت اردبیل می شود. مقدار آبدهی سالیانه متوسط رودخانه بالیخلی چای ۹۴ میلیون متر مکعب ثبت شده است. شهرهای اردبیل، نیر و سرعین در حوضه آبریز این رودخانه قرار دارند. طول رودخانه، ۷۸ کیلومتر بوده و وسعت حوضه آبریز آن قریب بر ۱۳۰۰ کیلومتر مربع می باشد که عمدتاً شامل نواحی مرتفع کوهستانی است و در حوالی اردبیل، دشتهای محدودی را در بر می گیرد (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۲).

۱-۴-۲ آب و هوا و اقلیم

از جمله عوامل مؤثر بر آب و هوای استان اردبیل، وجود دریای خزر در شرق استان می باشد، که علاوه بر برخورداری کردن منطقه از رطوبت خود، عامل تعدیل درجه حرارت نیز می باشد. منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم نیمه مرطوب سرد می باشد. میانگین دمای روزانه نیز در بین ایستگاه های استان ۵/۶ تا ۱۵ درجه سانتیگراد است. همچنین میزان نزولات جوی در حوضه به طور متوسط از ۲۵۰ الی ۴۰۰ میلیمتر در نوسان می باشد (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۲).



شکل ۱-۱ حوضه آبریز بالیخلی چای

۱-۵ سازمان بندی پایان نامه

پایان نامه حاضر به صورت زیر سازمان بندی گردیده است:

فصل اول کلیات: در این فصل کلیاتی پیرامون مسئله مطرح شده است و سپس به بیان مسئله، ویژگی های منطقه مورد مطالعه و اهداف کلی و جزئی تحقیق پرداخته شده است.

فصل دوم مطالعات پیشین: در این فصل به بخشی از کارهای گذشته مرتبط با مسئله پرداخته شده است.

فصل سوم مواد و روش ها: در این فصل روش های مختلف استفاده شده پیرامون حل مسئله معرفی شده است.

فصل چهارم بحث و نتایج: در این فصل نتایج بررسی ها و پیش بینی های انجام شده در قسمت های مختلف آورده شده است.

فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات: در این فصل پس از جمع بندی کلی نتایج به ارائه پیشنهادات جهت رفع مشکلات پرداخته شده است.

فصل دوم

مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه

تغییرات اقلیم در هر منطقه ایی با تغییرات دما، زمینه ی تغییرات مکانی و زمانی بارش، مقدار تبخیر و تعرق، رطوبت خاک و نیز سرعت باد را فراهم می کند. در نتیجه تدوین سیاست های مناسب جهت سازگاری با شرایط آتی، مطالعات اقلیمی هر منطقه را در بازه زمانی مورد مطالعه حائز اهمیت کرده است (شهامتی نژاد و همکاران، ۱۳۹۱). در این بخش به مطالعات پیشین صورت گرفته در زمینه تغییرات اقلیم و تاثیرات آن بر کمیت و کیفیت منابع آب سطحی و همچنین استفاده از شبکه عصبی در برآورد رواناب و کیفیت منابع آب اشاره می شود.

۲-۲ تغییرات اقلیم و تاثیرات آن بر کمیت منابع آب سطحی

محققین بسیاری به بررسی تاثیرات تغییرات دما و بارش بر کمیت منابع آب سطحی در حوضه های آبریز پرداخته اند که در ادامه به بخشی از آنها اشاره شده است.

لی و همکاران (۲۰۱۴) تاثیرات تغییر اقلیم را بر رواناب حوضه رودخانه یارلونگ در فلات تبت مورد بررسی قرار دادند. این فلات به عنوان برج آب آسیا دارای نقش کلیدی، چه از لحاظ هیدرولوژیکی و چه از لحاظ آب و هوایی، در منطقه است. در این تحقیق از مدل جهانی آب و هوایی (MI-ROC3.2) تحت سناریو A1B برای ریز مقیاس نمایی طی دوره (۲۰۴۶-۲۰۶۵) استفاده شده است. دوره تاریخی مشاهداتی شامل سال های (۱۹۶۲-۲۰۰۲) و مدل های تولید رواناب مورد استفاده (SIMHYD و GR4J) بودند. نتایج مطالعه فوق حاکی از افزایش میانگین سالانه دما به میزان $3/8$ درجه سانتی گراد و کاهش میانگین بارش سالانه به میزان $5/8$ درصد در هشت زیر حوضه مطالعاتی در سال های آتی است. مدل های بررسی رواناب نیز نتایج مشابهی را برای سال های آتی ارائه می دهند. مدل SIMHYD کاهش $13/9$ درصدی و مدل GR4J کاهش $15/2$ درصدی را در رواناب حوضه پیش بینی کردند (Li et al., 2014).

چانگ و کوموزپی (۲۰۱۲) در تحقیقی به بررسی تأثیرات تغییر آب و هوا بر منابع آب سطحی در حوضه رودخانه گم هو در کره پرداختند. ایشان از برون داد پنج مدل گردش عمومی جو (GCM) تحت سه سناریو، که شامل خانواده (RCP)^۱ ها و مدل آماری (LARS-WG) جهت ریز مقیاس نمایی استفاده نمودند و ریز مقیاس نمایی صورت گرفته برای دوره های (۲۰۹۰ و ۲۰۶۰، ۲۰۳۰) را با نتایج تاریخی (۱۹۷۱-۲۰۰۰) مقایسه کردند. هرچند تمامی سناریو ها حاکی از افزایش دما بودند، اما بیشترین افزایش دمای ماهانه پیش بینی شده مربوط به RCP8.5 و کمترین افزایش دما مربوط به RCP2.6 بود. بررسی دما با توجه به تنوع دوره های مورد مطالعه حاکی از افزایش میانگین دما به ترتیب (۱/۴، ۲/۵ و ۳/۲) درجه سانتی گراد و کاهش میانگین بارش سالانه شامل (۴، ۵ و ۱۰) درصد طی دوره های (۲۰۳۰، ۲۰۶۵ و ۲۰۹۹) بود. مقادیر افزایش میانگین تبخیر و تعرق محاسباتی توسط مدل TMWB در طول دوره مورد مطالعه در حدود (۷-۱۲٪)، (۹-۲۸٪) و (۸-۴۹٪) حاصل شده است. همچنین این مدل تغییرات میانگین رواناب معادل با ۳٪، ۱۱٪ و ۴٪ را برای سال های آتی ارائه داد. دومین مدل استفاده شده برای محاسبه رواناب، مدل MAC-HBV بود که نتایج بسیار نزدیکی به مدل پیشین داشت (Chung and Nkomozepe, 2012).

در تحقیق دیگر، محققان به بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی به کمک برون داد مدل های GCM و RCM تحت سه سناریو (A2، B1، A1B) جهت پیش بینی مقادیر بارش و دما پرداختند. نتایج حاکی از کاهش میانگین بارش سالانه به میزان ۲۶٪، افزایش میانگین دما به میزان ۴/۶ درجه سانتی گراد و کاهش آب در دسترس به میزان ۴۸٪ درصد در بازه زمانی (۲۰۵۰-۲۱۰۰) بود، همچنین نتایج بدست آمده برای مدل RCM تحت سناریو A1B در مقایسه با نتایج مدل GCM تحت سناریو های A2، B1 بیانگر کاهش شدید تر بارش ها بود. با توجه به نتایج ذکر شده، راهکارهای مدیریتی چه از نوع بلند مدت و چه از نوع کوتاه مدت، نیازمند بروز رسانی هستند. یکی از راهکارهای مورد توجه در تحقیق ایشان توجه به نقش بازیافت فاضلاب بود (Koutroulis et al., 2013).

¹ Representative Concentration Pathways

طی مطالعات صورت گرفته توسط سیل برستین و همکاران (۲۰۱۲) ارتباط بین تغییرات اقلیم و رواناب موجود در جنوب غربی استرالیا مورد بررسی قرار گرفت. در مطالعه ایشان برون داد پانزده (GCM) به همراه ۳ سناریوی تغییر اقلیم برای بررسی و مقایسه نتایج در ۱۳ حوضه بین سال های (۱۹۷۵-۲۰۰۷) و دوره (۲۰۳۰) استفاده شد. همچنین ۵ مدل مفهومی بارش-رواناب جهت مدل سازی و تخمین جریان سطحی حوضه با توجه به گستره ی داده های در دسترس از جمله پوشش گیاهی، ضریب نفوذ خاک، بارش روزانه و ... استفاده گردید. با توجه به ۴۵ مدل احراز شده تحت GCM های مختلف، منطقه مورد مطالعه شاهد کاهش میانگین بارش بیش از ۱۰٪ در ۱۲ مورد از ۴۵ مورد و کاهش بیش از ۵٪ در ۳۸ مورد از ۴۵ مورد بوده است. همچنین بیشترین کاهش نیز به میزان ۴۰٪ در ۴ مورد از ۴۵ مورد رویت شده است. طبق نتایج ارایه شده میزان کاهش بارش و رواناب نسبت به دوره ی تاریخی، تحت شرایط نرمال و خشک آب و هوایی به ترتیب ۱۰٪، ۱۶٪ و ۳۰٪، ۵۳٪ می باشد (Silberstein et al., 2012).

چن و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی پارامترهای دما و بارش در سال های آتی در سودان و جنوب آن تحت سناریو A2 و برون داد ۷ مدل GCM طی دوره های (۲۰۱۱-۲۰۳۰)، (۲۰۴۶-۲۰۶۵) و (۲۰۸۰-۲۰۹۹) توسط مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG پرداختند. نتایج تحقیق مذکور حاکی از (۱) مدل سازی خوب بارش و عالی دمای کمینه و بیشینه ی توسط مدل است. (۲) ناسازگاری بزرگی بین بارش های پیش بینی شده توسط ۷ مدل (GCM) وجود دارد که حاکی از عدم قطعیتی قابل توجه در نتایج GCM ها در حوضه مطالعاتی است. (۳) در هر ۷ مدل، بارش های پیش بینی شده دارای تمایل نزولی در طول هر ۳ دوره برای حوضه سودان می باشند، در حالی که این تمایل برای جنوب سودان افزایشی است. بررسی برون داد این مدل ها بیانگر روندی افزایشی در میزان دمای کمینه و بیشینه است (Chen^a et al., 2013).

ضرغامی و همکاران (۱۳۸۹) تغییرات اقلیم و اثرات آن بر رواناب حوضه های آبریز منتخب استان آذربایجان شرقی را بررسی کردند. نتایج مطالعه مذکور حاکی از کاهش دبی تا ۵۰ درصد (به طور میانگین سالانه) در نیمه قرن ۲۱ خواهد بود. در نتیجه رودخانه ها در تابستان خشک و فصلی خواهند شد و آب و هوای منطقه از حالت نیمه خشک به خشک متمایل خواهد شد. این تغییر رفتار رودخانه ها از حالت دائمی به فصلی اثرات زیانباری روی محیط زیست رودخانه ها خواهد داشت.

حمیدیان پور و همکاران (۱۳۹۲) اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه بار و طاقان نیشابور را تحت برون داد مدل گردش عمومی جو (HADCM3) مورد بررسی قرار دادند. سناریو های استفاده شده در این مدل (A2 و B2) بود و پیش بینی پارامتر های دما و بارش برای دوره ی (۲۰۴۰-۲۰۱۱) صورت گرفت. بر اساس پیش بینی ها، بیشترین کاهش در ایستگاه عیش آباد با ۱۵/۹۸ درصد و کمترین کاهش بارش در ایستگاه اریه با ۳/۸۸ درصد کاهش تحت سناریو A2 رخ خواهد داد. همچنین در میزان رواناب حوضه ی آبریز بار تحت دو سناریو ی A2 و B2 به ترتیب ۱۹/۶۸ و ۱۸/۸۴ درصد و برای حوضه آبریز طاقان برابر ۲۹/۹ و ۲۵/۲ درصد کاهش خواهد داشت.

شفایی و همکاران (۱۳۹۲)، اثر پدیده ی تغییر اقلیم بر مدیریت مخازن سطحی حوضه ی گرگانرود را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور اطلاعات مورد نیاز منطقه از مدل گردش عمومی CGCM3 شامل مقادیر بارندگی و درجه حرارت، برای دوره (۱۳۹۰-۱۴۱۴)، تحت سناریوی انتشار گاز های گلخانه ای A2 تامین و به روش SDSM ریز مقیاس شد. نتایج در مجموع نشان دهنده ی کاهش حدود چهار درصدی بارش متوسط سالانه و افزایش ۰/۰۵ درجه ای حرارت سالیانه است. برای بررسی تاثیر این تغییرات بر جریان رواناب در شاخه های حوضه گرگانرود از روش آماری تابع توزیع احتمال توام استفاده شد و مقادیر رواناب برای دوره آماری (۱۳۹۰-۱۴۱۴) پیش بینی شد. نتایج نشان دهنده کاهش رواناب در حدود ۴ درصد، در دوره مربوط بوده است. در ادامه با استفاده از نتایج بدست آمده از سناریوی تغییر اقلیم و مدل WEAP، تغییرات بیلان آبی مخازن و مقادیر تخصیصی در دوره (۱۳۹۰-

۱۴۱۴) در گره های مصرف بررسی شد. بنابر نتایج بدست آمده، میانگین تخصیص از ۹۲ به ۹۰ درصد و میانگین ذخایر مخازن نیز حدود ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت.

در مطالعه صورت گرفته توسط حبیبی نوخندان و همکاران (۲۰۱۱) تاثیرات تغییر آب و هوا بر پارامتر های دما و بارش و غیره توسط برون داد مدل های گردش عمومی جو در استان تهران بررسی شده است. در تحقیق مذکور مدل GCM مورد استفاده ECHO-G است. سناریو انتشار از نوع A1 و مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG برای پیش بینی طی دوره (۲۰۳۹-۲۰۱۰) مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج تحقیق فوق در مقایسه با دوره مشاهداتی (۱۹۸۲-۲۰۰۵) بیانگر افزایش میانگین دمای سالانه به میزان ۰/۱ سانتی گراد و کاهش میانگین بارش سالانه به میزان ۰/۵ میلیمتر است. در حالی که تعداد روز های گرم سال با روند ۲ روز در هر سال و تعداد روز های یخبندان به طور میانگین ۸ روز کاهش می یابند، تعداد روز های خشک سال ۵ روز افزایش و تعداد روز های مرطوب ۸ روز کاهش را نشان می دهند. با توجه به افزایش بارش های سنگین به میزان ۸٪ در مقایسه با دوره مشاهداتی، در طول دوره های آبی و هوایی گرم و خشک به همراه بارش های سیل آسا که می تواند موجبات فقر پوشش گیاهی و از بین رفتن خاک را به همراه داشته باشد دور از انتظار نیست (Habibi Nokhandan et al., 2011).

۲-۳ کاربرد شبکه های عصبی (ANN)^۲ در برآورد رواناب

مک کلارچ و والتر پیتز در اوایل دهه ۴۰ شبکه هایی طراحی کردند که به طور کلی به عنوان اولین شبکه های عصبی شناخته می شود. این محققان دریافتند که ترکیب تعداد زیادی نرون ساده در سیستم عصبی منبع افزایش قدرت محاسباتی است. در چنین شبکه هایی وزن نرون ها طوری تنظیم می شوند که هر نرون نقش یک واحد منطقی ساده را اجرا نماید.

² Artificial Neural Network

یافتن رابطه ای بین پارامتر های بارندگی و رواناب در یک حوضه از دیر باز مورد توجه هیدرولوژیست ها بوده است. تعدادی از محققین توانایی شبکه های عصبی را برای مدل سازی رواناب یک حوضه بر پایه داده های ورودی مورد مطالعه قرار داده اند که در ادامه مطلب، به برخی از آنها اشاره می گردد. هسو و همکاران (۱۹۹۵) نشان دادند که روش ANN نمایش بهتری از رابطه ی بارندگی - رواناب برای یک حوضه با اندازه ی متوسط نسبت به مدل سری زمانی ARMAX یا مدل رطوبت خاک ساکرامنتو (SACSMA) فراهم می آورد. در این مطالعه از الگوریتم ساده ی حداقل مربعات خطی (LLSIM) استفاده شد که فضای وزن ها را برای بکارگیری ترکیبی از دو استراتژی آموزش به دو قسمت تقسیم می کند. وزن های بین لایه های ورودی و لایه های پنهان با استفاده از یک الگوریتم بهینه سازی غیر خطی تعیین می شود، در حالی که وزن لایه های پنهان به لایه های خروجی با استفاده از روش حداقل مربعات بهینه تخمین زده می شود. محققین مذکور از این تکنیک برای مدل سازی بارندگی - رواناب منطقه ی مورد مطالعه استفاده نموده اند (Hsu et al., 1995).

شریثا (۲۰۰۵) از شبکه های عصبی برای شبیه سازی جریان سیلاب در نقاط معینی از حوضه ی رودخانه با استفاده از مقادیر جریان در نقاط بالادست استفاده نموده است. در این تحقیق از شبکه های مختلف از نوع پرسپترون چند لایه با توابع محرک متفاوت برای بهبود تعمیم دهی شبکه استفاده شده است. آموزش شبکه ی عصبی با استفاده از روش پس انتشار خطا و الگوریتم لوبنبرگ - مارکوارت صورت گرفته است (Shrestha et al., 2005).

طبق مطالعات صورت گرفته توسط تومبل و اوکول (۲۰۰۶) توانایی شبکه های عصبی در برآورد رواناب حوضه در کشور ترکیه مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه از روش پس انتشار خطا و الگوریتم لوبنبرگ - مارکوارت استفاده شده است. با توجه به نتایج آزمون های (RMSE) و (R^2) برای قسمت های آموزش و آزمایش بدون هیچ شکی مدل شبکه های عصبی قادر به مدل سازی غیر خطی بارش - رواناب می باشد (Tombul and Oğul, 2006).

وو و چاوو (۲۰۱۱) با استفاده از مدل شبکه های عصبی، رواناب دو حوضه در کشور چین را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق ابتدا پارامتر های ورودی بررسی شد، سپس مقادیر روزانه بارش و رواناب به عنوان ورودی مدل انتخاب گردید. در نهایت دو مدل که یکی فقط شامل دبی روزانه و دیگری شامل بارش و دبی روزانه می شد مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نهایی حاکی از مدل سازی بهتر در حالت دو پارامتر ورودی می باشد (Wu and Chau, 2011).

چن و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدل شبکه های عصبی بارش- رواناب حوضه ای در جنوب تایوان را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق مذکور مدل پس انتشار خطا و رگرسیون معمولی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصل از مراحل آموزش و تست، مدل پس انتشار خطا نتایج بهتری نسبت به روش رگرسیون معمولی ارائه می دهد. مدل پس انتشار خطا برای داده هایی با روند تغییرات بزرگ مناسب است در حالی که روش رگرسیون خطی برای مقادیری با روند تغییرات کوچک عمل کرد بهتری به نمایش می گذارد (Chen et al., 2013).

یزدانی و همکاران (۱۳۹۰)، به بررسی کارایی شبکه های عصبی پرسپترون چند لایه و زمان تاخیری در برآورد جریانهای سطحی حوضه ی آبخیز زاینده رود پرداختند. در این تحقیق دو نوع مدل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) و مدل شبکه عصبی زمان تاخیری (TLNN) در زیر حوضه های پلاسجان، سمندگان و زاینده رود مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر این بود که مدل TLNN علیرغم حساسیت زیاد در مرحله آموزش، از کارایی خوبی در تخمین رواناب برخوردار بوده و نسبت به مدل MLP از خطای کمتری برخوردار است، بطوری که این شبکه ها با استفاده از ورودی هایی شامل ۳ تا ۴ ایستگاه باران سنجی و ۲ تا ۳ ایستگاه دما سنجی با آموزش مناسب می توانند رواناب ماهانه را بخوبی تخمین بزنند. میانگین خطای مطلق پیش بینی در مرحله تست برای سه ایستگاه اسکندری، مندرجان و قلعه شاهرخ با استفاده از روش TLNN به ترتیب برابر ۰/۵، ۰/۳۱ و ۰/۲۷ و همچنین در روش MLP نیز به ترتیب ۰/۵، ۰/۳۳ و ۰/۴۵ بود. شبکه های عصبی زمان تاخیری، ضمن داشتن

انعطاف پذیری بسیار بالا، بخوبی توانایی شبیه سازی عکس العمل حوضه آبریز نسبت به ورودی ها از جمله بارش و دما را دارند.

امیدوار و اژدرپور (۱۳۹۱) توانایی شبکه های عصبی و مدل HEC-HMS را در برآورد بارش- رواناب حوضه ی آبریز رودخانه اعظم هرات مورد بررسی قرار دادند. داده های مورد استفاده در این تحقیق، شامل بارندگی روزانه به همراه دبی روزانه و لحظه ای رودخانه مزبور طی یک دوره آماری 24 ساله (۱۳۸۵-۱۳۶۱) است. شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم پس انتشار خطا و استفاده از تابع تبدیل سیگموئید آموزش داده شده است. معیار گزینش پارامترهای شبکه در مرحله آموزش، تولید کمترین مقدار (RMSE) در خروجی های آن است. مدل HMS به روش پیشنهادی SCS و شماره منحنی (CN) اجرا شده است. برای ارزیابی کارایی شبکه عصبی مصنوعی، داده های شبیه سازی شده و مشاهده ای مربوط به کل دبی و حجم رواناب، دبی ها و زمان های اوج مقایسه شدند. یافته های تحقیق نشان می دهد که ضرایب همبستگی کل دبی های مشاهده ای و برآورد شده شبکه عصبی ۰/۹۷۸ و مدل HMS ۰/۸۲۳ است. شبکه عصبی مصنوعی با در دست داشتن کمترین اطلاعات می تواند پیش بینی مناسبی از پدیده انجام دهد، در صورتی که HMS به تناسب روش گزینشی در هر مرحله از اجرای مدل، نیاز به اطلاعات خاصی دارد که در صورت نبود این اطلاعات، قادر به ادامه کار نیست.

۳-۲ مطالعات صورت گرفته در زمینه کیفیت منابع آب سطحی

توو (۲۰۰۹) تاثیر تغییرات اقلیم و کاربری اراضی را بر رژیم جریان و کیفیت آب سطحی در حوضه ای واقع در قسمت شرقی ماساچوست (آمریکا) مورد مطالعه قرار داد. در بخش مطالعات تغییر اقلیم از خروجی مدل (CGCM3.1) تحت سناریو های (A2، B1، A1B) استفاده شده است، سپس از مدل AVGWLFF جهت مدل سازی رژیم جریان و غلظت نیتروژن استفاده شده است. نتایج بدست آمده برای دو دوره (۲۰۰۵-۲۰۱۴) و (۲۰۱۵-۲۰۲۴) مورد بررسی قرار گرفته اند. نتایج نشان می دهد تاثیر بار نیتروژن تحت تاثیر همزمان تغییرات اقلیم و کاربری اراضی، بسیار بیشتر از وقوع انفرادی هر

یک از عوامل یاد شده می باشد، ولی در برخی ماه های سال این عوامل به نوعی تاثیر یکدیگر را خنثی می کنند (Tu, 2009).

دلفا و همکاران (۲۰۰۹)، به بررسی تاثیرات تغییر اقلیم بر کیفیت منابع آب در رابطه با تولید آب آشامیدنی پرداختند. بررسی ها حاکی از روند کاهشی در کیفیت آب های آشامیدنی همراه با افزایش ریسک تاثیر گذاری بر سلامت انسانی تحت تغییرات پارامتر های هواشناسی است. تغییرات در غلظت یا تعداد بسیاری از پارامتر های کیفیت آب از قبیل مواد آلی حل شده، ریزآلاینده ها و غیره، پیامد افزایش دما و باران های شدید در کشور های معتدل هستند. در نهایت توجه شدید بر کنترل پارامتر های کیفی آب و مدل های بررسی این پارامترها پیشنهاد گشته است (Delpla et al., 2009).

کراس من و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تاثیرات تغییر اقلیم و توسعه کاربری اراضی بر کیفیت منابع آب در حوضه ی آبریز دریاچه Simco پرداختند. در مطالعه مذکور از دو مدل HBV و INCA-P به همراه خروجی های مدل CGCM3 تحت دو سناریوی (A1B و A2) استفاده شده است. نتایج نشان دهنده افزایش شدید بارش در فصل زمستان با بیشترین افزایش تحت سناریو A2 و افزایش دما در طول فصل تابستان با بیشترین افزایش تحت سناریوی A1B می باشد. با وجود تنوع موجود بین سناریو های IPCC ولی هر دو سناریو افزایش سالانه مقدار فسفر حل شده را در طول قرن ۲۱ پیش بینی می کنند، این افزایش می تواند تاثیرات مخربی بر میزان اکسیژن محلول در آب، زندگی جانداران آبی حوضه بگذارد (Crossman et al., 2013).

ویلسون و ونگ (۲۰۱۱) مطالعه ای در زمینه ی تاثیرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر کیفیت و کمیت منابع آب سطحی در حوضه ی رود خانه ی Des در شیکاگو انجام دادند. در تحقیق فوق سناریو های A1 و A1B جهت تخمین تغییرات اقلیم طی سال های (۲۰۱۱-۲۰۳۰) مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین مدل LCM و SWAT به ترتیب برای تخمین توسعه کاربری اراضی و کل مواد جامد محلول و غلظت فسفر محلول در منابع آب سطحی استفاده گردید. نتایج حاصله نشان دهنده ی غلظت بالای مواد جامد محلول در طول اواخر زمستان و اوایل بهار طی ۱۰ سال آتی است،

در صورتی که غلظت این مواد در طول تابستان روندی نزولی دارد. غلظت فسفر تخمین زده شده در طول تابستان دارای روندی افزایشی می باشد. با توجه به نتایج ذکر شده کنترل توسعه تجاری، اقتصادی و مسکونی می تواند به عنوان پارامتری حیاتی در کنترل غلظت عوامل نام برده دخیل باشد (Wilson and Weng, 2011).

طبق مطالعات صورت گرفته توسط محققان، تغییرات پیش بینی شده در درجه حرارت هوا و بارش باران ناشی از تغییر اقلیم می تواند بر جریان آب رودخانه ها تاثیر گذار باشد. بنابراین تحرک و رقت آلاینده، فاکترهای تاثیر پذیر از این پدیده می باشند. به عنوان مثال افزایش دمای آب می تواند سینتیک واکنش های شیمیایی را تحت تاثیر قرار دهد یا افزایش رژیم جریان می تواند بر میزان بار رسوبات قابل حل در رودخانه و به طبع آب میزان ذرات معلق در آب تاثیر گذارد، همچنین کاهش رژیم جریان، موجب کاهش سرعت جریان آب در رود ها و افزایش رشد جلبک های رودخانه شده و میزان غلظت اکسیژن قابل حل در آن را کاهش می دهد (Whitehead et al., 2014).

در تحقیق صورت گرفته توسط خان و همکاران (۲۰۱۴)، بسیاری از پارامتر های کیفیت آب از قبیل DO، PH، TDS، دمای آب و غیره به همراه فلزات سنگین در رودخانه Indus واقع در پاکستان مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج این مطالعه، مناسب بودن شرایط زیست محیطی رودخانه برای رشد آبزیان را نشان می دهد (Khan et al., 2014).

در تحقیقی صورت گرفته توسط مقدم و همکاران (۱۳۹۲)، روند تغییرات زمانی و مکانی پارامتر های کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار گرفت است. نتایج تحقیق در بعد مکانی بیانگر تجمع آلودگی در محل هایی از حوضه است که بیشتر مورد استفاده کشاورزی قرار گرفته است و در بعد زمانی تغییرات و نوسانات آب و هوایی به وخامت شرایط دامن زده و وضعیت نامناسبی را در سال های آینده برای حوضه پدید خواهد آورد.

با توجه به تحقیقات پیشین، ملاحظه می شود که مطالعات محدودی در بررسی همزمان تغییرات اقلیم، بارش- رواناب و همچنین تاثیر عوامل یاد شده بر کیفیت منابع آب سطحی انجام شده است و همچنین حوضه بالیخلی چای در ادبیات مطالعاتی مورد مطالعه قرار نگرفته است. لذا به عنوان نوآوری این تحقیق تاثیرات تغییر اقلیم در سطح حوضه آبریز بالیخلی چای (بخش بالا دست سد یامچی) را بر کمیت و کیفیت منابع آب سطحی بررسی خواهد کرد.

فصل سوم

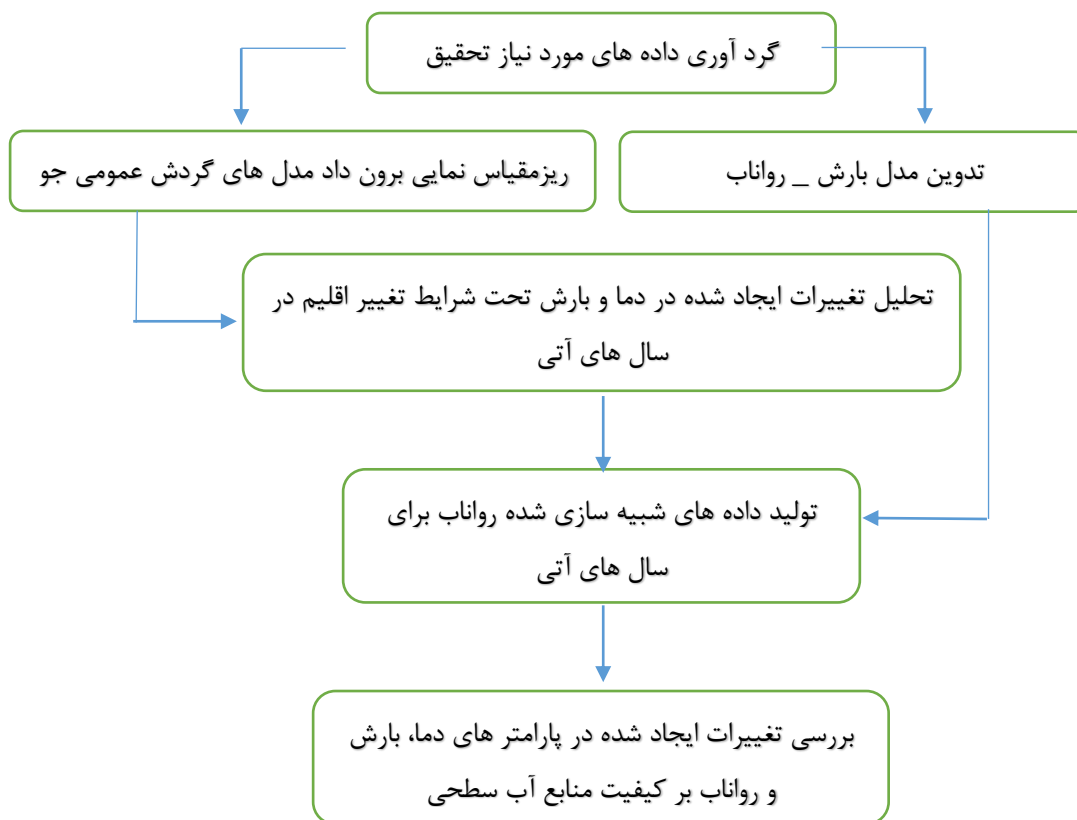
مواد و روش ها

۱-۳ مقدمه

روش شناسی، خط مشی های گام به گامی است که برای تکمیل یک یا چند مرحله از مراحل چرخه تکاملی یک تحقیق به کار گرفته می شود. یک روش شناسی، مرکب از مراحل است که هر یک به نوبه خود از مراحل فرعی تشکیل شده اند. توسعه دهندگان می توانند ابزارها و روش های مناسب آن مرحله را انتخاب کرده و پروژه های انجام شده را برنامه ریزی، مدیریت، کنترل و ارزیابی می کنند.

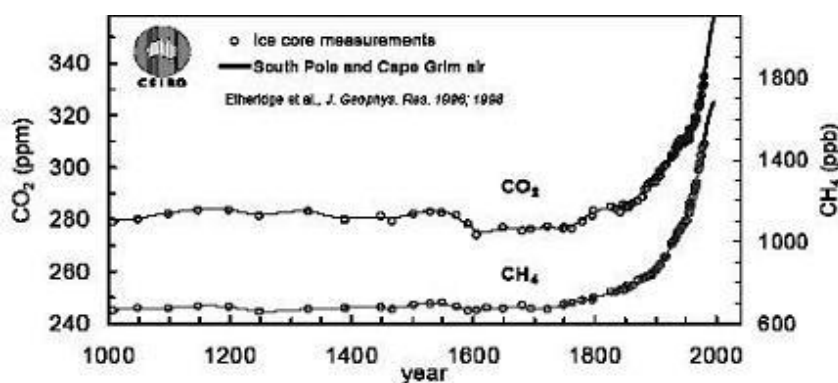
۲-۳ مراحل انجام تحقیق

در شکل ۱-۳ مراحل انجام تحقیق به اختصار نشان داده شده است. در ابتدای کار به جمع آوری داده های مورد نیاز در حوضه مطالعاتی پرداخته شده، سپس با استفاده از برون داد مدل های گردش عمومی جو سناریو های تغییر اقلیم تدوین شد. با استفاده از سناریوی A2 تغییر اقلیم و داده های تاریخی، شبیه سازی پارامتر های دما و بارش برای سال های آتی صورت گرفت. با توجه به داده های تاریخی رواناب ثبت شده ی حوضه و داده های بارش و دما در سال های آتی شبیه سازی رواناب برای دوره ی مشخص تاریخی در آینده صورت گرفت. در نهایت امر تاثیرات پارامتر های مذکور بر کیفیت منابع آب ارزیابی گردید.



شکل ۳-۱ فلوجارت تحقیق حاضر

افزایش جمعیت جهان و به طبع آن گسترش روز افزون فعالیت های صنعتی، استفاده بیشتر از سوخت های فسیلی و تغییر کاربری اراضی جهت پاسخ به نیاز ها و تامین رفاه جامعه بشری موجب شده است تا پس از انقلاب صنعتی در اواسط قرن هجدهم، افزایش غلظت گاز های گلخانه ای مانند CO_2 (شکل ۳-۲)، تغییراتی تدریجی در اقلیم کره زمین پدید آورد که از بارز ترین این تغییرات، می توان به افزایش متوسط دمای زمین و پدید های همچون سیل، طوفان های حاره ای، ذوب شدن یخ ها، افزایش سطح دریا و غیره اشاره کرد.



شکل ۳-۲ تغییرات غلظت گاز CH_4 و CO_2 طی یک هزار سال اخیر (Etheridge et al., 1996)

افزایش این رخ داد ها در سال های اخیر، دغدغه اصلی اقلیم شناسان و سران کشور ها بوده است. لذا لازم است وضعیت اجتماعی و اقتصادی در کره زمین در سال های آتی ارزیابی شود. در این راستا هیئت بین دول تغییر اقلیم IPCC^۳ وضعیت جهان را در قالب سناریو هایی طی سال های آتی بررسی کرده است. اولین سناریو منتشر توسط IPCC در سال ۱۹۹۲ با نام IS92 ارائه گشت. این سناریو علاوه بر ثابت در نظر گرفتن نرخ تغییرات گازهای گلخانه ایی تا سال ۲۱۰۰ شامل برآورد هایی از قبیل تغییرات جمعیت، میزان مصرف سوخت های فسیلی، تولید ناخالص ملی و غیره می باشد. IPCC طی گزارشی ویژه در سال ۲۰۰۰ سری جدیدی از سناریو های انتشار با نام SRES^۴ را شامل خانواده B1، B2، A1 و A2 در راستای بروز رسانی IS92 ارائه کرد که این سناریو ها عبارتند از (IPCC, 2001)

- **سناریوی A1:** دنیای همگرا، رشد سریع اقتصادی، رسیدن جمعیت جهان به مرز ۹ میلیارد نفر تا سال ۲۰۵۰ و کاهش تدریجی جمعیت پس از ۲۰۵۰ و گسترش سریع فناوری های جدید و نوآورانه. خانواده A1 با تاکید بر فناوری به سه زیر مجموعه تقسیم می شود.

- A1FI تاکید بر استفاده از سوخت های فسیلی

- A1B تاکید بر استفاده متعادل از انواع منابع انرژی

- A1T تاکید بر استفاده از منابع انرژی غیرفسیلی

- **سناریوی A2:** دنیای واگرا، کشور ها به خود متکی هستند، جمعیت جهان بطور پیوسته افزایش می یابد، توسعه اقتصادی منطقه محور

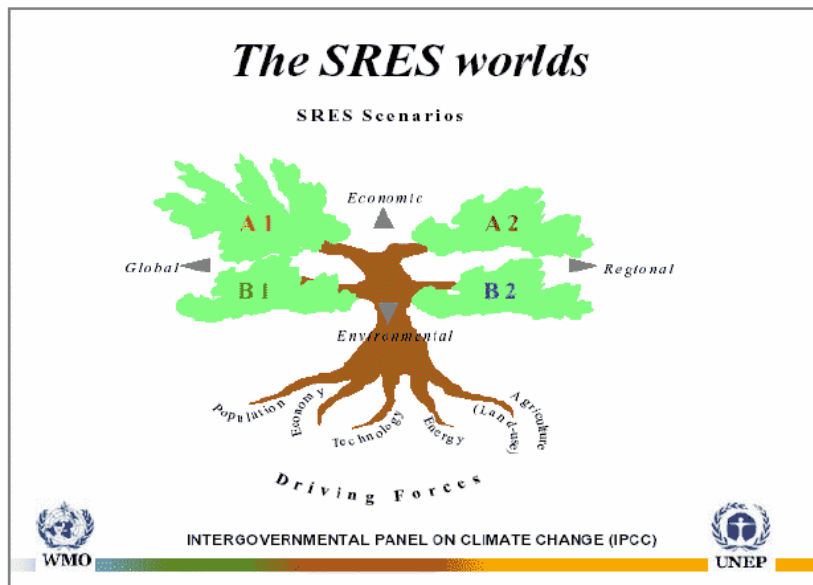
- **سناریوی B1:** دنیای همگرا، شاهد الگوی تغییر جمعیتی مشابه با سناریو A1، دنیا یکپارچه و دوستدار محیط زیست، استفاده از منابع پاک و فناوری های نوین در راستای کاهش مواد آلاینده

³ Intergovernmental Panel on Climate Change

⁴ Special Report on Emissions Scenarios

- سناریوی B2: دنیای واگرا، رشد پیوسته جمعیت ولی با روندی کند تر از سناریو A2، توسعه اقتصادی در حد متوسط و استفاده از راه حل های محلی به جای راه حل های جهانی برای ثبات اقتصادی، دوست دار محیط زیست

شکل ۳-۳، این خانواده ها را به صورت شماتیک نشان می دهد.



شکل ۳-۳ طرح شماتیک سناریو های تغییر اقلیم (ضرغامی و همکاران، ۱۳۸۹)

سناریوی انتشار مورد استفاده در این تحقیق (A2) می باشد، زیرا طبق گزارش منتشر شده از IPCC در سال ۲۰۰۷ هیچ یک از این سناریو ها نسبت بر دیگری برتری نداشته و دارای احتمال وقوع یکسان هستند، ولی سناریو A2 دارای دید واقع گرایانه نسبت به افزایش غلظت گاز های گلخانه ای در سال های آتی است (IPCC, 2001).

با توجه به مطالب پیشین افزایش غلظت گاز های گلخانه ای در سال های آتی دور از انتظار نیست ولی میزان افزایش غلظت گاز های گلخانه و تبعات آن برای بشر و اقلیم کره زمین مشخص نیست. لذا مطالعات تغییرات اقلیم، مطالعاتی غیر قطعی است. مدل های مختلفی به تدوین وضعیت اقلیمی ممکن در سال های آتی پرداخته اند ولی در این بین مدل گردش عمومی جو (GCM) معتبرترین ابزار جهت ارائه بررسی شرایط اقلیمی آینده بر مبنای قوانین فیزیکی و روابط ریاضی می باشند.

۳-۳ مدل های گردش عمومی جو GCM

هر مدل اقلیمی تلاش می کند تا فرآیند های تاثیر گذار بر اقلیم را شبیه سازی کرده و بر اساس آن اقلیم را برای سال های آینده پیش بینی کند. چون پیش بینی وضعیت اقلیم آینده تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم به طور قطعی ممکن نیست، راه حل جایگزین مشخص کردن امکان رخداد های گوناگون برای آن است که سناریوی اقلیمی نامیده می شود. در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید این سناریو ها "مدل های گردش عمومی (GCM)^۵ می باشند.

مدل های گردش عمومی، مدل های عددی سه بعدی هستند که بر اساس سناریوهای مختلف اقلیمی به منظور شبیه سازی اثر گازهای گلخانه ای بر اقلیم حاضر کره زمین توسعه داده شده اند و قادر هستند تا تغییرات اقلیم آینده کره زمین را پیش بینی کنند

مدل های گردش عمومی جو، روابط موجود در سطح زمین و لایه مختلف جو را در یک شبکه سه بعدی حل می کنند. بدین صورت که حل معادلات حاکم بر جو بر اساس قوانین نیوتن و ترمودینامیکی می باشد. قوانین نیوتن در سه محور نوشته می شود. این سه معادله در کنار قوانین عمومی گازها و ترمودینامیک، پایه و اساس مدل های گردش عمومی جو را تشکیل می دهند (شفائی و همکاران ۱۳۹۲).

الگوی انتخابی در این تحقیق مدل HADCM3^۶ است که با توجه به مطالعات زولکرنین و همکاران (۲۰۱۳) و پراون و همکاران (۲۰۱۱) مدل HADCM3 از توانایی مناسبی در پیش بینی الگوهای اقلیمی برخوردار است (Zulkarnai et al., 2013) و (Praveen et al., 2011). همچنین مدل مذکور به عنوان یکی از بالغ ترین و محبوب ترین GCM ها محسوب می شود (Toews and Allen, 2009). مطابق مطالعات معتبر این مدل رفتار نرمال و مناسبی برای برآورد تغییر اقلیم ارائه می دهد و از

^۵ General Circulation Model

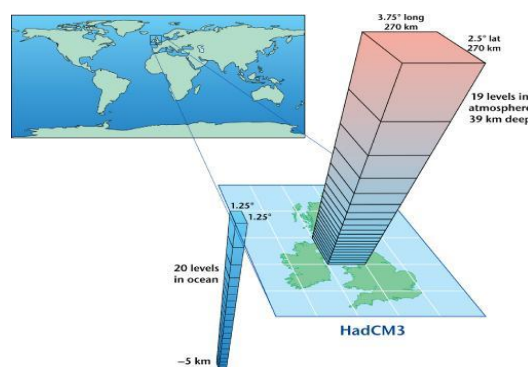
^۶ Hadley Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Model, version 3

حالت افراط و تفریط به دور است. برای اثبات این می توان به مراجع مختلف از جمله (Jakson and Sen, 2009) مراجعه کرد.

۴-۳ معرفی مدل گردش عمومی HADCM3

HADCM3 از نوع مدل های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی (AOGCM) است و در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است. توصیف این مدل توسط پوپ و همکاران (۲۰۰۰) انجام شده است (Pope et al., 2000).

HADCM3 از دو مولفه جوی و اقیانوسی به نام های HADAM3 (مدل جوی) و HadOM3 (مدل اقیانوسی) که دارای یک مدل یخ-دریا نیز می باشد، تشکیل شده است. هیئت بین الدول تغییر اقلیم از داده های مدل گردش عمومی HADCM3 برای تهیه گزارش سوم استفاده کرده است. قدرت تفکیک بالای مولفه اقیانوسی، مهمترین مزیت این مدل محسوب می شود. از جمله دیگر مزیت های این مدل، هماهنگی خوب بین مولفه های جوی و اقیانوسی آن است. در شکل ۴-۳ ساختار کلی مدل مشاهده می شود.



شکل ۴-۳ ساختار افقی و قائم مدل جفت شده جوی-اقیانوسی HADCM3 (<http://www.metoffice.gov.uk/climate-change/resources/hadleycentre>)

استفاده مستقیم از نتایج پیش بینی های مدل های گردش عمومی جو در مقیاس منطقه ای و نقطه ای صحیح نیست. استفاده از ریز مقیاس نمایی موجب اعمال رفتار های محلی و بهبود پیش بینی های آن ها در مقیاس های کوچکتر خواهد شد.

۳-۵ ریز مقیاس نمایی (Downscaling)

در مطالعه تغییر اقلیم، ریزمقیاس نمایی، به فرآیند حرکت از پیش بینی کننده های بزرگ مقیاس به پیش بینی شونده ها در مقیاس محلی اطلاق می شود.

مدل های گردش عمومی، مدل های سه بعدی هستند که بر اساس سناریوهای مختلف اقلیمی به منظور شبیه سازی اثر گازهای گلخانه ای بر اقلیم حاضر کره زمین توسعه داده شده اند و قادر هستند تا تغییرات اقلیم آینده کره زمین را پیش بینی کنند. با این حال، یکی از محدودیت های اصلی در استفاده از خروجی های اقلیمی مدل های چرخه عمومی (GCM) این است که دقت تجزیه مکانی و زمانی آنها با دقت مورد نیاز مدل های منطقه ای و هیدرولوژیکی مطابقت ندارد. دقت مکانی این مدل ها در حدود ۲۰۰ کیلومتر است، که این دقت خصوصاً برای بررسی مناطق کوهستانی و پارامترهای اقلیمی نظیر بارش و دما مناسب نیست. تکنیک های کوچک مقیاس نمایی، اطلاعاتی در خصوص حوضه آبریزی با مقیاس کوچکتر در اختیار ما قرار می دهد.

۳-۶ مدل LARS-WG^۷

معرفی مدل ریزمقیاس نمایی (LARS-WG) به شرح ذیل می باشد (Semenov and Barrow, 2002). مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG یک مدل مولد تصادفی داده های آب و هوا می باشد که در یک ایستگاه جهت تولید پارامتر های دما، بارش و تابش تحت شرایط حال و آینده می تواند مورد استفاده قرار گیرد. داده های ورودی مدل به صورت روزانه و شامل بارش، دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش خورشید می باشد.

⁷ Long Ashton Research Station-Weather Generator

مدل های مولد تصادفی آب و هوا بر مبنای دو هدف اصلی توسعه یافته اند:

۱- وسیله ای برای شبیه سازی مصنوعی سری های زمانی آب و هوایی با توجه به ویژگی های آماری بدست آمده از داده های مشاهداتی در ایستگاه، این بخش به طور وسیعی در زمینه ارزیابی ریسک های موجود در برنامه های کاربردی هواشناسی و کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است.

۲- ابزاری برای گسترش شبیه سازی سری های آب و هوایی در ایستگاه های فاقد آمار، با توجه به پارامتر های آب و هوایی به دست آمده از ایستگاه های مجاور.

امروزه برون داد مدل های گردش عمومی جو (GCM) از قدرت تفکیک مکانی، زمانی و سطح اعتماد پذیری بالایی جهت بررسی تغییرات آب و هوایی برخوردارند و مدل های مولد آماری می توانند به عنوان ابزار هایی ارزان جهت ارزیابی پیامد های ناشی از سناریو های تغییر اقلیم در سال های مختلف در مقیاس روزانه مورد استفاده واقع شوند.

اولین نسخه مدل در سال ۱۹۹۰ در بوداپست (مجارستان) به عنوان بخشی از پروژه ی ارزیابی ریسک در مطالعات کشاورزی تدوین گشت و آکادمی علوم مجارستان تامین کننده مالی پروژه بود.

تمرکز اصلی پروژه شامل غلبه بر محدودیت های زنجیره ی مارکوف در مدل وقوع بارش بود که در زمان مذکور به طور گسترده در مدل سازی بارش استفاده می گشت. مدل نام برده به طور کلی شامل دو نظریه ی بارش (روزهای تر و خشک و شرایط در روز قبل) بود، اما توانایی مدل سازی حداکثر طول دوره ی خشکسالی، که پارامتری بسیار حیاتی در ارزیابی واقع بینانه از تولیدات محصولات کشاورزی بود را نداشت. این مهم باعث گشت که شبیه سازی طول دوره تر و خشک نقشی اساسی در رویه مدل های مولد آب و هوایی داشته باشد. نسخه ی اصلاح شده مدل نام برده هم اکنون LARS-WG خوانده می شود.

مدل LARS-WG مبتنی بر سری های مولد آب و هوایی است. این مدل با بهره گیری از یک توزیع نیمه تجربی به مدل سازی طول روزهای خشک و تر، بارش و سری تابش می پردازد. توزیع نیمه

تجربی $Emp = \{a_0, a_i, h_i, i=1, \dots, 10\}$ مورد استفاده در این مدل شامل یک هیستوگرام با ده بازه زمانی $[a_{i-1}, a_i]$ می باشد، که $a_i > a_{i-1}$ و h_i بر رویداد های رخ داده با توجه به داده های مشاهداتی در بازه ی زمانی i ام دلالت دارد. ارزش های تصادفی (Random) این توزیع نیمه تجربی به وسیله ی اولین بازه زمانی انتخابی (احتمال انتخاب بستگی به نسبت وقایع در هر بازه دارد) مشخص شده و سپس یک مقدار در داخل بازه ای از توزیع یکنواخت انتخاب می شود. چنین توزیع ای انعطاف پذیر بوده و می توان حالات مختلف را با تعیین بازه ی $[a_{i-1}, a_i]$ تقریب زد. در راستای این انعطاف پذیری لازم است، برای یافتن توزیع مناسب ۲۱ پارامتر (۱۱ پارامتر مشخص کننده ی محدوده ی بازه و ۱۰ پارامتر وقایع رخدادی در هر بازه) در اختیار باشد. به عنوان مثال ۳ پارامتر برای مشخص شدن توزیع نمایی مناسب، در مدل های پیشین برای تعریف روز های خشک و تر استفاده می شد.

بازه ی $[a_{i-1}, a_i]$ بر مبنای ویژگی های مورد انتظار متغیر های آب و هوا انتخاب می شود. برای پارامتر تابش خورشید بازه ی $[a_{i-1}, a_i]$ به طور یکسان شامل فاصله ای بین مقادیر کمینه و بیشینه ی داده های مشاهداتی ماهانه است، در صورتی که طول سری های تر و خشک برای مدل سازی بارش به تدریج با افزایش i افزایش می یابد.

همان طور که اشاره شد برای مدل سازی بارش از سری های تر و خشک استفاده شده، که به عنوان مثال روزهای تر بیانگر روزهایی با بارش بیش از صفر میلیمتر است. طول هر کدام از سری های آغاز شده در ماه به صورت تصادفی از توزیع نیمه تجربی روزهای تر و خشک انتخاب می شود.

دمای کمینه و بیشینه ی روزانه به عنوان فرایندهای تصادفی با توجه به میانگین و انحراف معیار استاندارد روزانه مشروط بر وضعیت مرطوب یا خشک بودن روز تعیین می شوند. سیکل میانگین و انحراف معیار استاندارد حرارت روزانه توسط سری فوریه مدل سازی گشته، همانند سازی میانگین و انحراف معیار استاندارد درجه حرارت فصلی توسط سری فوریه مرتبه سوم انجام می شود.

فرایند تولید مقادیر مصنوعی توسط این مدل طی سه مرحله انجام می گیرد.

- **واسنجی مدل (Site Analysis)**، داده های مشاهداتی برای تعیین ویژگی های آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند.

- **اعتبار سنجی مدل (Q Test)**، ویژگی های آماری بدست آمده از مرحله قبل و اطلاعات آب و هوای مصنوعی تولید شده مورد ارزیابی و مقایسه قرار می گیرند تا اگر هرگونه تفاوت آماری معنی داری بین آن ها موجود باشد مشخص گردد.

- **تولید داده های مصنوعی (Generator)**، فایل حاوی پارامتر های استخراج شده از داده های مشاهداتی در مرحله ی اول برای تولید داده های مصنوعی با همان ویژگی ها اما با در نظر گرفتن تاثیرات برون داد مدل های گردش عمومی جو (GCM) بر داده های خروجی مورد استفاده قرار می گیرد.

– **(Site Analysis)**: در این مرحله ابتدا مدل فایلی (*dat) حاوی داده های مشاهداتی ایستگاه مورد نظر و فایلی (*st) حاوی اطلاعات جغرافیایی ایستگاه مورد مطالعه دریافت می کند. سپس مدل پس از تجزیه و تحلیل داده های دریافتی اقدام به ساخت دو فایل پارامتر (*wg) حاوی پارامتر های استخراج شده از داده های مشاهداتی برای تولید داده های مصنوعی و فایل آماری (*sta) حاوی توزیع فراوانی فصلی برای طول دوره ی تر و خشک و گرم و سرد برای استفاده در بخش اعتبار سنجی می کند. فایل های نام برده در پوشه ای با نام "Sitebase" در محل نصب برنامه ذخیره می شوند. طول سال های داده های ورودی در مقیاس روزانه باید ۳۰-۱۰ سال باشد و داده های مفقود با عدد ۹۹- برای مدل قابل فهم است. داده های مذکور در روند اجرای مدل دخالت داده نمی شوند، همچنین مدل خطاهای موجود در داده های ورودی را توسط پنجره ایی با نام Error برای کاربر آشکار می کند.

– **(Qtest)**: در این مرحله به ارزیابی توانایی مدل در تولید داده های مصنوعی در ایستگاه مورد مطالعه پرداخته می شود. نحوه ی کار در این بخش بدین صورت است که مدل به بررسی داده های مصنوعی تولید شده توسط خود با طول دوره ی آماری مشابه با دوره مشاهداتی و داده های مشاهداتی

ایستگاه پرداخته و نتایج را در فایلی (TST*) ذخیره می کند. فایل مذکور حاوی داده هایی از قبیل میانگین ماهانه و انحراف معیار مقادیر مشاهداتی و تولید شده توسط مدل، آزمون t-test، p-value و... می باشد. فایل ایجاد شده در این قسمت برای تولید داده های مصنوعی با توجه به تاثیرات تغییر اقلیم در بخش "Generator" مورد نیاز می باشد. گاهی در این بخش شاهد تفاوت های معنی داری بین مقادیر تولید شده توسط مدل و مقادیر مشاهداتی هستیم، تفاوت های نام برده می تواند دلایلی از قبیل طول دوره آماری نامناسب ایستگاه مورد مطالعه، وقوع بارش های سیل آسا طی دوره تاریخی، خشکسالی های مقطعی و یا افت شدید دما در مواقعی خاص در سال داشته باشد.

– (Generator): این بخش شامل تولید داده های مصنوعی آماری در دو حالت می باشد، حالت اول تولید داده هایی با ویژگی های آماری مشابه با داده های مشاهداتی و حالت دوم تولید داده هایی با دخالت سناریو های تغییر اقلیم بر ویژگی های نام برده. در این قسمت پس از انتخاب نام ایستگاه مورد مطالعه و سناریو ی مورد نظر مدل را نسبت به طول دوره ی آماری مد نظر اجرا می کنیم، نتایج حاصل از این بخش در قسمت "output" به صورت فایل (*dat) ذخیره می شوند.

۳-۷ شبکه های عصبی (Artificial neural networks)

شبکه های عصبی، مدل هایی هستند که توسط مجموعه ای از گره های متصل به هم، روابط میان ورودی ها و خروجی های یک سیستم فیزیکی را تعیین کرده و میزان فعالیت هر یک از این اتصالات توسط داد های تاریخی تنظیم می شود (فرآیند یادگیری) و در نهایت مدل قادر به کشف قوانین (غیر خطی و پیچیده) بین ورودی ها و خروجی ها می باشد (رزم آرا و همکاران، ۱۳۹۲).

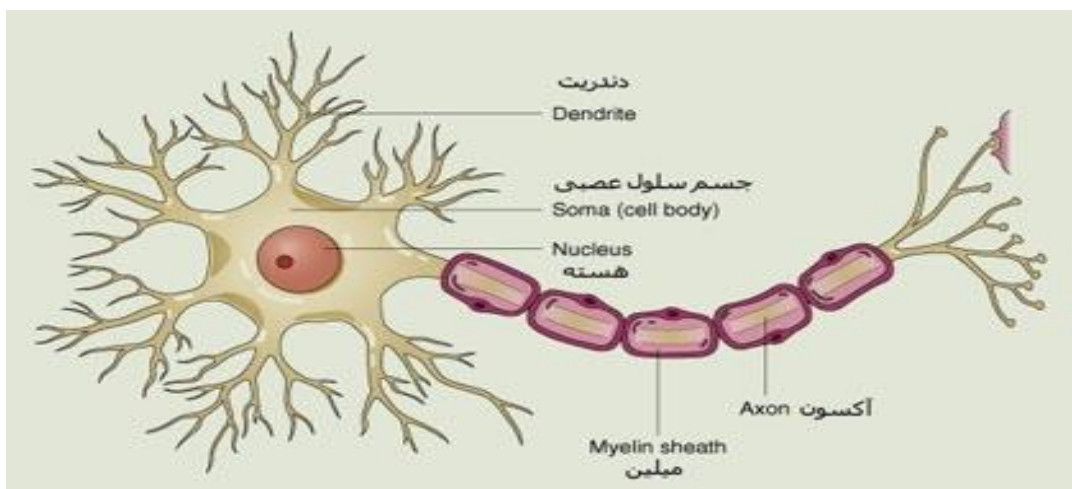
سیستم پردازش اطلاعات در شبکه های عصبی از تعداد زیادی عناصر پردازنده متصل به هم و هماهنگ تشکیل شده است. درک بهتر چگونگی عملکرد شبکه های عصبی نیازمند آشنایی با شبکه مغزی و نحوه ی عملکرد سلولهای آن است. ایده شبکه های عصبی مصنوعی با تحقیق در مورد سلول

های مغزی انسان آغاز شد. مغز بشر از میلیون ها نرون (neuron) منحصر به فرد تشکیل شده است و هر نرون شامل اجزای زیر می باشد:

الف) بدنه سلول: شامل هسته و لایه محافظتی

ب) دندريت: منطقه ورودی سلول

ج) آکسون: ناحیه خروجی و خط انتقال نرون



شکل ۳-۵ طرح شماتیک یک نرون (گایتان، ۱۳۷۲)

شکل ۳-۵ طرح شماتیک یه نرون را نشان میدهد. دندريت و آکسون عناصر ارتباطی نرون ها را تشکیل می دهند، بطوری که اطلاعات از طریق دندريت وارد سلول شده و پس از پردازش، توسط آکسون در محلی بنام سیناپس (محل تلاقی آکسون یک سلول و دندريت سلول دیگر) به نرون بعدی منتقل می شود (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹).

۳-۷-۱ اجزای یک شبکه عصبی

اجزای شبکه عصبی شامل ورودی ها، بردار وزن، تابع جمع و..... به شرح ذیل می باشد (سلطانی و همکاران ۱۳۸۹).

- ورودی ها

سیگنال های ورودی x_1 تا x_n ، معادل سیگنال های عصبی ورودی در مغز انسان هستند و در مجموع ورودی نرون را تشکیل می دهند. سیگنال های ورودی را می توان به دسته های زیر تقسیم کرد:

الف) داده های عددی و رقمی، ب) متون ادبی و فنی، ج) تصویر و یا شکل

- بردار وزن

وزن های w_{i1} تا w_{in} بیانگر مقادیر اتصالات سیناپسی ورودی های نرون می باشند. به بیان ساده تر میزان تاثیر مقادیر ورودی x_i بر روی خروجی y ، توسط بردار وزن اندازه گیری می شود. w_i قابل تنظیم بوده و با توجه به تابع تبدیل و نوع الگوریتم یادگیری تغییر می کند.

- تابع جمع

تابع جمع (adder) با توجه به رابطه ی زیر تعریف می شود، وظیفه پردازش نرون بر عهده تابع جمع است. نحوه ی عملکرد این تابع با توجه تک نرونی و یا چند نرونی بودن شبکه عصبی متفاوت می باشد بطوری که در شبکه های تک نرونی تابع فوق تا حدودی خروجی را مشخص کرده ولی در شبکه های چند نرونی سطح فعالیت نرون j در لایه های درونی را مشخص می سازد.

$$\sum_{j=1}^n x_j \cdot w_{ij} \quad 1-3$$

- توابع فعالیت

تابع فعالیت (activation function) که آن را تابع فشرده سازی نیز می نامند، تابعی است که با توجه به مقادیر ورودی، مقادیر خروجی را تعیین می کند. به تعبیر بهتر، تابع فعالیت برای مقادیر خروجی هر نرون آستانه ای در نظر می گیرد. همچنین قانون فعال سازی مشخص کننده چگونگی واکنش هر نرون در برابر الگوی های ورودی است. تابع فعال سازی محدوده ی وسیعی از ورودی ها را به مقدار خروجی در محدوده ی خاصی نگاشت می کند. تابع های فشرده سازی مختلفی از قبیل: تابع فعال

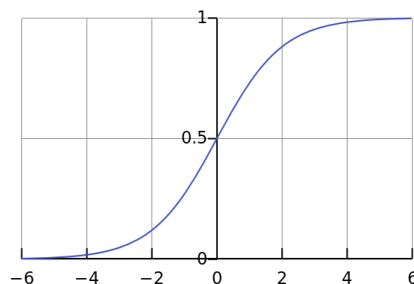
سازی آستانه ای، خطی، چند تکه ایی، سیگموئید، گوسین و تانژانت هایپربولیک وجود دارد. ولی استفاده از توابع سیگموئید و تانژانت هایپربولیک نسبت به سایر توابع شایع تر می باشد. توابع سیگموئید و تانژانت هایپربولیک به ترتیب به صورت زیر بیان می شوند.

$$p(t) = \frac{1}{1 + e^{-\omega t}} \quad ۲-۳$$

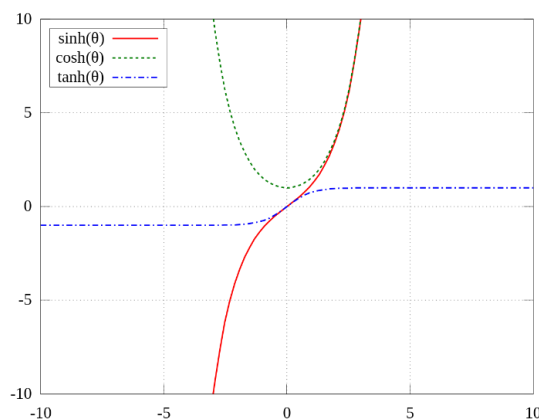
در رابطه ی ۲-۳ پارامتر ω ، بیان گر شیب می باشد به نحوی که با ایجاد تغییر در این پارامتر قادر به تولید توابع سیگموئید مختلف با شیب های متفاوت می باشیم. همچنین تابع فوق یک تابع اکیدا صعودی است.

$$y = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad ۳-۳$$

شکل های ۶-۳ و ۷-۳، به ترتیب توابع سیگموئید و تانژانت هایپربولیک را نشان می دهند.



شکل ۶-۳ تابع سیگموئید (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹)



شکل ۷-۳ تابع تانژانت هایپربولیک (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹)

- خروجی

خروجی یا همان پاسخ مسئله، خروجی نرون می باشد که به شکل رابطه ی زیر است:

$$y_j = \text{ActivationFunction} \left(\sum_{j=1}^n x_j \cdot w_{ij} \right) \quad 4-3$$

۳-۷-۲ ویژگی های شبکه عصبی

شبکه های عصبی دارای توانایی های قابل توجهی در زمینه استنتاج نتایج مناسب از داده های پیچیده و مبهم هستند که بوسیله ی این مهم می توان از این شبکه های در راستای تشخیص الگو و شناسایی گرایش های مختلف که برای انسان دشوار می باشد، استفاده کرد. در زیر به برخی از ویژگی های شبکه عصبی اشاره می شود.

- قابلیت یادگیری (learning ability): یعنی توانایی تنظیم پارامتر های شبکه (وزن ها سیناپسی) در مواجهه با شرایط جدید. در برخی موارد شبکه عصبی برای شرایط خاصی آموزش می بیند ولی بدایلی شرایط محیطی تغییر می کند، با توجه به این قابلیت شبکه عصبی قادر است با آموزش مختصر یا بدون آموزش نیز تحت شرایط جدید کارآمد باشد.

- قابلیت تعمیم (generalization ability): وقتی شبکه عصبی در برابر ورودی هایی آموزش دید، می تواند در برابر یک ورودی آموزش داده نشده قرار گیرد و نتایج مناسب ارائه دهد. به بیان ساده تنها در برخورد با چند نمونه داده جهت آموزش قانون کلی حاکم بین آنها را فرا گرفته و نتایج بدست آمده را به موارد جدید تعمیم دهد. این قابلیت مانع از بخاطر سپردن بی نهایت روابط در سیستم می شود.

- پردازش موازی (parallel processing): در شبکه های عصبی نرون ها به طور همزمان به ورودی ها پاسخ می دهند. این قابلیت باعث افزایش سرعت محاسبات و پردازش ها می شود. به بیان ساده تر در چنین سیستم هایی پردازش اطلاعات بین اجزای کوچکتری تقسیم شده است.

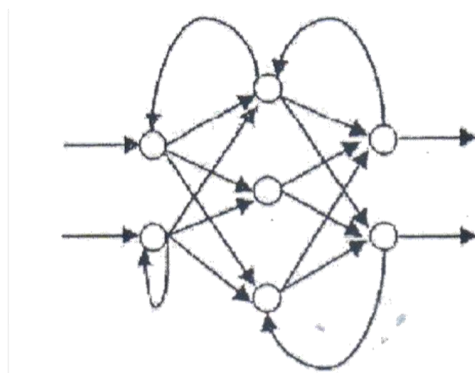
- مقاوم بودن (robustness): در شبکه عصبی نرون ها واحد هایی هستند که به طور مستقل عمل می کنند. یعنی رفتار کلی شبکه حاصل رفتار های محلی نرون های متعدد است. با توجه به این ویژگی نرون ها در طی یک روند همکاری، خطاهای را یکدیگر تصحیح می کنند.

تشخیص داده های اشتباه (fault recognition): الگوریتم های شبکه عصبی با استفاده از این قابلیت به طور خودکار از اعمال داده های آموزشی اشتباه در تعیین وزن ها جلوگیری می کنند (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹).

۳-۷-۳ ساختار های مختلف شبکه های عصبی

شبکه های عصبی نرون های بهم پیوسته هستند. نحوه یا شکل اتصال نرون ها به هم اساسی ترین متغیر در طراحی شبکه های عصبی و تنظیم نوع شبکه است. لذا با توجه به نوع اتصال نرون ها و همچنین الگوریتم آموزش می توان شبکه های عصبی را در انواع مختلف طبقه بندی کرد که در زیر به آنها اشاره می شود.

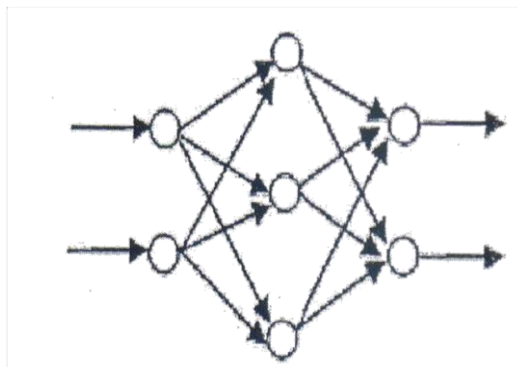
- شبکه های پسخور (feed back): چنانچه در یک شبکه حداقل یک حلقه وجود داشته باشد که در آن سیگنالی از یک نرون به خودش یا نرون های لایه قبل بازگردد، این شبکه را شبکه پسخور نامند (البرزی، ۱۳۸۰).



شکل ۳-۸ شبکه پسخور (البرزی، ۱۳۸۰)

شبکه های پشخور از توانایی بالقوه بیشتری نسبت به شبکه های پیش خور برخوردارند، به بیان ساده در نشان دادن رفتار های مربوط به ویژگی های زمانی سیستم توانا تر هستند. ولی با این حال در ۸۰ درصد موارد کاربرد شبکه های عصبی، از شبکه های پیشخور استفاده می شود (منهاج ۱۳۸۴).

- **شبکه پیشخور (feed forward):** در این نوع شبکه ها خروجی هر نرون به نرون لایه بعد متصل می شود. این نوع شبکه ها را متصل گویند هر گاه هر سلول در هر لایه از تمامی نرون های لایه قبل ورودی دریافت کرده باشد ولی اگر برخی از اتصالات سیناپسی حذف شده باشند در این حالت شبکه حاصله متصل جزئی است. شبکه های پیشخور به انواع شبکه های پیشخور تک لایه (فاقد لایه میانی) و شبکه هایی پیش خور چند لایه (اضافه نمودن چند لایه پنهان به شبکه های پیشخور تک لایه) تقسیم می شوند (البرزی، ۱۳۸۰).



شکل ۳-۹ شبکه پیشخور (البرزی، ۱۳۸۰)

در این میان برخی از شبکه های عصبی بدلیل کاربرد بیشتر، معروف تر از سایر شبکه ها هستند که به اختصار به برخی از آن ها اشاره می کنیم.

- پرسپترون و پرسپترون چندلایه (MLP): این شبکه چیزی جز شبکه عصبی پیشخور نیست.

- شبکه های توابع پایه ی شعاعی (RBF): پایه و اساس این شبکه ها قوانین ریاضی است.

- شبکه های هاپفیلد (Hopfield network): این نوع شبکه از خانواده شبکه های برگشتی فاقد لایه میانی با وزن های متقارن می باشد (سلطانی، ۱۳۸۹).

۳-۷-۴ روش های آموزش شبکه عصبی

شبکه های عصبی را می توان با توجه به اندازه گیری عملکرد شبکه طبقه بندی کرد. هرگاه عملکرد شبکه بر اساس اندازه گیری خطا باشد آموزش را، نظارت شده می نامیم. در این حالت خطا به صورت اختلاف میان خروجی شبکه و مقادیر از پیش تعیین شده تعریف می گردد.

در حالت دیگری از روش های آموزش، وزن های شبکه با توجه به قوانین و چهارچوب های مقادیر ورودی تعیین می شود. در این نوع آموزش هیچ نوع قانون خارجی برای آموزش شبکه استفاده نمی شود، که این نوع آموزش را نظارت نشده می نامیم.

- آموزش نظارت شده: در این روش پس از اعمال مقادیر ورودی X خروجی های حاصل از شبکه Y با مقادیر ایده آل مقایسه و خطای محاسبه شده در راستای اصلاح و تنظیم برخی از پارامتر های شبکه عصبی از قبیل وزن های سیناپسی استفاده می شود. در این حالت پس از محاسبه خطا سیگنالی (ERROR SIGNAL) تولید می شود که این سیگنال برای اندازه گیری میزان تغییری که باید در وزن های سیناپسی اعمال شود، استفاده می گردد (سلطانی، ۱۳۸۹).

- آموزش نظارت نشده: در این آموزش بر خلاف آموزش با نظارت، خروجی هدف وجود ندارد. در خلال آموزش، شبکه با توجه به ورودی ها نوع الگوی آموزشی را تشخیص و دسته بندی می کند. در این حالت پس از دریافت ورودی پاسخی در خروجی ایجاد شده که بیانگر طبقه بندی است که ورودی به آن تعلق دارد. اگر طبقه ای برای این ورودی یافت نشد، آنگاه طبقه جدیدی تشکیل می شود (سلطانی، ۱۳۸۹).

- الگوریتم پس انتشار خطا: این الگوریتم بر مبنای قانون اصلاح خطا مبتنی است. این الگوریتم از دو مسیر اصلی تشکیل شده است. در مسیر رفت که بردارهای ورودی به شبکه و تاثیراتش از طریق لایه میانی، به لایه خروجی انتشار می یابد. در لایه خروجی پاسخ واقعی شبکه نمایان می شود. در طول مسیر رفت پارامترهای شبکه ثابت می باشد.

در مسیر برگشت پارامترهای شبکه تغییر یا به بیان ساده اصلاح و تنظیم می شود. این تنظیمات از قانون اصلاح خطا تبعیت می کنند. سیگنالهای خطا که حاصل اختلاف بین مقادیر خروجی و مطلوب می باشند در مسیر بازگشت، از لایه و از طریق لایه های میانی شبکه در کل شبکه توزیع می شوند و چون این توزیع در خلاف جهت مسیر وزن های سینابسی است این الگوریتم روش پس انتشار خطا می باشد. در این حالت سعی بر این است که پاسخ شبکه هرچه بیشتر به پاسخ مطلوب نزدیک تر باشد، همچنین استفاده از خروجی های واقعی باعث می شود این الگوریتم جزو آموزش های نظارت شده قرار گیرد (سلطانی، ۱۳۸۹).

در شبکه های عصبی مصنوعی، میزان محاسبات انجام شده در راستای حداقل نمودن خطا، به شیوه آموزش یا الگوریتم آموزش (LEARNING ALGORITHM) بکار رفته بستگی دارد. این الگوریتم ها روش های کاملاً ریاضی و مستقل از بهینه سازی هستند.

الگوریتم لئونبرگ-مارکوارت^۸ از الگوریتم های پس انتشار خطا می باشد و بدون نیاز به محاسبات پیچیده ی ماتریسی آموزش شبکه را تسریع می بخشد.

$$d_k = -(J_K^T J_K + \lambda_K I)^{-1} J_K^T F_K \quad ۵-۳$$

در فرمول بالا d_k بردار وزن ها و بایاس در تکرار K ام است. I ماتریس واحد و λ_K کمیتی است که در هر تکرار بروز می شود. در این روش جهت دست یافتن به نقطه ی حداقل از روش کاهش گرادیان استفاده می شود. این روش بر پایه ی روش نیوتن بنا شده است، زمانی که مقدار این پارامتر برابر صفر

^۸ Levenberg-Marquardt

شود این روش دقیقاً برابر روش نیوتن خواهد شد. هدف در این الگوریتم رسیدن سریع تر به روش نیوتن است زیرا روش نیوتن در نزدیکی یک خطای مینیموم دقیق تر و سریع تر است. این الگوریتم سریع ترین روش برای آموزش شبکه های عصبی پیشخور با اندازه ی متوسط است (جدیری نقاش کار، ۱۳۹۱).

۳-۸ آزمون های نکویی برازش

۳-۸-۱ آزمون کای - دو (X^2)

یکی از مشهورترین آزمون های آمار غیر پارامتریک، آزمون خی دو یا کای اسکوار می باشد که در تحلیل های آماری، بسیار از آن استفاده می شود. فرایند آزمون با دسته بندی یک متغیر در تعدادی طبقات، به محاسبه آماره کای اسکوار می پردازد. در نکویی برازش (میزان انطباق) فراوانی های مشاهده شده با فراوانی های مورد انتظار مقایسه می شود (صفاری، ۱۳۷۹).

۳-۸-۲ آزمون (t-test) دو نمونه مستقل

برای مقایسه میانگین در دو نمونه ی مستقل از داده های کمی، از آزمون t استفاده می کنیم. هدف از آزمون t پاسخ به این سوال می باشد، که آیا داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده متعلق به یک جامعه ی آماری هستند یا خیر. در این گونه آزمون فرضیه های صفر و یک به صورت زیر مطرح می شوند.

$$\begin{cases} H_0: \mu_1 = \mu_2 \\ H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \end{cases} \quad ۳-۶$$

اگر μ_1 و μ_2 را میانگین های هر یک از دو جمعیت در نظر بگیریم، فرضیه صفر بیان می کند که بین میانگین های دو جامعه آماری تفاوتی معنادار وجود ندارد و فرضیه مقابل، حکم به داشتن اختلاف بین میانگین های دو جمعیت می دهد.

پس از محاسبه t ، باتوجه به پارامتر d_f (درجه آزادی) و مقادیر بحرانی T در جدول به مقایسه t محاسباتی با T بدست آمده از جدول می پردازیم. در صورتی که t محاسباتی بیشتر از T بدست آمده از جدول باشد فرض صفر باطل می شود و در غیر این صورت فرض صفر پایدار است (صفاری، ۱۳۷۹).

۳-۸-۳ آزمون (F-test) دو نمونه مستقل

آزمون F در راستای مقایسه واریانس دو نمونه جامعه آماری مورد استفاده می گیرد، که آیا دو گروه دیدبانی و شبیه سازی واریانس دارای یک توزیع هستند یا نه. اگر F_1 و F_2 به ترتیب واریانس نمونه بزرگ تر و واریانس نمونه کوچک تر باشند مقدار F از رابطه ی ۳-۷ بدست می آید.

$$F = \frac{F_1}{F_2} \quad ۳-۷$$

حال مقدار d_{f1} و d_{f2} را با استفاده از فرمول های ۳-۸ و ۳-۹ محاسبه می کنیم. n_1 و n_2 بیانگر تعداد نمونه ها در دو گروه مشاهداتی و مدل است.

$$d_{f1} = n_1 - 1 \quad ۳-۸$$

$$d_{f2} = n_2 - 1 \quad ۳-۹$$

حال مقدار F بدست آمده را با مقدار F حاصله از جدول مقایسه می کنیم. چنانچه مقدار محاسباتی از مقدار حاصله از جدول بزرگ تر باشد فرض صفر باطل و در غیر این صورت فرض صفر پا برجا است (صفاری، ۱۳۷۹).

در راستای مقایسه ی فرض های H_0 و H_1 از آماره P - Value استفاده می شود. مقدار P - Value بیانگر سطح اعتماد هر یک از فرض های H_0 و H_1 است. در کارهای تحقیقاتی معمولاً محقق در صدد اثبات فرض صفر است. مقدار P - Value باید بیشتر از ۰.۰۵ باشد و هر چقدر مقدار پارامتر نام برده به یک نزدیک تر باشد بیانگر همگنی دو جامعه آماری است. به بیان ساده اگر در راستای اثبات فرض

صفر مقدار P- Value کمتر از ۰.۰۵ باشد، مقدار این پارامتر در جهت عکس یعنی نقض فرض صفر یا اثبات فرض یک حرکت می کند (صفاری، ۱۳۷۹).

۴-۸-۳ معیار های گرافیکی

این معیار حاصل رسم داده های محاسباتی و مشاهداتی در قالب یک نمودار می باشد. مبنای تشخیص در این معیار خط $Y=X$ می باشد و هر جفت داده که برازش مناسب تری نسبت به این خط داشته باشد قابل قبول می باشند.

۵-۸-۳ جذر میانگین مربعات خطاها (RMSE)

جذر میانگین مربعات خطاها بیانگر تفاوت میان مقدار پیش بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی می باشد و از فرمول ۱۰-۳ حاصل می شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{oi} - X_{mi})^2} \quad 10-3$$

در رابطه ی ۱۰-۳، n بیانگر تعداد کل داده ها، X_{oi} مقادیر مشاهداتی یا مطلوب و X_{mi} مقادیر محاسباتی یا خروجی مدل می باشد (Kalteh, 2007).

۶-۸-۳ ضریب قطعیت R^2

این ضریب به ضریب نش- ساتکیف معروف است و تغییر پذیری داده های شبیه سازی را نسبت به داده های مشاهداتی می سنجد. بازه ی تغییرات این ضریب [0-1] است و هر چه مقدار این ضریب به ۱ نزدیکتر باشد بیانگر تغییر پذیری کمتر می باشد. رابطه ی ۱۱-۳ بیانگر معادله ضریب R^2 است.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_t - \hat{Q}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (\hat{Q}_t - \bar{Q}_t)^2} \quad 11-3$$

در رابطه ی فوق $\hat{Q}_t$ مقدار شبیه سازی، $\bar{Q}_t$ مقدار میانگین داده های مشاهداتی و Q_t مقدار مشاهداتی است (Kisi et al., 2013).

۳-۹ ایستگاه های مطالعاتی

بررسی تغییرات اقلیم رخ داده در یک حوضه، نیاز به انتخاب ایستگاه هایی مناسب در سطح آن می باشد. برای انتخاب ایستگاه های مناسب رعایت دو اصل ضروری است:

۱- ایستگاه های انتخابی به خوبی سطح حوضه را پوشش داده و همپوشانی مناسبی نسبت به هم داشته باشند.

۲- ایستگاه های انتخابی دارای طول دوره ی آماری به صورت روزانه، کامل و مناسب باشند.

با توجه به وسعت حوضه مطالعاتی، ۷ ایستگاه باران سنجی انتخاب شد و از ایستگاه های انتخابی، ۴ ایستگاه دارای داده های سینوپتیک نیز هستند. شکل ۳-۱۰ موقعیت ایستگاه های انتخابی را در حوضه و شکل ۳-۱۱ پروفیل طولی رودخانه بالیخلی چای را نشان می دهد.

- ایستگاه گیلانده: اطلاعات این ایستگاه از سال ۱۳۵۰ در دسترس است. موقعیت جغرافیایی این ایستگاه، عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۸ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه می باشد و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۴۱ متر است. بر اساس داده ای موجود میانگین بارش سالانه ی آن ۳۹۵/۷۸ میلیمتر است.

- ایستگاه اردبیل: اطلاعات این ایستگاه از سال ۱۳۵۵ موجود می باشد. این ایستگاه دارای عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۳ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه می باشد و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۶۵ متر است. میانگین بارش سالانه ایستگاه اردبیل ۳۰۲/۰۸ میلیمتر است.

- ایستگاه پل الماس: طول دوره‌ی آماری این ایستگاه از سال ۱۳۴۸ آغاز می‌شود. این ایستگاه دارای

عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۹ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۱ دقیقه است. ارتفاع ایستگاه

مذکور از سطح دریا ۱۴۸۰ متر می‌باشد و میانگین بارش سالانه‌ی آن ۳۱۸/۹ میلی‌متر است.

- ایستگاه سرعین: جزء ایستگاه‌های تازه تاسیس حوضه است و طول دوره‌ی آماری آن از سال

۱۳۸۰ آغاز می‌شود. این ایستگاه دارای عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۹ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸

درجه و ۴ دقیقه است. ارتفاع این ایستگاه از سطح دریا ۱۶۹۲ متر و میانگین بارش سالانه این

ایستگاه ۳۱۸/۱۶ میلی‌متر می‌باشد.

- ایستگاه یامچی علیا: اطلاعات این ایستگاه از سال ۱۳۸۰ در دسترس می‌باشد، این ایستگاه دارای

عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳ دقیقه می‌باشد. ارتفاع ایستگاه

فوق از سطح دریا ۱۵۹۴ متر و میانگین بارش سالانه آن نیز ۳۲۹/۸ میلی‌متر است.

- ایستگاه لای: طول دوره‌ی آماری این ایستگاه از سال ۱۳۸۰ آغاز می‌شود. این ایستگاه دارای عرض

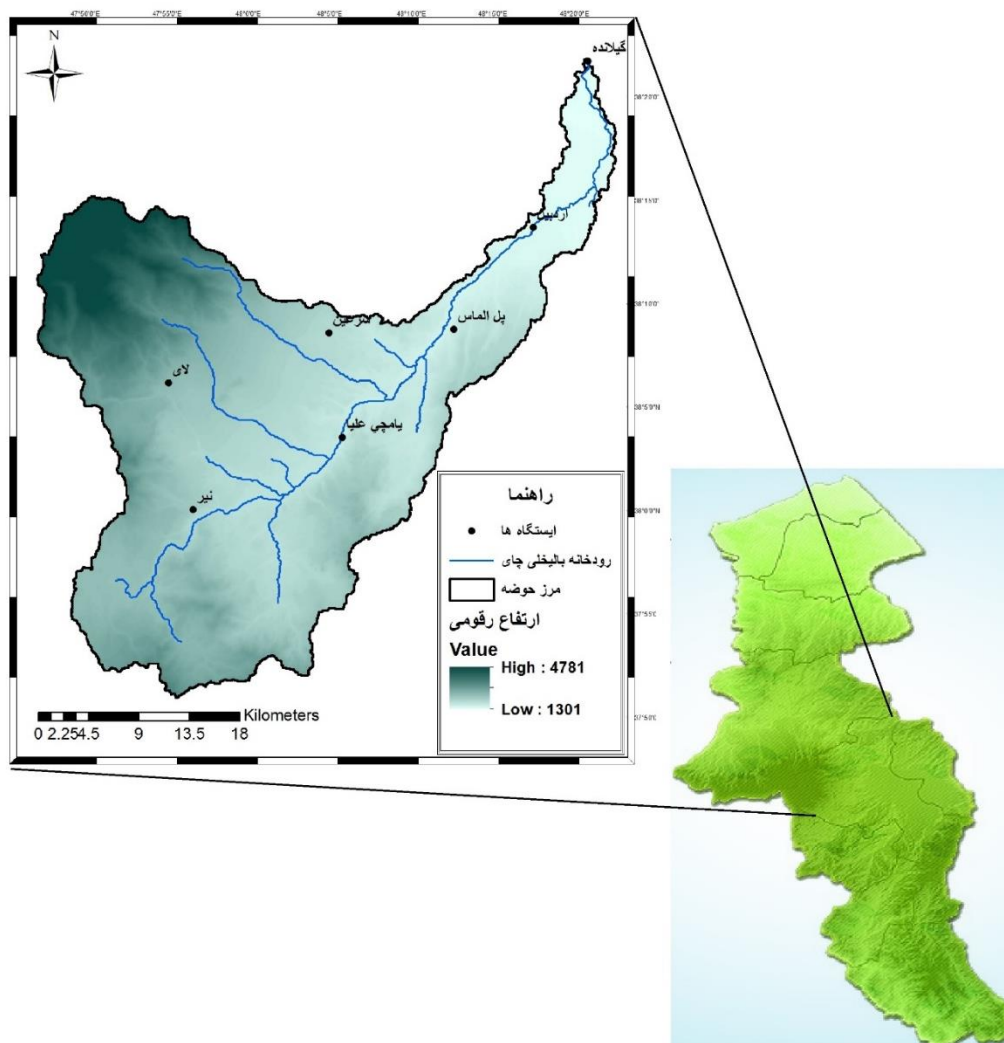
جغرافیایی ۳۸ درجه و ۶ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۴ دقیقه است. ارتفاع از سطح دریا

برای ایستگاه مذکور ۲۰۳۸ متر و میانگین بارش سالانه‌ی آن ۳۷۶/۲ میلی‌متر می‌باشد.

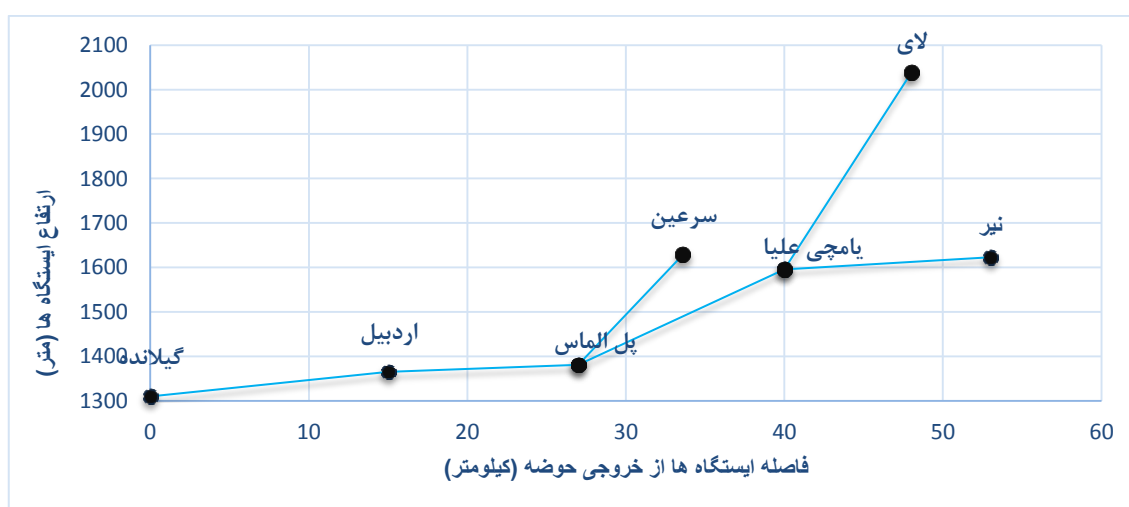
- ایستگاه نیر: اطلاعات این ایستگاه از سال ۱۳۸۰ در دسترس می‌باشد. این ایستگاه دارای عرض

جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۹ دقیقه است. ایستگاه مذکور با ارتفاع

۱۶۲۳ متر از سطح دریا دارای میانگین بارش سالانه ۳۶۱/۵ میلی‌متر است.



شکل ۳-۱۰ ایستگاه های منتخب مطالعاتی



شکل ۳-۱۱ موقعیت ایستگاه های رودخانه ی بالیخلی چای

فصل چهارم

بحث و نتایج

۴-۱ نتایج اعتبار سنجی مدل تغییر اقلیم در ایستگاه اردبیل

توانمندی مدل LARS-WG تاثیر مستقیمی بر نتایج و صحت برآورهای تغییر اقلیم در سال های آتی دارد، لذا در این قسمت توانمندی مدل فوق ارزیابی شده است. با توجه به مطالب اشاره شده در فصل قبل، نتایج اعتبار سنجی مدل تحت فایل (TST*) قابل بررسی است و نتایج بدست آمده به شرح ذیل است:

مدل LARS-WG با دریافت داده های تاریخی از قبیل بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش در سطح ایستگاه مورد مطالعه و استفاده از روش های آماری، مدل حالت پایه اقلیم را شبیه سازی می کند. سپس با استفاده از آزمون های آماری نتایج داده های مدل و مشاهداتی مقایسه می گردد. مقایسه مقادیر میانگین، انحراف معیار و سایر مشخصات آماری در دو سری داده های مدل سازی شده و مشاهداتی توانمندی مدل LARS-WG در همانند سازی داده های واقعی را نشان می دهد.

۴-۱-۱ سری های تر و خشک

بدلیل اهمیت سری های تر و خشک در تبیین مباحث و وقایع حدی مانند سیل و خشک سالی، توانمندی مدل سازی سری های نام برده مهم است. مدل LARS-WG با استفاده از توزیع نیمه تجربی و طبقه بندی فراوانی تعداد روز های تر و خشک، طول دوره های تر و خشک را محاسبه می کند. در مدل LARS-WG روز های دارای بارش صفر میلیمتر روز خشک و روز های دارای بارش بیش از صفر میلیمتر روز تر در نظر گرفته می شود. جهت ارزیابی مدل در این بخش از آزمون نیکویی برازش (کای-دو) استفاده شده است. در این آزمون مربع اختلاف بین فراوانی دو جامعه با هم مقایسه شده است. هر چه مقادیر کای-دو به صفر نزدیک تر باشد، بیانگر توانمندی مدل در شبیه سازی دوره های خشک و تر است همچنین مقادیر احتمال (p-value) در ستون آخر جدول ۴-۱ آورده شده که مقدار آن هر چه به یک نزدیک تر باشد احتمال تبعیت دو سری مشاهداتی و مدل سازی از یک جامعه آماری بیشتر است به بیان ساده تر اختلاف معناداری بین آن ها نیست.

جدول ۴-۱ مقادیر آزمون کای-دو و احتمال سری های تر و خشک برای دوره های سه ماهه در ایستگاه اردبیل

فصل	پارامتر	درجه آزادی	مقدار کای-دو	احتمال (p-value)
زمستان	تر	۱۲	۰/۰۳۲	۱/۰
	خشک		۰/۰۳۰	۱/۰
بهار	تر	۱۲	۰/۲۵۳	۰/۳۹۸
	خشک		۰/۰۵۵	۱/۰
تابستان	تر	۱۲	۰/۰۳۰	۱/۰
	خشک		۰/۰۶۷	۱/۰
پاییز	تر	۱۲	۰/۰۳۸	۱/۰
	خشک		۰/۱۴۴	۰/۹۵۷

مقایسه مقادیر کای-دو از جدول ۴-۱ و مقادیر بحرانی بیانگر معناداری دو سری مشاهداتی و مدل سازی است، یعنی در سطح اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معناداری بین مقادیر مشاهداتی و مدل نمی باشد.

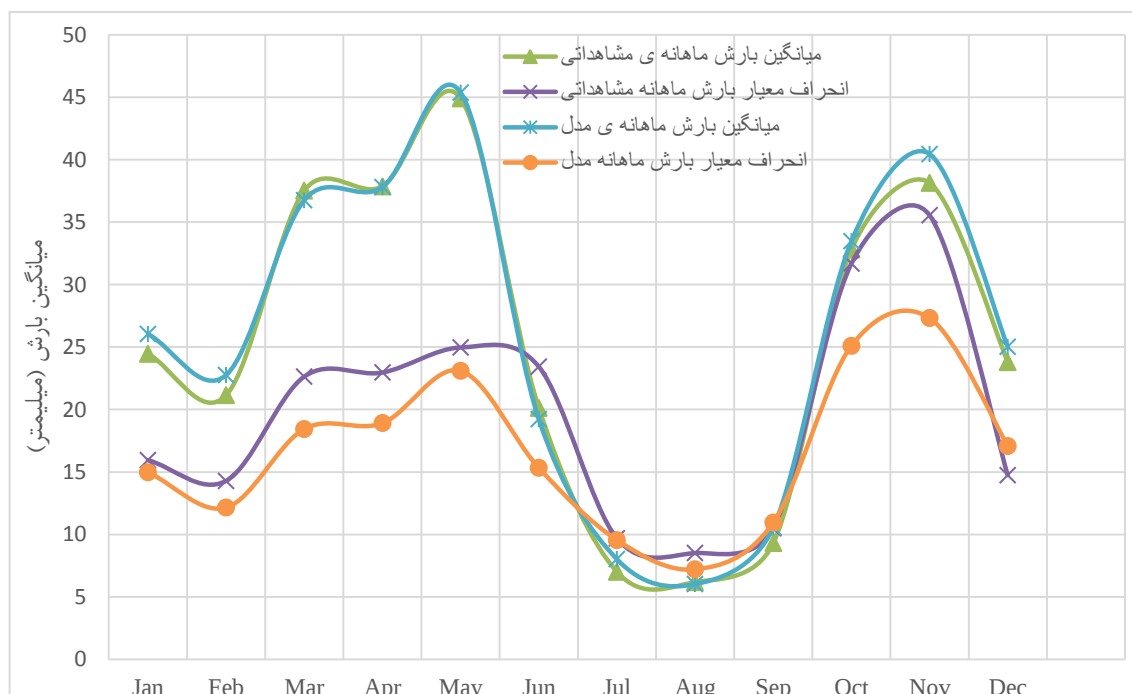
۴-۱-۲ بارش

جدول ۴-۲ مقادیر کای-دو و احتمال توزیع بارش های روزانه ماه های سال را نشان می دهد. نتایج در سطح ۵ درصد معنادار هستند. لذا توانمندی مدل در ایجاد داده های بارش ماهانه مورد تایید است.

جدول ۴-۲ مقادیر کای-دو و احتمال بارش ماه های سال در ایستگاه اردبیل

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
درجه آزادی	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
مقدار کای-دو	۰/۰۵۴	۰/۰۳۹	۰/۰۸۸	۰/۰۳۶	۰/۰۳۷	۰/۱۲۷	۰/۰۸۲	۰/۰۴۵	۰/۰۹۲	۰/۰۴۹	۰/۰۶۲	۰/۰۴۴
احتمال (p-value)	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۸۷	۱	۱	۱	۱	۱	۱

شکل ۴-۱ میانگین های بارش و انحراف معیار داده های مشاهداتی و مدل را در مقیاس ماهانه نسبت به یکدیگر نشان می دهد. نکته قابل تامل در شکل ۴-۱، مقدار انحراف معیار و بارش ماهانه طی ماه های تابستان است که حتی در بعضی از ماه های این فصل مقدار انحراف معیار بیشتر است که حاکی از عدم اطمینان بالا به بارش های ماه های مذکور می باشد. ولی با توجه به اینکه مقدار بارش رخ داده در این ماه ها فقط ۵ درصد بارش سالانه است در روند شبیه سازی خللی ایجاد نمی شود.



شکل ۴-۱ توانمندی مدل در شبیه سازی بارش ماهانه در ایستگاه اردبیل

در جدول ۳-۴ به بررسی نتایج آزمون های t-test و F-test پرداخته شده است. بنابراین مقادیر t و احتمال آن محاسبه و در جدول قرار گرفته است. با توجه به طول دوره ی آماری و میزان درجه آزادی در ایستگاه اردبیل و مقادیر احتمال ۹۵ درصد، که از جدول آزمون t استخراج گشته است، مقادیر t جدول در قیاس با مقادیر مدل سازی بارش در تمامی ماه ها در سطح اعتماد ۹۵ درصد قابل قبول می باشد و می توان گفت تفاوت معناداری بین داده های واقعی و مدل در این ماه ها وجود ندارد. به عنوان مثال احتمال این که بارش های مدل و مشاهداتی ماه ژانویه از یک جامعه آماری باشد ۶۷ درصد است. آزمون F همانند آزمون t است با این تفاوت که به بررسی انحراف معیار داده های مدل و مشاهدات می پردازد. با توجه به مقادیر محاسباتی و بحرانی F در جدول، و اینکه تمامی مقادیر F محاسباتی کمتر از مقادیر بحرانی جدول است، تمامی مقادیر به جزء مقادیر ماه ژوئن در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی دار می باشند.

جدول ۳-۴ میانگین های ماهانه، انحراف معیار و مقادیر t و F و احتمال در ایستگاه اردبیل

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
میانگین بارش ماهانه مشاهداتی	۲۴/۴۶۰	۲۱/۱۴۰	۳۷/۵۳۰	۳۷/۸۷۰	۴۴/۹۱۰	۲۰/۱۴۰	۷/۰۱۰	۶/۱۹۰	۹/۳۰	۳۲/۸۱۰	۳۸/۱۵۰	۲۳/۸۰
انحراف معیار مشاهداتی	۱۵/۹۴۷	۱۴/۲۸۸	۲۲/۶۳۸	۲۲/۹۶۲	۲۴/۹۶۷	۲۳/۴۳	۹/۶۸	۸/۵۱	۱۰/۴۹	۳۱/۶۸	۳۵/۵۵	۱۴/۷۴
میانگین بارش ماهانه مدل	۲۶/۰۵	۲۲/۷۶	۳۶/۷۶	۳۷/۸۱	۴۵/۳۸	۱۹/۲۳	۸/۰۲	۶/۰۲	۱۰/۵۶	۳۳/۴۸	۴۰/۴۶	۲۵/۰۲
انحراف معیار مدل	۱۴/۹۸	۱۲/۱۴	۱۸/۴۴	۱۸/۹۱	۲۳/۱۰	۱۵/۳۳	۹/۵۵	۷/۲۰	۱۰/۹۵	۲۵/۱۰	۲۷/۳۲	۱۷/۰۹
t	۰/۵۶۲	۰/۷۰۵	۰/۲۱۹	۰/۰۱۵	۰/۱۰۵	۰/۳۰۴	۰/۵۶۲	۰/۱۲۱	۰/۶۰۹	۰/۱۴	۰/۴۴۴	۰/۳۷۹
(p-value) احتمال	۰/۵۷۴	۰/۴۸۱	۰/۸۲۷	۰/۹۸۸	۰/۹۱۷	۰/۷۶۱	۰/۵۷۵	۰/۹۰۴	۰/۵۴۳	۰/۸۸۹	۰/۶۵۷	۰/۷۰۵
F	۱/۱۱۳	۱/۳۸۴	۱/۵۰۷	۱/۴۷۴	۱/۱۶۸	۲/۳۳۶	۱/۰۲۸	۱/۳۹۵	۱/۰۸۸	۱/۵۹۳	۱/۶۳۹	۱/۳۴۴

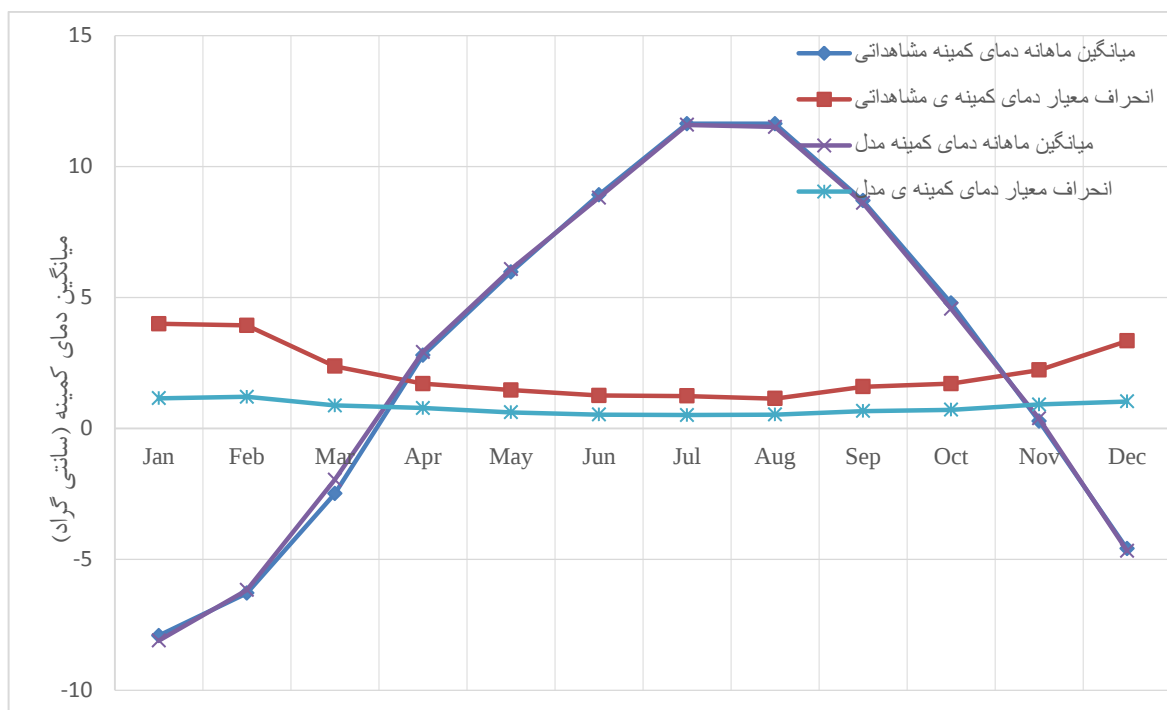
۳-۱-۴ دمای حداقل

جدول ۴-۴، توانمندی مدل LARS-WG را در توزیع دمای کمینه روزانه نشان می دهد.

جدول ۴-۴ مقادیر کای-دو و احتمال دمای کمینه ماه های سال در ایستگاه اردبیل

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
درجه آزادی	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
مقدار کای-دو	۰/۱۵۸	۰/۱۰۶	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶
احتمال (p-value)	۰/۹۱۲	۰/۹۹۸	۱	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۱	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۱	۰/۹۹۸

مقادیر کای-دو جدول ۴-۴ نشان دهنده معناداری مقایر تولید شده در سطح اعتماد ۹۵ درصد می باشد و توانمندی مدل در تولید داده های دمای کمینه مورد تایید است. در شکل ۴-۲ مقادیر میانگین ماهانه و انحراف معیار مشاهداتی و مدل برای پارامتر دمای کمینه نسبت به یکدیگر رسم گشته است. با توجه به شکل مذکور مدل از توانایی مناسبی جهت شبیه سازی برخوردار است.



شکل ۴-۲ توانمندی مدل در شبیه سازی دمای حداقل ماهانه در ایستگاه اردبیل

جهت ارزیابی دقیق تر توانمندی شبیه سازی دمای کمینه ی توسط مدل LARS-WG، به جدول ۴-

۵ که مقادیر میانگین ماهانه، انحراف معیار و آزمون t و F را در خود جای داده رجوع شده است.

جدول ۴-۵ میانگین ماهانه، انحراف معیار و آزمون t و F دمای کمینه در ایستگاه اردبیل

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
میانگین دمای کمینه ماهانه مشاهداتی	-۷/۹۱	-۶/۲۹	-۲/۴۹	۲/۷۹۰	۵/۹۷۰	۸/۹۲۰	۱۱/۶۳۰	۱۱/۶۱۰	۸/۶۹۰	۴/۷۸۹	۰/۲۸۰	-۴/۵۹
انحراف معیار دمای کمینه مشاهداتی	۳/۹۹۶	۳/۹۳۲	۲/۳۷۶	۱/۷۰۵	۱/۴۶۱	۱/۲۵۵	۱/۲۳۵	۱/۱۳۹	۱/۵۸۹	۱/۷۱۰	۱/۲۲۳	۳/۳۴
میانگین دمای کمینه ماهانه مدل	-۸/۰۲۰	-۵/۹۴	-۱/۹۱	۲/۷۷	۶/۰۸	۸/۸۸	۱۱/۷۱	۱۱/۶۲	۸/۷۷	۴/۷۰	۰/۲۹۰	-۴/۴۹
انحراف معیار دمای کمینه مدل	۱/۱۵	۱/۱۹۷	۰/۸۴۵	۰/۷۹۵	۰/۵۹۵	۰/۵۰۳	۰/۵۰۷	۰/۵۴۴	۰/۶۷۲	۰/۷۲۱	۰/۸۸۹	۱/۰۲
t	۰/۴۲۹	-۱/۳۷۹	-۳/۳۳۱	۰/۱۵۹	-۰/۹۰۷	۰/۴۰۹	-۰/۷۴۷	۰/۱۳۱	-۰/۵۳۶	۰/۶۶۶	-۰/۰۳۴	-۰/۴۵۳
احتمال (p-value)	۰/۶۶۸	۰/۱۶۸	۰/۰۰۱	۰/۸۷۳	۰/۳۶۵	۰/۶۸۳	۰/۴۵۵	۰/۸۹۶	۰/۵۹۲	۰/۵۰۵	۰/۹۷۴	۰/۶۵۰
F	۱۲/۰۳	۱۰/۷۹	۷/۹۰	۴/۵۹	۲/۵۹	۶/۲۲	۵/۹۳	۴/۳۸	۵/۵۹	۵/۶۲	۱/۸۹	۱۰/۷۲

با توجه به توضیحات ذکر شده برای آزمون t ، مقادیر مدل برای تمامی ماه ها به غیر از ماه مارس در سطح ۵ درصد معنا دار می باشد، به بیان ساده برای ماه مارس، احتمال اینکه مقادیر دمای حداقل مدل و مشاهداتی در این ماه از یک توزیع نرمال تبعیت کنند ۰/۲ درصد می باشد.

۴-۱-۴ دمای حداکثر

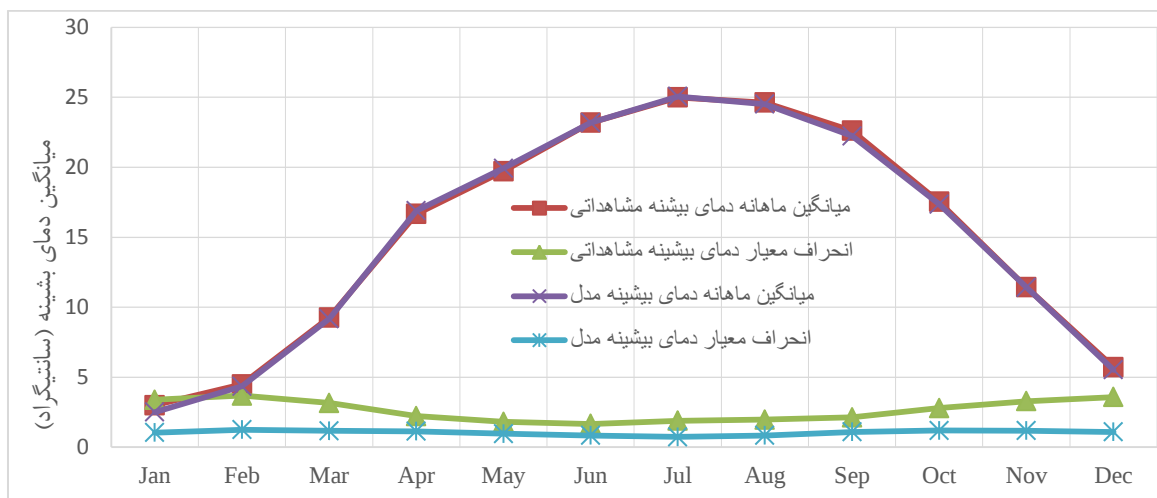
جدول ۴-۶، توانمندی مدل LARS-WG را در توزیع دمای بیشینه روزانه نشان می دهد.

جدول ۴-۶ مقادیر کای-دو و احتمال دمای بیشینه ماه های سال در ایستگاه اردبیل

دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	جولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	ماه
۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	درجه آزادی
۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۵	۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	مقدار کای-دو
۱	۱	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۱	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	احتمال (p-value)

نتایج جدول ۴-۶ بیانگر معنادار بودن مقادیر با توجه به آزمون کای-دو در سطح اعتماد ۹۵ درصد می باشد. لذا توانایی مدل در تولید داده های دمای بیشینه مورد تایید است.

شکل ۴-۳ نیز مقادیر میانگین ماهانه و انحراف معیار مدل سازی و مشاهداتی را نسبت به هم رسم کرده ولی با این تفاوت که مقادیر رسم شده مربوط به دمای بیشینه می باشد.



شکل ۴-۳ توانمندی مدل شبیه در سازی دمای حداکثر در ایستگاه اردبیل

با توجه به شکل هم قوارگی مناسبی بین نمودار های مدل و مشاهداتی دیده می شود ولی جهت بررسی دقیق تر، آزمون t از جدول ۷-۴ مورد نیاز می باشد. با توجه به مقادیر آزمون t در جدول ۷-۴ و مقایسه آن با مقادیر بحرانی، در سطح اعتماد ۵ درصد تمامی ماه ها به جزء ماه ژانویه و سپتامبر به خوبی مدل سازی گشته است.

جدول ۷-۴ میانگین ماهانه، انحراف معیار و آزمون t دمای بیشینه در ایستگاه اردبیل

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
میانگین دمای بیشینه ماهانه مشاهداتی	۳/۰	۴/۴۹	۹/۲۶	۱۶/۶۷	۱۹/۷۲	۲۳/۱۹	۲۴/۹۹	۲۴/۶۳	۲۲/۶۱	۱۷/۵۴	۱۱/۴۳	۵/۷۲
میانگین انحراف معیار دمای بیشینه مشاهداتی	۳/۳۸	۳/۶۸	۳/۱۶	۲/۲۲	۱/۸۱	۱/۶۶	۱/۸۸	۱/۹۷	۲/۱۳	۲/۷۹	۳/۲۹	۳/۵۸
میانگین دمای بیشینه ماهانه مدل	۲/۴	۴/۳	۹/۴۴	۱۷/۰۲	۱۹/۸۵	۲۳/۰۴	۲۴/۸۲	۲۴/۲۷	۲۲/۱۱	۱۷/۴۰	۱۱/۷	۵/۹۹
میانگین انحراف معیار دمای بیشینه مدل	۱/۰۴	۱/۲۲	۱/۱۸	۱/۱۱	۰/۹۶	۰/۸۱	۰/۷۲	۰/۸۲	۱/۱۰	۱/۱۶	۱/۱۹	۱/۱۵
t	۲/۵۳	۰/۷۴	-۰/۷۶	-۱/۶۴	-۰/۶۹	۰/۹۴	۱/۱۶	۲/۲۱	۲/۳۰	۰/۶	-۱/۱۱	-۱/۱۰
احتمال (p-value)	۰/۰۱	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۱۰	۰/۴۹	۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۵۵	۰/۲۷	۰/۲۷
F	۱۰/۵۶	۹/۰۹	۷/۱۷	۴	۳/۵۵	۴/۱۹	۶/۸۱	۵/۷۷	۳/۷۴	۵/۷۸	۷/۶۴	۹/۶۹

در محاسبه مقادیر P-value، فرض صفر بیان می دارد که بین مقادیر مدل و مشاهداتی تفاوت معناداری وجود ندارد و فرض صفر عکس فرض یک است. هر چه مقادیر P-value، به ۱ نزدیک تر باشد فرض صفر قوت می یابد به بیان ساده تر اختلاف میان مقادیر مشاهداتی و مدل تصادفی است و معنادار نمی باشد و هرچه مقدار P-value، به صفر نزدیک تر باشد حاکی از اختلاف معنادار بین دو سری مدل و مشاهداتی می باشد. با توجه به مقادیر P-value در ماه های ژانویه، اوت و سپتامبر، در ماه های مذکور تفاوت معناداری بین مقادیر میانگین ماهانه ی مدل و مشاهداتی وجود دارد.

۵-۱-۴ نتایج نهایی بررسی توانمندی مدل LARS-WG، در ایستگاه اردبیل

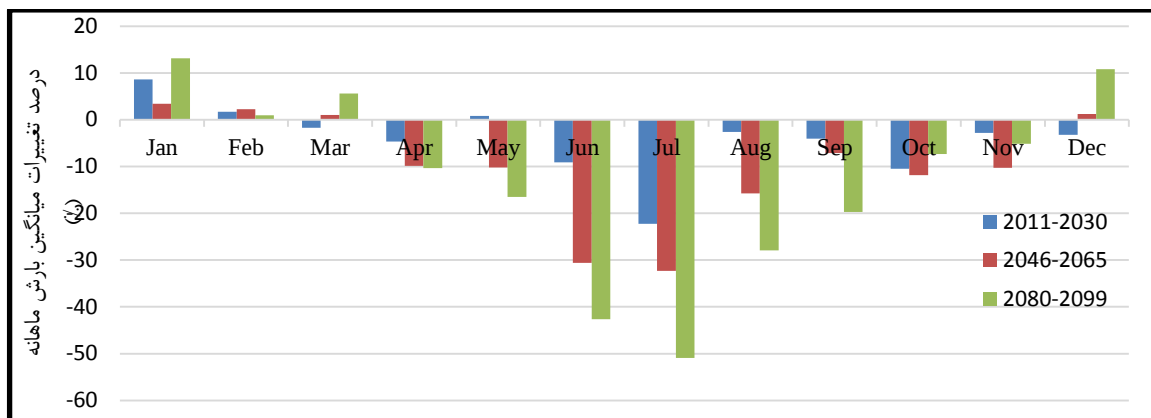
- سری های تر و خشک مشاهداتی و مدل از یک توزیع تبعیت می کنند.
 - توزیع نیمه تجربی بارش روزانه مدل و مشاهداتی یکسان است.
 - با توجه به نتایج آزمون t مقایسه بین میانگین داده ها و آزمون F مقایسه بین انحراف معیار ها در دو سری داده های مدل و مشاهداتی بارش در ماه های مختلف قابل قبول می باشد.
 - توزیع نیمه تجربی دمای حداقل و حداکثر در هر دو گروه یکسان است.
 - نتایج آزمون های t برای هر دو سری مدل و مشاهداتی در مقادیر کمینه و بیشینه دمای ماهانه قابل قبول است.
 - واریانس دو گروه در دمای حداقل و حداکثر ماهانه یکسان نیستند که در موضوع مورد مطالعه تحقیق مورد استفاده قرار نمی گیرد.
- نتایج حاصل، توانایی مدل LARS-WG را در شبیه سازی اقلیم ایستگاه اردبیل نشان می دهد. نتایج توانمندی مدل برای سایر ایستگاه ها نیز انجام شد ولی به علت جلوگیری از افزایش حجم اطلاعات فقط نتایج ایستگاه اردبیل ذکر شده است.

۶-۱-۴ نتایج برآورد تغییر اقلیم در ایستگاه های مطالعاتی حوضه بالیخلی چای

پس از بررسی توانمندی مدل LARS-WG در تولید داده های مصنوعی در ایستگاه اردبیل، به تحلیل داده های شبیه سازی تحت برون داد مدل (GCM) در سطح ایستگاه های مطالعاتی پرداخته شده است. تغییرات بارش و دما در ۳ دوره زمانی در سال های آتی با توجه به مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2 در سطح ایستگاه های مطالعاتی به شرح شکل های ۴-۴ تا ۴-۱۵ می باشد.

- ایستگاه اردبیل

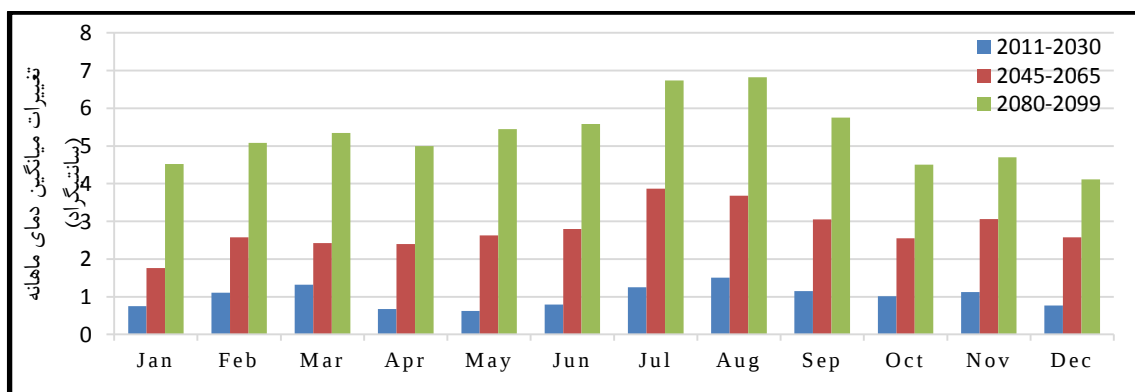
ایستگاه اردبیل در فرودگاه شهر اردبیل قرار دارد و تنها ایستگاه حوضه می باشد که دارای اطلاعات ساعت آفتابی است.



شکل ۴-۴ تغییرات بارش ماهانه ایستگاه اردبیل تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2

شکل ۴-۴ تغییرات رخ داده در مقادیر بارش طی سه دوره ی مطالعاتی نسبت به دوره ی مشاهداتی را نشان می دهد. در بین ماه های ایستگاه اردبیل، ماه ژانویه بیشترین افزایش درصد بارش و ماه جولای بیشترین کاهش درصد بارش را داراست.

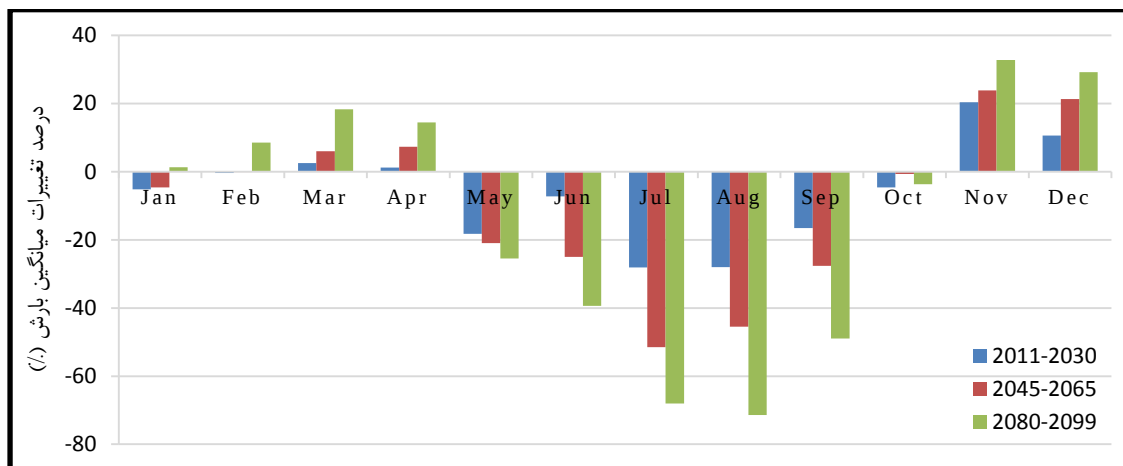
شکل ۴-۵، روند افزایشی دما طی سه دوره مدل سازی نسبت دوره ی مشاهداتی را نشان می دهد. در شکل ۴-۵ شاهد بیشترین افزایش دما در ماه های تابستان هستیم. لذا وجود تابستان های گرم و خشک در سال های آتی دور از انتظار نیست.



شکل ۴-۵ تغییرات دما ماهانه ایستگاه اردبیل تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2

- ایستگاه باران سنج گیلانده

با توجه به موقعیت ایستگاه گیلانده، این ایستگاه نزدیک ترین ایستگاه به خروجی حوضه می باشد و دارای کمترین ارتفاع نسبت به سطح دریا در قیاس با سایر ایستگاه ها است. شکل ۴-۶ درصد تغییرات میانگین بارش را به صورت ماهانه نسبت به مقادیر مشاهداتی برای سه دوره ی مطالعاتی نشان می دهد.

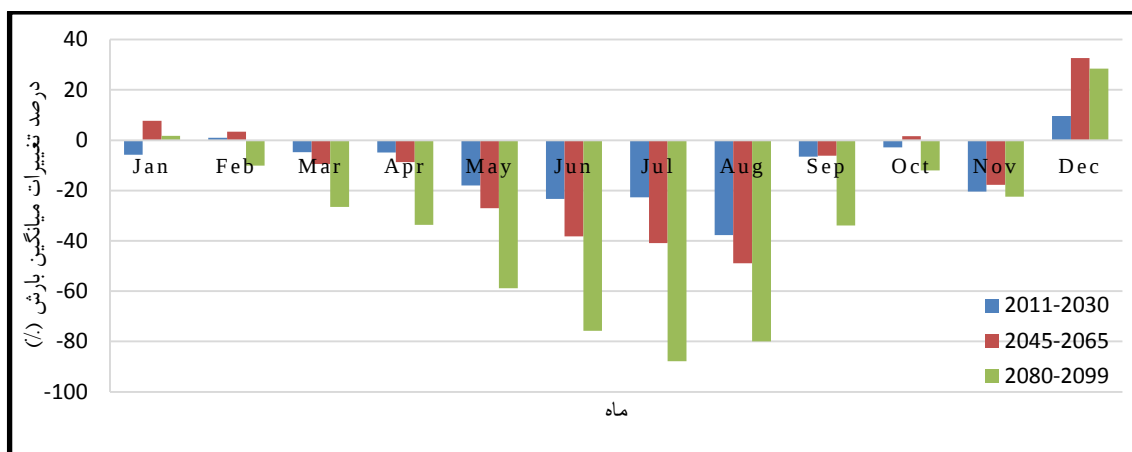


شکل ۴-۶ تغییرات بارش ماهانه ایستگاه گیلانده تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2

با توجه به شکل ۴-۶ ایستگاه گیلانده در سال های آتی شاهد افزایش بارش در ماه های پایانی فصل پاییز خواهد بود. همچنین وجود تابستان های خشک در سال های آتی قابل پیش بینی است.

- ایستگاه باران سنجی پل الماس

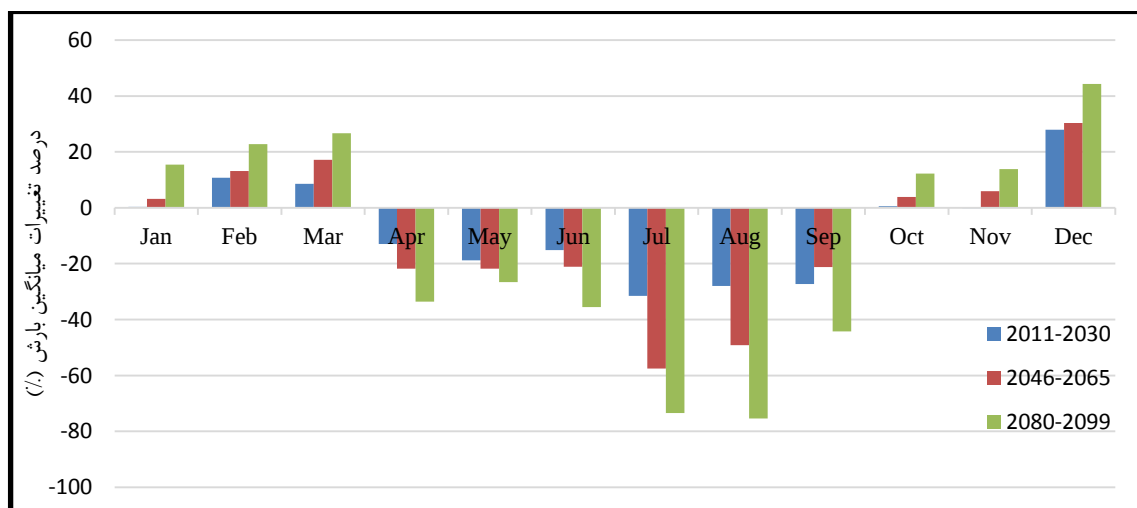
ایستگاه پل الماس با داشتن بالغ بر ۴۰ سال داده های آماری در زمینه ی بارش از این حیث جزء ایستگاه های با طول آماری مناسب می باشد. شکل ۴-۷ نسبت تغییرات میانگین بارش ماهانه مدل به مشاهداتی را بر حسب درصد بیان می کند. با توجه به نمودار در اکثر ماه های سال به جزء ماه دسامبر ، کاهش بارش در این ایستگاه ها مشاهده می شود.



شکل ۴-۷ تغییرات بارش ماهانه ایستگاه پل الماس تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2

• ایستگاه باران سنج یامچی علیا

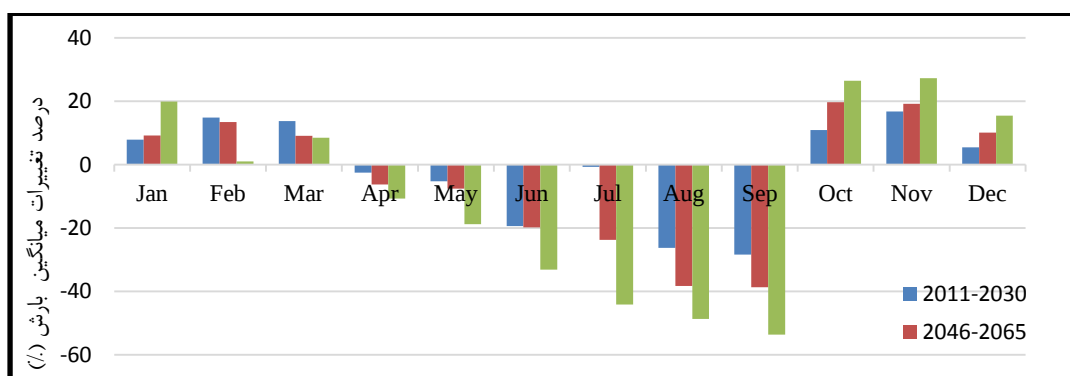
ایستگاه یامچی علیا از لحاظ جغرافیایی در مرکز حوضه آبریز بالیخلی چای قرار دارد. ایستگاه یامچی علیا با توجه به مثلثات تیسن رسم شده، سومین ایستگاه از نظر مساحت تحت پوشش است. شکل ۴-۸ شامل درصد تغییرات مقادیر بارش ماهانه در سال های آتی نسبت به مقادیر مشاهداتی است. ایستگاه یامچی در سال های آتی در دو فصل زمستان و پاییز شاهد افزایش بارش است. در حالی که طی فصول تابستان و بهار شاهد کاهش بارش می باشد.



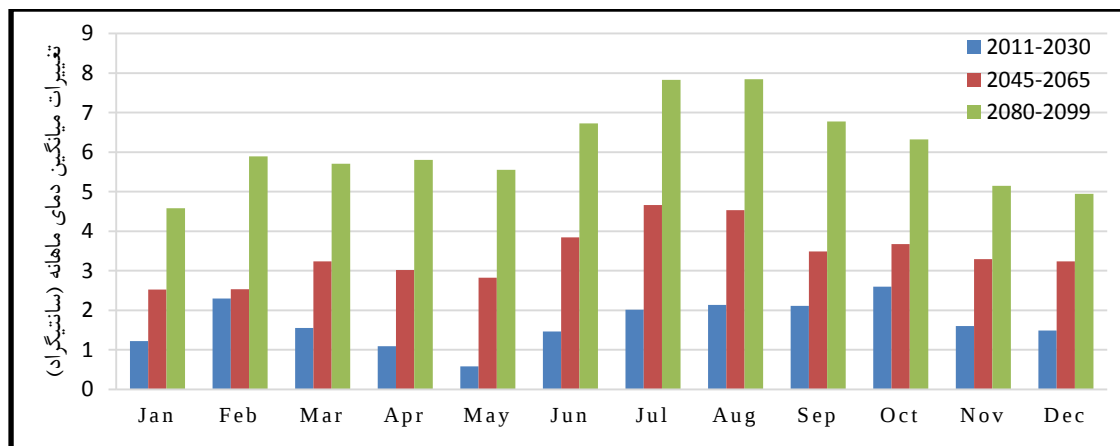
شکل ۴-۸ تغییرات بارش ایستگاه یامچی علیا تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2

• ایستگاه لای

ایستگاه لای در بین ایستگاه‌های منتخب حوضه دارای بیشترین ارتفاع از سطح دریا می‌باشد و در دامنه رشته کوه‌های سبلان واقع شده است. مقادیر مدل سازی دما و بارش برای ایستگاه لای به شرح ذیل می‌باشد. شکل ۹-۴ و ۱۰-۴ نسبت تغییرات میانگین بارش ماهانه و دمای میانگین مدل و مشاهداتی را طی سه دوره مطالعاتی بیان می‌کند. با توجه به شکل ۹-۴ در سال‌های آینده ایستگاه لای در فصل‌های پاییز و زمستان شاهد افزایش بارش است. همچنین وجود تابستان‌های گرم و خشک در سال‌های آتی برای ایستگاه مذکور دور از انتظار نیست.



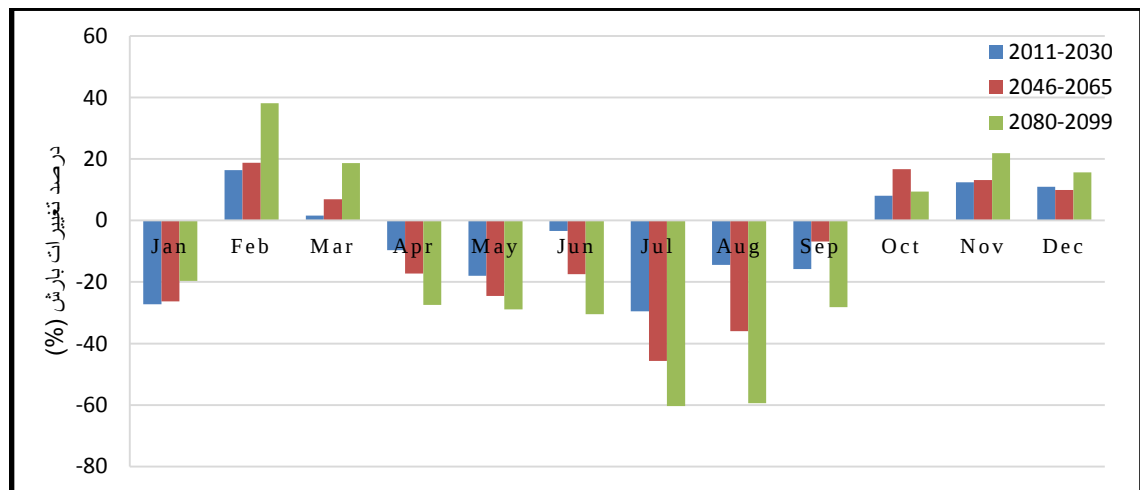
شکل ۹-۴ تغییرات بارش ماهانه ایستگاه لای تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2



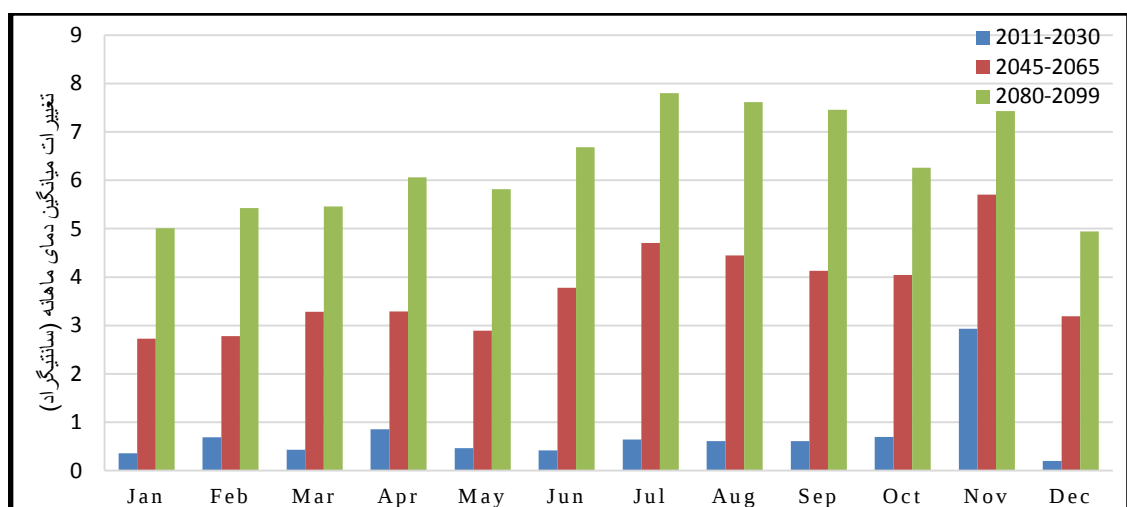
شکل ۱۰-۴ تغییرات دمای ماهانه ایستگاه لای تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2

• ایستگاه نیر

ایستگاه نیر در جنوبی ترین نقطه حوضه واقع شده است. نتایج تغییرات مقادیر بارش و دما تحت مدل HADCM3 و سناریوی انتشار A2 طی سه دوره مطالعاتی ارائه شده است. نتایج برآورد بارش و دما در ایستگاه نیر تحت شرایط تغییر اقلیم در شکل های ۴-۱۱ و ۴-۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۱ تغییرات بارش ماهانه ایستگاه نیر تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2

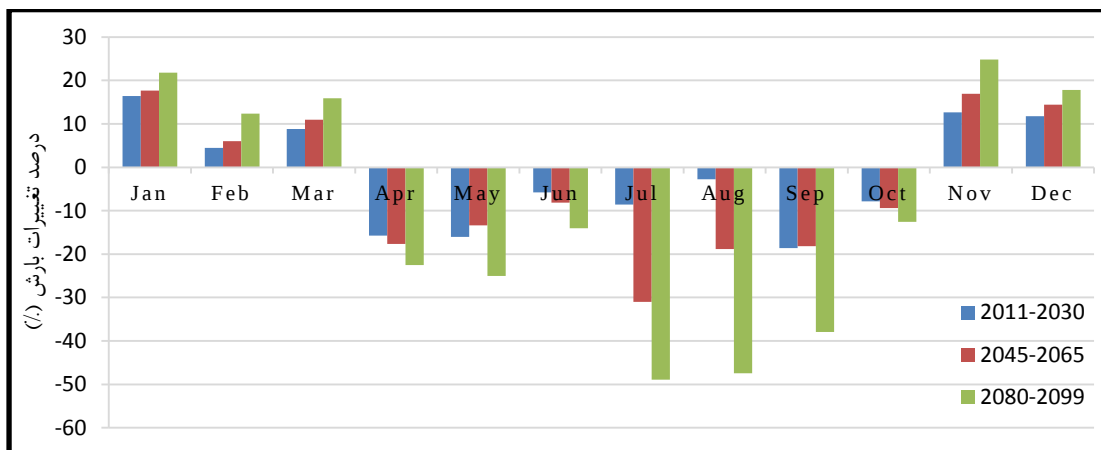


شکل ۴-۱۲ تغییرات دمای ماهانه ایستگاه نیر تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2

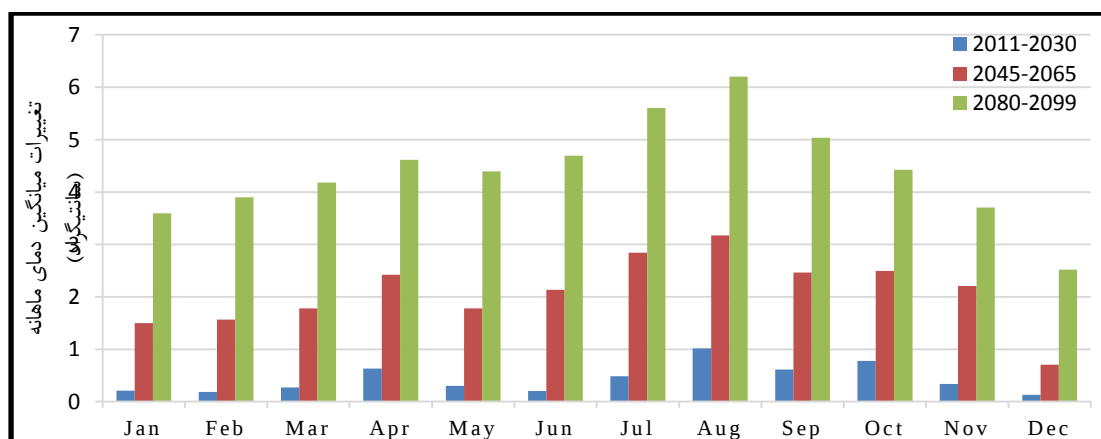
ماه فوریه در ایستگاه نیر در سال های آینده نسبت به سایر ماه ها شاهد افزایش درصد بارش است. ماه های جولای و آگوست به ترتیب جز کم باران ترین ماه های سال خواهد بود.

• ایستگاه سریعین

نتایج تغییرات بارش و دما در ایستگاه سریعین تحت شرایط تغییر اقلیم طی سه دوره ی مطالعاتی نسبت مقادیر مشاهداتی در شکل های ۱۳-۴ و ۱۴-۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۴ تغییرات بارش ماهانه ایستگاه سریعین تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2



شکل ۱۴-۴ تغییرات دما ماهانه ایستگاه سریعین تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2

در حالت کلی متوسط تغییرات دما و بارش برای تمامی ایستگاه های حوزه به تفکیک در جدول ۴-۸ آمده است.

ضریب تاثیر موجود در جدول ۴-۸ با استفاده از روش تیسن و وزن دهی هر ایستگاه با توجه به مساحت تحت پوشش بدست آمده است.

جدول ۴-۸ تغییرات مقادیر بارش (درصد) و دما (سانتی گراد) طی سه دوره مطالعاتی

نام ایستگاه	ضریب تأثیر	پارامترها	۲۰۱۱-۲۰۳۰	۲۰۴۶-۲۰۶۵	۲۰۸۰-۲۰۹۹
اردبیل	۰/۰۶	تغییر در میانگین بارش سالانه (mm)	-۳/۲۳	-۸/۴۲	-۱۶/۱۷
		تغییر دما (°C)	۱	۲/۷	۵/۳
گیلانده	۰/۰۲۰۹	تغییر در میانگین بارش سالانه (mm)	-۱/۱	-۴/۳۹	-۱۱/۳۶
		تغییر دما (°C)	***	***	***
پل الماس	۰/۰۸۳	تغییر در میانگین بارش سالانه (mm)	-۵/۳۷	-۹/۶۳	-۲۱/۲۲
		تغییر دما (°C)	***	***	***
یامچی علیا	۰/۱۷۲	تغییر در میانگین بارش سالانه (mm)	-۱/۹	-۸/۱۰	-۱۷/۳۰
		تغییر دما (°C)	***	***	***
لای	۰/۲۶۹	تغییر در میانگین بارش سالانه (mm)	-۱/۲	-۴/۴۷	-۱۱/۵۵
		تغییر دما (°C)	۱/۶۸	۳/۴	۶/۰۳
نیر	۰/۳۰۸	تغییر در میانگین بارش سالانه (mm)	-۲/۱۷	-۶/۱۹	-۱۳/۴۱
		تغییر دما (°C)	۰/۷	۳/۷۴	۶/۳۲
سرعین	۰/۰۸۴	تغییر در میانگین بارش سالانه (mm)	-۱/۵	-۶/۰۱	-۱۳/۵۴
		تغییر دما (°C)	۰/۴۳	۲/۰۸	۴/۴۰۵

گزارش نهایی تغییر اقلیم در سطح حوضه در جدول ۴-۹ آمده است.

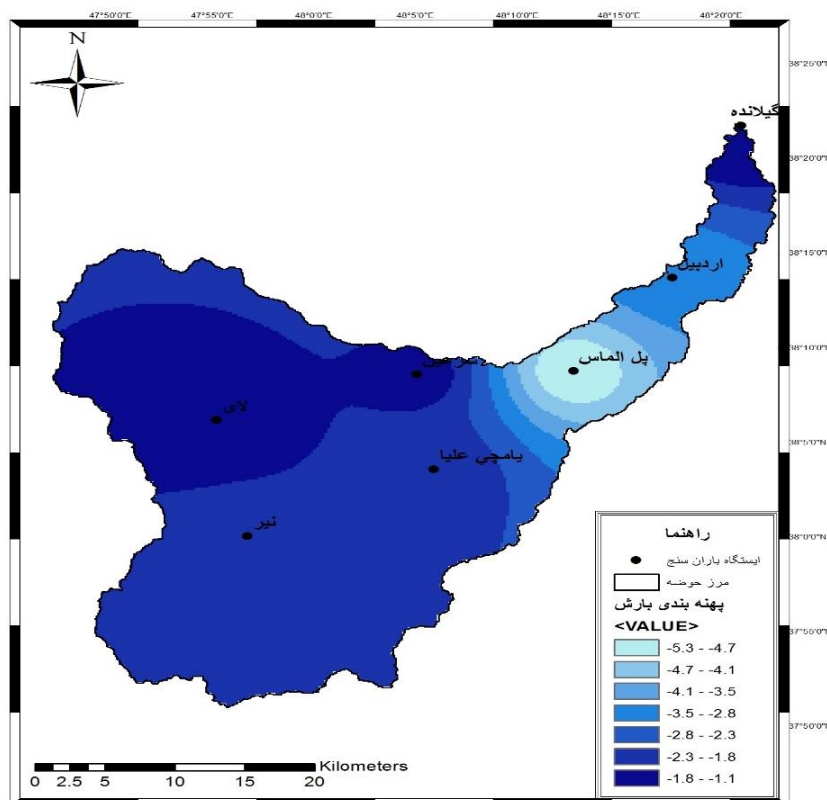
به طور کلی نتایج برآورد تغییرات دما و بارش در سطح حوضه نشان می دهد که دما در سطح حوضه رو به افزایش بوده و تا سال ۲۰۹۹، تغییر در حدود ۴/۲۶ درجه سانتی گراد در سطح حوضه برآورد می گردد. بارش سالانه در سطح حوضه رو به کاهش بوده و تا حدود ۱۴/۳۱ میلی متر کاهش تا سال ۲۰۹۹ برآورد گردیده است. نتایج بدست آمده ضرورت مدیریت بهینه را در جهت حفظ منابع آب منطقه روشن تر می سازد.

جدول ۴-۹ گزارش نهایی تغییر اقلیم در سطح حوضه

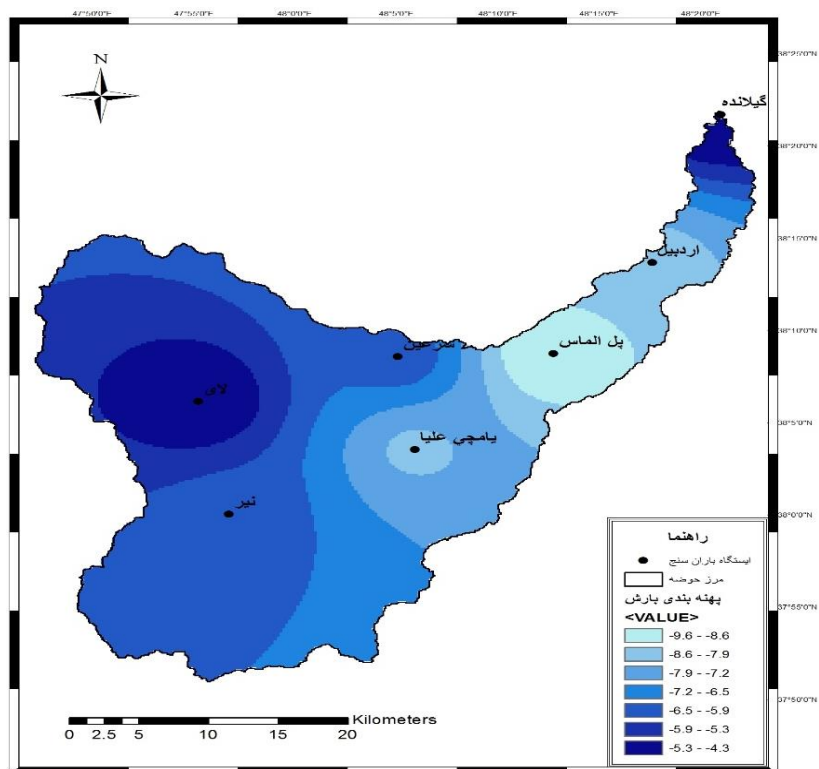
پارامتر های اقلیمی	۲۰۱۱-۲۰۳۰	۲۰۴۶-۲۰۶۵	۲۰۸۰-۲۰۹۹
تغییرات دما (°C)	۰/۷۷	۲/۴۱	۴/۲۶
تغییر بارش سالانه (mm)	-۲/۱	-۶/۴	-۱۴/۳۱

۴-۱-۷ منحنی های هم باران و هم دما در حوضه بالیخلی چای

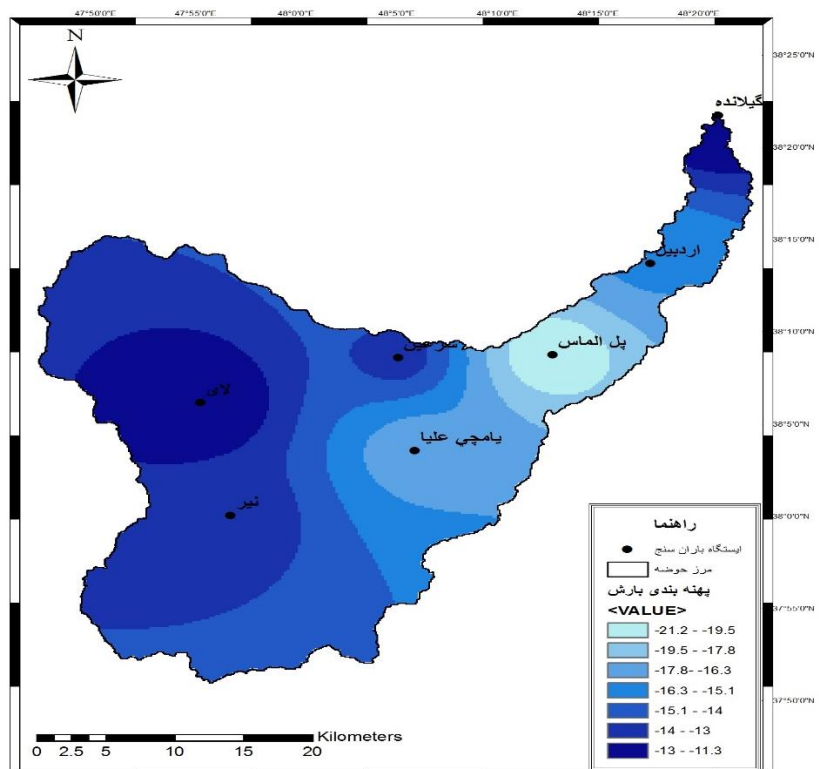
در راستای درک بهتر تاثیرات تغییر اقلیم بر بارش و دما در سطح حوضه منحنی های هم باران و هم دما برای سه دوره ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ طی شکل های ۴-۱۵ الی ۴-۲۰ رسم شده است.



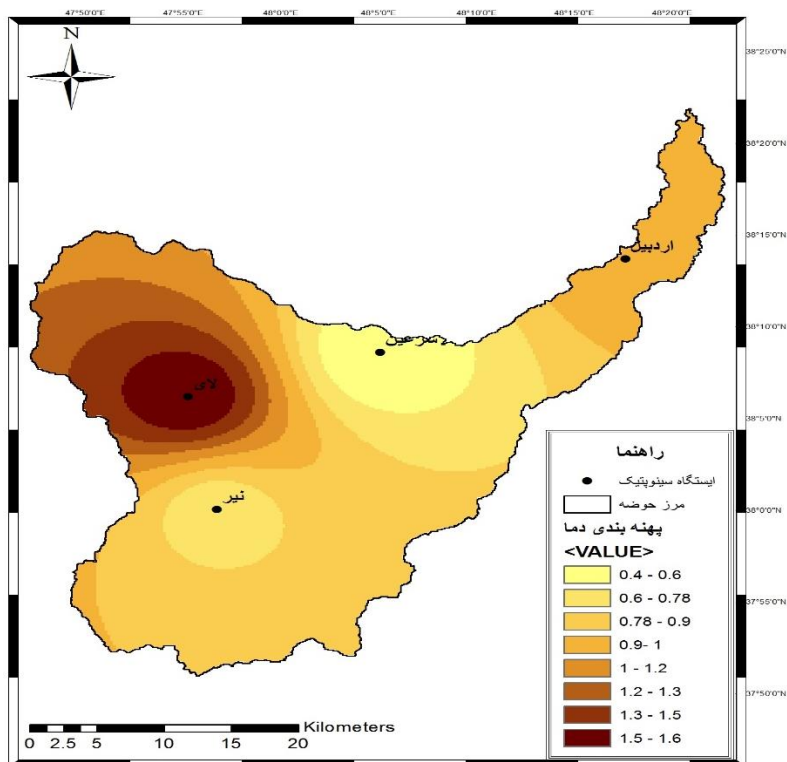
شکل ۴-۱۵ تغییرات بارش (میلیمتر) طی دوره ی ۲۰۱۱-۳۰ تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2



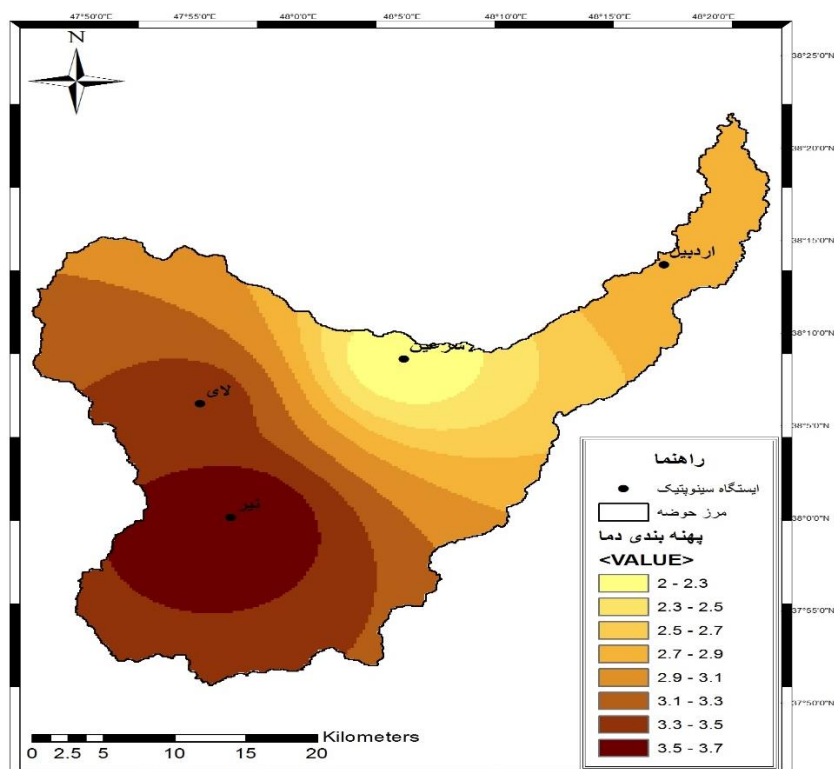
شکل ۴-۱۶ تغییرات بارش (میلیمتر) طی دوره ی ۶۵-۲۰۴۶ تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2



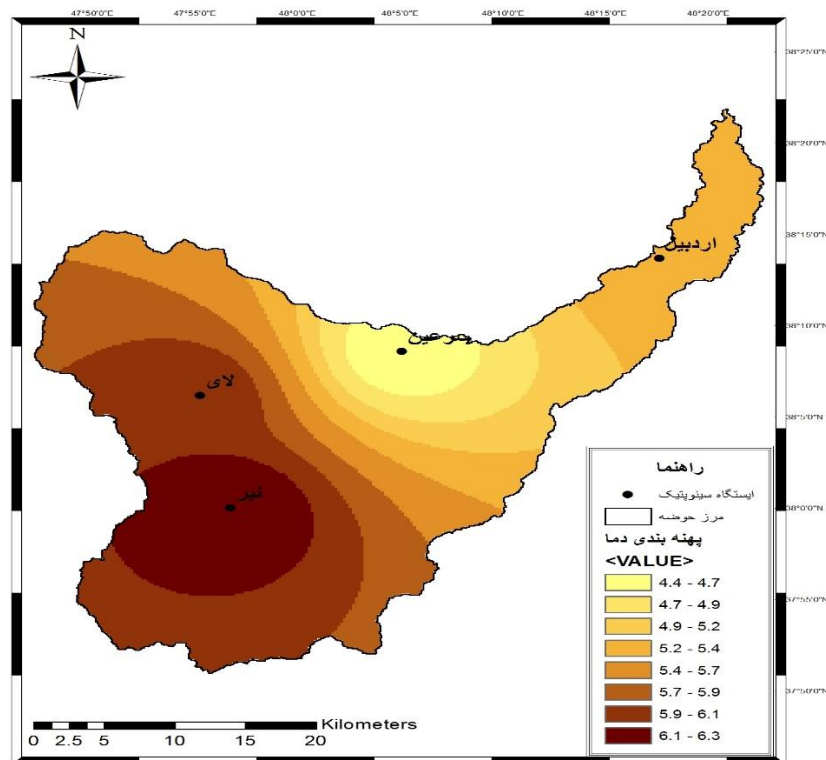
شکل ۴-۱۷ تغییرات بارش (میلیمتر) طی دوره ی ۹۹-۲۰۸۰ تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2



شکل ۴-۱۸ تغییرات دما طی دوره ی ۲۰۱۱-۳۰ تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2



شکل ۴-۱۹ تغییرات دما طی دوره ی ۲۰۴۶-۶۵ تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2



شکل ۴-۲ تغییرات دما طی دوره ی ۹۹-۲۰۸۰ تحت مدل HADCM3 و سناریو انتشار A2

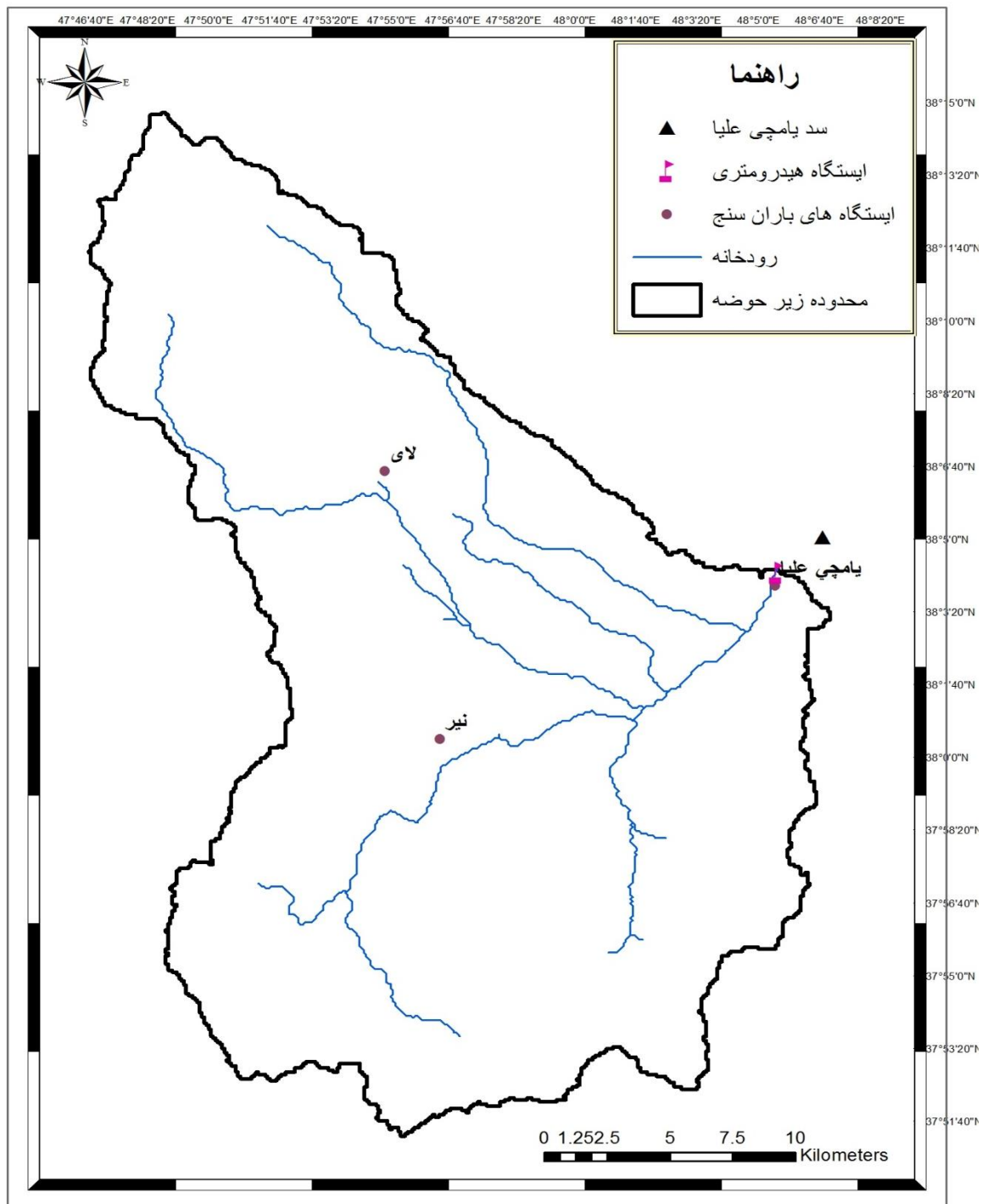
۴-۲ برآورد رواناب تحت شرایط تغییر اقلیم در حوضه بالیخلی چای

مبحث پیش بینی و برآورد دقیق رواناب از دیر باز به عنوان یکی از چالش های مهم در زمینه مدیریت منابع آب مطرح می باشد و در طول سال های گذشته مدل های ریاضی و تجربی متعددی در راستای پاسخ گویی به این نیاز مطرح گشته است. در سال های گذشته مدل های شبکه عصبی مصنوعی با توجه به توانایی شبیه سازی و تخمین توابع غیر خطی، در مدل سازی برخی فرآیندهای پیچیده هیدرولوژیکی، از جمله فرآیند بارش- رواناب مورد استفاده قرار گرفته است. شبکه های عصبی مصنوعی به عنوان مدل هایی الهام گرفته از طبیعت و منعطف قادر به یافتن روابط میان متغیرهای بارش و رواناب بدون در نظر گرفتن فیزیک حاکم بر سیستم در سطح یک حوضه می باشند.

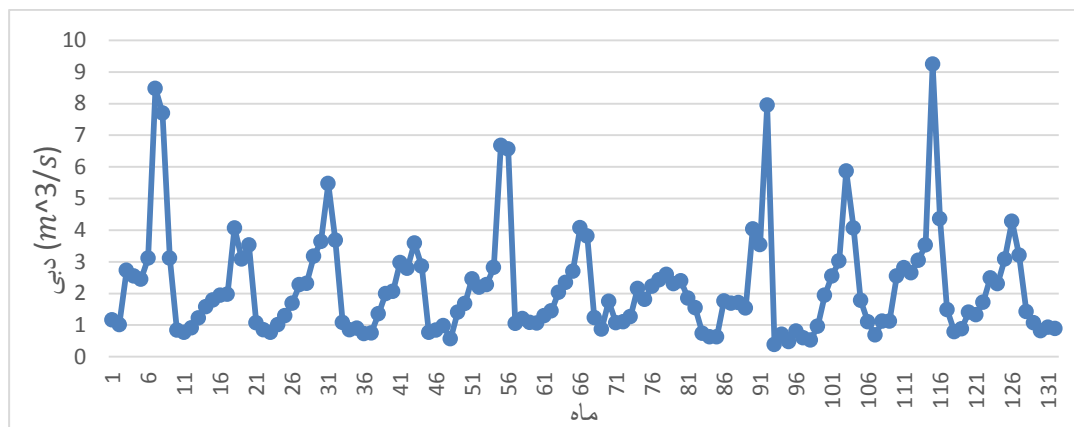
۴-۲-۱ زیر حوضه مطالعاتی

حوضه مطالعاتی شامل ایستگاه های یامچی علیا، نیر و لای می باشد که در شکل ۴-۲۱ موقعیت ایستگاه ها و سد یامچی علیا نشان داده شده است. سد یامچی علیا دارای طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۴ دقیقه است. داده های هیدرومتری ثبت شده ایستگاه یامچی علیا بین سال های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ در دسترس بود. با توجه به وجود دو ایستگاه دما سنج لای و نیر در حوضه و به علت اختلاف ارتفاع زیاد بین ایستگاه های یامچی علیا و لای و همچنین تغییرات دما نسبت به ارتفاع، از داده های دمای ایستگاه لای صرف نظر و فقط داده های بارش ایستگاه لای مورد استفاده قرار گرفت. بارش میانگین زیرحوضه با استفاده از روش مثلثات تیسن محاسبه شده است. در شکل های ۴-۲۲ الی ۴-۲۴ داده های مورد استفاده در تدوین مدل بارش- رواناب ایستگاه یامچی علیا نشان داده شده است.

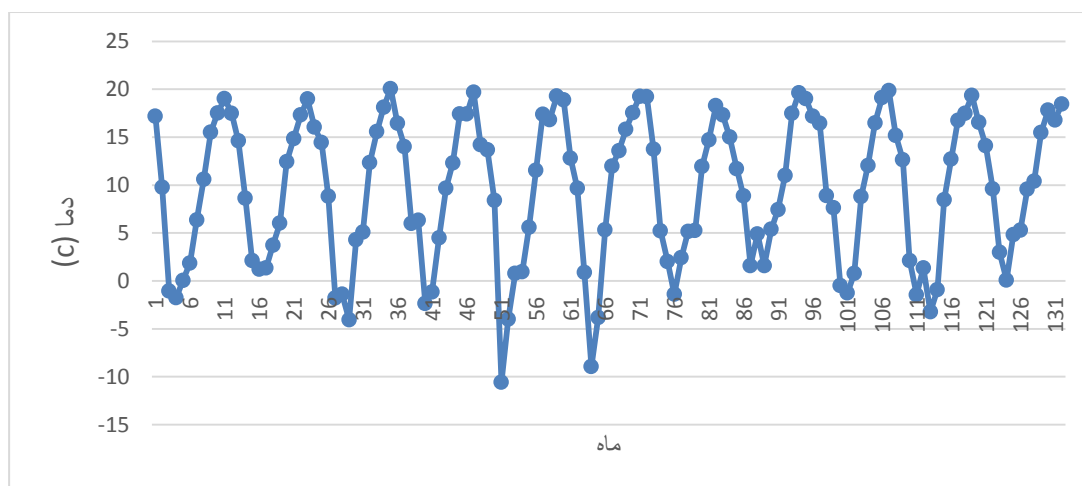
با توجه به احداث سد یامچی در سال ۱۳۸۵، برآورد تغییرات رواناب در ایستگاه های پایین دست سد توسط شبکه عصبی با توجه به تاثیرات فعالیت های انسانی امری غیر ممکن و ناصحیح می باشد. لذا برآورد رواناب در حوضه، برای ایستگاه بالادست سد، شامل زیر حوضه یامچی علیا صورت پذیرفت.



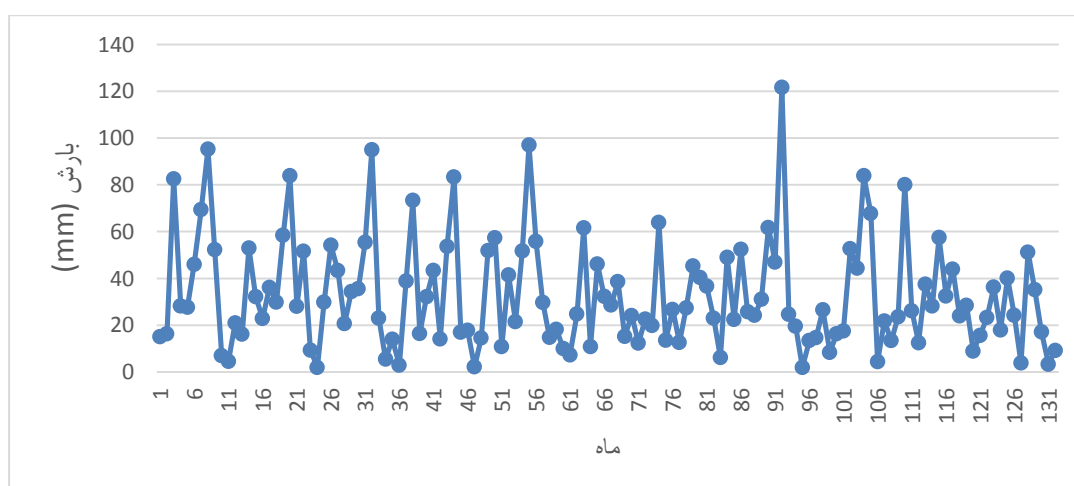
شکل ۴-۲۱ زیر حوضه مطالعاتی ایستگاه یامچی علیا



شکل ۴-۲۲ رواناب ماهانه ایستگاه یامچی علیا (۱۳۸۰-۱۳۹۲)



شکل ۴-۲۳ دمای ماهانه ایستگاه نیر (۱۳۸۰-۱۳۹۲)



شکل ۴-۲۴ بارش میانگین ماهانه زیر حوضه یامچی علیا به روش تیسن (۱۳۸۰-۱۳۹۲)

۲-۲-۴ انتخاب مدل مناسب از داده های ورودی

در راستای ایجاد یک شبکه عصبی مناسب، شناسایی متغیر های دخیل الزامی است. با توجه به مطالعات پیشین، متغیر های دما، بارش، تابش اشعه خورشید و رواناب دوره های گذشته از جمله متغیر های دخیل در مدل های بارش- رواناب تحت شبکه های عصبی مصنوعی هستند. برای یافتن میزان همبستگی میان متغیر های نام برده حل معادلات خطی و ضرایب همبستگی الزامی است. ابتدا چهار مدل زیر با توجه به داده های ورودی تدوین گشت (جدیری نقاش کار، ۱۳۹۱).

$$Q(t)=\{P(t)\} \quad (۱-۴) \text{ مدل (۱)}$$

$$Q(t)=\{P(t),T(t)\} \quad (۲-۴) \text{ مدل (۲)}$$

$$Q(t)=\{P(t),P(t-1),T(t),T(t-1)\} \quad (۳-۴) \text{ مدل (۳)}$$

$$Q(t)=\{P(t),P(t-1),P(t-2),T(t),T(t-1),T(t-1)\} \quad (۴-۴) \text{ مدل (۴)}$$

ابتدا ماتریس همبستگی و سپس ضریب r و معیار خطای RMSE طی سه بازه آموزش، اعتبار سنجی و تست برای هر یک از مدل های تدوین شده محاسبه شد. ماتریس همبستگی، ماتریسی است که روابط حاکم بین متغیر های ورودی را در قالب عدد بیان می کند، بطوری که هرچه همبستگی متغیری با متغیر دیگر بیشتر باشد ضریب همبستگی به ۱ نزدیک تر خواهد بود. جداول ۴-۱۰ الی ۴-۱۳ ماتریس های همبستگی هر یک از مدل های ۱ الی ۴ را نشان می دهد.

جدول ۴-۱۰ ماتریس همبستگی بین متغیر های هیدرولوژیکی مدل (۱)

مدل (۱)	$Q(t)$	$P(t)$
$Q(t)$	۱	۰/۶۱۹
$P(t)$	۰/۶۱۹	۱

جدول ۴-۱۱ ماتریس همبستگی بین متغیر های هیدرولوژیکی مدل (۲)

مدل (۲)	Q(t)	P(t)	T(t)
Q(t)	۱	۰/۶۱۲	-۰/۳۷۸
P(t)	۰/۶۱۲	۱	-۰/۲
T(t)	-۰/۳۷۸	-۰/۲	۱

جدول ۴-۱۲ ماتریس همبستگی بین متغیر های هیدرولوژیکی مدل (۳)

مدل (۳)	Q(t)	P(t)	P(t-1)	T(t)	T(t-1)
Q(t)	۱	۰/۶۱۲	۰/۲۷	-۰/۳۸۷	-۰/۶۰۴
P(t)	۰/۶۱۲	۱	۰/۲۲۳	-۰/۲۰۸	-۰/۳۱۴
P(t-1)	۰/۲۷	۰/۲۲۳	۱	-۰/۰۳۳	-۰/۱۹۶
T(t)	-۰/۳۸۷	-۰/۲۰۸	-۰/۰۳۳	۱	۰/۸
T(t-1)	-۰/۶۰۴	-۰/۳۱۴	-۰/۱۹۶	۰/۸	۱

جدول ۴-۱۳ ماتریس همبستگی بین متغیر های هیدرولوژیکی مدل (۴)

مدل (۴)	Q(t)	P(t)	P(t-1)	P(t-2)	T(t)	T(t-1)	T(t-2)
Q(t)	۱	۰/۶۱۲	۰/۲۷	-۰/۰۰۱	-۰/۳۸۷	-۰/۶۰۴	-۰/۶۶
P(t)	۰/۶۱۲	۱	۰/۲۲۳	-۰/۰۴۵	۰/۲۰۸	۰/۳۱۴	-۰/۳۶۳
P(t-1)	۰/۲۷	۰/۲۲۳	۱	۰/۲۰۷	-۰/۰۳۳	۰/۱۹۶	-۰/۳۰۴
P(t-2)	-۰/۰۰۱	-۰/۰۴۵	۰/۲۰۷	۱	۰/۱۳۱	-۰/۰۴۵	-۰/۲۰۶
T(t)	-۰/۳۸۷	-۰/۲۰۸	-۰/۰۳۳	۰/۱۳۱	۱	۰/۸	۰/۴۵۶
T(t-1)	-۰/۶۰۴	-۰/۳۱۴	-۰/۱۹۶	-۰/۰۴۵	۰/۸	۱	۰/۸۰۱
T(t-2)	-۰/۶۶	-۰/۳۶۳	-۰/۳۰۴	-۰/۲۰۶	۰/۴۵۶	۰/۸۰۱	۱

در جداول مربوط به ماتریس همبستگی، $Q(t)$ دبی در لحظه t ، $P(t)$ بارش در لحظه t ، $T(t)$ دما متوسط در لحظه t و $(t-1)$ و $(t-2)$ معرف تاخیر ۱ و ۲ واحدی در زمان می باشد، به بیان ساده تر با در نظر گرفتن واحد زمانی ماهانه برای داده های ورودی، $P(t-1)$ بیانگر بارش ماهانه با یک واحد تاخیر زمانی (بارش ماه گذشته) است.

در این تحقیق ۷۰ درصد داده ها جهت آموزش، ۱۵ درصد صحت سنجی و ۱۵ درصد مابقی جهت تست مدل مورد استفاده قرار گرفت است. جهت جلوگیری از کوچک شدن بیش از اندازه وزن ها و یکسان نبودن واحد داده های ورودی، ابتدا باید تمامی متغیر ها استاندارد و محدود شوند.

لذا با استفاده از فرمول ۴-۵ استاندارد سازی متغیر های ورودی صورت گرفته و تمامی آنها در بازه [۰-۱] محدود شده اند.

$$N_i = \left[\frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \right] \quad ۴-۵$$

در رابطه ی ۴-۵، N_i مقدار استاندارد شده، X_i مقادیر واقعی، $X_{\max}$ و $X_{\min}$ به ترتیب حداکثر و حداقل مقادیر واقعی می باشد.

۴-۲-۳ انتخاب نوع شبکه

مدل شبکه عصبی، متشکل از سه لایه ورودی، میانی و خروجی می باشد. لایه اول در برگیرنده ورودی های مدل و لایه سوم مختص خروجی های سیستم می باشد. لایه میانی که شامل نرون ها است وظیفه محاسبات بر روی ورودی ها را بر عهده دارد. با توجه به مطالعات پیشین هر شبکه عصبی متشکل از سه لایه قادر به شبیه سازی هر نوع معادله غیر خطی است. ولی با توجه به شرایط مسئله، ممکن است به تعداد لایه ها و نرون های بیشتری نیاز باشد که تعداد آن ها با سعی و خطا مشخص می شود. تعداد نرون و لایه های مورد استفاده در شبکه عصبی وابسته به شرایط مسئله می باشد و رابطه ی ریاضی مشخصی برای محاسبه تعداد نرون ها و لایه های میانی وجود ندارد.

در این تحقیق شبکه عصبی با ساختار پیشرو- برگشتی که در غالب مسائل هیدرولوژیکی استفاده شده است انتخاب گشت. الگوریتم آموزش انتخابی، لومبرگ- ماکوارت و تابع محرک از نوع tansing است (Coulibaly et al., 2000).

نتایج ارزیابی مدل های مختلف به شرح جدول ۴-۱۴ می باشد.

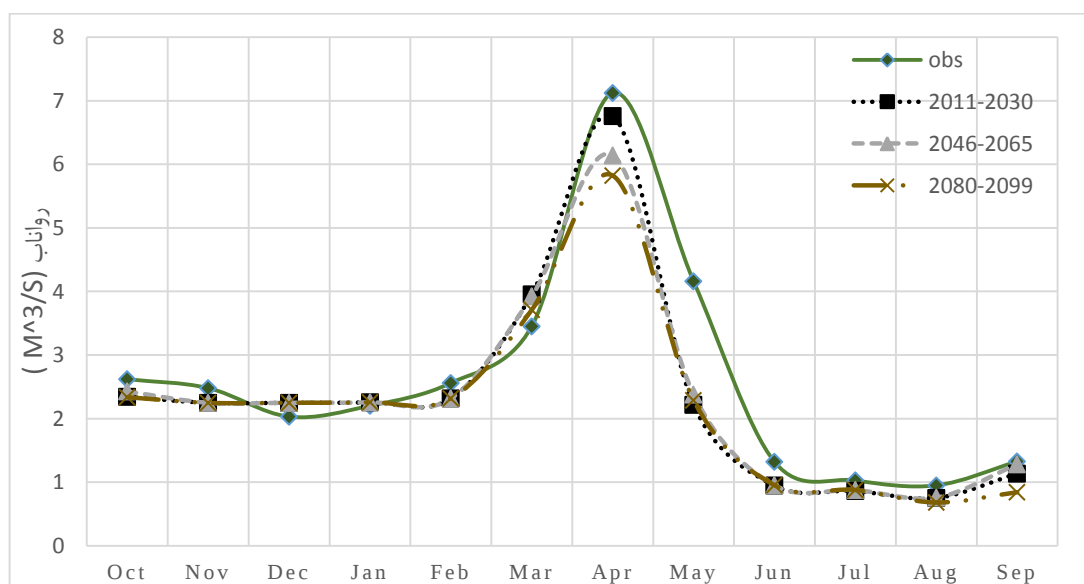
جدول ۴-۱۴ نتایج ارزیابی مدل شبکه عصبی

نام مدل		ساختار شبکه		آموزش		صحت سنجی		تست	
آزمون های اعتبار سنجی		سه لایه	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
مدل (۱)		۱-۱۰-۱	۱/۵۱	۰/۷۰	۲/۱۴	۰/۶۲	۲/۳۶	۰/۶۱۲	
مدل (۲)		۲-۱۰-۱	۱/۳۲	۰/۷۳۲	۱/۶	۰/۶۹۲	۱/۸	۰/۶۷۱	
مدل (۳)		۴-۱۰-۱	۰/۸۹۲	۰/۸۳۸	۰/۹۷۶	۰/۸۰۶	۱/۱۴	۰/۷۸۶	
مدل (۴)		۶-۱۰-۱	۱/۰۶	۰/۸۰۲	۱/۲۶	۰/۷۷۲	۱/۵۲۱	۰/۷۴۲	

با توجه به جداول ۴-۱۰ الی ۴-۱۳ و جدول ۴-۱۴، مدل شماره ۳ به عنوان مدل انتخابی برای شبیه سازی رواناب حوزه انتخاب شد.

۴-۲-۴ شبیه سازی رواناب حوزه تحت شرایط تغییر اقلیم

پس از انتخاب مدل مناسب بارش رواناب، شبیه سازی رواناب زیرحوضه انجام شد. در شکل ۴-۲۵ تغییرات رواناب در ایستگاه یامچی علیا نسبت به مقادیر مشاهداتی طی سه دوره ی (۲۰۱۱-۲۰۳۰)، (۲۰۴۶-۲۰۶۵) و (۲۰۸۰-۲۰۹۹) نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۵ هیدروگراف تاریخی و شبیه سازی شده در ایستگاه یامچی علیا تحت سناریو A2

تغییرات رواناب حوضه تحت سناریو A2 طی دوره های مطالعاتی دارای روندی کاهشی است. میزان برآورد کاهش طی سه دوره ی ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ به ترتیب ۱۱٪، ۱۳٪ و ۱۷٪ است. بیشترین کاهش متوسط ماهانه طی ماه April (اواسط ماه فروردین تا اواسط اردیبهشت) می باشد که می توان ذوب شدن زود هنگام برف طی فصول سرد سال و جاری شدن رواناب زود تر از موعد را به عنوان عاملی موثر نام برد.

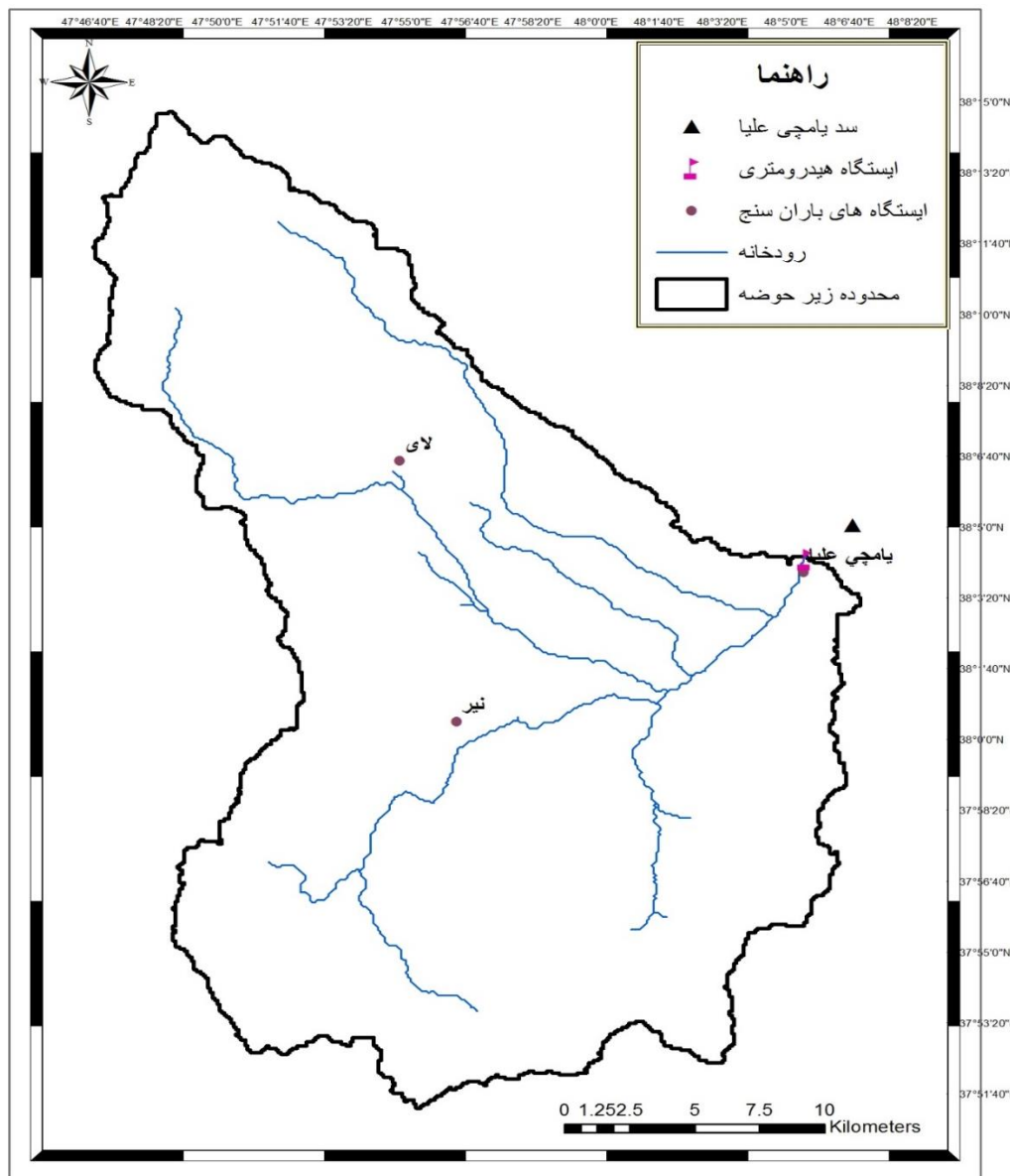
۳-۴ کیفیت منابع آب سطحی

کمبود آب و تامین آب یکی از چالش های قرن حاضر است که در آینده ای نه چندان دور به عمده ترین مشکل بشر تبدیل خواهد شد. از سوی دیگر افزایش جمعیت و نیاز به منابع غذایی بیشتر، رشد روز افزون کشاورزی و صنعت را خواستار است. گسترش بی رویه شهرها و همچنین فعالیت های شهری و صنعتی منجر به آلودگی منابع آب و ایجاد بحران های منطقه ایی ناشی از عدم توازن میان منابع و مصارف در بسیاری از نقاط جهان شده است. لذا در این بخش به بررسی تغییرات رخ داده در بازه ی زمانی بین سال های ۸۷-۱۳۸۳ در روند پارامتر های TDS و EC که به ترتیب جز اساسی ترین پارامتر های کیفیت در زمینه ی شرب و کشاورزی هستند پرداخته شده است. سپس با استفاده از مقادیر دما، بارش و دبی طی سال های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ به پیش بینی پارامتر های TDS و EC بدون دخالت عوامل انسانی، پرداخته شده است.

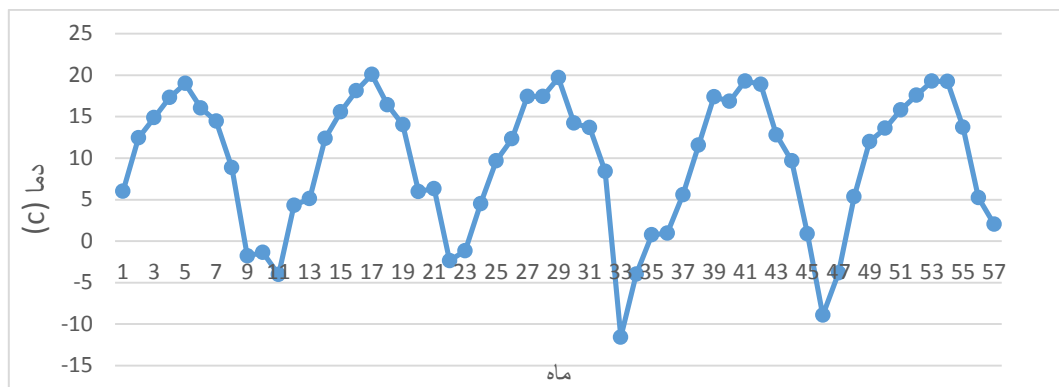
۳-۴-۱ TDS (کل مواد محلول)

منظور از TDS کل مواد جامد محلول در آب می باشد که برابر مجموع غلظت همه یون های موجود در آب است. مواد محلول در آب از لحاظ ماهیت به دو دسته (آلی) و (معدنی) تقسیم می شوند. مواد آلی شامل مواد شیمیایی و مواد حاصله از تجزیه گیاهان می شوند و مواد معدنی شامل فلزات و مواد معدنی هستند. واحد ارزیابی TDS میلی گرم بر لیتر (mg/l) می باشد که اصطلاح مورد استفاده برای این یکا ppm است.

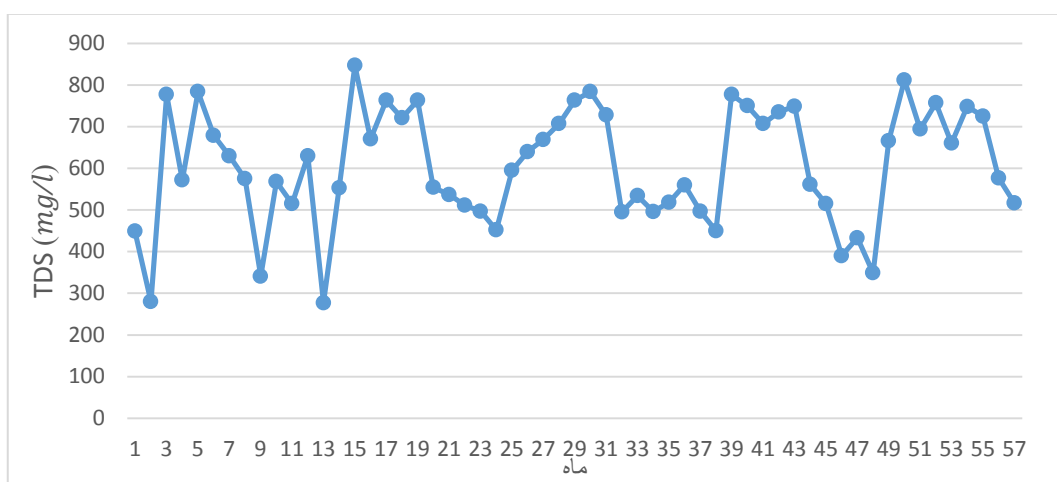
داده های کیفیت زیر حوضه مطالعاتی طبق شکل ۴-۲۶ از ایستگاه هیدرومتری یامچی علیا با دوره ی ماهانه بین سال های ۸۷-۱۳۸۳ از شرکت آب منطقه ای اردبیل تهیه شده است.



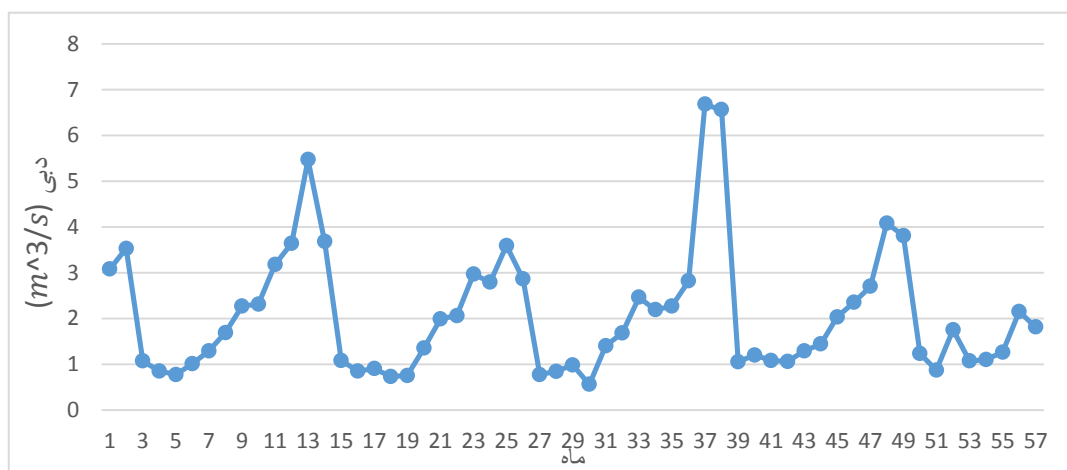
شکل ۴-۲۶ زیر حوضه مطالعاتی ایستگاه یامچی علیا
 تمامی داده های مورد استفاده در تدوین مدل شبکه عصبی، جهت پیش بینی پارامتر TDS به شرح
 شکل های ۴-۲۷ تا ۴-۳۰ است.



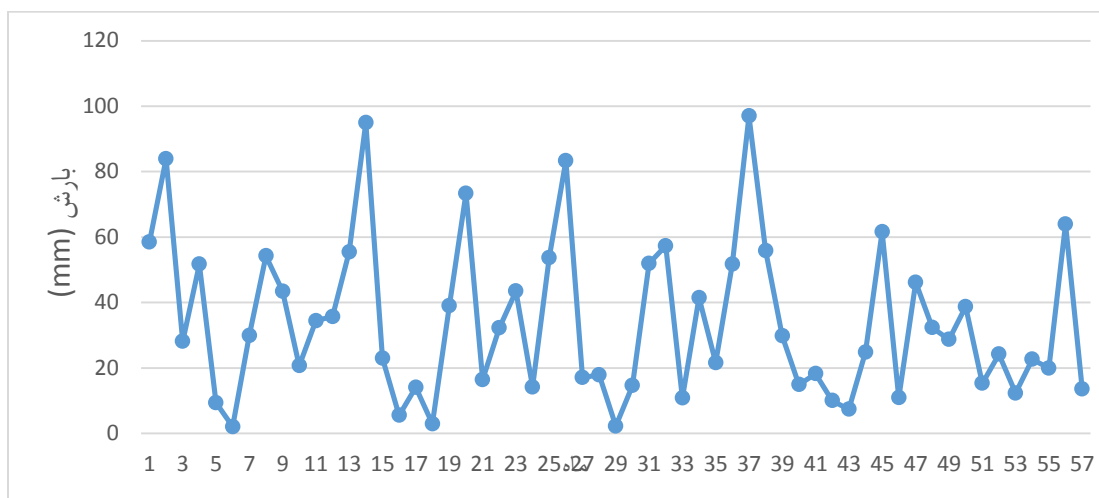
شکل ۴-۲۷ دمای میانگین ماهانه ایستگاه نیر (۱۳۸۳-۱۳۸۷)



شکل ۴-۲۸ مقدار TDS ماهانه ایستگاه یامچی علیا (۱۳۸۳-۱۳۸۷)



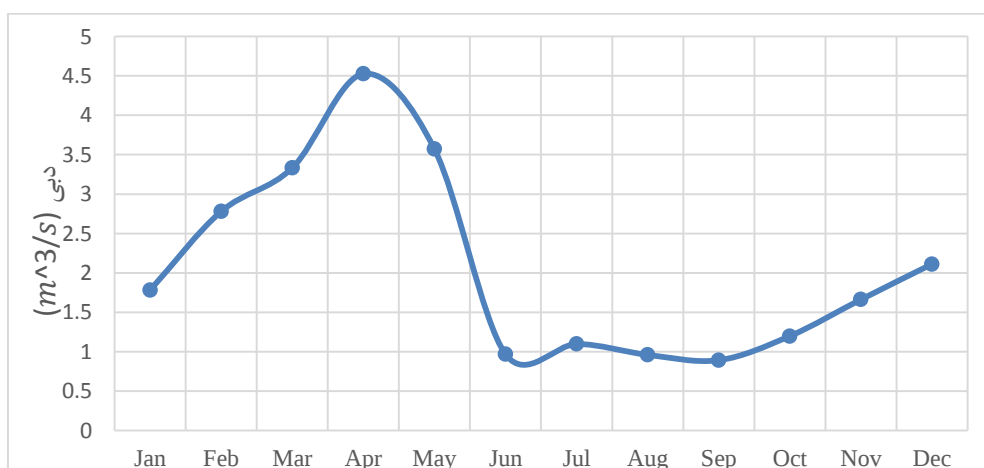
شکل ۴-۲۹ دبی ماهانه ایستگاه یامچی علیا (۱۳۸۳-۱۳۸۷)



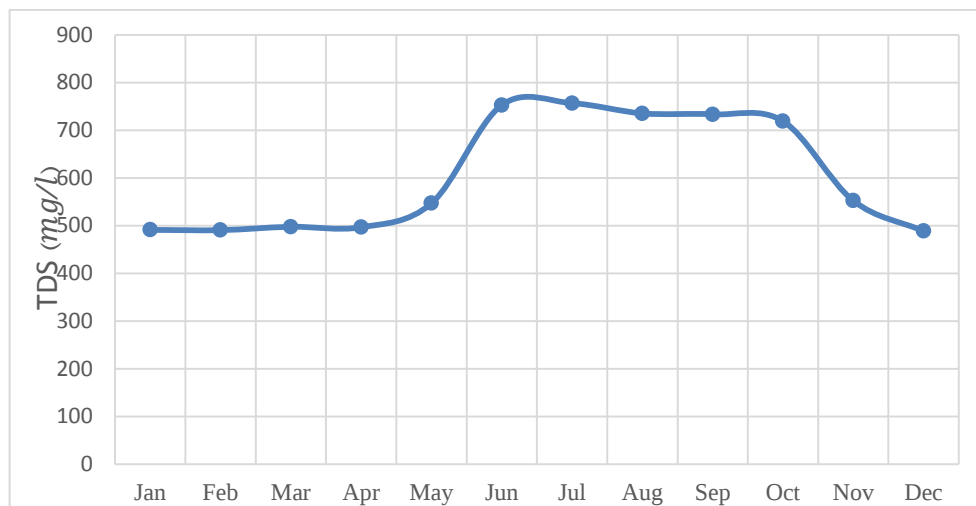
شکل ۴-۳۰ بارش میانگین ماهانه زیر حوضه یامچی علیا با روش تیسن (۱۳۸۳-۱۳۸۷)

۴-۱-۳-۱ بررسی روند تغییرات TDS در مقیاس فصلی در بازه ی (۸۷-۱۳۸۳)

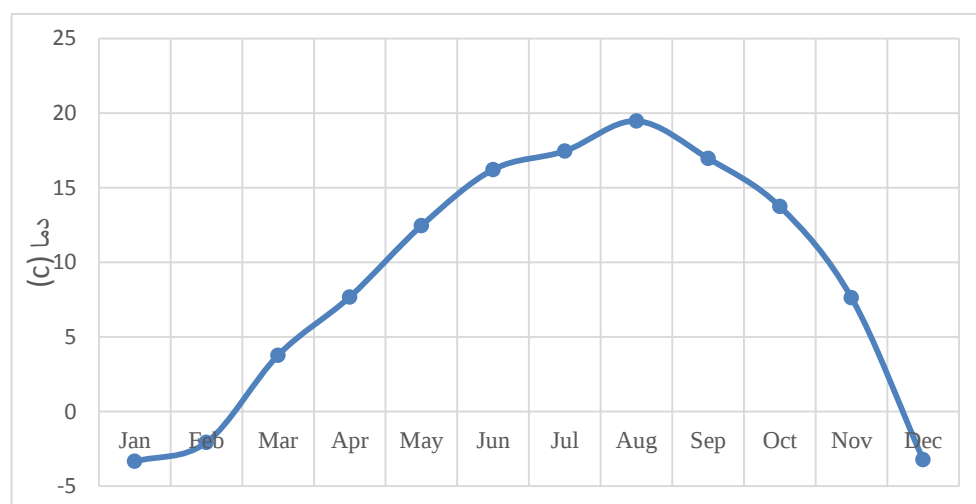
شکل های ۴-۳۱ تا ۴-۳۴ میانگین های ماهانه پارامتر های TDS، دبی، دما و بارش را نشان می دهند. با توجه به شکل های فوق، طی ماه های مرطوب و خنک سال زیر حوضه یامچی علیا شاهد کاهش محسوسی در غلظت مواد محلول در آب بوده است. همچنین غلظت مواد محلول در آب با نزدیک شدن به ماه های گرم و خشک سال روندی صعودی دارد.



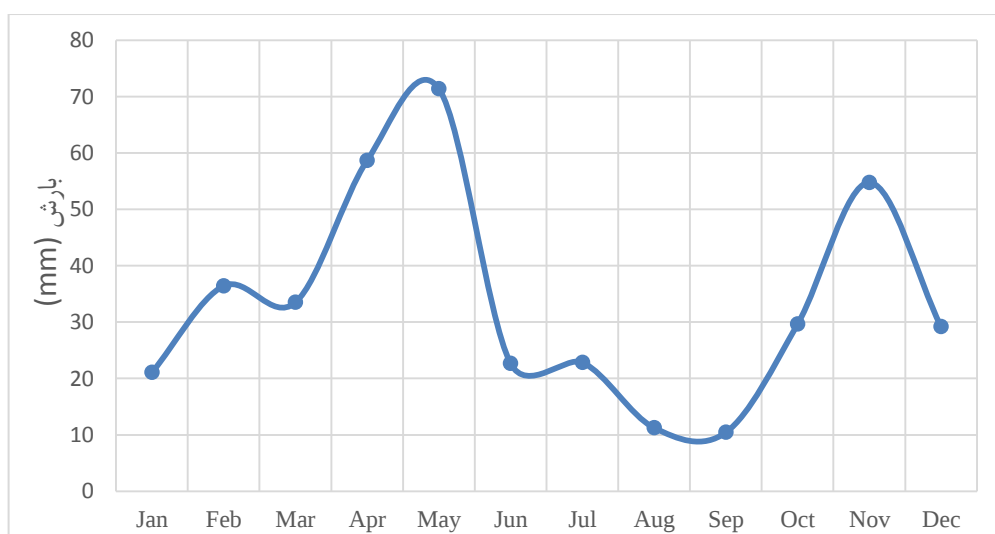
شکل ۴-۳۱ میانگین ماهانه دبی در ایستگاه یامچی علیا



شکل ۳۲-۴ میانگین ماهانه مواد محلول در آب در ایستگاه یامچی علیا



شکل ۳۳-۴ میانگین ماهانه دما در ایستگاه نیر



شکل ۳۴-۴ میانگین ماهانه بارش در زیر حوضه ایستگاه یامچی علیا (تیسن)

با توجه به مطالعات منیرالزمان و همکاران (۲۰۰۹)، لنارتز و لوچارت (۲۰۰۷) کاهش کمی منابع آب و نوسانات آب و هوایی و خشکسالی می تواند باعث انتشار آلودگی شود. همچنین تغییرات ظرفیت رطوبت خاک می تواند موجب اصلاح ساختار مواد الی شده و از پخش شدن آلودگی ها جلوگیری کند (Moniruzzaman et al., 2009) و (Lennartz and Louchart, 2007).

۴-۳-۱-۲ انتخاب مدل شبکه عصبی مناسب

شناسایی پارامترهای دخیل در تشکیل یک شبکه عصبی بسیار حائز اهمیت می باشد، لذا جهت تشکیل مناسبترین شبکه عصبی در راستای پیش بینی TDS، دو مدل با تاخیرهای زمانی مختلف تدوین گشت. با توجه به ارزیابی TDS در شرایط تغییر اقلیم دبی، بارش و دما پارامترهای ورودی شبکه عصبی را تشکیل می دهند. مدل های ۱ و ۲ به شرح زیر می باشند.

$$TDS(t) = \{T(t), P(t), Q(t)\} \quad (۷-۴) \text{ مدل (۱)}$$

$$TDS(t) = \{T(t), T(t-1), P(t), P(t-1), Q(t), Q(t-1)\} \quad (۸-۴) \text{ مدل (۲)}$$

در گام نخست به بررسی روابط بین پارامترهای ورودی و TDS پرداخته شده است که نتایج به شرح جدول ۴-۱۵ و ۴-۱۶ آورده شده است.

جدول ۴-۱۵ ماتریس همبستگی مدل ۱

مدل (۱)	TDS	P(t)	T(t)	Q(t)
TDS	۱	-۰/۴۴	۰/۶۴	-۰/۶۳
P(t)	-۰/۴۴	۱	-۰/۱۸۱	۰/۵۸
T(t)	۰/۶۴	-۰/۱۸۱	۱	-۰/۴۱۸
Q(t)	-۰/۶۳	۰/۵۸	-۰/۴۱	۱

جدول ۴-۱۶ ماتریس همبستگی مدل ۲

مدل (۲)	TDS(t)	P(t)	P(t-1)	T(t)	T(t-1)	Q(t)	Q(t-1)
TDS(t)	۱	-۰/۴۵	-۰/۲۳	۰/۶۴	۰/۶۳	-۰/۶۴	-۰/۲۴
P(t)	-۰/۴۵	۱	۰/۱۸	-۰/۱۹	-۰/۳۱	۰/۵۹	۰/۳۹
P(t-1)	-۰/۲۳	۰/۱۸	۱	-۰/۱۶	-۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۵۹
T(t)	۰/۶۴	-۰/۱۹	-۰/۱۶	۱	۰/۷	-۰/۴۲	-۰/۱۱
T(t-1)	۰/۶۳	-۰/۳۱	-۰/۲۱	۰/۷	۱	-۰/۶	-۰/۴۳
Q(t)	۰/۶۴	۰/۵۹	۰/۳۳	-۰/۴۲	-۰/۶	۱	۰/۵۹
Q(t-1)	-۰/۲۴	۰/۳۹	۰/۵۹	-۰/۱۱	-۰/۴۳	۰/۵۹	۱

با استفاده از آزمون رگرسیون خطی برای بررسی ارتباط موجود بین پارامتر TDS و پارامتر های اقلیمی ، یک ارتباط مستقیم بین TDS و دما مشهود می باشد. همچنین رابطه‌ی موجود بین TDS با بارش و دبی عکس می باشد و با افزایش هر یک از مقادیر بارش و دبی، مقدار TDS کاهش می یابد.

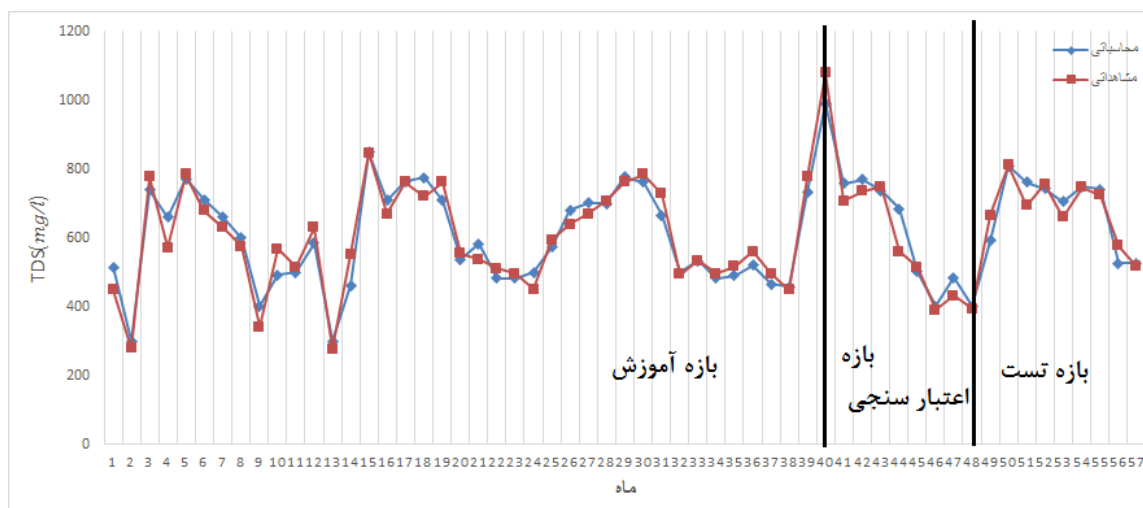
در جداول مربوط به ماتریس همبستگی، $TDS(t)$ غلظت مواد محلول در لحظه t ، $Q(t)$ دبی در لحظه t ، $P(t)$ بارش در لحظه t ، $T(t)$ دما متوسط در لحظه t و $(t-1)$ بیانگر یک واحد تاخیر زمانی است.

شبکه عصبی انتخابی از نوع پیشرو- برگشتی، الگوریتم آموزش مورد استفاده از نوع لومنبرگ- ماکوارت، تابع محرک از نوع tansing می باشد. تعداد مناسب لایه های میانی و نرون های موجود در هر لایه با روش سعی و خطا تعیین شده است. در گام بعدی ارزیابی صورت گرفته جهت انتخاب مناسب ترین مدل شامل آزمون R^2 و نمودار مقایسه مقادیر مشاهداتی و پیش بینی شده به صورت میانگین ماهانه است که در جدول ۴-۱۷ و شکل ۴-۳۵ نشان داده شده است. در تحقیق فوق ۷۰ درصد داده های ورودی جهت آموزش، ۱۵ درصد صحت سنجی و ۱۵ درصد مابقی جهت تست مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۴-۱۷ آزمون R^2 برای مدل های ۱ و ۲

نام مدل	ساختار	آموزش	صحت سنجی	تست
آزمون های اعتبار سنجی	سه لایه	R^2	R^2	R^2
مدل (۱)	۳-۸-۱	۰/۸۴۱	۰/۸۱۱	۰/۷۹۲
مدل (۲)	۶-۸-۱	۰/۷۵۹	۰/۷۰۲	۰/۶۸

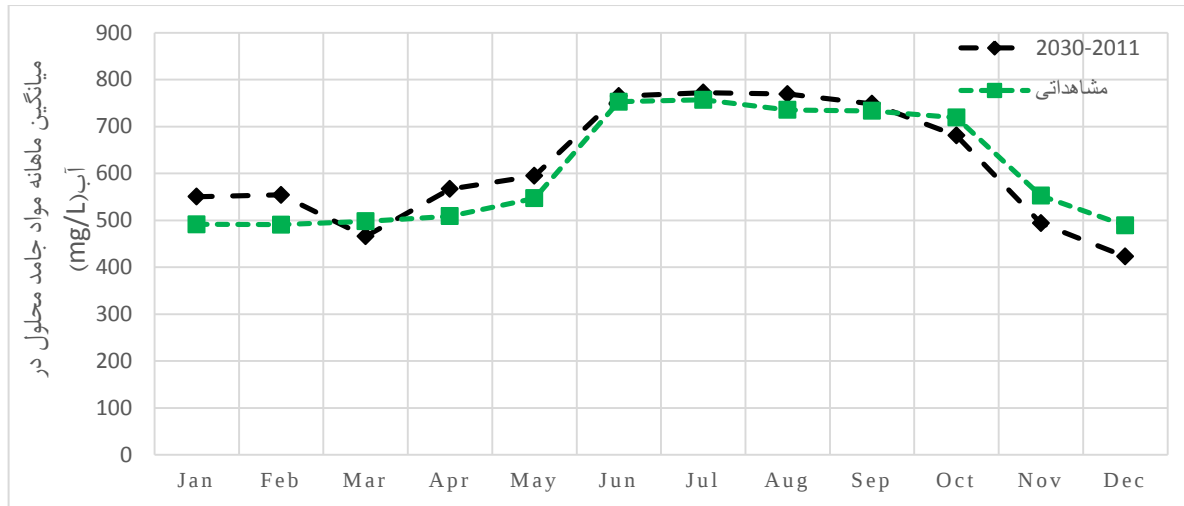
با توجه به ماتریس همبستگی و جدول ۴-۱۷، مدل (۱) به علت ضریب R^2 بیشتر به عنوان مدل مناسب انتخاب گردید. همچنین شکل ۴-۳۵ مقادیر میانگین مشاهداتی TDS را در مقایسه با مقادیر محاسباتی در مقیاس ماهانه نشان می دهد. با توجه به شکل ۴-۳۵ مدل توانایی مناسبی در شبیه سازی مقادیر TDS دارد.



شکل ۴-۳۵ مقایسه مقادیر TDS محاسباتی و مشاهداتی در سه بازه

۳-۱-۳-۴ برآورد پارامتر TDS تحت شرایط تغییر اقلیم طی دوره ی (۲۰۱۱-۲۰۳۰)

نتایج پیش بینی مقادیر TDS طی بازه زمانی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) در شکل ۳۶-۴ نشان داده شده است.



شکل ۳۶-۴ پیش بینی مقادیر TDS در آب طی دوره ۲۰۱۱-۳۰

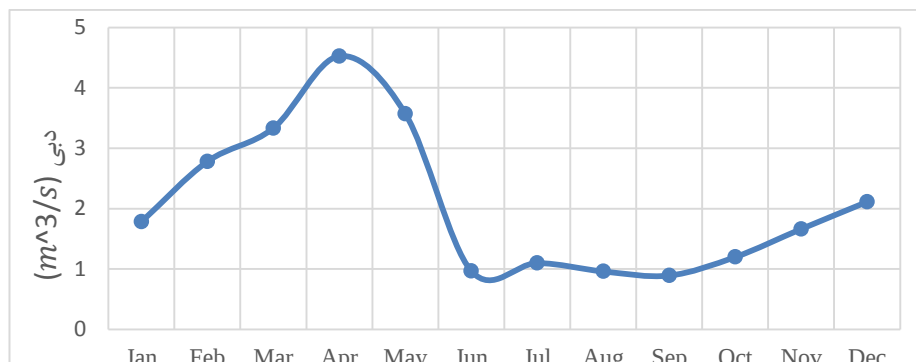
با مقایسه نتایج شکل های ۳۶-۴ و معیار کیفی شولر (جدول ۲۲-۴) مقدار TDS چه در دوره مشاهداتی و چه در دوره پیش بینی در تمام فصول سال قابل قبول می باشد. ولی غلظت مواد محلول در آب با توجه به گرم و خشک تر شدن فصل تابستان در سال های آتی اندکی افزایش یافته است.

۲-۳-۴ EC (هدایت الکتریکی آب)

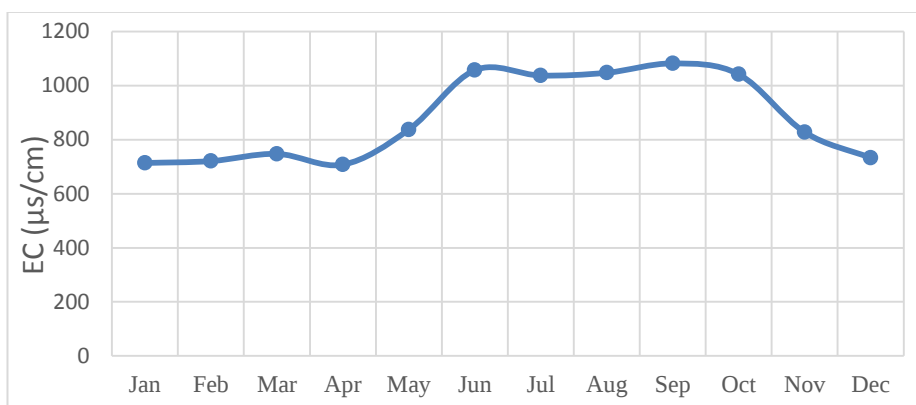
EC بیانگر میزان املاح هادی موجود در جریان آب می باشد. واحد ارزیابی EC زیمنس بر متر (S/m) است. با توجه به رابطه ی مستقیم بین EC با TDS و نمک های محلول در آب اندازه گیری این پارامتر در راستای کنترل کیفیت آب به ویژه در مصارف کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است.

۱-۲-۳-۴ بررسی روند تغییرات EC در بازه ی زمانی (۱۳۸۳-۸۷)

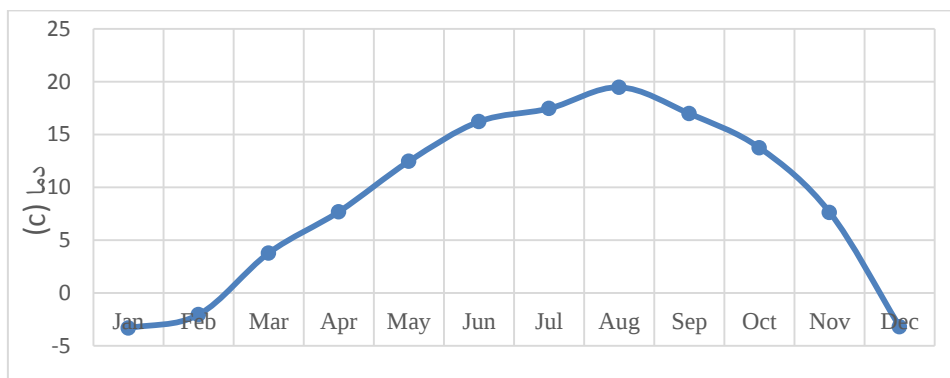
در شکل های ۳۷-۴ تا ۴۰-۴ روند تغییرات پارامتر های دما، بارش، دبی و EC به صورت میانگین ماهانه نشان داده شده است. مقدار پارامتر EC نیز همچون TDS روندی افزایشی در فصول گرم و خشک سال دارد.



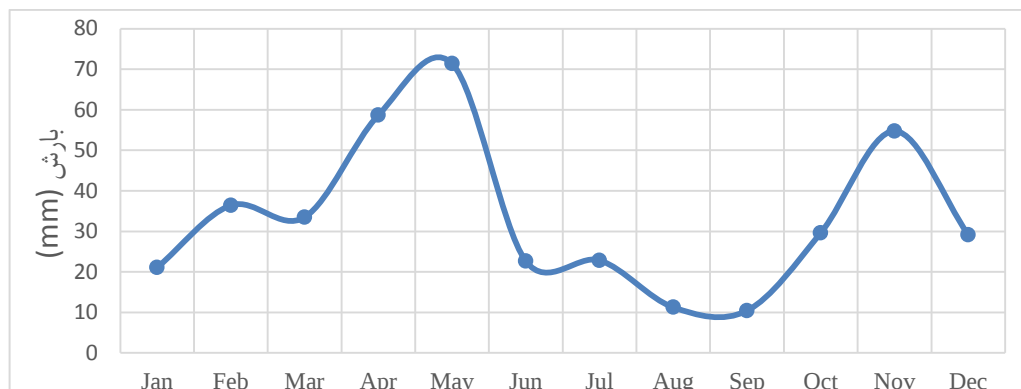
شکل ۴-۳۷ میانگین ماهانه دبی در ایستگاه یامچی علیا



شکل ۴-۳۸ میانگین ماهانه هدایت الکتریکی در ایستگاه یامچی علیا



شکل ۴-۳۹ میانگین ماهانه دما در ایستگاه یامچی علیا



شکل ۴-۴۰ میانگین ماهانه بارش در زیر حوضه یامچی علیا (تیسن)

۴-۳-۲ انتخاب مدل شبکه عصبی مناسب

اهمیت ارتباط موجود بین پارامترهای تغییر اقلیم و کیفیت منابع آب سطحی در بخش ۴-۳-۱-۲ نشان داده شد، با توجه به رابطه ی بین پارامترهای EC و TDS، در تدوین مدل های مورد استفاده برای پیش بینی EC از مقادیر TDS به عنوان ورودی استفاده شده است. مدل های تشکیل شده به صورت ذیل می باشند.

$$EC(t) = \{T(t), P(t), Q(t)\} \quad (۱) \text{ مدل ۸-۴}$$

$$EC(t) = \{T(t), T(t-1), P(t), P(t-1), Q(t), Q(t-1)\} \quad (۲) \text{ مدل ۹-۴}$$

با استفاده از آزمون رگرسیون خطی رابطه ی بین پارامترهای شبکه عصبی، تحت مدل های ۱ و ۲ مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج به شرح جداول ۴-۱۸ الی ۴-۱۹ می باشد.

جدول ۴-۱۸ ماتریس همبستگی مدل ۱

مدل (۱)	EC	P(t)	T(t)	Q(t)
EC	۱	-۰/۴۶۴	۰/۶۵۲	-۰/۶۱۲
P(t)	-۰/۴۶۴	۱	-۰/۱۸۱	۰/۵۸۳
T(t)	۰/۶۵۲	-۰/۱۸۱	۱	۰/۴۱۹
Q(t)	-۰/۶۱۲	۰/۵۸۳	-۰/۴۱۹	۱

جدول ۴-۱۹ ماتریس همبستگی مدل ۲

مدل (۲)	EC(t)	P(t)	P(t-1)	T(t)	T(t-1)	Q(t)	Q(t-1)
EC(t)	۱	-۰/۴۶۴	-۰/۲۲۶	۰/۶۵۲	۰/۶۴۹	-۰/۶۱۲	-۰/۲۵۲
P(t)	-۰/۴۶۴	۱	۰/۱۷۱	-۰/۱۸۱	-۰/۳۰۷	۰/۵۸۳	۰/۳۸۲
P(t-1)	-۰/۲۲۶	۰/۱۷۱	۱	-۰/۱۵۳	-۰/۲۰۲	۰/۳۲۴	۰/۵۹
T(t)	۰/۶۵۲	-۰/۱۸۱	-۰/۱۵۳	۱	۰/۶۹	-۰/۴۱۹	-۰/۱۰۳
T(t-1)	۰/۶۴۹	-۰/۳۰۷	-۰/۲۰۲	۰/۶۹	۱	-۰/۵۹۹	-۰/۴۲۷
Q(t)	-۰/۶۱۲	۰/۵۸۳	۰/۳۲۴	-۰/۴۱۹	-۰/۵۹۹	۱	۰/۵۸۶
Q(t-1)	-۰/۲۵۲	۰/۳۸۲	۰/۵۹	-۰/۱۰۳	-۰/۴۲۷	۰/۵۸۶	۱

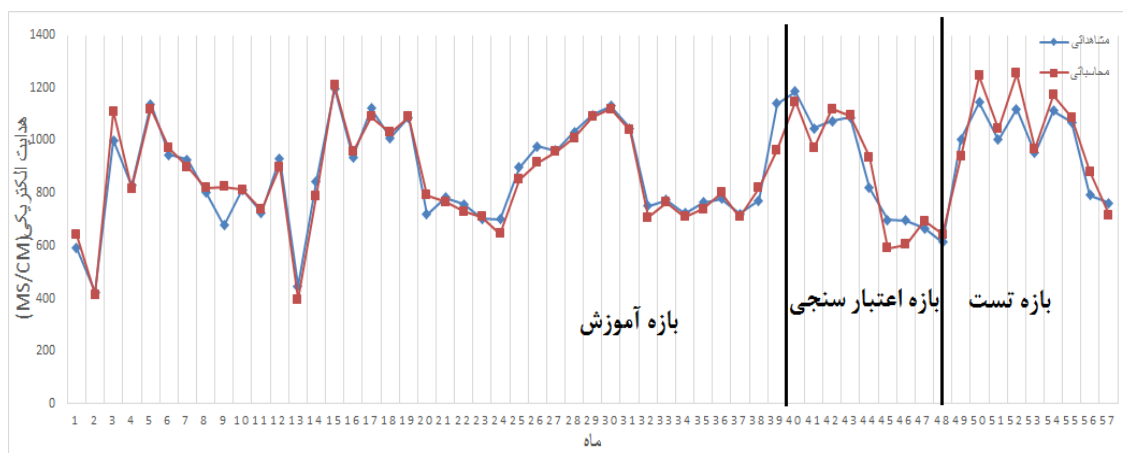
با توجه به ماتریس های همبستگی و ضرایب موجود در جدول ۴-۱۹ استفاده از پارامترهای دما، بارش و دبی با تاخیر ۱ واحد، علاوه بر پیچیده تر کردن شبکه عصبی موجب کاهش ضریب همبستگی نیز شده است.

شبکه عصبی انتخابی برای ارزیابی پارامتر EC، ساختاری مشابه ساختار شبکه مورد استفاده در بخش ۴-۳-۱-۲ دارد. تنها تفاوت میان این دو در تعداد نرون موجود در لایه های میانی هر یک می باشد. همان طور که پیش تر نیز اشاره شد انتخاب تعداد نرون و لایه های میانی از طریق سعی و خطا انجام می شود. استفاده از ماتریس همبستگی در راستای تشخیص روابط خطی بین پارامتر های ورودی ضروری می باشد، ولی برای ایجاد یک شبکه عصبی کافی نیست. لذا آزمون R^2 و نمودار مقایسه مقادیر مشاهداتی و پیش بینی شده به صورت میانگین ماهانه جهت انتخاب مناسب ترین شبکه عصبی انتخاب شد. نتایج آزمون نام برده در جدول ۴-۲۰ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۰ نتایج آزمون R^2 برای مدل های ۱، ۲

نام مدل	ساختار شبکه	آموزش	صحت سنجی	تست
***	سه لایه	R^2	R^2	R^2
مدل (۱)	۳-۶-۱	۰/۸۲۳	۰/۸۰۵	۰/۷۸۴
مدل (۲)	۶-۶-۱	۰/۸۰	۰/۷۸۸	۰/۷۵۱

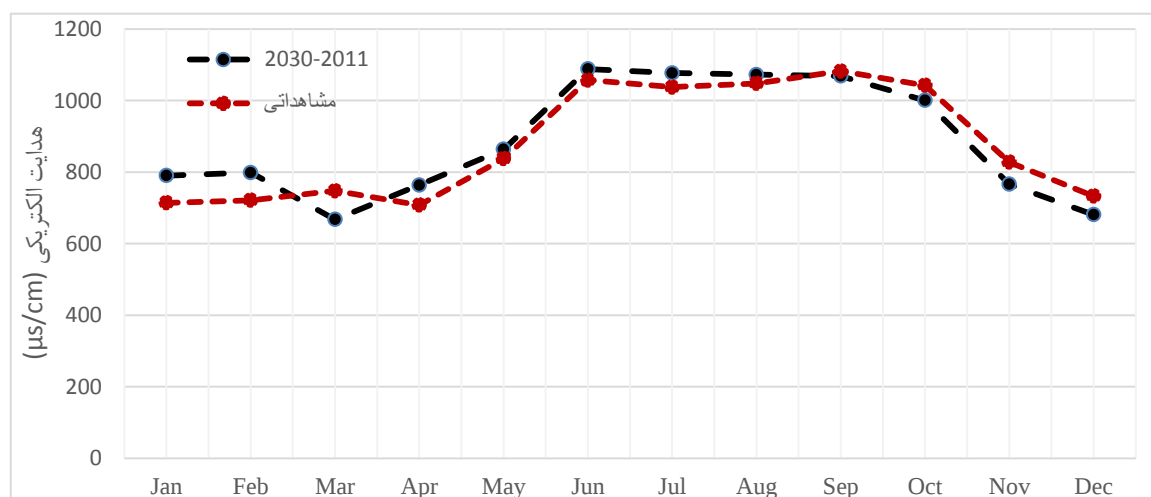
با توجه به مقادیر ماتریس های همبستگی و جدول ۴-۲۰، مدل (۱) به علت ضریب R^2 بیشتر به عنوان مدل مناسب انتخاب شد. همچنین شکل ۴-۴۱ مقادیر میانگین مشاهداتی EC را در مقایسه با مقادیر محاسباتی در مقیاس ماهانه نشان می دهد. با توجه به شکل مذکور توانایی مدل در شبیه سازی مقادیر EC مناسبی ارزیابی می شود.



شکل ۴-۴۱ مقایسه مقادیر ماهانه EC مشاهداتی و محاسباتی در سه بازه

۴-۳-۲-۳-۴ پیش بینی پارامتر EC تحت شرایط تغییر اقلیم طی دوره ی (۲۰۱۱-۳۰)

نسبت به مقادیر مشاهداتی در شکل ۴-۴۲ نشان داده شده است. نتایج برآورد پارامتر



شکل ۴-۴۲ مقادیر پیش بینی شده EC نسبت به مقادیر مشاهداتی

مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده هدایت الکتریکی در شکل ۴-۴۲ و معیار ویلکوکس (جدول ۴-۲۲) نشان می دهد مقدار هدایت الکتریکی آب، متوسط می باشد.

در این تحقق ماتریس همبستگی بین سایر پارامتر های کیفی و هیدرولوژی تشکیل شد ولی به علت عدم رابطه ی مناسب و ضریب همبستگی خوب از مدل سازی آن ها تحت شبکه عصبی صرف نظر گشت.

در راستای طبقه بندی کیفیت آب شرب و کشاورزی معیارهایی از قبیل طبقه بندی شولر (جدول ۴-۴۱) و ویلکوکس (جدول ۴-۲۲) مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۴-۲۱ مقادیر استاندارد پارامتر های کیفیت آب (Askari Marnani et al., 2001)

TH	(mg/l)TDS	Cl	Na	SO ₄	
۲۵۰>	۵۰۰>	۴/۹۲>	۵>	۳/۰۲>	خوب
۲۵۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۴/۹۲-۹/۸۵	۵-۱۰	۳/۰۲-۵/۸۳	قابل قبول
۵۰۰-۱۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۹/۸۵-۱۹/۷۱	۱۰-۲۰	۵/۸۳-۱۲/۰۲	نامناسب
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۱۹/۷۱-۳۹/۴۳	۲۰-۴۰	۱۲/۰۲-۲۳/۹۵	بد
۲۰۰۰-۴۰۰۰	۴۰۰۰-۸۰۰۰	۳۹/۴۳-۷۸/۸۷	۴۰-۸۰	۲۳/۹۵-۴۶/۶۶	تقریباً قابل شرب
۴۰۰۰<	۸۰۰۰<	۷۸/۸۷<	۸۰<	۴۶/۶۶<	غیر قابل شرب

جدول ۴-۲۲ مقدار استاندارد هدایت الکتریکی (Askari Marnani et al., 2001)

SAR	EC (دسی زیمنس بر متر)	
۱۰>	۲۵۰>	عالی
۱۰-۱۸	۲۵۰-۷۵۰	خوب
۱۸-۲۶	۷۵۰-۲۲۵۰	متوسط
۲۶<	۲۲۵۰<	نامناسب

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ مقدمه

بررسی و مطالعه تغییرات اقلیم از این نظر حائز اهمیت می باشد، که جنبه های عمده ای از این تغییرات بخصوص طی سده های اخیر به نقش و عملکرد انسانی، شهرسازی، جنگل زدایی، توسعه و رشد صنعتی و افزایش گاز های گلخانه ای و ... نسبت داده می شود. در تحقیق حاضر سعی شد تا با استفاده از مدل LARS-WG تاثیرات تغییر اقلیم در سطح حوضه بالیخلی چای در سال های آتی شبیه سازی شود. در گام بعدی تاثیر تغییرات نام برده بر روی رواناب قسمتی از حوضه با استفاده از شبکه های عصبی مدل سازی شد و در نهایت نیز با استفاده از نتایج مراحل قبلی پارامتر های کیفی آب شامل TDS و EC در زمینه های شرب و کشاورزی برای سال های آتی مورد ارزیابی قرار گرفت. لازم به ذکر است مدل انتخابی شبکه عصبی از نوع پشرو- انتشار برگشتی که توسط الگویتیم لونبرگ-مارکوارت

آموزش دیده، انتخاب شده است.

۵-۲ نتیجه گیری و جمع بندی

نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر به صورت زیر جمع بندی گردیده است:

- حوضه آبریز بالیخلی چای به علت تغییرات اقلیم شاهد تغییراتی در میزان بارش و دما سطح حوضه در سال های آتی خواهد بود. تحت سناریو A2 بارش حوضه طی دوره های ۳۰-۲۰۱۱، ۶۵-۲۰۴۶ و ۹۹-۲۰۸۰ به ترتیب ۴، ۷ و ۱۰/۴ میلی متر کاهش خواهد داشت. همچنین دمای حوضه طی دوره ی نام برده ۰/۷۷، ۲/۴۱ و ۴/۲۶ درجه سانتی گراد افزایش خواهد داشت.

- برآورد ها و نتایج ارائه شده در بخش مدل سازی بارش - رواناب، کاهش رواناب را تحت تاثیر تغییرات اقلیم در بازه های زمانی ۲۰۱۱-۳۰، ۶۵-۲۰۴۶ و ۹۹-۲۰۸۰ به ترتیب ۱۱، ۱۳ و ۱۷ درصد بیان می دارد. نتایج حاصله تابستان های خشکی را برای سال های آتی نشان می دهد.
 - بررسی نتایج و نمودار های بخش برآورد کیفیت نشان می دهد که طی دوره ی ۲۰۱۱-۳۰ تغییرات بسیار اندکی (افزایش ۳٪ در میانگین سالانه) در هر یک از پارامتر های EC و TDS رخ خواهد داد. همچنین مقادیر هر دو پارامتر بررسی شده، به علت گرم و خشک تر شدن تابستان در بازه ی زمانی ۲۰۱۱-۳۰، در این فصول افزایش می یابد. با توجه به تغییرات دبی، دما و بارش در تمامی ماه های فصل پاییز و ماه های ابتدایی زمستان، حوضه شاهد کاهش مقادیر EC و TDS در سال های آتی نسبت به مقادیر مشاهداتی خواهد بود.
- با توجه به نتایج فوق راهکار های ذیل برای حوضه بالیخلی چای جهت مقابله با پدیده تغییر اقلیم پیشنهاد می شود.
- با توجه به اینکه در سال های اخیر بخش اعظم آب تجدید پذیر و شیرین کشور به مصرف کشاورزی رسیده است. ایجاد سازگاری در این بخش، مهمترین راهکار در نظر گرفته می شود. مهمترین راهبرد در این زمینه بهبود و مدرن کردن سیستم های آبیاری است. این امر می تواند تلفات روی داده در زمینه استفاده از منابع آب در بخش کشاورزی را کاهش دهد.
 - می توان از آب تصفیه شده فاضلاب برای تامین بخشی از نیازهای کشاورزی استفاده کرد.
 - راهکار دیگر کنترل دقیق حقابه ها در سطح حوضه است تا نیاز های زیست محیطی رودخانه تامین شود. به عنوان مثال می توان به جلوگیری از پروانه دار نمودن چاه های غیر مجاز در سطح حوضه اشاره کرد.

۳-۵ پیشنهادات

- استفاده از مدل HADCM3 تحت سناریوهای دیگر انتشار و مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج تحقیق حاضر.
- استفاده از سایر مدل های ریز مقیاس مانند SDSM و مقایسه نتایج آن با مدل LARS-WG جهت درک بهتر تفاوت و محدودیت های هر یک توصیه می شود.
- استفاده از سایر مدل ها، نظیر مدل های پایه فیزیکی SWAT در برآورد و شبیه سازی بارش - رواناب.

مراجع

البرزی م، (۱۳۸۰)، "آشنایی با شبکه های عصبی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، ص ۱۳۸.

امیدوار ک و اژدرپور م، (۱۳۹۱)، "مقایسه شبکه عصبی مصنوعی و مدل HEC – HMS در برآورد بارش – رواناب در حوضه آبریز رودخانه اعظم هرات"، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۴، ص ۱۶۰-۱۳۹.

باجلان ا، محمودیان شوشتری م و اولی پور م، (۱۳۸۴)، "پیش بینی رواناب ماهانه با شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مقایسه آن با نتایج روش های تجربی در حوضه آبریز کسلیان"، پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ص ۹، کرمان، دانشگاه باهنر کرمان.

جدیری نقاش کار ل، (۱۳۹۱)، "مدلسازی تغییر اقلیم و اثر آن بر تولید برقابی سدها، مطالعه موردی سد سفید رود" پایان نامه کارشناسی ارشد، ص ۱۰۰.

حمیدیان پور م، سلطانی ج و قندهاری ق، (۱۳۹۲)، "ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه بار و طاغان نیشابور با استفاده از برونداد مدل گردش عمومی جو (HadCM3)"، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی، کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، ص ۱۱.

علیزاده ا، (۱۳۹۰)، "اصول هیدرولوژی کاربردی" چاپ سی سوم، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، مشهد، ص ۹۱۲.

رزم آرا پ، مطیعی ه، مساح بوانی ع و ترابی ص، (۱۳۹۲)، "تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب ورودی به دریاچه ارومیه در دوره آتی"، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی، صص ۱۰.

سلطانی س، سرداری س، شیخ پور م و موسوی ص، (۱۳۸۹)، "شبکه های عصبی مصنوعی"، چاپ اول، تهران، صص ۲۱۶.

شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۲.

شفائی ا، عراقی نژاد ش و مساح بوانی ر، (۱۳۹۲)، "بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر بهره‌برداری از مخازن سطحی حوضه گرگانرود"، مجله مدیریت آب و آبیاری، ۳، ۲، صص ۴۳-۵۸.

شهامتی نژاد م، مدنی ف، نورمند ب و دانشفراز ر، (۱۳۹۱)، "بررسی تغییر اقلیمی استان اردبیل شمال غرب ایران و اثرات آن بر خشکسالی و آلودگی زیست محیطی منطقه"، اولین همایش ملی حفاظت و برنامه ریزی محیط زیست، ص ۸، همدان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان.

صفاری م، (۱۳۷۹)، "آمار و کاربرد آن در مدیریت" چاپ سوم، نشر دانش، تهران، ص ۷۰۰.

ضرغامی م، حسن زاده ی، بابائیان ا و کنعانی ر، (۱۳۸۹)، "مطالعه تغییر اقلیم و اثرات آن بر خشکسالی استان آذربایجان شرقی" نخستین کنفرانس پژوهشهای کاربردی منابع آب ایران، ص ۱۰، کرمانشاه، دانشگاه صنعتی کرمانشاه.

گایتان آ، (۱۳۷۲)، "فیزیولوژی پزشکی" جلد دوم، مترجم فرخ شادان، چاپ سوم، انتشارات شرکت سهامی جهر، ص ۷۰۰.

مقدم ع، قلعه بان تکمه داش م و اسماعیلی ک، (۱۳۹۲)، "بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی"، مجله پژوهش های

حفاظت آب و خاک، دوره ۱۰، شماره ۲۰، صص ۲۱۱-۲۲۵.

منهاج م.ب، (۱۳۸۴)، "مبانی شبکه های عصبی (هوش محاسباتی)"، چاپ سوم، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر، جلد ۱، ص ۷۱۲.

یزدانی م.ر، خوشحال دستجردی ج، مهدوی م و سلطانی س، (۱۳۹۰)، "بررسی کارایی شبکه های عصبی پرسپترون چند لایه و زمان تاخیری دربرآورد جریانهای سطحی حوضه ی آبخیز زاینده رود"، نشریه آبخیزداری ایران، ۵، ۰، ص ۱-۷.

America's Climate Choices: Panel on Advancing the Science of Climate Change; National Research Council (2010). "**Advancing the Science of Climate Change**". Washington, D.C.: The National Academies Press. ISBN 0-309-14588-0, pp 508.

Askari Marnani S., Chitsazan M., and Mirzayi Y., (2001), " Investigation of Water Quality in Firoozabad Sub-Chachment in View of Domestic and Agricultural Usage using GIS", **the 8th International Congress on River Engineering**, Shahid Chamran University, Iran. pp. 1-8.

Chen S. M., Wang Y.M., Tsou I., (2013) , " Using artificial neural network approach for modelling rainfall-runoff due to typhoon", **Journal of Earth System Science**, 122, 2 , pp. 399-405.

Chen H., Guo J., Zhang Z., Yu Xu C., (2013)," Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in future", **Theoretical and Applied Climatology**, 113, 3-4 , pp. 363-375.

Chung S.O and Nkomozepi T., (2012),"Uncertainty of paddy irrigation requirement estimated from climate change projections in the Geumho river basin, Korea", **Paddy and Water Environment**, 10, 3, pp.175-185.

Crossman J., Futter M.N., Oni S.K., Whitehead P.G., Jin L., Butterfield D., Baulch H.M., Dillon P.J., (2013),"Impacts of climate change on hydrology and water quality: Future proofing management strategies in the Lake Simcoe watershed, Canada", **Journal of Great Lakes Research**, 39, 1, pp. 19-32.

Coulibaly P., Anctil F., and Bobee B., (2000). "Daily Reservoir Inflow Forecasting Using Artificial Neural Networks with Stopped Training Approach" **Journal of Hydrology**, 230, 3-4, pp 244-257.

Delpla I., Jung A.-V., Baures E., Clement M., Thomas O., (2009)," Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production", **Environment International**, 35, 8 , pp. 1225–1233.

Etheridge D.M., Steele L.P., Langenfelds R.L., Francey R.J., Bernola J.M, Morgan V.I., (1996) "Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO₂ over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firn", **Journal of Geophysical Research**, 101, pp. 4115-4128.

Habibi Nokhandan M., Haghtalab N., Malboosi S., Abasi F., Goodarzi M., (2011)," Quantitative Assessment of Climate Change by Weather Generation Models and Downscaling GCM Data in Tehran, Iran", **Global Food Insecurity**, pp. 233-244.

<http://www.metoffice.gov.uk/climate-change/resources/hadleycentre>.

Koutroulis A.G., Tsanis I.K, Daliakopoulos I.N, Jacob D., (2013),"Impact of climate change on water resources status: A case study for Crete Island, Greece', **Journal of Hydrology**, 479, pp. 146-158.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001), Summary for Policymakers, in: Climate Change 2001.

Li F., Xu Z., Liu W., Zhang Y., (2014)," The impact of climate change on runoff in the Yarlung Tsangpo River basin in the Tibetan Plateau", **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, 28, pp. 517-526.

Jackson C and Sen M .,(2009)" stochastic representation of parameter uncertainties in within model predictions of Future Climate, Institute of Geophysics, University of texas at Austin,<ig. U texas.edu>.

Kalteh A. M., (2007), " Rainfall-runoff modelling using artificial neural networks (ANNs): modelling and understanding", **Water Resources Engineering**, 6, 1, pp. 53-58.

Khan A., Yousafzai A.M., Latif M., Rehman A.U., Khan Q., Zaib A., Ullah A., Sthanadar A.A., Haq I.U., Aziz A., (2014), " Analysis of selected water quality parameters and heavy metals of Indus River at Beka Swabi, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan", **International Journal of Biosciences**, 4, 2, pp. 28-38.

Kisi O., Shiri J., Tombul M., (2013), "Modeling rainfall-runoff process using soft computing techniques, **Computers & Geosciences**, 51, pp. 108-117.

Hsu K.I., Gupta H.V., Sorooshian S., (1995), "Artificial Neural Network Modeling of the Rainfall-Runoff Process", **Water Resources Research**, 31, 10, pp. 2571-2530.

Lennartz B., and Louchart X, (2007), "Effect of drying on the desorption of diuron and terbuthylazine from natural soils", **Environ Pollut**, 146, pp. 180-187

Moniruzzaman M., Elahi S.F., and Jahangir A.A, (2009), "Study on Temporal Variation of Physico-chemical Parameters of Buriganga River Water through GIS (Geographical Information System) Technology. Bangladesh, J. Sci. Ind. Res. 44: 327-334.

Nancy, (2009), "Water Quality: Frequently Asked Questions." Florida Brooks National Marine Sanctuary, Key West, FL.

Pope V.D., Gallani M.L., Rowntree P.R., Stratton R.A., (2000), "The impact of new physical parametrizations in the Hadley Centre climate model -- HadAM3", **Climate Dynamics**, 16, 2-3, pp. 123-146.

Praveen K.G., Sushma P., Jai S.P., (2011), "Impact of Climate Change on Runoff of the Major River Basins of India Using Global Circulation Model (HadCM3) Projected Data", **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, 39, 3, pp. 337-344.

Semenov M.A., and Barrow E.M., (2002), LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies, Version 3.0, User Manual.

Silberstein R.P., Aryal S.K., Durrant J., Pearcey M., Braccia M., Charles S.P., Boniecka L., Hodgson G.A., Bari M.A., Viney N.R., McFarlane D.J., (2012), "Climate change and runoff in south-western Australia", **Journal of Hydrology**, 475, pp. 441-455.

Shrestha R. R., Theobald S., Nestmann F., (2005), "Simulation of flood flow in a river system using artificial neural networks", **Hydrology and Earth System Sciences**, 9, 4, pp. 313-321.

Tu J., (2009), "Combined impact of climate and land use changes on streamflow and water quality in eastern Massachusetts, USA", **Journal of Hydrology**, 379, 3-4, pp. 268-283.

Toews M.W., and Allen D.M., (2009), " Evaluating different GCMs for predicting spatial recharge in an irrigated arid region", **Journal of Hydrology**, 374, 3-4, pp.265-281.

Tombul M., and Oğul E., (2006)," Modeling of Rainfall-Runoff Relationship at the Semi-arid Small Catchments Using Artificial Neural Networks, **Intelligent Control and Automation**, pp. 309-318.

Wu C.L., and Chau K.w., (2011)," Rainfall-runoff modeling using artificial neural network coupled with singular spectrum analysis", **Journal of Hydrology**, 399, 3-4, pp. 349-409.

Whitehead P. G., Wilby R. L., Battarbee R. W., Kernan M., Wade A. J., (2014) ," A review of the potential impacts of climate change on surface water quality", **Hydrological Sciences Journal**, 54, 1, pp. 101-123.

Wilson C.O., and Weng Q., (2011), " Simulating the impacts of future land use and climate changes on surface water quality in the Des Plaines River watershed, Chicago Metropolitan Statistical Area, Illinois", **Science of The Total Environment**, 409, 20, pp 4387-4405.

Zulkarnain H., Supiah S., Sobri H., (2013)," Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature", **Theoretical and Applied Climatology**,116, 1-2, pp. 243-257.

Abstract

The current study was carried out to investigate the impacts of climate change on the hydrological parameters including precipitation, temperature, and runoff as well as the quality of surface water resources in the Balikhli-Chai basin in Ardabil province, Iran. In this study, by downscaling the model of LARS-WG, the outputs of HADCM3 model under the A2 scenario across Balikhli-Chai basin in the time intervals of 2011-2030, 2046-2065, and 2080-2099 were scaled down. The results indicate a temperature rise of about 5 °C and an annual precipitation reduction of 14 mm in the period of 2080 to 2099. Then, using the Artificial neural network approach, the input runoff of Yamchi dam in the three intervals of interest was assessed and its hydrograph was plotted. The obtained results suggest 11, 13, and 17% reduction in the dam input runoff for the three given intervals. In the final step, by employing the parameters of temperature, precipitation, and runoff and using the neural network model, the variations of TDS and EC values, which are considered as important parameters for the water quality in the drinking and agricultural water, respectively, were assessed under climate change conditions. The corresponding results showed an increase (3%) in all parameters. The increasing rate of TDS and EC in summer would be more severe as hotter and more arid summers is predicted for the years to come. Therefore, based on the results of this study, a more effective water resource management and application of suitable policies for the surface water is suggested for the future.

Keyword: Climate Change, Runoff, Quality, LARS-WG, Artificial Neural network



Shahrood University of Technology
Faculty of Civil Engineering

**Impact of climate change on the quantity and quality of surface water
resources (case study: Balikhli Chay River)**

Morteza Eghtetaf

Supervisor(s):

Dr. B. Dahrazma

Dr. M. Zarghami

Advisor:

Dr. S. F. Saghravani

December 2015