



سنجش از دور

و  
GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال چهارم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۱  
Vol.4, No.4, Winter 2013 Iranian Remote Sensing & GIS

۳۷-۵۴

## برآورد میزان تغییرات بارندگی با استفاده از تلفیق تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی و زمین‌آمار در شمال غرب ایران

علی‌اکبر متکان<sup>۱</sup>، بهناز عربی<sup>۲\*</sup>، حسن لشکری<sup>۳</sup>، بابک میرباقری<sup>۴</sup>

۱. دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
۳. دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
۴. مربی گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۹/۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۲/۱۰

### چکیده

ضرورت آگاهی از وضعیت منابع آب و نزولات جوی در مناطق مختلف برای اجرای طرح‌های آبی از یک‌سو، و فقدان شبکه‌های مطلوب از ایستگاه‌های اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی از سوی دیگر، اهمیت استفاده از روش‌های غیرمستقیم را برای تخمین پارامترهای اقلیمی در بسیاری از مناطق کشور آشکار می‌سازد. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی حاکم بر هر منطقه و مدل‌سازی‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی، مستلزم در دسترس بودن اطلاعات درازمدت و هم‌زمان بارش در قالب‌های مکانی و زمانی در ایستگاه‌های باران‌سنجی است. به دلیل عدم کفایت ایستگاه‌های ثبت بارندگی در گذشته، دسترسی به این اطلاعات در بسیاری از مناطق کشور با محدودیت‌هایی همراه است و پیاده‌سازی این مدل‌ها در مناطق مذکور عملاً ناممکن می‌نماید. استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) امکان برآورد این اطلاعات را در ایستگاه‌های پراکنده باران‌سنجی، و در درازمدت حتی در سال‌هایی که منطقه فاقد ایستگاه‌های ثبت بارش بوده است، فراهم می‌کند. در این تحقیق برای برآورد آمار میانگین بارندگی ماهانه و فصلی و سالانه در ۳۰۵ ایستگاه هواشناسی موجود در سه استان اردبیل و آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی در دو دهه پیش از تأسیس این ایستگاه‌ها، از ۳۶۶۰۰ داده ثبت‌شده آمار بارندگی ماهانه در دوره ۲۰۰۴-۱۹۹۵ استفاده شد. این داده‌ها به عنوان ورودی برای آموزش شبکه‌های عصبی با الگوریتم پس‌انتشار خطا به کار گرفته شدند. طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، شیب، عدد ماه و میانگین بارندگی ماهانه ۵ ایستگاه نزدیک‌تر به هر ایستگاه نیز به عنوان پارامترهای ورودی شبکه انتخاب شدند. ابتدا شبکه عصبی برای دوره ده‌ساله ۲۰۰۴-۱۹۹۵ آموزش داده شد و دقتی معادل  $(R=0/84)$  به دست آمد. پس از آموزش شبکه عصبی، اقدام به برآورد داده‌های میانگین بارندگی ماهانه و فصلی و سالانه در دوره زمانی ۱۹۹۴-۱۹۷۵ در ایستگاه‌های موجود در منطقه مطالعاتی گردید. دقت شبکه عصبی در این برآورد معادل  $0/78$ ،  $0/7$  و  $0/88$  به ترتیب برای تخمین مقادیر میانگین بارندگی ماهانه و فصلی و سالانه در سطح منطقه مورد مطالعه بود. میزان این دقت برای هر سه استان به صورت مجزا اعتبارسنجی شد و بیشترین دقت در استان آذربایجان غربی (معادل  $0/78$ ) به دست آمد. سپس اقدام به تولید نقشه‌های درون‌یابی شده میانگین بارندگی ماهانه و فصلی و سالانه در سطح منطقه مطالعاتی، با استفاده از تخمینگر زمین‌آمار کریجینگ براساس داده‌های برآوردشده با تکنیک شبکه‌های عصبی و داده‌های موجود ثبت‌شده در ایستگاه‌ها در دوره زمانی ۲۰۰۴-۱۹۷۵ گردید. نتایج این تحقیق امکان دسترسی به آمار پیوسته و درازمدت بارندگی و همچنین بررسی تغییرات توزیع مکانی بارندگی را در منطقه شمال غرب کشور از گذشته تا امروز میسر می‌سازد.

**کلیدواژه‌ها:** برآورد مکانی - زمانی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم پس‌انتشار خطا، کریجینگ، شمال غرب ایران.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، گروه سنجش از دور و GIS، تلفن: ۰۹۱۲۲۴۰۶۶۸۹

## ۱- مقدمه

بررسی شرایط اقلیمی و پیش‌بینی تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب هر منطقه به منظور برنامه‌ریزی و دستیابی به بهترین راهکارها برای مقابله با بحران‌های احتمالی در آینده، منوط به در دسترس بودن اطلاعات و آمار بارش در گذشته است (Marquínez et al., 2003). همچنین در بیشتر مسائل و موضوعات هیدرولوژیکی و مطالعات منابع آب، در دسترس بودن آمار و اطلاعات بارندگی و توزیع مکانی آن اهمیت ویژه‌ای دارد. هر نوع کاستی در انتخاب روش مناسب برآورد تغییرات مکانی بارندگی می‌تواند از عوامل مهم ایجاد خطا در به‌کارگیری مدل‌های بارش-رواناب در مراحل پیش‌بینی و طراحی آنها باشد (غیور و مسعودیان، ۱۳۷۵). به‌رغم افزایش ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی در سال‌های اخیر در سطح کشور، کمبود ایستگاه‌ها و ثبت نشدن داده‌های بارندگی در گذشته مانعی جدی در آنالیز داده‌ها و مدل‌سازی و نیز فرایند پیش‌بینی بارش بوده است. فقدان اطلاعات پوششی بارش در بسیاری از مناطق کشور می‌تواند ناشی از مشکلاتی باشد همچون از کارافتادگی دستگاه‌های ثبت بارش برای بازه‌های زمانی درازمدت، دشوارگذر بودن بسیاری از مناطق برای نصب و راه‌اندازی ایستگاه‌های باران‌سنجی و پرهزینه بودن تأسیس تعداد زیادی ایستگاه در شبکه‌های فشرده از نقاط در منطقه‌ای با تنوع زیاد آب و هوایی (طاووسی، ۱۳۹۰). اگر چه داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای و راداری تا حدود زیادی مشکل دسترسی به این دست اطلاعات را در نقاط مختلف کاهش داده‌اند اما استخراج مقادیر کمی پارامترهای اقلیمی از این داده‌ها همچنان در مرحله آزمون است؛ و به همین خاطر استفاده از مقادیر اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی هنوز با قابلیت اعتماد بالاتر و دقت بیشتری همراه است. با توجه به آنچه مطرح شد، اهمیت بهره‌مندی سری آماری کامل و بدون نقص داده‌های هیدرولوژیکی همچون میانگین بارندگی سالانه و فصلی و ماهانه در

مطالعات هیدرولوژی و نیز برطرف ساختن خلأهای آماری و لزوم برآورد اطلاعات بارندگی در بسیاری از ایستگاه‌های تازه‌تأسیس در زمان گذشته برای بررسی هر چه دقیق‌تر تغییرات بارندگی از گذشته تا به امروز بیش از پیش آشکار می‌شود. برای برآورد دقیق داده‌های بارندگی در نقاط مختلف جغرافیایی به‌منظور بهره‌گیری از آن در روش‌های درون‌یابی و دیگر مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی، ابداع روشی جدید ضروری است. برای بازسازی داده‌ها روش‌های متعددی وجود دارد. برای بازسازی داده‌ها در یک ایستگاه، معمولاً از ایستگاه‌های مجاور آن که ویژگی‌های هیدرولوژیکی و کلیماتولوژی و یا فیزیوگرافی مشابهی دارند استفاده می‌شود (Kim et al., 2010)، اما این روش تنها برای برطرف کردن کاستی‌های آماری به کار می‌رود و برای برآورد داده‌ها در گذشته و در سال‌هایی که منطقه فاقد ایستگاه باران‌سنجی بوده است و در نتیجه هیچ داده‌ای هم موجود نیست، کارآمد نمی‌نمایند. برخی از تحقیقات حاکی از نتایج مطلوب در دستیابی به این هدف با به‌کارگیری تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی‌اند. شبکه‌های عصبی مصنوعی در علوم مهندسی شناخته شده‌اند، و در ابتدا در سال ۱۹۶۲ به‌دست فرانک روزن بلات و به شکلی جدی و تأثیرگذار در سال ۱۹۸۶ به‌وسیله رومل هارت و مک‌کلند با ابداع ارائه مدل پرسپترون بهبود یافت و به جهان معرفی شد. ماهیت تجربی و انعطاف‌پذیر این روش باعث می‌شود که بتوان از آن در مقوله‌هایی چون پیش‌بینی پارامترهایی که رفتاری غیرخطی دارند، به خوبی بهره برد (منهاج، ۱۳۸۹) شبکه‌های عصبی، چه در بعد آنالیز و توسعه ساختاری و چه در بعد پیاده‌سازی سخت‌افزاری از نظر کمی و کیفی در حال رشد و پیشرفت‌اند و تکنیک‌های مختلف محاسبات عصبی از لحاظ کمی همچنان رو به افزایش‌اند. تحقیقات مختلفی در زمینه کاربرد شبکه‌های عصبی در منابع آب صورت گرفته است. به عنوان نمونه، هالف و همکاران در سال ۱۹۹۳ شبکه سه‌لایه پیش‌خوری را طراحی کردند که

ورودی آن بارندگی و خروجی آن مقادیر هیدروگراف خروجی از حوزه آبریز بلویو در ایالت واشینگتن بود. بودری و سرماک در سال ۲۰۰۰ به پیش‌بینی مقدار بیشینه بارندگی به منظور پیش‌بینی رخداد سیل و کمک به مدیریت این فاجعه طبیعی، با استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی در منطقه موراویا واقع در اروپای مرکزی پرداختند. شبکه به کاررفته در این تحقیق با استفاده از الگوریتم پس‌انتشار خطا و ورودی‌های مقادیر بارندگی ماهانه دو ایستگاه هواشناسی موجود در این منطقه در دوره‌ای ۳۸ ساله آموزش دید. داده‌های تولیدشده با این شبکه همبستگی بالایی با داده‌های بارندگی ماهانه واقعی نشان دادند.

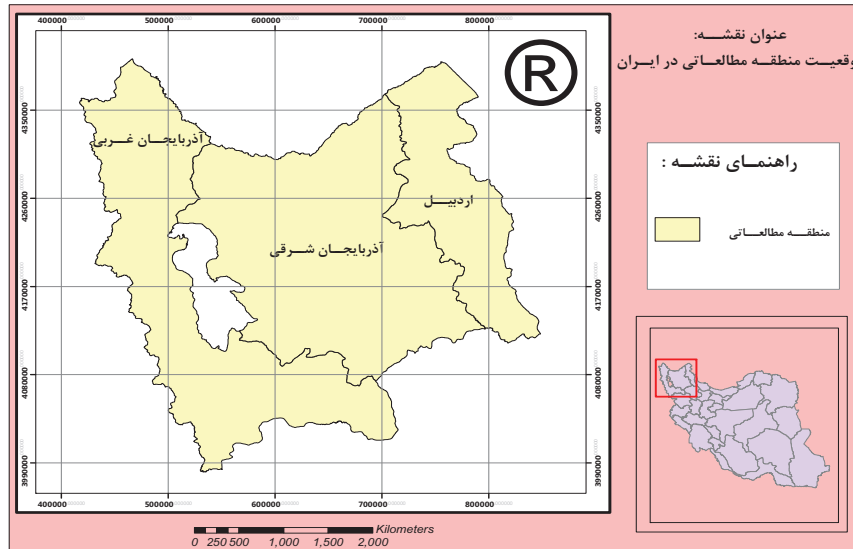
انتونیک و همکاران در سال ۲۰۰۱ به برآورد مکانی - زمانی میانگین بارندگی ماهانه، میانگین دما، میانگین ماهانه مقدار تابش سراسری و مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه در ۱۵۰ سال پیش از تأسیس ایستگاه‌های ثبت بارندگی در ۱۲۷ ایستگاه باران‌سنجی موجود در کشور کرواسی با استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداختند. دقت شبکه در برآورد داده‌ها برای کلیه پارامترها ضریب تعیینی معادل  $(R^2 > 0/88)$  حاصل کرد. این ضریب برای پارامتر میانگین بارندگی ماهانه به علت تغییرات زیاد بارندگی در سطح دقتی معادل  $R^2 = 0/64$  داشت و الئو در سال ۲۰۰۹ از تکنیک شبکه‌های عصبی برای برآورد کردن شدت بارندگی استفاده کردند. نتایج این تحقیق حاکی از برتری دقت تکنیک شبکه‌های عصبی در برآورد این پارامتر در قیاس با روش‌های پارامتریک در فرودگاه بین‌المللی کانادا، کالگاری بود. کیم و پاچسکای در سال ۲۰۱۰ به بازسازی مقادیر ثبت‌نشده بارندگی روزانه با استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی و روش‌های رگرسیونی به‌منظور به‌کارگیری در مدل SWAT در حوضه آبریز چسپیک بای آمریکا پرداختند. دقت بازسازی داده‌ها با استفاده از این روش ۰/۸۵ به دست آمد. میثاقی و محمدی (۱۳۸۲) در پژوهشی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار، شبکه‌های عصبی

مصنوعی و ترکیب تخمین‌گرهای زمین‌آمار، کریجینگ کو-کریجینگ با شبکه‌های عصبی مصنوعی، اطلاعات ماهانه بارندگی را در حوضه آبریز مارون درون‌یابی، و خطوط همباران را استخراج کردند. نتایج نشان‌دهنده برتری روش کوکریجینگ به روش ترکیب تخمین‌گرهای زمین‌آمار با شبکه‌های عصبی مصنوعی بود. این توانایی به دلیل استفاده از متغیر کمکی ارتفاع توجیه‌شدنی است. Hevesi و همکاران در سال ۱۹۹۲ به منظور برآورد بارندگی متوسط سالانه در منطقه‌ای کوهستانی واقع در جنوب نوادا و جنوب شرقی کالیفرنیا، از روش‌های عکس فاصله، کریجینگ، همبستگی خطی، همبستگی خطی لگاریتمی، متوسط همسایگی و کوکریجینگ استفاده کردند و به علت همبستگی بارندگی و ارتفاع در منطقه مورد مطالعه، روش کوکریجینگ را مناسب‌ترین روش تشخیص دادند. شمس و همکاران در سال ۱۹۸۸ روش تحلیل مکانی کریجینگ و تحلیل واریوگرام متغیرهای مکانی را به منظور برآورد مکانی بارندگی و دما به‌کار برده‌اند و نشان داده‌اند که این روش را می‌توان برای بهینه کردن شبکه ایستگاه‌های هواشناسی نیز به‌کار برد. Price و همکاران در سال ۲۰۰۰ از دو روش TPSS و عکس مجذور فاصله برای درون‌یابی مکانی دما و بارش ماهانه و سالانه در مناطقی از غرب و شرق کانادا استفاده کردند، که نتایج نشان از مناسب بودن روش TPSS داشت.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه (شامل مجموع سه استان اردبیل و آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی) به وسعت تقریباً ۱۰۱۳۹۸ کیلومتر مربع در شمال غرب ایران و بین ۱۹° ۴۷' تا ۵۵° ۴۸' طول شرقی و ۵۸° ۳۵' تا ۳۹° ۰' عرض شمالی واقع شده است. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی در ایران را نشان می‌دهد.



شکل ۱. سیمای منطقه مطالعاتی

## ۲-۲- داده‌ها

**الف) اطلاعات و آمار ایستگاه‌های هواشناسی:** مقادیر داده‌های میانگین بارندگی ماهانه موجود در تمامی ایستگاه‌های باران‌سنجی واقع در منطقه مطالعاتی که در مجموع ۳۰۵ ایستگاه ثبت بارش در استان‌های آذربایجان غربی و شرقی و اردبیل است، از دو نهاد شرکت مدیریت منابع آب ایران و سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری شدند. با توجه به تاریخ تأسیس ایستگاه‌های باران‌سنجی، برخی از این ایستگاه‌ها آمار درازمدت بارش را داشتند و برخی دیگر تنها دارای آمار ثبت بارندگی در سال‌های اخیر بودند عنایت به نیاز تحقیق، مجموع این ایستگاه‌ها به دو بخش تقسیم شده‌اند:

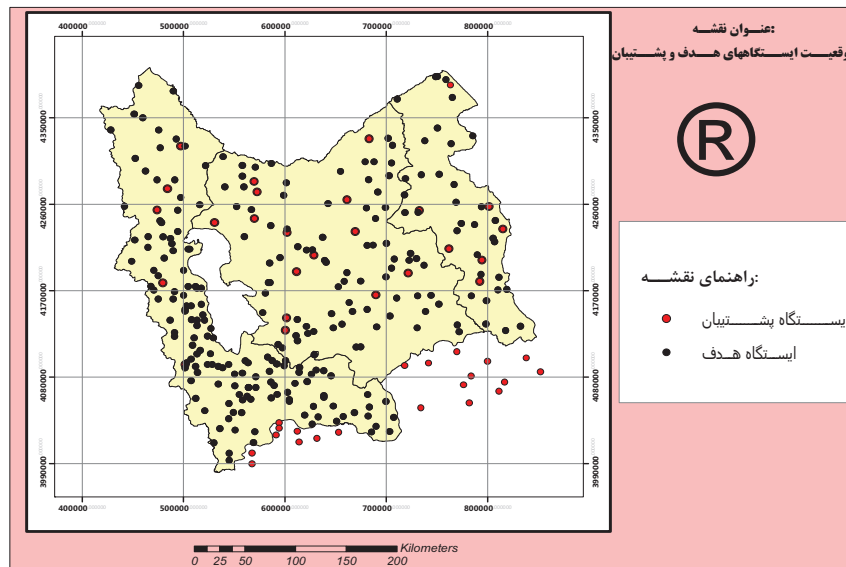
۱. **ایستگاه‌های پشتیبان:** ایستگاه‌هایی که آمار پیوسته و درازمدت بارش با کمترین نقصان آماری را در فاصله سال‌های ۱۹۷۵-۲۰۰۴ داشتند، از دیگر ایستگاه‌ها متمایز شدند و به صورت قراردادی در این تحقیق لقب پشتیبان گرفتند. علت این نام‌گذاری این بود که ایستگاه‌های مذکور (۲۶ ایستگاه) در بخش آموزش و برآورد داده‌ها به وسیله شبکه عصبی، نقش تعیین‌کننده‌ای داشتند.

## ۲. ایستگاه‌های هدف: از جمله اهداف این تحقیق،

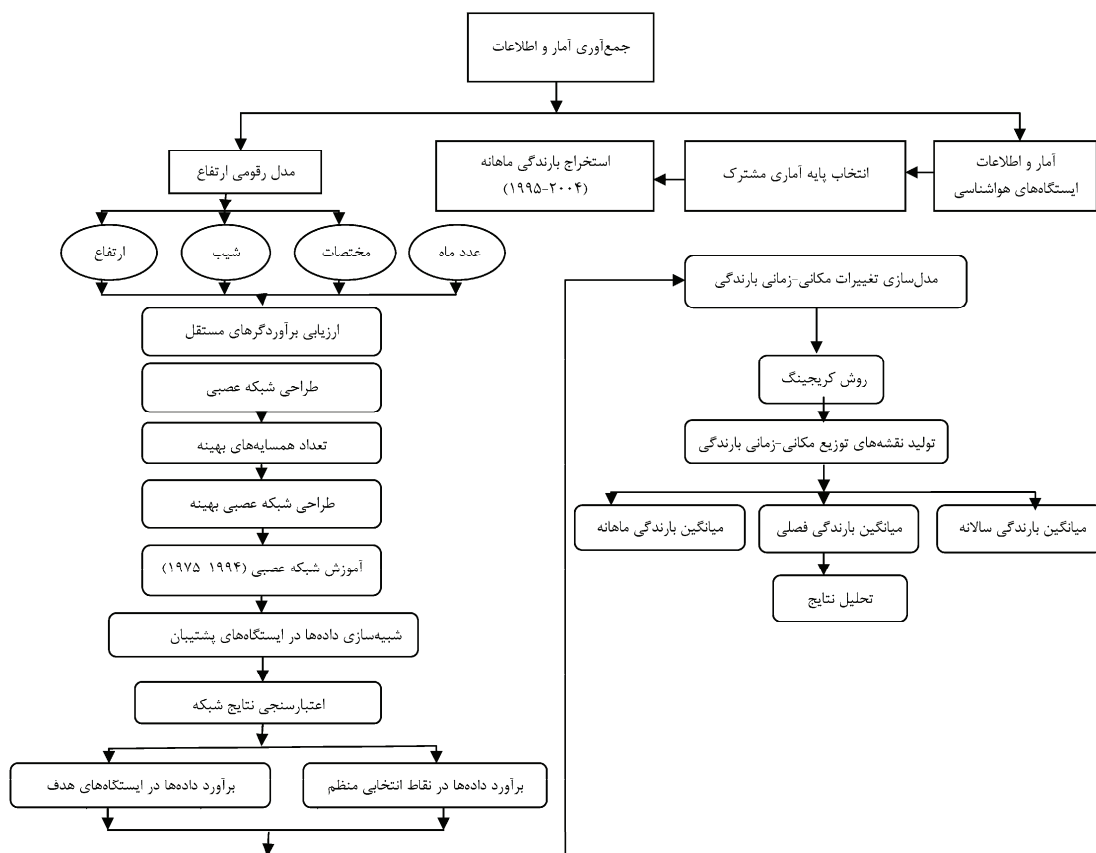
برآورد داده‌های بارندگی در گذشته (۱۹۹۴-۱۹۷۵) در ایستگاه‌هایی بود که به دلیل تازه‌تأسیس بودن‌شان آمار ثبت‌شده بارش را در کوتاه‌مدت داشتند و یا کاستی‌های بسیاری در ثبت آمار بارندگی‌های گذشته در آنها مشاهده می‌شد. آنها را ایستگاه‌های هدف نام‌گذاری کردند. از مجموع ۳۰۵ ایستگاه موجود در منطقه مطالعاتی، ۲۷۹ ایستگاه هدف مشاهده می‌شد. شکل ۲ موقعیت جغرافیایی و پراکنش ایستگاه‌های هدف و پشتیبان را نشان می‌دهد.

از آنجا که مطالعات هوا و اقلیم‌شناسی مستقل از مرزبندی‌های جغرافیایی‌اند و گاه نیز برخی از ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در همسایگی منطقه تأثیر مهمی در تولید نقشه‌های درون‌یابی و دستیابی به نتایج دقیق‌تر دارند، لذا در این تحقیق پس از مشخص کردن محدوده‌ای بزرگ‌تر از سه استان مورد مطالعه در شمال غرب کشور، ۹ ایستگاه باران‌سنجی در استان کردستان و ۱۲ ایستگاه باران‌سنجی در استان زنجان نیز مورد بررسی قرار گرفتند.

برآورد میزان تغییرات بارندگی با استفاده از تلفیق تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی و زمین‌آمار در شمال غرب ایران



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های پشتیبان و هدف



شکل ۳. نمودار جریان‌ی (روند نما) مراحل انجام تحقیق

### ب) مدل رقومی ارتفاع راداری شمال غرب ایران

#### ۳- روش تحقیق

روند نمای تحقیق حاضر در شکل ۳ نشان داده شده است.

#### ۴- شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی برای آموزش توابع با مقادیر حقیقی و گسسته و همچنین مقادیر برداری به کار برده می‌شوند.

شبکه عصبی در واقع نوعی مدل ریاضی غیرخطی برای پردازش اطلاعات است و روشی را تقلید می‌کند که سیستم عصبی انسان براساس آن اطلاعات گرافیکی را توصیف می‌کند.

#### ۵- مراحل انجام تحقیق

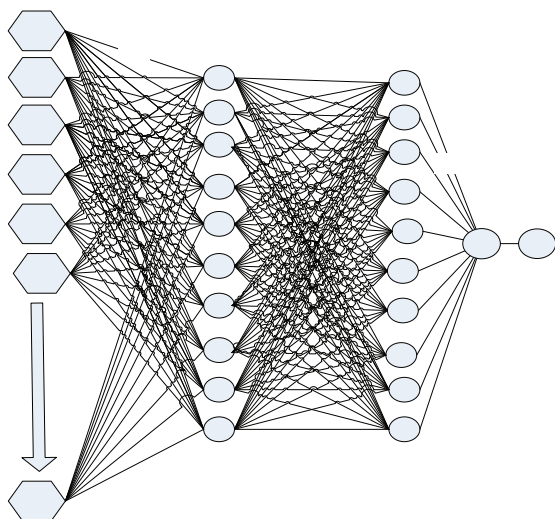
**الف) متغیرهای مستقل:** با توجه به خصوصیات طبیعی و عوامل تأثیرگذار بر بارندگی در منطقه مورد مطالعه، ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی ایستگاه مقدار شیب ایستگاه و همچنین عدد ماه که از فروردین تا اردیبهشت به ترتیب از ۱ تا ۱۲ رده‌بندی شد، به عنوان متغیرهای مستقل برای آموزش شبکه عصبی استفاده شدند.

**ب) متغیرهای وابسته:** مقادیر میانگین بارندگی ماهانه در ۱۹۹۵-۲۰۰۴ در هر ایستگاه به عنوان متغیرهای وابسته در آموزش شبکه عصبی وارد شدند. همین مقادیر نیز جداگانه در روش‌های درون‌یابی زمین‌آمار برای نقشه‌های بارندگی تولید شده بین سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۰۴ به کار رفتند.

#### ج) طراحی شبکه عصبی مصنوعی: پس از

آماده‌سازی داده‌های ورودی، شبکه عصبی مورد نظر طراحی شد. این مرحله مشتمل بوده است بر مشخص کردن تعداد لایه‌ها و نرون‌ها، روش آموزش شبکه و انتخاب الگوریتم مناسب برای آموزش شبکه عصبی. شبکه طراحی شده از روش آموزش با نظارت پیروی

می‌کند و قانون آموزشی در نظر گرفته شده برای آن پس از بررسی شرایط ورودی‌های شبکه و Trainlm در نظر گرفته شد. الگوریتم در نظر گرفته شده برای آموزش شبکه الگوریتم پس انتشار خطا بود. تعداد لایه‌های پنهان از طریق روش آزمون و خطا دو لایه در نظر گرفته شد و تعداد آنها از ۶ تا ۱۰۰ نرون در هر لایه پنهان از طریق روش آزمون و خطا امتحان شد و سرانجام بهترین خروجی ۱۰ نرون در هر لایه به دست آمد و تعیین گردید. تابع فعالیت با توجه به پیوسته و نامحدود بودن مقادیر میانگین بارندگی تابع Purelin در نظر گرفته شد. از مجموع ۳۶۶۰۰ نمونه آموزشی شبکه نیز ۷۳۲۰ نمونه برای جلوگیری از اختصاصی شدن شبکه (۲۰ درصد نمونه‌ها) و ۷۳۲۰ نمونه آزمایشی به منظور بررسی دقت شبکه در بخش آموزش به صورت تصادفی انتخاب شدند. ساختار اولیه شبکه طراحی شده در شکل ۴ به نمایش درآمده است. این شکل، نمایی است از ورودی‌های هر یک از ایستگاه‌ها در فرایند آموزش و شبیه‌سازی شبکه.



شکل ۴. ساختار اولیه شبکه عصبی طراحی شده

$X_i$ : میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه‌های همسایه  
(متغیر بر اساس تعداد همسایگی)  $k_{p1,j}$ ,  $(i=1:n)$ ;  
مقادیر نرون‌ها در نخستین لایه پنهان  $(j=1:10)$ ،  
 $k_{p2,z}$ : مقادیر نرون‌ها در دومین لایه پنهان  $(z=1:10)$ ،

مقدار میانگین بارندگی ماهانه - ایستگاه‌های همسایه اطراف. به منظور بسط ویژگی‌های مکانی هر ایستگاه در قسمت آموزش شبکه از آمار دیگر ایستگاه‌های همجوار که شرایط اقلیمی‌شان مشابه ایستگاه مورد نظر است و از لحاظ مقادیر پارامتر در نظر گرفته شده نیز به آن ایستگاه مشخص مشابهت بیشتری دارند، به عنوان متغیر مستقل در آموزش شبکه استفاده شد.

### ۵-۱-۱- آموزش شبکه براساس همسایه‌های

#### پشتیبان

در این بخش ۲۵ شبکه جداگانه به ازای تعداد پشتیبان‌های همسایه طراحی شد. ورودی‌های هر شبکه شامل ویژگی‌های مکانی نام‌برده شده برای هر ایستگاه، به انضمام مقادیر میانگین بارندگی ماهانه نزدیک‌ترین پشتیبان‌های همسایه به هر ایستگاه بود. در هر یک از ۲۵ شبکه طراحی شده یکی به تعداد پشتیبان‌های همسایه اضافه می‌شد. هر شبکه دارای دو لایه پنهان و در هر لایه ۱۰ نرون وجود داشت. برای پیدا کردن ۱ آمین تا  $n$  آمین همسایه پشتیبان به هر ایستگاه، دو لایه ورودی متشکل از مقادیر بارندگی ۳۰۵ ایستگاه موجود در منطقه مطالعاتی و لایه مقادیر بارندگی ۲۶ ایستگاه پشتیبان در نرم‌افزار ArcGIS وارد شدند و پس از مشخص شدن نزدیک‌ترین ایستگاه پشتیبان  $n$  ام تا  $n$  ام به هر ایستگاه، مقادیر این پشتیبان‌ها با توجه به نوع شبکه طراحی شده، برای آموزش شبکه آماده شدند.

### ۵-۲- بررسی میزان دقت داده‌های برآوردشده

#### به‌وسیله شبکه در نقاط ایستگاهی

به‌منظور محاسبه میزان دقت شبکه در برآورد داده‌ها از طریق ایجاد همبستگی بین مقادیر بارندگی ماهانه ثبت‌شده در ایستگاه‌های پشتیبان و مقادیر شبیه‌سازی شده به‌وسیله شبکه در این ایستگاه‌ها در سال‌های ۱۹۹۴-۱۹۷۵ استفاده شد.

$iw_{i,j}$ : مقادیر وزن ارتباطات بین نخستین لایه ورودی و نخستین لایه پنهان ( $j=1:10$  و  $i=1:n$ )،  
 $kw_{j,z}$ : وزن‌های ارتباطات بین نخستین و دومین لایه پنهان ( $j=1:10$  و  $z=1:n$ )،  
 $kw_z$ : وزن‌های ارتباطات بین دومین لایه پنهان و خروجی شبکه ( $z=1:10$ )،  
 $h$ : خروجی شبکه (مقدار برآوردشده میانگین بارندگی ماهانه برای ایستگاه هدف در سال و ماه مشخص)،  
 $Y$ : مقدار میانگین بارندگی ماهانه ثبت‌شده برای ایستگاه هدف در سال و ماه یکسان با  $h$ .

رابطه (۱)

$$b = act(a + \sum_{i=1}^n b_i \varepsilon_i)$$

$in_i$ : مقدار نرون لایه‌ی ورودی،  $b$ : مقدار خروجی نرون،  $n$ : تعداد ارتباطات ورودی،  $\varepsilon_i$ : مقدار  $i$ -امین نرون ورودی،  $a$  و  $b_i$ : پارامترهای تجربی‌اند ( $a$  آستانه و  $b_r$  مقدار وزن آمین ورودی را نشان می‌دهد)،  
 $act$ : تابع عملگر لجستیک است.

رابطه (۲)

$$act(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

رابطه (۳)

$$y = act(h_p + \sum_{z=1}^{10} kw_z act(kp_{2,z} + \sum_{j=1}^{10} w_{j,z} act(kp_{1,j} + \sum_{i=1}^{30} iw_{i,j} in_j)))$$

### ۵-۱- آموزش شبکه عصبی (۲۰۰۴-۱۹۹۵)

برای آموزش شبکه از آمار میانگین بارندگی ماهانه تمامی ۳۰۵ ایستگاه واقع در منطقه مطالعاتی بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ به همراه ویژگی‌های مکانی هر ایستگاه - به‌طور مجزا - استفاده شد. ویژگی‌های مکانی هر ایستگاه شامل اینهاست:  $x_1$  (عدد ماه،  $x_2$ ) طول جغرافیایی ایستگاه،  $x_3$  (عرض جغرافیایی ایستگاه،  $x_4$ ) ارتفاع ایستگاه،  $x_5$  (شیب ایستگاه،  $x_6$ )

### ۵-۳- برآورد داده‌ها در نقاط منظم انتخابی

به‌وسیله شبکه عصبی (۱۹۹۴-۱۹۷۵)

در این روش اقدام به برآورد داده‌ها در نقاط منظم انتخابی در منطقه مطالعاتی شد. تکنیک کار بدین شکل بود که ابتدا یک نقشه Resample شده به مقیاس مکانی ۱۰ کیلومتر از نقشه DEM منطقه استخراج گردید و از آن برای استخراج نقاط استفاده شد. مرکز هر پیکسل  $10 \times 10 \text{ km}$  به عنوان نقطه مورد نظر برای برآورد داده‌ها انتخاب شد. مرحله بعد استخراج متغیرهای مستقل برای تکمیل ماتریس ورودی به منظور شرکت در آموزش شبکه بود. برای این کار طول و عرض جغرافیایی تمامی نقاط به همراه مقادیر شیب و ارتفاع در نقاط مورد نظر از طریق نقشه DEM اصلی منطقه مطالعاتی استخراج شدند. سپس مقادیر میانگین بارندگی ماهانه ۵ همسایه پشتیبان به هر نقطه به تفکیک به عنوان متغیرهای مستقل، دقیقاً به سبک آموزش شبکه برای نقاط ایستگاهی، در شبکه وارد شدند. عدد ماه نیز به هر نقطه تخصیص داده شد. همانند بخش قبل شبکه در دوره ۱۹۷۵-۲۰۰۴ آموزش دید و سپس اقدام به برآورد مقادیر میانگین بارندگی ماهانه برای این ۱۰۰۰ نقطه با فواصل منظم و یکسان از یکدیگر در دوره ۱۹۹۴-۱۹۷۵ گردید.

### ۵-۴- مقایسه دقت درون‌یابی برای نقاط

ایستگاهی و نقاط منظم انتخابی

برآورد داده‌ها به‌وسیله شبکه برای دو سری نقاط ایستگاهی و نقاط منظم انتخابی امکان تولید نقشه‌های درون‌یابی شده بر مبنای هر دو گروه داده‌های برآوردی را فراهم کرد. بدین ترتیب، دقت روش کریجینگ برای تولید نقشه‌های درون‌یابی شده برای هر دو گروه محاسبه و با یکدیگر مقایسه شدند، و سپس اقدام به تولید نقشه‌های توزیع مکانی - زمانی بارندگی ماهانه و فصلی و سالانه در فاصله ۱۹۷۵-۲۰۰۴ بر اساس روش دقیق‌تر شد.

### ۵-۵- تولید نقشه‌های مکانی - زمانی توزیع

میانگین بارندگی ماهانه با استفاده از روش

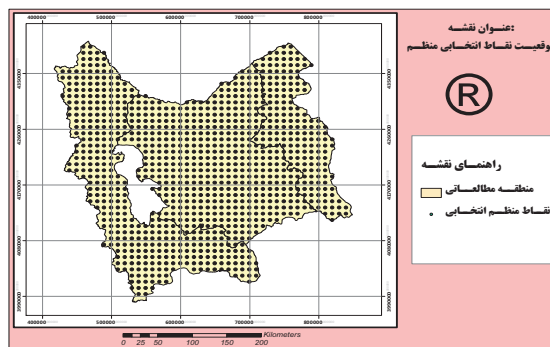
کریجینگ

اقدام بعدی تولید نقشه‌های درون‌یابی شده بارندگی با کمک نرم‌افزار GIS و براساس داده‌های برآورد شده بود. برای انجام این کار داده‌های برآورد شده پارامتر مورد نظر در هر ماه در سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۴ به صورت لایه‌های ورودی جداگانه به نرم‌افزار GIS داده شد و سپس نقشه‌های توزیعی مکانی - زمانی شده آنها با کمک روش کریجینگ تولید گردیدند.

### ۵-۶- نقشه‌های درون‌یابی شده میانگین بارندگی

سالانه

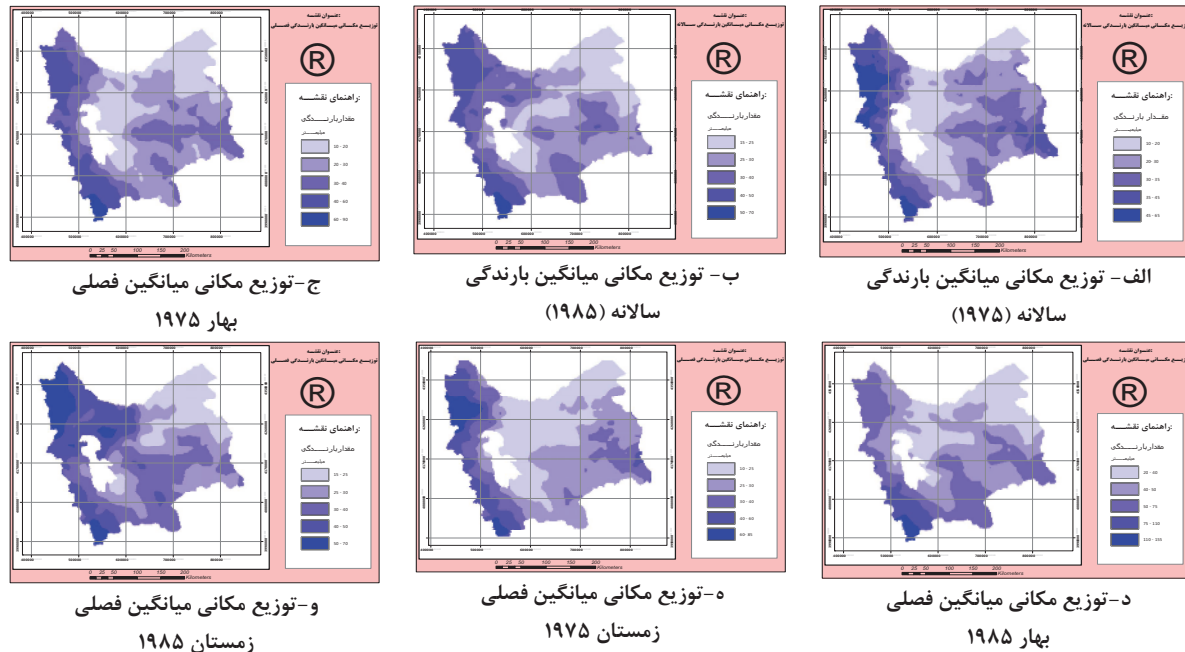
با توجه به آنچه توضیح داده شد، امکان تولید ۳۰ نقشه درون‌یابی شده میانگین بارندگی سالانه، ۱۲۰ نقشه درون‌یابی شده میانگین بارندگی فصلی و ۳۶۰ نقشه درون‌یابی شده، میانگین بارندگی ماهانه بین سال‌های ۱۹۷۵-۲۰۰۴ بر روی منطقه مطالعاتی براساس داده‌های برآورد شده از طریق تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی و داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های بارندگی در منطقه مطالعاتی امکان‌پذیر گردید. به علت حجم بالای نقشه‌ها، در اینجا به نمایش دو نمونه از هر مقیاس زمانی (شکل ۶) بسنده شده است.



شکل ۵. موقعیت نقاط انتخابی منظم



برآورد میزان تغییرات بارندگی با استفاده از تلفیق تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی و زمین‌آمار در شمال غرب ایران



شکل ۶. نمونه‌ای از نقشه‌های توزیع مکانی بارندگی سالانه و فصلی در منطقه مطالعاتی

جدول ۱. دقت شبکه در بخش آموزش براساس ساختار شبکه با ۵ همسایه و براساس ساختار شبکه با ۵ همسایه

دقت شبکه در بخش آموزش				ترکیب همسایگی
استان آذربایجان غربی	استان آذربایجان شرقی	استان اردبیل	کل منطقه مطالعاتی	پنج همسایه پشتیبان
۰/۸۹	۰/۸۱	۰/۷۱	۰/۸۲	

۶- نتیجه‌گیری

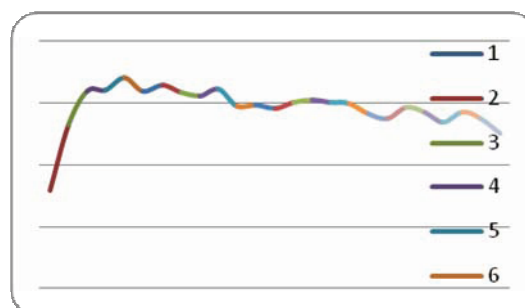
داده‌های بارندگی در ایستگاه‌های هدف در گذشته براساس شبکه بهینه پرداخته شد. این نتایج بر مبنای همبستگی ( $R_{Test}$ ) به دست آمده بین مقادیر موجود میانگین بارندگی ماهانه داده‌های Test و مقادیر برآورد شده برای این داده‌ها به وسیله شبکه عصبی در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ محاسبه شده است. جدول این نتایج به تفکیک مشتمل است بر چهار بخش دقت شبکه برای مجموع ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی و دقت شبکه در سه استان آذربایجان غربی و شرقی و نیز اردبیل. گفتنی است که هر یک از این مقادیر نماینده میانگین ضریب همبستگی به دست آمده در ۳۰ بار آموزش شبکه عصبی است.

در تحقیق حاضر هر شبکه با ساختار یکسان ۳۰ مرتبه آموزش دید و هر بار آموزش مقادیر میانگین این مقادیر برای این ۳۰ تکرار برای هر شبکه محاسبه شد. این کار برای پشتیبان نهایی که می‌توانست برای هر ایستگاه در آموزش شبکه دخیل شود (پشتیبان ۲۵) ادامه یافت. در پایان شبکه‌ای که بالاترین دقت را داشت شبکه بهینه نام‌گذاری شد و ساختار شبکه نهایی به منظور برآورد داده‌ها، ساختار شبکه بهینه در نظر گرفته شد. سپس به برآورد

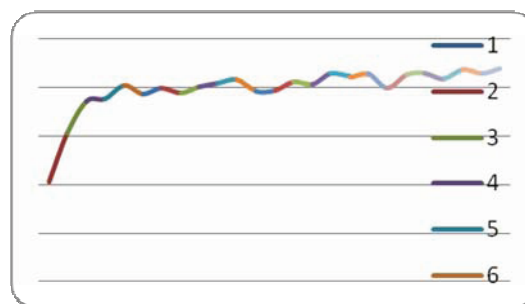
## ۶-۱- یافتن مناسب ترین تعداد همسایگی

### به منظور دستیابی به شبکه عصبی بهینه

محورهای عمودی در نمودارها (شکل های ۷ و ۸) به ترتیب نشان دهنده مقادیر  $R_{Train}$ ،  $R_{Test}$ ،  $MSE$  محاسبه شده به وسیله شبکه است، و هر نقطه میانگین پارامتر مورد نظر را در ۳۰ بار آموزش شبکه نشان می دهد. محور افقی در هر شکل نشان دهنده تعداد همسایه های پشتیبان شرکت کننده در آموزش شبکه است.



شکل ۷. میانگین  $R_{Train}$



شکل ۸. میانگین  $R_{Test}$

مکانی هر ایستگاه باعث افزایش توانایی شبکه در آموزش داده ها می شود. مقادیر  $R_{Test}$  مناسب ترین معیار برای تخمین میزان دقت شبکه در برآورد داده های است که شبکه پیش تر با آنها روبه رو نشده است. همان گونه که در شکل ۸ می توان دید، مقدار میانگین  $R_{Test}$  برای ۳۰ تکرار در ترکیبی از ویژگی های مکانی هر ایستگاه هدف به انضمام نخستین پشتیبان همسایه، فرایند صعودی دارد. این افزایش در دقت، با افزایش در پشتیبان های همسایه ادامه می یابد تا زمانی که برای شبکه با ساختار ۵ پشتیبان همسایه به بیشترین مقدار دقت آن یعنی  $R=0/۸۲۸$  می رسد. از این پس مقادیر  $R_{Test}$  با افزایش پشتیبان ها روندی نزولی طی می کند تا زمانی که در بیست و پنجمین پشتیبان به مقداری بس کمتر از ۵ پشتیبان همسایه می رسد. از دلایل این امر می توان به حساسیت شبکه در برابر ارتباط میان ماتریس بیان کننده ویژگی های هر داده آموزشی و مقادیر تابع هدف اشاره کرد. این بدان معناست که یقیناً هر چه پشتیبان های همسایه در فاصله کمتری از هر ایستگاه هدف قرار گرفته باشند مقادیر مشاهداتی آنها ارتباط قوی تری را با ماتریس هدف شبکه نشان می دهند و همین امر عامل کمکی در بالا رفتن مقدار  $R_{Test}$  است. اما از آنجا که پشتیبان های دورتر به دلیل تغییرات زیاد توپوگرافی و اقلیمی منطقه همبستگی خوبی با مقادیر مشاهداتی در هر ایستگاه ندارند عملاً به عنوان ورودی غیر کمکی در فرایند آموزش شرکت می کنند و سبب دور شدن مقادیر تابع هدف از مقادیر برآوردی به وسیله شبکه می شوند. بدین ترتیب، می توان به این نتیجه رسید که هر چند افزایش ویژگی های هر ایستگاه سبب بالا رفتن قدرت شبکه در فرایند آموزش می شود اما نکته مهم تر همانا انتخاب نوع این ویژگی هاست؛ بدین معنی که وارد کردن ویژگی هایی که ارتباط قوی با داده های آموزشی ندارند سبب احراز نتایج دور از انتظار در برآورد داده ها می شود. بدین ترتیب، گام نخست در انتخاب و افزایش پارامترهای مستقل، دقت در قوی بودن ارتباط آنها با ورودی های تعریف شده و بردار هدف شبکه است.

همان گونه که از شکل ۷ مشخص است، با افزایش همسایه های پشتیبان در هر ایستگاه، مقادیر  $R_{Train}$  هر شبکه روندی رو به رشد را از خود نشان می دهد. توجه به این نکته ضروری است که تمامی این شبکه ها دارای ساختار یکسان در تعداد لایه های پنهان و تعداد نرون های شرکت کننده در هر لایه پنهان است و تفاوت آنها تنها در اضافه شدن تعداد ویژگی در هر ایستگاه. بدین ترتیب در شرایط یکسان، افزایش ویژگی های

## ۶-۲- دقت برآورد شبکه عصبی (۱۹۹۴-۱۹۷۵)

جدول ۲ نشان‌دهنده دقت شبکه عصبی بهینه با ساختار ۵ همسایه در بخش برآورد داده‌های گذشته است. در جدول ۳ میزان دقت داده‌های برآورد شده به کمک تکنیک شبکه‌های عصبی در مقیاس‌های زمانی مختلف در سطح منطقه مطالعاتی ارائه شده است.

دقت در مقادیر ضریب تعیین میانگین بارندگی فصلی و سالانه نشان از توانایی شبکه در برآورد داده‌های بارندگی در این دو مقیاس زمانی دارد. همچنین مقادیر RMSE در برآورد میانگین بارندگی ماهانه ۹/۸ به دست آمد که این مقدار با توجه به دامنه ۴۰۰-۰ میلی‌متری میانگین بارندگی ماهانه در سطح منطقه مطالعاتی، مناسب ارزیابی شد. مقادیر RMSE برای میانگین بارندگی فصلی و سالانه نیز به ترتیب ۶/۲ و ۳/۱ بود و دامنه پراکندگی بارندگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در منطقه در این دو مقیاس به ترتیب برابر ۲۵۰-۰ و ۱۴۰-۰ بوده است. بنابراین، دقت برآورد شبکه در این دو مقیاس هم مناسب است.

## ۶-۲-۱- تحلیل نتایج دقت برآورد شبکه در دو

### دهه ۱۹۷۵ و ۱۹۸۵

نتایج به دست آمده حاکی از افزایش دقت شبکه در برآورد داده‌ها از سال ۱۹۷۵ به سمت سال ۱۹۸۵ بوده

است از دلایل این امر می‌توان به دو نکته اشاره کرد:  
 ۱. همبستگی زمانی داده‌های بارندگی: بدین معنا که مسلماً بر اثر تغییرات اقلیمی منطقه، داده‌های بارندگی ثبت شده در سال‌های اخیر (۲۰۰۴-۱۹۹۵) برآوردکننده‌های بهتری برای بارندگی یک دهه قبل از تأسیس ایستگاه‌ها (۱۹۹۴-۱۹۸۵) هستند و با حرکت به دو دهه قبل (۱۹۸۵-۱۹۷۵)، شرایط اقلیمی منطقه دستخوش تغییرات زیادی گشته و این خود سبب ایجاد تغییراتی در بارندگی‌ها شده است. پیشرفت فناوری تکنیک‌های اندازه‌گیری مقدار بارندگی از گذشته تا امروز و بهبود دقت این ابزار در ثبت داده‌های بارندگی نیز می‌تواند عامل دیگری در برآورد بهتر بارندگی باشد.  
 ۲. برتری تکنیک شبکه‌های عصبی در آموزشی با دوره ده‌ساله (۲۰۰۴-۱۹۹۵) و برآورد داده‌ها در دوره‌های بیست‌ساله در گذشته (۲۰۰۴-۱۹۸۵)، نسبت به آموزشی با دوره ده‌ساله (۲۰۰۴-۱۹۹۵) و برآورد داده برای یک دوره سی‌ساله (۲۰۰۴-۱۹۷۵) در گذشته. بدین معنی که هر چه طول دوره‌ای که برای برآورد داده‌ها انتخاب می‌شود کوتاه‌تر باشد و با طول دوره آموزشی تناسب بیشتری داشته باشد، دقت شبکه در برآورد داده‌ها بیشتر خواهد بود. به همین ترتیب انتظار می‌رود که دقت شبکه عصبی برای سال‌های اخیر و نقاط انتخابی دلخواه همچنان بهبود یابد.

جدول ۲. نتایج دقت شبکه ( $R^2$ ) در بخش برآورد داده‌ها (۱۹۹۴-۱۹۷۵)

استان	استان	استان	کل منطقه مطالعاتی	منطقه
اردبیل	آذربایجان شرقی	آذربایجان غربی		نوع همسایگی
۰/۶	۰/۷۳	۰/۷۸	۰/۷	۵ همسایه پشتیبان (۱۹۷۵-۱۹۸۵)
۰/۶۷	۰/۷۹	۰/۸۳	۰/۷۷	۵ همسایه پشتیبان (۱۹۸۵-۱۹۹۴)

جدول ۳. دقت داده‌های برآورد شده شبکه عصبی ( $R^2$ ) در مقیاس‌های زمانی متفاوت (۱۹۹۴-۱۹۷۵)

مقیاس زمانی	میانگین بارندگی فصلی	میانگین بارندگی سالانه
ضریب تعیین	۰/۸۱	۰/۸۸

### ۶-۳- مقایسه نتایج دقت برآورد شبکه در گذشته

#### در استان آذربایجان غربی و شرقی و اردبیل

جدول ۴ نشان دهنده دقت شبکه در بخش آموزش و تست و برآورد داده‌ها در نبود هر یک از پارامترهای مستقل است؛ و هر عدد میانگین ۳۰ تکرار شبکه با حذف یکی از برآوردگرهای مستقل است. نکته دیگری که از جدول‌ها می‌توان استنباط کرد، بالا بودن دقت بیشتر شبکه در برآورد داده‌ها در استان آذربایجان غربی در مقایسه با دو استان دیگر است. همین امر برای هر دو دهه ۱۹۷۵ و ۱۹۸۵ تکرار شده است و در تمامی شبکه‌ها - چه در بخش آموزش و چه در بخش برآورد داده‌ها - همواره دقت استان آذربایجان غربی بالاتر بوده است و پس از آن به ترتیب استان‌های آذربایجان شرقی و اردبیل. ریشه این تفاوت در دقت‌های استانی را می‌توان در دو عامل اصلی جست‌وجو کرد.

### ۶-۳-۱- تنوع اقلیمی منطقه

منطقه شمال غرب کشور (منطقه مطالعاتی) دارای تنوع خاص و ویژگی‌های بارز اقلیمی است. همین تنوع اقلیمی خاص مهم‌ترین علت ایجاد تفاوت در دقت برآورد داده‌های میانگین بارندگی ماهانه شبکه عصبی در گذشته در سه استان واقع در این منطقه بوده است. از مهم‌ترین عواملی که این تنوع اقلیمی را ایجاد کرده‌اند، می‌توان به اینها اشاره کرد:

### الف) عوامل رطوبت‌زای داخلی

وجود منابع رطوبتی داخلی - اعم از دریاچه ارومیه و رودخانه‌های داخلی - سبب شده است که این منطقه خود به مثابه عاملی رطوبت‌زا عمل کند. با توجه به وجود دریاچه ارومیه در استان آذربایجان غربی و تولید رطوبت کافی از این طریق از یک سو، و ارتفاعات شمال - جنوبی استان آذربایجان غربی برای ایجاد سازوکار بارش، این استان بارندگی‌های همگنی دارد و به همین خاطر شبکه دارای توانایی بیشتری در برآورد میانگین بارندگی ماهانه در این استان (آذربایجان غربی) در قیاس با دو استان دیگر است.

### ب) تنوع توپوگرافی منطقه

ب-۱) آذربایجان غربی: منطقه شمال غرب کشور محل ورود دو سیستم محلی و فرامنطقه‌ای است. سیستم‌هایی که بر استان آذربایجان غربی تأثیر می‌نهند، عمدتاً سیستم‌های فرامنطقه‌ای اند و به همین خاطر این استان از عوامل محلی کمتر تأثیر می‌پذیرد. این سیستم‌ها از قسمت‌های شمال غربی و غرب این استان وارد می‌شوند و به علت وجود ارتفاعات همگن شمالی - جنوبی آذربایجان غربی، سبب ریزش و تخلیه رطوبت موجود در ابرهای باران‌زا در این ناحیه می‌گردند.

جدول ۴. آنالیز واریانس دقت آموزشی شبکه با اعمال و حذف برآوردگرهای مستقل

شبکه عصبی			برآوردگر حذف شده در بخش آموزش شبکه
برآورد	تست	آموزش	
۰/۴۰	۰/۷	۰/۷۵	ارتفاع ایستگاه
۰/۵۵	۰/۷۵	۰/۷۸	عرض جغرافیایی ایستگاه
۰/۶	۰/۷۷	۰/۷۹	طول جغرافیایی ایستگاه
۰/۶۹	۰/۷۹	۰/۸	شیب ایستگاه

پایین آمدن دقت شبکه در برآورد داده‌های بارندگی این استان - در مقایسه با آذربایجان غربی - شده است. ایستگاه‌های باران‌سنجی در فواصل نسبتاً کوتاه از یکدیگر و عرض‌های جغرافیایی یکسان، تنوع ارتفاعی زیادی دارند و از دلایل اصلی این امر آن است که در این منطقه مذکور عواملی محلی تأثیری بیش از عوامل فرامنطقه‌ای دارند و در عرض‌های جغرافیایی مشابه مقادیر متغیر و ناهمگون بارندگی ثبت شده است.

**ب-۳) اردبیل:** مساحت زیادی از قسمت‌های شمالی این استان به علت وجود دشت مغان مسطح است، و با حرکت به سمت بخش‌های جنوبی استان اردبیل نواحی مرتفع آن نمایان می‌شوند. متنوع‌تر بودن توپوگرافی استان اردبیل از دو استان دیگر به همین دلیل است و در عین حال جهت دامنه‌ها نیز بسیار متفاوت‌اند. این استان به دلیل همجواری با دریای خزر رطوبت زیادی دریافت می‌کند و در ارتفاعات آن بارش زیاد است؛ ولی در نواحی پست دشت مغان بارندگی به مراتب کمتر از ارتفاعات اردبیل است. از این رو تأثیر عوامل محلی در استان اردبیل بسیار بیشتر از عوامل فرامنطقه‌ای است و این تأثیر عمدتاً در فصل بهار است (دیدهور، ۱۳۸۵). همین تأثیر زیاد عوامل محلی سبب شده است که ایستگاه‌های باران‌سنجی همجوار چندان تشابهی با هم از لحاظ بارندگی ثبت شده نداشته باشند و گاه حتی هیچ همبستگی بین آنها مشاهده نمی‌شود.

### ج) سیستم‌های سینوپتیک

منطقه شمال غرب کشور به دلیل موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافیک منحصر به فرد آن از سیستم‌های مختلف جوّی تأثیر می‌پذیرد و همین امر تنوع اقلیمی ویژه‌ای به آن بخشیده است (امینی‌نیا، ۱۳۸۹). ناحیه شمال غرب کشور از معدود مناطقی است که بادهای غربی در تمام طول سال می‌توانند بر منطقه تأثیر بگذارند. گاه نیز از قسمت‌های شمالی این ناحیه رطوبت وارد کشور می‌شود؛ و این در دیگر نقاط کشور چندان رخ نمی‌نماید. تمامی این عوامل سبب

مسیر یا سمت و سوی حرکت سیستم‌های فرامنطقه‌ای از غرب به شرق است و این سیستم‌ها پس از عبور از عراق و ترکیه به علت حضور عمده ارتفاعات در کشور سبب بارندگی در استان آذربایجان غربی می‌گردند و سپس وارد توپوگرافی ناهمگن در استان‌های آذربایجان شرقی و اردبیل می‌شوند. نکته درخور تأمل در این میان، یکنواختی ارتفاعات این استان در قیاس با دو استان دیگر است. نوعی نوار همگن ارتفاعی از قسمت‌های شمالی تا جنوب غربی این استان را پوشانده است و سامانه‌های فرامحلی با برخورد به این ارتفاعات صعود می‌کنند و بدین ترتیب بر شدت بارش بر روی این ارتفاعات افزوده می‌شود؛ در حالی که در دو استان آذربایجان شرقی و اردبیل این یکنواختی و همگنی ارتفاعی وجود ندارد (داوری، ۱۳۸۱). با این همه، عامل ارتفاع به دلیل تأثیر در تشدید بارش همبستگی بیشتری را از عوامل دیگر نشان می‌دهد و همین امر سبب بالا رفتن دقت شبکه در برآورد داده‌های بارندگی به خصوص با در نظر گرفتن عامل ارتفاع در این استان شده است. البته ناگفته نماند که وجود نواحی پست دریاچه ارومیه تا حدود زیادی همگنی ارتفاعی این استان را به هم زده است اما از آنجا که این دریاچه فاقد ایستگاه‌های باران‌سنجی است، آماری هم از این منطقه ثبت نشده و این عدم تنوع عملاً در آموزش شبکه شرکت نداشته و بدین دلیل در دقت برآورد داده‌ها چندان تأثیرگذار نبوده است.

**ب-۲) آذربایجان شرقی:** این استان محل برخورد دو چین خوردگی بزرگ البرز و زاگرس است. حضور قله‌های آتش‌فشانی در این استان موجب ایجاد ناهمگنی توپوگرافی شده است؛ وجود دره‌های شمالی - جنوبی و ناهمواری‌های غربی - شرقی نیز بر عدم یکنواختی ارتفاعی آذربایجان شرقی افزوده است (ابدالی، ۱۳۸۷). تمامی این عوامل سبب شده‌اند که استان آذربایجان شرقی به منطقه‌ای ناهمگن از لحاظ پراکندگی ارتفاعی تبدیل شود، که این خود موجب

شده‌اند که شمال غرب کشور دارای تنوع گسترده اقلیمی باشد.

#### د) عرض جغرافیایی

از مهم‌ترین سیستم‌های فرامنطقه‌ای که بر این استان تأثیر می‌گذارند، سیستم‌های سودانی و مدیترانه‌ای‌اند. این دو سیستم وقتی با هم ادغام می‌شوند، در سطح منطقه از سیستم مدیترانه‌ای اثربخش‌تر عمل می‌کنند. سمت و سوی حرکت این سیستم از جنوب به شمال منطقه و به صورت عرضی است. دو ویژگی اصلی این سیستم دمای بالا (پتانسیل رطوبت‌پذیری بیشتر) و دسترسی به آب‌های گرم‌تر است و به همین خاطر سیستم مذکور دارای مقادیر ظرفیت رطوبتی بالایی است و موجب بارش‌های همگن‌تر و فراگیرتر به‌خصوص در استان آذربایجان غربی می‌شود. با حرکت به سمت عرض‌های بالاتر، به تدریج از میزان تأثیر این سیستم کاسته می‌گردد و به تبع آن میزان شدت بارندگی‌ها نیز در عرض‌های بالاتر منطقه کاهش می‌یابد (داوری، ۱۳۸۱). آذربایجان غربی، عامل عرض پس از عامل ارتفاع تأثیرگذارترین متغیر مستقل در برآورد داده‌های بارندگی استان‌ها بوده است و با توجه به دامنه حرکت این سیستم که بیشترین تأثیر را از طریق ایجاد بارندگی‌های همگن در استان آذربایجان غربی داشته، دقت برآورد داده‌ها به‌خصوص در استان آذربایجان غربی بس بیشتر از دو استان دیگر بوده است. افزون بر اینها، استان اردبیل از سیستم پرفشار سیبری تأثیر می‌پذیرد. این سیستم پس از وارد شدن به استان اردبیل سرمای شدیدی را در آن ایجاد می‌کند. با توجه به اینکه سیستم پرفشار سیبری سامانه‌ای حرارتی و سرد است، عموماً از بریدگی‌ها و نقاط پست وارد منطقه می‌شود. بنابراین چون اردبیل در مسیر ورود سامانه سیبری قرار دارد، در بیشتر مواقع دمای آن پایین‌تر از نقاط مرتفع است. بدین ترتیب با وجود کم‌ارتفاع بودن این استان از دو استان دیگر، از آنها سردتر است و

اختلاف دمای آن در شمال و جنوب استان نیز بسیار متغیر است. همین امر سبب ایجاد نوسان‌های اقلیمی شدید در استان اردبیل شده است و این استان در قیاس با دو استان دیگر سیستم‌های متنوع‌تری دارد و به دلیل نفوذ سامانه سیبری در امتداد عرض جغرافیایی و همچنین امکان وجود رطوبت دریای خزر، تنوع اقلیمی اردبیل بیشتر از دو استان دیگر است. همین حرکت عرضی سیستم وارد شده به استان مذکور سبب شده است که عامل عرض جغرافیایی پس از عامل ارتفاع، تأثیرگذارترین متغیر مستقل در برآورد داده‌های ایستگاه‌های موجود در این استان باشد. به علاوه، تنوع اقلیمی بالای منطقه سبب شده است تا داده‌های برآورد شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در استان اردبیل همواره دقت کمتری از دو استان دیگر داشته باشند.

#### ه) طول جغرافیایی

دیگر سیستم تأثیرگذار در منطقه، سیستم مدیترانه‌ای است. جهت یا مسیر حرکت این سیستم، غربی - شرقی و در امتداد طول جغرافیایی است. سیستم مذکور پس از تخلیه رطوبت در استان آذربایجان غربی، به سوی استان آذربایجان شرقی و اردبیل حرکت می‌کند و به تدریج از بارش این سیستم در دو استان یادشده کاسته می‌شود. میزان تأثیرپذیری شمال غرب کشور از سیستم مدیترانه‌ای کمتر از سیستم سودانی است و از آنجا که مسیر و سمت و سوی حرکت این سیستم طولی است، لذا طول جغرافیایی پس از عرض جغرافیایی بیشترین تأثیر را در برآورد داده‌ها به‌وسیله شبکه عصبی دارد. حرکت این سیستم از آذربایجان غربی به سمت اردبیل است، که بارندگی‌های همگونی را در ارتفاعات آذربایجان غربی موجب می‌گردد و با حرکت به سمت اردبیل از شدت آن کاسته می‌شود (دیده‌ور، ۱۳۸۵). همین همگونی بارندگی‌ها عامل کمکی در بالاتر بودن شبکه در برآورد داده‌های آذربایجان غربی شده است. بنابراین، همان‌طور که از تفاوت دقت شبکه در برآورد

رشته کوه البرز و زاگرس در این منطقه اشاره کرد. شیب در این دو استان به صورت مخروطی مانند و چندجهتی است اما پراکنندگی این عامل در استان آذربایجان غربی به صورت یکنواخت است (طلاووسی، ۱۳۹۰). مجموع عوامل مذکور سبب شده‌اند که حضور متغیر مستقل شیب، موجب افزایش دقت برآورد شبکه در استان آذربایجان غربی شود و تأثیر کمتری در دو استان آذربایجان شرقی و اردبیل داشته باشد. از طرف دیگر به هم ریختگی عمومی شیب منطقه باعث شده است که این برآوردگر تأثیر کمتری در قیاس با متغیرهای مستقل ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی در میزان دقت برآورد داده‌های بارندگی به‌وسیله شبکه عصبی در گذشته داشته باشد. با توجه به مطالب مطرح شده می‌توان نتیجه گرفت که تأثیرگذارترین عامل در دقت برآورد شبکه همانا نوع اقلیمی است. از آنجا که استان اردبیل بیشترین نوسان‌های اقلیمی را دارد و از بارندگی‌های محلی نیز بیشتر تأثیر می‌پذیرد، دقت برآورد شبکه در آن در تمامی دوره‌ها و ترکیب‌های همسایگی کمتر از دو استان دیگر است. استان آذربایجان غربی یکنواختی اقلیمی بیشتری دارد و از عوامل منطقه‌ای تأثیر بیشتری می‌پذیرد و بدین خاطر بارندگی‌های این منطقه یکنواخت‌ترند و دقت برآورد شبکه در این استان نیز بیشتر از دو استان دیگر است.

داده‌ها در این سه استان مشخص است، ارتفاع مهم‌ترین عامل در تخمین میزان دقت شبکه به شمار می‌آید و متغیر مستقل ارتفاع بیشترین همبستگی را با بارش پیش‌بینی شده نشان می‌دهد. به علت تنوع توپوگرافی شدید منطقه در عرض‌های جغرافیایی یکسان، میزان برآورد بارندگی به‌وسیله شبکه در هر ایستگاه در وهله نخست به ارتفاع آن ایستگاه بستگی داشته است. علت را می‌توان چنین بیان کرد که سیستم‌های جوّی پس از برخورد به ارتفاعات، صعود آدبایاتیک می‌کنند و به علت فشار کم هوا در طبقات بالای جو، رطوبت درونی خود را از دست می‌دهند و می‌بارند. اما همین تنوع توپوگرافی برای استان‌هایی مانند اردبیل و آذربایجان شرقی، سبب پایین آمدن میزان دقت اعتبارسنجی شبکه در برآورد داده‌ها شده است، زیرا همان‌طور که پیش‌تر نیز مطرح شد، برای برآورد داده‌ها شبکه بهینه‌ای با ۵ پشتیبان همسایه به کار رفت. این در حالی است که در استان‌های مذکور به دلایل مطرح شده - که از مهم‌ترین آنها تنوع توپوگرافی منطقه است - عملاً مقادیر بارندگی ثبت‌شده در پشتیبان‌ها با یکدیگر متفاوت‌اند و گاه هیچ همبستگی با مقادیر ثبت شده در ایستگاه هدف نشان نمی‌دهند. همین امر تأثیر زیادی در دقت داده‌های برآوردی در سه استان داشته است.

### و) عامل شیب

هنگامی که سیستم‌های هوا وارد منطقه‌ای می‌شوند پس از عبور از برخی مسیرهای دره‌ای سرد می‌گردند و سپس صعود می‌کنند و آماده بارش می‌شوند. اگر در منطقه‌ای جهت‌های شیب دره و توده هوا یکسان باشد، دره توده هوای گرم و مرطوب را کانالیزه می‌کند و صعود می‌دهد و بر شدت بارش آن می‌افزاید. بررسی نقشه شیب منطقه به خوبی مشخص می‌سازد که شیب در ناحیه شمال غرب کشور به خصوص در دو استان آذربایجان شرقی و اردبیل دچار نوعی به هم ریختگی است. از مهم‌ترین عوامل این امر می‌توان به تلاقی دو

### ۶-۳-۲- تعداد ایستگاه‌های شرکت‌کننده در آموزش شبکه در هر استان

جدول ۵. تعداد ایستگاه‌های شرکت‌کننده در آموزش شبکه در هر استان (۲۰۰۴-۱۹۹۵)

استان	آذربایجان غربی	آذربایجان شرقی	اردبیل
تعداد ایستگاه‌ها	۱۵۹	۱۰۵	۴۱
وسعت منطقه (درصد)	۳۷/۰۸	۴۵/۲۱	۱۷/۷۰

آبخیزداری و طرح‌های جامع کشاورزی ضروری است. تغییرات زیاد مقدار بارش در نقاط مختلف، کمبود ایستگاه‌های اندازه‌گیری و پیچیدگی ارتباط بارش با پارامترهای تأثیرگذار بر آن، اهمیت تکوین و تکامل روش‌های کارآمد را در برآورد توزیع مکانی بارش دو چندان می‌سازد. از مهم‌ترین نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، امکان برآورد پارامترهای اقلیمی در نقاط دلخواه است. از آنجا که به علت گستردگی و تنوع گسترده توپوگرافی و اقلیمی کشور ما عملاً احداث ایستگاه‌های باران‌سنجی در شبکه‌ای متراکم از نقاط مختلف بسیار پرهزینه است و حتی در بسیاری از ایستگاه‌های موجود، گزارش‌دهی آمار بارندگی را افراد بومی و ناآشنا به ویژگی‌های علمی و حساسیت کار انجام می‌دهند، می‌توان براساس در دسترس بودن ورودی‌های اولیه شبکه اقدام به برآورد داده‌های بارندگی در این نقاط کرد. بدین ترتیب می‌توان راه را برای انجام مدل‌سازی‌های مختلف و پژوهش‌های آتی نیز در بسیاری از مناطق کشور باز گذاشت.

#### ۸- منابع

- Abteu, W., Obeysekera, J., and Shil, G., 1993, **Spatial Analysis for Monthly Rainfall in South Florida**, Water resource bulletin, 29(2) PP. 179-188.
- Abdali, H., 2009, **Potential Climatic Zoning of Dry Land Wheat Farming (Case study: East Azarbayejan Province)**, M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Geography Department.
- Amini nia, K., 2009, **Statistical Analysis of Synoptic Precipitation and Heavy Snow in North West of Iran**, Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Science and research branche.

همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده است، از مجموع ۳۰۵ ایستگاه شرکت‌کننده در آموزش شبکه، آذربایجان غربی بیشترین سهم را داشته است. حضور بیشتر ایستگاه‌های شرکت‌کننده در آموزش شبکه در استان آذربایجان غربی و چگالی بالای آنها سبب شده است که شبکه در برابر ایستگاه‌های موجود در این استان دارای انعطاف‌پذیری و توانایی بیشتر در برآورد داده‌های بارندگی آنها باشد.

#### ۷- جمع‌بندی

از جمله نیازهای امروزی بشر برای برنامه‌ریزی‌های اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و محیطی، آگاهی از وضعیت طبیعی منطقه در گذشته و پیش‌بینی آینده براساس آمارهای گذشته است. در این میان مدل‌سازی مکانی، به‌ویژه مدل‌سازی متغیرهای اقلیمی، به دلیل تغییرات مداوم و تأثیرپذیری کوتاه‌مدت و بلندمدت از شرایط طبیعی منطقه‌ای و سیاره‌ای اهمیت ویژه‌ای دارد. از طرفی بیشتر متغیرهای محیطی به اقلیم وابسته‌اند، و در این میان اطلاعات مربوط به بارندگی و اختلاف مکانی و زمانی آن نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی، صنعتی، پیش‌بینی خشکسالی و دیگر مخاطره‌های طبیعی، برنامه‌ریزی آبیاری، مدل‌سازی اکوسیستم و مدل‌سازی هیدرولوژیکی دارد. برآورد مقادیر بارندگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در هر منطقه دارای اهمیت زیادی در مدیریت منابع آب آن است. استفاده از شبکه‌های عصبی به عنوان مدل جعبه سیاه نیز از روش‌های مناسب برای برآورد این گونه داده‌ها به شمار می‌آید. شبکه عصبی مصنوعی به عنوان روشی نو، در مدل‌سازی و پیش‌بینی فرایندهایی که برای شناخت و توصیف دقیق آنها راه‌حل و رابطه صریحی وجود نداشته، موفق بوده است. به‌علاوه، برآورد توزیع مکانی بارش برای اجرای طرح‌های مطالعات منابع آب، خشکسالی، طرح‌های آمایش سرزمین، محیط زیست،



- Antonic, O., Krizan, J., Marki, A., Bukovec, D., 2001, **Spatio-temporal Interpolation of Climatic Variables Over Large Region of Complex Terrain Using Neural Networks, Ecological Modelling**, 138, PP. 255-263.
- Bebis, G., Georgipolous, M., **Optimal Feed Forward Neural Network Architectures**, Department of Electrical & Computer Engineering, University of Central Florida, Orlando, FL 32816 USA.
- Blackard, J.A., Denis, D., 1999, **Comparative Accuaracies of Artificial Neural Networks and Discriminant Analysis in Predicting Forest Cover Types from Cartographic Variable**, Computer and electronics in Agriculture, 24. PP. 131-135.
- Bodri, L., Cermak, V., 2000, **Prediction of Extreme Precipitation Using a Neural Network: (application to summer flood occurrence in Moravia)**, Advances in Engineering Software 31, PP. 311-321.
- Bustami, R., Bessaih, N., Bong, C., Suhaili, S., 2007, **Artificial Neural Network for Precipitation and Water Level Predictions of Bedup River**, IAENG International Journal of Computer Science, 34: 2, IJCS\_34\_2\_10.
- Davari, R., 2001, **Environmental Zoning Maps of Climate and Its Application to Urban Residence (Case study: West Azarbayejan Province)**, M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Geography Department.
- Didevar Asl, A., 2005, **Identify the Specific Ecologic Areas of Ardebil Province by Emphasizing the Role of Climate**, M. Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Geography Department.
- Dirks, K.N., Hay, I. E., Stow, C. D. and Harris, D., 1998, **High-resolution Studies of Rainfall on Norfolk Island, Part II: Interpolation of Data**, J. Hydrol. Amsterdam, 208(3-4), PP. 187-193.
- Ghayur, H., Massudian, A., 1995, **The Analyse of the Spatial Relationship of Rainfall with Altitude in Iran**, Jurnal of Geographical Reasearches, 11, PP. 124-144
- Govindaraju R.S., Rao A. Ramachandra, 2000, **Artificial Neural Networks in Hydrology**.
- Half, A. H., Half, H. IvI., and Azmoodeh, M., 1993, **Predicting Runoff from Rainfall Using Artificial Neural Network Model**, ASCE. New York, PP. 760-76.
- Valeo, C., 2009, **Comparative Study of ANNs versus Parametric Methods in Rainfall Frequency Analysis**, J. Hydrol. Eng. 14, 172, doi:10.1061/(ASCE), PP. 1084-0699, 14:2(172) (13 pages).
- Hevesi, J.A., Istok, J.D. and Flint, A.L., 1992, **Precipitation Estimation in Mountainousterrain Using Multivariate Geostatistic, Part I: Structural Analysis**, J. Appl. Meteorol, 31, PP. 661-676.
- J. Kuligowski, R., P.Barros, A., 1998, **Using Artificial Neural Networks to Estimate Missing Rainfall Data**, Journal of the American Water Resources Association.

- K. Starret, S., K. Starret, Sh., Travis, H., Su, Y., Tuan, D., Bandurraga, M., 2001, **Filling in Missing Peakflow Data using Artificial Neural Networks**, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.
- Kim, J., Pachepsky, Y., 2010, **Reconstructing Missing Daily Precipitation Data using Regression Trees and Artificial Neural Networks for SWAT Streamflow Simulation**, USDA-ARS, Environmental Microbial & Food Safety Laboratory, USA.
- Liszka, L., 1992, **Reconstruction of Equidistant Time Series using Neural Networks**, Swedish Institute of Space Physics, Sweden.
- Marqu'inez, J., Lastra, J., Garc'ia, P., 2003, **Estimation Models for Precipitation in Mountainous Regions: the use of GIS and multivariate analysis**, Journal of Hydrology 270, PP. 1-11.
- Menhaj, M., 2009, **Foundations of Neural Networks**, Amir Kabir University Press, the 6th edition.
- Misaghi, F., 2002, **Developing the Hybrid Algorithm Combines Geostatistics and Artificial Neural Networks to Extract the Spatial Distribution of Rainfall**, M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Agriculture science Department.
- Shams, U.M., Quimpo, R.G., and, Yoganarasimhan, G.N., 1988, **An Application of Kriging to Rainfall Network Design**, Nordic Hydrology, 16, PP. 137-152.
- Smith, J. and Eli, R. N., 1995, **Neural Network Models of Rainfall-runoff Process**, Journal of Water Resource Planning and Management, ASCE 121(6), PP. 499-508.
- Tavusi, H., 2011, **Comparison of Geostatistical Techniques to Spatially Regression Techniques to Estimate Rainfall (Case study: Northwest of Iran)**, M. Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, RS & GIS Department.