

## پیش‌بینی بارش فصلی بر اساس الگوهای سینوپتیکی با استفاده از سیستم استنباط فازی - عصبی تطبیقی (ANFIS)

غلامعباس فلاح قاله‌ری\* - دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی  
محمد موسوی بایگی - استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد  
مجید حبیبی نوخندان - استادیار پژوهشکده هواشناسی  
پذیرش مقاله: ۱۳۸۶/۳/۲۲ تایید نهایی: ۱۳۸۷/۳/۸

### چکیده

پیش‌بینی فرآیندهای آب و هوایی ابزار مناسبی در اختیار مدیران حوزه‌های مختلف قرار می‌دهد تا با در نظر گرفتن این پیش‌بینی‌ها، سیاست‌های آینده را در جهت بهینه نمودن صرف هزینه‌ها و امکانات بهره‌وری حداکثر طرح‌ریزی کنند. هدف از این تحقیق بررسی ارتباط الگوهای سینوپتیکی بزرگ مقیاس اقلیمی با بارش محدوده خراسان بزرگ می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از سیستم استنباط فازی - عصبی تطبیقی پیش‌بینی بارش در بازه زمانی دسامبر تا می (آذر تا اردیبهشت) در منطقه خراسان بزرگ شامل سه استان خراسان رضوی، خراسان شمالی و خراسان جنوبی ارائه شده است. در این مطالعه، ابتدا ارتباط بین تغییرات الگوهای سینوپتیکی شامل فشار سطح دریا، اختلاف فشار سطح دریا، دمای سطح دریا، اختلاف دمای سطح دریا و سطح ۱۰۰۰ میلی باری، دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال با بارش متوسط منطقه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. در انتخاب این مناطق که مجموعه‌ای از نقاط در خلیج فارس و دریای عمان، دریای سیاه، دریای خزر، دریای مدیترانه، دریای شمال، دریای آدریاتیک، دریای سرخ، خلیج عدن، اقیانوس اطلس، اقیانوس هند و سبیری را شامل می‌شوند، تاثیر پذیری بارندگی منطقه شمال شرق ایران از الگوهای سینوپتیکی در مناطق فوق مورد توجه قرار گرفته است. سپس، مدل سیستم استنباط فازی عصبی تطبیقی در دوره ۱۹۹۳-۲۰۰۲ آموزش داده شده است و در پایان، پیش‌بینی بارش در دوره ۲۰۰۲-۱۹۹۳ انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد سیستم استنباط فازی - عصبی تطبیقی در ۷۰ درصد سال‌ها می‌تواند بارش را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کند.

**واژه‌های کلیدی:** پیش‌بینی بارندگی، الگوهای سینوپتیکی، سیستم استنباط فازی - عصبی تطبیقی

### مقدمه

تمامی جنبه‌های زندگی انسان به نحوی تحت تاثیر فرآیندهای آب و هوایی است و این تاثیرگذاری در زمینه‌های مختلفی چون کشاورزی، آبیاری، اقتصاد، مخابرات، حمل و نقل، ترافیک، آلودگی هوا و صنایع نظامی بیشتر دیده می‌شود (هالتینر<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۸۰).

پیش‌بینی بارش برای کشورهای در حال توسعه که اقتصاد آن‌ها مبتنی بر کشاورزی است، خیلی مهم است. به طور مشخص، اقلیم و بارش پدیده‌های غیرخطی بزرگی در طبیعت هستند، چیزی که به اثر پروانه‌ای مشهور است (آبراهام و همکاران، ۲۰۰۱).

امروزه محققین، با ابداع و پیشرفت علمی چون روش‌های هوشمند که ابزاری توانمند، انعطاف پذیر و مستقل از مدل‌های دینامیکی سیستم می‌باشند، در جستجوی راه‌هایی برای پیشرفت و پیش‌بینی پارامترهای مهم هواشناسی می‌باشند (خلیلی، ۱۳۸۵).

در سال‌های اخیر، تحقیقات وسیعی در زمینه پیش‌بینی‌های میان‌مدت و بلندمدت (ماهانه و فصلی) در نقاط مختلف جهان انجام شده است. بسیاری از این تحقیقات بر مبنای تاثیر الگوهای سینوپتیکی بزرگ مقیاس بوده است (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۴).

پنگراسز<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۶)، بارندگی ماهیانه را در مجارستان با استفاده از تیپ‌های الگوی چرخش اتمسفری و شاخص "انسو"<sup>۳</sup> مدل‌سازی کردند. به این منظور از تکنیک مدل‌سازی مبتنی بر قوانین فازی برای ایجاد ارتباط بین ورودی‌ها و بارندگی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که مدل مبتنی بر قوانین فازی، ابزار عالی را برای پیش‌بینی مشخصات آماری بارندگی ماهیانه با استفاده از فراوانی ماهیانه تیپ‌های الگوی چرخش اتمسفری روزانه و SOI<sup>۴</sup> تاخیری فراهم می‌کند.

واسکوویز<sup>۵</sup> (۲۰۰۱)، ارتباط بین انسو و چرخه اتمسفری زمستانه و دما در ناحیه اقیانوس اطلس شمالی را بررسی نموده‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که در این ناحیه در زمستان هیچ ارتباط آماری معنی‌داری بین رخداد‌های گرم انسو و الگوهای فشار سطح دریا وجود ندارد، در حالی که تغییرات رخداد‌های سرد مشابه نوسانات مثبت NAO<sup>۶</sup> می‌باشد.

هالید و رید<sup>۷</sup> (۲۰۰۲)، از تکنیک منطق فازی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش محلی ماه ژانویه در فرودگاه هازنودین<sup>۸</sup> در اندونزی که بزرگترین ناحیه تولید برنج است، استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد مدل منطق فازی برای پیش‌بینی بارش ماه ژانویه نسبت به مدل‌های آماری مناسب‌تر است. چوی<sup>۹</sup> (۱۹۹۹)، از شبکه‌های عصبی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای پیش‌بینی بارش استفاده کرده‌اند. نتایج نشان‌دهنده کارایی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی بارش است. کاوازوس<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۰)، از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی بارش روزانه استفاده کرده است. متغیرهای مورد استفاده عبارت است از: ضخامت بین سطوح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، ارتفاع

1 - Haltiner

2- Pangrazc

3-ENSO(Elnino Southern Oscillation Index)

4 - Southern Oscillation Index

5 - Pozo- Vasqueze

6 - North Atlantic Oscillation

7 - Halid and Rid

8 - Hasanuddin

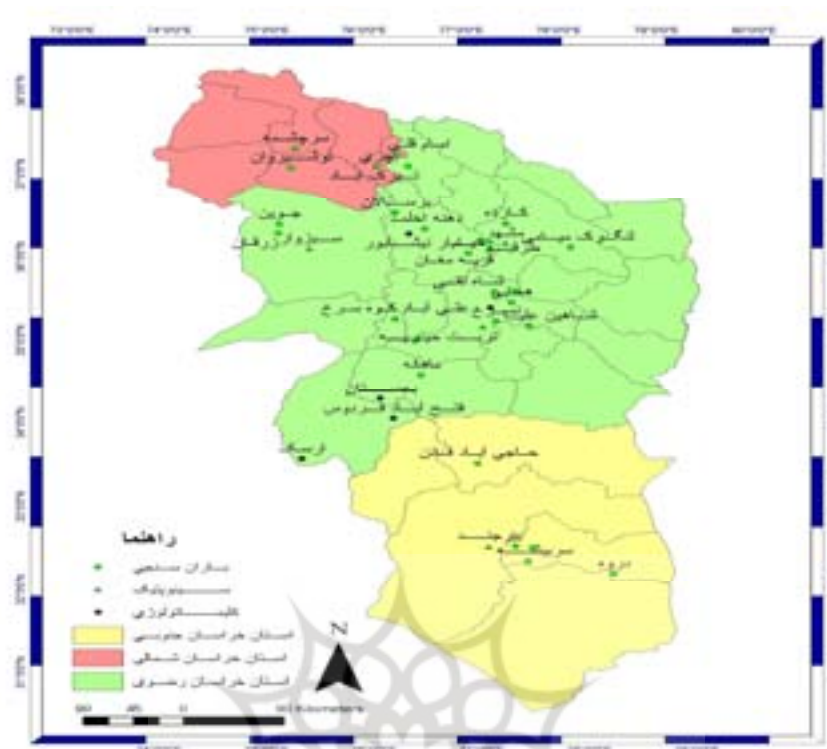
9 - Choi

10 - Cavazos

سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و رطوبت سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال. نتایج کارایی شبکه‌های عصبی را در پیش‌بینی بارش نشان می‌دهد. ماریا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۵)، از شبکه‌های عصبی و مدل‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی بارش در منطقه سائوپائولو برزیل استفاده کرده‌اند. متغیرهای مورد استفاده آن‌ها عبارت است از: دمای پتانسیل، مؤلفه قائم باد، رطوبت ویژه، دمای هوا، آب قابل بارش، چرخندگی نسبی و شار واگرایی رطوبت. نتایج نشان‌دهنده کارایی هر دو روش در پیش‌بینی بارش است. کار آموز و همکاران (۱۳۸۴)، با استفاده از کاربرد سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی از مدل مبتنی بر قوانین فازی و شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی بارش در مناطق غرب ایران (حوزه‌های آبریز کارون، کرخه و مرزی غرب) استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد جز در منطقه جنوب غرب که پیش‌بینی هر دو مدل دارای خطای بیش از ۳۵ درصد و مشابه بوده است، در مناطق شمال غرب و غرب، خطای مدل فازی به ترتیب ۸/۴ و ۱۳ درصد کمتر از شبکه عصبی است. با توجه به اهمیت پیش‌بینی بارش در بسیاری از فرایندهای تصمیم‌گیری نظیر مدیریت منابع آب و کشاورزی، در این تحقیق سعی شده است با استفاده از داده‌های الگوهای سینوپتیکی نظیر دما و اختلاف دمای سطح دریا، فشار و اختلاف فشار سطح دریا، دمای هوا در سطوح پایین جو، ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و رطوبت نسبی در سطوح فوقانی جو، ارتباط الگوهای سینوپتیکی بزرگ مقیاس اقلیمی با بارش منطقه مورد مطالعه تعیین شود.

## مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده در تحقیق:** منطقه مورد مطالعه شامل سه استان خراسان رضوی، خراسان شمالی و خراسان جنوبی است. سری زمانی مورد مطالعه در این تحقیق، مجموع بارش فصلی ۳۳ ساله آذر تا اردیبهشت (دسامبر تا می) در فاصله بین سال‌های ۲۰۰۲-۱۹۷۰ میلادی می‌باشد. داده‌های بارش فصلی برای هر سال میلادی شامل بارندگی ۳۷ ایستگاه همدیدی، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی می‌باشد که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است. از این تعداد (۴) ایستگاه همدیدی، (۵) ایستگاه اقلیم‌شناسی و بقیه باران‌سنجی می‌باشند. شکل (۱) نقشه محدوده مورد مطالعه و نام ایستگاه‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد.



شکل ۱ نقشه محدوده مورد مطالعه به همراه ایستگاه‌های منتخب

داده‌های مورد نیاز الگوهای سینوپتیکی بزرگ مقیاس اقلیمی شامل داده‌های دمای سطح دریا، دمای هوا در سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، فشار سطح دریا، دمای هوا در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال از سایت نوا<sup>۱</sup> در شبکه‌های  $2/5 \times 2/5$  درجه در فاصله بین سال‌های ۲۰۰۲-۱۹۷۰ میلادی استخراج گردیده است. داده‌های بارش از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است. در این تحقیق برای تکمیل نواقص اطلاعاتی بارش از روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها استفاده گردیده است. برای آزمون همگنی داده‌ها از آزمون "ران تست" استفاده شده است. بدین ترتیب، آزمون همگنی ران تست روی آمار بارش ۳۷ ایستگاه همدیدی، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی انجام شد که همگی نتایج قابل قبولی داشتند و تصادفی بودن آن‌ها در سطح ۹۵ درصد مورد قبول است.

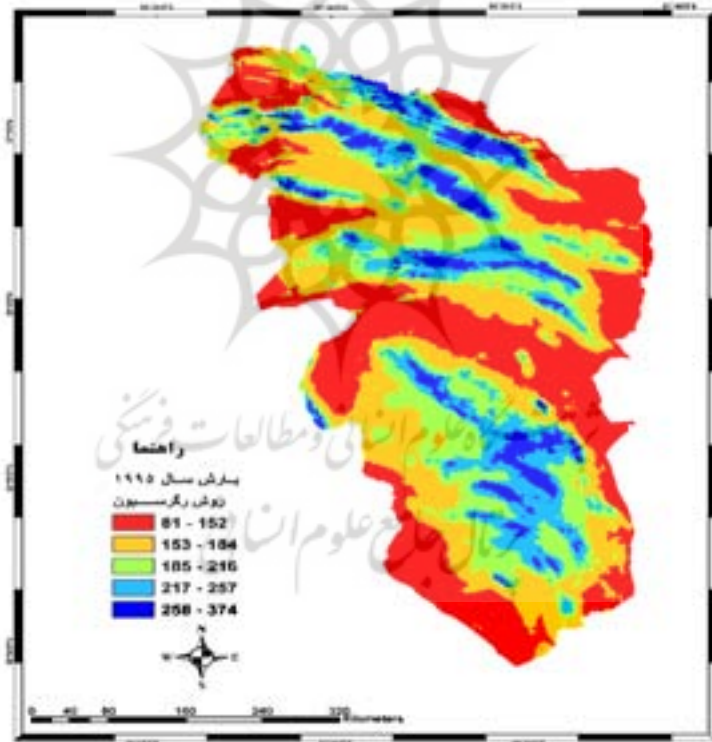
#### متدولوژی مورد استفاده در تحقیق

محاسبه بارش متوسط منطقه‌ای: برای به دست آوردن بارش متوسط منطقه‌ای از روش‌های مختلف درونیابی مانند کریجینگ، IDW<sup>۲</sup> و غیره و یا از رابطه بین بارش و مشخصات جغرافیایی مثل طول، عرض و ارتفاع می‌توان استفاده

1 - Noaa

2 - Inverse Distance Weight

کرد. در این تحقیق از مدل رقومی ارتفاعی یا مدل DEM<sup>۱</sup> برای محاسبه بارش متوسط منطقه‌ای استفاده گردیده است. با توجه به معنی دار بودن ضریب همبستگی بین بارش و ارتفاع و معنی دار بودن آزمون F در سطح ۵٪ و نرمال بودن باقی مانده‌ها در اکثر سال‌های مورد مطالعه، از مدل رقومی ارتفاعی برای محاسبه بارش متوسط منطقه‌ای استفاده شده است. لازم به ذکر است برای تحلیل‌های آماری، از نرم‌افزار SPSS<sup>۲</sup> نسخه ۱۰/۵ و نرم افزار جامپ نسخه ۴ و برای مرتب کردن داده‌های خام از نرم افزار اکسل استفاده گردید. برای به دست آوردن سری زمانی بارش متوسط منطقه‌ای به روش مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از نرم افزار Arc\GIS گام‌های زیر انجام شد: ۱- ساختن فایل‌های ورودی نرم افزار Arc\GIS ۲- به دست آوردن رابطه بارش با ارتفاع با استفاده از روابط رگرسیونی ۳- به دست آوردن نقشه رقومی منطقه مورد مطالعه ۴- انجام تحلیل‌های مربوط به مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۵- تحلیل و ترسیم تغییرات مکانی بارش در منطقه برای هر سال ۶- به دست آوردن مقادیر متوسط بارش در منطقه مورد مطالعه برای هر سال ۷- ساخت سری زمانی بارش برای منطقه مورد مطالعه. به عنوان مثال، شکل (۲) نقشه بارش منطقه مورد مطالعه ترسیم شده به روش مدل رقومی ارتفاعی را برای سال ۱۹۹۵ نشان می‌دهد.



شکل ۲ نقشه بارش منطقه مورد مطالعه ترسیم شده به روش مدل رقومی ارتفاعی برای سال ۱۹۹۵

1 - Digital Elevation Model

2 - Statistical Package for Social Science

### فصل‌بندی بارندگی و الگوهای سینوپتیکی

فصل‌بندی بارندگی و الگوهای سینوپتیکی بر این اساس بوده است که با استفاده از میانگین مقادیر یک الگوی سینوپتیکی خاص در چند ماه متوالی، بتوان میزان مجموع بارندگی فصلی را در ماه‌های آینده پیش‌بینی نمود. بنابراین سعی شده است که فصول مربوط به الگوهای سینوپتیکی، ماه‌های دارای بارندگی سال آبی بعد را شامل نشوند. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه در ماه‌های مهر و آبان میزان بارندگی کم و در ماه‌های تابستان در حد صفر می‌باشد، از مجموع بارندگی ماه‌های آذر تا اردیبهشت (دسامبر تا می) به عنوان سری زمانی بارندگی استفاده شده است.

### بررسی ارتباط الگوهای سینوپتیکی شاخص با بارش منطقه

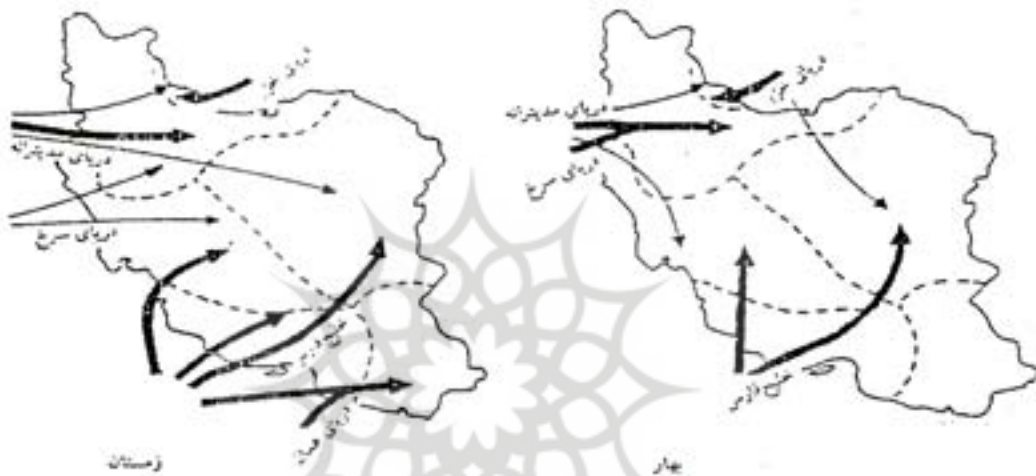
به منظور بررسی ارتباط تغییرات پارامترهای هواشناسی فوق‌الذکر با بارش در محدوده مورد مطالعه، نقاطی تحت عنوان نقاط شاخص در مناطق مختلفی از دریاها که بر آب و هوای ایران تاثیر گذارند، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. این نقاط شامل نقاطی در دریای مدیترانه، خلیج فارس، دریای عمان، خلیج عدن، دریای عرب، دریای سرخ، دریای سیاه، دریای آدریاتیک، دریاچه آرال، اقیانوس هند، اقیانوس اطلس، دریای شمال و سیبری می‌باشند که مختصات این نقاط در جدول ۱ نشان داده شده است. در انتخاب این مناطق تاثیرپذیری منطقه شمال شرق کشور از الگوهای سینوپتیکی مورد توجه قرار گرفته است. شکل ۲ منابع عمده رطوبت بارندگی‌های ایران را در فصول زمستان و بهار نشان می‌دهد (علیجانی، ۱۳۸۲).

جدول ۱ نام و مختصات نقاط مورد استفاده در تحلیل‌های دما و فشار سطح دریا

نام نقاط مورد استفاده	عرض جغرافیایی (شمالی)	طول جغرافیایی	نام نقاط مورد استفاده	عرض جغرافیایی (شمالی)	طول جغرافیایی
دریای آدریاتیک	۴۳	۱۵	شمال دریای خزر	۴۵	۵۰
خلیج عدن	۱۲/۵	۴۵	شمال خلیج فارس	۲۷	۵۰
شبکه دریای عرب	۱۴-۲۰	۶۰-۷۰	شمال دریای سرخ	۲۵	۳۵
دریاچه آرال	۴۵	۶۰	دریای شمال	۵۴	۵
شبکه آزور	۲۰-۴۱	۳۰۰-۳۳۹	دریای عمان	۲۴	۶۵
آزور	۴۱	۳۳۰	جنوب دریای خزر	۳۹	۵۰
دریاچه بایکال	۵۴	۱۰۷	جنوب دریای سرخ	۱۴	۴۰
دریای سیاه	۴۵	۳۵	شبکه سیبری	۵۰-۶۰	۹۰-۱۳۰
مرکز اقیانوس آرام	۳۰	۳۲۰	غرب دریای مدیترانه	۴۱	۵
گرینلند	۳۵	۳۰	دریای لابرادور	۶۰	۳۰۹
اقیانوس هند	۵-۱۴	۶۰-۷۰	شبکه ایسلند	۵۴-۷۰	۳۰۰-۳۵۰



در این تحقیق برای بررسی ارتباط مؤلفه‌های جو بالا بر بارش منطقه از روش تحلیل عاملی استفاده گردیده است. محدود مکان مورد بررسی که مؤلفه‌های جو بالا در آن با روش تحلیل عاملی تحلیل شده، در حد فاصل ۷۰-۰ درجه شرقی و ۴۵-۱۵ درجه شمالی می‌باشد. این محدوده مناطقی را شامل می‌گردد که تغییرات الگوهای دما، فشار و رطوبت در آن‌ها بر بارش منطقه اثرگذار است. به عنوان مثال، مناطق شاخص شناسایی شده رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال در بازه زمانی ژوئن تا نوامبر در شبکه‌های ۵×۵ درجه که نمرات عاملی آن در سطح ۵٪ با بارش منطقه همبستگی معنی دار داشته و در ساختار مدل پیش بینی بارش مورد استفاده قرار گرفته است، در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۲ منابع عمده رطوبت بارندگی های ایران در فصول بهار و زمستان (علیجان، ۱۳۸۱).

طول عرض	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰
۴۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۴۰	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
۳۵	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵
۳۰	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰	۵۱	۵۲	۵۳	۵۴	۵۵	۵۶	۵۷	۵۸	۵۹	۶۰
۲۵	۶۱	۶۲	۶۳	۶۴	۶۵	۶۶	۶۷	۶۸	۶۹	۷۰	۷۱	۷۲	۷۳	۷۴	۷۵
۲۰	۷۶	۷۷	۷۸	۷۹	۸۰	۸۱	۸۲	۸۳	۸۴	۸۵	۸۶	۸۷	۸۸	۸۹	۹۰
۱۵	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶	۹۷	۹۸	۹۹	۱۰۰	۱۰۱	۱۰۲	۱۰۳	۱۰۴	۱۰۵

فاکتور ۱	
فاکتور ۲	

شکل ۳ مناطق شاخص شناسایی شده رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال در شبکه ۵×۵ درجه در بازه زمانی ژوئن تا نوامبر با استفاده از روش تحلیل عاملی.

در این تحقیق برای به دست آوردن سیگنال‌های هواشناسی موثر بر بارش منطقه، از روش همبستگی پیرسون استفاده شده است. به این ترتیب کلیه سیگنال‌هایی که در بازه زمانی ژوئن تا نوامبر (خرداد تا آبان) در سطح ۵٪ با بارش منطقه همبستگی معنی‌دار نشان داده‌اند، به عنوان پیش‌بینی کننده در ساختار مدل پیش‌بینی بارش استفاده گردیده است که این سیگنال‌ها عبارتند از:

فشار استاندارد شده خلیج عدن، فشار استاندارد شده جنوب خلیج فارس، فشار استاندارد شده شمال دریای سرخ، فشار استاندارد شده جنوب دریای سرخ، فشار استاندارد شده غرب دریای مدیترانه، اختلاف فشار استاندارد شده بین دریای آدریاتیکی و جنوب خلیج فارس، اختلاف فشار استاندارد شده بین دریاچه آرال و شمال دریای خزر، اختلاف فشار استاندارد شده بین جنوب خلیج فارس و دریای عرب، اختلاف فشار استاندارد شده بین دریای عمان و جنوب خلیج فارس، اختلاف فشار استاندارد شده بین جنوب خلیج فارس و جنوب دریای سرخ، دمای سطح دریای استاندارد شده شبکه سبیری، اختلاف دمای استاندارد شده بین سطح دریا و سطح ۱۰۰۰ میلی باری شبکه ایسلند، نمرات عاملی رطوبت نسبی در منطقه شاخص فاکتور ۱ در شبکه های ۵×۵ درجه.

#### پیش‌بینی بارش با استفاده از سیستم استنباط فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)

برای ایجاد ارتباط بین چند متغیر از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد. برخی از این روش‌ها عبارتند از: رگرسیون خطی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، سیستم‌های استنباط فازی و ترکیبی از شبکه‌های عصبی و سیستم‌های استنباط فازی که به سیستم‌های استنباط فازی-عصبی تطبیقی یا ANFIS مشهور می‌باشند. سیستم‌های استنتاج فازی، مدل‌های غیر خطی هستند که رابطه ورودی - خروجی یک سیستم واقعی را با استفاده از قوانین اگر-آنگاه فازی توصیف می‌کنند (Jacquin and Shamseldin, 2006). ساختار عمومی قوانین تدوین شده در این تحقیق بصورت زیر می‌باشد:

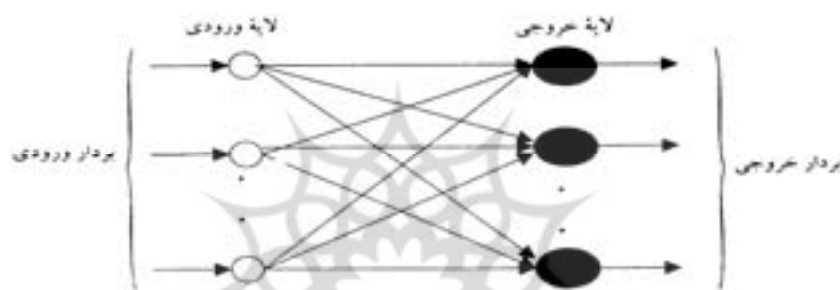
(<sup>۱</sup> Rule m: If ( $x_1$  is  $A_{1,m}$ ) AND ( $x_2$  is  $A_{2,m}$ ) AND ... AND ( $x_k$  is  $A_{k,m}$ ) THEN  $y$  is ...

بیان کردن رابطه بین  $k$  متغیر ورودی  $x_1, x_2, \dots, x_k$  و خروجی  $y$  است. عبارت  $A_{k,m}$  در بخش مقدم قوانین، مجموعه‌های فازی را نشان می‌دهد که برای جداسازی فضای ورودی به داخل مناطق همپوشانی کننده به کار می‌رود. یک مجموعه فازی یک تعمیم از مجموعه‌های کلاسیک است که تابع عضویت به عنوان یک موضوع از درجه در یک فرم باینری تعریف می‌شود (هر کدام از عدم عضویت یا عضویت کامل). هر مجموعه فازی  $A_{k,m}$  در معادله بالا بوسیله تابع عضویت آن  $\mu_{k,m}$  توصیف می‌شود که درجه عضویت هر مقدار  $x_k$  مجموعه فازی  $A_{k,m}$  در تمام مقدار عضویت تطبیقی  $\mu_{k,m}(x_k)$  ارزشیابی می‌شود. مقادیر عضویت  $\mu_{k,m}(x_k)$  گوناگون در دامنه  $[0,1]$  است که ۰ عدم عضویت و ۱ عضویت کامل  $x_k$  را در مجموعه فازی  $A_{k,m}$  نشان می‌دهد. ساختار بخش نتیجه (بخش Then قوانین) به



نوع سیستم استنتاج فازی تحت ملاحظه بستگی دارد (Jacquin and Shamseldin, 2006).

شبکه‌های عصبی مصنوعی همانند شبکه عصبی طبیعی، از اجزائی به نام سلول عصبی تشکیل شده‌اند. همان طوری که در شبکه عصبی طبیعی، تعدادی از سلول‌ها دریافت اثر محرک خارجی، تعدادی پردازش اطلاعات و تعدادی نیز انتقال پاسخ محرک به عضو مورد نظر را بر عهده دارند، در شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز تعدادی از سلول‌ها دریافت معلومات مسأله، تعدادی پردازش اطلاعات و تعدادی نیز ارائه پاسخ مسأله را بر عهده دارند. به این ترتیب هر شبکه عصبی به ترتیب شامل لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی می‌باشد، به طوریکه این سلول‌ها توسط اتصالاتی با وزن‌های مختلف به هم وصل می‌باشند. در تمام شبکه‌های عصبی مصنوعی یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و تعدادی لایه پنهان وجود دارد (مهدی زاده، ۱۳۸۳). شکل (۴) ساختار یکی از این نوع شبکه‌ها را نشان می‌دهد (محمدی، ۱۳۸۲).



شکل ۴ ساختار کلی شبکه‌های عصبی پیشخور تک لایه

سیستم‌های استنباط فازی-عصبی تطبیقی، یک روش نوین در حل مسائل پیچیده‌ای است که یا الگوریتم مشخصی برای حل آن وجود ندارد و یا استفاده از روش‌های متعارف مستلزم به کار گرفتن راه حل‌های بسیار طولانی و زمان‌بر می‌باشد. بیشترین کاربرد آن در حل مسائلی بوده که یک ارتباط غیرخطی بین پارامترهای معلوم و مجهول مسئله وجود دارد. زیرا یکی از قابلیت‌های مهم سیستم‌های استنباط فازی-عصبی تطبیقی درک رفتار غیر خطی یک سیستم می‌باشد. همان طور که می‌دانیم، در روش‌های معمول نظیر روش رگرسیون خطی چند متغیره، رابطه‌ای بین چند متغیر ورودی (مستقل) و یک متغیر خروجی (وابسته) برقرار شده و امکان نمایش رابطه به دست آمده به وسیله تابعی به صورت  $y = f(x_1, x_2, \dots)$  بین داده‌های ورودی و خروجی وجود دارد. برای استفاده از مدل عصبی فازی تطبیقی باید سیستم استنباط فازی-عصبی تطبیقی را با یک سری داده‌های تاریخی یا اولیه آموزش داد. این کار باید به نحوی صورت گیرد که مدل بوسیله داده‌ها به خوبی آموزش ببیند. در واقع باید سعی شود محدوده داده‌هایی که برای آموزش به کار می‌رود، به نحوی باشد که تمام داده‌هایی که در زمان بهره‌برداری مدل، مورد استفاده قرار می‌گیرد را در بر بگیرد. مدل ANFIS در برگیرنده دو مدل شبکه‌های عصبی و مدل فازی می‌باشد. بخش فازی رابطه‌ای بین ورودی و خروجی برقرار نموده و پارامترهای مربوط به توابع عضویت بخش فازی به وسیله شبکه‌های عصبی تعیین می‌شود. لذا خصوصیات هر دو مدل فازی و عصبی در ANFIS نهفته است. منطق فازی بر مبنای تئوری مجموعه‌های

فازی می‌باشد که بین طبقات مختلفی از موضوعات، ارتباطی با مرز نامشخص برقرار می‌کند، به نحوی که عضویت از جنس درجه باشد و با پارامتر درجه بتوان میزان عضویت را نشان داد. در این رهیافت، نظریه کلاسیک عضویت دو رقمی در یک مجموعه به گونه‌ای اصلاح می‌شود که عضویت‌های بین صفر و یک را نیز در بر بگیرد. در فرایند استنباط فازی، ۵ مرحله باید انجام گیرد: (۱) فازی سازی متغیرهای ورودی، (۲) به کار بردن عملگرها (و؛ یا) در بخش مقدمه، (۳) استنتاج از مقدمه به نتیجه (تعریف قوانین)، (۴) ترکیب نتایج قوانین، (۵) غیر فازی کردن (حسامی رستمی و همکاران، ۱۳۸۴). در بخش شبکه عصبی، با استفاده از قوانین آموزش موجود در نوشتجات شبکه‌های عصبی، راه حلی برای به دست آوردن اطلاعاتی در مورد مجموعه داده‌ها برای مدل‌سازی ارائه می‌گردد تا پارامترهای تابع عضویت به نحوی تنظیم شوند که بهترین سیستم استنباط فازی به یک سری داده موجود اختصاص یابد. روش مدل‌سازی مورد استفاده توسط سیستم استنباط فازی - عصبی تطبیقی مشابه بسیاری از روش‌های متداول است. مدل‌سازی فازی - عصبی روشی است که در آن تکنیک‌های آموزش مختلف موجود در نوشتجات شبکه‌های عصبی، بر روی سیستم‌های استنتاج فازی پیاده می‌شوند (فاتحی مرج، ۱۳۷۹). ابتدا ساختار یک مدل با پارامترهای مشخص (متناسب با ورودی، توابع درجه عضویت ورودی و قوانین و توابع عضویت خروجی و متغیر خروجی) فرض می‌شود. سپس یک سری داده ورودی/خروجی به شکلی که قابل استفاده توسط سیستم استنباط فازی - عصبی تطبیقی باشد، جمع آوری می‌گردد. در ادامه بوسیله سیستم استنباط فازی - عصبی تطبیقی، مدل سیستم استنباط فازی را با استفاده از داده‌های موجود آموزش داده، تا با اصلاح پارامترهای تابع عضویت مطابق با حد خطای انتخاب شده، داده‌های حاصل از مدل به مقدار واقعی نزدیک شوند. در اغلب موارد داده‌ها با مقداری خطا جمع آوری می‌شوند و داده‌های مورد استفاده در آموزش، نمی‌توانند نماینده تمام ترکیبات داده‌هایی باشند که در زمان بهره‌برداری به مدل ارائه خواهد شد. در نتیجه اعتبار مدل مورد سوال قرار می‌گیرد. اعتبار سنجی مدل فرآیندی است که طی آن بردارهای ورودی مربوط، به آن قسمت از داده‌های ورودی/خروجی که برای آموزش سیستم استنباط فازی به کار گرفته نشده‌اند، به عنوان داده‌های ورودی در مدل توسعه یافته، مورد استفاده قرار می‌گیرند تا بتوان از دقت مدل سیستم استنتاج فازی تهیه شده، جهت پیش‌بینی مقادیر خروجی مجموعه داده‌های متناظر ورودی، اطلاع حاصل نمود. این کار با استفاده از مجموعه داده تست، انجام می‌شود. با استفاده از نمونه دیگری از مجموعه داده (داده‌های کنترلی<sup>۱</sup>) می‌توان اعتبار مدل سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی را تعیین نمود. کنترل پتانسیل مدل در زمینه بیش برآزش نیز با استفاده از داده‌های کنترلی انجام می‌شود. علت اصلی استفاده از مجموعه داده کنترلی به عنوان عاملی برای به دست آوردن اعتبار بیشتر مدل این است که پس از گذر از یک نقطه معین در مرحله آموزش، مرحله بیش برآزش بر روی داده‌های آموزشی آغاز می‌شود. به عنوان یک قاعده کلی، خطای مدل برای مجموعه داده‌های کنترلی از زمان شروع فرآیند آموزش تا زمانی که مرحله بیش برآزش آغاز می‌شود، کاهش می‌یابد. پس از این مرحله خطای مدل برای داده‌های کنترلی به طور

<sup>۱</sup> - Checking Data Set

ناگهانی افزایش می‌یابد. در واقع داده‌های کنترلی باعث می‌شوند اثر بیش برآزش مدل کاهش یابد. اگر بین مجموعه داده‌های آموزشی و کنترلی تفاوت آشکاری وجود داشته باشد، با به دست آوردن خطای کنترلی در طول دوره آموزش، عدم کارایی مجموعه داده‌های کنترلی برای هدف اعتبار سنجی مدل کاهش خواهد یافت (حسامی رستمی و همکاران، ۱۳۸۴).

در سیستم استنباط فازی برای مدل‌سازی سیستم باید ساختار قوانین با تفسیر مشخصات متغیرها توسط کاربر، از قبل تعیین شده و به مدل داده شود. از آن جایی که شکل تابع درجه عضویت بستگی به پارامترها دارد، به جای انتخاب پارامترهای تابع درجه عضویت و در نتیجه شکل تابع درجه عضویت توسط کاربر، با انتخاب سیستم استنباط فازی-عصبی تطبیقی این کار به صورت خودکار انجام می‌گیرد. ایده اصلی رویکردهای یادگیری این روش در مدل‌سازی، این است که با به دست آوردن اطلاعاتی در مورد مجموعه داده‌ها در مرحله مدل‌سازی فازی، پارامترهای تابع درجه عضویت طوری تعیین می‌شوند که مجموعه داده‌های ورودی/خروجی را بهتر مدل کند. مدل مزبور از دو الگوریتم پس انتشار خطا و روش ترکیبی (ترکیبی از روش پس انتشار خطا و روش حداقل مربعات خطا) برای آموزش شبکه عصبی-فازی تطبیقی استفاده می‌کند. مدل مزبور از نوع مدل‌هایی هستند که با سیستم به صورت یک جعبه سیاه برخورد کرده و با استفاده از داده‌های ورودی و خروجی، در مرحله آموزش پارامترهای خود را چنان تنظیم می‌کنند که بتوانند به‌ازای ورودی‌های مختلف، خروجی‌هایی مشابه مقدار واقعی بدهند. سیستم استنتاج فازی مورد استفاده در ANFIS، مدل سوگینو می‌باشد که برای استخراج قوانین فازی و خروجی سیستم از آن استفاده می‌شود. در این مقاله برای دسته‌بندی خودکار و تحلیل داده‌ها و نهایتاً تولید سیستم استنتاج فازی از روش خوشه‌سازی تفریقی استفاده شده است. در این تحقیق، برای ارزیابی دقت مدل از دو شاخص جذر میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup> و میانگین مطلق خطا<sup>۲</sup> استفاده گردیده است که فرمول محاسبه آن‌ها به شرح زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - e_i)^2}{n}} \quad (۲) \quad MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)| \quad (۳)$$

در فرمول‌های فوق، RMSE و MAE به ترتیب جذر میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا،  $o_i$  و  $e_i$  به ترتیب مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده متغیر در نقطه  $i$  و  $Z^*(x_i)$  و  $Z(x_i)$  هم به همین ترتیب مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده متغیر  $X$  در نقطه  $i$  و  $n$  تعداد مشاهدات می‌باشد.

## بحث و نتیجه‌گیری

مدل مزبور داده‌های ورودی را به دو بازه زمانی تقسیم می‌کند:

1 - Root Mean Square Error (RMSE)

2 - Mean Absolute Error (MAE)

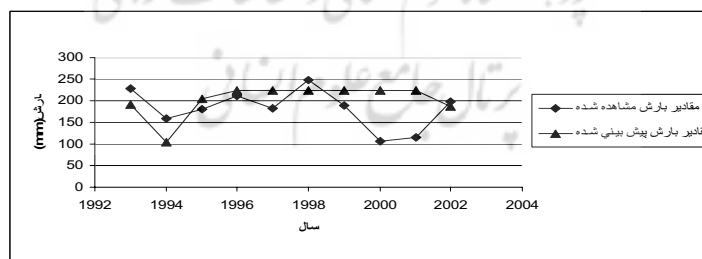
۱- دوره کالیبراسیون قوانین که در این تحقیق دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۲ در نظر گرفته شده است.

۲- دوره پیش‌بینی که در این تحقیق دوره ۱۹۹۳-۲۰۰۲ برای پیش‌بینی در نظر گرفته شده است.

پس از آزمون‌های مختلف برای شعاع همسایگی و تعداد متغیرهای وارد شده به مدل، سرانجام مدل نهایی با دوازده متغیر ذکر شده در بخش قبل دارای کمترین خطا بود و به عنوان مدل نهایی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این بررسی‌ها در جدول (۲) و شکل (۵) نشان داده شده است. لازم به یادآوری است جذر میانگین مربعات خطا در این مدل ۵۸,۹ میلی متر به دست آمده است. همان طور که در شکل دیده می‌شود، بیشترین خطا مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ بوده است. لازم به یادآوری است، حداقل بارندگی ثبت شده در سری زمانی بارندگی در این دو سال اتفاق افتاده است. در این مورد، به دلیل اینکه این سال‌های حدی در مرحله آموزش شبکه و دوره کالیبراسیون پارامترهای مدل تکرار نشده‌اند، مدل قادر به پیش‌بینی بارندگی در این سال‌ها نبوده است.

جدول ۲ پیش‌بینی بارش محدوده مورد مطالعه با مدل ANFIS

سال	بارش ثبت شده	بارش پیش‌بینی
۱۹۹۳	۲۲۸	۱۹۱
۱۹۹۴	۱۵۸	۱۰۴
۱۹۹۵	۱۸۱	۲۰۴
۱۹۹۶	۲۱۰	۲۲۵
۱۹۹۷	۱۸۲	۲۲۵
۱۹۹۸	۲۴۸	۲۲۵
۱۹۹۹	۱۹۰	۲۲۵
۲۰۰۰	۱۰۶	۲۲۵
۲۰۰۱	۱۱۵	۲۲۵
۲۰۰۲	۱۹۷	۱۸۶,۶۵



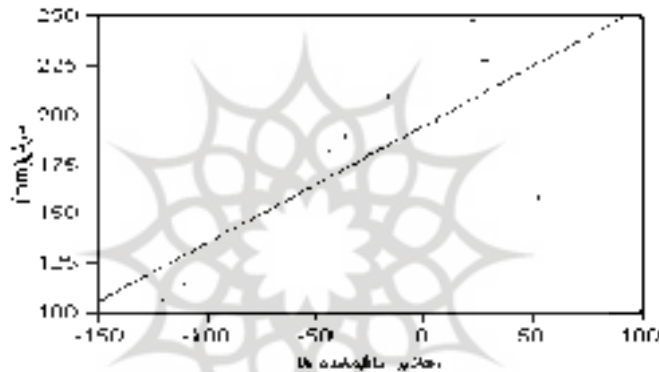
شکل ۵ مقایسه بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده در محدوده مورد مطالعه با مدل ANFIS

بررسی نتایج مدل نشان می‌دهد به غیر از سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱، اختلاف بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده در محدوده قابل قبولی قرار دارد و مدل قادر بوده است در ۸۰ درصد سال‌ها بارش را با خطای قابل قبولی پیش‌بینی کند. همان طور که ملاحظه می‌شود، مدل عمدتاً قادر به پیش‌بینی سال‌های بسیار کم بارش نبوده است. علت این امر از آنجا

ناشی می شود که این سالها در دوره کالیبراسیون مدل پیش بینی تکرار نشده است. لازم به یادآوری است به دلیل کم بودن طول دوره آماری مورد نظر برای مدل ANFIS (۳۳ سال)، از داده های اعتبار سنجی استفاده نشد و همان طور که اشاره شد از ۲۳ سال داده برای آموزش مدل و از ۱۰ سال باقی مانده به عنوان داده های تست مدل استفاده گردیده است. بنابراین با افزایش سالهای آماری دقت مدل هم افزایش خواهد یافت. شکل (۶) مقادیر باقیمانده ها را در مقابل داده های اندازه گیری شده نشان می دهد. ضریب همبستگی بین داده های اندازه گیری شده و مقادیر باقیمانده ها ۰/۷۴ است که نشان دهنده دقت نسبتاً بالای مدل در تخمین و پیش بینی بارش است. مقدار میانگین قدر مطلق خطا (MAE) ۴۶ به دست آمده است که مقدار قابل قبولی است. معادله خط رگرسیون تغییرات مقادیر بارش مشاهده شده نسبت به باقیمانده ها عبارت است از:

$$\text{Rainfall (mm)} = 195.34303 + 0.59 \text{ residuals}$$

در معادله فوق residuals مقادیر باقیمانده ها و rainfall مقدار بارش بر حسب میلی متر است.



شکل ۶ تغییرات مقادیر واقعی بارش نسبت به باقیمانده ها. خط مورب، خط رگرسیون می باشد

جدول ۳ خلاصه مشاهدات رگرسیون خطی بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر باقیمانده ها و جدول (۴) نتایج تجزیه واریانس رگرسیون خطی بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر باقیمانده ها را نشان می دهد. همان طور که در جدول (۳) دیده می شود، با در نظر گرفتن حدود اطمینان ۹۹٪ رگرسیون خطی بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر باقیمانده ها، جذر میانگین مربعات خطا ۳۱/۸۱ به دست آمده است که از دقت بالایی برخوردار است. همان طور که در جدول (۴) دیده می شود، نسبت F در سطح ۱٪ معنی دار است و نشان دهنده ارتباط قوی تغییرات بارش مشاهده شده با مقادیر باقیمانده ها می باشد.

جدول ۳ خلاصه مشاهدات رگرسیون خطی بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر باقیمانده ها

0.559692	ضریب تبیین
0.504654	ضریب تبیین تعدیل شده
31.81778	جذر میانگین مربعات خطا
181.53	میانگین
10	تعداد مشاهدات

جدول ۴ تجزیه واریانس رگرسیون خطی بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر باقیمانده‌ها

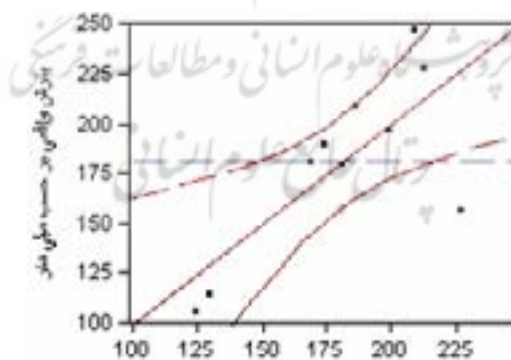
منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	نسبت F
رگرسیون	1	10294.913	10294.9	10.16
خطا	8	8098.968	1012.4	Prob>F
کل	9	18393.881		0.01

جدول (۵) آزمون معنی‌دار بودن شیب خط رگرسیون بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر باقیمانده‌ها را نشان می‌دهد. همان طور که در این جدول دیده می‌شود، شیب خط رگرسیون نیز در سطح ۱٪ معنی‌دار است. مقدار P-value برای آزمون معنی‌دار بودن شیب خط رگرسیون ۰/۰۱۲۸ به دست آمده است.

جدول ۵ خلاصه مشاهدات آماری مربوط به تخمین پارامترهای مدل

پارامتر	مقدار تخمین زده شده	خطای استاندارد	t نسبت	Prob> t
عرض از مبدا	195.34303	10.95444	17.83	<.0001
باقیمانده‌ها	0.5953894	0.186707	3.19	0.0128

شکل ۷ مقادیر بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل را از دیدگاهی بهتر نمایان می‌سازد. این شکل حدود اطمینان ۹۹٪ تغییرات بارش مشاهده شده را در مقابل بارش پیش‌بینی شده توسط مدل نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود، تغییرات بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل، از تطابق بسیار بالایی برخوردار بوده و همان طور که گفته شد در سطح ۱٪ معنی‌دار است.

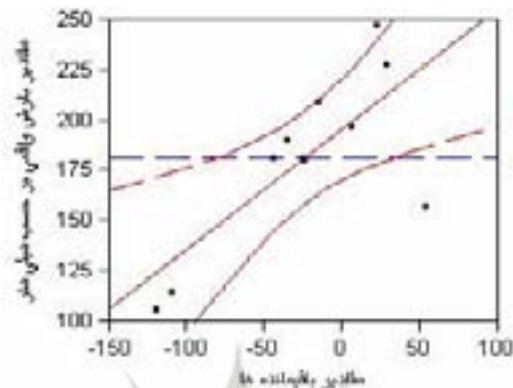


بارش پیش‌بینی شده بر حسب میلی‌متر

شکل ۷ حدود اطمینان ۹۹٪ تغییرات بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده



شکل (۸) هم حدود اطمینان ۹۹٪ را برای تغییرات بارش مشاهده شده در برابر مقادیر باقیمانده نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، در اینجا نیز تغییرات بارش مشاهده شده و مقادیر باقیمانده‌ها، از تطابق بسیار بالایی برخوردار بوده و در سطح ۱٪ معنی دار است.



شکل ۸ حدود اطمینان ۹۹٪ تغییرات بارش مشاهده شده در برابر مقادیر باقیمانده‌ها

برای تکمیل این بحث، شکل (۹) نیز مقادیر باقیمانده‌ها را نسبت به مقادیر بارش اندازه گیری شده نشان می دهد. معادله خط رگرسیون تغییرات باقیمانده‌ها نسبت به مقادیر بارش مشاهده شده عبارت است از:

$$\text{residuals} = -193.8462 + 0.94 \text{ Rainfall(mm)}$$

در معادله فوق residuals مقادیر باقیمانده‌ها و rainfall مقدار بارش بر حسب میلیمتر است



شکل ۹ تغییرات مقادیر باقیمانده‌ها نسبت به مقادیر بارش اندازه گیری شده. خط مورب، خط رگرسیون می باشد.

جدول ۶ خلاصه مشاهدات رگرسیون خطی بین مقادیر باقیمانده‌ها و مقادیر بارش واقعی و جدول (۷) نتایج تجزیه واریانس رگرسیون خطی بین مقادیر باقیمانده‌ها و مقادیر بارش واقعی را نشان می دهد. همان طور که در جدول (۶) دیده می شود، با در نظر گرفتن حدود اطمینان ۹۹٪ رگرسیون خطی بین مقادیر باقیمانده‌ها و مقادیر بارش

واقعی، جذر میانگین مربعات خطا  $39/9$  به دست آمده است که از دقت بالایی برخوردار است. همان طور که در جدول (۷) دیده می‌شود، نسبت  $F$  در سطح  $1\%$  معنی‌دار است و نشان دهنده ارتباط قوی مقادیر باقیمانده‌ها با تغییرات بارش مشاهده شده می‌باشد.

جدول ۶ خلاصه مشاهدات رگرسیون خطی بین مقادیر باقیمانده‌ها و مقادیر بارش واقعی

0.559692	ضریب تبیین
0.504654	ضریب تبیین تعدیل شده
39.9	جذر میانگین مربعات خطا
-23.2	میانگین
10	تعداد مشاهدات

جدول ۷ تجزیه واریانس رگرسیون خطی بین مقادیر باقیمانده‌ها و مقادیر بارش واقعی

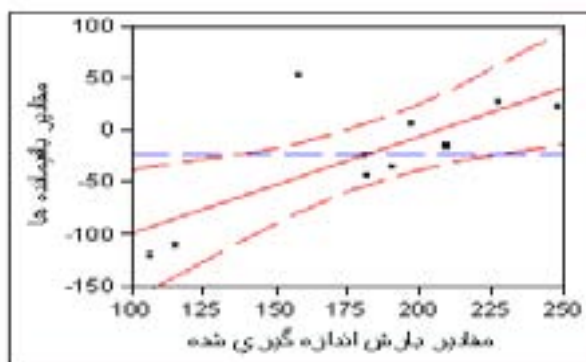
منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	نسبت $F$
رگرسیون	1	16254.360	16254.4	10.16
خطا	8	12787.240	1598.4	Prob>F
کل	9	29041.600		0.01

جدول ۸ آزمون معنی‌دار بودن شیب خط رگرسیون بین مقادیر باقیمانده‌ها و مقادیر بارش واقعی را نشان می‌دهد. همان طور که در این جدول دیده می‌شود، شیب خط رگرسیون نیز در سطح  $1\%$  معنی‌دار است. مقدار  $P$ -value برای آزمون معنی‌دار بودن شیب خط رگرسیون در این جا نیز  $0/0128$  به دست آمده است.

جدول ۸ خلاصه مشاهدات آماری مربوط به تخمین پارامترهای مدل

پارامتر	مقدار تخمین زده شده	خطای استاندارد	t نسبت	Prob> t
عرض از مبدا	-193.8462	54.9857	-3.53	0.0078
بارش اندازه‌گیری شده	0.9400441	0.294786	3.19	0.0128

شکل ۱۰ هم حدود اطمینان  $99\%$  را برای تغییرات مقادیر باقیمانده‌ها در برابر بارش اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، در اینجا نیز تغییرات مقادیر باقیمانده‌ها و بارش مشاهده شده، از تطابق بسیار بالایی برخوردار بوده و در سطح  $1\%$  معنی‌دار است.



شکل ۱۰ حدود اطمینان ۹۹٪ تغییرات مقادیر باقیمانده‌ها در برابر بارش اندازه گیری شده

در مجموع می توان گفت پیش‌بینی مدل فقط در سال‌های حدی خشک با مقادیر واقعی اختلاف دارد، ولی در پیش‌بینی سال‌های تر و نرمال دقت مدل مناسب است و مدل قادر به پیش‌بینی سال‌های تر و نرمال می‌باشد. به عنوان مثال، با مراجعه به جدول ۲ مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار بارش ثبت شده در دوره تست مدل مربوط به سال ۱۹۹۸ با مقدار ۲۴۸ میلی متر می باشد و از آن جا که بارش میانگین (نرمال) منطقه ۲۰۷ میلی متر می باشد، مشاهده می کنیم که مدل مقدار بارش را ۲۲۵ میلی متر پیش‌بینی کرده است و اختلاف آن با بارش مشاهده شده فقط ۲۳ میلی متر است که اگر مجموع بارش فصلی شش ماهه یعنی دسامبر تا می (آذر تا اردیبهشت) را در نظر بگیریم، این مقدار خطا قابل توجه نمی‌باشد. به عبارت دیگر مدل یک سال بیشتر از نرمال را تشخیص داده است و هدف از این پیش‌بینی هم همین موضوع است، یعنی تشخیص سال‌های خشک، نرمال و تر. بنابراین مدل قادر به پیش‌بینی سال‌های تر می باشد. البته مدل در پیش‌بینی سال‌های خشک هم به طور کلی ناتوان نیست. مثلاً با مراجعه به جدول ۲ مقدار بارش مشاهده شده برای سال ۱۹۹۴ مقدار ۱۵۸ میلی متر است و پیش‌بینی مدل ۱۰۴ میلی متر است. یعنی باز در اینجا مدل وجود یک سال خشک و کمتر از نرمال را تشخیص داده است. تنها مدل در پیش‌بینی بارش سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ ناتوان بوده است. علت آن هم همان طور که در متن مقاله به آن اشاره شده است، کم بودن سال‌های آماری است و امید است با افزایش سال‌های آماری بیشتر، دقت مدل افزایش یابد. همان طور که اشاره شد، این دو سال در کل دوره آماری کمترین مقدار بارش را به خود اختصاص داده‌اند و با افزایش سال‌های آماری به نحوی که بتوان این دو سال را جزء دوره آموزش شبکه وارد کرد، امید است که دقت مدل بیشتر شود. همان طور که می‌دانیم، پدیده‌های هواشناسی از جمله بارش به صورت تناوبی در طبیعت رخ می‌دهند. در تدوین مدل‌های پیش‌بینی بارش هم بایستی به این موضوع توجه داشت و تناوبی بودن این پدیده را تا حد امکان رعایت کرد. لذا ما سعی کردیم برای حفظ این مورد (تناوبی بودن بارش) ۲۳ سال اول یعنی سال‌های ۱۹۹۲-۱۹۷۰ میلادی را به عنوان دوره آموزش و دوره ۲۰۰۲-۱۹۹۳ میلادی را به عنوان دوره تست مدل در نظر بگیریم و لذا با توجه به این موضوع، امکان تغییر داده‌های آموزشی برای ما از بین

می‌رود و تنها با افزایش تعداد سال‌های آماری است که این مهم حاصل می‌شود. البته در تحقیقات دیگر محققین هم این موضوع به چشم می‌خورد. به عنوان مثال، کار آموز و همکاران (۱۳۸۴) اقدام به پیش‌بینی بارش منطقه غرب، شمال غرب و جنوب غرب کشور بر اساس سیگنال‌های هواشناسی کرده‌اند. نتایج حاکی از همین موضوع است که مدل پیشنهادی آنها هم در پیش‌بینی سال‌های حدی خشک نا توان بوده است. دلیل آن این است که این سال‌ها از خشک‌ترین سال‌ها در ۳۰ سال گذشته بوده‌اند. البته در اینجا هدف توجیه این موضوع نیست که اصلاً نمیتوان این سال‌های حدی را پیش‌بینی کرد، بلکه منظور این است که با آمار و اطلاعات موجود، این نتایج به دست آمده است و این تحقیقات می‌تواند سنگ بنایی برای تحقیقات محققین بعدی در این مورد باشد که تحقیقات حاضر را تکمیل تر نماید. از مجموعه موارد فوق چنین استنباط می‌شود که متغیرهای مورد استفاده در مدل پیش‌بینی بارش، توانسته‌اند الگوی پراکنندگی بارش را در منطقه تشخیص دهند و می‌توانند به عنوان پیش‌بینی کننده در مدل‌های پیش‌بینی بارش مورد استفاده قرار گیرند. لازم به ذکر است تمامی سیگنال‌های انتخاب شده در این تحقیق، منطبق بر مسیرهای سیکلونی خاورمیانه و ایران هستند که توسط علیجانی (۱۳۸۱) مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج حاصل از این تحقیق نیز، این موضوع را تصدیق می‌کند.

## منابع

- حسامی رستمی، ر، افشار، ع، موسوی، ج، ۱۳۸۴، "مدل پیش‌بینی سیلاب با استفاده از سیستم استنباط فازی-عصبی تطبیقی و مقایسه آن با روش رگرسیون همراه با حل مثال موردی رودخانه کرخه"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران، تهران.
- خلیلی، نجمه، ۱۳۸۵، "پیش‌بینی بارش با استفاده از شبکه‌های عصبی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی.
- علیجانی، بهلول، ۱۳۸۱، "اقلیم‌شناسی سینوپتیک"، انتشارات سمت.
- فاتحی مرچ، حسن، ۱۳۷۹، "بررسی آشوب در سیستم‌های دینامیکی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد برق، دانشگاه فردوسی مشهد.
- کارآموز، محمد، ۱۳۸۴، "پیش‌بینی درازمدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی"، پروژه شماره ۳۴۲ سازمان هواشناسی کشور.
- محمدی، ک. و میثاقی، ف. ۱۳۸۲. "شبکه‌های عصبی مصنوعی". انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.
- مهدی زاده، م. ۱۳۸۳. "شبکه‌های عصبی مصنوعی و کاربرد آن در مهندسی عمران". انتشارات عبادی.

- Abraham, A., Sajith, N and Joseph, B, 2001. Will We Have a Wet Summer? Long-term Rain Forecasting Using Soft Computing Models, [Modelling and Simulation](#), Publication of the Society for Computer Simulation International, Prague, Czech Republic, pp. 1044-1048

- Alexandra p. Jacquin, Asaad Y. Shamseldin, 2006, "Development of rainfall-runoff models using takagi-sugeno fuzzy Inference System". *Journal of Hydrology*, vol. 329, pp.154-173.
- Cavazos, T., 2000, using self-organizing maps to investigate extreme climate event: an application to wintertime precipitation in the Balkans, *journal of Climate*, Vol. 13, and PP. 1718-1732.
- Choi, L. 1999. an application hydroinformatic tools for rainfall forecasting , Thesis (PhD). University of New South Wales (Australia), p. 752.
- Halid, H and Ridd, P, 2002," modeling inter-annual variation of a local rainfall data using a fuzzy logic technique, proceeding of international forum on climate prediction, James cook university, Australia. First Proof pages, pp: 166-170.
- Haltiner, G. J and Williams, R. T, 1980, "Numerical prediction and dynamic meteorology", 2nd Edition. New York, Wiley & Sons, pp. 447.
- Maria, C. Haroldo, F and Ferreira, N., 2005, Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to the São Paulo region, [Journal of Hydrology, Volume 301, Issues 1-4](#), PP.146-162.
- pongracz, R and Bartholy, J, 2006, "Regional Effects of ENSO in Central/Eastern Europe", *journal of advances in Geosciences*. vol 6, pp: 133-137.
- Vasquezze, D., 2001," The Association between enso and winter atmospheric circulation and temperature in the North Atlantic Region", *Journal of Climate*, Vole 14, pp. 3408-3420.

