



Results Compression of Mamdani Fuzzy  
Interface System and Artificial Neural  
Networks in the Seasonal Rainfall Prediction,  
Case Study: Khorasan Region

Gh. A. Fallah-Ghalhari<sup>1\*</sup>, M. Mousavi Baygi<sup>2</sup>  
and M. Habibi Nokhandan<sup>3</sup>

Abstract

Seasonal rainfall forecasts can effectively be used for resources planning and management - e.g., reservoir operations, agricultural practices, and flood emergency responses. Effective planning and management of water resources in the short term requires a general view of the upcoming season. In the long term, this needs realistic projections of scenarios for future variability and changes. In this paper, 33 years of rainfall data in the Khorasan region, northeastern Iran was analyzed. The study area is situated at 31°-38°N, 74°- 80°E. This synoptical data was trained by the Mamdani fuzzy Inference system and the artificial neural network. For performance evaluation, predicted outputs were compared with the actual rainfall data. First, synoptical relationships were investigated i.e. Sea Level Pressure (SLP), Sea Surface Temperature (SST), Sea Surface Pressure Difference (ΔSLP), Sea Surface Temperature (ΔSST) and Air Temperature at 850 hpa, Geopotential Height at 500 hpa, and Relative Humidity at 300 hpa. Models were then calibrated for the period of 1970 to 1992. Finally, the rainfall is predicted. Simulation results revealed that the Mamdani fuzzy Inference system and artificial neural networks are both promising and efficient. The root mean square for Mamdani fuzzy Inference system and the artificial neural network were 52 and 41 millimeters, respectively.

**Keywords:** Rainfall Prediction, Synoptical Patterns, Mamdani Fuzzy Inference System, Artificial Neural Network.

مقایسه نتایج به دست آمده از کاربرد سیستم استنباط  
فازی ممدانی و شبکه‌های عصبی مصنوعی  
در پیش‌بینی بارش فصلی، مطالعه موردی: منطقه  
خراسان

غلامعباس فلاح قاله‌ری<sup>۱\*</sup>، سید محمد موسوی بایگی<sup>۲</sup> و  
مجید حبیبی نوخندان<sup>۳</sup>

چکیده

در این مقاله با استفاده از سیستم استنباط فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌بینی بارش در بازه زمانی دسامبر تا می در منطقه خراسان بزرگ شامل سه استان خراسان رضوی، خراسان شمالی و خراسان جنوبی ارائه شده است. این روش شامل سه گام می‌باشد. در گام اول، 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، تأثیرپذیری بارندگی منطقه شمال شرق ایران از الگوهای سینوپتیکی مورد توجه قرار گرفته است. در گام دوم، مدل در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۳ آموزش داده شده است و در گام سوم، پیش‌بینی بارش در دوره ۲۰۰۲-۱۹۹۳ انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد سیستم استنباط فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌تواند بارش را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کنند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که ریشه میانگین مربعات خطا برای سیستم استنباط فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی به ترتیب ۵۲ و ۴۱ میلی‌متر می‌باشد. بنابراین شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی بارش موفق‌تر از مدل فازی بوده است.

**کلمات کلیدی:** پیش‌بینی بارندگی، الگوهای سینوپتیکی، سیستم استنباط

فازی ممدانی، شبکه‌های عصبی مصنوعی

تاریخ دریافت مقاله: ۲۱ بهمن ۱۳۸۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۷ خرداد ۱۳۸۸

1- Ph.D candidate in Climatology, Isfahan University and Member of Applied Climatology Group in Climatological Research Institute (CRI), I.R of Iran, Email: ab\_fa789@yahoo.com

2- Assistant professor of Water Engineering Department, faculty of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, Email: mousavi500@yahoo.com

3- Assistant professor of Climatologically Research Institute (CRI), Mashhad, Iran, Email: habiby\_2001@yahoo.com

\*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان و عضو گروه اقلیم‌شناسی کاربردی پژوهشکده اقلیم‌شناسی

۲- عضو هیات علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- عضو هیات علمی پژوهشکده اقلیم‌شناسی و رییس پژوهشکده اقلیم‌شناسی و مرکز ملی اقلیم

\*- نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

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

Pongracz and Bartholy (2006) بارندگی ماهیانه را در مجارستان با استفاده از تیپ‌های الگوی چرخش اتمسفری و شاخص "انسو" مدل‌سازی کردند. بدین منظور از تکنیک مدل‌سازی مبتنی بر قوانین فازی برای ایجاد ارتباط بین ورودی‌ها و بارندگی استفاده کردند. نتایج این مطالعه 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 تاخیری فراهم می‌کند. Halid and Ridd (2002) از تکنیک منطق فازی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش محلی ماه ژانویه در فرودگاه هازانودین<sup>۱</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. کارآموز 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 می‌باشد. Maria et al. (2005) 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 نشان دهنده کارایی هر دو روش در پیش‌بینی بارش است. Cavazos (2000) از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی بارش روزانه استفاده کرده است. متغیرهای مورد استفاده عبارت است از: ضخامت بین سطوح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و رطوبت سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال. نتایج کارایی شبکه‌های عصبی را در پیش‌بینی بارش نشان می‌دهد. Choi (1998) از شبکه‌های عصبی و سیستم‌های اطلاعات

جغرافیایی برای پیش‌بینی بارش استفاده کرده است. نتایج نشان‌دهنده کارایی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی بارش است. میثاقی (۱۳۸۲) از الگوریتم ترکیبی زمین آمار و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای استخراج توزیع مکانی بارندگی استفاده نموده است. نتایج او کارایی شبکه‌های عصبی و الگوریتم زمین‌آمار را در به دست آوردن الگوی توزیع مکانی بارش نشان می‌دهد. ناصری (۱۳۸۲) از شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک برای پیش‌بینی بارندگی استفاده نموده است. نتایج نشان دهنده موفقیت شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک در پیش‌بینی بارندگی در دامنه زمان و مکان است. احمدی (۱۳۸۲) از شبکه‌های عصبی مصنوعی مبتنی بر مدل خود سازمانده کوهون برای طبقه‌بندی تغییرات بارش بوشهر استفاده نموده است. نتایج کارایی این روش را در طبقه بندی تغییرات بارش منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. محمدزاده (۱۳۸۰) از شبکه‌های عصبی فازی برگشتی به منظور پیش‌بینی پارامترهای مهم هواشناسی استفاده نموده است. نتایج او موفقیت شبکه‌های عصبی فازی را در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی نشان می‌دهد.

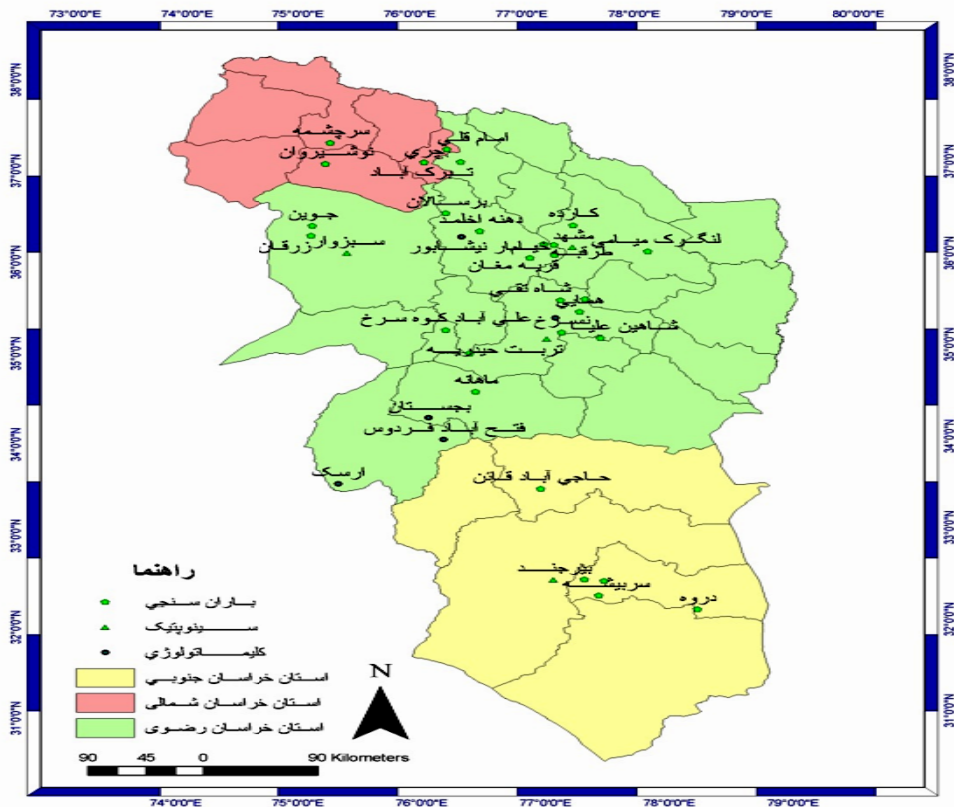
## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق خراسان بزرگ که شامل سه استان خراسان رضوی، خراسان شمالی و خراسان جنوبی است، می‌باشد. 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 سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی می‌باشد که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است. از این تعداد ۴ ایستگاه همدید، ۵ ایستگاه اقلیم‌شناسی و بقیه باران‌سنجی می‌باشند. شکل ۱ محدوده مورد مطالعه و نام ایستگاه‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد.

### ۲-۲- محاسبه بارش متوسط منطقه‌ای

در این تحقیق برای به دست آوردن بارش متوسط منطقه‌ای از مدل رقومی ارتفاعی<sup>۲</sup> استفاده شده است. جدول ۱ مشخصات آماری سری زمانی میانگین بارش به دست آمده به روش مدل رقومی ارتفاعی برای منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه محدوده مورد مطالعه به همراه ایستگاه‌های منتخب

مناطق مختلفی از دریاها که بر آب و هوای ایران تأثیر گذارند، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. این نقاط شامل مناطقی 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 ۲ نشان داده شده است. در انتخاب این مناطق تأثیر پذیری بارش کشور از الگوهای همدیدی که توسط محققینی نظیر کارآموز و همکاران (۱۳۸۵)، علیجانی (۱۳۸۱)، موسوی بایگی و همکاران (۱۳۸۷)، فلاح قاهری و همکاران (۱۳۸۶)، قبلا بررسی گردیده است، مورد توجه قرار گرفته است. شکل ۲ منابع عمده رطوبت بارندگی‌های ایران را در فصول زمستان و بهار نشان می‌دهد (علیجانی، ۱۳۸۱).

### ۳-۲- داده‌های مورد نیاز و سیگنال‌های هواشناسی مورد استفاده در تحقیق

سیگنال‌های مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: دمای سطح دریا، فشار سطح دریا، اختلاف فشار سطح دریا، اختلاف دما بین سطح دریا و سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال و دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال. داده‌های مورد نیاز این سیگنال‌ها، از سایت نوا ۳ در شبکه‌هایی با قدرت تفکیک  $2/5 \times 2/5$  درجه در فاصله بین سال‌های ۲۰۰۲-۱۹۷۰ میلادی استخراج گردیده است. داده‌های مورد نیاز بارش از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است.

### ۴-۲- نحوه انتخاب سیگنال‌های هواشناسی مورد استفاده در تحقیق

به منظور بررسی ارتباط تغییرات پارامترهای هواشناسی فوق‌الذکر با بارش در محدوده مورد مطالعه، نقاطی تحت عنوان نقاط شاخص در

جدول ۱- سری زمانی میانگین بارش محاسبه شده به روش مدل رقومی ارتفاعی

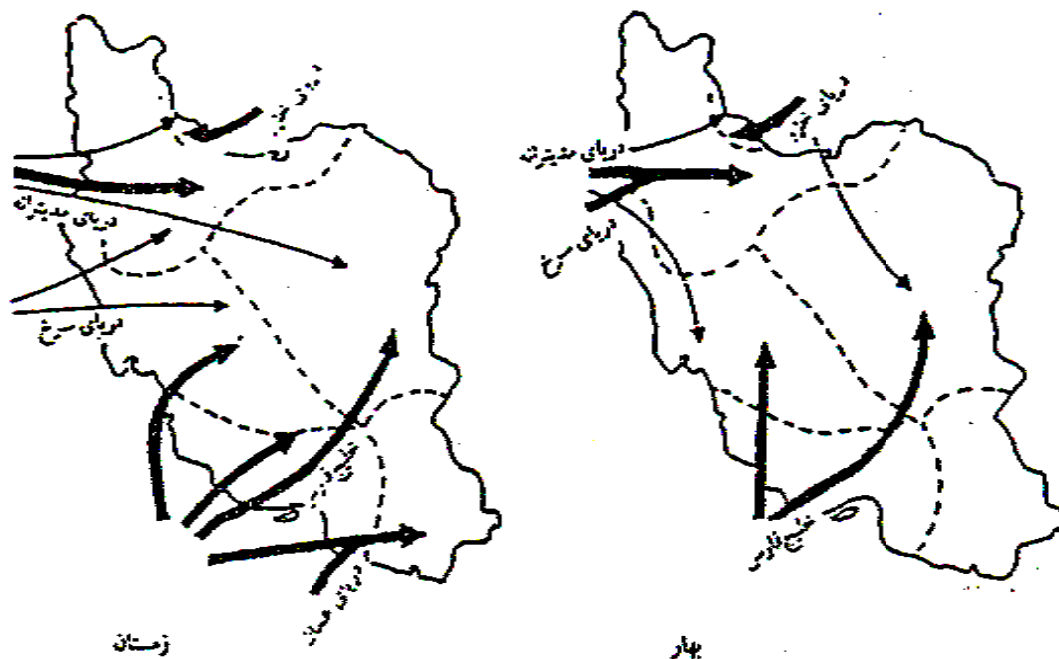
سال	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار
۱۹۷۰	۱۳۹	۲۶۱	۷۶	۲۷
۱۹۷۱	۱۷۲	۲۶۸	۱۲۳	۲۱
۱۹۷۲	۲۹۷	۳۳۳	۲۷۸	۸
۱۹۷۳	۲۰۱	۲۴۱	۱۸۰	۹
۱۹۷۴	۲۷۴	۴۱۳	۲۰۲	۳۰
۱۹۷۵	۱۷۱	۳۰۹	۱۰۰	۳۰
۱۹۷۶	۲۷۳	۴۰۷	۲۰۴	۲۹
۱۹۷۷	۱۸۶	۲۲۸	۱۶۵	۹
۱۹۷۸	۲۲۹	۳۰۱	۱۹۱	۱۶
۱۹۷۹	۲۵۱	۳۴۸	۲۰۰	۲۱
۱۹۸۰	۱۹۷	۲۲۵	۱۸۲	۶
۱۹۸۱	۲۵۹	۳۶۸	۲۰۳	۲۴
۱۹۸۲	۲۳۸	۳۷۶	۱۶۷	۳۰
۱۹۸۳	۲۲۱	۳۰۷	۱۷۷	۱۹
۱۹۸۴	۱۵۱	۲۲۰	۱۱۶	۱۵
۱۹۸۵	۱۸۳	۲۱۹	۱۶۴	۸
۱۹۸۶	۲۳۱	۲۵۲	۲۲۰	۵
۱۹۸۷	۱۹۲	۲۳۲	۱۷۱	۹
۱۹۸۸	۲۳۳	۳۵۲	۱۷۲	۲۶
۱۹۸۹	۱۶۹	۲۶۸	۱۱۸	۲۲
۱۹۹۰	۱۶۵	۲۹۷	۹۷	۲۹
۱۹۹۱	۲۷۳	۴۳۲	۱۹۱	۳۴
۱۹۹۲	۳۱۱	۵۷۷	۱۷۴	۵۸
۱۹۹۳	۲۲۸	۳۵۶	۱۶۱	۲۸
۱۹۹۴	۱۵۸	۲۶۷	۱۰۲	۲۴
۱۹۹۵	۱۸۱	۳۷۴	۸۱	۴۲
۱۹۹۶	۲۱۰	۴۰۹	۱۰۸	۴۳
۱۹۹۷	۱۸۲	۳۰۱	۱۲۱	۲۶
۱۹۹۸	۲۴۸	۴۰۸	۱۶۵	۳۵
۱۹۹۹	۱۹۰	۳۱۲	۱۲۷	۲۷
۲۰۰۰	۱۰۶	۱۸۷	۶۵	۱۷
۲۰۰۱	۱۱۵	۱۶۱	۹۱	۱۰
۲۰۰۲	۱۹۷	۳۳۷	۱۲۵	۳۰

جدول ۲- نام و مختصات نقاط مورد استفاده در تحلیل ارتباط سیگنال‌ها با بارش

نام	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
خلیج عدن	۴۵	۱۲.۵
جنوب خلیج فارس	۵۵	۲۵
شمال خلیج فارس	۵۰	۲۷.۵
جنوب دریای سرخ	۴۱	۱۵
شمال دریای سرخ	۳۵	۲۵
دریای آدریاتیک	۱۵	۴۲.۵
دریاچه آرال	۶۰	۴۵
شمال دریای خزر	۵۰	۴۵
دریای عمان	۶۵	۲۲.۵
غرب دریای مدیترانه	۵	۴۰
دریای عرب	۶۵	۲۰
شبکه ایسلند	۱۰-۶۰	۵۰-۷۰
شبکه سبیری	۹۰-۱۳۰	۵۰-۶۰

#### ۲-۵- متدولوژی مورد استفاده در تحلیل پارامترهای هواشناسی سطح زمین و سطوح فوقانی جو

متدولوژی مورد استفاده در تحلیل پارامترهای هواشناسی جو بالا، استفاده از روش تحلیل عاملی است. روش تحلیل عاملی از جمله روش‌های آماری می‌باشد که برای کاهش تعداد متغیرها به وجود آمده است. در این روش متغیرهای اولیه بر اساس ضرائب همبستگی بین آن‌ها به متغیرهای غیروابسته تبدیل می‌شوند. این متغیرهای غیروابسته عامل<sup>۴</sup> نامیده می‌شوند. اندازه هر کدام از مشاهدات در عامل‌های جدید با عنوان نمرات عاملی محاسبه می‌شود. در نتیجه به جای اندازه‌های واقعی مشاهدات، نمرات آن‌ها در مؤلفه‌های جدید به عنوان معیارهای جدید برای خوشه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند. امتیاز این روش در این است که ضمن اینکه تعداد متغیرها را کاهش می‌دهد، مقدار اولیه واریانس موجود در داده‌های اصلی را حفظ می‌کند (علیچانی، ۱۳۸۱). در واقع در این روش هر متغیر، با یک ضریب همبستگی با یک فاکتور ارتباط خواهد داشت و در نهایت ضرائب همبستگی بالای ۰/۶ ملاک تعلق متغیر مربوطه به هر فاکتور انتخاب می‌گردد. منظور از متغیر، مقادیر سری زمانی داده‌ها در هر کدام از گریدهای شبکه می‌باشد. بنابراین، هر عامل نیز متغیرهایی را شامل می‌گردد که مقدار همبستگی آن‌ها با عامل بیش از ۰/۶ و مقدار واریانس توجیه شده توسط آن‌ها بیش از ۵ درصد باشد. در این تحقیق برای خوشه بندی اقلیمی و نهایتاً تحلیل نحوه ارتباط متغیرهای اقلیمی سطوح فوقانی جو با بارش منطقه مورد مطالعه، از روش تحلیل عاملی استفاده گردیده است.



شکل ۲- منابع عمده رطوبت بارندگی‌های ایران در فصول بهار و زمستان (علیجانی، ۱۳۸۱).

فارس، اختلاف فشار استاندارد شده بین جنوب خلیج فارس و جنوب دریای سرخ، دمای سطح دریای استاندارد شده شبکه سیبری، اختلاف دمای استاندارد شده بین سطح دریا و سطح ۱۰۰۰ میلی باری شبکه ایسلند و نمرات عاملی رطوبت نسبی در منطقه شاخص فاکتور ۱ در شبکه‌های ۵×۵ درجه (جدول ۳).

## ۲-۶- کاربرد سیستم استنتاج فازی ممدانی در پیش‌بینی بارش فصلی

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 (Abraham- 2001).

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

لازم به ذکر است برای تحلیل نحوه ارتباط متغیرهای اقلیمی سطوح فوقانی جو با بارش منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش تحلیل عاملی، از دو شبکه ۵×۵ و ۱۰×۱۰ درجه استفاده گردیده است. جدول ۲ مناطق شناسایی شده رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال در شبکه ۵×۵ درجه در بازه زمانی ژوئن تا نوامبر را به روش تحلیل عاملی نشان می‌دهد. همانطور که در جدول ۳ دیده می‌شود، محدوده‌ای که متغیرهای اقلیمی سطوح فوقانی جو با روش تحلیل عاملی بررسی شده است، در محدوده ۷۰-۰ درجه طول شرقی و ۴۵-۱۵ درجه عرض شمالی می‌باشد. همچنین برای به دست آوردن سیگنال‌های اقلیمی 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 متوسط منطقه همبستگی معنی‌دار نشان داده‌اند، به عنوان پیش‌بینی کننده در ساختار مدل‌ها استفاده گردیده‌اند. 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 آدریاتیک 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

جدول ۳- مناطق شناسایی شده رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال در شبکه ۵×۵ درجه

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	

ساختار عمومی قوانین تدوین شده به صورت زیر می‌باشد:  
 Rule m: IF(x1 is A1,m) and (X2 is A2,m) and (۱)  
 .....And (Xk is Ak,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 صفر عدم عضویت و یک 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).

مراحل زیر برای تدوین مدل پیش‌بینی بارش مورد توجه قرار گرفته است:

۱- تقسیم‌بندی ورودی‌ها و خروجی‌ها به بازه‌های فازی ۲- ساخت قوانین فازی بر اساس اطلاعات موجود ۳- استفاده از قوانین فازی برای پیش‌بینی. توابع عضویت فازی به شکل دوزنقه‌ای تدوین شدند. برای تدوین توابع عضویت فازی بارش، از شاخص دهک‌ها استفاده شده است. این شاخص برای جلوگیری از نواقص موجود در روش

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. منطق فازی بر مبنای تئوری مجموعه‌های فازی می‌باشد که بین طبقات مختلفی از موضوعات، ارتباطی با رمز نرم 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 عملگرهای (و)؛ (یا) در بخش مقدمه، (۳) استنتاج از مقدمه به نتیجه، (۴) ترکیب نتایج قوانین، (۵) غیر فازی کردن (حسامی رستمی، ۱۳۸۴).

از نظر عملی، معمولاً از دانستنی‌های تجربی برای تعیین ساختمان (ورودی‌های مربوطه، تعداد  $Mf$  های هر ورودی، تعداد قوانین، نوع مدل فازی و ...) و از داده‌های عددی جهت شناسایی پارامترها (تعیین مقادیر پارامترهایی که بهترین عملکرد را تولید می‌کنند) استفاده می‌شود (فاتحی مرج، ۱۳۷۹).

## ۲-۷- پیش‌بینی بارش با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی

پیش‌بینی بلندمدت بارش در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، خصوصاً در مناطق با اقلیم خشک و نیمه خشک، از اهمیت بالایی برخوردار است. سیستم‌های استنتاج فازی، مدل‌های غیرخطی هستند که رابطه ورودی - خروجی یک سیستم واقعی را با استفاده از قوانین اگر - آنگاه فازی توصیف می‌کنند (Jacquin and Shamseldin, 2006).

بعد از انجام تحلیل حساسیت برای تقسیم بندی فازی بارش و سیگنال‌های ذکر شده در فوق، نواحی فازی به پنج ناحیه خیلی کم، کم، نرمال، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شده‌اند. صورت عمومی توابع عضویت فازی تدوین شده به صورت زیر می‌باشد:

شکل ۵ شماتیک دیاگرام مدل فازی تدوین شده برای پیش‌بینی بارش را نشان می‌دهد.

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

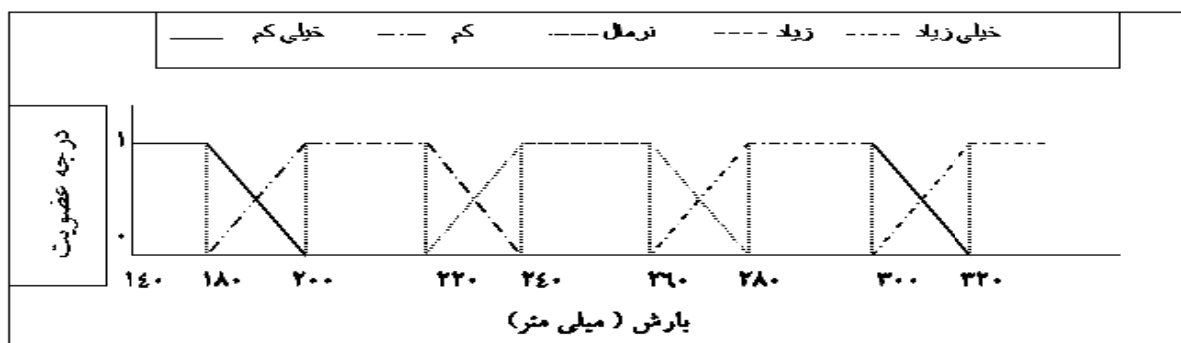
- ۱- دوره کالیبراسیون قوانین که در این تحقیق دوره ۱۹۹۲-۱۹۷۰ برای ساخت قوانین در نظر گرفته شده است.
- ۲- دوره پیش‌بینی که در این تحقیق دوره ۲۰۰۲-۱۹۹۳ برای پیش‌بینی در نظر گرفته شده است به منظور پیش‌بینی بارش در بازه زمانی دسامبر تا می (آذر تا اردیبهشت)، قوانین فازی بر مبنای اطلاعات سال‌های ۱۹۷۰-۱۹۹۲ ساخته شدند و در مرحله بعد، برای سال‌های ۲۰۰۲-۱۹۹۳ پیش‌بینی انجام شد.

درصد نرمال تهیه شده است. در این تحقیق برای تدوین توابع عضویت فازی بر اساس شاخص دهک‌ها از نرم افزار DIP<sup>۵</sup> استفاده گردیده است.

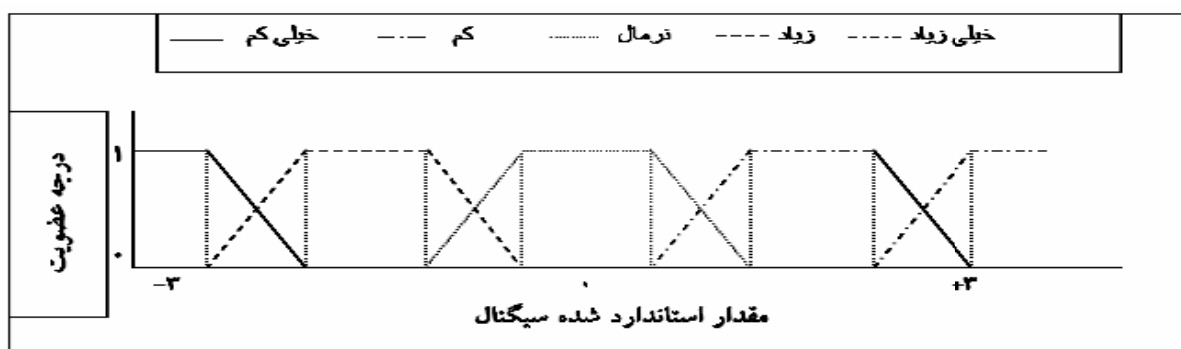
جدول ۴ بازه‌های فازی منتخب برای بارش را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است این تقسیم بندی کلی، در مراحل بعدی بر اساس تحلیل حساسیت نتایج مدل فازی مورد بازنگری قرار گرفته است و ساختار نهایی توابع عضویت فازی تعیین شده است.

جدول ۴- بازه‌های بارش منتخب بر اساس دسته بندی شاخص دهک‌ها

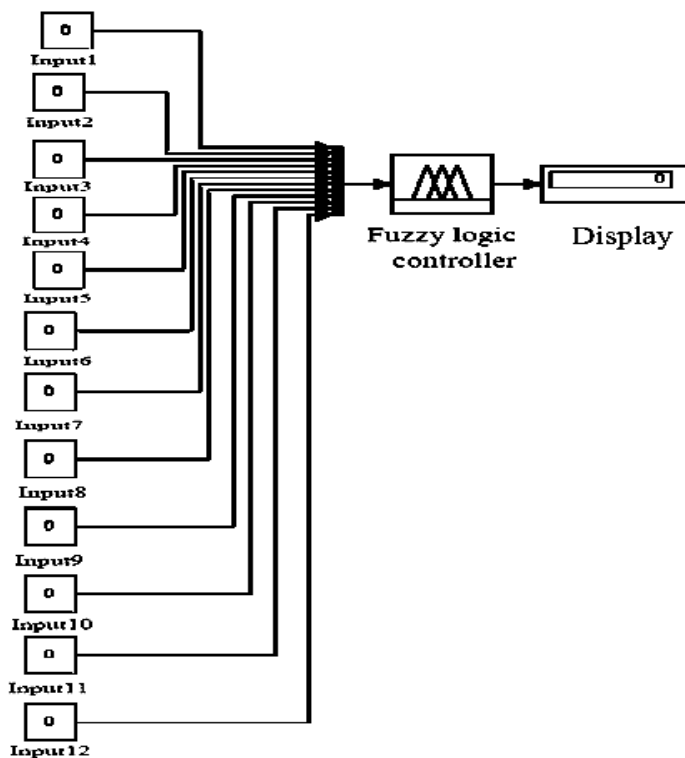
دهک‌ها	طبقه بندی شدت خشکسالی	حدود دسته‌ها
دهک ۱-۲	خیلی کمتر از نرمال	۱۰۶-۱۶۴
دهک ۳-۴	کمتر از نرمال	۱۶۵-۱۹۶
دهک ۵-۶	نرمال	۱۹۷-۲۲۰
دهک ۷-۸	بیشتر از نرمال	۲۲۱-۲۵۰
دهک ۹-۱۰	خیلی بیشتر از نرمال	۲۵۱-۳۱۱



شکل ۳- صورت کلی توابع عضویت فازی برای بارش



شکل ۴- صورت کلی توابع عضویت فازی برای سیگنال‌های هواشناسی مورد استفاده



شکل ۵- شماتیک دیاگرام مدل فازی تدوین شده برای پیش‌بینی بارش

خروجی‌های نرون‌های دیگر باشند)، به کار برده می‌شوند. هر ورودی در وزن متناظرش ضرب می‌شود و بعد همه ورودی‌های وزن دار شده، به منظور تعیین سطح فعالیت نرون، با هم جمع می‌شوند (مهدی‌زاده، ۱۳۸۳). شکل ۶ مدل یک نرون چند ورودی را نشان می‌دهد.

در این شکل تعدادی ورودی  $x_1, x_2, \dots, x_k$  وارد نرون می‌شوند که بطور خلاصه با بردار  $x$  مشخص می‌شوند. هر یک از ورودی‌های نرون به یکی از سیگنال‌های ورودی متعلق است. هر سیگنال در یک وزن ارتباطی متناظر متشکل از  $w_1, w_2, \dots, w_k$  که به طور خلاصه با بردار  $w$  نشان داده می‌شود، ضرب می‌گردد. مقادیر حاصل در داخل نرون جمع شده و مقدار خروجی محاسبه می‌گردد.

$$NET = X \cdot W \quad (2)$$

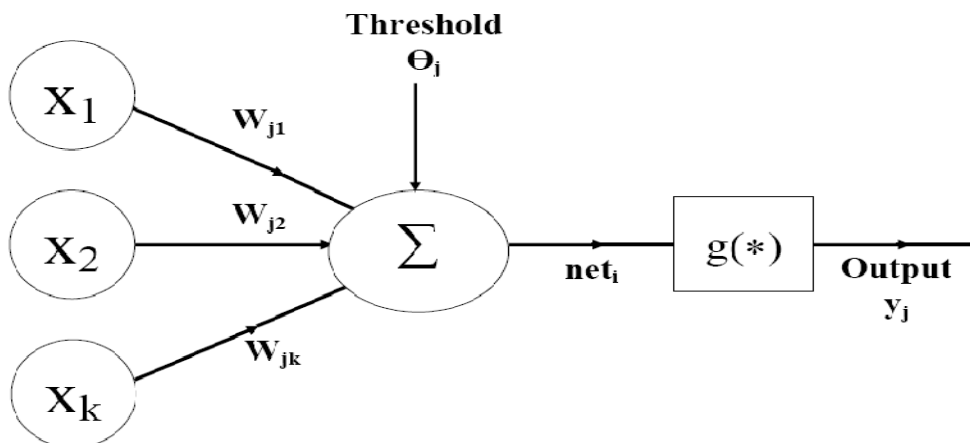
$$NET = x_1 \cdot w_1 + x_2 \cdot w_2 + \dots + x_n \cdot w_n = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i \quad (3)$$

مجموع حاصل اغلب توسط یک تابع - که به تابع فعالیت موسوم است - ارزیابی شده و خروجی نرون مشخص می‌شود.

## ۲-۸- پیش‌بینی بارش با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی، برای اولین بار در سال ۱۹۴۳ توسط مک‌کولاک و پیتس<sup>۶</sup> معرفی شد. بعدها با ظهور الگوریتم آموزش پس انتشار خطا<sup>۷</sup> برای شبکه‌های پیشخور<sup>۸</sup> در سال ۱۹۸۶ توسط راملهارت و همکاران<sup>۹</sup> استفاده از شبکه عصبی وارد مرحله تازه‌ای گردید (مهدی‌زاده، ۱۳۸۳). شبکه‌های عصبی مصنوعی همانند شبکه عصبی طبیعی، از اجزائی به نام سلول عصبی تشکیل شده‌اند. همانطوریکه 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. بدین 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 (مهدی‌زاده، ۱۳۸۳). در مدل‌سازی ریاضی نرون، مجموعه‌ای از داده‌ها به عنوان ورودی نرون (که شاید





شکل ۶- مدل ریاضی یک نرون چند ورودی

همان طور که ملاحظه می‌شود، مدل عمدتاً قادر به پیش‌بینی سال‌های بسیار کم بارش نبوده است. علت این امر از آنجا ناشی می‌شود که این سال‌ها، در دوره کالیبراسیون، مدل پیش‌بینی تکرار نشده است و به همین دلیل، قوانین فازی تدوین شده به این رخدادها را پوشش نداده است و در صورت افزایش سالهای مورد استفاده در دوره کالیبراسیون مدل، انتظار می‌رود دقت مدل افزایش یابد. لازم به یادآوری است که کمترین مقدار بارش در سری زمانی بارندگی در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ بوده است. شکل (۷) نمودار بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد.

جدول ۵- پیش‌بینی بارش محدوده مورد مطالعه با مدل فازی ممدانی

سال	بارش ثبت شده	بارش پیش‌بینی شده
۱۹۹۳	۲۲۸	۱۸۵
۱۹۹۴	۱۵۸	۲۱۰
۱۹۹۵	۱۸۱	۲۱۰
۱۹۹۶	۲۱۰	۲۱۰
۱۹۹۷	۱۸۲	۱۸۵.۲
۱۹۹۸	۲۴۸	۲۱۰
۱۹۹۹	۱۹۰	۲۱۰
۲۰۰۰	۱۰۶	۲۱۰
۲۰۰۱	۱۱۵	۲۱۰
۲۰۰۲	۱۹۷	۲۱۰

ریشه میانگین مربعات خطا برای مدل فازی ۵۲ میلی‌متر به دست آمده است.

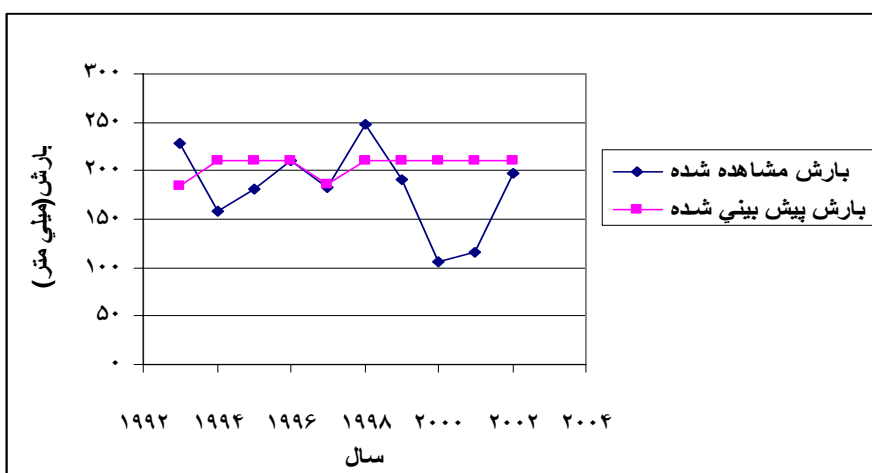
$$OUT = g(NET) \quad (4)$$

g تابع فعالیت می‌باشد. نحوه و شکل اتصال سلول‌های عصبی در لایه‌های مختلف، باعث ایجاد ساختارهای مختلفی در شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌شود (مهدی‌زاده، ۱۳۸۳). در این مقاله، روشی برای پیش‌بینی بارش با استفاده از سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی به عنوان پیش‌بینی‌کننده (Predictor) و شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان ابزار شبیه‌سازی، مورد استفاده قرار گرفته است. روش ارائه شده از دو گام تشکیل شده است. در گام اول، ارتباط بین سیگنال‌های اقلیمی ذکر شده در بخش قبل با بارش منطقه مورد مطالعه تعیین می‌گردد. در گام دوم، مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی میزان بارش بر اساس سیگنال‌های انتخابی در گام اول توسعه داده شده است.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- نتایج مربوط به مدل فازی

جدول ۵ مقادیر بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که این نتایج برای سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۲ میلادی که دوره صحت‌سنجی مدل بوده، ارائه شده است. لازم به یادآوری است که مقادیر بارش پیش‌بینی شده در ستون سوم، مقداری است که پس از دی‌فازی شدن ۱۰ خروجی مدل به وسیله غیر فازی ساز مرکز ناحیه به دست آمده است. بنابراین این مقادیر مرکز ثقل مجموعه فازی خروجی را نشان می‌دهند. بررسی نتایج مدل نشان می‌دهد که به غیر از سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱، اختلاف بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده در محدوده قابل قبولی قرار دارد و مدل قادر بوده است در ۷۰ درصد سال‌ها بارش را با خطای قابل قبولی پیش‌بینی کند.



شکل ۷- مقایسه بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده با مدل فازی ممدانی

شبکه‌های عصبی در اکثر سال‌های مورد مطالعه رفتار سیستم را به خوبی تشخیص داده است.

### ۳-۲- نتایج مربوط به مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی

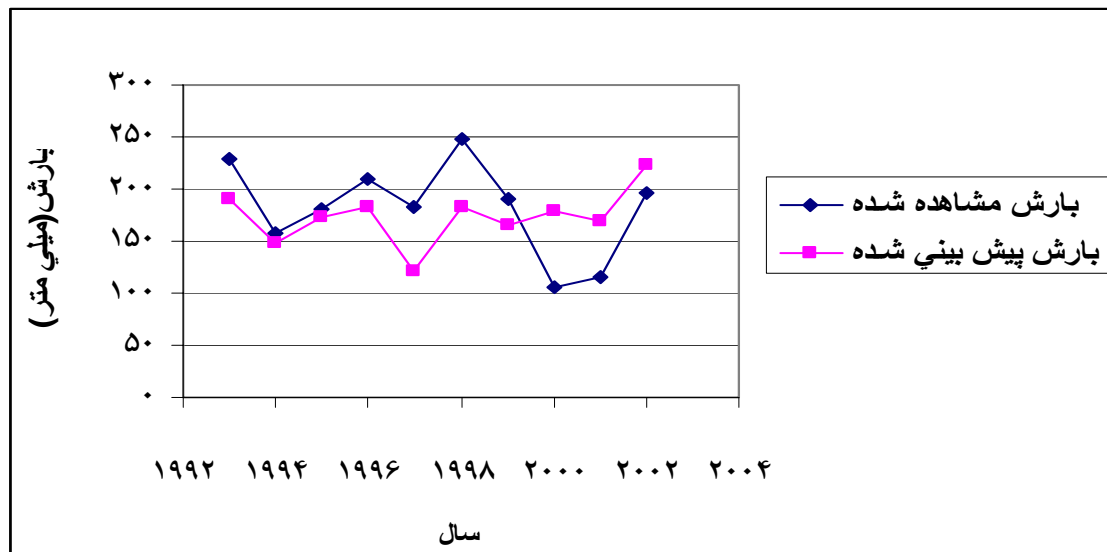
جدول ۶ مقادیر بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که این نتایج برای سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۲ میلادی که دوره صحت سنجی مدل بوده، ارائه شده است. در اینجا نیز بررسی نتایج مدل نشان می‌دهد به غیر از سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱، اختلاف بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده در محدوده قابل قبولی قرار دارد و مدل قادر بوده است در ۷۰ درصد سال‌ها بارش را با خطای قابل قبولی پیش‌بینی کند. همانطور که مشاهده می‌شود، دقت مدل در این مورد نسبت به کاربرد مدل فازی ممدانی افزایش یافته است. به عنوان مثال، با مقایسه اعداد مربوط به پیش‌بینی مدل برای سال‌های ۱۹۹۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ مشاهده می‌شود که پیش‌بینی مدل شبکه‌های عصبی مقادیر خیلی بهتری را نسبت به مدل فازی نشان می‌دهد و از دقت بالاتری برخوردار است.

جدول ۶- پیش‌بینی بارش با مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی

سال	بارش ثبت شده	بارش پیش‌بینی شده
۱۹۹۳	۲۲۸	۱۹۱
۱۹۹۴	۱۵۸	۱۴۸
۱۹۹۵	۱۸۱	۱۷۴
۱۹۹۶	۲۱۰	۱۸۳
۱۹۹۷	۱۸۲	۱۲۲
۱۹۹۸	۲۴۸	۱۸۳
۱۹۹۹	۱۹۰	۱۶۶
۲۰۰۰	۱۰۶	۱۷۹
۲۰۰۱	۱۱۵	۱۶۹
۲۰۰۲	۱۹۷	۲۲۴

مثلا با مراجعه به جدول تقسیم بندی بارش بر اساس شاخص دهک‌ها (جدول ۳) متوجه می‌شویم که بارندگی سال آبی بعد با در نظر گرفتن پیش‌بینی مدل در محدوده کمتر از نرمال قرار دارد و بایستی تمهیدات لازم در این زمینه اندیشیده شود. لازم به ذکر است این موضوع نقش بسیار تعیین کننده‌ای در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب شرب و کشاورزی ایفا می‌کند و می‌توان با در نظر گرفتن این پیش‌بینی‌ها، سیاست‌های آینده را در جهت بهینه نمودن صرف هزینه‌ها و امکانات بهره وری حداکثر طرح ریزی کنند. شکل (۸) نمودار بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده با مدل شبکه‌های عصبی را نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است در مدل فازی ممدانی، خروجی مدل یک مجموعه فازی است. لذا برای تبدیل آن به یک عدد فازی، بایستی خروجی مدل، غیرفازی شود. در این مقاله برای تبدیل مجموعه فازی خروجی به یک عدد فازی، از روش غیرفازی ساز مرکز ناحیه استفاده شده است. در مدل‌های دیگر فازی، نظیر مدل فازی سوگنو، خروجی مدل یک تابع خطی از متغیرهای ورودی است که برای حصول خروجی نهایی مدل، از میانگین وزنی آن‌ها استفاده می‌شود. ریشه میانگین مربعات خطا برای مدل شبکه‌های عصبی ۴۱ میلی‌متر به دست آمده است که از دقت خوبی برخوردار است. نکته جالب توجه دیگر این است که با مراجعه به جدول متوجه می‌شویم که مدل



شکل ۸- مقایسه بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده با مدل شبکه‌های عصبی

نموده است. در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ کم بارشی شدیدی که در دوره کالیبراسیون مدل تکرار نشده، واقع شده است و به همین دلیل قوانین فازی تدوین شده به این نوع رخدادها را پوشش نداده است. جدول ۸ هم نتایج مدل شبکه‌های عصبی را برای منطقه جنوب غرب کشور نشان می‌دهد.

برای تکمیل این بخش، نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج به دست آمده توسط کارآموز (۱۳۸۴) در منطقه جنوب غرب کشور مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد.

جدول ۷ نتایج پیش‌بینی مدل فازی تدوین شده برای منطقه جنوب غرب کشور توسط کارآموز (۱۳۸۴) را نشان می‌دهد.

جدول ۸- پیش‌بینی بارش جنوب غرب کشور با استفاده از شبکه‌های عصبی

سال	بارش پیش‌بینی شده	بارش ثبت شده
۱۹۹۳	۳۶۹	۴۲۰
۱۹۹۴	۱۷۹	۱۵۴
۱۹۹۵	۲۴۲	۲۸۴
۱۹۹۶	۳۵۲	۴۷۰
۱۹۹۷	۳۹۹	۲۴۷
۱۹۹۸	۳۳۰	۳۷۴
۱۹۹۹	۲۶۸	۳۳۶
۲۰۰۰	۳۶۸	۱۴۱
۲۰۰۱	۱۸۲	۱۰۱
۲۰۰۲	۳۲۰	۳۰۰

بررسی نتایج مدل نشان می‌دهد متوسط درصد خطای پیش‌بینی در مجموعه کالیبراسیون و صحت سنجی در منطقه جنوب غرب به ترتیب ۳۵/۹ و ۴۰/۹ می‌باشد. همچنین نتایج مدل نشان می‌دهد درصد خطای پیش‌بینی خشکسالی، ترسالی و پیش‌بینی مقادیر حدی در منطقه جنوب غرب به ترتیب ۳۳، ۲۹ و ۳۶ درصد می‌باشد. همچنین در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ کم بارشی شدیدی که در دوره

جدول ۷- پیش‌بینی بارش محدوده جنوب غرب با استفاده از روش فازی

سال	محدوده بارش پیش‌بینی شده	
	حد بالا	حد پایین
۱۹۹۱	۳۵۰	۲۵۰
۱۹۹۲	۳۷۱	۲۷۱
۱۹۹۳	۳۷۱	۲۷۱
۱۹۹۴	۳۶۰	۲۶۰
۱۹۹۵	۳۳۷	۲۳۸
۱۹۹۶	۴۰۰	۳۰۰
۱۹۹۷	۳۳۳	۲۳۳
۱۹۹۸	۳۸۰	۲۸۰
۱۹۹۹	۳۷۱	۲۷۱
۲۰۰۰	۳۶۰	۲۶۱
۲۰۰۱	۳۵۴	۲۵۳

بررسی نتایج مدل نشان می‌دهد که مدل در ۵۵ درصد سال‌ها در حوزه جنوب غرب محدوده بارش را با دقت و به درستی پیش‌بینی

کالیبراسیون مدل تکرار نشده، واقع شده است و به همین پیش‌بینی مدل به این نوع رخدادها پوشش نداده است. برای مقایسه بهتر نتایج حاصل از دو مدل با در نظر گرفتن دو معیار ریشه میانگین مربعات خطا و ماکزیمم مطلق خطا مورد مقایسه قرار می‌گیرد. جدول ۹ نتایج این مقایسه را نشان می‌دهد.

جدول ۹- مقایسه نتایج دو مدل با استفاده از شبکه‌های

عصبی بر حسب میلی‌متر

مدل	معیار خطا	RMSE	MAE
مدل تدوین شده	۴۴	۷۳	
مدل کارآموز	۱۰۳	۲۲۷	

#### ۴- نتیجه گیری و جمع بندی نهایی

از مجموعه موارد فوق چنین استنباط می‌شود که پارامترهای مورد استفاده در مدل پیش‌بینی بارش، توانسته‌اند الگوی پراکندگی 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. مقایسه نتایج به دست آمده توسط هر دو مدل، نشان می‌دهد که نتایج مربوط به مدل شبکه‌های عصبی از دقت بالاتری برخوردار است. علت این امر را می‌توان در قابلیت آموزش بهتر شبکه‌های عصبی نسبت به مدل فازی ممدانی دانست، زیرا شبکه‌های عصبی مصنوعی به دلیل ساختار آموزشی خود، در مرحله آموزش پارامترهای خود را طوری تغییر می‌دهد که به ازای ورودی‌های مطلوب، خروجی‌هایی مشابه با مقدار واقعی تولید نماید، اما در مدل فازی، با توجه به اینکه از میانگین وزنی قوانین در خروجی نهایی مدل استفاده می‌شود، همچنین به دلیل اثر متقابل قوانین فازی بر یکدیگر، نوسانات شدید در سری‌های زمانی (از جمله سری زمانی بارش) با دقت بالا قابل تشخیص نخواهد بود. از مقایسه نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج به دست آمده توسط محققین دیگر، برای مثال کارآموز (۱۳۸۴)، نتیجه می‌گیریم که مدل شبکه‌های عصبی برای منطقه شمال شرق کشور دارای عملکرد بهتری نسبت به مدل فازی ممدانی می‌باشد در حالیکه مدل فازی در مناطق غرب کشور در پیش‌بینی بارش موفق‌تر از شبکه‌های عصبی بوده‌اند. با مراجعه به جدول ۴ مشاهده می‌شود مدل فازی ممدانی در پیش‌بینی بارش سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ ناتوان بوده است. علت آن

علاوه بر موردی که در فوق به آن اشاره شد، کم بودن سال‌های آماری نیز می‌باشد و امید است با افزایش سال‌های آماری، دقت مدل افزایش یابد. همانطور که اشاره شد، این دو سال در کل دوره آماری کمترین مقدار بارش را به خود اختصاص داده است و با افزایش سال‌های آماری به نحوی که بتوان این دو سال را جزء دوره آموزش شبکه وارد کرد، دقت مدل بیشتر خواهد شد. همانطور که می‌دانیم، پدیده‌های هواشناسی از جمله بارش به صورت تناوبی در طبیعت رخ می‌دهد. 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. همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، مدل شبکه عصبی در تشخیص سال‌های حدی خشک (سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱) موفق‌تر عمل نموده است. به عنوان مثال، پیش‌بینی مدل برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ به ترتیب ۱۷۹ و ۱۶۹ میلی‌متر تخمین زده شده است و بارش مشاهده شده هم در این دو سال ۱۰۶ و ۱۱۵ میلی‌متر بوده است. با مراجعه به جدول ۳ که بازه‌های منتخب بارش را بر اساس دسته‌بندی شاخص دهک‌ها نشان می‌دهد، متوجه می‌شویم این مقادیر در محدوده بارش کمتر از نرمال قرار دارد، یعنی مدل این سال‌های حدی خشک را پیش‌بینی کرده است و اصولاً هدف از پیش‌بینی هم همین مورد یعنی پیش‌بینی سال‌های خشک، تر و نرمال است. البته در اینجا هدف توجیه این موضوع نیست که اصلاً نمیتوان این سال‌های حدی را با دقت بسیار بالاتری 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.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1- Hasanuddin
- 2-Digitized Elevation Model
- 3- Noaa
- 4- Factor
- 5-Drought Index Package
- 6- McCulloch and Pitts
- 7- Back propagation algorithm
- 8- Feed forward
- 9- Ramelhart et al.
- 10- Defuzzification

## ۵- مراجع

طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، جلد پانزدهم، شماره دوم. صص: ۲۲۴-۲۱۷.

مهدی‌زاده، م. (۱۳۸۳)، شبکه‌های عصبی مصنوعی و کاربرد آن در مهندسی عمران، انتشارات عبادی

میثاقی، ف. (۱۳۸۲)، توسعه الگوریتم ترکیبی زمین آمار و شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور استخراج توزیع مکانی بارندگی، پایان نامه کارشناسی ارشد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

ناصری، م. (۱۳۸۲)، پیش‌بینی بارندگی در دامنه زمان و مکان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران-آب، دانشگاه صنعتی اصفهان.

Abraham, A. (2001), "Will We Have a Wet Summer? Soft Computing Models For Long-Term Rainfall Forecasting", Modelling and Simulation, Publication of the Society for Computer Simulation International, Prague, Czech Republic, pp. 1044-1048.

Cavazos, T. (2000), "Using Self-Organizing Maps to Investigate Extreme Climate Event": An Application to wintertime Precipitation in the Balkans, *Journal of Climate*, 13, pp. 1718-1732

Choi, L. (1999), An application hydroinformatic tools for rainfall forecasting, Thesis (PhD). University of New South Wales (Australia), Source DAI-B 60/02, 752p.

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.

Jacquin, A. and Shamseldin, A. (2006), "Development of Rainfall-Runoff Models Using Takagi-Sugeno Fuzzy Inference System". *Journal of Hydrology*, 329(1-2), pp.154-173.

Maria, C., Haroldo, F. and Ferreira, N. (2005), "Artificial neural network technique for rainfall Forecasting applied to the Sao Paulo region", *Journal of Hydrology*, 301(1-4), pp.146-162.

Pongracz, R. and Bartholy, J. (2006), "Regional Effects of ENSO in Central/Eastern Europe", *journal of advances in Geosciences*, 6, pp.133-137.

احمدی، ا. (۱۳۸۲)، "طبقه‌بندی تغییرات بارش بوشهر و استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی مبتنی بر مدل خودسازمانده کوهون"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.

حسامی رستمی، ر.، افشار، ع. و 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، ن. (۱۳۸۵)، "پیش‌بینی بارش با استفاده از شبکه‌های عصبی"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی.

علیجانی، ب. (۱۳۸۱)، اقلیم‌شناسی سینوپتیک، انتشارات سمت، چاپ اول، ۲۵۷ ص.

فاتحی مرج، ج. (۱۳۷۹)، "بررسی آشوب در سیستم‌های دینامیکی"، پایان نامه کارشناسی ارشد برق، دانشگاه فردوسی مشهد.

فلاح قاهری، غ.، موسوی بایگی، م. و حبیبی نوخندان، م. (۱۳۸۶)، "پیش‌بینی بارش فصلی بر اساس الگوهای سینوپتیکی فشار و اختلاف فشار سطح دریا با استفاده از مدل‌های آماری"، مجله علمی پژوهشی علوم و صنایع کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، جلد ۲۱، شماره دوم. صص: ۹۵-۱۰۴.

کارآموز، م. (۱۳۸۴)، "پیش‌بینی درازمدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی"، پروژه شماره ۳۴۲ سازمان هواشناسی کشور.

محمدزاده، د. (۱۳۸۰)، "کاربرد شبکه‌های عصبی فازی برگشتی در پیش‌بینی پارامترهای کلیدی هواشناسی"، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران - آب، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

موسوی بایگی، م.، فلاح قاهری، غ. و حبیبی نوخندان، م. (۱۳۸۷)، "بررسی ارتباط نشانه‌های پهن مقیاس اقلیمی با بارش خراسان"، مجله علمی-پژوهشی علوم کشاورزی و منابع