

جغرافیا و توسعه - شماره ۱۵ - پاییز ۱۳۸۸

وصول مقاله: ۱۳۸۶/۷/۱۳

تأیید نهایی: ۱۳۸۷/۱۱/۱۱

صفحات: ۱۱۳-۱۳۲

## پیش‌بینی بارش فصلی بر اساس الگوهای همدید با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی

دکتر سید محمد موسوی بایگی

دانشیار هواشناسی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر جواد خوشحال

استادیار جغرافیا طبیعی دانشگاه اصفهان

غلامعباس فلاح‌قاله‌ری

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان

دکتر مجید حبیبی نوخندان

عضو هیأت علمی پژوهشکده اقلیم‌شناسی کشور

### چکیده

در این تحقیق روشی برای پیش‌بینی سال‌های آبی کم‌بارش و پربارش در منطقه‌ی 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 گام دوم محدوده‌های فازی و توابع عضویت برای الگوهای سینوپتیکی فوق و بارش متوسط منطقه‌ای در مناطق منتخب توسعه داده شده 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 سیبری را شامل می‌شوند، تأثیرپذیری بارندگی منطقه شمال شرق ایران از الگوهای سینوپتیکی در مناطق فوق مورد توجه قرار گرفته است. در گام نهایی قوانین فازی برای پیش‌بینی بارش بر اساس تغییرات الگوهای سینوپتیکی فوق توسعه داده شده است. از تحلیل حساسیت برای به دست آوردن بهترین ساختار قوانین فازی و توابع عضویت استفاده شد. این قوانین برای پیش‌بینی مجموع بارش دسامبر تا می (آذر تا اردیبهشت) در فاصله‌ی بین سال‌های ۲۰۰۲-۱۹۹۳ مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد مدل پیشنهادی در ۷۰ درصد از سال‌ها می‌تواند بارش را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کند.

کلیدواژه‌ها: پیش‌بینی بارش، الگوهای سینوپتیکی، تئوری مجموعه‌های فازی.

## مقدمه

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 تأثیر الگوهای سینوپتیکی بزرگ مقیاس بوده است.

لیندسی<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۸۶: ۱۹۸-۱۹۷)، نشان داده‌اند که در طول النینو مناطق جنوبی آفریقا با خشکسالی مواجه می‌شوند، در حالیکه طبق تحقیقات (فارمر<sup>۲</sup>، ۱۹۸۸: ۹-۴) مناطق استوایی شرق آفریقا با بارندگی بیشتر از نرمال مواجه می‌شوند.

روپلوسکی و هالپرت<sup>۳</sup> (۱۹۸۹: ۲۸۴-۲۶۸)، نشان دادند که لانینا تأثیر متفاوتی بر بخش‌های مختلف آفریقا دارد، به‌طوریکه در اثر این پدیده، نواحی استوایی شرقی آفریقا در دوره‌ای که از ماه نوامبر سال لانینا شروع شده و تا ماه مارس سال بعد ادامه می‌یابد، بارندگی‌هایی کمتر از نرمال را تجربه می‌کنند، درحالی‌که در مناطق جنوب‌شرقی آفریقا در زمان مشابه و تا ماه آوریل با میزان بارندگی بیشتر از حد نرمال روبرو می‌شوند.

چوی<sup>۴</sup> (۱۹۹۸: ۷۴۵) از شبکه‌های عصبی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای پیش‌بینی بارش استفاده کرده‌اند. نتایج نشان‌دهنده‌ی کارایی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی بارش است.

کاوازوس<sup>۵</sup> (۲۰۰۰: ۱۷۳۲-۱۷۱۸) 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.

واسکوویز<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۱: ۳۴۲۰-۳۴۰۸) ارتباط بین انسو و گردش‌های جوی زمستانه و دما در ناحیه‌ی اقیانوس اطلس شمالی را بررسی نموده‌اند. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد که در فصل زمستان در ناحیه‌ی مورد مطالعه، هیچ ارتباط آماری معنی‌داری بین رخداد‌های گرم انسو و الگوهای فشار سطح‌دریا وجود ندارد، درحالی‌که تغییرات رخداد‌های سرد مشابه نوسانات مثبت NAO می‌باشد.

1- Lindesay

2- Farmer

3- Ropolwski and Halpert

4- Choi

5- Cavazos

6- Vasquez

هالید و رید<sup>۱</sup> (۲۰۰۲: ۱۷۰-۱۶۶)، از تکنیک منطق فازی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش محلی ماه‌ژانویه در فرودگاه هازانودین<sup>۲</sup> در اندونزی که بزرگترین ناحیه‌ی تولید برنج است، استفاده کردند. نتایج آنها نشان می‌دهد مدل منطق فازی برای پیش‌بینی بارش ماه ژانویه نسبت به مدل‌های آماری مناسب‌تر است.

الدنبرگ<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۳: ۳۴-۱۴) مدل پیش‌بینی فصلی مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مقیاس آب و هوایی ECMWF<sup>۴</sup> را با مدل‌های آماری در منطقه‌ی شرق و جنوب آفریقا مورد مقایسه قرار داده‌اند. برای این کار از سیگنال‌های اقلیمی نظیر انسو استفاده کرده‌اند. نتایج حاصله نشان می‌دهد که پیش‌بینی بارندگی مدل‌های ECMWF نسبت به مدل‌های آماری در بازه‌ی زمانی دسامبر تا فوریه (آذر تا بهمن) بهتر است، اما در بازه‌ی مارس تا مه (اسفند تا اردیبهشت) دقت آنها کمتر است.

گیسیلا<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۴: ۱۳۵۱-۱۳۴۵) بارش‌های فصل تابستان اتیوپی را در بازه‌ی ژوئن تا سپتامبر پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج آنها نشان داد که پیش‌بینی بارش برای بخش غربی مرکز اتیوپی مناسب‌تر است ماریا<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۵: ۱۶۲-۱۴۶)، از شبکه‌های عصبی و مدل‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی بارش در منطقه‌ی سائوپائولو برزیل استفاده کرده‌اند. متغیرهای مورد استفاده آنها عبارت است از: دمای پتانسیل، مؤلفه‌ی قائم باد، رطوبت ویژه، دمای هوا، آب قابل بارش، چرخندگی نسبی و شار واگرایی رطوبت. نتایج نشان‌دهنده‌ی کارایی هر دو روش در پیش‌بینی بارش است.

پنگراسز<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۶: ۱۳۷-۱۳۳) بارندگی ماهیانه را در مجارستان با استفاده از تیپ‌های الگوی چرخش اتمسفری و شاخص "انسو" مدل‌سازی کردند. بدین‌منظور از تکنیک مدل‌سازی مبتنی بر قوانین فازی برای ایجاد ارتباط بین ورودی‌ها و بارندگی استفاده شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که مدل مبتنی بر قوانین فازی، ابزار مناسبی برای پیش‌بینی مشخصات آماری بارندگی ماهیانه با استفاده از فراوانی ماهیانه‌ی تیپ‌های الگوی گردش جوی روزانه و انسو<sup>۸</sup> تأخیری محسوب می‌شود ماریوتی<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۰۲: ۱۶۲۱) رابطه‌ی تغییرات باران‌های

1-Halid and Rid

2-Hasanuddin

3-Oldenborgh

4-European Centre for Medium-Range Weather Forecast

5-Gissila

6-Maria

7-Pangracz

8-ENSO

9-Mariotti

مدیترانه‌ای اروپا و انسو (ENSO) را بررسی نمودند. نتایج به دست آمده توسط آن‌ها، نشانگر تأثیر معنی‌دار انسو بر بارش بخش مدیترانه‌ای اروپا می‌باشد.

ونگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۳: ۴۳۸-۴۳۴) از قوانین فازی و شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی بارش استفاده کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده‌ی کارایی این دو روش در پیش‌بینی بارش روزانه می‌باشد.

کیم<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۷: ۴۲۰-۴۱۱) تأثیر سیگنال‌های اقلیمی بزرگ مقیاسی نظیر NAO و انسو بر بارش فصلی حوضه رودخانه کلرادو در آمریکا را تحلیل کرده‌اند. نتایج حاکی از آن است که مدل‌سازی سیستم‌های دینامیکی اقلیم می‌تواند در توسعه‌ی یک مدل پیش‌بینی بلندمدت باارزش برای مدیریت منابع آب نتیجه‌بخش باشد. کارآموز (۱۳۸۵: ۲۵۰) 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 کرده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که جز در منطقه‌ی 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 شبکه‌ی عصبی است.

خلیلی (۱۳۸۵: ۹) از داده‌های بارش ایستگاه سینوپتیک مشهد و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بارش ماهیانه استفاده کرده است. پس از بررسی معیارهای آماری برازش، از جمله ضرایب روابط رگرسیونی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده‌ی بارش و همچنین میانگین مجذور مربعات خطا، مشاهده شد که پیش‌بینی ماهیانه بارش، با دقت قابل قبولی انجام شده است. کوره‌پزان (۱۳۸۲: ۱۳۶-۱۳۰) تأثیر سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی انسو و NAO را بر بارش ایستگاه‌های منطقه جنوب‌غرب کشور بررسی کرده است. نتایج او نشان داد که مدل فازی با دقت قابل قبولی می‌تواند بارش را پیش‌بینی کند.

در تحقیقی دیگر کارآموز و همکاران (۱۳۸۵: ۱۷۷) از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بارش حوزه‌ی رودخانه کاجو واقع در جنوب‌شرق ایران استفاده کرده‌اند. بدین منظور، از سیگنال‌های اقلیمی بزرگ مقیاس برای به دست آوردن رابطه‌ی بین بارش و الگوهای پیوند از دور استفاده نموده‌اند. نتایج حاصله نشان می‌دهد شبکه‌های عصبی در ۷۰ درصد از سال‌ها می‌تواند بارش را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کند.

1-Wong

2-Kim

در پژوهش حاضر، روشی بر مبنای تئوری مجموعه‌های فازی برای پیش‌بینی بارش در بازه زمانی دسامبر تا مه (آذر تا اردیبهشت) ارائه می‌شود. برای این منظور تغییرات فشار، اختلاف فشار و دمای متوسط سطح دریا، اختلاف دما بین سطح دریا و سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال با بارش منطقه مورد مطالعه در بازه‌ی زمانی ژوئن تا نوامبر بررسی شده است. بعد از مشخص شدن بهترین حالت تأثیر سیگنال‌ها بر بارش، از تئوری مجموعه‌های فازی برای پیش‌بینی بارش استفاده گردید.

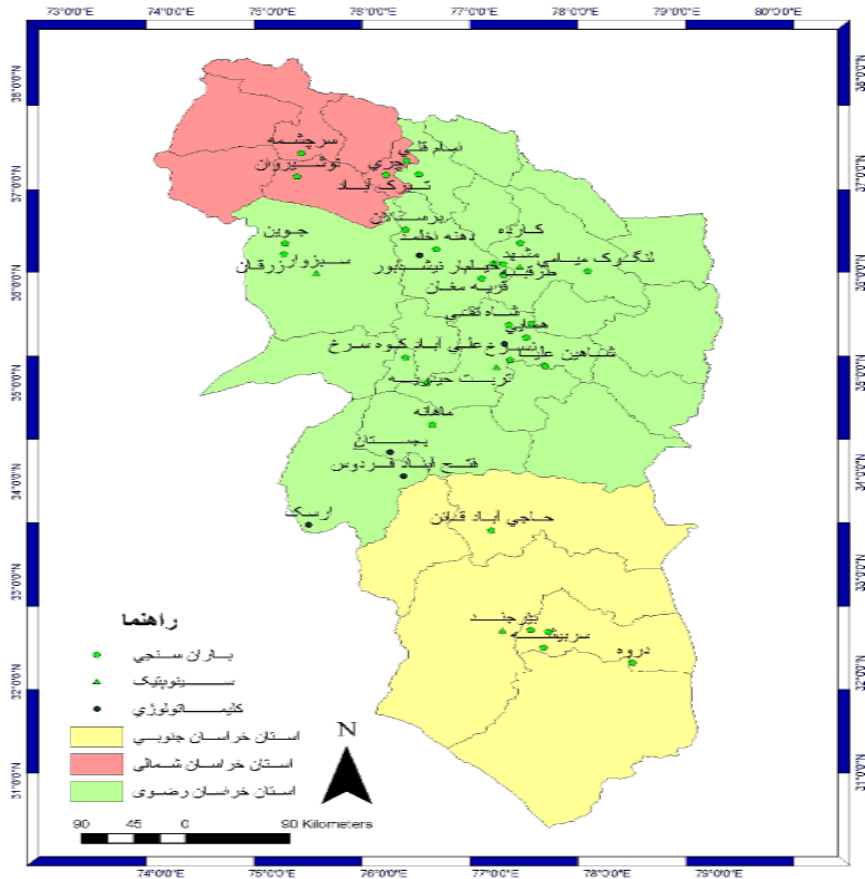
### مواد و روش‌ها

**منطقه‌ی مورد مطالعه:** منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق، خراسان بزرگ است که شامل سه استان خراسان رضوی، خراسان شمالی و خراسان جنوبی می‌باشد. سری زمانی مورد مطالعه در این تحقیق، مجموع بارش فصلی ۳۳ ساله آذر تا اردیبهشت (دسامبر تا می) در فاصله‌ی بین سال‌های ۱۹۷۰-۲۰۰۲ میلادی می‌باشد. داده‌های بارش فصلی برای هر سال میلادی شامل بارندگی ۳۷ ایستگاه همدید، اقلیم‌شناسی 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) نقشه‌ی محدوده مورد مطالعه و نام ایستگاه‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر، برای تکمیل برخی از نواقص اطلاعاتی بارش از روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها و برای آزمون همگنی داده‌ها از آزمون "ران تست" استفاده شد.

**محاسبه‌ی بارش متوسط منطقه‌ای:** برای به دست آوردن بارش متوسط منطقه‌ای از مدل رقومی ارتفاعی استفاده شده است. برای به دست آوردن سری زمانی بارش متوسط منطقه‌ای با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی گام‌های زیر انجام شد:

- ۱- ساختن فایل‌های ورودی نرم‌افزار Arc GIS؛
- ۲- به دست آوردن رابطه‌ی بارش با ارتفاع با استفاده از روابط رگرسیونی؛
- ۳- به دست آوردن نقشه رقومی منطقه‌ی 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 منطقه‌ی مورد مطالعه برای هر سال؛
- ۷- ساخت سری زمانی بارش برای منطقه مورد مطالعه؛

**داده‌های مورد نیاز:** داده‌های مورد نیاز به استثنای داده‌های بارش که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است، از سایت نوا<sup>۱</sup> در شبکه‌های ۲/۵×۲/۵ درجه در فاصله بین سال‌های ۱۹۷۰-۲۰۰۲ به صورت ماهیانه استخراج گردیده‌اند.



شکل ۱: نقشه محدوده‌ی مورد مطالعه به همراه ایستگاه‌های منتخب

### فصل‌بندی بارندگی و سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی

فصل‌بندی بارندگی و سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی بر این اساس بوده است که با استفاده از میانگین مقادیر یک سیگنال بزرگ مقیاس خاص در چند ماه متوالی، بتوان میزان مجموع بارندگی فصلی را در ماه‌های آینده پیش‌بینی نمود. بنابراین سعی شده است که فصول

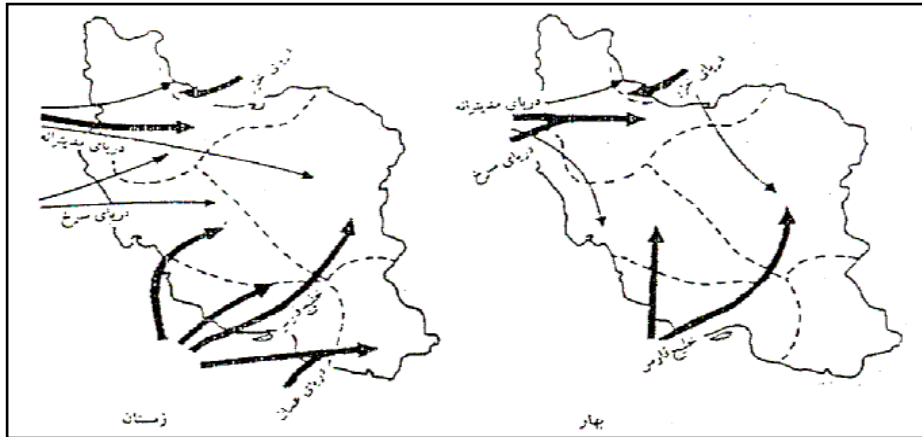
1- Noaa

مربوط به سیگنال‌ها، ماه‌های دارای بارندگی سال آبی بعد را شامل نشوند. با توجه به اینکه در منطقه‌ی 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 مه) 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 محدوده‌ی مورد مطالعه، نقاطی تحت عنوان نقاط شاخص در مناطق مختلفی از دریاها که بر آب و هوای ایران تأثیرگذارند، 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 تأثیرپذیری منطقه‌ی 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، ۱۳۸۱: ۲۰۷). در این تحقیق برای بررسی ارتباط مؤلفه‌های جو بالا با بارش منطقه از روش تحلیل عاملی استفاده گردیده است. محدوده‌ی 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. به‌عنوان مثال، مناطق شاخص شناسایی شده رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال در بازه‌ی زمانی ژوئن تا نوامبر در شبکه‌های ۵×۵ درجه که نمرات عاملی آن در سطح ۵٪ با بارش منطقه همبستگی معنی‌دار داشته و در ساختار مدل پیش‌بینی 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

علیچانی، ۱۳۸۱: ۲۰۷

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 بازه‌ی زمانی ژوئن تا نوامبر با استفاده از روش تحلیل عاملی

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



فشار استاندارد شده‌ی خلیج عدن، فشار استاندارد شده جنوب خلیج فارس، فشار استاندارد شده‌ی شمال دریای سرخ، فشار استاندارد شده جنوب دریای سرخ، فشار استاندارد شده‌ی غرب دریای مدیترانه، اختلاف فشار استاندارد شده بین دریای آدریاتیک و جنوب خلیج فارس، اختلاف فشار استاندارد شده بین دریاچه‌ی آرال و شمال دریای خزر، اختلاف فشار استاندارد شده بین جنوب خلیج فارس و دریای عمان و جنوب خلیج فارس، اختلاف فشار استاندارد شده بین جنوب خلیج فارس و جنوب دریای سرخ، دمای سطح دریای استاندارد شده‌ی شبکه‌ی سیبری، اختلاف دمای استاندارد شده‌ی بین سطح دریا و سطح ۱۰۰۰ میلی باری شبکه‌ی ایسلند، نمرات عاملی رطوبت نسبی در منطقه شاخص فاکتور ۱ در شبکه‌های ۵×۵ درجه.

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
دریای عرب	۲۰	۶۵	شمال دریای سرخ	۲۵	۳۵
دریاچه آرال	۴۵	۶۰	دریای شمال	۵۴	۵
آرال	۴۵	۶۰	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	سیبری	۵۰	۹۰
مرکز اقیانوس آرام	۳۰	۳۲۰	غرب مدیترانه	۴۱	۵
گرینلند	۳۵	۳۰	دریای لابرادور	۶۰	۳۰۹
اقیانوس هند	۱۰	۶۵	ایسلند	۶۰	۳۰۰

\* طول جغرافیایی با مبدأ صفر درجه و به طرف شرق در بازه‌ی ۳۶۰-۰ درجه مد نظر است.

### پیش‌بینی بارش با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی

به منظور افزایش دقت پیش‌بینی بارش از تئوری مجموعه‌های فازی استفاده شده است. سیستم‌های استنتاج فازی، مدل‌های غیرخطی هستند که رابطه‌ی ورودی-خروجی یک سیستم واقعی را با استفاده از قوانین اگر-آنگاه فازی توصیف می‌کنند (جاکوئین و شمس‌الدین، ۲۰۰۶).

ساختار عمومی قوانین تدوین شده به صورت زیر می باشد :

$$\text{Rule } m : \text{IF } (X_1 \text{ is } A_{1,m}) \text{ AND } (X_2 \text{ is } A_{2,m}) \text{ AND } (X_k \text{ is } A_{k,m}) \text{ THEN } Y \text{ is } \dots \quad (1)$$

به عبارت دیگر، یک قانون فازی، بیان 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 مجموعه‌ی 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 مجموعه‌ی فازی  $A_{k,m}$  در رابطه‌ی (۱) به وسیله‌ی تابع عضویت آن  $\mu_{k,m}$  توصیف می‌شود که درجه‌ی عضویت هر مقدار  $X_k$  مجموعه‌ی 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 ۱ عضویت کامل  $X_k$  را در مجموعه‌ی فازی  $A_{k,m}$  نشان می‌دهد. ساختار بخش نتیجه (بخش Then قوانین) به نوع سیستم استنتاج فازی مورد نظر بستگی دارد (جاکوئین و شمس‌الدین، ۲۰۰۶: ۱۷۳-۱۵۴).

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

- تقسیم‌بندی ورودی‌ها و خروجی‌ها به بازه‌های فازی؛
- ساخت قوانین فازی بر اساس اطلاعات موجود؛
- استفاده از قوانین فازی برای پیش‌بینی؛

## نتایج

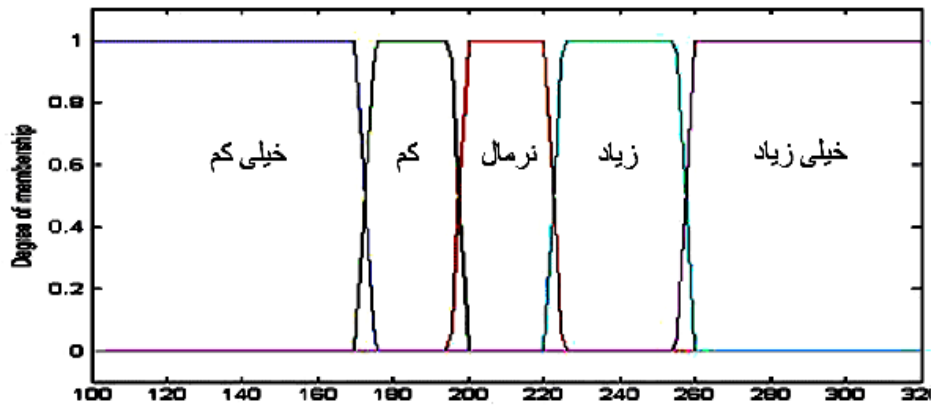
### تدوین توابع عضویت فازی برای بارش و سیگنال‌ها

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 درصد نرمال تهیه شده است. در پژوهش حاضر، برای تدوین توابع عضویت فازی براساس شاخص دهک‌ها از نرم‌افزار DIP<sup>۱</sup> استفاده گردیده است. جدول (۲) بازه‌های فازی منتخب برای بارش را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که این تقسیم‌بندی کلی، در مراحل بعدی بر اساس تحلیل حساسیت نتایج مدل فازی مورد بازنگری قرار گرفته و ساختار نهایی توابع عضویت فازی تعیین شده است. در جدول (۲)، ستون سوم، مقادیر طبقه‌بندی شده‌ی بارش برحسب میلی‌متر می‌باشد.

جدول ۲: بازه‌های بارش منتخب بر اساس دسته‌بندی شاخص دهک‌ها

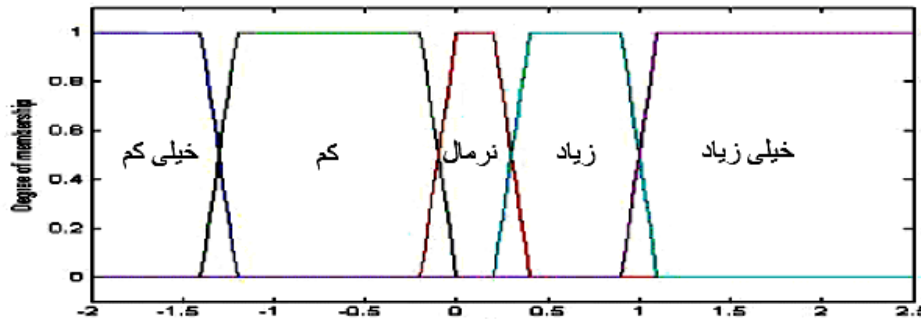
دهک‌ها	طبقه‌بندی شدت خشکسالی	حدود دسته‌ها
دهک ۱-۲	خیلی کمتر از نرمال	۱۰۶-۱۶۴
دهک ۳-۴	کمتر از نرمال	۱۶۵-۱۹۶
دهک ۵-۶	نرمال	۱۹۷-۲۲۰
دهک ۷-۸	بیشتر از نرمال	۲۲۰-۲۵۰
دهک ۹-۱۰	خیلی بیشتر از نرمال	۲۵۱-۳۱۱

بعد از انجام تحلیل حساسیت برای تقسیم‌بندی فازی بارش و سیگنال‌های ذکر شده در فوق، نواحی فازی به پنج ناحیه‌ی خیلی کم، کم، نرمال، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شده‌اند. تابع عضویت فازی برای بارش در شکل (۴) و توابع عضویت فازی سیگنال‌های شاخص در شکل‌های (۵) تا (۱۶) نشان داده شده‌اند. لازم به یادآوری است در تمامی این شکل‌ها، محور افقی مقادیر استاندارد شده سیگنال‌ها و محور عمودی مقادیر درجه عضویت در بازه  $[-۱, ۰]$  می‌باشد.

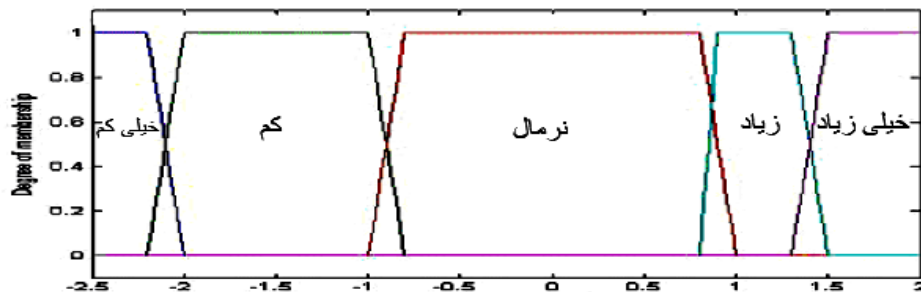


شکل ۴: تابع عضویت بارش برای به کارگیری در مدل پیش‌بینی بارش

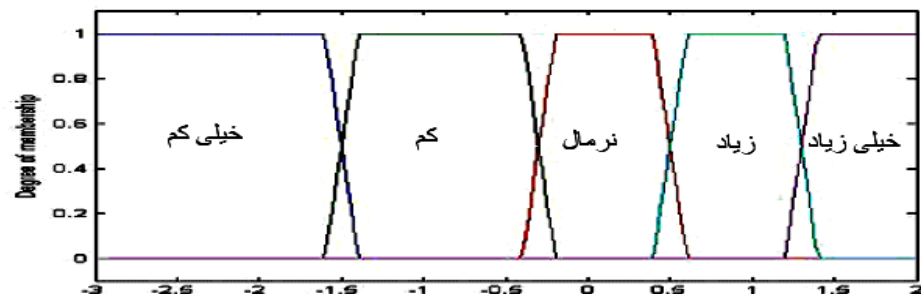
محور افقی مقادیر بارش برحسب میلی‌متر و محور عمودی مقادیر درجه‌ی عضویت (*Degree of membership*) در بازه  $[-۱, ۰]$  می‌باشد.



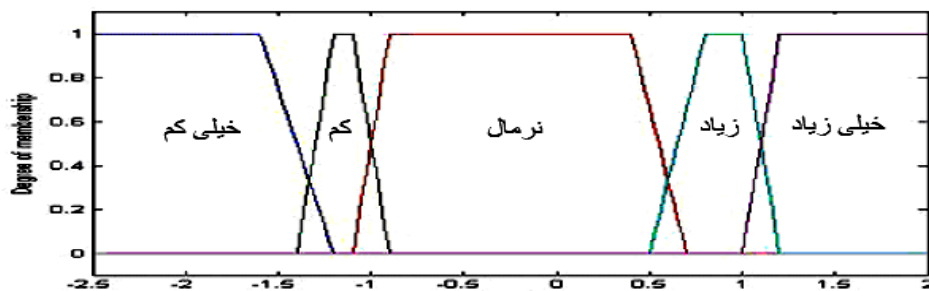
شکل ۵: تابع عضویت SLP استاندارد شدهی خلیج عدن



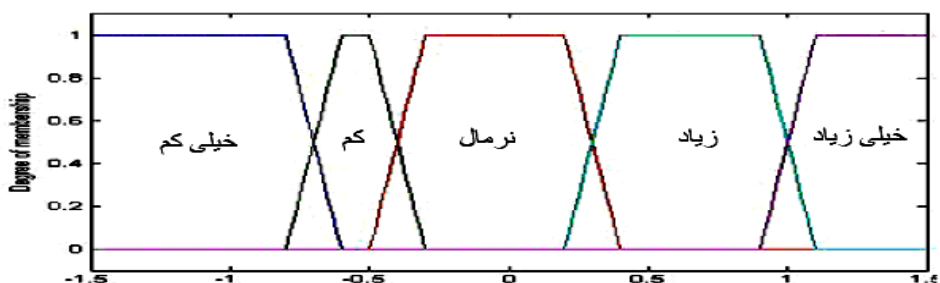
شکل ۶: تابع عضویت SLP استاندارد شدهی جنوب خلیج فارس



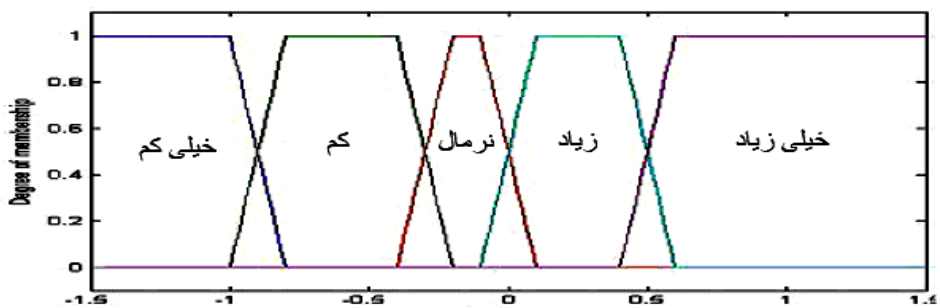
شکل ۷: تابع عضویت SLP استاندارد شدهی جنوب دریای سرخ



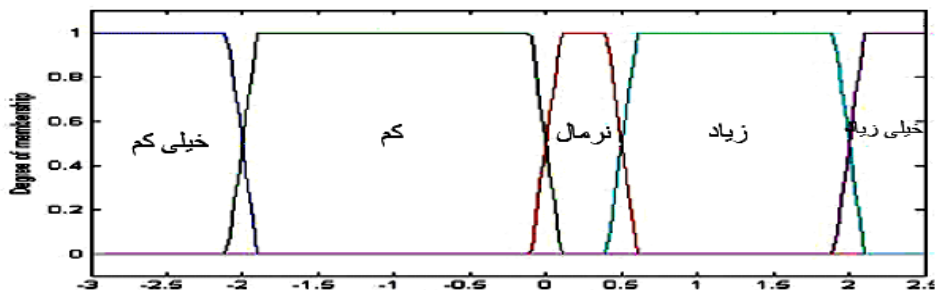
شکل ۸: تابع عضویت SLP استاندارد شدهی شمال دریای سرخ



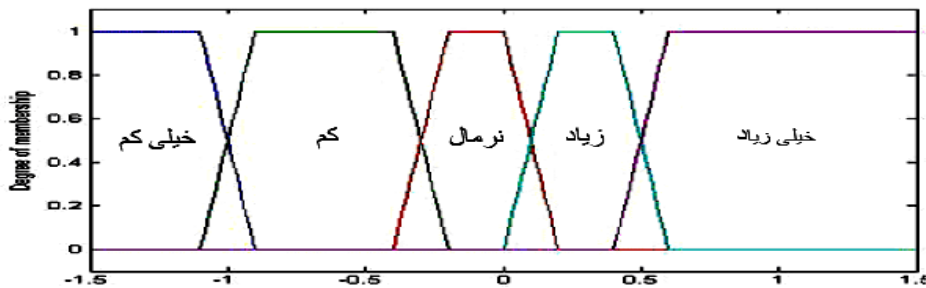
شکل ۹: تابع عضویت اختلاف SLP استاندارد شده بین جنوب خلیج فارس و دریای عرب



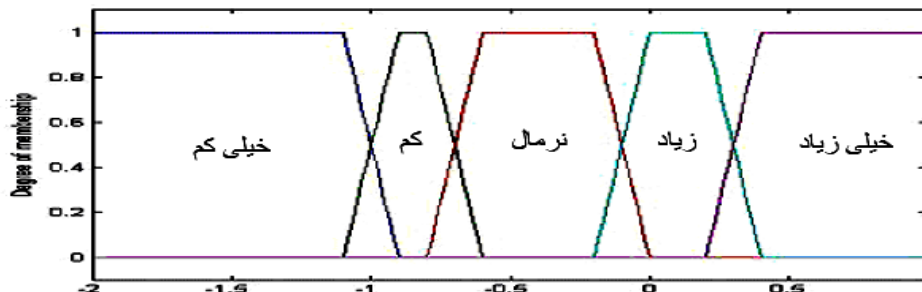
شکل ۱۰: تابع عضویت اختلاف SLP استاندارد شده بین دریای آدریاتیک و جنوب خلیج فارس



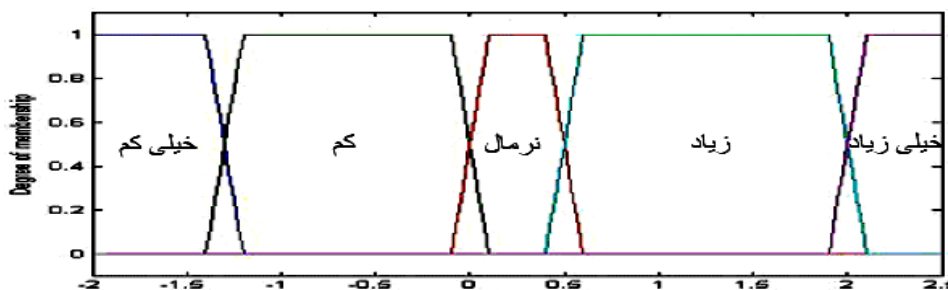
شکل ۱۱: تابع عضویت اختلاف SLP استاندارد شده بین جنوب خلیج فارس و جنوب دریای سرخ



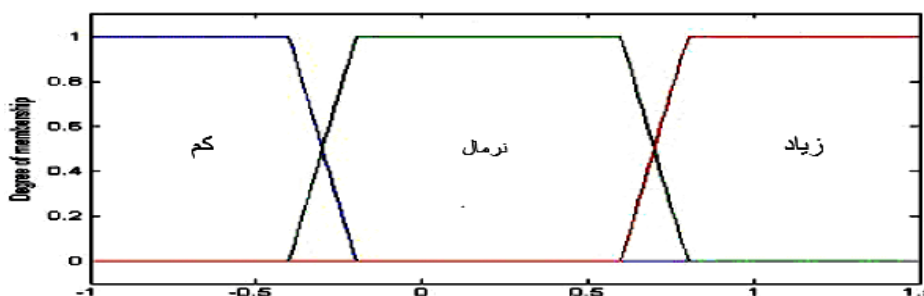
شکل ۱۲: تابع عضویت اختلاف SLP استاندارد شده بین جنوب خلیج فارس و دریای عمان



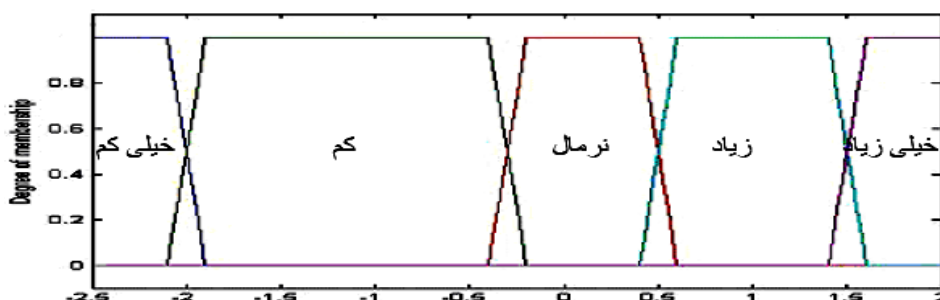
شکل ۱۳: تابع عضویت اختلاف استاندارد شده بین دریاچه آرال و شمال دریای خزر



شکل ۱۴: تابع عضویت SST استاندارد شده شبکه‌ی سیبری



شکل ۱۵: تابع عضویت اختلاف SST استاندارد شده شبکه‌ی ایسلند



شکل ۱۶: تابع عضویت نمرات عاملی رطوبت نسبی

### تدوین مدل پیش‌بینی بارش با استفاده از سیستم استنباط فازی ممدانی

شکل (۱۷) شماتیک دیاگرام مدل فازی تدوین شده برای پیش‌بینی بارش را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است برای ساخت مدل پیش‌بینی بارش از امکانات جعبه ابزار شبیه‌ساز نرم‌افزار متلب (MATLAB) نسخه ۷ استفاده گردید.

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

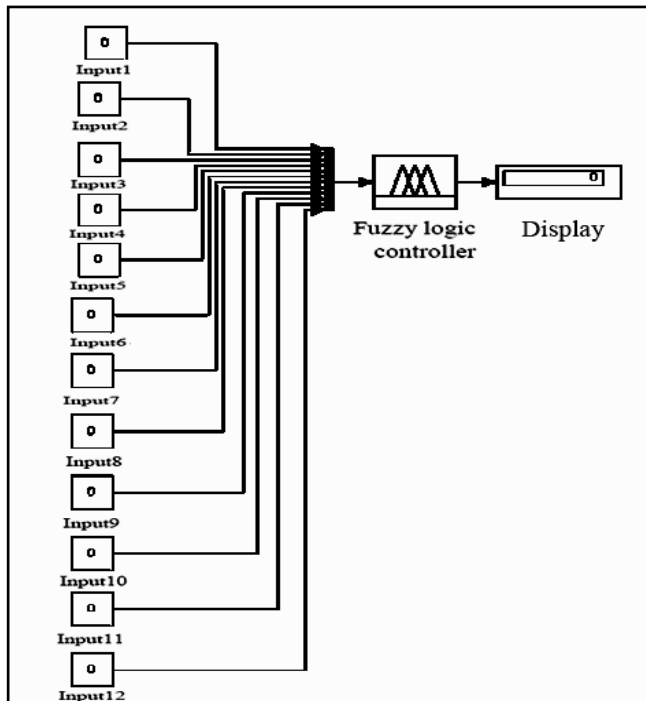
۱- دوره‌ی کالیبراسیون قوانین که در این تحقیق دوره ۱۹۹۲-۱۹۷۰ برای ساخت قوانین در نظر گرفته شده است.

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

به منظور پیش‌بینی بارش در بازه‌ی زمانی دسامبر تا مه (آذر تا اردیبهشت)، قوانین فازی بر مبنای اطلاعات سال‌های ۱۹۹۲-۱۹۷۰ ساخته شدند و در مرحله‌ی بعد، برای سال‌های ۲۰۰۲-۱۹۹۳ پیش‌بینی انجام شد. جدول (۳) مقادیر بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است که این نتایج برای سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۲ که دوره‌ی صحت‌سنجی مدل بوده است، ارایه شده است.

بررسی نتایج مدل نشان می‌دهد که به غیر از سال‌های ۱۹۹۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱، اختلاف بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده در محدوده‌ی قابل قبولی قرار دارد و مدل قادر بوده است در ۷۰ درصد سال‌ها بارش را با خطای قابل قبولی پیش‌بینی کند. همان‌طور 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 دوره‌ی کالیبراسیون مدل پیش‌بینی تکرار نشده‌اند و به همین دلیل، قوانین فازی تدوین شده به این رخدادها پوشش نداده است. لازم به یادآوری است که کمترین مقدار بارش در سری زمانی بارندگی در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ به وقوع پیوسته‌اند. شکل (۱۸) نمودار بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد.

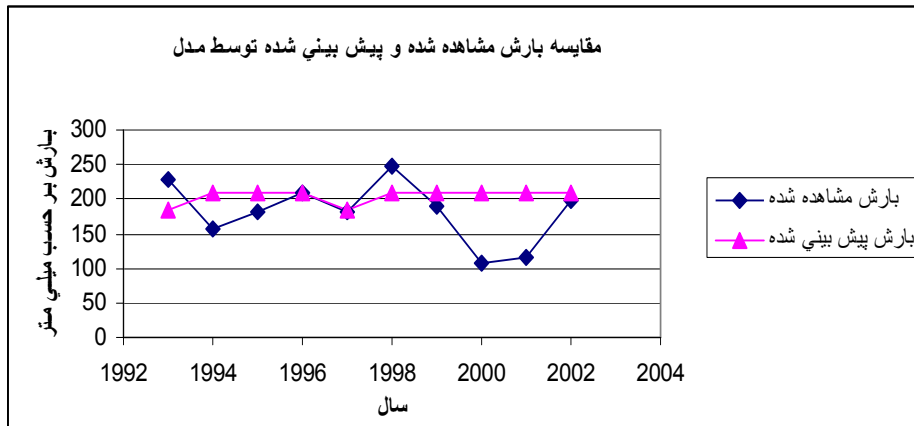


شکل ۱۷: شماتیک دیاگرام مدل فازی تدوین شده برای پیش‌بینی بارش با استفاده از سیستم استنتاج فازی به روش ممدانی

جدول ۳: پیش‌بینی بارش محدوده‌ی مورد مطالعه با مدل فازی ممدانی

بارش پیش‌بینی شده (mm)	بارش ثبت شده (mm)	سال
۱۸۵	۲۲۸	۱۹۹۳
۲۱۰	۱۵۸	۱۹۹۴
۲۱۰	۱۸۱	۱۹۹۵
۲۱۰	۲۱۰	۱۹۹۶
۱۸۵,۲	۱۸۲	۱۹۹۷
۲۱۰	۲۴۸	۱۹۹۸
۲۱۰	۱۹۰	۱۹۹۹
۲۱۰	۱۰۶	۲۰۰۰
۲۱۰	۱۱۵	۲۰۰۱
۲۱۰	۱۹۷	۲۰۰۲





شکل ۱۸: مقایسه بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده در محدوده‌ی مورد مطالعه با مدل فازی ممدانی

### بحث و نتیجه‌گیری

در مجموع می‌توان 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 ۳ مشاهده می‌شود مقدار بارش مشاهده شده در دوره‌ی تست مدل برای سال‌های ۱۹۹۶، ۱۹۹۷، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۲ به ترتیب برابر با ۲۱۰، ۱۸۲، ۱۹۰ و ۱۹۷ میلی‌متر است و پیش‌بینی مدل هم برای این سال‌ها به ترتیب برابر ۲۱۰، ۱۸۵/۲، ۲۱۰ و ۲۱۰ میلی‌متر می‌باشد و از آنجا که بارش میانگین (نرمال) منطقه ۲۰۷ میلی‌متر می‌باشد، مشاهده می‌کنیم که مدل مقدار بارش را به خوبی تخمین زده است.

به عبارت دیگر مدل سال‌های نرمال و بیشتر از نرمال را به خوبی می‌تواند پیش‌بینی کند و هدف از پیش‌بینی هم همین موضوع است، یعنی تشخیص سال‌های خشک، نرمال و تر. تنها مدل در پیش‌بینی بارش سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ ناتوان بوده است که علت آن کم بودن سال‌های آماری است و امید است با افزایش سال‌های آماری، دقت مدل افزایش یابد.

از مجموعه موارد فوق چنین استنباط می‌شود که متغیرهای مورد استفاده در مدل پیش‌بینی بارش، توانسته‌اند الگوی پراکندگی بارش را در منطقه تشخیص دهند و می‌توانند به عنوان پیش‌بینی‌کننده در مدل‌های پیش‌بینی بارش مورد استفاده قرار گیرند.

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 بهینه‌نمودن صرف هزینه‌ها و امکانات بهره‌وری حداکثر، طرح‌ریزی نمود. لازم به ذکر است تمامی سیگنال‌های انتخاب شده در این تحقیق، منطبق بر مسیرهای سیکلونی خاورمیانه و ایران هستند که توسط علیجانی (۱۳۸۱: ۱۰۸) مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج حاصل از این تحقیق نیز، این موضوع را تصدیق می‌کند.

### منابع و مأخذ

- ۱- خلیلی، نجمه (۱۳۸۵). پیش‌بینی بارش با استفاده از شبکه‌های عصبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب. دانشگاه فردوسی مشهد. دانشکده کشاورزی.
- ۲- علیجانی، بهلول (۱۳۸۱). اقلیم‌شناسی سینوپتیک، چاپ اول. انتشارات سمت.
- ۳- کارآموز، محمد (۱۳۸۵). پیش‌بینی درازمدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی. پروژه شماره ۳۴۲. سازمان هواشناسی کشور.
- ۴- کارآموز، محمد، رحیمی‌فراهانی، مریم، مریدی، علی (۱۳۸۵). پیش‌بینی بلندمدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی، کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی (منطقه جنوب شرق ایران)، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران.
- ۵- کوره‌پزان‌دزفولی، امین (۱۳۸۲). تأثیر سیگنال‌های هواشناسی در پیش‌بینی تغییرات بارش، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست.
- 6- 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.
- 7- Choi, L (1999). An application hydroinformatic tools for rainfall forecasting, Thesis (PhD). University of New South Wales (Australia).
- 8- Farmer G (1988) "Seasonal Forecasting of the Lenya Coast Short Rains" Journal of Climatology, Vol. 8.
- 9- Gissila, T, Black, E, Grimes, D. I. F and Slingo, J. M (2004) Seasonal forecasting of the Ethiopian summer rains. International Climatology. Vol. 24: 1345 – 1358
- 10- 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.
- 11- Jacquin, A and Shamseldin, A (2006) Development of Rainfall-Runoff Models Using Takagi-Sugeno Fuzzy Inference System Journal of Hydrology, Vol. 329.
- 12- Kim W, T, Yoo, C and Hyun, A.J (2007) Influence of climate variation on seasonal precipitation in the Colorado River Basin, Journal of Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, Vol. 22, Number 3.
- 13- Lindesay, J. A., Harrison, M. S. J. And Heffner, M. P (1986) "The southern Oscillation and South African Rainfall", South Africa Journal of Science, Vol. 82.

- 14- Maria, C. Haroldo, F and Ferreira, N (2005) Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to the Sao Paulo region, Journal of Hydrology , Volume 301, Issues 1-4.
- 15- Mariotti, A, N. Zeng, and K.-M. Lau (2002) Euro-Mediterranean rainfall and ENSO-a seasonally varying relationship, Geophysical Research Letter, 29(12), 1621.
- 16- Oldenborgh, G. J, Balmaseda, M.A, Ferranti, L, Stockdale, T.N and Anderson, D.L.T (2003). Did the ECMWF seasonal forecast model outperform a statistical model over the last 15 years, Technical Memorandum. No. 418.
- 17- Pongracz R and Bartholy J, 2006, "Regional Effects of ENSO in Central/Eastern Europe", journal of advances in Geosciences. Vol 6.
- 18- Ropelewski, C. F, and Halpert, M. S (1989), "Precipitation Patterns Associated With the High Index Phase of the Southern Oscillation", J. of Climate, Vol. 2.
- 19- Vasquez, D (2001), "The Association between Enso and Winter Atmospheric Circulation and Temperature in the North Atlantic Region", Journal of Climate, Vol 14.
- 20- Wong K.W, Wong P. M, Gedeon T. D and Fung C. C (2003). Rainfall prediction model using soft computing technique, journal of Soft Computing - A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications, Volume 7, Number 6.