

پیش‌بینی بارش بهاره استان خراسان رضوی بر پایه الگوهای سینوپتیکی پیوند از دور با بهره‌گیری از سامانه استنباط فازی - عصبی تطبیقی (ANFIS)

غلامعباس فلاح‌قاله‌ری^{۱*}، مجید حبیبی‌نوخندان^۲ و جواد خوشحال^۳

^۱ دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان، ایران

^۲ عضو هیات علمی پژوهشکده اقلیم‌شناسی، ایران

^۳ استادیار گروه جغرافیای طبیعی - اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت: ۸۷/۶/۲۵، تاریخ تصویب: ۸۹/۲/۲۶)

چکیده

هدف از این بررسی ارزیابی ارتباط الگوهای سینوپتیکی بزرگ مقیاس اقلیمی با بارش در استان خراسان رضوی می‌باشد. در این بررسی با بهره‌گیری از سامانه استنباط فازی - عصبی تطبیقی برآورد بارش در بازه زمانی فروردین تا خرداد (آوریل تا ژوئن) در استان خراسان رضوی ارائه شده است. داده‌های بارش بهاره شامل آمار و داده‌های بارش ۳۸ ایستگاه هم‌مدیدی، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی می‌باشد که در فاصله سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۷۰ میلادی از سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو دریافت شده است. در این بررسی، در آغاز ارتباط بین تغییرات الگوهای سینوپتیکی شامل فشار سطح دریا، اختلاف فشار سطح دریا، دمای سطح دریا، اختلاف دما بین سطح دریا و سطح ۱۰۰۰ میلی‌باری، دمای سطح ۷۰۰ میلی‌بار، ضخامت بین سطوح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌بار، رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ میلی‌بار و آب قابل بارش با میانگین منطقه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. در گزینش 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 یاد شده مورد توجه قرار گرفته است. سپس، مدل سامانه استنباط فازی عصبی تطبیقی در دوره ۱۹۹۷-۱۹۷۰ آموزش داده شده است و در پایان، برآورد بارش در دوره فروردین تا خرداد (آوریل تا ژوئن) ۲۰۰۷-۱۹۹۸ انجام شده است. مدل مورد بهره‌گیری در این بررسی شامل یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی می‌باشد. سامانه استنباط فازی مورد بهره‌گیری در این بررسی، مدل سوگینو می‌باشد. شمار نرون‌های لایه ورودی، پنهان و خروجی به ترتیب (۱-۲۸-۱۳) می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد سامانه استنباط فازی - عصبی تطبیقی در ۹۰ درصد سال‌ها می‌تواند بارش را با دقت قابل قبولی با سطح اطمینان ۱۰ درصد برآورد کند.

واژه‌های کلیدی: برآورد بارش، الگوهای سینوپتیکی، سامانه استنباط فازی - عصبی تطبیقی

مقدمه

شبکه‌های عصبی فازی، یکی از مناسب‌ترین شیوه‌ها برای شناسایی مشخصه‌هاست و بوسیله شمار زیادی از پژوهشگران به طور همزمان پیشنهاد شد. شبکه‌های عصبی فازی برای مدل سازی فرایند (Sugeno & Yashukawa, 1993)، کنترل تطبیقی و کنترل برآورد مدل بهره‌گیری شده است (Leondes, 1993).

همه جنبه‌های زندگی انسان به گونه‌ای تحت تاثیر فرآیندهای آب و هوایی است و این تاثیر گذاری در زمینه‌های مختلفی چون کشاورزی (بوژه شیوع آفات، بیماری‌ها، آبیاری و ...)، اقتصاد، مخابرات، ترابری (حمل و نقل)، آلودگی هوا و صنایع نظامی بیشتر دیده می‌شود (Haltiner & Williams, 1980). پیش‌بینی بارش برای کشورهایی 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 et al., 2001). امروزه پژوهشگران، با ابداع و پیشرفت علمی چون روش‌های هوشمند که ابزاری توانمند، انعطاف پذیر و مستقل از مدل‌های دینامیکی سامانه می‌باشند، در جستجوی راه‌هایی برای پیشرفت در پیش‌بینی مشخصه‌های مهم هواشناسی می‌باشند (Khalili, 2006).

در سال‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه پیش‌بینی‌های میان مدت و بلند مدت (ماهانه و فصلی) در نقاط مختلف جهان انجام شده است. بسیاری از این تحقیقات بر پایه تاثیر الگوهای سینوپتیکی بزرگ مقیاس بوده است (Kramuz, 2006).

(Choi, 1999) از شبکه‌های عصبی و سامانه‌های داده‌های جغرافیایی برای پیش‌بینی بارش روزانه بهره‌گیری کرده‌اند. نتایج نشان دهنده کارایی سامانه‌های داده‌های جغرافیایی و شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی بارش است.

(Liu & Chandrasekar, 2000) از منطق فازی و سامانه استنباط فازی عصبی برای طبقه‌بندی هیدرومتئورها بهره‌گیری نموده‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که هر دو مدل

در تشخیص نوع هیدرومتئورها موفق عمل می‌کنند. (Cavazos, 2000) از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی بارش روزانه بهره‌گیری کرده است. متغیرهای مورد بهره‌گیری 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.

(Halid & Ridd, 2002) از منطق فازی برای مدل سازی و پیش‌بینی بارش محلی دی ماه (ژانویه) در فرودگاه‌ها زانودین^۱ در اندونزی که بزرگترین ناحیه تولید برنج است، بهره‌گیری کردند. نتایج آنان نشان می‌دهد مدل منطق فازی برای پیش‌بینی بارش ماه ژانویه نسبت به مدل‌های رگرسیونی مناسب‌تر است.

(Pongracz & Bartholy, 2006) بارندگی ماهیانه را در مجارستان با بهره‌گیری از تیپ‌های الگوی چرخش اتمسفری و شاخص انسو^۲ مدل سازی کردند. بدین منظور از روش مدل سازی مبتنی بر قوانین فازی برای ایجاد ارتباط بین ورودی‌ها و بارندگی بهره‌گیری کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که مدل مبتنی بر قوانین فازی، ابزار عالی را برای پیش‌بینی مشخصات آماری بارندگی ماهیانه با بهره‌گیری از فراوانی ماهیانه تیپ‌های الگوی چرخش اتمسفری روزانه و SOI^۳ تاخیری فراهم می‌کند.

(Maria et al., 2005) از شبکه‌های عصبی و مدل‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی بارش در منطقه سائوپائولو برزیل بهره‌گیری کرده‌اند. متغیرهای مورد بهره‌گیری آن‌ها عبارت‌اند از: دمای پتانسیل، مؤلفه قائم باد، رطوبت ویژه، دمای هوا، آب قابل بارش، چرخندگی نسبی^۴ و شار واگرایی رطوبت^۵. نتایج نشان دهنده کارایی هر دو روش در پیش‌بینی بارش است.

۱- Hasanudinn

۲- ENSO (El Niño Southern Oscillation Index)

۳- Southern Oscillation Index

۴- Relative vorticity

۵- Moisture divergence flux

و چهارمین استان پهناور کشور است. از شمال و شرق با دو کشور ترکمنستان و افغانستان همجوار است، که با کشور ترکمنستان ۵۳۱،۶ کیلومتر و با کشور افغانستان ۳۰۲ کیلومتر مرز مشترک دارد. این استان از جنوب با استان خراسان جنوبی و از شمال به استان خراسان شمالی و از غرب و جنوب غربی به استان‌های سمنان و یزد محدود می‌شود. استان خراسان رضوی بین ۳۴ تا ۳۸ درجه عرض شمالی و ۵۷ تا ۶۱ درجه طول شرقی واقع شده است.

میانگین بارندگی در سطح استان ۲۰۸ میلی متر بوده و بیشتر آن در زمستان و اوایل بهار صورت می‌گیرد. مناطق پرباران در نواحی مرتفع قرار دارند که از شمال به جنوب نیز میزان بارش کاهش می‌یابد. بارش در نواحی مرتفع بیشتر به صورت برف است که در تامین منابع آب استان به ویژه آب‌های زیرزمینی نقش مهمی دارد.

نواحی کوهستانی شامل دو بخش شمالی و جنوبی می‌باشند که در بخش شمالی قسمت قابل توجهی از دو رشته کوه کپه داغ- هزارمسجد و آلاداغ- بینالود قرار دارند. رشته کوه هزارمسجد با حدود ۳۰۴۰ متر ارتفاع در جهت شمال غربی- جنوب شرقی امتداد یافته است. رشته کوه‌های بینالود در امتداد البرز شرقی قرار گرفته و روند شکل‌گیری آن همانند هزارمسجد است. بلندترین قله این رشته کوه (بام خراسان) بیش از ۳۱۵۰ متر ارتفاع دارد. در بخش شمالی کوه‌های خراسان رضوی، کوه جغتای و در بخش جنوبی، ارتفاعات کوه سرخ و سیاه کوه قرار دارند.

دوره زمانی مورد بررسی در این بررسی، میانگین بارش بهاره ۳۸ ساله فروردین تا خرداد (آوریل تا ژوئن) هر سال می‌باشد. داده‌های بارش بهاره برای هر سال میلادی شامل بارندگی ۳۸ ایستگاه همدیدی، اقلیم شناسی و باران سنجی می‌باشد که از سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو دریافت شده است. از این شمار، ۲۴ ایستگاه مربوط به آمار و داده‌های ایستگاه‌های باران سنجی وزارت نیرو و بقیه مربوط به سازمان هواشناسی می‌باشند. شکل (۱) نقشه محدوده مورد بررسی و نام ایستگاه‌های مورد بهره‌گیری را نشان می‌دهد. در این بررسی

(Suwardi et al., 2006) از سامانه استنباط فازی عصبی برای مدل سازی بارش های گرمسیری فصل مرطوب بهره‌گیری کردند. نتایج کارایی این روش را در پیش‌بینی بارش نشان می‌دهد.

(Karamuz, 2006) با بهره‌گیری از کاربرد نشانه‌های 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) بهره‌گیری کردند. نتایج آنان نشان می‌دهد جز در منطقه جنوب غرب که پیش‌بینی هر دو مدل دارای خطای بیش از ۳۵ درصد و همانند بوده است، در مناطق شمال غرب و غرب، خطای مدل فازی به ترتیب ۸/۴ و ۱۳ درصد کمتر از شبکه عصبی است.

(Fallah Ghalhary, 2007) از روش منطق فازی و شبکه‌های عصبی فازی تطبیقی برای پیش‌بینی بارش آذر ماه تا اردیبهشت (دسامبر تا می) منطقه خراسان بزرگ بهره‌گیری نموده است. نتایج نشان دهنده کارایی هر دو روش در پیش‌بینی بارش فصلی است. در این بررسی مدل فازی عملکرد بهتری نسبت به مدل ANFIS داشته است.

با توجه به اهمیت برآورد بارش در بسیاری از فرایندهای تصمیم‌گیری مانند مدیریت منابع آب و کشاورزی، در این بررسی سعی شده است با بهره‌گیری از داده‌های الگوهای سینوپتیکی مانند دما و اختلاف دمای سطح دریا، فشار و اختلاف فشار سطح دریا، آب قابل بارش، دمای هوا در سطح ۷۰۰ میلی بار، ضخامت بین سطوح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی بار و رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ میلی بار، ارتباط الگوهای سینوپتیکی بزرگ مقیاس اقلیمی با بارش منطقه مورد بررسی تعیین شود.

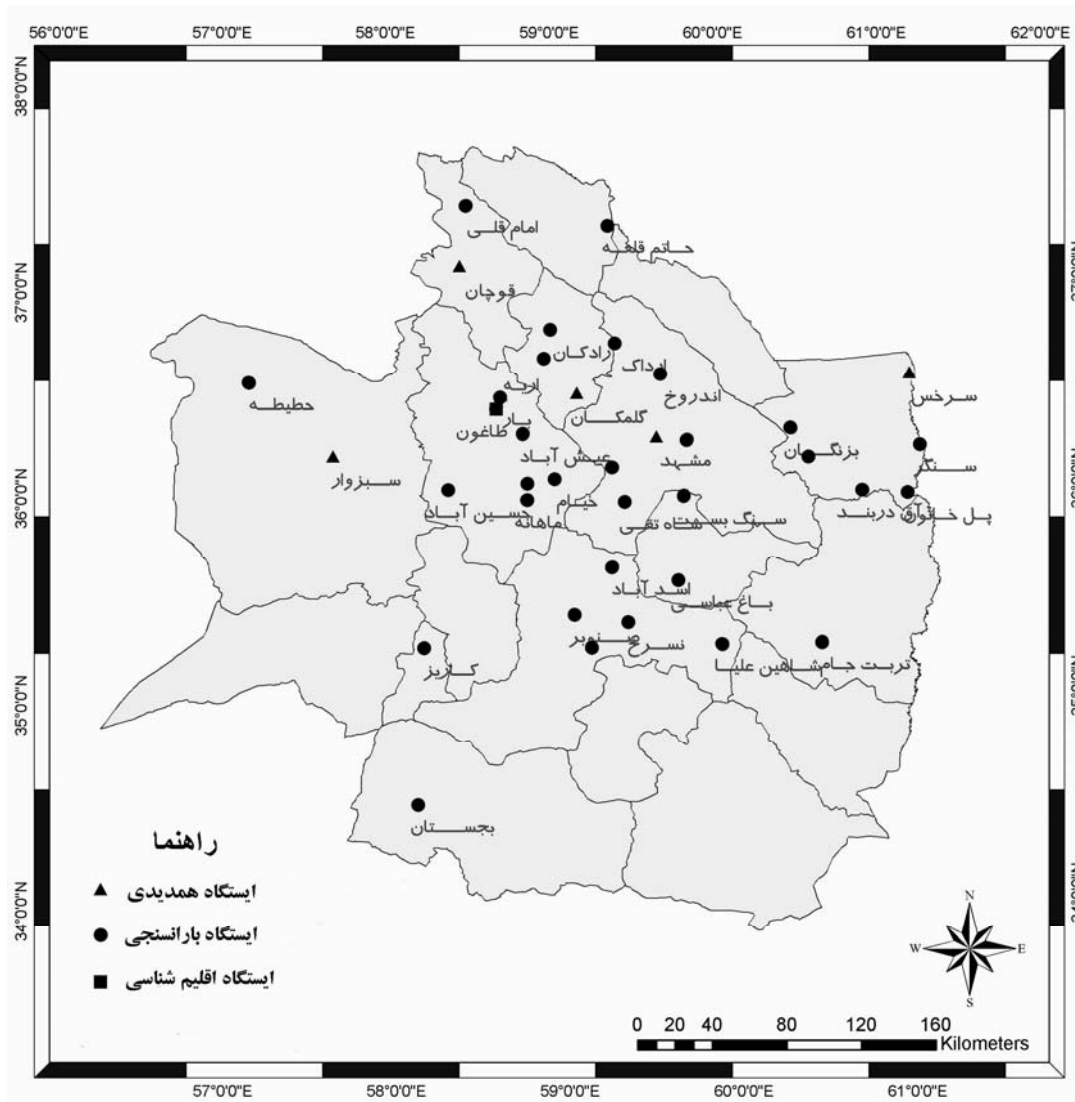
مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی در این بررسی استان خراسان رضوی می‌باشد. استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران واقع شده

ران آزمایش بهره‌گیری شده است.

برای تکمیل برخی از نواقص داده‌هایی بارش از روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها و برای آزمون همگنی داده‌ها از آزمون



شکل ۱- نقشه محدوده مورد بررسی به همراه ایستگاه‌های منتخب

داده‌های مورد بهره‌گیری

نشانه‌هایی که در این بررسی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند به دو دسته تقسیم می‌شوند. مشخصه‌های هواشناسی سطح زمین و مشخصه‌های هواشناسی سطوح بالایی جو. مشخصه‌های هواشناسی سطوح بالایی جو عبارت‌اند از:

- دمای هوا در سطح ۷۰۰ میلی بار
- ضخامت بین سطوح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی بار
- رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ میلی بار
- مشخصه‌های هواشناسی سطح زمین عبارت‌اند از:
- فشار سطح دریا

مقادیر نشانه‌های هواشناسی در بازه زمانی مهر تا اسفند (اکتبر تا مارس) به عنوان دوره زمانی نشانه‌ها و از میانگین بارندگی ماه‌های فروردین تا خرداد (آوریل تا ژوئن) به عنوان دوره زمانی بارندگی بهره‌گیری شده است.

در این بررسی برای تحلیل مشخصه‌های سطوح بالایی جو و همچنین ۳ مشخصه سطح زمین شامل باد مداری، باد نصف النهاری و آب قابل بارش با توجه به گونه تاثیر الگوهای سینوپتیکی پیوند از دور بر منطقه مورد بررسی، از دو شبکه ۵×۵ درجه و ۱۰×۱۰ درجه بهره‌گیری شده است. محدوده مکان مورد بررسی که مشخصه‌های هواشناسی سطح زمین و سطوح بالایی جو در آن‌ها با روش تحلیل عاملی تحلیل شده، در حد فاصل ۸۰-۰ درجه شرقی و ۵۰-۱۰ درجه شمالی در شبکه‌های ۵×۵ درجه و ۱۰۰-۰ درجه شرقی و ۷۰-۰ درجه شمالی در شبکه‌های ۱۰×۱۰ درجه می‌باشد. این محدوده مناطقی را شامل می‌شود که تغییرات الگوی دما، فشار، رطوبت و سرعت باد در آنها بر بارش منطقه اثرگذار است (Cavazos, 2000). برای مشخصه‌های هواشناسی دیگر در سطح زمین شامل فشار، دما، اختلاف فشار و اختلاف دما بین سطح دریا و سطح ۱۰۰۰ میلی باری به صورت نقطه‌ای عمل شده است. به عبارت دیگر، مناطقی تحت عنوان مناطق شاخص در نقاط مختلفی از دریاها که بنا به تحقیقات پژوهشگران پیشین مانند (Alijani, 2003; Cavazos, 2000; Fallah Ghalhary, 2007; Fallah Ghalhary et al., 2007) بر آب و هوای ایران اثر گذارند، گزینش و مورد بررسی قرار گرفته است.

لازم به یادآوری است برای انجام آزمونهای آماری لازم و بدست آوردن همبستگی بین نشانه‌های شاخص با بارش منطقه از دو نرم افزار اکسل^۲ و جامپ^۳ نسخه ۴ بهره‌گیری شده است.

- اختلاف فشار سطح دریا

- دمای سطح دریا

- اختلاف دما بین سطح دریا و سطح ۱۰۰۰ میلی باری

- باد مداری

- باد نصف النهاری

- آب قابل بارش

داده‌های مورد نیاز به استثنای داده‌های بارش که از سازمان هواشناسی کشور دریافت شده است، از پایگاه نوا^۱ در شبکه‌هایی با توان جداسازی ۲/۵×۲/۵ درجه در فاصله بین سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۷۰ میلادی استخراج شده است. هدف نهایی از بررسی تغییرات مکانی بارش، همانندسازی تغییرات داده‌های بارش در بعد مکان است، به گونه‌ای که زمینه برای هدف‌های بعدی از جمله پیش‌بینی بارش و به دست آوردن داده‌های لازم برای تحلیل بلند مدت وضعیت بارش در هر منطقه از محدوده مورد بررسی فراهم شود (Fallah Ghalhary et al, 2007).

در این بررسی از روش کربچینگ برای محاسبه بارش میانگین منطقه‌ای بهره‌گیری شده است. گام‌های زیر برای به دست آوردن دوره زمانی بارش میانگین منطقه‌ای انجام شد:

- ۱- ساختن فایل‌های ورودی نرم افزار آرک مپ، ۲- به دست آوردن واریوگرام تجربی، ۳- تحلیل و ترسیم تغییرات مکانی بارش در منطقه برای هر سال، ۴- به دست آوردن مقادیر میانگین بارش در منطقه مورد بررسی برای هر سال، ۵- ساخت دوره‌های زمانی بارش برای منطقه مورد بررسی.

فصل‌بندی بارندگی و نشانه‌ها بر این پایه بوده است که با بهره‌گیری از میانگین مقادیر یک نشانه‌خاص در چند ماه متوالی، بتوان میزان بارندگی فصلی را در ماه‌های آینده مشخص نمود. بنابراین سعی شده است که فصول مربوط به نشانه‌ها، ماه‌های دارای بارندگی را شامل نشوند.

با توجه به اینکه در این تحقیق، ارزیابی ارتباط مشخصه‌های هواشناسی با بارش بهاره مد نظر بوده است، از میانگین

۲- Excel

۳- Jump 4

۱- Noaa (www. cdc. noaa. gov)

روش مورد بهره‌گیری

روش مورد بهره‌گیری در تحلیل مشخصه‌های هواشناسی جو بالا و سطح زمین (باد مداری، باد نصف النهاری و آب قابل بارش) بهره‌گیری از روش تحلیل عاملی است. روش تحلیل عاملی از جمله روش‌های آماری می‌باشد که برای کاهش شمار متغیرها به وجود آمده است. در این روش متغیرهای اولیه بر پایه ضرائب همبستگی بین آن‌ها به متغیرهای غیر وابسته تبدیل می‌شوند. این متغیرهای غیر وابسته عامل^۱ نامیده می‌شوند. اندازه هر کدام از مشاهده‌ها در عامل‌های جدید با عنوان نمره‌های عاملی محاسبه می‌شود. در نتیجه به جای اندازه‌های واقعی مشاهده‌ها، نمره‌های آن‌ها در مؤلفه‌های جدید به عنوان معیارهای جدید برای خوشه بندی مورد بهره‌گیری قرار می‌گیرند. امتیاز این روش در این است که ضمن اینکه شمار متغیرها را کاهش می‌دهد، میزان اولیه واریانس موجود در داده‌های اصلی را حفظ می‌کند (Cavazos, 2000).

بررسی ارتباط الگوهای سینوپتیکی شاخص با بارش منطقه

همان‌طور که اشاره شد در این بررسی، به منظور ارزیابی ارتباط تغییرات مشخصه‌های هواشناسی فشار، دما، اختلاف فشار و اختلاف دما، با بارش در محدوده مورد بررسی، نقاطی با عنوان نقاط شاخص در مناطق مختلفی از دریاها که بر آب و هوای ایران تاثیر گذارند، مورد 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 شکل (۲) نشان داده شده است. در گزینش این مناطق تاثیرپذیری منطقه شمال شرق کشور از الگوهای سینوپتیکی مورد توجه قرار گرفته است. در این بررسی برای به دست

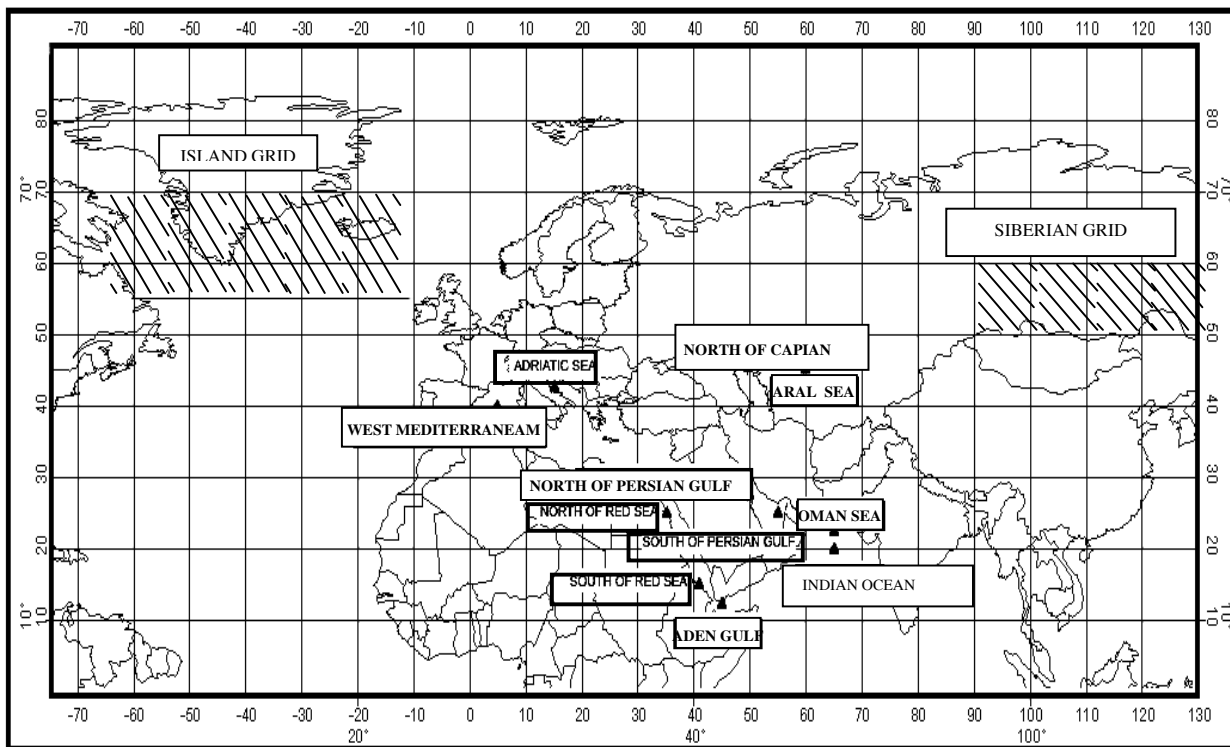
آوردن نشانه‌های هواشناسی موثر بر بارش منطقه، از روش همبستگی پیرسون بهره‌گیری شده است. به این ترتیب کلیه نشانه‌هایی که در بازه زمانی مهر تا اسفند (اکتبر تا مارس) و دی تا اسفند (ژانویه تا مارس) در سطح ۵٪ با بارش منطقه همبستگی معنی‌دار نشان داده‌اند، به عنوان پیش‌بینی کننده در ساختار مدل پیش‌بینی بارش بهره‌گیری شده‌اند. پس از بررسی‌های بسیاری، مشخص شد بهترین حالت تاثیر نشانه‌ها هنگامی است که از بازه زمانی مهر تا اسفند نشانه‌ها بهره‌گیری شود. لذا نشانه‌های زیر در بازه زمانی اکتبر تا مارس به عنوان پیش‌بینی کننده در مدل‌های پیش‌بینی بارش مورد بهره‌گیری قرار گرفته‌اند: ۱- SST مرکز اقیانوس اطلس ۲- SST غرب دریای مدیترانه ۳- Δ SST^۲ دریاچه آرال ۴- SST دریای لابرادور ۵- SLP شمال خلیج فارس ۶- SLP دریای عمان ۷- SLP جنوب خلیج فارس ۸- SLP جنوب دریای سرخ ۹- Δ SLP^۳ بین شرق دریای مدیترانه و دریای عمان ۱۰- دمای هوای سطح ۷۰۰ میلی بار در منطقه شاخص عامل ۲ در شبکه‌های ۵×۵ درجه (شکل ۳) ۱۱- دمای هوای سطح ۷۰۰ میلی بار در منطقه شاخص عامل ۳ در شبکه‌های ۵×۵ درجه (شکل ۳) ۱۲- آب قابل بارش در منطقه شاخص عامل ۱۰ در شبکه‌های ۱۰×۱۰ درجه (شکل ۴) ۱۳- رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ میلی بار در منطقه شاخص عامل ۲ در شبکه‌های ۵×۵ درجه (شکل ۵) ۱۴- رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ میلی بار در منطقه شاخص عامل ۴ در شبکه‌های ۵×۵ درجه (شکل ۵).

۲- The difference between Sea Surface Temperature and

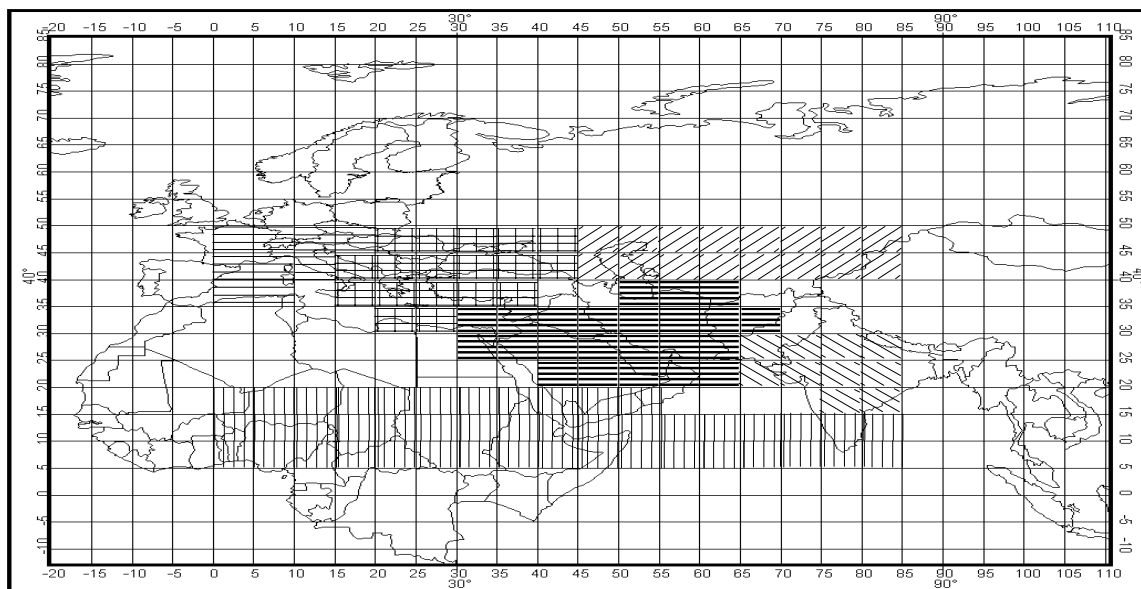
air temperature at 1000 hpa level (Δ SST)

۳- Sea Level Pressure Difference (Δ SLP)

۱- Factor

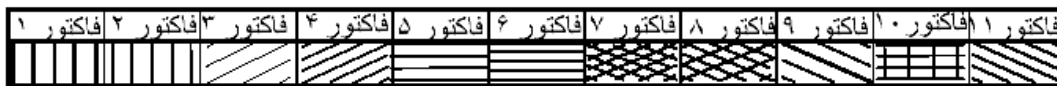
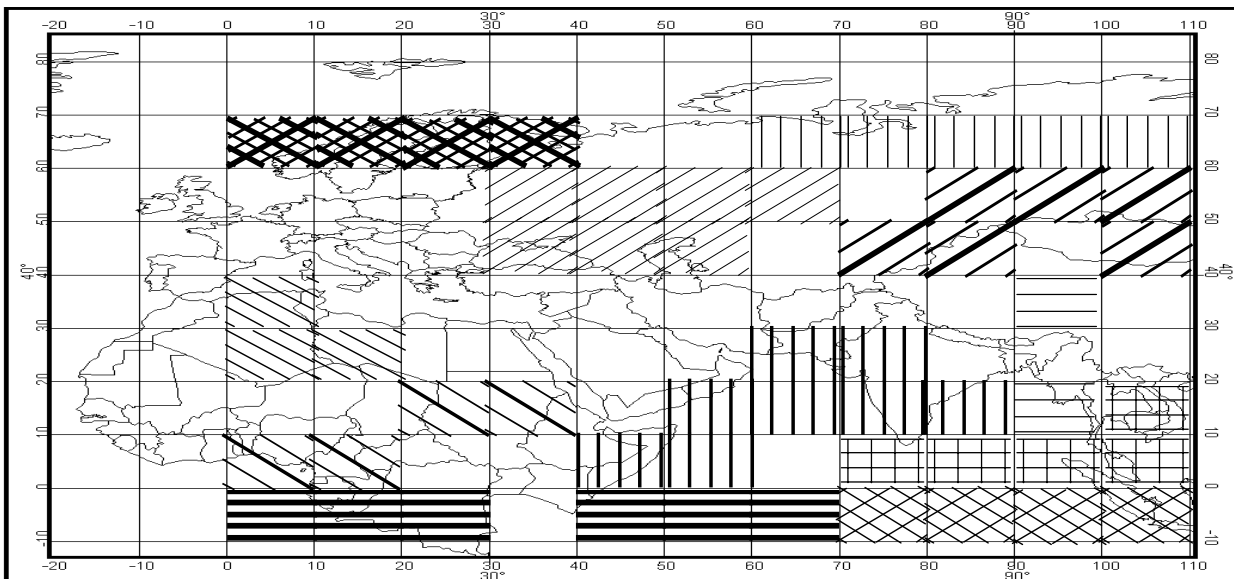


شکل ۲- نام و مختصات نقاط مورد بهره‌گیری در تحلیل های دما و فشار سطح دریا

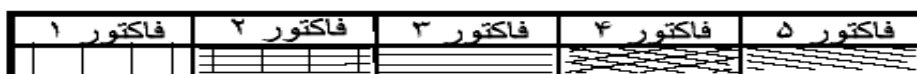
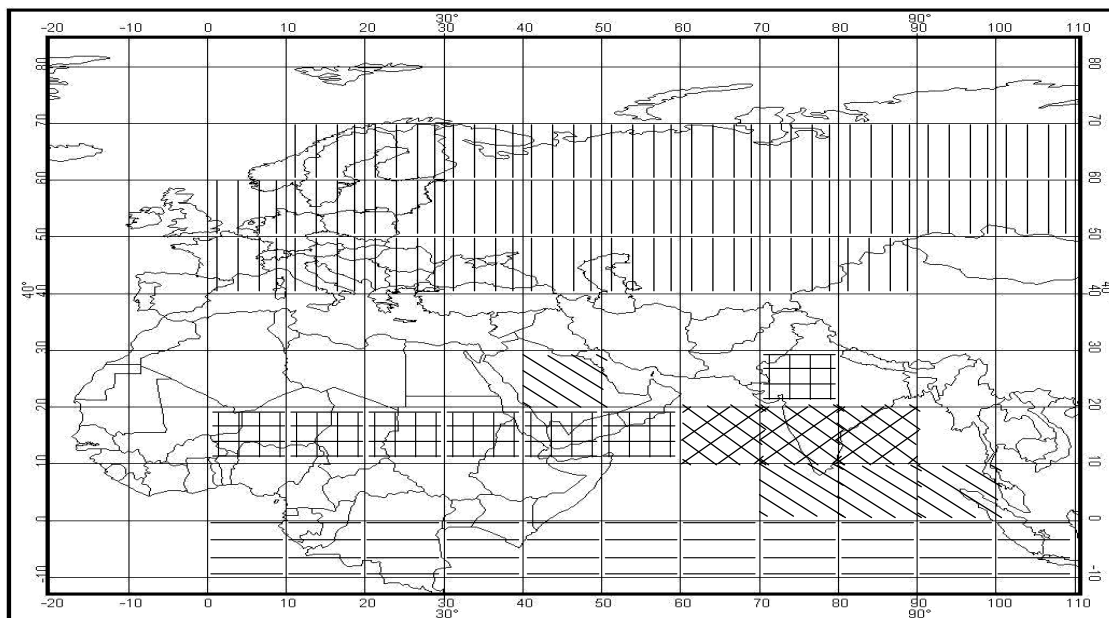


فاکتور ۱	فاکتور ۲	فاکتور ۳	فاکتور ۴	فاکتور ۵	فاکتور ۶

شکل ۳- مناطق شناسایی شده دمای سطح ۷۰۰ میلی بار در بازه مهر تا اسفند در شبکه‌های ۵×۵ درجه با روش تحلیل عاملی



شکل ۴- مناطق شناسایی شده آب قابل بارش در بازه زمانی مهر تا اسفند در شبکه‌های ۱۰×۱۰ درجه



شکل ۵- مناطق شناسایی شده رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ میلی بار در شبکه‌های ۵×۵ درجه

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - e_i)^2}{n}} \quad (1)$$

در فرمول بالا RMSE، جذر میانگین مربعات خطا، O_i و e_i به ترتیب مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده متغیر در نقطه i و n شمار مشاهده‌ها می‌باشد. شکل (۶) فلوجارت تدوین مدل برآورد بارش با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی فازی تطبیقی را نشان می‌دهد.

نتایج

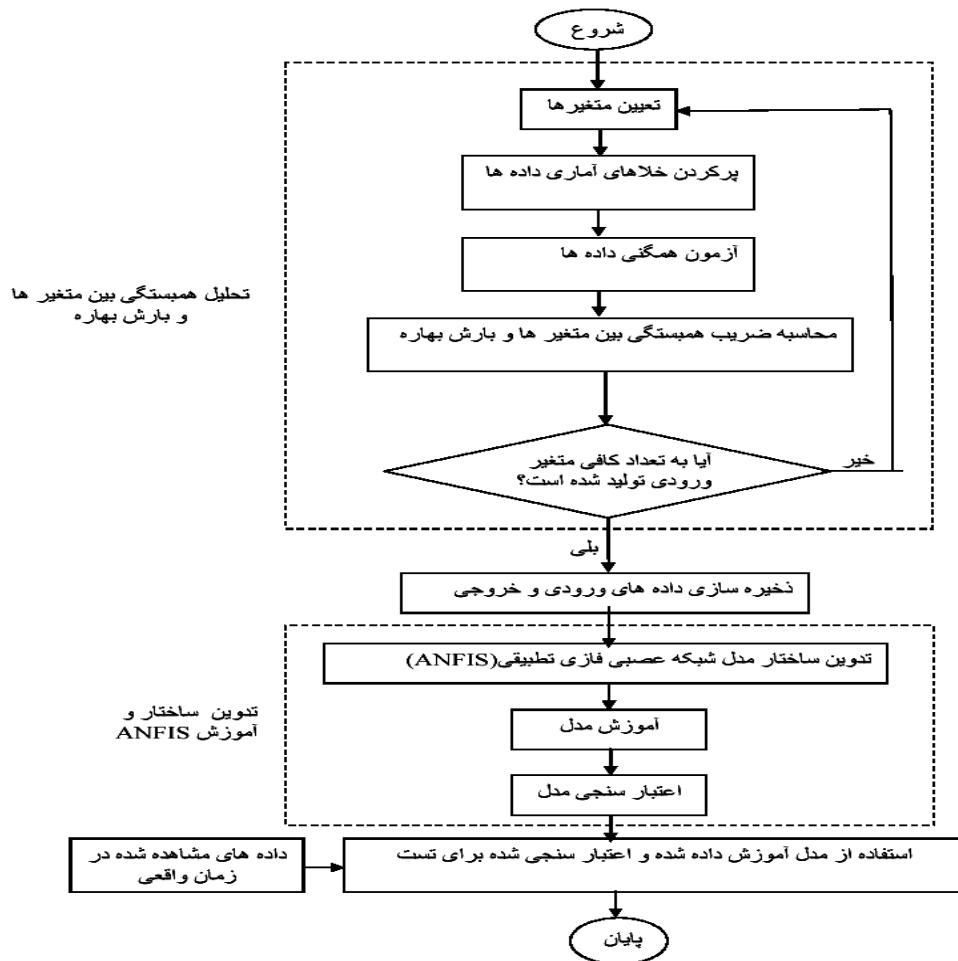
برآورد بارش بهاره با بهره‌گیری از سامانه استنباط فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)

مدل یادشده داده‌ها را به سه بخش مختلف با عنوان‌های داده‌های آموزشی، داده‌های صحت سنجی و داده‌های آزمایشی تقسیم می‌کند. برای این منظور از ۳۸ سال داده، ۱۹ سال به عنوان داده‌های آموزشی، ۹ سال داده برای دوره صحت سنجی و ۱۰ سال باقی‌مانده هم برای آزمایش مدل در نظر گرفته شدند. پس از آزمون‌های مختلف برای شعاع همسایگی و شمار متغیرهای وارد شده به مدل، سرانجام مدل نهایی با چهارده متغیر ذکر شده در بخش پیشین دارای کمترین خطا بود و به عنوان مدل نهایی مورد بهره‌گیری قرار گرفت. نتایج این بررسی‌ها در جدول (۱) و شکل (۷) نشان داده شده است. لازم به یادآوری است جذر میانگین مربعات خطا در این مدل ۹،۳۴ میلی متر به دست آمده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، بیشترین خطا مربوط به سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۱ بوده است. در این مورد، به دلیل اینکه این سال‌های حدی در مرحله آموزش شبکه و دوره کالیبراسیون مشخصه‌های مدل تکرار نشده‌اند، مدل توان برآورد بارندگی در این سال‌ها نداشته است.

ساختار سامانه‌های استنباط فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)

برای ایجاد ارتباط بین چند متغیر از روش‌های مختلفی می‌توان بهره‌گیری کرد. برخی از این روش‌ها عبارت‌اند از: رگرسیون خطی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، سامانه‌های استنباط فازی و ترکیبی از شبکه‌های عصبی و سامانه‌های استنباط فازی که به سامانه‌های استنباط فازی-عصبی تطبیقی یا ANFIS مشهور می‌باشند (Hesami Rostami et al, 2004). مدل ANFIS در برگرفته دو مدل شبکه‌های عصبی و مدل فازی می‌باشد. بخش فازی رابطه‌ای بین ورودی و خروجی برقرار نموده و مشخصه‌های مربوط به توابع عضویت بخش فازی به وسیله شبکه‌های عصبی تعیین می‌شود. لذا ویژگی‌های هر دو مدل فازی و عصبی در ANFIS نهفته است. مدل ANFIS از نوع مدل‌هایی هستند که با سامانه به صورت یک جعبه سیاه برخورد کرده و با بهره‌گیری از داده‌های ورودی و خروجی، در مرحله آموزش مشخصه‌های خود را چنان تنظیم می‌کنند که بتوانند به‌ازای ورودی‌های مختلف، خروجی‌هایی همانند میزان واقعی بدهند (Fatehi Marj, 2000). سامانه استنتاج فازی مورد بهره‌گیری در ANFIS، مدل سوگنو^۲ می‌باشد که برای استخراج قوانین فازی و خروجی سامانه از آن بهره‌گیری می‌شود. در این نوشتار برای دسته‌بندی خودکار و تحلیل داده‌ها و در نهایت تولید سامانه استنتاج فازی از روش خوشه‌سازی تفریقی بهره‌گیری شده است. در این بررسی، برای ارزیابی دقت مدل از شاخص جذر میانگین مربعات خطا^۳ بهره‌گیری شده است که فرمول محاسبه آن به شرح زیر است:

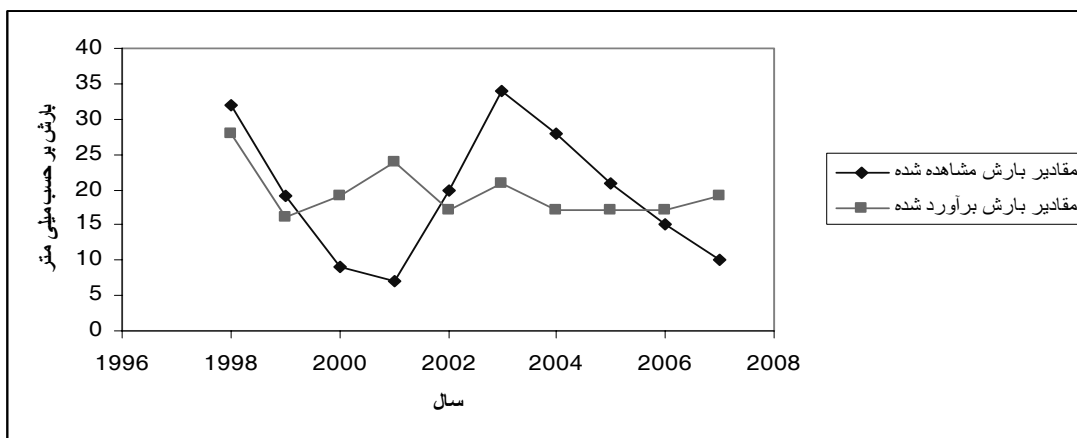
- ۱- Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
- ۲- Sugeno
- ۳- Root Mean Square Error (RMSE)



شکل ۶- فلوجارت مدل پیشنهادی برای برآورد بارش بهاره در منطقه مورد بررسی

جدول ۱- برآورد بارش محدوده مورد بررسی با مدل ANFIS

سال	بارش ثبت شده	بارش پیش‌بینی
۱۹۹۸	۳۲	۲۸
۱۹۹۹	۱۹	۱۶
۲۰۰۰	۹	۱۹
۲۰۰۱	۷	۲۴
۲۰۰۲	۲۰	۱۷
۲۰۰۳	۳۴	۲۱
۲۰۰۴	۲۸	۱۷
۲۰۰۵	۲۱	۱۷
۲۰۰۶	۱۵	۱۷
۲۰۰۷	۱۰	۱۹



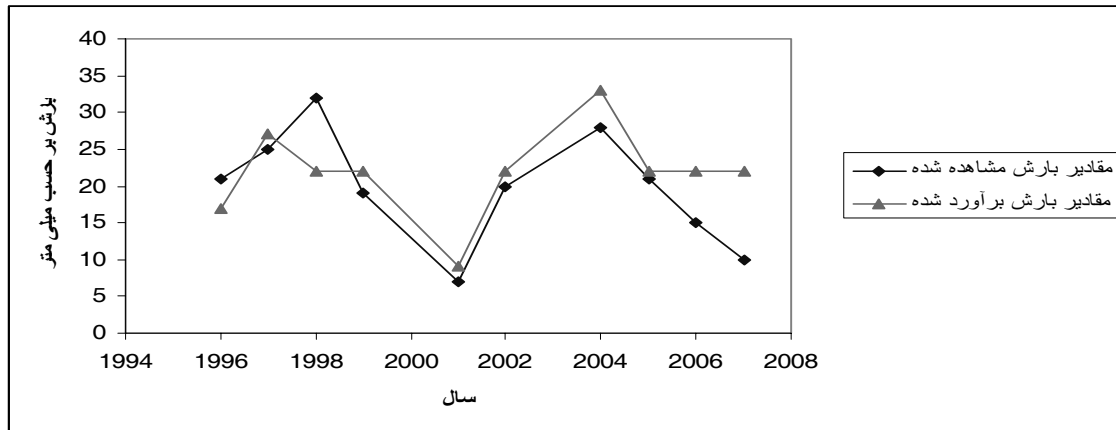
شکل ۷- مقایسه بارش مشاهده شده و برآورد شده در محدوده مورد بررسی با مدل ANFIS

آن‌ها داده‌های دیگری جایگزین شد. جدول (۲) و شکل (۸) نتایج مدل را در این حالت نشان می‌دهند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، دقت مدل در تشخیص سال‌های خشک، تر و عادی افزایش یافته است و می‌توان گفت که دقت این مدل بسیار بالاتر از مدل پیشین است و شکل (۸) هم به روشنی این موضوع را نشان می‌دهد. بنابراین، نتیجه می‌گیریم که تغییر در نوع داده‌های آموزشی، در نتایج مدل برآورد بارش موثر بوده است و با این مدل می‌توان بارش را با دقت بیشتری برآورد کرد.

همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، مدل به‌طور عمده قادر به برآورد بارش سال‌های حدی خشک و تر نمی‌باشد. برای حل این مشکل، بایستی مدل با این داده‌های حدی آموزش داده شود. به همین دلیل و برای گسترش مدل ANFIS در برآورد بارش بهاره، به طوری که بتوان از آن در همه موارد اعم از سال‌های خشک، تر و عادی به کار برد، سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۳ که از سال‌های حدی در دوره آزمایش مدل می‌باشند و یکی نماینده سال حدی خشک و دیگری نماینده سال حدی تر می‌باشد، از داده‌های آزمایش خارج و به جای داده‌های آموزشی و دوره کالیبراسیون مدل منتقل و به جای

جدول ۲- برآورد بارش محدوده مورد بررسی با مدل ANFIS بعد از اصلاح شبکه با داده‌های آموزشی

سال	بارش ثبت شده	بارش برآورد شده
۱۹۹۶	۲۱	۱۷
۱۹۹۷	۲۵	۲۷
۱۹۹۸	۳۲	۲۲
۱۹۹۹	۱۹	۲۲
۲۰۰۱	۷	۹
۲۰۰۲	۲۰	۲۲
۲۰۰۴	۲۸	۳۳
۲۰۰۵	۲۱	۲۲
۲۰۰۶	۱۵	۲۲
۲۰۰۷	۱۰	۲۲



شکل ۸- بارش مشاهده شده و برآورد شده با مدل ANFIS پس از اصلاح دوره آموزشی با داده‌های تاریخی مناسب

قبولی قرار دارد و مدل توانسته است در ۹۰ درصد سال‌ها بارش را با خطای قابل قبولی برآورد کند. جدول (۳) مشخصات ساختاری مدل ANFIS را نشان می‌دهد.

لازم به یادآوری است ریشه میانگین مربعات خطا برای این مدل ۵،۹ میلی متر به دست آمده است. بررسی نتایج مدل نشان می‌دهد به غیر از سال ۲۰۰۷، اختلاف بارش مشاهده شده و برآورد شده در محدوده قابل

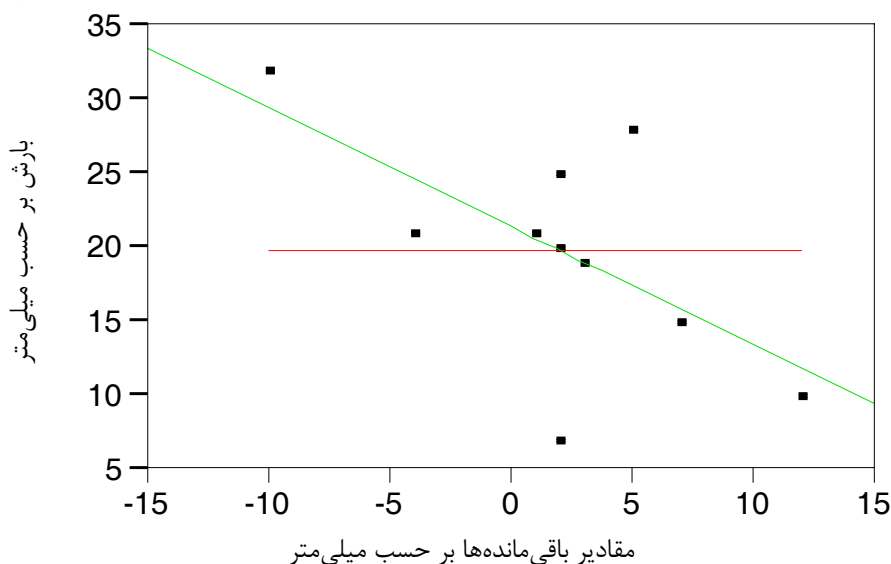
جدول ۳- مشخصات ساختاری مدل ANFIS

سوگنو	نوع مدل فازی
یک عدد	شمار لایه پنهان
۱۸	شمار جفت داده‌های آموزشی
۱۰	شمار جفت داده‌های آزمایش
۱۷	شمار قوانین فازی
۱،۵	دامنه تاثیر
۱۰۰۰	تکرار
ترکیبی	روش بهینه سازی
۱،۲۵	عامل نرم کردن
۰،۵	نسبت پذیرش
۰،۱۵	نسبت رد نمودن

دهنده دقت به نسبت بالای مدل در برآورد بارش است. معادله خط رگرسیون تغییرات مقادیر بارش مشاهده شده نسبت به باقی‌مانده‌ها عبارت است از:

شکل ۹ مقادیر باقی‌مانده‌ها را در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. ضریب همبستگی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و مقادیر باقی‌مانده‌ها ۰/۶۲ است که نشان

Residuals (Rainfall) = $(\text{mm}) - ۲۱/۴ - ۰/۸ \times \text{Residuals}$ در معادله بالا مقادیر باقی مانده‌ها و rainfall میزان بارش بر حسب میلی‌متر است.



شکل ۹- تغییرات مقادیر واقعی بارش نسبت به باقی مانده‌ها. خط مورب، خط رگرسیون می‌باشد

باقی مانده‌ها، جذر میانگین مربعات خطا $۶/۳۹$ میلی متر به دست آمده است که از دقت بالایی برخوردار است. همان طور که در جدول (۵) دیده می‌شود، نسبت F در سطح ۵% معنی دار است و نشان دهنده ارتباط قوی تغییرات بارش مشاهده شده با مقادیر باقی مانده‌ها می‌باشد.

جدول ۴ خلاصه مشاهده‌ها رگرسیون خطی بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر باقی مانده‌ها و جدول (۵) نتایج تجزیه واریانس رگرسیون خطی بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر باقی مانده‌ها را نشان می‌دهد. همان طور که در جدول (۴) دیده می‌شود، با در نظر گرفتن حدود اطمینان ۹۵% رگرسیون خطی بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر

جدول ۴- خلاصه مشاهده‌های رگرسیون خطی بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر باقی مانده‌ها

۰/۳۸	ضریب تبیین
۰/۳	ضریب تبیین تعدیل شده
۶/۳۹	جذر میانگین مربعات خطا
۱۹/۸	میانگین
۱۰	شمار مشاهده‌ها

جدول ۵- تجزیه واریانس رگرسیون خطی بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر باقی‌مانده‌ها

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	نسبت F
رگرسیون	۱	۲۰۲/۵۶۰	۲۰۲/۵۶۰	۴/۹۵
خطا	۸	۳۲۷/۰۳۹	۴۰/۸۸	Prob>F
کل	۹	۵۲۹/۶۰۰		۰/۰۵

جدول ۶ آزمون معنی‌دار بودن شیب خط رگرسیون بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر باقی‌مانده‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود، شیب خط رگرسیون نیز در سطح ۵٪ معنی‌دار است. میزان P-value برای آزمون معنی‌دار بودن شیب خط رگرسیون ۰/۰۵ به دست آمده است.

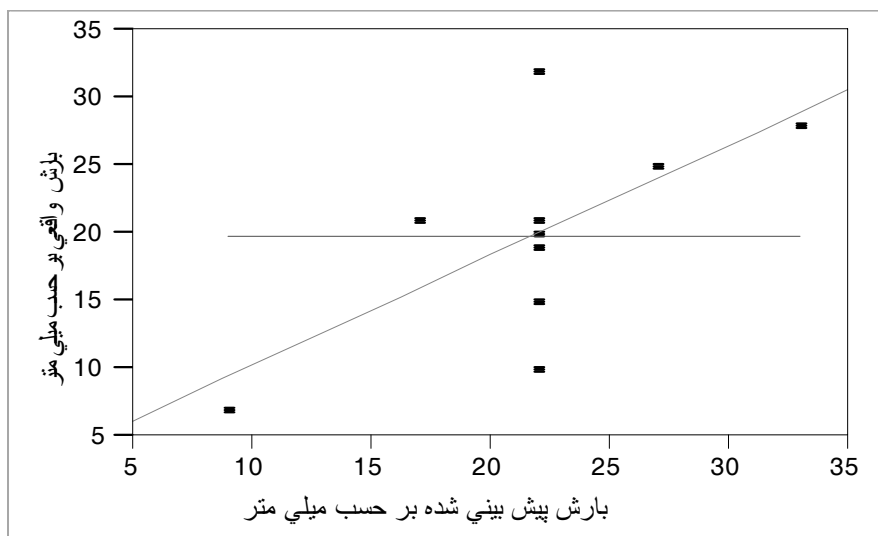
جدول ۶ آزمون معنی‌دار بودن شیب خط رگرسیون بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر باقی‌مانده‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود، شیب خط

جدول ۶- خلاصه مشاهده‌های آماری مربوط به برآورد مشخصه‌های مدل

مشخصه	میزان برآورد شده	خطای استاندارد	t نسبت	Prob> t
عرض از مبدا	۲۱/۴	۲۱/۴	۹/۹۷	۰/۰۰۰۱<
باقی‌مانده‌ها	-۰/۸	۰/۳۵	-۲/۲۳	۰/۰۵

شکل ۱۰ مقادیر بارش مشاهده شده و برآورد شده توسط مدل را از دیدگاهی بهتر نمایان می‌سازد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، تغییرات بارش مشاهده شده و برآورد شده توسط مدل، از همخوانی بسیار بالایی برخوردار بوده و همان‌طور که گفته شد در سطح ۵٪ معنی‌دار است.

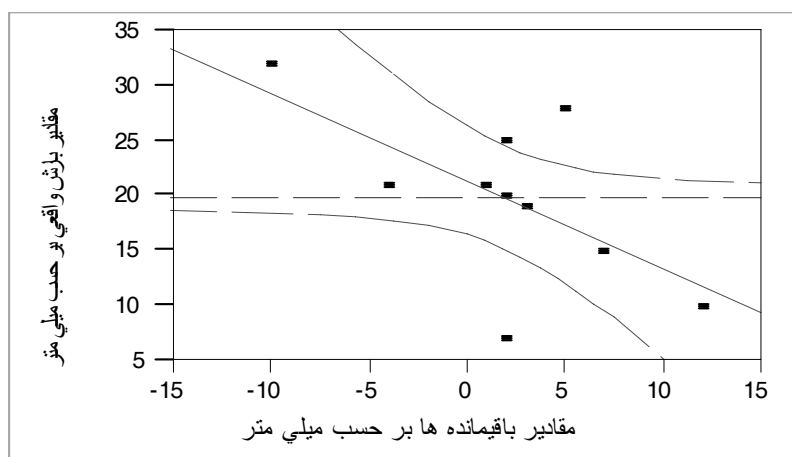
شکل ۱۰ مقادیر بارش مشاهده شده و برآورد شده توسط مدل را از دیدگاهی بهتر نمایان می‌سازد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، تغییرات بارش مشاهده شده و برآورد شده توسط مدل، از همخوانی بسیار



شکل ۱۰- مقادیر بارش مشاهده شده و برآورد شده توسط مدل

مشاهده شده و مقادیر باقی مانده‌ها، از همخوانی بسیار بالایی برخوردار بوده و در سطح ۵٪ معنی دار است.

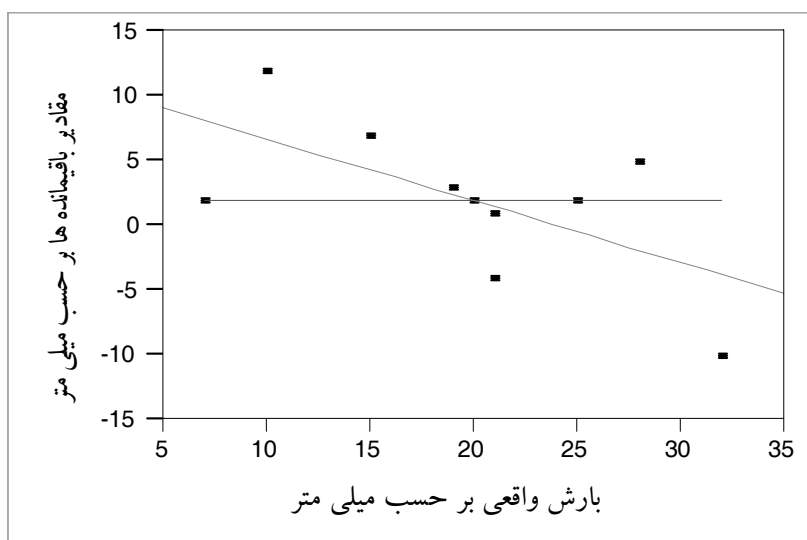
شکل ۱۱ هم حدود اطمینان ۹۵٪ را برای تغییرات بارش مشاهده شده در برابر مقادیر باقی مانده نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در اینجا نیز تغییرات بارش



شکل ۱۱- حدود اطمینان ۹۵٪ تغییرات بارش مشاهده شده در برابر مقادیر باقی مانده‌ها

$\text{Residuals} = 47.0 - 0.11 \text{ Rainfall}$ (mm)
در معادله بالا Residuals مقادیر باقی مانده‌ها و Rainfall میزان بارش بر حسب میلی‌متر است.

برای تکمیل این بحث، شکل ۱۲ نیز مقادیر باقی مانده‌ها را نسبت به مقادیر بارش اندازه گیری شده نشان می‌دهد. معادله خط رگرسیون تغییرات باقی مانده‌ها نسبت به مقادیر بارش مشاهده شده عبارت است از:



شکل ۱۲- تغییرات مقادیر باقی مانده‌ها نسبت به مقادیر بارش اندازه گیری شده. خط مورب، خط رگرسیون می‌باشد.

واقعی، جذر میانگین مربعات خطا ۴/۹ به دست آمده است که از دقت بالایی برخوردار است. همان‌طور که در جدول (۸) دیده می‌شود، نسبت F در سطح ۵٪ معنی‌دار است و نشان دهنده ارتباط قوی مقادیر باقی‌مانده‌ها با تغییرات بارش مشاهده شده می‌باشد.

جدول ۷ خلاصه مشاهده‌ها رگرسیون خطی بین مقادیر باقی‌مانده‌ها و مقادیر بارش واقعی و جدول (۸) نتایج تجزیه واریانس رگرسیون خطی بین مقادیر باقی‌مانده‌ها و مقادیر بارش واقعی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول (۷) دیده می‌شود، با در نظر گرفتن حدود اطمینان ۹۵٪ رگرسیون خطی بین مقادیر باقی‌مانده‌ها و مقادیر بارش

جدول ۷- خلاصه مشاهده‌ها رگرسیون خطی بین مقادیر باقی‌مانده‌ها و مقادیر بارش واقعی

۰/۳۸	ضریب تبیین
۰/۳	ضریب تبیین تعدیل شده
۴/۹	جذر میانگین مربعات خطا
۲	میانگین
۱۰	شمار مشاهده‌ها

جدول ۸- تجزیه واریانس رگرسیون خطی بین مقادیر باقی‌مانده‌ها و مقادیر بارش واقعی

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	نسبت F
رگرسیون	۱	۱۲۰/۸۶	۱۲۰/۸۶	۴/۹۵
خطا	۸	۱۹۵/۱۳۷	۲۴/۳۹۲	Prob>F
کل	۹	۳۱۶		۰/۰۵

رگرسیون نیز در سطح ۵٪ معنی‌دار است. میزان P -value برای آزمون معنی‌دار بودن شیب خط رگرسیون در این جا نیز ۰/۰۵ به دست آمده است.

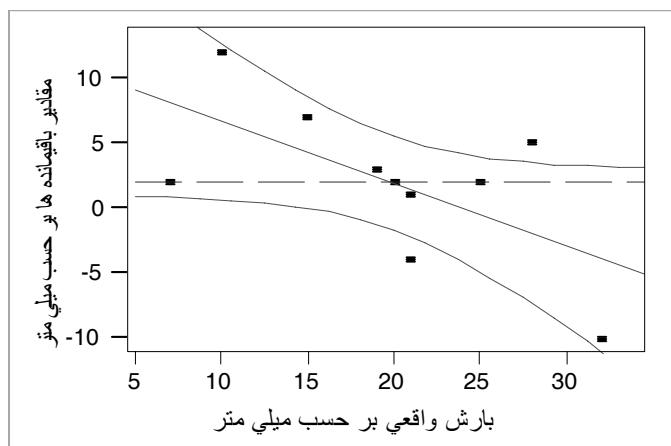
جدول ۹ آزمون معنی‌دار بودن شیب خط رگرسیون بین مقادیر باقی‌مانده‌ها و مقادیر بارش واقعی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود، شیب خط

جدول ۹- خلاصه مشاهده‌ها آماری مربوط به برآورد مشخصه‌های مدل

مشخصه	مقدار برآورد زده شده	خطای استاندارد	نسبت t	Prob> t
عرض از مبدا	۱۱/۴۵	۴/۵۲	۲/۵۳	۰/۰۳
بارش اندازه‌گیری شده	-۰/۴۷	۰/۲۱	-۲/۲۳	۰/۰۵

باقی‌مانده‌ها و بارش مشاهده شده، از همخوانی بسیار بالایی برخوردار بوده و در سطح ۵٪ معنی‌دار است.

شکل ۱۳ هم حدود اطمینان ۹۵٪ را برای تغییرات مقادیر باقی‌مانده‌ها در برابر بارش اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در اینجا نیز تغییرات مقادیر



شکل ۱۳- حدود اطمینان ۹۵٪ تغییرات مقادیر باقی مانده‌ها در برابر بارش اندازه گیری شده

دست آمده از این بررسی، می‌توان از نشانه‌های اقلیمی در مدل‌های برآورد بارش و همچنین تشخیص دوره‌های خشک و تر در منطقه بهره‌گیری کرد. همچنین نتایج به دست آمده توسط پژوهشگران خارجی مانند (Maria et al, 2005) و (Suwardi et al, 2006) کاربرد موفقیت آمیز این روش را نسبت به روش‌های معمول مانند روش‌های رگرسیونی در برآورد بارش نمایان می‌سازد. این موضوع نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در بخش شرب، صنعت و کشاورزی ایفا می‌کند.

سپاسگزاری

این نوشتار بخشی از نتایج طرح پژوهشی 'پیش‌بینی بارش بهاره استان خراسان رضوی بر پایه علامت‌های هواشناسی با بهره‌گیری از منطق فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و شبکه‌های عصبی فازی تطبیقی' توسط نگارنده است. نگارنده مراتب سپاس و قدردانی خود را به دلیل در اختیار قرار دادن امکانات لازم برای انجام این طرح، از مسئولان محترم پژوهشکده اقلیم‌شناسی، ابراز می‌دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

از مجموعه موارد بالا چنین استنباط می‌شود که متغیرهای مورد بهره‌گیری در مدل برآورد بارش، توانسته‌اند الگوی پراکندگی بارش را در منطقه تشخیص دهند و می‌توانند به عنوان پیش‌بینی‌کننده در مدل‌های برآورد بارش مورد بهره‌گیری قرار گیرند. لازم به یادآوری است همه نشانه‌های برگزیده در این بررسی، منطبق بر مسیرهای سیکلونی خاورمیانه و ایران هستند که توسط (Alijani, 2003) مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج بدست آمده از این بررسی نیز، این موضوع را تایید می‌کند. مقایسه نتایج به دست آمده از این بررسی با نتایج پژوهشگران دیگر مانند بررسی انجام شده توسط (Nazemosadat, 2006) یا بررسی انجام شده توسط (Mousavi et al., 2008) در منطقه خراسان بزرگ شامل سه استان خراسان رضوی، شمالی و جنوبی، نشان دهنده کارایی بالای روش‌هایی مانند شبکه‌های عصبی، شبکه‌های عصبی فازی تطبیقی و منطق فازی در برآورد بارش است و می‌توان از این روش‌ها به طور موفقیت آمیزی در برآورد بارش سود جست و در عمل کارایی مدل‌های برآورد بارش را از این راه افزایش داد. در مجموع، با توجه به نتایج به

منابع

- 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.
- Alijani, B., 2003, Synoptic Climatology. Samt. Press, First Edition. PP. 257
- 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, PP. 1718-1732.
- Choi, L. 1999. An application hydroinformatic tools for rainfall forecasting, Thesis (PhD). University of New South Wales (Australia), p. 752.
- Fallah Ghalhary, Gh.A., 2007, Seasonal rainfall forecasting based on Synoptical pattern using fuzzy set theory, Ms.c dissertation, faculty of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
- Fallah Ghalhary, Gh.A., Mousavi Baygi, M., Habibi Nokhandan, M., 2007. Seasonal rainfall forecasting based on pressure and pressure difference Synoptical patterns using statistical models, journal of agricultural science and technology, Ferdowsi University press, 21(2), PP. 95-104.
- Fatehi Marj, H., 2000, Chaotic assessment in dynamical systems, Ms.c dissertation in control engineering, faculty of engineering. Ferdowsi university of Mashad.
- 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, 2 nd Edition. New York, Wiley & Sons, pp. 447.
- Hesami Rostami, R., Afshar, A., Mousavi, J., 2004. flood prediction model using adaptive neuro fuzzy inference system and comparative with regression model, case study: Karkhe river, the first annual conference in water resources management, Tehran,Iran.
- Karamouz, M., 2006. Long Term Rainfall Forecasting Using By Meteorological Signals. Iran Meteorological Organization
- Khalili, N. 2006. Rainfall prediction using artificial neural network, Ms.c dissertation, faculty of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
- Leondes TC (1999) Fuzzy theory system, techniques and applications, vol 2. Academic, New York, p 954
- Liu, H., and Chandrasekar, V., 2000, Classification of Hydrometeors Based on Polarimetric Radar Measurements: Development of Fuzzy Logic and Neuro-Fuzzy Systems, and In Situ Verification, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 17, 140-164, doi: 10.1175/1520-0426
- 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, PP.146-162.
- Mousavi Baygi, M., Fallah Ghalhary, Gh.A., Habibi Nokhandan, M., 2008. Assessment of the relation between Temperature and Temperature difference of sea surface and 1000 mb level with Spring rainfall in the Razavi Khorasan province, agricultural science and natural resources, 15(2), Jun-July 2008, PP. 217-224.
- Nazemosadat, M.J., 2001. Will it rain? Drought and rainfall in Iran and their relation with ENSO. Shiraz University Press.

- Pongracz, R and Bartholy, J., 2006, "Regional Effects of ENSO in Central/Eastern Europe", journal of advances in Geosciences.vol 6, pp: 133-137.
- Sugeno, M and Yasukawa, T. 1993. A fuzzy-logic-base approach to qualitative Modelling. IEEE Transe. Fuzzy Systems, 1:7-13.
- Suwardi A, Takenori K, Shuhei K.,2006. Neuro-Fuzzy Approaches for Modeling the Wet Season Tropical Rainfall, Agricultural Information Research, 15, NO.3, 331-341

Spring Rainfall Estimation of Khorasan Razavi Province Based on Tele-connection Synoptically Patterns Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

Gh. A. Fallah Ghalhary^{*1}, M. Habibi Nokhandan² and J. Khoashhal³

¹ Ph.D. Student, University of Isfahan, Isfahan, I.R. Iran

² Scientific Member, Climatological Research Institute (CRI), Mashhad, I.R. Iran

³ Assistant Prof., University of Isfahan, Isfahan, I.R. Iran

(Received: 15 September 2008, Accepted: 16 May 2010)

Abstract

The aim of this research is the assessment of the relation between rainfall and large scale synoptically patterns at Khorasan Razavi province. In this study, using adaptive neuro fuzzy inference system, the rainfall estimation has been done from April to June in the Area under study. Spring rainfall data including the information of 38 synoptic, Climatologic and rain gauge stations from 1970 to 2007 has been selected from Iranian Meteorological Organization and Ministry of Energy. In this paper, we are analyzed 38 years of rainfall data at Khorasan Razavi province located in northeastern part of Iran at latitude-longitude pairs (34°-38°N, 56°- 62°E). The Adaptive Neuro-Fuzzy Inference system based on synoptically patterns with 38 years of rainfall data was trained. For performance evaluation, network predicted outputs were compared with the actual rainfall data. In this Study, at the first step, the relationship Between synoptically pattern variations including Sea Level Pressure (SLP), Sea Surface Temperature (SST), Sea Surface Pressure Difference (Δ SLP), Sea Surface Temperature Difference (Δ SST), air temperature at 700 hpa, thickness between 500 and 1000 hpa level, relative humidity at 300 hpa and precipitable water were investigated. As the second step, the model was calibrated from 1970 to 1997. Finally, rainfall prediction is performed from 1998 to 2007. The model that used in this research has an input layer, one hidden layer and an output layer. The number of neuron for input layer, hidden layer and output layer was 13-28-1, respectively. The results of simulation reveal that adaptive neuro fuzzy inference systems are promising and efficient.

Keywords: Rainfall estimation, Synoptic patterns, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System