

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی بارش، الگوهای سینوپتیکی، سیستم استنباط فازی ممدانی، رگرسیون چند متغیره و ریشه میانگین مربعات خطا

مقدمه

تمامی جنبه‌های زندگی انسان به نحوی تحت تاثیر فرآیندهای آب و هوایی است و این تاثیرگذاری در زمینه‌های مختلفی چون کشاورزی، آبیاری، اقتصاد، مخابرات، حمل و نقل، ترافیک، آلودگی هوا و صنایع نظامی بیشتر دیده می‌شود [۲۱].

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^۴ مشهور است [۱۲]. امروزه پژوهشگران، با ابداع و پیشرفت علمی چون روش‌های هوشمند که ابزاری توانمند، انعطاف‌پذیر و مستقل از مدل‌های دینامیکی سیستم محسوب می‌شوند، در جستجوی راه‌هایی برای بهبود در پیش‌بینی پارامترهای مهم هواشناسی می‌باشند [۲]. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های وسیعی در زمینه پیش‌بینی‌های میان مدت و بلند مدت (ماهانه و فصلی) در نقاط مختلف جهان انجام شده است. بسیاری از این پژوهش‌ها بر مبنای تاثیر الگوهای سینوپتیکی بزرگ مقیاس بوده‌اند [۷]. فوجیب [۱۸] الگوی بارندگی را با استفاده از الگوریتم C میانگین فازی طبقه‌بندی نموده است. ونگ و همکاران [۲۵] از قوانین فازی برای ساخت مدل پیش‌بینی بارش بر فراز سوئیس با بهره‌گیری از داده‌های درون‌یابی فضایی نقشه خود سامانده^۵ استفاده نمودند. نتایج نشان‌دهنده کارایی این روش در پیش‌بینی بارش است. چوی [۱۶] از شبکه‌های عصبی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای پیش‌بینی بارش استفاده نمود. نتایج نشان‌دهنده کارایی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی بارش است. گالامبوسی و همکاران [۱۷] از پدیده النینو-نوسان جنوبی (انسو)^۶، الگوهای بزرگ مقیاس چرخش اتمسفری و منطق فازی، برای پیش‌بینی بارش منطقه آریزونا استفاده نموده‌اند. نتایج کارایی مدل فازی را در پیش‌بینی بارش منطقه نشان می‌دهد. کاوازوس [۱۵]، از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی بارش روزانه

کاربرد منطق فازی و رگرسیون چند متغیره در پیش‌بینی بلند مدت بارش بهاره مطالعه موردی: استان خراسان رضوی

غلامعباس فلاح قاله‌ری^{۱*}، جواد خوشحال^۲، مجید حبیبی نوخندان^۳
تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۰/۱۲

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی ارتباط الگوهای سینوپتیکی بزرگ مقیاس اقلیمی با بارش استان خراسان رضوی می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از سیستم استنباط فازی ممدانی و رگرسیون چند متغیره، پیش‌بینی بارش در بازه زمانی آوریل تا ژوئن (فروردین تا خرداد) در استان خراسان رضوی ارائه شده است. در این مطالعه، ابتدا ارتباط بین تغییرات الگوهای سینوپتیکی شامل فشار سطح دریا، اختلاف فشار سطح دریا، دمای سطح دریا، اختلاف دما بین سطح دریا و سطح ۱۰۰۰ میلی باری، دمای سطح ۷۰۰ میلی بار، ضخامت بین سطوح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی بار، رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ میلی بار و آب قابل بارش با بارش متوسط منطقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. 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، تاثیرپذیری بارندگی منطقه شمال شرق ایران از الگوهای سینوپتیکی در مناطق فوق مورد توجه قرار گرفت. سپس، مدل سیستم استنباط فازی ممدانی در دوره ۲۸ ساله آموزش داده شده، در پایان، پیش‌بینی بارش در دوره ۱۰ ساله مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد سیستم استنباط فازی ممدانی و روش رگرسیونی می‌توانند در اکثر سال‌ها، بارش بهاره را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی نمایند. ریشه میانگین مربعات خطا برای مدل فازی ۳۶/۶ میلی متر و برای مدل رگرسیونی ۵۰۵ میلی متر به دست آمد.

۱- نویسنده مسئول دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان
ab-fa789@yahoo.com

۲- عضو هیات علمی گروه جغرافیای دانشگاه اصفهان

۳- عضو هیات علمی پژوهشکده اقلیم‌شناسی

4- Butterfly Effect

5- Self Organizing Map

6- El Nino Southern Oscillation (ENSO)

فلاح قاهره [۴]، از تکنیک منطق فازی و شبکه های عصبی فازی تطبیقی برای پیش بینی بارش دسامبر تا می منطقه خراسان بزرگ استفاده نموده است. نتایج نشان دهنده کارایی هر دو روش در پیش بینی بارش فصلی است. در این پژوهش مدل فازی عملکرد بهتری نسبت به مدل شبکه های عصبی فازی تطبیقی داشته است.

با توجه به اهمیت پیش بینی بارش در بسیاری از فرآیندهای تصمیم گیری نظیر مدیریت منابع آب و کشاورزی، در این پژوهش سعی شده است با استفاده از داده های الگوهای سینوپتیکی نظیر دمای هوا و اختلاف دمای سطح دریا، فشار هوا و اختلاف فشار سطح دریا، آب قابل بارش جو، دمای هوا در سطح ۷۰۰ میلی بار، ضخامت بین سطوح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی بار و رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ میلی بار، پیش بینی بارندگی بهاره در منطقه مورد مطالعه انجام گیرد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش استان خراسان رضوی می باشد. سری زمانی مورد مطالعه، متوسط بارش بهاره ۳۸ ساله فروردین تا خرداد (آوریل تا ژوئن) هر سال در فاصله بین سال های ۲۰۰۷-۱۹۷۰ میلادی می باشد. داده های بارش بهاره برای هر سال میلادی شامل بارندگی ۳۸ ایستگاه همدیدی، اقلیم شناسی و باران سنجی می باشد که از سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو اخذ شده است. از این تعداد، ۲۴ ایستگاه مربوط به آمار و اطلاعات ایستگاه های باران سنجی وزارت نیرو و بقیه مربوط به سازمان هواشناسی می باشند. شکل (۱) نقشه محدوده مورد مطالعه و نام ایستگاه های مورد استفاده را نشان می دهد. در این پژوهش برای تکمیل برخی از نواقص اطلاعاتی، بارش از روش تفاضل ها و نسبت ها و برای آزمون همگنی داده ها، از آزمون ران تست استفاده گردیده است.

داده های مورد استفاده

داده های مورد نیاز به استثنای داده های بارش که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است، از سایت نوا^۱ در شبکه های ۲/۵ × ۲/۵ درجه در فاصله بین سال های ۲۰۰۷-۱۹۷۰ میلادی استخراج گردیده است.

محاسبه بارش متوسط منطقه ای: هدف نهایی از بررسی تغییرات مکانی بارش، شبیه سازی تغییرات مکانی بارش است، به نحوی که زمینه برای اهداف بعدی از جمله پیش بینی بارش و به دست آوردن اطلاعات لازم برای تحلیل بلند مدت وضعیت بارش در هر منطقه از محدوده مورد مطالعه فراهم گردد. در این پژوهش از روش کریجینگ معمولی برای محاسبه بارش متوسط منطقه ای استفاده

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 شبکه های عصبی را در پیش بینی بارش نشان می دهد. شاو [۲۴]، توابع عضویت فازی را بر مبنای مقدار ابر، نوع ابر، سرعت باد و رطوبت نسبی برای پیش بینی و پهنه بندی دما به کار برده است. نتایج حاکی از کارایی بالای این روش در پیش بینی و پهنه بندی دماست. هالید و رید [۲۰]، از تکنیک منطق فازی برای مدل سازی و پیش بینی بارش محلی ماه ژانویه در فرودگاه هازانودین^۱ در اندونزی که بزرگترین ناحیه تولید برنج است، استفاده کردند. نتایج آن ها نشان می دهد مدل منطق فازی برای پیش بینی بارش ماه ژانویه نسبت به مدل های آماری مناسب تر است.

ماریا و همکاران [۲۲]، از شبکه های عصبی و مدل های رگرسیونی برای پیش بینی بارش در منطقه سائوپائولو برزیل استفاده کردند. متغیرهای مورد استفاده آن ها 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 پیش بینی بارش است. پنگراکز و همکاران [۲۳]، بارندگی ماهیانه را در مجارستان با استفاده از تیپ های الگوی چرخش اتمسفری و شاخص انسو مدل سازی کردند. بدین منظور از تکنیک مدل سازی مبتنی بر قوانین فازی برای ایجاد ارتباط بین ورودی ها و بارندگی استفاده کردند. نتایج آن ها نشان می دهد که مدل مبتنی بر قوانین فازی، ابزار بسیار خوبی را برای پیش بینی مشخصات آماری بارندگی ماهیانه با استفاده از فراوانی ماهیانه تیپ های الگوی چرخش اتمسفری روزانه و شاخص نوسانات جنوبی^۲ فراهم می کند.

جورج و کیمبر [۱۹]، از متغیرهای رطوبت، سرعت باد، ماکزیمم و مینیمم دمای روزانه و درجه روزهای گرم و سرد برای پیش بینی بارش فصلی ایالت فلوریدا استفاده کردند. نتایج آن ها نشان دهنده کارایی متغیرهای مورد استفاده در پیش بینی بارش است. کوره پزان [۸]، تاثیر نشانه های پهن مقیاس اقلیمی انسو و نوسانات اطلس شمالی^۳ را بر بارش ایستگاه های منطقه جنوب غرب کشور بررسی کرده است. نتایج او نشان داد مدل فازی با دقت قابل قبولی می تواند بارش را پیش بینی کند. کارآموز [۷]، با استفاده از کاربرد سیگنال های بزرگ مقیاس اقلیمی از مدل مبتنی بر قوانین فازی و شبکه های عصبی برای پیش بینی بارش در مناطق غرب ایران (حوزه های آبخیز کارون، کرخه و مرزی غرب) استفاده کردند. نتایج آن ها نشان می دهد جز در منطقه جنوب غرب که پیش بینی 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

1- Hasanuddin

2- Southern Oscillation Index

3- North Atlantic Oscillation (NAO)

1- NOAA (www. cdc. noaa. gov)

دریا، - دمای سطح دریا، - اختلاف دما بین سطح دریا و سطح آبی ۱۰۰۰ میلی باری، A- باد مداری، ۶- باد نصف النهاری، ۷- آب قابل بارش جو.

فصل بندی بارندگی و سیگنال ها

فصل بندی بارندگی و سیگنال ها بر این اساس بوده است که با استفاده از میانگین مقادیر یک سیگنال خاص در چند ماه متوالی، بتوان میزان بارندگی فصلی را در ماه های آینده مشخص نمود. بنابراین سعی شده است که فصول مربوط به سیگنال ها، ماه های دارای بارندگی را شامل نشوند. با توجه به این که در این پژوهش، بررسی ارتباط پارامترهای هواشناسی با بارش بهار مد نظر بوده است، از میانگین مقادیر سیگنال های هواشناسی در بازه زمانی مهر تا اسفند (اکتبر تا مارس) به عنوان سری زمانی سیگنال ها (پیش بینی کننده ها^۲) و از میانگین بارندگی ماه های فروردین تا خرداد (آوریل تا ژوئن) به عنوان سری زمانی بارندگی (پیش بینی شونده^۳) استفاده شده است. در این پژوهش، از مقادیر استاندارد شده سیگنال ها استفاده شد. در مواردی که از یک عنصر و یک واحد اندازه گیری استفاده می شود، استاندارد کردن داده ها الزامی نیست، اگر چه در همه موارد نمرات استاندارد مناسب تر از داده های خام هستند. برای استاندارد کردن داده ها از فرمول زیر در نرم افزار اکسل استفاده گردید:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (4)$$

در معادله (۴)، μ میانگین سیگنال ها و σ انحراف معیار سیگنال ها و x مقدار سیگنال می باشد [۸].

محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش برای تحلیل پارامترهای سطوح فوقانی جو و همچنین ۳ پارامتر سطح زمین شامل باد مداری، باد نصف النهاری و آب قابل بارش جو از دو شبکه ۵×۵ درجه و ۱۰×۱۰ درجه استفاده شده است. محدوده مورد مطالعه که پارامترهای هواشناسی سطح زمین و سطوح فوقانی جو در آن با روش تحلیل عاملی تحلیل شده، در حد فاصل ۸۰-۰ درجه شرقی و ۵۰-۱۰ درجه شمالی در شبکه های ۵×۵ درجه و ۱۰۰-۰ درجه شرقی و ۷۰-۰ درجه شمالی در شبکه های ۱۰×۱۰ درجه می باشد. این محدوده مناطقی را شامل می گردد که تغییرات الگوی دما، فشار، رطوبت و سرعت باد در آنها بر بارش منطقه اثرگذار است.

برای پارامترهای هواشناسی دیگر در سطح زمین شامل فشار، دما، اختلاف فشار و اختلاف دما بین سطح دریا و سطح ۱۰۰۰ میلی باری به صورت نقطه ای عمل شده است. به عبارت دیگر، مناطقی تحت عنوان مناطق شاخص در نقاط مختلفی از دریاهای که طبق پژوهش های محققین قبلی [۵]، [۱۰] و [۱۱] بر آب و هوای ایران

گردیده است. در این روش، برای بیان تغییرات فضایی از اریوگرام^۱ استفاده می شود و خطای مقادیر پیش بینی شده را با توجه به توزیع فضایی داده های پیش بینی شده، کمینه می کنند. روش عمومی محاسبه کریجینگ براساس معادله ذیل می باشد:

$$Z_i = \sum_{i=1}^N w_i z_i \quad (1)$$

در معادله (۱)، Z_i ، برابر با مقدار برآورد شده، w_i برابر با وزن و Z_i برابر با مقادیر نمونه است. وزن ها به درجه همبستگی بین نقاط نمونه و نقاط برآورد شده بستگی دارد و همیشه جمع آنها برابر با ۱ می باشد. برای محاسبه وزن از معادله ماتریسی ذیل استفاده می گردد:

معادله (۲) را به صورت رابطه ذیل می توان نوشت:

0	$\gamma(h_{12})$	$\gamma(h_{13})$	...	$\gamma(h_{1n})$	1	W_1	$\lambda(h_{p1})$
$\gamma(h_{21})$	0	$\gamma(h_{23})$	...	$\gamma(h_{2n})$	1	W_1	$\lambda(h_{p2})$
$\gamma(h_{31})$	$\gamma(h_{32})$	0	...	$\gamma(h_{3n})$	1	W_1	$\lambda(h_{p3})$
...
$\gamma(h_{n1})$	$\gamma(h_{n2})$	$\gamma(h_{n3})$	...	0	1	W_1	$\lambda(h_{pn})$
1	1	1	1	1	0	λ	1

$$\sum_i (w_i^* \gamma(h_{ik}) + \lambda) = \gamma(h_{pi}) \quad (3)$$

در این معادلات، h_{ik} ، فاصله بین نقاط ورودی i و k ، h_{pi} فاصله بین پیکسل خروجی (مقادیر برآورد شده) p و نقطه ورودی (مقادیر معلوم) i و $\gamma(h_{ik})$ مقدار شبه اریوگرام برای فاصله h_{ik} و $\gamma(h_{pi})$ مقدار شبه اریوگرام برای فاصله h_{pi} و w_i عامل وزن و λ ضریب لاگرانژ (که برای کمینه سازی خطای تخمین استفاده می شود) می باشد [۶].

گام های زیر برای به دست آوردن سری زمانی بارش متوسط منطقه ای انجام شد: ۱- ساختن فایل های ورودی نرم افزار Arcmap ۲- به دست آوردن اریوگرام تجربی

۳- تحلیل و ترسیم تغییرات مکانی بارش در منطقه برای هر سال ۴- به دست آوردن مقادیر متوسط بارش در منطقه مورد مطالعه برای هر سال

۵- ساخت سری های زمانی بارش برای منطقه مورد مطالعه. بررسی ارتباط سیگنال های شاخص با بارش: سیگنال هایی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته اند به دو دسته تقسیم می شوند. پارامترهای هواشناسی سطح زمین (شامل a) و پارامترهای هواشناسی سطوح فوقانی جو - دمای هوا در سطح ۷۰۰ میلی بار، - ضخامت بین سطوح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی بار، - رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ میلی بار. - فشار سطح دریا، - اختلاف فشار سطح

2- Predictors

3- Predicted

1- Variogram

که بیان کننده رابطه بین k متغیر ورود x_1, x_2, \dots, x_k و خروجی y است. عبارت $A_{k,m}$ در بخش مقدم قوانین، مجموعه های فازی را نشان می دهد که برای جداسازی فضای ورودی به داخل مناطق همپوشانی کننده به کار می رود. یک مجموعه فازی یک تعمیم از مجموعه های کلاسیک است که تابع عضویت به عنوان یک موضوع از درجه در یک فرم باینری^۳ تعریف می شود (هر کدام از عدم عضویت یا عضویت کامل). هر مجموعه فازی $A_{k,m}$ در رابطه بالا بوسیله تابع عضویت آن $\mu_{k,m}$ توصیف می شود که درجه عضویت هر مقدار x_k مجموعه فازی $A_{k,m}$ در تمام مقدار عضویت تطبیقی $\mu_{k,m}(x_k)$ ارزشیابی می شود. 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 مجموعه فازی $A_{k,m}$ نشان می دهد. ساختار بخش نتیجه (بخش Then قوانین) به نوع سیستم استنتاج فازی تحت ملاحظه بستگی دارد [۱۳].

در سیستم استنباط فازی برای مدل سازی سیستم، باید ساختار قوانین با تفسیر مشخصات متغیرها توسط کاربر، از قبل تعیین شده و به مدل داده شود [۳]. در این پژوهش، برای ارزیابی دقت مدل از شاخص جذر میانگین مربعات خطا^۴ استفاده گردیده است که فرمول محاسبه آن به شرح زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - e_i)^2}{n}} \quad (6)$$

در معادله (۶)، $RMSE$ ، جذر میانگین مربعات خطا، o_i و e_i به ترتیب مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده متغیر در نقطه i و n تعداد مشاهدات می باشد. جدول (۱) نام و مشخصات نقاط مورد استفاده در تحلیل های دما و فشار سطح دریا را نشان می دهد. منطق فازی بر مبنای تئوری مجموعه های فازی می باشد که بین طبقات مختلفی از موضوعات، ارتباطی با مرز نامشخص برقرار می کند، 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 گونه ای اصلاح می شود که عضویت های بین صفر و یک را نیز دربرگیرد. در این پژوهش، از سیستم استنباط فازی ممدانی استفاده شد. در فرایند مدل سازی با استفاده از سیستم استنباط فازی به روش ممدانی، ۵ مرحله وجود دارد: (۱) فازی سازی متغیرهای ورودی، (۲) به کار بردن عملگرها (و؛ یا) در بخش مقدمه، (۳) استنتاج از مقدمه به نتیجه (تعریف قوانین)، (۴) ترکیب نتایج قوانین، (۵) غیر فازی کردن [۱].

نتایج و بحث

پیش بینی بارش بهاره با استفاده از سیستم استنباط فازی در این پژوهش برای به دست آوردن سیگنال های هواشناسی موثر

اثرگذارند، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفته است. لازم بذکر است برای انجام آزمون های آماری لازم و به دست آوردن همبستگی بین سیگنال های شاخص با بارش منطقه از دو نرم افزار اکسل و جامپ^۱ نسخه ۴ استفاده شده است.

روش پژوهش

متدولوژی مورد استفاده در تحلیل پارامترهای هواشناسی جو بالا و سطح زمین (باد مداری، باد نصف النهاری و آب قابل بارش) استفاده از روش تحلیل عاملی است. روش تحلیل عاملی از جمله روش های آماری می باشد که به منظور کاهش تعداد متغیرها کاربرد دارد. در این روش متغیرهای اولیه بر اساس ضرایب همبستگی بین آن ها به متغیرهای غیر وابسته تبدیل می شوند. این متغیرهای غیر وابسته عامل نامیده می شوند. اندازه هر کدام از مشاهدات در عامل های جدید با عنوان نمرات عاملی محاسبه می شود. در نتیجه به جای اندازه های واقعی مشاهدات، نمرات آن ها در مؤلفه های جدید به عنوان معیارهای جدید برای خوشه بندی مورد استفاده قرار می گیرند. امتیاز این روش در این است که ضمن این که تعداد متغیرها را کاهش می دهد، مقدار اولیه واریانس موجود در داده های اصلی را حفظ می کند [۴].

بررسی ارتباط الگوهای سینوپتیکی شاخص با بارش منطقه

همان طور که اشاره شد، در این پژوهش، به منظور بررسی ارتباط تغییرات پارامترهای هواشناسی فشار، دما، اختلاف فشار و اختلاف دما، با بارش در محدوده مورد مطالعه، نقاطی تحت عنوان نقاط شاخص در مناطق مختلفی از دریاها که بر آب و هوای ایران تاثیر گذارند، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. این نقاط شامل نقاطی در دریای مدیترانه، خلیج فارس، دریای عمان، خلیج عدن، دریای عرب، دریای سرخ، دریای سیاه، دریای آدیاتیک، دریاچه آرال، اقیانوس هند، اقیانوس اطلس، دریای شمال و سیبری می باشند که مختصات این نقاط در جدول (۱) نشان داده شده است. در انتخاب این مناطق تاثیرپذیری منطقه شمال شرق کشور از الگوهای سینوپتیکی مورد توجه قرار گرفته است.

ساختار سیستم های استنباط فازی^۲

برای ایجاد ارتباط بین چند متغیر از روش های مختلفی می توان استفاده کرد. برخی از این روش ها عبارتند از: رگرسیون خطی، شبکه های عصبی مصنوعی و سیستم های استنباط فازی [۱]. سیستم های استنباط فازی، مدل های غیرخطی هستند که رابطه ورودی - خروجی یک سیستم واقعی را با استفاده از قوانین اگر-آنگاه فازی توصیف می کنند [۱۳]. ساختار عمومی قوانین تدوین شده در این پژوهش به صورت زیر می باشد:

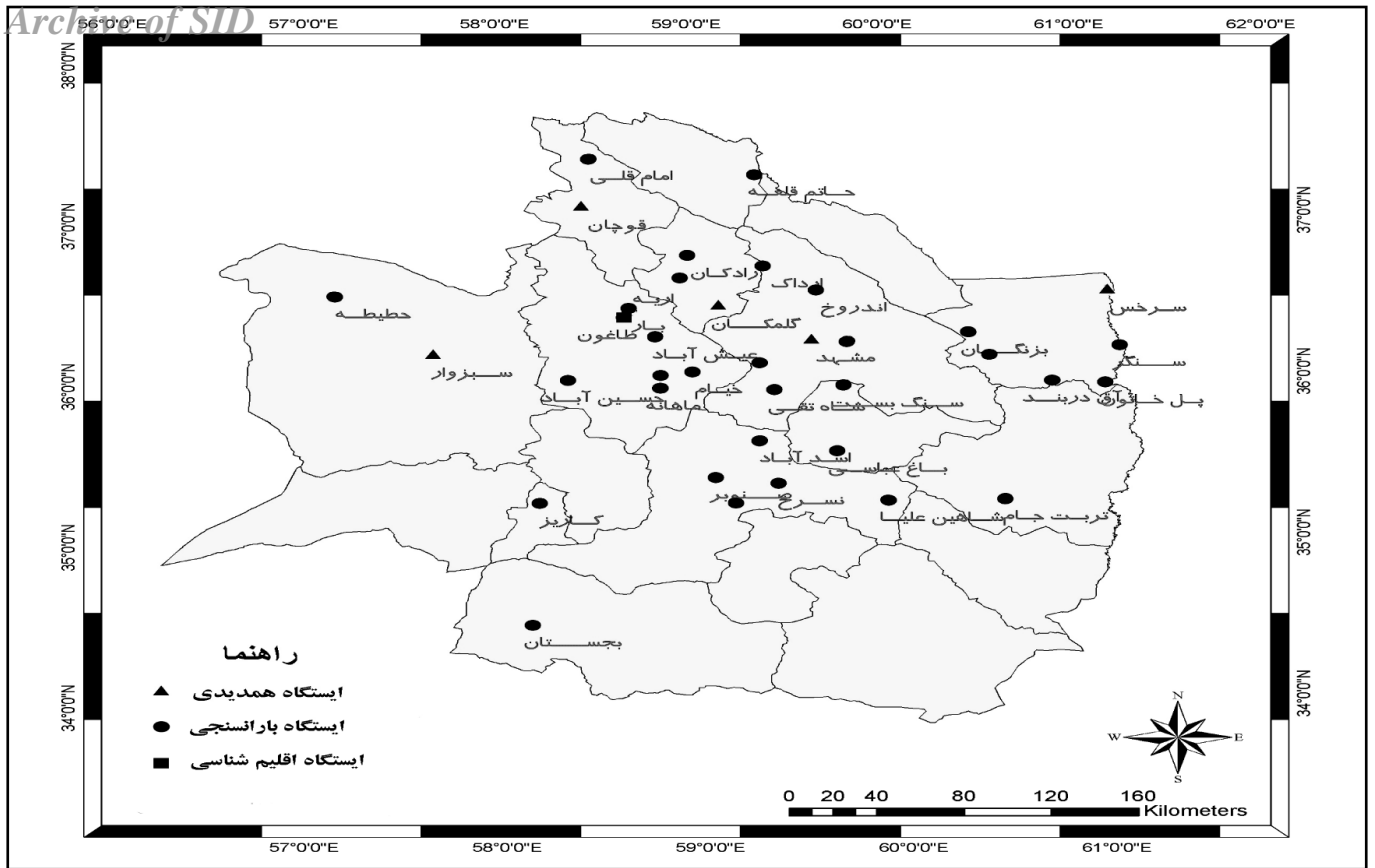
Rule m: If (x_1 is $A_{1,m}$) AND (x_2 is $A_{2,m}$) AND ... AND (x_k is $A_{k,m}$) THEN y is ... (5)

3- Binery

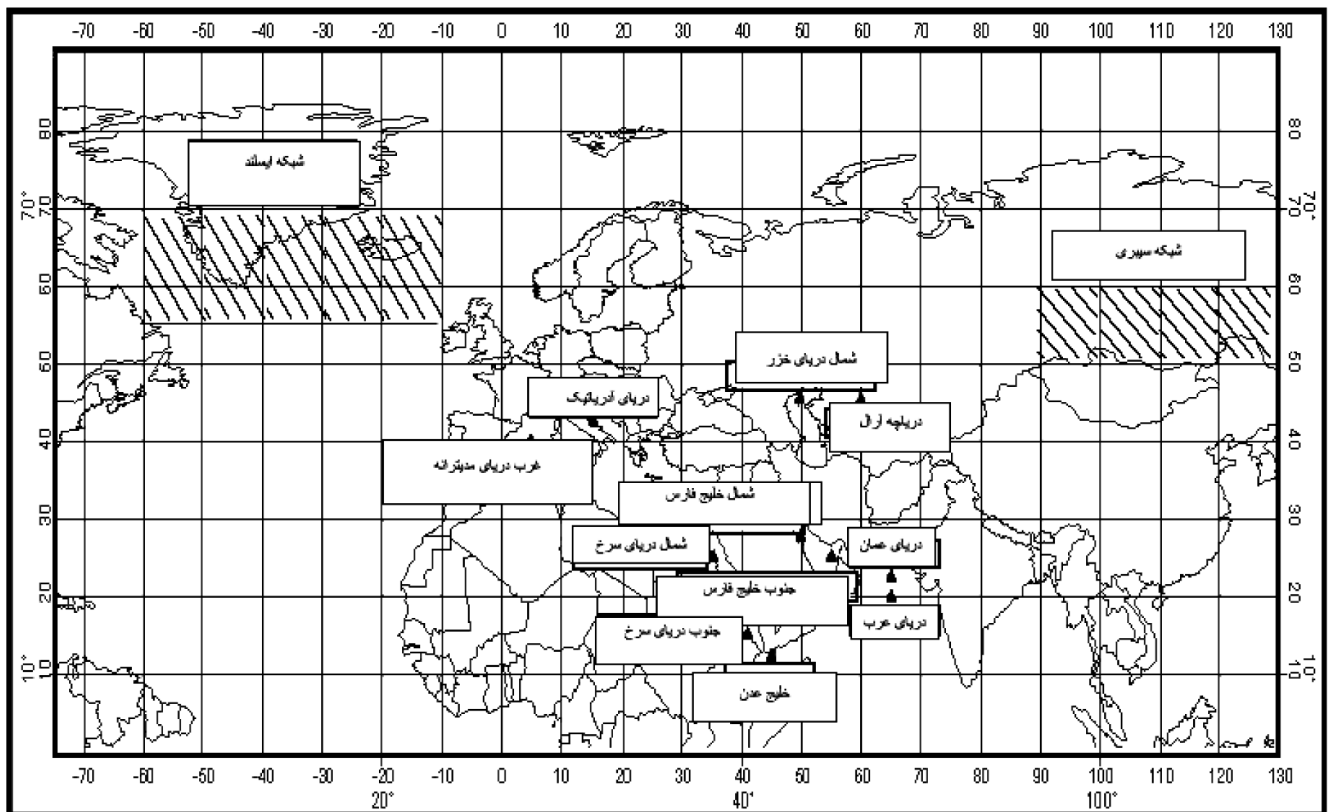
4- Root Mean Square Error (RMSE)

1- JMP 4

2- Fuzzy Inference System (FIS)



شکل ۱ - نقشه محدوده مورد مطالعه به همراه ایستگاه های منتخب



شکل ۲ - نام و موقعیت نقاط مورد استفاده در تحلیل های دما و فشار سطح دریا

x14	x13	x12	x11	x10	x9	x8	x7	x6	x5	x4	x3	x2	x1	بارش (میلی متر)
۳۱/۹۴	۳۳/۲۹	۳۶/۵۳	-۶/۵۷	۰/۲۰	-۱/۲۸	-۱/۲۳	-۱/۶۳	-۰/۹۷	-۱/۶۵	-۰/۷۳	۰/۱۷	۰/۲۷	-۱/۱۵	۲۰/۴۰
۲۲/۳۹	۳۲/۷۱	۳۶/۰۵	-۷/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۲	-۱/۴۶	-۱/۶۰	-۱/۳۰	-۱/۲۲	-۰/۱۹	۰/۳۰	۰/۶۸	-۰/۸۴	۱۷/۳۵
۳۰/۱۸	۳۵/۵۳	۳۳/۱۷	-۷/۴۲	-۱/۸۰	-۰/۱۱	-۰/۳۰	-۰/۲۳	-۰/۰۳	-۰/۲۶	۱/۸۱	۰/۱۸	-۰/۴۶	-۱/۸۸	۲۷/۹۳
۲۷/۵۸	۳۶/۳۱	۳۶/۴۴	-۷/۳۵	-۰/۷۸	۰/۲۹	-۰/۲۲	۰/۳۳	۰/۴۴	۱/۰۳	۰/۷۱	-۰/۱۴	-۰/۴۵	-۰/۵۷	۳۰/۹۶
۲۵/۴۰	۳۲/۶۰	۳۴/۵۲	-۷/۱۲	-۰/۸۳	۰/۴۶	-۱/۰۴	-۰/۷۱	-۱/۰۳	-۰/۱۱	-۰/۵۸	۰/۰۱	-۰/۴۰	-۰/۶۵	۲۸/۴۶
۲۴/۰۵	۳۴/۹۷	۳۴/۶۵	-۷/۰۴	-۰/۹۵	-۰/۶۹	-۰/۱۸	-۰/۰۶	-۰/۴۱	۰/۵۱	-۰/۰۸	۰/۰۰	-۱/۴۰	-۰/۶۷	۲۰/۵۳
۲۸/۰۷	۳۵/۹۵	۳۴/۰۸	-۷/۸۳	-۱/۲۰	۰/۱۶	-۰/۸۳	-۱/۴۱	-۱/۵۴	-۱/۰۲	۰/۸۴	-۰/۲۶	-۰/۵۶	-۱/۸۰	۲۱/۰۷
۳۴/۷۸	۳۴/۲۶	۳۶/۷۵	-۵/۹۴	۰/۲۰	۱/۰۲	۰/۵۳	-۰/۴۱	-۱/۰۲	۰/۳۵	-۰/۸۸	۰/۱۲	-۱/۰۲	۰/۳۰	۳۳/۵
۲۹/۹۸	۳۰/۸۰	۳۶/۲۶	-۶/۷۰	۰/۱۱	-۱/۴۹	۱/۴۱	-۰/۱۲	۰/۴۹	۰/۹۱	۰/۴۹	۰/۲۳	۰/۳۸	-۰/۵۶	۲۰/۵۴
۲۷/۹۸	۳۱/۰۶	۳۵/۷۷	-۶۲۸	۰/۶۱	-۰/۵۱	۰/۸۳	-۰/۱۸	۰/۱۶	-۰/۱۲	-۰/۳۰	۰/۳۲	-۰/۱۸	-۰/۹۲	۲۰/۸۸
۳۰/۰۵	۳۹/۸۴	۳۴/۸۸	-۷/۱۹	۰/۱۸	-۱/۴۴	-۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۰	-۰/۱۴	۰/۲۵	۰/۰۴	-۰/۶۷	۰/۲۸	۱۷/۱۸
۱۸/۵۸	۲۲/۲۳	۳۷/۱۰	-۵/۱۴	۰/۵۳	۳/۶۹	-۰/۷۴	-۱/۲۴	-۱/۶۶	-۱/۰۰	-۰/۲۸	۰/۱۶	۰/۷۴	۱/۴۲	۹/۱۸
۲۶/۲۲	۳۵/۳۴	۳۶/۲۴	-۶/۵۹	۱/۱۰	-۱/۴۱	۰/۳۱	-۰/۱۸	-۰/۲۰	-۰/۲۱	-۰/۰۲	۰/۱۶	-۱/۶۵	۰/۲۸	۲۲/۴
۲۶/۴۵	۳۴/۹۷	۳۵/۳۶	-۷/۱۰	-۰/۳۳	-۰/۹۱	۰/۷۹	۰/۹۶	۰/۶۲	۰/۶۵	-۰/۲۵	۰/۰۲	-۰/۰۶	-۰/۵۲	۲۸/۰۸
۲۹/۲۸	۳۷/۷۱	۳۴/۸۷	-۶/۶۵	-۱/۳۳	۰/۴۰	۲/۷۲	۲/۷۱	۰/۹۴	۲/۷۱	-۰/۱۱	-۰/۳۸	-۰/۳۵	-۰/۲۷	۲۴/۴۸
۲۲/۵۷	۳۱/۱۰	۳۹/۵۷	-۶/۹۸	۰/۳۴	-۰/۱۳	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۱۵	-۰/۰۲	۰/۴۶	-۰/۴۴	۱۹/۱۹
۲۵/۱۸	۳۲/۷۸	۳۶/۵۷	-۷/۴۱	۰/۰۷	۱/۰۱	-۰/۰۹	-۰/۱۸	-۱/۲۱	۰/۴۰	-۱/۴۶	۰/۰۴	-۱/۰۰	۰/۳۴	۱۷/۸۳
۲۵/۷۰	۲۹/۸۵	۳۷/۰۶	-۶/۳۹	۱/۱۱	-۰/۹۶	-۰/۵۲	-۱/۰۱	-۰/۰۱	-۱/۲۲	۰/۰۴	-۰/۰۶	۰/۶۰	۱/۵۰	۳۴/۷۸
۲۳/۰۹	۳۰/۹۲	۳۶/۰۴	-۶/۷۵	۰/۱۴	-۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۴۰	-۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۱۰	-۰/۰۹	۰/۲۲	-۱/۵۳	۱۶/۱۱
۲۰/۱۰	۲۸/۹۲	۳۶/۲۷	-۷/۶۶	۰/۳۹	-۱/۸۷	۱/۶۰	۱/۶۰	۱/۴۴	۰/۹۵	-۰/۴۶	-۰/۰۴	-۰/۲۱	-۰/۰۵	۲۰/۴۱
۲۴/۵۵	۳۲/۷۰	۳۹/۴۲	-۶×۶۴	۰/۷۴	۰/۴۲	۰/۲۸	-۰/۰۸	-۱/۱۲	-۰/۱۴	-۰/۲۷	-۰/۰۶	۱/۰۹	-۰/۳۷	۲۳/۷۹
۲۰/۵۳	۲۵/۹۱	۳۵/۰۹	-۶/۹۱	-۰/۲۱	۱/۷۷	۰/۷۳	۰/۳۵	-۰/۰۷	۰/۶۶	۰/۶۹	-۰/۲۰	۰/۰۰	-۰/۴۶	۱۹/۸۶
۲۶/۹۷	۳۶/۲۲	۳۵/۹۱	-۵/۹۰	۰/۰۱	۱/۰۰	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۶۶	۰/۷۵	-۰/۵۴	-۰/۲۶	۱/۲۶	-۰/۱۳	۱۴/۰۷
۲۷/۸۴	۳۴/۸۰	۳۷/۱۴	-۶/۲۲	۰/۴۸	-۰/۱۱	۰/۱۶	-۱/۵۵	۰/۵۹	-۰/۵۹	-۰/۳۸	-۰/۰۷	-۰/۵۴	۰/۵۳	۱۷/۷۳
۲۶/۶۲	۳۷/۰۷	۳۳/۷۴	-۷/۶۳	-۱/۳۶	-۰/۷۲	۱/۵۲	۱/۷۹	۱/۵۸	۱/۶۰	۰/۹۰	-۰/۳۶	-۱/۲۵	-۰/۶۵	۳۶/۵۷
۲۸/۸۹	۳۵/۳۴	۳۴/۸۹	-۷/۴۵	-۰/۶۵	۰/۲۷	۰/۹۲	۱/۳۴	۱/۳۱	۱/۱۸	۰/۵۷	-۰/۳۳	-۱/۱۴	-۰/۷۲	۴۲/۸۳
۲۸/۱۲	۲۸/۹۴	۳۸/۳۷	-۶/۰۴	۰/۵۶	۰/۸۱	۰/۳۱	۰/۰۹	-۰/۲۶	۰/۰۳	۰/۱۱	-۰/۲۳	-۲/۱۷	۰/۰۲	۳۵/۰۰
۲۰/۵۱	۳۳/۰۷	۳۵/۹۴	-۶/۵۸	-۰/۱۴	-۱/۷۹	۰/۹۸	۱/۶۴	۲/۱۷	۱/۵۵	-۰/۲۳	۰/۰۵	۰/۲۱	۱/۵۴	۱۶/۹۹
۲۵/۱۸	۳۰/۵۰	۳۵/۶۱	-۶/۷۳	-۰/۳۳	-۰/۲۵	-۰/۸۲	-۱/۱۱	-۰/۴۱	-۱/۳۲	-۰/۵۳	۰/۱۳	۰/۷۱	-۱/۰۵	۲۱/۰۳
۲۵/۱۸	۳۰/۷۳	۳۴/۸۲	-۶/۷۳	-۰/۳۳	۰/۵۸	۱/۱۶	۰/۶۱	۰/۷۷	۰/۴۹	۱/۱۶	-۰/۰۲	-۰/۷۰	۰/۴۱	۲۵/۸۲
۲۵/۷۴	۳۵/۲۰	۳۶/۲۷	-۶/۸۴	-۰/۳۶	-۲/۲۴	-۰/۱۵	۰/۵۹	۲/۲۳	-۰/۰۴	-۰/۰۹	-۰/۲۲	۱/۸۴	۰/۰۴	۳۲/۴۸
۲۸/۹۴	۲۱/۰۴	۳۸/۷۲	-۷/۲۶	۰/۶۷	۱/۲۷	-۱/۵۷	-۱/۸۰	-۱/۳۴	-۲/۴۹	-۰/۴۹	۰/۱۲	-۰/۱۷	۱/۶۹	۱۱/۶۵
۲۲/۷۴	۲۳/۶۲	۳۷/۹۶	-۵/۱۴	۰/۵۳	۲/۰۸	-۱/۶۳	-۰/۸۹	-۱/۵۶	-۱/۰۴	-۰/۷۱	۰/۱۰	۰/۷۹	۲/۴۴	۷/۴۲
۲۳/۲۵	۳۶/۲۹	۳۶/۱۷	-۷/۲۵	۰/۴۷	-۰/۱۲	-۰/۸۱	۰/۳۴	۰/۳۵	-۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۲۷	۰/۹۸	۰/۹۲	۲۰/۱۴
۲۱/۷۵	۲۶/۹۹	۳۵/۳۰	-۷/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	-۰/۴۳	-۰/۰۶	-۰/۱۰	-۰/۲۵	۰/۶۹	-۰/۰۷	۰/۲۱	۰/۷۵	۲۸/۴۰
۲۵/۴۰	۲۴/۸۹	۳۴/۵۳	-۷/۱۸	۰/۱۴	-۰/۴۷	-۰/۸۲	۰/۲۷	۰/۶۸	-۰/۱۶	۰/۷۲	۰/۴۴	۰/۷۶	۱/۰۳	۲۱/۵۹
۲۰/۱۹	۲۵/۹۹	۳۸/۹۷	-۷/۲۲	۱/۰۶	۰/۲۰	-۱/۲۰	-۰/۶۲	-۰/۱۳	-۰/۸۷	-۰/۸۸	۰/۰۶	۰/۳۰	۰/۴۹	۱۵/۰۱
۲۰/۷۴	۲۲/۸۵	۳۵/۹۴	-۵/۴۲	۰/۴۲	۱/۱۲	-۱/۲۱	-۰/۲۱	-۰/۱۶	-۰/۲۲	۰/۱۸	-۰/۱۰	۳/۱۴	۱/۲۶	۱۰/۰۹
۲۱/۳۸	۲۰/۲۰	۱۶/۶۹	-۶/۶۹	۰/۸۱	۲/۳۹	-۰/۵۳	-۰/۴۳	-۱/۱۲	-۰/۰۷	۰/۷۳	-۰/۰۵	۰/۵۵	۱/۰۶	۱۵/۰۰

(جدول ۵). (x_{14}) سری زمانی بارش و سیگنال‌های هواشناسی مورد استفاده در پژوهش را نمایش می‌دهد.

تدوین توابع عضویت فازی برای بارش و سیگنال‌ها

بعد از تحلیل‌های زیاد برای به دست آوردن بهترین تابع عضویت برای بارش و سیگنال‌های هواشناسی مورد استفاده در پژوهش به روش سعی و خطا، سرانجام توابع عضویت فازی به شکل دوزنقه‌ای و مثلثی تدوین شدند. بعد از انجام تحلیل حساسیت برای تقسیم‌بندی فازی بارش و سیگنال‌های ذکر شده در فوق با روش سعی و خطا، نواحی فازی به دست آورده شدند. تابع عضویت فازی برای بارش در شکل (۶) و توابع عضویت فازی سیگنال‌های شاخص در شکل‌های (۷) تا (۲۰) 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 $[0-1]$ می‌باشد.

تدوین مدل پیش‌بینی بارش با استفاده از سیستم استنباط فازی

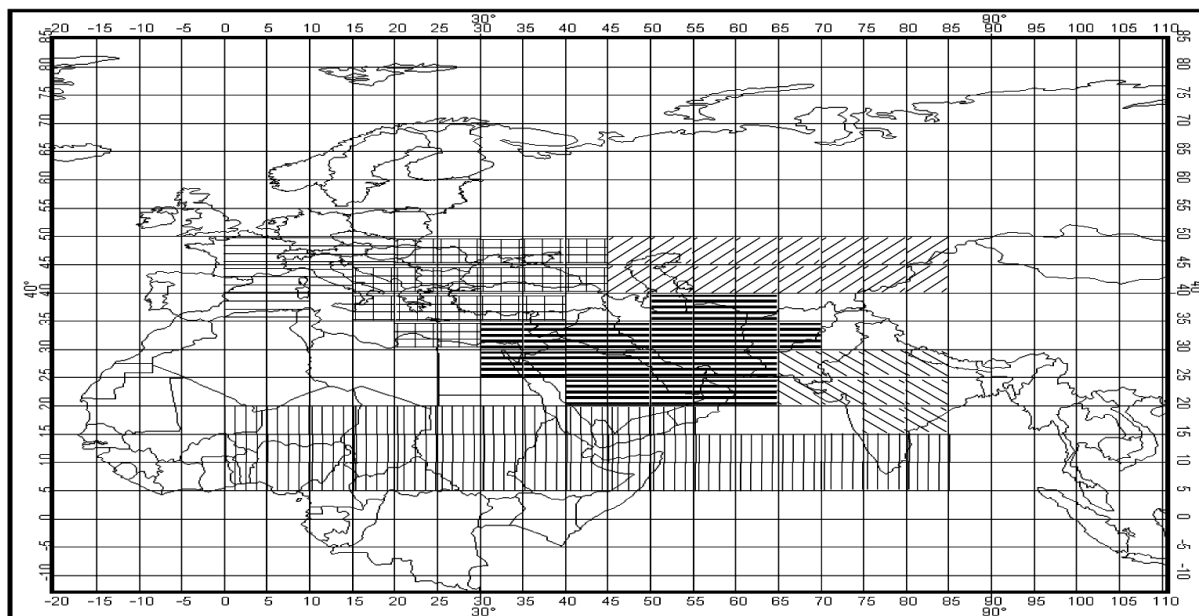
ممدانی

شکل (۲۱) شماتیک دیاگرام مدل فازی تدوین شده برای پیش‌بینی بارش را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است برای ساخت مدل پیش به منظور بینی بارش از امکانات جعبه ابزار شبیه‌ساز نرم افزار مت لب (MATLAB) نسخه ۷ استفاده گردید.

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

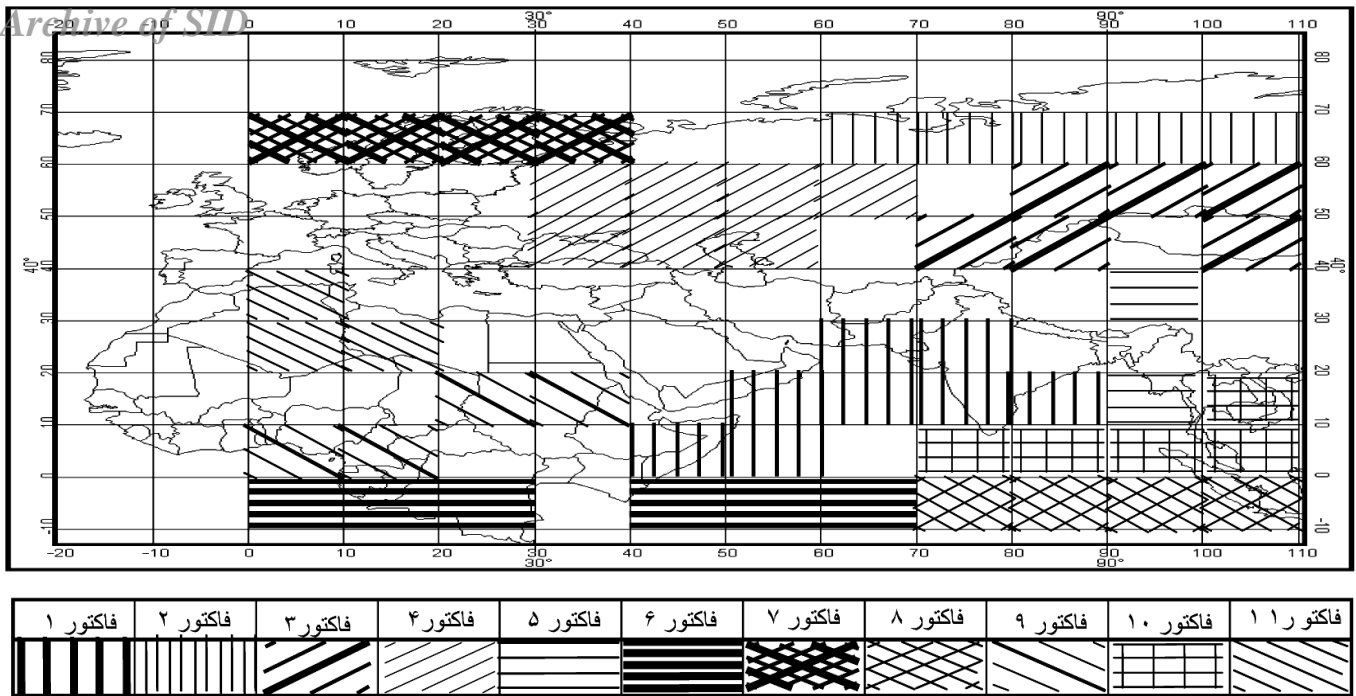
بر بارش منطقه، از روش همبستگی پیرسون استفاده شده است. به این ترتیب کلیه سیگنال‌هایی که در بازه زمانی اکتبر تا مارس (مهر تا اسفند) و ژانویه تا مارس (دی تا اسفند) در سطح اطمینان ۵ درصد با بارش منطقه همبستگی معنی‌دار نشان داده‌اند، به عنوان پیش‌بینی‌کننده در ساختار مدل پیش‌بینی بارش استفاده گردیده‌اند. بعد از بررسی‌های متعدد، مشخص گردید بهترین حالت تاثیر سیگنال‌ها وقتی است که از بازه زمانی اکتبر تا مارس سیگنال‌ها استفاده گردد. لذا سیگنال‌های زیر در بازه زمانی اکتبر تا مارس به عنوان پیش‌بینی‌کننده در مدل‌های پیش‌بینی بارش مورد استفاده قرار گرفته‌اند:

۱- SST مرکز اقیانوس اطلس (x_1) SST-۲ غرب دریای مدیترانه
 ۲- Δ SST-۳ دریاچه آرال (x_3) SST-۴ دریای لابرادور
 ۳- Δ SST-۵ شمال خلیج فارس (x_5) SST-۶ دریای عمان
 ۴- Δ SST-۷ جنوب خلیج فارس (x_7) SST-۸ جنوب دریای سرخ
 ۵- Δ SST-۹ بین شرق دریای مدیترانه و دریای عمان
 ۶- (x_9) ۱۰- دمای هوای سطح ۷۰۰ میلی بار در منطقه شاخص فاکتور ۲ در شبکه‌های 5×5 درجه (x_{10}) (جدول ۳) ۱۱- دمای هوای سطح ۷۰۰ میلی بار در منطقه شاخص فاکتور ۳ در شبکه‌های 5×5 درجه (x_{11}) (جدول ۳) ۱۲- آب قابل بارش در منطقه شاخص فاکتور ۱۰ در شبکه‌های 10×10 درجه (x_{12}) (جدول ۴) ۱۳- رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ میلی بار در منطقه شاخص فاکتور ۲ در شبکه‌های 5×5 درجه (x_{13}) (جدول ۵) ۱۴- رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ میلی بار در منطقه شاخص فاکتور ۴ در شبکه‌های 5×5 درجه

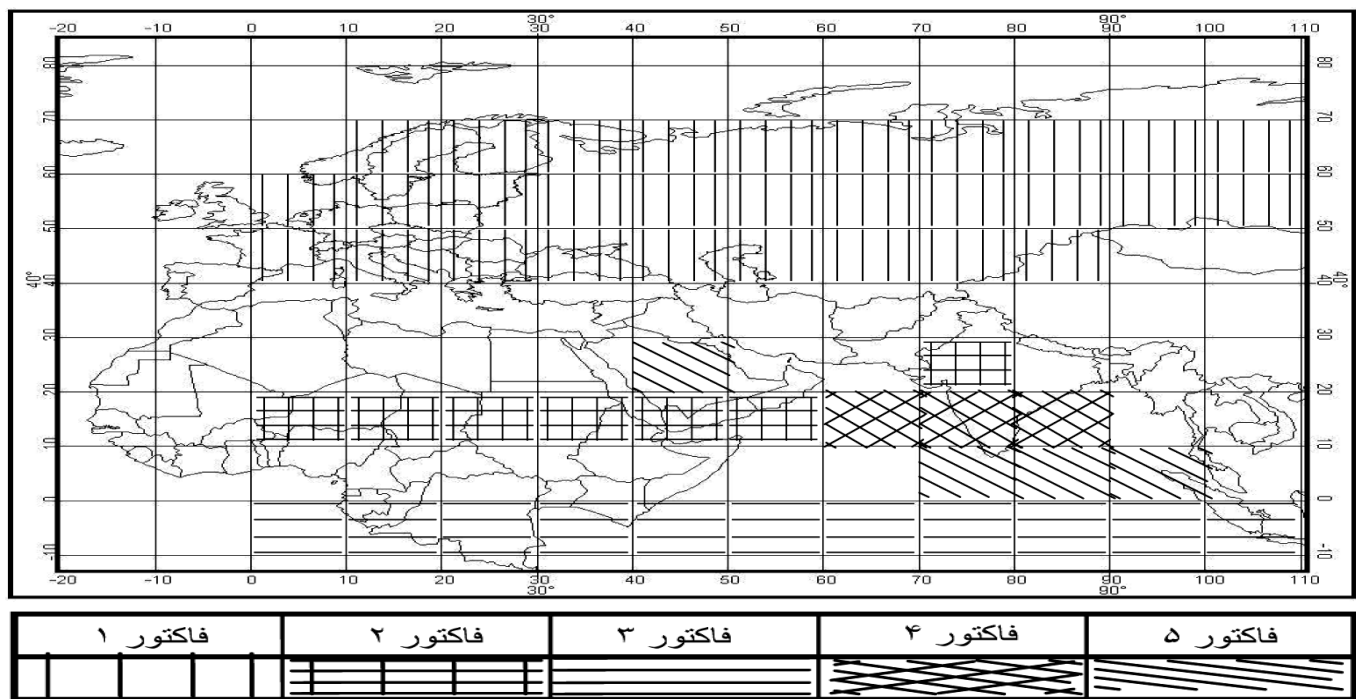


فاکتور ۱	فاکتور ۲	فاکتور ۳	فاکتور ۴	فاکتور ۵	فاکتور ۶

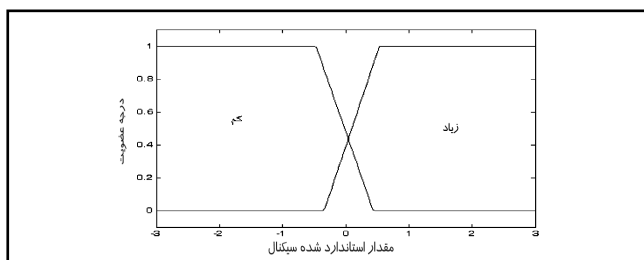
شکل ۳- مناطق شاخص شناسایی شده دمای سطح ۷۰۰ میلی بار در بازه زمانی اکتبر تا مارس در شبکه‌های 5×5 درجه



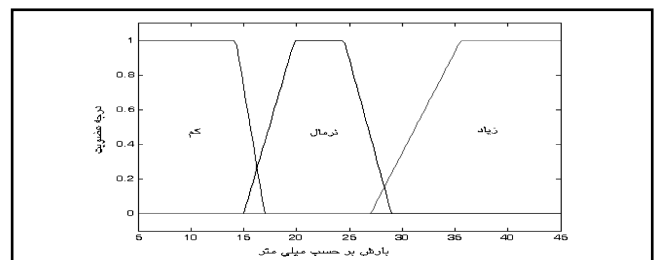
شکل ۴- مناطق شناسایی شده آب قابل بارش در بازه زمانی اکتبر تا مارس در شبکه‌های 10×10 درجه



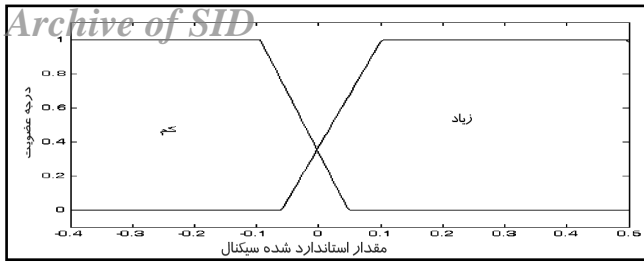
شکل ۵- مناطق شناسایی شده رطوبت نسبی سطح 300 میلی بار در شبکه‌های 5×5 درجه



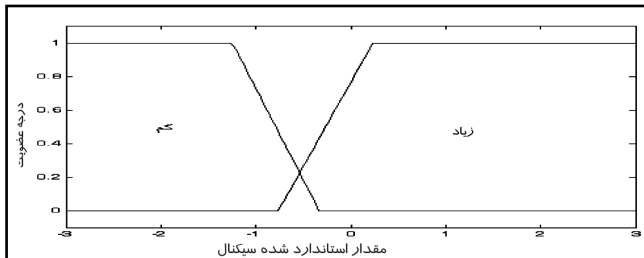
شکل ۷- تابع عضویت SST استاندارد شده غرب مدیترانه



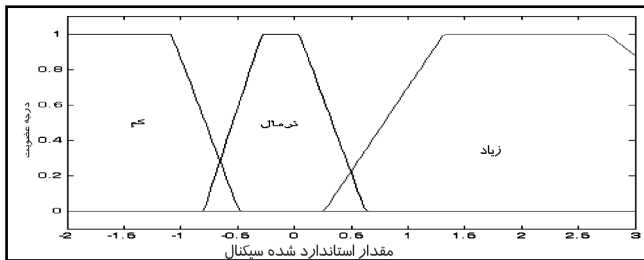
شکل ۶- تابع عضویت بارش برای به کارگیری در مدل پیش بینی بارش



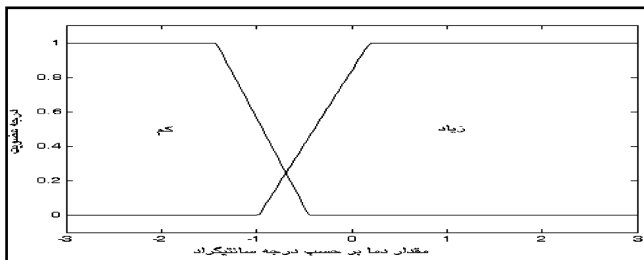
شکل ۹- تابع عضویت اختلاف SST استاندارد شده دریاچه آرال



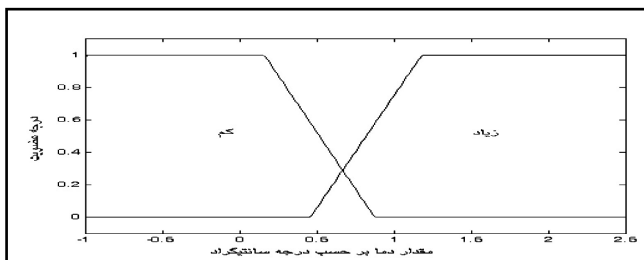
شکل ۱۱- تابع عضویت SLP استاندارد شده شمال خلیج فارس



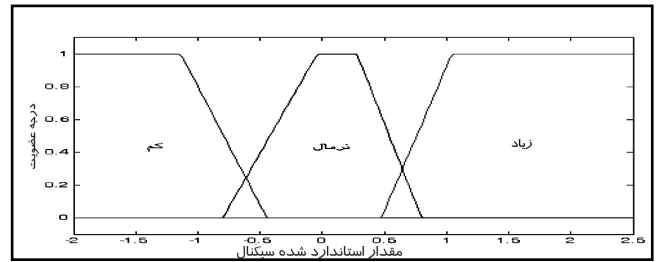
شکل ۱۳- تابع عضویت SLP استاندارد شده جنوب خلیج فارس



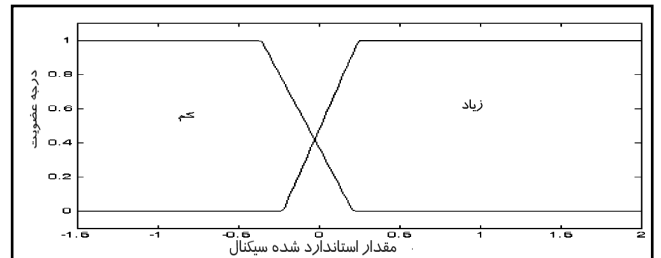
شکل ۱۵- تابع عضویت دمای سطح ۷۰۰ میلی بار در منطقه شاخص فاکتور ۲ در شبکه های ۵×۵ درجه



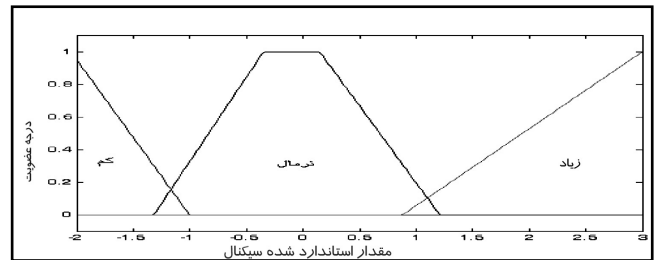
شکل ۱۷- تابع عضویت دمای سطح ۷۰۰ میلی بار در منطقه شاخص فاکتور ۵ در شبکه های ۱۰×۱۰ درجه



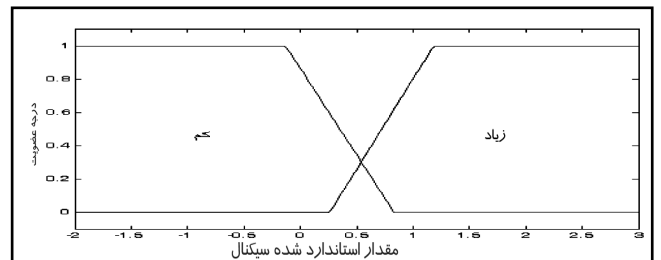
شکل ۸- تابع عضویت SST استاندارد شده مرکز اقیانوس اطلس



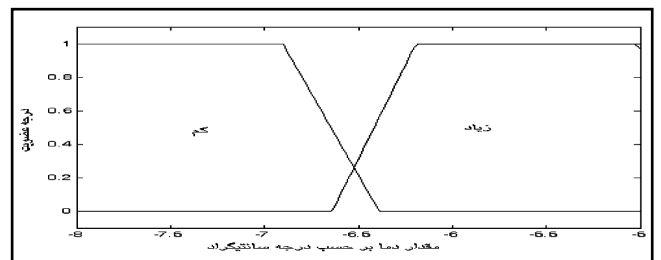
شکل ۱۰- تابع عضویت اختلاف SST استاندارد شده دریای لابرادور



شکل ۱۲- تابع عضویت SLP استاندارد شده دریای عمان



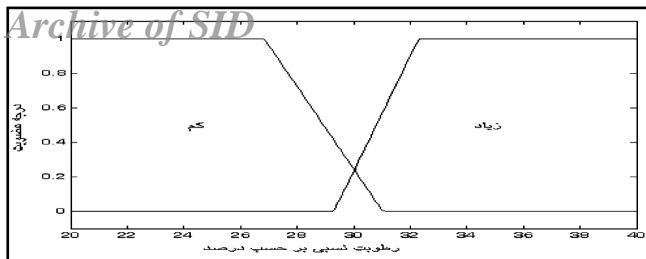
شکل ۱۴- تابع عضویت SLP استاندارد شده جنوب دریای سرخ



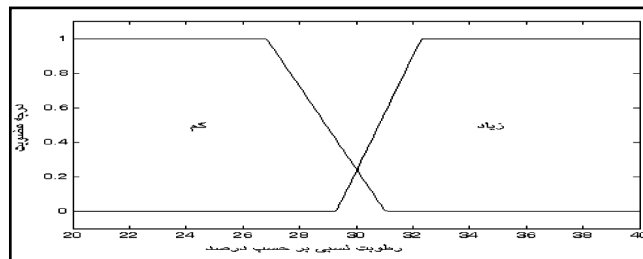
شکل ۱۶- تابع عضویت دمای سطح ۷۰۰ میلی بار در منطقه شاخص فاکتور ۳ در شبکه های ۵×۵ درجه

۲- دوره آزمون مدل که در این پژوهش دوره ۱۰ ساله برای پیش بینی در نظر گرفته شده است.

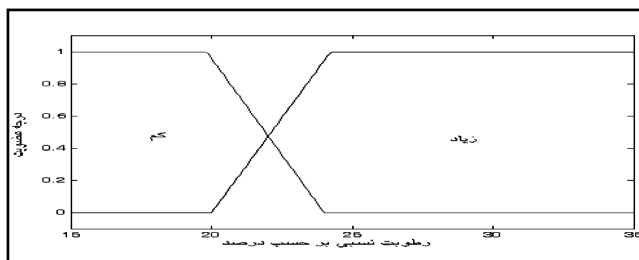
۱- دوره واسنجی قوانین که در این پژوهش دوره ۲۸ ساله برای ساخت قوانین در نظر گرفته شده است.



شکل ۱۹- تابع عضویت رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ میلی بار در منطقه شاخص فاکتور ۲ در شبکه های ۱۰×۱۰ درجه



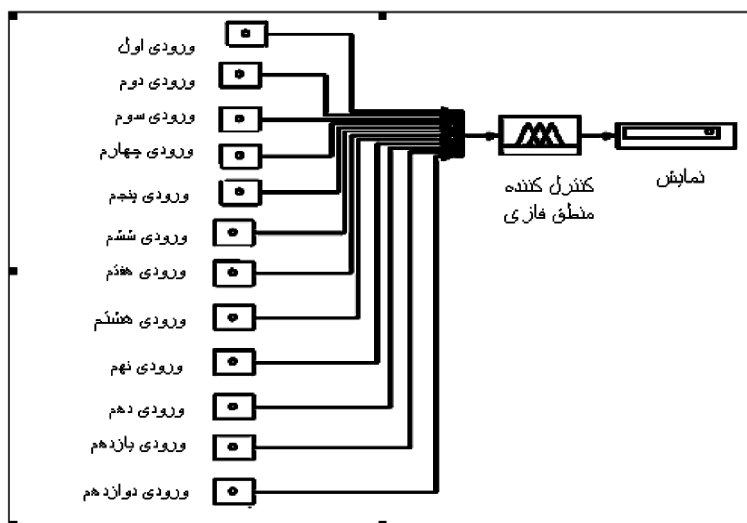
شکل ۱۸- تابع عضویت آب قابل بارش در منطقه شاخص فاکتور ۱۰ در شبکه های ۱۰×۱۰ درجه



شکل ۲۰- تابع عضویت رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ میلی بار در منطقه شاخص فاکتور ۴ در شبکه های ۱۰×۱۰ درجه

سال برای دوره واسنجی و یک سوم باقیمانده (۱۰ سال) برای دوره آزمون مدل انتخاب شدند. بررسی نتایج مدل نشان می دهد که به غیر از سال های ۱۹۹۸، ۲۰۰۱، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷، اختلاف بارش مشاهده شده و پیش بینی شده در محدوده قابل قبولی قرار دارد و مدل قادر بوده است در بقیه سال ها بارش را با خطای قابل قبولی پیش بینی کند. شکل (۲۲) نمودار بارش مشاهده شده و پیش بینی شده را نشان می دهد. لازم به یادآوری است که ریشه میانگین مربعات خطا برای این مدل، ۶/۳۹ میلی متر است که نسبتاً مناسب است و نشان دهنده دقت مدل در پیش بینی بارش بهاره می باشد.

به منظور پیش بینی بارش در بازه زمانی آوریل تا ژوئن (فروردین تا خرداد)، قوانین فازی بر مبنای اطلاعات سال های قبل ساخته شدند و در مرحله بعد، برای دوره آزمون مدل، پیش بینی انجام شد. جدول (۲) مقادیر بارش مشاهده شده و پیش بینی شده را نشان می دهد. همان طور که در این جدول مشاهده می شود، سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۳ در دوره آزمون مدل حضور ندارند. دلیل آن این است که این سال ها از سال های حدی خشک و تر می باشند و برای افزایش دقت مدل، این سال ها به دوره واسنجی مدل منتقل شده اند. بنابراین از مجموع کل داده ها (۳۸ سال)، دو سوم آنها یعنی ۲۸

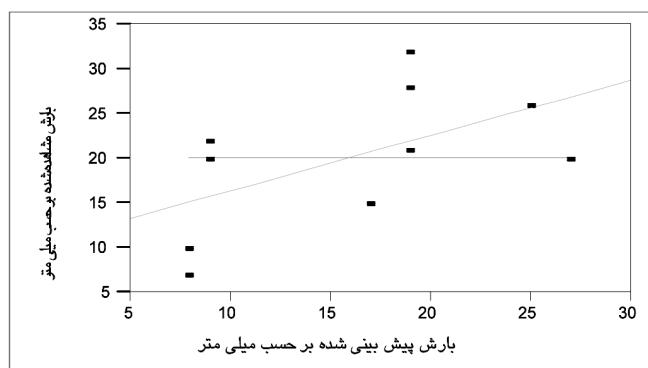


شکل ۲۱- شماتیک دیاگرام مدل فازی تدوین شده برای پیش بینی بارش با استفاده از سیستم استنتاج فازی به روش ممدانی

سال	بارش ثبت شده (میلی متر)	بارش پیش بینی شده (میلی متر)
۱۹۹۶	۲۱	۲۱
۱۹۹۷	۲۵	۲۰
۱۹۹۸	۳۲	۲۳
۱۹۹۹	۱۹	۱۸
۲۰۰۱	۷	۱۷
۲۰۰۲	۲۰	۱۹
۲۰۰۴	۲۸	۲۱
۲۰۰۵	۲۱	۲۱
۲۰۰۶	۱۵	۱۷
۲۰۰۷	۱۰	۱۹



شکل ۲۲- مقایسه بارش مشاهده شده و پیش بینی شده در محدوده مورد مطالعه با مدل فازی ممدانی



شکل ۲۳- تغییرات مقادیر بارش واقعی نسبت به مقادیر بارش پیش بینی شده. خط مورب، خط رگرسیون می باشد

جدول (۳) خلاصه مشاهدات رگرسیون خطی بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر بارش پیش بینی شده و جدول (۴) نتایج تجزیه واریانس رگرسیون خطی بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر بارش پیش بینی شده را نشان می دهد. همان طور که در جدول (۳) دیده می شود، با در نظر گرفتن حدود اطمینان ۹۰ درصد رگرسیون خطی بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر بارش پیش بینی شده، جذر میانگین مربعات خطا $۶/۷۸$ میلی متر به دست آمده است که از دقت بالایی

شکل (۲۳) مقادیر بارش واقعی را در مقابل مقادیر بارش پیش بینی شده نشان می دهد. معادله خط رگرسیون تغییرات مقادیر بارش مشاهده شده نسبت به مقادیر بارش پیش بینی شده عبارت است از:

$$Ra = ۱۰/۲ + ۰/۶۱ Rp \quad (۷)$$

در معادله (۷)، Rp بارش پیش بینی شده و Ra مقدار بارش واقعی (مشاهده شده) بر حسب میلی متر می باشد.

است. مقدار P-value برای آزمون معنی دار بودن شیب خط رگرسیون ۰/۰۸ به دست آمده است
 شکل (۲۴) هم حدود اطمینان ۹۰ درصد را برای تغییرات بارش مشاهده شده در برابر مقادیر بارش پیش بینی شده نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، در اینجا نیز تغییرات بارش مشاهده شده و مقادیر بارش پیش بینی شده، از تطابق بسیار بالایی برخوردار بوده و در سطح ۱۰ درصد معنی دار است.
 جدول (۶) خلاصه مشاهدات آزمون عدم برازش رگرسیون خطی

برخوردار است. همان طور که در جدول (۴) دیده می شود، نسبت F که نشان دهنده نسبت میانگین مربعات رگرسیون به میانگین مربعات خطا می باشد، در سطح ۱۰ درصد معنی دار است و نشان دهنده ارتباط قوی تغییرات بارش مشاهده شده با مقادیر بارش پیش بینی شده می باشد. جدول (۵) آزمون معنی دار بودن شیب خط رگرسیون بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر بارش پیش بینی شده توسط مدل را نشان می دهد. همان طور که در این جدول دیده می شود، شیب خط رگرسیون نیز در سطح ۱۰ درصد معنی دار

جدول ۳- مقادیر معیارهای ارزیابی کارایی مدل

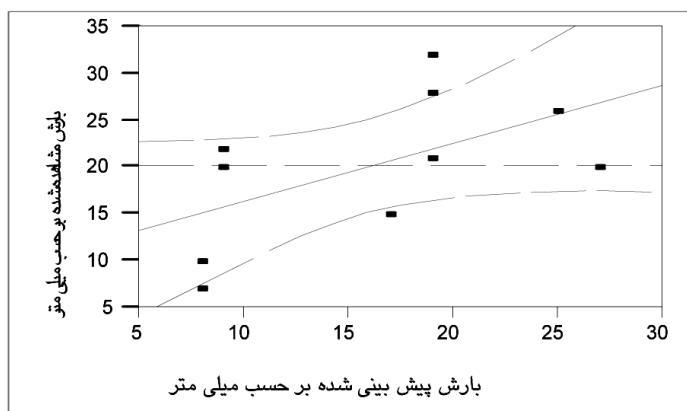
۰/۳۲	ضریب تبیین
۰/۲۳	ضریب تبیین تعدیل شده
۶/۷۸	جذر میانگین مربعات خطا
۲۰/۱	میانگین
۱۰	تعداد مشاهدات

جدول ۴- تجزیه واریانس رگرسیون خطی بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر بارش پیش بینی شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	نسبت F
رگرسیون	۱	۱۷۴/۳۹۴	۱۷۴/۳۹۵	۳/۷۸
خطا	۸	۳۶۸/۵۰۵	۴۶/۰۶۳	Prob>F
کل	۹	۵۴۲/۹۰۰		۰/۰۸

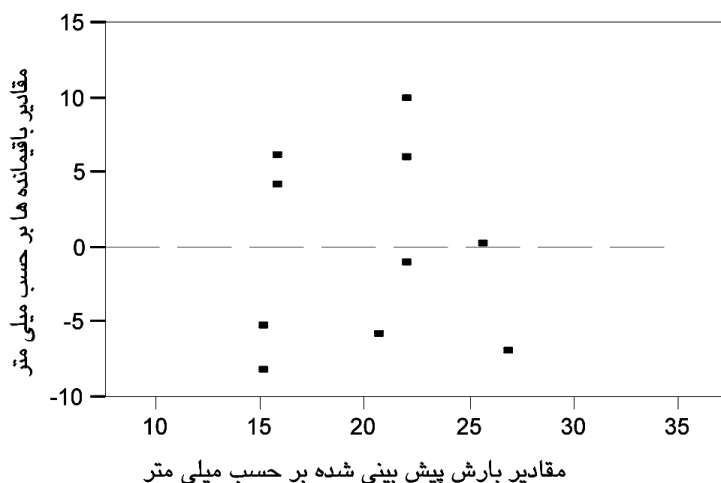
جدول ۵- مقادیر پارامترهای آماری مربوط به آزمون معنی دار بودن شیب خط رگرسیون

پارامتر	مقدار تخمین زده شده	خطای استاندارد	t نسبت	Prob>|t|
عرض از مبدا	۱۰/۲	۵/۵۱	۱/۸۵	۰/۱۰
باقیمانده ها	۰/۶۱	۰/۳۱	۱/۹۵	۰/۰۸



شکل ۲۴- حدود اطمینان ۹۰ درصد تغییرات بارش مشاهده شده در برابر بارش پیش بینی شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	نسبت F
عدم برازش	۴	۳۰۰/۰۰۵	۷۵/۰۰۱	۴/۳۷
خطای خالص	۴	۶۸/۵۰۰	۱۷/۱۲	Prob>F
خطای کل	۸	۳۶۸/۵۰۵		۰/۰۹



شکل ۲۵- تغییرات مقادیر باقیمانده ها نسبت به مقادیر بارش پیش بینی شده بر حسب میلی متر

که یک الینو نسبتاً قوی و پایدار به وقوع پیوسته است، قابل مشاهده است. برعکس در سال ۲۰۰۱، به علت وقوع لایننا در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ و تداوم آن تا سال ۲۰۰۱، میزان بارندگی در منطقه مورد مطالعه کاهش یافته است. لذا با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش با نتایج به دست آمده توسط محققین دیگر [۹]، تاثیر الگوهای پیوند از دور انسو بر بارش منطقه مورد مطالعه تایید می‌گردد. لذا با توجه به موارد ذکر شده در فوق، به دلیل وجود این سال‌های حدی در دوره آزمون، مدل قوانین فازی تدوین شده نتوانسته‌اند این سال‌های حدی را پوشش دهند. اما با افزایش سال‌های آماری مدل می‌توان بر این مشکل فائق آمده و دقت مدل را برای پیش‌بینی سال‌های حدی خشک و تر افزایش داد. به منظور مقایسه نتایج به دست آمده از روش فازی با روش‌های مرسوم دیگر، از روش رگرسیون خطی هم برای پیش‌بینی بارش استفاده گردید که نتایج آن در زیر بیان می‌گردد.

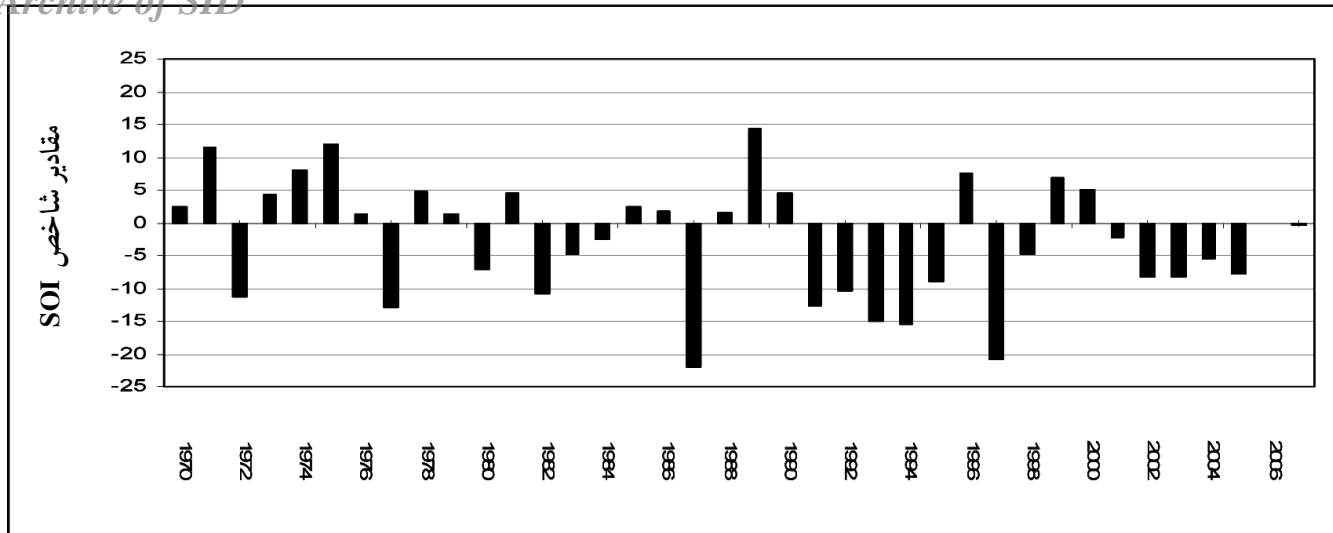
نتایج پیش‌بینی بارش با استفاده از مدل حذف تدریجی ورود متغیرها^۱

با استفاده از معادلات رگرسیون خطی چند متغیره، اثر متغیرهای مستقل به صورت هم‌زمان بر روی متغیر وابسته بررسی گردید. در این پژوهش متغیر وابسته، بارش متوسط منطقه‌ای در سال‌های

بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر بارش پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول (۶) دیده می‌شود، با در نظر گرفتن حدود اطمینان ۹۰ درصد رگرسیون خطی بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر بارش پیش‌بینی شده و با توجه به نسبت F به دست آمده، فرض عدم برازش بین مقادیر بارش واقعی و مقادیر بارش پیش‌بینی شده در سطح ۱۰ درصد رد می‌گردد. شکل (۲۵) هم تغییرات مقادیر باقیمانده‌ها را در برابر بارش پیش‌بینی شده نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در اینجا نیز تغییرات مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر بارش پیش‌بینی شده، کاملاً تصادفی و نرمال می‌باشد و نشان‌دهنده دقت مدل در پیش‌بینی بارش است.

برای مقایسه بهتر نتایج به دست آمده از این پژوهش با فازهای گرم و سرد پدیده انسو، سری زمانی مقادیر شاخص انسو در دوره آماری ۲۰۰۷-۱۹۷۰ میلادی در شکل (۲۶) ترسیم گردیده است. مطابق نتایج به دست آمده از پژوهشگران دیگر [۹] در مورد تاثیر الگوهای پیوند از دور بر وضعیت دما و بارش منطقه مورد مطالعه، چنین استنتاج می‌شود که در شرایط الینو یا در فاز گرم پدیده انسو، میزان بارندگی استان افزایش و در سال‌های وقوع لایننا یا فاز سرد پدیده انسو، میزان بارندگی در منطقه کاهش می‌یابد. از مقایسه شکل‌های (۲۲) و (۲۶) چنین استنتاج می‌شود که در سال ۱۹۹۸، به دلیل وقوع الینو قوی در سال ۱۹۹۷ و تداوم آن در سال ۱۹۹۸، میزان بارندگی استان افزایش یافته است. همین حالت باز در سال ۲۰۰۴

1- Backward



شکل ۲۶- میانگین مقادیر بهاره شاخص SOI در دوره آماری ۱۹۷۰-۲۰۰۷ میلادی

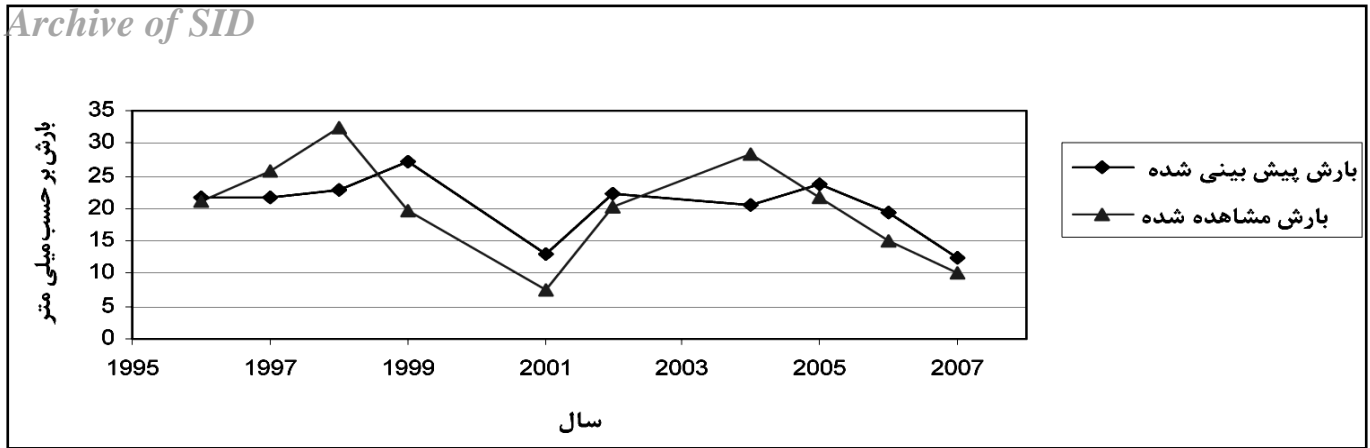
نتیجه‌گیری و بحث

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. مقایسه نتایج به دست آمده از این پژوهش با نتایج پژوهشگران دیگر ([۴] و [۷])، نشان‌دهنده کارایی بالای روش‌هایی نظیر شبکه‌های عصبی، شبکه‌های عصبی فازی تطبیقی و منطق فازی در پیش‌بینی بارش است و می‌توان از این روش‌ها به طور موفقیت‌آمیزی در پیش‌بینی بارش سود جست و عملاً کارایی مدل‌های پیش‌بینی بارش را از این طریق افزایش داد. در مجموع، با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، می‌توان از سیگنال‌های اقلیمی در مدل‌های پیش‌بینی بارش و همچنین تشخیص دوره‌های خشک و تر در منطقه استفاده نمود. لازم به توضیح است با توجه به کمبود سال‌های آماری و عدم پوشش کامل قوانین فازی تدوین شده به علت کمبود آمار، پیش‌بینی سال‌های حدی از دقت کمتری برخوردار است و انتظار می‌رود با افزایش سال‌های آماری دقت مدل در پیش‌بینی بارش افزایش یابد. نکته‌ای که باید به آن توجه داشت این است که با یک یا دو سال حدی در دوره آموزش، نباید انتظار داشت قوانین مربوط به این دو سال تمامی رخدادها را پوشش دهد و چه بسا تغییر در متغیرهای گوناگون دیگر باعث وقوع سال‌های حدی خشک یا مرطوب شده باشد. نتایج مشابه توسط محققین دیگر [۱۲] نیز این موضوع را تصدیق می‌نمایند. با توجه به این موضوع که ایران در منطقه عرض‌های جغرافیایی میانه واقع شده است و بیشترین آشفتنگی‌های جوی در این مناطق رخ می‌دهد، لذا بعضی از محققین تعداد سال‌های آماری مورد نیاز برای پوشش کامل عناصر اقلیمی این مناطق را خیلی بیشتر از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هم‌دیدگی و باران‌سنجی کشور می‌دانند.

متوالی بوده و متغیرهای مستقل، سری زمانی سیگنال‌های هواشناسی شاخص ذکر شده در بخش‌های قبل می‌باشد. معادله به دست آمده در این حالت عبارت است از:

$$Y = -28/6 - 4/19 * X_1 + 0/88 X_2 \quad (8)$$

در معادله ۸، متغیر X_1 دمای هوا در سطح ۷۰۰ میلی‌باری در منطقه شاخص فاکتور ۳ در شبکه‌های ۵×۵ درجه در بازه زمانی اکتبر تا مارس و متغیر X_2 رطوبت نسبی در منطقه شاخص فاکتور ۴ در شبکه‌های ۵×۵ درجه در بازه زمانی اکتبر تا مارس می‌باشد. همان‌طور که دیده می‌شود، تنها ضرایب مربوط به دمای هوا در سطح ۷۰۰ میلی‌باری در منطقه شاخص فاکتور ۳ در شبکه‌های ۵×۵ درجه در بازه زمانی اکتبر تا مارس و رطوبت نسبی در منطقه شاخص فاکتور ۴ در شبکه‌های ۵×۵ درجه در بازه زمانی اکتبر تا مارس در معادله نهایی معنی‌دار شده‌اند و برای پیش‌بینی بارش فصل بهاره مورد استفاده قرار می‌گیرند. همان‌طور که در جدول ۱۳ دیده می‌شود، ضریب همبستگی بین متغیرهای مستقل و متغیر تابع (بارش) ۵۷ درصد و ضریب تبیین مدل ۳۲ است. ریشه میانگین مربعات خطا برای این مدل ۵/۴۳ میلی‌متر است. بنابراین با استفاده از ضریب همبستگی، ضریب تبیین و ریشه میانگین خطای به دست آمده، با خطای قابل‌قبولی می‌توان بارش بهاره را پیش‌بینی نمود. خلاصه مشاهدات مربوط به این مدل در جدول (۷) آمده است. شکل (۲۷) بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده با مدل را نشان می‌دهد. جدول (۸) تجزیه واریانس مربوط به مدل را در این حالت نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود، معادله به دست آمده در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. بنابراین دقت مدل در پیش‌بینی بارش بهاره مناسب است و همان‌طور که در شکل (۲۷) هم دیده می‌شود، مدل در بیش از ۸۰ درصد سال‌ها بارش بهاره را با دقت قابل‌قبولی پیش‌بینی می‌کند.



شکل ۲۷- مقایسه بارش مشاهده شده و پیش بینی شده با مدل حذف تدریجی ورود متغیرها

جدول ۷- خلاصه مشاهدات مربوط به مدل حذف تدریجی ورود متغیرها بعد از اصلاح داده‌های آموزشی

مدل	R	R ²	R ² تعدیل شده	انحراف معیار مقادیر تخمینی	آماره‌ها	
					نسبت F	سطح معنی داری
۱	۰/۵۷	۰/۳۲	۰/۲۷	۶/۳۷	۶/۰۸	۰/۰۰۷

جدول ۸- تجزیه واریانس مدل حذف تدریجی ورود متغیرها بعد از اصلاح داده‌های آموزشی

منابع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	نسبت F
رگرسیون	۲	۴۹۴/۱۱۹	۲۴۷/۰۵۹	۶/۰۸
خطا	۲۵	۱۰۱۴/۸۶۹	۴۰/۵۹۵	Prob > F
کل	۲۷	۱۵۰۸/۹۸۷		۰/۰۰۷

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج طرح پژوهشی پیش بینی بارش بهاره استان خراسان رضوی براساس سیگنال‌های هواشناسی با استفاده از منطق فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و شبکه‌های عصبی فازی تطبیقی است. نگارندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را به دلیل در اختیار قرار دادن امکانات لازم برای انجام این طرح، از مسئولین محترم اداره کل هواشناسی خراسان رضوی و پژوهشکده اقلیم ابراز می‌دارند.

منابع

۱- حسامی رستمی، ر، افشار، ع و موسوی، ج. ۱۳۸۴. مدل پیش بینی 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.

۲- خلیلی، ن. ۱۳۸۵. پیش بینی بارش با استفاده از شبکه‌های عصبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی

۳- فاتحی مرج، ح. ۱۳۷۹. بررسی آشوب در سیستم‌های دینامیکی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد برق، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴- فلاح قاله‌ری، غ. ۱۳۸۵. پیش بینی بارش فصلی براساس الگوهای سینوپتیکی با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۵- فلاح قاله‌ری، غ.، موسوی بایگی م. و حبیبی نوخندان، م. ۱۳۸۶. پیش بینی بارش فصلی براساس 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.

۶- فرجی سبکبار، ح. عزیزی، ق. ۱۳۸۵، ارزیابی میزان دقت

17- Galambosi A., Duckstein, L., Ozelkan, E. and Bogardi, I. 1999. Fuzzified effect of ENSO and macrocirculation patterns on precipitation: an Arizona case study. *Int. J. Climatol.* 19, 1411-1426.

18- Fujibe, F. 1989. Short-term precipitation patterns in central Honshu, Japan---classification with the fuzzy c-means method, *Journal of Meteorological Society of Japan*, 67, 967-982

19- George, W. Kimber, Jr. 2007. A Statistical Model for Predicting Average Rainfall in the State of Florida, Fifth International Conference on Dynamic Systems and Applications, Morehouse College, Atlanta, Georgia, USA

20- 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.

21- Haltiner, G.J. and Williams, R.T. 1980. *Numerical Prediction and Dynamic Meteorology*, 2nd Edition. New York, Wiley and Sons, pp. 447.

22- Maria, C. Haroldo, F. and Ferreira, N. 2005. Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to the São Paulo region, *Journal of Hydrology*, Volume 301, Issues 1-4, PP.146-162.

23- pongracz, R and Bartholy, J. 2006. Regional Effects of ENSO in Central/Eastern Europe, *journal of advances in Geosciences*. vol 6, pp: 133-137, www.it.murdoch.edu.au/~wong/publications/SIC97.pdf, 213-221

24- Shao, J. 2000. Fuzzy Categorization of Weather Conditions for Thermal Mapping, *Journal of Applied Meteorology*, 39, 1784-1790

25- Wong, K.W., Wong, P.M., Gedeon, T.D. and Fung, C.C. 1999. Rainfall prediction using neural fuzzy technique, URL.

روش‌های درون‌یابی فضایی مطالعه موردی: الگوسازی بارندگی حوزه کارده مشهد، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۸، صص: ۱-۱۵.

۷- کارآموز، م. ۱۳۸۴. پیش‌بینی درازمدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی، پروژه شماره ۳۴۲ سازمان هواشناسی کشور.

۸- کوره‌پزان دزفولی، ا. ۱۳۸۲. اثر سیگنال‌های هواشناسی بر پیش‌بینی تغییرات بارش، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۹- معتمدی، م.، احترامیان، ک. و شهاب‌فر، ع. ۱۳۸۶. بررسی ارتباط از دور سیگنال‌های هواشناسی ENSO با نوسانات بارندگی و دما در استان خراسان، *مجله علمی پژوهشی علوم محیطی*، سال چهارم، شماره چهارم، صص: ۷۵-۹۰.

۱۰- موسوی بایگی، م.، فلاح‌قاهری، غ.، حبیبی‌نوخندان، م. ۱۳۸۷. بررسی ارتباط نشانه‌های پهن‌مقیاس اقلیمی با بارش خراسان، *مجله علمی-پژوهشی علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، جلد پانزدهم، شماره دوم.

۱۱- ناظم‌اسادات، م. ۱۳۸۰. آیا باران می‌بارد؟ خشکسالی و بارندگی مازاد در ایران و ارتباط آن‌ها با پدیده ال‌نینو-نوسانات جنوبی، انتشارات دانشگاه شیراز

12- 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

13- Jacquin, A. p., Shamseldin, A.Y. 2006. Development of Rainfall-Runoff Models Using Takagi-Sugeno Fuzzy Inference System. *Journal of Hydrology*, vol. 329, pp.154-173.

14- Alijani, B. 2003. *Synoptical Climatology*. Samt. Press, First Edition. PP 257.

15- 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.

16- Choi, L. 1999. An application hydroinformatic tools for rainfall forecasting, Thesis (PhD). University of New South Wales (Australia), p. 752.