

پیش‌بینی بارش فصلی بر اساس الگوهای سینوپتیکی سطوح فوقانی جو با استفاده از مدل‌های آماری غلامعباس فلاح قاهری^{۱*}، سید محمد موسوی بایگی^۲ و مجید حبیبی نوخندان^۳

تاریخ پذیرش: 87/4/30

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

2- دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

3- پژوهشکده هواشناسی و سرپرست پژوهشکده اقلیم‌شناسی

*مسئول مکاتبه E-mail: ab_fa789@yahoo.com

چکیده

به منظور بررسی امکان استفاده از مدل‌های آماری برای پیش‌بینی بارش فصلی بر اساس الگوهای سینوپتیکی سطوح فوقانی جو، منطقه خراسان بزرگ شامل سه استان خراسان شمالی، خراسان جنوبی و خراسان رضوی انتخاب شد. پس از بررسی‌های لازم و تکمیل خلاهای آماری، تعداد ۳۷ ایستگاه سینوپتیکی، کلیماتولوژی و باران سنجی تحت پوشش سازمان هواشناسی کشور، انتخاب و آزمون همگنی ران تست بر روی داده‌های بارش این ایستگاه‌ها انجام یافت. در مرحله بعد، در محیط نرم افزار Arc GIS، سری زمانی بارش متوسط منطقه‌ای به روش مدل رقومی ارتفاعی محاسبه گردید. با استفاده از روابط همبستگی به دست آمده بین بارش متوسط منطقه‌ای و پارامترهای جو بالا در بازه‌های زمانی مختلف، از مدل‌های آماری برای پیش‌بینی بارش فصل بعد (دسامبر تا می) استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد مدل‌های آماری می‌توانند برای پیش‌بینی بارش به طور موفقیت‌آمیزی به کار گرفته شوند و بارش را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کنند. در این میان، مدل حذف تدریجی متغیرها عملکرد بهتری داشته است. ریشه میانگین مربعات خطا برای مدل گام به گام ورود متغیرها ۵۰/۴ میلی متر و برای مدل حذف تدریجی متغیرها ۴۷/۳ میلی متر به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: الگوهای سینوپتیکی، بارش متوسط منطقه‌ای، پیش‌بینی بارندگی، مدل حذف تدریجی، مدل گام به گام

Using Statistical Model for Seasonal Rainfall Forecasting Based on Synoptic Patterns of Atmospheric Upper Levels

GhA Fallah Ghalhary^{1*}, MS Mousavi Baygi² and M Habibi Nokhandan³

¹Ph.D Student in Climatology, Ferdowsi University and Climatological Research Institute

²Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. IR of Iran

³Climatological Research Institute (CRI), Mashhad, IR of Iran

*Corresponding author: E-mail: ab_fa789@yahoo.com

Abstract

Statistical modeling has been used for seasonal rainfall forecasting based on synoptical patterns of the atmospheric upper levels in Khorasan province - northeast of Iran. The data of 37 rainfall station were obtained from Iranian Meteorological Organization and the first stage was filling the gaps and missing data using statistical methods. In the second stage, the RUN-TEST homogeneity were done to find out if the rainfall data are randomly collected. Mean local time series of rainfall have been calculated in Arc GIS software. In order to forecast the seasonal rainfall in the period of December to May, the relations between rainfall and atmospheric upper level parameters in the difference time intervals were used as input of statistical model. Results show that statistical modeling can successfully predict amount of the rainfall. Root mean square error obtained by stepwise and backward models were 50.4 and 47.3 millimeter respectively.

Keyword: Backward model, Mean local rainfall, Rainfall prediction, Stepwise model, Synoptical patterns

و بلند مدت (ماهانه و فصلی) در نقاط مختلف جهان انجام شده است. بسیاری از این تحقیقات بر مبنای تاثیر الگوهای سینوپتیکی بزرگ مقیاس بوده است (کارآموز ۱۳۸۵).

کاوازوس (۲۰۰۰)، از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی بارش روزانه استفاده کرده است. ضخامت بین سطوح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و رطوبت سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق بوده است نتایج بدست آمده کارایی شبکه‌های عصبی را در پیش‌بینی بارش نشان می‌دهد.

مقدمه

پیش‌بینی بارش برای کشورهای در حال توسعه که اقتصاد آن‌ها مبتنی بر کشاورزی است، خیلی مهم است. به طور مشخص، اقلیم و بارش پدیده‌های غیرخطی بزرگی در طبیعت هستند، چیزی که به اثر پروانه‌ای مشهور است (آبراهام ۲۰۰۲).

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

بارش فصلی مونسونی در جنوب غربی هند استفاده کرد. برای این کار از پارامترهای هواشناسی نظیر شاخص وزش مداری در سطح ۱۰ هکتوپاسکال ماه ژانویه، شاخص وزش شرقی - غربی سطح ۵۰ هکتوپاسکال در بازه زمانی ژانویه تا فوریه و اطلاعات ریج (پشته) سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ماه آوریل استفاده نمود. نتایج نشان دهنده کارایی روش‌های رگرسیونی در پیش‌بینی بارش فصلی است. سینگرانتا و همکاران (۲۰۰۴)، از روش‌های آماری برای پیش‌بینی بارش مونسونی تابستانه بر فراز تایلند استفاده کردند. برای این کار از پارامترهایی نظیر پتانسیل سرعت باد و دمای سطح دریا استفاده کرده‌اند. پیش‌بینی بارش با استفاده از هر دو مدل رگرسیونی پارامتری و غیر پارامتری انجام شده است. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که پیش‌بینی مدل رگرسیونی غیرپارامتری در سال‌های حدی (خشک یا تر) مناسب‌تر است. آسبی و همکاران (۲۰۰۵)، از مدل رگرسیونی چند متغیره برای پیش‌بینی بارش فصل مرطوب زود هنگام (ژوئن تا ژولای) و فصل مرطوب دیر هنگام (اگوست تا اکتبر) در حوضه دریای کارائیب استفاده کرده‌اند. پارامترهای مورد استفاده آن‌ها متغیرهایی نظیر آنومالی مولفه قائم باد برشی در ناحیه استوایی اقیانوس اطلس، آنومالی دمای سطح دریای کارائیب و آنومالی فشار سطح دریا در ناحیه حاره ای اقیانوس اطلس شمالی است. نتایج نشان دهنده موفقیت مدل رگرسیونی در پیش‌بینی بارش فصلی است.

ماریا و همکاران (۲۰۰۵)، از شبکه‌های عصبی و مدل‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی بارش در منطقه سائوپائولو برزیل اسفاده کرده‌اند. متغیرهای مورد استفاده آن‌ها عبارت است از: دمای پتانسیل، مؤلفه قائم باد، رطوبت ویژه، دمای هوا، آب قابل بارش، چرخندگی نسبی و شار واگرایی رطوبت. نتایج نشان دهنده کارایی هر دو روش در پیش‌بینی بارش است.

پنگراسز و بارتولی (۲۰۰۶)، بارندگی ماهیانه را در مجارستان با استفاده از تیپ‌های الگوی چرخش

آستین (۲۰۰۱)، از مدل رگرسیونی چند گانه برای پیش‌بینی بارش فصلی در شمال نیجریه استفاده نموده است. ۱۹ ایستگاه سینوپتیک در منطقه انتخاب و از داده‌های تاریخی ۳۵ ساله برای ساخت مدل رگرسیونی پیش‌بینی بارش فصلی استفاده شده است. این مدل از مقادیر نوامبر، دسامبر و فوریه الگوهای پیوند از دور به عنوان ورودی استفاده می‌کند. مدل بر مبنای میزان بارش مورد نیاز برای رشد دیم سه محصول ذرت، سورگوم و ارزن در خلال سال‌های ۱۹۹۱-۱۹۹۵ تست شد. نتایج نشان دهنده همبستگی بالا بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده به مقدار ۰/۹۸ و ۰/۹۱ به ترتیب برای ارزن و سورگوم می‌باشد که می‌توانند بدون آبیاری به صورت دیم کشت شوند، ذرت به بارش فصلی بیشتری نیاز دارد و در بین سه محصول پایین‌ترین همبستگی را بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده به میزان ۰/۶ داشته است.

هالید و رید (۲۰۰۲)، از تکنیک منطق فازی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش محلی ماه ژانویه در فرودگاه هازانودین^۱ در اندونزی که بزرگترین ناحیه تولید برنج است، استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد مدل منطق فازی برای پیش‌بینی بارش ماه ژانویه مناسب است.

سن (۲۰۰۲)، از مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی

^۱Hasanudin

در پیش بینی ماهیانه میدان‌های ژئوپتانسیل سطح ۷۰۰ میلی بار است.

جورج و کیمبر (۲۰۰۷)، از متغیرهای رطوبت، سرعت باد، حداکثر و حداقل دمای روزانه و درجه روزهای گرم و سرد برای پیش بینی بارش فصلی ایالت فلوریدا استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان دهنده موفقیت آمیز بودن روش رگرسیونی در پیش‌بینی بارش است.

علیجانی (۱۳۷۸)، از روش تحلیل عاملی برای بررسی الگوهای جریان سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در منطقه مدیترانه و ایران در ماه‌های مختلف سال استفاده نموده است. نتایج نشان دهنده کارایی روش تحلیل عاملی در طبقه‌بندی فضایی الگوهای جریان سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه‌های مختلف سال در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

استوار (۱۳۷۹)، ارتباط پدیده ال نینو با بارش‌های ماهیانه ایران را مورد ارزیابی قرار داده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که اثر گذاری پدیده ال نینو بر بارش‌های ایران همزمان با تغییر الگوی فشار در اقیانوس اطلس نبوده، بلکه با تاخیر زمانی همراه است.

کیانی پور (۱۳۷۹)، شرایط سینوپتیکی حاصل از پدیده ال نینو در ایران و تغییرات ایجاد شده در فعالیت و آرایش سیستم‌ها را بررسی نموده است. نتایج وی نشان می‌دهد که آرایش سیستم‌ها در سه ماه دسامبر، ژانویه و فوریه در سال لانینا شرایط مناسب تری برای ایجاد بارش نسبت به سال ال نینو داشته است.

جهانبخش و ترابی (۱۳۸۳)، با استفاده از داده‌های آماری ۴۱ ایستگاه سینوپتیک به روش تحلیل عاملی، تعداد پنج منطقه اقلیمی همگون را مشخص نموده و سپس برای هر یک از مناطق مذکور، یک ایستگاه شاخص معرفی نمودند. سپس تغییرات حداقل و حداکثر دمای ماهیانه و مجموع بارندگی ماهیانه در فاصله سال‌های ۱۹۶۶ تا ۱۹۹۵ میلادی را با استفاده از روش‌های آماری بررسی کردند. نتایج نشان داد در مجموع، بارندگی ماهیانه به جز در

اتمسفری و شاخص "انسو" مدل‌سازی کردند. بدین منظور از تکنیک مدل سازی مبتنی بر قوانین فازی برای ایجاد ارتباط بین ورودی‌ها و بارندگی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که مدل مبتنی بر قوانین فازی، ابزار عالی را برای پیش‌بینی مشخصات آماری بارندگی ماهیانه با استفاده از فراوانی ماهیانه تیپ‌های الگوی چرخش اتمسفری روزانه و انسو تاخیری فراهم می‌کند. مولی و پائولینو (۲۰۰۶)، رابطه بین میدانهای ارتفاع ژئوپتانسیل سطوح ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نیمکره شمالی را با بارش مونسونی هند (ژوئن تا سپتامبر) بررسی نموده‌اند. برای این منظور، از بازه‌های زمانی ژانویه تا آوریل و مارس تا آوریل دوره ۱۹۵۰-۱۹۸۴ سطوح فوق استفاده کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد بهترین منطقه تاثیر ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال بر بارش مونسونی هند، بر فراز اقیانوس آرام در بازه زمانی ژانویه تا آوریل قرار دارد.

پراساد و سینگ (۲۰۰۶)، از روش تحلیل عاملی برای پیش بینی ماهیانه میدان‌های ژئوپتانسیل سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال بر فراز هند استفاده کرده‌اند. داده‌های مورد نیاز در فاصله بین سال‌های ۱۹۵۸ تا ۱۹۸۰ به دست آمده‌اند. نتایج نشان دهنده کارایی بالای این روش

¹Elnino- southern oscillation inden (ENSO)

ایستگاه‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد. لازم به یادآوری است داده‌های بارش سالیانه برای هر سال شامل بارندگی ۳۷ ایستگاه سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران سنجی می‌باشد که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. از این تعداد ۴ ایستگاه سینوپتیک، ۵ ایستگاه کلیماتولوژی و بقیه باران سنجی می‌باشند.

داده‌های مورد نیاز

داده‌های مورد نیاز به استثنای داده‌های بارش که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد، از سایت نوا^۱ در شبکه‌های ۲/۵×۲/۵ درجه در فاصله بین سال‌های ۱۹۷۰-۲۰۰۲ میلادی استخراج گردید.

بازسازی و آزمون همگنی داده‌ها

در این تحقیق برای تکمیل برخی از نواقص اطلاعاتی بارش از روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها و برای آزمون همگنی داده‌های بارش از آزمون "ران تست" استفاده گردیده است (علیزاده ۱۳۸۰).

محاسبه بارش متوسط منطقه‌ای

برای به دست آوردن بارش متوسط منطقه‌ای از روش مدل رقومی ارتفاعی استفاده شد. گام‌های زیر

مناطق حاشیه کویرهای مرکزی، تغییرات آماری معنی‌داری ندارد.

کارآموز (۱۳۸۵)، به منظور بررسی تاثیر ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال بر بارش مناطق غرب، شمال غرب و جنوب غرب ایران، از روش تحلیل عاملی برای طبقه بندی فضایی الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال استفاده نموده است. نتایج کارایی این روش را در طبقه بندی فضایی ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد.

در این تحقیق سعی شده است با استفاده از داده‌های دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال در مناطق شاخص انتخاب شده، ارتباط متغیرهای هواشناسی فوق با بارش تعیین شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق خراسان بزرگ، 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 فاصله بین سال‌های ۱۹۷۰-۲۰۰۲ میلادی می‌باشد. شکل ۱ نقشه محدوده مورد مطالعه و نام

¹Noaa (www. cdc. noaa. gov)

که فصول مربوط به سیگنال‌ها، ماه‌های دارای بارندگی سال آبی بعد را شامل نشوند. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه در ماه‌های مهر و آبان میزان بارندگی کم و در ماه‌های تابستان در حد صفر می باشد، از مجموع بارندگی ماه‌های آذر تا اردیبهشت (دسامبر تا می) به عنوان سری زمانی بارندگی استفاده شده است.

بررسی ارتباط سیگنال‌های شاخص با بارش منطقه

به منظور بررسی ارتباط تغییرات پارامترهای هواشناسی فوق‌الذکر با بارش در محدوده مورد مطالعه، نقاطی تحت عنوان نقاط شاخص در مناطق مختلفی از دریاها که بر آب و هوای ایران تاثیر گذارند، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. این نقاط شامل نقاطی در دریای مدیترانه، خلیج فارس، دریای عمان، خلیج عدن، دریای عرب، دریای سرخ، دریای سیاه، دریای آدریاتیک، دریاچه آرال، اقیانوس هند، اقیانوس اطلس، دریای شمال و سیبری می باشند. در انتخاب این مناطق تاثیر پذیری منطقه شمال شرق کشور از الگوهای سینوپتیکی مورد توجه قرار گرفته است (علیچانی ۱۳۸۱).

به منظور محاسبه ارتباط سیگنال‌های هواشناسی فوق با بارش منطقه، برای هر سیگنال سه بازه زمانی شامل بازه‌های ژوئن تا نوامبر، ماه اکتبر و ماه نوامبر در دو شبکه ۵×۵ درجه و ۱۰×۱۰ درجه در نظر گرفته شده است. بر اساس آزمون‌های آماری و ضریب همبستگی

برای به دست آوردن سری زمانی بارش متوسط منطقه-ای با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی انجام یافت:

- ۱- ساختن فایل‌های ورودی نرم افزار Arc GIS ۲- به دست آوردن رابطه بارش با ارتفاع با استفاده از روابط رگرسیونی ۳- به دست آوردن نقشه رقومی منطقه مورد مطالعه ۴- انجام تحلیل‌های مربوط به مدل رقومی ارتفاعی (DEM)^۱ ۵- تحلیل و ترسیم تغییرات مکانی بارش در منطقه برای هر سال ۶- به دست آوردن مقادیر متوسط بارش در منطقه مورد مطالعه برای هر سال ۷- ساخت سری زمانی بارش برای منطقه مورد مطالعه.

سیگنال‌های شاخص مورد استفاده در این تحقیق

سیگنال‌هایی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند عبارتند از: ۱- دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال ۲- ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۳- رطوبت نسبی سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال

فصل‌بندی بارندگی و سیگنال‌ها

فصل‌بندی بارندگی و سیگنال‌ها بر این اساس بوده است که با استفاده از میانگین مقادیر یک سیگنال خاص در چند ماه متوالی، بتوان میزان مجموع بارندگی فصلی را در ماه‌های آینده پیش بینی نمود. بنابراین سعی شده است

¹Digital elevation model (DEM)

عاملی از جمله روش‌های آماری می باشد که برای کاهش تعداد متغیرها به وجود آمده است. در این روش متغیرهای اولیه بر اساس ضرائب همبستگی بین آن‌ها به متغیرهای غیر وابسته تبدیل می شوند. این متغیرهای غیر وابسته عامل^۴ نامیده می شوند. اندازه هر کدام از مشاهدات در عامل‌های جدید با عنوان نمرات عاملی محاسبه می شود. در نتیجه به جای اندازه‌های واقعی مشاهدات، نمرات آن‌ها در مؤلفه‌های جدید به عنوان معیارهای جدید برای خوشه‌بندی مورد استفاده قرار می گیرند. امتیاز این روش در این است که ضمن اینکه تعداد متغیرها را کاهش می‌دهد، مقدار اولیه واریانس موجود در داده‌های اصلی را حفظ می‌کند (علیجانی ۱۳۸۱).

نتایج و بحث

بررسی ارتباط تغییرات پارامترهای جو بالا و تغییرات بارش منطقه مورد مطالعه

برای محاسبه ارتباط تغییرات پارامترهای جو بالا با تغییرات بارش منطقه مورد مطالعه از روش تحلیل عاملی استفاده شد. برای هر یک از بازه‌های زمانی ژوئن تا نوامبر، اکتبر و نوامبر، سری زمانی داده‌ها در دو شبکه ۵×۵ و ۱۰×۱۰ درجه در دوره آماری ۲۰۰۲-۱۹۷۰ آماده گردید. سپس با استفاده از نرم افزار SPSS متغیرها با روش تحلیل عاملی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

بین تغییرات سیگنال‌های شاخص با بارش متوسط منطقه مورد مطالعه، سیگنال‌هایی که سطح اطمینان آن‌ها کمتر از ۵٪ و مقدار ضریب همبستگی آن‌ها با بارش در سطح ۵٪ معنی دار بود، از لحاظ آماری مناسب تشخیص داده شد.

لازم به ذکر است برای انجام آزمون‌های آماری لازم و به دست آوردن همبستگی بین سیگنال‌های شاخص با بارش منطقه از دو نرم افزار SPSS^۱ نسخه ۵، ۱۰، و جامپ^۲ نسخه ۴ و برای مرتب کردن داده‌های خام از نرم افزار اکسل^۳ استفاده گردد.

محدوده مکان مورد بررسی

محدود مکان مورد بررسی که مؤلفه‌های جو بالا در آن با روش تحلیل عاملی تحلیل شده، در حد فاصل ۷۰-۰ درجه شرقی و ۴۵-۱۵ درجه شمالی می باشد. این محدوده مناطقی را شامل می‌گردد که تغییرات الگوهای دما، فشار و رطوبت در آنها بر بارش منطقه اثرگذار است (علیجانی ۱۳۸۱).

متدولوژی مورد استفاده

متدولوژی مورد استفاده در تحلیل پارامترهای جو بالا، استفاده از روش تحلیل عاملی است. روش تحلیل

^۱Statistical package for social science

^۲JMP4

^۳Excel

^۴Factor

منطقه مورد مطالعه نشان می دهد و می تواند در مدل-های پیش‌بینی بارش، مورد استفاده قرار گیرد.

پیش‌بینی بارش فصلی با استفاده از روش رگرسیونی خطی چند متغیره

در این بررسی با استفاده از معادلات رگرسیون خطی چند متغیره، اثر متغیرهای مستقل را به صورت هم زمان بر روی متغیر وابسته مشاهده می کنیم. در پژوهش حاضر برای بدست آوردن مدل رگرسیونی از نرم افزار SPSS استفاده شده است. برای انجام عملیات از روش های گام به گام ورود متغیرها^۱ و روش حذف تدریجی متغیرها^۲ استفاده شده است. در این تحقیق متغیر وابسته، بارش متوسط منطقه ای در سال های متوالی بوده و متغیرهای مستقل، سری زمانی نمرات عاملی پارامترهای جو بالا در مناطق شاخص انتخاب شده در بازه های زمانی مختلف می باشد. مدل عمومی رگرسیون خطی مورد استفاده، مدل رگرسیونی خطی چندگانه بوده و بصورت زیر تعریف می شود:

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_ix_i \quad (1)$$

در معادله ۱، a ضریب ثابت، b ضریب رگرسیون یا شیب خط مربوط به هریک از متغیرها، X متغیر مستقل و Y متغیر وابسته است. متغیرهای مستقل

منظور از متغیرها در این فرآیند، مقادیر سری زمانی داده‌ها در هر یک از شبکه‌ها می‌باشد. در این پردازش، عاملی انتخاب شد که مقدار ارزش ویژه آن بیشتر از ۱ و مقدار واریانس توجیه شده توسط آن بیش از ۵ درصد بود. همچنین هر عامل متغیرهایی را شامل می شود که میزان ضریب همبستگی آن متغیر با عامل مربوطه بیش از ۰/۶ بوده است. در این تحقیق، با استفاده از این روش، نواحی شاخص برای هر یک از پارامترها در ترکیب های مختلف سه گانه: خرداد تا آبان (ژوئن تا نوامبر)، مهر (اکتبر) و آبان (نوامبر) به طور جداگانه شناسایی گردیده است. به عنوان مثال شکل ۲ مناطق شاخص شناسایی شده دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال را در ماه اکتبر در شبکه‌های ۱۰×۱۰ درجه و شکل ۳ مناطق شاخص شناسایی ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال را در ماه اکتبر در شبکه های ۱۰×۱۰ درجه نشان می دهد. در نهایت همبستگی تغییرات پارامترهای جو بالا در مناطق شاخص انتخاب شده به روش تحلیل عاملی با تغییرات بارش فصل بعد در بازه زمانی دسامبر تا می (آذر تا اردیبهشت)، محاسبه گردیده است.

بر اساس آزمون‌های آماری و ضریب همبستگی بین تغییرات پارامترهای جو بالا و تغییرات بارش در منطقه مورد مطالعه، مناطق شاخصی که ضریب همبستگی نمرات عاملی آنها با بارش فصل بعد معنی دار ($t \geq 0/34$) و سطح اطمینان آنها کمتر از ۵% بود، در ساختار مدل پیش‌بینی وارد گردید. به عنوان مثال، نتایج بررسی‌های انجام شده برای دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه اکتبر در شکل‌های ۴ تا ۸ نشان داده شده است.

خلاصه مشاهدات اثر پارامترهای جو بالا بر بارش منطقه مورد مطالعه، در جدول ۱ نشان داده شده است. به عنوان مثال، همان طور که در این جدول دیده می شود، تغییرات دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در ماه اکتبر ارتباطی را با وقوع دوره های کم بارش و پر بارش در

¹ Stepwise

² Backward

بینی شده با مدل حذف تدریجی متغیرها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، مقدار بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده از تطابق خوبی برخوردار است و مدل در اکثر سال‌های مورد مطالعه بارش را با دقت قابل قبولی توانسته است پیش‌بینی کند.

پیش‌بینی بارش فصلی با استفاده از مدل گام به گام ورود متغیرها

معادله بدست آمده با مدل گام به گام ورود متغیرها عبارت است از :

$$y = 218/7 - 24/9 X_5 + 19/1 X_6 \quad (3)$$

در معادله ۳، X_5 ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه اکتبر در شبکه‌های 10×10 درجه در منطقه شاخص فاکتور ۲ و X_6 ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه اکتبر در شبکه‌های 10×10 درجه در منطقه شاخص فاکتور ۳ می‌باشد.

همان‌طور که در معادله ۳ دیده می‌شود، در این جا، تنها ضرائب مربوط به ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در شبکه‌های 10×10 درجه در معادله نهایی معنی دار شده‌اند و برای پیش‌بینی بارش فصل بعد مورد استفاده قرار می‌گیرند. همان‌طور که در جدول ۵ دیده می‌شود، ضریب همبستگی بین متغیرهای مستقل و متغیر تابع (بارش) $65/3$ و ضریب تبیین مدل $42/6$ است. همچنین با مراجعه به جدول ۶ مقدار P-value برای این مدل، $0/004$ به دست آمده است که نشان دهنده دقت بالای مدل می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۸ دیده می‌شود، ریشه میانگین مربعات خطا برای این مدل $52/7$ میلی‌متر است.

خلاصه مشاهدات مربوط به این مدل در جدول‌های ۵ تا ۷ آورده شده است. شکل ۱۰ بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده با مدل گام به گام ورود متغیرها را نشان می‌دهد. در اینجا نیز بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده از تطابق خوبی برخوردار است و مدل در اکثر

مقادیر سری زمانی نمرات عاملی مولفه‌های جو بالا، ذکر شده در جدول ۱ می‌باشد.

لازم به ذکر است از تعداد کل ۳۳ سال دوره آماری، تعداد ۲۳ سال برای دوره کالیبراسیون و ۱۰ سال باقیمانده برای تست مدل استفاده شده است.

پیش‌بینی بارش فصلی با استفاده از مدل حذف تدریجی متغیرها

معادله بدست آمده با مدل حذف تدریجی متغیرها عبارت است از :

$$y = 215/7 + 24/8 X_2 + 17/9 X_3 - 12/7 X_4 \quad (2)$$

در معادله ۲، X_2 دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در ماه اکتبر در شبکه‌های 10×10 درجه در منطقه شاخص فاکتور ۲، X_3 دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در ماه اکتبر در شبکه‌های 10×10 درجه در منطقه شاخص فاکتور ۳، X_4 دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در ماه اکتبر در شبکه‌های 10×10 درجه در منطقه شاخص فاکتور ۶ می‌باشند. همان‌طور که دیده می‌شود، تنها نمرات عاملی دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در ماه اکتبر در شبکه‌های 10×10 درجه در معادله نهایی معنی‌دار شده‌اند و برای پیش‌بینی بارش فصل بعد مورد استفاده قرار می‌گیرند. همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، ضریب همبستگی بین متغیرهای مستقل و متغیر تابع (بارش) 71 درصد و ضریب تبیین مدل $50/4$ درصد است. همچنین با توجه به جدول ۳ مقدار P-value برای این مدل $0/003$ است که نشان می‌دهد معادله به دست آمده از دقت بالایی برخوردار است. همان‌طور که در جدول ۸ دیده می‌شود، ریشه میانگین مربعات خطا برای این مدل $47/3$ میلی‌متر است. بنابر این با استفاده از ضریب همبستگی، ضریب تبیین و ریشه میانگین خطای به دست آمده، با خطای قابل قبولی می‌توان بارش فصل بعد را پیش‌بینی نمود.

خلاصه مشاهدات مربوط به این مدل در جدول‌های ۲ تا ۴ آمده است. شکل ۹ بارش مشاهده شده و پیش-

نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج محققان دیگر از جمله علیجانی (۱۳۷۸) و کارآموز (۱۳۸۵)، نشان دهنده کارایی بالای روش تحلیل عاملی در طبقه بندی الگوهای دما، ارتفاع معادل ژئوپتانسیل و رطوبت نسبی است و می‌توان با استفاده از این روش، پارامترهای دیگر سطوح فوقانی جو را نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و نحوه تاثیر آن‌ها را بر پارامترهای سطح زمین مانند بارش، دما، رطوبت و غیره به دست آورده و از آن‌ها در مدل‌های پیش‌بینی استفاده نمود. همچنین با مراجعه به جدول ۱ نکات زیر قابل استنباط است:

۱- تنها تغییرات دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه اکتبر ارتباطی را با وقوع دوره‌های بالاتر و پایین‌تر از میانگین در منطقه نشان می‌دهند و می‌توان از آن‌ها برای پیش‌بینی سال-های پربارش و کم‌بارش در منطقه استفاده نمود.

۲- در بازه زمانی ژوئن تا نوامبر، تنها رطوبت نسبی در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال ارتباطی را با وقوع دوره‌های بالاتر و پایین‌تر از میانگین در منطقه نشان می‌دهد.

۳- در هیچ‌کدام از موارد، تغییرات پارامترهای هواشناسی مورد استفاده در ماه نوامبر، ارتباطی را با وقوع دوره‌های بالاتر و پایین‌تر از میانگین در منطقه نشان نمی‌دهد. در پایان پیشنهاد می‌شود از روش‌های دیگری نظیر شبکه‌های عصبی، مجموعه‌های فازی، شبکه‌های عصبی فازی تطبیقی، الگوریتم ژنتیک و غیره برای پیش‌بینی بارش در منطقه استفاده شود و نتایج حاصل با روش‌های رگرسیونی مورد مقایسه و بررسی قرار گیرد.

سال‌های مورد مطالعه بارش را با دقت قابل قبولی می‌تواند پیش‌بینی کند.

با توجه به مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای به دست آمده، ضریب همبستگی بین متغیرهای مستقل و متغیر تابع (بارش) و ضریب تبیین به دست آمده، مقدار P-value و مقایسه بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده برای هر دو مدل، نتیجه می‌گیریم که مدل حذف تدریجی متغیرها برای پیش‌بینی بارش مناسب‌تر از مدل گام به گام ورود متغیرها می‌باشد.

از مجموع موارد فوق چنین استنباط می‌شود که متغیرهای مورد استفاده در هر دو مدل پیش‌بینی بارش، توانسته‌اند الگوی پراکنندگی بارش را در اکثر سال‌های مورد مطالعه در منطقه تشخیص دهند و امید است با افزایش طول دوره آماری، دقت مدل‌ها افزایش یابد.

جمع‌بندی نهایی

همان‌طور که دیده می‌شود، در هر دو مدل از پارامترهای هواشناسی در شبکه‌های ۱۰×۱۰ درجه استفاده شده است و در هیچ‌کدام از مدل‌ها پارامترهای موجود در شبکه‌های ۵×۵ درجه در سطح ۵٪ معنی‌دار نشده‌اند. همچنین رطوبت نسبی در هیچ‌کدام از شبکه‌های مورد استفاده معنی‌دار نشده است. مقایسه نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج به دست آمده توسط محققین دیگر از قبیل تحقیق انجام شده توسط آسبی و همکاران (۲۰۰۴)، سن (۲۰۰۳)، سینگراتنا و همکاران (۲۰۰۴) و جورج و کیمبر (۲۰۰۷) نشان دهنده کارایی روش‌های رگرسیونی و مدل‌های آماری در پیش‌بینی بارش است و می‌توان از این مدل‌ها با موفقیت در پیش‌بینی بارش فصل بعد استفاده کرد. همچنین، مقایسه

جدول ۱- خلاصه مشاهدات اثر پارامترهای جو بالا در مناطق شاخص انتخاب شده بر بارش منطقه

نام پارامتر	فصل	شبکه مورد استفاده (درجه)	فاکتور	بارش بیشتر از میانگین	بارش کمتر از میانگین
دمای سطح ۸۵۰	ماه اکتبر	۵×۵	۲	۰ < نمره عاملی < ۰/۷-	۰ > نمره عاملی
هکتوپاسکال	ماه اکتبر	۱۰×۱۰	۲	۱ < نمره عاملی < ۱/۵-	۰ < نمره عاملی < ۱/۵-
	ماه اکتبر	۱۰×۱۰	۳	۰ < نمره عاملی < ۱	۰/۵- < نمره عاملی
	ماه اکتبر	۱۰×۱۰	۴	۰/۵ < نمره عاملی < ۰	۱ < نمره عاملی < ۰/۵
ارتفاع معادل سطح	ماه اکتبر	۵×۵	۲	۱ > نمره عاملی	۰/۵- < نمره عاملی
۵۰۰ هکتوپاسکال	ماه اکتبر	۱۰×۱۰	۲	۰/۵- < نمره عاملی	۱ < نمره عاملی < ۰/۵-
	ماه اکتبر	۱۰×۱۰	۳	۰/۵ > نمره عاملی	۰/۵- < نمره عاملی
رطوبت نسبی سطح	ژوئن تا نوامبر	۵×۵	۱	۰/۸ > نمره عاملی	۰/۸ < نمره عاملی < ۰/۳-
۳۰۰ هکتوپاسکال				۰/۳- < نمره عاملی < ۱-	۲- < نمره عاملی
				۱/۵- < نمره عاملی < ۲-	۱- < نمره عاملی < ۱/۵-
	ماه اکتبر	۵×۵	۱	۱/۵ > نمره عاملی	۱- < نمره عاملی
	ماه اکتبر	۵×۵	۴	۰/۸ > نمره عاملی	۰/۲- < نمره عاملی
	ماه اکتبر	۱۰×۱۰	۵	۱/۵ < نمره عاملی < ۱	۱/۶ < نمره عاملی
				۱/۳- < نمره عاملی	

جدول ۲- خلاصه مشاهدات تحلیل رگرسیون خطی چند متغیره با مدل "حذف تدریجی ورود متغیرها"

مدل	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	ضریب تبیین تعدیل شده	خطای استاندارد تخمین
۱	۰/۷۶۶	۰/۵۸۶	۰/۲۴۲	۴۲/۲۰۷۸
۲	۰/۷۶۵	۰/۵۸۶	۰/۲۹۹	۴۰/۵۷۴۳
۳	۰/۷۶۵	۰/۵۸۵	۰/۳۴۷	۳۹/۱۶۰۱
۴	۰/۷۶۳	۰/۵۸۳	۰/۳۸۸	۳۷/۹۱۱۷
۵	۰/۷۵۲	۰/۵۶۵	۰/۴۰۳	۳۷/۴۶۷۱
۶	۰/۷۳۵	۰/۵۴۰	۰/۴۰۵	۳۷/۳۷۹۰
۷	۰/۷۲۴	۰/۵۲۵	۰/۴۱۹	۳۶/۹۳۷۶
۸	۰/۷۱۰	۰/۵۰۴	۰/۴۲۵	۳۶/۷۴۷۳

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس رگرسیون خطی چندمتغیره با مدل "حذف تدریجی ورود متغیرها"

مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آزمون F	سطح معنی داری
۱ رگرسیون باقیمانده کل	۳۰۳۱۱/۸۰۶	۱۰	۳۰۳۱/۱۸۱	۱/۷۰۱	۰/۱۹۰
	۲۱۳۷۸/۰۲۰	۱۲	۱۷۸۱/۵۰۲		
	۵۱۶۸۸/۸۲۶	۲۲			
۲ رگرسیون باقیمانده کل	۳۰۲۸۸/۲۴۲	۹	۳۳۶۵/۳۶۰	۲/۰۴۴	۰/۱۱۷
	۲۱۴۰۱/۵۸۴	۱۳	۱۶۴۶/۲۷۶		
	۵۱۶۸۹/۸۲۶	۲۲			
۳ رگرسیون باقیمانده کل	۳۰۲۲۰/۶۶۴	۸	۳۷۷/۵۸۳	۲/۴۶۳	۰/۰۳۵
	۲۱۴۶۹/۱۶۲	۱۴	۱۵۳۳/۵۱۲		
	۵۱۶۸۹/۸۲۶	۲۲			
۴ رگرسیون باقیمانده کل	۳۰۱۳۰/۴۰۵	۷	۴۳۰۴/۳۴۴	۲/۹۹۵	۰/۰۳۵
	۲۱۵۵۹/۴۲۲	۱۵	۱۴۳۷/۲۹۵		
	۵۱۶۶۹/۸۲۶	۲۲			
۵ رگرسیون باقیمانده کل	۲۹۲۲۹/۳۴۴	۶	۴۸۱/۵۵۷	۳/۴۷۰	۰/۰۲۲
	۲۲۴۶۰/۴۸۲	۱۶	۱۴۰۳/۷۸۰		
	۵۱۶۸۹/۸۲۶	۲۲			
۶ رگرسیون باقیمانده کل	۲۷۹۳۷/۵۸۸	۵	۵۵۸۷/۵۱۸	۳/۹۹۹	۰/۰۱۴
	۲۳۷۵۲/۲۳۸	۱۷	۱۳۹۷/۱۹۰		
	۵۱۶۸۹/۸۲۶	۲۲			
۷ رگرسیون باقیمانده کل	۲۷۱۳۰/۸۷۴	۴	۶۷۸۲/۷۱۹	۴/۹۷۱	/۰۰۷
	۲۴۵۵۸/۹۵۲	۱۸	۱۳۶۴/۳۸۶		
	۵۱۶۸۹/۸۲۶	۲۲			
۸ رگرسیون باقیمانده کل	۲۶۰۳۲/۹۴۷	۳	۸۶۷۷/۶۴۹	۶/۴۲۶	۰/۰۰۳
	۲۵۶۵۶/۸۷۹	۱۹	۱۳۵۰/۳۶۲		
	۵۱۶۸۹/۸۲۶	۲۲			

جدول ۴- ماتریس ضرائب تحلیل رگرسیون خطی چندمتغیره با مدل "حذف تدریجی ورود متغیرها"

مدل	ضرائب استاندارد نشده		ضرائب استاندارد شده		t	سطح معنی داری
	B	خطای استاندارد	Beta			
A	عرض از مبدا	۲۱۵/۷۳۳	۷/۷۴۱		۲۷/۸۶۸	۰/۰
X _۱		۲۴/۸۷۲	۷/۳۴۲	۰/۵۵۲	۳/۳۸۸	۰/۰۰۳
X _۲		۱۷/۹۱۳	۷/۸۰۹	۰/۳۷۳	۲/۲۹۴	۰/۰۳۳
X _۳		-۱۲/۷۹۹	۷/۳۲۵	-۰/۲۸۳	-۱/۷۴۷	۰/۰۹۷

جدول ۵- خلاصه مشاهدات تحلیل رگرسیون خطی چندمتغیره با مدل "گام به گام ورود متغیرها"

مدل	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	ضریب تبیین تعدیل شده	خطای استاندارد تخمین
۱	۰/۵۴۸	۰/۳۰۱	۰/۲۶۷	۴۱/۴۸۶۵
۲	۰/۶۵۳	۰/۴۲۶	۰/۳۶۹	۳۸/۵۱۲۱

جدول ۶- جدول تجزیه واریانس رگرسیون خطی چندمتغیره با مدل "گام به گام ورود متغیرها"

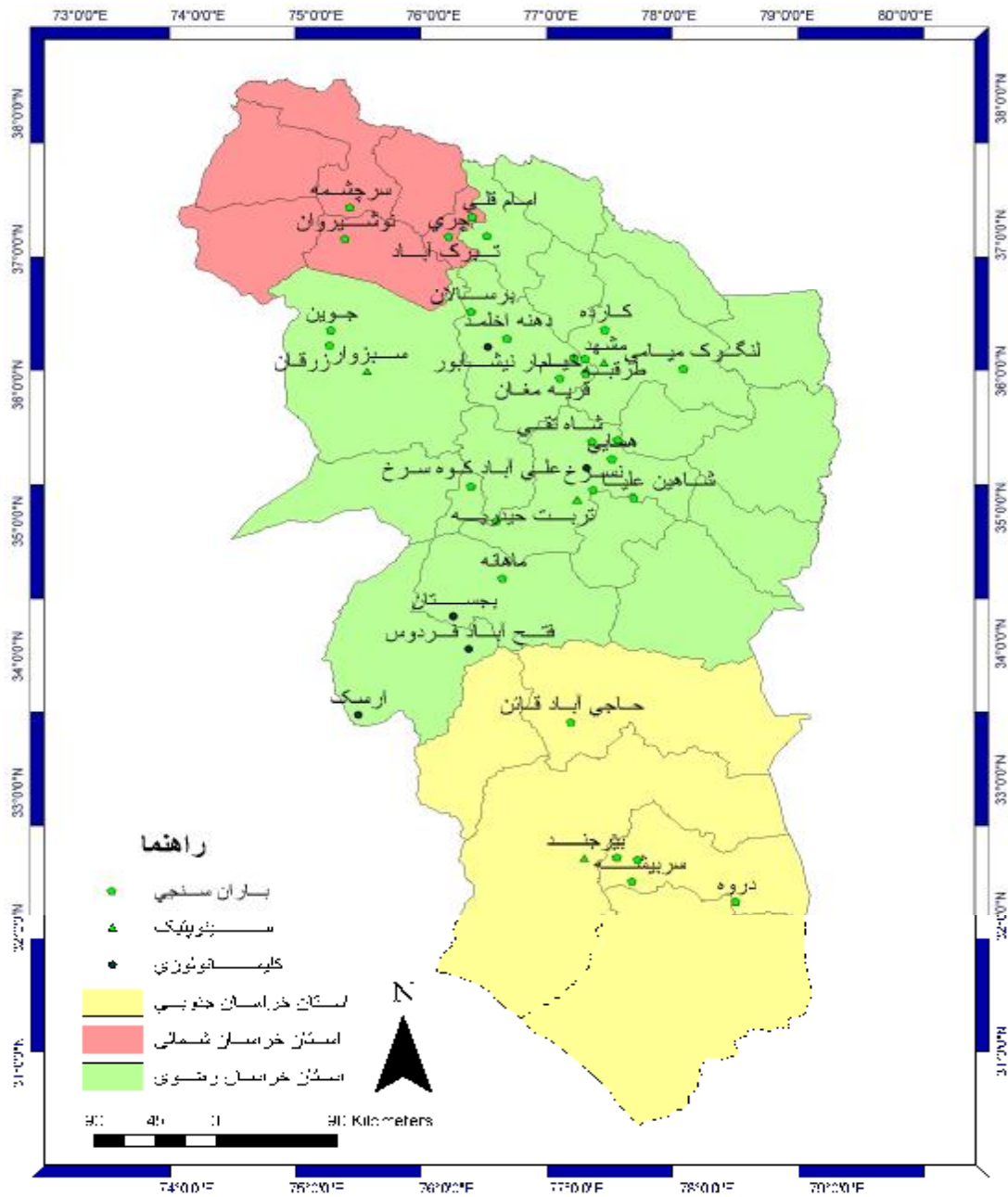
مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آزمون F	سطح معنی داری
۱ رگرسیون	۱۵۵۴۶/۱۶۶	۱	۱۵۵۴۶/۱۶۶	۹/۰۳۳	۰/۰۰۷
	۳۶۱۴۳/۶۶۰	۲۱	۱۷۲۱/۱۲۷		
	۵۱۶۸۹/۸۲۶	۲۲			
۲ رگرسیون	۲۲۰۲۶/۲۰۹	۲	۱۱۰۱۳/۱۰۵	۷/۴۲۵	۰/۰۰۴
	۲۹۶۶۳/۶۱۷	۲۰	۱۴۸۳/۱۸۱		
	۵۱۶۸۹/۸۲۶	۲۲			

جدول ۷- ماتریس ضرائب تحلیل رگرسیون خطی چندمتغیره با مدل "گام به گام ورود متغیرها"

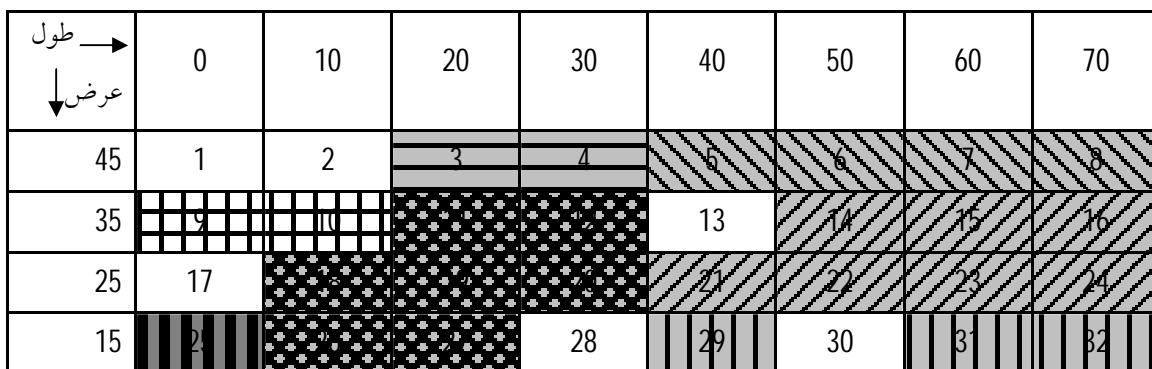
مدل	ضرائب استاندارد نشده		ضرائب استاندارد شده		سطح معنی داری
	B	خطای استاندارد	Beta	t	
۱ عرض از مبدا	۲۱۸/۱۳۲	۸/۶۵۱		۲۵/۲۱۶	۰/۰
	-۲۶/۰۳۵	۸/۶۶۳	-۰/۵۴۸	-۳/۰۰۵	۰/۰۰۷
۲ عرض از مبدا	۲۱۸/۷۱۲	۸/۰۳۵		۲۷/۲۲۰	۰/۰
	-۲۴/۹۸۱	۸/۰۵۷	-۰/۵۲۶	-۳/۱۰۰	۰/۰۰۶
	۱۹/۱۱۸	۹/۱۴۷	۰/۳۵۵	۲/۰۹۰	۰/۰۵۰

جدول ۸- مقایسه مدل‌های مختلف آماری برای پیش‌بینی بارش فصل بعد

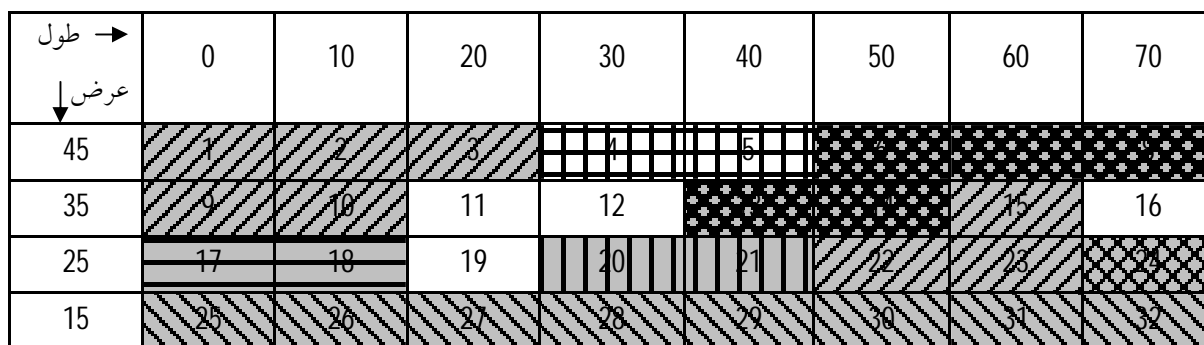
نام روش	ریشه میانگین مربعات خطا	خطای استاندارد	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	ضریب تبیین تعدیل شده
مدل گام به گام	۵۲/۷	۳۸/۵	۶۵/۳	۴۲/۶	۳۶/۹
مدل حذف تدریجی	۴۷/۳	۳۶/۷	۰/۷۱	۵۰/۴	۴۲/۵



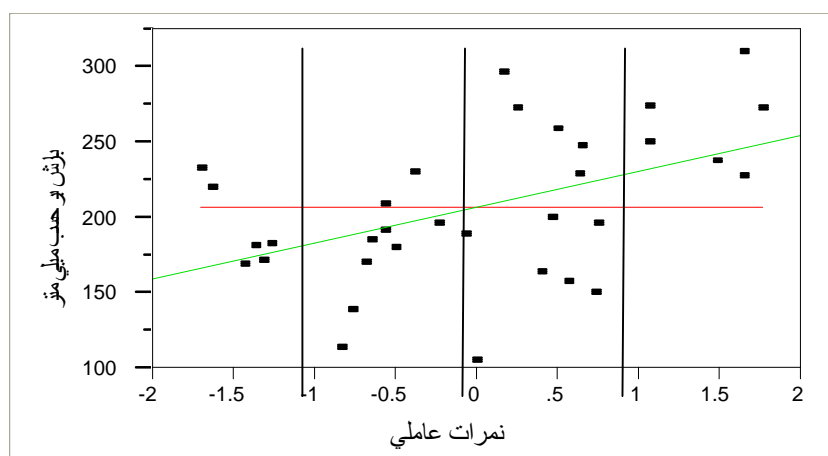
شکل ۱- نقشه محدوده مورد مطالعه به همراه ایستگاه‌های منتخب



شکل ۲- مناطق شاخص شناسایی شده دمای سطح ۸۵۰ هکتو پاسکال در ماه اکتبر در شبکه های ۱۰×۱۰ درجه



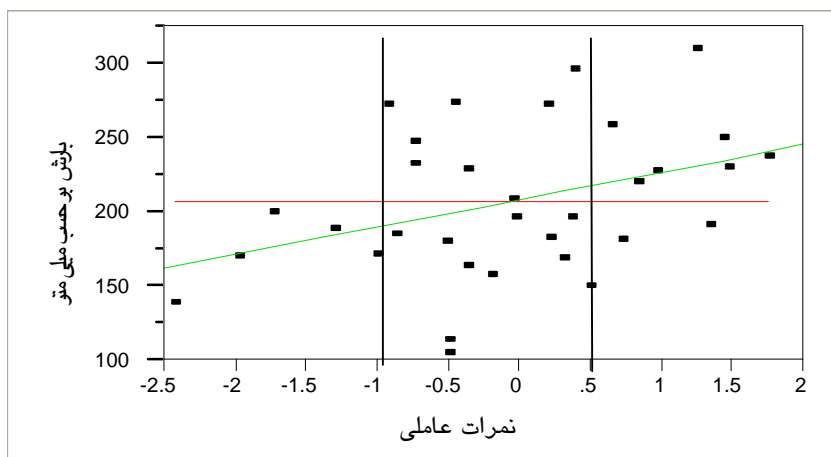
شکل ۳- مناطق شاخص شناسایی شده ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتو پاسکال در ماه اکتبر در شبکه های ۱۰×۱۰ درجه



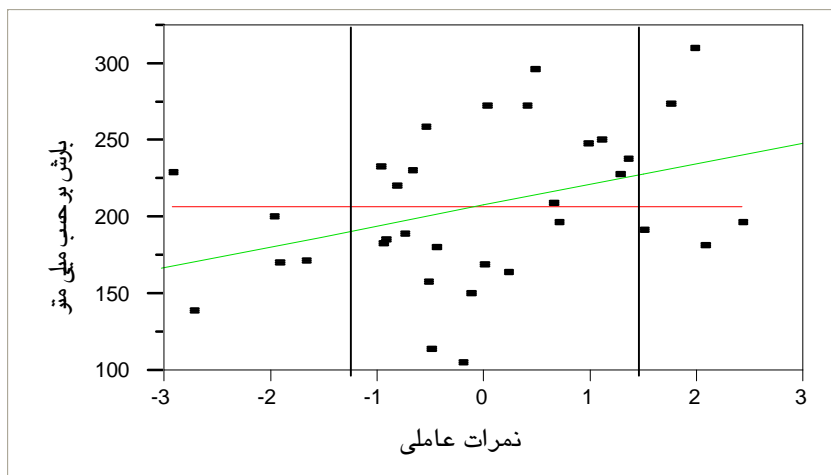
شکل ۴- تغییرات بارش فصل بعد نسبت به مقادیر نمرات عاملی ماه اکتبر داده های دمای

سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در منطقه شاخص فاکتور ۲ در شبکه های ۱۰×۱۰ درجه*

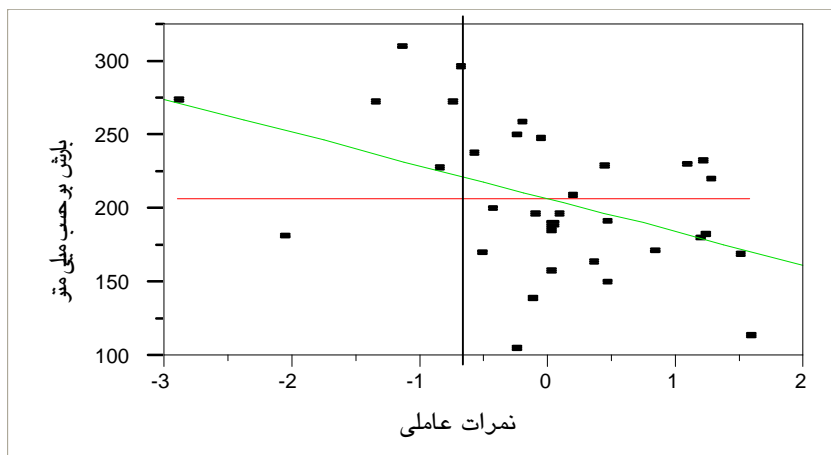
* خط افقی، میانگین بلند مدت بارش منطقه و خط مورب، خط رگرسیون بین بارش و نمرات عاملی متغیرها می باشد.



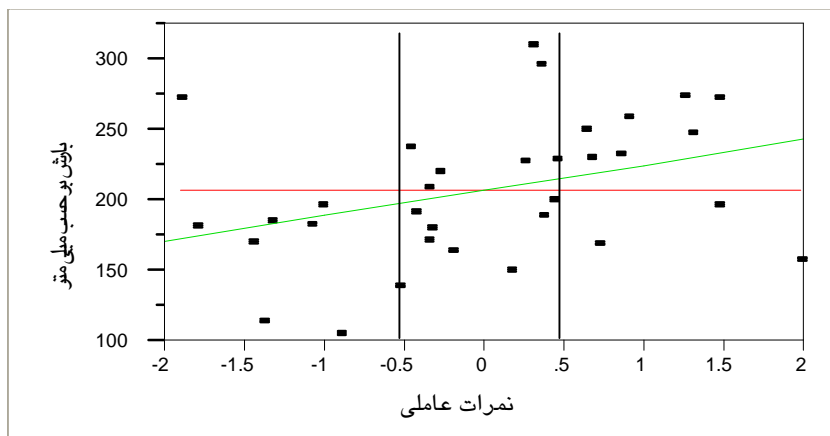
شکل ۵- تغییرات بارش فصل بعد نسبت به مقادیر نمرات عاملی ماه اکتبر داده های دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در منطقه شاخص فاکتور ۳ در شبکه های ۱۰×۱۰ درجه



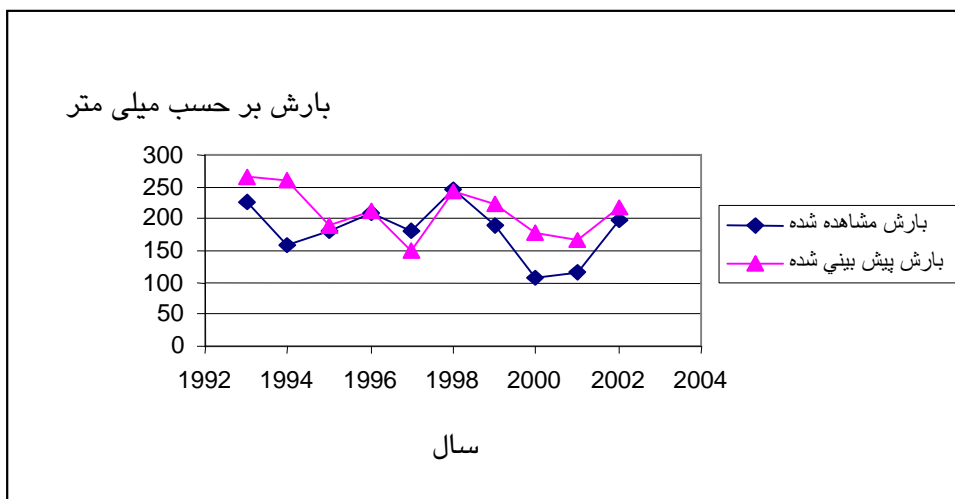
شکل ۶- تغییرات بارش فصل بعد نسبت به مقادیر نمرات عاملی ماه اکتبر داده های دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در منطقه شاخص فاکتور ۶ در شبکه های ۱۰×۱۰ درجه



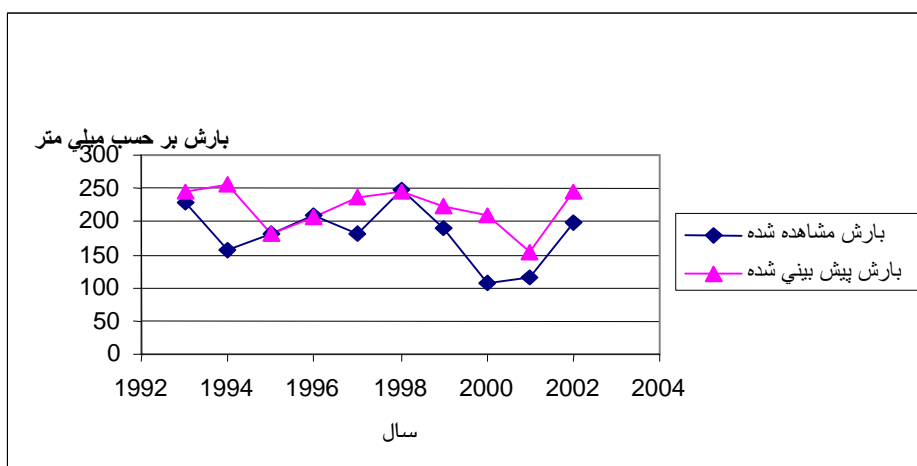
شکل ۷- تغییرات بارش فصل بعد نسبت به مقادیر نمرات عاملی ماه اکتبر داده های ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در منطقه شاخص فاکتور ۲ در شبکه های ۱۰×۱۰ درجه



شکل ۸- تغییرات بارش فصل بعد نسبت به مقادیر نمرات عاملی ماه اکتبر داده‌های ارتفاع معادل سطح ۵۰۰ هکتو پاسکال در منطقه شاخص فاکتور ۳ در شبکه های ۱۰×۱۰ درجه



شکل ۹- مقایسه بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده با مدل حذف تدریجی متغیرها



شکل ۱۰- مقایسه بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده با مدل ورود گام به گام متغیرها

منابع مورد استفاده

- استوار میمندی آ، ۱۳۷۹. ال نینو و رابطه آن با بارش‌های ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- جهانبخش س و ترابی س، ۱۳۸۳. بررسی و پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۴، صفحات ۱۰۴-۱۲۵.
- خلیلی ن، ۱۳۸۵. پیش‌بینی بارش با استفاده از شبکه‌های عصبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- علیجانی ب، ۱۳۷۸. تغییرات الگوهای جریان سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در منطقه مدیترانه و خاورمیانه، طرح پژوهشی مرکز ملی اقلیم‌شناسی، مشهد.
- علیجانی ب، ۱۳۸۱. اقلیم‌شناسی سینوپتیک، انتشارات سمت.
- علیزاده ا، ۱۳۸۰. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)
- کارآموز م، ۱۳۸۵. پیش‌بینی درازمدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی، پروژه شماره ۳۴۲ سازمان هواشناسی کشور
- کیانی پور م، ۱۳۷۹. بررسی سینوپتیکی پدیده النینو و ارتباط آن با ناهنجاری بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- Abraham A, 2002, Will we have a wet summer soft computing models for long-term rainfall forecasting, Journal of Applied Science and Computations.
- Ashby SA, Taylor MA and Chen AA, 2005, Statistical models for predicting rainfall in the caribbean. Journal of Theoretical and Applied Climatology 82(1-2):65-80.
- Astine ON, 2001, Forecasting seasonal rainfall for agricultural decision-making in northern Nigeria, Agricultural and Forest Meteorology 107(3): 193-205.
- Cavazos T, 2000, Using self-organizing maps to investigate extreme climate event: An application to wintertime precipitation in the balkans, Journal of Climate 13:1718-1732.
- George W and 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.
- Halid H and Ridd P, 2002, Modeling inter-annual variation of a local rainfall data using a fuzzy logic technique, pp: 166-170. Proceeding of International Forum on Climate Prediction, James Cook University, Australia.
- Maria C Haroldo F and Ferreira N, 2005, Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to the São Paulo region, Journal of Hydrology, 301(1-4): 146-162.

Mooley DA and Paolino DA, 2006, Relationship of the Indian monsoon rainfall to the northern hemispheric 700 mb height tendency, *International Journal of Climatology* 8(5): Pp. 499 – 509.

Pongracz R and Bartholy J, 2006, Regional effects of ENSO in central/eastern Europe, *Journal of advances in Geosciences* 6: 33-137.

Prasad KD and Singh SV, 2006, Exploring the possibility of forecasting monthly-700 hPa geopotential fields over India, *International Journal of Climatology* 14(4): 371 – 378.

Sen N, 2003. New forecast models for Indian south-west monsoon season rainfall, *Current Science* 84(10):1290-1292.

Singhrattna N, Rajagopalan B, Clark M and Kumar K, 2004, Seasonal forecasting of Thailand summer monsoon rainfall, *International Journal of Climatology* November 2004.