

شناسایی تغییرات رژیم بارشی ایران در دهه های اخیر

معصومه مقبل¹، محمود داودی²، ابوالفضل نیستانی³، فرحناز تقوی⁴

1 و 2- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

3- کارشناسی ارشد هواشناسی، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

4- استادیار موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

چکیده

تغییرپذیری عناصر اقلیمی از ویژگی های مهم اقلیم هر منطقه است. در میان عناصر اقلیمی بارش تغییرپذیرترین عنصر از نظر زمانی و مکانی بوده و این ویژگی بارش، لزوم به کارگیری روش های کارآمد مانند تحلیل طیفی را جهت شناسایی رفتار بارشی مناطق مختلف پیش از پیش آشکار می سازد. از اینرو، در این تحقیق، ویژگی های مکانی و زمانی بارش در سطح کشور با استفاده از تحلیل هارمونیک در 33 ایستگاه سینوپتیک کشور که قادر به پوشش مناسب کل مساحت کشور بودند و در دو دوره آماری 13 ساله (1980-1992 و 1993-2005)، به طور جداگانه جهت شناسایی تغییرات رژیم بارش ناشی از اثرات تغییر اقلیم و تغییرپذیری اقلیم مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، ابتدا فرکانس نسبی بارش هر ماه محاسبه شد و در نهایت با استفاده از تحلیل هارمونیک ویژگی های بارش ماهانه در سطح کشور در غالب شش هارمونیک برای هر دوره ارزیابی و مقایسه شد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که سه هارمونیک اول از نظر توجیه تغییرپذیری درون سالانه بارش در سطح کشور از اهمیت زیادی برخوردار هستند؛ به طوری که هارمونیک اول بیش از 70 درصد تغییرات بارش ماهانه در بیشتر مناطق به استثنای مناطقی از شمال غرب و جنوب شرق کشور را در هر دو دوره نمایش می دهد. همچنین میزان تغییرات زمانی و مکانی هارمونیک اول در هر دو دوره، نسبت به هارمونیک های دوم و سوم کمتر بوده که نشان دهنده معناداری بالاتر این هارمونیک و تغییرپذیری کمتر آن در توجیه تغییرات بارش در سطح کشور است. در مقابل، مقایسه نتایج دو دوره مورد مطالعه نشان دهنده وجود جابه جایی مکانی و زمانی در دوم و سوم می باشد که بیانگر تغییرپذیری بیشتر این دو هارمونیک از اثرات تغییر اقلیم نسبت به هارمونیک اول می باشد.

کلمات کلیدی: تحلیل هارمونیک، رژیم بارش، تغییر اقلیم، تغییرپذیری اقلیم، ایران.

مقدمه

پیش بینی می شود (1). با توجه به اینکه تغییرپذیری های ناهمگن در توزیع زمانی- مکانی بارش از دلایل اصلی خشکسالی ها و سیلاب های شدید به شمار می آیند (17) و به دلیل تفاوت زیاد در توزیع مکانی و زمانی بارش به عنوان تغییرپذیرترین عنصر اقلیمی، مطالعه ویژگی های بارش به صورت نقطه ای کافی نیست. به همین دلیل دانشمندان علوم جوی همواره در تلاش بوده اند تا رفتار این عنصر جوی را در مقیاس وسیع پیش بینی نمایند (8). به عبارت دیگر، هرگونه تغییر قابل توجه در میزان یا زمان وقوع بارندگی که منجر به تغییر رژیم بارش یک منطقه می گردد می تواند به یک مخاطره طبیعی منجر شود. از اینرو برای تعیین رژیم بارشی یک منطقه، مطالعه جزئیات ویژگی های بارشی آن منطقه ضروری به نظر می رسد (18). در این راستا، آنالیز داده های اقلیمی با تجزیه آنها به مولفه های هارمونیکی

به منظور شناخت ویژگی های اقلیمی و هواشناختی هر منطقه بررسی تفاوت های مکانی و تغییرات زمانی عناصر اقلیمی کمک مهم و مؤثری قلمداد می شود (7). امروزه در سراسر جهان نگرانی عمومی در مورد تغییرپذیری شرایط جوی و اقلیمی در حال افزایش است. یکی از جدی ترین اثرات تغییر اقلیم و تغییرپذیری اقلیم در میزان بارندگی قابل مشاهده است. بارش نه تنها به عنوان یکی از سه عامل اساسی اقلیمی بلکه به علت تاثیرات مستقیم و مهم آن در زندگی بشر مورد توجه خاص دانشمندان است. افزایش دوره زمانی و بعد مکانی، دقت و اعتبار پیش بینی ها را کاهش می دهد. این امر به ویژه در مورد بارش که دارای تغییرپذیری زمانی- مکانی بزرگ و طبیعتی ناپایدار است، موجب دشواری در انتخاب مقیاس مناسب برای مدل های

میزان بارش‌های روزانه در مناطق جنب حاره‌ای روند افزایش داشته است.

پاشیاردس (2003) به مطالعه روند‌های بارش به منظور برنامه‌ریزی‌های کشاورزی در قبرس پرداخته و از 1971 تا 2000 یک روند کاهش جزئی در بارش قبرس را نمایش داده است. پولینگ و همکاران (2006) تغییرپذیری دوره‌های بازگشت بارش‌های حدی زمستانه در اروپا را در پنج قرن گذشته مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج آنها نشان می‌دهد که زمستان‌های مرطوب در اروپا در سه قرن گذشته از فراوانی کمتری در مقایسه با دوره آماری 1951-2000 برخوردار بوده‌اند. اولکونومو و همکاران (2008) تغییرات آتی در وقوع بارش‌های حدی در شرق مدیترانه را مورد مطالعه قرار داده و نشان داده‌اند که شدت بارش‌ها در منطقه مدیترانه در آینده کاهش خواهد یافت. لیوادا و همکاران (2008) به بررسی ویژگی‌های فضایی و زمانی بارش با استفاده از تحلیل هارمونیک در یونان پرداخته و نشان داده‌اند که از میان شش هارمونیک به کاربرده شده، سه هارمونیک اول در بخش‌های مرکزی و جنوبی یونان قوی‌تر بوده‌اند. استاتیس و همکاران (2009) به مطالعه بارش با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های مبنا در منطقه تسالی در مرکز یونان پرداخته است. نتایج آنها نشان داده است که توزیع فضایی بارش با مقادیر بالا در غرب و مقادیر کمتر در شرق منطقه مشخص می‌شود. موراتو و همکاران (2009) تغییرپذیری درون سالانه الگوهای توزیع بارش در جنوب کشور پرتغال را مورد بررسی قرار داده‌اند. به طور کلی آنها نشان داده‌اند که تنها فصلی که در آن افزایش بارش قابل مشاهده می‌باشد فصل پاییز و در نواحی نزدیک به دریا می‌باشد. لی گنگ و همکاران (2009) به مطالعه تغییرپذیری بارش در منطقه بیابانی شمال چین پرداخته‌اند. آنها سه چرخه 5، 9 و 14 ساله در تغییرپذیری بارش در این منطقه را نمایش داده‌اند. توبی و همکاران (2009) به مطالعه دامنه تغییرپذیری دهه‌ای و چند دهه‌ای بارش در آمریکای شمالی با استفاده از تحلیل طیفی پرداخته‌اند. نتایج

سازنده، روش مناسبی برای بررسی تغییرپذیری‌های بارش به شمار می‌رود (12). تحلیل هارمونیک به عنوان یکی از روش‌های تحلیل سری زمانی که دو رویکرد تئوریک بسیار مهم در بررسی زمانمند پدیده‌ها را به یکدیگر مربوط می‌سازد مطرح است (13). در واقع تحلیل هارمونیک شامل نمایش نوسانات یا تغییرپذیری در یک سری زمانی است که به شکل توابع سینوسی و کسینوسی ارائه می‌شود. به عبارت ساده‌تر، کاربرد اصلی تحلیل هارمونیک شناسایی روند تغییرات و حالت‌های تناوبی سری‌های زمانی پیچیده و ممکن ساختن پیش‌بینی می‌باشد (3). این روش به عنوان ابزاری برای درک رفتار داده‌ها در طول زمان و بررسی پدیده‌های پیچیده طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (14). تحلیل هارمونیک می‌تواند مناطقی را که از نظر فراسنج مورد بررسی رفتار مشابهی دارند مشخص نماید. مسلماً تغییرپذیری عوامل اقلیمی در مشخصه‌های مربوط به بارش از قبیل مقدار بارش ماهانه و سالانه، بارش‌های 24 ساعته حدی و شدت بارندگی نقش دارند. در میان ویژگی‌های بارشی، مهم‌ترین خصوصیت دوره‌ای بودن هارمونیک‌های مختلف است. هدف از کاربرد تحلیل هارمونیک برای مقادیر بارش ماهانه، تعیین واریانس بسامدهای این فراسنج و نیز تعیین برخی ویژگی‌های توزیع مقادیر بارش می‌باشد (20).

تاکنون مطالعات گسترده‌ای در سطح جهان در خصوص ویژگی‌های بارشی مناطق مختلف صورت پذیرفته است که در زیر به تعدادی از آنها اشاره می‌گردد:

دالزیوس و همکاران (1995) تغییرپذیری بارش روزانه در مناطق نیمه خشک کشاورزی ماسادونیا در یونان را مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها نشان داده‌اند که تغییرات بارش سالانه در ماه‌های مارس، آوریل و نوامبر بیشترین مقدار را داراست. آلپرت و همکاران (2002) به مطالعه افزایش بارش‌های حدی مدیترانه‌ای با وجود کاهش مقادیر کل بارش پرداخته و نشان داده‌اند که با گرم‌تر شدن زمین و افزایش میزان بخار آب جو به عنوان یک گاز گلخانه‌ای،

بهار و پاییزی قابل شناسایی هستند. عسگری و همکاران (1385) تغییرپذیری بارش دهه‌های اخیر ایران را مورد بررسی قرار داده و نشان داده‌اند که بارش در سطح کشور هم از روند افزایشی و هم از روند کاهشی برخوردار بوده است. مسعودیان (1386) به بررسی نواحی بارشی ایران پرداخته است. نتایج وی نشان می‌دهد که مقدار بارش در ایران تا اندازه‌ای به ناهموازی‌ها وابسته است. کاوسی و همکاران (1386) به پهنه بندی و تحلیل فضایی بارش اقلیمی ایران پرداخته‌اند. نتایج آنها نشان داده است که پیش بینی حاصل از روش هم کریجینگ^۳ بهتر از کریجینگ^۴ می‌باشد. تقوی (1388) به تحلیل طیفی حداکثر بارش روزانه در ایران پرداخته است. وی به بحث در خصوص مسئله برآورد شدت طیفی مولفه‌های تصادفی برای پیش‌بینی مقادیر بارش پرداخته است. هدف از تحقیق حاضر نیز مطالعه ویژگی‌های فضایی و زمانی بارش ماهانه در سطح کشور است تا با شناسایی رفتار این فراسنج مهم اقلیمی و تغییرات مربوط به آن بتوان برنامه ریزی‌های دقیق و جامعی در جهت مدیریت منابع آبی کشور به عمل آورد.

مواد و روش‌ها

امروزه در علوم با پدیده‌هایی سرو کار داریم که در بازه‌های زمانی متوالی به طول T تکرار شده و کمیت‌های مختلفی که به این پدیده‌ها مربوط می‌باشند بعد از هر دوره طول T به مقدار قبلی خود بر می‌گردد. از اینرو اعتقاد بر این است که بارش و دیگر عناصر اقلیمی حاوی دوره تناوب هستند که طی آن در یک فاصله زمانی معین و نیز پس از گذشت دوره نامعینی وضعیت یکسانی را به طور متوالی تکرار می‌کنند. برای تبیین و تشریح رفتارهای تناوبی روش‌های گوناگونی وجود دارد. سری‌های فوریه از مهمترین دستاوردهای ریاضیات در تمامی علوم است که بر پایه توابع متناوب بنیان گذاشته می‌شوند. در تحلیل فوریه به

آنها نشان داده است که در بیشتر مکان‌ها، تغییرپذیری‌های دهه‌ای (10-20 ساله) یا چند دهه‌ای (20-50 ساله) کمتر از 10 درصد واریانس بارش‌های فصلی و سالانه را دربر دارند. ناستوس و همکاران (2010) به مطالعه چرخه‌های تغییرپذیری درون سالانه بارش در یونان با روش تحلیل هارمونیک پرداخته‌اند و نشان دادند که دو هارمونیک اول بیش از 90 درصد تغییرپذیری کلی بارش در یونان را توجیه می‌نمایند. جیانتینگ و همکاران (2010) تغییرپذیری زمانی و فضایی بارش روزانه در حوضه رودخانه "هایه" در چین را مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج آنها نشان داده است که روند بارش در طی دوره آماری مورد مطالعه کاهشی بوده است. ساریس و همکاران (2010) تغییرپذیری فضایی رژیم بارش در ترکیه را مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها نشان داده‌اند که دامنه و تغییرات درون سالانه بارش در ترکیه به دلیل تغییرات فصلی مناطق جنب حاره‌ای و قطبی و عوامل فیزیوگرافیکی به شدت متغیرند. در ایران نیز مطالعات متعددی به منظور بررسی ویژگی‌های بارش صورت گرفته است که به چند نمونه از آنها اشاره می‌شود:

بابایی و همکاران (1381) به مطالعه الگوهای تغییرات مکانی و زمانی بارش در ایران پرداخته‌اند و نشان داده‌اند که تعداد سال‌هایی که میانگین بارش سالانه برابر میانگین کل یا بیشتر است از تعداد سال‌هایی که میانگین بارش سالانه کمتر از میانگین کل است، کمتر می‌باشد. مسعودیان (1382) به مطالعه پراکندگی جغرافیایی بارش در ایران با استفاده از تحلیل عاملی دوران یافته^۱ پرداخته و نشان داده است که در ایران سه قلمرو پربارش وجود دارد که به ترتیب عبارتند از: کرانه‌های خزر، رشته کوه زاگرس، آذربایجان و شمال خراسان. مسعودیان (1384) به شناسایی رژیم‌های بارش ایران به روش تحلیل خوشه‌ای^۲ پرداخته و نشان داده است که در ایران سه رژیم بارش اصلی زمستانی، زمستانی-

1. Rotated Factor Analysis
3. Co-Kriging

2. Cluster Analysis
4. Kriging

2. Variance

4. Occurrence Date of Maximum Values for each Harmonic (T_k)

$$A_k = \frac{1}{6} \sum_{t=1}^{12} f_t \cos\left(\frac{360}{12} k t\right) \quad (2)$$

(3)

$$B_k = \frac{1}{6} \sum_{t=1}^{12} f_t \sin\left(\frac{360}{12} k t\right)$$

که f_t مقدار بسامد بارش ماهانه را در ماه t ام نمایش می‌دهد.

دامنه¹ هارمونیک‌ها از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$C_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2} \quad (4)$$

واریانس² هر هارمونیک به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V_k = \frac{C_k^2}{2} \quad (5)$$

درصد واریانس هر هارمونیک ($PVR(k)$) از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$PVR(k) = \frac{V_k}{\sum_{k=1}^6 V_k} \quad (6)$$

زاویه فاز³ هارمونیک k ام از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\phi_k = \arctan\left(\frac{B_k}{A_k}\right) \quad (7)$$

زمان وقوع بیشینه هر هارمونیک⁴ (T_k) نیز از طریق زیر

محاسبه می‌گردد:

(8)

$$T_k = \left(\frac{12}{360}\right) \phi_k$$

در مطالعه هارمونیک‌های سالانه براساس میانگین ماهانه

شش هارمونیک به دست می‌آید. در بیشتر مطالعات انجام

شده دو یا سه هارمونیک اول درصد قابل توجهی از

تغییرپذیری را نشان می‌دهند. در یک سری زمانی ماهانه

منحنی سینوسی هارمونیک اول گویای یک چرخه در سال

یا یک چرخه سالانه¹ است. به عبارت دیگر نقاطی که

تحلیل هارمونیک‌ها پرداخته می‌شود. تحلیل هارمونیک‌ها

روشی عام برای مطالعه تغییرات دوره‌ای است. در این رویه

رفتار تناوبی یک سری زمانی به وسیله توابع مثلثاتی و با

مولفه‌های سینوسی توصیف می‌شود (4). از این رو در

تحقیق حاضر تلاش گردید تا ویژگی‌های تناوبی بارش‌های

ماهانه در سطح کشور مورد مطالعه قرار گیرد. بدین منظور،

داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک مراکز استانها

در یک دوره آماری 25 ساله از سازمان هواشناسی کشور

استخراج گردید. لازم به توضیح است به دلیل وسعت بیشتر

استان‌ها در شرق کشور، تعدادی ایستگاه علاوه بر

ایستگاه‌های مراکز استان‌ها نیز به منظور مناسب‌سازی

پراکندگی ایستگاه‌ها در سطح کشور انتخاب گردید. در

مجموع آمار 26 ساله بارش ماهانه 33 ایستگاه سینوپتیک

در غالب دو دوره آماری 13 ساله (1980-1992 و

2005-1993) به طور جداگانه، مورد تجزیه و تحلیل قرار

گرفت و نتایج آنها با یکدیگر مقایسه گردید. بدین منظور،

ابتدا فرکانس نسبی مقادیر بارش هر ماه محاسبه شده و

سپس برای آشکارسازی رفتار بارش در سطح کشور از

تحلیل هارمونیک استفاده گردید. به طور کلی شش

هارمونیک مورد بررسی قرار گرفتند که از میان آنها سه

هارمونیک اول به دلیل اهمیت بیشتر در نمایش ویژگی‌های

بارشی به تفصیل مورد بررسی قرار گرفتند. همانطور که قبلاً

اشاره شد، هدف از کاربرد تحلیل هارمونیک برای مقادیر

بارش ماهانه تعیین واریانس فرکانس‌های این فراسنج و نیز

تعیین برخی ویژگی‌های توزیع مقادیر بارش در سطح کشور

می‌باشد. برای مقادیر ماهانه فرکانس‌های مورد آزمایش،

تحلیل هارمونیک به صورت زیر محاسبه می‌شود (20):

$$f_t = f + \sum_{k=1}^6 \left(A_k \cos \frac{360}{12} k t + B_k \sin \frac{360}{12} k t \right) \quad (1)$$

که A_k و B_k ضرایب هارمونیک k ام هستند

($k=1,2,\dots,6$). این ضرایب به صورت زیر محاسبه

می‌شوند:

1. Amplitude (C_k)3. Phase Angle (Φ_k)

را نمایش می‌دهد. معمولاً در داده‌های ماهانه، شش هارمونیک مورد استفاده قرار می‌گیرند اما در عمل سه هارمونیک اولیه عمدتاً از کاربرد و اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشند به طوری که در مجموع بیش از 90 درصد تغییرات بارش ماهانه در کشور را نمایش می‌دهند. بدین منظور، فرکانس نسبی بارش ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه شد. سپس با استفاده از روش تحلیل هارمونیک، دامنه، زاویه فاز، واریانس و درصد واریانس شش هارمونیک برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه گردید. جدول 1 (زمان وقوع بیشینه هر هارمونیک T_k) و جدول 2، سهم سه هارمونیک اول را برای سه ایستگاه خرم آباد، اردبیل و بم که به ترتیب از نظر بزرگی توان هارمونیک اول، دوم و سوم در دوره 13 ساله اول (1980-1992) به عنوان شهرهای شاخص انتخاب گردیدند، نمایش می‌دهند. در مقابل، جدول 3، درصد واریانس هارمونیک اول تا سوم را برای دوره 13 ساله دوم (1993-2005) نمایش می‌دهد که به ترتیب در ایستگاه‌های خرم آباد، تبریز و سنندج بیشتر از سایر ایستگاه‌ها بوده است.

منحنی بارش آنها تنها یک چرخه در سال دارند، بیشترین دامنه را در مقایسه با هارمونیک‌های دیگر داشته و منحنی سینوسی حاصل از هارمونیک اول با داده‌ها برازش بهتری خواهد داشت. هرچه این هارمونیک بزرگتر باشد افت و خیز سالانه و سامانه‌های مولد آن منظم‌ترند. دومین هارمونیک نیز رژیم نیم سالی را با فراوانی $\left(\frac{2}{12}\right)$ نمایش می‌دهد. در نهایت، هارمونیک سوم $\left(\frac{3}{12}\right)$ جزئیات بیشتری را در تغییرات 4 ماهه فصلی نمایش می‌دهد (لیوآدا و همکاران، 2008، 49).

یافته‌های تحقیق

به منظور بررسی تغییرات رژیم بارش در کشور ناشی از اثرات تغییر اقلیم و تغییرپذیری اقلیم تحلیل هارمونیک تغییرپذیری ماه به ماه بارش 33 ایستگاه سینوپتیک در دو دوره آماری 13 ساله (1980-1992 و 1993-2005) مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل هارمونیک، وقوع مقادیر کمینه و بیشینه سری‌های زمانی در دوره‌های تکرار مختلف

جدول 1: زمان وقوع بیشینه هر هارمونیک

T_k	-2/5	-2	-1/5	-1	-0/5	0	0/5	1	1/5	2	2/5
زمان بازگشت	1 اکتبر	15 اکتبر	1 نوامبر	15 نوامبر	1 دسامبر	15 دسامبر	1 ژانویه	15 ژانویه	1 فوریه	15 فوریه	1 مارس

جدول 2: بالاترین درصد واریانس هارمونیک‌های اول تا سوم ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره 1980-1992

PVR1	PVR2	PVR3
خرم آباد (90/99)	اردبیل (57/22)	بم (9/73)

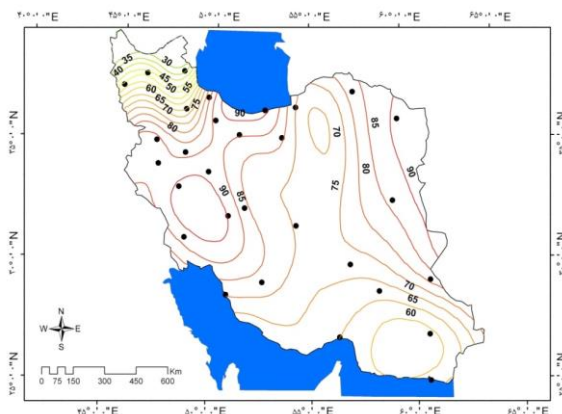
جدول 3: بالاترین درصد واریانس هارمونیک‌های اول تا سوم ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره 1993-2005

PVR1	PVR2	PVR3
خرم آباد (90/71)	تبریز (40/46)	سنندج (10/94)

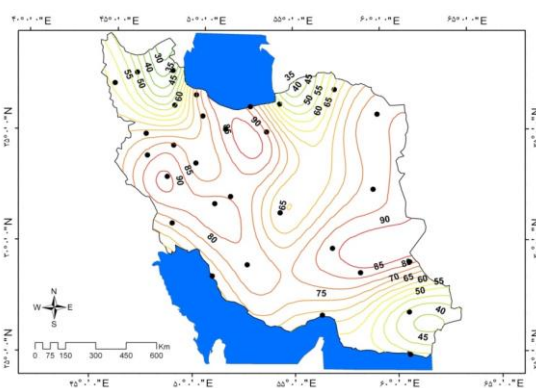
برخوردار است بنابراین با توجه به اینکه این هارمونیک در هر دو دوره از نظر مکانی ثبات بیشتری نشان داده است و نسبت به اثرات تغییر اقلیم و تغییرپذیری اقلیم کمتر تغییر

بدین ترتیب همانطور که در این جداول مشاهده می‌شود در هر دو دوره، ایستگاه خرم آباد در غرب کشور از نظر بزرگی توان هارمونیک اول از اهمیت بیشتری

غرب کشور می باشد. از طرف دیگر در منطقه شمال شرق و تا حدی در جنوب شرق کشور مقدار PVR1 در دوره 13 ساله دوم نسبت به دوره اول کاهش یافته است.



شکل 1: خطوط پربند درصد واریانس هارمونیک اول (PVR1) برای دوره 1980-1992



شکل 2: خطوط پربند درصد واریانس هارمونیک اول (PVR1) برای دوره 1993-2005

شکل 3 و 4، زمان وقوع بیشینه برای هارمونیک اول در دو دوره آماری تحت بررسی را نشان می دهند. لازم به توضیح است مقادیر هر پربند نشان دهنده زمان وقوع بیشینه آن می باشد مثلاً پربند 2/5 نشان دهنده اول ماه مارس می باشد. سایر مقادیر و ماه مربوط به آنها در جدول 1 نمایش داده شده است. همانطور که در شکل 3 مشاهده می شود، در دوره 13 ساله اول، زمان وقوع بیشینه هارمونیک اول از اواسط آذر ماه (دسامبر) تا اوایل فروردین ماه (مارس) می باشد. تنها در شمال غرب کشور در ماه های

کرده است از معناداری بالایی برخوردار می باشد در حالی که در هارمونیک های دوم و سوم جابه جایی و تغییرپذیری بیشتر بوده است.

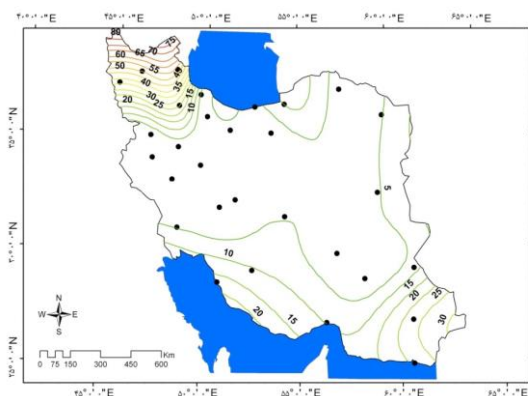
هارمونیک اول

همانگونه که قبلاً اشاره شد، هارمونیک اول چرخه سالانه منفردی را با یک دامنه وسیع در مقایسه با سایر هارمونیک ها در بسامد فراسنج مورد بررسی نمایش می دهد. خطوط پربند درصد واریانس هارمونیک اول¹ (PVR1) برای دوره 1980-1992 در شکل 1 نمایش داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، در این دوره، PVR1 در بخش هایی از سواحل دریای خزر، شرق و غرب کشور بیشترین مقادیر را داراست. بیشترین مقدار PVR1 در میان ایستگاه های مورد مطالعه مربوط به ایستگاه خرم آباد با مقدار 90/99 درصد، منطبق بر منطقه ای می باشد که در فصل سرد سال با تشدید ورود بادهای غربی تحت تاثیر سیستم های باران زا قرار می گیرد. بعد از خرم آباد بیشترین مقادیر PVR1 مربوط به شهرهای بابل و مشهد (به ترتیب با مقادیر 90/93 و 90/86 درصد) می باشد. از طرف دیگر، کمترین مقدار PVR1 (29 درصد) مربوط به شمال غرب کشور می باشد که تغییرپذیری ماه به ماه بارش در این منطقه عمدتاً متعادل می باشد. بنابراین بدیهی است هارمونیک اول در این بخش از کشور به دلیل تاثیر شرایط محلی و جغرافیایی از اهمیت کمتری برخوردار می باشد. شکل 2 درصد واریانس هارمونیک اول را برای دوره 1993-2005 نمایش می دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می شود خطوط پربند هارمونیک اول که در دوره 13 ساله اول بیشترین مقدار را نمایش می دادند در این دوره در نواحی شمال و شرق کشور به مقدار ناچیزی به سمت جنوب و غرب جابه جایی یافته است. اما در غرب کشور، ایستگاه خرم آباد با مقدار 90/71 درصد، همچنان بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است و کمترین مقدار نیز مربوط به شمال

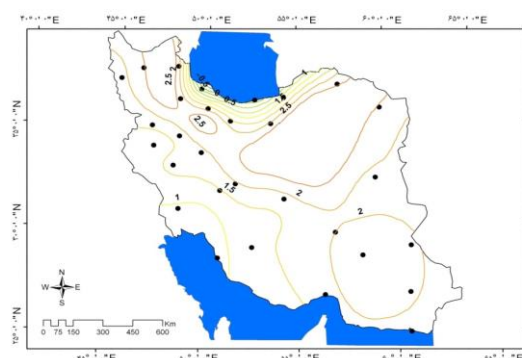
اردیبهشت و خرداد مقدار بارش ناشی از این هارمونیک بیشینه است.

هارمونیک دوم

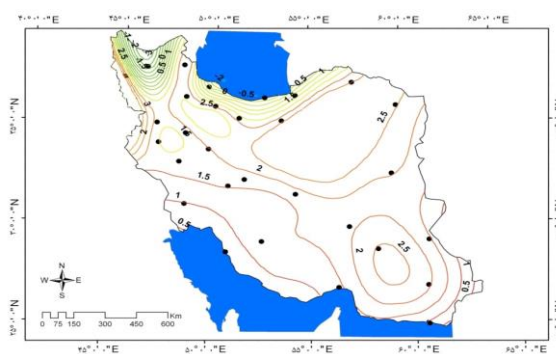
الگوی مکانی هارمونیک دوم در سطح کشور که در شکل های 5 و 6 برای دو دوره مورد مطالعه، نمایش داده شده است، نشان می‌دهد که این هارمونیک بر خلاف هارمونیک اول، در مناطق شمال غرب و تا حدودی در جنوب شرق کشور و نیز سواحل خلیج فارس از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد اما لازم به توضیح است که از نظر مکانی، هارمونیک دوم دوره 1993-2005 نسبت به دوره 1980-1992 جابه‌جایی داشته است به طوری که در دوره 1980-1992 بیشینه هارمونیک دوم مربوط به ایستگاه اردبیل بوده است اما در دوره بعد به سمت ایستگاه تبریز جابه‌جایی یافته است. در جنوب شرق کشور نیز این جابه‌جایی هم از نظر مکانی و هم از نظر مقدار هارمونیک دوم، به سمت ایستگاه ایرانشهر رخ داده است. از این رو با توجه به وقوع جابه‌جایی مکانی در هارمونیک دوم دو دوره، می‌توان اظهار داشت که این هارمونیک نسبت به هارمونیک اول که در هر دو دوره از نظر مکانی از ثبات بیشتری برخوردار بوده است معناداری کمتری داشته و بیشتر متاثر از اثرات تغییر اقلیم و تغییرپذیری اقلیم می‌باشد. از طرف دیگر درصد واریانس هارمونیک دوم در دوره 1980-1992 از نظر مقدار نیز بیشتر بوده است که نشان دهنده اثر بیشتر عوامل نیم سالانه در شمال غرب کشور می‌باشد که در دوره بعد با کاهش درصد این اثر نیز کاهش یافته است.



همچنین براساس شکل 4 زمان وقوع بیشینه هارمونیک اول برای دوره 1993-2005 برای بیشتر نقاط کشور از آذر ماه (دسامبر) تا فروردین ماه (اوایل ماه مارس) رخ می‌دهد. علاوه بر این، در این دوره، در بخش‌هایی از سواحل جنوبی دریای خزر مولفه هارمونیک اول بارش، در ماه‌های پاییز مقادیر حداکثر خود را دارا می‌باشد. میزان تغییر زمان وقوع بیشینه هارمونیک اول در نواحی شمالی منطقه شمال غرب کشور در طی این دوره آماری بیشترین تغییرات را داشته است به طوری که زمان وقوع از اوایل بهار به اوایل پاییز در نواحی شمالی منطقه شمال غرب تغییر یافته است.



شکل 3: خطوط پرنده زمان وقوع بیشینه مولفه هارمونیک اول (T_{k1}) برای دوره 1980-1992



شکل 4: خطوط پرنده زمان وقوع بیشینه مولفه هارمونیک اول (T_{k1}) برای دوره 2005-1993

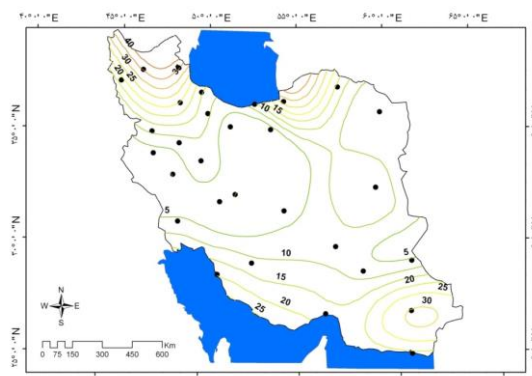
زمان وقوع حداکثر مولفه هارمونیک دوم بارش ماهانه دو دوره که در شکل های 7 و 8 نمایش داده شده است، نشان می دهد که بارش های ناشی از هارمونیک دوم در دوره 1980-1992 از اوایل آذر ماه (نوامبر) تا فروردین ماه (مارس) می باشد. تنها در جنوب شرق کشور زمان وقوع بارش های ناشی از این هارمونیک از شهریور ماه (سپتامبر) می باشد که دلیل آن تاثیر بارش های موسمی در فصل تابستان در این منطقه از کشور می باشد. زمان وقوع بیشینه مولفه هارمونیک دوم برای دوره 1993-2005 برای مناطق مختلف کشور متفاوت بوده و از اوایل آبان ماه (اکتبر) تا فروردین ماه (مارس) را شامل می شود. بنابراین می توان نتیجه گرفت که مولفه هارمونیک دوم دو دوره مورد مطالعه از نظر زمان وقوع نیز دارای جابه جایی هستند، به طوری که زمان وقوع بارش های ناشی از هارمونیک دوم دوره 1993-2005 نسبت به دوره 1980-1992 زودتر آغاز شده است که این امر نیز تغییرپذیری بیشتر این هارمونیک را هم از نظر زمانی و هم از نظر مکانی نسبت به هارمونیک اول تایید می نماید.

هارمونیک سوم

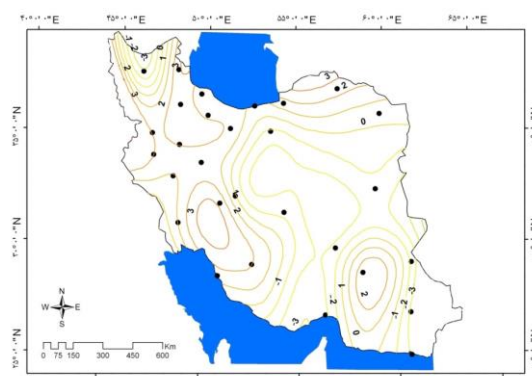
براساس الگوی فضایی هارمونیک سوم که تغییرات 4 ماهه بارش را نشان می دهد (شکل 9 و 10) این هارمونیک در دوره 1980-1992 در غرب و جنوب شرق کشور از اهمیت بیشتری برخوردار است در حالی که در دوره بعد (1993-2005) دارای جابه جایی بوده و از غرب به سمت شمال غرب و از جنوب شرق به سمت شرق جابه جایی یافته است. بنابراین مولفه هارمونیک سوم نیز مانند هارمونیک دوم به دلیل جابه جایی مکان وقوع در دوره های مورد مطالعه، نسبت به هارمونیک اول دارای تغییرپذیری بیشتری می باشد.

زمان وقوع بیشینه هارمونیک سوم دوره 1980-1992 در بیشتر مناطق کشور از اوایل آذر ماه (اواسط دسامبر) تا اواخر فروردین (اوایل آوریل) را نشان می دهد و تنها در

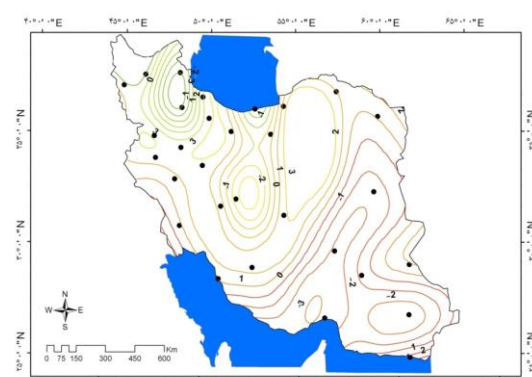
شکل 5: خطوط پربند درصد واریانس هارمونیک دوم (PVR2) برای دوره 1980-1992



شکل 6: خطوط پربند درصد واریانس هارمونیک دوم (PVR2) برای دوره 1993-2005.

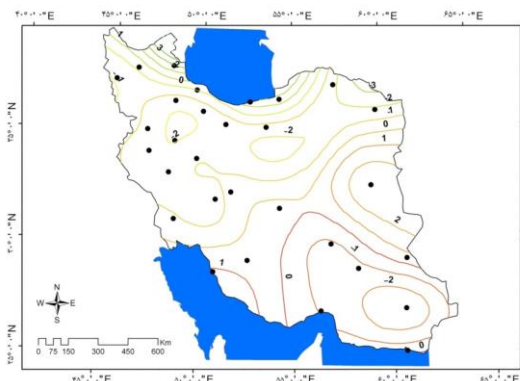


شکل 7: خطوط پربند زمان وقوع بیشینه مولفه هارمونیک اول (TK2) برای دوره 1980-1992.



شکل 8: خطوط پربند زمان وقوع بیشینه مولفه هارمونیک اول (TK2) برای دوره 1993-2005.

شکل 11: خطوط پربند زمان وقوع بیشینه مولفه هارمونیک اول (TK3) برای دوره 1992-1980.



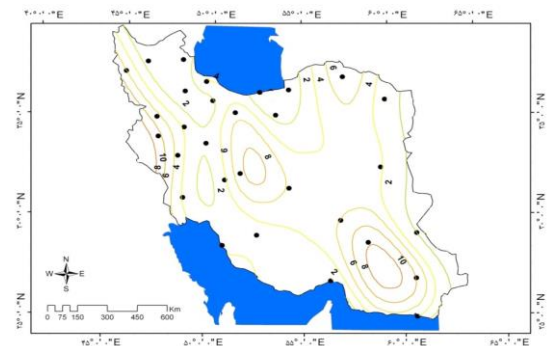
شکل 12: خطوط پربند زمان وقوع بیشینه مولفه هارمونیک اول (TK3) برای دوره 2005-1993.

نتیجه گیری

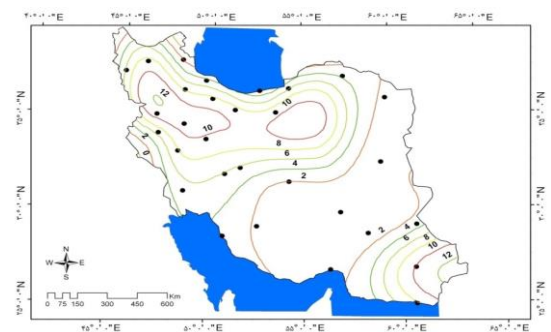
تحلیل هارمونیک ابزار سودمندی در جهت مطالعه رفتار پدیده‌های مختلف در بستر فرکانس می‌باشد. بدین منظور و با توجه به اهمیت شناسایی رفتار بارش در سطح کشور در جهت برنامه‌ریزی و مدیریت هرچه دقیق‌تر منابع آبی در این تحقیق تلاش گردید با استفاده از روش مذکور ویژگی‌های مکانی و زمانی بارش ماهانه و تغییرات آن ناشی از اثرات تغییر اقلیم و تغییرپذیری اقلیم، مورد بررسی قرار گیرد. در همین راستا، بارش ماهانه 33 ایستگاه سینوپتیک در سطح کشور در دو دوره 13 ساله با استفاده از تحلیل هارمونیک مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج آنها با یکدیگر مقایسه گردید. بدین منظور، فرکانس بارش‌های ماهانه در غالب شش هارمونیک برای هر دوره مورد بررسی قرار گرفتند که از بین آنها سه هارمونیک اول قادر به توجیه بیش از 90 درصد تغییرپذیری درون سالانه بارش در سطح کشور بودند. به طور کلی نتایج به دست آمده را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

1- در سراسر ایران درصد واریانس هارمونیک اول در هر دو دوره مورد مطالعه، کمتر از 25 درصد نبوده و در

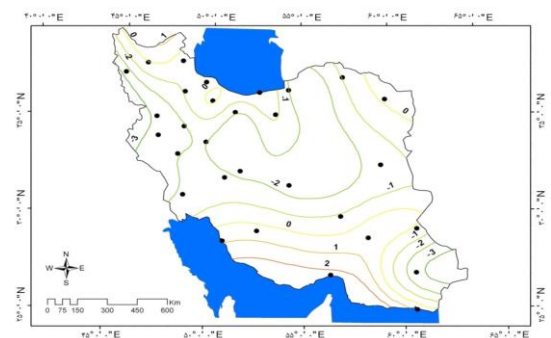
جنوب شرق کشور زمان بیشینه بارش‌ها ناشی از این هارمونیک در شهریور ماه می‌باشد. اما در دوره 1993-2005 زمان وقوع بیشینه هارمونیک سوم نسبت به دوره قبل جابه‌جایی نشان می‌دهد به طوری که این زمان از اوایل آذر ماه (اواسط دسامبر) آغاز می‌شود و تا اواخر اسفند (اوایل مارس) ادامه می‌یابد. از اینرو، با توجه به وجود جابه‌جایی زمانی و مکانی در وقوع هارمونیک سوم در دو دوره مورد مطالعه، می‌توان بیان کرد که این هارمونیک نیز مانند هارمونیک دوم از معناداری کمتری نسبت به هارمونیک اول برخوردار است (شکل‌های 11 و 12).



شکل 9: خطوط پربند درصد واریانس هارمونیک دوم (PVR3) برای دوره 1992-1980.



شکل 10: خطوط پربند درصد واریانس هارمونیک دوم (PVR3) برای دوره 2005-1993.



تغییرپذیری اقلیم این هارمونیک‌ها در مقایسه با هارمونیک اول می‌باشد.

8- زمان وقوع بیشینه هارمونیک اول در هر دوره مورد بررسی عمدتاً آذر ماه تا فروردین ماه را در بر می‌گیرد. این زمان برای هارمونیک‌های دوم و سوم متفاوت است.

منابع

- 1- ایران نژاد، پرویز، کتیرایی بروجردی، پری سیما، حجام، سهراب، 1388، توزیع مکانی روند بارش سالانه در ایران در دوره 2001-1960. مجله فیزیک زمین و فضا، 35، صص 79-94.
- 2- بابائی فینی، ام السلمه و فرح زاده، منوچهر، 1381، الگوهای تغییرات مکانی و زمانی بارش در ایران، فصلنامه مدرس، دوره 6، شماره 4، صص 51-70.
- 3- تقوی، فرحناز، نیستانی، ابوالفضل، خانان، مسعود، ناصری، محسن، 1389، تحلیل طیفی سری‌های زمانی داده‌های اقلیمی و اعمال تکنیک های فیلترینگ دیجیتال جهت پردازش آنها، چهارمین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم، صص 365-369.
- 4- عساکره، حسین، 1389، بررسی تغییرات رژیم دما در استان خوزستان با استفاده از تحلیل همسازها، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس بین المللی تغییر اقلیم، صص 41-48.
- 5- عسگری، احمد و رحیم زاده، فاطمه، 1385، مطالعه تغییرپذیری بارش دهه‌های اخیر ایران، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره 58، صص 67-80.
- 6- کاوسی، امیر و مشکانی، محمدرضا، 1386، پهنه‌بندی و تحلیل فضایی بارش اقلیمی ایران، فصلنامه محیط شناسی، سال سی و سوم، شماره 43، صص 31-40.
- 7- محمدی، حسین، عزیزی، قاسم، تقوی، فرحناز، یوسفی، پدا...، 1390، تغییرپذیری زمانی و مکانی بیشینه بارش ماهانه در بخش‌های جنوبی دریای خزر، م. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره 75، صص 1-18.

اکثر مناطق بیش از 70 درصد تغییرات بارش مربوط به این هارمونیک می‌باشد.

2- هارمونیک اول هر دو دوره از نظر مکانی و زمانی (نسبت به هارمونیک‌های دوم و سوم) تغییرات زیادی را نسبت به یکدیگر نشان نمی‌دهند که بیانگر ثبات بالای این هارمونیک در توجیه تغییرات بارشی در سطح کشور در مقایسه با دو هارمونیک دیگر و تاثیرپذیری کمتر آن ناشی از تغییرپذیری اقلیم می‌باشد.

3- بیشترین درصد واریانس هارمونیک اول مربوط به سواحل دریای خزر در شمال و بخش‌هایی در شرق و غرب کشور می‌باشد که ایستگاه خرم آباد در هر دو دوره با مقدار بیش از 90 درصد، بالاترین درصد را در میان ایستگاه‌ها به خود اختصاص داده است.

4- کمترین درصد واریانس هارمونیک اول مربوط به شمال غرب و سپس جنوب شرق کشور می‌باشد.

5- بر اساس نتایج به دست آمده، هارمونیک دوم در هر دو دوره از اهمیت کمتری نسبت به هارمونیک اول در توجیه تغییرپذیری بارش در بیشتر نقاط ایران به جز بخش‌هایی از شمال غرب و جنوب شرق برخوردار است اما میزان تغییر پذیری آن ناشی از اثرات تغییر اقلیم و تغییرپذیری اقلیم از هارمونیک اول بیشتر است.

6- بیشترین درصد واریانس هارمونیک سوم مربوط به غرب و جنوب شرق کشور است که حداکثر 10 درصد از تغییرات بارش در بخش‌هایی از ایران را توجیه می‌نماید ولی تغییر پذیری آن نسبت به دو هارمونیک اول و دوم بیشتر است.

7- میزان جابه‌جایی هم از نظر زمانی و هم از نظر مکانی در هارمونیک‌های دوم و سوم در دوره 1980-1992 نسبت به دوره 2005-1993 بیشتر از هارمونیک اول می‌باشد که نشان دهنده تاثیرپذیری بیشتر از اثرات

- Haihe River Basin, 1958-2007, *Journal of Geographical Acisence*, Vol 20, pp. 248-260.
- 18- Kadioglu, Mikdat, Ozturk, Naim, Erdun, Hakan and Sen, Zekai, 1999, on the Precipitation Climatology of Turkey By Harmonic Analysis, *International Journal of Climatology*, Vol 19, pp. 1717-1728.
- 19- Li-Gang, Xu, Hong-Fei, Zhou, Chuan, Liang, An-Qi, Wn, 2009, Multi-time Scale Variability of Precipitation in the Desert Region of North China, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol 40, pp. 1002-1011.
- 20- Livada. I, Charalambous.G and Saaimakopoulos M. N., 2008, Spatial and Temporal Study of Precipitation Characteristics over Greece, *Theoretical and Applied Climatology*, No. 93, pp. 45-55.
- 21- Mourato. S, Moreira. M, Corte-Real. J, 2009, Inter-annual Variability of Precipitation Distribution Patterns in Southern Portugal, *International Journal of Climatology*.
- 22- Nastos. P. T and Zerefos. C. S, 2009, Cyclic Modes of the Intra-annual Variability of Precipitation in Greece, *Advances in Geosciences*, Vol25, pp. 45-50.
- 23- Olkonomou. Ch, Flocas. H. A, Asimakopoulos. D. N and Giannakopoulos. C, 2008, Future Changes in the Occurrence of Extreme Precipitation Events in Eastern Mediterranean, *Global NEST Journal*, vol10, No2, pp. 255-262.
- 24- Pauling. A and Peath. H, 2006, On the Variability of Return Period of European Winter Precipitation Extremes over the Last Five Centuries, *Climate of the past discussions*, No2, pp. 157-189.
- 25- Pashiardis, Stelio, 2003, Trends of Precipitation in Cyprus Rainfall Analysis for
- 8- مدرس، رضا، 1385، توابع توزیع منطقه‌ای بارش ایران، م. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره 75، صص 91-86.
- 9- مسعودیان، سید ابوالفضل، 1382، بررسی پراکندگی جغرافیایی بارش در ایران به روش تحلیل عاملی دوران یافته، م. جغرافیا و توسعه، شماره 1، صص 79-88.
- 10- مسعودیان، سید ابوالفضل، 1384، شناسایی رژیم‌های بارش ایران به روش تحلیل خوشه‌ای، م. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره 37، صص 47-59.
- 11- مسعودیان، سید ابوالفضل، 1388، نواحی بارشی ایران، م. جغرافیا و توسعه، شماره 13، صص 79-91.
- 12- نیستانی، ابوالفضل، تقوی، فرحناز، 1389، بررسی تغییرپذیری بارش با استفاده از آنالیز طیفی و موجک، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران اردیبهشت 1389، صص 21-23.
- 13- یازجی، دانیال، نیستانی، ابوالفضل، تقوی، فرحناز، 1389، بررسی چرخه فصلی بارش در خاورمیانه براساس تحلیل طیفی مشاهدات و یک مدل گردش کلی CM2.1، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، صص 57-60.
- 14- یزدیان، حامد، ناصری، محسن، تقوی، فرحناز، 1389، بررسی و تشخیص مناطق هم رفتار بارش در استان اصفهان براساس آنالیز طیفی و خوشه بندی، چهارمین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم، صص 407-414.
- 15- Alpert. P, Ben-gai. T and Baharad. A, 2002, The Paradoxical Increase of Mediterranean Extreme Daily Rainfall in Spite of Decrease in Total Values, *Geophysical research letters*, vol. 29, pp. 98-110.
- 16- Dalezios, Nicolas and Bartzokas, Aristides, 1995, Daily Precipitation Variability in Semiarid Agricultural Regions in Macedonia, Greece, *Hydrological sciences*, No.40, pp. 569-585.
- 17- Jianting, CHU, Jun, XIA, Chongyu, Xu, Lu, LI, Zhonggen, Wang, 2010, Spatial and Temporal Variability of Daily Precipitation in

- 28- Taghavi, F., 2009: Spectral Analysis of the Daily Maximum Precipitation Time Series over Iran, Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-0, 2009, EGU General Assembly 2009.
- 29- Toby, R. Ault and Scott, St. George, 2010, The Magnitude of Decadal and Multi-decadal Variability in North American Precipitation, Journal of Climate, Vol 23, pp. 842-850.
- Agricultural Planning, Meteorological service, Nicosia, vol. 25, pp. 251-269.
- 26- Saris, Faize, M.Hannah, David, J. Eatwood, Warren, 2010, Spatial Variability of Precipitation Regimes over Turkey, Hydrological Science Journal, Vol 55, pp. 234-249.
- 27- Stathis. D and Myronidis. D, 2009, Principal Component Analysis of Precipitation in Thessaly Region (Central Greece), Global NEST Journal, vol11, No4, pp. 467-476.