

تحلیل طیفی سری های زمانی بارش سالانه ایران

بهلول علیجانی^۱

علی بیات^۲

مهدی دوستکامیان^۳

یدالله بلیانی^۴

چکیده

بارش از مهم‌ترین و متغیرترین عناصر اقلیمی است که شناخت رفتار آن همواره مورد توجه اقلیم‌شناسان بوده است. از این رو پیچیدگی عناصر اقلیمی در مقیاس‌های زمانی و مکانی لزوم به‌کارگیری روش‌های کارآمد مانند تحلیل طیفی به عنوان ابزاری مفید برای مطالعه الگوهای اقلیمی را نشان می‌دهد. هدف از این مطالعه بررسی و تحلیل نوسان‌های بارش ایران با استفاده از تحلیل طیفی (تحلیل همسازها) می‌باشد بدین منظور داده‌های بارش سالانه ایستگاه همدید ایران از بدو تأسیس تا سال ۲۰۰۸ که بیش از ۴۰ سال آمار داشتند از سازمان هواشناسی کشور استخراج گردیده است. سپس به‌منظور بررسی و تحلیل چرخه‌های بارش ایران از برای انجام محاسبات از امکانات برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار Matlab و نیز برای انجام عملیات ترسیمی از نرم‌افزار Surfer بهره گرفته شد. نتایج حاصل از تحلیل چرخه‌ها نشان داد که چرخه‌های معنی‌دار ۳-۲ ساله، ۵-۳ ساله، ۶-۲ ساله و گاهی ۱۱ ساله و بالاتر بر بارش ایران حاکم است. بر این اساس در شرق و جنوب شرق ایران بیش‌تر چرخه‌های ۵-۳ ساله و در غرب، جنوب غرب و شمال غرب کشور

۱- استاد اقلیم‌شناسی گروه جغرافیا، دانشگاه خوارزمی تهران.

۲- دانشجوی دکترای اقلیم‌شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران.

۳- دانشجوی دکترای تغییرات آب و هوایی، دانشگاه زنجان

۴- دانشجوی دکترای اقلیم‌شناسی دانشگاه خوارزمی تهران.

چرخه‌های ۲-۳ ساله و در شمال شرق چرخه‌های ۶-۲ ساله غالب هستند. بیش‌ترین و متنوع‌ترین چرخه‌ها به‌دلیل قرارگیری در سایه ناهمواری‌های زاگرس از یک‌سو و مجاورت با خلیج‌فارس از سوی دیگر در بخش‌های از جنوب و جنوب غرب رخ داده است. نواحی شمال غرب کشور هم همانند نواحی جنوب‌غرب به‌دلیل وجود کوه‌های عظیم سبلان و سه‌پند دارای چرخه‌های متنوعی بوده است. چرخه‌های غیرسینوسی که دوره بازگشتی برابر با طول دوره آماری دارند در برخی ایستگاه‌ها از قبیل قزوین، سنندج و تهران مشاهده می‌شوند. این چرخه‌ها به وجود روند در داده‌ها نسبت داده می‌شوند.

واژگان کلیدی: بارش، تحلیل طیفی، هم‌ساز، ایران.

مقدمه

بارش از متغیرترین عناصر اقلیمی است. این تغییرات هم در بعد مکان و هم در بعد زمان در قالب اقلیم منطقه رخ می‌دهد (علی‌جانی و همکاران ۱۳۹۳: ۳). این تغییرات می‌تواند تبعات منفی محیطی اجتماعی اقتصادی و حتی فرهنگی را در برگیرد (عساکره و رزمی ۱۳۹۱: ۱۴۷-۱۶۲). پیچیدگی‌های بارش با ویژگی‌های مشخص آن مربوط به توپوگرافی غالب و شرایط جوی در خاورمیانه همواره مورد توجه اقلیم‌شناسان بوده است (یازجی و همکاران ۱۳۸۹: ۵۷-۶۰). این درحالی می‌باشد که دینامیک سیستم‌های اقلیمی به‌ویژه بارش به‌علت اندرکنش‌های مؤلفه‌های گوناگون معمولاً با نوساناتی همراه می‌باشد این امر خود منجر به پیچیدگی تفسیر نوسانات این عنصر می‌باشد. از این رو نیاز به مدل‌های وجود دارد که ضمن اینکه نوسانات آشکار و نهان را به‌خوبی نشان دهد تفسیر آن‌ها را هم آسان کند. این مساله لزوم به‌کارگیری مدل‌های ریاضی را نشان می‌دهد. در این میان تحلیل طیفی یا به‌عبارتی تحلیل سری‌های زمانی این قابلیت را دارد که ضمن آشکارسازی روند، چرخه‌ها یا دوره تناوبی‌ها را به‌خوبی نشان دهد. با این وجود کاربرد اصلی تحلیل طیفی شناسایی روند تغییرات و حالت‌های تناوبی سری‌های زمانی پیچیده و ممکن ساختن پیش‌بینی می‌باشد (تقوی و همکاران، ۱۳۸۹: ۶-۸).

تحلیل طیفی به روش های برآورد تابع چگالی طیفی یا طیف یک سری زمانی گفته می شود. این روش بیش تر با برآورد کردن طیف روی تمام دامنه بسامدها سروکار دارد (عساکره و رزمی، ۱۳۹۱). تحلیل طیفی به طور وسیعی در رشته های مختلف بخصوص در علوم طبیعی از جمله اقلیم شناسی (کریستینا^۵ و همکاران، ۱۹۸۹؛ آزاد^۶ و همکاران، ۲۰۰۹؛ عساکره، ۱۳۸۸؛ تقوی و همکاران، ۱۳۹۰؛ عساکره و رزمی، ۱۳۹۱)، هیدرولوژی (یان جو و لی^۷، ۲۰۱۰)، ژئومورفولوژی (هگ^۸، ۱۹۹۶)، هواشناسی (اسپانگنبرگ و بردمایر^۹، ۱۹۹۹) و اقیانوس شناسی (کرکیلا و حمید^{۱۰}، ۱۹۸۹؛ چاندلر^{۱۱}، ۱۹۹۷؛ آریگو و همکاران^{۱۲}، ۲۰۰۱) به کار گرفته شده است. از این رو در زمینه تحلیل طیفی بارش در سراسر جهان مطالعات زیادی انجام شده است. البته دانشمندان زیادی هم چون ارله^{۱۳} و همکاران (۱۹۹۹)، گیل^{۱۴} و همکاران (۲۰۰۱)، اولسن^{۱۵} و همکاران (۲۰۰۸) سعی در معرفی روش های مختلف این تکنیک داشته اند. برای مثال لانا و بورگنو^{۱۶} (۲۰۰۰) الگوی آنومالی بارشی بارسلونا را با استفاده از تحلیل طیفی تعیین کردند و مشخص شد که الگوهای آنومالی بارشی در مقیاس فصلی به خوبی قابل مشاهده است. در مطالعه دیگر لیوادا^{۱۷} و همکاران (۲۰۰۸) نیز به نتیجه مشابهی رسیده و وجود چرخه های ۳-۵ ساله را در بارش یونان آشکار ساختند. در ایران با استفاده از این تکنیک مطالعات انجام شده است اما این مطالعات بیش تر به صورت ایستگاهی بوده است. برای مثال عساکره (۱۳۸۸) دمای سالانه شهر تبریز را در طول دوره

5- Kristina

6- Azad

7- Yan Ju and Lee

8- Henne

9- Spangenberg and Bredemeier

10- Kirkyla and Hameed

11- Chandler

12- Aririgo et al.

13- Earle

14- Ghil

15- Olsen

16- Lana and Burgueno

17- Livada

آمار ۱۹۵۱ - ۲۰۰۵ و با استفاده از تحلیل طیفی مطالعه نمود. بر پایه یافته‌های حاصل از این مطالعه ایشان، چرخه‌های ۲-۲/۶ ساله و ۴/۵-۵ ساله و نیز یک چرخه غیرسینوسی (روند) در سری زمانی دمای سالانه شهر تبریز مشاهده گردید. تقوی و همکاران (۱۳۹۰) الگوی رفتار مقادیر فرین بارش و دما را در ایران با استفاده از تحلیل طیفی مورد مطالعه و بررسی قراردادند و مشخصات طیفی آماره‌های اقلیمی از قبیل دامنه و بسامد رو محاسبه نموده و سپس با استفاده از تحلیل خوشه‌ای ایران را منطقه‌بندی نمودند. ایشان در این مطالعه به این نتیجه رسیدند که مشخصات فرین دما و بارش در ایران متنوع بوده و ادعان نمودند که لزوماً یک سامانه اقلیمی خاص بر مناطق هم رفتار حاکم نیست. از طرف دیگر عساکره و رزمی (۱۳۹۱) که تغییرات میانگین بارش سالانه را در منطقه شمال غرب ایران مورد مطالعه قراردادند وجود چرخه معنی‌دار در بارش سالانه شمال غرب ایران را به تأثیر عوامل کلان‌مقیاس اقلیمی-اقیانوسی نسبت دادند. ایشان به‌طور مثال چرخه‌های ۲-۳ ساله را به تغییرات دوسالانه^{۱۸} (QBO) الگوی بزرگ‌مقیاس گرد عمومی جو و جریانات مداری و چرخه‌های ۳-۵ ساله را به پدیده انسو نسبت دادند. چرخه‌های مزبور در بسیاری از مطالعات مختلف مشاهده شده و به دوره فعالیت‌های نوسان‌های جنوبی-ال نینو (ENSO)، تغییر در فعالیت‌های خورشیدی و تغییرات مداری گردش عمومی جو نسبت داده شده است. از این رو با توجه به آنچه که گفته شده است تاکنون تحلیل چرخه‌های مکانی بر روی ایران انجام نشده است. از این رو در این مطالعه به بررسی و پهنه بندی چرخه‌های بارش ایران پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

هدف از این مطالعه بررسی و تحلیل چرخه‌های بارش ایران می‌باشد بدین منظور داده‌های بارش سالانه ایران برای ۲۶ ایستگاه همدید کشور که دارای آمار بیش از ۴۰ سال از بدو تأسیس تا سال ۲۰۰۸ بودند استفاده گردید. سپس به‌منظور استخراج چرخه‌های بارش سالانه ایران به‌روش تحلیل طیفی از امکانات برنامه نویسی در نرم‌افزار MATLAB بهره گرفته

18- Quasi Binomial Oscillation (QBO)

شد. تحلیل طیف اندازه‌ای از توزیع واریانس در امتداد تمامی طول‌موج‌های سری زمانی را گویند. در واقع تکنیک تحلیل طیف، تجزیه واریانس یک سری زمانی است. در تکنیک تحلیل طیف ابتدا سری‌های زمانی به توابع طیفی (به صورت تابعی دوره‌ای^{۱۹} با دامنه و فراوانی^{۲۰}) تبدیل می‌شوند. در این تابع، فراوانی گویای مقیاس زمانی (چرخه‌ها در واحد زمان) و دامنه بیانگر میزان واریانس در آن مقیاس زمانی است. بنابراین در این تکنیک تک‌تک موج‌ها را استخراج کرده و سهم هر یک از موج‌ها در واریانس کل تعیین گردیده و در نهایت پس از استخراج واریانس، تک‌تک موج‌ها از لحاظ معنی‌داری آماری بررسی می‌شود.

یافته‌ها و بحث

به منظور تحلیل چرخه‌های بارش سالانه ایران از تکنیک تحلیل طیفی استفاده گردید. برای نیل به این منظور، ابتدا نمودار دوره نگار^{۲۱} سری زمانی بارش تک‌تک ایستگاه‌ها ترسیم شد. دوره نگار نموداری است که در آن محور عمودی برآورد طیف (واریانس) و محور افقی بسامد (احتمال، فراوانی) چرخه‌ها را نشان می‌دهد. خط شکسته طیف (میزان واریانس) به ازای بسامد (زمان‌های مختلف) را ارائه می‌نماید. همچنین این خطوط شکسته مستطیلی شکل، چرخه‌ها (هم‌سازها) را نشان می‌دهند. بدین ترتیب که اولین خط شکسته مستطیلی شکل از سمت چپ به عنوان هم‌ساز اول (یک چرخه در طول دوره آماری^{۲۲}) خط شکسته دوم به عنوان هم‌ساز یا هارمونیک دوم (دو چرخه در طول دوره آماری) می‌باشد.

خطچین مرز معنی‌داری چرخه‌ها در سطح ۹۵ درصد اطمینان می‌باشد. چرخه‌هایی که طیف (واریانس) آن‌ها خارج از محدوده معنی‌داری باشد آن چرخه (هم‌ساز) به عنوان چرخه یا

19- Periodic

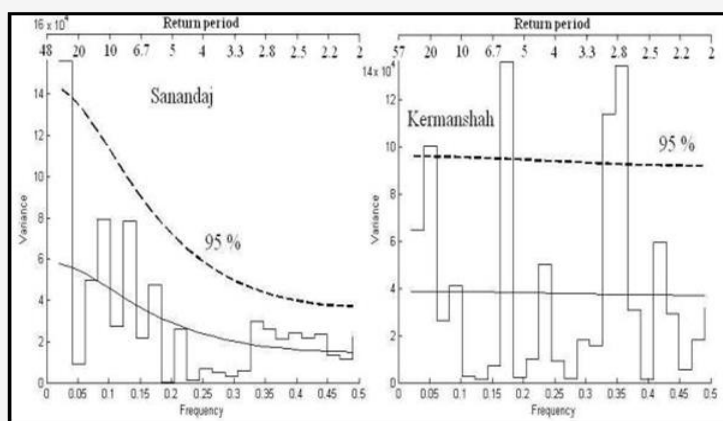
20- Frequency

21- Periodogram

۲۲- لازم به توضیح است که نمودارهای دوره نگار مختلف برای طول دوره آماری متفاوت ترسیم شده است. بر فرض مثال اگر طول یک سری زمانی ۵۰ باشد هم‌ساز اول یعنی یک چرخه در ۵۰ سال، هم‌ساز دوم یعنی ۲ چرخه در ۵۰ سال و الی آخر. در نتیجه هر چرخه (هم‌ساز) یک احتمال وقوع و یا دوره بازگشت خواهد داشت که برای هم‌ساز اول دوره بازگشت برابر با طول دوره آماری مثلاً ۵۰ سال می‌باشد. تعداد کل هم‌سازها نیز برابر با نصف طول دوره آماری است.

چرخه‌های معنی‌دار تلقی می‌شوند. چرخه معنی‌دار در واقع همان رخداد بارش‌های همسان می‌باشد که در طول سال‌ها تکرار می‌شوند و می‌توانند طیف وسیعی از فراوانی‌ها (احتمالات) را داشته باشند. در شکل (۲) نمودارهای دوره نگار ایستگاه‌های سنندج و کرمانشاه نشان داده شده است. در این نمودارها محور افقی پایین فراوانی (احتمال یا بسامد) وقوع چرخه‌ها، محور عمودی واریانس هر یک از چرخه‌ها (همسازها) را نشان می‌دهد. خطوط شکسته مستطیلی شکل چرخه‌ها (همسازها) می‌باشند. ارتفاع (دامنه) این همسازها که با یک مقدار از محور عمودی نظیر هستند در واقع همان مقدار واریانس چرخه‌هاست.

هر چرخه‌ای دامنه بیش‌تری داشته باشد در واقع واریانس بیش‌تری از طیف‌ها را به خود اختصاص داده است. معنی‌داری هر یک از چرخه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد آزمون شده است. در شکل (۲) سطح معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد با خط چین و سطح تصادفی بودن همسازها با خط نازک پیوسته نشان داده شده است. بنابراین همسازهایی که خارج از سطح معنی‌داری (خط چین) باشند به‌عنوان چرخه (همساز) معنی‌دار تلقی می‌شوند. هم‌چنین محور افقی بالا دوره بازگشت وقوع هر یک از چرخه‌ها را نشان می‌دهد. و این‌که در این نمودار از سمت چپ، اولین مستطیل، همساز اول (یک چرخه در طول دوره)، دومین مستطیل همساز دوم (دو چرخه یا دو موج در طول دوره) و ... به‌طوری که به تعداد نصف طول دوره آماری همساز خواهیم داشت.



شکل (۲) نمودار دوره نگار ایستگاه سنندج (چپ) و کرمانشاه (راست)

در شکل (۲) نمودار سمت چپ مربوط به ایستگاه سنندج و نمودار سمت راست متعلق به ایستگاه کرمانشاه است. در نمودار دوره نگار ایستگاه سنندج فقط همساز اول معنی دار است. اگر در نمودار دوره نگار همساز اول معنی دار باشد دوره بازگشتی برابر با طول دوره آماری خواهد داشت. معنی داری همساز اول حاکی از وجود روند در داده‌هاست. در نتیجه در این ایستگاه الگوی چرخه‌ای خاصی مشاهده نمی‌شود و چرخه‌های بارشی در اینجا معنی دار نبوده و تصادفی هستند. در دوره نگار کرمانشاه افت و خیزهای متعددی در طیف‌ها مشاهده می‌شود و چندین همساز دارای دامنه بلند بوده و واریانس زیادی را به خود اختصاص داده‌اند. پس در کرمانشاه چندین چرخه معنی دار وجود دارد، به عبارت دیگر الگویی خاص باعث شده است که بارش‌های همسان در قالب چرخه‌هایی نمود پیدا کنند. دوره بازگشت این چرخه‌ها عمدتاً از دو سال تا ۱۱ سال می‌باشد. شکل (۳) نمودارهای دوره نگار مربوط به بارش ایستگاه‌های همدید ایران را نشان می‌دهد. افت و خیزهای متعددی در طیف ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود. در برخی از نمودارها مانند نمودارهای دوره نگار خرم‌آباد و کرمانشاه چرخه‌های متعددی دارای دامنه بلند هستند و سهم بیشتری از واریانس کل طیف‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. در برخی دیگر نیز از قبیل بندرعباس، اردبیل و همدان یکی یا دو چرخه دارای دامنه بلند بوده و بقیه هم‌سازها سهم کمتری از کل واریانس بسامد را دارا

می‌باشند. به‌منظور تحلیل بیش‌تر این نمودارها، برخی مشخصات آن‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. در این جدول ستون اول از سمت راست نام ایستگاه‌ها، در ستون دوم شماره چرخه‌ها (هم‌سازها) آورده شده است. ستون سوم احتمال (فراوانی) وقوع چرخه‌های معنی‌دار، ستون چهارم دوره بازگشت چرخه‌ها، ستون پنجم مقدار واریانس هر چرخه معنی‌دار و در نهایت ستون آخر از سمت چپ درصد واریانس تبیین شده توسط هر چرخه معنی‌دار نسبت به کل واریانس مربوط به تمام چرخه‌ها اعم از چرخه‌های معنی‌دار و بدون معنی را نشان می‌دهد.

در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، همان‌طور که در شکل (۲) و نیز جدول (۲) مشخص است بارش اردبیل فاقد هرگونه چرخه غالب و معنی‌دار در می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر در سری زمانی بارش اردبیل واریانس طیف‌ها در بین تمام هم‌سازها به نسبت تقریباً برابر توزیع شده است و در سطح اطمینان ۹۵ درصد چرخه معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. پس در بارش اردبیل از نظر وقوع بارش‌های همسان الگوی خاصی حاکم نیست و بارش سالانه اردبیل رفتار تصادفی دارد. از طرف دیگر بارش سالانه کرمانشاه دارای ۴ چرخه معنی‌دار می‌باشد که در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه بیش‌ترین چرخه معنی‌دار را به‌خود اختصاص داده است. در بارش کرمانشاه هم‌سازهای شماره ۲، ۸، ۱۶ و ۱۷ معنی‌دار هستند. بسامد (احتمال) وقوع متناظر با این هم‌سازها به‌ترتیب برابر است با ۴۰۸/۱، ۱۶۳/۱، ۳۲۶/۰ و ۳۴۶/۰؛ دوره بازگشت این چرخه‌ها به ترتیب مساوی است با ۲۴/۵، ۶، ۳ و ۳ سال. بنابراین می‌توان گفت که در بارش کرمانشاه این چرخه‌ها حاکم هستند. در واقع در ایستگاه کرمانشاه به‌طور میانگین بارش‌های همسان به ترتیب هر ۲۴/۵ سال، ۶ سال، و ۳ سال دارای تکرار هستند که این ویژگی می‌تواند در پیش‌بینی و مدیریت منابع آب مورد توجه قرار گیرد. و یا به‌طور مثال در ایستگاه اهواز هم‌ساز بیستم معنی‌دار است. این هم‌ساز با احتمال ۴۰۸/۱ قابل وقوع است. دوره بازگشت هم‌ساز مذکور حدود ۲/۵ سال می‌باشد. بنابراین این‌طور می‌توان نتیجه گرفت که در اهواز بارش‌های همسان دارای تکرار ۲/۵ ساله هستند. به همین ترتیب طیف نگار سایر ایستگاه‌ها نیز قابل تفسیر است. در ادامه الگوهایی که می‌توانند منجر به ایجاد

چرخه‌های بارشی در یک منطقه شوند با استناد به برخی مطالعات و مقایسه نتایج کار آن‌ها با نتایج مأخوذ از این پژوهش مورد قیاس قرار گرفته و مشخص شده‌اند.

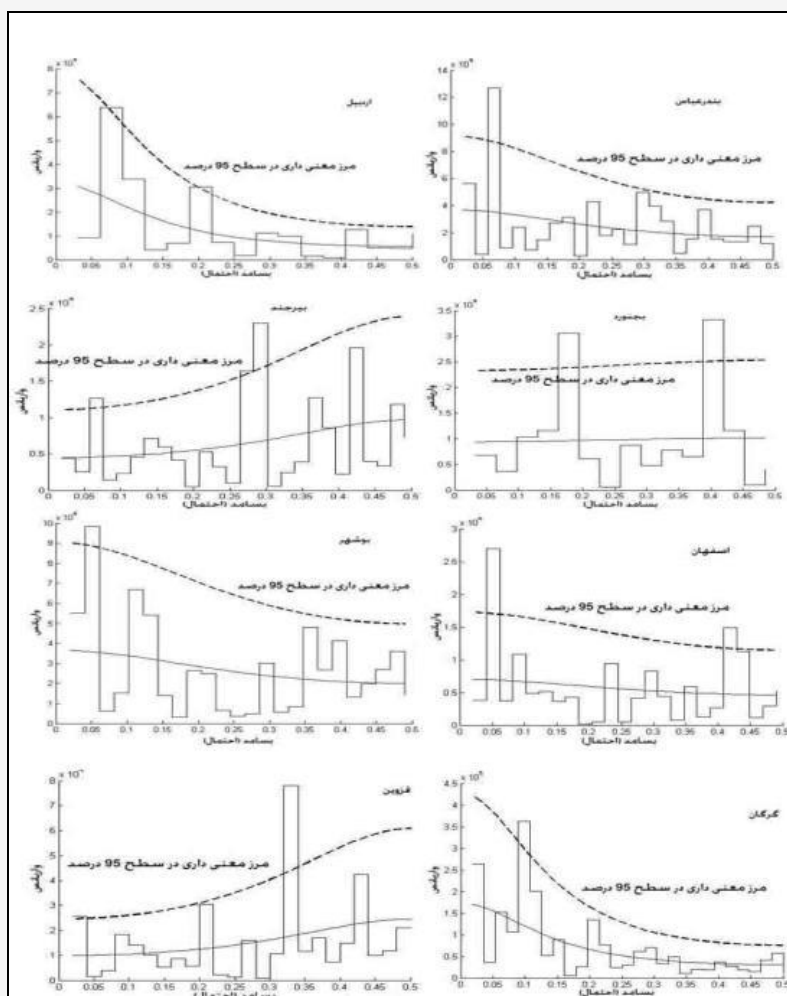
همان‌طور که مشاهده می‌شود فراوانی چرخه‌های ۳ ساله از بقیه بیش‌تر است و هم‌چنان که ستون آخر جدول (۲) نشان می‌دهد چرخه‌های ۳ ساله در مجموع حدود ۲۷ درصد از واریانس طیف‌ها را به‌خود اختصاص داده است. در بین ایستگاه‌ها، ۶ ایستگاه بیرجند، کرمان، ارومیه، تهران، زاهدان و زنجان دارای ۳ چرخه معنی‌دار می‌باشند. ۸ ایستگاه اراک، بجنورد، اصفهان، قزوین، همدان، مشهد، تبریز و یزد دارای ۲ چرخه معنی‌دار هستند. در بقیه ایستگاه‌ها یعنی ۱۰ ایستگاه اهواز، بندرعباس، بوشهر، گرگان، خرم‌آباد، رامسر، سنندج، سمنان، شهرکرد و شیراز یک چرخه حاکمیت دارد. بنابراین از نظر فراوانی تعداد چرخه‌های معنی‌دار، یک چرخه با فراوانی ۱۰ ایستگاه بیش‌ترین نسبت را به‌خود اختصاص داده است. همان‌طور که در جدول (۱) نیز مشاهده می‌شود و بر اساس نتایج به‌دست آمده، چرخه‌های ۲-۳ بیش‌ترین حاکمیت را در بارش ایران دارند. بیش‌تر دانشمندان این چرخه‌ها را به ال‌نینو نوسانات جنوبی (ENSO)^{۲۳} و تغییرات دوسالانه (QBO) الگوی بزرگ‌مقیاس گردش عمومی جو و جریانات مداری نسبت داده‌اند. عساکره و رزمی (۱۳۹۱) چرخه‌های ۲-۳ ساله بارش شمال غرب ایران را به تغییرات دو سالانه (QBO) نسبت داده‌اند. علاوه بر چرخه‌های فوق‌الذکر، همان‌گونه که در جدول (۱) مشخص است چرخه‌های ۳-۵ ساله نیز به وفور در بارش برخی ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود. کالایچی^{۲۴} و همکاران (۲۰۰۴) چرخه‌های ۲-۶ ساله را در بارش ترکیه را به رخداد ال‌نینو مربوط دانستند. هم‌چنین عساکره و رزمی (۱۳۹۱) نشان دادند که چرخه‌های ۳-۵ ساله نقش مهمی در بارش شمال غرب ایران ایفا می‌کنند. ایشان نیز این چرخه‌ها را به انسو نسبت داده‌اند.

در برخی ایستگاه‌ها چرخه‌های ۱۱ ساله و بالاتر به‌ویژه در ارومیه و زنجان مشاهده می‌شود. جهانبخش و عدالت‌دوست (۱۳۸۷) وجود این چرخه‌ها را به‌ویژه در منطقه آذربایجان

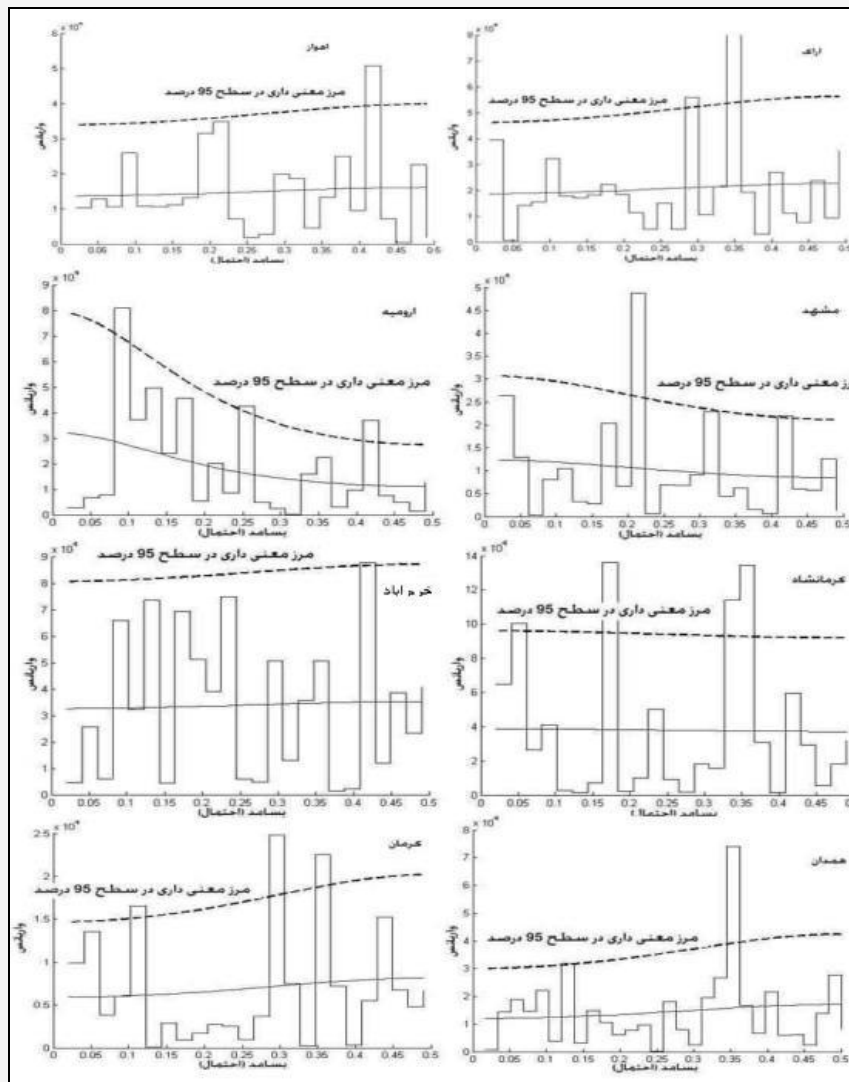
23- EL Nino Southern Oscillation (ENSO)

24- Kalayci

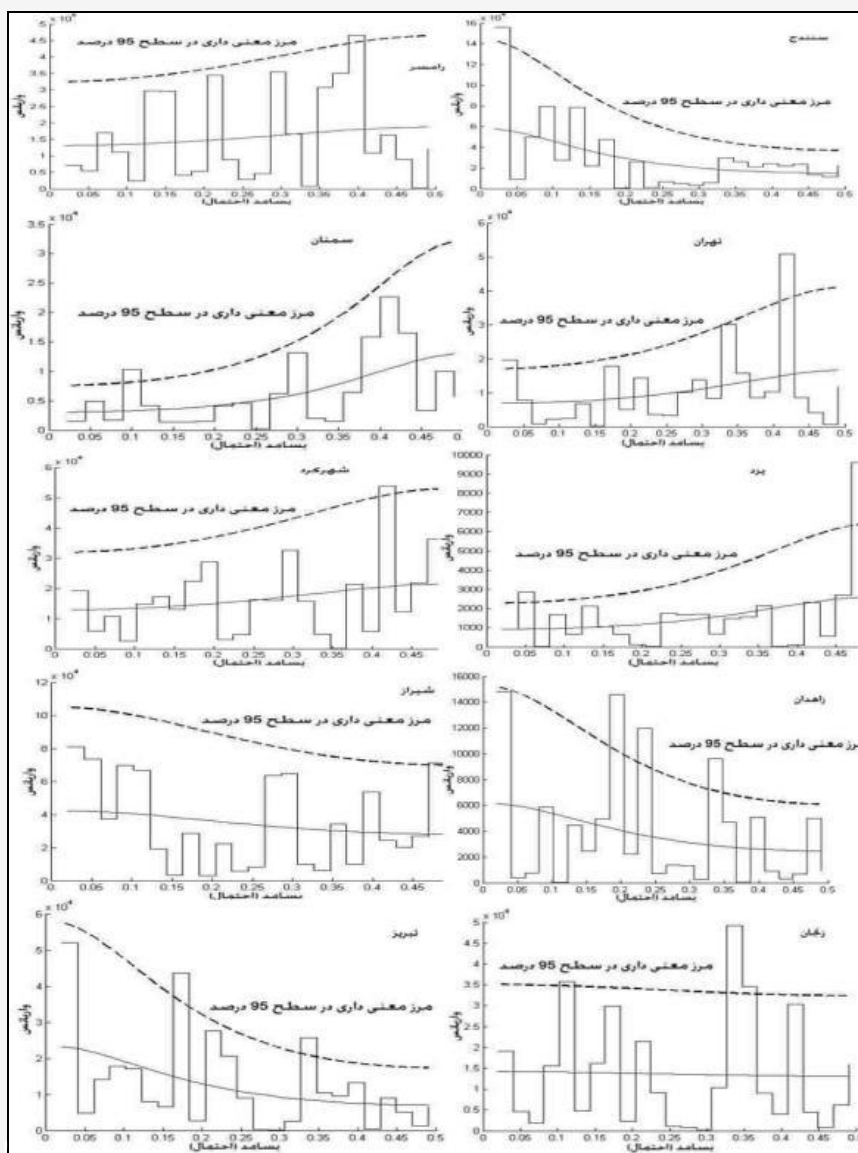
ناشی از چرخه فعالیت لکه‌های خورشیدی و نوسانات اطلس شمالی دانسته‌اند. چرخه‌های غیرسینوسی که دوره بازگشتی برابر با طول دوره آماری دارند در برخی ایستگاه‌ها از قبیل قزوین، سنندج و تهران مشاهده می‌شوند. این چرخه‌ها به وجود روند در داده‌ها نسبت داده می‌شوند. چرخه‌های درون دهه‌ای مانند چرخه‌های ۲۴/۵ ساله نیز در برخی ایستگاه‌ها مثل بوشهر، اصفهان، کرمانشاه و یزد قابل استنباط هستند.



شکل (۳) نمودارهای دوره نگار، طیف و مرز معنی داری سری زمانی بارش ایستگاه های ایران



ادامه شکل (۳)



ادامه شکل (۳)

جدول (۲) مشخصات آماری چرخه‌های بارش سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه

شماره چرخه معنی‌دار	احتمال	دوره بازگشت	واریانس	واریانس همساز	
۲۰	/۴۰۸۲	۲/۴	۵۰۷۴۶	۱۴/۲	اهواز
۱۵	/۲۸۳	۳/۵	۵۵۸۱۵	۱۰/۴	اراک
۱۸	/۳۳۹	۳	۷۹۹۴۴	۱۵	
					اردبیل
۳	/۰۵۷۷	۱۷	۱۲۶۹۹۵	۱۹/۵	بندرعباس
۳	/۰۵۶۶	۱۸	۱۲۶۵۷	۷/۴	بیرجند
۱۴	/۲۶۴	۴	۱۶۴۰۶	۹/۵	
۱۵	/۲۸۳	۳/۵	۲۲۹۹۰	۱۳/۴	
۵	/۱۶۱	۶	۳۰۵۵۹	۲۰/۸	بجنورد
۱۲	/۳۸۷	۲/۵	۳۳۱۶۲	۲۲/۶	
۲	/۰۴۰۸	۲۴/۵	۹۸۴۸۲	۱۵/۱	بوشهر
۲	/۰۴۰۸	۲۴/۵	۲۶۹۳۹	۱۹/۷	اصفهان
۲۰	/۴۰۸۲	۲/۴	۱۴۸۵۹	۱۰/۹	
۱	/۰۲	۵۰	۲۵۵۴۶	۶/۵	قزوین
۱۶	/۳۲	۳	۷۸۱۰۵	۲۰	
۵	/۱۶۱	۱۱	۳۶۳۱۱۷	۱۷/۸	گرگان
۷	/۱۲۰	۸	۳۱۸۸۰	۷/۶	همدان
۲۰	/۳۴۴	۳	۷۴۰۰۵	۱۷/۷	
۵	/۱۰۲	۱۰	۱۶۵۷۸	۹/۹	کرمان
۱۴	/۲۸۵	۳/۵	۲۴۸۱۲	۱۴/۸	
۱۷	/۳۴۶	۳	۲۲۵۴۸	۱۳/۵	
۲۰	/۴۰۸	۲/۴	۸۷۶۶۹	۱۰/۸	خرم‌آباد
۲	/۰۴۰۸	۲۴/۵	۱۰۰۳۷۲	۱۱	کرمانشاه
۸	/۱۶۳	۶	۱۳۶۱۷۸	۱۵	
۱۶	/۳۲۶	۳	۱۱۳۹۷۱	۱۲/۵	
۱۷	/۳۴۷	۳	۱۳۴۴۳۴	۱۴/۵	

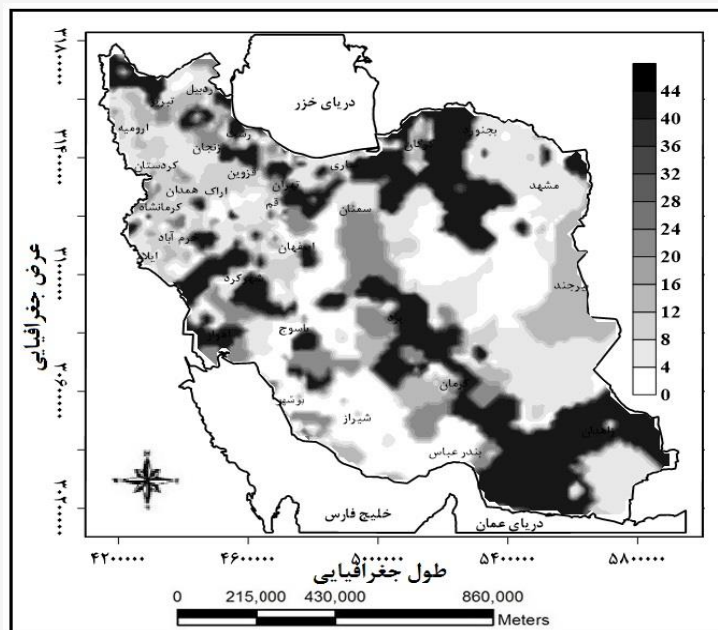
ادامه جدول (۲) مشخصات آماری چرخه های بارش سالانه ایستگاه های مورد مطالعه

شماره چرخه معنی دار	احتمال	دوره بازگشت	واریانس	واریانس همساز	
۱۴	/۰.۱۸۶	۱۲	۸۹۶۵	۱۷/۸	ارومیه
۱۲	/۲۴۴	۴	۴۲۴۵۶	۹/۴	
۲۰	/۴۰.۸	۲/۴	۳۶۹۱۹	۸/۱	
۱۹	/۳۸۷	۲/۵	۴۶۵۴۲۸	۱۲/۴	رامسر
۱	/۰.۲۰۴	۵۰	۱۵۶۱۱۵	۲۲	سندج
۴	/۰.۸۸۹	۱۱	۱۰۲۷۵	۷/۴	سمنان
۲۰	/۴۰.۸	۲/۴	۵۳۶۹۷	۱۳/۵	شهرکرد
۲۳	/۴۶۹	۲	۷۱۴۵۷	۸/۶	شیراز
۸	/۱۶۳	۶	۴۳۳۵۰	۱۴	تبریز
۱۶	/۳۲۶	۳	۲۵۷۵۰	۸/۳	
۱	/۰.۲۰۴	۵۰	۱۹۵۶۸	۷/۶	تهران
۱۶	/۳۲۶	۳	۳۰۱۴۸	۱۱/۸	
۲۰	/۴۰.۸	۲/۴	۵۰۷۹۵	۱۹/۹	
۲	/۰.۴۰۸	۲۴/۵	۲۸۳۷	۷/۶	یزد
۲۳	/۴۶۹	۲	۹۶۱۵	۲۵/۹	
۹	/۱۸۳	۵/۵	۱۴۵۹۶۳	۱۵/۶	زاهدان
۱۱	/۲۲۴	۴/۵	۱۱۹۷۴	۱۲/۸	
۱۶	/۳۲۶	۳	۹۶۳۷	۱۰/۳	
۵	/۱۰.۲	۱۰	۳۵۷۱۳	۱۰/۹	زنجان
۱۶	/۳۲۶	۳	۵۰۲۱۵	۱۵	
۱۷	/۳۴۶	۳	۳۴۵۹۸	۱۰/۶	
۱۰	/۲۰.۴	۵	۴۸۷۹۳	۱۹/۷	مشهد
۲۰	/۴۰.۸	۲/۴	۲۲۰۳۳	۸/۱	

شکل (۳) توزیع فضایی چرخه های معنی دار را در پهنه ایران نشان می دهد. در این شکل چرخه های معنی دار در داخل پرانتز و جلوی نام ایستگاه ها نمایش داده شده است. چرخه های

متعدد برای یک ایستگاه با خط تیره متمایز گردیده است. همان طور که از این شکل قابل استنباط است در جنوب و جنوب غرب کشور حاکمیت از آن تک چرخه‌های غالب می‌باشد. نکته مهم این که شباهتی در چرخه‌های غالب این منطقه از کشور مشاهده نمی‌شود که این حالت گویای این مطلب است که چرخه‌های غالب این قسمت علاوه بر شرایط محلی از عوامل بیرونی تاثیر می‌پذیرد. در عوض در شرق و جنوب کشور اکثراً ۳ و یا ۲ چرخه معنی‌دار مشاهده می‌شود. در این منطقه عمدتاً چرخه‌های ۳-۵ ساله حاکم هستند. همان‌گونه که در بالا اشاره گردید ازاد و همکاران (۲۰۰۹) با آشکار ساختن چرخه‌های ۳-۵ ساله در بارش‌های موسمی هند، این چرخه‌ها را به پدیده انسو نسبت دادند. این چرخه‌های معنی‌دار را نیز می‌توان به رخداد پدیده جوی اقیانوسی انسو نسبت داد. در غرب کشور بیش-تر چرخه‌های ۲-۳ ساله حاکم هستند. در شمال غرب و شمال ایران چرخه‌های ۲,۵ تا ۱۲ ساله بیش‌ترین فراوانی وقوع را دارند و در شمال شرق چرخه‌های ۲/۵ تا ۶ ساله حاکم هستند. بنابراین در این مناطق تغییرات دوسالانه (QBO) بزرگ‌مقیاس جوی و همچنین پدیده ال‌نینو در رخداد بارش تأثیر داشته و منجر به حاکمیت چرخه‌های فوق در بارش این بخش از کشور شده است. در مجموع می‌توان گفت که بارش ایران در برخی نقاط تحت تأثیر عوامل متعددی قرار دارند و الگوهای متنوعی را نشان می‌دهند درحالی که در بخش‌هایی الگوهای معدودی مؤثر هستند. به‌طور مثال در جنوب و مرکز کشور الگوی مشخص و خاصی حاکم نیست و بارش‌های مشابه دارای تنوع زیادی از نظر تکرار دارند. به عبارت دیگر در این مناطق عوامل مختلفی منجر به الگوهای بارشی شده است. می‌توان گفت که علاوه بر سیستم‌های کلان‌مقیاس جوی عوامل محلی و همسایگان نیز در وقوع الگوهای بارش در این منطقه دخالت دارند. عواملی از قبیل مجاورت با آب‌های خلیج فارس و دریای عمان، قرارگیری در سایه ناهمواری‌های زاگرس نیز می‌تواند باعث تنوع زیاد در الگوهای بارشی شود. درحالی که در سایر بخش‌های کشور سیستم‌های مولد بارش پیچیدگی زیادی ندارند و عوامل محلی نقش زیادی در رخداد بارش ندارند. با این وجود شمالغرب و تا حدودی غرب و همچنین شرق و جنوب‌شرق دارای چرخه‌های معنی‌دار و غالب متعدد هستند. در صورتی که شمال، شمال شرق و جنوب کشور اکثراً دارای تک چرخه‌های غالب هستند.

به طور کلی الگوی واحدی که بتواند وجود این چرخه‌ها را توجیه کند نمی‌توان یافت ولی می‌توان گفت که وجود این چرخه‌ها با تغییرات دوسالانه بزرگ مقیاس جوی و پدیده انسو هماهنگ هستند. در مجموع می‌توان گفت که متنوع‌ترین چرخه‌های بارش در منطقه شمال غرب رخ داده است. سواحل دریای خزر دارای چرخه‌های ۲، ۳، ۸، ۱۱ و ۵۰ ساله می‌باشد. همان طوری که هم اشاره شد چرخه‌های که دوره بازگشت آن‌ها معادل با طول دوره آماری می‌باشد بیانگر وجود روند در بارش کشور می‌باشد. با این وجود مشاهده می‌شود که بارش شمال و شمال شرق و همچنین بخش‌های از جنوب شرق دارای روند می‌باشد. نواحی جنوب غرب و ارتفاعات زاگرس دارای چرخه‌های ۳، ۲، ۶ و ۲۴ ساله می‌باشد. نواحی جنوب شرق درای چرخه‌های کوتاه مدت بوده است. در شمال غرب کشور و بخش‌های زیادی از شرق کشور تحت چرخه‌های ۲، ۳، ۴، ۶، ۱۰ و ۱۸ ساله می‌باشد.



شکل (۳) توزیع فضایی چرخه‌های معنی‌دار ایران

نتیجه‌گیری

کشف دوره‌های تناوبی و چرخه‌های آشکار و نهان در سری‌های زمانی اقلیمی می‌تواند نقش مهمی در پیش‌بینی‌های اقلیمی و در نتیجه مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی‌های بهینه محیطی داشته باشد. تکنیک تحلیل طیفی یکی از روش‌های استخراج چنین چرخه‌هایی است. در این تحقیق چرخه‌های نهان حاکم بر بارش سالانه تعدادی از ایستگاه‌های هم‌دید ایران که پراکنش نسبتاً خوبی در سطح کشور داشتند با استفاده از تحلیل طیفی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. آمار بارش سالانه ۲۶ ایستگاه هم‌دید کشور که دارای آمار بیش از ۴۰ سال از بدو تأسیس تا سال ۲۰۰۸ بودند استفاده گردید. جهت استخراج چرخه‌ها از نرم‌افزار MATLAB و با استفاده از تکنیک تحلیل طیفی بهره گرفته شد. با ترسیم نمودار دوره نگار مربوط به هر ایستگاه، مشخص شد که طیف وسیعی از چرخه‌های معنی‌دار با دوره‌های بازگشت مختلف بر بارش ایران حاکم است. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، اردبیل فاقد هرگونه چرخه معنی‌دار و ایستگاه کرمانشاه با ۴ چرخه معنی‌دار، بیش‌ترین چرخه معنی‌دار را در سطح اطمینان ۹۵ درصد به خود اختصاص داد. بررسی الگوهای چرخه‌ای حاکم بر بارش ایران نشان از این است که جنوب‌شرق ایران رفتار متمایزی نسبت به سایر بخش‌هایی کشور دارد و چرخه‌های غالب در این بخش از کشور عمدتاً ۵-۳ ساله است. از طرف دیگر در جنوب و جنوب غرب نیز به‌طور مشخص تک چرخه‌های معنی‌دار تقریباً ۲/۵ ساله حاکم است که نشان می‌دهد الگویی جدا از جنوب شرق دارند. نکته مهم این‌که شباهتی در چرخه‌های غالب این منطقه از کشور مشاهده نمی‌شود که این امر گویای این مطلب است که چرخه‌های غالب این قسمت از کشور تحت تأثیر سامانه کلان‌مقیاس جوی اقیانوسی یکسان نیست. هم‌چنین متنوع‌ترین چرخه‌ها در امتداد کوه‌های زاگرس و هم‌چنین بخش‌های از شمال غرب مشاهده شده است که این وضعیت را می‌توان به علاوه بر توپوگرافی به دور و نزدیکی به دریا هم دانست. با این وجود می‌توان گفت که به‌طور کلی بارش ایران را می‌توان به‌لحاظ تحلیل الگوی چرخه‌ها به پنج ناحیه متمایز تقسیم کرد که در این بین کوتاه‌ترین و بلندترین چرخه‌ها به ترتیب مربوط به جنوب شرق و شمال کشور می‌باشد.

منابع

- تقوی، فرحناز؛ ناصری، محسن؛ ، بیات، بردیا؛ متولیان، سیدساجد و داود آزادی فرد (۱۳۹۰)، «تعیین الگوهای رفتار اقلیم در مناطق مختلف ایران بر اساس تحلیل طیفی و خوشه‌بندی مقادیر حدی بارش و دما»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۷۷: ۱۲۴-۱۰۹.
- جهانبخش، سعید و معصومه عدالت‌دوست (۱۳۸۷)، «تغییر اقلیم در ایران (مطالعه موردی: شاخص نوسانات اطلس شمالی به‌عنوان شاخصی از تأثیرات فعالیت خورشیدی بر تغییرات بارش آذربایجان)»، *سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران*. دانشگاه تبریز.
- چتفیلد، سی (۱۳۸۱)، «مقدمه‌ای بر تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی»، ترجمه حسنعلی نیرومند و ابوالقاسم بزرگ‌نیا، انتشارات فردوسی مشهد.
- عساکره، حسین (۱۳۸۸)، «تحلیل طیفی سری‌های زمانی دمای سالانه تبریز»، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، شماره ۹۴، ۵۰-۳۳.
- عساکره، حسین و رباب رزمی (۱۳۹۱)، «تحلیل تغییرات بارش سالانه شمال غرب ایران»، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، شماره ۳، ۱۶۲-۱۴۷.
- عساکره، حسین و رباب رزمی (۱۳۹۱)، «تحلیل تغییرات بارش سالانه شمال غرب ایران»، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، شماره ۳، صص ۱۴۷-۱۶۲.
- قلی‌زاده و محمد حسین قلی‌زاده و محمد دارند (۱۳۸۸)، «پیش‌بینی بارش ماهانه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۷۱، صص ۵۳-۶۱.
- یازجی، دانیال و نیستانی، ابوالفضل و فرحناز تقوی (۱۳۸۹)، «مجموعه مقالات چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران»، تهران ۲۱-۲۳ اردیبهشت ۸۹، موسسه ژئوفیزیک، صفحه ۵۷-۶۰.
- Arrigo, R.D, R.vilallba, G.wiles. (2001), "Tree-Ring Estimates of Pacific Decadal Climate Variability", *Climate Dynamics*, 18: 219-224.
- Azad, Sarita and T.S. Vigneshb and R. Narasimha, (2009), "Periodicities in Indian Monsoon Rainfall over Spectrally Homogeneous Regions", *Int. J. Climatol*, DOI: 10.1002/joc.2045.

- Earle M.D, K.E. Steele, D.W.C. Wang (1999), "Use of Advanced Directional Wave Spectra Analysis Methods", *Ocean Engineering* 26, pp 1421-1434.
- Ghil.M, M.R. Allen, M.D. Dettinger, K. Ide, D. Kondrashov, M. E. Mann, A.W. Robertson, Saunders, Y. Tian, F. Varadi, & P. Yiou (2001), "Advanced Spectral Methods for Climatic Time Series", *Reviews of Geophysics*, 40, 1, pp 1-1-1-41.
- Hartmann, S. Becker, & L. King, (2008), "Quasi-Periodicities in Chinese Precipitation Time Series", *Theor. Appl. Climatol*, 92, 155-163.
- Hegge, Gerhard Masselink (1996), "Spectral Analysis of Geomorphic Time Series: Auto-Spectrum", *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 21, 1021-1040.
- Kalaycı Serdar, M. Cagatay Karabork, and Ercan Kahya, (2004), "Analysis of EL NINO signals on Turkish streamflow and precipitation pattern using spectral analysis", *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 13, No. 8.
- Kane, R.P. and Teixeira. N.R. (1991), "Power Spectrum Analysis of the Annual Rainfall Series for Massachusetts (NE. U.S.A)", *Climatic Change*, 18: 89-94.
- Kristina I. Kirkyala and Sultan Hameed, (1989), "Harmonic Analysis of the Seasonal Cycle in Precipitation over the United States: A Comparison between Observations and a General Circulation Model", *J. Climate*, 2, 1463-1475.
- Lana.x & A. Burgueno (2000), "Statistical Distribution and Spectral Analysis of Rainfall Anomalies for Barcelona (NE Spain)", *Theor. Appl. Climatology*, 66, 211-227.
- Livada, I., Charalambous, M. & Asimakopoulos, N. (2008), "Spatial and Temporal Study of Precipitation Characteristics over Greece", *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 93, PP. 45-55.
- Olsen Lena Ringstad, Probal Chaudhuri, Fred Godtlielsen (2008), "Multistage Spectral Analysis for Detecting Short and Long Range

Change Points in Time Series”, *Computational Statistics and Data Analysis*, 52, 3310–3330.

Richard E. Chandler, (1997), “A spectral method for estimating parameters in rainfall models”, *Bernoulli*, Vol. 3, No 3 (1997), 301-322.

Spangenberg, A. & M. Bredemeier (1999), “Applications of Spectral Analysis to Meteorological and Soil Solution Chemistry Data”, *Chemosphere*, Vol. 39, No. 10, pp 1651-1665.

Wilks D.S, (2006), “*Statistical methods in the atmospheric sciences*”, Cornell University.

Yun-Ju. J, & Lee. J.Y. (2010), “Time Series Analysis of Hydrologic Data Obtained from a Man-Made Undersea LPG Cavern”, *Engineering Geology*, Vol. 113, pp 70-80.