

تحلیل طیفی و ناحیه‌بندی بادهای حدی ایران

همت‌اله رورده^{۱*}، یدالله یوسفی^۱، جمال قاسمی^۲

۱- استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه مازندران

۲- استادیار گروه مهندسی برق، دانشگاه مازندران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۹/۲۳

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۲۱

چکیده

تغییرپذیری بادهای حدی در راستای زمان و مکان بسیار پیچیده است. بادهای حدی می‌تواند هم یک پدیده مخرب و هم منبعی برای تولید انرژی باشد. در این بررسی سریع‌ترین باد در یک سال به عنوان باد حدی در نظر گرفته شد. دو هدف اصلی در این کار بررسی تغییرپذیری درون سالانه بادهای حدی و شناسایی تفاوت‌ها و شباهت‌های الگوهای آن با استفاده از تحلیل طیفی و خوشه‌بندی فازی در ایران است. برای این هدف از داده‌های ۴۰ ایستگاه همدیدی سازمان هواشناسی با دوره زمانی حداقل ۴۸ ساله (از بدو تاسیس تا سال ۲۰۱۴) استفاده شد. نتایج نشان داد میزان درصد تبیین واریانس هارمونیک اول (PVR1) در بیشتر ایستگاه‌های بررسی شده دارای بیشترین میزان بوده است. برای شناخت مناطق دارای الگوهای مشابه تغییرپذیری درون سالانه بادهای حدی ویژگی‌های طیف‌های اصلی شامل PVR1 و محتمل‌ترین زمان رخداد (T1) با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی مورد بررسی قرار گرفت. خوشه‌بندی نشان داد تفاوت‌های تغییرپذیری بادهای حدی قابل توجه است. گاهی ایستگاه‌های قرار گرفته در یک منطقه در خوشه‌های متفاوت از هم قرار می‌گیرند. نمونه قابل ذکر ایستگاه رامسر است که در خوشه‌ای متفاوت با بابلسر و رشت قرار گرفته است. همچنین ایستگاه‌های زابل و بوشهر در خوشه‌های منفرد قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: باد حدی، تحلیل طیفی، تغییرپذیری، خوشه‌بندی فازی.

مقدمه

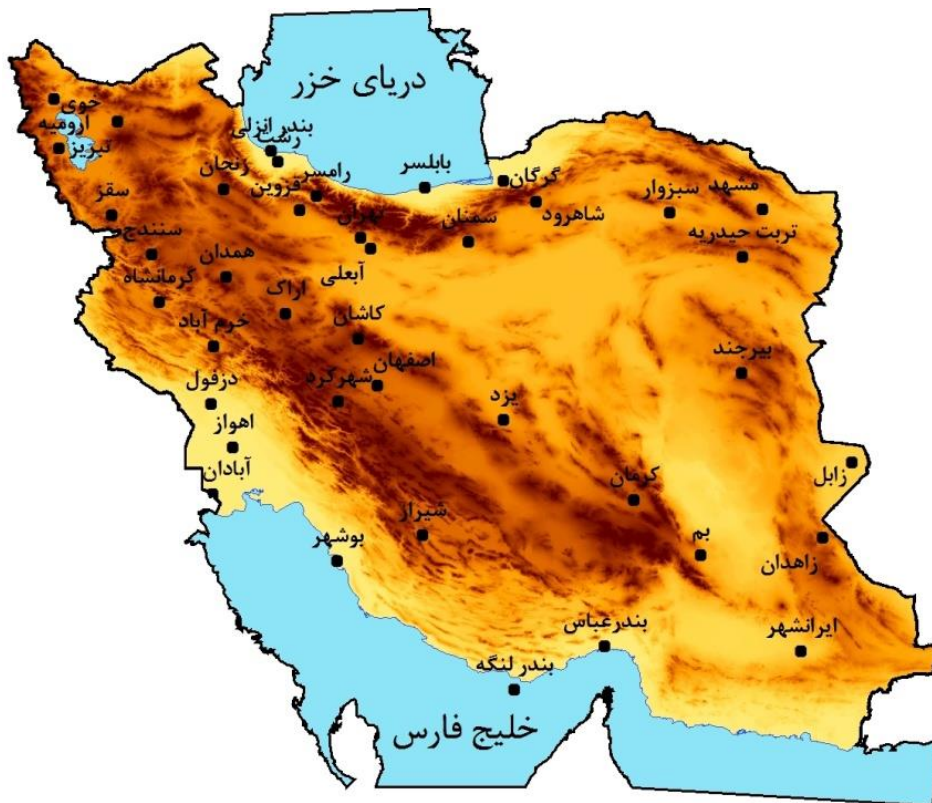
در ۱۹۶۳) با استفاده از تحلیل هارمونیک به بررسی رژیم‌های باد مداری و دما پرداختند. این بررسی نشان داد هارمونیک سوم که نشان‌دهنده نوسانی ۲۶ ماهه است، دارای بیشترین نمود در رفتار بادهای مداری است. سیراداش (۲۰۰۵) با استفاده از تحلیل هارمونیک به تجزیه و تحلیل سرعت باد روزانه در ترکیه پرداخت و تفاوت‌های رفتاری باد در مناطق مختلف ترکیه را مشخص نمود. شوچی (۲۰۰۶) به بررسی آماری باد در مناطق مرکزی ژاپن پرداخت و دریافت تابع نمایی به شکل بهتری توزیع احتمال سرعت باد را در این مناطق نشان می‌دهند. ناجید و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی داده‌های سرعت باد در سواحل شرقی مالزی برآزش سه مدل احتمال را با این داده‌ها بررسی نمودند و دریافتند که توزیع بور بهترین برآزش را با آنها نشان می‌دهد. در این بررسی از روش خوشه‌بندی فازی استفاده شد. یکی از کاربردهای خوشه‌بندی در اقلیم‌شناسی طبقه‌بندی و تشخیص مناطق دارای شباهت‌ها و تفاوت‌هاست. تقوی و همکاران (۱۳۹۰) با بهره‌گیری از روش تحلیل طیفی و خوشه‌بندی به تعیین الگوی رفتار مقادیر حدی بارش و دما در ایران پرداختند. بررسی آنها حاکی از تنوع رفتاری مقادیر حدی دما و بارش در ایران دارد. خسروی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی طبقه‌بندی دمایی ایران با استفاده از روش خوشه‌ای و زمین آمار پرداختند و کل ایران را به پنج منطقه براساس دما و بارش تقسیم نمودند. کشورهای آسیایی همچون چین و هند به واسطه بحران انرژی و جمعیت زیاد خود توجه ویژه‌ای به استفاده از این انرژی پاک و ارزان کرده و به توسعه امکانات جهت بهره‌برداری از آن اقدام نمودند. از دیگر کشورهای آسیایی دنباله‌رو در این خصوص مالزی است. برای بهره‌برداری دقیق‌تر از انرژی باد و اجتناب از اثرات زیان‌بار آن شناخت

در حقیقت اختلاف و تضادهای چهره‌های جغرافیایی در مکان‌ها و نواحی دنیا اساس و پایه مطالعات جغرافیایی است. کشف و بیان تشابه نسبی و اختلاف بین مکان‌ها از وظایف اصلی علم جغرافیاست (شکویی، ۱۳۸۸). اقلیم‌شناسی از شاخه‌های اصلی این علم است که همانند جغرافیا تفاوت‌های مکانی را بررسی و تبیین می‌کند (کاوایانی و علیجانی، ۱۳۸۲). داده‌های اقلیم‌شناسی از سه کمیت ویژگی، مکان و زمان ترکیب شده‌اند (علیجانی، ۱۳۸۱). باد از جمله عناصر اقلیمی است که دارای تغییرپذیری زمانی و مکانی زیادی است. بحث از باد و اثرات آن دارای دو رویکرد بسیار متفاوت است. کشورهای مختلف با توجه به وضعیت عمومی و شیوه‌های حاکم بر اقتصاد آنها نگرش متفاوتی در مواجهه با این پدیده طبیعی دارند. در کشورهای پیشرفته باد به عنوان یکی از منابع مهم انرژی نو و در عین حال در کشورهایی که قادر به استفاده از این انرژی ارزان نمی‌باشند، بادهای حدی و تندبادها به عنوان یک عامل مخرب به حساب می‌آید که باعث ایجاد خسارت به ویژه در بخش حمل و نقل، آتش‌سوزی شهری، از بین رفتن محصولات و دام‌ها و حتی مرگ و میر انسان‌ها می‌شوند (برایان، ۲۰۰۵). بحث از مقادیر حدی مولفه‌های جوی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. در این میان شناخت بادهای حدی می‌تواند در جهت بهره‌برداری صحیح و کارآمد از انرژی آن بسیار مفید باشد. انرژی باد در بخش دریانوردی و کشاورزی در قرن‌های گذشته به میزان زیادی مورد استفاده قرار می‌گرفت. همچنین به واسطه تجدیدپذیر بودن انرژی حاصل از آن امروزه مورد توجه بسیاری از برنامه‌ریزان و دانشمندان قرار گرفته است. برای شناخت الگوهای رفتاری باد در دنیا مطالعات زیادی انجام شد. آنجل و کورشور

آماری و الگوهای رفتاری باد و تفاوت‌های مکانی این الگوها به ویژه بادهای حدی می‌تواند بسیار مفید باشد. ایران نیز به واسطه در اختیار داشتن این انرژی ارزان و در برخی موارد مخرب دارای شرایط خاصی است. شناخت و بررسی الگوهای باد به ویژه بادهای حدی می‌تواند در بهره‌برداری بهتر از آن بسیار مفید باشد. یکی از اصلی‌ترین کاربردهای تحلیل هارمونیک توصیف ویژگی‌ها و تشخیص مکان‌های با ویژگی‌های مشابه می‌باشد (باری و کارلتون، ۲۰۰۲). هدف این پژوهش بهره‌گیری از روش تحلیل هارمونیک برای بررسی تغییرپذیری درون سالانه بادهای حدی و شناخت تشابهات و تفاوت‌های مکانی و زمانی آن با خوشه‌بندی فازی در پهنه ایران است.

مواد و روش‌ها

موضوع اصلی مورد بحث در این مقاله شناخت تغییرپذیری درون سالانه باد حدی و شناخت تشابهات و تفاوت‌های مکانی تغییرپذیری آن در ایران است. در این بررسی از داده‌های ایستگاه‌هایی که دارای تعداد سال‌های آماری کاملی بودند، استفاده شد. برای این هدف از داده‌های ۴۰ ایستگاه همدیدی سازمان هواشناسی با دوره زمانی حداقل ۴۸ ساله (از بدو تاسیس تا سال ۲۰۱۴) استفاده شد (شکل ۱).



شکل ۱: پراکنندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ft فراوانی رخداد بیشینه ماهانه را برای ماه‌های مختلف نشان می‌دهد. دامنه هر هارمونیک Ck (جنکینز و واتز، ۱۹۸۰) از رابطه ۴ بدست می‌آید:

رابطه ۴)

$$C_k = [A_k^2 + B_k^2]^{1/2}$$

واریانس هر هارمونیک V_k را می‌توان از رابطه ۵ (لیوادا و همکاران، ۲۰۰۸) بدست آورد:

رابطه ۵)

$$V_k = \frac{C_k^2}{2}$$

و درصد واریانس (PVR) هر هارمونیک از رابطه ۶ قابل محاسبه است:

رابطه ۶)

$$PVR(k) = V_k / \sum_1^6 V_k$$

زاویه فاز هر هارمونیک Φ_k را نیز می‌توان (ویلکس، ۲۰۰۶) از رابطه ۷ محاسبه نمود:

رابطه ۷)

$$\Phi_k = \begin{cases} \tan^{-1}(B_k/A_k), & A_k > 0 \\ \tan^{-1}(B_k/A_k) \pm \pi, \text{ or } \pm 180^\circ, & A_k < 0 \\ \frac{\pi}{2}, \text{ or } 90^\circ, & A_k = 0 \end{cases}$$

و محتمل‌ترین زمان رخداد بیشینه هر هارمونیک T_k نیز به وسیله رابطه ۸ بدست خواهد آمد:

رابطه ۸)

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

اولین هارمونیک یک چرخه منفرد سالانه با بزرگترین دامنه را در مقایسه با دیگر هارمونیک‌ها نشان می‌دهد. دومین هارمونیک یک تغییر شبه سالانه را نشان می‌دهد، در حالی که سومین هارمونیک تغییرات فصلی ۴ ماهه با جزئیات بیشتر را نشان خواهد داد. در واقع هارمونیک یک شاخص از الگوهای تغییرپذیری درون سالانه فراوانی‌های بررسی شده است. در نهایت مقادیر T_k نیز حرکت

جهت بررسی تغییرپذیری درون سالانه مقادیر بیشینه باد در این منطقه از روش تحلیل هارمونیک استفاده شد. تحلیل هارمونیک یک روش بررسی طیفی است که معمولاً برای مطالعه تغییرات دوره-ای به کار می‌رود و شامل نمایش نوسانات یا تغییرات در یک سری زمانی است که از مجموع توابع سینوسی و کسینوسی به دست می‌آید (کرکایلا و حمید، ۱۹۸۹؛ ویلکس، ۲۰۰۶). تحلیل هارمونیک تکنیکی قدرتمند در تجزیه سری زمانی به مجموعه‌ای از مولفه‌ها با واریانس کوچکتر از داده‌های ثبت شده اصلی است (سیراداس، ۲۰۰۵). هدف از کاربرد تحلیل هارمونیک برای فراوانی مقادیر حدی باد در این کار تعیین مولفه‌های ویژه واریانس‌های این فراوانی‌ها در ایران است. از تحلیل هارمونیک می‌توان برای نشان دادن مناطق با الگوهای سالانه مشابه از پارامترهای مورد آزمایش استفاده نمود (باری و پری، ۱۹۷۳). برای مقادیر ماهانه فراوانی‌های بادهای حدی بررسی شده f_t تحلیل هارمونیک به صورت رابطه ۱ نوشته می‌شود:

رابطه ۱)

$$\hat{f}_t = \bar{f} + \sum_{k=1}^6 \left(A_k \cos \frac{2\pi}{12} kt + B_k \sin \frac{2\pi}{12} kt \right)$$

که A_k و B_k ضرایب هارمونیک‌ها ($k=1, 2, \dots, 6$) هستند. این ضرایب به صورت روابط ۲ و ۳ (بارافز، ۲۰۰۳) هستند:

رابطه ۲)

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

و

رابطه ۳)

$$B_k = \frac{1}{6} \sum_{t=1}^6 f_t \sin \left(\frac{2\pi}{12} kt \right)$$

زمانی فراوانی بیشینه درامتداد محور زمان را نشان می دهد (جدول ۱).

جدول ۱: رابطه میان زاویه فاز و هنگام رخداد در امتداد محور زمان (لیوآدا و همکاران، ۲۰۰۸)

T _k	۱/۵	۱	۰/۵	۰	-۰/۵	-۱	-۱/۵
زمان	اول فوریه	۱۵ ژانویه	اول ژانویه	۱۵ دسامبر	اول دسامبر	۱۵ نوامبر	اول نوامبر

ایده اولین بار توسط بزداک معرفی شد (بزداک، ۱۹۸۱). عضویت الگوها در خوشه‌های اطلاعاتی بر اساس میزان مشابهت الگوی مربوطه به یک خوشه نسبت به همه خوشه‌ها در نظر گرفته می‌شود. تابع هدف (J_s) در FCM کلاسیک که داده‌ها را به تعداد C خوشه تقسیم‌بندی می‌کند از رابطه ۹ به دست می‌آید:

جهت بررسی مناطق دارای همانندی تغییرات درون سالانه بادهای حدی ایستگاه‌ها از روش خوشه‌بندی فازی استفاده شد. هدف اصلی تحلیل خوشه‌های کاهش تنوع و یا واریانس درون‌گروهی و افزایش واریانس بین گروهی است (علیجانی، ۱۳۸۵؛ امیراحمدی و عباس‌نیا، ۱۳۸۹). خوشه‌بندی فازی (FCM) نسخه توسعه داده شده خوشه‌بندی K-Means است که در آن برای هر ورودی برای همه خوشه‌ها عضویت در نظر گرفته می‌شود. این رابطه ۹)

$$J_s(u, v) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^s d^2(x_j, v_i) \quad \text{subject to} \quad \sum_{i=1}^c u_{ij} = 1 \quad \& \quad u_{ij} \in [0, 1]$$

J امین الگو به i امین خوشه است. علاوه بر این v_i مرکز i امین خوشه فازی است. d مشابهت بردار ویژگی x_j را نسبت به مرکز خوشه v_i در فضای ویژگی‌ها نشان می‌دهد که معمولا از فاصله اقلیدسی به صورت رابطه ۱۰ استفاده می‌شود:

به طوری که $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ یک ماتریس $p \times n$ مبین داده‌های ورودی است. P طول بردار ویژگی x_j و n تعداد بردارهای ویژگی است. در رابطه ۱۰، s ضریب فازی سازی است که معمولا $s = 2$ انتخاب می‌گردد. u_{ij} بیانگر عضویت رابطه ۱۰)

$$d^2(x_j, v_j) = \|x_j - v_j\|^2$$

تابع هدف J_s از آن نسبت به u و v مشتق گرفته شده و حاصل برابر صفر قرار داده می‌شود. پس از این عملیات، شرایط مینیمم نمودن تابع هدف به صورت روابط ۱۱ و ۱۲ به دست می‌آید:

برای کمینه نمودن تابع هدف به منظور دستیابی به بهترین خوشه‌بندی، باید عضویت بالاتر به نمونه‌ای که به یک خوشه شباهت بیشتری دارد تخصیص یابد و به تبع آن به نمونه‌ای که به یک خوشه کمتر شباهت دارد، عضویت کمتری تخصیص یابد. برای به دست آوردن رابطه‌ای به منظور مینیمم نمودن

رابطه (۱۱)

$$u_{ij} = \left(\sum_{k=1}^c \left(\frac{d(x_j, v_i)}{d(x_j, v_k)} \right)^{\frac{2}{(s-1)}} \right)^{-1}$$

رابطه (۱۲)

$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}^s x_j}{\sum_{j=1}^n u_{ij}^s}$$

است. به طور مشخص در بخش‌های جنوب شرقی و مرکز کشور میزان PVR1 دارای مقدار قابل توجهی است. نکته بسیار جالب توجه اختلاف در میزان T1 ایستگاه‌های مختلف است. در شمال کشور علی‌رغم این که میزان PVR1 نسبتاً بالاست (شکل ۲ الف) اما در میزان T1 اختلاف زیادی با دیگر مناطق وجود دارد. در بیشتر بخش‌های داخلی ایران میزان T1 ارزشی میان ۳ و ۴ دارد که بیان‌گر زمانی از مارس تا آوریل است. در شمال شرق که میزان PVR1 به صورت یکپارچه همانند است، هماهنگی T1 نیز وجود دارد. این همانندی و همسانی در جنوب غرب کشور نیز مشاهده می‌گردد. در جنوب شرق کشور میزان اختلاف بسیار چشمگیر است. علی‌رغم همسانی در میزان PVR1 در این بخش اختلاف میزان T1 میان ایستگاه‌های نزدیک به هم بسیار زیاد است. در ایستگاه‌هایی چون ایرانشهر و زابل میزان T1 نشان دهنده محتمل‌ترین زمان رخداد هارمونیک اول در ماه‌های ژولای و آگوست است اما در زاهدان که از لحاظ مکانی دارای فاصله چندانی با آنها نمی‌باشد، میزان T1 نشان دهنده زمانی در حدود مارس و آوریل است (شکل ۲ ب).

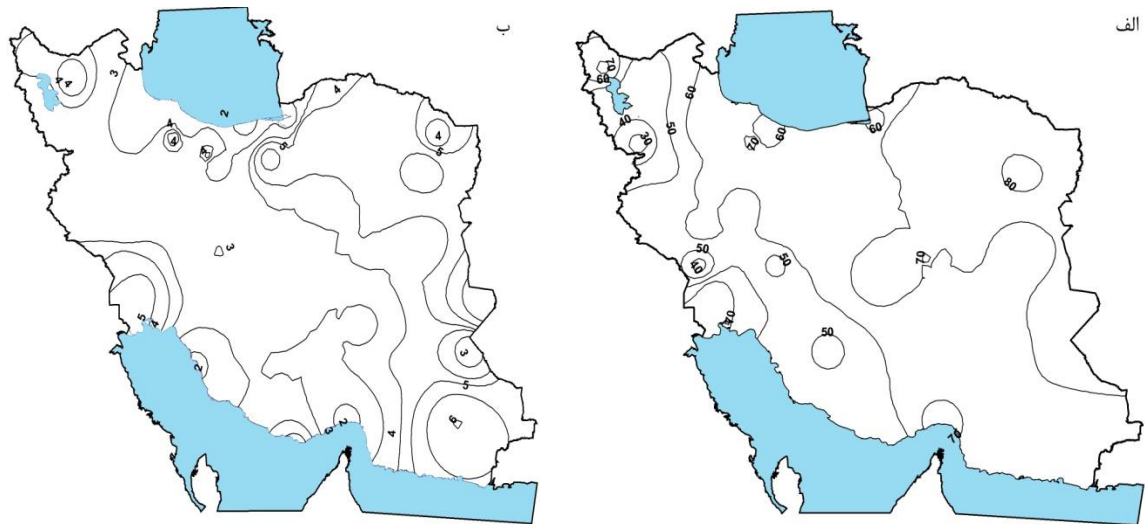
طبق رابطه ۱۱ همه نمونه‌های ورودی به همه خوشه تخصیص داده شده و عضویت آنها محاسبه می‌شود. سپس با توجه به رابطه ۱۲ و با توجه به تقسیم‌بندی صورت گرفته، مراکز جدید خوشه‌ها محاسبه می‌شوند. این فرایند تکراری تا تحقق شرایط دلخواه ادامه پیدا می‌کند. یکی از این شرایط می‌تواند $v(t) - v(t-1) < \epsilon$ باشد، به این معنی که هرگاه اختلاف بین مراکز خوشه‌ها در دو مرحله پشت سر هم از یک عددی مثل ϵ کوچکتر گردید، فرایند تکرار متوقف شده و نمونه‌ها به خوشه‌ای که بیشترین مقدار عضویت را به خود اختصاص داده، تعلق می‌گیرند (قاسمی، ۱۳۹۱).

نتایج

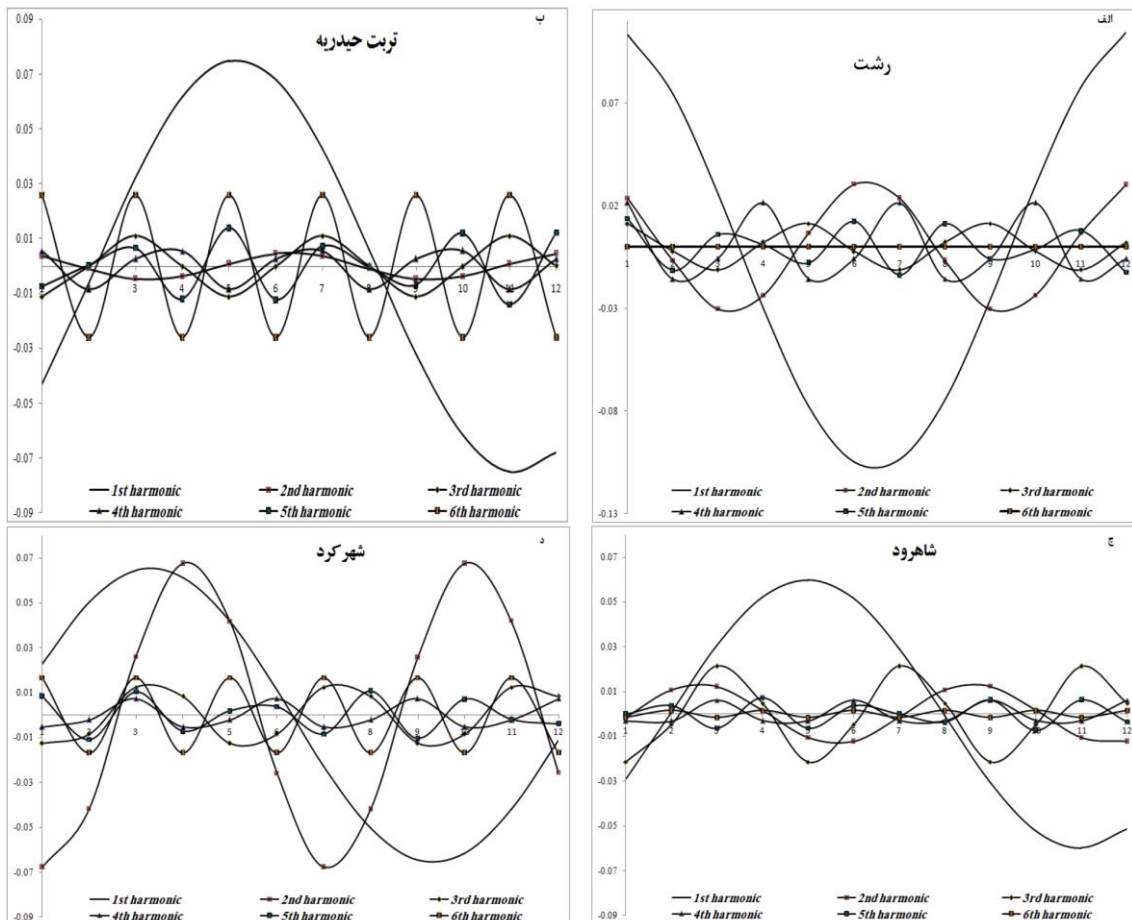
از مجموع ایستگاه‌های بررسی شده از طریق تحلیل هارمونیک مشخص گردید به جز در چند ایستگاه توان طیفی هارمونیک اول دارای بیشترین نقش در توضیح واریانس داده‌های رخداد سریعترین بادهای هستند.

هارمونیک اول

در بیشتر مناطق میزان PVR1 بیش از ۶۰٪ را به خود اختصاص داده است. در بخش‌های جنوبی، غرب و شمال غرب میزان آن از دیگر مناطق کمتر



شکل ۲: الف) خطوط پربند درصد واریانس هارمونیک اول (PVR1) ب) خطوط پربند زمان وقوع حداکثر مولفه هارمونیک اول (T1).



شکل ۳: نمودارهای هارمونیک اول تا ششم ایستگاه‌های نمونه

و مرکز بیشتر است اما عموماً در نیمه غربی این میزان کاهش یافته و هارمونیک‌های بالاتر نیز سهم

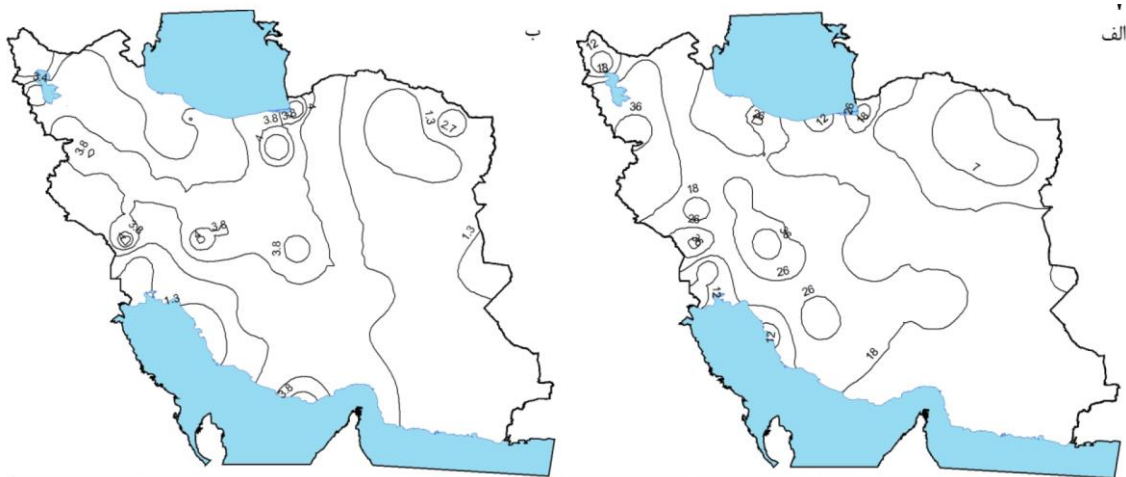
عموماً نقش هارمونیک اول در تبیین واریانس بادهای حدی در شمال، جنوب شرق، شمال شرق

دوم در مقایسه با هارمونیک اول میزان PVR2 بر روی منطقه مشخص گردید. میزان PVR2 در بخش‌های مختلف کشور به جز در غرب کشور دارای مقادیر زیادی نیست. تفاوت T2 نیز چندان زیاد نمی‌باشد.

نسبتاً زیادی را به خود اختصاص می‌دهند (جدول شماره ۲ تا ۵ و شکل شماره ۵).

هارمونیک دوم

جهت نشان دادن اختلاف میان هارمونیک اول و سهم نقش هارمونیک‌های دیگر به ویژه هارمونیک



شکل ۴: الف) خطوط پربند درصد واریانس هارمونیک دوم (PVR2) ب) خطوط پربند زمان وقوع حداکثر مولفه هارمونیک دوم (T2)

جدول ۲: هارمونیک‌های اول تا ششم ایستگاه رشت

T_k	ϕ_k	$CPVR_k$	PVR_k	V_k	C_k	B_k	A_k	k
0.4566	13.6992	0.8637	0.8637	0.0058	0.1078	0.0255	0.1047	1
0.2964	17.7837	0.9396	0.0758	0.0005	0.0319	0.0098	0.0304	2
0.8743	78.6901	0.9494	0.0098	0.0001	0.0115	0.0113	0.0023	3
0.8725	104.7047	0.9860	0.0366	0.0002	0.0222	0.0215	-0.0056	4
1.0269	154.0277	1.0000	0.0140	0.0001	0.0137	0.0060	-0.0123	5
0.5000	90.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6

جدول ۳: هارمونیک‌های اول تا ششم ایستگاه تربت‌حیدریه

T_k	ϕ_k	$CPVR_k$	PVR_k	V_k	C_k	B_k	A_k	k
5.1523	154.5679	0.8386	0.8386	0.0028	0.0752	0.0323	-0.0679	1
0.3184	19.1066	0.8422	0.0036	0.0000	0.0049	0.0016	0.0046	2
-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.0000	-90.0000	0.8605	0.0183	0.0001	0.0111	0.0111	0.0000	3
0.5908	70.8934	0.8712	0.0107	0.0000	0.0085	0.0080	0.0028	4
0.1883	28.2385	0.9002	0.0290	0.0001	0.0140	0.0066	0.0123	5
1.0000	180.0000	1.0000	0.0998	0.0003	0.0259	0.0000	-0.0259	6

جدول ۴: هارمونیک‌های اول تا ششم ایستگاه شاهرود

T_k	ϕ_k	$CPVR_k$	PVR_k	V_k	C_k	B_k	A_k	k
4.9691	149.0723	0.8270	0.8270	0.0018	0.0599	0.0308	-0.0514	1
2.6098	156.5868	0.8679	0.0410	0.0001	0.0133	0.0053	-0.0122	2
-						-		
0.8656	-77.9052	0.9785	0.1106	0.0002	0.0219	0.0214	0.0046	3
0.0000	0.0000	0.9871	0.0086	0.0000	0.0061	0.0000	0.0061	4
						-		
1.5979	239.6848	0.9995	0.0123	0.0000	0.0073	0.0063	-0.0037	5
0.0000	0.0000	1.0000	0.0005	0.0000	0.0015	0.0000	0.0015	6

جدول ۵: هارمونیک‌های اول تا ششم ایستگاه شهرکرد

T_k	ϕ_k	$CPVR_k$	PVR_k	V_k	C_k	B_k	A_k	k
3.3194	99.5828	0.4449	0.4449	0.0021	0.0655	0.0646	-0.0109	1
						-		
4.1265	247.5891	0.9292	0.4842	0.0023	0.0683	0.0631	-0.0260	2
-						-		
0.6257	-56.3099	0.9526	0.0234	0.0001	0.0150	0.0125	0.0083	3
-						-		
0.1158	-13.8979	0.9585	0.0059	0.0000	0.0075	0.0018	0.0073	4
0.7296	109.4385	0.9712	0.0127	0.0001	0.0111	0.0104	-0.0037	5
1.0000	180.0000	1.0000	0.0288	0.0001	0.0167	0.0000	-0.0167	6

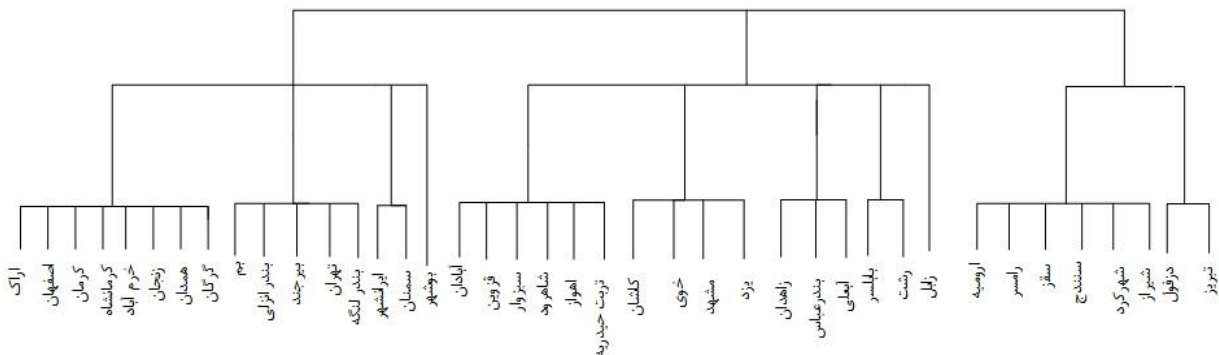
خوشه‌بندی فازی

یکی از کاربردهای اساسی تحلیل هارمونیک نشان دادن مناطق دارای تغییرپذیری مشابه است. قدرت هارمونیک اول در تبیین واریانس داده‌ها در بیشتر ایستگاه‌ها بارزتر بوده است. برای دسته‌بندی مناطق با شباهت بیشتر از نظر تغییرپذیری درون سالانه غالب از روش خوشه‌بندی فازی با استفاده از پارامترهای PVR1 و T1 تمامی ایستگاه‌ها انجام شد. نتایج نشان می‌دهد هر چند خوشه‌ها از نظر توزیع فضایی متفاوت هستند، اما از نظر تغییرات درون سالانه بادهای حدی می‌توانند نواحی با ویژگی‌های همگن را شکل دهند. بسیاری از

ایستگاه‌ها از نظر تغییرپذیری غالب درون سالانه دارای ویژگی‌های یکسانی هستند اما از نظر زمانی (T1) متفاوت هستند. به طور مثال ایستگاه‌های رشت و تربت‌حیدریه دارای هارمونیک اول همسان از لحاظ میزان تبیین واریانس هستند اما میزان T1 متفاوتی دارند (شکل ۳). از اینرو با استفاده از خوشه‌بندی فازی طی دو مرحله در ابتدا ایستگاه‌های دارای همسانی از لحاظ PVR1 دسته‌بندی شدند و برای نشان دادن تفاوت‌های زمانی از T1 در مرحله دوم برای خوشه‌بندی فازی استفاده شد و در نهایت ایستگاه‌های دارای همسانی از نظر PVR1 و T1 مشخص گردیدند (شکل ۵). از نکات قابل توجه در این خوشه‌بندی قرارگیری دو ایستگاه بابلسر و

باشد و در خوشه آنها قرار گیرد. الگوهای تغییرپذیری درون سالانه مقادیر حدی باد آن کاملاً متفاوت با ایستگاه‌های مجاور است. همچنین دو ایستگاه زابل و بوشهر نیز دارای شباهت‌های بسیار کمی با مناطق اطراف خود هستند.

رشت در یک خوشه می‌باشد. این نشان می‌دهد این دو ایستگاه از لحاظ تغییرپذیری بادهای حدی مشابه می‌باشند. ایستگاه رامسر که دارای نزدیکی مکانی با دو ایستگاه رشت و بابلسر است و انتظار بر این بود که دارای رفتار مشابه با این دو ایستگاه



شکل ۵: نمودار خوشه‌بندی ایستگاه‌ها

بیشتر مناطق کشور به طور نسبی دارای فصل مشخصی هستند. فصلی بودن تغییرپذیری داده‌های سریع‌ترین بادهای در شمال کشور مناطق میانی و جنوب شرقی کشور از دیگر مناطق بارزتر است. با وجود این محتمل‌ترین زمان رخداد اولین هارمونیک علی‌رغم فاصله مکانی بسیار کم دارای تفاوت‌های بسیاری به ویژه در بیشتر مناطق ایران می‌باشد. یکی از نکات قابل تامل در این خصوص اینست که با توجه به الگوهای مشخص تر مقادیر حدی باد و داشتن دو دوره مشخص زمانی درون سالانه به ویژه در جنوب شرق کشور تمرکز بر روی بهره‌برداری در مواقعی که احتمال وقوع رخداد هارمونیک اول بیشتر می‌باشد و به عبارتی توان طیفی هارمونیک اول دارای میزان بیشتری است، می‌تواند بسیار مفید واقع شود. درنهایت در خصوص تغییرپذیری بادهای حدی ایران می‌توان به نتایج به دست آمده زیر اشاره نمود: ۱- در بیشتر مناطق ایران هارمونیک اول بیشترین نقش را در توضیح واریانس داده‌های حدی باد ایفاء

نتیجه‌گیری

باد از جمله کمیت‌های اقلیمی است که از نظر رفتار در حوزه زمان و مکان در ایران دارای تغییرپذیری بالایی است. تا جاییکه بعضی از فضاهای جغرافیایی با شرایط ظاهری یکسان و فواصل مکانی نزدیک، تفاوت‌های عمده‌ای از نظر عناصر اقلیمی با یکدیگر دارند. برای بیان این تفاوت و تشابهات از تحلیل طیفی و خوشه‌بندی فازی استفاده شد. تحلیل هارمونیک در این تحقیق با جداسازی منحنی اصلی تغییرات داده‌ها به مولفه‌های اصلی به شکل هارمونیک‌ها تغییرپذیری داده‌های باد بیشینه را با جزئیات بیشتر نمایش داد. سهم نسبی و توان طیفی هر یک از هارمونیک‌ها، شکل خاصی از تغییرپذیری را مشخص کرد. شش هارمونیک به دست آمده در این تحقیق الگوی غالب تغییرپذیری زمانی رخدادهای باد بیشینه را تبیین کرد. از آنجا که سهم نسبی هارمونیک اول در توضیح واریانس داده‌های سریع‌ترین بادهای بیشتر از دیگر هارمونیک‌هاست، بیان‌گر این موضوع است که سریع‌ترین بادهای در

در ناحیه‌بندی اقلیمی ایران بر اساس ۴۹ متغیر، رامسر مجزا از سایر ایستگاه‌های سواحل جنوبی دریای خزر قرار گرفته است (علیجانی، ۱۳۸۱). شاید دلیل احتمالی آن توپوگرافی خاص رامسر است که کمترین فاصله بین کوه و دریا را بین ایستگاه‌های مورد مطالعه در منطقه داراست.

۵- برنامه‌ریزان ناحیه‌ای با توجه به یافته‌های این تحقیق می‌توانند در تدوین برنامه‌های مربوط به باد به خصوص بادهای حدی جهت استفاده بهینه در بخش انرژی و استفاده از توان باد در طراحی سکونتگاه‌های شهری و روستایی و نیز مجتمع‌های صنعتی و یا مخاطراتی که در این بخش‌ها ایجاد نماید استفاده نمایند. با توجه به الگوی متفاوت به دست آمده در این تحقیق هر کدام از خوشه‌ها نیاز به برنامه‌ریزی خاصی دارد. به طوری که نمی‌توان این برنامه‌ریزی مربوط به باد را برای نواحی دیگر به کار بست. به طور مثال برنامه‌ریزی که براساس داده‌های ایستگاه‌های رشت و بابلسر تدوین می‌گردد قابل تعمیم به ایستگاه رامسر نخواهد بود. برای هر یک از خوشه‌های حاصله در این تحقیق نیاز به برنامه خاصی است که در استفاده بهینه از زمان و هزینه مفید می‌باشد، زیرا به جای چهل برنامه مجزا به تعداد ایستگاه‌های مورد مطالعه، تنها یازده برنامه به تعداد خوشه‌های حاصله در این تحقیق، کافی است.

در مناطق مختلف ایران بر اساس تحلیل طیفی و خوشه‌بندی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۷، ص ۱۰۹-۱۲۴.

-خسروی، م.، دوستکامیان، م.، میرموسوی، ح.، بیات، ع. و بیگ رضایی، ا.، ۱۳۹۳. طبقه‌بندی دما و بارش در ایران زمین با استفاده از روش‌های زمین-آمار و تحلیل خوشه‌ای، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، شماره ۱۳، سال چهارم، ص ۱۲۱-۱۳۲.

می‌کند که نشان دهنده تغییرات غالب سالانه باد بیشینه در بیشتر مناطق ایران است.

۲- گرچه الگوهای تناوبی بادهای حدی دارای تشابهات نسبی در میزان PVR1 می‌باشند اما تفاوت‌های زمانی در محتمل‌ترین زمان رخداد T1 در آنها بسیار متفاوت و بارز است.

۳- با انجام خوشه‌بندی فازی مناطق منفرد از لحاظ تغییرپذیری زمانی رخدادهای حدی باد مشخص شدند. به طوری که زابل و بوشهر به صورت منفرد در یک خوشه قرار گرفته‌اند. این دو ایستگاه هم از لحاظ میزان تبیین واریانس هارمونیک اول و هم میزان T1 دارای تفاوت‌های آشکاری با دیگر ایستگاه‌های مورد بررسی بوده‌اند.

۴- یکی از نکات قابل توجه در این بررسی قرارگیری ایستگاه رامسر در خوشه متفاوت با ایستگاه‌های همجوار مانند رشت و بابلسر است. با توجه به موقعیت مکانی این ایستگاه و قرارگیری آن در سواحل جنوبی دریای خزر انتظار بر این بود که به لحاظ تغییرپذیری بادهای حدی شبیه به ایستگاه‌های رشت و بابلسر باشد، اما کاملاً رفتای متفاوت نشان می‌دهد. بررسی‌های انجام شده در مورد مقادیر حدی دیگر پارامترهای حدی اقلیمی همچون دما و بارش حدی نیز این تفاوت در الگوی تغییرپذیری رامسر را نشان می‌دهد (تقوی و همکاران، ۱۳۹۰؛ یوسفی و همکاران، ۲۰۱۳). حتی

منابع

-امیراحمدی، ا. و عباس‌نیا، م.، ۱۳۸۹. ناحیه‌بندی آب و هوایی استان اصفهان با استفاده از روش‌های نوین آماری، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال اول، شماره اول، ص ۷۳-۵۷.

-تقوی، ف.، ناصری، م.، بیات، ب.، متولیان، س. و آزادی‌فرد، د.، ۱۳۹۰. تعیین الگوهای رفتار اقلیم

- قاسمی، ج.، ۱۳۹۱. قطعه‌بندی فازی ام‌آرای مغز-مبتنی بر نظریه شواهد، پایان‌نامه دوره دکتری رشته الکترونیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، اساتید راهنما دکتر محمد رضا کرمی ملایی و دکتر رضا قادری.
- Angell, J. K. and Korshover, I., 1963. Harmonic Analysis Of The Biennial Zonal-Wind and Temperature Regimes, Monthly Weather Review.
- Bali, T. G., 2003. The generalized extreme value distribution Economics, New York, Letters, v. 79, p. 423-427.
- Barry, R.G. and Carleton, A. M., 2002. Synoptic and Dynamic Climatology, New York.
- Barry, R.G. and Perry, A. H., 1973. Synoptic climatological methods and applications, Methuen & Co Ltd., London.
- Bezdek, J. C., 1981. Pattern Recognition With Fuzzy Objective Function Algorithms, New York, London, Plenum Press, 256 p.
- Bryant, E., 2005, Natural Hazards, Cambridge University Press, New York, 551 p.
- Burroughs, W. J., 2003. Weather Cycles Real or Imaginary? (Second edition), Published in the United States of America by Cambridge University Press, New York, 317 p.
- Chow, V.T., Maidment, D. R. and Mays, L. W., 1998. Applied Hydrology, McGraw Hill Book Company Singapore, 555 p.
- Jenkins, M.G., and Watts, D., 1980. Spectral Analysis and its Applications Holden-Day, London, San Francisco, 525 p.
- Jenkinson, A.F., 1955, The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements, Quart J Roy Meteorol Soc, v. 81, p.158-171.
- Kirkyala, K. and Hameed, S., 1989. Harmonic Analysis of seasonal cycle in precipitation over the United States, a comparison between observations and a general circulation model, Journal of climate, v. 2, p.1463-1475.
- Kotz, S. and Nadarajah, S., 2000. Extreme Value Distributions Theory and Applications, London, 185 p.
- Lamb, H. H., 1990. Climate: Past, Present and Future, publisher: Methuen, New York, Barnes & noble, London, 85 p.
- Livada, I., Charalambous, G. and Asimakopoulos, D.N., 2008. Spatial and temporal study of precipitation characteristics over Greece, Netherlands Theor, applied climatology, v. 93, p. 45-55.
- Najid, Kh., Zaharim, A., Razali, A.M., Zainol, M.S., Kamarulzaman, I. and Kamaruzzaman, S., 2009. Analyzing the East Coast Malaysia Wind Speed Data International Journal of Energy And Environment, v. 2(3), p. 53-60.
- Ramachandra Rao, A. and Hamed Khaled, H., 2000. Flood Frequency Analysis, United States of America, CRC Press, 208 p.
- Shoji, T., 2006. Statistical and geostatistical analysis of wind: A case study of direction statistics, Computers & Geosciences, v. 32, p. 1025-1039.
- Sirdas, S., 2005. Daily Wind Speed Harmonic Analysis for Marmara
- علیجانی، ب.، ۱۳۸۱. اقلیم‌شناسی سینوپتیک، چاپ اول، انتشارات سمت، تهران، ۲۵۷ ص.
- شکویی، ح.، ۱۳۸۸. فلسفه جغرافیا، انتشارات گیتاشناسی، چاپ چهاردهم، تهران، ۳۱۳ ص.
- کاویانی، م. و علیجانی، ب.، ۱۳۸۲. مبانی آب و هواشناسی، سمت، چاپ نهم، تهران، ۵۸۲ ص.

Region in Turkey, Energy Conversion and Management, v. 46, p. 1267-1277.

-Wilks, D.S., 2006. Statistical methods in the atmospheric sciences: an introduction, Academic Press, San Diego, 704 p.

-Yousefi, Y., Mohammadi, H., Azizi, Gh., Taghavi, F., Masomnia, A., Roradeh, H. and Masoonpour, J., 2013. Spatial And Temporal Study Of Extreme Precipitation Over North Of IRAN Global NEST Journal, v. 15(3), p. 305-314.