

تغییر پذیری زمانی و مکانی بیشینه بارش ماهانه در بخش‌های جنوبی دریای خزر

حسین محمدی - استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

قاسم عزیزی - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

فرخناز تقوی - استادیار مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

یدالله یوسفی* - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۸۹/۷/۱۱ تأیید نهایی: ۱۳۹۰/۲/۲۸

چکیده

تغییرپذیری دما و بارش از ویژگی‌های اصلی اقلیم به شمار می‌آید. به ویژه بارش در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف دارای تغییرات بسیاری است. بررسی تغییرپذیری درون سالانه فراوانی بارش بیشینه ماهانه در مناطق جنوبی دریای خزر موضوع مقاله حاضر است. برای این منظور از داده‌های ۳۲ ایستگاه (همدیدی سازمان هواشناسی و باران‌سنجی وزارت نیرو) که دارای ۴۰ سال آمار پیوسته (۲۰۰۶-۱۹۶۷) است، استفاده شده است. بررسی اولیه نشان می‌دهد که به طور نسبی در ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر بارش بیشینه ماهانه در بیشتر بخش‌های منطقه رخ می‌دهد. به منظور بررسی دقیق‌تر و نشان دادن تناوب بارش از روش هارمونیک استفاده گردید. روش هارمونیک نشان داد که بیشترین درصد توضیح واریانس به وسیله هارمونیک اول به میزان بیش از ۷۰ درصد در بخش‌های ساحلی مناطق مرکزی و غربی این منطقه مشاهده می‌شود. در این بخش‌ها تغییرات درون سالانه بارش بیشینه ماهانه طی دوره مورد بررسی عموماً به صورت سالانه صورت می‌گیرد. در بخش‌های کوهستانی و شرقی به هارمونیک‌های سوم و چهارم برای توضیح واریانس نیاز است و در بعضی از موارد تا هارمونیک ششم نیز برای توضیح واریانس به کار می‌رود، که نشان از تغییرپذیری زیاد و عدم یکنواختی بارش در این مناطق دارد. بیشترین PVR(1) به میزان ۸۲ درصد متعلق به ایستگاه رشت و کمترین میزان PVR(1) به میزان حدود ۱۰ درصد مربوط به ایستگاه نمارستاق است. میزان PVR که نشان‌دهنده میزان توضیح‌دهندگی واریانس است، در هارمونیک اول نشان‌دهنده تغییرات سالانه است. در ایستگاه رشت - به واسطه میزان بالای PVR هارمونیک اول - تغییرات درون سالانه مولفه بررسی شده دارای یکنواختی بیشتر و سالانه بوده و در ایستگاهی همچون نمارستاق تغییرات دارای تغییرپذیری بیشتری است و به هارمونیک‌های بالاتری برای توضیح واریانس نیاز است.

کلیدواژه‌ها: تغییرپذیری، هارمونیک، بارش، ماهانه، واریانس، بیشینه.

مقدمه

بارش یکی از مهم‌ترین و متغیرترین عناصر اقلیمی است که در بستر زمان و مکان به شدت تغییر می‌کند. تغییر زمانی و مکانی بارش تغییرات اقتصادی فراوانی دارد و همین تغییرپذیری در مقیاس‌های مختلف دلیل اصلی سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها به شمار می‌آید. به دلیل اهمیت تغییرپذیری مکانی و زمانی بارش و نقش آن در ارتباطات و مخاطرات

اقتصادی مناطق و مشکلات امنیت غذایی و بسیاری موارد دیگر، موضوع مذکور در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است (رودریگز و همکاران، ۱۹۹۸، ۲۹۹؛ اوچولا و کرکایدیس، ۲۰۰۳، ۳۲۸؛ بایگوریا و همکاران، ۲۰۰۷، ۷۴۹؛ جیانینگ و همکاران، ۲۰۰۹، ۲۴۸؛ ناستوس و زرفورس، ۲۰۰۹، ۲). دامنه مقیاس زمانی تغییر بارش، از لحظه‌ها و دقیقه‌ها در هسته طوفان تا دهه‌ها و طولانی‌تر از آن را در برمی‌گیرد. بارش ممکن است در هر زمانی از روز شروع شود و یا پایان یابد و همچنین می‌تواند برای چندین ساعت رخ دهد و یا برای چندین روز تداوم یابد (گاریا و همکاران، ۲۰۰۲، ۷۷؛ توسیچ و انکاسویچ، ۲۰۰۵، ۶۷؛ جمال‌الدین سهیلا و عبدالعزیز چمین، ۲۰۰۹، ۱۷). از نظر مکانی نیز - به ویژه در کشورهای خشک و عرض‌های میانه - در فاصله کمتر از یک کیلومتر میزان و ویژگی‌های بارشی به شدت متغیر است. برای بررسی تغییرپذیری بارش، مقیاس‌های زمانی مختلفی در نظر گرفته می‌شود. مقیاس‌های مطالعه عنصر بارش از دوره‌های مختلف زمانی، از دوره‌های زمین‌شناسی - که دوره‌های چند هزار ساله و چند میلیون ساله را دربر دارد - تا ماه، ساعت و دقیقه، متغیر است (لیوآدا و آسیماکولوپولوس، ۲۰۰۵، ۱۵۵). به منظور شناخت ویژگی‌های اقلیمی و هواشناختی هر منطقه، بررسی تفاوت‌های مکانی و تغییرات زمانی کمک مهم و مؤثری قلمداد می‌شود. یکی از مهم‌ترین مقیاس‌های مختلف رخداد بارش، تناوب‌پذیری هارمونیک‌های مختلف است. تناوب، از ویژگی‌های مهم بسیاری از سامانه‌های پیچیده فیزیکی و زیست‌شناختی به شمار می‌آید (لیوآدا و همکاران، ۲۰۰۸، ۴۶؛ زن، ۲۰۰۹، ۱۱۴۸). تحلیل هارمونیک با استفاده از بررسی تغییرات در محور زمان قادر به شناخت میزان تغییرپذیری مؤلفه‌های اقلیمی است. مطالعات متعددی در زمینه بررسی تغییرات بارش در مقیاس‌های مختلف انجام شده است. دی برون (۱۹۸۰) با استفاده از روش زنجیره مارکف، دوره‌های خشک و مرطوب را به صورت آماری بررسی کرد. عبدالغفار سعید و عبدالخالق (۱۹۹۷) دوره‌های خشک و مرطوب ماهانه را در عربستان سعودی با استفاده از روشی گرافیکی بررسی کردند. لانا و برگونو (۱۹۹۸) رفتار خشک و مرطوب روزانه در کاتالونیا (شمال شرق اسپانیا) را با استفاده از زنجیره مارکف بررسی کردند. گاریا و همکاران (۲۰۰۲) نیز به تحلیل مکانی - زمانی تغییرات بارش ماهانه در شبه‌جزیره ایبری (اسپانیا و پرتغال فعلی) پرداختند. آناگنوستوپولو و همکاران (۲۰۰۳) تحلیل زمانی - مکانی دوره‌های خشک را در کشور یونان برای یک دوره ۴۰ ساله (۱۹۹۷-۱۹۵۸) انجام دادند. مگی و اوتونه (۲۰۰۳) با بررسی و تحلیل زمانی - مکانی بارش در شمال ایتالیا با استفاده از آمار بلندمدت (۱۹۹۰-۱۹۲۱) و روش تحلیل طیفی به یک دوره تناوب ۲۳/۳ ساله اشاره دارند. لیوآدا و آسیماگوپولوس (۲۰۰۵) به مطالعه شاخص فصلی بودن (SI^1) رژیم بارش در یونان پرداختند. در کاری دیگر لیوآدا و همکاران (۲۰۰۸) نیز ویژگی‌های زمانی - مکانی بارش‌های فرین^۲ در یونان را مورد مطالعه قرار دادند. ناستوس و زرفورس (۲۰۱۰) هم با استفاده از تحلیل هارمونیک به بررسی رفتار تناوبی بارش در یونان پرداختند. براساس این کار دو هارمونیک اول بیش از ۹۰ درصد از واریانس بارش در یونان را توضیح می‌دهد.

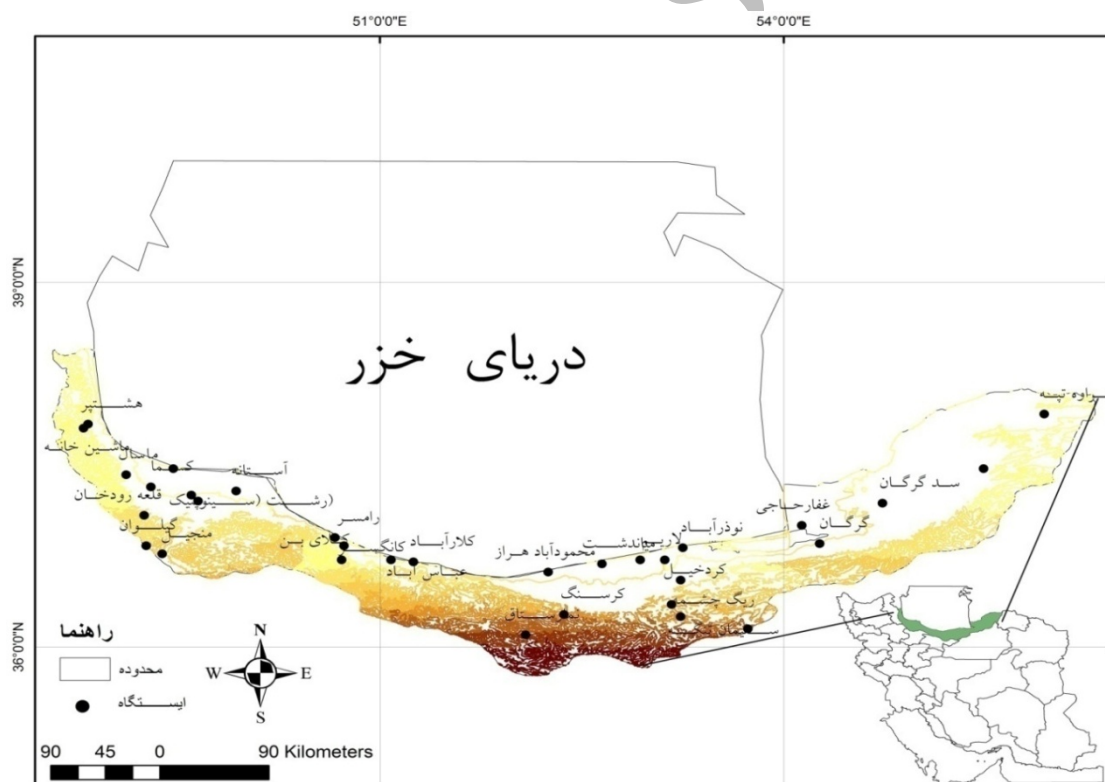
از آنجا که در بخش‌های شمالی کشور به دلیل اهمیت بالای کشاورزی در اقتصاد، لزوم شناخت تغییرات و رفتار بارشی ارزش فراوانی دارد، و مطالعه‌ای در زمینه تناوب بارش انجام نشده است، اهمیت و ضرورت این مطالعه برای

1. Seasonality Index
2. Extreme

شناخت رفتار بارشی در شمال کشور احساس می‌گردد. بدین ترتیب هدف اصلی در بررسی حاضر، یافتن الگوی غالب تناوب درون سالانه^۱ بارش بیشینه ماهانه طی دوره آماری در این بخش از کشور است.

مواد و روش‌ها

همان‌گونه که عنوان شد، موضوع اصلی در مطالعه حاضر، بررسی تغییرپذیری درون سالانه^۱ بیشینه بارش ماهانه در بخش‌های جنوبی دریای خزر است. تعداد ایستگاه‌ها در این منطقه نسبتاً زیاد، اما داده‌های آنها ناقص است، به همین دلیل برای از داده‌های ایستگاه‌هایی که داده‌های کامل‌تری دارند، استفاده شد. در نهایت ۳۲ ایستگاه (همدیدی سازمان هواشناسی و باران‌سنجی وزارت نیرو) با دوره زمانی ۴۰ ساله (۲۰۰۶-۱۹۶۷) باقی ماند که تحلیل‌ها با استفاده از آنها انجام گرفت (شکل ۱). برای بررسی آماری و آزمون همگنی داده‌ها از روش ران تست (Run Test) استفاده گردید که با توجه به نتایج حاصل از آن داده‌های کلیه ایستگاه‌های مورد استفاده از لحاظ آماری همگن‌اند.



شکل ۱. توزیع فضایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

به منظور بررسی تغییرپذیری درون سالانه^۱ مقادیر بیشینه بارش ماهانه در این منطقه از روش تحلیل هارمونیک^۲ استفاده گردیده است. تحلیل هارمونیک یک روش بررسی طیفی^۳ است که معمولاً برای مطالعه تغییرات دوره‌ای به کار

1. Intra-Annual
2. Harmonic Analysis
3. Spectral

می‌رود و شامل نمایش نوسانات یا تغییرات در یک سری زمانی است که از مجموع توابع سینوسی و کسینوسی^۱ به دست می‌آید (کریکلا و حمید، ۱۹۸۹، ۱۴۶۳؛ ویلکس، ۲۰۰۶، ۳۷۱). تحلیل هارمونیک، روشی قدرتمند در تجزیه سری زمانی به مجموعه‌ای از مؤلفه‌ها با واریانس کوچک‌تر از داده‌های ثبت‌شده اصلی است (سپرداس، ۲۰۰۵، ۱۲۷۰). هدف از کاربرد تحلیل هارمونیک برای فراوانی مقادیر بیشینه بارش ماهانه در این کار، تعیین مؤلفه‌های ویژه واریانس‌های این فراوانی‌ها در بخش‌های جنوبی دریای خزر است. از تحلیل هارمونیک می‌توان برای نشان دادن مناطق با الگوهای سالانه مشابه از پارامترهای مورد آزمایش استفاده کرد (باری و پری، ۱۹۷۳، ۶۹).

برای مقادیر ماهانه فراوانی‌های بررسی شده f_t تحلیل هارمونیک به صورت رابطه (۱) نوشته می‌شود:

$$\hat{f}_t = \bar{f} + \sum_{k=1}^6 \left(A_k \cos \frac{2\pi}{12} kt + B_k \sin \frac{2\pi}{12} kt \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که A_k و B_k ضرایب هارمونیک‌ها ($k=1, 2, \dots, 6$) هستند. این ضرایب به صورت رابطه (۲) نمایش داده می‌شوند (لمب، ۱۹۹۰، ۲۲۷؛ ویلکس، ۲۰۰۶، ۳۷۵):

$$A_k = \frac{1}{6} \sum_{t=1}^6 f_t \cos \left(\frac{2\pi}{12} kt \right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

۹

$$B_k = \frac{1}{6} \sum_{t=1}^6 f_t \sin \left(\frac{2\pi}{12} kt \right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

f_t فراوانی رخداد بیشینه ماهانه را برای ماه‌های مختلف نشان می‌دهد. دامنه^۲ هر هارمونیک C_k (جنکینز و واتز، ۱۹۸۰، ۲۱۶) از رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$C_k = [A_k^2 + B_k^2]^{1/2} \quad \text{رابطه (۴)}$$

واریانس هر هارمونیک V_k را می‌توان از رابطه (۵) به دست آورد (لیوودا و همکاران، ۲۰۰۸، ۴۹):

$$V_k = \frac{C_k^2}{2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

و درصد واریانس (PVR)^۳ هر هارمونیک از رابطه (۶) قابل محاسبه است:

$$PVR(k) = \frac{V_k}{\sum_{k=1}^6 V_k} \quad \text{رابطه (۶)}$$

زاویه فاز^۴ هر هارمونیک ϕ_k را نیز می‌توان از رابطه (۷) محاسبه کرد (ویلکس، ۲۰۰۶، ۳۷۶):

$$\phi_k = \begin{cases} \tan^{-1}(B_k/A_k), & A_k > 0 \\ \tan^{-1}(B_k/A_k) \pm \pi, \text{ or } \pm 180^\circ, & A_k < 0 \\ \frac{\pi}{2}, \text{ or } 90^\circ, & A_k = 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۷)}$$

و محتمل‌ترین زمان رخداد بیشینه هر هارمونیک T_k نیز به وسیله این رابطه به دست خواهد آمد (لیوودا و همکاران،

(۴۹، ۲۰۰۸)

1. Sine and cosine Functions
2. Amplitude
3. percentage of variance
4. Phase Angle

$$T_k = \left(\frac{12}{360k} \right) \phi_k \quad \text{رابطه (۸)}$$

اولین هارمونیک، چرخه منفرد سالانه‌ای را با بزرگ‌ترین دامنه در مقایسه با دیگر هارمونیک‌ها نشان می‌دهد. دومین هارمونیک، یک تغییر شبه‌سالانه را نشان می‌دهد، در حالی که سومین هارمونیک تغییرات فصلی ۴ ماهه را با جزئیات بیشتر نشان خواهد داد. در واقع هارمونیک، شاخصی از الگوهای تغییرپذیری درون سالانه فراوانی‌های بررسی شده است. در نهایت مقادیر T_k نیز حرکت زمانی فراوانی بیشینه را در امتداد محور زمان نشان می‌دهد (جدول ۱).

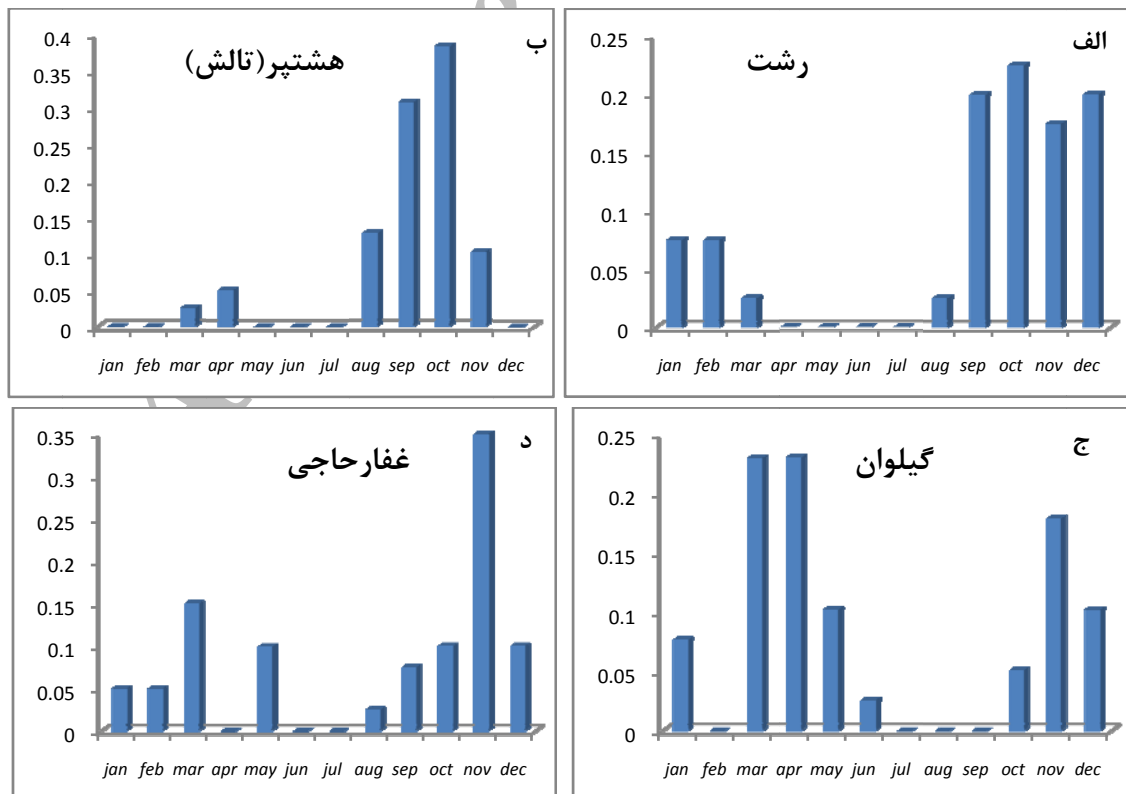
جدول ۱. رابطه میان زاویه فاز و هنگام رخداد در امتداد محور زمان

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

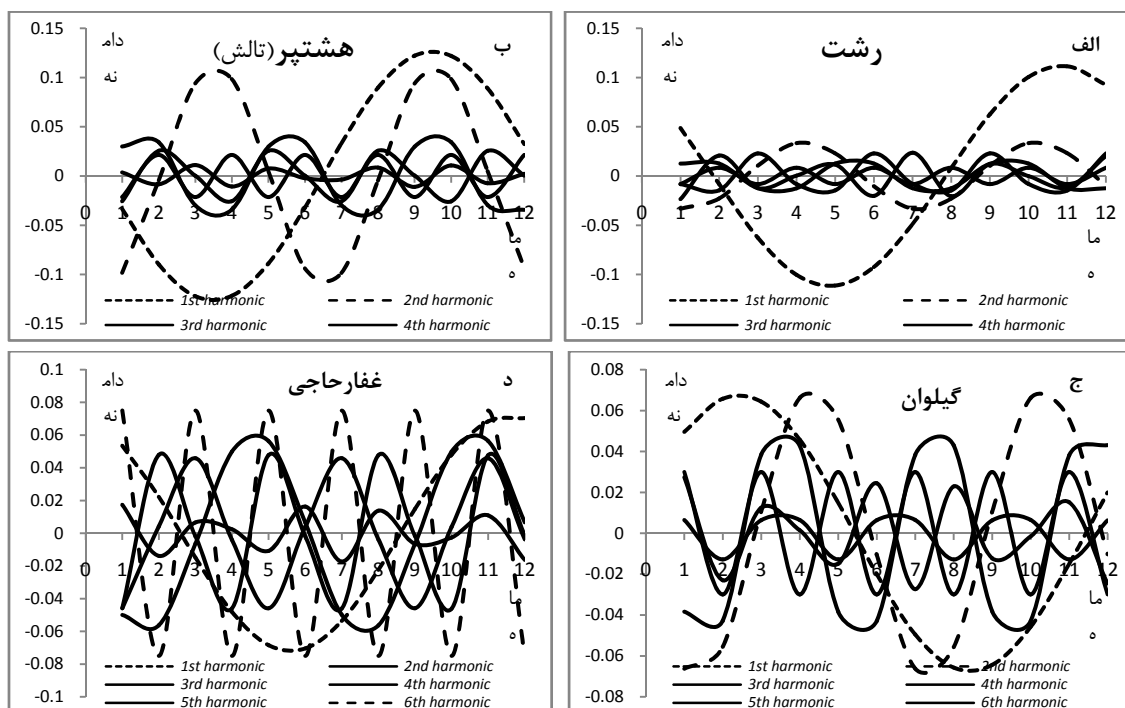
منبع: لیوادا و همکاران، ۲۰۰۸، ۴۹.

یافته‌های تحقیق

بر اساس داده‌ها، تعداد دفعات و فراوانی نسبی رخداد بیشینه ماهانه در هر یک از ماه‌های سال در دوره آماری ۴۰ ساله محاسبه گردید (شکل ۲). با جدا ساختن داده‌ها به مولفه‌های متعامد به شکل هارمونیک می‌توان تغییرات داده‌ها را توضیح داد.



شکل ۲. فراوانی نسبی هر یک از ماه‌های دارای بیشینه ماهانه در ایستگاه‌های منتخب



شکل ۳. هارمونیک‌های محاسبه‌شده برای ۴ ایستگاه منتخب

تحلیل هارمونیک، نمونه رخداد‌های بیشینه و کمینه را در امتداد محور زمان تولید می‌کند. عموماً در داده‌های ماهانه ۶ هارمونیک برای توضیح واریانس داده‌ها لازم است، اگرچه در بیشتر مطالعات، از ۳ هارمونیک اول برای توضیح و تبیین واریانس داده‌ها استفاده می‌شود، و از آنجا که دو هارمونیک اول حدود ۹۰ درصد از مجموع واریانس را تبیین می‌کنند، در برخی از بررسی‌ها از دو هارمونیک اول نیز برای مطالعه تغییرات سالانه استفاده می‌شود (لیوودا و همکاران، ۲۰۰۸، ۵۰؛ ناستوس و زرفورس، ۲۰۱۰، ۴۶). اما در منطقه مورد مطالعه در بعضی از موارد هارمونیک‌های بالاتر - همچون هارمونیک ششم - نیز برای توضیح واریانس لازم است. البته ذکر این نکته لازم است که میزان هارمونیک ششم حدود ۲۸ درصد از واریانس را در مشخص‌ترین نمونه (ایستگاه غفارحاجی) توضیح می‌دهد. از هارمونیک‌های بالاتر در بخش‌های کوهستانی و شرق منطقه برای توضیح واریانس استفاده می‌شود. جدول‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ میزان نقش هر هارمونیک را در ۴ ایستگاه نمونه نشان می‌دهد. در ایستگاه رشت (شکل ۳-الف) مشاهده می‌گردد که الگوی غالب تناوبی به صورت سالانه بوده و سهم هارمونیک اول بسیار مشخص‌تر از دیگر الگوهاست. در ایستگاه هشتپر (تالش) علاوه بر غلبه الگوی هارمونیک اول، نقش هارمونیک دوم (شکل ۳-ب) نیز بسیار زیاد است. در ایستگاه‌های گیلوان (شکل ۳-ج) که در یک منطقه‌ای کوهستانی واقع شده و ایستگاه غفارحاجی (شکل ۳-د) که در بخش‌های شرقی منطقه واقع گردیده است، سهم الگوهای هارمونیک به سوم و حتی تا ششم افزایش یافته است و نشان می‌دهد که تغییرات تناوبی بارش بیشینه ماهانه از الگوی منفردی تبعیت نمی‌کند و به هارمونیک‌های بالاتری برای توضیح تغییرپذیری نیاز خواهد بود.

جدول ۲. مؤلفه‌های هارمونیک‌های اول تا ششم برای ایستگاه رشت

T_k	Φ_k	$CPVR_k$	PVR_k	V_k	C_k	B_k	A_k	K
-1/1401	-34/2037	83	83	0/0062	0/1116	-0/0628	0/0923	1
4/2036	2163/252	90	8	0/0006	0/0341	-0/0325	-0/0104	2
1/5000	135/0000	92	2	0/0002	0/0177	0/0125	-0/0125	3
0/0746	8/9483	96	4	0/0003	0/0232	0/0036	0/0229	4
-0/2084	-31/2586	100	4	0/0003	0/0236	-0/0122	0/0202	5
0/0000	0/0000	100	0	0/0000	0/0083	0/0000	0/0083	6

جدول ۳. مؤلفه‌های هارمونیک‌های اول تا ششم برای ایستگاه هشتپر (تالش)

T_k	Φ_k	$CPVR_k$	PVR_k	V_k	C_k	B_k	A_k	k
-2/5122	-75/3674	50	50	0/0080	0/1263	-0/1222	0/0319	1
3/5367	212/2042	89	39	0/0062	0/1111	-0/0592	-0/0940	2
1/5424	138/8141	95	6	0/0010	0/0454	0/0299	-0/0342	3
-0/7500	-90/0000	98	3	0/0004	0/0296	0/0296	0/0000	4
0/5220	78/3031	99	0	0/0001	0/0113	0/0111	0/0023	5
0/0000	0/0000	100	1	0/0002	0/0214	0/0000	0/0214	6

جدول ۴. مؤلفه‌های هارمونیک‌های اول تا ششم برای ایستگاه گیلوان

T_k	Φ_k	$CPVR_k$	PVR_k	V_k	C_k	B_k	A_k	k
2/4228	72/6833	31	31	0/0023	0/0674	0/0644	0/0201	1
4/3560	261/3609	65	34	0/0025	0/0711	-0/0703	-0/0107	2
-0/4665	-41/9872	88	22	0/0017	0/0575	-0/0385	0/0427	3
0/5000	60/0000	89	1	0/0001	0/0128	0/0111	0/0064	4
1/0181	152/7173	94	5	0/0004	0/0274	0/0126	-0/0243	5
1/0000	180/0000	100	6	0/0004	0/0299	0/0644	0/0201	6

جدول ۵. مؤلفه‌های هارمونیک‌های اول تا ششم برای ایستگاه غفارحاجی

T_k	Φ_k	$CPVR_k$	PVR_k	V_k	C_k	B_k	A_k	k
-0/4008	-12/0244	26	26	0/0026	0/0720	-0/0150	0/0704	1
-1/4030	-84/1825	45	19	0/0019	0/0617	-0/0613	0/0063	2
2/9423	264/8056	56	11	0/0011	0/0460	-0/0458	-0/0042	3
2/2316	267/7958	70	15	0/0015	0/0542	-0/0541	-0/0021	4
1/0512	157/6783	72	2	0/0002	0/0175	0/0067	-0/0162	5
1/0000	180/0000	100	28	0/0028	0/0750	0/0000	-0/0750	6

سه جدول اول مربوط به ایستگاه‌هایی است که به ترتیب سه هارمونیک اول در آنها دارای نقش بیشتری است و

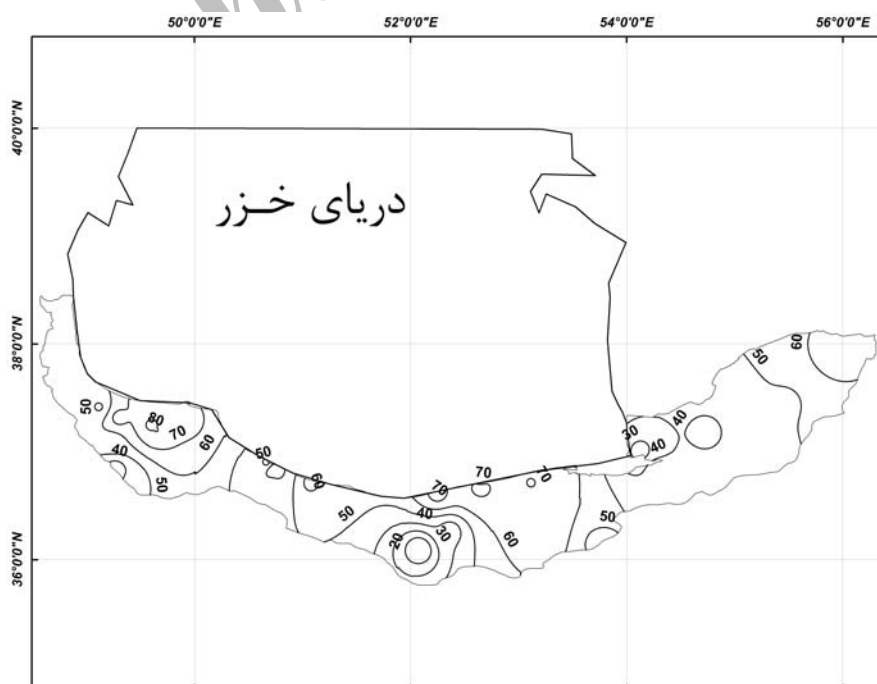
جدول ۵ مربوط به ایستگاه غفارحاجی است که در آن هارمونیک ششم از میان همه ایستگاه‌ها دارای بیشترین نقش در

توضیح واریانس است. به طور کلی هارمونیک اول در بیشتر ایستگاه‌ها بیش از ۵۰ درصد از واریانس را توضیح می‌دهد.

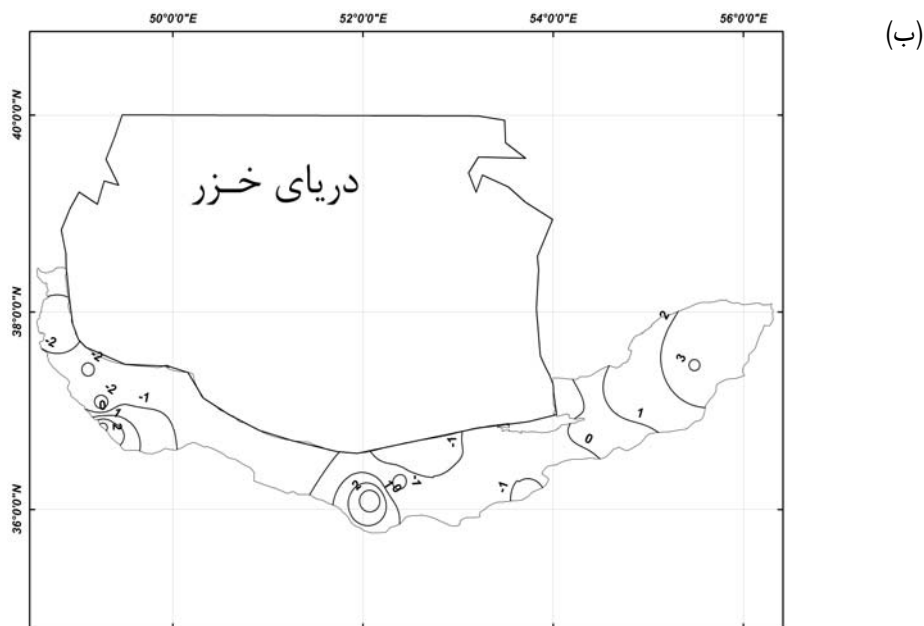
هارمونیک اول

توزیع مکانی هارمونیک اول (شکل ۴-الف) که درصد واریانس (PVR (1) فراوانی بیشینه بارش ماهانه را نشان می‌دهد و بیان‌گر چرخه منفرد نوسانی سالانه است، نشان‌دهنده موارد زیر است:

- ۱- هارمونیک اول در بخش‌های غربی، به‌ویژه در مناطقی همچون رشت و مناطق ساحلی اطراف آن دارای بیشترین میزان است و میزان PVR (1) در بخش‌های مرکزی این منطقه نیز دارای مقادیر بالایی است.
- ۲- یک الگوی کلی مکانی غربی-شرقی در هارمونیک اول وجود دارد، به طوری که از شرق به غرب بر میزان PVR (1) اضافه می‌گردد، اما در منتهی‌الیه شرقی منطقه در ایستگاه مراوه‌تپه که در منطقه‌ای نسبتاً خشک واقع گردیده است بر میزان آن افزوده و در منتهی‌الیه غربی از میزان آن کاسته می‌شود.
- ۳- علاوه بر الگوی یاد شده، یک الگوی کلی شمالی-جنوبی میزان PVR (1) نیز وجود دارد.
- ۴- الگوی نشان داده شده برای هارمونیک اول بیان‌گر این موضوع است که رخداد بیشینه ماهانه طی دوره آماری بررسی شده در بخش‌های ساحلی (عموماً در غرب و مناطق مرکزی) این منطقه دارای تغییرپذیری درون سالانه کمتری است و در بخش‌های کوهستانی و بخش اعظم بخش‌های شرقی منطقه، دارای تغییرات درون سالانه بیشتری است.
- ۵- نقشه مقادیر T1 (شکل ۴-ب) که میزان زاویه فاز هارمونیک اول را نشان می‌دهد، بیانگر این واقعیت است که میزان T1 از ۲- (اوایل اکتبر) تا ۳ (۱۵ مارس) متفاوت است.
- ۶- زمان رخداد هارمونیک اول بخش‌های غربی حدود نوامبر و دسامبر بوده و در مناطق کوهستانی و بخش‌های شرقی از ژانویه تا آوریل متغیر است.



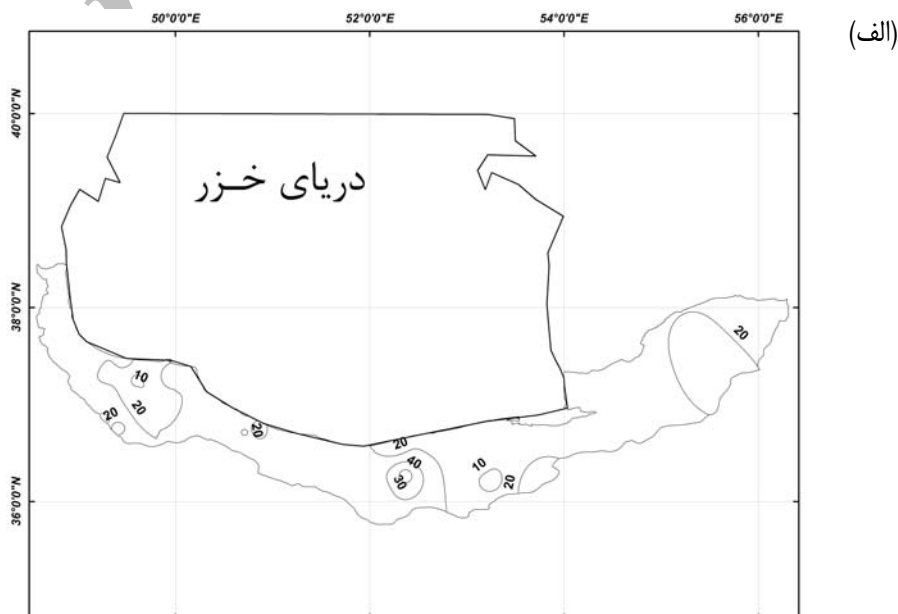
(الف)

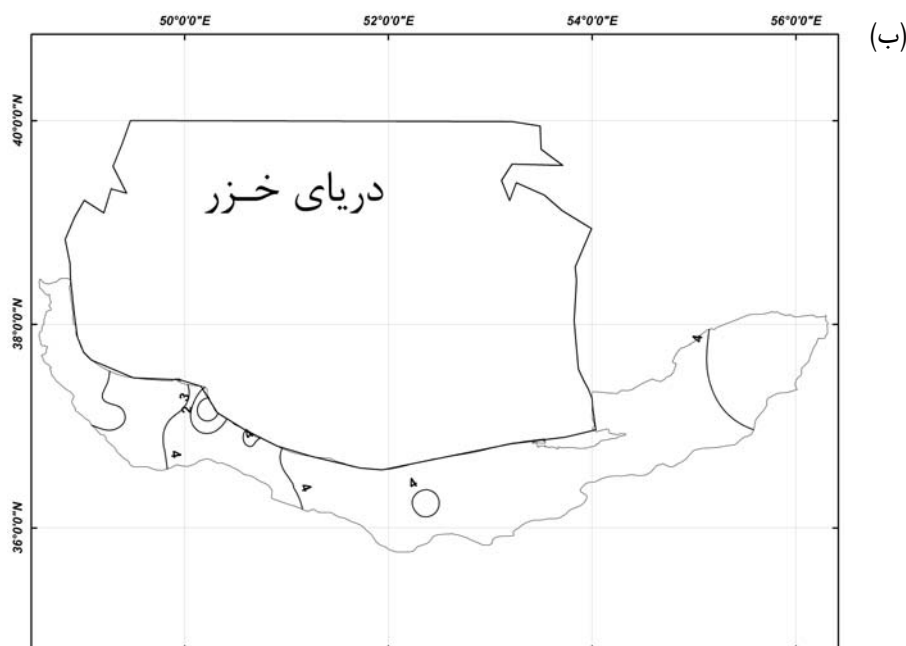


شکل ۴. الف) درصد واریانس هارمونیک اول (1) PVR و ب) میزان زاویه فاز هارمونیک اول T1

هارمونیک دوم

الگوی مکانی هارمونیک دوم (شکل ۵ - الف) تغییرات چندانی در منطقه ندارد، و این میزان در سواحل قسمت‌های غربی به مراتب کمتر است. با توجه به این که در بیشتر بخش‌ها هارمونیک اول دارای میزان زیادی است، وضعیت مذکور کاملاً طبیعی است. در بخش‌های کوهستانی نیز میزان هارمونیک دوم از دیگر بخش‌ها بیشتر است. میزان T2 که به نوعی نماینده زاویه فاز هارمونیک دوم نیز هست (شکل ۵-ب) از $(-1/5)$ تا $(4/5)$ متغیر است. به طوری که میزان آن در سواحل حدود ۴ است و در بخش‌های شرقی از (-1) شروع و در نهایت به (3) ختم می‌شود. این حالت بیان‌گر رخداد هارمونیک دوم از ماه نوامبر تا مه با تناوبی شش‌ماهه در بخش‌های مختلف است.

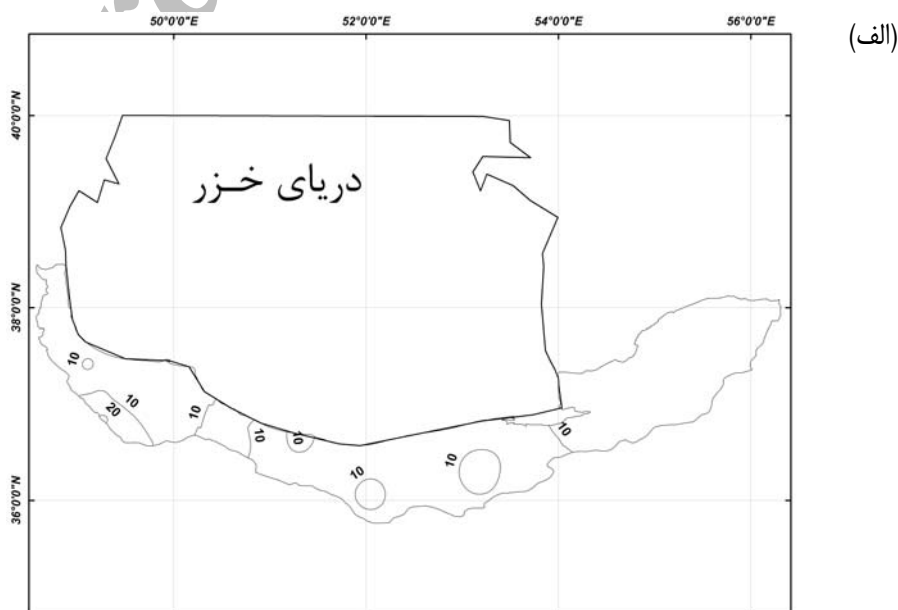


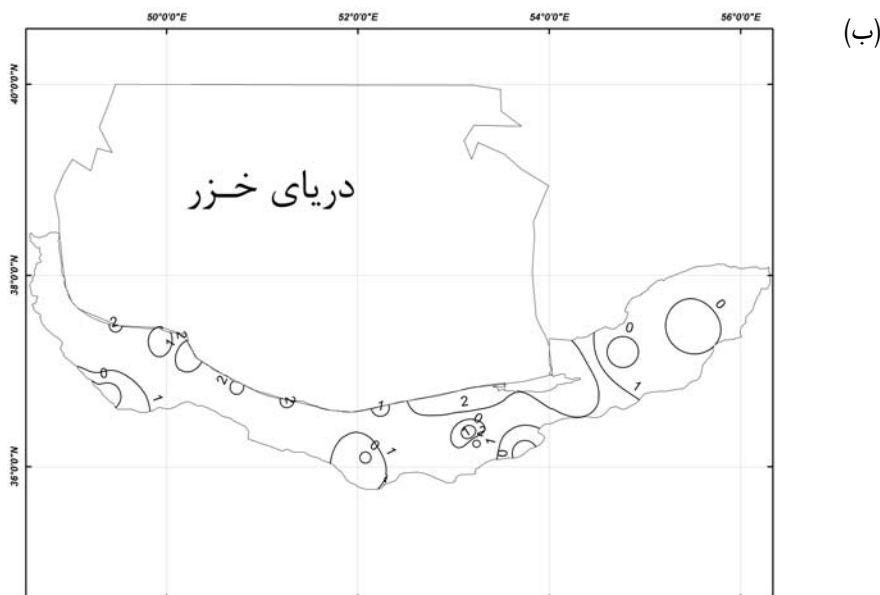


شکل ۵. الف) درصد واریانس هارمونیک دوم (PVR(2) و ب) میزان زاویه فاز هارمونیک دوم T2

هارمونیک سوم

توزیع مکانی (شکل ۶-الف) بیان‌گر میزانی از حدود ۵ تا ۲۰ درصد در کل منطقه است. این میزان در بخش‌های ساحلی بسیار کم است. در بخش‌های کوهستانی میزان هارمونیک سوم در مقایسه با دیگر بخش‌ها به مراتب بیشتر است. پراکنش T3 (شکل ۶-ب) نشان می‌دهد که میزان آن از (-۱) تا (۳) متغیر است و در بیشتر بخش‌های ساحلی به طور مشخص میزانی در حدود (۲/۵) تا (۳) را به خود اختصاص داده است و به تدریج به سمت مناطق کوهستانی و بخش‌های شرقی منطقه به صفر و -۱ ختم می‌شود. زمان رخداد هارمونیک سوم دسامبر تا اول آوریل با تناوب حدود چهارماهه است.

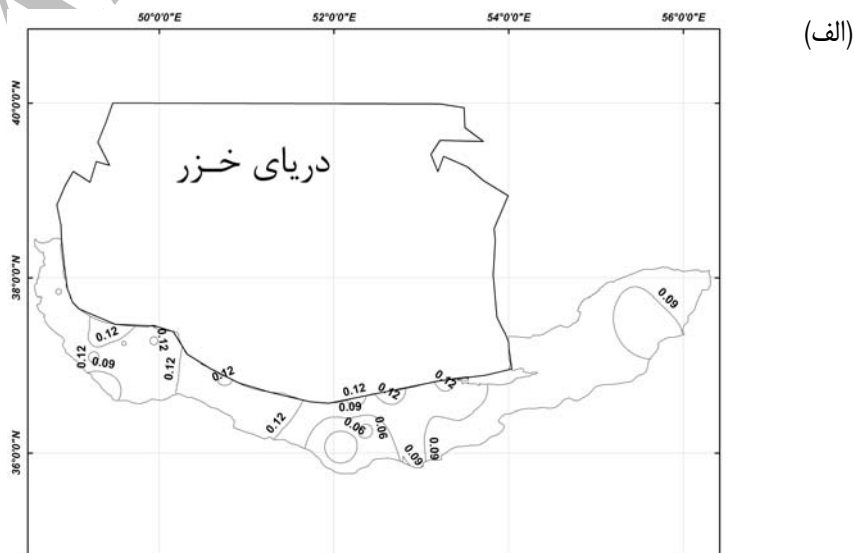


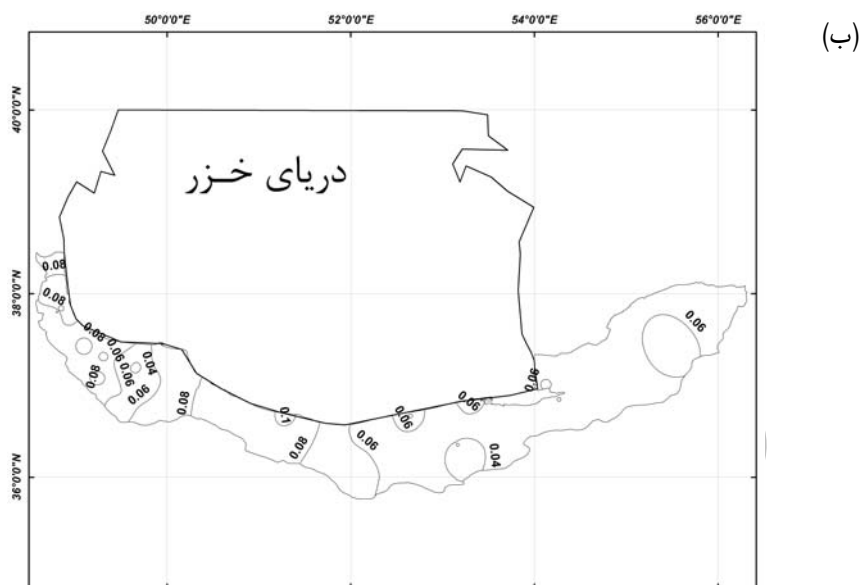


شکل ۶. الف) درصد واریانس هارمونیک سوم (PVR(3) و ب) میزان زاویه فاز هارمونیک سوم T3

دامنه‌ها

دامنه‌ها نشان‌دهنده تغییرات و تناوب‌های هر هارمونیک محور زمان‌اند. دامنه اولین هارمونیک تغییر عادی را در چرخه‌ای منفرد توصیف می‌کند (تاراونه و کادیوگلو، ۲۰۰۳، ۱۳۰). هرچه دامنه هارمونیک اول بلندتر باشد، نشان‌دهنده یکنواختی بیشتر پارامتر مورد بررسی است و یا به عبارتی از تغییرپذیری کمتری حکایت دارد. الگوی مکانی دامنه‌های هارمونیک اول (شکل ۷-الف) نشان می‌دهد که در بخش‌های ساحلی، دامنه‌ها بزرگ‌ترند. به طور کلی از غرب به شرق و از شمال به جنوب از میزان دامنه هارمونیک اول به تدریج کاسته می‌شود. دامنه دومین هارمونیک (شکل ۷-ب) دارای توزیع مکانی نسبتاً همگن و با فاصله کمتری است. در بررسی تغییرات دامنه‌ها، دامنه هارمونیک اول به واسطه اینکه بیان‌کننده چرخه منفرد نوسانی دارای تغییرپذیری یکنواخت‌تری است، از اهمیت بیشتری می‌یابد. به منظور جهت‌نشان دادن اهمیت دامنه هارمونیک اول و مقایسه با دامنه هارمونیک دوم، نقشه پراکنش مکانی دامنه هارمونیک دوم نیز ارائه گردید.





شکل ۷. (الف) خطوط پربند دامنه‌های هارمونیک اول و (ب) خطوط پربند دامنه‌های هارمونیک دوم

بحث و نتیجه‌گیری

موضوع اصلی مطالعه حاضر، بررسی تغییرپذیری درون سالانه بارش بیشینه ماهانه با استفاده از تحلیل هارمونیک و در ادامه تفاوت‌های مکانی آن در قسمت‌های جنوبی دریای خزر مطرح گردید. تحلیل هارمونیک - که در واقع یک روش فرکانس حوزه^۱ است و برای بررسی تغییرپذیری به شکل طیفی، بسیار کارآمد به نظر می‌رسد - در خصوص این منطقه از لحاظ زمانی نشان داد که مناطق ساحلی دارای الگوهای تناوبی درون سالانه بارش بیشینه ماهانه همسان و مشابهی هستند و در بخش‌های شرقی و کوهستانی شباهت این الگوها بسیار کم می‌گردد. در بخش‌های ساحلی - که هارمونیک اول نقش بیشتری دارد - تغییرپذیری درون سالانه بیشینه بارش (به صورت ماهانه که در واقع برای هر سال متعلق به یک ماه خاص است) از لحاظ زمانی به صورت سالانه است. به عبارتی دیگر، تحلیل هارمونیک که نمونه رخدادها را در امتداد محور زمان تولید می‌کند بیان می‌دارد که تغییرپذیری درون سالانه بیشینه بارش ماهانه به طور غالب دارای الگوی سالانه و یکنواخت است.

از طرفی هرچه دامنه هارمونیک اول بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده یکنواختی بیشتر مولفه مورد بررسی (رخداد بیشینه بارش ماهانه) است و در واقع، از تغییرپذیری کمتری حکایت دارد. بدین ترتیب در بخش‌های ساحلی که میزان توضیح-دهندگی هارمونیک اول، بیشتر و دامنه هارمونیک اول، بزرگ‌تر است، میزان تغییرپذیری زمانی بارش بیشینه ماهانه دارای یکنواختی بیشتری است و در بخش‌هایی که از توان هارمونیک اول کاسته می‌شود از یکنواختی تناوب بارش نیز به میزان زیادی کم می‌شود.

به طور کلی تحلیل هارمونیک در خصوص تغییرپذیری درون سالانه بیشینه بارش ماهانه در منطقه مذکور نتایج زیر

1. Frequency-Domain

را به دست می‌دهد:

۱. در بیشتر بخش‌ها میزان PVR هارمونیک اول بیش از ۵۰ درصد بوده و به طور کلی نقش هارمونیک اول در توضیح واریانس از دیگر هارمونیک‌ها بیشتر و غالب‌تر است و در بیش از ۸۷ درصد از ایستگاه‌های بررسی‌شده نقش هارمونیک اول از دیگر هارمونیک‌ها بیشتر بوده است. بدین ترتیب با توجه به میزان توضیح‌دهندگی بیشتر هارمونیک اول این نتیجه حاصل می‌گردد که الگوی غالب تناوبی درون سالانه (طی دوره آماری) بیشینه بارش ماهانه در بیشتر قسمت‌های منطقه به ویژه در بخش‌های ساحلی - دارای الگویی یکنواخت است و در قسمت‌های ساحلی بخش‌های غربی و مرکزی در مقایسه با بخش‌های کوهستانی و شرقی منطقه، عموماً نوسان درون سالانه بیشینه بارش ماهانه، رژیم یکنواخت‌تری دارد و میزان PVR (1) و دامنه‌های آن - که شناخت الگوی تغییرپذیری مؤلفه مطالعه شده را امکان‌پذیر می‌سازد، رضایت‌بخش‌تر است.
۲. تحلیل و بررسی هارمونیک تناوب‌های درون سالانه رخداد بیشینه بارش ماهانه طی دوره آماری، نشان داد که در بخش‌های ساحلی منطقه، الگوی هارمونیک اول دارای سهم بیشتری در توضیح الگوی غالب تغییرات است. به عبارتی دیگر الگوی تغییرپذیری درون سالانه پارامتر مورد بررسی طی دوره آماری مورد بحث در بخش‌های ساحلی از هارمونیک منظم‌تری پیروی می‌کند. در بررسی تغییرات دامنه‌ها، دامنه هارمونیک اول که بیان‌کننده یک چرخه منفرد نوسانی است، نشان داد، که توان طیفی هارمونیک اول - به‌ویژه در بخش‌های ساحلی منطقه - دارای میزان بیشتری است.
۳. بعد از هارمونیک اول، هارمونیک دوم با دارا بودن سهمی در حدود ۹ درصد از موارد مورد بررسی، دومین رتبه را در توضیح تغییرات ماه به ماه مؤلفه مورد بررسی به خود اختصاص داده است.
۴. در بخش‌های شرقی و کوهستانی که عموماً رژیم بارش در آنها از نظم خاصی پیروی نمی‌کند، PVR(2,3,4) و حتی به صورت محدود در بعضی از ایستگاه‌ها PVR(5,6) (ایستگاه غفارحاجی) بیشترین نقش را در توضیح واریانس و تغییرپذیری بارش دارند.
۵. در بیشتر نواحی بررسی‌شده از طریق تحلیل هارمونیک در جهان به ویژه در یونان (لیوادا و همکاران، ۲۰۰۸؛ ناستوس و زرفورس، ۲۰۱۰) تنها دو هارمونیک اول بیش از ۹۰ درصد از واریانس را توضیح می‌دهد اما در این بخش از کشور تغییرپذیری زمانی و تفاوت‌های مکانی به ویژه در نواحی کوهستانی و شرق منطقه بسیار زیاد است و از الگوی یکنواختی پیروی نمی‌کند، به طوری که سهم توضیح‌دهندگی واریانس هارمونیک‌های بالاتر، - حتی هارمونیک ششم - در برخی از ایستگاه‌ها به بیش از ۲۰ درصد می‌رسد، که وضعیتی منحصر به فرد محسوب می‌گردد.
۶. با دور شدن از بخش‌های ساحلی، به ویژه در قسمت‌های غربی منطقه سهم الگوهای نوسانی در میان هارمونیک‌های شش‌گانه تقسیم می‌گردد و از توان طیفی هارمونیک اول کاسته می‌شود. این حالت باعث می‌گردد تا از میزان اعتماد به زمان رخداد بیشینه ماهانه به منظور آگاهی و پیش‌بینی زمانی در سال‌های آینده در بخش‌هایی که سهم هارمونیک‌های بالاتر افزایش می‌یابد، تا حد زیادی کاسته شود.
۷. از نکات جالب توجه دیگر این‌که در بخش‌هایی از منطقه میان استان‌های مازندران و گیلان در مناطقی همچون حوالی رامسر که فاصله میان دریا و کوهستان کم می‌گردد و مناطق پست ساحلی کمتری دارد، یکنواختی رخداد

بارشی نیز کمتر است و طیف هارمونیک اول دارای توان کمتری است.

۸. زمان اوج رخداد هارمونیک اول به عنوان مهم‌ترین و تأثیرگذارترین هارمونیک، از اکتبر در بخش‌های ساحلی تا حدود آوریل در بخش‌های شرقی و نواحی کوهستانی متغیر است.

منابع

- Anagnostopoulou .Chr, Maheras. P, Karacostas .T, and Vafiadis. M., 2003, **Spatial and temporal analysis of dry spells in Greece**, Theoretical and Applied Climatology, 74, 77-91
- Barry RG, Perry AH., 1973, **Synoptic climatological methods and applications**, Methuen & Co Ltd., London
- Bazuhair Abdulghar Said, Al-ghoani Abdulkhaliq, and Sen Zekai, 1997, **Determination of monthly wet and dry period in Saudi Arabia**, International Journal of Climatology, VOL. 17, 303-311
- De Bruin, H.A.R., 1980, **A stochastic description of wet and dry spells in terms of an effective number of days**, Journal of Hydrology., 45: 91-99
- García J.A, Serrano A and Cruz Gallego M. de la., 2002, **A spectral analysis of Iberian Peninsula monthly rainfall**, Theoretical and Applied Climatology; 71, 77-95
- Lamb, H. H., 1990, **Climate: Past, Present and Future**, London.
- Jenkins MG, Watts D., 1980, **Spectral analysis and its applications Holden-Day**, London, pp.216.
- Jianting CHU, XIA Jun, XU Chongyu, LI Lu and WANG Zhonggen, (2010), **Spatial and temporal variability of daily precipitation in Haihe River basin, 1958-2007**, Springer-Verlag, J. Geogr. Sci, 20(2): 248-260
- Kadiğlu Mikdat, Naim öztürk, Hakan Erdun and Zekai Şen, 1999, **On the Precipitation Climatology of Turkey by Harmonic Analysis**, Royal Meteorological Society, International Journal of Climatology; 19: 1717-1728.
- Kirkyla Kristina and Sultan Hameed, 1989, **Harmonic Analysis of Seasonal Cycle in Precipitation over the United States: A Comparison between Observations and a General Circulation Model**, journal of climate, Volume 2, New York, pp 1463-1475.
- Lana X. and Burgueno. A., 1998, **Daily Dry-wet Behaviour in CATALONIA (NE Spain) from the View Point of Markov Chains**, International Journal of Climatology; 18: 793-815
- Livada I, Asimakopoulos DN, 2005, **Individual Seasonality Index of Rainfall Regimes in Greece**. Climate Research; 28: 155-161
- Livada I. Charalambous G., Asimakopoulos DN, 2008, **Spatial and Temporal Study of Precipitation Characteristics over Greece**, Netherlands Theoretical and Applied Climatology, 93: 45-55.
- Lupikasza Ewa, 2009, **Spatial and Temporal Variability of Extreme Precipitation in Poland in the Period 1951-2006**, International Journal Of Climatology, 10.1002.
- Maggi. I, Ottone. C., 2003, **Spatial-temporal Precipitation Analysis in the Area between**

- Scrivia T. and Nure T. (Northern Italy)**, *Quaternary International* 101–102 (2003) 149–156.
- Nastos. P.T., Zerefos. C.S., 2009, **Spatial and Temporal Variability of Consecutive Dry and Wet Days in Greece**, *Atmospheric Research* -01976, 1-13.
- Nastos P. T. and Zerefos C. S., 2010, **Cyclic Modes of the Intra-annual Variability of Precipitation in Greece**, *Advances In Geosciences.*, 25, 45–50.
- Ochola W.O. and Kerkides P., 2003, **A Markov Chain Simulation Model for Predicting Critical Wet and Dry Spells in Kenya: Analyzing Rainfall Events in Kano Plains**, *Irrig. and Drain.* 52: 327–342.
- Rodriguez-Puebla C, Nieto Encinas A.H, S. and Garmendia J., **Spatial and Temporal Patterns of Annual Precipitation Variability over the Iberian Peninsula**, *International Journal of Climatology* 18: 299–316
- Sen Asok K., 2009, **Spectral-temporal Characterization of Riverflow Variability in England and Wales for the Period 1865–2002**, *Hydrological Processes*: 23, 1147–1157.
- Sirdas Sevinc, 2005, **Daily Wind Speed Harmonic Analysis for Marmara Region in Turkey**, *Energy Conversion and Management* 46, 1267–1277
- Suhaila Jamaludin and Jemain Abdul Aziz, 2009, **Investigating the Impacts of Adjoining Wet Days on the Distribution of Daily Rainfall Amounts in Peninsular Malaysia**, *Journal of Hydrology* 368, 17–25.
- Tarawneh Q. and Kadioğlu M., 2003, **An Analysis of Precipitation Climatology in Jordan**, *Theoretical and Applied Climatology*, 74, 123–136.
- Tošić. I and Unkašević. M, (2005) **Analysis of Precipitation Series for Belgrade**, *Theoretical and Applied Climatology*, 80, 67–77
- Wilks D.S., 2006, **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: an Introduction**, Academic Press, San Diego. P. 464.

Temporal and Spatial Variability of Maximum Monthly Precipitation over Southern Parts of The Caspian Sea

Mohammadi H.*

Prof. in Faculty of Geography, University of Tehran

Azizi Gh.

Associate Prof. Faculty of Geography, University of Tehran

Taghavi F.

Assistant Prof. Institute of Geophysics, University of Tehran

Yousefi Y.

Ph.D. Candidate of Climatology, Faculty of Geography University of Tehran

Received:

Accepted:

Extended Abstract

Introduction:

Precipitation is one of important climatic elements that vary considerably over space and time. One of the important aspects of precipitation study is the extreme precipitation. Because of economical effect, in recent years extreme climatic events have proved to be one of the most popular topics in contemporary climatology. It is well understood that climatic features in precipitation records are hidden in relative variables such as monthly and annual precipitation amounts, 24-hour annual precipitation extremes, rainfall intensities and temporal scale of rainfall variation ranges from minutes in a storm cell to decades and longer. The variability and spatial distribution of precipitation at different scales are the main cause of flood and drought events. For analysis of variability of precipitation, we can use harmonic method. Harmonic analysis is a particularly useful tool in studying precipitation temporal patterns as it reveals the spatial variation of various precipitation characteristics. It delineates the geographic extents of various precipitation regimes and highlights the boundaries between them.

Materials and methods:

North of Iran as a particular region has very different climatic condition. Harmonic analysis with the aid of forty years data of the well distributed network of 32 stations used to study of precipitation variability at this region. A brief explanation of the principles of harmonic analysis is presented concerning the nature and interpretation of this technique.

For the monthly values of the examined frequencies f_t ($f_t = 0$ At the origin), harmonic analysis can be written as follows:

* E-Mail: Yousefi1978@gmail.com

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

Where A_k, B_k are the coefficients of the k Th harmonic ($k=1, 2 \dots 6$). These coefficients are given by (Panofsky and Brier (1958) and Wilks (2006)) as

$$A_k = \frac{1}{6} \sum_{t=1}^6 f_t \cos \left(\frac{2\pi}{12} kt \right) \quad (3)$$

and

$$B_k = \frac{1}{6} \sum_{t=1}^6 f_t \sin \left(\frac{2\pi}{12} kt \right) \quad (4)$$

Where f_t represents the monthly frequency of the annual 24-hour maximum precipitation amounts at the t Th month. The amplitude of a given harmonic is

$$C_k = [A_k^2 + B_k^2]^{1/2} \quad (5)$$

The variance of each harmonic can be calculated (Livada et al. 2008) as:

$$V_k = \frac{C_k^2}{2} \quad (6)$$

And the percentage of variance (PVR(k)) of each harmonic can be determined by the ratio:

$$PVR(k) = \frac{V_k}{\sum_1^6 V_k} \quad (7)$$

The phase angle of the k th harmonic can be obtained (Wilks 2006) by:

$$\phi_k = \begin{cases} \tan^{-1}(B_k/A_k), & A_k > 0 \\ \tan^{-1}(B_k/A_k) \pm \pi, \text{ or } \pm 180^\circ, & A_k < 0 \\ \frac{\pi}{2}, \text{ or } 90^\circ, & A_k = 0 \end{cases} \quad (8)$$

And the date of the occurrence of the maximum of each harmonic is given by (Livada et al. 2008):

$$T_k = \left(\frac{12}{360k} \right) \phi_k \quad (9)$$

Result and discussion:

With aim of 32 stations harmonic analysis of the inter-annual variability of the frequency of month-to-month monthly maximum precipitation for north region of Iran was applied. With the separation of the data into orthogonal components, in the form of harmonics, the variation of the data can be explained. Harmonic analysis produces the maximum and minimum occurrence instances along a time axis. Normally in the monthly data, six harmonics are adopted for application, but in practice, the first three harmonics are used over the western and central parts of region, in order to explain the variability of the examined annual frequency patterns of the monthly maximum precipitation amounts.

First harmonic

- PVR(1) value at the western part of this area is high
- Generally the PVR (1) values decrease from north to south and west to east.
- With increase the distance of sea and costal area PVR (1) values decrease.

Second harmonic

The spatial pattern of the second harmonic over area shows that the effectiveness of the second harmonic is the same at most part of northern Iran

Third harmonic

The spatial pattern of the third harmonic shows over the eastern parts of this region three or more harmonics are needed to describe the month-to-month variation of precipitation frequencies.

Amplitudes

The amplitude of the first harmonic describes the natural variation in a single cycle. Amplitude charts show the spatial distribution of the size of particular types of seasonal variations. The amplitude of the first harmonic describes the tendency towards a single annual variation in the observed frequency curves. High amplitudes occur over coastal parts of western part of area. With increasing longitude a reduction in amplitude of first harmonic is observed.

Conclusion:

The main results of the estimated percentages for the first, second and third harmonics, as well as the amplitudes and the phase angles, are plotted as contour charts from which the following conclusions can be drawn:

- the first harmonic at this region explain more variances
- after first harmonic second harmonic has more role for explain of variances
- Over eastern parts that precipitation occurrence is chaotic, values of PVR(2,3,4) explain the variance
- time of first harmonic varies from October to April
- Generally yearly cycle is dominant variability in maximum monthly precipitation at the most parts of this region.

Keywords: *Variability, Harmonic, Precipitation, Monthly, Variance, Maximum.*