

تحلیل هارمونیک فشار جو (مطالعه موردی: در تهران و بابلسر)

احمد عسگری*

۱- کارشناسی ارشد، عضو هیات علمی پژوهشکده هواشناسی

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۲/۰۵

تاریخ وصول: ۹۰/۰۹/۲۰

چکیده:

فشار جو یکی از فراسنج های هواشناختی است که اندازه گیری صحیح، دقیق و تبدیل درست آن در یک تراز ثابت از اهمیت ویژه‌ای در هواشناسی و برخی از علوم برخوردار است. تحلیل هارمونیک که یکی از روش های آشکارسازی تناوب‌ها در سری های زمانی منجمله سری های زمانی متغیرهای جوی است، در یک بررسی موردی برای فشار جو در ایستگاه های تهران مهرآباد واقع در منطقه داخلی فلات ایران و بابلسر واقع در منطقه پست ساحلی دریای خزر در دوره زمانی ۲۰۰۷-۱۹۶۱ انجام می گیرد. برخی دیگر از ویژگی های این عنصر نیز در دوره فوق‌الذکر مورد بررسی قرار می گیرد. در این بررسی دو هارمونیک اول به خوبی تغییرات میانگین ماهانه فشار تراز دریا (QFF) را برآورد می نمایند. در تهران (بابلسر) سهم واریانس حاصل از هارمونیک اول ۹۶/۷ درصد (۹۳/۹ درصد) و سهم دو هارمونیک اول ۹۹/۶ درصد (۹۹/۴ درصد) می باشد. در بررسی تغییرات طبیعی میانگین های سالانه فشار QFE و QFF نیز مدل های چند جمله ای در مقایسه با مدل های خطی، نمایی، توانی و لگاریتمی برازش بهتری را نشان می دهند. در دوره مورد مطالعه فوق‌الذکر، چند جمله ای درجه چهارم ($r^2=0/475$) برای QFE تهران بهترین برازش و چند جمله ای درجه پنجم ($r^2=0/69$) برای QFE بابلسر بهترین برازش را نشان می دهد. برای تحلیل QFF روزانه، از دیدبانی های سینوپتیکی (همدیدی) با فاصله زمانی ۳ ساعته استفاده شد. تحلیل فوریه این فشارها نشان داد که در تهران هارمونیک اول (تغییرات شبانه روزی) غالب بر هارمونیک دوم (تغییرات نیمه شبانه روزی) و در بابلسر هارمونیک دوم غالب بر هارمونیک اول است. تناوب های شبانه روزی و نیمه شبانه روزی فشار در تهران به ترتیب ۵۶ و ۴۳ درصد و در بابلسر به ترتیب ۴۷ و ۵۲ درصد از کل واریانس را پوشش می دهند. زاویه فاز هارمونیک های اول و دوم در تهران ۲۲/۵- و ۱/۲- و در بابلسر ۴۱/۱- و ۷/۱- می باشد.

واژگان کلیدی: تحلیل هارمونیک، تحلیل فوریه، فشار جو، تهران، بابلسر

مقدمه

فشار جو در میان عناصر هواشناختی، تنها عنصری است که تغییرات بالنسبه کم آن تغییرات مهمی را در وضعیت‌های جوی به همراه دارد و از این رو اندازه‌گیری دقیق و به موقع، تصحیح و مخابره سریع آن از ایستگاه‌های هواشناسی به مراکز پیش بینی از اهمیت زیادی برخوردار است. فشار جو در هر سطحی متناسب با وزن ستون هوای بالای آن سطح می‌باشد. فشار جو اولین بار با فشارسنج اختراع شده توسط تریجلی در سال ۱۶۴۳ اندازه‌گیری شد. مقدار آن در تراز میانگین دریای آزاد جو معیار برابر با ۷۶۰ میلی‌متر جیوه یا ۱۰۱۳/۲۵ هکتوپاسکال می‌باشد (Ahrens, 2010).

در میان عناصر جوی که به طور روزمره در ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود، فشار تنها عنصری است که مقدار آن با ارتفاع کاهش و نحوه این کاهش هم‌نمایی است. با توجه به وجود دامنه گسترده ارتفاعی در کشور، مردم دامنه متفاوتی از فشار هوا و به تبع از آن فشار اکسیژن را تجربه می‌کنند. به عنوان مثال ساکنان آبعلی با ارتفاع ۲۴۶۵ متر اکثر مواقع فشار هوای کمتر از ۷۶۰ هکتوپاسکال (فشار اکسیژن کمتر از ۱۶۰ هکتوپاسکال) و ساکنان بابلسر در کرانه‌های پست دریای خزر با ارتفاع ۲۱- متر تقریباً همواره با فشار هوای بیشتر از ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (فشار اکسیژن بیشتر از ۲۱۰ هکتوپاسکال) روبرو هستند (کمالی و همکاران، ۱۳۸۸).

فشار جو برخلاف دمای هوا که دارای تناوب تقریباً ۲۴ ساعته است، به علت تأثیرپذیری از تغییرات شبانه روزی دما و تأثیر جاذبه ماه و خورشید، علاوه بر چرخه شبانه روزی دارای چرخه تقریباً نیمه شبانه روزی نیز بوده که بیشینه‌های آن در ساعت‌های ۱۰ و ۲۲ محلی و کمینه‌های آن در ساعت‌های ۰۴ و ۱۶ محلی است که بیشینه ساعت ۱۰ و کمینه ساعت ۱۶ بارزتر می‌باشند. این تغییرات شبانه روزی در مناطق حاره کاملاً مشهود ولی در عرض‌های میانی در اثر فراوانی عبور سامانه‌های جوی در خیلی از مواقع به صورت کاملاً روشن دیده نمی‌شوند. دامنه اختلاف کمینه و بیشینه فشار در حاره و جنب حاره حدود ۳ و در عرض‌های میانه حدود یک هکتوپاسکال (hPa) است (Ahrens, 2010). فشار هوا علاوه بر چرخه‌های فوق، دارای تناوب فصلی نیز

می‌تواند باشد که تبعیت گردش عمومی جو، شدت، فراوانی و محل عبور سامانه‌های فشاری از جابجایی شمال جنوب خورشید در کره سماوی در آن نقش ایفاء می‌کند.

فشار جو در مقاصد هواشناسی به ۲ صورت و تحت واژه‌های QFE و QFF مورد استفاده قرار می‌گیرد که QFE فشار قرائت شده در سطح ایستگاه است که نسبت به خطای دستگاه فشارسنج، شتاب جاذبه معیار زمین ($g=980.665 \text{ cm Sec}^{-2}$) و دمای معیار صفر درجه سلسیوس تصحیح شده است ولی QFF فشار تبدیل شده سطح ایستگاه به میانگین تراز دریا (ارتفاع صفر) است که در ایران با استفاده از دمای هوای حاضر و دمای ۱۲ ساعت قبل ایستگاه و رابطه مناسب تبعی فشار با ارتفاع، مقدار آن محاسبه می‌شود که هر چه اختلاف ارتفاع ایستگاه با میانگین تراز دریا بیشتر باشد، دقت QFF محاسبه شده کمتر خواهد بود (سازمان هواشناسی جهانی (WMO), ۱۹۶۸).

در مورد کاربرد سری فوریه در فراسنج‌های جوی دارای ماهیت تقریباً چرخه‌ای، برخی از پژوهشگران مانند کارسون (Carson, 1963) اولین هارمونیک را کافی و برخی از پژوهشگران مانند کریشنان و کاشواها (Krishnan & Kushwaha, 1972) اولین هارمونیک را کافی ندانسته و بررسی اثرات هارمونیک‌های بعدی را نیز لازم دانسته‌اند.

ساموی (Samui, 1994) با استفاده از ۳۱ سال داده‌های هفتگی رطوبت خاک در پونای هند، رطوبت خاک و مقادیر بیشینه و کمینه آن‌ها را برای اعماق مختلف خاک برای هر هفته از سال با استفاده از روش فوریه و ۵ هارمونیک اول آن برآورد کرد.

لیاکاتاس (Liakatas, 1994) با کاربرد روش فوریه، دمای خاک را در اعماق مختلف از یکی از ایستگاه‌های یونان بررسی کرده و به این نتیجه رسید که اولین هارمونیک می‌تواند تا ۹۹ درصد تغییرات را پوشش دهد و حتی می‌توان با اطمینان خاطر کافی، برآورد را برای سطح خاک که معمولاً بی‌نظمی آن بیشتر است، هم انجام داد.

ال شال و میهوب (El-Shal & Mayhoub, 1996) با توجه به دوره پذیری دمای هوا و تابش خورشیدی، با استفاده از داده‌های بدون بعد شده دمای هوا، برآورد تابش خورشیدی را با استفاده از روش فوریه برای ۶ ایستگاه مصر

در منطقه داخلی فلات ایران و ایستگاه بابلسر واقع در منطقه پست ساحلی دریای خزر قرار دارد. یکی از دلایل انتخاب این ۲ ایستگاه برای این بررسی موردی، اختلاف ارتفاع بیش از ۱۲۰۰ متر آن‌ها و تاثیرپذیری کاملاً متفاوت از سامانه‌های فشاری و فاصله افقی نسبتاً کم آن‌ها می‌باشد.

انجام محاسبات تحلیل هارمونیک با استفاده از برنامه‌های نوشته شده و نیز برنامه‌های کتابخانه‌ای سری فوریه در محیط Excel انجام شد.

تحلیل هارمونیک به عنوان یکی از روش‌های آشکارسازی تناوب‌های مخفی در داده‌ها به بعد از سال ۱۸۰۷ برمی‌گردد که ژوزف فوریه ریاضیدان فرانسوی اولین بار، اصول تحلیلی را که بعداً به نام خود او تحلیل فوریه نام نهاده شد را تدوین نمود (Emery & Thomson, 2004).

یکی از قدیمی‌ترین نمونه از کاربرد آن به استفاده از این روش در تحلیل آماری داده‌های نجومی توسط بویجس و بالوت (Buijs- Ballot, 1874) بر می‌گردد (Pollock, 1999).

طبق تعریف فرهنگ هواشناسی (Glickman, 2000)، تحلیل هارمونیک روش آماری است که دامنه و تناوب مولفه‌های موجی یک مجموعه داده را به کمک سری فوریه تعیین می‌کند. تحلیل هارمونیک به عنوان مثال در تعیین تناوب پذیری داده‌های اقلیمی، طول موج گرت‌های شارش گردش عمومی جو، طیف پیچک‌های تلاطمی و کشندها به کار رفته است.

رابطه کلی سری فوریه برای داده‌های پیوسته

$$F(t) = \int_0^{\infty} (a_n \cos n\omega t + B_n \sin n\omega t) dt$$

(از جزئیات بیشتر برای داده‌های پیوسته صرف نظر می‌شود).

روابط با جزئیات بیشتر و برای داده‌های گسسته (داده‌های دیدبانی شده در بازه‌های زمانی منظم)

$$F(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos n\omega t + B_n \sin n\omega t$$

$$F(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega t + B_n \sin n\omega t$$

$$F(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos (n\omega t + \varphi_n)$$

$$F(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} d_n \sin (n\omega t + \theta_n)$$

در دوره ۴ ساله ۱۹۸۹-۱۹۹۲ انجام دادند که نتایج کار آن‌ها بیانگر نزدیکی زیاد مقادیر برآورد شده با مقادیر واقعی بود که میانگین مجذور انحراف ریشه (RMSE) در دامنه ۵/۸ تا ۶/۴ درصد بود.

جاستینو و همکاران در سال ۲۰۱۰ با بررسی درون سالی دمای هوا در منطقه جنوبگان دریافتند که بیشینه دامنه اولین هارمونیک دمای هوا در فلات شرقی منطقه جنوبگان قرار دارد.

ایزیک وو و همکاران (Isikwue, et. al., 2011) از روش هارمونیک برای برآورد تغییرات دماهای ساعتی در ۲ ایستگاه نیجریه در چند روز آینده استفاده نمودند. آنها با فرض عدم تغییرات قابل ملاحظه جوی و تقریباً تکرار شرایط روز قبل دماهای ساعتی را با استفاده از ۳ هارمونیک اول با دقت خوبی برای ۶ روز آینده برآورد نمودند.

از مطالعات انجام شده در کشور می‌توان به کار غیور و عساکره (۱۳۸۲) و اسفندیاری و حجام (۱۳۹۰) اشاره کرد. غیور و عساکره در الگوسازی فوریه از دماهای ماهانه مشهد (۱۲۷۲ میانگین ماهانه) از داده‌های قرنی مشهد (۱۹۹۶-۱۸۹۱) مهم‌ترین هارمونیک را هارمونیک یکمصد و ششم یافتند. اسفندیاری و حجام نیز با بررسی بارش ایستگاه‌های استان همدان در دوره ۲۰۰۵-۱۹۷۶ به این نتیجه رسیدند که در بخش‌های مرکزی استان اولین هارمونیک (تغییرات سالانه) و در بخش‌های شمال غربی و نیمه جنوبی استان دومین هارمونیک (تغییرات نیمه سالانه) غالب هستند.

هدف ما از این کار در واقع کشف ویژگی‌های چرخه‌ای عنصر فشار در ۲ ایستگاه متفاوت تهران و بابلسر است که تحلیل هارمونیک می‌تواند نقش هر یک از چرخه‌ها را با توجه به دامنه آنها ارایه نماید. این ویژگی‌ها و سهم هر یک از هارمونیک‌ها با استفاده از روش‌هایی همچون خود همبستگی قابل استنتاج نمی‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش، از داده‌های فشار QFE و QFF ایستگاه‌های تهران-مهرآباد و بابلسر در دوره آماری ۴۷ ساله ۲۰۰۷-۱۹۶۱ استفاده شد. ایستگاه تهران مهرآباد واقع

$$\frac{1}{2}F(t) = \frac{A(\omega) - iB(\omega)}{2}$$

چنانچه در نرم افزار فرضاً جواب $-2.6 + 1.2i$ بدست آمد.

$$\frac{A(\omega) - iB(\omega)}{2} = -2.6 + 1.2i$$

بنابراین مقدار ضریب $a(\omega)$ برابر $5/2$ و ضریب $b(\omega)$ برابر با $2/4$ می شود. روابط فوق در اکثر منابع و ادبیات سری های زمانی و تحلیل هارمونیک مانند دو چون (Duchon, 2012)، پولاک (Pollock, 1999)، اسپینگل (Spiegel, 1974)، چامپنی (Champeny, 1973) و شفیع (۱۳۸۲) دیده می شود.

بسط سری های زمانی برای محاسبه تبدیل فوریه^۲ یا دوره نگار^۳ این سری ها مورد استفاده قرار می گیرد. بنیای این تبدیل، قضیه پارسوال^۴ است که میانگین یا میانگین مربع انرژی یک سری زمانی را جمع سهم هارمونیک هایی که این سری زمانی را ساخته اند، می داند. اگر میانگین سری زمانی را \bar{y} و سهم n امین هارمونیک را y_n در نظر بگیریم، بنابراین واریانس (وردایی)^۵ δ^2

$$\delta^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (y_n - \bar{y})^2$$

سنجهای از کل انرژی سری زمانی فراهم می کند (Emery & Thomson, 2004).

بنابراین از ضرایب فوریه a_n و b_n برای تشکیل دوره نگار و تعیین سهم هر یک از مولفه های نوسانی (هارمونیک ها) در کل انرژی سیگنال (علامت) که در این بررسی علامت، عنصر جوی فشار است، استفاده می شود. در واقع مجموع مربع های ضرایب یک نوسان بیانگر اهمیت نسبی آن نوسان است که به عنوان مثال در حالت زیر:

$$(a_6^2 + b_6^2) \gg (a_2^2 + b_2^2)$$

انرژی طیفی به مراتب بیشتری در هارمونیک ششم نسبت به هارمونیک دوم وجود دارد. انرژی طیفی سری زمانی همان واریانس (وردایی) سری زمانی را نشان می دهد و نسبت مجموع مربع های ضرایب فوریه یک نوسان به واریانس سری زمانی نیز سهم آن نوسان را در کل واریانس یا کل انرژی طیفی نشان می دهد. دامنه هر نوسان نیز با ریشه

$$F(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} g_n e^{in\omega t} \quad \omega = \frac{2\pi}{t}$$

در روابط فوق الذکر تابع $F(t)$ بیانگر متغیر جوی مورد بررسی (مثلاً فشار هوا یا دما)، T تناوب، ω بسامد اصلی، a_n, b_n, c_n, d_n, g_n ضرایب (دامنه) و θ_n, φ_n بیانگر اختلاف فاز، t زمان و n تعداد هارمونیک ها می باشد. تعیین این ضرایب و اختلاف فاز و زمان تاخیر متناظر با اختلاف فاز یک نوسان (t_n) به صورت زیر انجام می شود.

$$a_0 = \frac{1}{T} \sum_0^T F(t)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \sum_1^T F(t) \cos n\omega t = g_n + g_{-n} = c_n \cos \varphi_n = d_n \sin \theta_n$$

$$b_n = \frac{2}{T} \sum_1^T F(t) \sin n\omega t = i(g_n - g_{-n}) = c_n \sin \varphi_n = d_n \cos \theta_n \quad n \geq 1$$

$$g_n = \frac{1}{T} \sum_1^T F(t) e^{-in\omega t} = \frac{1}{2}(a_n - ib_n), \quad g_{-n} = \frac{1}{2}(a_n + ib_n) \quad n \geq 1$$

$$c_n^2 = d_n^2 = a_n^2 + b_n^2 = 4g_n g_{-n}$$

$$\varphi_n = \text{Arc tg} \left(\frac{-b_n}{a_n} \right) \quad \theta = \text{Arc tg} \left(\frac{a_n}{b_n} \right)$$

$$t_n = \theta_n \frac{T}{2\pi m} \quad \frac{\theta_n}{2\pi} \times \frac{T}{n} \quad \theta_n \text{ in radian}$$

در این بررسی ضرایب و سایر ویژگی های سری فوریه با استفاده از تبدیل فوریه سریع (FFT¹) صورت گرفت به همانگونه که قبلاً ذکر شد.

$g_0 = \frac{a_0}{2}$
 $g_n = \frac{1}{2}(a_n - ib_n)$
 $g_{-n} = \frac{1}{2}(a_n + ib_n)$
 روابط زیر به گونه ای واضح تبدیل و نحوه پیدا کردن ضرایب را بیان می کند.

$$F(t) = \int_0^{\infty} (A(\omega) \cos \omega t + B(\omega) \sin \omega t) d\omega$$

$$F(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi} f(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

$$F(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) e^{i\omega t} dt = \begin{cases} \pi(A(\omega) - iB(\omega)) & \omega > 0 \\ \pi(A(\omega) + iB(\omega)) & \omega < 0 \end{cases}$$

$$\frac{1}{2}F(t) = \frac{1}{2\pi} [\pi(A(\omega) - iB(\omega)) \quad \omega > 0]$$

1. Fast Fourier Transform
 3. Periodogram

2. Fourier Transform
 4. Parseval's theorem

شکل ۱ بیانگر بالاترین و پایین ترین فشارهای QFF در این ۲ نقطه مورد مطالعه هستند. این شکل بیانگر قرار داشتن بالاترین رکورد فشار QFF بابلسر به میزان ۱۰۴۱/۶ هکتوپاسکال در روز ۲۵ ژانویه ۱۹۷۳ و پایین ترین رکورد فشار QFF به میزان ۹۹۴/۲ هکتوپاسکال در روز ۲۹ ژوئن ۱۹۹۵ می باشد. در تهران نیز بالاترین فشار QFF در یکی از روزهای ژانویه همان سال ۱۹۷۳ (۳ ژانویه) که بیانگر استقرار یک واپرخند قوی در شمال کشور می باشد ثبت و پایین ترین فشار QFF نیز به میزان ۹۸۷/۵ هکتوپاسکال در روز ۲۹ ژوئیه ۲۰۰۶ ثبت شده است.

رکوردهای QFE بابلسر تفاوت زیادی با رکوردهای QFF آن از نظر مقدار فشار ندارد ولی در تهران پایین ترین فشار QFE به میزان ۸۶۷/۴ هکتوپاسکال در ۲۹ ژوئن ۲۰۰۶ و بالاترین فشار به میزان ۸۹۶/۶ هکتوپاسکال در ۱۸ نوامبر ۱۹۹۶ به ثبت رسیده است. در سطح جهان بالاترین فشار در میانگین تراز دریا (QFF) به میزان ۱۰۸۵/۷ هکتوپاسکال در مغولستان در ۱۹ دسامبر ۲۰۰۱ در یک واپرخند گرمایی و پایین ترین آن به میزان ۸۷۰ هکتوپاسکال در شمال جزیره گوام در اقیانوس آرام در ۱۲ اکتبر ۱۹۷۹ در یک توفان حاره ای رخ داده است.

(answers.yahoo.com; Ahrens, 2010).

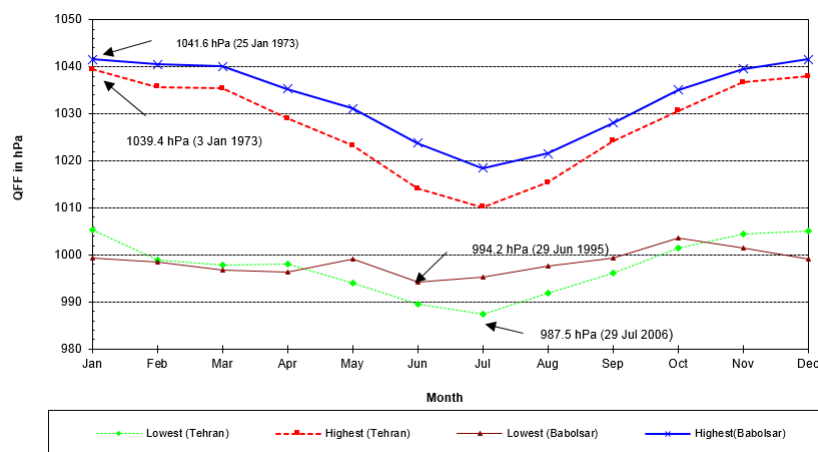
میانگین سالانه فشار QFF بابلسر در دوره ۴۷ ساله ۲۰۰۷-۱۹۶۱ برابر با ۱۰۱۵/۸ هکتوپاسکال است. مقدار انحراف معیار ($SD=0.72$) و ضریب تغییرات ($CV=0.07$) موید تغییرات کم میانگین سالانه فشار QFF در بابلسر است. بالاترین میانگین سالانه فشار QFF بابلسر به میزان ۱۰۱۷/۳ از سال ۱۹۹۳ و پایین ترین آن به میزان ۱۰۱۴/۳ هکتوپاسکال از سال ۱۹۶۷ به ثبت رسیده است (اختلاف حدود ۳ هکتوپاسکال). میانگین سالانه فشار QFF در تهران برابر با ۱۰۱۱/۷ هکتوپاسکال و انحراف معیار و ضریب تغییرات به ترتیب برابر با ۰/۹۸ و ۰/۱۰ می باشد که بیانگر تغییرات خفیف بین سالی بیشتری نسبت به بابلسر می باشد. بالاترین میانگین سالانه فشار QFF تهران به میزان ۱۰۱۳/۵ از سال ۱۹۷۲ و پایین ترین آن به میزان ۱۰۰۸/۸ هکتوپاسکال از سال ۱۹۹۷ به ثبت رسیده است (اختلاف حدود ۵ هکتوپاسکال).

دوم مجموع مربع های ضرایب، $(a_2^2 + b_2^2)^{\frac{1}{2}}$ نشان داده می شود (Emery & Thomson, 2004).

یکی از مشکلات عمده روش مستقیم فوریه، سرعت محاسباتی کم آن است. در روش مستقیم فوریه نیاز به بسط سری زمانی به یک سری جملات سینوسی و کسینوسی وجود دارد که کاری زمان بر می باشد. تبدیل فوریه سریع (FFT) راهی برای افزایش سرعت این محاسبات در کنار حفظ دقت محاسباتی می باشد. در تبدیل فوریه سریع، N تعداد داده ها، باید برابر با $N=2^n$ (عدد زوج n) باشد که این یک محدودیت می باشد که فقط شامل سری های زمانی با تعداد ۴، ۱۶، ۶۴، ۲۵۶ و ... می شود. در روش مستقیم فوریه این محدودیت وجود ندارد ولی تعداد عملیات محاسباتی زیاد و به میزان N^2 می شود در صورتیکه در روش تبدیل فوریه سریع، تعداد عملیات محاسباتی به مراتب کمتر و به میزان $8N \log_2^N$ است. به هر حال در محاسبات وسیع و گسترده، هر چه تعداد داده ها بیشتر باشد، بیشتر صلاح بر استفاده از تبدیل فوریه سریع می باشد. بندهات و پیرسول (Bendat & Piersol, 1968) نسبت سرعت محاسباتی تبدیل فوریه سریع را به روش مستقیم $\frac{N}{4P}$ می دانند که N تعداد داده ها و P دوره تناوب می باشد.

نتایج

با توجه به توپوگرافی (عارضه نگاری) گسترده کشور و تبعیت نمایی فشار از ارتفاع، مردم در نواحی پست کشور مانند ناحیه ساحلی دریای خزر (ارتفاع کمتر از صفر) با فشار زیاد (عمدتاً بالای ۱۰۰۰ هکتوپاسکال)، در منطقه نسبتاً مرتفع مانند تهران (ارتفاع ۱۱۹۱ متر) با فشار همواره کمتر از ۹۰۰ هکتوپاسکال و در مناطق مرتفع مسکونی مانند آبدلی، فریدون شهر، سمیرم، بافت، خوانسار (ارتفاع بیش از ۲۲۰۰ متر) با فشار کمتر از ۸۰۰ هکتوپاسکال مواجه هستند. در نقاط بسیار مرتفعی مانند قله دماوند فشار حدود ۵۰۰ هکتوپاسکال و قله اورست فشار حدود ۳۰۰ هکتوپاسکال است که به ترتیب کمتر از نصف و کمتر از ثلث فشار هوا در میانگین تراز دریا در جو معیار (۱۰۱۳/۲۵ hPa) می باشد (Ahrens, 2010).

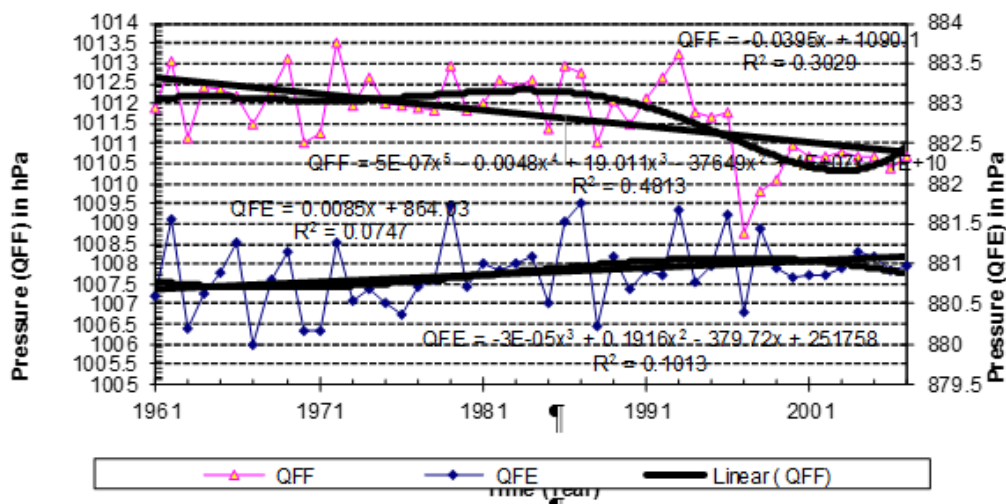


شکل ۱- فرین های QFF در تهران و بابلسر در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۷

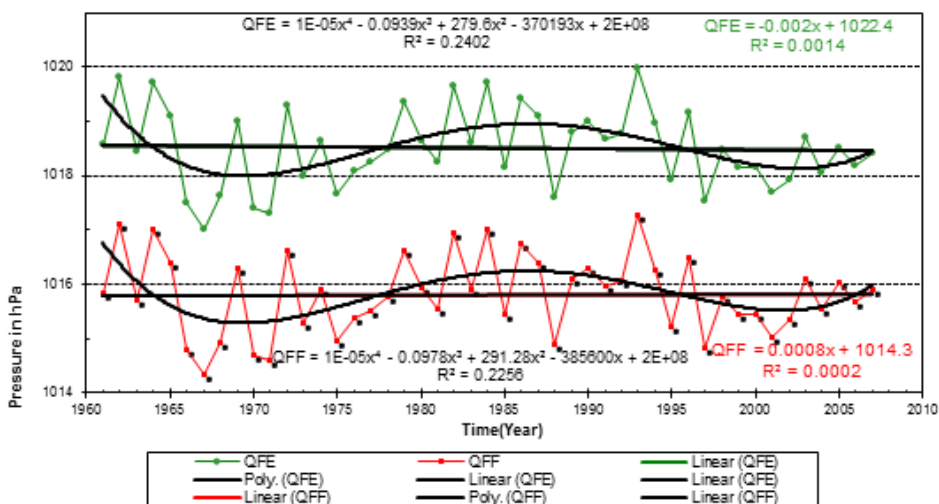
شکل های ۲ و ۳ بیانگر نوسانات میانگین های سالانه فشار QFE و QFF در تهران و بابلسر می باشد. همانگونه که این شکل ها نشان می دهند، روند خطی آن ها، بسیار ضعیف و از نظر آماری نیز عمدتاً معنی دار نیست ولی در رابطه با روند غیر خطی آن ها، بهترین برازش را چند جمله ای ها نشان می دهند، برای QFE تهران چند جمله ای درجه ۳ با $r=0/32$ ، برای QFF تهران چند جمله ای درجه ۳ با $r=0/69$ ، برای QFE بابلسر چند جمله ای درجه ۴ با $r=0/49$ و برای QFF بابلسر چند جمله ای درجه ۴ با $r=0/48$ که غیر از چند جمله ای درجه ۳ QFE تهران که فقط در تراز ۵٪ از نظر آماری معنی دار است، بقیه در هر دو تراز ۵٪ و ۱٪ معنی دار هستند. گرچه چند جمله ای ها حتی با درجه $N-1$ در این جا با درجه $46-1=47$ هم می توانند برقرار شوند و با افزایش درجه، مقدار r ضریب همبستگی هم افزایش یابد ولی انتخاب چند جمله ای برازنده با توجه به حداقل واریانس باقیمانده ها صورت می گیرد، که این واریانس یا باید حداقل بوده و یا در هنگام افزایش درجه چند جمله ای، واریانس آن کاهش قابل ملاحظه پیدا کند.

مقایسه میانگین های ماهانه فشار QFF و پراکنش آن ها حاکی از آن است که در بابلسر بیشترین انحراف معیار در ماه فوریه ($SD=2/98$) مشاهده می شود که بیانگر بیشترین نوسانات فشاری ماه فوریه از سالی به سال دیگر است. احتمال اینکه بابلسر در این ماه به دفعات بیشتری تحت تاثیر الگوهای مختلف فشاری مانند پرفشار سیبری قرار گرفته باشد، وجود دارد ولی اظهار نظر قطعی مستلزم تحلیل همدیدی الگوهای فشاری است. بالاترین میانگین ماهانه فشار QFF ماه فوریه بابلسر در سال ۱۹۸۴ برابر با $1028/4$ هکتوپاسکال و کمترین آن در سال ۱۹۸۵ برابر با $1012/5$ هکتوپاسکال است که بیانگر حدود ۱۶ هکتوپاسکال اختلاف در ماه فوریه است که این چنین تفاوتی در هیچ یک از ماه ها مشاهده نشده است.

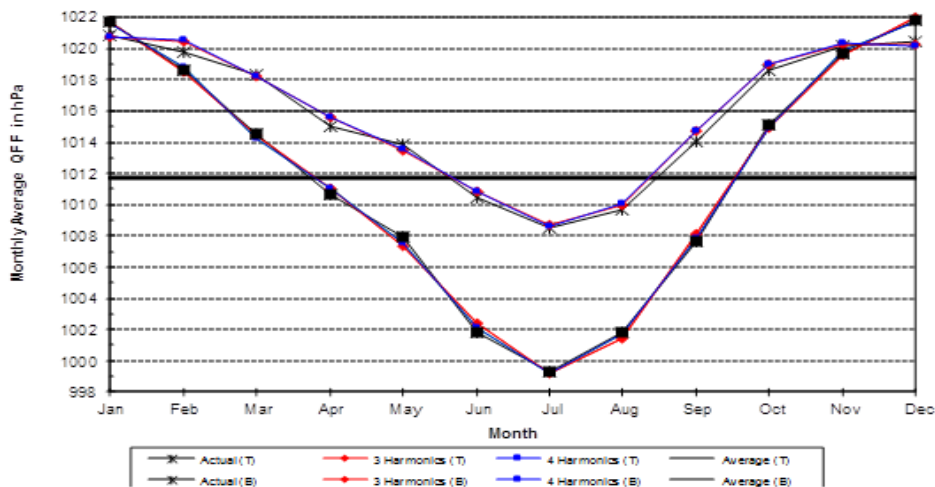
در تهران نیز بیشترین انحراف معیار در میانگین های ماهانه فشار QFF مربوط به ماه فوریه ($SD=3/72$) است. در این ایستگاه نیز بالاترین و پایین ترین میانگین های ماهانه فشار QFF فوریه به ترتیب با مقادیر $1025/1$ و $1013/4$ به ترتیب در همان سال های ۱۹۸۴ و ۱۹۸۵ رخ داده است.



شکل ۲- تغییرات طبیعی میانگین سالانه فشار QFE و QFF تهران همراه با معادله خط واریازی و معادله مناسب ترین چند جمله ای



شکل ۳- تغییرات طبیعی میانگین سالانه فشار QFE و QFF بابل همراه با معادله خط واریازی و معادله مناسب ترین چند جمله ای



شکل ۴: میانگین سالانه و میانگین های ماهانه فشار QFF تهران و بابل همراه با ۳ و ۴ هارمونیک اول آنها

تعداد جملات بیشتری را در معادله حفظ و محاسبات را انجام داد که سقف آن تا برای $\frac{N}{2}$ هارمونیک می باشد. به عنوان مثال در سری فوریه QFF تهران، در قالب جملات سینوسی، بیشترین مقدار هر هارمونیک موقعی رخ می دهد که مقدار زاویه برابر با 90° درجه شود، مثلاً $(60t-14.4)$ در هارمونیک دوم برابر با 90° شود. در این هارمونیک دوم، اختلاف فاز برابر با $14/4^\circ$ و دامنه برابر با $1/79$ می باشد.

تقی زاده (۱۳۷۵) در اجرای بخش فشار هوای پروژه اطلس اقلیمی ایران به بررسی میانگین های ماهانه فشار QFF و مقادیر بدست آمده از چهار هارمونیک اول تا چهارم در دوره استاندارد نرمال ۱۹۹۰-۱۹۶۱ پرداخت. او روابطی کاملاً متفاوت برای منطقه ساحلی دریای خزر در مقایسه با سایر مناطق کشور بدست آورد.

شکل های ۵ و ۶ تغییرات شبانه روزی فشار QFF و هارمونیک های اول تا چهارم را در تهران و بابلسر نشان می دهد. هارمونیک اول تغییرات شبانه روزی (۲۴ ساعته)، هارمونیک دوم تغییرات نیمه شبانه روزی (۱۲ ساعته) و به همین ترتیب هارمونیک های سوم و چهارم تغییرات ۶ و ۳ ساعته را نشان می دهد. در تهران هارمونیک اول 56% و هارمونیک دوم 43% از کل واریانس را پوشش می دهند. در بابلسر سهم واریانس هارمونیک اول کمتر از هارمونیک دوم است (47% در برابر 52%).

گرچه دو هارمونیک اول در هر دو ایستگاه حدود 99% درصد واریانس از کل واریانس را تشکیل می دهند و نقش هارمونیک های سوم و چهارم بسیار ضعیف است ولی با این حال سری فوریه برای تمام چهار هارمونیک در قالب جملات سینوسی آورده می شود.

تهران:

$$QFF=1011.7+0.92 \sin (45t-22.5)-0.8 \sin (90t-1.2)$$

در جمله فوق عدد $1011/7$ میانگین فشار تهران و اعداد $0/92$ و $0/8$ دامنه هارمونیک های اول و دوم، و اعداد $22/5$ و $1/2$ زاویه فاز به درجه می باشند.

بابلسر:

$$QFF=1015.8+0.42 \sin (45t-41.1)-0.44 \sin (90t-7.7)$$

شکل ۴ مقادیر واقعی میانگین های فشار ماهانه QFF در مقایسه با مقادیر برآورد شده با ۳ هارمونیک اول و ۴ هارمونیک اول در تهران و بابلسر نشان می دهد. در راهنمای شکل، حرف T برای تهران و حرف B برای بابلسر به کار گرفته شده است. در تهران ۳ هارمونیک اول 99% و در بابلسر نیز ۳ هارمونیک اول 99% از کل واریانس را تشکیل می دهند. جالب است در تهران واریانس اول $96/7\%$ و در بابلسر واریانس اول $93/9\%$ از کل واریانس را تشکیل می دهد.

سری فوریه بدست آمده برای میانگین های ماهانه فشار QFF برای چهار هارمونیک اول در دوره مطالعاتی به صورت زیر می باشد:

تهران: در قالب جملات سینوسی و کسینوسی

$$QFF=1011.73+10.03 \cos 30t+3.82 \sin 30t+0.45 \cos 60t-1.74 \sin 60t-0.22 \cos 90t+0.63 \sin 90t-0.27 \cos 120t-0.16 \sin 120t$$

تهران: در قالب جملات سینوسی

$$QFF=1011.73+10.7 \sin (30t+69.2)-1.79 \sin (60t-14.4)+0.67 \sin (90t-19.1)+0.32 \sin (120t+59.1)$$

تهران: در قالب جملات کسینوسی

$$QFF=1011.73+10.7 \cos (30t-20.8)-1.79 \cos (60t+75.6)+0.67 \cos (90t+70.9)-0.32 \cos (120t-30.9)$$

بابلسر: در قالب جملات سینوسی و کسینوسی

$$QFF=1015.82+5.50 \cos 30t+2.16 \sin 30t-0.23 \cos 60t-1.28 \cos 60t-0.61 \cos 90t+0.27 \sin 90t-0.03 \cos 120t-0.07 \sin 120t$$

بابلسر: در قالب جملات سینوسی

$$QFF=1015.82+5.91 \sin (30t+68.6)-1.30 \sin (60t+10.1)+0.67 \sin (90t-66.3)-0.07 \sin (120t+20.5)$$

بابلسر: در قالب جملات کسینوسی

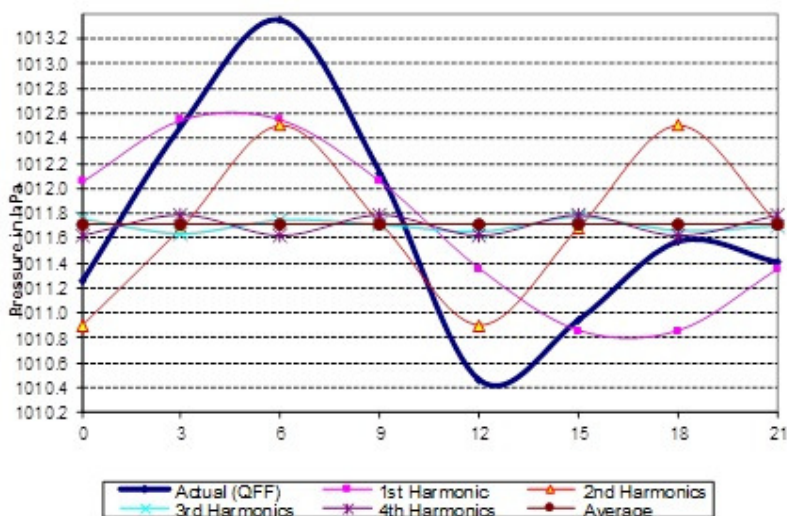
$$QFF=1015.82+5.91 \cos (30t-21.4)-1.79 \cos (60t-79.9)+0.67 \cos (90t+23.7)-0.07 \cos (120t-69)$$

در قالب جملات سینوسی و در قالب جملات

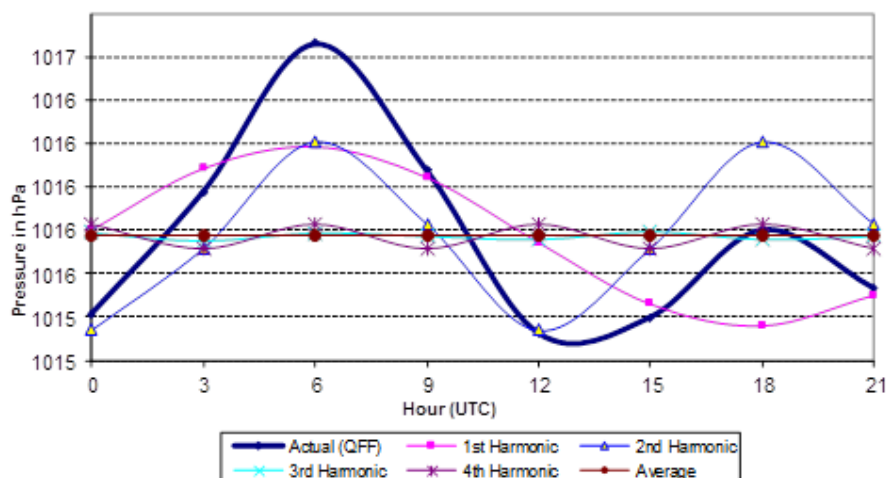
کسینوسی، چهار هارمونیک اول همان ۴ جمله اول مثلثاتی معادله های مربوطه می باشند و در قالب جملات سینوسی و کسینوسی، چهار هارمونیک اول همان ۸ جمله اول مثلثاتی معادله آن می باشند. بنابراین با توجه به اینکه تعداد داده های مورد استفاده $n=12$ می باشد، می توان حتی جملات را برای شش هارمونیک نیز تنظیم نمود و برای برآورد دقیق تر، باید

هارمونیک اول است و دای و وانگ (Dai & Wang, 1999)، در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که در منطقه حاره دامنه‌ها در هر دو هارمونیک نزدیک به هم ولی در مناطق قاره‌ای حاره دامنه هارمونیک اول قویتر از دامنه هارمونیک دوم است.

در این جمله هم $1015/8$ میانگین فشار بابلرس و اعداد $0/44$ و $0/42$ - دامنه هارمونیک‌های اول و دوم و اعداد $41/1$ - و $7/7$ - زاویه فاز به درجه می‌باشند. هورویتز و کولی (Haurwitz & Cowley, 1973) در که در منطقه حاره‌ای هارمونیک دوم فشار قویتر از



شکل ۵- میانگین، مقادیر واقعی و هارمونیک‌های اول تا چهارم فشار QFF تهران در ساعات‌های همدیدی در دوره ۲۰۰۷-۱۹۶۱



شکل ۶- میانگین، مقادیر واقعی و هارمونیک‌های اول تا چهارم فشار QFF بابلرس در ساعات همدیدی در دوره ۲۰۰۷-۱۹۶۱

زمستان غالب است. در ایستگاه پست چیبایی، دامنه $0/5$ هکتوپاسکال هارمونیک اول در برابر $0/8$ هکتوپاسکال هارمونیک دوم در فصل تابستان و دامنه $0/8$ هکتوپاسکال هارمونیک اول در برابر $1/2$ هکتوپاسکال هارمونیک دوم در

چن و همکاران (Chen et al., 2000) در بررسی ۲ ایستگاه نمونه تایوان که فاصله افقی کم ولی اختلاف ارتفاع زیاد (حدود ۴ کیلومتر) داشتند، ملاحظه کردند که هارمونیک دوم (نیمه شبانه روزی) در هر ۲ فصل تابستان و

در بررسی فشارهای QFF در ساعات همدیدی، در تهران هارمونیک اول (تغییرات شبانه روزی) غالب بر هارمونیک دوم (تغییرات نیمه شبانه روزی) و در بابلسر هارمونیک دوم غالب بر هارمونیک اول نشان داد.

فصل زمستان و در ایستگاه مرتفع پوشان، دامنه ۰/۱۵ هکتوپاسکال هارمونیک اول در برابر ۰/۶ هکتوپاسکال در هر ۲ فصل تاییدی بر مطلب فوق است.

نتیجه‌گیری و جمع بندی

تغییرات فشار در مقياس سالانه در تهران به میزان مختصری بیشتر از آن در بابلسر است. در هر دو ایستگاه تهران و بابلسر بیشترین پراکنش میانگین‌های ماهانه فشار QFF در ماه فوریه مشاهده می‌شود که مقدار این پراکنش در بابلسر کمی بیشتر از آن در تهران می‌باشد. احتمال اینکه این دو نقطه به ویژه بابلسر در این ماه به دفعات بیشتری تحت تاثیر الگوهای مختلف فشاری مانند واچرخند گرمایی سیبری قرار گرفته باشد وجود دارد که اظهار نظر قطعی مستلزم بررسی‌های جامع همدیدی است.

رکوردهای QFE در بابلسر حاکی از آن است که به ندرت فشار QFE به کمتر از ۱۰۰۰ هکتوپاسکال رسیده است و پایین‌ترین آن هم به میزان ۹۴۴/۲ هکتوپاسکال در ۱۷ آوریل ۱۹۶۹ به ثبت رسیده است و فشار QFE در تهران نیز هرگز فراتر از ۹۰۰ هکتوپاسکال نرسیده است زیرا بالاترین فشار QFE تهران به میزان ۸۹۶/۶ هکتوپاسکال در ۱۸ نوامبر ۱۹۹۶ به ثبت رسیده است.

روند خطی تغییرات میانگین‌های سالانه فشار QFE و QFF در دوره ۴۷ ساله مورد مطالعه، غیر از روند منفی QFF تهران که با $r^2 = ۰/۳۰۲۹$ و $r = -۰/۵۵$ در تراز ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار است، در بقیه موارد ضعیف و از نظر آماری غیر معنی‌دار است. از میان مدل‌های مختلف غیر خطی، مناسب‌ترین برازش QFE سالانه تهران یک چند جمله‌ای درجه ۳، QFF سالانه تهران یک چند جمله‌ای درجه ۴ و QFE و QFF سالانه بابلسر چند جمله‌ای‌های درجه ۴ می‌باشد که همگی آن‌ها در سطح ۵٪ معنی‌دار هستند.

سه هارمونیک اول چه در تهران و چه در بابلسر ۹۹٪ واریانس از کل واریانس میانگین‌های ماهانه فشار QFF را تشکیل می‌دهند و حتی اگر دقت بالا در دستور کار نباشد در این حالت اولین هارمونیک نیز کفایت می‌کند. اولین هارمونیک تهران ۹۶/۷٪ و اولین هارمونیک بابلسر ۹۳/۹٪ واریانس را از کل واریانس پوشش می‌دهند.

منابع

- Ahrens, C. D., 2010, Essentials of meteorology, an invitation to the atmosphere, 5th edition, Brooks/Cole publication, USA.
- Bendat, J. C and A. G. Piersol, 1968, Random data, Analysis and measurement procedures, John Wiley publications, New York, USA.
- Carson, J. E., 1963, Analysis of soil and air temperatures by Fourier techniques, J. of Geophysics Research, No. 68 pp. 2217-2232.
- Champeney, D. C., 1973, Fourier transforms and their physical applications, Academic Press, London.
- Chen, T. C, M. C. Yen and J. D. Tsay, 2000, Annual and semiannual variation of surface pressure in Taiwan, J. of Climate, Vol. 13, pp. 1436-1440.
- Dai, A. and J. Wang, 1999, Diurnal and semidiurnal tides in global surface pressure fields, J. Atmos. Sci., Vol. 56, pp. 3874-3891.
- Duchon, C., 2012, Time series analysis in meteorology and climatology, Wiley-Blackwll Pub., Singapore.
- El-Shal, A. I., and A. B. Mayhoub, 1996, Estimating solar radiation as a function of air temperature using Fourior series, Theor, Appl. Climatology, No. 54, pp., 153-159.

9. Emery, W. J., and R. E. Thomson, 2004, Data analysis methods in physical oceanography, second and revised edition, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
10. Esfandiari, M. and S. Hajjam, 1390, Harmonic analysis of Hamedan's precipitation seasonal cycles, Fourth conference on water resources management of Iran, 13th and 14th Ordibehesht, 1390, Amirkabir Technical University, Tehran, Iran (in Farsi).
11. Ghayoor, H. And H. Asakereh, 1382, Applications of Fourier models in estimation of monthly temperature and its outlook, Case study: Mashhad temperature, 3rd regional conference on climate change, 29th Mehr -1st Aban, 1382, Esfahan, Iran (in Farsi).
12. Glickman, T. S., 2000, Glossary of meteorology, second edition, American meteorological society, Boston, Massachusetts, USA.
13. Haurwitz, B. and D. Cowley, 1973, The diurnal and semidiurnal barometric oscillation, global distribution and annual variation, Pure Appl. Geophysics, Vol. 102, pp. 192-222.
14. Isikwue, B. C., O. I. Agada, E. U. Utah, and F. N. Okeke, 2011, Application of harmonic analysis in the preliminary prediction of air temperature over Lagos and Abuja, Nigeria, British journal of environment and climate change, vol. 1, No. 3, 53-65.
15. Justino, F., A. Setzer, , T. J. Bracegirdle, D. Mendes, G. Dechiche, and C. E. G. R. Schaefer, 2010, Harmonic analysis of climatological temperature over Antarctica, Present day and greenhouse warming perspectives, Int. J. of Climatology, Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI, 10.1002/joc.2090.
16. Kamali, G., A. Asgari and K. Noohi, 1388, Applied meteorology, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC) publication (in Farsi).
17. Krishnan, A. and Kushwaha, R. S., 1972, Analysis of soil temperature in the arid zone of India by Fourier techniques, Agric. Meteorology, No. 10 pp. 55-64.
18. Liakatas, A., 1994, Harmonic analysis and modeling of annual soil temperature variations, Mausam, Vol. 45, No. 2, pp. 121-128.
19. Pollock, D. S. G., 1999, a handbook of time series analysis, signal processing and dynamics, Academic press, San Diego, CA, USA.
20. Samui, R. P., 1994, Fourier analysis of weekly soil temperatures at pune, Mausam Vol. 45, No. 1, pp. 29-34.
21. Shafiee, M, 1382, Fourier analysis and its applications in engineering, Telecommunication research center of Iran publication (in Farsi).

22. Spiegel, M. R., 1974, Schaum's Outline of Fourier Analysis with Applications to Boundary Value Problems, Boomerang Books
23. Taghizadeh, H, 1375, Final report of atmospheric pressure study group, climate Atlas of Iran project, Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO) publication (in Farsi).
24. WMO, 1968, Methods in use for the reduction of atmospheric pressure, World Meteorological Organization Technical note No. 91, WMO-No. 226, Geneva, Switzerland.