

جاب‌جایی مرز شمالی پُراتفَاع جنب‌حاره در نصف‌النهارهای متفاوت ایران

حدیث گل‌محمدیان^{۱*} و محمدرضا پیشوایی^۲

^۱ کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران

استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه شیراز، ایران

(دریافت: ۹۲/۷/۲۰، پذیرش نهایی: ۹۳/۱۱/۲۸)

چکیده

نوار همگرایی درون‌حاره‌ای (ITCZ) در فصل‌های گوناگون سال دارای جاب‌جایی نصف‌النهاری است که موجب جاب‌جایی نوار پُراتفَاع جنب‌حاره (STH) می‌شود. هدف از این پژوهش تعیین موقعیت مرز شمالی نوار STH عبوری از روی ایران در مقیاس ماهانه در دوره ۱۹۴۸-۲۰۱۰ است. داده‌های ماهانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از بازکاوی NCEP برای نه نصف‌النهار ایران به فاصله ۲/۵° استخراج شد. با مشاهده پشت سر هم تعداد ۷۵۶ نقشه هواشناسی، پربند ارتفاعی ۵۸۴۰ ژئوپتانسیل متر در حکم مرز شمالی نوار STH انتخاب شد و سپس سری زمانی ماهانه موقعیت آن به کمک برنامه‌نویسی در محیط گرادز (GrADS) صورت گرفت. نتایج نشان داد که به‌طور میانگین کمترین عرض جغرافیایی موقعیت نوار STH در ماه ژانویه در مدار ۱۸°N و بیشترین آن در ماه اوت در مدار ۳۹°N مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که جاب‌جایی آن روی نصف‌النهارهای عبوری از روی ایران به ۲۱ درجه می‌رسد. میانگین‌های اقلیمی STH در دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۰ نسبت به دوره ۱۹۵۱-۱۹۸۰ حدود ۲/۸°N به سمت شمال به تقریب در همه ماه‌های سال جاب‌جا شده‌اند. لذا آزمون مان-کندل در مقیاس ماهانه و سالانه صورت گرفت و نشان داد که روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ با میانگین تقریب شیب ۰/۰۷ در دوره مورد بررسی وجود دارد که این بیانگر سیگنال تغییرات اقلیمی گردش جوی در ایران است.

واژه‌های کلیدی: مرز شمالی نوار STH، جاب‌جایی روی نصف‌النهار، روند مان-کندل، ایران

Displacement of upper envelope sub-tropical high over Iran

Golmohammadian, H.¹ and Pishvaei, M. R.²

¹M.Sc. in Agrometeorology, Shiraz University, Iran

²Assistant, Professor, Department of Water Engineering, Shiraz University, Iran

(Received: 12 Oct 2013, Accepted: 17 Feb 2015)

Summary

According to General Circulation Model (GCM), zonal thermal belts are 1- Inter-Tropical Convergence Zones (ITCZ) around equator; 2- Sub Tropical High (STH) belt around 30 degree latitude; 3- Sub Polar Low (SPL) belt around high latitudes. The belt of Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ) displaces in meridional path, about 5° over the oceans and up to 40° over continents, during the seasons of a year. The position of Sub-Tropical High (STH) belt is also affected by ITCZ movement. STH displacement may change the area covered by the westerly Baroclinic Waves (BW) in temperate regions. The position of the STH is an important issue for changing precipitation regime and onset of precipitation events in Iran. The goal of this research is to determine the position of STH belt over Iran in monthly scale during 1948-2010 period undertaking its meridional displacement. Geopotential height data was extracted from NCEP/NCAR reanalysis with 2.5 degrees resolutions (42.5 °E, 45 °E, 47.5 °E, 50 °E, 52.5 °E, 55 °E, 57.5 °E, 60 °E and 62.5 °E) for nine meridians over Iran ranging from 42.5°E to 62.5°E. Goal of this research consist of: 1- Position determination of Sub Tropical High (STH) belt in monthly scale passing over

Iran in 1948 - 2010 period; 2- Evaluation of meridional displacement of STH position over Iran in 1948 - 2010 period in order to assess climate changes. By consecutive observations of 756 of 500 hPa monthly maps in GrADS (Grid Analysis and Display System) scope, 5840 gpm contour was indicated as the STH indicator. It is because the southern area of 5840 gpm contour, almost covered by northern latitude of the system while the northern area is occupied by the westerly waves during monthly round maps. This result agrees with previous studies. The strip of northern latitude is determined by 20 m width ranging from 5830 gpm to 5850 gpm. Monthly time series of STH position (unit: degree of northern latitude) was then detected using GrADS programming. Results show that the position of STH is between 10°N and 47.5°N as the most extremes in winter and summer respectively. For the long term means, the minimum northern latitude was averagely observed in January placed on 18°N zone, while maximum happened in August crossing 39°N zone during the investigated period. Its meridional displacement then reaches 21° over Iran averagely. Moreover climatic means of STH positions during 1981 - 2010 period with respect to 1951-1980 period were migrated approximately 2.8° northward. It is concluded that STH position was moved toward higher latitudes, about 2.8 degrees, in recent decade. The non-parametric Mann - Kendall trend test was applied on time series of STH position in monthly and annual scale. Results showed generally rising trends under 0.01 significance level, with 0.07 slope approximations during 1948 - 2010 period. It demonstrated the signal of climatic variability of atmospheric circulation over Iran. It is suggested that the time series of Sub Tropical High position be as the input of climate prediction models yielding temperature and precipitation as well as drought study.

Keywords: Northern envelope of sub-tropical high (STH), Meridional displacement, Iran, Mann-Kendall trend

۱ مقدمه

Tropical High: STH) اثر می گذارد. در نیمه سرد سال، ایران جزء مناطق معتدله محسوب می شود؛ به طوری که امواج کژ فشار غربی (Baroclinic Waves: BW) از روی آن عبور می کنند، در حالی که موقعیت نوار STH در جنوب آن است. اما در نیمه گرم سال نوار STH با حرکت به عرض های جغرافیایی بالاتر، سرزمین ایران را به طور کلی فرا می گیرد. جا به جایی موقعیت نوار STH روی نصف النهار که همانند نواری باریک است، با تغییر فصل همراه است. لذا در این پژوهش موقعیت مرز شمالی STH روی ایران در دوره ۱۹۴۸-۲۰۱۰ بررسی می شود. حجازی زاده (۱۳۷۲) با بررسی منطقه پرفشار جنب حاره ای، پربند ۵۸۴ ژئوپتانسیل د کاتمر در نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال را معرف حد شمالی پرفشار جنب حاره ای دانسته است. ویژگی های جغرافیایی مراکز تحت تأثیر پرفشار جنب حاره ای (STH) منطقه آسیا و آفریقا، مهم ترین عامل تغییر اقلیم این نواحی به شمار می آید.

نوار همگرایی درون حاره ای (Inter-Tropical Convergence Zone: ITCZ) مهم ترین نوار گرمایی است که در اثر گردش عمومی جو بوجود می آید و طول آن حدود ۴۰ هزار کیلومتر در اطراف خط استوا است (آرنز، ۲۰۰۰). در فصل های گوناگون ITCZ دارای جابه جایی روی نصف النهارها است. در سطح اقیانوس ها جابه جایی ITCZ به میزان ۴ تا ۵ درجه عرض جغرافیایی است اما این تغییرات برای خشکی ها بیشتر است و امکان دارد تا حدود ۴۰ درجه جابه جایی برسد (بری و کارلتون، ۲۰۰۱؛ پیکسوتو و اوورت، ۱۹۹۲). بررسی موقعیت ITCZ با استفاده از مدل توازن انرژی جهانی نشان می دهد که دامنه جابه جایی نوار ITCZ روی نصف النهارها به طور میانگین در قاره ها 25° است اما در اقیانوس ها به 5° می رسد (آلپاتی و رامن، ۱۹۸۹). تغییر موقعیت ITCZ در فصل های گوناگون سال و جابه جایی آن به طور مستقیم روی تغییر موقعیت نوار پرفشار جنب حاره ای (Sub-

پُراتفِاع جنب‌حاره عبوری از روی ایران در مقیاس ماهانه در دوره ۱۹۴۸-۲۰۱۰ و بررسی جابه‌جایی آن روی نصف‌النهارها است.

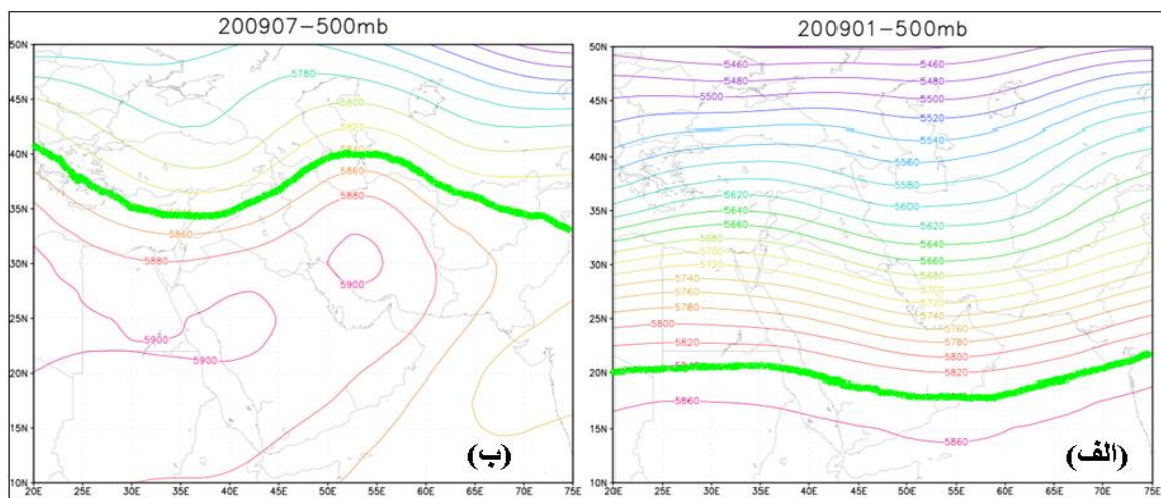
۲ داده‌ها

داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال در دوره آماری ۱۹۴۸-۲۰۱۰ در مقیاس ماهانه برگرفته از تارنمای نوآ، آزمایشگاه پژوهشی سامانه زمین (ESRL, 2011) حاصل شد.

علت انتخاب نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال این است که در مدل تک‌لایه‌ای جو زمین درحکم لایه میانی جو شناخته شده است و در آن نیروی اصطکاک ناچیز است (هولتن، ۲۰۰۴). برای وا‌کاوی داده‌ها، ویرایش و نمایش نقشه‌های هواشناسی از نرم‌افزار گرادز: سامانه نمایش و تحلیل شبکه (Grid Analysis and Display System: GrADS) استفاده شد. در اینجا داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل ماهانه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برحسب متر است. تفکیک مکانی $2/5 \times 2/5$ درجه از ژانویه ۱۹۴۸ تا سپتامبر ۲۰۱۰ و برای ۹ نصف‌النهار روی ایران ($45^{\circ}E$, $42/5^{\circ}E$, $47/5^{\circ}E$, $50^{\circ}E$, $52/5^{\circ}E$, $55^{\circ}E$, $57/5^{\circ}E$, $60^{\circ}E$ و $62/5^{\circ}E$) و عرض جغرافیایی از $10^{\circ}N$ تا $50^{\circ}N$ است.

سامانه STH مهم‌ترین پدیده همدیدی خاورمیانه و به‌ویژه ایران است و تغییرات موقعیت آن عاملی مهم در تغییر فصل ایران به شمار می‌رود. همچنین روی فلات ایران در ترازهای میانی و بالایی ورد سپهر، الگوی پُرفشار مستقل وجود دارد. خط پشته در ماه آوریل در جنوبی‌ترین موقعیت عرض جغرافیایی خود قرار می‌گیرد در حالی که در ماه اوت در شمالی‌ترین موقعیت عرض جغرافیایی است (قائم و همکاران، ۱۳۸۸). طباطبائیان (۱۳۸۸) برای نشان دادن جابه‌جایی نصف‌النهاری امواج غربی، نقشه‌های ماهانه همدیدی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه‌های اوت، نماینده نیمه گرم سال، و ژانویه، نماینده نیمه سرد سال را در دوره ۱۹۴۸ تا ۲۰۰۵ به روش دستی مورد بررسی قرار داد. در این نقشه‌ها پربند ۵۸۴ ژئوپتانسیل دکامتر درحکم پایین‌ترین خط جریان کُزفشار غربی در طول جغرافیایی $53^{\circ}E$ برای تعیین تغییرات این امواج روی نصف‌النهار در نظر گرفته شد. در ماه ژانویه میانگین عرض جغرافیایی پربند ۵۸۴ دکامتر $18^{\circ}N$ و در اوت $39^{\circ}N$ بود. طباطبائیان (۱۳۸۸) دریافت که به‌طور میانگین میزان جابه‌جایی جریان‌های کُزفشار غربی روی ایران تقریباً برابر با ۲۱ درجه از ماه اوت به ژانویه رخ می‌دهد.

در پژوهش حاضر، هدف تعیین موقعیت مرز شمالی



شکل ۱. دو نمونه نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه‌های (الف) ژانویه و (ب) ژوئیه سال ۲۰۰۹ که در آنها موقعیت مرز شمالی نوار STH با پربند ارتفاع ۵۸۴۰ ژئوپتانسیل متری (ضخیم) مشخص شده است.

۳ روش

۱-۳ آشکارسازی مرز شمالی پُرا ارتفاع جنب حاره

برای نقاط گوناگون ایران و وضعیت اقلیم شناسی همدیدی در گذر ماه‌های سال و تغییر فصل تحت تأثیر جابه‌جایی نوار پُرفشار جنب گرمسیری (STH) قرار می‌گیرد. لذا ضرورت دارد که موقعیت مرز شمالی نوار پُرفشار جنب گرمسیری (STH) معلوم و سپس جابه‌جایی آن روی نصف‌النهار طی گذشت ماه و فصل در دوره بررسی آشکار شود. برای آشکارسازی این مرز، در نرم‌افزار گرادز (GrADS)، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برنامه gs* مناسب نوشته شد که در آن موقعیت عرض جغرافیایی پربند ۵۸۴۰ متر، با در نظرگیری نوار باریک عرضی ۲۰ متری بین ۵۸۳۰ و ۵۸۵۰ متر آشکار شد. در شکل ۱ دو نمونه از نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه ژانویه و ژوئیه سال ۲۰۰۹ آورده شده است که در آن موقعیت STH در طول جغرافیایی ۵۵ درجه شرقی به ترتیب معادل ۱۸°N و ۴۰°N است. لذا سری زمانی موقعیت STH طی دوره ۱۹۴۸ تا ۲۰۱۰ فراهم شد. سپس جابه‌جایی مرز شمالی نوار STH روی نصف‌النهارها بر حسب درجه عرض جغرافیایی در اطراف یا روی ایران برای نه نصف‌النهار در دوره‌های اقلیمی ۱۹۵۱-۱۹۸۰، ۱۹۶۱-۱۹۹۰، ۱۹۷۱-۲۰۰۰ و ۱۹۸۱-۲۰۱۰ در حکم وزنه‌های اقلیمی در نظر گرفته شد. چنین روشی مناسب برای ارزیابی موقعیت ماهانه STH در مقایسه با مقدار اقلیمی آن است.

۲-۳ روند مان-کندل و تقریب شیب

معمولاً برای ارزیابی معنی‌داری روندها در داده‌های سری زمانی هواشناسی و هیدرولوژی همچون بارش و رواناب استفاده می‌شود. این نوع داده‌ها دارای توزیع نرمال نیستند و اریب هستند، لذا آزمون غیر پارامتری بسیار مناسب‌تر از آزمون پارامتری که لازم است آن توزیع نرمال است، پاسخ می‌دهد. در آزمون مان-کندل برای سری زمانی X که دارای طول n است، بر اساس مقایسه

داده‌ها در یک زوج، آماره S در معادله (۱) بنا می‌شود که در آن گزاره علامتی $\text{sgn}(x_k - x_i)$ دارای مقادیر ۱، صفر و -۱ است وقتی که به ترتیب $x_k > x_i$ و $x_k = x_i$ و $x_k < x_i$ باشند (کومار و همکاران، ۲۰۰۹). تحت فرض صفر (H_0) که داده‌ها مستقل و به‌طور یکسان توزیع شده باشند، میانگین آماره S به صورت $E(S)=0$ و واریانس اصلاح شده $V(S)$ مطابق حامد (۲۰۰۸) در معادله (۲) است.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sgn}(x_k - x_i) \quad (1)$$

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} - \sum_{j=1}^m \frac{t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (2)$$

که در آن، n طول (یا تعداد مشاهدات در) سری زمانی X و t_j تعداد مشاهدات دارای گره (مشاهدات یکسان) در گروه j ام است و m تعداد گروه‌های گره‌خورده است. مان (۱۹۴۵) و کندل (۱۹۷۵) روش‌ن ساختند که هرچه تعداد مشاهدات بیشتر باشد (یعنی n بزرگ‌تر)، آن‌گاه توزیع آماره S به سمت نرمال میل می‌کند. با فرض $n > 10$ ، معنی‌داری روند را می‌توان با متغیر استاتستیک Z_{MK} در معادله (۳) در مقایسه با متغیر نرمال استاندارد Z_c در سطح معنی‌داری α آزمون کرد. در روش آزمون دو طرفه (یک طرفه) در صورت انتخاب α معادل ۰/۰۵، آن‌گاه متغیر نرمال استاندارد $Z_{0.975}$ ($Z_{0.95}$) معادل ۱/۹۶ (۱/۶۴۵) خواهد بود (کانجی، ۲۰۰۶). در این پژوهش از روش آزمون یک طرفه استفاده شده است که طبق آن برای آزمون بالاسو یک مقدار احتمال (upward p-value) و برای آزمون پایین سو نیز یک مقدار احتمال (downward p-value) حاصل می‌شود. در آزمون روند، فرض صفر H_0 (مبنی بر نبود روند) رد می‌شود اگر $|Z_{MK}| > Z_c$ باشد. مقدار مثبت آماره S آشکارکننده روند بالاسو و مقدار منفی روند نشانگر روند پایین سو است.

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{(S-1)}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{(S+1)}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

حدی در مشاهدات از خود مقاومت نشان می‌دهد (زو و همکاران، ۲۰۰۳).

۴ نتایج و بحث

۴-۱ تعیین جابه‌جایی نصف‌النهار مرز شمالی نوار

STH

مرز شمالی پُراتفعا جنب‌حاره درحکم مرز جداکننده منطقه معتدله و نوار پُرفشار جنب‌گرمسیری محسوب می‌شود. پس از اجرای برنامه در نرم‌افزار گرادز (GrADS) برای هر نصف‌النهار موقعیت ماهانه STH در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در دوره ۱۹۴۸ تا ۲۰۱۰ با ۷۵۶ نمونه معین شد و لذا نتایج برای ۹ نصف‌النهار روی ایران به‌دست آمد. قسمتی از نتایج آشکارسازی موقعیت نوار STH برای نصف‌النهار ۵۰ درجه طول شرقی در جدول ۱ نشان داده شده است.

آزمون مان-کندل برای یافتن روند از سوی سازمان هواشناسی جهانی (WMO, 2008) نیز توصیه شده است. بزرگی شیب روند غیرپارامتری با استفاده از روش تیل (۱۹۵۰) و سن (۱۹۶۸) به‌صورت معادله (۴) تقریب زده می‌شود.

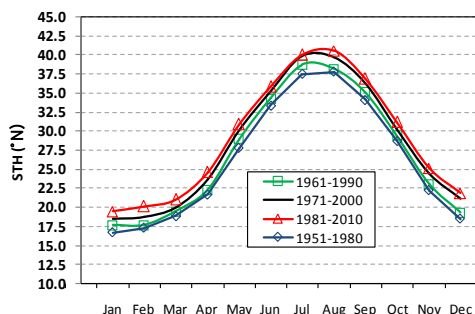
$$b = \text{Median}\{(x_i - x_j)/(i - j)\} \quad \forall j < i \quad (4)$$

که در آن، $1 \leq j < i \leq n$ است و b تقریب غیرپارامتری شیب روند است. اگر شیب روند مثبت باشد به معنی شیب بالاسو و اگر منفی باشد به معنی شیب پایین‌سو (با گذشت زمان) است و شدت آن را میزان بزرگی b تعیین می‌کند. برای زوج‌های ترکیبی (x_i, x_j) هر چقدر که از نظر زمانی به هم نزدیک‌تر باشند، وزن بزرگ‌تری را ایجاد می‌کنند. از آنجا که b میان همه زوج‌های ترکیبی در سری زمانی X است، لذا در برابر مقادیر

جدول ۱. نمونه‌ای از موقعیت مرز شمالی پُراتفعا جنب‌حاره برحسب درجه عرض جغرافیایی برای نصف‌النهار $50^\circ E$ در دوره ۱۹۴۸-۲۰۱۰.

سال	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۱۹۴۸	۱۲/۵	۱۷/۵	۲۰/۰	۲۲/۵	۲۷/۵	۳۵/۰	۴۲/۵	۴۲/۵	۳۵/۰	۲۷/۵	۲۵/۰	۲۰/۰
۱۹۴۹	۱۷/۵	۲۰/۰	۲۰/۰	۲۵/۰	۳۰/۰	۴۰/۰	۴۲/۵	۴۰/۰	۳۵/۰	۳۰/۰	۱۷/۵	۱۷/۵
۱۹۵۰	۱۷/۵	۱۷/۵	۲۰/۰	۲۲/۵	۲۷/۵	۳۲/۵	۴۰/۰	۳۷/۵	۳۷/۵	۳۲/۵	۲۰/۰	۱۷/۵
۱۹۵۱	۲۰/۰	۱۷/۵	۱۵/۰	۲۲/۵	۳۰/۰	۳۵/۰	۴۰/۰	۴۰/۰	۳۷/۵	۳۰/۰	۲۵/۰	۲۰/۰
...
...
...
۲۰۰۷	۲۰/۰	۲۲/۵	۲۲/۵	۲۵/۰	۳۵/۰	۴۲/۵	۴۲/۵	۴۵/۰	۴۰/۰	۳۲/۵	۲۷/۵	۲۲/۵
۲۰۰۸	۲۰/۰	۲۲/۵	۲۲/۵	۲۵/۰	۳۰/۰	۳۵/۰	۴۰/۰	۴۵/۰	۳۷/۵	۳۲/۵	۲۵/۰	۲۰/۰
۲۰۰۹	۱۷/۵	۲۲/۵	۲۲/۵	۲۵/۰	۳۲/۵	۳۷/۵	۴۰/۰	۴۰/۰	۳۵/۰	۳۰/۰	۲۲/۵	۲۰/۰
۲۰۱۰	۲۰/۰	۱۷/۵	۲۲/۵	۲۵/۰	۳۰/۰	۴۰/۰	۴۷/۵	۴۵/۰	۴۰/۰	۳۲/۵	۲۰/۰	۲۰/۰

۱۹۴۸-۲۰۱۰ نشان داده شده است. روند خطی برای دو ماه ژانویه و اوت با ضریب تعیین به ترتیب ۰/۲۸ و ۰/۲۷ است که هر دو دارای شیب مثبت اند. همچنین برای ۶۳ داده سالانه میانگین گیری شده از ۹ نصف النهار روی ایران نیز روند خطی با ضریب تعیین ۰/۵۲ و دارای شیب مثبت است. بنابراین از رگرسیون خطی استنباط می شود که روند بالاسو موجود است. توجه شود که روش پارامتری روندیابی از آنجا که به توزیع داده ها وابسته است، ممکن است نتایج مناسبی نداشته باشد و لذا آزمون ناپارامتری روندیابی توصیه می شود. آزمون ناپارامتری مان-کندل برای تشخیص روند جهت موقعیت STH (بر حسب درجه شمالی) در دوره ۱۹۴۸-۲۰۱۰ برای نصف النهارهای مورد بررسی و همچنین میانگین سالانه صورت گرفت (جدول ۳). توجه شود که در جدول ۴ مقدار ZMK برای همه حالت ها بسیار بزرگ تر از مقدار متغیر نرمال استاندارد $1/645$ و لذا دارای روند بالاسو معتبر است (upward p-value = 0.000). مشاهده می شود که در همه ماه ها و همچنین در مقیاس سالانه روند بالاسو در سطح $0/01$ معنی دار و دارای تقریب شیب میانگین $0/07$ است. این گونه نتایج نشان می دهد که در دهه های اخیر، موقعیت پُراتفاح جنب حاره (STH) به سمت عرض های جغرافیایی شمالی تر جابه جا شده است. این جابه جایی در مقیاس ماهانه به سمت عرض های شمالی تر طی دوره بررسی معادل $2/8^\circ$ به طور میانگین است (شکل ۲).



شکل ۲. جابه جایی نصف النهاری پربند ارتفاعی 5840 ژئوپتانسیل متر در نقشه تراز 500 هکتوپاسکال روی ایران (میانگین گیری شده برای ۹ نصف النهار) برای چهار دوره اقلیمی.

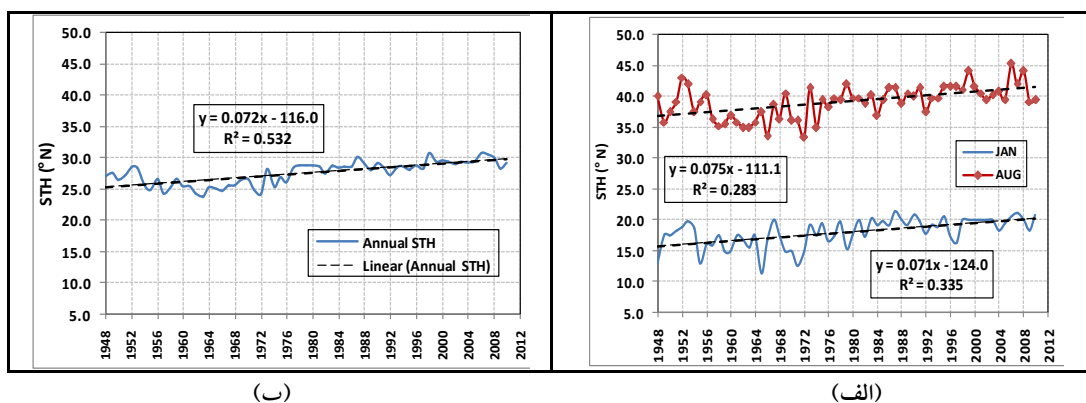
الگوی تابستانه و زمستانه امواج کژفشار غربی در اطراف ایران با هم متفاوت است، زیرا نوار STH در اطراف ایران در تابستان ها به سمت عرض های جغرافیایی شمالی تر می رود به طوری که امواج کژفشار غربی به نحو غالب از عرض های جغرافیایی بالای ایران عبور می کنند. این درحالی است که امواج کژفشار در زمستان ها به سمت عرض های جغرافیایی جنوبی تر مهاجرت می کنند و لذا ایران در معرض این امواج قرار می گیرد. بر این پایه به طور میانگین در دوره بررسی کمترین و بیشترین عرض جغرافیایی STH روی ایران، به ترتیب در ماه ژانویه (18° درجه عرض شمالی) و اوت (39° درجه عرض شمالی) مشاهده شد. به عبارت دیگر، دامنه جابه جایی این امواج روی نصف النهار معادل 21° درجه عرض جغرافیایی است. همچنین تغییرات جابه جایی نوار STH برای میانگین های ۹ نصف النهار، در چهار دوره اقلیمی ۱۹۵۱-۱۹۸۰، ۱۹۶۱-۱۹۹۰، ۱۹۷۱-۲۰۰۰ و ۲۰۱۰-۱۹۸۱ در جدول ۲ آمده است. نتایج روشن ساخت که موقعیت پُراتفاح جنب حاره در دوره اقلیمی ۱۹۸۱-۲۰۱۰ نسبت به دوره ۱۹۵۱-۱۹۸۰ به اندازه $2/8^\circ N$ (تقریب میانگین ۱۲ ماهه) به سمت عرض های جغرافیایی شمالی تر جابه جا شده است. شکل ۲ تغییرات کلی پوش جنوبی امواج کژفشار غربی را روی ایران نشان می دهد. این جابه جایی محسوس می تواند بیانگر سیگنال تغییرات اقلیمی گردش جوی در ایران باشد. به این صورت که با تغییر موقعیت مرز بین ناحیه معتدله و پُراتفاح جنب حاره مناطق بیشتری از ایران در دوره های اخیر تحت تأثیر نوار پُراتفاح جنب حاره قرار می گیرند.

۴-۲ نتایج بررسی موجودیت روند

ابتدا از روش پارامتری رگرسیون خطی به منظور برازش بهترین خط به منحنی تغییرات موقعیت نوار STH عبوری از روی ایران استفاده شد. در شکل ۳ برای ماه ژانویه و اوت و همچنین میانگین سالانه هر کدام با ۶۳ داده میانگین گیری شده از ۹ نصف النهار روی ایران در دوره

جدول ۲. جابه‌جایی نصف النهاری موقعیت مرز شمالی STH برحسب درجه عرض شمالی برای میانگین ۹ نصف النهار عبوری از روی ایران در چهار دوره اقلیمی.

STH (ایران)	۱۹۸۰-۱۹۵۱	۱۹۹۰-۱۹۶۱	۲۰۰۰-۱۹۷۱	۲۰۱۰-۱۹۸۱
ژانویه	۱۷,۷	۱۸,۶	۱۹,۵	۱۶,۷
فوریه	۱۷,۶	۱۸,۸	۲۰,۲	۱۷,۳
مارس	۱۹,۵	۲۰,۰	۲۱,۱	۱۸,۸
آوریل	۲۲,۵	۲۳,۸	۲۴,۸	۲۲,۰
مه	۲۹,۲	۳۰,۳	۳۱,۱	۲۸,۱
ژوئن	۳۴,۴	۳۵,۴	۳۶,۱	۳۳,۶
ژوئیه	۳۹,۰	۴۰,۲	۴۰,۳	۳۷,۹
اوت	۳۸,۳	۳۹,۹	۴۰,۸	۳۷,۹
سپتامبر	۳۵,۲	۳۶,۴	۳۷,۰	۳۴,۲
اکتبر	۲۹,۵	۳۰,۳	۳۱,۳	۲۸,۷
نوامبر	۲۳,۲	۲۴,۶	۲۵,۱	۲۲,۴
دسامبر	۱۹,۳	۲۱,۲	۲۲,۰	۱۸,۵



شکل ۳. تغییر موقعیت مرز شمالی STH (برحسب درجه شمالی) (الف) در دو ماه ژانویه و اوت و (ب) میانگین سالانه با ۶۳ داده در دوره ۱۹۴۸-۲۰۱۰ روی ایران.

۳-۴ اعتبار داده‌های NCEP

مطابق یانگ و همکاران (۲۰۰۱)، مشکل بالقوه داده‌های بازکاوی شده NCEP/NCAR برای استفاده کیفیت کم آنها تا سال ۱۹۶۸ در آسیا است زیرا تعداد کمی از داده‌های فشار سطح دریا در این دوره واکاوی شده است. این داده‌ها در دوره ۱۹۶۷-۱۹۴۹ و دوره ۱۹۶۸ به بعد با هم مقایسه شد و بین آنها تفاوت‌هایی ناچیزی به چشم رسید؛ که این تفاوت‌ها در نزدیکی‌های استوا بیشتر بود.

پژوهشگرانی چون هالنکا (۲۰۰۲)، کیستلر و همکاران (۲۰۰۱)، کالی و همکاران (۱۹۹۶) روند داده‌های ۴۰ ساله و ۵۰ ساله بازکاوی شده NCEP را بررسی کرده‌اند و نتیجه گرفته‌اند که اعتبار داده‌های NCEP در دوره‌های قبل از ۱۹۶۸ در آسیا مورد تردید است. پس در این پژوهش برای بررسی روند می‌توان داده‌های قدیمی‌تر را در محاسبه روند وارد ساخت و برای اطمینان بیشتر آزمون را برای داده‌های دوره ۱۹۷۱-۲۰۱۰ اجرا کرد.

۵ نتیجه گیری

در تحقیق حاضر موقعیت مرز شمالی پُرارتفاع جنب حاره (STH) روی ایران در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در دوره ۱۹۴۸-۲۰۱۰ با روش عینی بررسی شد. براساس مشاهدات پیاپی تعداد ۷۵۶ نقشه جوّ بالا، تراز ۵۸۴۰ متر (و یا نوار ۵۸۳۰ تا ۵۸۵۰ متر) درحکم مشخصه STH انتخاب شد که این انتخاب با پیشینه تحقیقات، حجازی زاده (۱۳۷۲)، قائمی و همکاران (۱۳۸۶) و طباطبائی (۱۳۸۸) مطابقت دارد. درواقع نوار STH جداکننده منطقه پُرارتفاع جنب حاره از نواحی معتدله شمالی است. با برنامه نویسی در محیط گرادز (GrADS)، سری زمانی موقعیت STH برحسب عرض جغرافیایی حاصل شد. به طور میانگین، جنوبی ترین موقعیت STH روی نصف النهارهای عبوری از روی ایران، در ماه ژانویه در مدار $18^{\circ}N$ قرار می گیرد؛ درحالی که شمالی ترین موقعیت STH در ماه اوت در مدار $39^{\circ}N$ رخ می دهد. دامنه جابه جایی موقعیت مرز شمالی STH روی نصف النهارها معادل 21° است. همچنین داده های درازمدت حاصل از NCEP نیز این نتایج را تأیید می کند. در نتیجه امواج غربی در تابستان ها رو به عرض های شمالی تر و در زمستان ها رو به عرض های جنوبی تر جابه جا می شوند. جابه جایی امواج غربی روی نصف النهار، خود بیانگر نوعی از تغییر فصل هواشناسی است. از آنجا که میانگین های ماهانه موقعیت مرز شمالی STH در چهار دوره اقلیمی در ایران، تغییرات کوچک موقعیت را نشان می داد، لذا از آزمون روندیابی مان-کندل استفاده شد. نتایج آزمون مان-کندل روشن ساخت که موقعیت مرز شمالی STH به سمت عرض های جغرافیایی بالاتر جابه جا شده و میزان جابه جایی نصف النهاری معادل $2/8^{\circ}$ به طور میانگین برای همه ماه های سال است. لذا سیگنال تغییرات اقلیمی مربوط به گردش جوّی در ایران به روشنی هویدا است.

جدول ۳. نتایج آزمون مان-کندل و تقریب شیب برای داده های موقعیت مرز شمالی STH میانگین گیری شده ۹ نصف النهار روی ایران.

Sen's Slope	بالا سو P-Value	پایین سو P-Value	ZMK	STH (ایران)
۰/۰۶۵	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۴/۹۳۱	ژانویه
۰/۰۸۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۵/۴۱۵	فوریه
۰/۰۵۵	۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	۳/۹۹۳	مارس
۰/۰۷۹	۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	۴/۰۶۶	آوریل
۰/۰۷۱	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۵/۲۲۸	مه
۰/۰۶۶	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۵/۰۸۸	ژوئن
۰/۰۵۲	۰/۰۰۳	۰/۹۹۶	۲/۶۹۳	ژوئیه
۰/۰۸۰	۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	۴/۱۷۶	اوت
۰/۰۷۱	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۴/۸۲۹	سپتامبر
۰/۰۷۳	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۵/۳۵۶	اکتبر
۰/۰۸۱	۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	۴/۲۹۰	نوامبر
۰/۰۸۸	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۵/۲۱۹	دسامبر
۰/۰۷۴	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۶/۱۸۰	سالانه

جدول ۴. نتایج آزمون روندیابی مان-کندل روی داده های مرز شمالی STH در دوره ۱۹۷۱-۲۰۱۰.

بالا سو P-Value	پایین سو P-Value	ZMK	STH (سالانه)
۰/۰۰۶	۰/۹۹۳	۲/۵۰۰	ژانویه
۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۴/۶۳۰	فوریه
۰/۰۰۳	۰/۹۹۶	۲/۶۶۰	مارس
۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	۳/۳۸۰	آوریل
۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	۳/۵۹۳	مه
۰/۰۰۱	۰/۹۹۸	۳/۰۲۴	ژوئن
۰/۰۶۰	۰/۹۳۹	۱/۵۵۰	ژوئیه
۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	۴/۱۱۷	اوت
۰/۲۱۰	۰/۷۸۹	۰/۸۰۵	سپتامبر
۰/۰۱۲	۰/۹۸۳	۲/۱۲۹	اکتبر
۰/۳۱۲	۰/۶۸۸	۰/۴۹۰	نوامبر
۰/۰۲۵	۰/۹۷۵	۱/۹۵۴	دسامبر
۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۴/۷۱۵	سالانه

- R., Reynolds, R. and Jenne, Joseph, D., 1996, The NCEP/NCAR 40-Year reanalysis Project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.
- Kanji, G. K., 2006, 100 statistical tests, 3rd Edition, Sage publication, London, 242 pp.
- Kendall, M. G., 1975, Rank correlation methods, 4th edition, Charles Griffin, London.
- Kistler, R., E., Kalnay, W., Collins, S., Saha, G., White, J., Woollen, M., Chelliah, W., Ebisuzaki, M., Kanamitsu, V., Kousky, H., van den Dool, R. and Jenne, Fiorino, M., 2001, The NCEP-NCAR 50-Year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **82**, 247-268.
- Kumar S., Merwade V., kam J. and Thurner K., 2009, Streamflow trends in Indiana: effects of long term persistence, precipitation & subsurface drains, *Journal of Hydrology*, **374**, 171-183.
- Peixoto, J. P. and Oort, A. H., 1992, Physics of climate, Springer-Verlag, New York Inc, 520 pages.
- Regard, V., Bellier, O., Braucher, R., Gasse, F., Bourles, D., Mercier, J., Thomas, J. C., Abbassi, M. R., Shabanian, E. and Soleymani, S. 2006, Be dating of alluvial deposits from southeastern Iran (the Hormoz Strait area), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **242**, 36-53.
- Sen, P. K., 1968, Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *J. Amer. Statist. Assoc.*, **63**, 1379-1389.
- Thiel, H., 1950, A rank-invariant method of linear and polynomial analysis, part 3. *Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Proceedings*, **53**, 1397-1412.
- WMO, 2008, Guide to hydrological practices, Sixth Edition, No. 168, **II**, 5-9.
- Xu, Z. X., Takeuchi, K. and Ishidaira, H., 2003, Monotonic trend & step changes in Japanese precipitation, *Journal of Hydrology*, **279**, 144-150.
- Yang, S., Lau, K. M. and Kim, K. M., 2001, Variations of the East Asian jet stream and Asian-Pacific-American winter climate anomalies, *Journal of climate*, **15**, 306-325.
- مراجع
حجازی‌زاده، ز.، ۱۳۷۲، نوسانات فشار زیاد جنب حاره و اثر آن در تغییر فصل ایران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
- طباطبائی‌ان، ع.، ۱۳۸۸، ایجاد شاخص‌های چرخندگی براساس گردش جوی منطقه‌ای در جنوب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه شیراز، ۲۲۱ صفحه.
- Ahrens, C. D., 2000, *Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment*, Sixth edition, Brooks/Cole, 528 pp.
- Alapati, K. and Raman, S., 1989, A study of the seasonal migration of ITCZ and the quasi-periodic oscillations in a simple monsoon system using an energy balance model, *Meteorol. Atmos. Phys.*, **41**, 191-211.
- Barry, R. G. and Carleton, A. M., 2001, *Synoptic and dynamic climatology*, London: Routledge, 620 pp.
- ESRL, 2011, NOAA Earth System Research Laboratory, Physical Science Division, NCEP/NCAR Reanalysis Datasets, << <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/reanalysis/>>>, Valid on 12 Feb 2011.
- Halenka, T., 2002, On the trends in global circulation in 50 years of NCEP/NCAR reanalyses, *Physics and Chemistry of the Earth*, **27**(č. 6-8), 415-426.
- Hamed, K. H., 2008, Trend detection in hydrologic data: the Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis, *Journal of Hydrology*, **349**, 350-363.
- Holton, J. R., 2004, *An introduction to dynamic meteorology*, Elsevier Academic Press. Fourth edition, 553 pp (electronic pdf file).
- Kalnay, E. M., Kanamitsu, R., Kistler, W., Collins, D., Deaven, L., Gandin, M., Iredell, S., Saha, G., White, J., Woollen, Y., Zhu, M., Chelliah, W., Ebisuzaki, W., Higgins, J., Janowiak, K. C., Mo, C., Ropelewski, J., Wang, A., Leetmaa,