

بررسی رابطه مراکز فعالیت تاوایی نسبی در خاورمیانه با دمای هوای ایران

آزینا امیری^{۱*}، بهلول علیجانی^۲، زهرا بیگم حجازی زاده^۳، ابراهیم فتاحی^۴، مجید آزادی^۵

۱- دانشجوی دکتری جغرافیا دانشگاه خوارزمی تهران

۲- دکتری جغرافیا، استاد دانشگاه خوارزمی تهران

۴- دکتری جغرافیا، عضو هیأت علمی پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو تهران، دانشیار پایه ۱۲

۵- دکتری هواشناسی، عضو هیأت علمی پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، دانشیار پایه ۲۰

تاریخ وصول: ۱۳۹۶/۸/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۲۸

چکیده:

رابطه دمای هوا در ایران با توزیع تاوایی نسبی در خاورمیانه با استفاده از مقادیر ماهانه تاوایی نسبی در دو تراز ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و دمای هوای ۹۷ ایستگاه سینوپتیک کشور (۲۰۱۰-۱۹۸۱) بررسی شد. بدین منظور از روشهای آماری تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل همبستگی کانونیکال (CCA) استفاده شد. ابتدا توسط تحلیل مؤلفه‌های اصلی، مراکز فعالیت تاوایی نسبی در خاورمیانه تعیین شدند. سپس رابطه این مراکز با دمای هوای ایران توسط تحلیل همبستگی کانونیکال بررسی شد و مناطقی که تغییرات تاوایی نسبی در آن با تغییرات دمایی در ایران رابطه دارد شناسایی شدند. همبستگی کانونیکال بین مراکز فعالیت تاوایی نسبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در منطقه ای شامل ایران، عراق و شمال عربستان با دمای هوا در ایران برابر با ۰,۹۵ است. همبستگی کانونیکال بین این مراکز در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز با دمای کشور برابر با ۰,۹۶ می باشد که بیانگر ارتباط بسیار بالایی بین تاوایی نسبی این دو تراز در منطقه خاورمیانه و دمای هوا در ایران است. شاخص بار متقابل یا همبستگی واقعی بین تاوایی نسبی تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال با دمای ایران به ترتیب ۰,۹۳- و ۰,۹۳ می باشد. برای تفسیر نتایج، نقشه توزیع همبستگی بین مؤلفه کانونیکال تاوایی نسبی با مقادیر واقعی آن در خاورمیانه ترسیم شد. مقایسه این نقشه با توزیع ماهانه تاوایی نسبی، شباهت بسیار زیاد آن را با توزیع تاوایی نسبی در ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت در هر دو تراز نشان می دهد. بدین معنی که تاوایی نسبی و دمای هوا در فصل گرم سال بالاترین همبستگی را با هم نشان می دهند. در فصل گرم تاوایی نسبی منفی در تراز میانی، حضور یک پرارتفاع و تاوایی نسبی مثبت در تراز نزدیک زمین، حضور یک کم فشار گرمایی سطح زمین را نشان می دهد که هر دو با افزایش دمای هوا در ایران همراهند.

کلید واژگان: تاوایی نسبی، دما، تحلیل همبستگی کانونیکال، خاورمیانه، ایران

مقدمه:

نشان داد که شاخص انسو منبع مهمی برای پیش بینی بارش فصلی اتیوپی است (Fekadu, 2015, 112). در واقع تحلیل همبستگی کانونیکال یک روش متداول در دنیا در مطالعات اقلیم شناسی برای تعیین میزان رابطه بین دو یا چند مؤلفه مختلف است. اما تاکنون وارد مطالعات اقلیم شناسی در ایران نشده است. به عنوان مثال فاطمی و همکارانش (۲۰۱۵) و امیدوار و همکارانش (۲۰۱۶) نیز برای تعیین رابطه بین الگوهای گردش جوی و دوره های مرطوب در ایران مرکزی تنها از روش تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای استفاده کردند (Fatemi, et al, 2015, 1; Omidvar, et al, 2016, 1). دارند و همکارانش (۲۰۱۸) نیز برای بررسی شرایط سینوپتیکی که منجر به دوره‌های بسیار گرم در غرب ایران می‌شود از تحلیل خوشه‌ای بهره بردند (Darand, et al, 2018, 307). از سوی دیگر در ایران مطالعه اقلیم شناسی جامعی در رابطه با توزیع تاوایی نسبی انجام نشده و فقط در برخی مطالعات از این مؤلفه به عنوان شاخص کمکی برای تعیین طول فصل و یا تشخیص چرخندها و واچرخندها استفاده شده است (مفیدی و زرین، ۱۳۹۱، ۱۹:161; Zarrin, 2010). البته تغییرات بلند مدت درون سالانه تاوایی نسبی در سه تراز فشاری ۸۵۰، ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال با استفاده از تحلیل مؤلفه های اصلی در منطقه خاورمیانه و مدیترانه شرقی که بر اقلیم ایران تأثیرگذار است آشکارسازی شد (امیری و همکاران، ۱۳۹۶، ۵۵). در مطالعه حاضر نیز مناطقی از خاورمیانه که تغییرات تاوایی نسبی ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در آن با تغییرات دمای هوای ایران همبستگی بالایی دارد به روش تحلیل همبستگی کانونیکال شناسایی شدند.

داده ها و روش‌ها:

تحقیق حاضر در زمینه اقلیم شناسی سینوپتیک بوده و رابطه تغییرات دمایی ایران را با تغییرات زمانی مکانی مراکز فعالیت تاوایی نسبی در خاورمیانه بررسی می‌کند. دلیل انتخاب فراسنجی نظیر تاوایی نسبی در این مطالعه، اهمیت تأثیر فیزیکی آن بر سامانه زمین- جو است (Perron and Sura, 2013: 1064; Lolis, et al, 2008, 1340; Marosz, 2009, 481).

شناخت تعاملات مؤلفه های مختلف گردش عمومی جوّ ظرفیت مناسبی برای بررسی تغییرپذیری اقلیم منطقه‌ای ایجاد می‌کند (Ahmed Kenawi, et al, 2014, 1). در میان این مؤلفه‌ها تاوایی نسبی مؤلفه مهمی برای بررسی گردش جوی در عرض‌های میانه است (Flocas et al; 2001, 1064; Perron and Sura, 2013, 1759). تاوایی نسبی توده هوای در حال حرکت که نسبت به سطح زمین اندازه گیری می‌شود حاصل انحنای (تغییر سمت جریان هوا) و برش باد (تغییر تندی در یک مسافت افقی) می‌باشد (آرنس، ۱۳۹۱، ۴۲۰). یک ویژگی مهم از میدان تاوایی در ترازهای بالایی، رابطه آن با حرکت عمودی هواست که نقش حیاتی در توسعه چرخندها و واچرخندها دارد (Marosz, 2009, 482). بنابراین توزیع تاوایی نسبی شاخص خوبی برای بررسی وضع هواست (Holton and Hakim, 2012, 91).

بررسی و کشف روابط بین مؤلفه های گردش عمومی جوّ با پدیده‌های جوی و اقلیمی سطح زمین همواره مورد توجه هواشناسان و اقلیم شناسان بوده است. زیرا این شناخت می‌تواند منجر به بهبود مهارت‌های پیش بینی وضع هوا شود. یکی از روش‌های نوین مورد استفاده در تعیین همبستگی میان پارامترهای مختلف جوی و اقلیمی استفاده از روش آماری تحلیل همبستگی کانونیکال است. به عنوان مثال رابطه بین دمای فصل تابستان یونان با برخی از مؤلفه‌های گردش عمومی جوّ با استفاده از تحلیل همبستگی کانونیکال بررسی شد. از میان مؤلفه‌های بررسی شده که شامل فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای مختلف و میدان‌های ضخامت جوّ و دمای سطح آب دریای مدیترانه بوده است، مؤلفه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۳۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و لایه ضخامت تراز ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و دمای سطح آب دریای مدیترانه به عنوان بهترین عوامل پیش بینی کننده دمای تابستانه یونان انتخاب شدند (Xoplaki, et al, 2003, 537). تحلیل همبستگی کانونیکال در سال ۲۰۱۵ نیز برای پیش بینی بارش فصلی اتیوپی از روی دمای سطح آب مورد استفاده قرار گرفت و

درجه به رادیان محاسبه می‌کند. معادله تفاضلی مرکزی فاصله بین نقاط شبکه را در رابطه (۱) با تقریب به دقت مرتبه دوم به دست می‌دهد (Levy, 2010, 88). سپس از داده‌های تاوایی نسبی روزانه، میانگین ماهانه تاوایی نسبی به دست آمد. داده‌های سرعت باد مورد استفاده نیز از نسخه دوم داده‌های بازتحلیل مرکز ملی پیش‌بینی محیطی آمریکا و مرکز ملی پژوهش‌های جوئی نوآ NCEP-DOE و با تفکیک افقی ۲٫۵ درجه (۲۰۱۰ - ۱۹۸۱) دریافت شدند. زیرا نسخه NCEP-DOE با فن‌آوری جدیدتری نسبت به نسخه اول NCEP-NCAR تهیه شده است (Kistler, et al, 2001; Kanamitsu, 2002). محدوده مورد مطالعه جهت بررسی رابطه بین تغییرات تاوایی نسبی با دمای هوای ایران، منطقه خاورمیانه انتخاب شد زیرا طبق مطالعات قبلی در زمینه توزیع تاوایی نسبی منطقه، شکل‌گیری و گسترش بیشتر سامانه‌های چرخندی و واچرخندی مؤثر بر دمای کشور در این منطقه صورت می‌گیرد (امیری، ۱۳۹۶، ۱۲۲). بنابراین محدوده‌ای به طول جغرافیایی ۲۵ تا ۶۵ درجه شرقی و به عرض جغرافیایی ۱۰ تا ۴۵ درجه شمالی در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال انتخاب شد. تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال معرف تراز میانی جو بوده و از تأثیرات توپوگرافی سطح زمین در امان است. لذا در بیشتر مطالعات انجام شده بر مؤلفه‌های گردش عمومی جو تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به عنوان تراز مرجع بررسی‌های سینوپتیک انتخاب شده است (Xoplaki, et al, 2003; Vicente-Serrano, et al, 2011). تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز نماینده تراز پایینی بوده و اثر وردسپهر آزاد و ویژگی‌های سطح زمین را با هم نشان می‌دهد (Post, et al, 2002: 281). بدین ترتیب تعداد ۲۵۵ سری زمانی ماهانه تاوایی نسبی در هر تراز فشاری به دست آمد که به تعداد نقاط انتخابی در محدوده مورد مطالعه بوده و شامل مقادیر تاوایی نسبی ماهانه از ژانویه ۱۹۸۱ تا دسامبر ۲۰۱۰ می‌باشد.

اطلاعات ماهانه دمای کشور از ایستگاه‌های هواشناسی که از سال ۱۹۸۱ به بعد دارای آمار پیوسته و کامل بوده و با توجه به آزمون‌های همگنی توالی^۲ و انحرافات تجمعی^۳

جهت بررسی رابطه بین تاوایی نسبی و دما با استفاده از تحلیل همبستگی کانونیکال، داده‌های ماهانه تاوایی نسبی و دما مورد نیاز است. تاوایی که یک معیار میکروسکوپی اساسی برای چرخش دور یک محور در یک سیال می‌باشد، حاصل عملگر تاو روی میدان سرعت است (Holton and Hakim, 2012, 91). در هواشناسی اغلب از مؤلفه قائم تاوایی صحبت می‌شود که با استفاده از مؤلفه‌های افقی باد محاسبه می‌گردد (Perron and Sura, 2013, 1065). مؤلفه قائم تاوایی نسبی در دستگاه مختصات دکارتی از رابطه (۱) به دست می‌آید و واحد آن بر ثانیه (S^{-1}) است (Holton and Hakim, 2012, 92).

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (1)$$

و u و v به ترتیب مؤلفه‌های نصف‌النهاری و مداری بردار سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه و x و y هماهنگ با محور مرجع به ترتیب به سمت شرق و شمال است (Marouf, 2009, 482). با استفاده از رابطه (۱) تاوایی نسبی که تفاضل مشتق مؤلفه‌های نصف‌النهاری و مداری باد نسبت به فاصله بر حسب متر می‌باشد، با استفاده از داده‌های روزانه مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری سرعت باد در نرم افزار گردس محاسبه شد. نرم‌افزار گردس برای محاسبه تاوایی نسبی از مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری بردار سرعت باد از تابع $hcurl$ استفاده می‌کند. این تابع مؤلفه‌های افقی کرل تاوایی را در هر نقطه شبکه با استفاده از معادله تفاضلی مرکزی روی نقاط شبکه محاسبه می‌کند. معادله تفاضلی مرکزی نیز فاصله بین هر نقطه را با نقاط قبل و بعد از خود در امتداد مدارات و نصف‌النهارات و با تبدیل

۱. تاوایی نسبی در نرم افزار GrADS با استفاده از مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری سرعت باد با فواصل شبکه ۲٫۵ درجه، با فرمت $netcdf$ و با استفاده از تابع $hcurl$ بدین صورت محاسبه شد: $vort = hcurl(uwnd, vwnd, 2) \times 100000$ ، تابع $hcurl$ برای محاسبه فاصله نقاط شبکه از معادله تفاضلی مرکزی یا $centered\ differencing\ (cdiff)$ با دقت مرتبه دوم استفاده می‌کند:

$$dv = cdiff(v, x), \quad dx = cdiff(lon, x) * 3.1416 / 180, \quad du = cdiff(u * \cos(lat * 3.1416 / 180), y), \quad dy = cdiff(lat, y) * 3.1416 / 180$$

2. Run test

3. Cumulative deviations

چندگانه و متغیرهای مستقل چندگانه را تسهیل می‌کند (Von storch and Zwiers, 2004, 317; Wilks, 2011,) (563).

در تحلیل همبستگی کانونیکال هدف یافتن دو ترکیب خطی از متغیرهای اصلی است. یک ترکیب از اولین دسته متغیرها و یک ترکیب از دومین دسته که متغیرهای کانونیکال پنهان نامیده می‌شود به نحوی که بیانگر بزرگترین همبستگی ممکن باشد. اگر دو گروه از متغیرها عبارت باشند از متغیرهای مستقل X_1, X_2, \dots, X_p و متغیرهای وابسته Y_1, Y_2, \dots, Y_q ، آن گاه تحلیل همبستگی کانونیکال، دو ترکیب خطی به صورت رابطه (۲) تشکیل می‌دهد که در واقع متغیرهای کانونیکال پنهان مستقل و وابسته هستند که همبستگی بین دو گروه از متغیرهای مستقل و وابسته را بیشینه می‌کنند:

$$W_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p \quad \text{و} \\ V_1 = b_{11}Y_1 + b_{12}Y_2 + \dots + b_{1q}Y_q \quad (2)$$

ضرایب $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1p}$ و $b_{11}, b_{12}, \dots, b_{1q}$ طوری محاسبه می‌شوند که ضریب همبستگی بین سری زمانی W و V بیشینه باشد: $C_1 = \text{cor}(W_1, V_1)$ ترکیب‌های خطی W_1 و V_1 متغیرهای کانونیکال پنهان^۴ و C_1 همبستگی کانونیکال^۵ نامیده می‌شود. ضرایب کانونیکال ضرایب استاندارد شده‌ای هستند که نشان می‌دهند متغیرهای کانونیکال پنهان با کدام متغیرهای اولیه ارتباط بیشتری دارند. همبستگی ساختاری همبستگی خطی ساده بین متغیرهای اصلی مستقل و وابسته را با متغیر کانونیکال پنهان مربوطه نشان می‌دهد. در نهایت شاخص بار متقابل^۶ که از حاصل ضرب همبستگی کانونیکال در همبستگی ساختاری به دست می‌آید. شاخص مهمی برای تفسیر نتایج تحلیل است (Xoplaki, et al, 2003: 537; Von storch and) (Zwiers, 2004: 317).

(Buishand, 1982, 14) دارای کیفیت مناسب و همگنی^۱ قابل قبولی در سطح معنی داری ۰,۰۵ می‌باشند، تهیه شده است (Rahimzadeh and Zavareh, 2014, 2095). علاوه بر این جهت استفاده از داده‌های ماهانه دما در تحلیل همبستگی کانونیکال، استاندارد سازی داده‌ها (Wilks, 2011, 46) نیز انجام شد ($Z = \frac{X - \bar{X}}{S_x}$) تا داده‌های نرمال به دست آید.

جهت آماده سازی داده‌های تاوایی نسبی برای تحلیل همبستگی کانونیکال و کمک به تفسیر نتایج، ابتدا تحلیل مؤلفه‌های اصلی روی داده‌های تاوایی نسبی ۲۵۵ نقطه از منطقه مورد مطالعه انجام شد. زیرا این نوع از پیش پردازش، ضمن کاهش تعداد متغیرها ناپهنجاری را از داده‌های اصلی برمی‌دارد و پراش^۲ الگوهای کانونیکال را توضیح می‌دهد (Von storch and Zwiers, 2004, 317). روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی متغیرهای وابسته را در یک عامل جدید به نام مؤلفه اصلی با هم ادغام می‌کند (Jolliffe, 2013) هر یک از این مؤلفه‌های اصلی غیر وابسته سهم بزرگی از کل پراش داده‌های اولیه را تبیین می‌کنند.

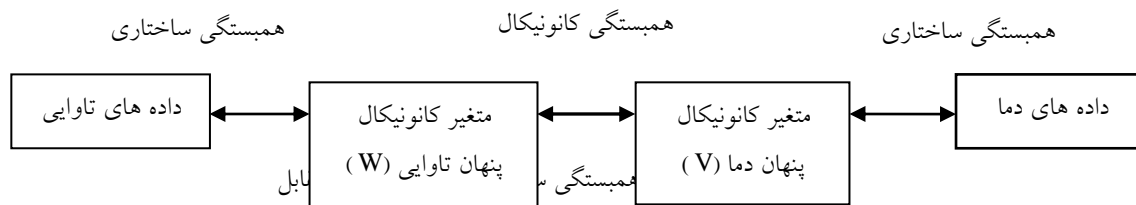
با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، مراکز فعالیت تاوایی نسبی که از نظر تغییرات در طول زمان مشابهت دارند شناسایی می‌شوند. در این مطالعه نیز جهت اجرای تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ماتریس داده‌های ماهانه تاوایی نسبی با آرایه S آماده شد (Wilks, 2011, 519). در ماتریس با آرایه S ستون‌ها شامل نقاط مورد بررسی و ردیف‌ها شامل زمان می‌باشند.

پس از اجرای این مراحل مقدماتی، روش آماری تحلیل همبستگی کانونیکال که در سال ۱۹۳۶ توسط هوتلینگ (Hotelling, 1936, 321) توسعه یافت و اولین بار در دهه ۱۹۸۰ و توسط نیکولز وارد مطالعات اقلیم شناسی شد (Nicholls, 1987, 393)، برای یافتن رابطه مکانی کانون های فعالیت تاوایی نسبی منطقه با دمای کشور به کار گرفته شد.

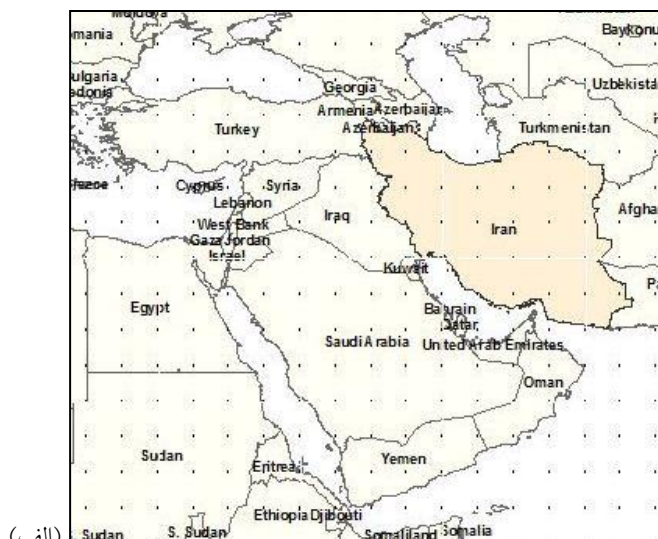
تحلیل همبستگی کانونیکال مدل آماری چندمتغیره‌ای است که مطالعه روابط درونی میان مجموعه متغیرهای وابسته

- 3 . canonical coefficients
- 4 . canonical variates
- 5 . canonical correlation
- 6 . canonical cross loading index

- 1 . Homogeneity
- 2 . Variance



شکل ۱- طرحواره یک ترکیب خطی در تحلیل همبستگی کانونیکال



(الف)



(ب)

شکل ۲- محدوده مورد مطالعه مقادیر تاوایی نسبی، شامل عرض جغرافیایی ۴۵ - ۱۵ شمالی و طول جغرافیایی ۶۵ - ۲۵ شرقی با تفکیک افقی ۲,۵ درجه شامل (الف) و ۹۷ ایستگاه سینوپتیک مورد استفاده در تحلیل دمای کشور (ب)

دمای ماهانه ایستگاه‌های کشور به عنوان ورودی تحلیل همبستگی کانونیکال مورد استفاده قرار گرفت. سپس همبستگی سری زمانی متغیرهای کانونیکال پنهان تاوایی

پس از اجرای تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر داده‌های تاوایی نسبی ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، خروجی نمرات مؤلفه‌های اصلی این تحلیل و هم‌چنین مقادیر استاندارد شده

در تحلیل همبستگی کانونیکال (CCA) تاوایی نسبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و دمای ماهانه کشور سه ترکیب خطی معنی‌دار به دست آمد که در مجموع ۹۷ درصد از پراش مشترک هر دو سری را توضیح می‌دهند. هر ترکیب خطی شامل سری زمانی متغیر کانونیکال پنهان تاوایی نسبی (W) و دما (V) می‌باشد. جدول (۱) همبستگی متغیرهای کانونیکال پنهان تاوایی نسبی و دما که همبستگی کانونیکال نام دارد و پراش توضیح داده شده توسط هر ترکیب خطی را به همراه سطح معنی‌داری آن ترکیب ارائه می‌دهد. طبق جدول (۱) ترکیب خطی اول بیشترین میزان پراش را به میزان ۸۹٫۶ درصد توضیح می‌دهد. همچنین با توجه به همبستگی کانونیکال ۰٫۹۵ بین متغیرهای کانونیکال پنهان تاوایی نسبی (W₁) و دما (V₁) روند تغییرات ماهانه این دو سری بسیار مشابه خواهند بود.

نسبی و دما با مؤلفه‌های معنی‌دار تاوایی نسبی حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و مقادیر اصلی دمای کشور بررسی شد و مشخص شد که در هر دو تراز، مؤلفه اول تاوایی نسبی بیشترین هماهنگی را با دمای ایستگاه‌های هواشناسی ایران دارد. برای تفسیر بهتر نتایج، نقشه‌های پراکندگی همبستگی بین متغیرهای کانونیکال پنهان تاوایی نسبی (W) و داده‌های اصلی تاوایی نسبی منطقه (۲۵۵ نقطه) تهیه شد.

شکل (۲- الف و ب) به ترتیب منطقه مورد مطالعه توزیع تاوایی نسبی با تفکیک افقی ۲٫۵ درجه و ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در بررسی دمای کشور را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث:

رابطه تاوایی نسبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در خاورمیانه و میانگین ماهانه دما در ایران:

جدول ۱- مشخصات ترکیب‌های خطی حاصل از تحلیل همبستگی کانونیکال (CCA) بین متغیرهای کانونیکال پنهان تاوایی نسبی (W) تراز ۵۰۰ hPa و متغیر کانونیکال پنهان دمای کشور (V):

تریز ۵۰۰ hPa	معنی داری	سری زمانی V و W	واریانس (درصد)
ترکیب خطی ۱	۰٫۰۰۰	۰٫۹۵	۸۹٫۶
ترکیب خطی ۲	۰٫۰۰۰	۰٫۵۸	۴٫۳
ترکیب خطی ۳	۰٫۰۰۰	۰٫۵۲	۳٫۱
مجموع واریانس:			۹۷

همبستگی معکوس بالایی بین تغییرات تاوایی نسبی خاورمیانه و تغییرات دمای ایران می‌باشد.

رابطه تاوایی نسبی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در خاورمیانه و میانگین ماهانه دما در ایران:

در تحلیل همبستگی کانونیکال تاوایی نسبی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و دمای ماهانه کشور ۳ ترکیب خطی معنی‌دار به دست آمد که در مجموع ۹۹٫۵ درصد از پراش مشترک هر دو سری را توضیح می‌دهند. هر ترکیب خطی شامل سری زمانی متغیر کانونیکال پنهان تاوایی نسبی (W) و دما

لازم به ذکر است که همبستگی ساختاری بین متغیر کانونیکال تاوایی نسبی (W₁) با مؤلفه اول تاوایی نسبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال حاصل از اجرای تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برابر با ۰٫۹۸- و همچنین همبستگی ساختاری بین متغیر کانونیکال دما (V₁) با دمای ماهانه کشور نیز به میزان ۰٫۹۵ محاسبه شده است. بنابراین شاخص بار متقابل جهت تعیین میزان همبستگی تاوایی نسبی این تراز با دمای کشور که حاصل ضرب همبستگی کانونیکال در همبستگی ساختاری است برابر با ۰٫۹۳- است. این میزان بیانگر

می‌دهد. هم‌چنین با توجه به همبستگی کانونیکال $0,96$ بین متغیرهای کانونیکال تاوایی نسبی (W_1) و دما (V_1) روند تغییرات ماهانه این دو سری بسیار مشابه خواهند بود.

(V) می‌باشد. جدول (۲) همبستگی کانونیکال بین متغیرهای کانونیکال تاوایی نسبی (W) و دما (V) و پراش توضیح داده شده توسط هر ترکیب خطی را به همراه سطح معنی-داری آن ترکیب ارائه می‌دهد. طبق جدول (۲) ترکیب خطی اول بیشترین میزان پراش را به میزان $92,7$ درصد توضیح

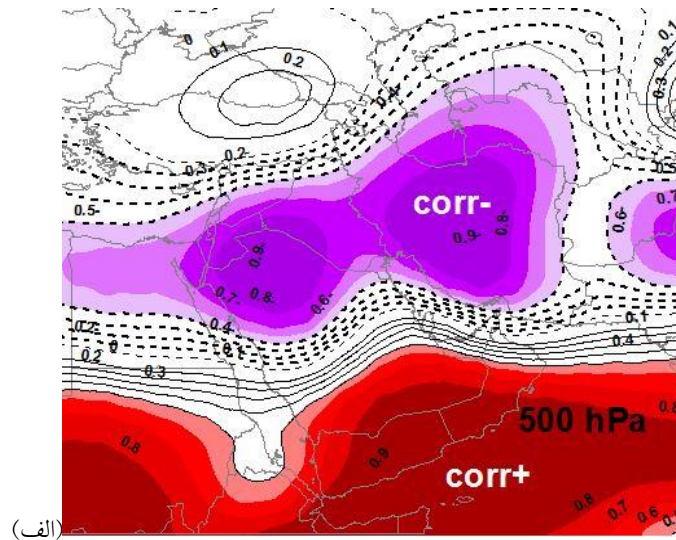
جدول ۲- مشخصات ترکیب‌های خطی حاصل از تحلیل همبستگی کانونیکال (CCA) بین متغیرهای کانونیکال پنهان تاوایی نسبی (W) تراز 850 hPa و متغیر کانونیکال پنهان دمای کشور (V):

تریز 850 hPa	معنی داری	سری زمانی همبستگی V و W	واریانس (درصد)
ترکیب خطی ۱	$0,000$	$0,96$	$92,7$
ترکیب خطی ۲	$0,000$	$0,64$	$4,5$
ترکیب خطی ۳	$0,000$	$0,5$	$2,3$
مجموع واریانس :			$99,5$

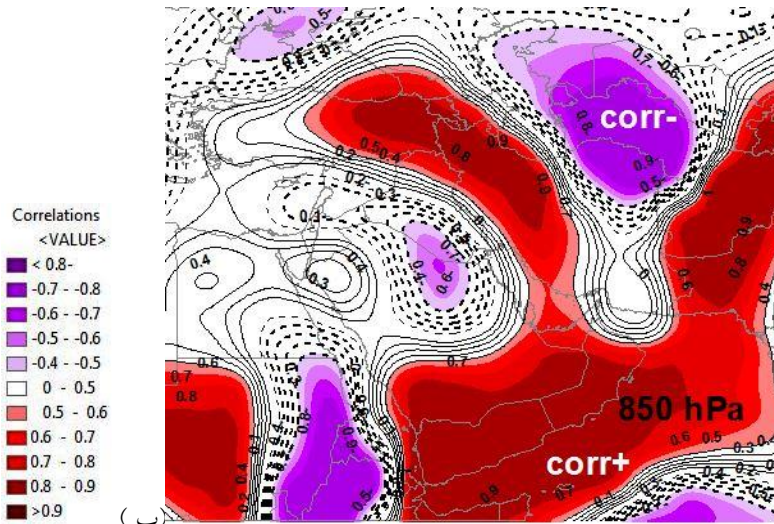
برابر با $0,93$ است که بیانگر همبستگی مستقیم بالایی بین تغییرات تاوایی نسبی این تراز و دمای مناطق مختلف کشور است.

برای تفسیر بهتر نتایج تحلیل همبستگی کانونیکال تاوایی نسبی و دمای کشور، نقشه همبستگی متغیر کانونیکال پنهان محاسبه شده تاوایی نسبی (W) با سری زمانی داده‌های تاوایی نسبی تراز 500 و 850 هکتوپاسکال منطقه تهیه شد (شکل ۳- الف و ب).

در ضمن همبستگی ساختاری بین متغیر کانونیکال تاوایی نسبی (W_1) با مؤلفه اول تاوایی نسبی تراز 850 هکتوپاسکال حاصل از اجرای تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برابر با $0,97$ و همبستگی ساختاری بین متغیر کانونیکال پنهان دما (V_1) با دمای ماهانه کشور نیز به میزان $0,97$ محاسبه شده است. بنابراین شاخص بار متقابل جهت تعیین میزان همبستگی تاوایی نسبی این تراز در منطقه فعالیت مؤلفه اول تاوایی نسبی با دمای کشور که حاصل ضرب همبستگی کانونیکال در همبستگی ساختاری است



(الف)



(ب)

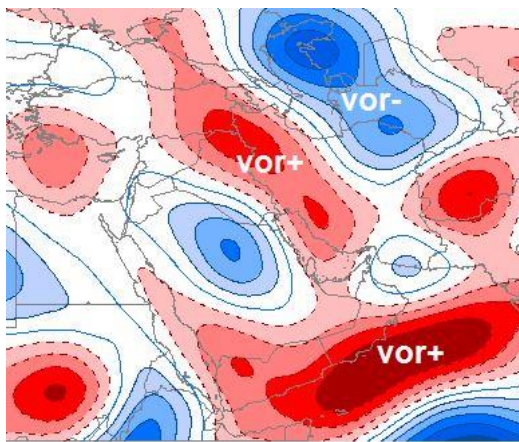
شکل ۳. همبستگی متغیر کانونیکال تاوایی نسبی (W_1) با داده های اصلی تاوایی نسبی ماهانه تراز ۵۰۰ hPa (الف) و تراز ۸۵۰ hPa (ب) رنگ بنفش با منحنی های خط چین و رنگ قرمز با منحنی های ممتد به ترتیب نشان دهنده همبستگی منفی و مثبت می باشند.

(W) دارد یعنی روی ایران، عراق و شمال عربستان، هر چه مقادیر تاوایی نسبی به سمت مقادیر منفی تمایل پیدا می کند، دمای مناطق مختلف ایران نیز افزایش می یابد. از سوی دیگر در مناطقی که در شکل ۳-ب در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، تاوایی نسبی در آنها همبستگی مثبت با مؤلفه کانونیکال دارد یعنی از حدود غرب ایران تا ترکیه و مابین دریای عمان تا دریای سرخ، هر چه مقادیر تاوایی نسبی به سمت مقادیر مثبت تمایل می یابد دمای هوا در ایران نیز بیشتر است. بخشی از مناطقی که طبق شکل ۳-ب تاوایی نسبی در آنها همبستگی بالایی با دمای ایران دارد منطبق بر مسیر گسترش

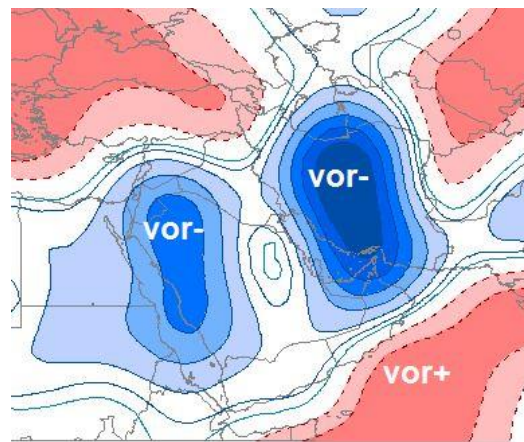
نقشه های شکل ۳-الف و ب به ترتیب نشان می دهند که در طول سال تغییرات تاوایی نسبی تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال در کدام مناطق در خاورمیانه بیشترین همبستگی را با تغییرات دمای هوا در ایران دارند. مناطقی که در شکل ۳-الف و ب نشان دهنده بالاترین میزان همبستگی بین متغیرهای کانونیکال تاوایی نسبی با مقادیر اصلی تاوایی نسبی هستند، منطبق بر مؤلفه های اول حاصل از تحلیل مؤلفه های اصلی مراکز فعالیت تاوایی نسبی می باشند. در مناطقی که در شکل ۳-الف در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی نسبی در آنها همبستگی منفی با مؤلفه کانونیکال

تحلیل همبستگی کانونیکال توزیع تاوایی نسبی خاورمیانه و دمای ایران را تأیید می‌کند (شکل ۴- الف و ب). مقایسه شکل‌های ۳- الف و ب در ترازهای ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال با نقشه‌های توزیع تاوایی نسبی ماهانه ترازهای مورد نظر در ماه‌های گرم سال نشان می‌دهد که بیشترین همبستگی دما با تاوایی نسبی در فصل گرم سال وجود دارد. به همین دلیل تحلیل همبستگی کانونیکال روی داده‌های سه ماه گرم سال نیز اجرا شد و مطابق انتظار نتایج بسیار مشابهی را با شکل ۳- الف و ب به همراه داشت.

کم‌فشار خلیج فارس است. کم‌فشار خلیج فارس که اقلیم شناسان بسیاری در مطالعات خود از آن یاد کرده‌اند از خلیج فارس شروع شده و با عبور از جنوب ترکیه به دریای اژه کشیده می‌شود. این کم‌فشار گرمایی تا ارتفاع حدود ۱۵۰۰ متر از سطح زمین در زیر سامانه پر ارتفاع جنب حاره و در فصل گرم سال در منطقه گسترش می‌یابد و می‌تواند منجر به افزایش تاوایی مثبت در ترازهای نزدیک سطح زمین شود بررسی نقشه‌های پراکندگی تاوایی نسبی ترازهای ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال در ژوئیه ۲۰۱۰ که دارای بالاترین دما در دوره مورد مطالعه می‌باشد صحت نقشه‌های حاصل از



(ب)



(الف)

شکل ۴- پراکندگی تاوایی نسبی در ژوئیه ۲۰۱۰ به عنوان گرمترین ماه دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱ در تراز ۵۰۰ hPa (الف) $V_1 = 1,8$ ، $W_1 = 1,7$ و در تراز ۸۵۰ hPa (ب) $V_1 = 1,7$ ، $W_1 = 1,7$ ، محدوده قرمز رنگ، مقادیر مثبت تاوایی نسبی بیش از مقدار $0,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ و محدوده آبی رنگ، مقادیر منفی تاوایی نسبی کمتر از مقدار $-0,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ است (به فواصل ۰,۵ واحد).

تحلیل همبستگی کانونیکال، همبستگی بسیار بالایی را بین دمای هوا در ایران با مؤلفه‌های اول تاوایی نسبی ترازهای ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال در خاورمیانه نشان می‌دهد که به ترتیب ۰,۹۵ و ۰,۹۶ است. جهت تفسیر مناسب نتایج حاصل از این تحلیل، همبستگی بین متغیر کانونیکال محاسبه شده تاوایی نسبی با داده‌های واقعی تاوایی نسبی تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال منطقه محاسبه و پهنه بندی شد. مقایسه نقشه‌های حاصل با نقشه‌های ماهانه پراکندگی تاوایی نسبی، شباهت بسیار زیاد این نقشه‌ها را با پراکندگی تاوایی نسبی در ماه‌های گرم سال در هر دو تراز مورد مطالعه نشان می‌دهد. این بدان معنی است که تاوایی نسبی و

نتیجه‌گیری:

در این مطالعه جهت بررسی رابطه بین تغییرات تاوایی نسبی در منطقه خاورمیانه با تغییرات دمای هوای ایران از دو روش آماری چند متغیره تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل همبستگی کانونیکال استفاده شد. انتخاب دوره پایه مطالعاتی ۲۰۱۰ - ۱۹۸۱ به دلیل بهبود کلی سامانه دیدبانی جهانی از سال ۱۹۷۹ به بعد می‌باشد. داده‌های میانگین ماهانه دمای ایران نیز در همین بازه زمانی از ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک سراسر کشور تهیه شد و پس از بررسی همگنی و نرمال سازی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از

سپاسگزاری:

این تحقیق بخشی از رساله "رابطه بین توزیع فضایی و زمانی تاوایی نسبی و آب و هوای ایران" است که بدینوسیله از همکاری و راهنمایی اساتید محترم راهنما و مشاور قدردانی می‌گردد.

منابع:

1. Ahmed M. El Kenawi, M. F. McCabe, G. L. Stenchikov and J. Raj, 2014, Multi-decadal classification of synoptic weather types, observed trends and links to rainfall characteristics over Saudi Arabia, doi: 10.3389/fenvs.2014.00037, frontiers in environmental science, Original Research Article, 2, 37, pp. 1-15.
2. Ahrens, C. Donald, 2011, Meteorology today: An introduction to weather, climate and environment, translated by Babaei, M., (1391), M. R., Aeej press. Edition 8, ISBN: 978-964-970-310-7, 718 papers.
3. - Amiri, A., Alijani, B., Hejazizade, Z., Fattahi, E., Azadi, M., 2017 (1396), On the intra-annual variability of relative vorticity in the Middle East and the Eastern Mediterranean, J. climate research, 29, pp. 55-71.
4. - Amiri, A., 2017 (1396), The Relationship between Spatiotemporal Distribution of Relative Vorticity and Climate of Iran, PhD Thesis in Climatology, Khurazmi University, advisor: Dr. Alijani, B., 160 papers.
5. - Buishand, T., 1982, Some methods for testing the homogeneity of rainfall records, J. Hydrol., 58, pp. 11-27.
6. - Darand M, Garcia-Herrera R, Asakereh H, Amiri R, Barriopedro D., 2018, Synoptic conditions leading to extremely warm periods in Western Iran, doi: 10.1002/joc.5177, Int. J. Clim., 38, 1, pp. 307-319.
7. - Fatemi, M., Omidvar, K., Hatami K, Narangifard M., 2015, Using Principle Component Analysis in identifying synoptic patterns of wet periods in central Iran, doi: 10.4172/2157-7617.1000309, J. Earth Sci Clim Change, 6, 9, pp. 1-8.
8. - Fekadu K., 2015, Ethiopian seasonal rainfall variability and prediction using Canonical Correlation Analysis (CCA), doi: 10.11648/j.earth.20150403.14, Earth Sciences, 4, 3, pp. 112-119.

دمای هوا در فصل گرم سال بالاترین همبستگی را با همدیگر دارند. در فصل گرم، تاوایی نسبی منفی روی ایران، عراق و شمال عربستان در تراز میانی، که بیانگر حضور پر ارتفاع جنب حاره است و همزمان تاوایی نسبی مثبت روی ایران در تراز نزدیک زمین، که حضور کم‌فشار گرمایی سطح زمین را نشان می‌دهد هر دو با افزایش دمای هوا در ایران همراهند. محدوده‌ای که در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال تاوایی نسبی مثبت دارد بر مسیر کم‌فشار گرمایی خلیج فارس که در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به سمت ترکیه گسترش می‌یابد و در بسیاری از مقالات بدان اشاره شده است منطبق می‌باشد. در واقع گرمای سطح زمین در فصل گرم منجر به ایجاد تاوایی مثبت در ترازهای نزدیک سطح زمین در محدوده گسترش کم فشار خلیج فارس می‌شود. بررسی نقشه‌های توزیع تاوایی نسبی ماهانه در سال‌های مختلف نیز این نتیجه‌گیری را تأیید می‌کند. به این صورت که در گرمترین ماه در دوره مورد مطالعه که ژوئیه ۲۰۱۰ می‌باشد، بیشترین مقادیر تاوایی نسبی مثبت در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و بیشترین مقادیر تاوایی نسبی منفی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در مناطق مشخص شده مرتبط با دمای ایران مشاهده شده است. در مطالعه لولیس و همکارانش (۲۰۰۸) نیز تغییرات درون‌سالی تاوایی نسبی با تغییرات دما در مدیترانه در فصل‌های مختلف سال هماهنگی کامل نشان داده است. امیری (۱۳۹۶) نیز همبستگی مناسبی بین تغییرات تاوایی نسبی با بارندگی در ایران به دست آورد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در مطالعات مختلف اقلیمی از تاوایی نسبی به عنوان یک مؤلفه جوی مؤثر بر پدیده‌های اقلیمی سطح زمین استفاده شود. اقلیم شناسانی همچون لولیس، فلوکاس و آرنس نیز عقیده دارند که بیشتر مؤلفه‌های سینوپتیک سطوح بالا نظیر واگرایی، همگرایی و چرخندهای عرض‌های میانی به تاوایی بستگی دارند. تحلیل همبستگی کانونیکال روش مناسبی در مطالعات اقلیم شناسی سینوپتیک است که نتایج بهتری نسبت به کاربرد تحلیل مؤلفه‌های اصلی به تنهایی به همراه خواهد داشت و استفاده از آن برای بررسی رابطه بین سایر مؤلفه‌های گردش عمومی جو با پدیده‌های جوی سطح زمین توصیه می‌شود.

21. - Nicholls, N., 1987, The use of canonical correlation to study teleconnections, doi: 10.1175/1520-0493(1987)115, Monthly Weather Review, 115, 2, pp. 393-399.
22. - Omidvar K, Fatemi M, Narangifard M, Hatami K., 2016, A study of the circulation patterns affecting drought and wet years in central Iran, doi: 10.1155/2016/1843659, Advances in Meteorology, 2016, pp. 1-14.
23. - Perron, M. and Sura P., 2013, Climatology of non Gaussian atmospheric statistics, doi: 10.1175/JCLI-D-11-00504.1, Tallahassee AMS, 26, pp. 1063-1083.
24. - Post, P., Truija, V., and Tuulik, J., 2002, Circulation weather types and their influence on temperature and precipitation in Estonia, ISSN: 1239-6095, Boreal Environ. Res., 7, pp. 281-289.
25. - Rahimzadeh, F. and NassajiZavareh, M., 2014, Effects of adjustment for non climatic discontinuities on determination of temperature trends and variability over Iran, doi: 10.1002/joc.3823, Int. J. Clim., 34, 6, pp. 2079-2096.
26. - Razieli, T. and Fattahi, E., 2011(1390), Assessment of application of NCEP-NCAR precipitation data in drought monitoring in Iran, J. o. Earth and Space Physics, 37, 2, pp. 225-247.
27. - Sinclair M.R., 1994, An objective cyclone climatology of the southern hemisphere, doi: 10.1175/1520-0493, Monthly Weather Review, 122, 10, pp. 2239-2256.
28. - Vicente-Serrano, S.M., Trigo, R., Lopez-Moreno, J. I., Liberato, M. L. R., Lorenzo-Lacruz, J., Begueria, S., Moran-Tejeda, E. and Ahmed El Kenawy, 2011, The 2010 extreme winter north hemisphere atmospheric variability in Iberian precipitation: anomalies, driving mechanisms and future projections, doi: 10.3354/cr00977, Clim. Res., 46, pp. 51-65.
29. - Von Storch, H. and Zwiers, F.W., 2004, Statistical analysis in Climate research, ISBN: 0-511-03753-8, Cambridge University Press, first published 1999, 496 papers.
30. - Wilks, D.S., 2011, Statistical methods in the atmospheric sciences, ISBN: 978-0-12-385022-5, Elsevier Inc., Academic Press., 100, Third edition, 704 pages.
31. - Xoplaki, E., Gonzalez-Rouco, J.F., Gyalistras, D., Luterbacher, J., Rickli, R., and Wanner, H., 2003, Interannual summer air temperature variability over Greece and its connection to the large-scale atmospheric circulation and Mediterranean SSTs 1950-
9. - Flocas, H.A., Maheras, P., Karacostas, T.S., Patrikas, I. and C. Anagnistopoulou, 2001, A 40-year climatological study of relative vorticity distribution over the Mediterranean, doi: 10.1002/joc.705, Int. J. Clim., 21, pp. 1759-1778.
10. - Holton, J.R. and Hakim, G.J. 2012, An introduction to dynamic meteorology, ISBN: 9780123848673, Elsevier, Academic press, Fifth edition, 552 pages.
11. - Hosseini, S. M. and Movahedi, S., 2014, Sea level pressure climatology in Black sea region, DOI: 10.5267/j.mal.2013.12.035, Management Science Letters, 4, pp. 227-236.
12. - Hotelling, H., 1936, Relations between two sets of variates, doi: 10.2307/2333955, Biometrika, 28, 3/4, pp. 321-377.
13. - Jolliffe I.T., 2013, Principal Component Analysis, Springer Inc, New York, ISBN: 978-1-4757-1906-2.
14. - Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, J.J., S.K., Fiorino, H.M. and G.L. Potter, 2002, NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2), Bulletin of the American Meteorological Society, Nov 2002, pp. 1631-1643.
15. - Kistler, R., E. Kalnay and 11Co-authors, 2001, The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means cd-rom and documentation, Bulletin of the American Meteorological Society, 82, 2, pp. 247-268.
16. - Levy, D., 2010, Introduction to numerical analysis, 127 pages.
17. - Lionello, P. and 17 Co-authors, 2012, The climate of the Mediterranean region, From the past to the future, University of Saleno, Lecce Italy, Elsevier Inc., ISBN: 978-0-12-391477-4, 496 papers.
18. - Lolis, C.J., Metaxas, D.A. and A. Bartzokas, 2008, On the intra-annual variability of atmospheric circulation in the Mediterranean region, doi: 10.1002/joc.1634, Int. J. Clim., 28, pp. 1339-1355.
19. - Marosz, M., 2009, Seasonal variability in the response of the airflow characteristics to the changes in the macro-scale westerly flow intensity over Europe, doi:10.1002/joc.1708, Int. J. clim., 29, pp. 481-500.
20. - Mofidi, A. and A. Zarrin, 2012 (1391), Analysis of nature, structure and temporal variance of summertime large scale atmospheric circulation on the southwest Asia, J. Research of climatology, 3, 11, pp. 15-40.

summertime subtropical anticyclones over Asia and Africa, doi: 10.1002/joc.1879, Int. J. Clim., 30, pp. 159-173.

1999, doi: 10.1007/s00382-002-0291-3, Climate Dynamics, 20, 5, pp. 537-554.
32. - Zarrin, A., Ghaemi, H., Azadi, M. and M. Farajzadeh, 2010, The spatial pattern of