

Spatial and Temporal Analysis of the Mediterranean Trough

*B. Alijani

**H. Nezamati

The Mediterranean trough is the main and important climatic factor affecting the climate of Iran during the cold season. In this work, a daily data analysis of 12 GMT was used during the period 1980 to 2010 and in the spatial range of 12.5 to 70 degrees east and 12.5 to 70 degrees north with a spatial resolution of 2.5×2.5 degrees. These data were obtained from the NCEP-NCER's US Environmental Data Site. This study was selected every year from October to March of the following year as a cold season. The main component analysis tool and T mode were used. The resulting matrix in the analysis of the main components has 576 rows representing the points and 186 columns representing the days of each year. The results of main component analysis showed that there were between 6 and 9 components each year. In this study, only the first component was selected was entered into the Arc Gis software. The results showed that the Mediterranean trough axis was driven 9 degrees westwards in the 30 years, and this magnitude increased from equator to pole, and it was found that changes in the Mediterranean trough occurred due to longitudinal, transverse, and high elevations.

Keywords: Mediterranean Trough, Principal Component Analysis, STHP

بررسی تغییرات مکانی فرود مدیترانه

بهبول علیجانی، استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
حسین نظامتی^{*}، کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

وصول: ۱۳۹۳/۱۱/۲۱ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۰۱، صص ۷۹-۹۲

چکیده

فرود مدیترانه یکی از مهم‌ترین سیستم‌های کنترل‌کننده اقلیم ایران در فصل سرد است. در این مطالعه از داده‌های روزانه ساعت ۱۲ گرینویچ در محدوده زمانی ۱۹۸۰-۲۰۱۰ و در محدوده مکانی ۱۲/۵ تا ۷۰ درجه شرقی و ۱۲/۵ تا ۷۰ درجه شمالی با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵×۲/۵ درجه استفاده شد. این داده‌ها از سایت داده‌های محیطی آمریکا NCEP-NCER تهیه شد. در این مطالعه، هر سال از اکتبر تا مارس سال بعد به‌عنوان فصل سرد انتخاب شد. همچنین، از حالت T روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. ماتریس حاصل در تحلیل مؤلفه‌های اصلی دارای ۵۷۶ سطر، نماینده نقاط و ۱۸۶ ستون، نماینده روزهای هر سال هستند. نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد هر سال بین ۶ تا ۹ مؤلفه را در خود جای داده است و در این مطالعه فقط مؤلفه اول انتخاب و محور فرود مشخص شد. نتایج نشان داد محور فرود مدیترانه در ۳۰ سال در دست مطالعه، ۹ درجه به سمت غرب حرکت کرده و این مقدار از استوا به سمت قطب افزایش داشته است. همچنین، مشخص شد تغییرات فرود مدیترانه به‌علت رخداد تغییرات طولی، عرضی و ارتفاعی در پرفشار جنب حاره است.

واژه‌های کلیدی: فرود مدیترانه، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، پرفشار جنب حاره.

مقدمه

در فصل‌های سرد سال، بادهای غربی باعث به وجود آمدن سه فرود در نیم‌کره شمالی می‌شوند. یکی از این فرودها روی دریای مدیترانه قرار می‌گیرد (هارمان، ۱۹۹۱)^۱ و در ماه ژانویه، از دریای مدیترانه تا عرض‌های جنوبی خلیج فارس کشیده می‌شود و حاکمیت خود را به صورت بسیار قوی در ارتفاع حدود ۵۰۰۰ متری از سطح زمین روی ایران حفظ می‌کند (علیجانی، ۱۳۷۶). پاول^۲ (۱۹۹۰) در مطالعه‌ای برای طبقه‌بندی الگوهای چرخشی ماه ژانویه در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، مدار ۶۰ تا ۹۰ درجه شمالی را برای سال‌های ۱۹۴۶ تا ۱۹۸۹ در دست مطالعه قرار داد و سپس با توجیه ۸۵ درصد واریانس به روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، به ۶ مؤلفه رسید و توانست سه فرود را در محدوده مطالعه شناسایی کند: ۱- فرود روی آمریکا؛ ۲- فرود روی ژاپن و اقیانوس آرام؛ ۳- فرود روی مدیترانه.

هارمان (۱۹۹۱) اشاره می‌کند که در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، یکی از سه فرود بلند بادهای غربی روی مدیترانه قرار می‌گیرد. در مطالعه‌ای روی تراف مدیترانه، پس از مشخص کردن محور فرود، این محور در ۸ باند طولی خلاصه شد و درصد مختلف بارش برای هر کدام از حالت‌های مختلف، در یک دوره ۱۰ ساله محاسبه شد (Jacobit, 2006). رضیتی و همکاران (۱۳۸۹) بر اهمیت این سیستم تأکید می‌کنند که ناوه مدیترانه بر اقلیم ایران و تأمین بارش زمستانه، تأثیر بسزایی دارد؛ بنابراین، مشخص است که این سیستم از نظر پژوهشگران مهم بوده است. امروزه با توجه به مباحث تغییر اقلیم و اثرگذاری آن بر

پدیده‌های مختلف، پژوهشگران زیادی به مطالعه آثار آن بر سیستم‌های جوی در سطوح بالا پرداختند. یکی از این پژوهش‌ها به دست سیدل و همکاران روی تغییرات ارتفاع تروپوپوز انجام شد که نشان دادند در سه دهه گذشته، ارتفاع تروپوپوز افزایش یافته است (Seidel et al, 2001). حسائیان^۳ (۲۰۰۴) نیز در بررسی تغییرات پرفشار جنب حاره با تحلیل طیفی، تنوع سال‌به‌سال و تغییرات ناگهانی، به این نتیجه رسید که پرفشار جنب حاره در ۲۰ سال گذشته تقویت شده است. آرچر و کن^۴ (۲۰۰۷) نیز مطالعه‌ای بر تغییرات جت استریم انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که جت استریم روی آمریکا در مقیاس دهه‌ای ۱۲۵ مایل و در مقیاس ۲۲ ساله، ۲۷۰ مایل جابه‌جا شده است. هو و همکاران^۵ و فو و همکاران^۶ نیز این نتایج را تأیید کردند. سوکارنی میترو^۷ (۲۰۱۰) هم مطالعه دیگری روی تغییرات پرفشار جنب حاره انجام داد. او نیز وجود تغییرات در نقطه مرکزی پرفشار جنب حاره را تأیید کرده است. نتایج دیگری را فرانسیس (۲۰۱۳)^۸ درباره آثار تغییر اقلیم در سطوح بالا به دست آورده است. وی در بررسی علت طوفان‌های شدید آمریکا در چندین سال گذشته، تغییر اقلیم در سطوح بالای جو را قبول می‌کند. در گذشته نیز، پژوهش‌های بسیاری بر سیستم‌های مختلف جوی با هدف مشخص کردن آثار تغییر اقلیم در سطوح بالا انجام شده است و به نظر می‌رسد بیشتر پژوهشگران، پیگیر تأثیرات تغییر اقلیم تا سطوح بالا هستند. از

^۳ hasanean h. m^۴ Archer and ken^۵ hou and et al^۶ fou and et al^۷ sukarni mitro^۸ feransis^۱ Harman^۲ Paul

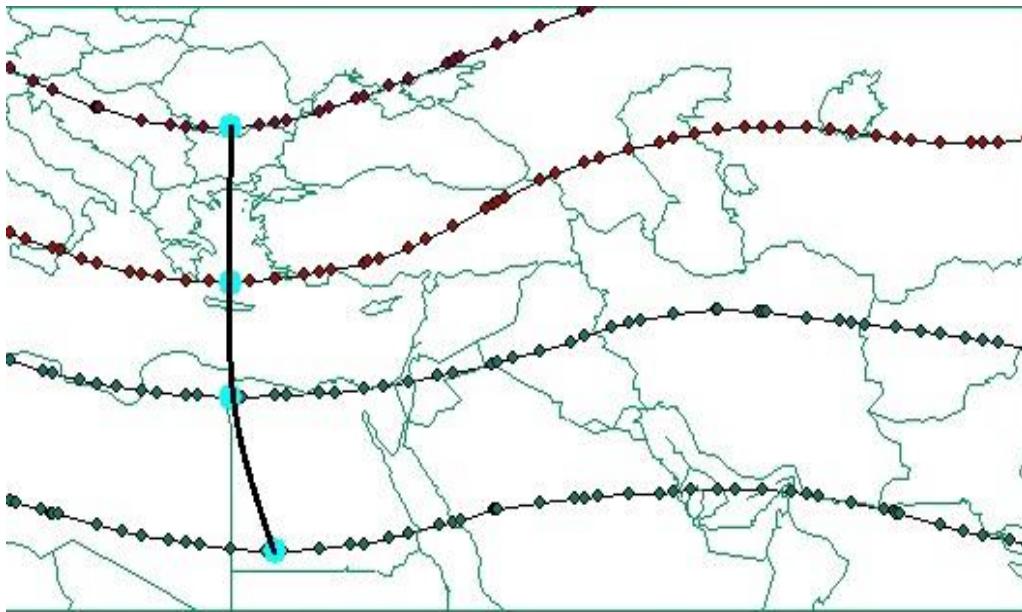
استفاده شد. ماتریس حاصل شامل ۵۷۶ سطر و ۱۸۶ ستون برای هر سال آماری است.

فرایند تحلیل مؤلفه‌های اصلی روی ماتریس انجام گرفت و سپس عامل‌ها با استفاده از چرخش و ریمکس چرخانده شدند. نتایج اینگونه بود که در سال‌های مختلف ۶ تا ۹ مؤلفه، توانستند ۹۶ تا ۹۷ درصد واریانس داده‌ها را تفسیر کنند. برای انتخاب مهم‌ترین مؤلفه‌ها، اصل تبیین بیش از یک درصد (ملاک کایزر) پذیرفته شد. بر این اساس، برای تحلیل‌های بعدی، تنها مؤلفه‌هایی نگاه داشته شد که بیش از یک درصد واریانس را تبیین می‌کردند. برای مشخص کردن روزهای تشکیل‌دهنده هر عامل، ماتریس بارگویه‌های تحلیل عاملی استفاده شد و روزها در عاملی قرار گرفتند که بیشترین همبستگی را در آن داشتند؛ عامل‌هایی که کمتر از ۱۰ روز را به خود اختصاص داده بودند، حذف شدند و برای هر سال فقط دو عامل اول باقی ماندند. نقشه‌های میانگین دو عامل باقی‌مانده تهیه شد؛ سپس مشخص شد که عامل دوم مربوط به پدیده انسداد جوی است و فقط عامل اول وضعیت جو را در حالت فرود مدیترانه نشان می‌دهد. پس از ترسیم نقشه‌ها و رسم خطوط منحنی میزان، داده‌ها به صورت نقشه‌های بصری در آمدند. برای تعیین محل دقیق محور فرود مدیترانه، هر کدام از منحنی‌ها از ماهیت خطی به ماهیت نقطه‌ای تبدیل شدند. سپس طول و عرض جغرافیایی هر نقطه به آن داده شد و با مرتب‌کردن مختصات طولی هر نقطه از کوچک به بزرگ، پایین‌ترین نقطه هر منحنی مشخص شد (شکل ۱) و با متصل‌کردن پایین‌ترین نقاط هر منحنی به همدیگر، محور فرود به صورت یک خط به دست آمد.

انجایی که فرود مدیترانه یکی از سیستم‌های مهم است، یکی از پژوهشگران روی این سیستم مطالعه‌ای انجام داده است. وی با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی به روش ادغام، وارد تغییرات الگوی بادهای غربی در منطقه مدیترانه شده و سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال را شناسایی کرده است. نتایج پژوهش نشان داد تغییرات زمانی ناوه مدیترانه به صورت تصادفی است و جابه‌جایی مکانی آن بسیار کند است (alijani, 2002). اما به دلیل استفاده از میانگین ماهانه در این مطالعه، گمان می‌شود آثار تغییر اقلیم نتوانسته خود را به طور واضح نشان دهد؛ اما می‌توان با پژوهشی بسیار دقیق و با داده‌های روزانه، نتایج به دست آمده از این مطالعه را بازبینی کرد.

روش انجام پژوهش

برای انجام این مطالعه، داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در محدوده مکانی ۱۲/۵ تا ۷۰ درجه شرقی و ۱۲/۵ تا ۷۰ درجه شمالی استخراج شد. برای بررسی تغییرات در این پژوهش و جلوگیری از حذف برخی جزئیات، از داده‌های ثبت‌شده در ساعت ۱۲ گرینویچ استفاده شد. داده‌ها از اکتبر ۱۹۸۰ تا مارس ۲۰۱۰ از سایت داده‌های محیطی آمریکا NECP/NECR دریافت شد. به دلیل بررسی این سیستم در دوره سرد سال، از اکتبر هر سال تا مارس سال بعد، به عنوان یک دوره آماری تعیین شد و بدین روش ۳۰ دوره مطالعه‌شده مشخص شد که هر کدام از دوره‌ها دارای ۱۸۶ روز بود. داده‌های تهیه‌شده، دارای قدرت تفکیک $2/5 \times 2/5$ درجه‌ای بودند که منطقه درست مطالعه را به ۵۷۶ نقطه ارتفاعی برای هر روز تبدیل کردند. برای کم‌کردن حجم داده‌ها و به دست آوردن الگوی هر سال، از حالت T تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)



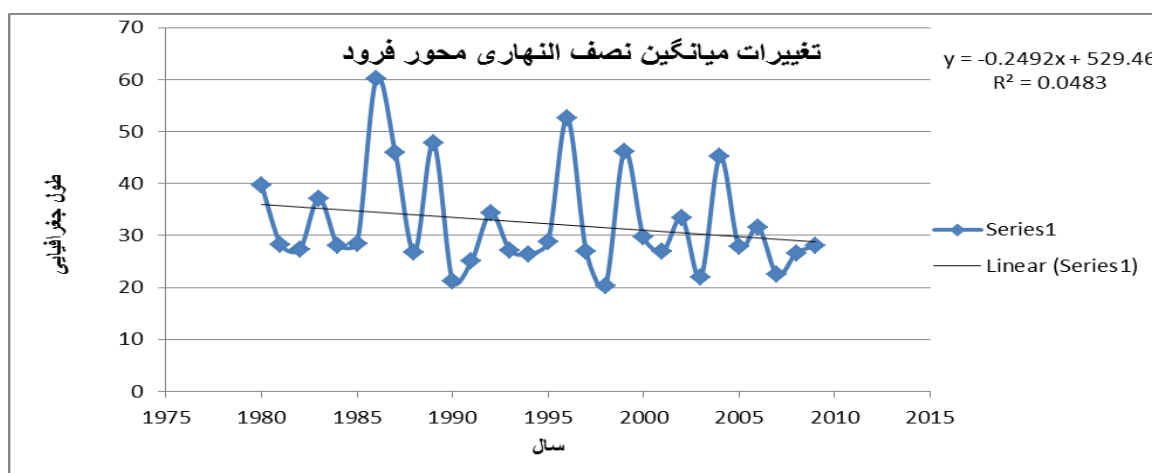
شکل ۱. نمونه‌ای از روش شناسایی محور ناوه

انفعالات برای دریافت نتایج آماده شد. برای مشخص شدن الگوی کلی ناوه در طول دوره، عامل‌های اول حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای ۳۰ سال در دست مطالعه، خوشه‌بندی شد.

یافته‌ها

در این پژوهش برای بررسی تغییرات فرود مدیترانه در دوره سی ساله، داده‌های ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال برای مختصات ۱۲/۵ تا ۷۰ شمالی و ۱۲/۵ تا ۷۰ شرقی برای دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ دریافت شد. با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، الگوهای هر سال و محل محور فرود مدیترانه برای هر سال مشخص شد و سپس محل برخورد محور فرود با سه مدار ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درجه برای ۳۰ سال تعیین و روی نمودار برده شد. پس از رسم رگرسیون و نمودار، مشخص شد محل ناوه در سال اول به‌طور میانگین روی نصف‌النهار ۳۷ درجه قرار داشته است و در سال آخر، روی نصف‌النهار ۲۸ درجه شرقی قرار گرفته است.

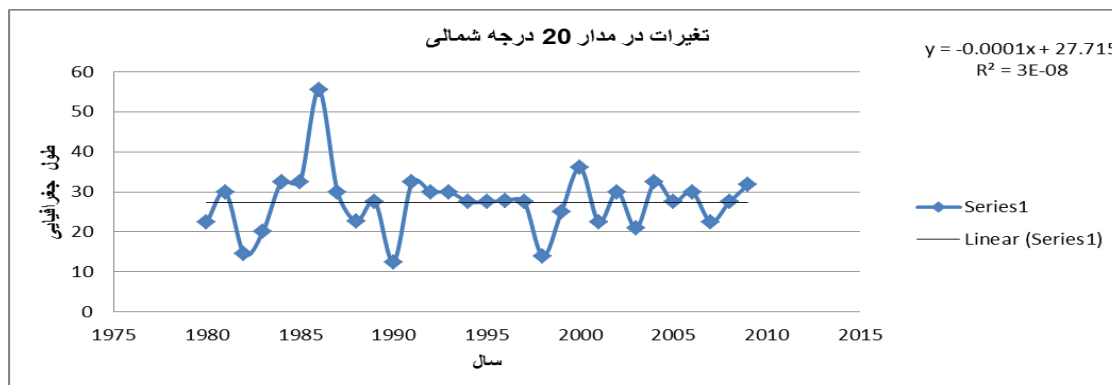
این عملیات بر الگوهای سی دوره در دست مطالعه اجرا شد. برای مشخص کردن تغییرات این محور در عرض‌های مختلف، مدارهای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درجه روی نقشه رسم شد و محل برخورد محور فرود با هر کدام از این مدارها مشخص شد و طول و عرض دقیق محل برخورد یادداشت و روی نمودار رسم شد. نمودار خطی و رگرسیون خطی برای هر سه مدار و میانگین سه مدار برای دوره سی ساله تهیه شد. داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل ۲۰ درجه غربی تا ۲۰ درجه شرقی و ۰ تا ۵۰ درجه شمالی نیز از مرکز داده‌های محیطی آمریکا استخراج شد و نقشه‌های الگوی اول در این محدوده مکانی رسم شد. سپس مکان پرفشار جنب حاره در سه بُعد طولی، عرضی و ارتفاعی، در هر کدام از الگوها مشخص شد. نتایج حاصل، در سه ستون جداگانه ذخیره شد و سپس نمودار خطی و رگرسیون خطی هر کدام رسم شد. بدین وسیله تغییرات مکانی پرفشار جنب حاره نیز مانند محور فرود مدیترانه روی نمودار نشان داده شد و نمودار حاصل از این فعل و



شکل ۲. تغییرات ناوۀ مدیترانه به صورت میانگین سه مدار ۲۰ و ۴۰ و ۶۰ درجه

بیشتری رخ داده است (۱۹۸۰، ۱۹۸۶، ۱۹۸۹)؛ اما با حرکت به جلو دچار سیر نزولی شده است، به طوری که در دهه دوم، ۲ بار در سالهای ۱۹۹۶ و ۱۹۹۹ و در دهه سوم ۱ بار در سال ۲۰۰۴ رخ داده است. اما وضعیت نقاط افت نمودار (وضعیت طبیعی و قرارگیری تراف روی منطقه در دست مطالعه و گسترش منطقه چرخندگی مثبت) که محور تراف را در غرب منطقه مطالعه شده نشان می دهد، از دهه اول به سوم رو به افزایش بوده است؛ در دهه اول رخ نداده، در دهه دوم ۲ بار (۱۹۹۰ و ۱۹۹۸) و در دهه سوم نیز ۲ بار که در سالهای ۲۰۰۳ و ۲۰۰۷ اتفاق افتاده است.

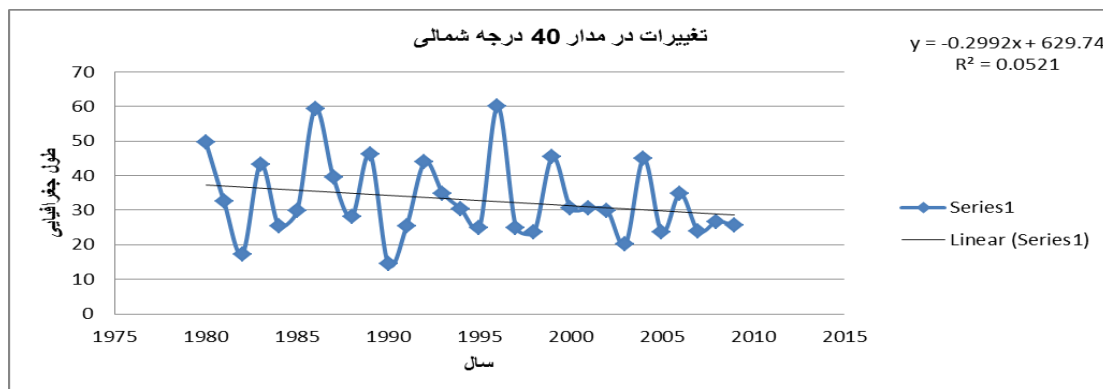
به طور میانگین، فرود مدیترانه معادل ۹ درجه به سمت غرب حرکت کرده است (شکل ۲). در این نمودار فرود از طول تقریبی ۳۸ درجه، به سمت طول ۲۹ جابه جا شده که نشان از حرکت به طرف غرب بوده است. وضعیت اوج در نمودار که محور تراف را در شرق منطقه نشان می دهد، حاکی از گسترش منطقه چرخندگی منفی موج بادهای غربی، در منطقه در دست مطالعه و شکل گیری یک فراز به جای فرود روی دریای مدیترانه است. به نوعی می توان گفت که فراز به جای فرود در منطقه قرار گرفته است و پژوهشگران از آن با نام عوض شدن جای فرود و فراز نیز یاد می کنند. این اتفاق، در دهه اول به تعداد



شکل ۳. تغییرات ناوۀ مدیترانه در مدار ۲۰ درجه شمالی

مشخصی است که در این قسمت از تراف نمود پیدا کرده و تراف در دهه سوم از نوسان ۱۰ درجه‌ای در عرض جغرافیایی، فراتر نرفته است؛ اما این مقدار در دهه دوم ۲۰ درجه و در دهه اول ۴۰ درجه بوده، که نشان از منظم‌تر شدن رفتار تراف در این قسمت از منطقه در دست مطالعه است.

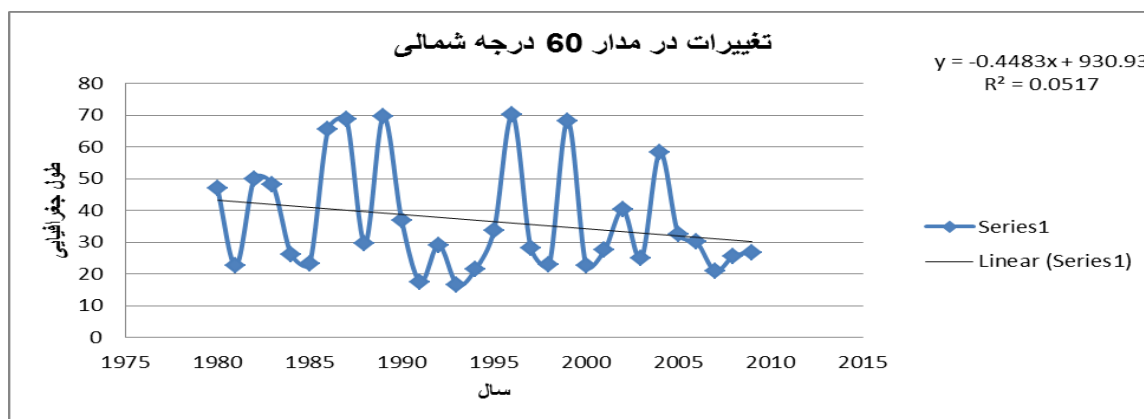
مقدار تغییرات حاصل در این پژوهش، در مدار ۲۰ درجه بسیار کم و کمتر از ۱ درجه است (شکل ۳) و محور تراف در عرض‌های نزدیک به استوا در وضعیتی به نسبت ثابت قرار داشته است. گسترش منطقه چرخندگی منفی (عوض شدن فرود و فراز) در این قسمت، فقط ۱ بار به صورت شدید در سال ۱۹۸۵ رخ داده است. کاهش نوسان در نمودار، رفتار



شکل ۴. تغییرات ناوه مدیترانه در مدار ۴۰ درجه شمالی

دوم ۳ بار این اتفاق افتاده است. در سال ۱۹۹۶ در شدیدترین وضعیت محور تراف تا ۶۰ درجه شرقی پیش‌روی کرده است و تمام منطقه، زیر نفوذ فراز و منطقه چرخندگی منفی بادهای غربی قرار گرفته است. در دهه اول نیز این وضعیت ۴ بار تکرار شد. شدیدترین حالت در سال ۱۹۸۶ بود و محور تراف تا ۶۰ درجه شرقی حرکت کرد. در نتیجه، تعداد سال‌هایی که محور تراف در شرق منطقه قرار داشته است، کاهش و سال‌هایی که محور در غرب قرار گرفته، افزایش یافته است.

در این مدار جغرافیایی، مقدار تغییرات تراف مدیترانه، بین مقدار تغییرات در مدار ۲۰ و ۶۰ درجه بوده است (شکل ۴). این قسمت ناهنجاری شدیدتری نسبت به مدار ۲۰ درجه داشته و بیشتر به نمودار میانگین نزدیک است. تعداد سال‌های تسلط چرخندگی منفی و فراز در منطقه، در دهه سوم ۱ بار رخ داده است؛ هنگامی که محور تراف حوالی نصف‌النهار ۴۸ درجه قرار گرفته است و قسمت بیشتر منطقه مطالعه‌شده از ۱۲/۵ تا ۶۰ درجه شرقی، زیر نفوذ فراز بادهای غربی قرار گرفته است؛ در دهه



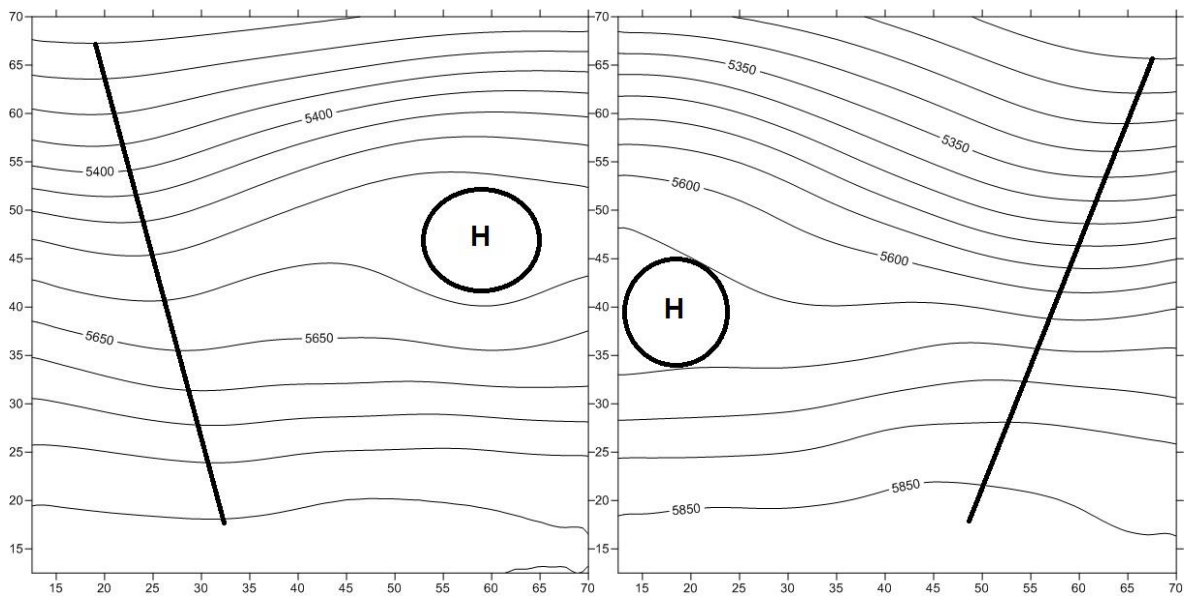
شکل ۵. تغییرات ناوه مدیترانه در مدار ۶۰ درجه شمالی

است. نیمه شمالی منطقه، تحت تسلط فراز و چرخندگی منفی و وضعیت نزول و پایداری قرار گرفته و در نیمه جنوبی، وضعیت بیشتر به وزش مداری نزدیک است و موج‌های ضعیفی در ۱۵ تا ۲۵ درجه شمالی ایجاد شده است. نقاط اوج و قله‌ها در نمودار میانگین ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درجه روند این الگو را نشان می‌دهند. تغییرات زمانی این الگو، روند کاهشی داشته است؛ به طوری که در دهه اول ۴ سال (۱۹۸۳-۱۹۸۶-۱۹۸۷-۱۹۸۹) دهه دوم ۲ سال (۱۹۹۶-۱۹۹۹) و دهه سوم ۱ سال (۲۰۰۴) اتفاق افتاده است و فرود حاصل از آن روی نصف‌النهار ۵۰ تا ۶۰ درجه شرقی قرار گرفته است. در عرض‌های شمالی‌تر، محور ناوه حاصل، تا ۷۰ درجه شرقی نیز رسیده و چون تکرار این الگو روند کاهشی داشته، نمودار میانگین دورشدن از نصف‌النهار ۶۰ درجه شرقی را نشان داده است.

مقدار تغییرات در مدار ۶۰ درجه (شکل ۵)، ۱۴ درجه به ثبت رسیده است. در این قسمت تراف تا حوالی ۷۰ درجه شرقی حرکت کرده و فراز روی مدیترانه قرار گرفته است. تعداد این وضعیت در دهه اول ۳ بار، در دهه دوم ۲ بار و در دهه سوم ۱ بار بوده است. تعداد این اتفاق مانند نمودار، ۴۰ درجه و میانگین، رو به کاهش بوده و مقدار تغییرات ثبت شده در این بخش بیشتر از سایر قسمت‌ها بوده است. نمودار نشان می‌دهد که به‌طور میانگین در بیشتر سال‌ها محور ناوه، حوالی نصف‌النهار ۳۰ درجه شرقی قرار داشته است.

برای مقایسه و بررسی الگوهای هر سال، با استفاده از خوشه‌بندی، در سی سال در دست مطالعه، سه الگو در منطقه شناسایی شد.

الگوی اول: (شکل ۶ الف) یک مرکز پرفشار به‌صورت مانع در نصف‌النهار ۱۲/۵ تا ۲۵ درجه شرقی، بادهای غربی را به دو شاخه تبدیل کرده



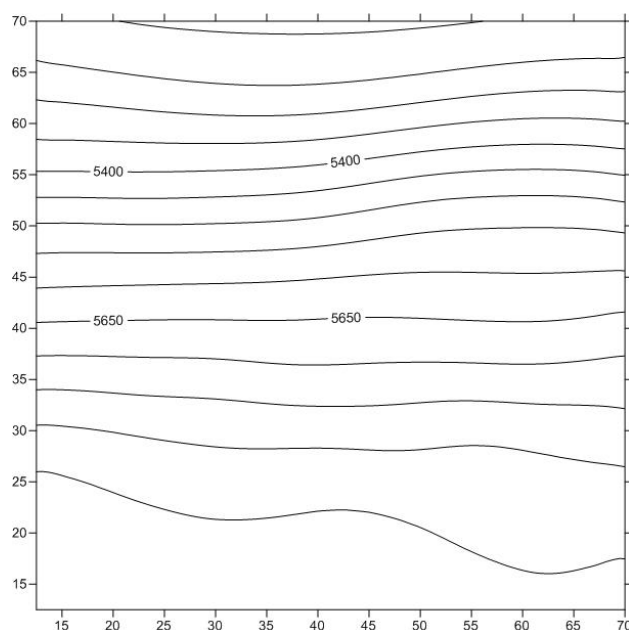
شکل ۶ ب. الگوی دوم ناوه

شکل ۶ الف. الگوی اول ناوه

گرفته و تکرار آن افزایش یافته است، نمودار میانگین نیز محل محور ناوه را در حال حرکت به سمت غرب و نصف‌النهار ۳۰ درجه نشان داده است.

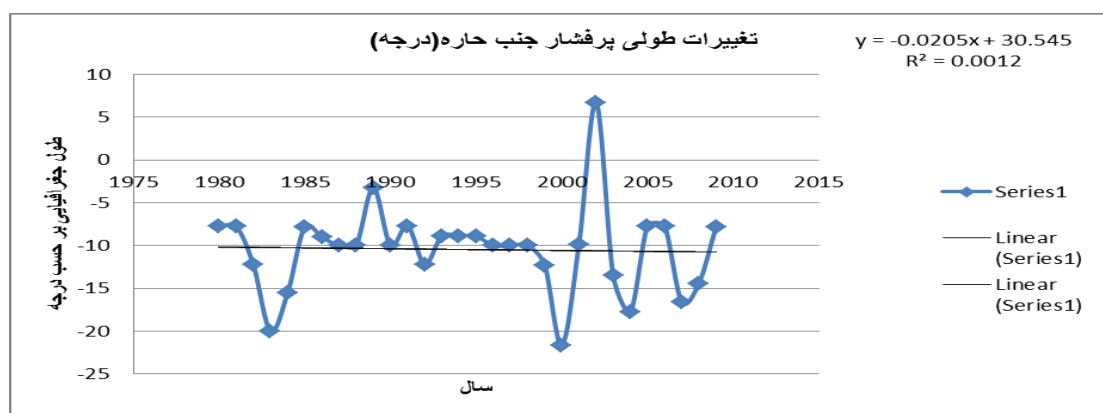
الگوی سوم: (شکل ۶ ج) سیستم مانع یادشده در منطقه نبوده است و بادهای غربی بیشتر به‌حالت وزش مداری نزدیک بوده‌اند و ناوه کم‌عمق ضعیف روی نصف‌النهار ۴۰ تا ۶۰ درجه شرقی و ۱۵ تا ۲۵ شمالی قرار داشته است و موج‌های ضعیفی در عرض‌های ۱۵ تا ۲۵ درجه شمالی تشکیل شده است؛ اما وضعیت حاکم منطقه بیشتر منطبق با وزش مداری بوده است. تغییرات زمانی این الگو روند مشخصی نداشته و در دهه اول ۱ بار (سال ۱۹۸۰)، دهه دوم ۲ بار (سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۹۲) و دهه سوم ۱ بار (سال ۲۰۰۹) اتفاق افتاده است و در وضعیت نمودار میانگین، تأثیر زیادی نداشته است.

الگوی دوم: (شکل ۶ ب) مرکز پرفشار مانع در نصف‌النهار ۴۵ تا ۶۵ درجه تشکیل شده است و بادهای غربی در این محل دو شاخه شده‌اند. نقاط افت در نمودارهای تغییرات، نشان از رویداد این الگو محور تراف در غرب منطقه قرار گرفته است و شرایط وزش چرخندگی مثبت و صعود هوا و ایجاد ناپایداری را ایجاد کرده است. نیمه جنوبی به وزش مداری نزدیک است و محور فرود روی نصف‌النهار ۲۰ تا ۳۵ درجه شرقی قرار گرفته است. تغییرات زمانی این الگو دارای روند افزایشی بوده است و در دهه اول ۵ سال (۱۹۸۱-۱۹۸۲-۱۹۸۴-۱۹۸۵-۱۹۸۸)، در دهه دوم ۶ سال (۱۹۹۱-۱۹۹۳-۱۹۹۴-۱۹۹۵-۱۹۹۷-۱۹۹۸) و در دهه سوم ۸ سال (۲۰۰۰-۲۰۰۱-۲۰۰۲-۲۰۰۳-۲۰۰۵-۲۰۰۶-۲۰۰۷-۲۰۰۸) اتفاق افتاده است و چون محور ناوه در این الگو روی نصف‌النهار ۲۵ تا ۳۲ درجه قرار



شکل ۶ ج. الگوی سوم ناوه

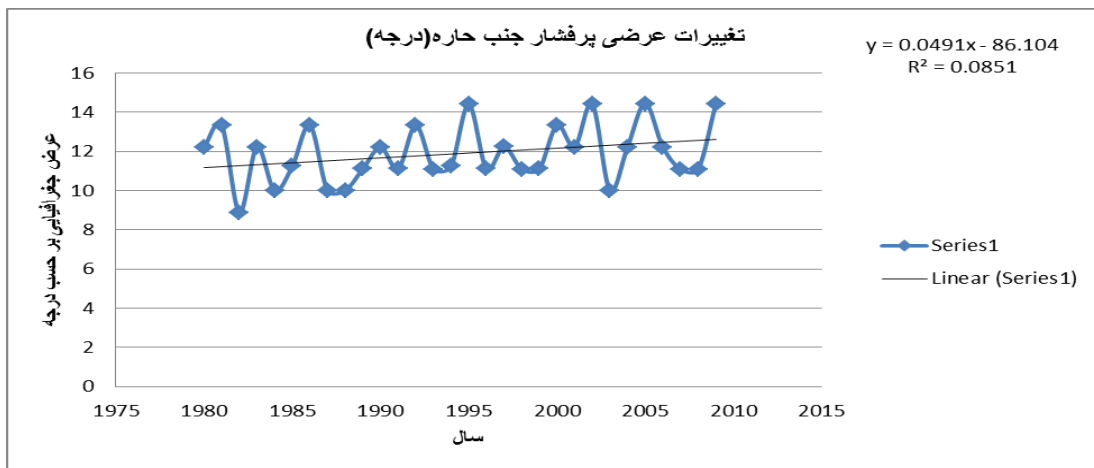
پس از بررسی پرفشار جنب حاره آזור، مشخص شد که نقطه مرکزی آن از نظر مکانی ۱ درجه به سمت غرب (شکل ۷) و ۲ درجه به سمت شمال (شکل ۸) و ۱۴ متر (شکل ۹) افزایش ارتفاع داشته است.



شکل ۷. تغییرات طولی پرفشار جنب حاره

در سه دهه دوازدهم مطالعه تغییراتی را از خود نشان داده است، به طوری که در دهه اول بین ۲۰ درجه غربی تا ۳ درجه غربی، (که معادل ۱۷ درجه است) نوسان داشته است؛ اما در دهه دوم این مقدار افزایش یافته و در دهه سوم این افزایش شدیدتر شده است و مرکز پرفشار بین ۱۸ درجه غربی تا ۷ درجه شرقی در نوسان بوده است.

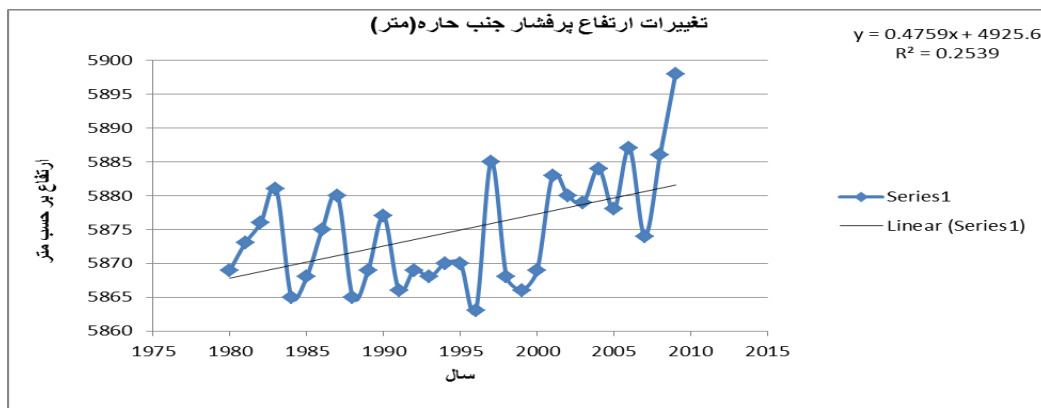
این نمودار (شکل ۷)، تغییرات طولی مرکز پرفشار جنب حاره را نشان می‌دهد که در بیشتر سال‌ها در ۵ تا ۱۰ درجه غربی بوده است. در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۲ توانسته تا قسمت‌های غربی‌تر و حوالی ۵ درجه شرقی ظاهر شود و در سال‌های ۱۹۸۳ - ۲۰۰۰ - ۲۰۰۳ - ۲۰۰۷ بیشتر به سمت ۲۰ درجه غربی متمایل بوده است. این مرکز



شکل ۸. تغییرات عرضی پرفشار جنب حاره

بسیار منظم بوده است و تغییرات بسیار شدیدی نداشته و نوسان آن در مقیاس ۱۰ ساله منظم بوده است. در دهه اول بین ۹ تا ۱۳ درجه شمالی و در دهه سوم بین ۱۱ تا ۱۵ درجه شمالی قرار داشته است و تقریباً در ۴ درجه عرض جغرافیایی حرکت کرده است.

مقدار تغییرات مداری مرکز پرفشار جنب حاره، حرکت این مرکز به سمت عرض‌های بالاتر را نشان می‌دهد (شکل ۸) که نوسان آن بین عرض ۸ تا ۱۴ درجه شمالی بوده است. این مرکز گرچه به‌طور میانگین به سمت عرض‌های شمالی‌تر حرکت کرده، اما



شکل ۹. تغییرات ارتفاعی مرکز پرفشار جنب حاره

مطالعه رسیده است. حداکثر ارتفاع نیز از ۵۸۸۰ متر در دهه اول به ۵۸۹۷ متر در دهه سوم افزایش یافته است. در دهه سوم حداقل ارتفاع این مرکز اختلاف ناچیزی با حداکثر آن در دهه اول دارد که مقدار تغییرات را واضح‌تر نشان می‌دهد.

تغییرات در ارتفاع پرفشار جنب حاره رو به افزایش بوده است (شکل ۹). مقدار این تغییر به‌طور تقریبی معادل ۱۴ متر محاسبه شده است. نمودار نشان می‌دهد که در دهه اول نسبت به دهه سوم، تغییرات زیادی رخ داده است. حداقل ارتفاع از ۵۸۶۵ متر در دهه اول به ۵۸۷۵ متر در سال‌های آخر

منطقه مدیترانه، روی نصف‌النهار ۲۷ تا ۳۳ درجه شرقی قرار داشته است. این محور در دهه اول در محدوده ۲۰ تا ۶۰ درجه شرقی، در دهه دوم در محدوده ۲۲ تا ۵۴ درجه شرقی و در دهه سوم ۲۲ تا ۴۷ درجه شرقی بوده است. میانگین جابه‌جایی ۳۰ سال گذشته محور فرود، معادل ۹ درجه، از نصف‌النهار ۳۸ درجه شرقی به ۲۷ درجه شرقی بوده است. در بررسی الگوهای متفاوت تراف مدیترانه در دوره مطالعه‌شده، مشخص شد که سه الگو می‌تواند وضعیت تراف مدیترانه را به شکل بسیار روشنی نشان دهد؛ در الگوی اول یک پرفشار مانع در ۱۲/۵ تا ۲۵ درجه شرقی ظاهر شده و ناوه را به قسمت‌های شرقی‌تر کشانده است. الگوی دوم که مرکز پرفشار در جلوی ناوه در ۴۵ تا ۶۰ درجه شرقی ظاهر شده و ناوه را عقب نگه داشته است. در الگوی سوم ناوه بیشتر در حالت شاخص مداری بوده است. تکرار الگوی اول، سیر نزولی و الگوی دوم، سیر صعودی و الگوی سوم، روند مشخصی نداشته است. پس از بررسی و علت‌یابی تغییرات در تراف مدیترانه، مشخص شد که تغییرات در فرود مدیترانه، به دلیل تغییرات طولی، عرضی و ارتفاعی در پرفشار جنب حاره آזור است؛ اما مطالعات دقیقی در بررسی و اثبات مطمئن‌تر رابطه بین تراف مدیترانه و پرفشار جنب حاره پیشنهاد می‌شود.

درباره جایگاه نتایج این پژوهش در مطالعات اقلیم‌شناسی می‌توان گفت: نتایج این مطالعه با کار پژوهشی سوکارنی میترو (۲۰۱۰) و حسانتان (۲۰۰۴) روی پرفشار جنب حاره، همسو است و وجود تغییرات در پرفشار جنب حاره را تأیید می‌کند. درباره تغییرات اقلیمی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال، نتایج این

بر اساس این مطالعات، به نظر می‌رسد رفتارهای مرکز پرفشار جنب حاره در شکل‌گیری تغییرات در تراف مدیترانه مؤثر بوده است. در بیان موقعیت نسبی پرفشار جنب حاره نسبت به بادهای غربی، این مرکز با قراردادن زیر بادهای غربی و شکل‌دهی یک مانع جوی قوی، نقش مؤثری در شکل‌گیری فرود مدیترانه دارد. با حرکت پرفشار آזור به سمت غرب، فرود مدیترانه نیز به سمت غرب حرکت کرده است و این دو در ارتباط با یکدیگر عمل می‌کنند. بنابراین با توجه به استدلال‌های مطرح‌شده، گمان می‌شود که تغییرات دمای سطح آب اقیانوس اطلس، تغییراتی را در پرفشار جنب حاره رقم زده است و در نهایت تغییرات به فرود مدیترانه رسیده است.

تغییرات محور ناوه در عرض‌های شمالی‌تر، ناشی از ظاهر شدن مرکز پرفشار مانع یادشده در الگوی اول و دوم، در عرض‌های ۴۰ درجه شمالی به بالا بوده و این عرض‌ها را تحت تأثیر بیشتری قرار داده است. درباره کاهش تعداد قرارگیری چرخندگی منفی بادهای غربی در منطقه (عوض شدن جای فرود و فراز و قرارگیری با فراز روی مدیترانه) در دهه اول تا سوم، می‌توان حرکت محور فرود به سمت غرب را در این رخداد مؤثر دانست. حرکت پرفشار جنب حاره به سمت غرب که در پی آن فراز بادهای غربی نیز جابه‌جا شده است، دفعات کمتری توانسته به قسمت‌های شرقی‌تر پیشروی کند و جای فرود در منطقه مطالعه‌شده را بگیرد.

نتیجه‌گیری

در مطالعات انجام‌شده بر تراف مدیترانه، مشخص شد که در بیشتر سال‌ها محور فرود شکل‌گرفته در

- Pyrenees. *International Journal of Climatology* 25: 319–329.
- Harman, H.H., *Modern Factor Analysis*, 3rd Edn., Chicago: University of Chicago Press, 1976.
- Hasanean H. M. 2004. variability of the north atlantic subtropical high and associations with tropical sea-surface temperature. *International journal of climatology Int. J. Climatol.* 24: 945–957.
- Huth, R, (2000), A Circulation Classification Scheme Applicable in GCM Studies, Theoretical and Applied Climatology, No.67, pp 1-18.
- Huth, R., 1996, An Intecomparison of computer Assisted circulation classification Methods, *Inter. Journal of Climatology*, Vol, 16, PP. 893-922.
- Kidson JW. 1994a. An automated procedure for the identification of synoptic types applied to the New zealand region. *International Journal of Climatology* 14: 711–721.
- Lund, I. A, 1963, Map-Pattern classification by statistical methods"; *Journal applied meteorology*; Vol. 2, PP. 56-65.
- Mitro S .2010. The influence of the subtropical high pressure systems on rainfall and temperature distribution in Suriname and implications for rice production in the Nickerie District. The University of the West Indies
- Richman M.B., 1981, obliquely rotated principal components: An improved meteorological map typing technique? *Journal of Appl. Meteo.* Vol. 20, 1145-1159.
- Richman, MB. (1986). Rotation of principal components. *J climatol*, 6. pp 293-335.
- Romero, R., G. Sumner, C. Ramis & A. Genoves, "A Classification of the Atmospheric Circulation Pattern Producing Significant Daily Rain Fall in the Spanish Mediterranean Area", *International Journal of Climatology*. *Int. J. Climatol*, No. 19, Pp. 765-785, 1999.
- مطالعه با پژوهش‌های دیگر مانند سیدل و همکاران (۲۰۰۱)، روی تغییرات ارتفاع تروپوپوز و سانتر و همکاران (۲۰۰۳) و بررسی علل طوفان‌های شدید آمریکا به‌وسیله فرانسیس (۲۰۱۳) و نیز مطالعه بر تغییرات جت استریم توسط ارچر و کن (۲۰۰۷)، همسو است و وجود تغییرات اقلیمی در سطوح بالای جو را تأیید می‌کند. همچنین مطالعه روی تغییرات فرود مدیترانه، کار پژوهشی علیجانی (۲۰۰۲) به نتایج متفاوتی رسیده است که با بررسی‌های بیشتر مشخص شد به دلیل استفاده از میانگین ماهانه در پژوهش وی، تغییرات حاصل نتوانسته به‌طور واضحی خود را نشان دهد.
- ### منابع
- رضیئی، طیب و همکاران، ۱۳۸۸. مراکز فعالیت و الگوهای گردش جو زمستانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روی خاورمیانه و ارتباط آنها با بارش ایران، *مجله فیزیک زمین و فضا*، دوره ۳۵، شماره ۱، ۱۳۸۸، صفحه ۱۲۱-۱۴۱.
- علیجانی، بهلول، ۱۳۷۸. نوسانات مکانی و زمانی ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در مدیترانه و اثر آن بر اقلیم ایران در ماه فوریه، دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی کشور، ۱۳ و ۱۴ آبان.
- علیجانی، بهلول، ۱۳۸۸. *اقلیم‌شناسی سینوپتیک*، چاپ سوم، انتشارات سمت، تهران.
- Aljani, B., 2002, Variation of 500hpa flow patterns over Iran and surrounding areas and their relationship with climate of Iran. *Theor. Appl. Climatol.* 71, 41-4.
- Esteban P, Jones PD, Mart´in-Vide J, Mases M. 2005. Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andorra,

- Sonoran Desert region, USA. *International Journal of Climatology* 17: 859–873.
- Xoplaki I, E., J. Luterbacher, R. Burkard, I. Patrikas & P. Maheras, "Connection between the Large-scale 500 hPa Geopotential Height Fields and Precipitation over Greece during Wintertime", *Clim Res* No. 14, Pp.129-146, 2000.
- Yao CS. 1998. A loading correlation model for climatic classification in terms of synoptic climatology. *Theoretical and Applied Climatology* 61: 113–120.
- Yarnal B, Comrie AC, Frakes B, Brown DP. 2001. Developments and prospects in synoptic climatology. Review. *International Journal of Climatology* 21: 1923–1950.
- Yarnal B, Draves JD. 1993. A synoptic climatology of stream flow and acidity. *Climate Research* 2: 193–202.
- Yarnal B, Frakes B. 1997. Using synoptic climatology to define representative discharge events. *International Journal of Climatology* 17: 323–341.
- Yarnal B, Lakhtakia MN, Yu Z, White RA, Pollard D, Miller DA, Lapenta WM. 2000. A Linked meteorological and hydrological model system: The Susquehanna River Basin Experiment (SRBEX). *Global and Planetary Change* 25: 149–161.
- Yarnal B. 1993. *Synoptic Climatology in Environmental Analysis*. Belhaven Press: London.
- Yarnal, B. 1991. 'The climatology of acid rain'. In S.K. Majumdar, E.W. Miller and J. Cahir (eds.), *Air Pollution: Environmental Issues and Health Effects*, Pennsylvania Academy of Science, 155-169.
- Yarnal, B. 1993. 'Synoptic climatology in environmental analysis'. Belhaven Press, London and Florida.
- Yarnal, B. et al., "Developments and Prospects in Synoptic Climatology", *International Journal of Climatology*, Int. J. Climatol, No. 21, Pp. 1923- 1950, 2001.
- Sumner G, Guijarro JA, Ramis C. 1995. The impact of surface circulation on significant daily rainfall patterns over Mallorca. *International Journal of Climatology* 15: 673–696.
- Sumner G. 1996. Daily precipitation patterns over Wales: towards a detailed precipitation climatology. *Transactions—Institute of British Geographers* 21: 157–176.
- Trigo, R.M., and DaCamara, C.C, 2000, Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal, *Int. J. Climatol.* 20: 1559–1581.
- VanRegenmortel G. 1995. Regionalization of Botswana rainfall during the 1980s using principal components analysis. *International Journal of Climatology* 15: 313–323.
- Walsh K, McGregor J. 1997. An assessment of simulations of climate variability over Australia with a limited area model. *International Journal of Climatology* 17: 201–223.
- Weber RO. 1998. Climatology of regional flow patterns around Basel. *Theoretical and Applied Climatology* 59: 13–27. Copyright © 2001 Royal Meteorological Society *Int. J. Climatol.* 21: 1923–1950 (2001) 1950 B. YARNAL ET AL.
- White WB, Cherry NJ. 1999. Influence of the antarctic circumpolar wave upon New Zealand temperature and precipitation during autumn-winter. *Journal of Climate* 12: 960–976.
- Wibig, J., "Precipitation in Europe Relation to Circulation Pattern at the 500hp level". *Int. J. Climatol, No. 19*, Pp. 253-269, 1998.
- Wilks DS. 1999. Multisite downscaling of daily precipitation with a stochastic weather generator. *Climate Research* 11: 125–136.
- Winkler JA, Palutikof JP, Andresen JA, Goodess C. 1997. The simulation of daily temperature time series from GCM output. Part II: Sensitivity analysis of an empirical transfer function methodology. *Journal of Climate* 10: 2514–2532.
- Woodhouse CA. 1997. Winter climate and atmospheric circulation patterns in the

- Zelenka MP. 1997. An analysis of the meteorological parameters affecting ambient concentrations of acid aerosols in Uniontown, Pennsylvania. *Atmospheric Environment* 31: 869–878.
- Zhang, Ch., Zhang, Q., Wang, Y., 2008. Climatology of Hail in China: 1961–2005. *J. Appl. Meteorol. climatol.* 47, 795–804.
- Yarnal, b. 1993. synoptic climatology in environmental analysis, Belhaven press, London, 195 pp.
- Yu Z, Lakhtakia MN, Yarnal B, White RA, Miller DA, Frakes B, Barron EJ, Duffy C, Schwartz FW. 1999. Simulating the river-basin response to atmospheric forcing by linking a mesoscale meteorological model and a hydrologic model system. *Journal of Hydrology* 218: 72–91.