

شناسایی الگوهای باران زای غرب ایران

مختار کرمی^۱، مهدی اسدی^{۲*}، حسن حاجی محمدی^۳

^۱استادیار اقلیم‌شناسی دانشگاه حکیم سبزواری

^۲دکتری آب و هواشناسی کشاورزی دانشگاه حکیم سبزواری

^۳کارشناسی ارشد آب و هواشناسی سینوپتیک دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۵

چکیده

به منظور بررسی الگوی روزهای بارشی غرب ایران از آمار روزانه بارش ۱۷ ایستگاه سینوپتیک طی دوره آماری ۱۹۹۲-۲۰۱۲ واقع در استان‌های همدان، کردستان و کرمانشاه استفاده شد. در ادامه مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای دوره‌ها استخراج و عوامل و الگوهای هوا در زمان رخداد بارش فراگیر با اعمال روش‌های تحلیل عاملی و خوشه‌ای در منطقه شناسایی شدند. سپس برای بررسی دقیق‌تر شرایط جوی داده‌های مربوط به فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، سرعت قائم، نم ویژه، مؤلفه مداری و نصف‌النهاری باد از تارنمای مرکز ملی مطالعات و پیش‌بینی محیطی / علوم جو (NCEP/NCAR) اخذ و اقدام به ترسیم نقشه‌های سطوح مختلف جوی شد. خروجی حاصل از انجام تحلیل عاملی بر روی داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان داد یازده عامل در بارش‌های روزانه منطقه دخالت دارند که در مجموع این یازده عامل ۹۱ درصد (عامل اول ۶۰ درصد) از واریانس کل داده‌ها را تبیین می‌نمایند. نتایج نشانگر این بودند که یک الگوی غالب در تراز میانی جو تشکیل شده و ناه عمیق بر روی دریای سیاه و مدیترانه استقرار می‌یابد که تشکیل این سامانه باعث شده تا شمال دریای سرخ نیز هسته چرخندزایی آن کشیده شود و بارش‌های سنگین و فراگیری را برای منطقه به ارمغان بیاورد. از منابع تامین کننده رطوبت در بارش‌های منطقه می‌توان به دریای مدیترانه و خلیج فارس اشاره کرد که بصورت ترکیبی و مستقل عمل می‌کنند. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین عامل تاثیرگذار در بارش‌های منطقه نفوذ کم فشار سودانی به مناطق غربی خاورمیانه است.

واژه‌های کلیدی: بارش، همدید، غرب ایران، GrADS.

مقدمه

آنها تحقیقات زیادی صورت گرفته است (اسمیتسون^۳، ۱۹۸۶؛ یارنال و همکاران^۴، ۲۰۰۱؛ شریدان و لی^۵، ۲۰۱۰). بی‌منظمی موجود در عوامل ایجاد بارش است که به توزیع مکانی و زمانی منتقل شده است. عوامل ایجاد بارندگی شامل عامل صعود و هوای مرطوب است که هر دو توسط گردش عمومی جو فراهم می‌شود. الگوهای فشار مانند سیکلون‌های برون حاره، موج‌های کوتاه، و یا هسته‌های رودباد مهم‌ترین عوامل صعود هستند. در عین حال رطوبت لازم را هم تأمین می‌کنند. محل و گستره این مراکز فعالیت، نقش بسیار مهمی را در کنترل آب‌وهوای مناطق پیرامون آنها

فرایندها و عوامل دخیل در پدیده بارش از دیرباز مورد توجه محققین بوده و از جنبه‌های مختلف مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است. یکی از جنبه‌ها این بوده که بارش‌های رخ داده در یک منطقه رطوبت مورد نیاز خود را از کجا و یا چگونه تأمین می‌کنند (کریمی و فرج‌زاده، ۱۳۹۰: ۱۱۰). با توجه به اینکه ایران در منطقه گذار جنب حاره و عرض میانه قرار گرفته، ویژگی اصلی بارش‌های آن تغییرپذیری آنهاست. در واقع تغییرات بارش تحت تأثیر الگوهای محلی، منطقه‌ای و بزرگ‌مقیاس گردش جوی است (کیدسون^۲، ۲۰۰۸: ۳۰۰) که برای درک ارتباط بین

3. Smithson
4. Yarnal et al
5. Sheridan and Lee

*نویسنده مسئول: asadimehdi11@yahoo.com
2. Kidson

دارند (سانتوس و همکاران^۱، ۲۰۰۵: ۳۵؛ والاس و گوتزler^۲، ۱۹۸۱: ۷۸۷). بنابراین شناسایی الگوهای فشار می‌تواند هم عامل صعود و هم منبع و مسیر تأمین رطوبت را مشخص کند. تاکنون درزمینه رابطه سیستم‌های فشار و بارندگی ایران و جهان مطالعاتی چند انجام پذیرفته است که عبارت‌اند از: علیجانی (۱۳۷۲) ضمن بررسی مکانیسم‌های صعود بارندگی‌های ایران، مشخص می‌کند که اغتشاشات غربی در تمام سال به‌استثنای تابستان عامل غالب بوده‌اند. نجارسلیقه (۱۳۸۰) به بررسی الگوهای سینوپتیکی بارش‌های تابستانه جنوب شرق ایران پرداخت و به این نتیجه رسید که وقوع بارش‌های موسمی در منطقه نیازمند تمرکز کم‌ارتفاع در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و واگرایی در سطح ۲۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد. مرادی (۱۳۸۵) به پیش‌بینی وقوع سیلاب‌ها براساس موقعیت‌های سینوپتیکی در ساحل جنوبی دریای خزر پرداخت. نتایج نشان داد که رخداد بارش شدید در شمال کشور در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با حاکمیت پشته بر روی دریای سیاه و مدیترانه همراه است. باعقیده و همکاران (۱۳۹۱) به تحلیل همدیدی بارش‌های حوضه‌های اترک و گرگان رود پرداختند. نتایج نشان از تقابل یک پرفشار در غرب و یک کم‌فشار در مرزهای شرقی ایران دارند. حلبیان (۱۳۹۴) به شناسایی الگوهای گردشی بارش‌های شدید موجد سیل در منطقه فارس پرداخت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در روزهای اوج بارش بر روی منطقه فارس استقرار سامانه کم فشار دینامیکی سازوکار اصلی رخداد بارش را رقم می‌زند. در خارج از کشور نیز دیویس و کالکستاین^۳ (۱۹۹۰) با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای، روزهای سال ۱۹۸۴ را به دوره‌های اقلیمی مشابه تقسیم‌بندی کرده‌اند. درواقع آن‌ها با استفاده از طبقه‌بندی توده‌های هوا، دوره‌های اقلیمی یا فصول اقلیمی را

مشخص کرده‌اند که تعدادی از محققان نتایج حاصل از این گونه پژوهش‌ها را تیپ سینوپتیکی می‌گویند (علیجانی، ۱۳۸۱: ۱۶). لیتمن^۴ (۲۰۰۰) به بررسی تیپ هوایی در حوضه مدیترانه پرداخت و ارتباط آن با بارش‌های منطقه را مورد ارزیابی قرار داد. از نتایج چالب توجه این پژوهش شناسایی ۲۰ تیپ هوایی مختلف در منطقه مورد مطالعه بود. توموزیو و همکاران^۵ (۲۰۰۵) ارتباط الگوهای گردشی جو بزرگ مقیاس را با تغییرپذیری مکانی بارش زمستانی در رومانی بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در فاز مثبت نوسانات اطللس شمالی بارش‌های منطقه کاهش می‌یابد. میشل دو و همکاران^۶ (۲۰۰۹) تیپ هوای آتن را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که منطقه مورد مطالعه از ۶ تیپ هوایی مجزا تشکیل شده است. بتولی و همکاران^۷ (۲۰۱۰) تیپ‌های هوای جنوب آمریکای جنوبی را شناسایی نمودند. ایشان به این نتیجه رسیدند که بارش‌های منطقه بیشتر بخاطر جریان‌های غربی ضعیف شده در روی پاتاگونیا در سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال اتفاق می‌افتد. کوهن و همکاران^۸ (۲۰۱۳) تیپ‌های هوای سینوپتیکی را برای منطقه دریاچه راس قطب جنوب مورد بررسی قرار دادند و ضمن شناسایی ۶ نوع تیپ هوایی دریافتند که سیستم‌های رطوبتی کم‌فشار در اطراف قطب جنوب در حال گردش می‌باشند. لئو و همکاران^۹ (۲۰۱۶) به بررسی موقعیت سینوپتیکی بارش‌های سنگین در ساعات‌های مختلف در کشور چین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مناطق ساحلی جنوب و شمال دارای بارش‌های سنگین بسیار شدید می‌باشند. بدین جهت در این پژوهش الگوهای فشار سطح زمین و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روزهای بارشی غرب ایران بررسی شده و بر اساس روش تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای الگوهای هوایی مؤثر شناسایی گردیدند.

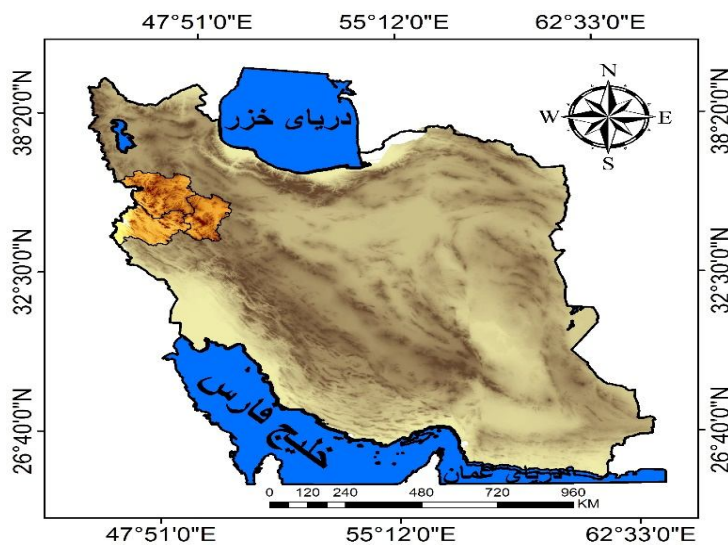
4. Littmann
5. Tomozeio et al
6. Michailidou et al
7. Bettolli et al
8. COHEN et al
9. LUO et al

1. Santos et al
2. Wallace & Gutzler
3. Kalkstein

محدوده و قلمرو پژوهش

منطقه مورد مطالعه شامل استان‌های کرمانشاه، کردستان و همدان است که در بین عرض‌های جغرافیایی ۳۲ و ۵ دقیقه تا ۳۶ درجه ۲۸ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴ دقیقه شرقی واقع شده است (کیانیان و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۷۸). بر اساس پهنه‌بندی آب و

هوایی ایران در سیستم کوپن، بخش اعظم زاگرس در شمال کردستان، همدان و کرمانشاه دارای آب و هوایی مدیترانه‌ای است و در نواحی مرتفع زاگرس نیز، آب و هوایی سرد و خشک مشاهده می‌شود. بخش‌های دیگر منطقه از جمله بخش‌های جنوب غربی کرمانشاه دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک است.



شکل ۱: موقعیت نسبی منطقه مورد مطالعه

بحث اصلی

به منظور بررسی الگوی روزهای بارشی غرب ایران از آمار روزانه بارش ۱۷ ایستگاه سینوپتیک طی دوره آماری ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۲ واقع در استان‌های همدان، کردستان و کرمانشاه استفاده شد. در ادامه برای استخراج روزهای بارشی و الگوهای سینوپتیک، روزی به‌عنوان بارش فراگیر انتخاب شد که مقدار بارندگی ۱ و بیش از یک میلی‌متر در بیش از ۷۰ درصد ایستگاه‌ها گزارش شده باشد. با توجه به کثرت این روزها و عدم امکان بررسی شرایط ناپایداری هوا و الگوهای سینوپتیکی حاکم بر منطقه، تصمیم بر این شد که با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای، الگوهای حاکم بر این پدیده در تراز میانی جو شناسایی شود و پس از آن به بررسی الگوهای جوی غالب در زمان بارش‌های فراگیر منطقه شد. بدین صورت که پس از شناسایی الگوهای غالب

اقدام به بررسی الگوهای غالب بارشی در منطقه شد. به دلیل کثرت روزها و جلوگیری از متوسط‌گیری وضعیت پارامترهای جوی اقدام به تعیین روزهایی با بیشترین همبستگی با هر الگو شد تا بصورت جزئی و دقیق‌تر وضعیت هوا در روزهای نماینده بررسی شود. یعنی اینکه از هر الگو یک روز به‌عنوان نماینده انتخاب و بصورت جزئی‌تر تحلیل و بررسی شد. برای این منظور پایگاه داده‌ای تشکیل شده که سطر آن را روزهای همراه با ریزش باران و ستون‌های آن ایستگاه‌های واقع در منطقه بود. در ادامه مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای محدوده بین ۰ تا ۷۰ درجه عرض شمالی و ۰ تا ۹۰ درجه طول جغرافیایی برای دوره‌ها استخراج و با انتقال به محیط نرم‌افزار MATLAB عوامل و الگوهای هوا در زمان رخداد بارش فراگیر با اعمال روش تحلیل عاملی و خوشه‌ای در منطقه شناسایی شدند. بدین صورت که

یازده عامل در بارش‌های روزانه منطقه دخالت دارند. در این میان عامل اول با ۶۰ درصد و عامل یازدهم با ۱ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار واریانس داده را نسبت به خود اختصاص داده‌اند. در مجموع این یازده عامل ۹۱ درصد از واریانس کل داده‌ها را تبیین می‌نمایند (شکل ۲). پس از انجام تحلیل عاملی بر روی داده ارتفاع ژئوپتانسیل و به دست آمدن عامل‌ها، این ۱۱ عامل خوشه‌بندی به روش ادغام Ward شدند. نتایج حاصل از خوشه‌بندی نشان داد که ۴ الگو در بارش‌های روزانه ایستگاه‌های غربی ایران در طول سال حاکمیت دارند (شکل‌های ۳ و ۴). این چهار الگو از نظر زمانی در دوره‌های خاصی از سال حاکمیت دارند که در شکل ۵ فراوانی ماهانه به درصد به نمایش درآمده است. لازم به توضیح است که بنا به استقرار سیستم‌های فشار به هر یک از الگوها یک نام بر اساس موقعیت قرارگیری آن سامانه اطلاق گردید. در جدول ۱ ویژگی الگوها، فراوانی کل، روزهای نماینده به میلادی قید شده است.

پس از استخراج روزهای بارشی منطقه، مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای هر روز استخراج و بصورت یک پایگاه داده طبقه‌بندی گردید. سپس با انتقال این پایگاه داده به محیط نرم‌افزار متلب، با استفاده از روش ذکر شده، عوامل ایجاد بارش در تراز میانی استخراج گردید. پس از شناسایی عوامل، الگوهای حاکم با استفاده از روش خوشه‌بندی استخراج و در نهایت الگوی غالب در هر الگو شناسایی گردید. در مرحله بعد برای بررسی دقیق‌تر شرایط جوی داده‌های مربوط به فشار تراز دریا (SLP)، ارتفاع ژئوپتانسیل (Hgt)، سرعت قائم (Omega)، نم و ویژه شوم (Shum) مؤلفه مداری (Uwnd) و مؤلفه نصف‌النهاری باد (Vwnd) از تارنمای متعلق به مرکز ملی مطالعات و پیش‌بینی محیطی/ علوم جو (NCEP/NCAR) اخذ و اقدام به ترسیم نقشه‌های سطوح مختلف جوی شد.

یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از انجام تحلیل عاملی بر روی داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان داد

جدول ۱: ویژگی‌های الگوهای باران‌زا غرب ایران

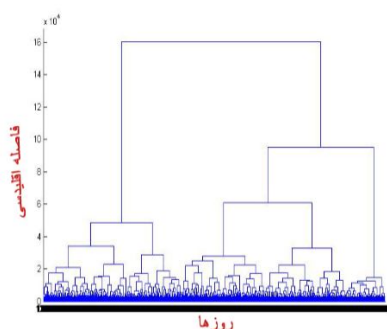
الگوی هوا	روزهای نماینده به میلادی	فراوانی الگوهای هوا در کل دوره	فراوانی الگوهای هوا در کل دوره به درصد	میانگین بارش در ایستگاه‌ها (میلی‌متر)
دریای سرخ	۱۶ دسامبر ۲۰۰۵	۶۳۵	۴۱	۱۳
مدیترانه	۹ آوریل ۲۰۰۰	۳۷۸	۲۵	۴٫۸
خلیج فارس	۱۳ می ۲۰۰۴	۳۷۲	۲۴	۲٫۸
دریای سیاه	۱۸ جولای ۲۰۰۱	۱۴۸	۱۰	۲٫۲۵

می‌باشد. الگوی خلیج فارس ۳۷۲ روز از کل روزهای بارشی را در بر گرفته که ۲۴ درصد از تعداد کل روزهاست. در این الگو میانگین بارش گزارش شده ۲٫۸ در ایستگاه منطقه است. الگوی نهایی با نام دریای سیاه مشخص شده در این الگو ۱۴۸ روز و به عبارتی ۱۰ درصد از کل روزهای بارشی در این الگو قرار گرفته‌اند. میانگین بارش نیز ۲٫۲۵ میلی‌متر در روز می‌باشد.

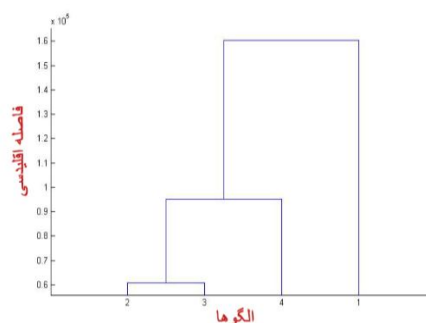
در الگوی دریای سرخ مشاهده می‌شود که تعداد کل روزهای بارانی ۶۳۵ روز در کل دوره بوده که ۴۱ درصد از کل روزهای بارانی را به خود اختصاص داده است. میانگین بارش نیز در این الگو ۱۳ میلی‌متر می‌باشد. لازم به ذکر است که در این الگو تمامی ۱۷ ایستگاه سینوپتیک واقع در منطقه بارش گزارش کرده‌اند. الگوی مدیترانه، نیز ۳۷۸ روز از کل روزهای بارانی که ۲۵ درصد از کل روزها است، به خود اختصاص داده و میانگین بارش ۴٫۸ میلی‌متر در روز



شکل ۲: نمودار درصد عوامل تأثیرگذار در بارش‌های روزانه و فراگیر غرب ایران در تراز میانی جو



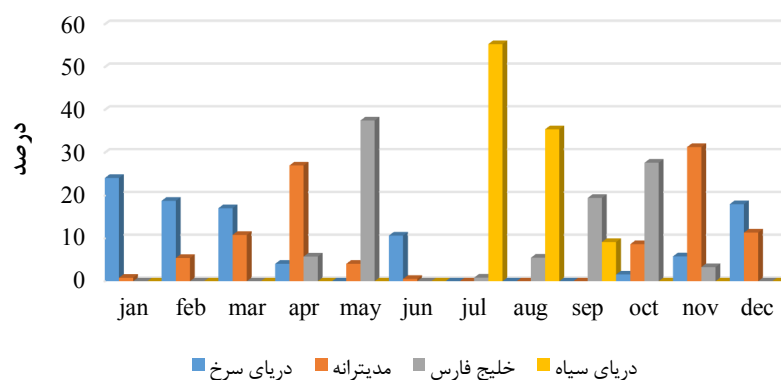
شکل ۴: دارنمای کلی الگوهای گردشی در زمان رخداد بارش روزانه و فراگیر



شکل ۳: دارنمای چهار الگوی گردشی در زمان رخداد بارش روزانه و فراگیر

بررسی‌ها نشان داد ۴ الگوی غالب در رخداد بارش‌های فراگیر منطقه فعالیت دارند. در شکل ۵ مشاهده می‌شود که الگوی دریای سرخ منطبق بر دوره سرد سال است که به‌طور میانگین از نوامبر شروع شده و تا مارس ادامه دارد.

شکل‌های ۳ و ۴ نتایج حاصل از تحلیل عاملی و خوشه‌ای بوده که بر روی داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال صورت پذیرفته است. این داده‌ها منتج از روزهای بارشی هستند که در بخش قبل نحوه استخراج روزهای بارشی به تفصیل بیان شد.



شکل ۵: درصد فراوانی ماهانه الگوهای هوای بارانی در طول سال

بوده و بیشتر بر فصول انتقالی منطبق‌اند. دوره حاکمیت الگوی خلیج فارس بیشتر در اواخر بهار و اوایل پاییز بوده و نماینده بارش‌های سبک و فراگیر در

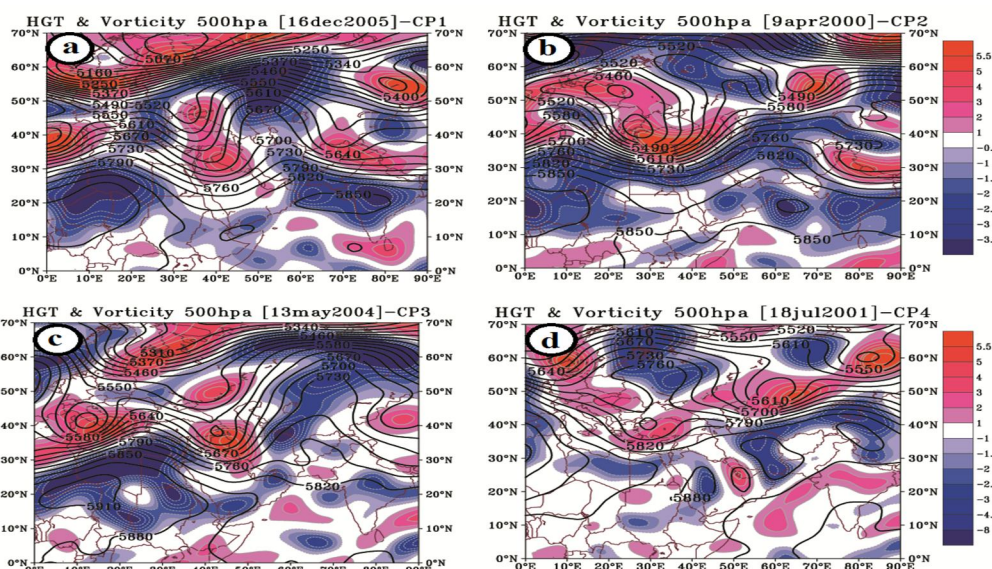
بیشینه مقدار آن منطبق بر فصل زمستان بوده و بیشتر این الگو را در زمان سرد سال می‌توان مشاهده کرد. الگوی مدیترانه مربوط به ماه‌های بهار و پاییز

منطقه است. الگوی دریای سیاه نیز بیشتر در ماه‌های گرم سال مشاهده می‌شوند. بیشینه روزهای بارانی در ماه جولای (بیش از ۵۰ درصد) می‌باشد که در تقویم شمسی منطبق بر تیرماه است.

وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال: الگوی اول (۱۶ دسامبر ۲۰۰۵)

ترکیبی از چرخندزایی بر روی دریای سیاه، سرخ و خلیج فارس است. از عوامل به وجود آمدن این الگو می‌توان به پشته قوی بر روی شمال دریای خزر در تراز میانی که همانند سدی مقابل جریان‌های غربی قرار گرفته و جهت آن‌ها را از حالت مداری خارج و بیشتر به صورت نصف‌النهاری کرده است که با عمیق تر شدن ناوه بر روی دریای سرخ سبب شده تا نفوذ کمفشار سطحی که با عنوان کم فشار سودانی یاد می‌شود، قوت یابد (شکل ۶). تشکیل ناوه عمیق با عمق ۲۰ درجه عرض جغرافیایی در قلب خاورمیانه سبب شده تا رطوبت مورد نیاز بارش‌ها از منابع رطوبتی یادشده به سوی منطقه شارش یابند. با ورود رطوبت به منطقه، بارش‌های فراگیر برای غرب ایران به ارمغان آمده است. پدیده غالب در تراز میانی جو در الگوی دوم (۹ آوریل ۲۰۰۰)، تشکیل سردچال دوقطبی می‌باشد که

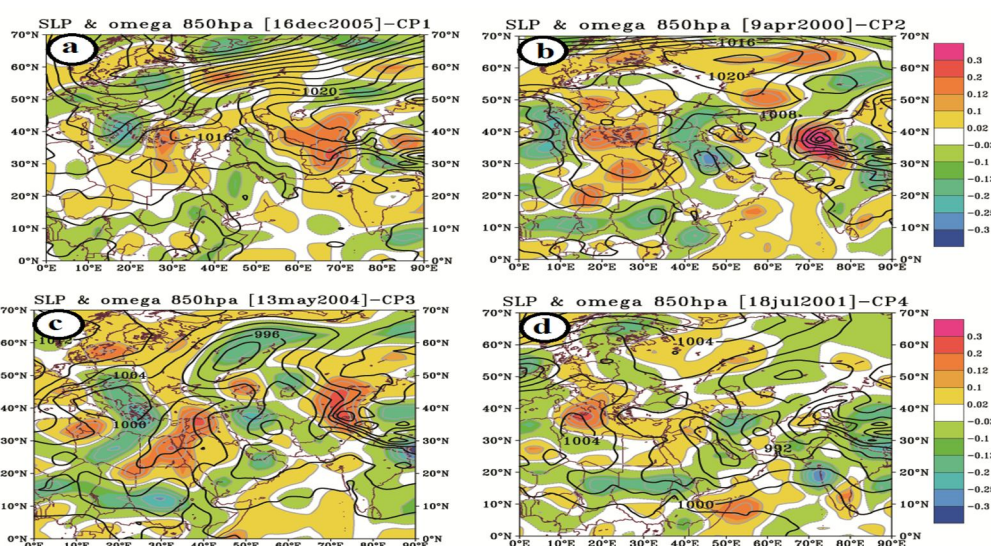
به صورت شمال به جنوب روی غرب دریای سیاه و شرق مدیترانه فعالیت می‌کنند. از طرفی در عمیق تر شدن ناوه حاصل از این سیستم جوی تأثیر مثبتی داشته به طوری که این سامانه سبب شده تا هسته قوی چرخندزایی بر شرق دو منبع رطوبتی مذکور ایجاد گردد که موجبات صعود سریع و در نهایت ریزش‌های جوی در نوار غربی ایران و مناطق تحت تأثیر این سامانه موجب گردد. الگوی سوم (۱۳ می ۲۰۰۴) را می‌توان حاصل از سینوسی بودن امواج غربی و تشکیل بندال غرب روسیه دانست. با نصف‌النهاری شدن جریان‌ها در شرق اروپا و استقرار ناوه بر روی عراق و شرق مدیترانه، و ریزش هوای سرد شمالگان سبب شده تا هسته تاوایی قوی بر روی جنوب غرب ایران بخصوص خلیج فارس تشکیل گردد. این هسته چرخندگی مثبت بسیار قوی بوده به گونه‌ای که نیمه غربی کشور را تحت تأثیر قرار داده است. الگوی چهارم (۱۸ جولای ۲۰۰۱) را می‌توان حاصل استقرار بندال دوقطبی بر روی دریای سیاه و مدیترانه دانست که قسمت فراز آن در شرق اروپا و ناوه آن منطبق بر دریای سیاه بوده که هسته چرخندزایی آن در شرق ناوه قرار دارد (شکل ۶).



شکل ۶: وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در الگوهای گردش. شکل a مربوط به الگوی نخست: روز نماینده ۱۶ دسامبر ۲۰۰۵- شکل b مربوط به الگوی دوم: روز نماینده ۹ آوریل ۲۰۰۰- شکل c مربوط به الگوی سوم: روز نماینده ۱۳ می ۲۰۰۴- شکل d مربوط به الگوی چهارم: روز نماینده ۱۸ جولای ۲۰۰۱.

رسیده‌اند. وضعیت فشار در الگوی دوم بیشتر منشأ محلی داشته تا منطقه‌ای. بدین مضمون که طی تشکیل کم‌فشاری در غرب رشته‌کوه زاگرس و استقرار سلول پرفشاری بر روی این رشته‌کوه سبب شده تا به دلیل اختلاف فشار حاصل‌شده از سامانه‌های مذکور جبهه‌زایی شدیدی به وجود آید. با بررسی مقادیر سرعت قائم نیز مشاهده شد که در منطقه جبهه سرعت بالاسوی جریانات به بیش از 0.2 پاسکال بر ثانیه برسد. در الگوی سوم پربندی از کم‌فشار تشکیل شده در دره گنگ تا ایران مرکزی کشیده شده که در شمال شرق کشور سبب تشکیل سلول کم‌فشاری به وجود آورده است.

– وضعیت فشار تراز دریا و سرعت قائم (امگا):
در سطح زمین وضعیت سیستم‌های همدید نیز به‌گونه‌ای بوده که شرایط برای بارش مهیا شده است. در الگوی اول، پربندی کم‌فشار تشکیل شده در شمال شرق آفریقا و شبه‌جزیره عربستان تا غرب و جنوب غرب کشور کشیده شده است. در مقابل از نواحی شمال شرق ایران زبانه‌هایی از پرفشار حرارتی سیبری وارد منطقه شده که محل برخورد این دونیمه غربی کشور می‌باشد. از بررسی شاخص امگا این‌گونه به نظر می‌رسد که در محل برخورد این دو سیستم جبهه‌زایی رخ داده است. به‌طوری‌که مقادیر سرعت قائم در نیمه غربی کشور به کمتر از 0.1 پاسکال بر ثانیه



شکل ۷: وضعیت فشار تراز دریا و سرعت قائم (امگا) در الگوهای گردشی. شکل a مربوط به الگوی نخست: روز نماینده ۱۶ دسامبر ۲۰۰۵ – شکل b مربوط به الگوی دوم: روز نماینده ۹ آوریل ۲۰۰۰ – شکل c مربوط به الگوی سوم: روز نماینده ۱۳ می ۲۰۰۴ – شکل d مربوط به الگوی چهارم: روز نماینده ۱۸ جولای ۲۰۰۱.

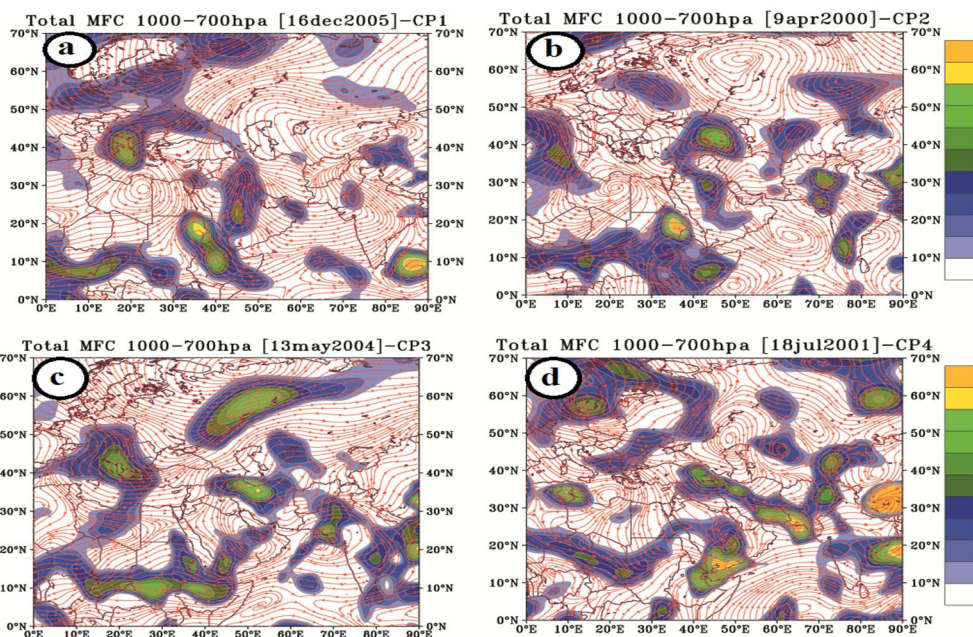
فصل گرم می‌توان اشاره نمود. بدین جهت به دلیل بالا بودن ساعات آفتابی در منطقه و رسیدن حجم عظیمی از انرژی به سطح زمین، کم‌فشار قوی از این وضعیت حاصل شده است. این کم‌فشار با قرارگیری ناوه در غرب خاورمیانه تقویت شده و شرایط را برای صعود بسته‌هوا فراهم کرده است (شکل ۷).

– وضعیت مجموع شار رطوبتی بین لایه‌های ۱۰۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال: به‌منظور شناسایی منابع اصلی تأمین‌کننده‌های بارش‌های غرب ایران اقدام به تهیه

در مقابل، سلول پرفشاری از جنوب دریای سیاه تا شمال شرق آفریقا کشیده شده در داخل آن نزول شدید هوا مشهود است. پربندهایی از این دو سامانه تا سواحل جنوبی دریای خزر کشیده شده و هوای منقلبی را برای منطقه ذکرشده به وجود آورده‌اند. با تشکیل هسته ناپایداری در منطقه خزری مناطق شمال غرب و غرب ایران نیز تحت تأثیر قرار گرفته و موجبات بارش در منطقه فراهم گردیده است. از خصیصه‌های الگوی چهارم به پراکنش زمانی آن در

تأثیر قرار داده است. لازم به توضیح است که هسته رطوبتی تشکیل شده بر روی غرب ایران با عبور از روی خلیج فارس نیز تقویت شده و سبب شده تا مقادیر نم ویژه در منطقه به ۴۰ گرم بر کیلوگرم برسد.

مجموع شار رطوبتی در لایه‌های زیرین جو (۱۰۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال) شد. نتایج نشان داد در الگوی اول با عبور جریان‌ات از روی دریای عرب، سرخ هسته همگرایی رطوبتی در مرکز خاورمیانه تشکیل شده که شرق عراق، غرب ایران و شمال غرب عربستان را تحت

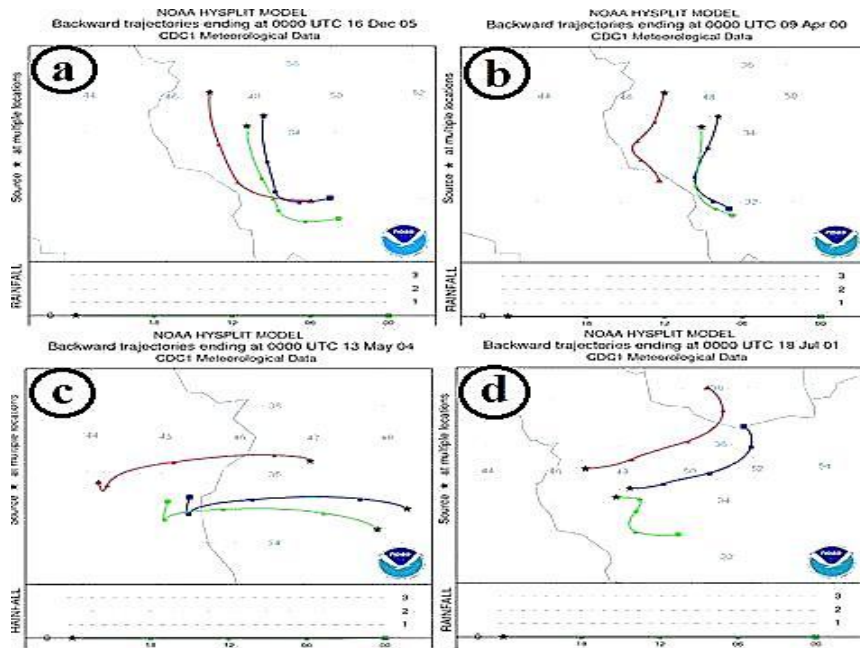


شکل ۸: وضعیت شار رطوبتی بین لایه‌های ۱۰۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال. شکل a مربوط به الگوی نخست: روز نماینده ۱۶ دسامبر ۲۰۰۵ - شکل b مربوط به الگوی دوم: روز نماینده ۹ آوریل ۲۰۰۰ - شکل c مربوط به الگوی سوم: روز نماینده ۱۳ می ۲۰۰۴ - شکل d مربوط به الگوی چهارم: روز نماینده ۱۸ جولای ۲۰۰۱.

جریان‌اتی که از سوی دریای سیاه وارد منطقه شده‌اند در شرق ترکیه و شمال غرب متمرکز شده‌اند. از طرفی رطوبت انتقالی از سوی دریای مدیترانه تا مرکز کشور نفوذ کرده و بیشینه آن در جنوب غرب رشته کوه البرز می‌باشد (شکل ۸).

ریدیایی بارش در هر الگو (روزهای نماینده):
به منظور ریدیایی هسته‌های بارش و جهت انتقال آن‌ها به منطقه مورد مطالعه از مدل HYSPLIT استفاده شد. برای دستیابی به این هدف سه ایستگاه فرودگاه همدان، سنندج و کرمانشاه به عنوان نماینده سه استان انتخاب شدند.

در الگوی دوم دو شاخه اصلی جریان‌ات از روی دریای سرخ و مدیترانه عبور کرده و شاخه فرعی نیز از سوی دریای سیاه وارد منطقه شده است. این وضعیت سبب شده تا هسته همگرایی در غرب دریای خزر تا قلب شبه جزیره عربستان به صورت نواری کشیده شود که دارای دو بیشینه می‌باشند اولی مربوط به غرب خزر و دیگری در شرق عراق متمرکز شده است. در الگوی سوم منبع اصلی انتقال رطوبت شمال دریای سرخ می‌باشد که جریان‌ات عبوری از آن منطقه در شمال غرب ایران همراه شده و مقدار رطوبت ویژه در مرکز آن نزدیک به ۹۰ گرم بر کیلوگرم در روز رسیده است. شارش رطوبت در الگوی چهارم بیشتر مربوط به دریای مدیترانه و وهله دوم دریای سیاه است.



شکل ۹: ردیابی بارش در هر الگو با استفاده از مدل HYSPLIT. شکل a مربوط به الگوی نخست: روز نماینده ۱۶ دسامبر ۲۰۰۵ - شکل b مربوط به الگوی دوم: روز نماینده ۹ آپریل ۲۰۰۰ - شکل c مربوط به الگوی سوم: روز نماینده ۱۳ می ۲۰۰۴ - شکل d مربوط به الگوی چهارم: روز نماینده ۱۸ جولای ۲۰۰۱.

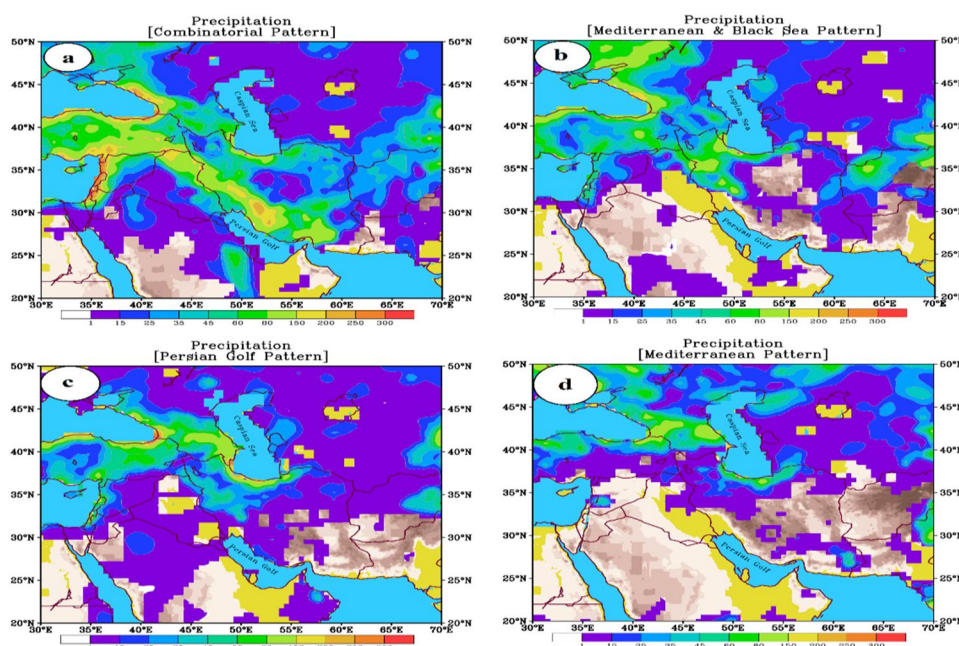
جبهه‌زایی صورت پذیرفته کانون بارش‌ها بوده و پس از آن به سوی منطقه حرکت کرده و غرب کشور را متأثر ساخته است (به شکل ۷ مراجعه شود).

تغییرات مکانی بارش در هر الگو: به منظور دستیابی به یک دید کلی از تمرکز بارش‌ها در زمان حضور سامانه‌های جوی مذکور، بر آن شد کانون‌های بارشی در منطقه به صورت تفکیک شده در هر الگو به نمایش درآیند. در قسمت قبل ردیابی بارش برای روزهای نماینده بود ولی در این بخش به تمرکز بارش در هر الگو، یعنی تعداد روزهای مشاهده شده به صورت مجموع بارش پرداخته خواهد شد. نتایج نشان داد که در الگوی اول بیشینه بارش بر روی جنوب غرب زاگرس قرار داشته که مجموع آن بیش از ۲۰۰ میلی‌متر در کل دوره می‌رسد. هسته دوم این کانون بر روی غرب ایران با مجموع ۱۵۰ میلی‌متر تشکیل شده است. دو هسته بارشی در الگوی دوم در غرب و جنوب غرب ایران مشاهده می‌شود که میانگین بارش در هر دو، بین ۸۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به نقشه تهیه شده مشاهده می‌شود که هسته شمالی واقع در غرب کشور از گستره مکانی بالاتری نسبت به هسته

لازم به توضیح است که رنگ هر یک از منحنی‌ها به یک ایستگاه نماینده مربوط می‌باشد (رنگ آبی ایستگاه فرودگاه همدان، رنگ سبز ایستگاه کرمانشاه و رنگ قرمز ایستگاه سنندج). در الگوی اول هسته اولیه بارش سه ایستگاه نماینده در جنوب غرب کشور بوده که به صورت مورب تا غرب کشور کشیده شده‌اند (شکل ۹). در الگوی دوم تمرکز بارش‌ها در شمال خوزستان می‌باشد که به سمت دو ایستگاه همدان و کرمانشاه کشیده شده ولی هسته اولیه بارش که ایستگاه سنندج را متأثر ساخته در شرق عراق قرار دارد. الگوی سوم نشان می‌دهد که هسته اصلی بارش در بیرون از خاک ایران بوده و از عراق به داخل منطقه منتقل شده است. الگوی چهارم متفاوت‌تر از سه الگوی قبل بوده به گونه‌ای که هسته اصلی بارش‌های همدان و کردستان بر سواحل دریای خزر منطبق بوده در حالی که هسته بارشی کرمانشاه از جنوب استان لرستان شروع و تا منطقه موردنظر کشیده شده است (شکل ۹). از نتایج عمده‌ای که در این بخش دریافت شده این بود که در هر منطقه‌ای که هسته اصلی و اولیه ناپایداری (سرعت قائم (امگا)) قرار داشته و

روی استان لرستان هسته دیگری را ایجاد کرده است. در الگوی چهارم بیشینه بارش در جنوب دریای خزر بوده و شاخه‌ای از آن به سوی منطقه کشیده شده است. این شاخه از سمت شمال شرق وارد منطقه شده و بیشتر دو استان همدان و کردستان را تحت تأثیر قرار داده است (شکل ۱۰).

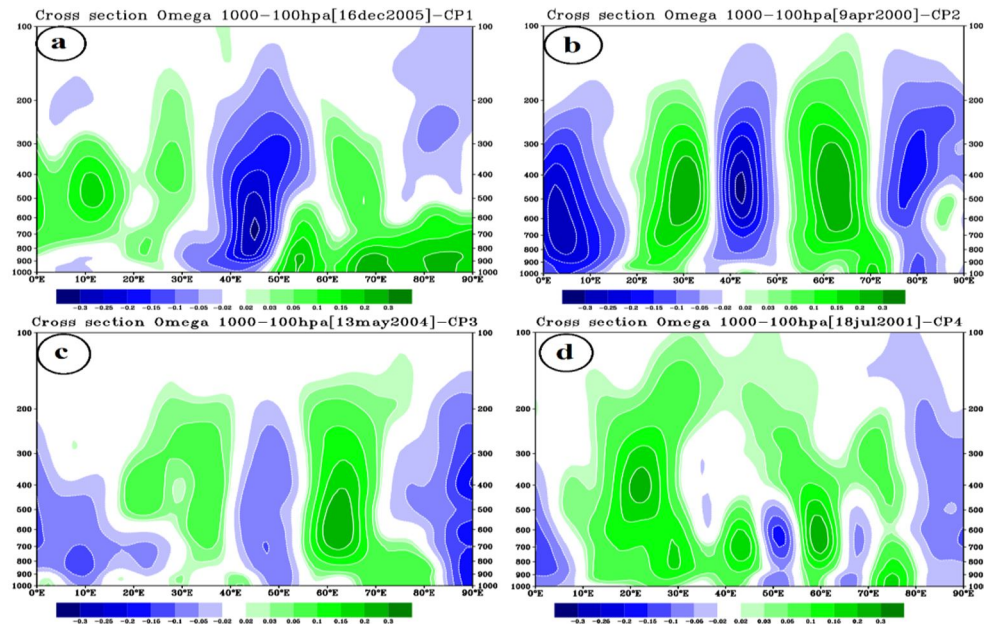
جنوبی برخوردار بوده ولی بارش‌های منطقه بیشتر از هسته جنوبی متأثر است. الگوی سوم تمرکز بارش‌ها را در نواحی غربی ایران و منطبق بر سه استان موردنظر است. اما میانگین بارش در هسته یادشده در منطقه بین ۶۰ تا ۸۰ میلی‌متر بوده و از شمال به جنوب دریاچه ارومیه کشیده شده و در جنوب شرق آن و بر



شکل ۱۰: تغییرات مکانی بارش در هر الگو. شکل a مربوط به الگوی نخست: روز نماینده ۱۶ دسامبر ۲۰۰۵- شکل b مربوط به الگوی دوم: روز نماینده ۹ آپریل ۲۰۰۰- شکل c مربوط به الگوی سوم: روز نماینده ۱۳ می ۲۰۰۴- شکل d مربوط به الگوی چهارم: روز نماینده ۱۸ جولای ۲۰۰۱.

طول‌های ۳۵ تا ۵۰ درجه شرقی جریان بالاسوی قوی حاکم بوده ولی تفاوت عمده‌ای که با الگوی اول دارد در این است که هسته بیشینه جریان بالاسو در الگو اول در لایه‌های زیرین بوده ولی در الگوی دوم بیشینه فعالیت به ترازهای بالاتر از ۵۰۰ هکتوپاسکال انتقال یافته است. لازم به توضیح است که جریان‌های بالاسو در این الگو از تراز ۹۰۰ هکتوپاسکال به بالا شروع شده است. از شرایط غالب در الگوی سوم می‌توان به صعود آرام بسته‌ها اشاره نمود. این فرآیند سبب شده تا در زمان حاکمیت این الگو بارش‌های فراگیر، مداوم و سبک در منطقه نازل شود (میانگین بارش ۲٫۸ میلی‌متر).

- وضعیت سرعت قائم (شاخص امگا) در هر الگو: به‌منظور بررسی جریان‌های بالاسو در هر الگو اقدام به تهیه نمودار هافمولر شد. در این نمودار عرض جغرافیایی ثابت (عرض ۳۴٫۵) و طول و سطوح جوی متغیر در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد در الگوی اول (شکل ۱۱) مابین طول‌های ۳۰ تا ۴۸ درجه شرقی جریان بالاسوی قوی حاکمیت دارد که بیشینه مقدار آن مابین ترازهای ۹۰۰ تا ۴۰۰ هکتوپاسکال با کمتر از ۰٫۲۵ پاسکال بر ثانیه است. این رژیم صعودی نشان می‌دهد که صعود سریع سبب می‌شود تا بارش‌های سنگین و حدی در منطقه رخ دهد (میانگین بارش در این الگو ۱۳ میلی‌متر). در الگوی دوم نیز مابین

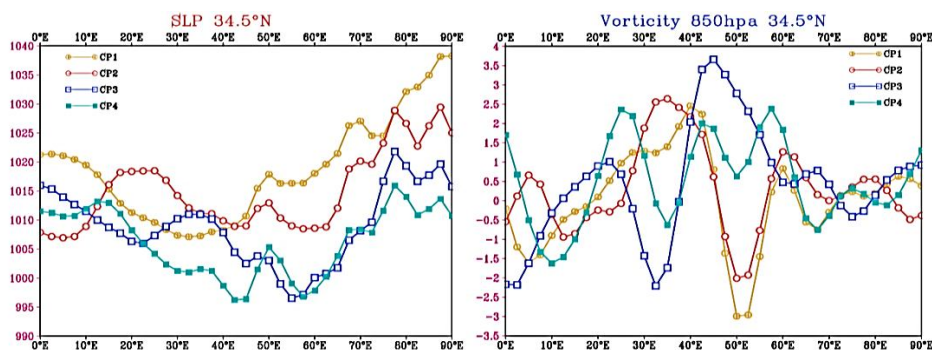


شکل ۱۱: وضعیت سرعت قائم (شاخص امگا) در هر الگو. شکل a مربوط به الگوی نخست: روز نماینده ۱۶ دسامبر ۲۰۰۵ - شکل b مربوط به الگوی دوم: روز نماینده ۹ آوریل ۲۰۰۰ - شکل c مربوط به الگوی سوم: روز نماینده ۱۳ می ۲۰۰۴ - شکل d مربوط به الگوی چهارم: روز نماینده ۱۸ جولای ۲۰۰۱.

الگو مشاهده می‌شود جریان‌ها بالاسو تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال وجود داشته و پس‌از آن جوی آرام بر روی منطقه حاکم شده است.

- وضعیت فشار و تاوایی در عرض ۳۴ درجه شمالی و طول‌های ۰ تا ۹۰ درجه شرقی: در این قسمت سعی شد تا وضعیت تاوایی و فشار تراز دریا برای عرض ۳۴٫۵ درجه شمالی به‌صورت نمودار هافمولر در هر الگو به نمایش درآید. نتایج نشان دادند که وضعیت فشار سطح زمین و چرخندگی لایه‌های زیرین جو ارتباط دارند.

در الگوی چهارم هسته منفی شاخص امگا در محدوده بین طول‌های ۴۸ تا ۵۲ درجه طول شرقی است. از نظر گستره عمودی نیز از سطح زمین تا ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد. از طرفی به دلیل حاکمیت این الگو در دوره گرم سال انتظار می‌رود تا صورت ورود جریان‌ها غربی به منطقه ناپایداری‌های شدید در منطقه رخ دهد. بدین دلیل که بالا بودن بیلان انرژی در فصل گرم سبب شده شرایط در سطح زمین برای تشکیل کم‌فشار حرارتی در منطقه فراهم گردد و با قرارگیری در زیر امواج غربی شرایط برای صعود هر چه سریع‌تر بسته‌ها فراهم شود. همان‌طور که در این



شکل ۱۲: وضعیت فشار و تاوایی در عرض ۳۴٫۵ درجه شمالی و طول‌های ۰ تا ۹۰ درجه شرقی

کشیده شده و بارش‌های سنگین و فراگیری را منطقه به ارمغان بیاورد. در الگوی دوم هسته سردچالی با دو قطب چرخندگی مثبت بر روی دریای سیاه و مدیترانه تشکیل شده که انتقال رطوبت از دو منبع غنی رطوبتی به منطقه را فراهم ساخته است. از منابع رطوبتی اصلی تأمین‌کننده در بارش‌های فراگیر در منطقه نیز می‌توان به دریای مدیترانه، سرخ و خلیج فارس اشاره کرد که گاهی به صورت ترکیبی به‌مانند الگوی اول و گاهی به‌تنهایی مانند الگوی سوم در بارش‌های منطقه تأثیر می‌گذارند. از الگوهای فشار سطح زمین نیز می‌توان به کم‌فشار سودانی، کم‌فشار شمال عربستان و پرفشار سبیری که با ورود آن به ایران بر روی زاگرس منطقه منقلبی ایجاد کرده و جبهه‌زایی و جریان‌ات بالاسو را تشدید نموده‌اند. با مقایسه ۴ الگوی گردشی در منطقه مشاهده شد که بیشینه وقوع بارش‌ها، حاصل از حاکمیت الگوی دریای سرخ در منطقه بوده که بارش‌های سنگین و فراگیری را در منطقه بوجود آورده است. از طرفی حاکمیت الگوی مدیترانه‌ای سبب شده تا بارش‌های سبک و فراگیر در منطقه بوجود آید. کمترین رخداد هم از نظر زمانی و هم از نظر مکانی مربوط به الگوی چهارم بوده که در مدت زمانی کوتاهی از سال حاکمیت داشته و ایستگاه‌های کمتری را نیز از نقطه نظر بارش تحت تأثیر خود قرار داده است. تحقیقات صورت پذیرفته مانند رضیئی و همکاران (۱۳۸۸) نشان داد که از عوامل اصلی بارش ایران گسترش کمفشار سودانی و ناوه موج باد غربی بر روی دریای مدیترانه می‌باشد. از طرفی دیگر در بررسی منابع تامین رطوبت نیز کریمی و همکاران (۱۳۹۰) به این نتیجه رسیدند که نقش دریای سرخ و مدیترانه به عنوان منبع اصلی و خلیج فارس به عنوان مکمل بارش‌های ایران می‌باشد که با توجه به الگوهای جوی بارش منطقه نیز این امر ثابت شد.

منابع

۱. باعقیده، محمد. انتظاری، علیرضا. علیمردانی، فاطمه. ۱۳۹۱. تحلیل سینوپتیکی بارش‌های حوضه‌های اترک و گرگان رود (۳۹ بارش فراگیر)، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۶: ۱۱۳-۱۲۴.

بدین صورت که به‌طور میانگین با کاهش فشار مابین طول‌های ۳۰ تا ۵۰ درجه طول شرقی مقادیر تاوایی مثبت شده و چرخندگی مثبت سبب صعود هوا در مناطق غربی کشور شده است. با توجه به الگوی فشار در الگوهای چهارگانه مشاهده می‌شود که از طول صفر درجه تا ۲۰ درجه میانگین فشار بیش از ۱۰۰۵ هکتوپاسکال بوده اما پس‌از آن تا ۵۵ درجه شرقی نرخی کاهش داشته است. پس‌از این طول جغرافیایی مقادیر فشار تراز دریا با افزایش شدیدی روبرو می‌شوند. با توجه به مقادیر تاوایی مشخص شد که بیشینه تاوایی مثبت در الگوی اول و دوم بین طول‌های ۲۰ تا ۴۰ درجه و در الگوهای سوم و چهارم به ترتیب مابین طول‌های ۴۰ تا ۵۰ و ۴۰ تا ۴۵ درجه طول شرقی است.

جمع بندی و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که آرایش الگوهای گردش جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، محل، عمق و گرادیان ارتفاعی پشته‌ها و ناوه‌ها نقش اصلی را در مقدار و توزیع مکانی بارش منطقه را بر عهده‌دارند. در همین راستا و برای شناسایی الگوهای حاکم بر بارش‌های روزانه غرب ایران در تراز میانی جو، ابتدا از آمار بارش روزانه ۱۷ ایستگاه سینوپتیک واقع در سه استان همدان، کردستان و کرمانشاه استفاده گردید. در ادامه روزهایی به‌عنوان مرطوب و بارش‌مند شناسایی شد که بیش از ۷۰ درصد ایستگاه‌های منطقه گزارش بارندگی کرده باشند. سپس بر روی این داده‌ها یک تحلیل عاملی و خوشه‌ای صورت پذیرفت تا عوامل و الگوهای حاکم بر رخداد بارش‌های فراگیر منطقه شناسایی گردند. نتایج نشان داد که ۱۱ عامل و ۴ الگو در تراز میانی فعالیت و حاکمیت دارند. عامل اول بیش از ۵۴ درصد و پس‌از آن عامل دوم با ۸ درصد از کل واریانس داده‌ها را تبیین نمودند. از الگوهای غالب در تراز میانی جو می‌توان به تشکیل و استقرار ناوه عمیق بر روی دریای سیاه و مدیترانه اشاره کرد که به‌عنوان الگوی ترکیبی یاد می‌شوند. تشکیل این سامانه باعث شده تا شمال دریای سرخ نیز هسته چرخندزایی آن

12. Kidson, J.W. 2008. an analysis of New Zealand synoptic types and their use in defining weather regimes: *Int. J. Climatology*, 20: 299-316.
13. Littmann, T. 2000. An empirical classification of weather types in the Mediterranean Basin and their inter relation with rainfall, *J. theo. App. clim.*, 66: 161-171.
14. Luo, Y., Wu, M., Ren, F., Li, J., and Wong, W.K. 2016. Synoptic situations of extreme hourly precipitation over China, *Journal of Climate*, 29(24): 8703-8719.
15. Michailidou, C., Maheras, P., Arseni, A., and Anagnostopoulou, C. 2009. A study of weather types at Athens and Thessaloniki and their relationship to circulation types for the cold wet period, part I: two-step cluster analysis, *Theoretical and applied climatology*, 97.
16. Santos, J.A., Corte-Real, J., and leite, S.M. 2005. Weather regimes and their connection to the winter rainfall in Portugal: *Int. J. Climatology.*, 25: 33-50.
17. Sheridan, S.C., and Lee, C.C. 2010. Synoptic climatology and the general circulation model. *Prog. Phys. Geography*, 34: 101-109.
18. Smithson, P.A. 1986. Synoptic and dynamic climatology. *Phys. Geo.*, 10: 100-110.
19. Tamazeiu. R. et al. 2005. winter precipitation variability and Larg-scale circulation patterns in Romania. *Journal of theoretical and applied climatology*, 81: 193-201.
20. Wallace, J.M., and Gutzler, D.S. 1981. Tele-connections in the geo-potential height field during the Northern Hemisphere winter: *Mon. Weather*, 784-812.
21. Yarnal, B.A., Comrie, C., Frakes, B., and Brown, D.P. 2001, Developments and prospects in synoptic climatology. *Int. J. Climatol.*, 21: 1923-1950.
۲. کیانین، محمدکیا. صالح‌پور جم، امین. حاجی‌محمدی، حسن. رسولی، فهمیه. ۱۳۹۵. بررسی و ارتباط خشکسالی و ترسالی‌های غرب ایران با الگوهای سینوپتیکی جو. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*. شماره ۲۲: ۱۷۵-۱۹۲.
۳. حلبیان، امیرحسین. ۱۳۹۴. شناسایی الگوهای گردشی بارش‌های شدی موجد سیل در منطقه فارس، *مجله آمایش جغرافیایی فضا*. شماره ۱۸: ۳۱-۴۶.
۴. علیجانی، بهلول. (۱۳۷۲). مکانیزم‌های صعود بارندگی‌های ایران، *مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تربیت‌معلم تهران*، شماره اول.
۵. علیجانی، بهلول. ۱۳۸۱. اقلیم‌شناسی سینوپتیک، چاپ اول، انتشارات سمت، تهران.
۶. کریمی، محمود. فرج‌زاده، منوچهر. ۱۳۹۰. شار رطوبت و الگوهای فضایی زمانی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، جلد ۱۹، شماره ۲۲: ۱۰۹-۱۲۷.
۷. مرادی، حمیدرضا. ۱۳۸۵. پیش‌بینی وقوع سیلاب‌ها بر اساس موقعیت‌های سینوپتیکی در ساحل دریای خزر، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۵۵.
۸. نجارسلیقه، محمد. ۱۳۸۰. الگوهای سینوپتیکی بارش‌های تابستانه جنوب‌شرقی ایران، *تحقیقات جغرافیایی*، دوره ۱۶، شماره ۳: ۱۱۴-۱۲۵.
9. Bettolli, M., Penalba, O., and Vargas, W. 2010. Synoptic weather types in the south of South America and their relationship to daily rainfall in the core crop-producing region in Argentina, *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 60.
10. Cohen, L., Dean, S., and Renwick, J. 2013. Synoptic weather types for the Ross Sea region, Antarctica, *Journal of Climate*, 26(2): 636-649.
11. Davist, R., and Kalkstein, L. 1990. Development of an Automated Spatial Synoptic Climatological Classification, *International Journal of Climate*, Vol. 10: 769-794.

