

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره پنجم، بهار ۱۳۹۲

صص ۳۷-۵۴

تحلیل همبندی خشکسالی‌های فراگیر در خراسان رضوی

عزت نامنی^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

دکتر سلیمان صادقی - استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

دکتر رضا دوستان - استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۹/۱۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۴/۲۹

چکیده

خشکسالی، بارش کمتر از متوسط ریزش‌های جوی سالانه و توزیع ناموزون بارندگی است. این پدیده طبیعی، ریشه در نوسانات اقلیمی و گردش عمومی هوا دارد. بزرگی و فراوانی خشکسالی‌ها در طول زمان، الگوهای مشخصی را نشان می‌دهند. هدف این پژوهش، شناخت الگوهای سینوپتیکی رخداد خشکسالی‌ها در استان خراسان رضوی است. از میان ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان، ده ایستگاه انتخاب گردید و داده‌های بارش ۹ ماه از سال تا پایان سال ۲۰۰۷ مورد استفاده قرار گرفت. با شاخص SPI دوره‌های ۳ ماهه خشک مشخص شد و از بین ماه‌های خشک، خشکسالی‌های فراگیر در منطقه در مجموع ۱۷ مورد پدیده خشکسالی تعیین گردید. به منظور شناسایی الگوهای سینوپتیکی داده‌های ژئوپتانسیل متر، سطح زمین و تاوایی از سایت NCEP/NCAR استخراج شد و برای ایجاد ماتریس در محدوده بین عرض ۱۰ تا ۷۰ درجه شمالی و طول ۱۰- تا ۸۰ درجه شرقی مورد استفاده قرار گرفت. به منظور کاهش و انسجام داده‌ها و مشخص کردن عامل‌های خشکسالی از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده گردید. تعداد پنج مؤلفه اصلی، که بیش از ۹۵ درصد کل واریانس داده‌ها را توجیه کرده، انتخاب شد. یافته‌ها نشان داد رفتار پرفشار جنب حاره، عدم تشکیل ناوه بادهای غربی بر روی دریای مدیترانه و تشکیل جبهه قطبی در مدار بالا سبب عدم انتقال رطوبت و پایداری هوا در منطقه بوده و شرایط خشکسالی را فراهم کرده است.

کلید واژه‌ها: خشکسالی، خراسان رضوی، بارش، الگوهای جوی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی.

مقدمه

خراسان رضوی که در شمال شرق ایران واقع شده است، بیشتر از منابع رطوبتی دریای مدیترانه و دریای سرخ بواسطه فعالیت الگوهای جوئی مانند فرود بلند مدیترانه، موج‌های کوتاه، رودباد جبهه قطبی و سیکلون‌های جبهه‌ای که در دوره سرد سال انتقال می‌یابد، بهره می‌برد. گاهی در نتیجه پیدایش ناهنجاری‌های منفی در الگوهای بادهای غربی میزان بارش در سالی کاهش می‌یابد و موجب وقوع خشکسالی می‌شود (لندسبرگ^۱، ۱۹۸۲: ۵۹۵-۵۹۳). برخی خشکسالی را یکی از دشمنان سرسخت بشر می‌دانند که از گذشته‌های دور او را مورد هجوم قرار داده است. روش^۲ (۱۹۸۶: ۲۸۷) خشکی محیط را این طور تعریف می‌کند: «حالت متوسط... اقلیم یک منطقه و اثرات آن که بوسیله باران کم و پوشش گیاهی فقیر ظاهر می‌شود». به نظر ویلهایت^۳ (۱۹۹۷: ۹۵۸) عواقب ناشی از این پدیده در بخش‌های مختلف، بویژه بخش کشاورزی که عمده‌ترین مصرف کننده آب به شمار می‌رود، خسارات زیادی وارد می‌نماید. به عنوان مثال بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۴ دولت استرالیا حدود ۹۲۵ میلیون دلار صرف جبران خسارات ناشی از خشکسالی کرد (ویلهایت، ۱۹۹۷: ۴۳۸-۴۲۵). در کتاب انسان و خشکسالی (مونیک، ۱۳۷۷: ۳) آورده شده بنا به نظر پونست^۴ در ابتدای خشکسالی نیچریه مردمی که در شمال عرض ۱۳ درجه شمالی زندگی می‌کردند بیش از همه خسارت دیده‌اند؛ چون بخاطر فقدان بارندگی تجدید حیات گیاهی انجام نشد. دام‌ها از بین رفتند. دامدارها از تولید محصول شیر و گوشت و درآمد محروم شدند. نویسنده همچنین بیان می‌دارد در بررسی‌های (تیمبرلاک^۵، ۲۹۴) در سال ۱۹۸۵ حطی در آفریقا از سواحل اقیانوس اطلس تا شاخ آفریقا و موزامبیک و در آفریقای جنوبی شروع شد و این امر مقدمه یک سلسله حوادث اسف انگیز بود. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که در بین حوادث طبیعی خسارات ناشی از خشکسالی بیشترین مقدار را شامل می‌شود (مهدی آسیایی، ۱۳۸۵: ۸۶). در مطالعات (احمدیان طوسی و همکاران، ۱۳۸۴) آمده است که خسارات ناشی از خشکسالی با توجه به توسعه جهانی و افزایش سرمایه‌گذاری‌ها در حال افزایش بوده و در بخش‌های کشاورزی، منابع آب، منابع طبیعی زیست محیطی دامداری و توریسم و... تاثیرگذار است. در این زمینه آگاهی از شرایط اقلیمی و آب و هوایی آینده رکن اساسی را به عهده داشته و همواره مورد توجه کارشناسان بوده است (صمدی نقاب، ۱۳۸۵: ۸۶). در بررسی‌های کیت اسمیت (۱۹۹۲) آمده است زمانی که دمای آب‌های سطح اقیانوس‌ها کاهش می‌یابد جو پایدارتر شده و شرایط

- 1 Landsberg
- 2 Roche
- 3 Wilhite
- 4 Ponect
- 5 Timberlake

واچرخندگی حاکم می‌شود که این موجب فراوانی پرفشارهای مانع می‌گردد. اقلیم کره زمین سیستم پیچیده‌ای است که مرتبط با پدیده‌های سطحی و سطوح بالای جوی می‌باشد (عزیزی، ۱۳۸۳: ۴۸). از آنجایی که بخش وسیعی از ایران دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است، پیش بینی بلندمدت بارش برای برنامه ریزی و مدیریت منابع آب حائز اهمیت است (صداقت کردار و فتاحی، ۱۳۸۷). آب و هوای خشک و نیمه خشک خراسان باعث شده این استان از قابلیت پذیرش خشکسالی بالایی برخوردار باشد (بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۴: ۳۶). به نظر غیور و مسعودیان (۱۳۷۶: ۴۷) خشکسالی‌ها به سبب تغییرات در گردش عمومی جو روی داده است. فتاحی و رضیئی (۱۳۸۸: ۷۴-۴۵) در مطالعات خود به این نتیجه رسیده‌اند که الگوهای گردشی جو نقش مهمی در پیدایش پدیده‌های محیطی دارند. از این رو، شناسایی الگوهای گردش جو، کنترل کننده آب و هوای ایران و ویژگی‌های آنها بسیار ضروری است. با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در رساله دوستان (۱۳۹۰) ۵ کانون عمده کنترل هوا شامل دریای مدیترانه، سیبری، دریای سیاه، جنوب ایران و شمال دریای خزر شناسایی شده است. علیجانی^۱ (۲۰۰۲: ۵۴) نشان داد اقلیم ایران را تراف نزدیک به ایران عمدتاً شرق دریای مدیترانه و خزر کنترل می‌کند. در رساله صادقی (۱۳۸۷: ۱۱۸-۴) آمده است از میان الگوهای هم‌دید در وقوع خشکسالی‌های خراسان واچرخندها بیشترین سهم را در رخداد خشکسالی‌ها دارند. واچرخندها باعث نزولی شدن هوا و از بین رفتن یا کاهش عامل صعود توده‌های هوای مرطوب می‌شوند. با ورود چرخندها همراه با رطوبت فراوان بارش‌های قابل توجهی در محدوده خراسان نازل می‌شود و دوره ترسالی نیز ظاهر می‌شود، ولی با ورود واچرخندها و یا چرخندهای ضعیف، دوره خشکسالی نمایان می‌گردد. بارندگی در خراسان رضوی از تفاوت زمانی و مکانی برخوردار است. ۵۰ درصد از بارش در فصل زمستان، ۳۲ درصد در فصل بهار، ۱۷ درصد بارش در فصل پاییز و ۱ درصد دیگر در فصل تابستان می‌بارد. مناطق و حوضه‌هایی که در نزدیکی کویرها قرار دارند بارندگی کمی در طول سال دریافت می‌کنند (مطالعات برنامه آمایش استان خراسان رضوی، ۱۳۸۸: ۲۶). بارش خراسان رضوی حاصل عملکرد سیستم بادهای غربی و انتقال رطوبت از دریای مدیترانه و دریای سرخ به منطقه است. رطوبت منابع یاد شده از طریق الگوهای بادهای غربی به خراسان انتقال پیدا می‌کند. چنانچه در وضعیت و عملکرد بادهای غربی اختلال حاصل شود رطوبت به اندازه کافی به منطقه انتقال پیدا نمی‌کند و پدیده خشکسالی به وقوع می‌پیوندد. برای شناخت خشکسالی‌ها لازم است که رفتار و عملکرد سیستم بادهای غربی مورد بررسی قرارگیرد. از این جهت شناخت آنها در انتقال رطوبت و ایجاد ناپایداری در خراسان ضرورت دارد.



شکل ۱ موقعیت استان خراسان رضوی

منطقه مورد مطالعه

خراسان رضوی در شمال شرقی ایران واقع است که با وسعتی حدود ۱۱۶۴۹۳ کیلومتر مربع، معادل ۷/۷۴ درصد از کل مساحت کشور را شامل می‌شود و با ارتفاع متوسط ۱۰۰۰ متر از سطح دریا، بین ۳۳ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). با توجه به کمبود آب و خشکسالی‌های اخیر در استان خراسان رضوی، همچنین بحرانی بودن منابع آب، این استان به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است.

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه خشکسالی‌های استان خراسان رضوی ابتدا از میان ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک و کلیماتولوژی داخل استان ایستگاه‌هایی که دارای سابقه آماری کافی بودند و جهت مطالعه مناسب تشخیص داده شدند ده ایستگاه انتخاب گردید که شامل کاشمر، مشهد، سبزوار، قوچان، گناباد، گل‌مکان، سرخس، تربت جام، تربت حیدریه و نیشابور است. سپس داده‌های مربوط به هر یک از ایستگاه‌ها از سال ۱۹۸۷ تا پایان

سال ۲۰۰۷ از سازمان هواشناسی دریافت شد و جهت بررسی مورد استفاده قرار گرفت. برای انجام این پژوهش داده‌های آماری میانگین بارش ماهانه ۹ ماه از سال استخراج شده و داده‌های فصل تابستان مانند ماه‌های جولای، آگوست و سپتامبر به دلیل اینکه استان خراسان در تابستان فاقد بارش بوده حذف گردیده است. به منظور پایش خشکسالی شاخص‌های گوناگونی ارائه شده است. یکی از متداول‌ترین شاخص‌ها به منظور پایش خشکسالی شاخص SPI می‌باشد. از مزایای این شاخص می‌توان به سادگی محاسبات و استفاده از پارامتر بارش، تعیین دوره‌های خشک و تر در یک طیف گسترده و پایش خشکسالی‌های سالانه و ماهانه اشاره کرد. از مفادیر SPI در مقیاس زمانی ۳ ماهه که وضعیت رطوبت محدوده مورد مطالعه را بهتر نشان می‌دهد، استفاده شد. اعداد منفی مشخص کننده خشکسالی ماهانه است. برای هر ماه خشک به صورت جداگانه داده‌های ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا برحسب هکتوپاسکال از پایگاه NCEP/NCAR استخراج گردید و پس از تشکیل ماتریس در ابعاد $2/5 \times 2/5$ درجه طول و عرض جغرافیایی مورد محاسبه قرار گرفت و حاصل ماتریس متشکل از ۹۲۵ سلول می‌باشد که داده‌های آماری این محدوده، بین عرض ۱۰ تا ۷۰ درجه شمالی و طول ۱۰- تا ۸۰ درجه شرقی است. در مرحله بعد با استفاده از نرم افزار GRADS داده‌های nc وارد اکسل شده و چون داده‌های استفاده شده در تحقیق حاضر دارای حجم بسیار گسترده‌ای بود، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی عمدتاً به عنوان یک روش آماری برای کاهش تعداد متغیرها و مقدار اولیه واریانس موجود در داده‌های اصلی استفاده گردید. در طبقه بندی الگوهای گردشی جو آرایه S بر روی داده‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال انجام گرفته و تعداد ۵ مؤلفه که بیش از ۹۵ درصد کل واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند، برای مطالعه بیشتر انتخاب شدند. در ادامه برای نمایش همبستگی فضایی عامل‌ها با کمک نرم افزار surfer یک نقشه ترکیبی از ۵ عامل تهیه شد و در مرحله آخر با استفاده از نرم افزار Grads الگوهای هر عامل مشخص شده و نقشه‌های ترکیبی از ژئوپتانسیل متر و سطح دریا و تاوایی تهیه گردید. در پایان با توجه به نقشه‌های بدست آمده به تحلیل و شناسایی الگوهای مؤثر در خشکسالی‌های منطقه خراسان رضوی پرداختیم.

بحث و نتایج

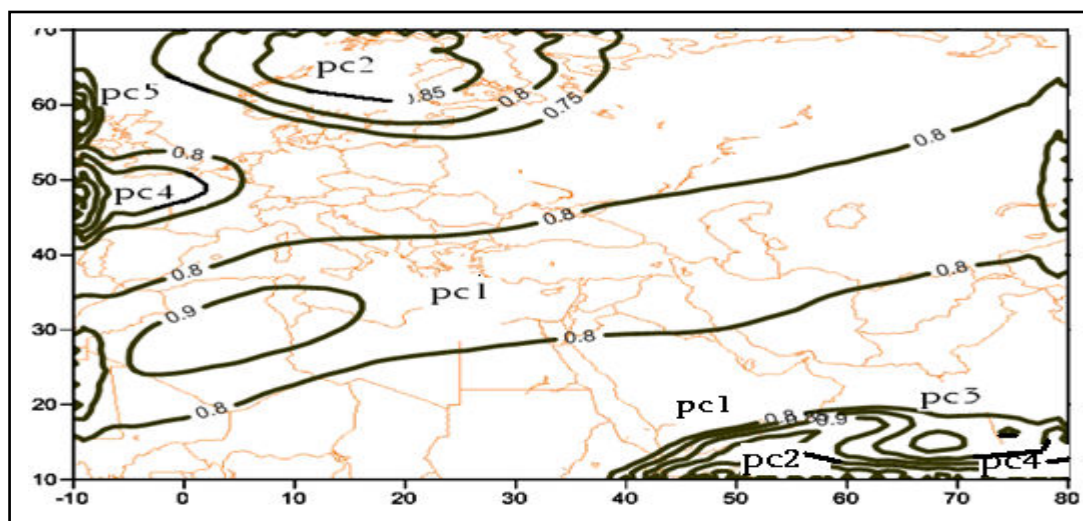
پس از انتخاب داده‌ها و استاندارد کردن آنها باید با حالت مناسب تنظیم شوند. حالت S حالت به کار رفته در این پژوهش است که برای طبقه بندی الگوهای نقشه‌های پراکندگی فشار به کار می‌رود. چون داده‌های استفاده شده در این تحقیق دارای حجم بسیار گسترده‌ای است با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی که بر روی داده‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به منظور تقلیل داده‌ها و مشخص کردن عامل‌های خشکسالی انجام

گرفت، باعث انسجام داده‌ها شد و تعداد ۵ مؤلفه اصلی که مجموعاً بیش از ۹۵ درصد واریانس را پوشش داده است، به عنوان کانون‌های مرکز فعالیت عوامل مشخص گردید (جدول شماره ۱).

جدول ۱ توزیع واریانس تجمعی و غیر تجمعی عامل‌ها

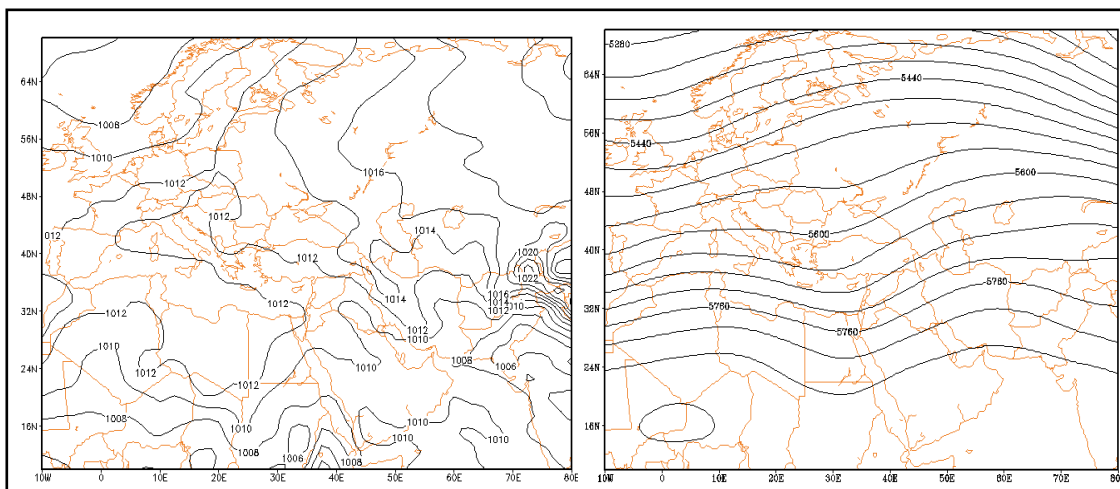
مؤلفه	واریانس	واریانس تجمعی
۱	۴۴/۴۲۶	۴۴/۴۲۶
۲	۲۴/۱۸۶	۶۸/۶۱۲
۳	۱۰/۰۳۷	۷۸/۶۴۸
۴	۹/۹۱۰	۸۸/۵۵۹
۵	۶/۷۳۰	۹۵/۲۸۸

شکل ۲ توزیع مکانی همبستگی‌های ۵ عامل را در مناطق مختلف نشان می‌دهد. الگوهای جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فرابار سیبری از عمده‌ترین کنترل‌کننده‌های آب و هوای منطقه مورد نظر هستند؛ بطوری‌که خشکسالی، حاصل ناهنجاری عملکرد الگوهای جوی بیشتر در فصول انتقالی (بهار و پاییز) است که عامل‌ها و الگوهای کنترل‌کننده آنها به ترتیب مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.



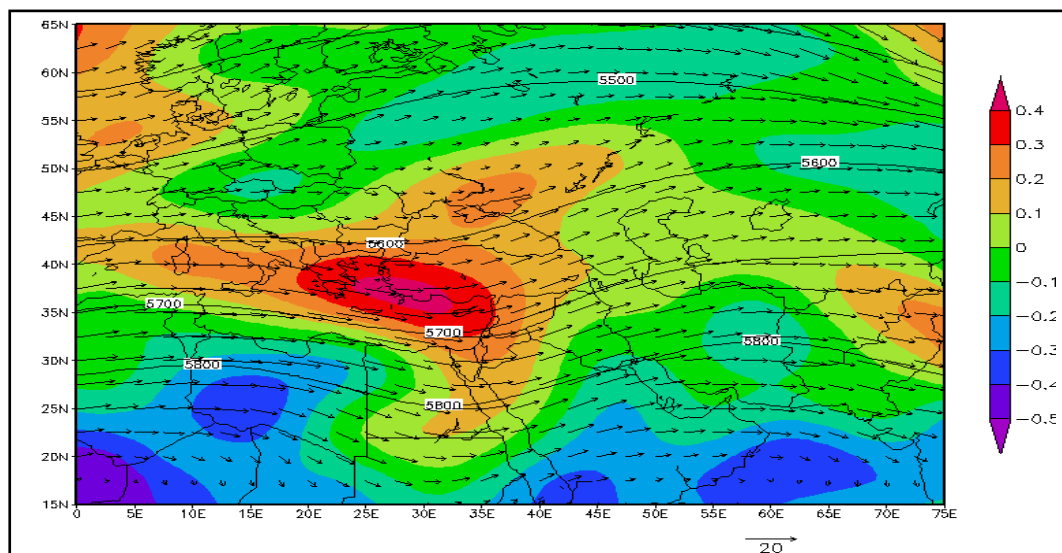
شکل ۲ الگوهای فضایی عامل‌ها

الگوهای فشار عامل اول: عامل اول ۴۴/۴۲۶ درصد واریانس را شامل می‌شود. بخش مهمی از خشکسالی خراسان رضوی حاصل عملکرد فعالیت این عامل است. عامل اول بوسیله چند الگوی فشار جو کنترل می‌شود که عبارتند از: ناوه بادهای غربی، پرفشار جنب حاره ای آזור و فرابار سیبری (شکل شماره ۲).



شکل ۴ نقشه ترکیبی فشار سطح دریا

شکل ۳ نقشه ترکیبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال



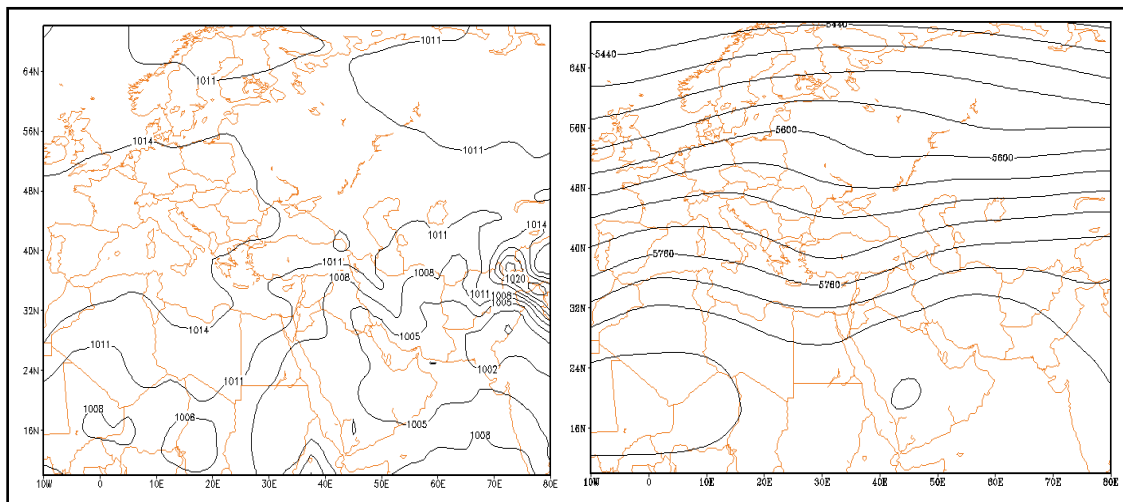
شکل ۵ نقشه ترکیبی وضعیت تاوایی نسبی ارتفاع ژئوپتانسیل، جهت و شدت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

در ناوه بادهای غربی تاوایی به حداکثر می‌رسد و سبب ناپایداری و صعود هوا می‌شود؛ یعنی حالت واگرایی هوا در سطوح میانی جو به وقوع می‌پیوندد و به تبع آن همگرایی هوا در سطح زمین صورت می‌گیرد که باعث تشکیل سیکلون در سطح زمین می‌شود. هرگاه محور ناوه در وسط دریای مدیترانه قرار گیرد، رطوبت بیشتری به خراسان رضوی انتقال یافته و بارش‌های مناسبی نیز نازل می‌شود. اگر محور ناوه بر مرکز دریای مدیترانه منطبق نباشد امکان رخداد خشکسالی در خراسان قریب یقین است. در شکل ۳ این سامانه بر روی شمال شرقی آفریقا تشکیل شده است و با عدم انطباق محور فرود روی دریای مدیترانه مسیر حرکت بادهای غربی تغییر می‌کند. چون رطوبت کافی از دریای مدیترانه و دریای سرخ به خراسان انتقال نیافته حاصل آن پیدایش خشکسالی در خراسان رضوی است. سامانه پرفشار جنب حاره در دوره سرد سال

روی خشکی آفریقا مستقر می شود و در مدار ۳۸ درجه قرار می گیرد. این سامانه به نسبت هوای سرد قطبی و شمالگان از فشار کمتری برخوردار می باشد. بنابراین در دوره سرد سال هوای سطح زمین عرض های میانه را کمتر می تواند کنترل نماید. اما گاهی میزان فشار این سامانه در دوره سرد سال افزایش می یابد و به بالای مدار ۳۸ درجه گسترش می یابد. سلولی از این سامانه که بر روی شبه جزیره عربستان مستقر می شود به سمت مدار بالای کشور از جمله خراسان رضوی گسترش می یابد و در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال قرار گرفته و باعث نزولی شدن هوا می شود. از همه مهم تر گاهی سبب ایجاد فرابار مانع در مسیر وزش بادهای غربی بر روی شمال دریای خزر و دشت های روسیه می گردد که امکان وزش مدارهای بادهای غربی را فراهم می کند. چون این بادهای مداری از عمق کافی برخوردار نیستند قادر به کنترل هوای سطح زمین نبوده و شرایط صعود هوا نیز فراهم نمی شود. پایداری هوای خراسان رضوی به واسطه استقرار پرفشار جنب حارهاست که هوای آفتابی و کم بارش در ماه های خشک حاصل این الگوی جوی می باشد (شکل ۳). فرابار سیبری از اوایل پائیز در جنوب دریاچه بایکال تشکیل می شود و با گسترش زبانه به نواحی اطراف از جمله خراسان رضوی، باعث پایداری و سرد شدن هوای سطح زمین در منطقه می گردد. شکل ۴ نشان می دهد این سامانه با پربند ۱۰۱۲ هکتوپاسکال محدوده خراسان رضوی را فرا گرفته که می تواند منشاء پایداری هوای سطح زمین نیز تلقی شود. علاوه بر آن نفوذ پرفشار جنب حاره حاصل از سلول مستقر روی عربستان و آگرایی هوای سطح زمین در منطقه مورد نظر را تشدید نموده است. با توجه به پایداری هوای سطح زمین امکان صعود توده هوای مرطوب فراهم نشده و هوای خشک بدون بارش زمینه وضعیت کم بارشی و خشکسالی را در استان فراهم نموده است. عدم تشکیل ناوه بادهای غربی بر روی دریای مدیترانه و عدم تشکیل سیکلون های جبهه قطبی بر روی این دریا، همچنین استقرار پرفشار جنب حاره در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به بالا از عمده ترین الگوهای جوی رخداد خشکسالی به واسطه عامل اول در خراسان رضوی تلقی می شوند. در شکل ۵ بررسی وضعیت تاوایی نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مبین جابجایی شرق سوی امواج غربی، وجود دو پرفشار تاوایی منفی در شمال دریای خزر همچنین تاوایی مثبت در شرق دریای مدیترانه باعث شکل گیری فرابار مانع در برابر جریان های مرطوب و انحراف بادهای غربی به سمت شمال دریای خزر گردیده است. گسترش پرفشار جنب حاره از سمت جنوب به ایران و وزش مدارهای بادهای غربی سبب تضعیف عملکرد این بادهای و ایجاد پشته بر روی شمال دریای خزر گردیده و طبیعتاً بر اثر گردش و اچرخندی و نزول شدید هوا خشکسالی در خراسان رضوی به وقوع پیوسته است.

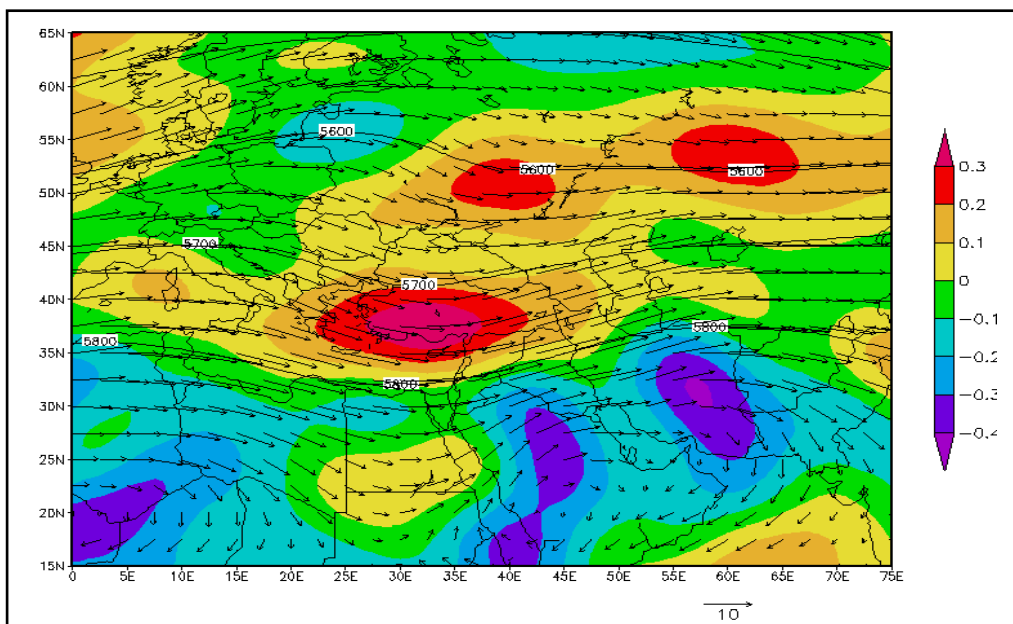
الگوهای فشار کنترل کننده عامل دوم

عامل دوم ۲۴/۱۸۶ درصد واریانس را شامل می شود. در این عامل عمده ترین الگوهای جوی مؤثر در خراسان رضوی پرفشار جنب حاره ای آזור و ناوه دریای مدیترانه است. الگوهای جوی همچون فرابار سیبری و پشته روی اسکاندیناوی از دیگر مؤلفه های تأثیر گذار این عامل تلقی می شوند (شکل شماره ۲).



شکل ۷ نقشه ترکیبی فشار سطح دریا

شکل ۶ نقشه ترکیبی مربوط به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال



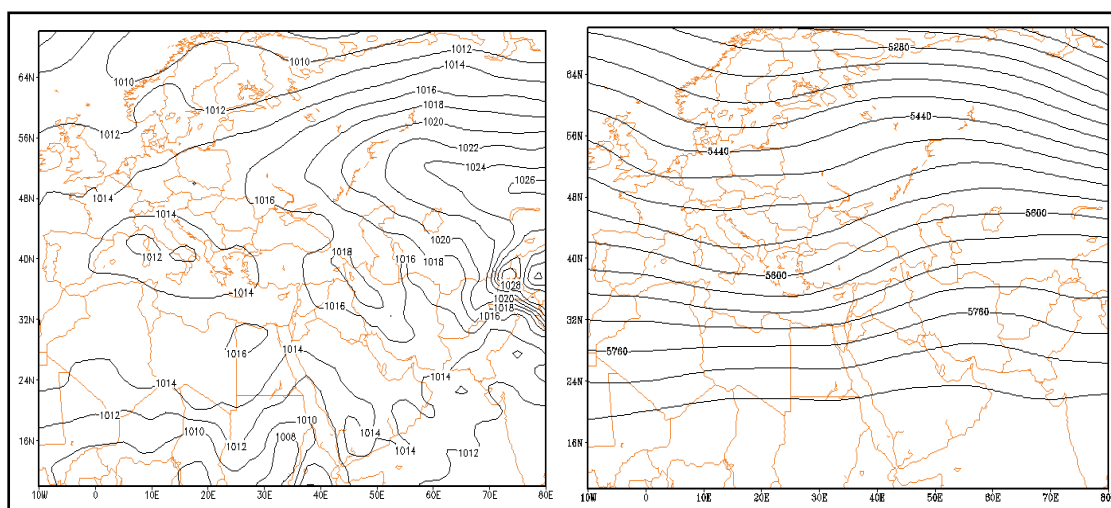
شکل ۸ نقشه ترکیبی مربوط به وضعیت تاوایی نسبی، ارتفاع ژئوپتانسیل و جهت و شدت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، عامل دوم

در شکل ۶ پرفشار جنب حاره ای به دو سلول تقسیم شده که یکی بر روی عربستان و دیگری بر روی آفریقا قرار گرفته است. سلول مستقر روی عربستان به سمت مدار بالا انتقال می‌یابد و در ارتفاع ۵۸۴۰ ژئوپتانسیل متر مستقر می‌شود. حاصل عملکرد پرفشار جنب حاره بر روی ایران ناشی از فعالیت سلول روی عربستان است که باعث ایجاد هوای نزولی ملایم و کم بارش دوره سرد در خراسان رضوی شده است. از سلول مستقر روی آفریقا زبانه‌ای به سمت بالای مدار ۳۸ درجه گسترش یافته که موجب تشکیل پشته‌ای بر روی اسکاندیناوی شده است، فرابار حاصله سبب

وزش مداری بادهای غربی در مدارهای پائین از جمله روی خراسان رضوی است که قادر به تحت تأثیر قرار دادن هوای سطح زمین منطقه نشده است. ناوه دریای مدیترانه با عمق کم بر روی دریای مدیترانه و شمال شرق آفریقا تشکیل گردیده و چون ناوه فاقد عمق لازم بوده قادر به تشکیل جبهه قطبی مؤثر با سیکلون‌های قوی نشده است، بلکه جبهه قطبی ضعیف با سیکلون‌های نه چندان قوی قادر به انتقال رطوبت بیشتری از دریای مدیترانه در بستر موج‌های بلند نگردیده و حاصل فعالیت این سامانه بارش کم و کوتاه مدت بوده، بدین جهت خشکسالی محدوده را فراگرفته است. بررسی شکل ۷ حاکی از این است که زبانه‌ای از فرابار سبیری از طریق شمال شرق وارد خراسان رضوی نشده و در سطح زمین تمام محدوده مورد مطالعه و بخش وسیعی از ایران کم فشار گسترش یافته که پربند فشار ۱۰۰۸ هکتوپاسکال محدود گسترش این سامانه را نشان می‌دهد. چون پرفشار جنب حاره آسمان ایران را در بر گرفته مکانیسم به گونه‌ای بوده که از شدت فشار کم کرده و در سطح زمین هوا واگرا می‌شود. عامل پایداری هوا پرفشار جنب حاره بوده که شرایط خشکسالی را پدید آورده و میزان کنترل بوسیله فرابار سبیری کم و ناچیز است. در شکل ۸ تاوایی منفی با مقدار بیش‌تر از ۰/۲- محدوده خراسان رضوی را فراگرفته است که مبین همگرایی هوا در سطح بالای جو و واگرایی آن در سطح زمین است. به عبارت دیگر به علت تشکیل آنتی سیکلون در سطح زمین گردش هوا وضعیت واگرایی پیدا کرده است.

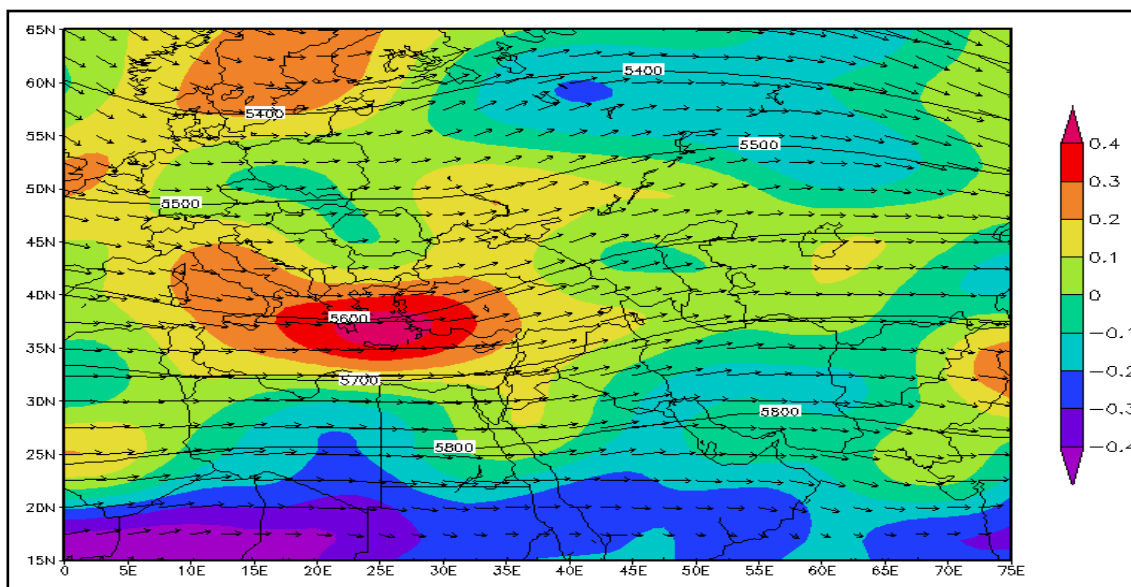
الگوهای فشار عامل سوم

عامل سوم ۱۰/۰۴ درصد واریانس را شامل می‌شود. این عامل به وسیله سه الگوی جوی کنترل می‌شود. پرفشار جنب حاره، عدم تشکیل فرود در دریای مدیترانه و گسترش زبانه فرابار سبیری از الگوهای مؤثرترین عامل تلقی می‌شوند که خشکسالی را تکوین نموده اند (شکل شماره ۲).



شکل ۹ نقشه ترکیبی مربوط به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۱۰ نقشه ترکیبی مربوط به فشار سطح دریا



شکل ۱۱ نقشه ترکیبی وضعیت تاوایی نسبی ارتفاع ژئوپتانسیل و جهت و شدت بادر تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

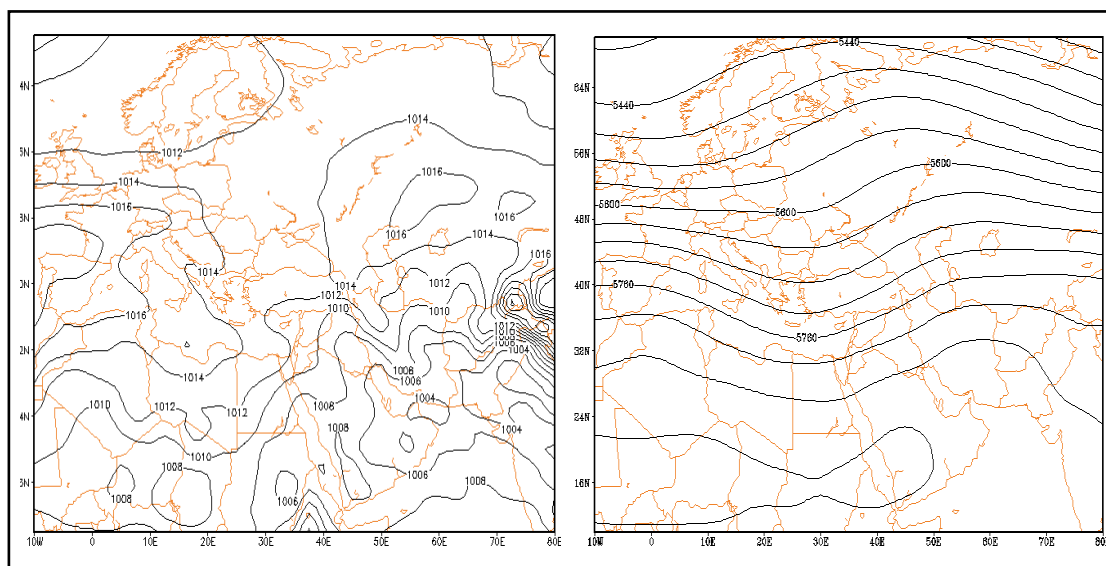
در شکل ۹ پرفشار جنب حاره از روی شبه جزیره عربستان وارد ایران شده و ارتفاع ۵۷۲۰ هکتوپاسکال را در خراسان رضوی بوجود آورده است. پرا ارتفاع جنب حاره هوا را پایدار کرده و شرایط صعود هوا را تضعیف نموده و مانع نفوذ رطوبت از دریای مدیترانه به منطقه شده است. به علت واگرایی جریان هوا در سطح زمین خراسان رضوی جو پایداری غالب شده و امکان صعود هوا بطور کلی از بین رفته است. این شرایط زمینه وقوع خشکسالی منطقه را فراهم نموده است. به علت پشته روی اسکاندیناوی ناوه ای در شمال آفریقا شکل گرفته است که محور ناوه شمال غربی - جنوب شرقی است. به دلیل تشکیل فرابار مانع امکان شکل گیری ناوه عمیق مدیترانه‌ای میسر نشده و رطوبت این دریا به خراسان انتقال پیدا نکرده است. چون وزش بادهای غربی روی ایران مداری است در شرایط وزش مداری، بادهای غربی از عمق کمتری برخوردارند؛ لذا این قبیل بادهای قادر به متاثر ساختن هوای سطح زمین خراسان نیستند و هوای سطح زمین حالت صعود را پیدا نمی کند. الگویی که بتواند هوا را در سطح زمین منقلب کند وجود نداشته است و به تبع آن، پایداری هوا جایگزین ناپایداری گردیده است.

در شکل ۱۰ پرفشار سیبری ناشی از سرمایش سطح زمین است که در فصل پاییز بصورت سامانه‌ای کم ضخامت ایجاد می‌شود؛ در حالی که یک سیستم سینوپتیکی تاثیرگذار است. پرفشار سیبری زمانی که به حداکثر میزان فشار می‌رسد با گسترش زبانه‌هایی به نواحی اطراف منتقل می‌شود که در اکثر مواقع زبانه غربی

این سیستم، از شمال شرق، ایران را تحت تاثیر قرار داده گسترش بادهای غربی و منجر به کاهش دما و خشکی هوا می‌گردد؛ بطوری که در این الگو منحنی فشار ۱۰۱۶ هکتوپاسکالی در تمام نقاط خراسان رضوی گسترش یافته است و از وزش بادهای غربی در این منطقه جلوگیری نموده، پایداری هوا و عدم صعود آن حاصل فعالیت این سامانه است. بررسی نقشه ترکیبی مربوط به وضعیت تاوایی نسبی شکل ۱۱ نشان می‌دهد سلول پر فشار جنب حاره، عربستان روی آسمان ایران از جمله خراسان را دربر گرفته است. به علت استقرار پراتفاح با مقدار عددی ۰/۱- هوای ملایم و نزولی روی محدوده خراسان رضوی را فرا گرفته و با توجه به بالا بودن دما نسبت به شرایط نرمال رطوبت آن به دلیل افزایش ظرفیت رطوبتی کاهش یافته و از شرایط تشکیل ابر و بارش فاصله گرفته است. بادهای غربی بر اثر چرخندگی وضعیت تاوایی، انحنایی در مسیر حرکتشان پدید آورده‌اند که متعاقب آن شرایط واچرخندگی یا آنتی سیکلونی سطح زمین محدوده مورد مطالعه را دربر گرفته است.

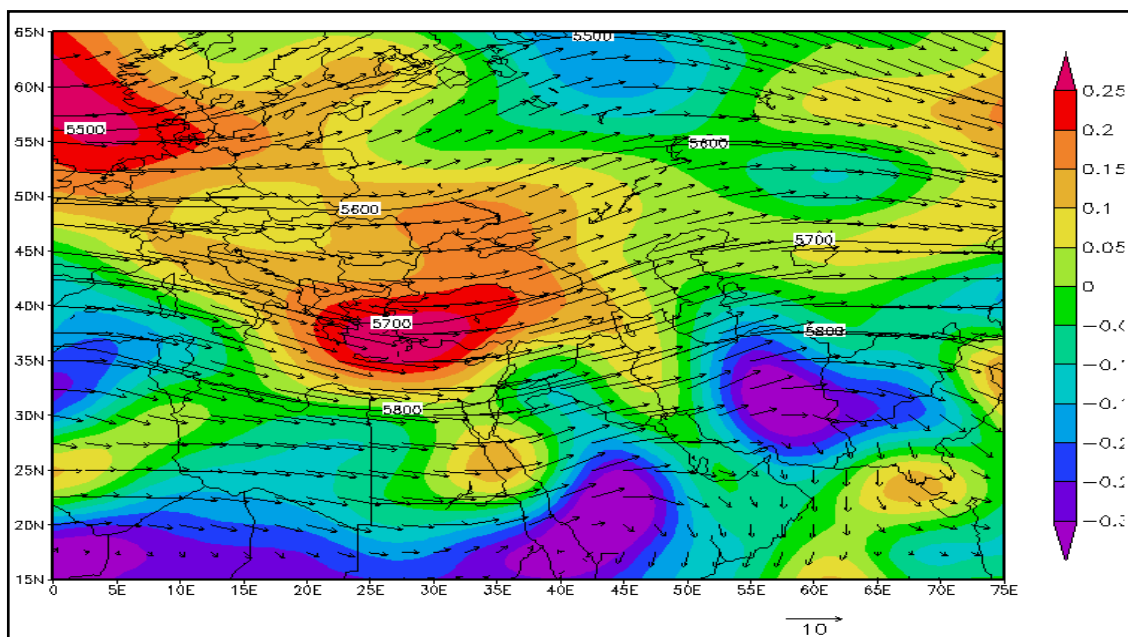
الگوهای فشار عامل چهارم

این عامل ۹/۹۱ درصد واریانس را شامل می‌شود که بوسیله سه الگوی جوی کنترل می‌شود. الگوی اول پرفشار جنب حاره ای آזור مستقر روی عربستان، الگوی دوم کم عمق بودن ناوه مدیترانه و الگوی سوم زبانه فرابار سیبری است (شکل شماره ۲).



شکل ۱۲ نقشه ترکیبی مربوط به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۱۳ نقشه ترکیبی مربوط به فشار سطح دریا



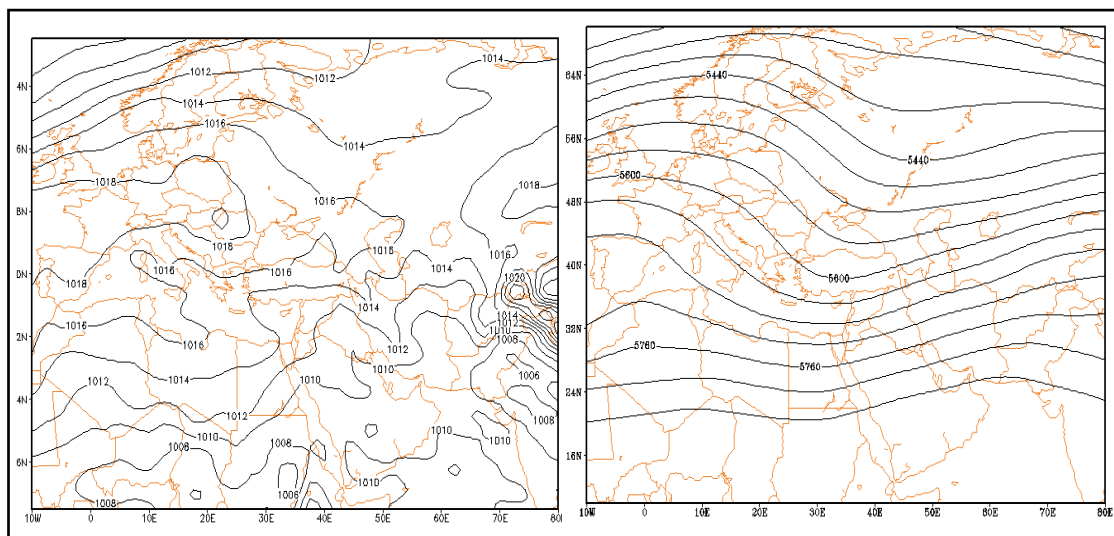
شکل ۱۴ نقشه ترکیبی مربوط به وضعیت تاوایی نسبی، ارتفاع ژئوپتانسیل و جهت و شدت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

پرفشار جنب حاره مستقر روی شبه جزیره عربستان با شروع فصل گرم فضای ایران از جمله خراسان را دربرمی‌گیرد و قادر است هوای سطح زمین را کنترل کند. ولی گاهی به صورت نابهنجار در دوره سرد سال وارد ایران می‌شود. در شکل ۱۲ وجود پربند ۵۸۲۰ متر بر روی خراسان بیانگر استقرار پرفشار جنب حاره است که موجب گرمی و خشکی هوا شده و شرایط صعود را نیز از بین برده است. بر اثر تشکیل تراف روی شمال غربی آفریقا امتداد این سامانه پرفشار بر روی خراسان سبب گردش و اچرخندی هوا در سطح زمین گردیده است؛ درحالی‌که شرایط همگرایی هوا در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال حاکم می‌باشد. این مؤلفه‌ها در پایداری هوا بطور موفق عمل کرده و شرایط خشکسالی را برای خراسان رقم زده‌اند. ناوه دریای مدیترانه در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در شمال دریای مدیترانه تشکیل شده و قادر به انتقال رطوبت از منبع رطوبتی بوسیله پربند ۵۸۲۰ که از شمال خراسان عبور نموده، نبوده است؛ اما در نقشه سطح زمین مشاهده می‌شود پرفشار جنب حاره تقویت یافته و سراسر ایران را دربرگرفته و به علت واگرایی، این عامل موجب پایداری هوای سطح زمین گردیده و قادر به صعود و ایجاد ناپایداری هوا در سطح بالا و زمین و ایجاد بارش کافی نشده است. نقشه ترکیبی شماره ۱۳ یک الگوی خشکی زایی است که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مرکز پرفشار با کتور ۵۸۸۰ ژئوپتانسیل مترروی عربستان استقرار یافته و تحت تسلط گردش و اچرخندی و نزول

هوا قرار دارد. همچنین این الگو با استقرار منحنی فشار ۱۰۰۸ هکتوپاسکال در سطح زمین همراه شده که نتیجه آن پایداری و جلوگیری از ایجاد بارش بر روی خراسان و بخش وسیعی از ایران است. این جریان هوا شرایط صعود را برای هوای کم فشار سطح زمین از بین برده، در نتیجه هوای سرد و خشک در خراسان گسترش یافته و زمینه خشکسالی را فراهم نموده است. بررسی وضعیت تاوایی نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بیانگر استقرار مرکز پرفشار بر روی ایران و وجود تاوایی منفی با کنتور بسته و بیشینه تاوایی $-۰/۲$ بر روی خراسان است. بعلاوه بر ارتفاع روی شبه جزیره عربستان در تقویت سامانه مستقر بر روی ایران مؤثر بوده و همان طور که شکل ۱۴ نشان می‌دهد، مرکز پر ارتفاع موجب گردش و اچرخندی در منطقه شده است. کم ارتفاع شرق دریای مدیترانه تاوایی مثبت با مقادیر بیش از $۰/۲$ قادر به انتقال رطوبت به خراسان رضوی نبوده ولی در شمال غرب ایران وضعیت جوی مناسب رقم خورده و جریان هوا صعودی است.

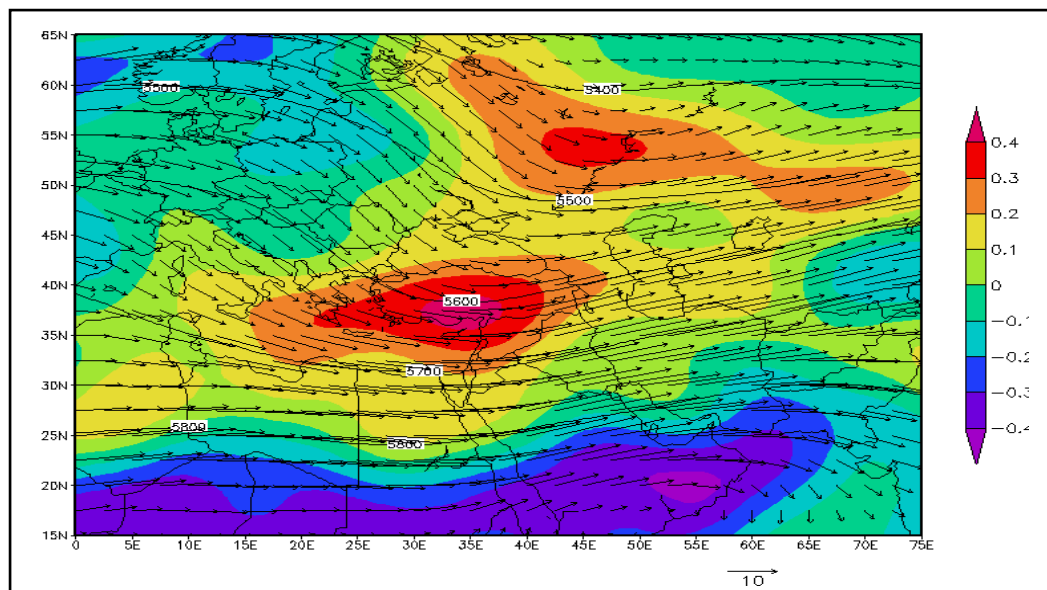
الگوهای فشار عامل پنجم

عامل پنجم ۶/۷ درصد واریانس را شامل می‌شود که بخش کمتری از خشکسالی خراسان رضوی حاصل عملکرد این عامل است. این عامل بوسیله چند الگوی جوی کنترل می‌شود از جمله: پرفشار جنب حاره، ناوه کم عمق شرق دریای مدیترانه و پشته روی ایران، سامانه شمال آفریقا و محدوده سودان و فرابارسایی است (شکل شماره ۲).



شکل ۱۵ نقشه ترکیبی مربوط به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۱۶ نقشه ترکیبی مربوط به فشار سطح دریا



شکل ۱۷ نقشه ترکیبی وضعیت تاوایی نسبی ارتفاع ژئوپتانسیل و جهت و شدت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

در شکل ۱۵ اثر گسترش زبانه پر ارتفاع جنب حاره سلول روی عربستان، پشته ای با ارتفاع ۵۷۲۰ هکتو پاسکال در خراسان تکوین یافته که نزولی شدن هوا را در پی دارد و استقرار پشته ای قوی بر روی اقیانوس اطلس و غرب اروپا نشان دهنده فاز مثبت نوسان اطلس شمالی روی اقیانوس اطلس بوده که این پرفشار به سمت شمال مدار ۳۸ درجه حرکت کرده است. چون میزان فشار پرا ارتفاع جنب حاره بیشتر از کم فشار ایسلند بوده و تا مدار بالا جابجا شده است، جبهه قطبی در مدار بالا تشکیل شده و این جبهه بر روی اقیانوس اطلس تشکیل نشده است. فراز بادهای غربی روی منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته و با توجه به همگرایی هوا در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال شرایط آتی سیکلونی در سطح زمین خراسان رضوی پدید آمده است. بعلاوه شکل ۱۵ نشان دهنده فرود مدیترانه است که از اواخر زمستان ضعیف شده بر روی سوریه مستقر می شود، این ناوه از عمق کافی برخوردار نبوده که قادر به انتقال سیکلون های جبهه ای و رطوبت به محدوده خراسان نشده است. همچنین فعالیت پشته روی شمال دریاچه آرال جریان متعادل هوا را در سطح زمین خراسان در پی داشته و موجب ایستایی هوا بوده است. این دو فاکتور، یعنی ناکافی بودن صعود هوا و نبودن رطوبت کافی سبب وقوع خشکسالی در خراسان رضوی گردیده است.

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال فرود کم عمقی در شمال شرق آفریقا به وجود آمده که امتداد آن بر روی خراسان به صورت جریانات صعود بادهای غربی ظاهر شده است. با توجه به عمق کم آن کمتر قادر به صعود هوای سطح زمین می باشد؛ در نتیجه موجبات نزول بارش کمتری را فراهم کرده است. شکل ترکیبی شماره ۱۶ حاکی از گسترش زبانه پرفشار سیبری با پربند ۱۰۱۲ هکتوپاسکال به سمت ایران بوده است. این

سامانه با پرفشار حاصل از سلول مستقر روی عربستان در هم ادغام شده و گردش آنتی سیکلونی و واگرایی را در سطح زمین حاکم نموده است با گسترش منحنی فشار ۱۰۱۶ هکتوپاسکال روی مدیترانه سیکلون زایی متوقف شده و با توجه به پایداری هوای سطح زمین امکان صعود توده هوای مرطوب فراهم نشده است که حاصل آن هوای خشک بدون بارش، وضعیت کم بارشی و خشکسالی را فراهم کرده است.

(شکل ۱۷) نقشه تاوایی بیانگر آن است که در این الگو گردش چرخندی بر روی خراسان رضوی وسعت چندانی ندارد، بلکه به واسطه استقرار یک پشته قوی در شمال غرب اروپا و شکل‌گیری فرابار مانع همزمان ناوه ای کم عمق روی شرق دریای مدیترانه و شمال آفریقا گسترش یافته محور ناوه باجهت شمال شرقی - جنوب غربی موجب ریزش هوای سرد در طرف شرق فراز شده است. تاوایی مثبت در جانب راست محور ناوه با مقدار بیش از ۰/۰۴ امکان تشکیل و یا تکوین سامانه‌های کم فشار را روی شمال آفریقا فراهم کرده است. این کم ارتفاع به صورت یک موج کوتاه عمل کرده است؛ اما قادر به تغییرات زیاد هوای روی خراسان نشده و با نفوذ پراارتفاع جنب حاره در جنوب ایران و تشکیل فراز شمال غرب اروپا باعث تشکیل تاوایی مثبت در مسیر بادهای غربی گردیده است که از توان کمتری برخوردار بوده و انتقال رطوبت به خراسان رضوی را به حداقل رسانده است.

نتیجه گیری

خشکسالی‌های فراگیر خراسان رضوی را چهار الگوی فشار کنترل می‌کند. این مراکز عمده به ترتیب شامل پرفشار جنب حاره، ناوه دریای مدیترانه، فرابار سیبری و پشته شمال دریای خزر است. مهم‌ترین عامل به وجود آورنده خشکسالی در ایران پرفشار جنب حاره و ناوه بادهای غربی است. هرگاه مقدار فشار پراارتفاع جنب حاره بویژه در دوره سرد سال افزایش می‌یابد نوسان اطللس شمالی (NAO) (North Atlantic Oscillation) در فاز مثبت اتفاق می‌افتد و این پرفشار و به مدار بالا گسترش می‌یابد. چون روی ایران از جمله خراسان رضوی را در بر می‌گیرد، زمستان ملایم همراه با هوای نزولی که جریان واگرایی هوا را در سطح زمین خراسان رضوی حاکم می‌سازد، پدید می‌آورد. از سوی دیگر به علت عدم تشکیل جبهه قطبی مدیترانه سیکلون‌های مدیترانه ای تشکیل نمی‌شوند، در این صورت ناوه دریای مدیترانه به درستی تکوین نمی‌یابد و رطوبت لازم به خراسان رضوی منتقل نمی‌شود. این دو عامل، یعنی عدم صعود هوا و نبودن رطوبت کافی سبب بروز خشکسالی در خراسان رضوی می‌شود. نفوذ زبانه فرابار سیبری در سطح زمین به سمت محدوده خراسان رضوی و همگرایی هوا در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال تقویت فرابار را به دنبال دارد و پایداری هوای سطح زمین را تشدید می‌نماید. الگوهای جوی تابع دو پدیده رطوبت و انرژی هستند. اگر در الگوهای جوی اختلالی ایجاد شود و قادر نباشند رطوبت یا انرژی را با خود حمل کنند منجر به خشکسالی می‌شود. پیشروی پرفشار جنب حاره در دوره سرد سال درجه حرارت را نسبت به نرمال بالا برده و ظرفیت رطوبتی آن افزایش می‌یابد که بر اثر کاهش رطوبت منجر به خشکسالی می‌شود. به نظر

می‌رسد بخش عمده‌ای از خشکسالی‌های این استان ناشی از پایداری هوا، عدم انتقال رطوبت از دریای مدیترانه و تشکیل فرابار مانع همچنین وزش مدارای بادهای غربی که از دیگر سامانه‌های جوئی مؤثر در رخداد خشکسالی خراسان رضوی به شمار می‌روند، باشد.

منابع و مأخذ

- آسیایی، مهدی؛ ۱۳۸۵. پایش خشکسالی در مشهد. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ش ۸-۷. صص ۸۶-۸۵.
- احمدیان طبسی، ج و همکاران؛ ۱۳۸۴. پایش وضعیت خشکسالی خراسان رضوی و بررسی آن در سال ۱۳۸۴. بولتن علمی پژوهشکده اقلیم شناسی.
- بداق جمالی، جواد و همکاران؛ ۱۳۸۴. مدیریت ریسک خشکسالی. مشهد: سخن گستر. صص ۳۶.
- دوستان، رضا؛ ۱۳۹۰. مطالعه تغییرات زمانی الگوهای فشار در ایران. پایان نامه دوره دکتری دانشگاه تهران.
- صادقی، سلیمان؛ ۱۳۸۷. تحلیل سینوپتیکی خشکسالی خراسان، پایان نامه دوره دکترای دانشگاه تربیت معلم تهران. صص ۱۰۵-۱۱۸.
- صداقت کردار و فتاحی؛ ۱۳۸۷. شاخص‌های پیش آگاهی خشکسالی در ایران. جغرافیا و توسعه. ش ۱۱.
- صمدی نقاب، سینا؛ ۱۳۸۵. پیش بینی خشکسالی با روش ریزگردانی خروجی الگوهای (GCM) Global Circulation Model. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. ش ۸-۷. صص ۸۶-۸۵.
- عزیزی، قاسم و روشن، علی اصغر؛ ۱۳۸۴. بررسی خشکسالی‌ها، ترسالی‌ها و امکان پیش بینی آنها با استفاده از مدل سری زمانی حالت ویتروز در استان هرمزگان. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ش ۴. صص ۴۸.
- غیور، حسنعلی و مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۷۶. بزرگی گستره و فراوانی خشکسالی‌ها در ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ش ۱۲. صص ۴۴-۵۰.
- فتاحی، ابراهیم و رضیئی، طیب؛ ۱۳۸۸. الگوهای گردش جوی روزانه بر روی ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ش ۹۳. صص ۴۵-۷۴.
- مطالعات برنامه آمایش استان خراسان رضوی. گروه تحلیل و ارزیابی موقعیت طبیعی و محیط زیستی بخش هوا و اقلیم. استانداری خراسان. خرداد ۱۳۸۸. صص ۲۶.
- منگه، مونیگ؛ ۱۳۷۷. انسان و خشکسالی. ترجمه احمد معتمد. دانشگاه یزد. چاپ اول. انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران. صص ۳.
- Alijani, B., 2002. variations of 500 hpa flow patterns over Iran and surrounding areas and their relationship with the climate of Iran. Theoretical and Applied climatology, 72, 41-54 .
- Landsberg. H. E., 1982. climatic aspects of drought bull Ameri-meteo, soci, p 593-595 .

- ROCHEM, F.,1986. Dictionnaire Francais d, hydrologie de surface Masson. Paris, 287 pages .
- Smith, Keith.,1992. "Environmental hazards". Routledge.
- TIMBERLAKEL.,1985. L'Afrique en crise; La banqueroute de L'Harmattan- Earthscan ed, Paris.294 pages .
- Wilhite, D. A.,. 1997. Responding to Drought: common threads from the past, vision for the future. Journal of the American water Resources Association. 33 (5): 951-959 .