

نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و یکم، شماره ۶۳، زمستان ۱۴۰۰

## بررسی ماهیت و ساختار وردش‌های جوی بهنگام رخداد دوره‌های خشک روزانه در شمال غرب و غرب ایران

دریافت مقاله: ۹۷/۱۱/۱۷ پذیرش نهایی: ۹۸/۶/۱۷

صفحات: ۲۵۰-۲۳۳

سید حسین میر موسوی: دانشیار گروه اقلیم‌شناسی و عضو هیئت علمی دانشگاه زنجان، ایران!

Email: hossein.mousavi047@gmail.com

مسعود جلالی: دانشیار گروه اقلیم‌شناسی و عضو هیئت علمی دانشگاه زنجان، ایران.

Email: mjalali@znu.ac.ir

عنایت اسدالهی: کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی سینوپتیک، دانشگاه زنجان، ایران.

Email: asadolahi5096@gmail.com

### چکیده

در این مطالعه نسبت به شناسایی الگوهای همدیدی موثر بر دوره‌های خشک روزانه با توالی ۴ تا ۱۰ روزه در شمال غرب و غرب ایران اقدام شده است. برای این منظور از داده‌های بارش روزانه ۴۵ ایستگاه سینوپتیک در طی دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۹۶ استفاده شده است. ابتدا با استفاده از روش کدبندی (صفر و یک) نسبت به استخراج دوره‌های خشک با توالی مورد نظر اقدام گردید. سپس با اجرای تحلیل‌های خوشه‌ای بر روی داده‌های فشار تراز دریا، الگوهای جوی موثر در دوره‌های خشک، شناسایی و مورد تجزیه - تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که بارزترین الگوی گردشی پدید آورنده دوره‌های خشک روزانه مربوط به زبانه‌های پرفشار سیبری - اروپا می‌باشد. در برخی مواقع، ادغام این الگو و قرارگیری فرازی بلند در تراز میانی جو به دلیل استقرار سامانه بندالی بر روی پرفشارهای سطح زمین می‌باشد که سبب پایداری هوا بر روی منطقه و تقویت پرفشار محلی شده است. میزان تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و امگا بر روی بیشتر منطقه جریان‌ات نزولی هوا را نشان داده و در نتیجه شرط اصلی بارش یعنی عامل صعود در منطقه در زمان رخداد دوره‌های خشک فراهم نمی‌شود. در نتیجه توام بودن پرفشارهای سطح زمین با فرازهای میانه جو سبب تشدید پایداری هوا و ماندگاری این شرایط برای چندین روز متوالی مربوط به تشکیل الگوهای بندالی می‌باشد.

کلید واژگان: تحلیل خوشه‌ای، دوره‌های خشک روزانه، شمال غرب و غرب کشور، الگوهای بندالی، وردش‌های جوی

## مقدمه

خشکی و خشکسالی کمابیش یکی از ویژگی‌های اقلیمی و ذاتی بسیاری از مناطق ایران می‌باشد، به‌نحوی که سالانه خسارات جبران‌ناپذیری بر محیط‌زیست طبیعی، اجتماعی و اقتصادی مردم وارد می‌کند. بر همین اساس شناخت ویژگی‌های این مخاطره طبیعی همواره مورد توجه محققین بوده است. پدیده خشکسالی اثرات منفی بزرگی بر منابع آب و محیط‌های وابسته به این منابع می‌گذارد که عموماً در برخی سال‌ها خسارات جبران‌ناپذیری را سبب می‌گردد، این خسارات در مناطق خشک که از دیدگاه اقتصادی ساختار شکننده‌تری دارند، نمود بیشتری یافته و اثرات منفی ماندگاری را از جهات مختلف بر جای می‌گذارند (سامانه خشکسالی سازمان هواشناسی). تا به امروز مطالعات زیادی در زمینه بررسی ساختار جوی دوره‌های خشک بصورت روزانه انجام نگرفته و در بیشتر تحقیقات به بررسی الگوهای موثر در خشکسالی‌ها و ترسالی در مقیاس ماهانه و سالانه با استفاده از روش بارش استاندارد (SPI) پرداخته شده که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود. کاراجا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۰) در تحقیقی به بررسی تغییر مسیر سیکلون‌ها بر روی ترکیه پرداخته و نشان داده‌اند که سامانه‌های بندالی طی مدت فعالیت نقش مهمی را در ایجاد دوره‌های خشک این منطقه ایفا می‌کنند. تران<sup>۲</sup> و همکاران (2002) جهت تحلیل شرایط همدیدی حاکم بر خشکسالی‌های بلغارستان ۲۴ الگوی فصلی موثر در رخداد دوره‌های خشک و مرطوب را ارائه کرده‌اند. ۳ گِراردین و تاردیف (2006) تغییرات خشکسالی‌های تابستانه منطقه بوال کانادا را در ارتباط با گردش همدید مطالعه کرده و مشخص گردید که شرق بوال تحت نفوذ دو مولفه بزرگ مقیاس منطقه‌ای و نصف النهاری جو قرار دارد. ۴ هریرا و همکاران (۲۰۰۷) داده‌های جو بالا خشکسالی سال ۲۰۰۴-۲۰۰۵ بر روی شبه جزیره ایبری را مطالعه کرده و نشان داده‌اند که بندال عامل اصلی ایجاد خشکسالی در طول زمستان بر روی این منطقه بوده است. ۵ کاسترو و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای به بازسازی دوره‌های خشکسالی در نواحی مرکزی اسپانیا پرداخته و مشخص کرده‌اند که پرفشار آزور سبب حرکت و جابجایی کم فشار اطلس به طرف عرض‌های بالاتر شده و مانع از ورود این سامانه کم فشار به نواحی مرکزی اسپانیا شده و زمینه‌های رخ دادن خشکسالی را فراهم کرده است. ۶ پاری و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی توسعه زمانی - مکانی خشکسالی‌های بزرگ مقیاس اروپا با روش بارش استاندارد (SPI) پرداخته و نتیجه گرفتند که در دوره نخست قرارگیری سامانه پرفشار در سراسر اطلس شمالی و بندالی شدن آن در مسیر بادهای غربی سبب انحراف سامانه‌های بارش‌زا به جنوب مدیترانه شده و این حالت سبب رخداد خشکسالی در اروپا گردیده است. ۷ ریمکاس و همکاران (2014) به بررسی الگوهای جوی در لیتوانیا طی دوره ای ۲۰۱۰-۱۹۶۱ جهت شناسایی خشکسالی پرداخته و نتیجه گرفتند که میزان خشکسالی در منطقه بالتیک در ارتباط با الگوهای گردش جو می‌باشند. ۸ وندر لیندن و همکاران (۲۰۱۶)، به بررسی سینوپتیکی - دینامیکی خشکسالی

۱- Karaca

۲- Tran

۳- Girardin and Tardif

۴- Herrera

۵- Castro

۶- Parry

۷- Rimkns

۸- Van Der Linden

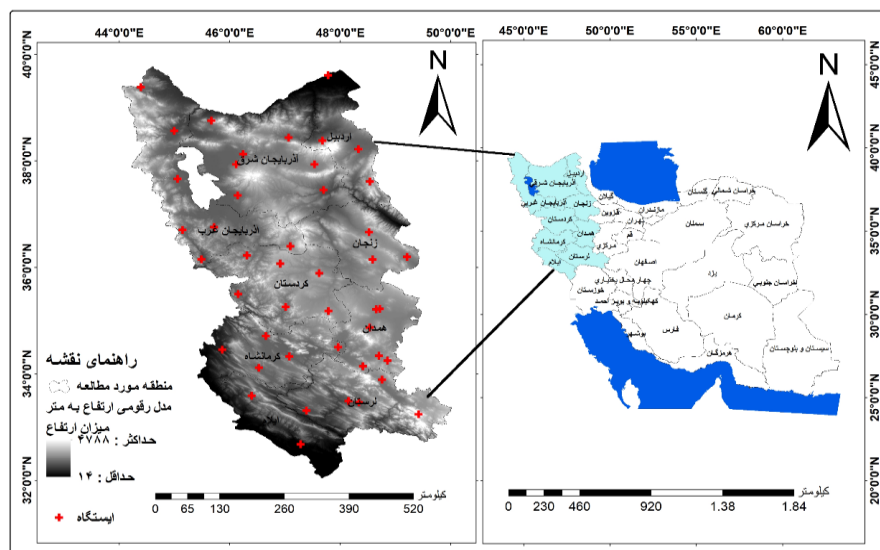
های زودهنگام در ارتفاعات مرکزی ویتنام پرداخته و بدین منظور از داده های ۹ ایستگاه سینوپتیکی طی دوره آماری ۲۰۰۷-۱۹۸۱ استفاده شده نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرپذیری زمانی و مکانی بارش ناشی از اثرات اروگرافیک در منطقه می باشد. اگیدی و همکاران (۲۰۱۸)، جهت مدلسازی فضایی خشکسالی های اتیوپی با استفاده از شاخص SPI از داده های بارش سالانه بین سال های ۲۰۱۵-۱۹۸۳ و روش وزن دهی معکوس (IDW) جهت تهیه نقشه ها استفاده شده. نتایج پژوهش حاکی از آن است که منطقه تحت تاثیر خشکسالی فاجعه بار قرار دارد و تغییرات بارندگی در برخی موارد بالای ۴۲ درصد بوده و هر ۲ الی ۳ سال یکبار احتمال وقوع خشکسالی های شدید تا خفیف وجود دارد. حسینی (۱۳۸۲) در مطالعه همدیدی دوره های خشک و تر بر روی استان آذربایجان شرقی به این نتیجه رسید که در زمان رخ دادن خشکسالی در اکثر روزها پرفشاری با فشار مرکزی ۱۰۲۰ هکتوپاسکال بر روی منطقه حاکم بوده و وجود پشته قوی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال سبب پایداری هوا و عدم بارش در منطقه شده است. معصوم پور (۱۳۸۴) در بررسی و تحلیل همدیدی وقوع خشکسالی های فراگیر در منطقه خزر به این نتیجه رسید که وجود بنادال بر روی منطقه و استقرار یک مرکز پارتفاع روی کوه های اورال بیش از هر عاملی دیگر در پیدایش خشکسالی های فراگیر موثر بوده است. صادقی و همکاران (۱۳۸۷) در مطالعه ی خشکسالی خراسان آشکار ساختند که الگوهای واچرخندی، بیشترین سهم را در خشکسالی های منطقه داشته و مشخص گردید که دوره های خشک ماهانه، ناشی از ادغام پرفشار جنب حاره آזור و پرفشار سیبری می باشد. یزدان پناه و حسن زاده (۱۳۸۸) با استفاده از روش زنجیره مارکف به تحلیل الگوهای گردشی موثر در فراگیرترین و طولانی ترین دوره خشک فرین ۱۵ روزه در منطقه خراسان پرداخته اند و مشخص گردید که بارزترین الگوی گردشی در پدید آمدن دوره های خشک فرین پرفشار مانع سیبری می باشد. خوش اخلاق و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از شاخص نمره Z و داده های ۲۰ ساله روزانه و ماهانه به بررسی و تحلیل همدید خشکسالی و ترسالی زمستانه در جنوب و غرب ایران پرداخته و مشخص گردید که جابجایی سالانه کمربند پرفشار جنب حاره بویژه پرفشار جنوب عربستان نقش مهمی در نوسان بارش زمستانه جنوب غرب کشور دارد. ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی تاثیر سامانه های بندالی جو بر وقوع و استمرار دوره های خشک غرب و شمال غرب ایران پرداخته. آن ها در این پژوهش جهت شناسایی دوره های خشک از شاخص بارش استاندارد شده استفاده کردند و نتیجه گرفتن که بندال های اسکاندیناوی و شمال اروپا در دوره های خشک شدید تاثیر بیش تری دارند. مفیدی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی الگوهای گردشی جو در طول دوره های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریا خزر پرداخته و نشان دادند که سامانه های شمال دریا سیاه نقش مهمی در پیدایش دوره های خشک و مرطوب بر روی سواحل جنوبی دریای خزر دارد. به طوری که در طول دوره مرطوب فعالیت واچرخندگی بر روی شمال دریای سیاه افزایش یافته و برعکس در دوره های خشک میزان این فعالیت واچرخندها در شمال دریای سیاه کاهش یافته و در مقابل فعالیت چرخندها در این منطقه افزایش یافته است. کیانیان و همکاران (۱۳۹۵)، در تحقیقی با استفاده از شاخص SPI و بارش سالانه ۱۷ ایستگاه در غرب ایران اقدام به شناسایی دوره های خشک و تر نموده سپس

ارتباط این دوره‌ها را با الگوهای سینوپتیکی جو مورد بررسی قرار داده‌اند که نتایج نشان داد که دو الگو برای دوره‌های خشک وجود دارد، ۱- الگو سامانه‌های بندالی ۲- الگوی پرفشار جنب حاره‌ای و برای دوره تر دو الگوی دریای مدیترانه و سرخ که در زمان تشکیل ناه عمیق بر روی آن‌ها شرایط را برای شروع دوره مرطوب فراهم می‌کند. کیانیان و همکاران (۱۳۹۷) از داده‌های بارش ۷ ایستگاه سینوپتیک و ۲۷ ایستگاه باران سنجی در سطح استان کرمان و با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) اقدام به شناسایی خشکسالی‌های استان سمنان و تحلیل دینامیکی و همدید موثر بر رخ داد این خشکسالی‌ها نمودند و نتایج نشان داد که واچرخندها در غالب چهار الگو در رخداد خشکسالی‌های منطقه اثر گذار بوده و ورود زبانه‌های از پرفشار سبیری به منطقه سبب گردیده که اغتشاش‌های جوی به حداقل برسد. با توجه به آنچه که بیان شده در زمینه بروز دوره‌های خشک روزانه و تحلیل همیدی آن‌ها تا به امروز تحقیقات چندانی صورت نگرفته و خلا پژوهشی در این زمینه سبب انتخاب این موضوع شده و در نتیجه هدف اصلی از این تحقیق شناسایی دوره‌های خشک روزانه و تحلیل همیدی آن‌ها می‌باشد و در این راستا اقدام به استخراج توالی‌های ۴ تا ۱۰ روزه خشک و طبقه‌بندی جوی آن‌ها و به بررسی نحوه برهمکنش الگوهای جوی پرداخته شده است.

## روش تحقیق

### معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اردبیل، زنجان، کردستان، کرمانشاه، ایلام، همدان و لرستان می‌باشد که در مطالعات اقلیمی ایران تحت عنوان نواحی شمال غربی و غرب خوانده می‌شود و مختصات تقریبی جغرافیایی آن ۴۴ تا ۵۰ درجه طول شرقی و ۳۲ تا ۴۰ درجه عرض شمالی می‌باشد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه همراه با ایستگاه‌های مطالعاتی و مدل رقومی ارتفاع ۹۰ متری منطقه را نشان می‌دهد.



شکل (۱). سیمای منطقه مورد مطالعه همراه با ایستگاه‌های مطالعاتی و مدل رقومی ارتفاع ۹۰ متری منطقه

## داده و روش کار

هدف اصلی این پژوهش واکاوی جوی در زمان رخ داد دوره های خشک روزانه می باشد لذا برای نیل به این هدف از داده های بارش روزانه ۴۵ ایستگاه در سطح منطقه طی سال های (۱۹۹۶-۲۰۱۵) میلادی استفاده شده و این داده ها از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردیده است جدول (۱). داده های جو بالا در مختصات ۱۰ درجه غربی تا ۱۲۰ درجه طول شرقی و صفر تا ۸۰ درجه عرض شمالی برای فشار تراز دریا به هکتوپاسکال، مولفه مداری و نصف النهاری باد به متر بر ثانیه، ارتفاع ژئوپتانسیل به متر که از پایگاه داده های جوی مرکز پیش یابی اقلیم وابسته به اداره جوی و اقیانوس شناسی ایالات متحده برداشته شده است. در این پژوهش به منظور بررسی همدید دوره های خشک روزانه از رویکرد محیطی به گردشی استفاده شده است. دلیل انتخاب این رویکرد این است که تغییرات زمانی و مکانی بارش بسیار شدیدتر از سایر متغیرهای اقلیمی است در نتیجه رویکرد گردشی به محیطی اغلب در تبیین ریزش های جوی موفق نمی شود. در واقع انتخاب این رویکرد به محقق امکان می دهد تا تنها بر روی بارش و در نتیجه تیپ های همدید متمرکز شود که با پدیده بارش در ارتباط هستند، این روش برای پیدا کردن عوامل موثر بر سیلاب ها و خشکسالی ها سودمند است (مسعودیان، ۱۳۸۵: ۵۱). در این حداقل در ۳۰ ایستگاه هیچگونه بارشی رخ نداده باشد اقدام به شناسایی و استخراج دوره های خشک با توالی های ۴ تا ۱۰ روزه شده است. به طور مثال منظور از یک توالی ۱۰ روزه این می باشد که حداقل در ۳۰ ایستگاه طی ۱۰ روز متوالی هیچ گونه بارشی ثبت نشده باشد تا بعنوان یک توالی ۱۰ روزه خشک شناسایی شود.

جدول (۱). ویژگی های ایستگاه های مورد مطالعه

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
زنجان	۳۳.۶۶	۴۸.۵۲	همدان	۳۴.۸۷	۴۸.۵۳
خرمدره	۳۶.۲۰	۴۹.۲۱	کبودر آهنگ	۳۵.۲۲	۴۸.۷۲
خدابنده	۳۶.۱۴	۴۸.۵۹	ملایر	۳۴.۲۵	۴۸.۸۶
جلفا	۳۸.۷۵	۴۵.۶۷	نهایند	۳۴.۱۴	۴۸.۴۱
اهر	۳۸.۴۳	۴۷.۰۷	بیجار	۳۵.۸۹	۴۷.۶۲
تبریز	۳۸.۱۲	۴۶.۲۴	بروجرد	۳۳.۸۹	۴۸.۷۶
سهند	۳۷.۹۳	۴۶.۱۲	اسلام آباد غرب	۳۴.۱۱	۴۶.۵۳
سراب	۳۷.۹۳	۴۷.۵۳	گناباد	۳۴.۳۴	۴۸.۷۰
مراغه	۳۷.۳۵	۴۶.۱۵	همدان نوژه	۳۵.۲۱	۴۸.۶۵
میانه	۳۷.۴۵	۴۷.۷۰	کنگاور	۳۴.۵۰	۴۷.۹۶
ایلام	۳۳.۵۹	۴۶.۴۰	کرمانشاه	۳۴.۳۳	۴۷.۰۸
دهلران	۳۲.۶۸	۴۷.۲۸	خرم آباد	۳۳.۴۶	۴۸.۳۴
پارس آباد	۳۹.۶۰	۴۷.۷۸	مریوان	۳۵.۵۰	۴۶.۱۵
مشکین شهر	۳۸.۳۸	۴۷.۶۸	قروه	۳۵.۱۸	۴۷.۷۹
اردبیل	۳۸.۲۲	۴۸.۳۳	روانسر	۳۴.۷۱	۴۶.۶۵

خلخال	۳۷.۶۱	۴۸.۵۴	سقز	۳۶.۲۲	۴۶.۳۱
ماکو	۳۹.۳۸	۴۴.۳۹	سنندج	۳۵.۲۵	۴۷.۰۱
خوی	۳۸.۵۶	۴۵.۰۰	سرپل ذهاب	۳۴.۴۵	۴۵.۸۶
ارومیه	۳۷.۶۶	۴۵.۰۶	زرینه	۳۶.۰۷	۴۶.۹۲
پیرانشهر	۳۶.۷۰	۴۵.۱۵	الشتَر	۳۳.۴۹	۴۸.۱۵
سردشت	۳۶.۱۵	۴۵.۴۹	الیگودرز	۳۳.۲۴	۴۹.۴۲
مهاباد	۳۶.۷۵	۴۵.۷۲	کوهدشت	۳۳.۳۱	۴۷.۳۹
نکاب	۳۶.۴۰	۴۷.۱۰			

آستانه تشخیص روزهای بارشی از غیر بارشی به این صورت می‌باشد که روزهای با بارش بیشتر از صفر بعنوان یک روز بارشی و صفر میلیمتر به عنوان روز بدون بارش تعیین شده است. سپس به منظور تحلیل الگوهای سینوپتیکی پس از شناسایی توالی‌های ۴ تا ۱۰ روزه خشک با استفاده از امکانات برنامه نویسی گرس اقدام به استخراج داده‌های فشار تراز دریا برای هر یک از دوره‌ها خشک شده و در گام بعد با هدف انجام طبقه‌بندی بر روی داده‌های فشار تراز دریا تحلیل خوشه‌ای مورد توجه قرار گرفت. بعد از انجام طبقه‌بندی بر روی داده‌های فشار تراز دریا، محل مناسب برای برش و تعیین روزهای نماینده مشخص گردیده و بدین منظور همبستگی بین نقشه‌های مختلف هر طبقه با ضریب ۰/۵ محاسبه شده و جهت تحلیل سینوپتیکی اقدام به تهیه نقشه فشار تراز دریا، تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و امگاء شده است.

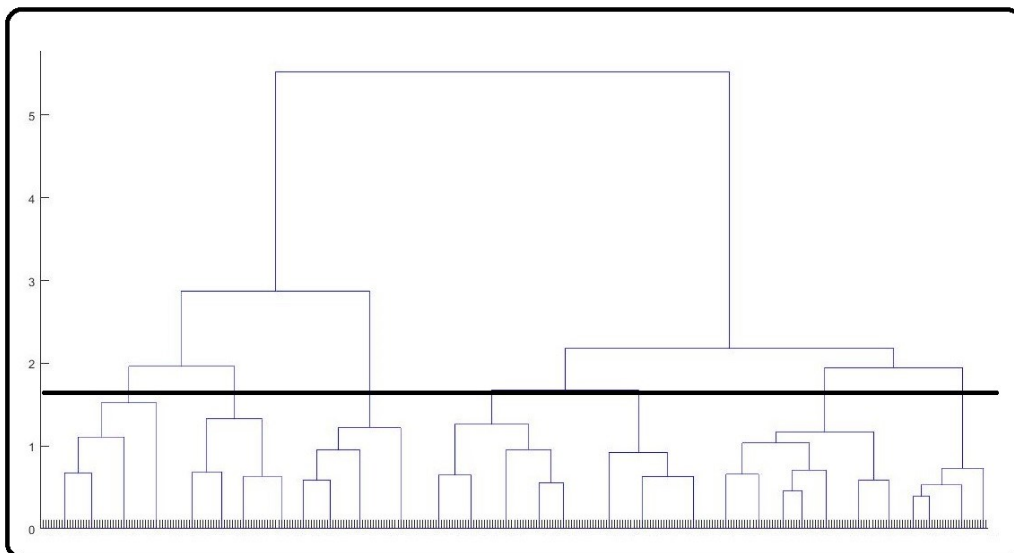
### نتایج

پس از تعریف کدهای صفر (بارش) و یک (عدم بارش) بر روی داده‌های بارش روزانه ۲۰ ساله با برقرار بودن شرط اصلی اقدام به استخراج دوره‌های خشکی ۴ تا ۱۰ روزه شده که نتایج آن در جدول (۲) آمده است.

جدول (۲). فراوانی وقوع دوره‌های خشک روزانه ۴ تا ۱۰ روزه

توالی‌ها خشکی	روزه ۴	روزه ۵	روزه ۶	روزه ۷	روزه ۸	روزه ۹	روزه ۱۰
فراوانی	۳۴۹	۲۸۶	۲۳۱	۱۸۸	۱۵۹	۱۳۶	۱۱۵

تحلیل خوشه‌ای با فواصل اقلیدسی به روش ادغام وارد برای توالی ۴ روزه خشک بر روی ماتریسی به ابعاد (۳۴۹×۱۷۴۹) اعمال شده و پنج گروه برای توالی ۴ روزه پذیرفته شد شکل (۲). نقشه‌های فشار تراز دریا برای هر گروه در سطح همبستگی ۰/۵ تهیه و ترسیم گردید و نتایج آن برای توالی ۴ روزه در جدول (۳) آمده است. در این پژوهش به دلیل محدودیت در تعداد صفحات مقاله فقط به تحلیل همبستگی و بررسی توالی ۴ روزه خشک پرداخته می‌شود. در قسمت مربوط به بررسی وردش‌های جوی توالی خشک ۴ روزه مشخص گردید که با گرفتن میانگین ۴ روزه برای هر دوره خشک تغییر محسوس و قابل توجه‌ای در نقشه‌ها نسبت به میانگین روزهای خشک دیده نمی‌شود در نتیجه به طور مثال جهت تحلیل همبستگی یک دوره خشک ۴ روزه به جای نمایش ۴ روزه فشار تراز دریا از میانگین ۴ روزه استفاده شده است.



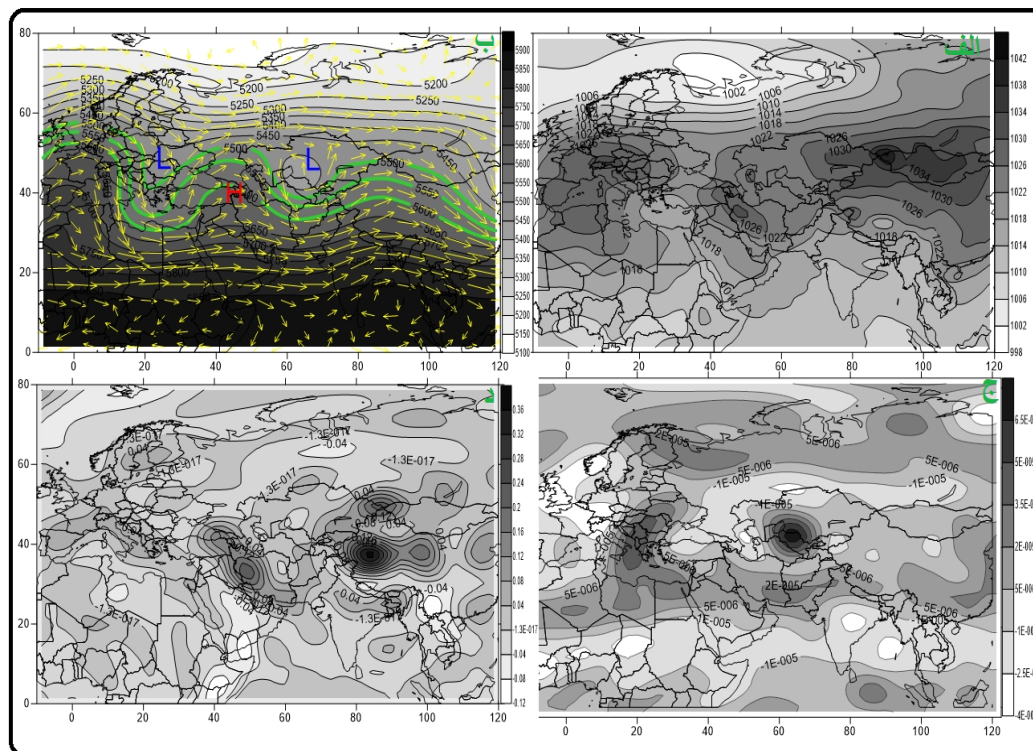
شکل (۲). دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد بر روی داده‌های فشار تراز دریا توالی ۴ روزه خشکی

جدول (۳). مشخصات روزهای نماینده برای گروه‌های ۵ گانه توالی ۴ روز خشک

گروه	نام گروه	ضریب همبستگی لوند	تاریخ روزهای نماینده	
			شمسی	میلادی
گروه اول	ادغام پرفشار سیبری-پر فشار مرکز اروپا و تقویت پرفشار محلی	۰/۹۴	۱۳۸۳/۱۰/۲۴	۲۰۰۵/۱/۱۳
			۱۳۸۳/۱۰/۲۷	۲۰۰۵/۱/۱۶
گروه دوم	گسترش مداری پرفشار سیبری و تقابل با کم‌فشار ایسلند	۰/۹۷	۱۳۷۶/۱۰/۲۵	۱۹۹۸/۱/۱۵
			۱۳۷۶/۱۰/۲۸	۱۹۹۸/۱/۱۸
گروه سوم	ادغام پرفشار سیبری - پرفشار جنوب اروپا و گسترش شرقی پرفشار اروپا	۰/۹۷	۱۳۷۵/۱۱/۲۱	۱۹۹۷/۲/۷
			۱۳۷۵/۱۱/۲۴	۱۹۹۷/۲/۱۰
گروه چهارم	گسترش مداری پرفشار سیبری	۰/۹۷	۱۳۸۴/۹/۱۵	۲۰۰۵/۱۲/۶
			۱۳۸۴/۹/۱۸	۲۰۰۵/۱۲/۹
گروه پنجم	ادغام کم‌فشار پاکستان و عربستان	۰/۹۶	۱۳۷۷/۵/۳	۱۹۹۸/۷/۲۵
			۱۳۷۷/۵/۶	۱۹۹۸/۷/۲۸

#### الگوی اول) ادغام پرفشار سیبری-پر فشار مرکز اروپا و تقویت پرفشار محلی

همان‌گونه که در شکل (۳ الف) دیده می‌شود در هنگام رخداد الگوی اول ۳ مرکز فشار فعال می‌باشد. کم‌فشار جنب قطبی با هسته مرکزی ۱۰۱۲ هکتوپاسکال بر روی نواحی شمالی و شمال غربی روسیه گسترش یافته و با حرکت به طرف شرق سبب جابجایی پرفشار سیبری به سمت جنوب شده است.



شکل (۳). الف) میانگین چهار روزه فشار تراز دریا به هکتوپاسکال، ب) میانگین چهار روزه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و جهت جریان باد، ج) توزیع فضایی تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، د) توزیع فضایی سرعت قائم هوا (امگا) برای روزهای نماینده اول

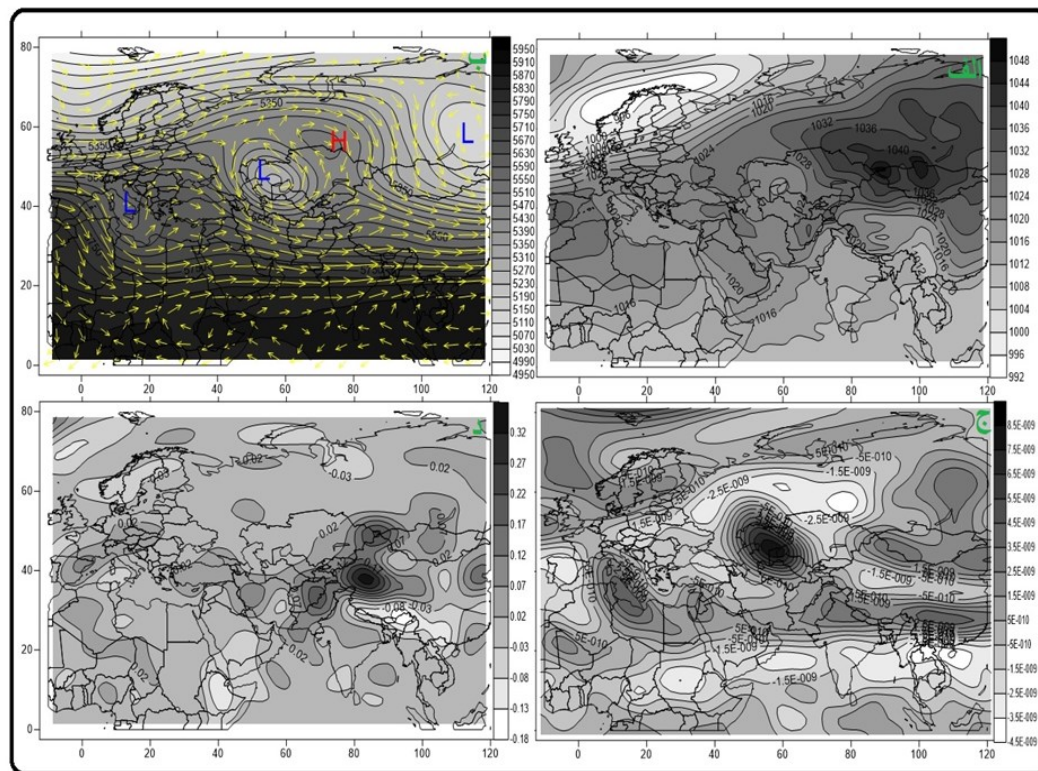
در این زمان پرفشار سیبری دارای چندین هسته بسته بوده که بیشترین فشار مربوط به هسته‌ای است که بر روی غرب مغولستان و شرق قزاقستان با فشار مرکزی ۱۰۴۲ هکتوپاسکال مستقر شده است. پرفشار سیبری در هنگام جابجایی بر روی قزاقستان از حالت مداری خارج شده و به صورت نصف‌النهاری درآمد است. به طوری که زبانه‌ای از آن با فشار ۱۰۲۲ هکتوپاسکال از سمت نوار شمالی و شرقی وارد ایران شده است. زبانه ۱۰۱۸ هکتوپاسکال پرفشار سیبری با پرفشار مرکز اروپا ادغام شده و سبب به وجود آمدن کمربند پرفشاری شده که از ۱۰ درجه غربی تا ۱۲۰ درجه شرقی گسترده شده است. پرفشار اروپا دارای فشار مرکزی ۱۰۳۰ هکتوپاسکال و ضعیف‌تر از پرفشار سیبری بوده بنابراین نسبت به پرفشار سیبری تأثیر کمتری بر روی ایران داشته است. گسترش پرفشار سیبری بر روی ایران سبب تقویت و گسترش پرفشار محلی در ناحیه شمال غرب و غرب ایران شده است. این پرفشار دارای دو هسته بسته می‌باشد که یکی بر روی شمال غرب کشور و دیگری هم بر روی غرب قرار گرفته، فشار مرکزی این دو هسته بسته ۱۰۳۰ هکتوپاسکال می‌باشد. حاکمیت زبانه پرفشار سیبری و پرفشار محلی در تراز دریا سبب ایجاد هوای سرد آرام و بدون بارش در منطقه شمال غرب و غرب کشور شده است. در این الگو بیشترین تأثیر بر روی منطقه مورد مطالعه مربوط به زبانه پرفشار سیبری بوده که باعث افزایش حرکات و اچرخندگی و تقویت پرفشار محلی شده است. بررسی شکل (۳) نشان می‌دهد که سامانه



بندال امگا در غرب ایران مستقر شده است. پر ارتفاع قوی این بندال بر روی شمال، شمال غرب و غرب ایران واقع شده است. این پشته بقدری قوی است که تا آسیای مرکزی کشیده شده است، این نوع بندال دارای دو بازوی کم ارتفاع در طرف جنوب شرق و جنوب غرب پشته خود می‌باشد، بازوی کم ارتفاعی که در جنوب غرب پشته واقع شده بر روی مدیترانه و قسمت‌هایی از اروپا و دیگری هم که در جنوب شرق پشته قرار دارد سبب تشکیل سرد چالی روی ازبکستان و نواحی مرکزی قزاقستان شده است، جریانات غربی که حاوی رطوبت می‌باشد قبل از ورود به ایران به سمت عرض‌های بالا تغییر مسیر داده و وارد ایران نشده است. جریان هوا بر روی شمال غرب ایران حالت مداری دارد. در این دوره به دلیل حاکمیت پر ارتفاع یا همان مرکز بندال امگایی بر روی منطقه مورد مطالعه و با توجه به اینکه این بندال در دوره سرد سال رخ داده است بنابراین جو حاکم بر منطقه جوی آرام با هوای خشک و سردتر از حالت معمول است. با توجه به شکل (۳ ج) تاوایی مثبت و منفی به ترتیب منطبق بر مراکز کم ارتفاع و پر ارتفاع می‌باشند. سرد چالی که بر روی ازبکستان و قزاقستان تشکیل شده دارای بیشترین مقدار تاوایی مثبت و پر ارتفاعی که بر روی جنوب اروپا و سیبری تشکیل شده دارای بیشترین تاوایی منفی می‌باشند. به علت نفوذ زبانه پرفشار سیبری و حاکمیت پرفشار محلی در تراز تحتانی و وجود فراز قوی بر روی منطقه مقدار تاوایی در شمال و شمال غرب ایران منفی بوده و جریان باد در این منطقه حالت مداری دارد و با توجه به این ویژگی‌ها منطقه مورد مطالعه دارای جوی آرام و پایدار بوده و به علت ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی در این منطقه امکان کاهش دما وجود دارد. مقدار امگا بر روی غرب و شمال غرب منطقه ارقام مثبت را نشان می‌دهد و دال بر نزولی بودن جریان هوا دارد (شکل ۳ د).

#### الگوی دوم) گسترش مداری پرفشار سیبری و تقابل با کم‌فشار ایسلند

در این الگو هسته مرکزی پرفشار سیبری با فشار ۱۰۴۸ هکتوپاسکال بر روی مناطق مرزی مغولستان و قزاقستان قرار دارد. زبانه‌های این پرفشار با حرکت به سمت غرب تا قسمت‌های مرکزی و شمالی روسیه کشیده شده است. در این زمان کم‌فشار جنب قطبی با فشار ۹۹۲ هکتوپاسکال با حرکت به سمت شرق با پرفشار سیبری در نواحی غربی روسیه برخورد کرده و مانع گسترش این پرفشار شده است.

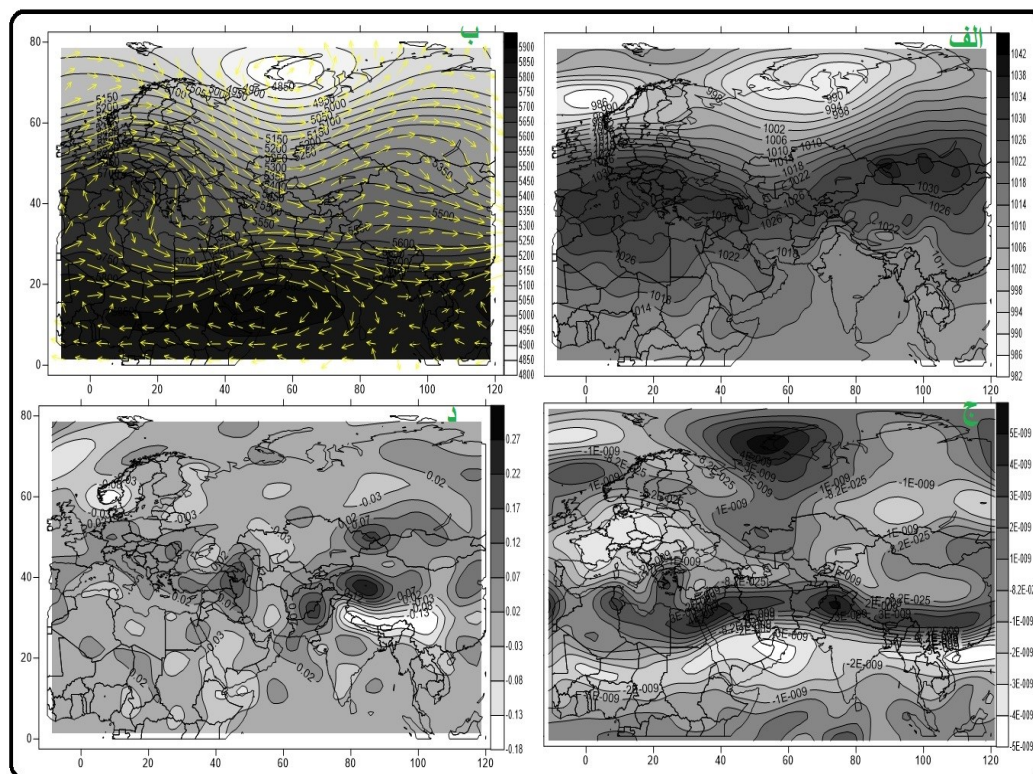


شکل (۴). الف) میانگین چهار روزه فشار تراز دریا به هکتوپاسکال، ب) میانگین چهار روزه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و جهت جریان باد، ج) توزیع فضایی تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، د) توزیع فضایی سرعت قائم هوا (امگا) برای روزهای نماینده دوم

زبانه‌های پرفشار سیبری در برخورد با کم فشار قطبی به طرف عرض‌های پایین منحرف شده به طوری که کشورهای آسیای مرکزی و قسمت‌های شمالی، غرب و شرق ایران تحت تأثیر این زبانه پرفشار قرار گرفته است. در همین زمان منطقه غرب و شمال غرب کشور تحت تأثیر زبانه ۱۰۲۴ هکتوپاسکال سیبری قرار دارد این زبانه بدون عبور از روی دریای خزر از سمت شمال غرب وارد کشور شده است. در این الگو بیشترین تأثیر بر روی منطقه مورد مطالعه مربوط به زبانه‌های پرفشار سیبری می‌باشد شکل (۴ الف). در این الگو سامانه بندال از نوع دو قطبی تشکیل شده که هسته کم ارتفاع آن بر روی جنوب قزاقستان و دریاچه آرال قرار دارد و سلول پر ارتفاع آن نیز بر روی مرز روسیه و قزاقستان با فشار ۵۴۷۰ ژئوپتانسیل متر واقع شده است. جریانات غربی در برخورد با الگوی مانع به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم شده شاخه جنوبی پس از عبور از روی شرق دریای سیاه و کشورهای همسایه آن از سمت غرب و شمال غرب وارد منطقه مورد مطالعه شده است. با توجه به حرکت سیکلونی سرد چال و انتقال جریان هوا به سمت عرض‌های پایین و عدم عبور از روی یک منبع رطوبتی در نتیجه هوای سرد، خشک و فاقد رطوبت وارد منطقه شمال غرب و غرب ایران گردیده و باعث ایجاد یک جو آرام - خشک و سردتر از حالت عادی شده است. کم ارتفاعی که به واسطه وجود پرفشار سیبری در تراز تحتانی

جو در شرق روسیه تشکیل شده باعث ایجاد یک سرد چالی بسیار بزرگ گردیده و زمینه تشدید و ماندگاری الگوی بندالی شده است شکل (۴ ب). به ترتیب میزان تلاویی و سرعت قائم بر روی منطقه مورد مطالعه ارقام منفی و مثبت را نشان می‌دهد این ارقام نشان دهنده نزولی بودن جریان هوا دارد که زمینه جو ساکن و آرام را فراهم نموده است شکل (۴ ج، ب). وجود الگوهای مانع سبب ماندگاری این شرایط برای چند روز شده است.

**الگوی سوم) ادغام پرفشار سیبری - پرفشار جنوب اروپا و گسترش شرقی پرفشار اروپا**  
در این الگو کم‌فشار ایسلند و قطبی با حرکت مداری خود باعث ایجاد کمربند کم‌فشاری شده‌اند. زبانه‌های پرفشار اروپا و سیبری در حرکت مداری خود بر روی آسیا مرکزی و شرق اروپا تحت تاثیر کمربند کم‌فشار یاد شده قرار گرفته و زبانه‌ای از آن‌ها به طرف‌عرض‌های پایین منحرف شده به طوری که زبانه‌های آن‌ها با یکدیگر ادغام شده و هسته مرکزی پرفشار اروپا با فشار ۱۰۳۰ هکتوپاسکال با حرکت مداری (شرقی خود) بر روی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. در این الگو در تراز دریا نقش پرفشار اروپا نسبت به سایر مراکز فشار بسیار بارزتر می‌باشد شکل (۵ الف). در تراز میانی جو جریانات غربی در برخورد با فراز بلندی که بر روی غرب مدیترانه قرار گرفته به سمت بالا کشیده شده و همین جریانات تحت تاثیر سردچاله بزرگ و قوی شمال روسیه قرار گرفته و به سمت عرض‌های پایین منحرف شده است. فلش‌های زرد رنگ جریان باد و جریانات غربی به خوبی ریزش هوای عرض‌های بالا به طرف عرض‌های پایین را نشان داده و این جریانات پس از عبور از روی اروپا شرقی و کشورهای شمال غربی ایران وارد منطقه مورد مطالعه شده است شکل (۵ ب). مقدار تلاویی بر روی منطقه مورد مطالعه منفی بوده و این خود گواهی بر عدم صعود و رخدادن بارش می‌باشد شکل (۵ ج). مقادیر مثبت سرعت قائم هوا که دال بر نزولی بودن جریان هوا دارد را نشان می‌دهد شکل (۵ د). با توجه به این موضوع می‌توان گفت یکی از شرایط اصلی بارش یعنی عامل صعود در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد.

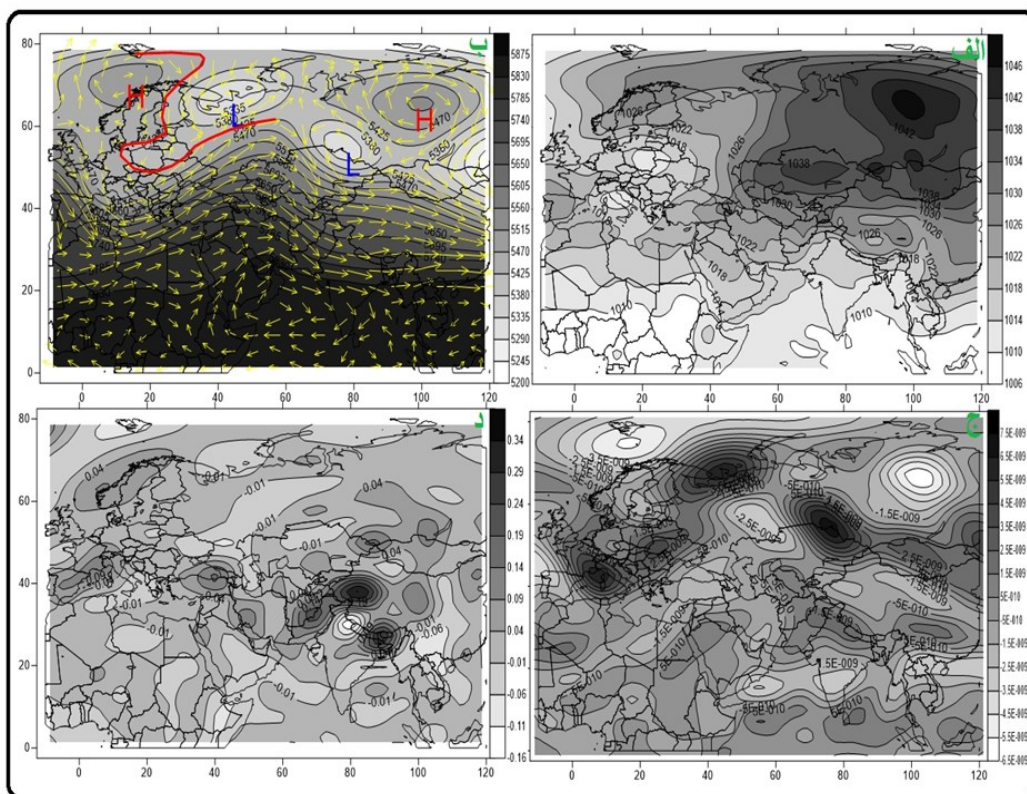


شکل (۵). الف) میانگین چهار روزه فشار تراز دریا به هکتوپاسکال، ب) میانگین چهار روزه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و جهت جریان باد، ج) توزیع فضایی تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، د) توزیع فضایی سرعت قائم هوا (امگا) برای روزهای نماینده سوم

#### الگوی چهارم) گسترش مداری پرفشار سیبری

پرفشار قوی سیبری با فشار مرکزی ۱۰۴۶ هکتوپاسکال بر روی شرق روسیه فعال بوده و چندین مرکز بسته بر روی مرز روسیه و مغولستان می‌باشد. در این الگو پرفشار سیبری آزادانه عمل کرده و بیشتر در راستای غربی گسترش پیدا کرده است. زبانه پرفشار با گسترش به سمت غرب بخش‌هایی از قاره آسیا، شرق اروپا و خاورمیانه را در بر گرفته است. دو مرکز کم‌فشار یکی بر روی ایتالیا و دیگری بر روی لهستان و چک با فشار یکسان ۱۰۱۰ هکتوپاسکال وجود دارد که مانع گسترش پرفشار سیبری به سمت اروپا مرکزی و ادغام آن با پرفشار اروپا شده و همین امر سبب خارج شدن زبانه پرفشار سیبری از حالت مداری به صورت نصف‌النهاری شده است. زبانه‌های این پرفشار با فشار ۱۰۲۲ و ۱۰۲۶ هکتوپاسکال از سمت شرق و شمال غرب وارد ایران بخصوص منطقه مورد مطالعه شده و سبب ریزش هوای سرد به داخل ایران شده است (شکل ۶ الف).





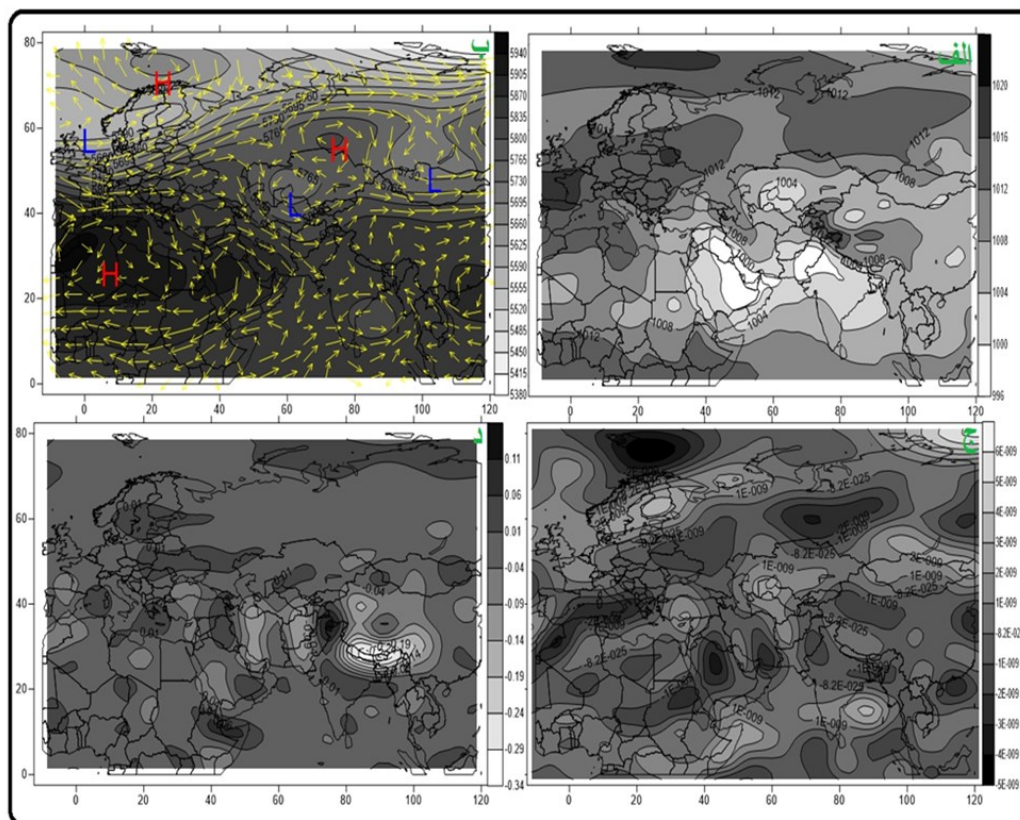
شکل (۶). الف) میانگین چهار روزه فشار تراز دریا به هکتوپاسکال، ب) میانگین چهار روزه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و جهت جریان باد، ج) توزیع فضایی تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، د) توزیع فضایی سرعت قائم هوا (امگا) برای روزهای نماینده چهارم

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال دو نوع بندال از نوع رگس و دوقطبی وجود دارد. بندال رگس بر روی کشورهای حوزه اسکاندیناوی و بندال قطبی بر روی شرق روسیه قرار دارد. جریانات مداری پس از رسیدن به این ساختار، منحرف شده و بخش عظیم آن به صورت نصف النهاری درآمده‌اند و سبب ایجاد ناوهای قوی بر روی اروپا شده محور این ناوه با ریزش هوای سرد عرض‌های بالا تقویت شده و تا نواحی شمالی آفریقا گسترش یافته است. با توجه به قرارگیری پرفشار جنب حاره بر روی آفریقا جریانات غربی به سمت بالا حرکت کرده و سبب ایجاد پشته قوی گردیده و کل ایران تحت حاکمیت این پشته قوی قرار گرفته است. سامانه‌های بندالی در این الگو به‌عنوان یک پدیده مانع عمل کرده‌اند و سبب تداوم و حاکمیت خشکی بر روی منطقه مورد مطالعه شده‌اند. همان‌گونه که از جهت پیکان‌های باد مشخص است، جهت باد بر روی منطقه مورد مطالعه حالت مداری داشته و دلیلی بر آرام بودن جو در این مناطق می‌باشد شکل (۶) ب). میزان تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی منطقه نزولی بودن شدید هوا را نشان می‌دهد. در این زمان بر روی کل ایران میزان تاوایی منفی بوده و بر روی منطقه

مورد مطالعه بیشینه تاوایی منفی رخ داده است شکل (۶ج). ارقام مثبت امگا بر روی منطقه نشان دهنده نزولی بوده هوا است. بنابراین با توجه میزان تاوایی و امگا رخ داده در منطقه مورد مطالعه نزولی بودن جریان هوا کاملا مشهود است شکل (۶د).

#### الگوی پنجم) ادغام کم فشار حرارتی پاکستان-عربستان

در این الگو که یک الگو تابستان می باشد سه مرکز فشار فعال وجود دارد. کم فشار حرارتی پاکستان با فشار ۹۹۶ هکتوپاسکال دارای حرکت مداری و نصف النهاری بوده به طوری که زبانه های آن با کم فشار حرارتی عربستان با فشار مرکزی ۹۹۶ هکتوپاسکال ادغام شده و باعث تشکیل کمربند کم فشاری شده است. زبانه هایی از این کم فشار حرارتی با فشارهای ۱۰۰۰ و ۱۰۰۴ هکتوپاسکال بر روی ایران مستقر شده و زمینه ناپایداری در تراز تحتانی را بر روی قسمت هایی از ایران فراهم آورده است. سلول بسته کم فشاری با فشار ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بر روی دریاچه آرال ازبکستان تشکیل شده و با حرکت سیکلونی خود باعث انتقال رطوبت دریای خزر به داخل ایران شده است. در همین زمان مرکز پرفشار با فشار ۱۰۱۶ هکتوپاسکال بر روی غرب اروپا قرار گرفته و زبانه های از این پرفشار ضعیف با حرکت مداری در پربند ۱۰۰۸ هکتوپاسکال از سمت شمال غرب وارد ایران شده و اقلیم منطقه مورد مطالعه را تحت تاثیر قرار داده است. در تراز دریا بیشترین تاثیر بر روی اقلیم ایران مربوط به زبانه های پرفشار اروپا می باشد شکل (۷ الف). میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می دهد که در هنگام رخداد الگو پنجم دو الگوی بندال دوقطبی یکی بر روی روسیه - قزاقستان و دیگری هم بر روی کشورهای اسکاندیناوی وجود دارد. در همین زمان از عرض شمالی ۰ تا تقریباً ۴۰ درجه شمالی و ۱۰ درجه طول غربی تا ۱۲۰ درجه طول شرقی تحت استیلای و حاکمیت پرفشار جنب حاره می باشد مرکز بسته این پراتفعا با فشار ۵۹۴۰ هکتوپاسکال بر روی مغرب و الجزیره قرار دارد. جریانات غربی در برخورد با بندال اسکاندیناوی به طرف عرض های پایین منحرف شده و در عرض های پایین به سبب وجود پرفشار جنب حاره به طرف بالا کشیده شده است این امر سبب ایجاد پشته ای بر روی نواحی شمالی ایران در پربندهای ۵۸۰۰ و ۵۸۳۵ هکتوپاسکال شده و به سبب وجود الگوی مانع روسیه - قزاقستان حرکت جریانات غربی بخصوص پشته بسیار کند شده و سبب تداوم و ماندگاری این جریان برای چند روز شده است. جهت جریان هوا بخوبی نشان می دهد که پرفشار جنب حاره سبب حرکت هوای گرم عرض های پایین از روی صحرائی عربستان و عراق به سمت غرب کشور شده است. جریان غربی در برخورد با الگوی مانع روسیه - قزاقستان به دو شاخه شمالی و جنوبی تقسیم شده و شاخه جنوبی پس از عبور از روی همسایگان شمال غربی که فاقد منبع رطوبتی می باشد وارد شمال غرب کشور شده است شکل (۷ ب). میزان تاوایی بر روی غرب و شمال غرب کشور عدد ۱- را نشان می دهد که نشان دهنده وجود جوی آرام می باشد. نقشه سرعت قائم هوا نشان می دهد که در بیش تر منطقه مورد مطالعه سرعت هوا پایین (نزولی) بوده و صعودی صورت نگرفته است. بر روی نواحی مرکزی ایران از مرز شمالی تا جنوبی حرکت بالا سو (صعودی) صورت گرفته است شکل (۷ ج، د).



شکل (۶): الف) میانگین چهار روزه فشار تراز دریا به هکتوپاسکال، ب) میانگین چهار روزه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و جهت جریان باد، ج) توزیع فضایی تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، د) توزیع فضایی سرعت قائم هوا (امگا) برای روزهای نماینده پنجم

### نتیجه گیری

در طی چندین دهه گذشته آسیب ها و اثرات اقتصادی بلایای جوی و اقلیمی بویژه خشکسالی در جهان و ایران با سرعت زیادی رو به افزایش بوده و همچنان ادامه دارد. دامنه این بلایا و ارتباط جهانی ما تا نقطه ای رشد کرده که در آن بلایا ممکن است پیامدهای منطقه ای، ملی و حتی پیامدهای جهانی داشته باشد. نتایج تحقیقات نشان می دهد که جوامع جهانی و ایران نسبت به قبل در برابر بلایای جوی و اقلیمی بویژه خشکسالی حساس تر شده اند (حجازی زاده و جوی زاده، ۱۳۹۸: ۲۵۲). دوره خشک از جمله پدیده های هستند که در هر اقلیمی رخ می دهد و آثار زیادی با توجه به سطح توسعه آن ایجاد می شود که تعیین درجه شدت، زمان وقوع و خاتمه آن ها کاری مشکل است (یزدان پناه و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۰). نتایج حاصل از تحلیل جوی بر روی دوره های روزانه خشک بیانگر این موضوع بود، که در تراز دریا در تمامی الگوها با گسترش مداری و نصف النهاری پرفشار سبیری \_ پرفشار اروپا و در بعضی مواقع ادغام این دو پرفشار با یکدیگر سبب استقرار مراکز پرفشار بر

روی منطقه شده، این سامانه‌ها که ماهیتا دارای شرایط پایدار در اتمسفر می‌باشند سبب شکل‌گیری وضعیت باروتروپیک در ترازهای زیرین جو شده و همین امر سبب افزایش حرکت چرخندگی و تقویت مراکز پرفشار محلی بر روی منطقه مورد نظر شده است. ماندگاری حالت خشکی برای چند روز متوالی مربوط به الگوهای بندالی از نوع امگا، دو قطبی و بندال رکس می‌باشد که موقعیت مکانی آن‌ها با کمی تغییر بر روی روسیه - قزاقستان و کشورهای اسکاندیناوی می‌باشد. در هنگام وقوع بلاکینگ جریانات غربی که در حالت طبیعی از غرب به شرق در حال حرکت هستند، از مسیر اصلی خود منحرف شده و اقلیم مناطقی که می‌بایستی از روی آن عبور کرده را متاثر می‌کند. برای مناطق واقع در پشته، خشکی و گرما و برای ناحیه ناوه، ناپایداری، سرما و بارش را به ارمغان می‌آورد. بر روی منطقه مورد مطالعه در هنگام بروز دوره‌های خشک فراز بلند تشکیل شده و جریانات غربی پس از عبور از روی مناطق فاقد منبع رطوبتی وارد منطقه مورد مطالعه شده است. میزان تاوایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بخوبی تاثیر تاوایی را بر روی اقلیم منطقه را نشان داده بطوری که بیشتر مناطق در هنگام رخ داد دوره‌های خشک ارقام منفی که دال بر نزوایی بود جریانات را دارد نشان داده و میزان امگا هم نشان داد که جریانات هوا در دوره‌های ذکر شده حالت نزولی داشته و ارقام مثبت بیانگر این موضوع می‌باشد. یزدان پناه و همکاران (۱۳۸۸) بارزترین الگوی گردشی در پدید آمدن دوره های خشک فرین در استان خراسان مربوط به گسترش پرفشار سبیری بر روی منطقه بوده که همانند سدی مانع پیشروی جریانات غربی و سامانه های بارشی شده است. کیانیان و همکاران (۱۳۹۷) استقرار یک فراز قوی بر روی منطقه مورد مطالعه (سمنان) همراه با تاوایی منفی، نزول دینامیکی شدید هوا، و قرارگیری استان در زیر چرخندگی منفی و وارد شدن زبانه هایی از پرفشار سبیری به ایران را عامل اصلی وقوع خشکسالی ها در استان سمنان دانسته در نهایت می‌توان این گونه استنباط کرد نقش پدیده‌های بلوگینگ در سطوح میانی و فوقانی جو در تشدید و استمرار دوره های خشک از اهمیت خاصی برخوردار است و این امر زمانی شدت بیشتری پیدا می‌کند که در سطح زمین با مراکز پرفشار همراه باشد.

## منابع

- حجازی زاده، زهرا؛ جوی زاده، سعید (۱۳۹۸). تحلیل آمار فضایی خشکسالی در ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۹ (۵۳): ۲۷۷-۲۵۱.
- حسینی، حمید (۱۳۸۲). تحلیل سینوپتیکی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها استان آذربایجان شرقی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه خوارزمی.
- خوش اخلاق، فرامرز، عزیز، قاسم، رحیمی، مجتبی (۱۳۹۰). الگوهای همدید خشکسالی و ترسالی زمستانه در جنوب غرب ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۲ (۲۵): ۷۷-۵۷.
- ذوالفقاری، حسن؛ معصوم پور سماکوش، جعفر؛ ناصر خانی، رشیدی؛ میری، مرتضی (۱۳۹۱). تاثیر سامانه‌های بندالی جو بر وقوع و استقرار دوره‌های خشک غرب و شمال غرب ایران، مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۳ (۹): ۱۱۹-۱۰۱.
- سازمان هواشناسی همدان، مرکزی و سامانه خشکسالی هواشناسی کشور



صادقی، سلیمان؛ علیجانی، بهلول؛ سلیقه، محمد؛ حبیبی، نادر؛ خندان، مجید؛ قهرودی تالی، منیژه. (۱۳۸۷). تحلیل همدیدی واچرخندها بر خشکسالی‌های فراگیر خراسان، مجله‌ی جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، ۶ (۱۰): ۱۱۸-۱۰۵.

کیانیان، محمد؛ حاجی محمدی، حسن؛ کابلی، سید حسن؛ مشکى، علیرضا. (۱۳۹۷). مطالعه و شناسایی الگوهای دینامیکی همدیدی موثر بر رخداد خشکسالی‌های استان سمنان، مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی - علمی پژوهشی دانشگاه گلستان، ۷ (۲۸): ۳۳-۱۹.

کیانیان، محمد؛ صالح پورجم، امین؛ حاجی محمدی، حسن؛ رسولی، فهیمه. (۱۳۹۵). بررسی و ارتباط خشکسالی و ترسالی‌های غرب ایران با الگوهای سینوپتیکی جو، مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی - علمی پژوهشی دانشگاه گلستان، ۶ (۲۲): ۱۷۵-۱۹۱.

معصوم‌پور، جعفر. (۱۳۸۴). مطالعه سینوپتیکی خشکسالی‌های فراگیر در سواحل جنوبی خزر: پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیایی طبیعی- اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا.

مفیدی، عباس؛ زرین، آذر؛ کارخانه، میثم. (۱۳۹۳). بررسی الگوهای گردشی جو در طول دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر. مجله ژئوفیزیک ایران، ۸ (۱): ۱۷۶-۱۴۰.

یارنال، برنت. (۱۳۸۵). اقلیم‌شناسی همدید و کاربرد آن در مطالعات محیطی، سید ابوالفضل مسعودیان، اصفهان، چاپ اول، انتشارات دانشگاه اصفهان ۲۱۸-۱.

یزدان پناه، حجت‌الله؛ مسعودیان، سید ابوالفضل؛ حسن‌زاده، رقیه. (۱۳۸۸). برآورد دوره‌های تر و خشک به روش زنجیره مارکوف و تشخیص الگوهای همدید دوره‌های تر و خشک فر آن مطالعات موردی استان خراسان رضوی و جنوبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه اصفهان. دانشکده ادبیات و علوم انسانی. گروه جغرافیا.

یزدان پناه، حجت‌الله، حسن‌زاده، رقیه. (۱۳۸۸). تعیین الگوهای گردشی موثر در فراگیرترین و طولانیترین دوره خشک فرین در منطقه خراسان به کمک زنجیره مارکف، دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید با هنر کرمان، ۹-۱.

Castro.F.D, J.I.Santisteban, M.Barriendos, R.Mediavilla, (2008), *Reconstruction of Drought Episodes for Central Spain from Rogation Ceremonies Recorded at the Toledo Cathedral from 1506 to 1900 A Methodological Approach*. Global and Planetary Change, 63, 230-242.

Gidey, E., Dikinya, O., Sebego, R., Segosebe, E., and Zenebe, A. 2018. **Modeling the Spatio-Temporal Meteorological Drought Characteristics Using the Standardize Precipitation Index (SPI) in Raya and Its Environs**, Northern Ethiopia, Earth Systems and Environment, 1-12.

Girardin, M. P., Tardif, J. C., Flannigan, M. D., & Bergeron, Y. (2006). **Synoptic-Scale Atmospheric Circulation and Boreal Canada Summer Drought Variability of The Past Three Centuries**. Journal of Climate, 19(10), 1922-1947.

Herrera, R.G., Paredes, D., Trigo, R.M., Trigo, I.F., Hernandez, E., Barriopedro, D and Mendes, M., (2007). **The outstanding 2004/5 drought in the Iberian peninsula: associated atmospheric circulation**, American meteorological society, 8: 483-498.

- Karaca, M., Deniz, A., Tayanc, M., (2000), **Cyclon track variability over Turkey in association with regional**, international journal of climatology, 20:1225-1236.
- Parry, S., Prudhomme, C., Hannaford, J., & Lloyd-Hughes, B. (2010). **Examining The Spatio-Temporal Evolution and Characteristics of Large-Scale European Droughts. In Proceedings of The BHS Third International Symposium.** British Hydrological Society, 135-142.
- Rimkus, E., Kazys, J., Valiukas, D., & Stankūnavičius, G. (2014). **The Atmospheric Circulation Patterns During Dry Periods in Lithuania.** Oceanology, 56(2), 223-239.
- Tran, L., C.G. Knight, V. Wesner, (2002), **Drought in Bulgaria and Atmospheric Synoptic Conditions over Europe.** GeoJournal, 57, 149-15
- Van Der Linden, R., Fink, A.H., Phan-Van, T., and Trinh-Tuan, L. 2016. **Synoptic-dynamic analysis of early dryseason rainfall events in the Vietnamese central highlands.** Monthly Weather Review, 144(4): 1509-1527.