

توزیع فضایی سامانه های بندالی و همزمانی آن با

ترسالی های فصل های سرد در ایران

میثم طولابی نژاد^۱، زهرا حجازی زاده^۲، محمد سلیقه^۳

چکیده

تحقیق حاضر با هدف بررسی و شناسایی اثر سامانه های بندالی بر ترسالی های فصل سرد ایران، طی دوره ۱۹۷۵-۲۰۱۶ با استفاده از شاخص عددی وایدنمن (BI) و داده های بارش ماهانه و داده عددی بندال انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد در فصول سرد مرکز بیشتر بندالهایی که جو ایران را متأثر کرده اند، در منطقه اطلس شمالی می باشد. همچنین بررسی شدت بندالهای موثر بر آب و هوای ایران نشان داد که بندال قوی از نظر فراوانی بیشترین تعداد را پس از بندال متوسط دارد و این نشان می دهد که ایران بیشتر تحت تأثیر بندال های متوسط (۷۴/۶) و سپس قوی (۲۱/۱ درصد) قرار دارد. فراوانی بندال های ضعیف بسیار کم و به میزان ۴/۳ درصد می باشد. باتوجه به توزیع فراوانی محل رخداد بندال نیز مشخص گردید زمان وقوع ترسالی در ایران طی ماه های سرد سال، هسته اصلی بندال ها بین طول جغرافیایی ۲۰ درجه غربی تا ۳۰ درجه شرقی بر روی پهنه های آبی شکل می گیرد و هرچه به فصل گرم سال نزدیک می شویم، این هسته ها به خشکی منتقل شده و مناطق تحت سیطره خود را با دگرگونی مثبت در پارامتر بارش و در نتیجه ترسالی مواجه می سازد. همچنین در بررسی بندال در فصول مختلف، مشخص گردید که در فصل زمستان با عقب نشینی پرفشار جنب حاره و قدرت گرفتن ورتکس قطبی، همراه با وقوع بندال های قوی و مدت دار، میانگین بارش از فصول دیگر بیشتر می باشد.

کلیدواژگان: بندال، شاخص BI، بارش، ترسالی، ایران.

۱. دانشجوی دکتری، اقلیم شناسی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران.

۲. استاد، اقلیم شناسی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، نویسنده مسئول.

۳. دانشیار، اقلیم شناسی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران.

با توجه به وجود ارتباط تنگاتنگ میان الگوهای گردش جوی و پدیده های فرین اقلیمی می توان پدیده هایی همچون ترسالی ها را به تغییرات الگوهای گردش جوی نسبت داد. برای این منظور می توان با بهره گیری از نمایه هایی که بر اساس تغییرات متغیر بارندگی ساخته می شوند نقش الگوهای گردش جوی را در ایجاد و کنترل دوره های خشک و تر بررسی نمود. یکی از این الگوهای گردش جوی که احتمال اثر آن بر روی ترسالی های ایران زیاد است، سامانه های بندالی می باشند. این پدیده زمانی رخ می دهد که، جریان های غربی که در حالت طبیعی از غرب به شرق در حال حرکت هستند، مسیر اصلی خود را به سمت شمال یا جنوب تغییر داده و اقلیم مناطقی را که می بایست از روی آنها عبور می کردند را متأثر می کند. البته، برای مناطق واقع در ناحیه ی پشته، خشکی و گرما و برای مناطق واقع در ناحیه ی ناوه نیز، ناپایداری، سرما و بارش به ارمغان می آورد (شويزر و همکاران، ۲۰۰۴). این ناهنجاری آب وهوایی از دهه ۵۰ میلادی و به ویژه در سالهای گذشته مورد توجه اقلیم شناسان قرار گرفته است؛ اما، هنوز توافق کلی در مورد سازوکار، ایجاد، تداوم و مرگ آن وجود ندارد (عزیزی و خلیلی، ۱۳۹۰).

بروز ترسالی به عنوان یک ناهنجاری جوی، پدیده ای طبیعی است که ریشه در تغییرپذیری اقلیم و مهمتر از همه، گردش عمومی جو دارد. با توجه به این مهم می توان گفت که سیستم های کنترل کننده ی گردش عمومی جو، سیکلونها، آنتی سیکلونها و جبهه های هوا می باشند که آب و هوای عرض های میانه ی کره ی زمین را کنترل می کنند (کاوایانی و علیجانی، ۱۳۹۰). بنابراین علل بروز فرین های اقلیمی نظر بارشهای سنگین را نیز باید در تغییرات و ناهنجاری الگوهای جوی جستجو کرد. یکی از این ناهنجاری ها، بندال جوی یا همان سیستم مانع می باشد. پدیده ی بندال به عنوان یکی از ناهنجاریهای جوی می تواند بسیار موثر باشد (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۱). این سیستم بندال به عنوان پدیده ای دینامیک معرفی شده که پیش بینی آن می تواند وضعیت هوا را در مقیاس متوسط و کوتاه بهبود بخشد (پاوان و همکاران، ۲۰۰۰؛ شبار و همکاران، ۲۰۰۱؛ تریگو و همکاران، ۲۰۰۶، ۲۰۰۴؛ شیرر و همکاران، ۲۰۰۶). بنابراین شناسایی این سامانه ها و همزمانی آن با ترسالی ها در پیش آگاهی این پدیده ها دارای اهمیت فراوانی می باشد.

پژوهش های فراوانی چه در سطح جهان و چه در سطح ایران نشان داده اند که اکثر ترسالی ها متأثر از الگوهای گردش جوی هستند (تران و همکاران، ۲۰۰۲؛ فالور و آدامز، ۲۰۰۴؛ خوش اخلاق، ۱۳۷۶؛ ناظم السادات و همکاران، ۱۳۸۶؛ صداقت کردار و فتاحی، ۱۳۸۷؛ طولابی نژاد و همکاران، ۱۳۹۷). رکس (۱۹۵۰)، از اولین پژوهشگرانی است که در مورد بندال به تحقیق پرداخته و اثرات آن بر سطح زمین و عناصر اقلیمی را شرح داد. سپس تریدل (۱۹۸۱)، عملکرد بندال ها در نیمکره شمالی را مورد بررسی قرار داد. اما از اولین محققینی که با مدل عددی به بررسی بندال پرداختند می توان به وایدنمن^۱ و لوپو (۲۰۰۲)، اشاره نمود که به مطالعه اقلیم شناختی از رخداد بندال در نیمکره شمالی و جنوبی برای یک دوره ۳۰ ساله پرداختند. در این مطالعه ویژگی های آنتی سیکلون بندال شامل؛ مطالعه فراوانی رخداد، منطقه تشکیل آن، طول مدت روزهای بندال و شدت آن مورد بررسی قرار گرفته به طوری که نتایج نشان دادند که رخدادهای بندال در نیمکره شمالی و جنوبی بیشترین فراوانی و شدت را در فصل سرد دارند. همچنین تریگو (۲۰۰۴)، آشکار ساخت که سامانه های بندالی در بهار و اواخر زمستان به حداکثر قدرت خود می رسند و در فصل پاییز و تابستان حداقل روزهای همراه با این سیستم ها مشاهده می شود. وی همچنین به بررسی ارتباط بندال با ناهنجاری دمایی و بارشی پرداخت که نتایج ارتباط معناداری را نشان دادند. همچنین بر اساس مطالعه ی کلارک و

۱. Wiedenmann

همکاران (۲۰۰۷)، مشخص شد، وقوع بندال در نیمکره جنوبی بین سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۰۶ افزایش داشته است. تیرلس و هاسکینز (۲۰۰۸)، نیز مورفولوژی بندال‌های نیمکره شمالی و همچنین بررسی جنبه‌های اقلیم شناختی پدیده بندال در نیمکره شمالی را مورد مطالعه قرار دادند؛ سیلمن (۲۰۰۸)، با استفاده از مدل زوجی جوی اقیانوسی ECHAM5 / MPI-OM به شناسایی و شبیه‌سازی بندال‌ها پرداخت و نتایج قابل توجهی به دست آورد. او نتیجه گرفت مدل فوق، ضمن کاهش خطاهای احتمالی در تحلیل و شبیه‌سازی وقایع حدی، خروجی‌های توانمندی را برای پیش‌بینی‌های جوی ارائه می‌دهد. همچنین با تمرکز بر روی فراوانی و توزیع مکانی و فضایی بندال‌ها، به همبستگی‌های معناداری بین وقوع بندال و دماهای کمینه‌ی زمستان در اروپای مرکزی دست یافت. وانگ و همکاران (۲۰۰۹)، تغییرات بندال را در منطقه‌ی کوهستانی اورال در فصل زمستان در ارتباط با اقلیم آسیای شرقی بررسی کردند. با توجه به بررسی‌های انجام شده تغییرات پرفشار سیبری تا حدود زیادی با بندال اورال در ارتباط بوده است. بررسی‌ها نشان داد که در دهه ۱۹۷۰ بندال اورال به سمت شرق تمایل داشته و اثر اقلیمی فراوانی در منطقه به وجود آورده است و در شرایط ادغام با پرفشار سیبری اثر آن قوی‌تر شده و عاملی برای به وجود آمدن زمستان‌های گرم و خشک در آسیای شرقی شده است. رضیئی و همکاران (۲۰۱۱)، رابطه بین انواع جریان‌های اتمسفری روزانه و دوره‌های کوتاه خشک و تر در غرب ایران را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که بین فراوانی وقوع انواع گردش و دوره‌های کوتاه خشک و تر در سه ایستگاه منتخب، از نظر آماری، رابطه معناداری وجود دارد که نشان می‌دهد انواع خاص گردش برای رویدادهای خشک و تر زمستان در غرب ایران، عامل پیش‌بینی هستند. پالئو و همکاران (۲۰۱۲)، آخرین و بروزترین مطالعه اقلیم شناختی با بیشترین طول دوره آماری (۵۵ ساله)، را بررسی کردند و نشان دادند، بر اساس شاخص دو بعدی مطالعه رخداد‌های بندال با استفاده از داده‌های سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در ارتباط با رخداد، طول مدت، شدت و شکست موج در ارتباط با بندال می‌باشد. لویو و همکاران (۲۰۱۷)، فهرست جامعی از سامانه‌های جهانی بندال که در اواخر قرن بیستم رخ داده و شامل شدت بندال بود، مورد بررسی قرار دادند. علاوه بر تایید نتایج سایر آزمایشگاه‌های شناخته شده، آنها دریافتند که بندال‌های نیمکره شمالی قوی‌تر از حوضه نیمکره جنوبی بوده و رویدادهای زمستانی قوی‌تر از تابستان است.

در ایران نیز مطالعات بسیاری در مورد ترسالی‌های فراگیر در ایران صورت گرفته با این تفاوت این تحقیق با سایر تحقیقات در این است که اکثر این پوهش‌ها صرفاً به صورت کیفی و صرف تحلیل سینوپتیک بوده اند، اما به جنبه کمی و ضرایب، شدت و محل وقوع بندال کمتر توجه شده است. همچنین این تحقیق به ارتباط و همزمانی بارشهایی که همزمان با وقوع بندال بوده است مورد بررسی قرار داده شد و سایر روزهای بارش را که ناشی از سامانه‌های دیگر می‌باشد، بررسی نشده است.

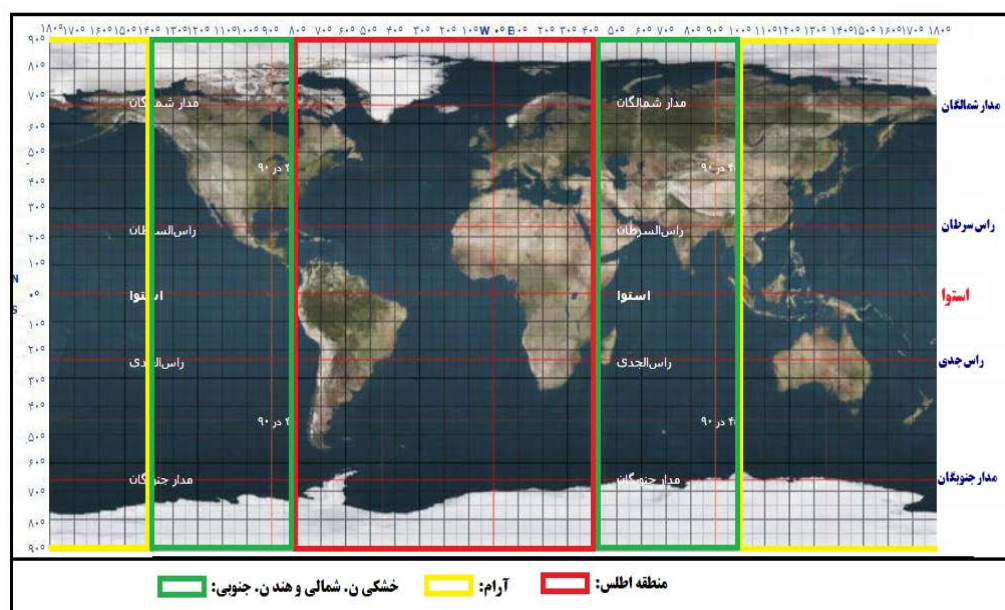
نخستین قدم اساسی در شناخت پدیده‌ی بندال در ایران را عزیزی (۱۳۷۸) ارائه داد که به بررسی اثر این سامانه بر بارش‌های ایران پرداخت. همچنین عزیزی و همکاران (۱۳۹۰)، در تحقیقی دیگر با تحلیل اثر سامانه بندال در ایجاد بارش‌های شدید دریافتند که، استقرار سامانه بندال در غرب منطقه مورد مطالعه و جابجایی ناوه وابسته بدان به عرض‌های جنوبی‌تر همراه با سبب فعالیت مناسب ناوه کم ارتفاع جنوب سامانه در منطقه شمالغرب ایران شده و در نتیجه وقوع بارش شدید در منطقه مورد مطالعه را باعث گردیده نقش مهمی در تغذیه رطوبتی سامانه‌های جوی است. میدان باد در ترازهای پایین (تراز ۸۵۰) داشته که طی دوره فعالیت سامانه بندال الگوی مناسب میدان باد ترازهای پایین، سبب تغذیه رطوبتی قابل ملاحظه‌ای به منطقه مورد مطالعه شده است. همچنین نتایج حاصل از پهنه بندی مقادیر بارش ۲۴ ساعته نشان داد که طی این دوره، بخش‌های شمال شرق منطقه سهم بیشتری از بارش را از آن خود کرده اند. بنابراین، بروز یخبندان فرارفتی در نواحی شمال شرقی و نیمه شمالی کشور در روزهای پنجه چهارم توجه می‌شود. ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۱)، اثر سامانه‌های بندالی بر دوره‌های خشک شمال غرب ایران را بررسی کرده و

دریافتند که الگوهای حاکم بر دوره های خشک در این منطقه یکنواخت نیستند. سپس زربو و همکاران (۱۳۹۲)، نیز به صورت موردی پدیده بندال اوراسیا توسط فعالیت موج را بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان می دهد که زمستان ۱۰-۲۰۰۹، در طول دوره پنج ساله متوالی از نظر رویداد بندال زمستانی بی هنجار است. نتایج محاسبات فعالیت موج و شار آن نشان می دهد که در حین رویداد بندال، فعالیت موج در آن ناحیه تضعیف شده یا متوقف می شود. درگاهیان و همکاران (۱۳۹۳)، با بررسی الگوهای فشار مرتبط با بندال های موثر بر بارش های مداوم و سنگین در ایران دریافتند که از ۷ الگوی بارشی، ۴ الگویی که بر بارش ایران موثر بوده اند ناشی از تراف سمت راست و چپ امگا بوده اند و ۲ الگوی دیگر که شامل رکس و دو قطبی بودند از فراوانی کمتری برخوردار بوده اند. عابدی و همکاران (۱۳۹۷)، به بررسی اقلیمی سامانه های بندالی نیمکره شمالی و ایران پرداخته و دریافتند که رخداد بندال در اطلس دو برابر آرام و سه برابر آمریکا و غرب اروپا است و کمترین رخدادها در شرق آسیا و شرق اروپا است. همچنین، از نظر زمانی، در اقیانوس اطلس سال ۱۹۵۴ بیشترین و ۱۹۶۸ کمترین و در اقیانوس آرام سال ۲۰۱۱ بیشترین و ۱۹۵۷ کمترین فراوانی رخداد را دارند. در ایران یازده سال بدون رخداد و سال ۱۹۷۵ بیشترین درصد فراوانی مشاهده شد. توزیع فصلی نشان داد بیشترین فراوانی رخداد به ترتیب در فصل تابستان، پاییز، زمستان، و بهار است. رخدادهای بندالی در فصل زمستان بیشتر روی مناطق اقیانوسی و سواحل و در فصل گرم روی مناطق قاره ای نیز مشاهده شد.

کشور پهناور ایران بارشی در حدود یک سوم بارش جهانی دارد و در یکی از مناطق خشک و نیمه خشک جهان قرار گرفته است بنابراین خشکی جزء فطرت و صفت اصلی این منطقه به شمار می آید (فرج زاده، ۱۳۸۹). تغییرات شدید مقدار بارش و شدت و پراکنش زیاد آن از دیگر خصوصیات آن به حساب می آید. در سال های اخیر بنا به عللی که غالباً مربوط به تغییرات جهانی اقلیم هستند، ناهنجاری های بارش در نواحی مختلف کشور فزونی یافته است و نوسان های شدید مکانی و زمانی فرین های اقلیمی، خسارات هنگفتی را بر اقتصاد کشور به ویژه در طی دهه های اخیر تحمیل کرده است. کاهش عملکرد مراتع، کاهش تولید محصولات زراعی به ویژه دیم، کاهش منابع آب کشاورزی و شرب، کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی، طغیان رودخانه های و افزایش فرسایش شدید خاکهای سطحی قابل کشت، کاهش سطح زیر کشت، افزایش مهاجرت و در نهایت اثرات سوء زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی از جمله آثار منفی این دو پدیده می باشد که توسعه پایدار کشور را مورد تهدید قرار داده است. لذا تعیین ویژگی های زمانی مکانی ترسالی ها در یک منطقه و شناسایی علل وقوع آنها یکی از نیازهای اساسی برنامه ریزان محیطی و اقتصادی به ویژه برنامه ریزان حوزه مدیریت منابع آب می باشد. بنابراین با توجه به اینکه بارش و در نتیجه ترسالی از مهمترین پارامترهای اقلیم شناختی است که برای منطقه خشکی نظیر ایران بسیار حائز اهمیت است، این تحقیق با هدف توزیع فضایی سامانه های بندالی و همزمانی آنها با ترسالی های فراگیر و نیمه فراگیر ایران، طی دوره ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۶ با استفاده از شاخص عددی BI به رشته تحریر درآمد.

محدوده مورد مطالعه

محدوده انتخاب شده در برگیرنده ۰ تا ۹۰ درجه عرض شمالی و از ۱۰۰ درجه طول غربی تا ۱۲۰ درجه طول شرقی می باشد. از طرف دیگر با توجه به این که هدف اصلی این پژوهش که بررسی اثر سامانه های بندالی بر روی ترسالی های ایران است، لذا جهت مطالعه پدیده بندال از لحاظ منشأ شکل گیری، تکامل و عوامل کنترل کننده سیستم های مورد نظر می بایستی با دیدی گسترده تر در پی کشف مجهولات باشیم، و در راه تحقق اهداف مورد نظر، منطقه وسیع تر از منطقه خاورمیانه در نظر گرفته شد.



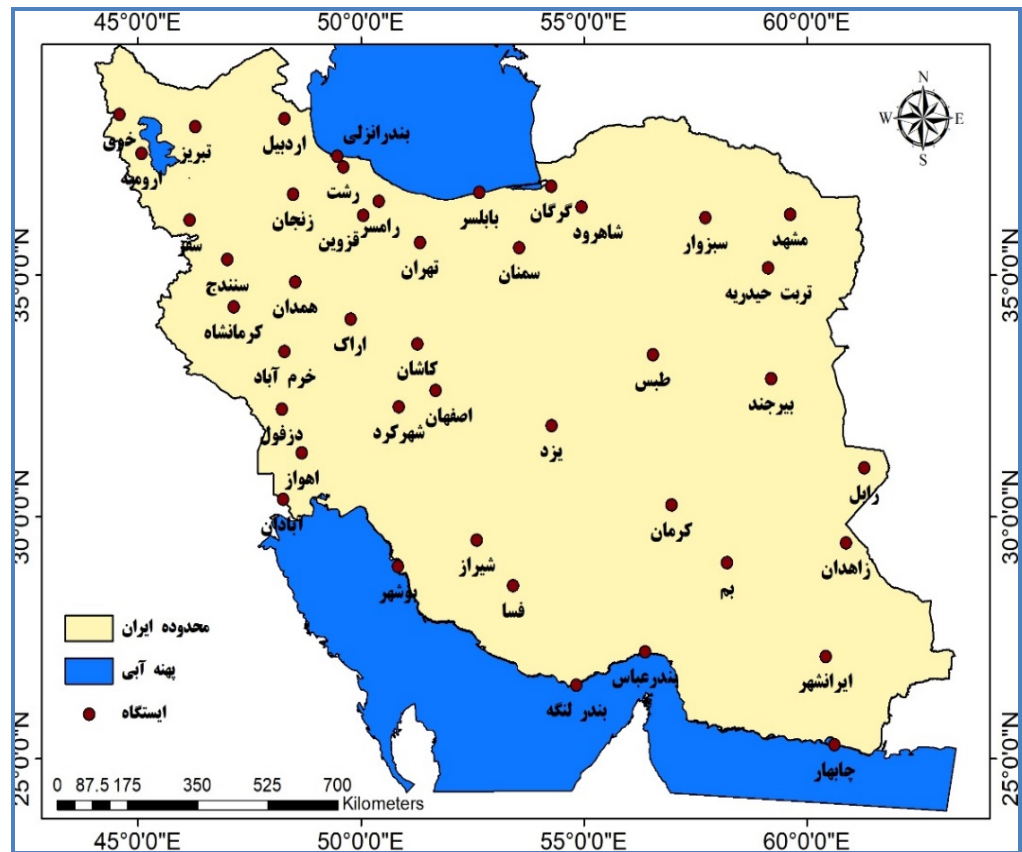
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه جهت شناسایی مکان رخداد بندال

روش تحقیق

تحقیق حاضر با توجه به انواع رویکردهای اقلیم شناسی، از نوع محیطی به گردشی می باشد. بطوری که پس از رخ داد واقعه محقق علل و عوامل گردشی آن را بررسی می کند. بنابراین برای انجام تحقیق ابتدا داده‌های بارش ۷ ماه سرد سال (از اکتبر تا آوریل) شامل ۴۳ ایستگاه سینوپتیک (شکل ۲) سطح کشور از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۶ در مقیاس ماهانه از سازمان هواشناسی دریافت و در مرحله بعد، با استفاده از روش SPI، ترسالی‌ها فراگیر و نیمه فراگیر (بطوری که حداقل ۵۰ درصد ایستگاه‌ها درگیر ترسالی بوده باشند) شناسایی گردیده؛ سپس توزیع فضایی و همزمانی وقوع بندال با ترسالی‌ها مقایسه و تحلیل گردید (جدول ۱).

جدول ۱: نمونه ای از چگونگی شناسایی خصوصیات بندال و همزمانی آن با ترسالی‌های فراگیر و نیمه فراگیر

سال	تعداد ایستگاه درگیر ترسالی	نوع ترسالی	ضریب شاخص بندال (BI)	شدت بندال	تداوم (روز)	طول جغرافیایی (درجه)	محل رخداد بندال
۱۹۷۲	۴۳	فراگیر	۴/۷	قوی	۲۳	۶۰	خشکی نیمکره شمالی
۱۹۹۶	۴۰	فراگیر	۳/۵ ۵/۲	متوسط قوی	۳۱ ۱۱/۵	۳۰ -۱۰	خشکی نیمکره شمالی اقیانوس اطلس
۲۰۰۷	۳۰	فراگیر	۲/۳ ۵	متوسط قوی	۵ ۹	۶۰ ۰	خشکی نیمکره شمالی اقیانوس اطلس
۲۰۰۹	۲۶	نیمه فراگیر	۳/۲ ۲/۷	متوسط متوسط	۶ ۲۰	۵۰ -۲۰	خشکی نیمکره شمالی اقیانوس اطلس



شکل ۲: پراکنش فضایی ایستگاه های مورد مطالعه

در پژوهش حاضر شرط اصلی این بود که تنها ترسالی هایی مورد بررسی قرار گیرند که همزمان با آن یک بندال نیز در منطقه مورد مطالعه بوقوع پیوسته باشد و سایر روزهای بارشی که همزمان بندالی نداشته ایم مورد بررسی قرار نگرفت. پس از شناسایی ترسالی ها، خصوصیات بندال ها شامل: شدت بندال، منطقه وقوع و مدت دوام بندال ها با استفاده شاخص تعدیل شده شدت بندال (BI^1) با استفاده از داده ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ محاسبه شد. این شاخص اولین بار توسط لویو و اسمیت (۱۹۹۵) ارائه و سپس توسط وایدنمن و همکاران (۲۰۰۲) اصلاح گردید. مقدار عددی این شاخص بین ۱ تا ۱۰ می باشد. مقادیر نزدیک به ۱۰ بندال های قوی تری نسبت به مقادیر نزدیک به ۱ خواهد داشت (لویو و همکاران، ۱۹۹۷؛ لویو، ۲۰۰۸). در این شاخص تنها بندال هایی که حداقل ۵ روز از زمان تشکیل آن گذشته باشد مورد استفاده قرار میگیرند و کمتر از ۵ روز بندال حساب نمی شود. چگونگی شناسایی بندال با روش عددی وایدنمن و همکاران از رابطه (۱ و ۲) محاسبه می شود:

رابطه ۱ و ۲:

$$BI = 100[MZ/(RC) - 1.0]$$

$$RC = \frac{\frac{(ZU+MZ)}{2} + \frac{(Zd+MZ)}{2}}{2}$$

1. blocking index

در این روابط:

$BI =$ شدت بندال

$RC =$ میانه کم ارتفاع ترین منحنی محور ناوه های دو طرف پشته در یک عرض جغرافیایی معین.

$MZ =$ حداکثر ارتفاع ژئوپتانسیل در محور پشته.

$Zu =$ کمترین مقدار ارتفاع ژئوپتانسیل در محوره ناوه بالادست.

$Zd =$ کمترین مقدار ارتفاع ژئوپتانسیل در محوره ناوه پایین دست.

وایدنمن (۲۰۰۲) بر اساس روابط (۱ و ۲) رخدادهای بندال را از نظر شدت از ۱ تا ۱۰ طبقه بندی کرده است (جدول ۲).

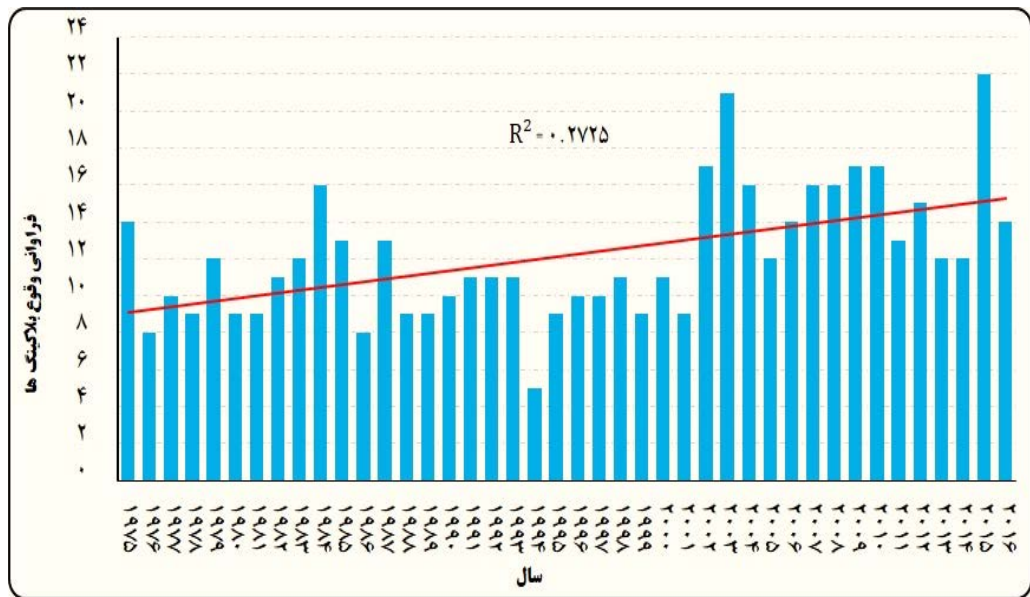
جدول ۲: شاخص شدت بندال (BI) در نیمکره شمالی (وایدنمن و همکاران، ۲۰۰۲)

ضریب بندال	شدت بندال
$BI < 2$	بندال ضعیف
$2 < BI < 4/3$	بندال متوسط
$BI > 4/3$	بندال قوی

یافته های تحقیق

در این پژوهش به منظور مطالعه توزیع زمانی رخدادهای بندال موثر بر بارش فصل سرد ایران طی اکتبر تا آوریل (۱۹۷۵ تا ۲۰۱۶)، برای یک دوره ۴۱ ساله بر اساس شاخص عددی شدت رخداد بندال (BI) انجام شد. در این مطالعه تنها بندال ماه های سرد که با ترسالی های حاکم بر ایران همزمان بوده اند مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس یافته های پژوهش، و شاخص وایدنمن تداوم کمتر از ۵ روز بندال ضعیف محسوب شد. بنابراین با توجه به مدل مورد بررسی و نظر ناکس (۱۹۸۲)، تریدل و همکاران (۱۹۸۰)، تریگو (۲۰۰۴)، ساساکی به نقل از عزیز (۱۳۷۸)، رخدادهای با فراوانی ۵ روز و بیشتر به عنوان بندال به حساب آمد. در توجیه این ۵ روز می توان گفت که چنانچه بندالی در مبدا شکل گیرد تا به منطقه ای وارد شود که ایران را تحت تاثیر قرار دهد بایستی حداقل ۵ روز از زمان تشکیل آن گذشته باشد.

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده ها نشان می دهد که طی ۴۱ سال مورد بررسی، در منطقه مورد مطالعه ۸۷۸ مورد بندال رخ داده است که از این تعداد، ۵۱۴ مورد آن که تقریباً دوسوم کل بندال ها را شامل می شود در فصل سرد و مابقی در فصل گرم سال به وقوع پیوسته اند. در واقع بیشترین بندال در منطقه مورد مطالعه مربوط به فصل سرد است. شکل (۳) فراوانی رخدادهای بندال در هر سال را نشان می دهد. بر اساس این نمودار، بیشترین فراوانی رخدادهای بندال در سال ۲۰۱۵ با ۲۲ مورد و کمترین فراوانی با ۴ مورد در سال ۱۹۹۴ بوقوع پیوسته است. بنابراین به عنوان مثال با مقایسه داده های ترسالی و فراوانی وقوع بندال ها و همزمانی این دو پدیده می توان تشخیص داد که سال ۲۰۱۵ ترسالی حاکم بوده است. سایر سالهای تر و خشک نیز ازین روش قابل شناسایی می باشد. خط روند وقوع بندال نیز نشان می دهد که بندال ها از سال ۱۹۹۵ به بعد با سیر صعودی روبرو بوده اند. بطور کلی روند تغییرات در فراوانی بندال ها ۲۷/۲ درصد می باشد که نشان دهنده رشد تعداد بندال ها طی دوره مورد مطالعه می باشد.



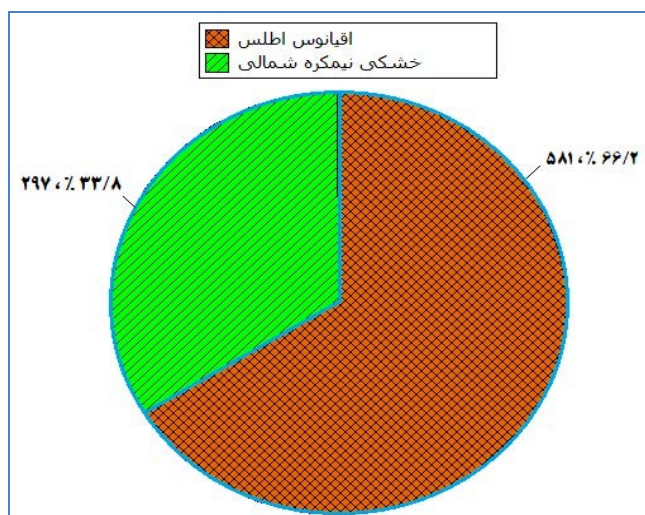
شکل ۳: فرآوانی هسته های اصلی و ثانویه بندال در طول جغرافیایی ۱۰۰ درجه شرقی تا ۱۲۰ درجه غربی

تحلیل منطقه رخداد بندال

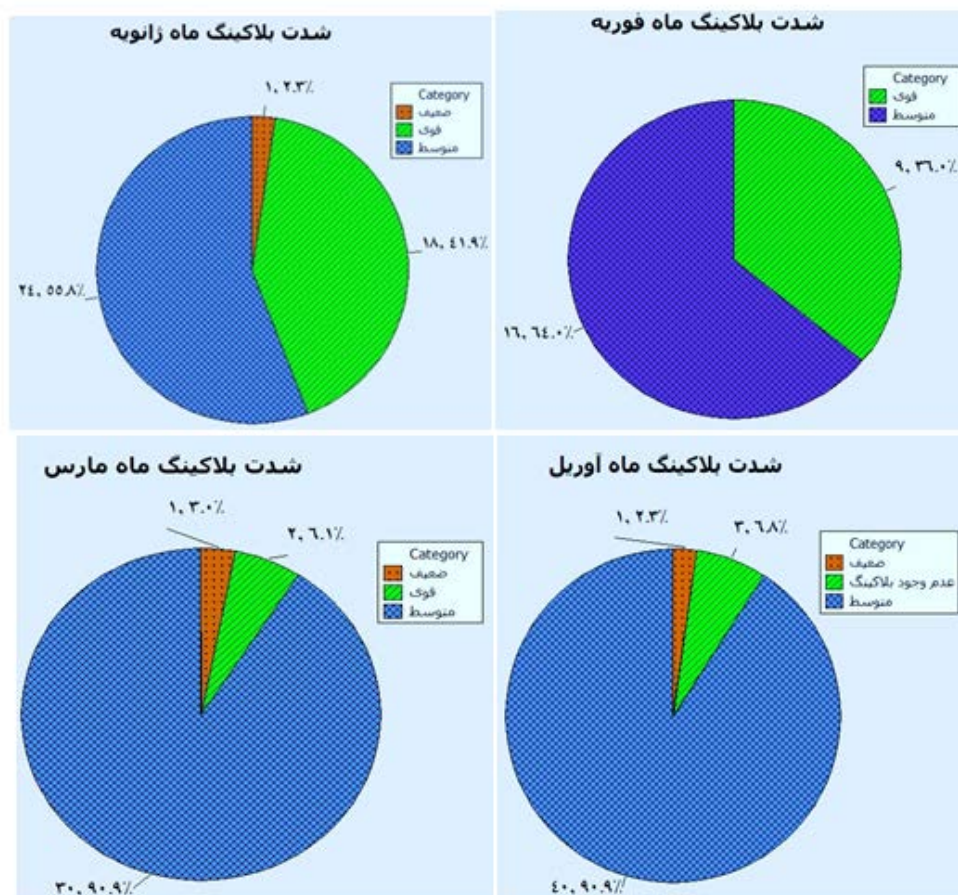
با توجه به مقایسه و همزمانی رخداد قطعی بارش و توزیع فرآوانی محل رخداد بندالهای رخ داده، می توان گفت که نتیجه این مطالعه با مطالعات اقلیم شناسی گذشته که یکی از مناطق با فرآوانی را منطقه اطلس معرفی می کند همخوانی دارد، جدول (۳)، به طوری که بیشترین فرآوانی محل رخداد بندال در طی ماه های مورد مطالعه در این مکان، مربوط به ماه ژانویه با ۷۹/۱ و کمترین فرآوانی را ماه مارس با ۵۴/۳ درصد بخود اختصاص داده اند. همچنین بیشترین توزیع فرآوانی محل رخداد در خشکی های نیمکره شمالی در ماه مارس با ۴۰ و کمترین فرآوانی را نیز فوریه با ۱۰/۳ درصد دارامی باشد. با توجه به تحلیل داده ها، بندال های تشکیل شده در اقیانوس اطلس با میانگین ۶۸/۸ و سپس خشکی های نیمکره شمالی با میانگین ۲۵/۸ درصد بیشترین اثر را در ترسالی های ایران دارا می باشند. همچنین ۵/۵ درصد از بارش های کشور طی دوره مورد مطالعه به محل رخداد بندال وابستگی نداشته و باید آن را در سیستم های دیگر جستجو کرد. شکل (۴) نیز توزیع فرآوانی منطقه رخدادهای بندال را بدون احتساب عدم وقوع نشان می دهد.

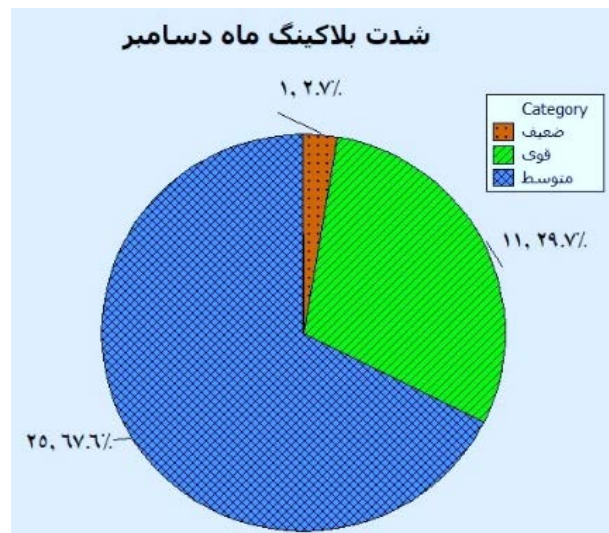
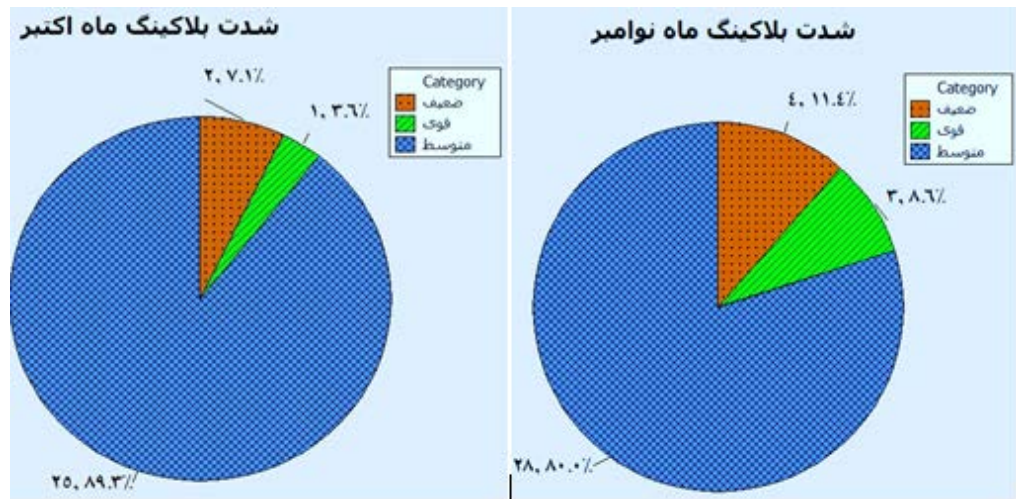
جدول ۳: توزیع فرآوانی محل رخدادهای بندال

ماه	اقیانوس اطلس		خشکی نیمکره شمالی		عدم رخداد بندال	
	فرآوانی	درصد	فرآوانی	درصد	فرآوانی	درصد
ژانویه	۳۴	۷۹/۱	۹	۲۰/۹	-	-
فوریه	۲۲	۷۵/۹	۳	۱۰/۳	۴	۱۳/۸
مارس	۱۹	۵۴/۳	۱۴	۴۰	۲	۵/۷
آوریل	۲۶	۵۹/۱	۱۵	۳۴/۱	۳	۶/۸
اکتبر	۱۹	۶۳/۳	۹	۳۰	۲	۶/۷
نوامبر	۲۷	۷۱/۱	۹	۲۳/۷	۲	۵/۳
دسامبر	۲۹	۷۸/۴	۸	۲۱/۶	-	-
میانگین	۲۵/۲	۶۸/۸	۹/۴	۲۵/۸	۲	۵/۵



شکل ۴: توزیع فراوانی منطقه رخدادهای بن‌دال (بدون احتساب عدم وقوع)



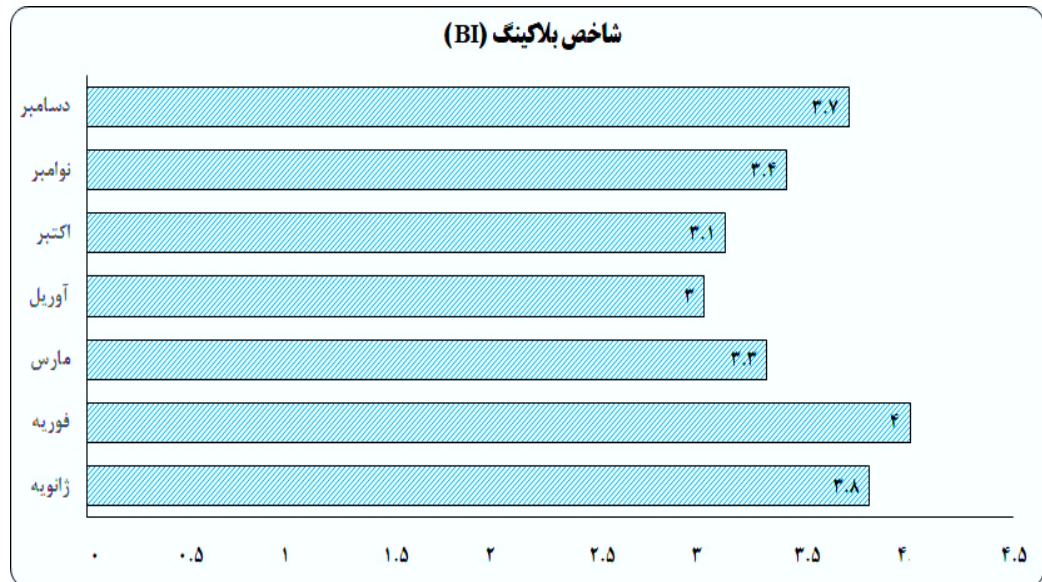


شکل ۵: شدت بندال به درصد در ماه های مورد مطالعه (۱۹۷۵-۲۰۱۶)

شدت بندال (BI)

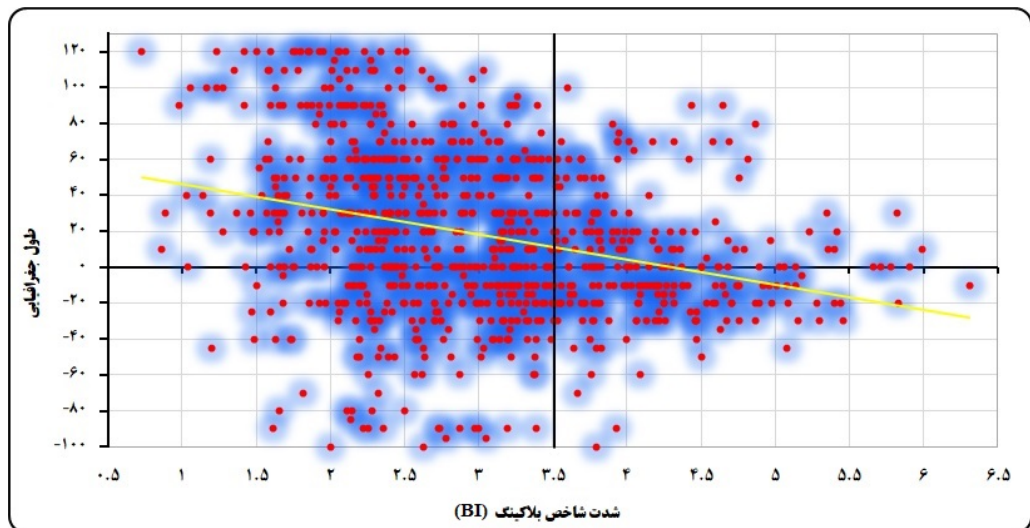
همانطور که در بخش روش تحقیق بیان شد، بندال ها به سه دسته قوی، متوسط و ضعیف بر اساس مقدار BI تقسیم بندی می شوند. هر قدر که مقدار این شاخص افزایش یابد شدت و مدت بندال نیز افزایش یافته، در نتیجه اثر بندال ها در سطح زمین نیز محسوس تر می شود.

بر اساس داده های موجود در محدوده مورد مطالعه، میانگین شاخص بندال (BI) موثر بر آب و هوای ایران اندازه گیری گردید. شکل (۶). نتایج نشان داد، حداکثر میانگین شاخص BI در ماه فوریه، سپس ماه های ژانویه و دسامبر با مقادیر ۴، ۳/۸ و ۳/۷ به ثبت رسیده است. کمترین مقدار این شاخص که ضعیف ترین نوع بندال نیز محسوب می شود، دارای شدت BI ۳ می باشد که در طی ماه آوریل بوقوع پیوسته است. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین مقدار BI در سال ۱۹۹۷ با ۶/۳ با ۹ روز تداوم و تعداد ایستگاه های درگیر ترسالی نیز ۳۹ ایستگاه به ثبت رسیده است.



شکل ۶: میانگین بلند مدت ماهانه شدت شاخص بندال طی دوره آماری ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۷

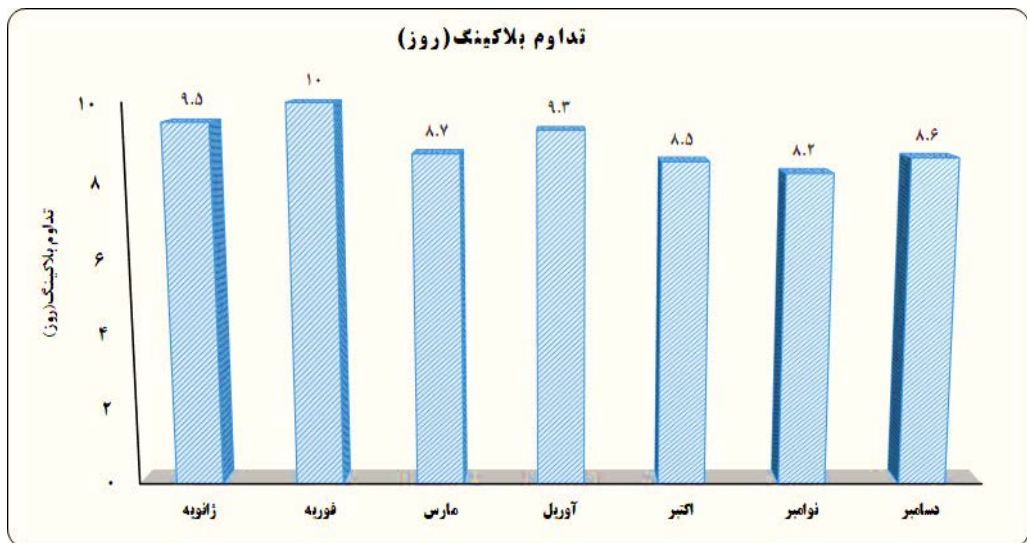
شکل (۷) نیز ارتباط بین شدت شاخص بندال و طول جغرافیایی را نشان می‌دهد. همانطور که این نمودار بخوبی مشخص است اکثر هسته‌های بندال بین طول ۳۰ درجه طول شرقی تا ۳۰ درجه طول غربی بوقوع پیوسته است که شدت شاخص بندال (BI) در این محدوده متوسط و بین ۲/۵ تا ۳/۵ BI می‌باشد و از محدوده ۳/۵ BI به طرف طول‌های جغرافیایی شرقی و غربی منطقه مورد مطالعه، تعداد هسته‌های بندال کاهش یافته ولی بر شدت آن افزوده می‌شود که در نتیجه این وقوع بندال‌های شکل گرفته در این منطقه، ترسالی بر ایران حاکم می‌شود. همچنین قدرتمندترین بندال‌ها نیز در طول غربی رخ داده و زمانی که هسته سامانه‌های بندالی در این مناطق شکل بگیرند ایران با ترسالی مواجه خواهد بود.



شکل ۷: رتباط بین شدت شاخص بندال و طول جغرافیایی

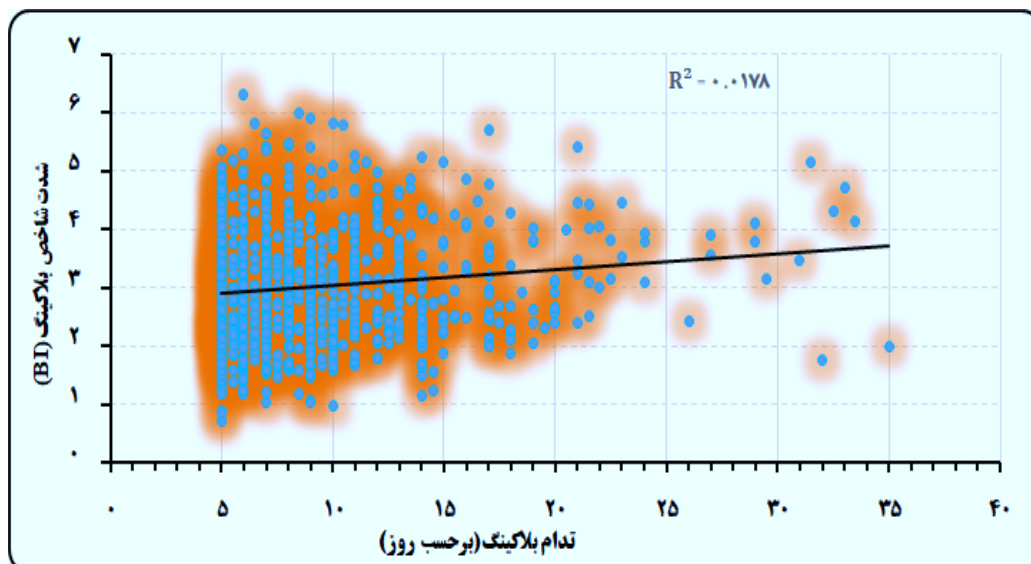
تداوم بندال

تداوم عمر یک بندال می تواند نقش بسزایی در کند کردن سرعت سامانه های عبوری از فراز یک منطقه ایفا کند که در نتیجه این سامانه ها می توانند اثرات بیشتری بر سرزمین های زیرین خود برجای گذارند. بررسی تداوم بندال های ماه های سرد که با وقوع ترسالی های ایران طی دوره مورد مطالعه همزمان بوده اند نشان داد که طی دوره آماری (۱۹۷۵ تا ۲۰۱۶) تداوم عمر ۵ روزه فراوانی بیشتری نسبت به تداوم عمر بندال های بالای ۱۰ روز دارند. همچنین با بررسی متوسط بلند مدت عمر بندال های فصول سرد مشخص شد که طول عمر بندال ها طی دوره مورد مطالعه ۹/۲ روز است، اما از نظر متوسط بلند مدت ماهانه، ماه فوریه با طول عمر ۱۰ روز بیشترین و ماه نوامبر با میانگین ۸/۲ کمترین تداوم را به خود اختصاص داده اند. بنابراین فصل زمستان طول عمر بندال ها بیشتر از فصول دیگر است، در نتیجه این فصل با توجه به عقب نشینی پرفشار جنب حاره، افزایش قدرت ورتکس قطبی، کاهش مولفه مداری جریانات غربی، اختلاف زیاد دما در منطقه، در نتیجه وقوع بندال های قوی و مدت دار، میانگین بارش ها بیشتر از فصول دیگر می باشد.



شکل ۸: میانگین بلند مدت ماهانه تداوم عمر بندال (برحسب روز)

شکل (۹) ارتباط بین طول عمر بندال ها و شدت بندال را نشان می دهد. همانطور که از این شکل نشان می دهد، طول عمر اکثر بندال ها بین ۵ تا ۱۰ روز است که از نظر شدت نیز در دسته متوسط (بین ۲/۵ تا ۴ BI) قرار دارند و ارتباط نسبتاً کمی بین شدت و طول عمر بندال وجود دارد؛ بطوری که بندال های با طول عمر کمتر، از شدت و قدرت کمتری نیز برخوردارند که در نتیجه می توان گفت اینگونه بندال ها با طول عمر کمتر اثر کمتری بر اقلیم و در نتیجه ترسالی های ایران دارند.



شکل ۹: ارتباط بین شدت شاخص بندال و تداوم عمر بندال

هسته بندال ها

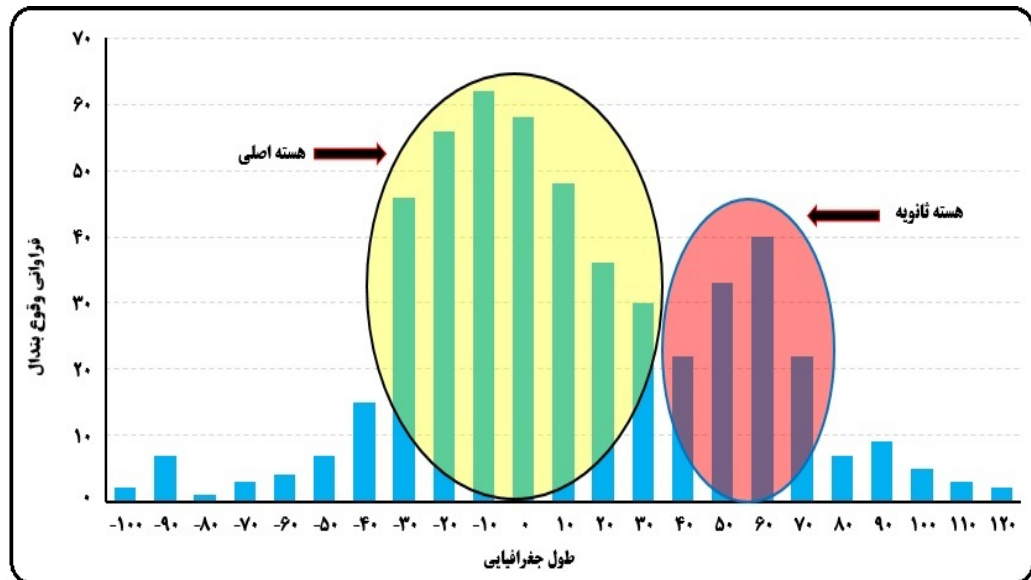
طبق مطالعات دانشمندانی نظیر رکس (۱۹۸۱) و وایدنمن (۱۹۹۵، ۱۹۹۷ و ۲۰۰۲)، بندال ها به طور معمول در نقاطی از کره زمین نسبت به سایر نقاط بیشتر تشکیل شده و سپس در بستر موج‌های غربی به مناطق دیگر منتقل می شوند. هر قدر محل تشکیل و هسته بندال به ایران نزدیکتر باشد، اثرات آن نیز فراوانتر به ایران رسیده و اقلیم آن را تحت تاثیر قرار خواهد داد. جدول (۳) توزیع ماهانه فراوانی هسته های اصلی و ثانویه بندال ها را در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد. بر این اساس در ماه ژانویه حداکثر فراوانی هسته اصلی بندال در ۲۰- طول غربی، در ماه فوریه در طول ۱۰-، مارس در طول ۱۰- درجه غربی، آوریل ۲۰- درجه غربی، اکتبر ۱۰، نوامبر ۲۰ طول شرقی و ماه دسامبر از ۱۰- درجه طول غربی متمرکز بوده است.

جدول ۳: توزیع فراوانی هسته های بندال بر اساس طول جغرافیایی

کل بندال ها در طول دوره سرد سال (۱۹۷۵-۲۰۱۶)	هسته ثانویه		هسته اصلی		ماه
	فراوانی	طول جغرافیایی	فراوانی	طول جغرافیایی	
۸۵	۱۰	-۱۰	۱۴	-۲۰	ژانویه
۶۷	۹	۳۰	۱۰	-۱۰	فوریه
۷۶	۹	۰	۱۲	-۱۰	مارس
۹۳	۹	-۱۰	۱۱	-۲۰	آوریل
۶۲	۱۱	۰	۱۳	۱۰	اکتبر
۶۱	۹	-۱۰	۱۳	۲۰	نوامبر
۶۹	۸	-۳۰	۱۰	-۱۰	دسامبر
۵۱۴	مجموع				

شکل (۱۰) هسته مکانی رخداد بندال ها (در طول جغرافیایی) بصورت بلند مدت را در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد. با توجه به این شکل، در بلند مدت هسته اصلی بندال ها بین طول ۳۰ درجه شرقی تا ۳۰ درجه غربی متمرکز هستند و هسته ثانویه بندال ها که در خشکی های نیمکره شمالی واقع اند بین ۴۰ تا ۷۰ درجه طول شرقی مستقر بوده

اند. بنابراین با توجه به همزمانی بین بارش و ترسالی های ایران و وقوع بندال ها می توان گفت؛ بندال هایی که هسته آن ها در اقیانوس شکل می گیرند نسبت به بندال هایی که هسته آن ها در خشکی های نیمکره شمالی شکل گرفته اند در بارش های فراگیر و نیمه فراگیر ایران اثر بیشتری دارند. علت این تاثیر بیشتر این است که وقوع بندال علاوه بر اینکه مسیر موج بادهای غربی را سد کرده و آن ها را وادار می سازند تا به عرض های جنوبی تر نفوذ کنند؛ بلکه مدت زمان ماندگاری سیکلون ها و سامانه های بارشی را بر روی خاورمیانه نیز افزایش می دهند، بدین ترتیب ایران با ترسالی مواجه خواهد بود.

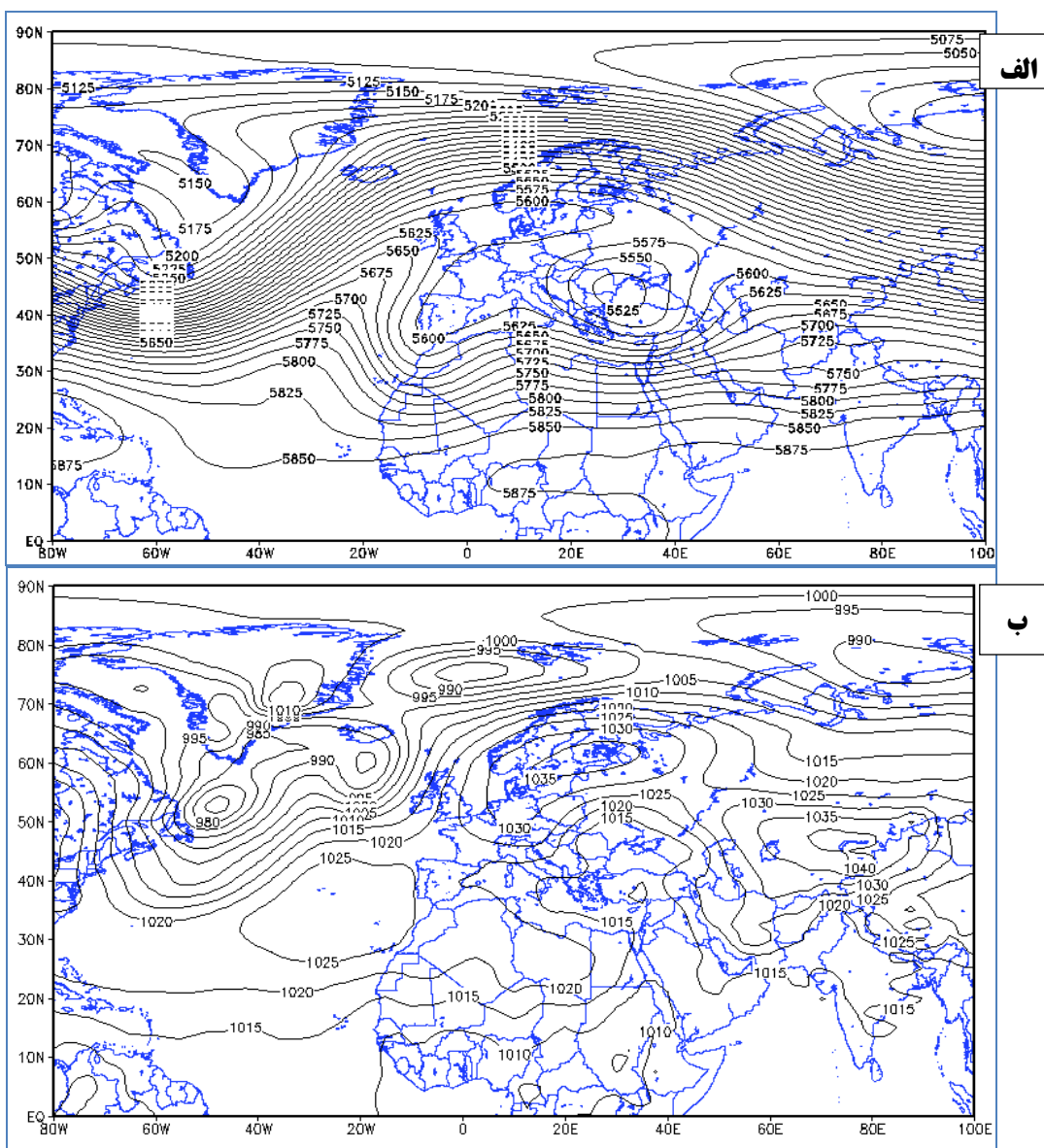


شکل ۱۰: فراوانی هسته های اصلی و ثانویه بندال در طول جغرافیایی

بررسی روابط علی وقوع بندال و بارش فراگیر (نمونه موردی: بارش ۱۲ تا ۲۳ مارس ۲۰۱۵)

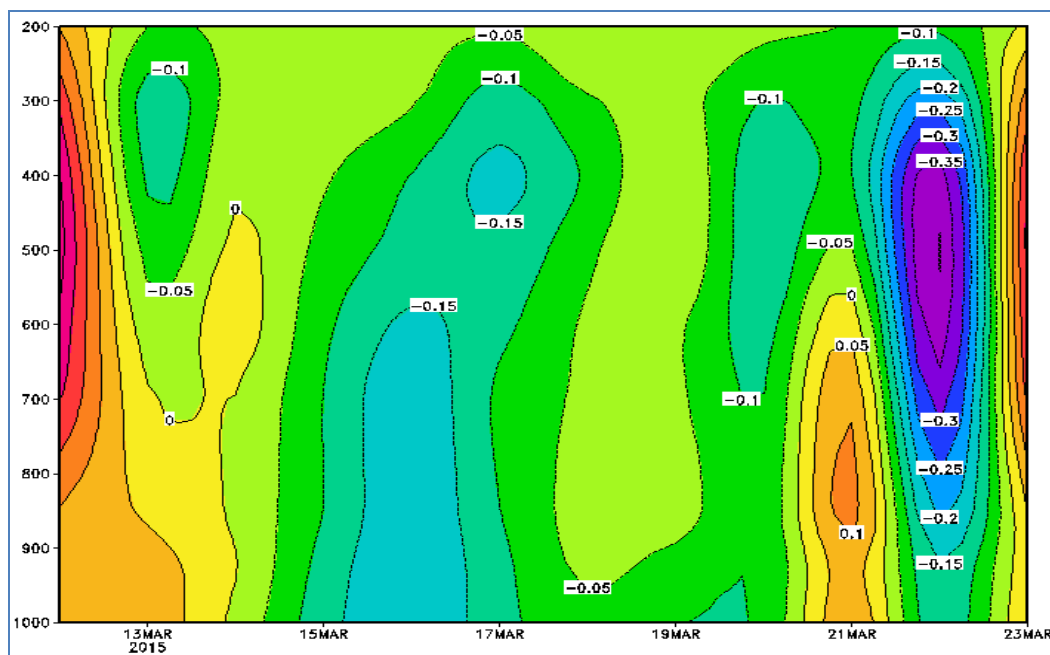
با توجه به فراوانی بالای همزمانی رخداد بندال و وقوع بارش های فراگیر در ایران، یک روز به عنوان نمونه جهت تحلیل همید و بررسی رابط علی و معلولی این پدیده انتخاب و تحلیل شد.

شکل (۱۱ الف) نقشه استقرار بندال ۱۲ تا ۲۳ مارس ۲۰۱۵ را که با ترسالی فراگیر همین دوره هم زمان بوده است را نشان می دهد. این بازه زمانی یکی از فراگیرترین ترسالی در منطقه و دوره مورد مطالعه است، بطوری که از ۴۳ ایستگاه منتخب، ۴۲ ایستگاه دارای بارش بوده اند. جدول (۴). بر این اساس بندال مورد نظر طی این دوره در طول جغرافیایی ۲۰ درجه شرقی در تراز ۵۰۰ بوقوع پیوسته است که با قرارگیری ایران در سمت راست محور ناوه این بندال همزمان شده و ۴۲ ایستگاه در این بازه زمانی با رخداد بارش مواجه بوده اند. بر اساس شکل (۱۰) از روز ۱۲ تا ۲۳ مارس ۲۰۱۵ بندال از نوع رکس با ارتفاع ۵۵۲۵ متر بصورت یک هسته کم فشار بریده بر روی شرق مدیترانه شکل گرفته و به مدت ۱۱ روز بر روی خشکی های نیمکره شمالی در طول ۲۰ درجه شرقی مستقر شده است. این بندال با ایجاد یک ناوه عمیق با عمق بیش از ۲۰ درجه از نوع اریب با جهت شمال غرب - جنوب شرق بر خاک ایران مستولی شده و تقریباً تمامی ایران از این سیستم بندالی متأثر شده است؛ در نتیجه بیشتر مناطق ایران تحت پوشش این کم ارتفاع قرار گرفته و باعث نوسان مثبت در عنصر بارش ایران گردیده است. همزمان در سطح زمین نیز وجود کم فشار قوی باعث میکیده شدن توده های مرطوب به سمت ایران شده است. شکل (ب) ۱۱).



شکل ۱۱: ارتفاع ژئوپتانسیل (الف) و فشار تراز دریا (ب) ۱۲ تا ۲۳ مارس ۲۰۱۵

شکل (۱۲) نقشه امگای روز ۱۲ تا ۲۳ مارس ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد. در این روز ناپایداری در منطقه مورد مطالعه از فرود ایجاد شده در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال تبعیت می‌کند به طوری که اکثر مناطق ایران دارای هسته صعود است که دلیلی بر وجود ناپایداری در بخش‌های مختلف کشور است؛ این هسته‌های صعود وجود ناپایداری نسبتاً شدید را در روز مورد بحث تأیید می‌کند. مقادیر اطلاعات بندال منجر به بارش فراگیر ۱۲ تا ۲۳ مارس ۲۰۱۵ در جدول (۴) درج شده است. همانطوری که جدول (۴) بخوبی نشان می‌دهد، همزمانی وقوع بندال امگایی با شدت بالا و با مقدار $5/3$ BI و با تداوم ۱۱ روزه با بارش‌های فراگیر ایران قابل توجهی می‌باشد بطوری که از میان ۴۳ ایستگاه مورد مطالعه ۴۲ ایستگاه با ناهنجاری مثبت در عنصر بارش مواجه بوده‌اند که نسبت به بلند مدت رشد نشان می‌دهد. در کل با توجه به روش بکار رفته جهت بررسی رابطه علی بین بارش و بندال‌ها، می‌توان گفت که هر زمان که بندال‌ها بین طول ۲۰ درجه غربی تا ۳۰ درجه شرقی واقع شده‌اند، هسته‌های کم فشار در ترازهای بالایی جو نیز تقویت شده، بخش اعظم ایران در زیر منطقه PVA قرار گرفته و در نتیجه ایستگاه‌های مورد مطالعه ترسالی را تجربه نموده‌اند.



شکل ۱۲: نقشه امگای روز ۱۲ تا ۲۳ مارس ۲۰۱۵

جدول ۴: مشخصات بندال ۱۲ تا ۲۳ مارس ۲۰۱۵ بر اساس آرشیو بندال

ایستگاه	بارش	ایستگاه	بارش	ایستگاه	بارش	شدت BI	تداوم بندال	طول جغرافیایی
آبادان	۲۲/۸	همدان	۲۲	سقز	۲۳/۶	۵/۳	۱۱ روز	۲۰ شرقی
اهواز	۳۴/۷	ایرانشهر	۴	سمنان	۱۳/۹			
اراک	۳۳	حاسک	۰	شهرکرد	۳۹/۱			
بابلسر	۱۹/۶	کاشان	۱۱/۲	شاهرود	۱۲/۲			
بم	۶/۹	کرمان	۹/۸	شیراز	۷۱/۳			
بندرعباس	۷	گرمانشاه	۱۳/۴	طیس	۱۴			
انزلی	۳۸	خرم آباد	۴۷	تبریز	۱۹/۳			
لنگه	۷/۶	خوی	۲۷/۴	تهران	۱۷/۸			
بیرجند	۱۹/۸	مشهد	۲۲	تربت حیدریه	۱۷			
بوشهر	۱۷/۶	ارومیه	۱۰/۷	یزد	۱/۱			
چابهار	۳۹	قزوین	۲۸/۴	زابل	۱۰/۷			
دزفول	۱۲	رامسر	۳۵/۲	زاهدان	۷/۴			
اصفان	۲۰/۳	رشت	۳۶/۳	زنجان	۱۱/۷			
فسا	۸۶/۲	سبزوار	۱۱/۲					
گرگان	۱۴/۱	سنندج	۱۴/۴					

بحث و نتیجه گیری

مطالعات اقلیم شناختی بندال نشان می‌دهد که این پدیده یک سیستم بسیار نیرومند می‌باشد که باعث تغییر و دگرگونی آب و هوای مناطق علی‌الخصوص در عرض‌های میانی می‌شود. با توجه به پایداری این پدیده از چند روز تا چند هفته، به طور قابل توجهی بر متغیرهای اصلی جوی به مانند ارتفاع ژئو پتانسیل (GPH)، دما، رطوبت و سیر پارامترهای اقلیم شناختی در سراسر تروپوسفر و استراتوسفر پایین تأثیر گذاشته و با میزان رطوبت و بارش مناطق تحت سیطره اش ارتباط زیادی دارد بطوریکه به ویژه در سال‌های اخیر این مسئله بسیار مورد توجه و بررسی محققان و متخصصین بوده است. بارش نیز که از مهمترین عناصر اقلیمی بخصوص برای کشور خشکی همانند ایران است از این سامانه‌ها تأثیر بسیار زیادی می‌پذیرند بنابراین توزیع فضایی و همزمانی این دو رویداد مهم و بررسی ارتباط آنها مورد توجه قرار گرفت. برای این کار ابتدا وقوع ترسالی‌هایی که با وقوع بارش همزمان بوده اند با استفاده از روش بداعی تناظر داده‌ها برای یک دوره ۴۱ ساله (۱۹۷۵ تا ۲۰۱۶) بررسی و دو نوع ترسالی فراگیر و نیمه فراگیر تشخیص داده شد و سپس بر اساس تاریخ وقوع ترسالی‌ها، وجود و همزمانی رخداد بندال در همان تاریخ نیز بررسی و اثر این همزمانی مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

نتایج تحقیق نشان داد که مرکز بیشتر بندال‌هایی که آب و هوای ایران را متأثر کرده اند، در منطقه اسکاندیناوی (اطلس) که منطقه پیشینه روزهای همراه با بندال است، می‌باشد. همچنین بررسی شدت بندال‌های موثر بر آب و هوای ایران نشان داد که بندال قوی از نظر فراوانی بیشترین تعداد را پس از بندال متوسط دارد و این نشان می‌دهد که کشور ایران بیشتر تحت تأثیر بندال‌های متوسط و سپس قوی قرار دارد و فراوانی بندال‌های ضعیف کمتر است. از نظر تداوم و طول عمر بندال، با توجه به این که رخداد‌های ۵ روزه و بیشتر را به عنوان یک رخداد بندال به حساب آوردیم، عمر بندال‌هایی که کشور ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند به طور متوسط ۹/۲ روز است. رخداد‌های با طول عمر ۵ روز بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند هر چند که رخداد‌های با تداوم ۲۰ روز و بیشتر نیز با فراوانی کم دیده می‌شود.

باتوجه به توزیع فراوانی محل رخداد بندال مشخص شد که هنگام وقوع ترسالی در ایران، محل آن‌ها در ماه‌های سرد بر روی منطقه اقیانوس اطلس و طی ماه‌های گرم به مناطقی از خشکی نیمکره شمالی منتقل می‌شوند. بدین ترتیب می‌توان گفت که طی سال‌های مورد مطالعه در فصول سرد، حاکمیت با بندال‌های از نوع متوسط (با ۷۴/۶ درصد) و سپس قوی (با ۲۱/۱ درصد) است و در نهایت بندال‌های ضعیف (با ۴/۴ درصد) فراوانی کمتری را به خود اختصاص دادند. همچنین جهت شناسایی هسته بندال‌ها براساس طول جغرافیایی مشخص گردید که طی ماه‌های سرد سال هسته‌های بندال‌ها بین طول ۱۰ درجه طول غربی تا ۳۰ درجه طول شرقی بر روی پهنه‌های آبی نیمکره شمالی شکل گرفته و هرچه به فصل گرم سال نزدیک می‌شویم، این هسته‌ها به خشکی‌های زمین بین طول ۴۰ تا ۶۰ شرقی منتقل شده و آب و هوای مناطق تحت سیطره خود را با دگرگونی‌های مثبت برای پارامتر بارش مواجه ساخته‌اند. بنابراین می‌توان گفت که در فصل زمستان طول عمر بندال‌ها بیشتر از فصول دیگر است در نتیجه این فصل با توجه به عقب نشینی پرفشار جنب حاره، وقوع بندال‌های قوی و مدت دار و قدرت زیاد ورتکس قطبی، میانگین بارش‌ها بیشتر از فصول دیگر می‌باشد. همچنین وقوع بندال مسیر موج بادهای غربی را سد می‌کند و ماندگاری سیکلون‌ها و سامانه‌های بارشی را بر روی خاورمیانه نیز افزایش می‌دهند، بدین ترتیب ایران با ترسالی مواجه خواهد بود. در کل نتایج این تحقیق نشان داد که بندال‌ها و توزیع فضایی آن می‌تواند بر عناصر اقلیمی نظیر بارش اثرات فراوانی داشته و این عنصر را دچار نوسان در شدت و مدت و مقدار نماید.

همچنین نتایج حاصل از تحلیل سینوپتیک نمونه ای از همزمانی قویترین بندال های رخ داده (از جمله بندال رخ داده در ۱۲ تا ۲۳ مارس ۲۰۱۵) با بارش های ایران نشان داد، زمانی که هسته اصلی بندال بین طول جغرافیایی ۳۰ درجه شرقی شکل گرفته اند، ناوه عمیقی در تراز میانی جو شکل گرفته که جو کشور را با کاهش فشار مواجه نموده است بطوری که ایران را زیر محور ناوه و یا زیر واگرایی بالا قرار می دهد که در نتیجه سامانه های مرطوب عرض های بالا به ایران نفوذ کرده و باعث ترسالی در ایران می شوند. در کل با توجه به روش انتخابی جهت بررسی رابط علی بین بارش و بندال ها، می توان نتیجه گرفت، با قرار گیری هسته بندال ها بین طول ۲۰ درجه غربی تا ۳۰ درجه شرقی واقع شده اند، هسته های کم فشار در ترازهای بالایی جو نیز تقویت شده، بخش اعظم ایستگاههای مورد مطالعه در زیر منطقه PVA قرار گرفته و در نتیجه ترسالی را تجربه نموده اند. با مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج سایر تحقیقات شناخته، همانند تحقیق لوپو و همکاران (۲۰۱۷)، که دریافتند بندال های نیمکره شمالی قوی تر از حوضه نیمکره جنوبی بوده و رویدادهای زمستانی قوی تر از تابستان است؛ همچنین نتایج این تحقیق با تحقیق پالو و همکاران (۲۰۱۲)، که دریافتند عناصر اقلیم شناختی با رخداد، طول مدت و شدت بندال در ارتباط است همخوانی دارد. همچنین با مطالعه تحقیقات داخلی همانند پژوهش عزیز (۱۳۷۸ و ۱۳۸۹) و درگهیان و همکاران (۱۳۹۳)، که نشان دادند همزمانی با روی داد بندال، بارش های ایران نیز افزایش می یابد؛ مطابقت بالایی دارد.

منابع

- ۱) خوش اخلاق، ف. (۱۳۷۶)، بررسی الگوهای ماهانه خشکسالی و ترسالی در ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال دوازدهم، دوره دوم، شماره ۴۵، صص ۱۵۴-۱۳۶.
- ۲) درگاهیان، ف؛ علیجانی، ب و محمدی، ح. (۱۳۹۳)، آشکارسازی و مطالعه اقلیم شناختی رخدادهای بندال موثر بر آب و هوای ایران (دوره آماری، ۲۰۰۱۲-۱۹۵۳) در فصل سرد، فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، شماره ۴۸، صص ۲۳۷-۲۵۶.
- ۳) ذوالفقاری، ح؛ معصوم پور سماکوش، ج؛ رشیدی ناصرخانی، ا؛ میری، م. (۱۳۹۱). تأثیر سامانه‌های بندالی جو بر وقوع و استمرار دوره‌های خشک غرب و شمال غرب ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال سوم، شماره ۹ و ۱۰، صص ۱۰۱-۱۱۹.
- ۴) زربو، ا.م؛ محب الحجه، ع؛ احمدی گیوی، ف. (۱۳۹۲)، بررسی موردی پدیده بندال اوراسیا توسط فعالیت موج، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی. ۱۳۹۲.
- ۵) صداقت کردار. ع، فتاحی. ا. (۱۳۸۷). شاخص های پیش آگاهی خشکسالی در ایران. جغرافیا و توسعه، شماره ۱۱، صص ۷۶-۵۹.
- ۶) طولابی نژاد. م، حجازی‌زاده. ز، بساک. ع، بزمی. ن. (۱۳۹۷)، اثرات نوسان اطلس شمالی بر ناهنجاری تراز میانی جو و بارش ایران (مطالعه موردی: غرب ایران)، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره هجدهم، شماره ۴۹، صص ۱۹-۳۵.
- ۷) ع، فاطمه؛ ر، داریوش؛ مسعودیان، س.؛ کیخسروی کیانی، م.ص. (۱۳۹۷). بررسی اقلیمی سامانه‌های بندالی نیمکره شمالی و ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره پنجاه، شماره ۴، صص ۶۵۵-۶۶۷.
- ۸) عزیزی، ق. (۱۳۷۸)، بلاکینگ، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۷، صص ۳۶-۵۰.
- ۹) عزیزی، ق. (۱۳۷۵)، بندال و اثر آن بر بارشهای ایران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۰) عزیزی، ق؛ محسن، س؛ علی، ح؛ عباس، ر؛ میرزایی، ا. (۱۳۹۰)، اثر سامانه بندال در ایجاد بارش‌های شدید (مطالعه موردی: بارش ۴ تا ۷ آبان ماه ۱۳۸۷ شمال غرب ایران)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره ۴، صص ۱۱۷-۱۴۷.
- ۱۱) کاویانی، م. ر؛ علیجانی، ب. (۱۳۹۰). مبانی آب و هواشناسی، چاپ نهم، انتشارات سمت.
- ۱۲) ناظم السادات، ج و انصاری بصیر، ا و پیشوایی، م.ر. (۱۳۸۶). ارزیابی سطح معنی داری برای پیش بینی دوران خشکسالی و ترسالی فصل پاییز و شش ماهه سرد ایران بر اساس وضعیت فازهای تابستانه انسو. تحقیقات منابع آب ایران، سال سوم، شماره اول، صص ۲۴-۱۲.
- 13) Andrew D. Jensen , Anthony R. Lupo , Igor I. Mokhov , Mirseid G. Akperov, DeVondria D. Reynolds, (2017). Integrated Regional Enstrophy and Block Intensity as a Measure of Kolmogorov Entropy. Atmosphere, NO. 8, VOL. 12: PP. 237-251.
- 14) Clark, J.V., Mihalka, K.M. and Lupo, A.R., 2007, Blocking in the Northern and Southern Hemisphere: An Update to Include 2000-2006, the 87th Annual Meeting of the American Meteorological Society, 19th Conference on Climate Variability and Change, 14 – 18, San Antonio, TX.
- 15) Fowler, A and K.Adams (2004). Twentieth Century Droughts and Wet Periods in Auckland (New Zealand) and Their Relationship to ENSO. International Journal of Climatology, NO. 24: PP. 1974-1961.

- 16) Knox, J., Glawford, R., (1990). The relationship between Canadian prairie dry and wet months and circulation anomalies in the mid-troposphere, *Atmosphere Ocean*, NO. 28: 189- 215.
- 17) Lupo, A. R., Clark, J. V., Hendin, A. M., Kelly, A. S., Mihalka, K. M., Perrin, B. L., Puricelli, K. M., 2008, The Global Increase in Blocking Occurrences, 21th Conference on Climate Variability and Change/88th Annual Meeting of the American Meteorological Society 19 – 24 January.
- 18) Lupo, A., (1997). A Diagnosis of Two Blocking Events that Occurred Simultaneously in the Mid-Latitude Northern Hemisphere, *Mon. Wea. Rev*, NO. 125: PP. 1801 – 1823.
- 19) Lupo, A.R., and P.J., Smith, (1995). Planetary and synoptic-scale interactions during the life-cycle of a multitude blocking anticyclone over the North Atlantic. *Tellus*, NO. 47: PP. 575–596.
- 20) Lupo, A R., Andrew D. Jensen, Igor I. Mokhov, and Alexander V. Timazhev. (2017). Changes in Blocking Characteristics during the First 21Part of the 21st Century. Conference Proceedings Paper. ECAS2017.
- 21) Pavan, V., Molten, F., and C. Brankovic, (2000). Wintertime variability in the EuroAtlantic region in observations and in ECMWF seasonal ensemble experiments. *Quart. J. Roy. Meteor.Soc*, NO. 126: PP. 2143–2173.
- 22) Razinei, T, Bordi, I, Pereira, L.S, Corte, J and A. Santos (2011). Relationship between daily atmospheric circulation types and winter dry/wet spells in western Iran. *International Journal of Climatology*, NO. 32: PP. 1056-1068
- 23) Rex, D., (1950). Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional Climate. I: An aerological study of blocking. *Tellus*, NO. 2: PP. 169–211.
- 24) Scherer, S.C., Croci-Maspoli, M., Schwarz, C., and C. Appenzeller. (2006). Two dimensional indices of atmospheric blocking and their statistical relationship with winter climate patterns in the Euro-Atlantic region. *Int. J. Climatology*, NO. 26:PP. 233– 249.
- 25) Schwierz, C., Croci-Maspoli, M. and Davies, H. C., 2004, Perspicacious Indicators of Atmospheric Blocking, *Geophysical Research Letters*, NO. 31, PP. 1-14.
- 26) Shabbar, A., Huang, J.P., and K. Higuchi. (2001). the relationship between the wintertime North Atlantic Oscillation and blocking episodes in the North Atlantic. *Int. J. Climatology*, NO. 21:PP. 355–369.
- 27) Shulze, R.E., (1984). Hydrological simulation as a tool for agricultural drought assessment, *Water SA*, NO.10, VOL. 1, PP. 55–62.
- 28) Silmann, J., 2008, Atmospheric Blocking in Present and Future Climate Model Simulations, Ph.D. Thesis Prepared Within the International Max Planck Research School on Earth System Modeling.
- 29) Tran, L, Gregory, K.C and V.Wesner (2002). Drought in Bulgaria and Atmospheric Synoptic Conditions over Europe. *Kluwer Academic Publishers*, NO. 57:PP. 149-157.
- 30) Triedl, R.A., Birch, E.C. and Sajecki, P., 1981, Blocking Action in the Northern Hemisphere: A Climatological Study, *Atmosphere-Ocean*, vol. 19, No.1:pp .1-23.
- 31) Triedl, R.A., Birch, E.C. and Sajecki, P., 1981, Blocking Action in the Northern Hemisphere: A Climatological Study, *Atmosphere-Ocean*, NO.19, VOL.1, 1-23.
- 32) Trigo, I. F., G. R. Bigg and T. D. Davies, 2002; Climatology of cyclogenesis mechanisms in the Mediterranean, *Mon. Wea. Rev*, NO.130, VOL. 3:PP.549-569.

- 33) Trigo, R. M., Trigo, I.F., DaCamara, C.C., and T. J. Osborn., (2004). Climate impact of the European winter blocking episodes from the NCEP/NCAR reanalysis. *Climate Dyn.* 23:PP. 17–28.
 - 34) Tyrlis, E., Hoskins, B., (2008a), "Aspects of a Northern Hemisphere Atmospheric Blocking Climatology", *Journal of Atmospheric Science*, NO. 65: PP.1638-1652.
 - 35) Wang, L., Chen, w., Zhou, w., Chau, J., D, Barriopedro. (2009). Short communication effect of the climate shift around mid-1970s on the relationship between wintertime ural blocking circulation and east asian climate, *international journal of climatology*, NO.10: 1-6.
 - 36) Wiedenmann, J.M., A.R. Lupo, I.I. Mokhov, and E.A. Tikhonova, 2002: The Climatology of Blocking Anticyclones for the Northern and Southern Hemispheres: Block Intensity as a Diagnostic. *J. Climate*, NO.15: PP3459–3473.
-