

## جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست و هفت، پاییز ۱۳۹۷

صص ۱۶۰-۱۳۵

DOI: 10.22067/geo.v0i0.68353

### آشکارسازی شرایط همدید مؤثر بر خشک‌سالی و ترسالی‌های شدید و فراگیر در نیمه شرقی ایران

زهرآ حجازی زاده<sup>۱</sup> - استاد آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران  
فرشاد پژوه - دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران  
فرزانه جعفری - دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۶/۱۹

#### چکیده

خشک‌سالی یکی از مخاطرات طبیعی است که در بیشتر نقاط جهان اتفاق می‌افتد، ولی نمود آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیشتر است. هدف از این پژوهش شناسایی خشک‌سالی - ترسالی‌های شدید و فراگیر در نیمه شرقی ایران و ارتباط آن با وضعیت همدید و ردسپهر است. بدین منظور با استفاده از داده‌های ماهانه و سالانه بارش طی دوره (۲۰۱۴-۱۹۸۵) خشک‌سالی و ترسالی‌های شدید و فراگیر نیمه شرقی ایران با شاخص ناهنجاری بارندگی سالانه (RAI) تعیین گردید. سپس جهت آشکارسازی ارتباط خشک‌سالی و ترسالی‌های رخ داده با شرایط همدید، داده‌های سطوح فوقانی و ردسپهر از مرکز ملی اقیانوس و جوشناسی ایالات متحده آمریکا استخراج شدند. بررسی تغییرات سری زمانی شاخص ناهنجاری بارندگی سالانه (RAI) در منطقه پژوهش نشان داد که دوره آماری مورد بررسی می‌تواند به دو دوره تقسیم شود: یک دوره مرطوب (۱۹۸۵ تا ۱۹۹۹) و یک دوره خشک (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴). بررسی نقشه‌های فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در فصل زمستان سال‌های خشک منتخب نشان داد که اندرکنش بین سامانه پرفشار سبیری در سطح زمین و پرارتفاع جنب‌حاره‌ای عربستان در سطوح میانی و ردسپهر بر روی منطقه پژوهش نقش بسزایی در انحراف بادهای غربی به سمت عرض‌های بالاتر و ایجاد شرایطی پایدار و خشک دارد. در مقابل در ماه‌های مرطوب سال‌های منتخب ترسالی، با شرق سو شدن پرارتفاع از شبه‌جزیره عربستان به سمت دریای عرب، اجازه نفوذ سامانه‌های کم‌فشار سودانی و مدیترانه‌ای در سطح زمین و ناوه عمیق مناطق شمالی اروپا و کشور روسیه با راستایی شمال به جنوب در سطوح میانی و ردسپهر را به سمت منطقه شرق و جنوب شرق کشور پیدا می‌کند. سمت جریان باد در سطوح نزدیک به زمین در طی سال‌های خشک به دلیل نفوذ سامانه پرفشار سبیری

شمالی بوده و با قرارگیری جریان واپرخندی بر روی شبه جزیره عربستان مانع از ایفای نقش دریا‌های جنوبی و غربی در فرارفت رطوبت می‌شود. اما در سال‌های مرطوب منتخب با عقب‌نشینی پرفشار قدرتمند سیبری و نفوذ سامانه‌های کم‌فشار و ناوه عرض‌های بالا، سمت باد در سطح زمین و میانی و ردسپهر جنوبی و غربی شده و دریا‌های مجاور ایران به‌ویژه جنوبی همچون دریای عرب و سرخ نقش تأمین رطوبت را در زمان رخداد ناپایداری و ترسالی‌های فراگیر منطقه پژوهش بر عهده‌دارند.

**کلیدواژه‌ها:** شاخص ناهنجاری بارندگی، خشک‌سالی و ترسالی، شدید و فراگیر، پرفشار سیبری، پراارتفاع عربستان، نیمه شرقی ایران

#### ۱- مقدمه

خشک‌سالی یک پدیده اقلیمی خزنده است که وقوع آن در تمام اقلیم‌ها اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. به دلیل وابستگی بشر و اکوسیستم به موجودیت آب و کمبود منابع آبی در اقلیم خشک و نیمه‌خشک وقوع خشک‌سالی حتی با شدت کم می‌تواند محدودیت منابع آبی را تشدید کرده و اثرات زیان‌بار بی‌شماری را به بار آورد. خشک‌سالی با دیگر حوادث طبیعی از قبیل سیل، طوفان و زلزله تفاوت‌هایی دارد. عمده‌ی این تفاوت‌ها در تأثیر تدریجی خشک‌سالی طی یک دوره‌ی نسبتاً طولانی، عدم امکان تعیین دقیق زمان شروع و خاتمه و وسعت جغرافیایی تأثیر آن است. از طرف دیگر نبود تعریف دقیق و قابل قبول جهانی از خشک‌سالی به پیچیدگی و سردرگمی این پدیده افزوده است (زارع و همکاران، ۱۳۸۳). در کل خشک‌سالی عبارت است از کاهش غیرمنتظره‌ی بارش در مدتی معین در منطقه‌ای که لزوماً خشک نیست (علی‌جانی و کاویانی، ۱۳۹۰) و یا کاهش بارش نسبت به میانگین درازمدت اطلاق می‌گردد (فرج زاده، ۱۳۸۶). ایران یکی از کشورهای است که در کمربند بیابانی کره زمین قرار دارد و در برخی سال‌ها از خشک‌سالی و در بعضی دیگر از سال‌ها از ترسالی آسیب می‌پذیرد. با استفاده از شاخص‌ها و ابزارهای تحلیل متعددی که وجود دارد تلاش می‌شود سامانه‌های پایش خشک‌سالی با استفاده از این شاخص‌ها طراحی گردند و اطلاعاتی که از آنها استخراج می‌شود بیانگر عملیات مقابله با خشک‌سالی و زمان شروع آنها می‌باشد.

محاسبات کمی خشک‌سالی به لحاظ مناطق تحت تأثیر از این پدیده و میزان فهم و درک محققان و متخصصین از آن در نقاط مختلف جهان که با این مشکل درگیر هستند، توسعه داده شده است. بلاخص با ارائه شاخص یا مدل پالمر در نیمه دوم قرن بیستم که توسط (Palmer, 1965) ارائه شد. منشأ تحولی در تکامل شاخص‌هایی خشک‌سالی بود. مطالعات صورت گرفته پس از پالمر، شاخص‌های مدرنی همچون شاخص منابع آب و شاخص بارش استاندارد شده و پایش خشک‌سالی را در پی داشت. در نتیجه تلاش برای یافتن شاخص مناسب در اقلیم مناطق مختلف، مطالعات فراوانی صورت گرفت. (Duckstein et al., 1993) نیز الگوهای گردش مولد سیلاب را برای ایالت آریزونا آمریکا شناسایی کردند. (Lamb, 1997) روشن ساخت که ارتباط میان بارش به‌عنوان متغیرترین پدیده جوی و الگوهای

گردش بسیار قوی است. با شناسایی الگوهای گردش جو می‌توان تغییرات، فراوانی، شدت و توزیع مکانی بارش را بررسی و دلایل فیزیکی آن را بیان کرد. (Corte-Real et al., 1998) و (Trigo and Dacamara, 2000) کاهش فراوانی گونه‌های هوای باران‌زا و افزایش فراوانی گونه‌های هوای خشکی‌زا را عامل اصلی کاهش بارش در پرتغال در نیمه دوم قرن بیستم می‌دانند. (Bordi et al., 2001) جهت بررسی شرایط خشک‌سالی در ایتالیا از شاخص بارش استاندارد شده استفاده نمودند. (Lloyd and Saunders, 2002) خشک‌سالی اقلیمی را با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص خشک‌سالی پالم (PDSI) بر اساس آمار ۱۰۰ ساله (۱۹۹۹-۱۹۰۱) در بازه‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه برای اروپا مطالعه کردند. (Fink et al., 2004) خشک‌سالی‌های تابستانه سال ۲۰۰۳ اروپا را به روش همدید بررسی کردند و قرار گرفتن پرفشارهای دینامیکی بر روی اروپا را علت رخداد این پدیده بیان کردند و در این شرایط، بیشترین ناهنجاری‌های مثبت تپ‌های هوای واچرخندی نسبت به میانگین بلندمدت مشاهده شده است. (Parry et al., 2010) توسعه زمانی- مکانی و ویژگی‌های خشک‌سالی‌های بزرگ‌مقیاس اروپا را با روش شاخص استاندارد (SPI) و واکاوی همدید مطالعه کردند نتایج آن‌ها نشان داد که در دوره نخست قرارگیری سامانه پرفشاری در سراسر اطلس شمالی و بندالی شدن آن در مسیر بادهای غربی سبب انحراف سامانه‌های بارش‌زا به جنوب مدیترانه شده که این حالت سبب رخداد خشک‌سالی در اروپا شده است. همچنین (Sabziparvar et al., 2010) الگوهای سینوپتیکی منجر به بارندگی‌های سیل‌آسا در جنوب غرب ایران را مطالعه کرده و حاکمیت سامانه کم‌فشار سودانی و تغذیه رطوبت آن از اقیانوس هند را به‌عنوان عوامل اصلی منجر به وقوع پدیده زیان‌بار سیل در این منطقه معرفی نمودند. (Croitoru and Toma, 2011)، رخداد خشک‌سالی در دشت‌های مرکزی رومانی را مطالعه کرده و بندالی شدن هوا در مسیر فرارفت توده هوای مرطوب حاره‌ای را دلیل آن بیان کردند. تأثیر فشار بالای آזור در بارش خاورمیانه توسط (Iqbal et al., 2012) مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج نشان می‌دهد که بین تغییرات بارش زمستان شرق میانه و فشار بالای آזור رابطه منفی وجود دارد و افزون بر این، کاهش مداوم در بارش فصل زمستان در شرق میانه بیش از مدت مشابه به افزایش فشار آזור نسبت داده شده است. (Kingston et al., 2015) در واکاوی همدید خشک‌سالی اروپا طی دوره ۲۰۰۱-۱۹۵۸ نشان دادند که شروع خشک‌سالی‌های بزرگ و فراگیر در شمال اروپا در ارتباط با گردش‌های ناهنجار دو قطبی نوسان اطلس شمالی است و رخداد خشک‌سالی‌های بزرگ دیگر نقاط اروپا در ارتباط با گسترش شمال شرق سو پرفشار آזור و ناهنجاری گردشی شرق اطلس- غرب روسیه است. (Modaresi et al., 2016) در مطالعه‌ای تحت عنوان تغییرات شدت رخداد خشکی و سیل در ایران طی دوره ۱۹۵۰-۲۰۱۰ نشان دادند که افزایش و کاهش روند شدت و بزرگی خشک‌سالی و سیلاب‌ها در مناطق اقلیمی مختلف و حوضه‌های بزرگ آبی در ایران مشاهده شده است به صورتی که در سال‌های اخیر بزرگترین خشک‌سالی و حداکثر بارش روزانه افزایش محسوس یافته است. (Barlow et al., 2016) معتقدند رخداد لائینا و تغییرات دمایی در شرق و

غرب اقیانوس آرام و هند مهم‌ترین نقش را در بروز فراگیرترین خشک‌سالی‌های جنوب غرب آسیا در سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۱ و ۲۰۰۷-۲۰۰۸ طی ۵۰ سال اخیر ایفا کرده‌اند. (Jae-Won et al., 2017) در بررسی تغییرات دهه‌ای خشک‌سالی بهاره در کره جنوبی طی دوره ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۴ نشان دادند که دوره زمانی موردبررسی به دو دوره مرطوب ۱۹۷۵-۱۹۹۰ و خشک ۱۹۹۱-۲۰۱۴ تقسیم می‌شود که این نوسانات خشک‌سالی و ترسالی از سامانه الگوی فشار زیاد در غرب و کم در شرق کره جنوبی تأثیر می‌پذیرد و زمانی که پرفشار جنب حاره غرب اقیانوس آرام شمالی تضعیف می‌شود با کاهش فرارفت هوای گرم و مرطوب و جنوب سو شدن رودباد سطوح بالای ورسپهر همراه می‌گردد.

حجازی زاده (۱۳۷۲) در زمینه بررسی سینوپتیکی اثرات پرفشار جنب‌حاره‌ای در ایران، مطالعاتی را بر روی نوسان پرفشار جنب‌حاره‌ای در تغییر فصل ایران انجام داده است. فرج زاده (۱۳۷۴) با تحلیل داده‌های بارندگی، خشک‌سالی سالیانه ایران را بررسی نمودند. خوش‌اخلاق (۱۳۷۷) در رساله خود با تأکید بر عنصر بارش و استفاده از روش تحلیل سینوپتیک اقدام به مطالعه دوره‌های خشک و مرطوب در مقاطع زمانی مختلف برای ایران نموده و پس از تعیین خشک‌سالی‌های فراگیر ایران را بر روی نقشه ترسیم و از دیدگاه سینوپتیک مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است. علیجانی (۱۳۷۸) با استفاده از داده‌های میانگین ماهانه ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال الگوهای گردش جو را برای منطقه مدیترانه تعیین و اثر آن را بر اقلیم ایران بررسی کرد. او نتیجه گرفت که در بیشتر وقت‌ها ناوهای بلند روی مدیترانه حاکم است و با جابه‌جایی خود، اقلیم ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این ناوه با بارش ایران رابطه منفی و با دمای ایران رابطه مثبت دارد.

تحلیل هم‌مدیدی و اچرخندها بر خشک‌سالی‌های فراگیر خراسان موردبررسی قرار گرفته و مشخص شده وقوع خشک‌سالی‌های ماهانه خراسان، ناشی از تشدید فعالیت و افزایش فشار فرابار سیبری و پرفشار جنب‌حاره‌ای آזור و ادغام آنها در خاورمیانه در سطح زمین است که با گسترش به شمال پرفشار آזור در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و ایجاد پشته در بین النهرین و غرب کشور جریانات شمال غربی و نهایتاً دوره خشک‌سالی در خراسان برقرار می‌شود (صادقی و همکاران، ۱۳۸۷). در پژوهشی دیگر، اثر موقعیت پرفشارهای جنب آזור و سیبری بر بارش منطقه غرب ایران در زمستان‌های خشک، طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۵ بررسی کردند. نتایج نشانگر تغییر مکان پرفشارهای سیبری و آזור به عرض‌های بالاتر و همچنین اتصال آنها به یکدیگر در زمستان‌های خشک، به‌ویژه در ماه ژانویه است. بالاتر بودن عرض جغرافیایی زبانه پرفشار سیبری در ماه ژانویه، نشانگر وقوع زمستان گرم و همزمانی آن با واقع شدن کمربند پرفشار جنب حاره در عرض‌های بالاتر، پیش‌بینی کننده زمستان خشک است. در زمستان‌های خشک، بی‌هنجاری مثبت فشار بر روی مدیترانه (ناشی از پرفشار آזור) و بی‌هنجاری منفی فشار در شمال ایران (در اثر

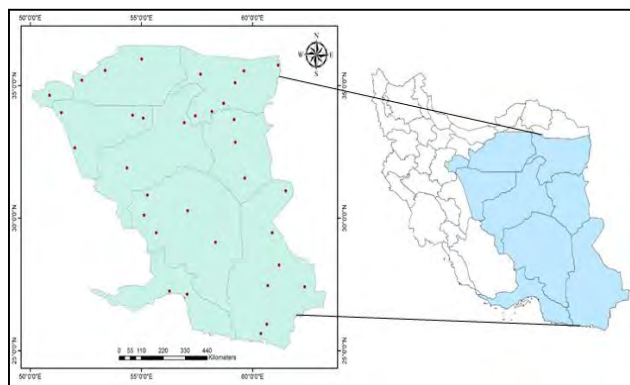
پرفشار سیبری) مشاهده می‌شود. در این شرایط، پرفشار آזור قوی و پرفشار سیبری ضعیف است (احمدی گیوی و همکاران، ۱۳۸۹).

طی رویداد گرم نوسان جنوبی، یعنی زمانی که آب‌های سواحل غربی آمریکای جنوبی گرم‌تر از معمول هستند، در ۸۶ درصد موارد، ایران بارشی بیشتر از معمول دریافت می‌کند و در ترسالی به سر می‌برد؛ برعکس، طی رویداد سرد نوسان جنوبی، یعنی زمانی که آب‌های سواحل غربی آمریکای جنوبی سردتر از معمول هستند، در ۶۵ درصد موارد، ایران کمتر از معمول بارش دریافت می‌کند و در خشک‌سالی به سر می‌برد (مسعودیان، ۱۳۹۰). فاطمی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی همدید دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی ایران مرکزی، جنوب سو شدن پرفشار سیبری و زبانه‌های پراارتفاع در دوره‌های خشک و عقب نشینی این پرفشار و نفوذ جریان‌ات گرم و مرطوب از دریای سرخ و مدیترانه طی دوره‌های مرطوب مؤلفه‌های اصلی در بروز خشک‌سالی و ترسالی‌های منطقه می‌باشند. کیانیان و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی و ارتباط خشک‌سالی و ترسالی‌های غرب کشور با الگوهای سینوپتیکی جو نشان دادند که الگوهای دوره‌های خشک عبارت‌اند از سامانه‌های بندالی و پرفشار جنب‌حاره‌ای‌اند و الگوهای دوره‌های مرطوب شامل ناوه دریای مدیترانه و سرخ هستند. لشکری و همکاران (۱۳۹۶) در تحلیل همدید نقش پرفشار عربستان و رودباد جنب‌حاره‌ای در خشک‌سالی‌های شدید جنوب غرب ایران به این نتیجه دست یافتند که در خشک‌سالی‌های شدید پرفشار عربستان حرکت غرب سو داشته و بر روی خشکی شبه‌جزیره عربستان قرار می‌گردد و با ادغام با زبانه پرفشار آفریقا باعث راندن کم‌فشار سودانی به عرض‌های جنوبی می‌شود. هدف از انجام این تحقیق شناسایی شدیدترین و فراگیرترین خشک‌سالی و ترسالی‌ها طی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۴) در نیمه شرق و جنوبی کشور و بررسی ارتباط آن با شرایط گردشی و ردسپهر است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه پژوهش ما بخش وسیعی از سرزمین ایران شامل مناطق کویری و بیابانی در شرق، مرکز و جنوب شرق کشور است که استان‌های سیستان و بلوچستان، هرمزگان، کرمان، یزد، خراسان جنوبی، قم، نیمه جنوبی استان خراسان رضوی، استان اصفهان و سمنان را شامل می‌شود. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش

## ۲-۲- جمع آوری داده

داده‌های ۳۵ ایستگاه زمینی مورد استفاده در پژوهش شامل داده‌های بارش روزانه دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴ واقع در ۹ استان خراسان رضوی، خراسان جنوبی، سمنان، قم، سیستان و بلوچستان، یزد، کرمان، اصفهان و هرمزگان می‌باشد که از بخش خدمات ماشینی سازمان هواشناسی کشور اخذ گردیده شده است. داده‌های سطوح فوقانی شامل داده‌های بازکای شده مؤلفه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار سطح دریا، رطوبت باد مداری و نصف‌النهاری در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد که از سایت مرکز پیش بینی هوای میان مدت اروپا (ECMWF) با تفکیک مکانی ۰٫۷۵ درجه قوسی استفاده شده است. سپس با استفاده از نرم افزار گرادس<sup>۱</sup> نقشه‌های ترکیبی فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و بردار باد و رطوبت در ترازهای ۱۰۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال در محدوده ۰ تا ۷۵ درجه شمالی و ۰ تا ۹۰ درجه طول شرقی ترسیم گردید.

## ۲-۲-۱- شاخص خشک‌سالی

شاخص ناهنجاری بارندگی<sup>۲</sup> (RAI) توسط (Rooy, 1965) ارائه شده است. اساس شاخص ناهنجاری بارندگی، محاسبه انحراف میزان بارندگی از مقدار نرمال می‌باشد. مراحل محاسبه شاخص به صورت زیر است:

- ۱- محاسبه میانگین درازمدت بارندگی در ایستگاه‌های مورد نظر.
- ۲- استخراج میانگین ده مورد از بیشترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره‌های مطالعاتی
- ۳- استخراج میانگین ده مورد از کمترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره‌های مطالعاتی.
- ۴- مقایسه داده‌های بارندگی یا میانگین درازمدت بارندگی.

1 Grads

2 Rainfall anomaly index

چنانچه  $P > \bar{P}$  یا ناهنجاری مثبت باشد، شاخص ناهنجاری بارندگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$RAI = 3 \frac{P - \bar{P}}{M - \bar{P}}$$

اگر  $P < \bar{P}$  یا ناهنجاری منفی باشد، شاخص ناهنجاری بارندگی به صورت زیر خواهد بود:

$$RAI = -3 \frac{P - \bar{P}}{X - \bar{P}}$$

۵- نسبت داده آستانه‌های +۳ و -۳ به ترتیب به میانگین ده مورد از شدیدترین ناهنجاری‌های مثبت و منفی به دست آمده از شاخص ناهنجاری بارندگی.

۶- با مقیاس گذاری روی مقادیر حاصل از شاخص ناهنجاری بارندگی، نه طبقه ناهنجاری با دامنه‌ای از شرایط رطوبت بسیار شدید تا خشکسالی بسیار شدید تعیین می‌شود. طبقه بندی خشکسالی بر اساس شاخص RAI در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- طبقات مختلف شاخص ناهنجاری بارندگی

| وضعیت خشکسالی      | آستانه‌های نسبت داده شده به RAI |
|--------------------|---------------------------------|
| نزدیک نرمال        | +۰٫۳ تا -۰٫۳                    |
| خشکسالی ضعیف       | -۰٫۳ تا -۱٫۲                    |
| خشکسالی متوسط      | -۱٫۲ تا -۲٫۱                    |
| خشکسالی شدید       | -۲٫۱ تا -۳                      |
| خشکسالی بسیار شدید | $\leq -۳$                       |

برای تهیه نقشه‌های خشکسالی منطقه مورد مطالعه از توانمندی‌های ARC GIS استفاده شد. ابتدا جدول اطلاعاتی ایستگاه‌های مورد مطالعه تهیه و برای ویرایش به نرم افزار Arcgis آورده شد. در مطالعه حاضر از روش میانبایی IDW به علت داشتن حداقل RMS و با اندازه بهینه استفاده گردید. سرانجام نقشه‌های مربوط به شاخص ترسیم و شدیدترین و فراگیرترین خشکسالی‌ها مورد تفسیر قرار گرفتند. داده‌هایی که بر اساس آن پهنه بندی انجام گردید عبارت‌اند از پایین‌ترین و بالاترین ارقام ثبتي شاخص مورد بررسی برای خشکسالی و ترسالی بودند. پایین‌ترین و بالاترین عدد شاخص بیانگر شدیدترین خشکسالی و ترسالی به وقوع پیوسته در هر ایستگاه طی دوره آماری ۳۰ ساله می‌باشد. فراوانی خشکسالی نیز از طریق بازشماری تعداد رخداد هر رده از خشکسالی در طول دوره آماری و در سری‌های زمانی مورد مطالعه به دست آمده است. فراگیرترین نیز بر اساس بیشترین تعداد ایستگاه‌هایی که در هر سال و فصل پایین‌ترین مقدار شاخص را ثبت نموده‌اند، مشخص شد.

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- شدیدترین، فراگیرترین و طولانی‌ترین خشک‌سالی‌های رخ داده

با توجه به اینکه نمایه ناهنجاری بارندگی RAI در میان شاخص‌های مختلف خشک‌سالی عموماً بهترین کارایی جهت پایش ترسالی و خشک‌سالی‌ها در مقیاس سالیانه از خود نشان می‌دهد؛ بدین منظور با استفاده از این نمایه چهار ویژگی مهم در هر خشک‌سالی یعنی شدت، تداوم، فراوانی و فراگیری یا گستره خشک‌سالی در جدول ۲ را تعیین نمودیم. شدیدترین خشک‌سالی در ایستگاه سراوان واقع در استان سیستان و بلوچستان با شدت  $-6/44$  در سال ۲۰۰۱ به ثبت رسیده است. بیشترین تداوم خشک‌سالی نیز در ایستگاه زابل از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۴ بوده است. حداکثر فراوانی هم در ایستگاه‌های انار، بم، کرمان، یزد، طبس، زابل، فردوس، مشهد و تربت‌حیدریه با ۱۷ رخداد در طی ۳۰ سال دوره آماری دیده شد. این ویژگی نشان‌دهنده این است که رخداد خشک‌سالی در هر دهه و به طور میانگین در هر ۷ سال یک‌بار رخ می‌دهد. با توجه به سال کمینه مقدار بارندگی مشخص گردید که فراگیرترین سال که منطبق بر شدیدترین خشک‌سالی‌ها در منطقه موردبررسی بوده است به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۰ و ۲۰۰۸ هرکدام با ۱۱، ۹ و ۸ ایستگاه مشاهده گردید. در سال ۲۰۰۱ همه ایستگاه‌ها و در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۰۸ در بیش از ۹۰ درصد ایستگاه‌ها مقادیر منفی نمایه RAI ثبت شده بود. سال‌های ذکرشده در واقع بزرگ‌ترین خشک‌سالی‌های رخ داده طی نیم‌قرن اخیر در استان‌های موردبررسی است.

## جدول ۲- شدت، تداوم، فراوانی و فراگیری خشک‌سالی‌های منطقه طبق نمایه RAI طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴

| ایستگاه       | شدیدترین | سال  | طولانی‌ترین تداوم | فراوانی وقوع | سال وقوع کمینه بارش |
|---------------|----------|------|-------------------|--------------|---------------------|
| کاشان         | -۴/۸۸    | ۱۹۸۵ | ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۱      | ۱۵           | ۱۹۸۵                |
| سیرجان        | -۴/۱۷    | ۱۹۸۷ | ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۰      | ۱۶           | ۱۹۸۷                |
| خور و بیابانک | -۴/۷۸    | ۲۰۰۵ | ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳      | ۱۵           | ۲۰۰۵                |
| اصفهان        | -۴/۹۷    | ۲۰۰۸ | ۹۹ تا ۲۰۰۱        | ۱۶           | ۲۰۰۸                |
| شرق اصفهان    | -۵       | ۲۰۰۸ | ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۰      | ۱۳           | ۲۰۰۸                |
| انار          | -۵/۷۷    | ۲۰۱۰ | ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴      | ۱۷           | ۲۰۱۰                |
| بم            | -۴/۲۷    | ۲۰۱۰ | ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴      | ۱۷           | ۲۰۱۰                |
| کرمان         | -۵/۷۳    | ۲۰۱۰ | ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰      | ۱۷           | ۲۰۱۰                |
| شهرابک        | -۵/۹۷    | ۲۰۱۰ | ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱      | ۱۶           | ۲۰۱۰                |
| یزد           | -۵/۸۴    | ۲۰۱۰ | ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳      | ۱۷           | ۲۰۱۰                |
| طبس           | -۳/۳۸    | ۲۰۱۳ | ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲      | ۱۷           | ۲۰۱۳                |
| جاسک          | -۳/۵۱    | ۲۰۰۰ | ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۵      | ۱۵           | ۲۰۰۰                |
| خاش           | -۴/۲۵    | ۲۰۰۰ | ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴      | ۱۵           | ۲۰۰۰                |
| میناب         | -۴/۵۱    | ۲۰۰۱ | ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴      | ۱۴           | ۲۰۰۱                |



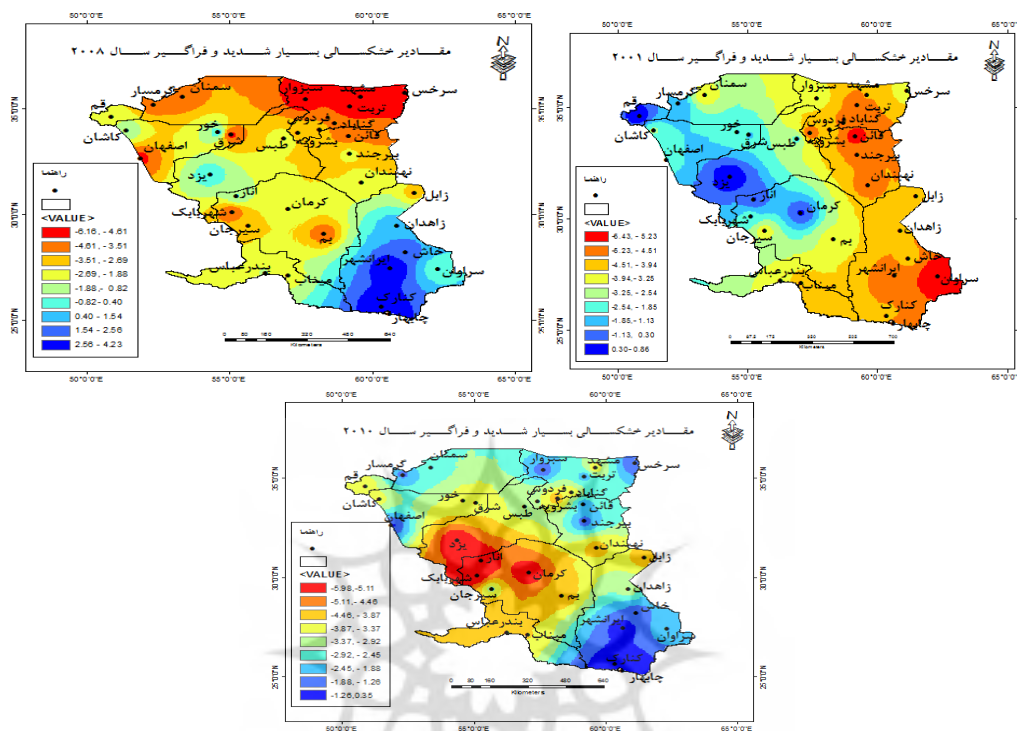
## ادامه جدول ۲

| ایستگاه      | شدیدترین | سال  | طولانی ترین تداوم | فراوانی وقوع | سال وقوع کمینه بارش |
|--------------|----------|------|-------------------|--------------|---------------------|
| چابهار       | -۴,۶۰    | ۲۰۰۱ | ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۵      | ۱۶           | ۲۰۰۱                |
| ایرانشهر     | -۴,۹۸    | ۲۰۰۱ | ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴      | ۱۵           | ۲۰۰۱                |
| کنارک چابهار | -۴,۳۶    | ۲۰۰۱ | ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴      | ۱۵           | ۲۰۰۱                |
| سراوان       | -۶,۴۴    | ۲۰۰۱ | ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴      | ۱۶           | ۲۰۰۱                |
| زاهدان       | -۴,۴۷    | ۲۰۰۱ | ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴      | ۱۳           | ۲۰۰۱                |
| بندرعباس     | -۴,۱۱    | ۲۰۱۰ | ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳      | ۱۴           | ۲۰۱۰                |
| بندرلنگه     | -۳,۹۶    | ۲۰۱۰ | ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳      | ۱۲           | ۲۰۱۰                |
| زابل         | -۴,۲۲    | ۲۰۱۰ | ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۴      | ۱۷           | ۲۰۱۰                |
| بیرجند       | -۴/۵     | ۲۰۰۱ | ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴      | ۱۶           | ۲۰۰۱                |
| بشروییه      | -۵/۱     | ۲۰۰۱ | ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۴      | ۱۵           | ۲۰۰۱                |
| فردوس        | -۴/۴     | ۲۰۱۰ | ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸      | ۱۷           | ۲۰۱۰                |
| قائن         | -۵/۸     | ۲۰۰۱ | ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰      | ۱۶           | ۲۰۰۱                |
| نهبندان      | -۴/۸     | ۲۰۰۱ | ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴      | ۱۴           | ۲۰۰۱                |
| قم           | -۴/۰۴    | ۲۰۱۴ | ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۱      | ۱۳           | ۲۰۱۴                |
| گلمکان       | -۴/۵۷    | ۲۰۰۸ | ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۵      | ۱۲           | ۲۰۰۸                |
| گناباد       | -۴/۷۴    | ۲۰۰۱ | ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴      | ۱۳           | ۲۰۰۱                |
| مشهد         | -۵/۴۸    | ۲۰۰۸ | ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸      | ۱۷           | ۲۰۰۸                |
| سبزوار       | -۶/۱۶    | ۲۰۰۸ | ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۲      | ۱۶           | ۲۰۰۸                |
| سرخس         | -۵/۸۴    | ۲۰۰۸ | ۱۹۸۵ تا ۱۹۸۹      | ۱۶           | ۲۰۰۸                |
| تربت حیدریه  | -۵/۹۲    | ۲۰۰۸ | ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۰      | ۱۷           | ۲۰۰۸                |
| گرمسار       | -۵/۰۳    | ۱۹۹۵ | ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰      | ۱۳           | ۱۹۹۵                |
| سمنان        | -۴/۵۷    | ۲۰۰۸ | ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۵      | ۱۵           | ۲۰۰۸                |

## ۳-۲- پهنه‌بندی و بررسی شدیدترین و فراگیرترین خشکسالی های نیم قرن اخیر

سالهای ۲۰۰۱، ۲۰۱۰ و ۲۰۰۸ به ترتیب فراگیرترین خشکسالی های بسیار شدید طی ۵۰ سال اخیر در منطقه مورد بررسی می‌باشد. در سال ۲۰۱۰ تقریباً در بیش از ۹۸ درصد ایستگاه‌ها مقادیر منفی شاخص RAI ثبت شده است که همگی در رده‌های خشکسالی متوسط تا بسیار شدید بوده‌اند؛ اما از نظر شدت در مقیاس ایستگاهی سال ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ در رده‌های اول تا سوم قرار گرفته‌اند. در سال ۲۰۰۱ ایستگاه سراوان با شدت ۶/۴۴، در سال ۲۰۰۸ ایستگاه سبزوار با ۶/۱۷- و سال ۲۰۱۰ ایستگاه شهربابک با ۵/۹۸- شدیدترین خشکسالی را تجربه کرده‌اند. در سال

۲۰۰۱ پهنه شرق و جنوبی، در سال ۲۰۰۸ پهنه شمالی و غربی و در سال ۲۰۱۰ پهنه غربی و مرکزی شدیدترین خشک‌سالی را در سراسر منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه‌های شدیدترین و فراگیرترین خشک‌سالی‌های نیم قرن اخیر در منطقه پژوهش

### ۳-۳- بررسی و شناسایی خشک‌ترین فصل زمستان طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۴)

پراکندگی جغرافیایی قلمرو رژیم‌های بارندگی در ایران نشان می‌دهد که تفاوت این رژیم‌ها عمدتاً متأثر از عرض جغرافیایی و توپوگرافی است. بیش از نیمی از بارش سالانه کشور به‌استثناء نوار شمالی و شمال غربی، در زمستان رخ می‌دهد (مسعودیان و عطایی، ۱۳۸۴: ۱). از آنجاکه مناطق جنوبی، مرکزی و شرق کشور بیشتر از سایر نقاط به بارش‌های زمستانی وابسته هستند و بالاترین تمرکز بارش را در فصل زمستان دارند (علیچانی، ۱۳۹۰) بنابراین با استفاده از مقادیر شاخص بارش استاندارد (SPI) و بارندگی ایستگاه‌های منطقه مورد بررسی خشک‌ترین فصل زمستان در طی دوره آماری ۳۰ ساله ۱۹۸۵-۲۰۱۴ شناسایی و بررسی گردید. همان‌گونه که نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد. رخداد خشک‌ترین زمستان با خشک‌سالی بسیار شدید سالانه در کل دوره هم‌زمان بوده است؛ که این هم‌زمانی نشانه وابستگی منطقه مورد مطالعه به بارش فصل زمستان است که هرگونه نوسان در الگوهای هم‌دید در این فصل می‌تواند موجب بروز شدید و فراگیرترین خشک‌سالی و ترسالی‌های سالانه گردد. همان‌طور که دیده می‌شود زمستان سال

۲۰۰۱ با فراگیری بیش از ۱۴ ایستگاه، سال ۲۰۱۰ با بیش از ۹ ایستگاه و سال ۲۰۰۸ نیز با ۹ ایستگاه خشک‌ترین زمستان در طی نیم‌قرن اخیر می‌باشند. هرگونه اختلال در چرخنده‌ای ورودی به ایران و نفوذ سامانه‌های کلان همچون پرفشار سبیری و پراتفاح جنب حاره بر روی ایران در این فصل موجب تغییر الگوی بارش و رخداد خشک‌سالی‌های شدید و فراگیر و ایجاد بحران‌های جدی در بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و محیطی می‌گردد؛ که با شناسایی نقاط آسیب‌پذیر در سطح سرزمین موردبررسی و انجام اقدامات جهت کاهش مصرف آب، کاشت گیاهان و محصولات مقاوم به خشکی و با نیاز کم‌آبی و دیگر فعالیت‌های مرتبط، خسارت‌های احتمالی در آینده را به حداقل رساند.

جدول ۳- خشک‌ترین فصل دوره بارشی منطقه موردبررسی طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴

| ایستگاه- سال |               | ایستگاه- سال |          | ایستگاه- سال |          | ایستگاه- سال |         |
|--------------|---------------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|---------|
| ۲۰۰۱         | فردوس         | ۲۰۰۱         | سراوان   | ۲۰۰۸         | سرخس     | ۲۰۱۰         | شهریابک |
| ۲۰۰۱         | قائن          | ۲۰۱۰         | زابل     | ۲۰۰۱         | تریت حی  | ۲۰۰۱         | سیرجان  |
| ۲۰۰۱         | نهبندان       | ۲۰۰۱         | زاهدان   | ۲۰۰۸         | سمنان    | ۲۰۱۰         | کرمان   |
| ۲۰۰۸         | اصفهان        | ۲۰۱۰         | بندرعباس | ۲۰۱۰         | طیس      | ۲۰۰۸         | بم      |
| ۲۰۱۲         | کاشان         | ۲۰۱۰         | بندرلنگه | ۲۰۱۰         | یزد      | ۲۰۱۰         | انار    |
| ۲۰۰۱         | خور و بیابانک | ۲۰۰۰         | جاسک     | ۲۰۰۱         | چابهار   | ۲۰۰۸         | گلمکان  |
| ۲۰۰۸         | شرق اصفهان    | ۲۰۰۱         | میناب    | ۲۰۰۱         | ایرانشهر | ۲۰۰۱         | گناباد  |
| ۲۰۱۰         | قم            | ۲۰۰۸         | بیرجند   | ۲۰۰۱         | کنارک    | ۲۰۰۸         | مشهد    |
| ۱۹۹۵         | گرمسار        | ۲۰۰۱         | بشرویه   | ۲۰۰۴         | خاش      | ۲۰۰۸         | سبزوار  |

### ۳-۴- تحلیل همدید

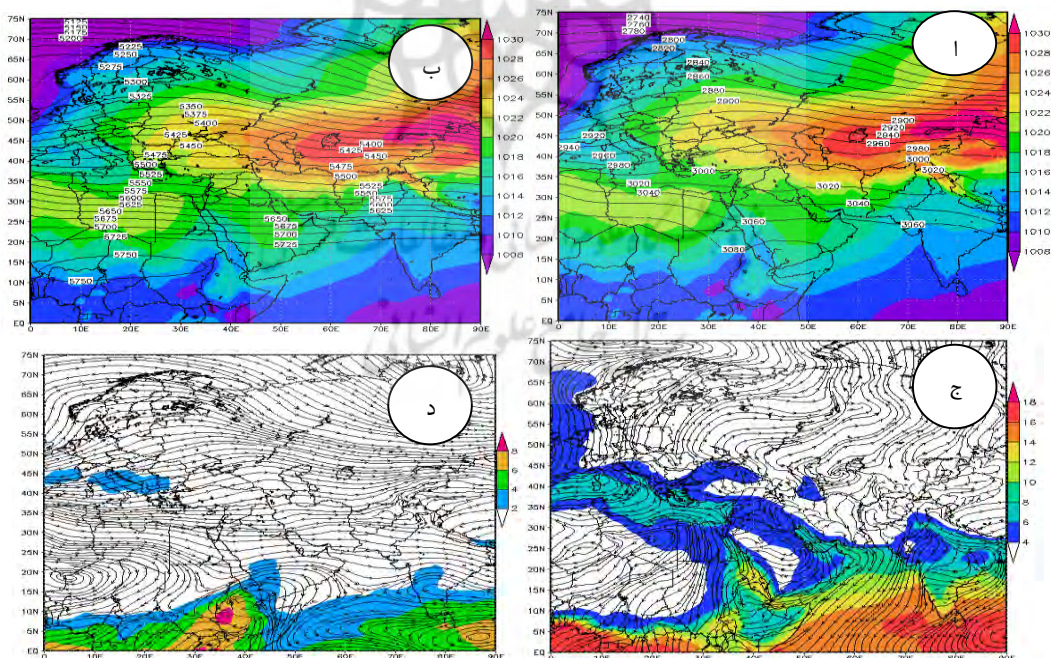
با توجه به نتایج جدول ۳ و ۵ زمستان سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۰ و ۲۰۰۸ و ماه‌های ژانویه تا آوریل و دسامبر سال‌های ۱۹۸۶ و ۱۹۹۱ ژانویه تا مارس و نوامبر و دسامبر سال ۱۹۹۷ به ترتیب خشک‌ترین زمستان‌ها و ماه‌های مرطوب در طی نیم‌قرن اخیر می‌باشند. در این مرحله شرایط جریان گردش جو در سطح زمین و میانی جو در طی سال و فصول ذکر شده تشریح خواهد شد تا ارتباط رخداد خشک‌سالی و ترسالی‌های بسیار شدید در نیمه شرقی و جنوبی کشور با سامانه‌های فشار و ارتفاع همدید و کلان‌مقیاس مشخص شود.

### ۳-۵- شدیدترین و فراگیرترین خشک‌سالی‌های زمستان منطقه پژوهش

#### ۳-۵-۱- ژانویه تا مارس ۲۰۰۱

شکل ۳ شرایط فشار تراز دریا و سطح میانی جو را در زمان زمستان بسیار خشک ۲۰۰۱ نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳-الف در سطح زمین بر روی ایران حاکمیت پرفشار سرد سبیری با هسته مرکزی ۱۰۳۰ هکتوپاسکال نمود

پیدا کرده است. با گسترش شمال شرقی به جنوب غربی این سامانه قدرتمند، سراسر کشور تحت تسلط این پرفشار عظیم قرار گرفته است. حد جنوبی پرفشار سیبری تا جنوب عربستان و از سمت غرب عراق و سوریه را نیز در بر گرفته است؛ اما در سطوح میانی جو در شرایط حضور بادهای غربی (دوره سرد سال)، زمانی که وزش مداری قوی حاکم است؛ در سطوح میانی شرایط مکش هوا وجود ندارد. در این شرایط آشفته جوی وجود ندارد و یا ضعیف است. شکل ۳- ب نشان می‌دهد که علاوه بر وزش قوی مداری در سطوح ۵۰۰ هکتوپاسکال، بر روی ایران فاصله خطوط هم‌ارتفاعی افزایش دارد و شرایط فشارورودی (باروتروپیک) کاملاً آرامی بر این سطوح حاکم است. شکل ۳- ج نقشه ترکیبی بردار باد و رطوبت تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود گردش و اچرخندی عظیمی بر روی کشور شکل گرفته است و به تبع آن میزان رطوبت در این تراز به کمتر از ۴ گرم بر کیلوگرم رسیده است اما نکته قابل توجه جهت وزش باد شمالی بر روی منطقه مورد پژوهش است که هوای سرد را از سمت خشکی آسیای مرکزی فرارفت می‌کند. در نقشه ترکیبی بردار باد و رطوبت تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۳- د) به خوبی گسترش گردش و اچرخندی ناشی از پراارتفاع جنب حاره بر روی سرزمین عربستان دیده می‌شود. قرارگیری این گردش بر روی خشکی عربستان و شمال سو شدن پشته ناشی از آن و مداری شدن جهت باد بر روی کشور و منطقه شرق و جنوب شرق موجب عدم فرارفت رطوبت از منابع آبی گرم و مرطوب جنوبی و در نتیجه رخداد شرایط پایدار و خشک در زمستان سال ۲۰۰۱ گردیده است.

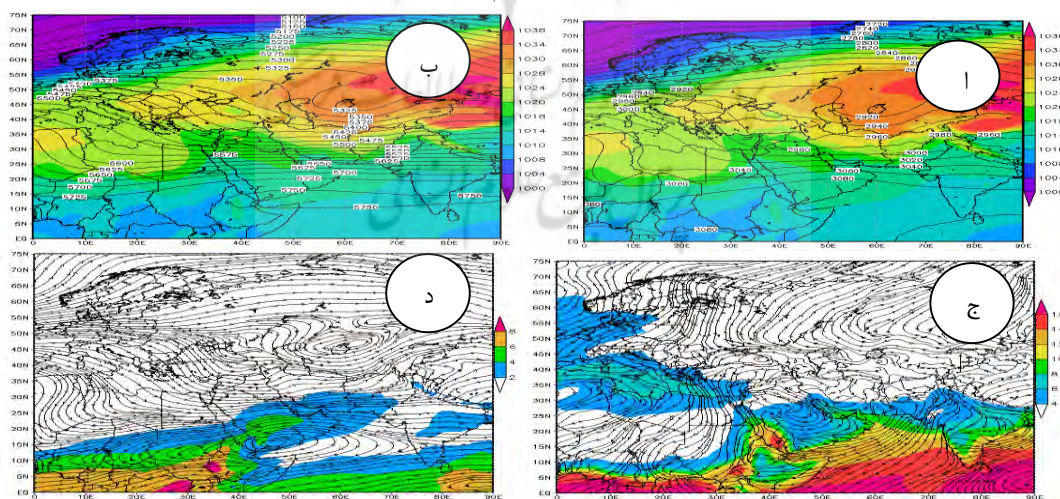


شکل ۳- نقشه ترکیبی فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز الف: ۷۰۰ و ب: ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه

ترکیبی بردار باد و رطوبت در تراز ج: ۱۰۰۰ و د: ۷۰۰ هکتوپاسکال میانگین ژانویه تا مارس ۲۰۰۱

## ۳-۵-۲- ژانویه تا مارس ۲۰۰۸

شکل ۴ نقشه‌های ترکیبی فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و بردار باد و رطوبت تراز ۱۰۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهد. بعد از زمستان‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۰ زمستان سال ۲۰۰۸ جزء شدیدترین و فراگیرترین خشک‌سالی‌های رخ داده در منطقه مورد بررسی است. شرایط جو در این زمستان اندکی متفاوت از دو زمستان ذکر شده است. به نحوی که در نقشه فشار تراز دریا (شکل ۴-الف) همانند سال ۲۰۱۰ و ۲۰۰۱ با نفوذ پرفشار سرد سبیری و تشکیل مراکز بسته بر روی کشور مواجه هستیم؛ اما حد شمالی کم‌فشار سودانی در این زمستان کشیدگی بیشتری داشته بر روی نوار جنوبی کشور داشته است. منطبق بر سطح زمین در سطوح میانی جو (شکل ۴-ب) نیز پراارتفاع جنب حاره با مرکز بسته ۵۸۶۰ ژئوپتانسیل متر بر روی جنوب عربستان و شرق قاره آفریقا قرار گرفته است. شمال سو پشته حاصل از این پراارتفاع در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۴-الف) از سمت عربستان و مداری شدن پربندها در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ناشی از بندال عظیم جنوب اروپا بر روی کشور و پرفشار سرد سبیری در سطح زمین بر تقویت شرایط پایدار و جریانات نزولی و آرام افزوده است. در نقشه ترکیبی بردار باد و رطوبت تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۴-ج) میزان رطوبت و جهت باد کاملاً بر هم منطبق است به نحوی که با جنوب سو بودن جریان باد و اچرخندی در مناطق شمال شرق، مرکز و غرب منطقه مورد پژوهش، میزان رطوبت نیز به کمتر ۳ گرم بر کیلوگرم کاهش یافته است. اما در جنوب شرق و جنوب کشور با توجه به نفوذ زبانه‌های کم‌فشار حرارتی و شمال سو شدن جریان باد عبوری از منابع آبی جنوبی، حجم رطوبت نیز به ۴ تا ۸ گرم بر کیلوگرم افزایش یافته است. منطبق بر این شرایط، هسته بیشینه شدت خشک‌سالی زمستان ۲۰۰۸ نیز در مناطق شمال شرق و شمالی منطقه مورد پژوهش یعنی استان‌های خراسان رضوی، قم، اصفهان و سمنان متمرکز شده است.

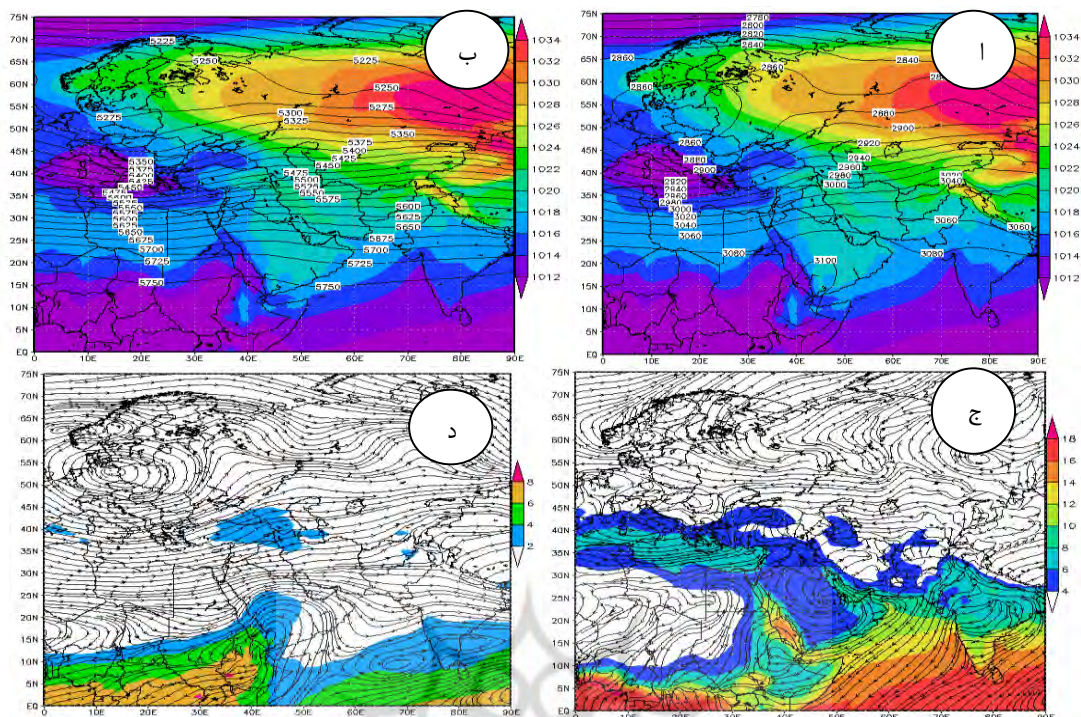


شکل ۴- نقشه ترکیبی فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز الف: ۷۰۰ و ب: ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه

ترکیبی بردار باد و رطوبت در تراز ج: ۱۰۰۰ و د: ۷۰۰ هکتوپاسکال میانگین ژانویه تا مارس ۲۰۰۸

## ۳-۵-۳- ژانویه تا مارس ۲۰۱۰

شکل ۵ شرایط فشار تراز دریا و سطح میانی جو را در زمان زمستان بسیار خشک ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود طبق (شکل ۵- الف) در فصل زمستان ۲۰۱۰ نیز با نفوذ پرفشار قدرتمند سیبری بر روی منطقه و کشور روبه‌رو هستیم. اما زبانه‌های کم‌فشار حرارتی نیز از سمت شبه‌جزیره هند و جنوب شرق کشور بخش‌هایی از منطقه موردپژوهش را فراگرفته است. با وجود نفوذ این کم‌فشار، اما در سطوح میانی و ردسپهر با کشیده شدن پراتفعا واقع بر روی جنوب عربستان با مرکز بسته ۳۱۰۰ ژئوپتانسیل متر و پشته حاصل از آن بر روی کشور و منطقه موردپژوهش شرایط پایدار و بدون بارشی را فراهم کرده است. شرایط فشار تراز دریا در زمستان ۲۰۱۰ شبیه به زمستان ۲۰۰۱ می‌باشد. در زمستان ۲۰۱۰ نیز با نفوذ پرفشار سیبری از سمت دریاچه بایکال و بالخاش بر روی کشور از کشیده شدن کم‌فشارهای سودانی از جنوب و مدیترانه‌ای از غرب جلوگیری کرده است. از اصلی‌ترین ویژگی این پرفشار سرد خشکی آن برای کشور است (علیجانی، ۱۳۹۰). در شرایطی که بادهای غربی غایب هستند و پرفشارهای جنب‌حاره‌ای با زبانه‌ای از پرفشارهای سیاره‌ای (پرفشار آזור-تبت) بر روی ایران گسترش می‌یابند. در این الگو فرونشینی گسترده و مداوم جو صورت می‌گیرد. فرونشینی منتج از گردش عمومی جوی، یکی از عوامل اساسی و اصلی خشک‌سالی است که در منطقه وسیع و گسترده‌ای به‌صورت کمربند سراسر کره زمین را در بر گرفته به شمار می‌رود. گردش عمومی امروزی جو به افزایش چنین فرونشینی در عرض‌های جغرافیایی جنب حاره هر دو نیمکره گرایش دارد. به‌طور متوسط میانگین سالانه بیشینه فرونشینی مداری نزدیک به عرض ۳۳ درجه هر دو نیمکره است. عرض جغرافیایی مزبور درست نزدیک کمربند بیابان‌های کره زمین است (شکل ۵ الف و ب). با توجه به نقشه ترکیبی بردار باد و رطوبت تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (۵- ج) جریان‌های و اچرخندی و نزولی حاصل از سامانه پراتفعا واقع بر روی سرزمین عربستان از سمت جنوب و غرب بر روی کشور گسترش یافته است. نتیجه قرارگیری این گردش و اچرخندی شرایط پایدار، آرام و انحراف بادهای غربی به سمت عرض‌های بالاتر و رخداد خشک‌سالی است. همچنین با شمال سو شدن این جریان و اچرخندی از روی دریای عرب به سمت خشکی عربستان مانع از دریافت رطوبت از سمت دریا‌های جنوب و غرب ایران شده است. به‌طوری‌که در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۵- د) با مداری شدن کامل جریانات میزان رطوبت به کمتر از ۱ گرم بر کیلوگرم کاهش یافته است.



شکل ۵- نقشه ترکیبی فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز الف: ۷۰۰ و ب: ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه

ترکیبی بردار باد و رطوبت در تراز ج: ۱۰۰۰ و د: ۷۰۰ هکتوپاسکال میانگین ژانویه تا مارس ۲۰۱۰

### ۳-۶- شدیدترین، فراگیرترین و طولانی‌ترین ترسالی‌های رخ داده

جدول ۴ شدت، تداوم، فراوانی و فراگیری ترسالی‌های منطقه مورد پژوهش را بر اساس شاخص ناهنجاری بارندگی (RAI) را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول با توجه به سال بیشینه مقدار بارندگی مشخص گردید که سال ۱۹۹۱، ۱۹۸۶ و ۱۹۹۷ به ترتیب با ۶٫۸ و ۵ ایستگاه شدیدترین ترسالی را طی دوره آماری مورد بررسی ثبت کرده‌اند. در سال‌های مذکور بیشتر ایستگاه‌ها مقادیر مثبت نمایه RAI را ثبت کرده بودند. سال‌های ذکر شده در واقع شدیدترین و فراگیرترین ترسالی‌های رخ داده طی نیم‌قرن اخیر در استان‌های مورد بررسی است. شدیدترین با ۱۱/۸۸ متعلق به ایستگاه چابهار در سال ۱۹۹۷، طولانی‌ترین تداوم در ایستگاه‌های سیرجان و شهربابک از سال ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۷ رخ داده است. بیشینه فراوانی ترسالی هم در ایستگاه‌های شرق اصفهان، گرمسار و قم با ۱۷ رخداد در طی دوره آماری ۳۰ ساله دیده شد. در بررسی شدت ترسالی‌ها، فراگیری کمتر، پراکندگی و نوسان زمانی و مکانی بیشتری در مقایسه با خشک‌سالی‌ها از خود نشان داده است. که این نشان از ارتباط قوی شرایط همدید وردسپهر با رخداد خشک‌سالی به صورت پنهانی و فراگیر در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی است. در حالی که در بررسی ترسالی‌ها حتی چند ایستگاه

مجاور (به‌ویژه ایستگاه‌های واقع در خراسان رضوی و جنوبی) هم اختلاف زیادی را از نظر شدت ترسالی در سال‌های اوج نشان داده‌اند.

جدول ۴- شدت، تداوم، فراوانی و فراگیری ترسالی‌های منطقه طبق نمایه RAI طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴

| ایستگاه       | شدیدترین | سال  | طولانی‌ترین تداوم | فراوانی وقوع | سال وقوع کمینه بارش |
|---------------|----------|------|-------------------|--------------|---------------------|
| کاشان         | ۴/۵۹     | ۱۹۸۶ | ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴      | ۱۳           | ۱۹۸۶                |
| سیرجان        | ۳/۸۵     | ۱۹۹۲ | ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۷      | ۱۴           | ۱۹۹۲                |
| خور و بیابانک | ۴/۲۹     | ۱۹۹۶ | ۱۹۸۶ تا ۱۹۸۸      | ۱۵           | ۱۹۹۶                |
| اصفهان        | ۴/۸۴     | ۲۰۰۶ | ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۷      | ۱۱           | ۲۰۰۶                |
| شرق اصفهان    | ۴/۸۷     | ۱۹۹۳ | ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۶      | ۱۷           | ۱۹۹۳                |
| انار          | ۶/۵۴     | ۱۹۸۶ | ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۷      | ۱۲           | ۱۹۸۶                |
| بم            | ۵/۳۵     | ۱۹۹۱ | ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۷      | ۱۲           | ۱۹۹۱                |
| کرمان         | ۵/۰۴     | ۱۹۹۲ | ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۷      | ۱۳           | ۱۹۹۲                |
| شهربابک       | ۴/۷۷     | ۱۹۹۲ | ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۷      | ۱۳           | ۱۹۹۲                |
| یزد           | ۶/۲۰     | ۱۹۸۶ | ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۱      | ۱۳           | ۱۹۸۶                |
| طبس           | ۶/۹۸     | ۱۹۹۱ | ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹      | ۱۳           | ۱۹۹۱                |
| جاسک          | ۱۰/۶۰    | ۱۹۹۵ | ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۸      | ۱۳           | ۱۹۹۵                |
| خاش           | ۵/۰۷     | ۱۹۹۷ | ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۸      | ۱۳           | ۱۹۹۷                |
| میناب         | ۴/۶۵     | ۱۹۹۲ | ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰      | ۱۶           | ۱۹۹۲                |
| چابهار        | ۱۱/۸۸    | ۱۹۹۷ | ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۷      | ۱۳           | ۱۹۹۷                |
| ایرانشهر      | ۴/۲۳     | ۲۰۰۸ | ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۸      | ۱۵           | ۲۰۰۸                |
| کنارک چابهار  | ۶/۹۴     | ۱۹۹۷ | ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸      | ۱۲           | ۱۹۹۷                |
| سراوان        | ۶/۸۲     | ۱۹۹۷ | ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۷      | ۱۳           | ۱۹۹۷                |
| زاهدان        | ۵/۴۵     | ۱۹۹۱ | ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۷      | ۱۴           | ۱۹۹۱                |
| بندرعباس      | ۴/۵۴     | ۱۹۹۲ | ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۸      | ۱۲           | ۱۹۹۲                |
| بندرلنگه      | ۷/۷۹     | ۱۹۹۵ | ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۸      | ۱۲           | ۱۹۹۵                |
| زابل          | ۵/۱۵     | ۲۰۰۵ | ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۹      | ۱۲           | ۲۰۰۵                |
| بیرجند        | ۵/۴۵     | ۱۹۸۶ | ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۸      | ۱۴           | ۱۹۸۶                |
| بشرویه        | ۷/۸۲     | ۱۹۹۱ | ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۳      | ۱۳           | ۱۹۹۱                |
| فردوس         | ۴/۶۱     | ۱۹۸۶ | ۱۹۹۷ تا ۱۹۹۹      | ۱۳           | ۱۹۸۶                |
| قائن          | ۶/۲۴     | ۱۹۹۱ | ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹      | ۱۳           | ۱۹۹۱                |
| نهبندان       | ۶/۴۲     | ۱۹۹۱ | ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۳      | ۱۴           | ۱۹۹۱                |
| قم            | ۴/۳۰     | ۱۹۸۶ | ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴      | ۱۷           | ۱۹۸۶                |
| گلمکان        | ۴/۴۴     | ۱۹۹۱ | ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۹      | ۱۶           | ۱۹۹۱                |

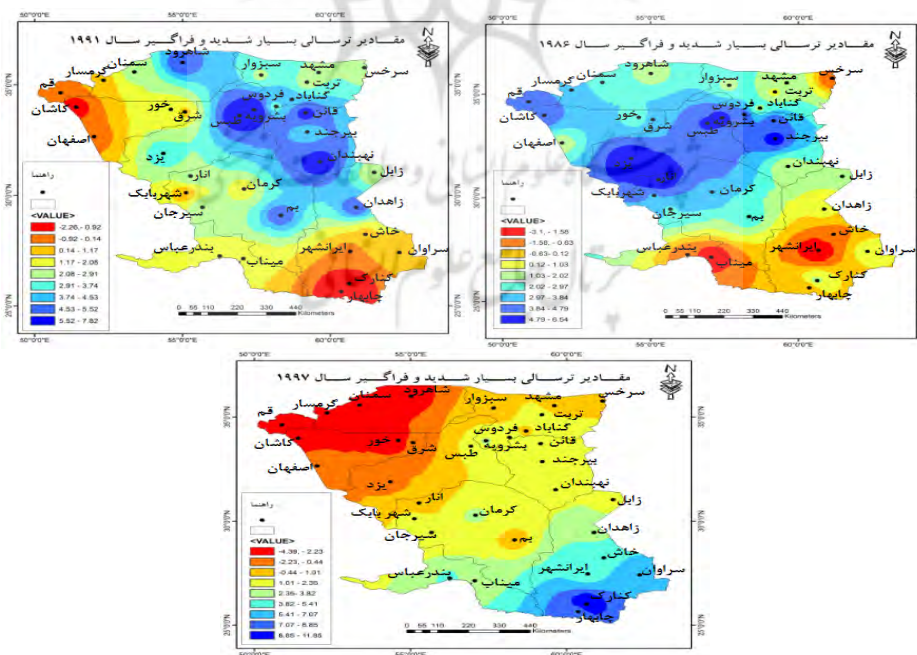


ادامه جدول ۴

| ایستگاه     | شدیدترین | سال  | طولانی ترین تداوم | فراوانی وقوع | سال وقوع کمینه بارش |
|-------------|----------|------|-------------------|--------------|---------------------|
| گناباد      | ۴/۱۷     | ۱۹۹۱ | ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹      | ۱۶           | ۱۹۹۱                |
| مشهد        | ۴/۰۹     | ۱۹۹۲ | ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۳      | ۱۲           | ۱۹۹۲                |
| سبزوار      | ۳/۴۵     | ۲۰۱۱ | ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۳      | ۱۴           | ۲۰۱۱                |
| سرخس        | ۲/۸۹     | ۱۹۹۸ | ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۴      | ۱۴           | ۱۹۹۸                |
| تریت حیدریه | ۳/۱۷     | ۲۰۱۲ | ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹      | ۱۲           | ۲۰۱۲                |
| گرمسار      | ۳/۹۶     | ۱۹۹۶ | ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵      | ۱۷           | ۱۹۹۶                |
| سمنان       | ۵/۱۴     | ۱۹۹۶ | ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴      | ۱۴           | ۱۹۹۶                |

## ۳-۷- پهنه بندی و بررسی شدیدترین و فراگیرترین ترسالی های نیم قرن اخیر

سال های ۱۹۹۱، ۱۹۸۶ و ۱۹۹۷ شدیدترین فراگیرترین ترسالی های بسیار شدید طی دوره آماری مورد بررسی در منطقه پژوهش می باشد. در سال های ۱۹۹۱، ۱۹۸۶ و ۱۹۹۷ به ترتیب بیش از ۹۰ تا ۷۵ درصد ایستگاه ها مقادیر مثبت شاخص RAI را ثبت کرده بودند. در سال ۱۹۸۶ ایستگاه انار با ۶/۵۴، در سال ۱۹۹۱ ایستگاه بشرویه با ۷/۸۲ و در سال ۱۹۹۷ ایستگاه چابهار با ۱۱/۸۸ بیشترین مقدار مثبت شاخص RAI را در سراسر منطقه پژوهش طی دوره آماری ثبت کرده اند. در سال ۱۹۸۶ پهنه مرکزی و غرب، در سال ۱۹۹۱ پهنه شمال شرق و شرق و در سال ۱۹۹۷ پهنه جنوب شرق منطقه پژوهش شدیدترین ترسالی های ۳۰ ساله را به خود اختصاص داده اند (شکل ۶).



شکل ۶- نقشه های شدیدترین و فراگیرترین ترسالی های نیم قرن اخیر در منطقه پژوهش

جدول ۵ مرطوب‌ترین فصل دوره بارشی منطقه پژوهش را طی دوره آماری ۳۰ ساله نشان می‌دهد. همان‌گونه که شدیدترین خشک‌سالی‌ها منطبق بر خشک‌ترین فصل زمستانه در بیشتر ایستگاه‌ها بود. در بررسی هم‌زمانی شدیدترین ترسالی با مرطوب‌ترین فصول دوره بارشی نیز در ایستگاه‌های فراگیر منطبق بوده است. منظور از فصل بارشی دوره سرد سال و ماه‌هایی که بیشترین مجموع بارش را طی سال شدید و فراگیر داشته‌اند که برای منطقه شمال شرق اوج بارش در ماه‌های ژانویه تا آوریل و می، برای ایستگاه‌های مرکزی، غربی، شمالی و جنوبی ژانویه تا مارس و برای جنوب شرق ایران از ژانویه تا مارس، نوامبر و دسامبر بالاترین حجم بارش را طی سال شاخص داشته‌اند.

جدول ۵- مرطوب‌ترین فصل دوره بارشی منطقه موردبررسی طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴

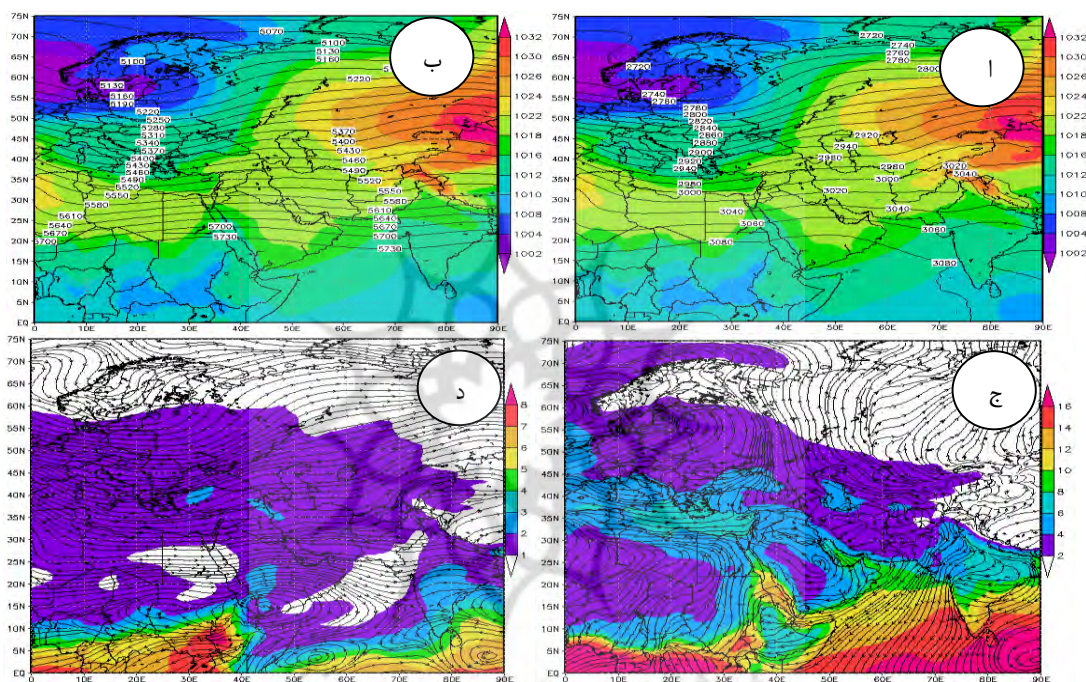
| ایستگاه- سال |               | ایستگاه- سال |          | ایستگاه- سال |           | ایستگاه- سال |         |
|--------------|---------------|--------------|----------|--------------|-----------|--------------|---------|
| ۱۹۸۶         | فردوس         | ۱۹۹۷         | سراوان   | ۱۹۹۸         | سرخس      | ۱۹۹۲         | شهربابک |
| ۱۹۹۱         | قائن          | ۲۰۰۵         | زابل     | ۲۰۱۲         | تربت حی   | ۱۹۹۲         | سیرجان  |
| ۱۹۹۱         | نهبندان       | ۱۹۹۱         | زاهدان   | ۱۹۹۶         | سمنان     | ۱۹۹۲         | کرمان   |
| ۲۰۰۶         | اصفهان        | ۱۹۹۲         | بندرعباس | ۱۹۹۱         | طیس       | ۱۹۹۱         | بم      |
| ۱۹۸۶         | کاشان         | ۱۹۹۵         | بندرلنگه | ۱۹۸۶         | یزد       | ۱۹۸۶         | انار    |
| ۱۹۹۶         | خور و بیابانک | ۱۹۹۵         | جاسک     | ۱۹۹۷         | چابهار    | ۱۹۹۱         | گلمکان  |
| ۱۹۹۳         | شرق اصفهان    | ۱۹۹۲         | میناب    | ۲۰۰۸         | ایران‌شهر | ۱۹۹۱         | گناباد  |
| ۱۹۸۶         | قم            | ۱۹۸۶         | بیرجند   | ۱۹۹۷         | کنارک     | ۱۹۹۲         | مشهد    |
| ۱۹۹۶         | گرمسار        | ۱۹۹۱         | بشرویه   | ۱۹۹۷         | خاش       | ۲۰۱۱         | سبزوار  |

### ۳-۸- تحلیل هم‌دید شدیدترین و فراگیرترین ترسالی‌های دوره بارشی منطقه پژوهش

#### ۳-۸-۱- ژانویه تا آوریل و دسامبر ۱۹۸۶

شکل ۷- الف و ب شرایط فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل را در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال ماه‌های ژانویه تا آوریل و دسامبر سال ۱۹۸۶ نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود سامانه کم‌فشاری با عبور از روی دریای عمان و از جنوب شرق کشور منطقه موردپژوهش را در برگرفته و تا شمال سمنان و خراسان رضوی گسترش یافته است به گونه‌ای که مرکز بسته‌ی ۱۰۱۶ هکتوپاسکال در عرض ۳۰ درجه شمالی و ناحیه جنوب شرق ایران شکل گرفته است. در مقابل پرفشار سبیری کاملاً تضعیف شده است و به مناطق غربی ایران محدود شده است. منطبق بر کم‌فشار سطح زمین در سطوح میانی و ردسپهر نیز با گسترش شمال به جنوب کم ارتفاع بسته و محور ناوه حاصل از آن از سمت شمال اروپا با ریزش هوای سرد بر روی منابع آبی گرم و کم‌فشارهای گرم حرارتی، موجب دینامیکی شدن این کم‌فشارها و در نتیجه تقویت واگرایی و جریانات صعودی منطبق بر جلوی ناوه بر روی کشور و به‌ویژه منطقه موردپژوهش گردیده است. با توجه به نقشه ترکیبی بردار باد و رطوبت تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

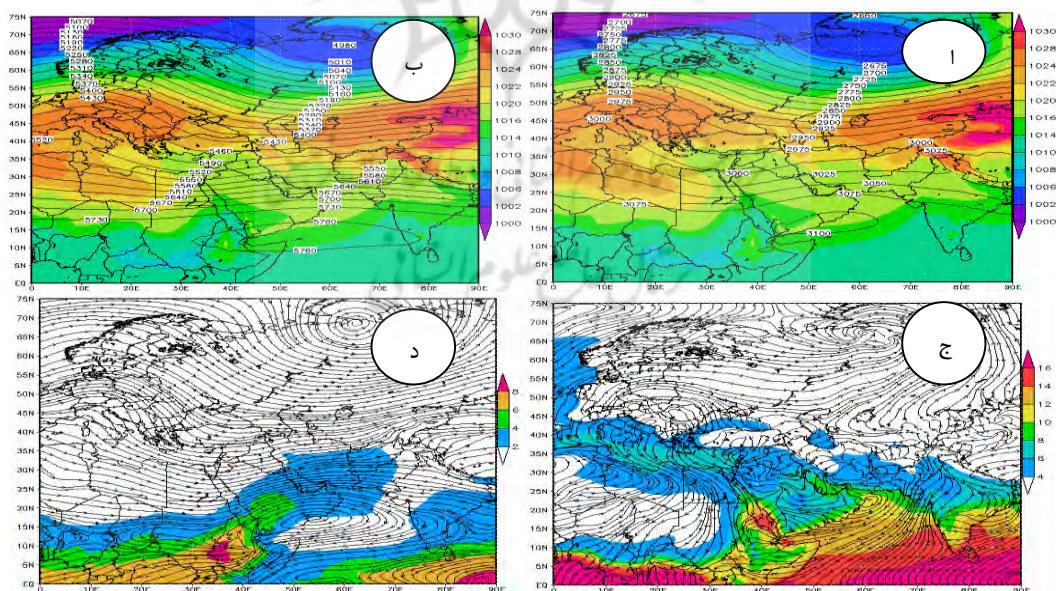
(شکل ۷-ج) جریان باد چرخندی متأثر از سامانه‌های کم‌فشار نفوذی بر روی دریای مدیترانه و جنوب شرق ایران با عبور از روی خلیج فارس و دریای عمان هوای گرم و مرطوبی را بر روی منطقه پژوهش فرا رفت می‌کند. اما در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۷-د) نقش گردش و اچرخندی جنوب عربستان و چرخندی در روی مدیترانه در انتقال رطوبت از سمت منابع آبی جنوبی و غربی کاملاً مشهود است. گردش و اچرخندی بر روی جنوب عربستان هوای گرم و مرطوب از روی دریای عرب و عمان به سمت خشکی شرق آفریقا منتقل و از آنجا توسط جریان چرخندی حاصل از ناوه با راستایی جنوب غرب به شمال شرقی به سمت کشور فرارفت می‌کند.



شکل ۷- نقشه ترکیبی فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز الف: ۷۰۰ و ب: ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه ترکیبی بردار باد و رطوبت در تراز ج: ۱۰۰۰ و د: ۷۰۰ هکتوپاسکال میانگین ژانویه تا آوریل و دسامبر ۱۹۸۶  
۳-۸-۲- ژانویه تا آوریل و دسامبر ۱۹۹۱

شکل ۸ الف و ب نقش ترکیبی میانگین ماهانه فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل را در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برای ماه‌های ژانویه تا آوریل و دسامبر سال ۱۹۹۱ نشان می‌دهد. در ماه‌های اوج بارش در سال ۱۹۹۱ با نفوذ سامانه کم‌فشار سودانی از سمت جنوب غرب و جنوب کشور مواجه هستیم به طوری که در جنوب عرض ۳۵ درجه شمالی سراسر منطقه پژوهش را پوشانده است. در این سال پرفشار سرد سیبری فقط مناطقی از شمال شرق کشور را در بر گرفته است. در سطوح میانی و ردسپهر نیز سامانه کم ارتفاع در شمال روسیه با مرکز بسته ۲۶۵۰ ژئوپتانسیل متر با راستایی شمال شرقی به جنوب غربی تا عرض ۱۵ درجه جنوبی در شرق قاره آفریقا نفوذ کرده

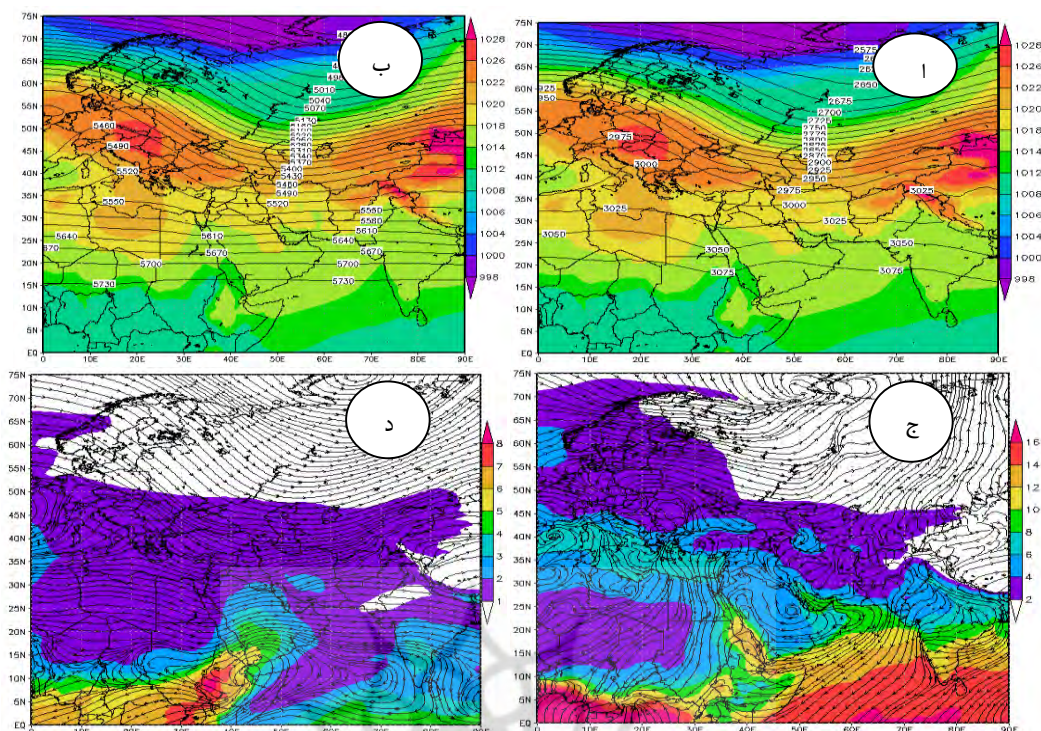
است. با افزایش عمق محور ناوه نفوذی، منطقه پژوهش در بهترین حالت در جلوی ناوه و جریانات صعودی آن از سمت منابع آبی مرطوب و گرم قرار گرفته است. پراارتفاع عربستان نیز با مرکز بسته خود در غرب دریای عرب واقع شده است که با تقویت جریانات نزولی و همگرا بر روی دریای عرب به صورت واچرخندی هوای مرطوب و گرم را به درون کم ارتفاع و شرق ناوه فرارفت می‌کند. چنین الگویی از سامانه‌های فشار در سطح زمین و ارتفاع در سطوح میانی و در سپهر، با ایجاد ترسالی‌های شدید و فراگیر در منطقه پژوهش همراه است. با توجه به نقشه ترکیبی بردار باد و رطوبت تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۸-ج) جهت وزش باد از سمت دریای مدیترانه، سرخ و خلیج فارس است که با شرق سو شدن گردش واچرخندی و قرار گرفتن آن در روی دریای عرب و عمان جریان رطوبت دریای عرب نیز به صورت ترکیبی از منابع ذکر شده به سمت منطقه پژوهش فرارفت می‌گردد. ملاحظه می‌شود که بیشترین حجم رطوبت نیز متعلق به دریای عرب و سرخ است که با عبور از روی سرزمین عربستان و خلیج فارس بر شدت آن افزوده می‌شود. در نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۸-د) با ایجاد گردش واچرخندی عظیم منطبق بر مرکز پراارتفاع عربستان در غرب دریای عرب با حاکمیت هوای گرم نزولی بر روی دریای عرب، با جهتی شرق به غرب هوای مرطوب را به سمت شرق قاره آفریقا و کشور سودان همگرا کرده که موجب انباشت حجم عظیم رطوبت در این ناحیه شده است. این هسته پیشینه رطوبت توسط جریان چرخندی حاصل از محور ناوه کشیده شده از شمال کشور روسیه و گردش واچرخندی عربستان همسو با هم با راستایی جنوب غرب به شمال شرق به طرف منطقه پژوهش فرارفت گردیده است.



شکل ۸- نقشه ترکیبی فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز الف: ۷۰۰ و ب: ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه ترکیبی بردار باد و رطوبت در تراز ج: ۱۰۰۰ و د: ۷۰۰ هکتوپاسکال میانگین ژانویه تا آوریل و دسامبر ۱۹۹۱

## ۳-۸-۳- ژانویه تا مارس، نوامبر و دسامبر ۱۹۹۷

شکل ۹ الف و ب نقشه ترکیبی میانگین ماهانه فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل را در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و در ماه‌های ژانویه تا مارس و نوامبر و دسامبر ۱۹۹۷ نشان می‌دهد. مرکز کم‌فشاری با منحنی ۱۰۱۴ هکتوپاسکال بر روی جنوب سودان بسته شده است که با گسترش به سمت ایران به دلیل نفوذ زبانه‌های پرفشار سرد مهاجر از شمال غرب ایران تا مرکز عربستان به سمت نیمه شرقی کشور این کم‌فشار منحرف شده و از جنوب شرق کشور وارد منطقه پژوهش شده و مرکز بسته‌ای را نیز در مرکز ایران با هم فشار ۱۰۱۴ هکتوپاسکال تشکیل داده است. هسته‌های مرکزی پرفشار سیبری و مهاجر به ترتیب بر روی اطراف دریاچه بایکال و دریای سیاه قرار گرفته‌اند که به صورت مداری با هم یکی شده و از نفوذ بیشتر کم‌فشار شمال روسیه به درون ایران جلوگیری کرده است. مجموع این شرایط در سطح زمین با کشیده شدن کم ارتفاعی با مرکز بسته ۲۵۵۰ ژئوپتانسیل متر در تراز ۷۰۰ و ۴۸۶۰ ژئوپتانسیل متر در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از قطب شمال و شمال کشور روسیه با راستایی شمال به جنوب ناوه حاصل از آن تا جنوب کشور عربستان و ۱۵ درجه جنوبی امتداد یافته است که موجب ایجاد شیو ارتفاعی شدید و تقویت جریان چرخندی بر روی گستره ایران و منطقه پژوهش شده است. نکته جالب اینکه جریان مداری ضعیف حاصل از کم ارتفاع عرض‌های شمالی در سطوح میانی و ردسپهر برای منطقه جنوب شرق ایران با رخداد ناپایداری و بارش‌های مناسب همراه است. در نقشه ترکیبی بردار باد و رطوبت تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۹-ج) جریان چرخندی شرق مدیترانه و واچرخندی مرکز عربستان رطوبت دریای مدیترانه را به صورت اندک و دریای عرب را در حجم زیاد با راستایی غرب به شرق و با عبور از خلیج فارس به سمت منطق پژوهش و به ویژه جنوب شرق کشور که رطوبت آن به بیش از ۸ گرم بر کیلوگرم رسیده، فرارفت می‌کند. اما در نقشه بردار باد و رطوبت تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۹-د) با استقرار دو هسته مستقل گردش واچرخندی در مرکز و غرب دریای عرب، همگرایی قوی را با ایجاد جریانات نزولی گرم شکل داده‌اند. که با تقویت جریانات غرب سو، موجب تجمع حجم بالایی از رطوبت در جنوب سودان و شرق قاره آفریقا گردیده است. این جریان رطوبت توسط جریان چرخندی حاصل از ناوه که از عرض بالای ۷۵ درجه شمالی تا حدوداً ۱۵ درجه جنوبی گسترش یافته است با راستایی جنوب غرب به شمال شرق به درون منطقه پژوهش فرارفت شده است. ملاحظه می‌شود در سطوح میانی و ردسپهر نقش منابع آبی سرخ، عدن و خلیج فارس در تغذیه رطوبتی سامانه‌های ناپایدار افزایش یافته و در مقابل دریای عرب و مدیترانه ناچیز بوده است.



شکل ۹- نقشه ترکیبی فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز الف: ۷۰۰ و ب: ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه ترکیبی بردار باد و رطوبت در تراز ج: ۱۰۰۰ و د: ۷۰۰ هکتوپاسکال میانگین ژانویه تا مارس، نوامبر و دسامبر

۱۹۹۷

#### ۴- جمع بندی

در این پژوهش ابتدا با استفاده از شاخص ناهنجاری بارندگی سالانه (RAI) چهار ویژگی مهم در هر خشک‌سالی و ترسالی یعنی شدت، تداوم، فراوانی و فراگیری را در هر یک از ایستگاه‌های منطقه پژوهش تعیین گردید. ویژگی‌های شدت و فراگیری بر اساس پایین‌ترین (خشک‌سالی) و بالاترین (ترسالی) مقدار ثبت شده توسط شاخص RAI در هر ایستگاه طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۴) بررسی شد. مشخصه‌های تداوم و فراوانی بر اساس همه رده‌های مختلف خشک‌سالی و ترسالی (ضعیف تا بسیار شدید) ایستگاه‌ها مشخص شد. واکاوی تغییرات مقادیر شاخص RAI در منطقه پژوهش حاکی از این است که کل دوره آماری به دو قسمت تقسیم می‌شود: یک دوره ترسالی (۱۹۸۵-۱۹۹۹) و یک دوره خشک‌سالی‌های بزرگ و متداوم (۲۰۰۰-۲۰۱۴). با شروع قرن ۲۱ در واقع شدت، بزرگی، فراوانی و فراگیری خشک‌سالی‌ها به طور محسوسی افزایش یافته است. که اوج شدت خشک‌سالی در کل دوره آماری متعلق به ایستگاه سراوان با شدت  $-۶/۴۴$  در سال ۲۰۰۱، بیشترین تداوم نیز در ایستگاه زابل از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۴ بوده است. حداکثر فراوانی نیز در ایستگاه‌های انار، بم، کرمان، یزد، مشهد و تربت‌حیدریه با ۱۷

رخداد در طی ۳۰ سال دوره آماری دیده شد. با توجه به سال کمینه بارندگی، فراگیرترین سال که منطبق بر شدیدترین خشکسالی در منطقه پژوهش بوده است به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۰ و ۲۰۰۸ مشاهده گردید. شدیدترین ترسالی نیز به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۸۶ و ۱۹۹۷ اتفاق افتاده است. که اوج شدت ترسالی با ۱۱/۸۸ متعلق به ایستگاه چابهار در سال ۱۹۹۷، طولانی‌ترین تداوم در ایستگاه‌های سیرجان و شهربابک از سال ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۷ روی داده است. بیشینه فراوانی ترسالی هم در ایستگاه‌های شرق اصفهان، گرمسار و قم با ۱۷ مشاهده شد. با توجه به سال بیشینه مقدار بارندگی مشخص گردید که فراگیرترین ترسالی بسیار شدید در سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۸۶ و ۱۹۹۷ بوده است. در سال‌های مذکور بیشتر ایستگاه‌ها مقادیر مثبت نمایه RAI را ثبت کرده بودند. سال‌های ذکر شده قوی‌ترین ترسالی و خشکسالی در طی دوره آماری در ۹ استان موردبررسی در شرق و جنوب شرق ایران می‌باشد. بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد که خشکسالی و ترسالی با شدت‌های مختلف در هر نقطه از منطقه پژوهش رخ می‌دهد. همچنین در زمان رخداد خشکسالی‌ها فراگیری بیشتر و نوسان زمانی و مکانی کمتری در مقایسه با ترسالی‌ها از خود نشان داده است. که این ویژگی نشان از ارتباط و تأثیرپذیری بیشتر خشکسالی از شرایط همدید وردسپهر به‌صورت فراگیر و پهنه‌ای در منطقه پژوهش است. اما در واکاوی ترسالی‌ها حتی چند ایستگاه مجاور هم (به‌ویژه ایستگاه‌های واقع در خراسان رضوی و سمنان) اختلاف زیادی از نظر شدت ترسالی در سال‌های اوج نشان داده‌اند. واکاوی همدید نقشه‌های ترکیبی فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و بردار باد و رطوبت در ترازهای ۱۰۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال در سال‌های اوج خشکسالی نشان داد که اندرکنش بین پرفشار سبیری در سطح زمین و پراارتفاع جنب حاره در سطوح میانی وردسپهر سازوکار شرایط خشک، بدون آشفستگی، پایدار و آرام را بر روی منطقه پژوهش ایجاد می‌کنند. به‌نحوی که نفوذ زبانه‌های پرفشار سبیری با راستایی شمال شرقی به جنوب غربی و گستردگی پشته از مناطق نزدیک استوا تا عرض‌های بالای جغرافیایی در شمال اروپا و روسیه و قرارگیری پربندهای مداری و نصف‌النهار ضعیف حاصل از پشته بر روی منطقه پژوهش مانع از نفوذ کم‌فشار حرارتی جنوبی (سودان) و غربی (مدیترانه) و ناو‌های عمیق شمالی و در نتیجه شکل‌گیری جریانات صعودی و ناپایدار شده و زمینه را برای رخداد شدیدترین و فراگیرترین خشکسالی‌ها فراهم می‌کنند. در سال‌هایی که شدت خشکسالی افزایش یافته است محور پشته بر روی ایران در سطوح میانی راستایی جنوب شرقی به شمال غربی‌تر پیدا می‌کند. بررسی شرایط همدید سال‌های اوج ترسالی نیز نشان داد که با عقب‌نشینی پرفشار سبیری و مهاجر اروپایی به سمت عرض‌های بالاتر، شرق سو شدن پراارتفاع از روی خشکی عربستان به سمت دریای سرخ با دو تغییر مواجه شده‌ایم یکی در سطح زمین با نفوذ کم‌فشارهای حرارتی سودان و مدیترانه‌ای و دوم در سطوح میانی وردسپهر نیز با نفوذ سامانه کم ارتفاع شمال اروپا و روسیه بر روی ایران و منطقه پژوهش. همچنین زمانی که شدت ترسالی افزایشی بوده ناو‌ها عمیق‌تر و راستای آن شمال شرقی به جنوب غربی‌تر می‌شود. قرارگیری نیمه شرقی ناو بر روی دریای

سرخ، خلیج عدن، خلیج فارس و شرق مدیترانه و مرکز پرا ارتفاع با پشت‌های عظیم شمال شرقی به جنوب غرب در غرب دریای عرب، بهترین موقعیت جهت تقویت جریانات واگرا و صعودی و در نتیجه فرارفت بیشترین حجم رطوبت به سمت منطقه پژوهش بوده است. بررسی مقادیر پربندی در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان داد که در سال‌های اوج خشک‌سالی تاوه پیراقطبی در بالای عرض ۶۰ درجه شمالی دیده می‌شود. در حالی که در سال‌های اوج ترسالی تاوه تا عرض ۳۰ درجه شمالی (مرکز ایران) نفوذ کرده است. نتایج این تحقیق در زمینه شرایط همدید خشک‌سالی‌های فراگیر و شدید با پژوهش نامنی و همکاران (۱۳۹۲) در خراسان رضوی، زنگنه و همکاران (۱۳۹۴) در جنوب و جنوب غرب ایران و برای ترسالی‌های فراگیر نیز با تحقیق کیانیان و همکاران (۱۳۹۵) در غرب ایران همسو است. اما در این تحقیق با انتخاب دوره آماری بلند مدت، گستره مکانی بزرگتر و انتخاب شاخص مناسب برای شناسایی خشک‌سالی و ترسالی‌های فراگیر بر صحت و دقت نتایج افزوده است. با مدیریت منابع آب، ارزیابی خطرات تغییر اقلیم، اصلاح و توسعه پیش‌بینی‌ها می‌توان مخاطرات ناشی از خشک‌سالی را در آینده به حداقل رساند.

#### منابع

- احمدی گیوی، فرهنگ؛ ایران نژاد، پرویز؛ محمد نژاد، علی؛ ۱۳۸۹. اثر پرفشارهای جنب حاره و سیبری بر خشک‌سالی‌های غرب ایران. چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران. تهران. ۵-۹.
- حجازی زاده، زهرا؛ ۱۳۷۲. بررسی سینوپتیکی پرفشار جب حاره‌ای در تغییر فصل ایران. رساله دکتری اقلیم‌شناسی. تهران. دانشگاه تربیت مدرس.
- خوش اخلاق، فرامرز؛ ۱۳۷۷. تحقیق در خشک‌سالی‌های فراگیر ایران با استفاده از تحلیل‌های سینوپتیک. رساله دکتری اقلیم‌شناسی. دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. دانشگاه تبریز.
- زارع ایبانه، حمید؛ محبوبی، علی اکبر؛ نیشابوری، محمد رضا؛ ۱۳۸۳. بررسی وضعیت خشک‌سالی و روند آن در منطقه همدان بر اساس شاخص‌های آماری. *مجله پژوهش و سازندگی*. شماره ۲ (۶۴). ۷-۲.
- زنگنه، سعید؛ لشکری، حسن؛ مرادی، محمد؛ ۱۳۹۴. تحلیل سینوپتیکی پرفشار عربستان و اثر آن بر خشک‌سالی‌های جنوب و جنوب غرب ایران. *مجله جغرافیا و پایداری محیط*. شماره ۱۵، ۳۱-۱۷.
- صادقی، سلیمان؛ علیجانی، بهلول؛ سلیقه، محمد؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ قهرودی تالی، منیژه؛ ۱۳۸۷. تحلیل همدیدی اثر واچرخندها بر خشک‌سالی‌های فراگیر خراسان. *مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*. شماره ۱۰، ۱۰۵-۱۱۸.
- علیجانی، بهلول؛ ۱۳۷۸. تغییرات الگوی جریان سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال منطقه خاورمیانه و اثرات آن بر اقلیم ایران در دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱. *مجله نیوار*. شماره ۴۵-۴۴، ۷۰-۲۹.
- علیجانی، بهلول؛ کاویانی، محمد رضا؛ ۱۳۹۰. *مبانی آب و هواشناسی*. انتشارات سمت.
- علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۰. *آب و هوای ایران*. انتشارات دانشگاه پیام نور.



- فاطمی، مهران؛ امیدوار، کمال؛ نارنگی فرد، مهدی؛ حاتمی بهمن بیگلر، خداکرم؛ ۱۳۹۴. شناخت الگوهای همدید مؤثر بر دوره‌های ترسالی و خشکسالی در ایران مرکزی. *مجله جغرافیای طبیعی*. شماره ۲۹، ۱۹-۴۰.
- فرج زاده، منوچهر؛ ۱۳۸۶. *خشکسالی از مفهوم تا راهکار*. انتشارات سازمان جغرافیایی کشور.
- فرج زاده اصل، منوچهر؛ ۱۳۷۴. *تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی در ایران*. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
- 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*. شماره ۲۲، ۱۷۵-۱۹۲.
- لشکری، حسن؛ متکان، علی اکبر؛ آزادی، مجید؛ محمدی، زینب؛ ۱۳۹۶. تحلیل همدیدی نقش پرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان و رودباد جنب‌حاره‌ای در خشکسالی‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران. *مجله پژوهش‌های دانش زمین*. شماره ۳۰، ۱۴۱-۱۶۳.
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۹۰. *آب و هوای ایران*. انتشارات شریعه توس.
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ عطایی، هوشمند؛ ۱۳۸۴. شناسایی فصول بارشی ایران به روش تحلیل خوشه‌ای. *مجله علوم انسانی دانشگاه اصفهان*. ۱۸ (۱). ۱-۱۸.
- نامنی، عزت؛ صادقی، سلیمان؛ دوستان، رضا؛ ۱۳۹۲. تحلیل همدیدی خشکسالی‌های فراگیر در خراسان رضوی. *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۵، ۵۴-۳۷.

- Barlow, M., Zaitchik, B., Paz, H., Black, E., Evans, J., Hoell, A., 2016. A Review of Drought in the Middle East and Southwest Asia. *Journal of Climate*, 29, 8547-8574.
- Bordi, I., Frigio, S., Parenti, P., Speranza, A., Sutera, A., 2001. The analysis of the standardized precipitation index in the Mediterranean area regional patterns. *Journal of Annals of geophysics*, 44(5), 979-993.
- Corte-Real, J., Qian, B., Xu, H., 1998. Regional Climate Change in Portugal: Precipitation Variability Associated With Large-Scale Atmospheric Circulation. *International Journal of Climatology*, 18 (6), 619-635.
- Croitoru, .A.E., Toma, F.M., 2011. Meteorological Drought in Central Romanian Plain (Between OLT and ARGES RIVERS) Case Study: Year 2000. *Riscuri Sicatastrofe*, 9, 113-120.
- Duckstein, L., Bárdossy, A., Bogárdi, I., 1993. Linkage between the Occurrence of Daily Atmospheric Circulation Patterns and Floods: An Arizona Case Study. *Journal of Hydrology*, 143 (3), 413-428.
- Fink, A.H., Brucher, T., Kruger, A., Leckebusch, G.C., Pinto, J.G., Ulbr, W., 2004. The 2003 European Summer Heatwaves and Drought-Synoptic Diagnosis and Impacts. *Journal of Royal Meteorological Society*, 8, 209-216.
- Iqbal, M.J., Sultan, H., Farheen, K., 2012. Influence of Azores High pressure on Middle Eastern rainfall. *Journal of Theor Appl Climatol*, 111(1), 211- 221.
- Jae-Won, C., Yumi, C., Sung-Dae, K., Changsub, S., 2017. Interdecadal variation in Korean spring drought in the early 1990s. *Journal of Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 78, 165-177. [dx.doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2017.04.004](https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2017.04.004).
- Kingston, D.G., Stagge, J.H., Tallaksen, L.M., Hannah, D.M., 2015. European-Scale Drought: Understanding Connections between Atmospheric Circulation and Meteorological Drought Indices. *Journal of Climate*, 28, 505-516.

- Lamb, H.H., 1997. Climate, Present, Past and Future. *Journal of Climate history and the future*, 2, 14-28.
- Lloyd-H., B., Saunders, M.A., 2002. Drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22, 1571–1592.
- Modaresi, R., Ali, S., Donald, H., 2016. Changes of extreme drought and flood events in Iran. *Journal of Global and Planetary Change*, 144, 67–81. [dx.doi.org/ 10.1016/ j.gloplacha .2016.07.008](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.07.008).
- Palmer, W. C., 1965. Meteorological drought. U.S. Weather Bureau Teach Paper, 45, 1-58.
- Parry, S., Prudhomme, C., Hannaford, J., & Lloyd-H. B., 2010. Examining the Spatio-Temporal Evolution and Characteristics of Large-Scale European Proceedings of the BHS Third. *International Symposium, British Droughts in Hydrological Society*, 135-142.
- Rooy, M., Van, P. A., 1965. Rainfall anomaly index independent of time and space. *Journal of Notos*, 14, 43-48.
- Sabziparvar, A., Parandeh, A., Lashkari, H., Yazdanpanah, H., 2010. Mid-level synoptic analysis of flood-generating systems in South-west of Iran (case study: Dalaki watershed river basin). *Journal of Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, 10, 2269-2279.
- Trigo, R. M., Dacamara, C. C., 2000. Circulation Weather Types and Their Influence on the Precipitation Regime in Portugal. *International Journal of Climatology*, 20 (13), 1559-1581.

