

## واکاوی آماری - همدید تغییرپذیری آب‌وهواشناختی رژیم بارش غرب میانی ایران با تاکید بر رخداد خشکسالی‌های شدید

فرامرز خوش اخلاق<sup>۱\*</sup>، مصطفی کریمی احمدآباد<sup>۲</sup>، سیدمیثم جاسمی<sup>۳</sup>، سیفال‌اله کاکی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۲</sup>استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۳</sup>دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۳/۲۷

### چکیده

یکی از پیامدهای تغییرات آب‌وهوایی، تغییرپذیری الگوهای جوی و افزایش رخداد خشکسالی‌ها می‌باشد. خشکسالی یکی از مخاطرات طبیعی است که با شناخت ویژگی‌های آن می‌توان پیش‌بینی بهتری از این پدیده جهت کاهش اثرات زیانبار آن انجام داد. هدف این مطالعه پایش خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید و شناسایی الگوهای همدیدی مؤثر در رخداد آن در منطقه غرب میانی ایران است. بدین منظور داده‌های میانگین روزانه بارش طی یک دوره آماری ۲۶ ساله (اکتبر ۱۹۸۹ تا سپتامبر ۲۰۱۵) برای ۱۶ ایستگاه همدید در منطقه پژوهش، از سایت سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. جهت شناسایی دوره‌های خشک و بررسی آماری خشکسالی از شاخص بارش استاندارد (SPI) استفاده گردید. محاسبه این شاخص برای مقیاس‌های زمانی مختلف نشان‌دهنده فراوانی بالا و تداوم طولانی مدت خشکسالی به خصوص در بازه زمانی سالانه است. از لحاظ مکانی خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید از شمال به جنوب و از غرب به شرق منطقه افزایش داشته است. از این رو ایستگاه‌هایی مانند همدان، دهلران، بروجرد و سرپل ذهاب به عنوان بحرانی‌ترین مناطق در منطقه پژوهش شناسایی شدند. در واکاوی همدید یک الگوی پشته، یک الگوی ناوه و دو الگوی زناری در ایجاد خشکسالی منطقه مشخص شدند. الگوی پشته حاصل جابجایی کمربند پراترفاع جنب‌حاره بویژه گسترش نصف‌النهار پراترفاع جنوب عربستان است. در الگوی ناوه، ناوه تضعیف شده مدیترانه و عدم تطابق تراز میانی و زیرین جوبه عنوان علت اصلی رخداد دوره‌های خشک در غرب میانی ایران و در الگوی زناری نیز وزش بادهای غربی به شکل زناری و گذر این بادهای از منطقه پژوهش علل ایجاد دوره‌های خشک شناخته شد.

**واژه‌های کلیدی:** خشکسالی شدید، شاخص بارش استاندارد، الگوهای همدید، غرب میانی ایران.

### مقدمه

مخاطرات جوی و اقلیمی از جمله خشکسالی، سیل و طوفان می‌توانند به شدت زیست‌سامانه‌های طبیعی و جوامع انسانی را تحت تاثیر قرار دهند (لی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۲۲۵). برخی مخاطرات مثل خشکسالی بدلیل ویژگی خزشی و نامحسوس بیش از هر مخاطره دیگر محیط زندگی انسان را تحت تاثیر

قرار می‌دهد (ساباش<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۱: ۱). این بدین معنی است که تعیین شروع و خاتمه آن مشکل و اثرات آن ممکن است به تدریج برای یک دوره طولانی بصورت انباشته‌شده درآمده و برای سال‌های پس از آن نیز ادامه داشته باشد (دانشور، ۱۳۸۶: ۱۵۹). پدیده خشکسالی مستقیم و غیرمستقیم در بخش‌های مختلف مانند کشاورزی، منابع آب، محیط زیست، اقتصاد و جامعه تاثیر گذاشته و باعث ایجاد مشکلاتی زیادی برای انسان‌ها شود. با این حال با وجود

\*نویسنده مسئول: fkhosh@ut.ac.ir

پیشرفت‌های علمی و فنی هنوز بشر نتوانسته آن را بطور کامل تحت کنترل درآورد. هرچند از وقوع خشکسالی نمی‌توان جلوگیری کرد اما اگر ماهیت و خصوصیات آن مورد مطالعه قرار گیرد می‌توان تا حدودی آن را پیش‌یابی کرد و با برنامه‌ریزی اثرات زیانبار آن را کاهش داد. آستانه رخداد خشکسالی کمیتی نسبی است که از مکانی به مکان دیگر متفاوت است. برای تحلیل فضایی خشکسالی ارائه روشی که در آن مقیاس زمانی در نظر گرفته شود از اهمیت خاصی برخوردار است. یکی از این روش‌ها نمایه بارش استاندارد شده (SPI) است که به وسیله مک‌کی<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۹۳) ارائه شده است. این نمایه یکی از معدود آماره‌هایی است که در آن مقیاس زمانی برای واکاوی فضایی خشکسالی به کار گرفته شده است و به این دلیل از انعطاف‌پذیری بالایی در شناخت و واکاوی خشکسالی‌ها جهت بررسی آثار این پدیده بر ذخایر آبی در کوتاه و بلندمدت برخوردار است. کشور ایران به دلیل واقع شدن در کمربند خشک کره زمین، دارای ویژگی کمبود و نوسانات شدید بارش است. این نوسانات گاهی باعث بروز خشکسالی‌هایی با شدت و ضعف‌های متفاوت در مناطق مختلف ایران می‌شود. در ارتباط با خشکسالی تاکنون تحقیقات زیادی در سطح ملی و بین‌المللی با روش و دیدگاه‌های مختلف صورت گرفته است. از جمله این تحقیقات می‌توان به بررسی خشکسالی‌های یونان با تاکید بر خشکسالی سال ۱۹۹۳ در ارتباط با سامانه‌های دینامیکی بزرگ مقیاس (پرزراکاس و فلوکاس<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲)، تحلیل خشکسالی‌های بلغارستان در ارتباط با شرایط همدید حاکم بر اروپا (تران<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۲)، تعیین نقش پرفشارهای دینامیکی و گرمایی اروپا در ایجاد خشکسالی تابستان ۲۰۰۳ اروپا (فینک<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۴)، پتانسیل سنجی شاخص بارش استاندارد در شرایط اقلات متحده (وو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۷)، تحلیل فضایی خشکسالی با استفاده از شاخص بارش است

ندارد در یونان (لیواداو کوپولوس<sup>۶</sup>، ۲۰۰۷)، توسعه زمانی مکانی و خصوصیات خشکسالی‌های بزرگ مقیاس اروپا با استفاده از شاخص بارش استاندارد و واکاوی همدید علت رخداد آن‌ها (پاری<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۰) و بررسی خشکسالی‌های کنیا و دستیابی به امکان پیش‌بینی بارش‌های منطقه از طریق مدل‌های آماری (جنیفر<sup>۸</sup>، ۲۰۱۱) اشاره کرد. در ایران هم مطالعات زیادی در مورد جنبه‌های مختلف خشکسالی صورت گرفته است، که خشکسالی سیلانی (۸۷-۱۳۸۶ و اثرات آن بر منابع آب کشاورزی در حوضه سدرودزن (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۸۹)، واکاوی آماری همدید خشکسالی‌های جنوب غرب ایران (رحیمی، ۱۳۹۰)، پایش و پیچیده بندی خشکسالی استان خراسان با استفاده از شاخص بارش استاندارد (بداجمالی و همکاران، ۱۳۹۰)، بررسی خشکسالی در تبریز با استفاده از شاخص بارش استاندارد و نوین زدا و ییبا استفاده از الگوریتم موجک و نظریه آشوب (حسن زاده، ۱۳۹۱)، شناسایی الگوهای همدید خشکسالی و ترسالی در استان‌های جنوب غرب ایران (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۹۱)، طبقه‌بندی الگوهای همدید بارش و خشکسالی - زادایران زمین (فتاحی و بابایی، ۱۳۹۲) و مقایسه مدل‌های تصادفی و نظری در بررسی خشکسالی هیدرولوژی (بذرافشان و همکاران، ۲۰۱۴)، همگی مطالعاتی است که در مناطق مختلف ایران صورت گرفته است. با توجه به این که بسیاری از سامانه‌های بارشی از غرب کشور ایران وارد می‌شود و منطقه غرب ایران یکی از قطب‌های کشاورزی و دامپروری ایران به شمار می‌رود، و رخداد خشکسالی‌های شدید بویژه در سال‌های قبل صدمات زیادی را بر پیکره اقتصادی و معیشت مردمان این منطقه وارد کرده است. لذا بررسی خشکسالی‌های اخیر در این منطقه و شناخت سامانه‌های همدید تاثیرگذار بر بارش‌های غرب میانی ایران ضرورت می‌یابد.

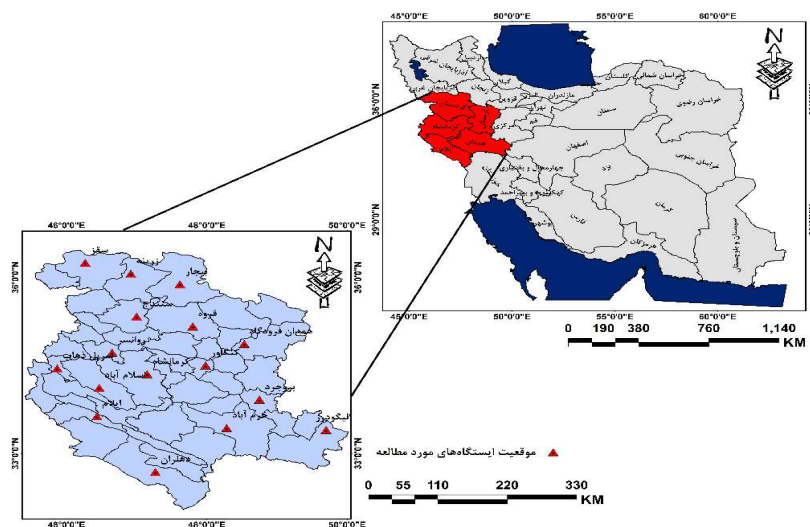
1. Mc. kee
2. Flucas and Paracas
3. Tran
4. Fink
5. Wow

6. Livadao Copulous
7. Pari
8. Jennifer

## داده‌ها و روش پژوهش

منطقه پژوهش در غرب میانی ایران شامل استان‌های کردستان، کرمانشاه، همدان، ایلام و لرستان است. این محدوده در بردارنده بخش‌هایی از حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه، سفیدرود، مرز غربی و کرخه است که مهم‌ترین آنها حوضه کرخه است (شکل، ۱). برای انجام این پژوهش داده‌های روزانه بارش طی

یک دوره آماری مشترک ۲۶ ساله (اکتبر ۱۹۸۹\_ سپتامبر ۲۰۱۵) برای ۱۶ ایستگاه همدید در منطقه از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. علت انتخاب ۲۶ سال مورد مطالعه به این سبب بود که در آن ایستگاه‌هایی انتخاب شوند که هم دارای آمار کافی و هم از پراکنش مناسب برخوردار باشند.



شکل ۱: محدوده منطقه پژوهش

مقدار  $A$  با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$A = \ln(x) = \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (۳) \text{ رابطه}$$

در این رابطه  $n$ ، تعداد مشاهدات بارش و  $x$  میانگین بارش تجمعی برای یک ماه در طول دوره آماری است. چون تابع گاما برای  $x = 0$  (بارش صفر میلیمتر) تعریف نشده و توزیع بارش ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، احتمال تجمعی کل که دربرگیرنده مقادیر صفر می‌باشد با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$H(X) = q + PG(X) \quad (۴) \text{ رابطه}$$

که در آن  $q$  احتمال صفر بودن مقدار بارش، و  $P = 1 + q$  است. اگر  $m$  تعداد داده‌های بارش صفر در سری زمانی  $n$  تایی باشد، آنگاه  $q$  از رابطه (۵) بدست می‌آید:

$$q = \frac{m}{n} A = \pi r^2 \quad (۵) \text{ رابطه}$$

پس از محاسبه احتمال تجمعی کل مقدار متغیر تصادفی نرمال استاندارد، هم احتمال یادشده که دارای

سپس جهت شناسایی دوره‌های خشکی استفاده از نمایه بارش استاندارد (SPI) محاسبات لازم انجام گرفت. محاسبه SPI شامل برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارش برای یک ایستگاه معین است. احتمالات تجمعی گاما از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$G(X) = \int_1^x x^{a-1} \varepsilon^{\frac{-x}{\beta}} \frac{1}{\beta x \Gamma(a)} \quad (۱) \text{ رابطه}$$

در این رابطه  $G(X)$  احتمالات تجمعی گاما،  $a$  فراسنج شکل،  $\beta$  فراسنج مقیاس،  $x$  مقدار بارش و  $\Gamma(a)$  تابع گاما است. فراسنجهای توزیع چگالی احتمال گاما از داده‌های نمونه با روش درست‌نمایی بیشینه برای هر ایستگاه و برای مقیاس زمانی انتخابی (ماهانه) با استفاده از رابطه (۲) برآورد می‌شود:

رابطه (۲):

$$\bar{a} = \frac{1}{4A} \left[ 1 + \right]$$

میانگین صفر و انحراف معیار یک است محاسبه می‌گردد، که همان نمایه SPI است. روابط (۶) و (۷) مقادیر Z یا SPI را از روی مقادیر H(X) ارائه می‌دهد:

رابطه (۶):

$$Z = \text{SPI} = - \left[ t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (0 < H(X) \leq 0.5)$$

رابطه (۷):

$$Z = \text{SPI} = + \left[ t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (0.5 < H(X) \leq 1)$$

اگر احتمال تجمعی مطابق با رابطه (۸)، بیشتر از صفر یا کوچکتر و مساوی ۰/۵ باشد؛ از رابطه (۹) استفاده می‌شود.

رابطه (۸):

$$(0 < H(X) \leq 0.5)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{H(X)^2} \right]} \quad \text{رابطه (۹):}$$

اگر احتمال تجمعی مطابق با رابطه (۱۰)، بیشتر از صفر یا کوچکتر و مساوی ۰/۵ باشد؛ از رابطه (۱۱) استفاده می‌شود.

$$\text{رابطه (۱۰): } (0.5 < H(X) \leq 1)$$

رابطه (۱۱):

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(1 - H(X)^2)} \right]}$$

در این روابط مقدار  $c_0, c_1, c_2, d_1, d_2, d_3$  مقادیر ثابت و  $H(X)$  احتمال تجمعی است (حجازی‌زاده و جوی‌زاده ۱۳۸۹). جهت‌شناسایی سازوکار ایجاد خشکسالی در منطقه پژوهش‌لازم بود به‌واکاوی شرایط همدید حاکم بر روزها و دوره‌های خشک پرداخته شود. لذا برای تعیین روزهای خشک و الگوهای جوی ایجادکننده آن، پس از محاسبه نمایه بارش استاندارد، ابتدا تاریخ‌هایی که به عنوان روز خشک بودند از دیگر روزها جدا شدند. بنابراین از بین ۳۰ ماه خشک، تعداد ۵۴۷ روز به عنوان روز خشک انتخاب شد. سپس یک آرایه به ابعاد  $۶۹۳ \times ۵۴۷$  با استفاده از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال<sup>۱</sup> در نرم‌افزار متلب<sup>۲</sup> تشکیل شد. این ماتریس T نام داشت که در آن

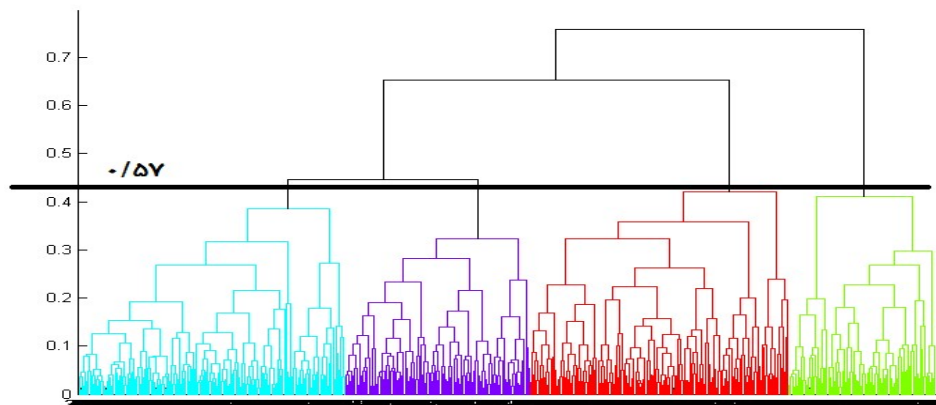
۱- واژه هکتوپاسکال جهت کوته‌نوشت، در ادامه به صورت ه پ نوشته می‌شود.

آن سطرها (۶۹۳) نماینده مکان (نقاط نقشه) و ستون‌ها (۵۴۷) معرف زمان (روز) بودند. در ادامه برای آشکارسازی الگوهای رخداد خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید، واکاوی خوشه‌ای به روش همبستگی بر روی ماتریس  $۶۹۳ \times ۵۴۷$  انجام شد و در آن با تعیین ضریب همبستگی آستانه (۰/۵۷) که بر اساس نقطه شکست تعداد گروه‌ها تعیین شد، روزهایی که با یکدیگر دارای بیشترین همبستگی بودند و با روزهای دیگر کمترین همبستگی را داشتند ۱۱ گروه را تشکیل دادند (شکل ۲).

برای کاستن از تعداد گروه‌ها و به دست آوردن الگوهای اصلی، با استفاده از روش ترکیبی مقایسه همبستگی بین گروه‌ها و تفسیر چشمی، تعدادی از این گروه‌ها که دارای بیشترین همبستگی بودند با هم ترکیب شدند و در نهایت ۴ الگوی اصلی در رخداد خشکسالی‌ها استخراج شد. برای تعیین روز نماینده هر گروه، با محاسبه ماتریس همبستگی درون‌گروهی، روزهای نماینده هر الگو که دارای بیشترین همبستگی درون گروهی بوده و معرف هر کدام از خوشه‌های تعیین‌کننده الگوهای همدید در منطقه بودند استخراج شدند. ویژگی هر کدام از این الگوها در جدول (۲) آورده شده است. برای تعیین دوره‌های خشک نیز پس از محاسبه شاخص SPI روزانه، با توجه به نمرات SPI آن‌ها، از میان روزهای خشکی که از تداوم بیشتری برخوردار بودند، چند دوره انتخاب شد. در نهایت با ترسیم نقشه‌های همدید با استفاده از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، باد زناری و نصف‌النهاری و نرم‌نسبی تراز ۸۵۰ هپ در محدوده عرض ۱۰ تا ۶۰ درجه شمالی و طول صفر تا ۱۰۰ درجه شرقی، داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، باد زناری و نصف‌النهاری و سرعت قائم هوا (امگا) در تراز ۵۰۰ هپ در محدوده عرض ۵ تا ۷۵ درجه شمالی و طول ۲۰ درجه غربی تا ۱۰۰ درجه شرقی و باد زناری و نصف‌النهاری در تراز ۲۵۰ هپ در محدوده عرض ۵ تا ۷۵ درجه شمالی و طول ۲۰ درجه غربی تا ۱۰۰ درجه شرقی با تفکیک  $۲/۵ \times ۲/۵$  درجه قوسی که از مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز ملی پژوهش‌های جوی ایالات متحده اخذ شد، به



واکاوی همید سازوکار ایجاد کننده خشکسالی در هر کدام از روزها و دوره های خشک پرداخته شد.

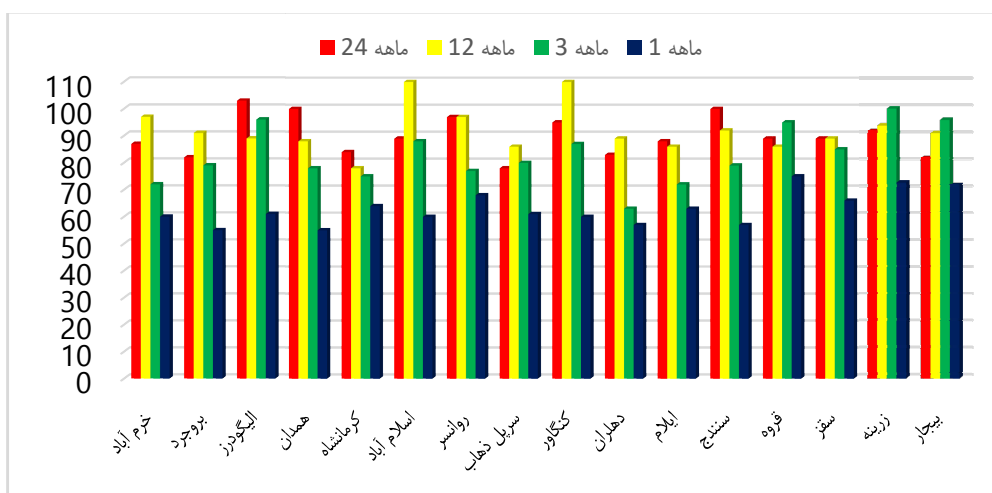


شکل ۲: نمودار درختی گروه ها بر اساس ضریب همبستگی آستانه ۰/۵۷

### یافته ها و بحث

**الف) فراوانی خشکسالی:** برای بررسی فراوانی خشکسالی، نمایه بارش استاندارد شده بر روی ارقام بارش ۲۶ ساله ایستگاه های انتخابی برازش داده شد و با در نظر گرفتن مقدار  $-0.5$  و  $+0.5$  بعنوان وضعیت نرمال، فراوانی ماه های خشک برای بازه های زمانی ۱، ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه محاسبه و با توجه به مقادیر بدست آمده مقیاس زمانی ۱ و ۳ ماهه نماینده دوره کوتاه مدت، ۱۲ ماهه نماینده دوره میان مدت و ۲۴ ماهه برای بازه زمانی بلند مدت در نظر گرفته شد. از نظر میانگین فراوانی رخداد خشکسالی در ایستگاه ها، بیشترین

فراوانی به ترتیب در بازه زمانی ۱۲ ماهه (۹۲ ماه)، ۲۴ ماهه (۹۰ ماه)، ۳ ماهه (۸۲ ماه) و ۱ ماهه (۶۲ ماه) رخ داده است. این بدین دلیل است که SPI کوتاه مدت حساسیت بیشتری به تغییرات شرایط رطوبتی دارد و با کوچکترین تغییر در بارش ماهانه نمایه به سرعت پاسخ می دهد، اما SPI برای بازه های زمانی میان و بلند مدت بارش ماهانه را در نظر دارد و با تأثیر پذیری از ماه های قبل می تواند از فراوانی بیشتری برخوردار گردد. برای مقایسه بهتر فراوانی این رخداد در ایستگاه های مختلف منطقه نتایج آن ها در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲: نمودار فراوانی رخداد خشکسالی با نمایه های زمانی متفاوت در ایستگاه های منتخب (محور Y تعداد ماه)

۷۳ ماه و بیجار با ۷۲ ماه دارای بیشترین فراوانی رخداد خشکسالی در بازه زمانی یک ماهه بوده اند. کمترین فراوانی رخداد خشکسالی ۱ ماهه نیز با ۵۵

بر اساس شکل (۲) بیشترین فراوانی رخداد خشکسالی در دوره ۱ ماهه با ۷۵ ماه مربوط به ایستگاه قروه است و بعد از آن به ترتیب زرنجان و بیجار

ماه مربوط به ایستگاه همدان و بروجرد است. در مقیاس زمانی ۳ ماهه بیشترین فراوانی رخداد خشکسالی با ۱۰۰ ماه مربوط به ایستگاه زرینه و کمترین فراوانی با ۶۳ ماه مربوط به ایستگاه دهلران است. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه ایستگاه اسلام‌آباد غرب با ۱۱۱ ماه بیشترین فراوانی رخداد خشکسالی را به خود اختصاص داده و پس از آن ایستگاه کنگاور با ۱۱۰ ماه قرار دارد. کمترین فراوانی رخداد خشکسالی ۱۲ ماهه نیز با ۷۸ ماه به ایستگاه کرمانشاه تعلق دارد. در بازه زمانی ۲۴ ماهه ایستگاه الیگودرز با ۱۰۳ ماه دارای بیشترین رخداد خشکسالی است و پس از آن ایستگاه‌های همدان و سنندج با ۱۰۰ ماه در مرحله بعد قرار می‌گیرد. ایستگاه سرپل‌ذهاب نیز با ۷۸ ماه از کمترین فراوانی رخداد خشکسالی ۲۴ ماهه برخوردار بوده است.

**ب) شدت خشکسالی:** شدت‌های مختلف خشکسالی در هر چهار مقیاس زمانی ۳ و ۱ ماهه (کوتاه‌مدت)، ۱۲ ماهه (متوسط) و ۲۴ ماهه (بلندمدت) برای تمامی ایستگاه‌های منتخب در جدول (۱) ارائه شده است. در این جدول ملاحظه می‌شود که شدت خشکسالی‌های مشاهده‌شده در تمام

ایستگاه‌های منتخب یکسان نیست و ممکن است ایستگاه‌هایی از شدت کمتری برخوردار بوده ولی دارای فراوانی بیشتری باشند. در مجموع بررسی میانگین شدت‌های مختلف خشکسالی در منطقه نشان می‌دهد که در هر چهار بازه زمانی محاسبه شده، فراوانی خشکسالی‌ها از شدت‌های کمتر به بیشتر کاهش می‌یابد و بیشتر خشکسالی‌های رخ داده در منطقه از نوع ملایم و متوسط هستند. در بازه‌های زمانی مختلف نیز شدت‌های خشکسالی تغییر می‌یابد، بطوری که در SPI یک‌ماهه ۷۷ درصد (۴۸ ماه) خشکسالی‌های رخ داده از نوع ملایم تا متوسط و ۲۳ درصد (۱۴ ماه) آنها از نوع شدید تا خیلی شدید هستند. در SPI سه‌ماهه ۷۷ درصد (۶۲ ماه) رخدادهای مشاهده شده ملایم تا متوسط و ۲۳ درصد (۱۹ ماه) شدید و خیلی شدید و در SPI ۱۲ ماهه ۷۴ درصد (۶۷ ماه) دارای خشکسالی ملایم تا متوسط و ۲۶ درصد (۲۳ ماه) دارای خشکسالی شدید تا بسیار شدید و در SPI ۲۴ ماهه ۷۸ درصد (۶۹ ماه) خشکسالی‌ها از شدت‌های ملایم تا متوسط و ۲۲ درصد (۱۹ ماه) آنها شدید و خیلی شدید هستند.

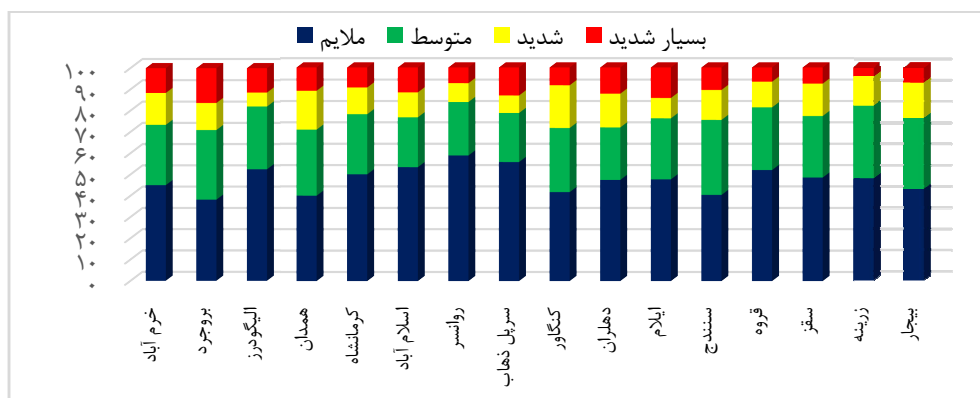
جدول ۱: شدت‌های مختلف خشکسالی در ایستگاه‌های منتخب

| SPI یک‌ماهه |      |       |       | SPI سه‌ماهه |      |       |       | SPI دوازده‌ماهه |      |       |       | SPI بیست و چهار ماهه |      |       |       | ایستگاه    |
|-------------|------|-------|-------|-------------|------|-------|-------|-----------------|------|-------|-------|----------------------|------|-------|-------|------------|
| بسیار شدید  | شدید | متوسط | ملایم | بسیار شدید  | شدید | متوسط | ملایم | بسیار شدید      | شدید | متوسط | ملایم | بسیار شدید           | شدید | متوسط | ملایم |            |
| ۷           | ۹    | ۱۷    | ۲۷    | ۱۳          | ۶    | ۲۴    | ۲۹    | ۰               | ۲۱   | ۳۷    | ۳۹    | ۰                    | ۱۲   | ۴۰    | ۳۶    | خرم‌آباد   |
| ۹           | ۷    | ۱۸    | ۲۱    | ۷           | ۱۳   | ۲۲    | ۳۷    | ۲               | ۱۴   | ۳۷    | ۳۸    | ۰                    | ۱۵   | ۲۸    | ۳۹    | بروجرد     |
| ۷           | ۴    | ۱۸    | ۳۲    | ۵           | ۳۲   | ۳۲    | ۴۷    | ۵               | ۱۹   | ۳۵    | ۳۰    | ۱                    | ۲۱   | ۳۱    | ۵۰    | الیگودرز   |
| ۶           | ۱۰   | ۱۷    | ۲۲    | ۱۲          | ۹    | ۱۸    | ۳۹    | ۵               | ۲۱   | ۲۶    | ۳۶    | ۷                    | ۹    | ۳۲    | ۵۲    | همدان      |
| ۶           | ۸    | ۱۸    | ۳۲    | ۷           | ۸    | ۲۳    | ۳۷    | ۱۱              | ۱۶   | ۱۳    | ۳۸    | ۱۳                   | ۷    | ۲۲    | ۴۲    | کرمانشاه   |
| ۷           | ۷    | ۱۴    | ۳۲    | ۷           | ۲۴   | ۲۱    | ۴۶    | ۷               | ۱۷   | ۳۰    | ۵۷    | ۶                    | ۲۹   | ۱۶    | ۴۸    | اسلام‌آباد |
| ۵           | ۶    | ۱۷    | ۴۰    | ۶           | ۹    | ۲۶    | ۳۶    | ۱               | ۱۳   | ۱۹    | ۶۴    | ۰                    | ۱    | ۵۹    | ۳۷    | روانسر     |
| ۸           | ۵    | ۱۴    | ۳۴    | ۸           | ۱۰   | ۱۷    | ۴۵    | ۱۳              | ۱۱   | ۳۲    | ۳۰    | ۱۸                   | ۱۸   | ۱۶    | ۲۶    | سرپل‌ذهاب  |
| ۵           | ۱۲   | ۱۸    | ۲۵    | ۷           | ۱۲   | ۲۵    | ۴۳    | ۱۱              | ۱۶   | ۱۳    | ۳۸    | ۱۳                   | ۷    | ۲۲    | ۴۲    | کنگاور     |
| ۷           | ۹    | ۱۴    | ۲۷    | ۱۰          | ۸    | ۱۵    | ۳۳    | ۸               | ۱۵   | ۱۴    | ۵۲    | ۶                    | ۱۵   | ۲۳    | ۳۹    | دهلران     |
| ۹           | ۶    | ۱۸    | ۳۰    | ۹           | ۱۱   | ۱۷    | ۳۵    | ۱۲              | ۱۹   | ۲۶    | ۲۹    | ۱۱                   | ۱۳   | ۳۲    | ۳۲    | ایلام      |
| ۶           | ۸    | ۲۰    | ۲۳    | ۵           | ۲۵   | ۲۵    | ۳۴    | ۵               | ۲۲   | ۲۳    | ۴۲    | ۰                    | ۱۸   | ۲۴    | ۵۸    | سنندج      |
| ۵           | ۹    | ۲۲    | ۳۹    | ۷           | ۱۵   | ۲۷    | ۴۶    | ۷               | ۹    | ۲۸    | ۴۲    | ۱                    | ۱۱   | ۳۵    | ۴۲    | قروه       |
| ۵           | ۱۰   | ۱۹    | ۳۲    | ۷           | ۱۴   | ۳۰    | ۳۴    | ۱۰              | ۱۲   | ۲۴    | ۴۳    | ۱                    | ۱۷   | ۲۸    | ۴۴    | سقز        |
| ۳           | ۱۰   | ۲۵    | ۳۵    | ۴           | ۱۷   | ۲۷    | ۵۲    | ۵               | ۱۸   | ۲۰    | ۵۱    | ۱                    | ۲۰   | ۲۱    | ۵۰    | زرینه      |
| ۵           | ۱۲   | ۲۴    | ۳۱    | ۷           | ۱۵   | ۳۱    | ۴۳    | ۷               | ۱۵   | ۲۵    | ۴۴    | ۴                    | ۱۸   | ۲۶    | ۳۴    | بیجار      |

|         |   |   |    |    |   |    |    |    |   |    |    |    |   |    |    |    |
|---------|---|---|----|----|---|----|----|----|---|----|----|----|---|----|----|----|
| میانگین | ۶ | ۸ | ۱۸ | ۳۰ | ۷ | ۱۲ | ۲۳ | ۳۹ | ۷ | ۱۶ | ۲۵ | ۴۲ | ۵ | ۱۴ | ۲۸ | ۴۱ |
|---------|---|---|----|----|---|----|----|----|---|----|----|----|---|----|----|----|

مطالعه کمترین درصد خشکسالی بسیار شدید (۴ درصد) رخ داده است. در مجموع هرچند بیشترین درصد شدت‌ها در کل منطقه متعلق به شدت‌های ملایم و متوسط و کم‌ترین درصد متعلق به شدت‌های شدید و بسیار شدید است، اما می‌توان ایستگاه‌های بروجرد، همدان و دهلران را بحرانی‌ترین نقاط منطقه دانست. بطوری که به ترتیب ۲۹ و ۲۸ درصد خشکسالی‌های آن‌ها از نوع شدید تا بسیار شدید است. ایستگاه‌های زرینه، روانسر و قروه را می‌توان مناطق کم‌آسیب‌تر از نظر خشکسالی در نظر گرفت؛ چون به ترتیب ۸۴، ۸۲ و ۸۱ درصد خشکسالی‌های آن‌ها از نوع ملایم و متوسط است. این حالت بدلیل رخداد مکرر خشکسالی در ایستگاه زرینه و قروه می‌باشد که سبب انطباق شرایط محیطی به این پدیده شده است.

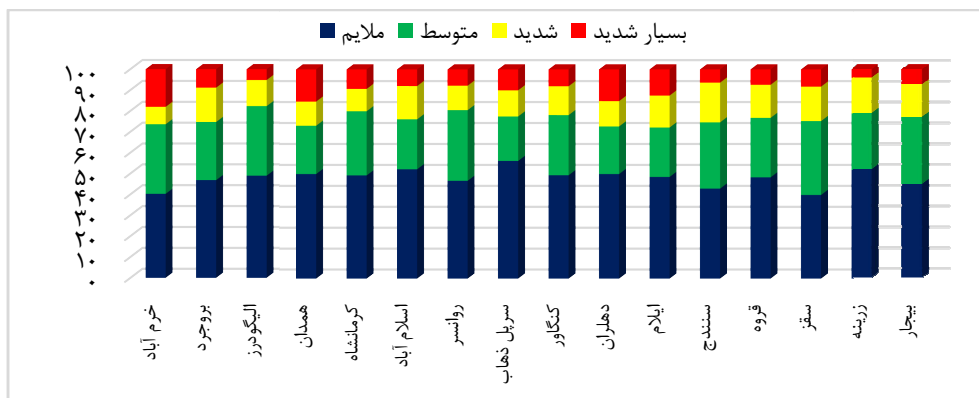
برای بررسی وضعیت خشکسالی در ایستگاه‌های منتخب درصد رخداد آن به تفکیک شدت‌های مختلف برای هر یک از بازه‌های زمانی بصورت نمودارهایی ارائه شده که در ادامه ارائه شده‌اند. شکل (۳) درصد رخداد خشکسالی‌های ماهانه (SPI ۱ ماهه) برای شدت‌های مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل دیده می‌شود که شدت‌های خشکسالی در ایستگاه‌های منطقه یکسان نیست. مثلاً گرچه ایستگاه‌های قروه و زرینه دارای بیشترین فراوانی رخداد هستند ولی بیشتر خشکسالی‌های آن‌ها از نوع متوسط و به‌ویژه ملایم است. ایستگاه بروجرد فراوانی رخداد آن به مراتب کمتر از ایستگاه‌های پیشگفته است، اما بیشترین درصد رخداد خشکسالی‌های بسیار شدید (۱۶ درصد) را در این بازه زمانی به خود اختصاص داده است. در حالی که در ایستگاه زرینه طی دوره مورد



شکل ۳: درصد رخداد خشکسالی به تفکیک شدت‌های مختلف در بازه زمانی ۱ ماهه (محور Y به درصد)

این بازه زمانی به خود اختصاص داده است. در حالی که ایستگاه الیگودرز طی دوره پژوهش (۱۸ درصد) خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید را به خود اختصاص داده است. در بازه زمانی ۳ ماهه ایستگاه‌های ایلام با ۲۸، دهلران و همدان با ۲۷ و خرم‌آباد با ۲۶ درصد خشکسالی شدید و بسیار شدید بحرانی‌ترین ایستگاه‌های منطقه و ایستگاه‌های الیگودرز با ۱۸، زرینه با ۲۱ و بیجار با ۲۳ درصد کم‌آسیب‌ترین ایستگاه‌های منطقه بوده‌اند.

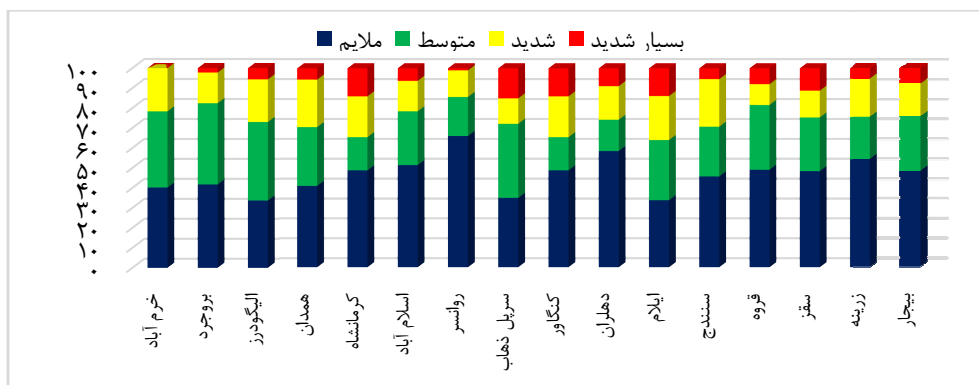
شکل (۴) درصد رخداد خشکسالی‌های فصلی (SPI ۳ ماهه) برای شدت‌های مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به شکل یادشده مشخص می‌گردد که شدت‌های خشکسالی در ایستگاه‌های منطقه یکسان نیست. گرچه ایستگاه‌های زرینه و الیگودرز دارای بیشترین فراوانی رخداد هستند ولی بیشتر خشکسالی‌های آن‌ها از نوع متوسط و ملایم است. ایستگاه ایلام که فراوانی رخداد آن به مراتب کمتر از ایستگاه‌های دیگر است اما بیشترین درصد رخداد خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید (۲۸ درصد) را در



شکل ۴: درصد رخداد خشکسالی به تفکیک شدت‌های مختلف در بازه زمانی ۳ ماهه (محور Y به درصد)

خشکسالی‌های آن از نوع شدید (۲۱ درصد) و خیلی شدید (۱۴ درصد) است. بیشترین درصد خشکسالی بسیار شدید با ۱۵ درصد متعلق به ایستگاه سرپل ذهاب، خشکسالی شدید با ۲۴ درصد متعلق به ایستگاه همدان، خشکسالی متوسط با ۴۱ درصد متعلق به ایستگاه بروجرد و خشکسالی ملایم با ۶۶ درصد متعلق به ایستگاه روانسر است. ایستگاه‌های کرمانشاه، کنگاور و همدان با حداکثر شدت‌های بالای رخداد بحرانی‌ترین نقاط و روانسر، خرم‌آباد و اسلام‌آباد غرب با حداقل شدت‌ها کم‌آسیب‌ترین نقاط منطقه در مقیاس سالانه هستند.

شکل (۵) درصد رخداد شدت‌های مختلف خشکسالی‌های سالانه (۱۲SPI ماهه) را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که همچون دوره زمانی کوتاه مدت نقاط با شدت‌های بالای خشکسالی با مقادیر بالای فراوانی منطبق نمی‌باشد بطوری‌که ایستگاه خرم‌آباد که در این زمان از فراوانی بالایی برخوردار بوده است درصدی از خشکسالی بسیار شدید را تجربه نکرده است و بیش از ۷۵ درصد خشکسالی‌های آن از نوع ملایم (۴۰ درصد) و متوسط (۳۸ درصد) است. در حالی که ایستگاه کرمانشاه که دارای کمترین فراوانی رخداد بوده است، ۳۵ درصد



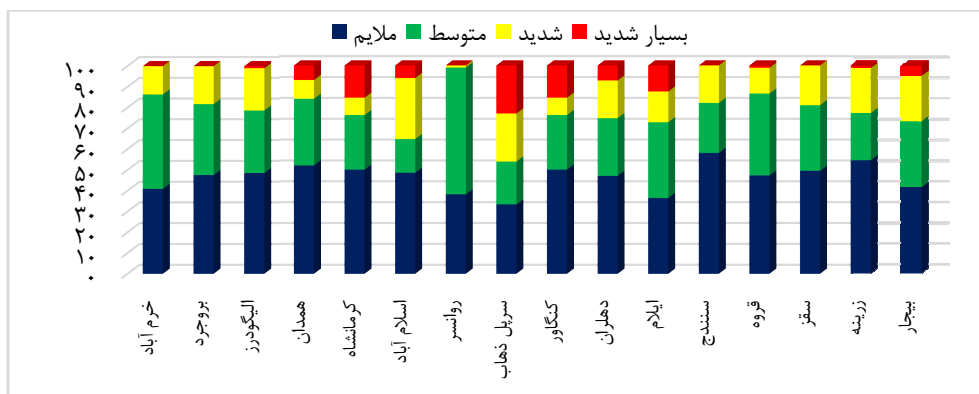
شکل ۵: درصد رخداد خشکسالی به تفکیک شدت‌های مختلف در بازه زمانی ۱۲ ماهه (محور Y به درصد)

این مقیاس زمانی تعداد ایستگاه‌هایی که رخداد‌های بسیار شدید را تجربه نکرده‌اند نسبت به بازه‌های زمانی دیگر افزایش یافته و از یک ایستگاه در ۱۲SPI ماهه به پنج ایستگاه رسیده است. ایستگاه سنندج که در این بازه زمانی از فراوانی بالایی برخوردار است، ۸۲ درصد

شکل (۶) وضعیت خشکسالی بلند مدت (۲۴SPI ماهه) منطقه را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل بیشترین درصد رخداد‌های خیلی شدید به ترتیب متعلق به ایستگاه سرپل ذهاب با ۲۳ درصد (در حالی که از کمترین فراوانی رخداد برخوردار می‌باشد). در

افزوده شده است. بحرانی ترین نقاط منطقه عبارتند از سرپل ذهاب، کرمانشاه و ایلام و کم آسیب ترین نقاط شامل روانسر و خرم آباد است.

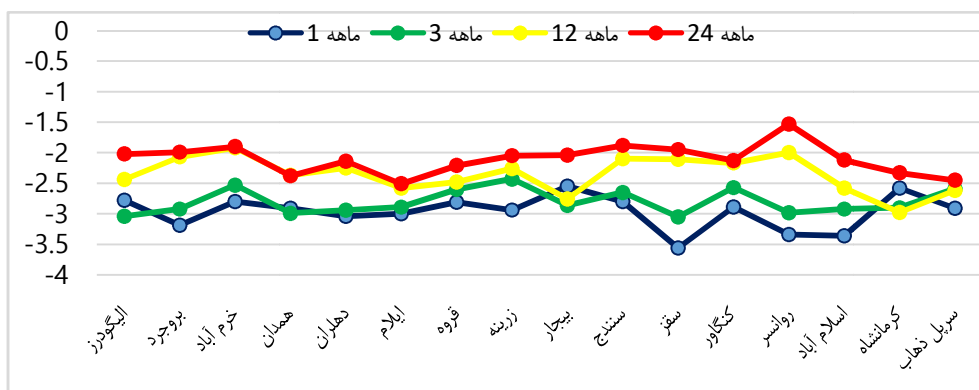
خشکسالی های آن از نوع ملایم (۵۸ درصد) و متوسط (۲۴ درصد) بوده است. در مجموع در بازه زمانی ۲۴ ماهه از فراوانی خشکسالی های شدید و بسیار شدید کاسته و به فراوانی خشکسالی های متوسط و ملایم



شکل ۶: درصد رخداد خشکسالی به تفکیک شدت های مختلف در بازه زمانی ۲۴ ماهه (محور ۷ به درصد)

تداوم و شدت بالای خشکسالی در منطقه می باشد. حداکثر بیشینه خشکسالی در SPI یک ماهه با ۳/۵۶- متعلق به ایستگاه سقز و پس از آن با ۳/۳۶- متعلق به ایستگاه اسلام آباد غرب است. در SPI ۳ ماهه حداکثر و حداقل بیشینه رخداد به ترتیب با ۳/۰۵- و ۲/۴۳- متعلق به ایستگاه های سقز و زرنجه اباتو می باشد. در بازه زمانی ۱۲ ماهه ایستگاه کرمانشاه با ۲/۹۸- خشک ترین ایستگاه منطقه به شمار می رود. همچنین ایستگاه ایلام با ۲/۵۱- حداکثر و روانسر با ۱/۵۳- حداقل بیشینه شدت خشکسالی در مقیاس ۲۴ ماهه را به خود اختصاص داده اند.

شکل (۷) بیشینه شدت خشکسالی ها در مقیاس های زمانی مختلف برای تمامی ایستگاه های منتخب را نشان می دهد. بر اساس این شکل در اکثر ایستگاه ها بیشینه شدت خشکسالی ها طی دوره مورد مطالعه به ترتیب در مقیاس زمانی ۱ ماهه، ۳ ماهه، ۱۲ ماهه و ۲۴ ماهه مشاهده شده است. این حالت ناشی از اثر عمده نوسانات رطوبتی بارش ماهانه نسبت به بارش فصلی، سالانه و ۲۴ ماهه است. بنابراین واضح است که SPI یک ماهه به کاهش بارش حساس می باشد. اما با افزایش بازه زمانی و تعداد ماه ها بارش یک ماه اثر کمتری بر کل بارش دارد. در مواقعی که شدت SPI های ۱۲ یا ۲۴ ماهه بیشتر می باشد دلیل



شکل ۷: نمودار بیشینه شدت خشکسالی ها در مقیاس های زمانی مختلف (محور Y شدت SPI)

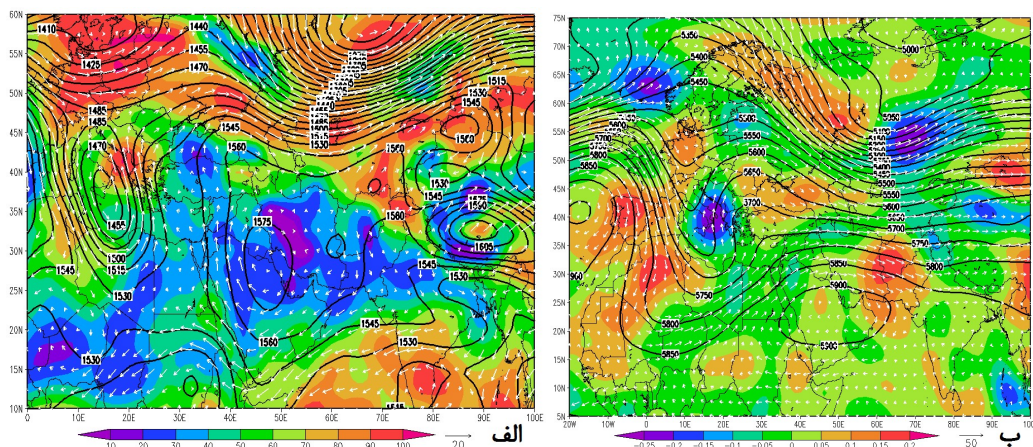
جدول ۲: ویژگی‌های آماری الگوهای گردشی رخداد خشکسالی

| الگوی گردشی | روزهای عضو | درصد رخداد | روز نماینده    | همبستگی درون گروهی | مقدار SPI |
|-------------|------------|------------|----------------|--------------------|-----------|
| ۱           | ۶۵         | ۱۱/۱۸      | ۱۵ نوامبر ۱۹۹۰ | ۰/۸۹               | -۱/۶۴     |
| ۲           | ۲۳۲        | ۴۲/۴۱      | ۶ آوریل ۲۰۰۸   | ۰/۸۴               | -۱/۸۹     |
| ۳           | ۱۳۲        | ۲۴/۱۳      | ۴ ژانویه ۲۰۰۹  | ۰/۸۱               | -۱/۷      |
| ۴           | ۱۱۸        | ۲۱/۵۷      | ۱۹ فوریه ۲۰۱۳  | ۰/۷۹               | -۱/۶۶     |

## ج) واکاوی الگوهای همدید روزانه

- الگوی شارش‌های زناری ناشی از پُراتفاع (پانزدهم نوامبر ۱۹۹۰): میزان بارش این روز تقریباً در کل ایستگاه‌ها صفر است. با توجه به نقشه تراز ۸۵۰ هپ (شکل ۸ - الف)، در این روز ریزش هوای سرد عرض‌های بالا بر روی مدیترانه غربی وجود دارد و سبب ایجاد یک هسته کم‌ارتفاع شده است. در شمال عربستان و جنوب غربی ایران هسته پُراتفاع بسته با پربند ۱۵۷۵ ژئوپتانسیل متر شکل گرفته که با گردش واپرخندی خود موجب فرارفت هوای عرض‌های جنوبی از صحرای عربستان بر روی منطقه پژوهش شده است. این هسته پُراتفاع مانع از ورود سامانه‌های کم‌فشار مرطوب به منطقه شده و به همین دلیل میزان نه‌نسبی بر روی منطقه پژوهش به کمتر از ۲۰ درصد رسیده است که در مجموع سبب نبودبارش در

منطقه شده و جوی پایدار را در منطقه حاکم کرده‌است. در تراز ۵۰۰ هپ شرایط مشابه تراز ۸۵۰ هپ وجود دارد (شکل ۸ - ب)، در این روز ناوه عمیقی بر روی مدیترانه قرار دارد که تا مرکز آفریقا امتداد پیدا کرده است. در جنوب منطقه پژوهش در عربستان و خلیج فارس یک هسته پُراتفاع با پربند ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر شکل گرفته که با جریانات واپرخندی خود موجب فرارفت هوای گرم و خشک بر روی منطقه شده و پشته حاصل از آن بر روی منطقه قرار گرفته به طوری که منطقه پژوهش در جلو محور پشته قرار داشته و جریانات بر روی ایران تقریباً به شکل زناری تا شمال غریب‌است. نقشه‌امگا نیز نشانگر مقادیر مثبت و پایداری هوا در منطقه است که سبب عدم بارش شده است.



شکل ۸: روز ۱۵ نوامبر ۱۹۹۰: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل (پربند مشکی)، بردار باد (پیکان سفید) و نه‌نسبی (پهنه‌های رنگی) در تراز ۸۵۰ هپ (الف) و ارتفاع ژئوپتانسیل (پربند مشکی)، بردار باد (پیکان سفید) و امگا (پهنه‌های رنگی) در تراز ۵۰۰ هپ (ب).

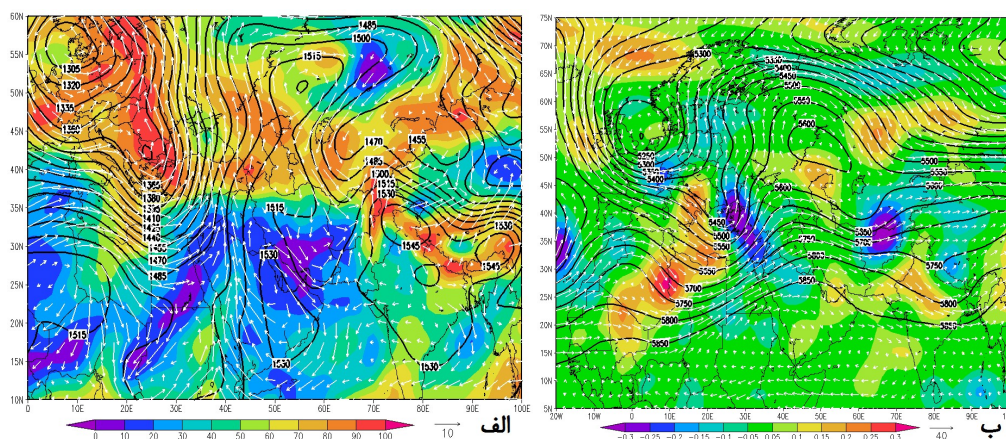
کم‌ارتفاع شمال شرقی (در تب) قرار دارد. سلول پُراتفاع بسته بر روی عربستان شکل گرفته و تقریباً بر روی کل منطقه پژوهش و عرض‌های بالاتر تاثیر

- الگوی پشته (ششم آوریل ۲۰۰۸): میزان بارش این روز در کل ایستگاه‌ها صفر است. با توجه به نقشه تراز ۸۵۰ هپ (شکل ۹ - الف)، ایران بین ناوه اروپا و



عربستان از حالت معمول خود (جریانات زناری) خارج شده و به صورت نصف‌النهاری درآمده است و با امتداد جنوبی-شمالی به عرض‌های بالا کشیده شده و سراسر غرب ایران را فرا گرفته است. این حالت سبب جریانات شمال غربی بر روی ایران و منطقه پژوهش شده است. نقشه امگا نشان از وجود مقادیر مثبت امگا و به تبع آن پایداری و شرایط جوی آرام است.

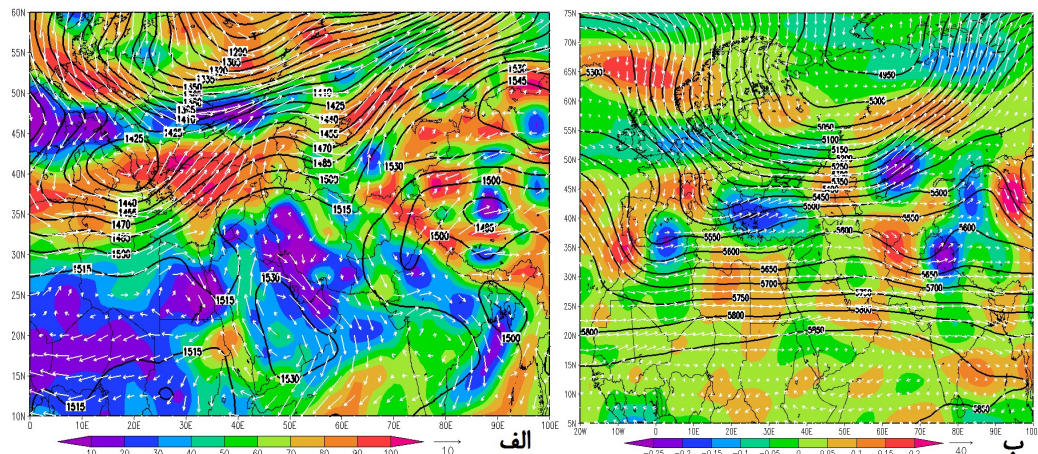
گذاشته است و با چرخش و اچرخندی قوی مانع از ورود سامانه‌های مرطوب از دریای سرخ و مدیترانه به کشور شده است. مقدار نم‌نسبی در منطقه به کمتر از ۴۰ درصد می‌رسد، که این میزان برای ایجاد بارش بسیار ناچیز است. در تراز ۵۰۰ هپ (شکل، ۹-ب) شرایط تقریباً مانند تراز ۸۵۰ هپ است. در این تراز ناوه عمیق قطبی با مرکز بسته از اسکاندیناوی تا شمال شرق آفریقا امتداد یافته و پراتفاع جنوب



شکل ۹: روز ۶ آوریل ۲۰۰۸: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل (پرند مشکی)، بردار باد (پیکان سفید) و نم‌نسبی (پهنه‌های رنگی) در تراز ۸۵۰ هپ (الف) و ارتفاع ژئوپتانسیل (پرند مشکی)، بردار باد (پیکان سفید) و امگا (پهنه‌های رنگی) در تراز ۵۰۰ هپ (ب).

می‌دهد که برای وقوع بارش کافی نیست. در تراز ۵۰۰ هپ (شکل، ۱۰-ب) شارش‌های زناری غربی-شرقی بر روی ایران دیده می‌شود. پرند ۵۸۰۰ ژئوپتانسیل‌متر از موقعیت نرمال خود (جنوب غرب عربستان) به سمت عرض‌های بالا جابه‌جا شده و زبانه‌هایی از آن بر روی منطقه پژوهش تأثیر گذاشته است. واکاوی نقشه امگا نشان می‌دهد که در منطقه امگای مثبت وجود دارد که نشان از پایداری و عدم صعود هوا است که به تبع آن عدم بارش در منطقه را سبب شده است.

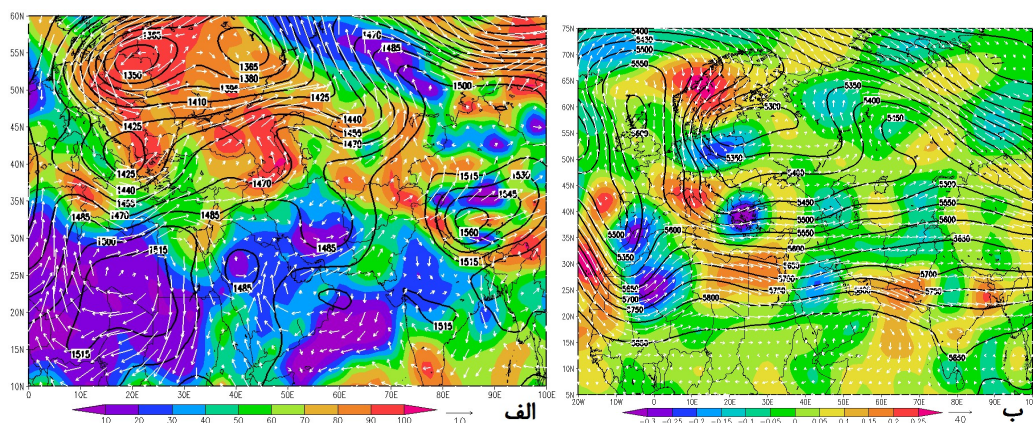
- الگوی شارش‌های زناری (چهارم ژانویه ۲۰۰۹): میزان بارش این روز در کل ایستگاه‌ها صفر می‌باشد. با توجه به نقشه تراز ۸۵۰ هپ (شکل، ۱۰-الف)، سلول بسته پراتفاع بر روی عربستان دیده می‌شود که سراسر جوی ایران را تحت تأثیر قرار داده است. هسته پراتفاع روی عربستان با جریانات و اچرخندی خود مانع از ورود سامانه‌های کم‌ارتفاع بارانزا از مدیترانه به منطقه پژوهش (غرب میانی ایران) شده است. الگوی نم‌نسبی، میزان کمتر از ۳۰ درصد را در منطقه نشان



شکل ۱۰: روز ۴ ژانویه ۲۰۰۹: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل (پرند مشکی)، بردار باد (پیکان سفید) و نم‌نسی (پهنه‌های رنگی) در تراز ۸۵۰ هپ (الف) و ارتفاع ژئوپتانسیل (پرند مشکی)، بردار باد (پیکان سفید) و امگا (پهنه‌های رنگی) در تراز ۵۰۰ هپ (ب).

به سایر مناطق رطوبت بالاتری است که با وجود الگوی کلی منطقه شرایط بارش فراهم نبوده است. در تراز ۵۰۰ هپ (شکل، ۱۱-ب)، ناوه قطبی به عرض‌های پایین کشیده شده و تقریباً بر روی مدیترانه قرار گرفته است، اما شارش‌ها به ایران نرسیده است. در این نقشه‌شارش‌ها بر روی ایران بیشتر به شکل زناری است، اما به دلیل شکل تقریباً نصف‌النهاری پراارتفاع جنوب عربستان، دارای انحنا شده‌اند و تقریباً به شکل جنوب‌غربی-شمال‌شرقی ضعیف امتداد دارد. واکوینت‌ش امگا پایداری هوا را نشان می‌دهد که به سبب آن بارشی در منطقه رخ نداده است.

– الگوشارش‌های زناری (نوزدهم فوریه ۲۰۱۳): میزان بارش این روز تقریباً در کل ایستگاه‌ها صفر است. با توجه به نقشه تراز ۸۵۰ هپ (شکل، ۱۱-الف)، در این روز هسته کم‌ارتفاع در شمال دریای مدیترانه قرار گرفته و با چرخش چرخندی خود رطوبت را به عرض‌های بالا انتقال می‌دهد. در عربستان هسته پراارتفاع با پرند ۱۴۸۵ ژئوپتانسیل متر شکل گرفته که کل نیمه‌جنوبی ایران را تحت استیلای خود درآورده است و باعث انتقال هوای عرض‌های جنوبی به مناطق غربی ایران می‌شود. میزان نم‌نسی نیمه شمالی منطقه پژوهش نزدیک به ۶۰ درصد می‌باشد که نسبت



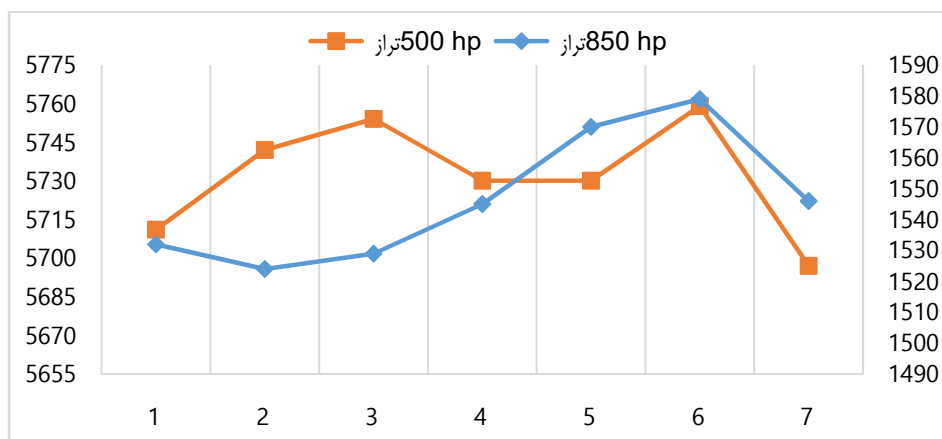
شکل ۱۱: روز ۱۹ فوریه ۲۰۱۳: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل (پرند مشکی)، بردار باد (پیکان سفید) و نم‌نسی (پهنه‌های رنگی) در تراز ۸۵۰ هپ (الف) و ارتفاع ژئوپتانسیل (پرند مشکی)، بردار باد (پیکان سفید) و امگا (پهنه‌های رنگی) در تراز ۵۰۰ هپ (ب).



## د) واکاوی دوره‌های خشک

- دوم تا هشتم ژانویه ۱۹۹۵: مجموع بارش رخ داده در این دوره صفر است. برای نشان دادن تغییرات ارتفاع ترازهای میانی و پایین جو طی این دوره از نمودار هافمولر استفاده شده است (شکل، ۱۲). این نمودار به خوبی نشان‌دهنده چگونگی عقب‌نشینی

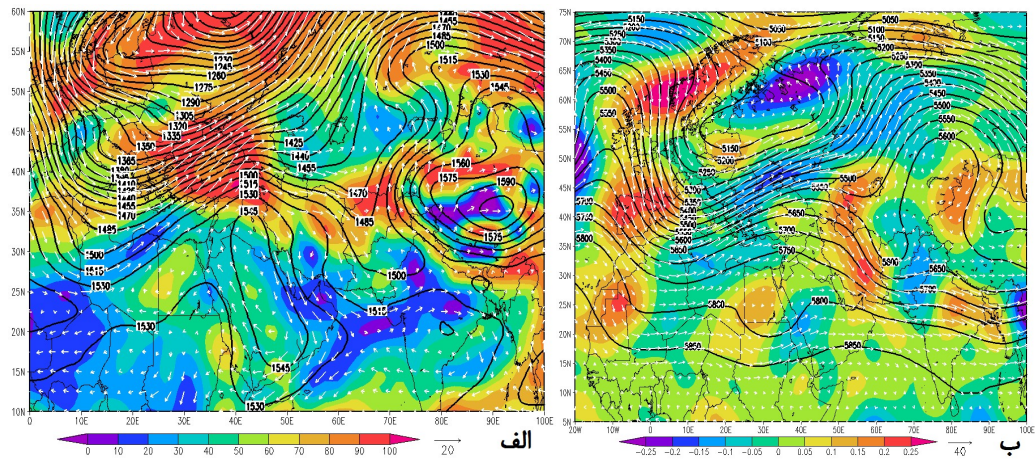
بادهای غربی و نفوذ پراارتفاع جنب حاره، تقویت و به اوج رسیدن و در نهایت عقب‌نشینی تدریجی آن است. بطوریکه در ابتدای دوره تراز ارتفاعی ۵۰۰ هپ افزایش داشته و در انتها دوره هر دو تراز دچار افزایش ارتفاع شده‌اند که ناشی از گسترش پراارتفاع جنب حاره است.



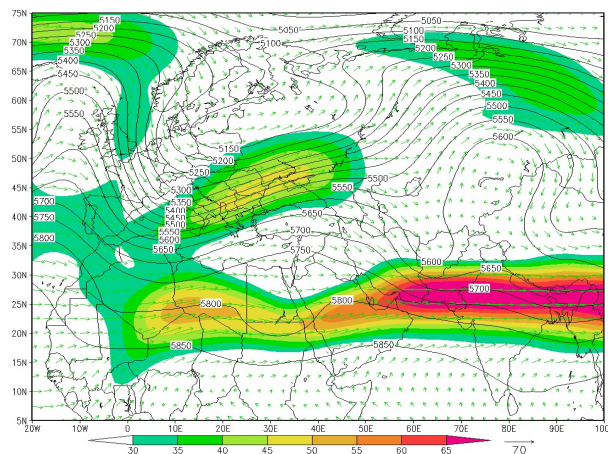
شکل ۱۲: نمودار هافمولر ایستگاه کرمانشاه ۲ تا ۸ ژانویه ۱۹۹۵ (محور راست ارتفاع تراز ۵۰۰ هپ و محور چپ ارتفاع تراز ۸۵۰ هپ به متر و محور افقی روزهای دوره بارشی است).

عربستان تقویت شده و پشته‌ای با امتداد جنوبی - شمالی از عربستان تا حوالی دریای سیاه گسترش یافته است و منطقه پژوهش در جلو محور پشته قرار گرفته است. در مجموع وجود امگای مثبت و قرارگیری منطقه پژوهش جلوی محور پشته و جریان‌ات شمال غربی علت نبود بارش در منطقه است. بررسی نقشه جت‌باد (شکل، ۱۴) نشان می‌دهد که به دلیل قرارگیری منطقه پژوهش در منطقه خروجی سمت راست (ربع سوم) جت قطبی شرایط پایداری هوا فراهم است. زیرا در این منطقه از جت مقدار تاوایی چینی افزایش و مساحت توده هوا کاهش یافته و این حالت سبب جمع‌شدگی هوا و ایجاد حرکات فرونشینی شده است. همچنین جت جنب حاره در عرض‌های ۲۰ تا ۳۰ درجه قرار دارد و منطقه پژوهش در بخش ورودی سمت چپ جت جنب حاره قرار گرفته است و شرایط فرونشینی و پایداری هوا فراهم شده است.

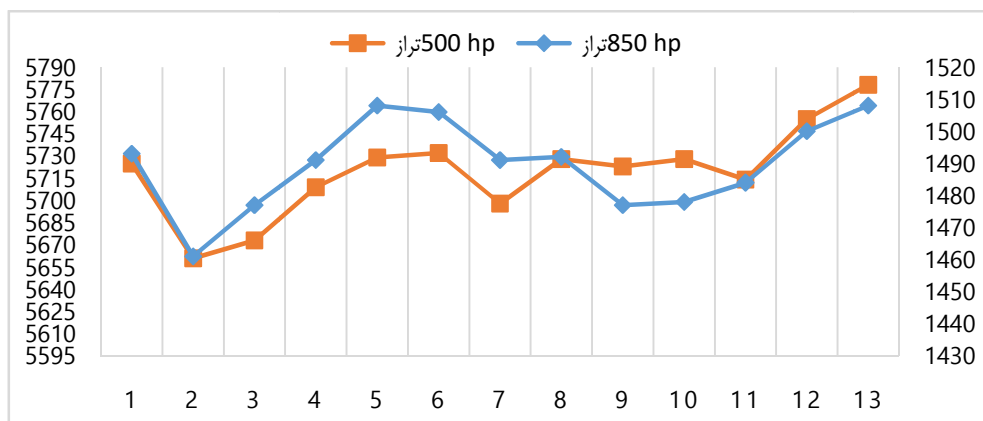
واکاوی همدید نشان می‌دهد که در تراز ۸۵۰ هپ (شکل، ۱۳- الف) کم‌ارتفاع‌بر روی ایتالیا و پشته‌ای بر روی شرق ترکیه قرار گرفته که منطقه پژوهش جلوی محور آن قرار دارد. این شرایط سبب ایجاد پایداری و فرونشینی هوا شده و بارش در منطقه ثبت نشده است. در قسمت جنوبی منطقه پژوهش هسته پراارتفاع بسته با پربند ۱۵۴۵ ژئوپتانسیل متر بر روی عربستان و عراق شکل گرفته و با جریان و اچرخندی هوای خشک را بر روی منطقه انتقال می‌دهد. غرب میانی ایران تحت استیلای پربند ۱۵۳۰ ژئوپتانسیل متر درآمده است. میزان نم‌نسبی هوا بین ۷۰ تا ۹۰ درصد است که نبود بارش در این دوره احتمالاً به دلیل کاهش دمای هوا می‌باشد. وضعیت تراز ۵۰۰ هپ مشابه با تراز پایینی جو است. با توجه به شکل (۱۳- ب) ناوه روی اروپا قوی‌تر شده و تا مرکز مدیترانه کشیده شده و با محور شمالی - جنوبی تا روی آفریقا امتداد دارد. پرفشار جنب حاره‌ای جنوب



شکل ۱۳: روز دوم تا هشتم ۱۳۹۵ ژانویه: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل (پربند مشکی)، بردار باد (پیکان سفید) و نم‌نسبی (پهنه‌های رنگی) در تراز ۸۵۰ هپ (الف) و ارتفاع ژئوپتانسیل (پربند مشکی)، بردار باد (پیکان سفید) و امگا (پهنه‌های رنگی) در تراز ۵۰۰ هپ (ب).



شکل ۱۴: روز دوم تا هشتم ژانویه ۱۳۹۵: نقشه میانگین جت‌باد (پهنه‌های رنگی)، بردار باد (پیکان‌های سبز) تراز ۲۵۰ هپ و ارتفاع ژئوپتانسیل (پربند مشکی) تراز ۵۰۰ هپ

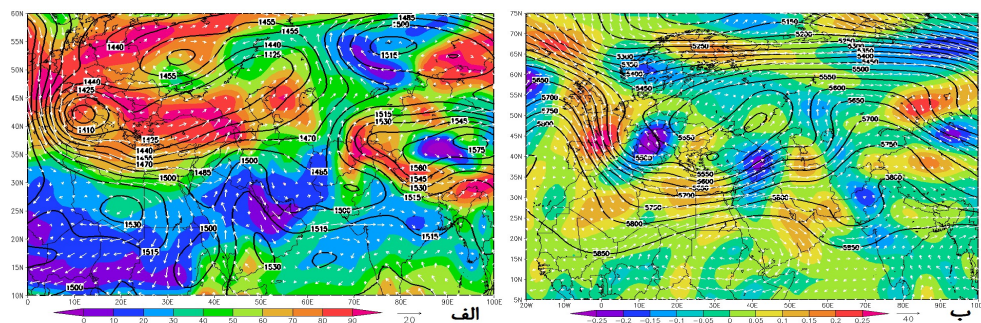


شکل ۱۵: نمودار هاف مولر ایستگاه کرمانشاه ۱۱ تا ۲۳ آوریل ۲۰۰۱ (محور راست ارتفاع تراز ۸۵۰ هپ و محور چپ ارتفاع تراز ۵۰۰ هپ به متر و محور افقی روزهای دوره بارشی است).

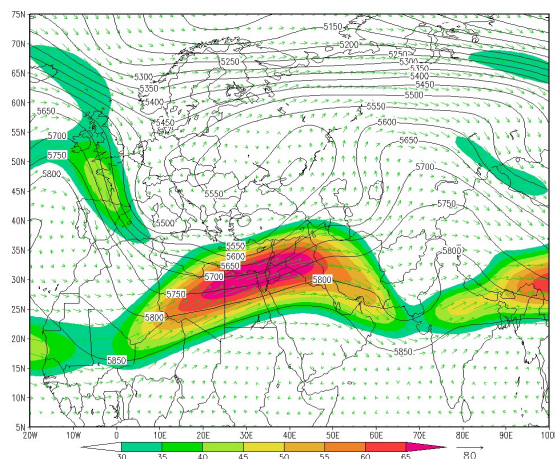
- یازدهم تا بیست و سوم آوریل ۲۰۰۱: مجموع بارش این دوره صفر است. همانطور که نمودار هافمولر (شکل ۱۵) نشان می‌دهد روند کلی ارتفاع ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هپ افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل است.

واکاوی همدید تراز ۸۵۰ هپ (شکل ۱۶- الف) نشان‌دهنده حاکمیت پشته در کشور و منطقه پژوهش است. این پشته دارای امتداد شمالی- جنوبی بوده و منطقه پژوهش جلوی محور آن قرار گرفته است. بر روی قسمت جنوبی عربستان هسته پرا ارتفاع قرار گرفته که با چرخش و اچرخندی خود هوای خشک را به سوی منطقه پژوهش فرارفت می‌دهد، میزان نم‌نسبی پایین جو منطقه نشانگر نفوذ هوای گرم و خشک عرض‌های جنب‌حاره به منطقه است. واکاوی تراز ۵۰۰ هپ (شکل ۱۶- ب) نیز نشانگر شرایط

مشابه تراز ۸۵۰ هپ است. در این تراز پربند پرا ارتفاع جنوب عربستان (۵۸۴۰ ژئوپتانسیل متر) تا شمال خلیج فارس نفوذ کرده و باعث ایجاد پشته نه چندان قوی در غرب ایران شده است. به لحاظ پویایی شرایط برای فرازش ضعیف هوا و ناپایداری فراهم بوده، اما با توجه به ورود هوای گرم و خشک عرض‌های پایین و قرارگیری جلوی محور پشته، شرایط جوی به صورت پایدار است. واکاوی الگوی جت‌باد (شکل ۱۷- پ) نشان می‌دهد که جت جنب‌حاره تا عرض ۴۰ درجه پیشروی کرده اما هسته اصلی آن روی شمال عربستان، عراق و سوریه قرار دارد. منطقه پژوهش در قسمت راست خروجی قرار دارد که این حالت نشانگر فرونشست هواست که به کاهش شدید بارش در منطقه کمک کرده است.



شکل ۱۶: روز ۱۱ تا ۲۳ آوریل ۲۰۰۱: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل (پربند مشکی)، بردار باد (پیکان سفید) و نم‌نسبی (پهنه‌های رنگی) در تراز ۸۵۰ هپ (الف) و ارتفاع ژئوپتانسیل (پربند مشکی)، بردار باد (پیکان سفید) و امگا (پهنه‌های رنگی) در تراز ۵۰۰ هپ (ب).

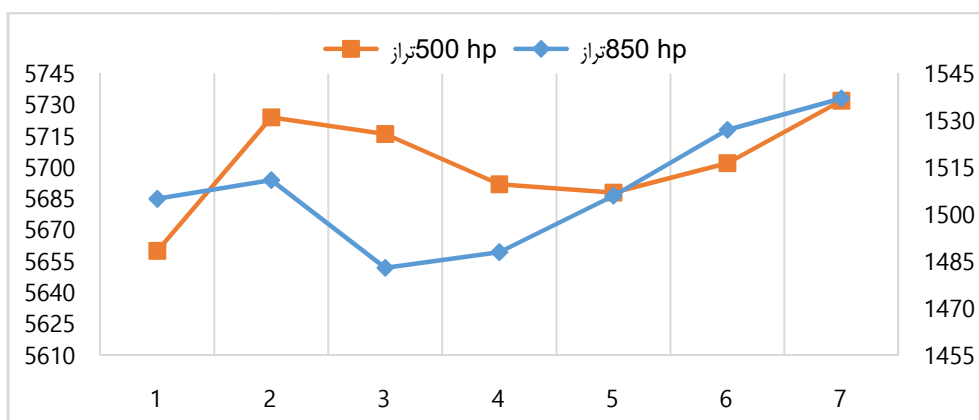


شکل ۱۷: روز ۱۱ تا ۲۳ آوریل ۲۰۰۱: نقشه میانگین جت‌باد (پهنه‌های رنگی)، بردار باد (پیکانهای سبز)



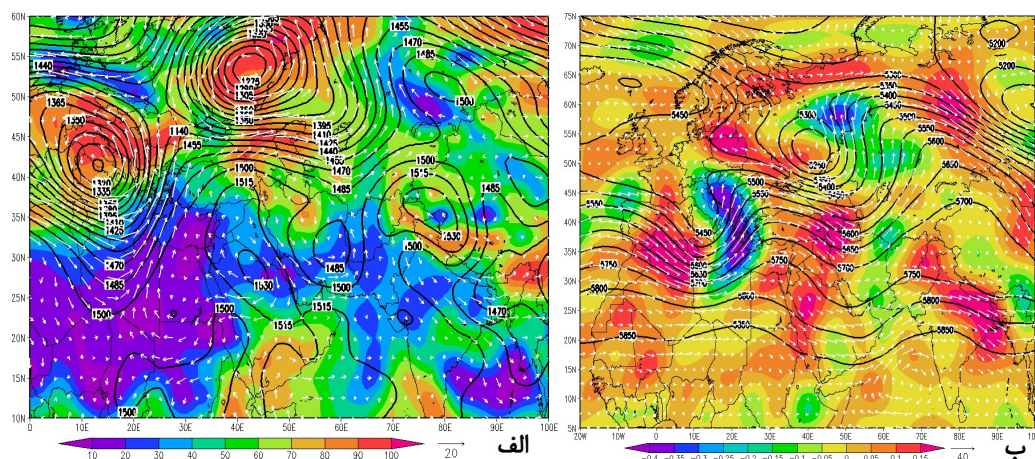
تراز ۲۵۰ هپ و ارتفاع ژئوپتانسیل (پربند مشکی) تراز ۵۰۰ هپ

– بیست و پنجم تا سی یکم مارس ۲۰۱۳: مجموع  
بارش این دوره تقریباً صفر است. برای نشان  
دادن تغییرات ارتفاع ترازهای مختلف جو طی این دوره



شکل ۱۸: نمودار هافمولر ایستگاه کرمانشاه ۲۵ تا ۳۱ مارس ۲۰۱۳ (محور ۷ سمت راست ارتفاع

تراز ۸۵۰ هپ و محور ۷ سمت چپ ارتفاع تراز ۵۰۰ هپ به متر و محور افقی روزهای دوره بارشی است).



شکل ۱۹: روز ۲۵ تا ۳۱ مارس ۲۰۱۳: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل (پربند مشکی)، بردار باد (پیکان سفید) و نم‌نسبی (پهنه‌های

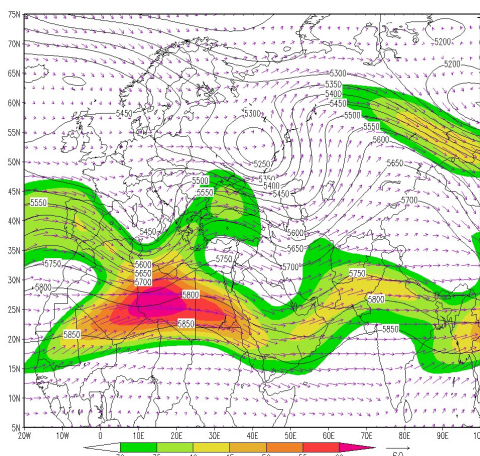
رنگی) در تراز ۸۵۰ هپ (الف) و ارتفاع ژئوپتانسیل (پربند مشکی)، بردار باد (پیکان سفید) و امگا (پهنه‌های رنگی) در تراز ۵۰۰ هپ (ب).

روی منطقه پژوهش شده است. میزان رطوبت نسبی هوا کمتر از ۶۰ درصد است که بواسطه قرارگیری منطقه پژوهش در شرق محور پشته بوده که این موجب فرونشینی و پایداری هوا و نبود بارش در منطقه شده است. در تراز ۵۰۰ هپ (شکل ۱۹-ب) ناوه عمیقی روی غرب مدیترانه قرار گرفته که محور آن تا روی سودان امتداد دارد و در مقابل پرارتفاع جنوب عربستان به عرض‌های بالا جابجا شده و پشته

واکاوی هم‌دید تراز ۸۵۰ هپ (شکل ۱۹-الف) نشانگر پشته‌ای در شمال‌غرب و کم‌ارتفاعی در شمال‌شرق ایران است که امتداد محور آن‌ها شمالی - جنوبی می‌باشد. در غرب مدیترانه مرکز چرخندی دیده می‌شود که با چرخش پادساعتگرد خود رطوبت را به عرض‌های بالا انتقال می‌دهد. بر روی عربستان و عراق هسته پرارتفاع با پربند ۱۵۳۰ ژئوپتانسیل‌متر شکل گرفته که موجب فرارفت هوای سرد و خشک بر

ایران و بر روی دریا سیاه هسته فرعی جت تشکیل شده است. در این الگو منطقه پژوهش در بخش خروجی سمت راست جت قرار دارد. منطقه‌ای که در آن جریانات هوا فرونشینی داشته و پایداری جو سبب عدم ریزش بارش شده است.

حاصله وارد منطقه پژوهش شده است. بررسی الگوی امگا نشان‌دهنده مقدار مثبت و پایداری هوا در منطقه پژوهش است. بررسی الگوی جت‌باد (شکل ۲۰) نشان می‌دهد که هسته اصلی جت جنب‌حاره در شمال آفریقا قرار گرفته و با توجه به محور ناوه روی مدیترانه و حرکت شرق سوی آن، در بخش شمال غرب کشور



شکل ۲۰: روز ۲۵ تا ۳۱ مارس ۲۰۱۳: نقشه میانگین جت‌باد (پهنه‌های رنگی)، بردار باد (پیکانهای سرخ) تراز ۲۵۰ هپ و ارتفاع ژئوپتانسیل (پرند مشکی) تراز ۵۰۰ هپ

است. دلیل این حالت نوسانات بالا و حساسیت بیشتر SPI کوتاه‌مدت به تغییرات شرایط رطوبتی و سهم بالای بارش ماهانه در تغییرات نمایه است. از نظر مکانی خشکسالی‌های شدید از شمال و غرب منطقه به جنوب و شرق منطقه افزایش می‌یابند. تکرار مکرر خشکسالی منجر به کاهش رخداد‌های شدید و بسیار شدید در منطقه شده است، بطوریکه بیش از ۷۰ درصد رخدادها از نوع ملایم و متوسط هستند؛ اما هرچه بازه زمانی بزرگ‌تر می‌شود خشکسالی‌های شدیدتر افزایش می‌یابد. ایستگاه‌هایی که از فراوانی بالا برخوردارند، دارای شدت‌های ضعیف‌تر و ایستگاه‌هایی که فراوانی کمتری دارند از شدت‌های قوی‌تری برخوردارند. خشکسالی‌های ملایم و متوسط معمولاً از شرق به غرب و از جنوب به شمال افزایش می‌یابند، زیرا دارای انحراف معیار کمتر هستند. خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید نیز از غرب به شرق و از شمال به

### نتیجه‌گیری

خشکسالی از جمله مهم‌ترین مخاطرات محیطی است که می‌تواند وضعیت اقتصادی، اجتماعی و منابع طبیعی را در مناطق مختلف تحت تأثیر قرار دهد. در این تحقیق نخست با استفاده از داده‌های بارش و شاخص بارش استاندارد به بررسی آماری پدیده خشکسالی در غرب میانی ایران پرداخته شد. سپس سازوکارهای ایجادکننده خشکسالی در روزها و دوره‌های مورد مطالعه مورد واکاوی همدید قرار گرفت. نتایج حاصل از محاسبه شاخص بارش استاندارد برای مقیاس‌های زمانی مختلف طی دوره مورد مطالعه نشان‌دهنده فراوانی بالای خشکسالی در ایستگاه‌ها و رخداد مکرر این پدیده در منطقه پژوهش است. بیشترین فراوانی رخداد خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه (۹۲ ماه) و کمترین آن در مقیاس زمانی ۱ ماهه (۶۲ ماه) بوده





۴. دانشور، محمدرضا، تلوری، عبدالرسول، توکلی، محمود. دانائیان، محمدرضا. ۱۳۸۶. پایش شاخص‌های خشکسالی در جهان. فصلنامه نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱۲ صص ۲۲-۲۷
۵. رحیمی، مجتبی. ۱۳۹۰. تحلیل آماری همدیدی خشکسالی‌های جنوب غرب ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران.
۶. فتحاحی، ابراهیم، بابایی، فیضی، ام‌السلیمه. ۱۳۹۲. طبقه‌بندی الگوهای همدید بارش زاو خشکسالی زادر ایران زمین. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره اول، صص ۱۰۵-۱۲۲.
7. Fink, A.H., Brucher, T., Kruger, A.G., Leckebusch, C., Pinto, J.G., and Uibr, W. 2004. "The 2003 European Summer Heatwaves and drought-synoptic Diagnosis and Impacts", Royal Meteorological society. 8:216-209.
8. Li, J.R., Cook, F., Chen, X., Gou, R., Darrigo, and Ung, Y.Y. 2010. "An Extreme Drought Event in the Central Tien shan Area in the year 1945". Journal of Arid Environments. 74:1225-1231.
9. Livada, M., and Assimakopoulos, V.D. 2007. "Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI)", pp. 143153
10. Mary, Jennefer, Seasonal Prediction of African Rainfall with A Focus On Kenya, Athesis of Doctor of Space and Climate Physics, University College London, 2011.
11. Parry, S, Prudhomme, C., Hannaford, J., and Hughes, B. 2010. "Examining the Spatio-Temporal Evolution and Characteristics of Large-Scale European Droughts. BHS Third International Symposium, Managing Consequences of a Changing Global Environment", Newcastle 2010:1-8.
12. Prezerakos, N.G., and Flocas, H.A. 2002. "Regional and Global Large-Scale Dynamics Associated with a Prolonged Event in Greece", Journal of Atmospheric and Solar-Terrcstrral Physics. 64: 1841-1854.
13. Subash, N.H., Mohan, R., and Banukumar, K. 2011. "Comparing Water-Vegetative indices for Rice (*Oryza sativa* L.) – Wheat (*Triticum acstivum* L.) Drought Assessment". Computers and Electronics in Agriculture. Xxx :1-13.
14. Tran, L., Knight, C.G., and Wesner, V. 2002. Drought in Bulgaria and Atmospheric Synoptic conditions over Europe" GeoJournal. 57, 149-157.
15. Wu, A.H., Mark, D., Svoboda, B., Michael, J., Hayes, B., Donald, A., and Fujiang, W. 2007. Appropriate application of the Standardized Precipitation Index in arid locations and dry seasons". International Journal of Climatology.
16. Mc.Kee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1993. The relationship of drought Frequency and duration to time scales, 8<sup>th</sup> conference on Applied Climatology, 17-22.

