

تحلیل ترمودینامیکی بارش‌های فرین غرب ایران و ارائه الگوی ناپایداری برای این منطقه

غلامعلی مظفری^{۱*}، شهاب شفیع^{۲**}، فاطمه قادری^{۳***}

۱- دانشیار آب و هواشناسی گروه جغرافیای دانشگاه یزد

۲- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه یزد

۳- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۹/۲۱، تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۱۲)

چکیده:

به منظور دستیابی به مدیریت ریسک بارش‌های فرین جهت کاهش خسارات ناشی از آن در غرب کشور و برای شناسایی شرایط ترمودینامیکی وقوع این پدیده طی دوره آماری ۵۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۶۱)، از نمودار اقلیمی Skew-T log P استخراج شده از وب سایت دانشگاه ایومینگ آمریکا استفاده شد. و همچنین شاخص‌های ناپایداری جوی مانند LI، SI، SW، KI، C.T، V.T، T.T و PWC سطح ایستگاه کرمانشاه (به منظور پوشش کامل منطقه) (مربوط به ۲۱ مورد وقوع بارش فرین) محاسبه شد و نتایج حاصل از کلیه شاخص‌های فوق با استانداردهای ناپایداری جوی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. در این بررسی مغایرت‌هایی بین ارقام مشاهداتی و ارقام پیشگویی شده، ملاحظه گردید و نهایتاً شاخص‌های ناپایداری منطقه به این صورت: $LI \leq 16.63$ ، $SI \leq 20.71$ ، $SW \geq 16.25$ ، $KI \geq 1.23$ ، $C.T \geq 8.50$ و $T.T \leq 33$ تعیین شدند. افزایش SW، KI، C.T، V.T و T.T از مقادیر استاندارد ناپایداری‌های جوی به اعداد بزرگ‌تر و کاهش LI و SI به اعداد کوچک‌تر نشانگر افزایش شدت ناپایداری و افزایش احتمال وقوع بارش فرین می‌باشد. نتایج حاصل نشان داد که شرایط ناپایداری بالقوه در هنگام رخداد بارش فرین بر نیم‌رخ قائم جو مستولی گشته بود و همچنین سامانه‌های غربی در دوره‌های بارش فرین با یک سامانه کم‌فشار مدیترانه‌ای در روی سطح زمین و ناوه سطح فوقانی همراه است، که الگوی مناسبی برای بارش فرین بوده و رطوبت لازم برای بارش را تامین می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل ترمودینامیکی، بارش فرین، شاخص‌های ناپایداری، غرب.

مقدمه

نقش مهمی را در افزایش ریزش‌های جوی ایفا می‌کند. در حال حاضر، واکاوی بارش به یکی از مهم‌ترین مباحث‌های تحقیقاتی و گاهی چالش برانگیز در محافل علمی جهان تبدیل شده است و اندیشمندان زیادی در حوزه‌های مرتبط با آب و هواشناسی در این زمینه مطالعه نموده‌اند؛ مانند پژوهش‌هایی که به طور گسترده در زمینه واکاوی و ریزش‌های زمانی-مکانی بارش و روند آن در مناطق مختلف جهان و ایران انجام شده است و در همه آن‌ها، بر اهمیت تغییر اقلیم جهانی؛ به ویژه در مورد عنصر بارش، تأکید شده است نکته حائز اهمیت این است که اغلب محققان حوزه آب و هواشناسی به واکاوی ارتباط بارش با الگوهای همدید مقیاس جوی برای شناسایی همزمانی تغییرات محیط سطحی با جو بالا علاقه فراوان دارند [۹]. در مطالعات همدیدی از دیدگاه قیاسی استفاده می‌شود و ویژگی‌های کلی محیط زیست بطور هم زمان مطالعه می‌شوند. بطوری که هدف اصلی آن استناد و استدلال تغییرات شرایط محیطی سطح زمین از روی تغییرات الگوهای

شناسایی الگوها و مدل‌های همدیدی که باعث ایجاد ناپایداری و بارش در یک منطقه می‌شوند، از اهمیت بالایی برخوردار است. چنانچه این سامانه‌ها دارای ساختار ترمودینامیکی مناسب بوده و ناپایداری آن زیاد باشد، با داشتن رطوبت و گرمای مورد نیاز بارش‌های قابل توجهی را در منطقه ایجاد می‌کند [۱]. در غرب کشور با توجه به شرایط جغرافیایی آن، علاوه بر سامانه‌های همدیدی (جبهه‌های سرد سامانه‌های کم فشار) ناپایداری‌های محلی نیز موجب رگبار می‌شوند (در این ناپایداری‌ها هم صعود هوای مرطوب عامل ایجاد بارش است) و گاهی به علت وجود هر دو پدیده (سامانه همدیدی و ناپایداری محلی) رگبارهای شدید باران رخ می‌دهند. بنابراین، شناسایی شرایط ناپایداری نیز برای پیش بینی زمان وقوع رگبارها و اخطار به موقع جهت آمادگی، ضرورت دارد [۴]. منطقه غرب ایران به دلیل دارا بودن کوهستان‌ها، ناحیه مناسبی برای تشدید و گسترش بارندگی و گاهی جاری شدن سیل می‌باشد زیرا تاثیر کوهستان‌ها در جذب رطوبت هوا،

بررسی رابطه‌ی الگوهای گردشی جو بالا با بارش‌های سیل-آسای آذربایجان شرقی بیان می‌کند که الگوی پرفشار غرب دریای سیاه-شمال مدیترانه و الگوی پرفشار دریای سیاه بیشترین ارتباط را با بارش‌های ابر سنگین منطقه داشته‌اند. در تحلیل همدید الگوی ضخامت بارش‌های سنگین چهار الگوی اصلی ضخامت در فراهم نمودن شرایط مناسب بارش‌های سنگین و فراگیر ناحیه‌ی زاگرس جنوبی مؤثرند که در همه‌ی آن‌ها فرود منتهی‌الیه شرق دریای مدیترانه با کمی تغییر موقعیت دیده شده است و بر روی جنوب غرب ایران منطقه‌ی کژفشاری شدیدی را ایجاد نموده که در رخداد این گونه بارش‌ها نقش مهمی را بازی کرده است جهانبخش و همکاران [۳]، در تحقیقی به تحلیل همدید- ترمودینامیک بارش‌های ابرسنگین شمال غرب ایران پرداختند که در این مطالعه به این نتیجه رسیدند که شرایط ناپایداری بالقوه در هنگام رخداد بارش ابرسنگین بر نیمرخ قائم جو مستولی گشته است. [۹]، بنابراین هدف این تحقیق، مطالعه و شناخت الگو و شرایط ترمودینامیکی (که موجب ناپایداری‌ها و بارش‌های فرین این منطقه می‌شود) به منظور کسب آمادگی برای برنامه‌ریزی و مواجه با آن می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

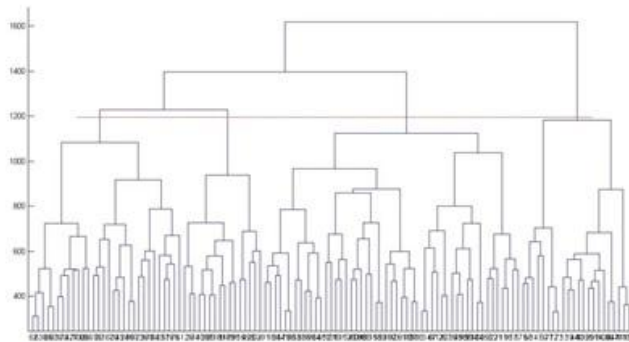
در این پژوهش برای شناسایی و استخراج رخداد بارش فرین، از توزیع مقادیر فرین تعمیم یافته استفاده گردید و روزهایی که بارش آنها برابر یا بیش‌تر از ۲۲ میلی‌متر بوده و ۳۰ درصد یاخته‌ها را پوشش داده است به عنوان بارش‌های فرین فراگیر انتخاب شدند، بر این اساس در طول دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ در پنج استان غربی کشور ۱۱۹ مورد بارش فرین انتخاب شد. در این پژوهش پهنه جغرافیایی مورد مطالعه مناطق غربی ایران می‌باشد (شکل ۱). پایگاه داده‌های این پژوهش که رویکردی محیطی به گردشی دارد شامل دو گروه متغیر می‌باشد. ابتدا داده‌های بارش روزانه ۶۹ ایستگاه همدیدی و اقلیم‌شناسی غرب ایران (از استان‌های همدان، کردستان، کرمانشاه، ایلام و لرستان) در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۰-۱۹۶۱ به عنوان

فشار است [۱۵]. کیدن و اسکین^۱، ۲۰۰۸ [۱۴]، ارتباط و همچنین اثر الگوهای بزرگ مقیاس بر فرکانس الگوهای همدیدی ناحیه ویکتوریا را مورد مطالعه قرار دادند. (ماتلیک^۲ و همکاران، ۲۰۰۸) [۱۲]، الگوهای گردشی بارش سنگین ایالت استونی را در دوره‌ی زمانی ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ بررسی کردند، این بررسی نشان داد که اغلب بارش‌های سنگینی که روی داده است بر اثر عبور کم فشارها و سامانه‌های جبهه‌ای ایجاد شده و بارش‌های همرفتی نقش چندانی ایفا نکرده‌اند. (لی^۳ و همکاران ۲۰۰۸) [۱۰]، یک رویداد بارش سنگین ۱۸ روزه در گره جنوبی را به منظور درک و فهم ویژگی‌های همدید مقیاس و سازوکارهای پیدایش این رویداد طولانی مدت، بررسی کردند نتیجه تحقیق آن‌ها نشان داد که کم فشارهای قاره‌ای قطبی شمال گره جنوبی، و پرفشار قوی غرب اقیانوس آرام که گسترش غرب‌سوی پیدا کرده و در جنوب ژاپن مستقر شده، یک جبهه موسمی طولی ایجاد کرده است در نتیجه شرایط دگر فشار ۱۸ روزه‌ای پدید آمده است، به اعتقاد آن‌ها ناپایداری دگر فشار و رطوبت انباشته، نقش عمده‌ای در پیدایش ناپایداری جو داشته و سبب بارش سیل آسای ۱۸ روزه شده است. (مسترانجلو^۴ و همکاران، ۲۰۱۱) [۱۳]، در بررسی بارش‌های سنگین جنوب شرق ایتالیا نشان دادند که جت سطح پایین منتج شده از الگوی بزرگ مقیاس، محیط ناپایدار همرفتی را ابقاء می‌کند و در تمامی وقایع بارش سنگین، موجب فرافت توده هوای مرطوب در سطوح خیلی پایین شده است. (هیدالگو^۵، ۲۰۱۲) [۱۱]، نیز در رابطه با بارش‌های حدی و الگوهای گردشی در شبه جزیره ایبری مطالعاتی انجام داده است. (لشگری، ۱۳۷۵) [۸]، الگوهای همدیدی بارش‌های سیل خیز جنوب غرب ایران را بررسی نموده است و نتیجه می‌گیرد که وقوع بارش‌های سنگین در جنوب غرب ایران نتیجه تشدید فعالیت مرکز کم فشار سودانی و منطقه‌ی همگرایی دریای سرخ و تبدیل آن به یک سامانه دینامیکی-ترمودینامیکی است. (جهانبخش، ۱۳۹۱) [۲]، در

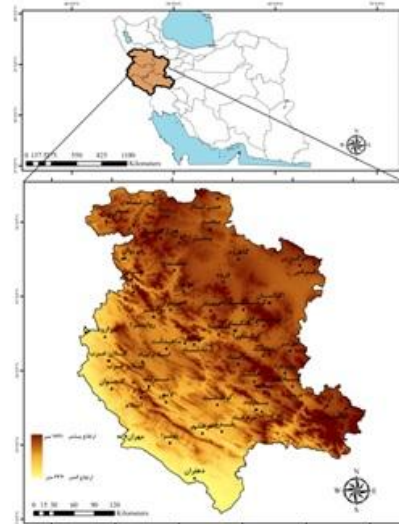
4- Masterangelo, D
5- Hidalgo, G

1- D. kidden and A. skein
2- Olga, matlik
3- Lee, dong

کردن الگوهای اصلی این بارش‌ها اقدام به گروه‌بندی داده‌های شبکه‌ای یادشده با استفاده از آزمون آماری تحلیل خوشه‌ای و یا محاسبه فواصل اقلیدوسی وارد در نرم‌افزار متلب (Matlab) شد (شکل ۲).



پایگاه داده رویداد محیطی از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. به دلیل اینکه تمام ایستگاه‌ها دارای طول دوره آماری یکسانی نبودند بارش روزانه غرب ایران در ۱۸,۶۲۴ روز با بهره‌گیری از روش کریجینگ^۱ میان‌یابی شد. برای مشخص



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در پژوهش شکل ۲- نمودار درخت خوشه‌بندی روزهای بارش فرین

گروه‌ها	سال	ماه	روز	درصد
روز نماینده گروه اول	۱۹۹۸	۳	۱۷	۳۱,۹
روز نماینده گروه دوم	۲۰۰۰	۱	۶	۳۲,۷
روز نماینده گروه سوم	۲۰۰۹	۲	۱۱	۲۰,۳
روز نماینده گروه چهارم	۲۰۰۳	۳	۲۶	۱۵,۱

در ادامه برای مطالعه خصوصیات ترمودینامیکی هوایی که منطقه را از نظر پایداری و ناپایداری مورد تهاجم قرار می‌دهد و بررسی ویژگی‌های دینامیکی از نظر امکان تقویت و تضعیف سامانه‌های فشاری و جبهه‌ها در منطقه، داده‌های جو بالای ایستگاه کرمانشاه (تنها ایستگاه از نوع خود در منطقه) مورد استفاده قرار گرفت. طی دوره آماری مورد بررسی (۲۰۱۰-۱۹۶۱)، ۱۱۹ روز پدیده بارش فرین که ۳۰ منطقه مورد مطالعه را پوشش بدهد، در غرب کشور به وقوع پیوسته است. که ۱۷ مورد از آن به شکل تصادفی به همراه ۴ مورد از روز بارش نماینده خوشه‌ها مورد انتخاب قرار گرفت. به منظور استخراج نمودار اقلیمی Skew-T log P و شاخص‌های ناپایداری صعود ایستگاه مذکور در روزهای وقوع پدیده، از وب سایت دانشگاه

در ادامه به منظور انتخاب روزهای نماینده گروه‌های حاصل از طبقه‌بندی نقشه‌های فشار سطح دریا از روش لوند استفاده شده است. به این ترتیب در انتخاب روز نماینده هر گروه، روزی که بیش‌ترین شباهت را با غالب اعضای گروه داشته انتخاب شده است. ضریب همبستگی معرف درجه همانندی الگوهای دو نقشه با یکدیگرند. در روش پیشنهادی لوند از روش همبستگی گشتاوری پیرسون استفاده می‌شود [۹]. به همین منظور مقدار ۰/۵ به عنوان ضریب همبستگی آستانه انتخاب گردید. بنابراین نماینده هر طبقه با ضریب همبستگی ۰/۵ و بیش‌تر، که با بیش‌ترین افراد آن طبقه شبیه می‌باشد؛ شایستگی نمایندگی گروه را خواهد داشت. در نهایت چهار روز به عنوان نماینده بارش‌های فرین منطقه بررسی شدند (جدول ۱).

جدول ۱- روزهای نماینده حاصل از همبستگی لوند

روز منتخب فصل سرد، تشکیل داده‌اند (جدول ۲). در این جدول برخی از شاخص‌ها بدون ذکر مقادیر مربوطه است. این مسئله می‌تواند ناشی از اشکال در رادیوسوندها و عدم اندازه‌گیری صحیح حسگرهای دستگاه‌های اندازه‌گیری بوده باشد.

وایومینگ آمریکا بهره گرفته شده است. داده‌های این بخش از تحقیق را ۸ شاخص ناپایداری جوی (SI, LI, SW, KI, C.T, V.T, T.T, PWC) و سطح یخبندان در ایستگاه‌های مذکور مربوط به ۳۳ مورد وقوع بارش فرین موجود در سایت از ۲۱

جدول ۲- شاخص‌های ناپایداری جوی محلی؛ ایستگاه کرمانشاه (۲۰۱۰-۱۹۶۱)

سال	ماه	روز	ساعت	SI	LI	SW	KI	C.T	V.T	T.T	PWC (mm)	سطح یخبندان (mm)
۱۹۹۱	فوریه	۲۶	۰۰	۵/۲۳	۵/۰۷	۱۳۴/۳	۲۷/۹	۱۹/۵	۲۳/۷	۴۳/۲	۱۹/۰۶	۲۷۰۰
۱۹۹۱	فوریه	۲۶	۱۲	۲/۲۹	۲/۲۵	۱۴۰/۸	۳۱/۵	۲۲/۱	۲۵/۹	۴۸	۱۸/۸۵	۲۸۱۴
۱۹۹۳	ژانویه	۸	۰۰	-۰/۵۹	-۰/۴۹	۲۴۱/۹	۳۵	۲۴/۲	۲۷/۳	۵۱/۵	۲۰/۹۶	۳۱۵۷
۱۹۹۳	ژانویه	۸	۱۲	۸/۷	۸/۷۳	۷۰/۱	۱۹	۱۲/۹	۲۴/۹	۳۷/۸	۷/۶۵	۲۸۴۹
۱۹۹۳	فوریه	۳	۰۰	۱/۱۶	۱/۹	۱۴۷/۴	۲۰/۴۷	۲۱/۸۷	۳۰/۸۷	۵۲/۷۳	۸/۰۴	۱۵۰۷
۱۹۹۳	فوریه	۳	۱۲	۷/۲۹	۷/۳۶	۷۶/۹۸	۲۰/۴	۱۸/۷	۲۴/۷	۴۳/۷	۷/۸۲	۲۱۸۶
۱۹۹۳	فوریه	۲۱	۰۰	۴/۰۹	۴/۰۷	۱۳۴/۲	۲۸/۶	۲۱	۲۴/۱	۴۵/۱	۱۶/۳۶	۲۶۲۷
۱۹۹۳	فوریه	۲۱	۱۲	۱۱	۱۰/۷۳	۱۱۰/۹	۱۰/۵	۸/۵	۲۴/۵	۳۳	۵/۱۶	۱۹۷۹
۱۹۹۴	فوریه	۱	۰۰	۱۰/۵۶	۱۰/۱۶	*	۱۹/۸	۱۵/۷	۱۸/۹	۳۴/۶	۱۴/۱۷	۱۹۴۳
۱۹۹۴	فوریه	۱	۱۲	۶/۷۸	۶/۸۴	۸۳/۹۹	۱۷/۲	۱۵/۹	۲۶/۹	۴۲/۸	۶/۵	۲۰۰۳
۱۹۹۵	فوریه	۵	۱۲	۱/۵۸	۱/۵۵	۱۱۹	۲۸/۹	۲۱/۵	۳۰/۵	۵۲	۱۱/۸۹	۱۴۰۲
۱۹۹۸	ژانویه	۵	۱۲	۸/۷۴	۸/۲۳	*	۲۱/۴	۱۸/۳	۲۱/۱	۳۹/۴	۱۴/۹۲	۱۷۲۱
۱۹۹۸ ^{oo}	مارس	۱۸	۱۲	۴/۲۴	۳/۹۳	*	۲۶/۹۰	۲۲/۸۰	۲۵/۱۰	۴۶/۹۰	۱۳/۸۱	۱۴۲۴
۲۰۰۰ ^{oo}	ژانویه	۶	۱۲	۶/۹۶	۶/۴۶	۱۰۸/۷	۲۱/۴۰	۲۰/۲۰	۲۳/۵۰	۴۳/۷۰	۱۰/۸۴	۱۴۵۲
۲۰۰۰	دسامبر	۱	۱۲	۲/۹۳	۲/۵۶	۴۲/۷۴	۲۶/۷	۱۷/۱	۳۱/۱	۴۸/۲	۱۰/۳۱	۲۸۲۴
۲۰۰۱	مارس	۲۵	۱۲	۱	۱/۰۶	۱۲۸/۹	۳۱/۳	۲۲/۱	۳۰/۱	۵۲/۲	۱۳/۳۴	۱۹۶۴
۲۰۰۳ ^{oo}	مارس	۲۶	۱۲	۶/۰۳	۶/۰۸	۹۹/۰۷	۱/۳۳	۱۲/۳۰	۳۰/۳۰	۴۲/۶۰	۳/۶۷	۲۱۲۰
۲۰۰۳	مارس	۲۷	۱۲	۷/۴۷	۷/۵۵	۷۷/۷	۱۸/۳	۱۴/۹	۲۵/۹	۴۰/۸	۷/۶۷	۲۲۴۹
۲۰۰۳	نوامبر	۱۱	۱۲	۷/۲۸	۶/۷۴	۸۳/۵۳	۱۵/۵	۱۴/۵	۲۵/۵	۴۰	۹/۲	۱۵۲۰
۲۰۰۵	مارس	۲۵	۰۰	۴/۳۲	۳/۹۸	۱۱۶/۱	۲۶/۶	۱۸/۹	۲۵/۹	۴۴/۸	۱۷/۷۴	۲۶۹۴
۲۰۰۵	مارس	۲۵	۱۲	۳/۵۸	۳/۲۴	۱۸۴/۲	۲۹	۱۹/۳	۲۵/۳	۴۴/۶	۱۸/۴۸	۲۶۷۵
۲۰۰۶	فوریه	۳	۰۰	۵/۶۳	۴/۹۷	۹۸/۵	۲۴/۲	۱۷/۱	۲۶/۱	۴۳/۲	۱۵/۸۳	۱۷۷۷
۲۰۰۶	فوریه	۳	۱۲	۹/۷۷	۹/۱	۱۱۸/۴	۱۸/۷	۱۳/۹	۲۱/۹	۳۵/۸	۱۴/۵۲	۱۴۶۹
۲۰۰۷	فوریه	۴	۰۰	۰/۷۳	۰/۸	۱۶۹/۶	۳۱/۶	۲۲/۳	۳۰/۳	۵۲/۶	۱۳/۳۷	۱۹۷۶
۲۰۰۷	فوریه	۴	۱۲	۱/۹۵	۱/۷۵	۱۳۷	۲۷/۶	۲۴/۵	۲۸/۷	۵۳/۲	۱۰/۳۴	۱۴۰۵
۲۰۰۷	مارس	۲۷	۰۰	۲/۵۴	۲/۴۲	۱۲۴/۵	۳۱/۳	۲۱/۹	۲۵/۵	۴۷/۴	۱۸/۴۳	۲۵۶۸
۲۰۰۷	مارس	۲۷	۱۲	۳/۰۸	۲/۹۳	۱۰۲/۳	۲۴/۱	۲۱/۹	۲۶/۹	۴۸/۸	۱۱/۸۲	۱۸۹۷
۲۰۰۹ ^{oo}	فوریه	۱۱	۰۰	۸/۸۱	۸/۹۰	۷۴/۴۰	۲۱/۶۰	۱۸/۳۰	۲۰/۹۰	۳۹/۲۰	۱۴/۰۹	۱۶۶۴

۱۳۲۳	۹/۶۴	۵۲/۹۰	۲۷/۵۰	۲۵/۴۰	۲۶/۲۰	۱۱۳/۹	۲/۱۳	۲/۵۹	۱۲	۱۱	فوریه	°°
۲۵۷۲	۱۶/۹۹	۴۷/۴	۲۵/۷	۲۱/۷	۲۷/۷	*	*	۲/۵۶	۰۰	۱۷	نوامبر	۲۰۰۹
۲۷۸۴	۱۸/۵۴	۵۰/۴	۲۷/۵	۲۲/۹	۳۳	*	*	۰/۹۷	۰/۸۵	۱۷	نوامبر	۲۰۰۹
۸۰۷	۱۲/۲۳	۵۰/۰۷	۲۸/۰۴	۲۲/۰۴	۲۴/۴۱	۱۴۱/۵	۲/۲۵	۲/۳۸	۰۰	۱۸	نوامبر	۲۰۰۹
۱۴۵۱	۹/۰۶	۵۲/۴	۲۸/۷	۲۳/۷	۲۳/۷	*	۲/۱۶	۲/۲۹	۱۲	۱۸	نوامبر	۲۰۰۹
۸۰۷	۳/۶۷	۳۳	۱۸/۹	۸/۵	۱/۳۳	۴۲/۷۴	-۰/۴۹	-۰/۵۹	-	-	حداقل	
۳۱۵۷	۲۰/۹۶	۵۳/۲	۳۱/۱	۲۵/۴	۳۵	۲۴۱/۹	۱۰/۷۳	۱۱	-	-	حداکثر	
۲۰۴۵/۵	۱۲/۷۷	۴۵/۴۸	۲۶/۱۸	۱۹/۳۳	۲۳/۹۹	۱۱۷/۸	۴/۵۷	۴/۶۶	-	-	میانگین	

مآخذ: University of Wyoming.

شکل ۳- نمودار اسکیتی مربوط به روز وقوع بارش سنگین در ایستگاه

کرمانشاه (۱۷ نوامبر ۲۰۰۹)

شاخص‌های ناپایداری جوی، که توسط دانشگاه‌ها و مراکز هواشناسی آمریکا و با توجه به شرایط آب و هوایی آن کشور تعیین شده‌اند که در حال حاضر در بیش‌تر نقاط جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند به شرح زیر می‌باشد:

جدول ۳- استانداردهای ناپایداری جوی

Ohio State University Atmospheric sciences program	S<4
	C.T>17
	V.T>25
	T.T>43
	K>15
	LI<0
SW>272	
College of Dupage Next Generation Weather Lab	S<3
	K>20
	T.T>60
	LI<0
SW>250	
The Weather Prediction.Com The grand site of Weather analysis and Forecasting education	S<0
	K>15
	T.T>44
	LI<0
SW>150	
NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) National Weather Service forecast office	S<3
	T.T>44
	K>15
	LI<0
SW>300	

مآخذ: [۴]

همچنین در این مطالعه برای تحلیل دینامیکی فعالیت‌های همرفتی از چند شاخص ترمودینامیک متداول به شرح زیر استفاده شده است:

الف- شاخص بالاروی (LI^1)

ب- ضرایب $T.T^2$ ، $V.T^3$ ، $C.T^2$

ت- شاخص صعود (SI^5)

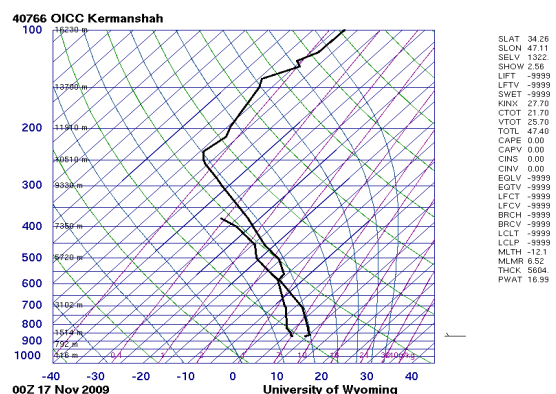
ث- ضریب SW^6

ج- شاخص KI^7

چ- شاخص آب قابل بارش PWC

تحلیل نتایج

در تحقیق حاضر شاخص‌های ناپایداری جوی مربوط به روزهای وقوع بارش‌های فرین غرب کشور، استخراج شده از نمودارهای اسکیتی مربوطه، به مانند شکل ۳ با استانداردهای ناپایداری جوی دانشگاه‌ها و مراکز هواشناسی آمریکا (جدول ۳) مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است.



- 5- Showalter index
- 6- Sweat Index
- 7- K index

- 1- Lifted index
- 2- Cross Totals Index
- 3- Vertical Totals Index
- 4- Total totals Index

مشاهداتی روزهای منتخب در حدود ۹۶/۹٪ با ارقام پیشنهادی شاخص‌های جهانی مغایرت داشته است.

- مقادیر SW در همه روزهای مربوطه به جزء روزهای ۸ ژانویه ۱۹۹۳ UTC، ۱ مارس ۲۰۰۵ UTC و ۴ فوریه ۲۰۰۷ UTC، حدود ۹۰/۹٪ از روزهای مورد بررسی کم‌تر از ۱۵۰ می‌باشند.

- مقادیر کم‌تر از ۴۳ شاخص T.T مربوط به روزهای ۸ ژانویه ۱۹۹۳ ساعت ۱۲ UTC، ۲۱ فوریه ۱۹۹۳ UTC، ۱۲، ۱ فوریه ۱۹۹۴ UTC و ۱۲، ۵ نوامبر ۱۹۹۸ UTC، ۲۱ و ۲۶ مارس ۲۰۰۳ UTC، ۱۲، ۱۱ نوامبر ۲۰۰۳ UTC، ۳ فوریه ۲۰۰۶ UTC و ۱۲ UTC، ۱۱ فوریه ۲۰۰۹ UTC بوده است. به عبارت دیگر می‌توان بیان نمود که حدود ۳۰/۳٪ از مشاهدات روزهای مورد بررسی با شاخص‌های ناپایدار جهانی مغایرت داشته است.

- حدود ۹۳/۹٪ از روزهای منتخب با مشاهدات جدول ۵ همخوانی داشته است. تنها روزهای با KI کم‌تر از ۱۵، نیز شامل ۲۱ فوریه ۱۹۹۳ و ۲۶ مارس ۲۰۰۳ UTC می‌باشد.

- مقادیر C.T در حدود ۲۴/۲٪ از روزهای مورد بررسی شامل روزهای ۸ ژانویه ۱۹۹۳ UTC، ۲۱ فوریه ۱۹۹۳ UTC، ۱ فوریه ۱۹۹۴ UTC، ۲۶ و ۲۷ مارس ۲۰۰۳ UTC، ۱۲ UTC، ۱۱ نوامبر ۲۰۰۳ UTC و ۳ فوریه ۲۰۰۶ UTC کم‌تر از رقم پیشنهادی جدول ۵ بوده است.

- مقادیر کم‌تر از ۲۵ شاخص V.T نیز شامل روزهای ۲۶ فوریه ۱۹۹۱ UTC، ۸ ژانویه ۱۹۹۳ UTC، ۳ فوریه ۱۹۹۳ UTC، ۲۱ فوریه ۱۹۹۴ UTC و ۱۲، ۱ فوریه ۱۹۹۴ UTC، ۵ ژانویه ۱۹۹۸ UTC، ۱۲ UTC، ۶ ژانویه ۲۰۰۰ UTC، ۳ فوریه ۲۰۰۶ UTC و ۱۱ فوریه ۲۰۰۹ UTC می‌باشد. به عبارت دیگر حدود ۳۰/۳٪ از روزهای مورد مطالعه با ارقام شاخص‌های جهانی مغایرت داشته است.

بزرگ‌ترین مقادیر SI و LI به ترتیب برابر با ۱۱ و ۱۰/۳۳ مربوط به وقوع بارش فرین بارش در کرمانشاه در ۱۲ UTC و به تاریخ ۲۱ فوریه ۱۹۹۳ می‌باشد. همچنین کوچک‌ترین مقادیر SW، KI و V.T به ترتیب برابر با ۴۲/۷۴ مربوط به روز ۱ دسامبر ۲۰۰۰ UTC، ۱۲/۳۳ مربوط به روز ۲۶ مارس ۲۰۰۳

در این مقایسه بزرگ‌ترین رقم شاخص‌های SI و LI و کوچک‌ترین رقم شاخص‌های C.T، V.T، T.T، KI و SW از ارقام داخل جدول مذکور مورد توجه قرار گرفته است. به طور مثال در مورد SW چهار دانشگاه و مرکز هواشناسی گفته به ترتیب $SW > 272$ ، $SW > 250$ ، $SW > 150$ و $SW > 300$ را شرط ناپایداری قید کرده‌اند و باید $SW > 150$ مبنای مقایسه قرار داده شود. چرا که مقادیر ۲۵۰، ۲۷۲ و ۳۰۰ بزرگ‌تر از ۱۵۰ هستند و $SW > 150$ در همه آن‌ها صدق می‌کند. در مورد SI نیز چهار دانشگاه و مرکز هواشناسی گفته شده به ترتیب $SI < 4$ ، $SI < 3$ ، $SI < 3$ و $SI < 3$ را شرط ناپایداری قید کرده‌اند و باید $SI < 4$ مبنای مقایسه قرار داده شود، چرا که مقادیر ۳ و ۴ صفر کوچک‌تر از ۴ هستند و $SI < 4$ در همه آن‌ها صدق می‌کند. حال اگر چنانچه مقدار SW و SI در روز وقوع بارش به ترتیب کم‌تر از ۱۵۰ و بیش‌تر از ۴ بوده باشد در خارج از استانداردهای مذکور قرار گرفته است. بنابراین مبنای مقایسه شاخص‌های ناپایداری جوی منطقه در مقایسه با شاخص‌های جهانی به شرح جدول ۴ می‌باشد:

جدول ۴- شاخص‌های جهانی ناپایداری جوی

SI	LI	SW	KI	C.T	V.T	T.T
<۴	<۰	>۱۵۰	>۱۵	>۱۷	>۲۵	>۴۳

مآخذ: [۴]

در بررسی و مقایسه شاخص‌های ناپایداری جدول ۲ مربوط به روزهای وقوع بارش در غرب نتایج زیر حاصل شده است:

- مقادیر SI در همه‌ی روزهای مورد بررسی به جز روزهای ۲۶ فوریه ۱۹۹۱ ساعت ۱۲ UTC، ۸ ژانویه ۱۹۹۳ UTC، ۳ فوریه ۱۹۹۳ UTC، ۵ فوریه ۱۹۹۵ UTC، ۱ دسامبر ۲۰۰۰ UTC، ۲۵ مارس ۲۰۰۱ UTC، ۱۲، ۱ مارس ۲۰۰۵ UTC، ۴ فوریه ۲۰۰۷ UTC و ۱۲، ۴۲۷ مارس ۲۰۰۷ UTC و ۱۲، ۱۱ فوریه ۲۰۰۹ UTC و ۱۲، ۱۷ نوامبر ۲۰۰۹ UTC و ۱۲ یعنی حدود ۵۱/۵٪ از روزهای منتخب، بزرگ‌تر از ۴ هستند.

- مقادیر LI در همه‌ی روزهای مورد بررسی بجز روز ۸ ژانویه ۱۹۹۳ UTC بزرگ‌تر از صفر بوده است. یعنی ارقام

نشانهگر افزایش شدت ناپایداری و افزایش احتمال وقوع بارش فرین می‌باشد.

سطح یخبندان در روزهای بارشی مربوط به دوره مورد مطالعه‌ی جو غرب (۱۹۶۱-۲۰۱۰)، بین ۸۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال (۳ فوریه ۱۹۹۳) تا ۳۱۵۷ متری (۴ فوریه ۲۰۰۷) در نوسان می‌باشد (جدول ۲). در واقع در دوره سرد سال به دنبال پسروری جت استریم جنب‌حاره‌ای به طرف جنوب، بادهای غربی به ایران وارد می‌شوند. این پیشروی از اوایل پاییز آغاز می‌شود و تا شروع زمستان بادهای غربی بر همه جای ایران مستقر شده‌اند. گسترش بادهای غربی با تشدید سرعت آن‌ها همراه است و در نتیجه با خودشان جت استریم جبهه قطبی را به همراه می‌آورند. بدین ترتیب ناوه مدیترانه با هدایت سامانه‌های سینوپتیک برون حاره به طرف ایران، آب و هوای دوره سرد ایران را کنترل می‌کند. فراوان‌ترین فصل موج‌های کوتاه همراه موج بلند مدیترانه زمستان است. این موج‌ها در جلو ناوه مدیترانه تشدید شده ناپایداری بیش‌تری تولید می‌کنند. ناپایداری بوجود آمده سبب صعود هوای زیر موج‌ها می‌گردد و در صورت داشتن رطوبت کافی ایجاد ابر و باران می‌کند [۶]. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که سامانه‌های غربی در دوره‌های بارش فرین با یک سامانه کم فشارمدیترانه‌ای در روی سطح زمین و ناوه سطح فوقانی همراه است که الگوی مناسبی برای بارش فرین بوده و رطوبت لازم برای بارش را تامین می‌کند.

پایین بودن سطح یخبندان در فصل سرد (نسبت به ماه‌های گرم دیگر) که دارای بالاترین فراوانی بارش نیز در منطقه بوده، می‌تواند ناشی از اثرات توأم سامانه‌های جوی و عوامل محلی باشد. پرفشار سبیری از میانه‌ی اکتبر تا میانه‌ی آوریل بر آسیا حاکم است. این پرفشار نقش دمایی و مهمی هم در ایران بازی می‌کند. به طوری که عمدتاً از شمال شرق و گاهی از شمال غرب در ایران نفوذ می‌کند و هوای بسیار سرد و خشک را بر بخش‌هایی از کشور سرازیر می‌کند. فراوان‌ترین مکانیسم صعود در تمام ایران در دوره سرد، اغتشاشات سطح بالاست که در غرب کشور این سامانه با اغتشاشات سطح زمین برابری می‌کند. منطقه دوم بیشینه روزهای بارش ایران، در غرب بر روی ارتفاعات زاگرس مشاهده می‌شود [۵]. از منطقه

۱۲UTC، ۱۸/۹ مربوط به روز ۱ فوریه ۱۹۹۴ ۱۲UTC می‌باشد. همچنین کوچک‌ترین مقدار C.T و T.T به ترتیب برابر با ۸/۵ و ۳۳ مربوط به روز ۲۱ فوریه ۱۹۹۳ ۱۲UTC بوده است. همان طور که ملاحظه گشت مقایسه‌ی این شاخص‌های ناپایداری جوی، مغایرت‌هایی را در برخی موارد بین ارقام مشاهداتی و ارقام پیشگویی شده‌ی جهانی، نشان داده است. در واقع شاخص‌های ناپایداری مورد استفاده دانشگاه‌ها و مراکز هواشناسی آمریکا با توجه به شرایط جغرافیایی و آب و هوایی آمریکا تعیین شده‌اند و نمی‌توانند به طور مطلق در سایر کشورها ملاک عمل قرار بگیرند (زاهدی و چوبدار، ۱۳۸۶، ۳۷). بنابراین با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی غرب ایران که منجر به دارا بودن پتانسیل بالا برای وقوع برخی از پدیده‌های خاص جوی می‌باشد، به مقایسه و بررسی شاخص‌های ناپایداری ایستگاه کرمانشاه (در دوره مورد مطالعه در این تحقیق) پرداخته شده است. به عنوان نمونه در مورد SW به ترتیب $SW \geq 42/74$ ، $SW \geq 11/65$ و $SW \geq 19/99$ شرط ناپایداری جو منطقه بوده و باید $SW \geq 11/65$ مبنای مقایسه قرار داده شود. چرا که مقادیر ۴۲/۷۴ و ۱۹/۹۹ بزرگ‌تر از ۱۱/۶۵ هستند و $SW \geq 11/65$ در همه آن‌ها صدق می‌کند. در مورد SI نیز به ترتیب $SI \leq 11$ ، $SI \leq 7/12$ و $SI \leq 20/71$ را شرط ناپایداری قید شده است و باید $SI \leq 20/71$ مبنای مقایسه قرار داده شود، چرا که مقادیر ۷/۱۲ و ۱۱ کوچک‌تر از ۲۰/۷۱ هستند و $SI \leq 20/71$ در همه‌ی آن‌ها صدق می‌کند. حال اگر چنانچه مقدار SW و SI در روز وقوع بارش فرین غرب به ترتیب کم‌تر از ۱۱/۶۵ و بیش‌تر از ۲۰/۷۱ بوده باشد در خارج از استانداردهای مذکور قرار خواهد گرفت. بنابراین شاخص‌های ناپایداری جوی غرب کشور به شرح جدول ۵ تعیین شده است.

جدول ۵- شاخص‌های ناپایداری جوی منطقه غرب کشور

SI	LI	SW	KI	C.T	V.T	T.T
$\leq 20/71$	$\leq 16/63$	$\geq 11/65$	$\geq 1/33$	$\geq 8/50$	$\geq 18/90$	≥ 33

حالت تساوی نشانهگر حداقل ناپایداری محلی است که احتمال وقوع پدیده خاص جوی در آن شرایط وجود دارد و افزایش SW، C.T، V.T و T.T از مقادیر درج شده در جدول به اعداد بزرگ‌تر و کاهش SI و LI به اعداد کوچک‌تر

همان طور که در جدول ۶ ملاحظه می‌شود، با وجود کم بودن مقدار PWC آب قابل بارش (مقدار آب موجود در جو یک مکان) برای روزهای مورد مطالعه، میزان بارندگی قابل توجهی در همان روزها وجود داشته است. با توجه به کوهستانی بودن غرب کشور و گنجایش پایین رطوبت به دلیلی سردی هوا در روزهای مورد بررسی رطوبت موجود در جو چندان قابل توجه نبوده است. با این وجود بارش‌های سنگین این روزها حاکی از ارمغان همسایه غربی، دریای مدیترانه و سرزمین‌های اطرافش، است که در فصل سرد با ایجاد سیکلون و اعزام توده‌های هوایی مرطوب مدیترانه، ناپایداری و بارندگی‌های غرب را فراهم می‌کنند. بنابراین در غرب ناپایداری‌های جو از یک سو متأثر از شرایط ناهمواری و از سوی دیگر ناشی از سامانه‌های غربی است.

کوهستانی غرب ایران به سمت شرق و جنوب، به ترتیب به علت کاهش نفوذ رطوبت و نیز کاهش عامل صعود از میزان بارندگی کاسته می‌شود.

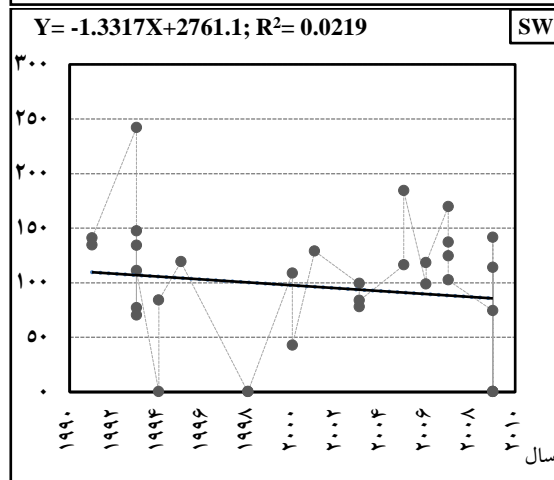
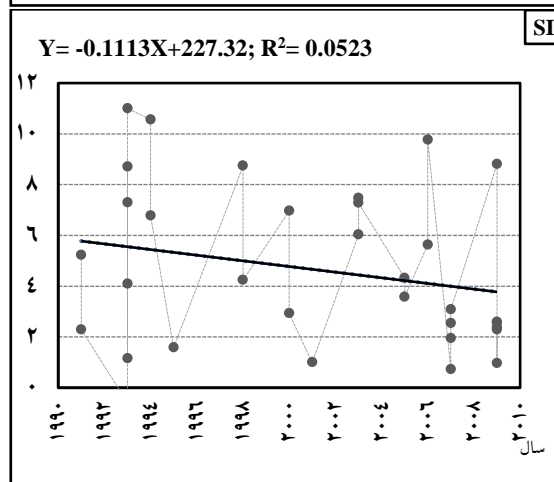
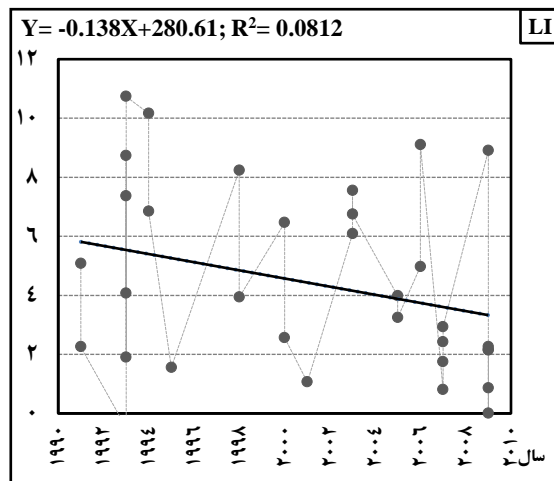
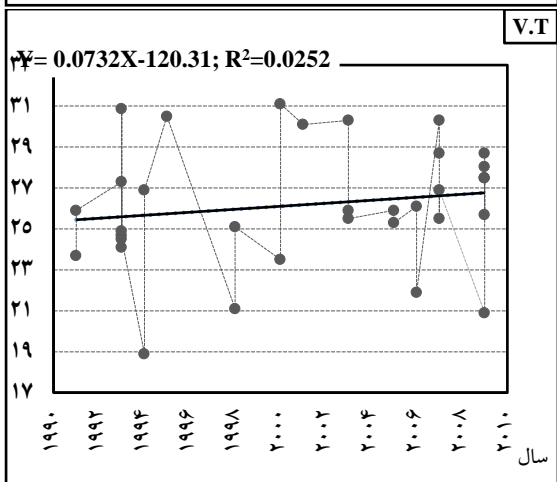
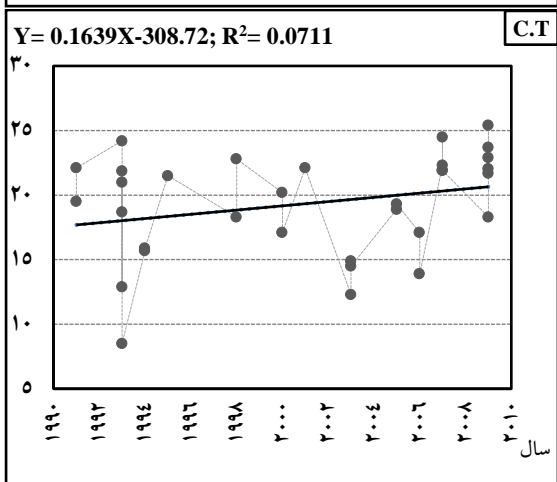
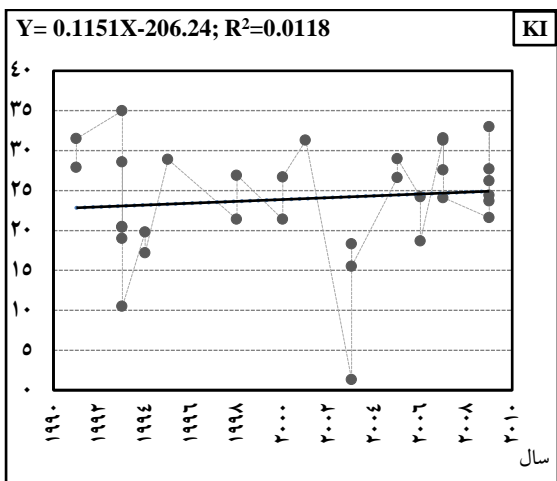
بنابراین می‌توان اشاره داشت که بالا بودن بارندگی در غرب همراه با سطح پایین یخبندان‌ها، نتیجه عملکرد با هم عوامل محلی، نفوذ سامانه‌های ناپایدار بادهای غربی و نیز گسترش سامانه‌های فشار نواحی مجاور ایران مانند پرفشار سیبری بوده است. در عامل همرفتی به ویژه همرفت دامنه‌ای که اقتضای محیط کوهستانی غرب کشور است با عامل اغتشاشات سطح بالا به مانند موج‌های کوتاه بر اثر استقرار ناوه بلند مدیترانه همراه بادهای غربی مهم‌ترین عوامل ناپایداری جو منطقه بوده است.

جدول ۶- مقایسه میزان شاخص ناپایداری PWC با بارندگی غرب در روزهای منتخب بارش (۱۹۶۱-۲۰۱۰)

سال	ماه	روز	ساعت	PW (mm)	بارندگی ایستگاه کرمانشاه (mm)	سال	ماه	روز	ساعت	PW (mm)	بارندگی ایستگاه کرمانشاه (mm)
۱۹۹۱	فوریه	۲۶	۰۰	۱۹/۰۶	۳۱	۲۰۰۳	مارس	۲۷	۱۲	۷/۶۷	۱۳
۱۹۹۱	فوریه	۲۶	۱۲	۱۸/۸۵	۳۱	۲۰۰۳	نوامبر	۱۱	۱۲	۹/۲	۳۸
۱۹۹۳	ژانویه	۸	۰۰	۲۰/۹۶	۱۳	۲۰۰۵	مارس	۲۵	۰۰	۱۷/۷۴	۱۴
۱۹۹۳	ژانویه	۸	۱۲	۷/۶۵	۱۳	۲۰۰۵	مارس	۲۵	۱۲	۱۸/۴۸	۱۴
۱۹۹۳	فوریه	۳	۰۰	۸/۰۴	۴	۲۰۰۶	فوریه	۳	۰۰	۱۵/۸۳	۲۵
۱۹۹۳	فوریه	۳	۱۲	۷/۸۲	۴	۲۰۰۶	فوریه	۳	۱۲	۱۴/۵۲	۲۵
۱۹۹۳	فوریه	۲۱	۰۰	۱۶/۳۶	۲۵	۲۰۰۷	فوریه	۴	۰۰	۱۳/۳۷	۳۹
۱۹۹۳	فوریه	۲۱	۱۲	۵/۱۶	۲۵	۲۰۰۷	فوریه	۴	۱۲	۱۰/۳۴	۳۹
۱۹۹۴	فوریه	۱	۰۰	۱۴/۱۷	۲۴	۲۰۰۷	مارس	۲۷	۰۰	۱۸/۴۳	۱۶
۱۹۹۴	فوریه	۱	۱۲	۶/۵	۲۴	۲۰۰۷	مارس	۲۷	۱۲	۱۱/۸۲	۱۶
۱۹۹۵	فوریه	۵	۱۲	۱۱/۸۹	۶	۲۰۰۹	فوریه	۱۱	۰۰	۱۴/۰۹	۳۳
۱۹۹۸	ژانویه	۵	۱۲	۱۴/۹۲	۲۱	۲۰۰۹	فوریه	۱۱	۱۲	۹/۶۴	۳۳
۱۹۹۸	مارس	۱۸	۱۲	۱۳/۸۱	۲۳	۲۰۰۹	نوامبر	۱۷	۰۰	۱۶/۹۹	۲۷
۲۰۰۰	ژانویه	۶	۱۲	۱۰/۸۴	۲۲/۵	۲۰۰۹	نوامبر	۱۷	۱۲	۱۸/۵۴	۲۷
۲۰۰۰	دسامبر	۱	۱۲	۱۰/۳۱	۱۰	۲۰۰۹	نوامبر	۱۸	۰۰	۱۲/۲۳	۱۰
۲۰۰۱	مارس	۲۵	۱۲	۱۳/۳۴	۲۶	۲۰۰۹	نوامبر	۱۸	۱۲	۹/۰۶	۱۰
۲۰۰۳	مارس	۲۶	۱۲	۳/۶۷	۲۹	-	-	-	-	-	-
						حداقل	-	-	-	۳/۶۷	۴
						حداکثر	-	-	-	۲۰/۹۶	۳۹
						میانگین	-	-	-	۱۲/۷۷	

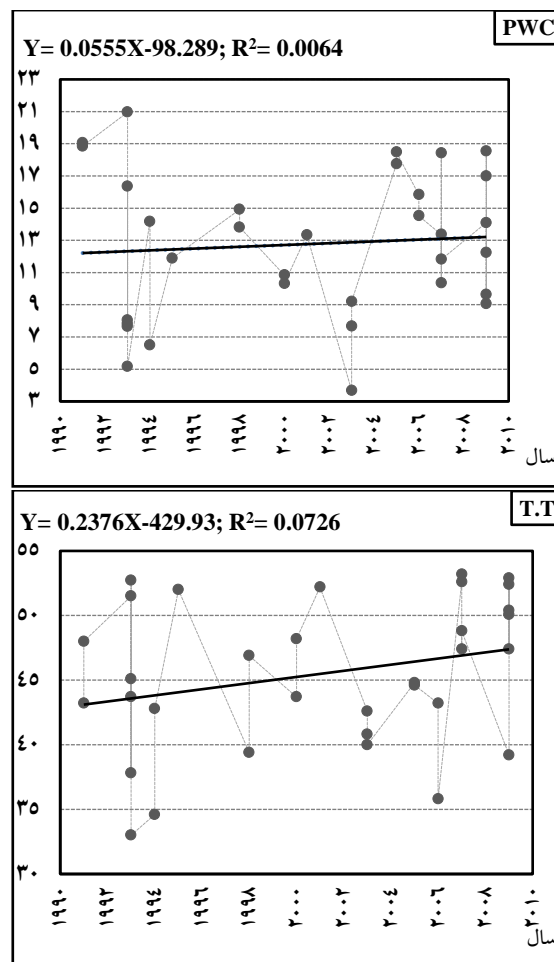
مآخذ: University of Wyoming و سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۲.

در بررسی شاخص‌های ناپایداری طبق نمودارهای شکل ۴ در سال‌های اخیر بر شدت ناپایداری جو افزوده شده است. به طوری که شاخص SI و LI در این سال‌ها به مقدار صفر نزدیک شده و سایر شاخص‌ها، تقریباً روند یکنواختی را تجربه کرده‌اند.



تعیین شاخص‌های ناپایداری شمال غرب کشور داده‌های جو بالای منطقه در ۲۱ مورد وقوع بارش فرین مورد تحلیل قرار گرفتند.

افزایش SW، KI، C.T، V.T و T.T از مقادیر درج شده در جدول به اعداد بزرگ‌تر و کاهش SI و LI به اعداد کوچک‌تر نشانگر افزایش شدت ناپایداری و افزایش احتمال وقوع بارش فرین می‌باشد. در واقع در ارتفاعات غرب با پیشروی بادهای غربی در پاییز به طرف جنوب تعداد روزهای بارش هم افزایش یافته است و در زمستان به دلیل انسجام و اوج فعالیت بادهای غربی بارندگی این فصل بیش‌تر از فصول دیگر است. بنابراین بالا بودن بارندگی در غرب همراه با سطح پایین یخبندان‌ها، نتیجه عملکرد با هم عوامل محلی، نفوذ سامانه‌های ناپایدار بادهای غربی و نیز گسترش سامانه‌های فشار نواحی مجاور ایران بوده است. در عامل همرفتی به ویژه همرفت دامنه‌ای که اقتضای محیط کوهستانی غرب کشور است با عامل اغتشاشات سطح بالا به مانند موج‌های کوتاه ناوه بلند مدیترانه همراه بادهای غربی مهم‌ترین عوامل ناپایداری جو منطقه بوده است. با وجود کم بودن مقدار آب قابل بارش (مقدار آب موجود در جو یک مکان) برای روزهای مورد مطالعه، میزان بارندگی قابل توجهی در همان روزها وجود داشته است. با توجه به کوهستانی بودن غرب کشور و گنجایش پایین رطوبت به دلیلی سردی هوا در روزهای مورد بررسی رطوبت موجود در جو چندان قابل توجه نبوده است. با این وجود بارش‌های سنگین این روزها حاکی از ارمغان همسایه غربی، دریای مدیترانه و سرزمین‌های اطرافش، است که در فصل سرد با ایجاد سیکلون و اعزام توده‌های هوایی مرطوب مدیترانه، ناپایداری و بارندگی‌های غرب را فراهم می‌کنند. بنابراین در غرب ناپایداری‌های جو از یک سو متأثر از شرایط ناهموازی و از سوی دیگر ناشی از سامانه‌های غربی است. بطور کلی نتایج حاصل نشان داد که سامانه‌های غربی در دوره‌های بارش فرین با یک سامانه کم فشار مدیترانه‌ای در روی سطح زمین و ناوه سطح فوقانی همراه است که الگوی مناسبی برای بارش فرین بوده و رطوبت لازم برای بارش را تامین می‌کند.



شکل ۴- نمودار پراکندگی شاخص‌های ناپایداری نسبت به سال‌های وقوعشان، در غرب کشور (۱۹۶۱-۲۰۱۰)

نتیجه گیری

غرب کشور به عنوان منطقه‌ای با فراوانی بارش فرین در ایران شناخته شده است. پیش آگاهی از وقوع این پدیده، برای برنامه‌ریزی‌های بلند مدت و کاهش خسارات وارده توسط آن دارای اهمیت زیادی می‌باشد. بدین منظور می‌بایست شرایط ویژه جوی در هنگام وقوع این پدیده را بررسی نمود. با تلفیق شاخص‌های ناپایداری به دست آمده از نمایه عمودی جو و نمودار (Skew-T) با متغیرهای متعدد دیگر، می‌توان صحت پیش‌بینی‌های پدیده‌های مخربی مانند بارش فرین، توفان و سیل را تا حد زیادی افزایش داد. این شاخص‌ها از کشوری به کشور دیگر تغییر می‌کند در واقع تعیین شاخص‌های ناپایداری مورد استفاده دانشگاه‌ها و مراکز هواشناسی آمریکا با توجه به شرایط آب و هوایی و جغرافیایی آمریکا تعیین شده‌اند و نمی‌توانند در سایر کشورها ملاک سنجش قرار گیرند. بنابراین برای

منابع

۹. لشکری، حسن (۱۳۷۵)، الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران، پایان نامه دکتری. استاد راهنما: دکتر هوشنگ قائمی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا.
۱۰. مسعودیان، سید ابوالفضل و کارساز، سکینه (۱۳۹۳) تحلیل هم‌دید الگوهای ضخامت بارش‌های سنگین ناحیه‌ی زاگرس جنوبی، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۷، ص ۱۵.
11. Lee, Dong-Kyou., Jeong-Gyun PARK, and Joo-Wan KIM., (2008) "Heavy Rainfall Events Lasting 18 Days from July 31 to August 17,1998, over Korea", Journal of the Meteorological Society of Japan, VOL, 86, No. 2, pp. 313-333.
12. Hidalgo, G. J. C., Lui's, M., Ravento's, J., Sa'nche, J. R., (2003). Daily Rainfall Trend in the Valencia Region of Spain, Theor. Appl. Climatol. 75, 117-130.
13. Olga Matlik and Piia Post (2008): Synoptic Weather types that have caused heavy precipitation in Estonia in the period 1961-2005 Estonia Journal of Engineering, 195-208.
14. Mastrangelo, D., Horvath, K., Riccio, A., Miglietta, M.M., (2011) Mechanisms for convection development in a long-lasting heavy precipitation event over southeastern Italy, Atmospheric Research, 100,586-602.
15.] Erdon D., kidden, and A.skiem (2008) , On the relationship between large-scale climate models and regional synoptic pattern that drive Victorian rainfall , Hydrol. earthsyst.
16. Barry, R. G and A. H. Perry, (1973), Synoptic Climatology: Methods and Applications; London: Methuen and Co. Ltd. 158p.
17. <http://www.twister.sbs.ohio-state.edu/severe>
18. <http://www.srh.noaa.gov/ffc/html/gloss2.shtml>
19. <http://www.weather.cod.edu/sirvatka/si.html>
20. <http://www.theweatherprediction.Com>
۱. امیدوار، کمال، (۱۳۸۶)، تحلیل شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی رخداد بارش در منطقه شیرکوه، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۹، ص ۸۱-۹۸.
۲. جهانبخش اصل، سعید و ذوالفقاری، حسن، (۱۳۸۰)، بررسی الگوهای سینوپتیکی بارش‌های روزانه در غرب ایران، تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۳ و ۶۴، ص ۲۳۴-۲۵۸.
۳. جهانبخش، سعید، میرهاشمی، حمید و تدینی معصومه (۱۳۹۴)، تحلیل هم‌دید - ترمودینامیک بارش‌های ابرسنگین شمال غرب ایران (استان آذربایجان شرقی) نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۱۹ شماره ۵۱ ص ۱۰۷-۱۲۵.
۴. نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۶، شماره ۴۲، ص ۱۱۳.
۵. زاهدی، مجید و چوبدار، اصغر، ۱۳۸۶، مقایسه‌ی شاخص‌های ناپایداری جوی حوضه‌ی آبریز آجی چای با استانداردهای ناپایداری جوی و تعیین الگو برای این حوضه، جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، شماره ۹، ۴۴-۲۳.
۶. علیجانی، بهلول، ۱۳۸۸، اقلیم شناسی سینوپتیک، تهران، چاپ سوم، انتشارات سمت، ۲۵۷-۱.
۷. علیجانی، بهلول، ۱۳۸۹، آب و هوای ایران، چاپ دهم، نشر پیام نور، تهران، ۲۲۱-۱.
۸. قویدل رحیمی، یوسف، ۱۳۹۰، کاربرد شاخص‌های ناپایداری جوی برای آشکارسازی و تحلیل دینامیک توفان تندی روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ تبریز، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، شماره ۳۴، ۲۰۸-۱۸۲.