

بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه‌های کم فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل‌زا در ایران

چکیده

شناخت کم فشارهای منطقه دریای سرخ نتیجه تکامل اقلیم‌شناسی سینوپتیک ایران به ویژه در طول یک دهه گذشته می‌باشد. در این مقاله ابتدا تاریخچه‌ای از بررسی‌های انجام شده بر روی کم فشارهای سودانی ارائه می‌شود. سپس با توجه به بررسی تعداد ۱۸ توفان با منشأ سودانی الگوی سینوپتیکی حاکم در زمان وقوع توفان‌ها بر روی ایران استخراج شده است. بدین منظور الگوی گردش در سطح زمین و ترازهای ۵۰، ۲۰۰، ۵۰۰، ۸۵۰ هکتوپاسکال قبل و بعد از شروع توفان‌ها مورد بررسی قرار گرفته است و الگوی متوسط هر یک تهیه شده است. جهت شناخت منبع اصلی رطوبت سامانه‌های سودانی نقشه‌های جهت و سرعت باد و نم ویژه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برای تعداد ۱۸ توفان بررسی گردید و نقشه‌های متوسط الگوی جریان و نم ویژه تهیه شد. شکل ابر در تصاویر ماهواره‌ای به همراه الگوی جریان تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال برای تعداد ۶ توفان با منشأ سودانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج مطالعه در رابطه با تشکیل و گسترش کم فشار سودانی اگرچه همچون سایر مطالعات برمقادیر پایین شاخص چرخه و استقرار پشته‌ای در تراز میانی وردسپهر بر روی مدیترانه غربی و ناوه عمیقی بر منتهی الیه شرق مدیترانه دلالت دارد، اما نقش اصلی را به کشیده شدن تاوه قطبی در تراز ۵۰ هکتوپاسکال به عنوان منبع اصلی تاوایی برای پیدایش الگوی گردش ناهنجار و تقویت سلول هدلی و جت جنب حاره بر روی مدیترانه و شمال

آفریقا می‌دهد. یافته‌ها بر استقرار مناسب خروجی هسته جت جنب حاره بر روی خاورمیانه به همراه استقرار و تقویت پشته‌ای در تراز میانی و زبانه پرفشاری در تراز پایین بر روی دریای عرب جهت تکوین و گسترش کم فشارهای سودانی تأکید دارد. موقعیت و سرعت هسته جت جنب حاره بر روی خاورمیانه و امتداد محور آن در ترازهای فوقانی وردسپهر ضمن کنترل الگوی گردش تراز میانی، مسیرهای ورود کم فشارهای سودانی به ایران را کنترل می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی وقوع کم فشارهای سودانی در ایران در درجه اول مربوط به ماه دسامبر (آذر) و سپس فصل زمستان می‌باشد. در این رابطه به نظر می‌رسد افزایش تعداد سامانه‌های سودانی با جابجایی سریع و حرکت به سمت جنوب جت جنب حاره در خاورمیانه در ماه دسامبر در ارتباط باشد. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که منبع اصلی رطوبت سامانه‌های سودانی مناطق حاره‌ای شرق آفریقا و قطاع جنوب غربی دریای عرب می‌باشد و حداکثر رطوبت ورودی به ایران نیز در منطقه جنوب غرب کشور به خصوص بر روی استان‌های کهگیلویه و بویر احمد و چهارمحال و بختیاری مشاهده گردیده است.

کلید واژه‌ها: کم فشار سودانی، ناوه عمیق شرق مدیترانه، پشته شرق عربستان، جت جنب حاره، ناوه قطبی، بارش‌های ایران.

مقدمه

فلات ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی خاص خود در نقطه‌ای انتقالی نسبت به الگوهای بزرگ مقیاس گردش عمومی وردسپهری (تروپوسفری) قرار دارد و محل برهم کنش سامانه‌های برون حاره، جنب حاره و حاره‌ای است. این ویژگی همراه با توپوگرافی پیچیده آن موجب گردیده تا توزیع جغرافیایی ساز و کارهای بارش‌زا در ایران از تنوع و تفاوت زمانی و مکانی زیادی برخوردار باشد. تحلیل و پیش‌بینی مطلوب وقوع بارش در ایران با توجه به تفاوت ساز و کارهای (مکانیسم‌های) بارش و تنوع سامانه‌های بارش‌زا، شناخت دقیق مؤلفه‌های اصلی سامانه اقلیم منطقه‌ای را طلب می‌کند. در مطالعه اقلیمی دوره سرد، هر ساله با بارش‌های رگباری شدید و سیل‌آسایی در مناطق جنوب و جنوب غرب و حتی نواحی داخلی کشور مواجه می‌شویم که در چند سال اخیر موضوع بسیاری از پایان‌نامه‌ها، پروژه‌ها و طرح‌های منطقه‌ای بوده است.

تا ابتدای دهه گذشته تصور قریب به اتفاق هواشناسان و اقلیم‌شناسان کشور بر این بود که منطقه شمال‌شرق آفریقا و شبه جزیره عربستان، به جز بادهای گرم و خشک و ماسه و گرد و غبار چیز دیگری برای آب و هوای نواحی داخلی ایران و یا نواحی مجاور جنوبی به ارمغان نمی‌آورد. تصور اینکه سامانه‌های بارش‌زا ضمن عبور از منطقه گرم و خشک و بیابانی عربستان مقادیر معتناهی بارندگی با خود به همراه داشته باشد، سخت ناممکن و غیر قابل باور می‌نمود. اما در طی دهه گذشته تحقیقات پراکنده برخی محققان، دلالت بر وجود سامانه‌های فعال و بارش‌زا دارد که از عرض‌های جنوبی‌تر منشأ گرفته است. در چند سال اخیر، این سامانه که در ایران به «کم فشار سودانی» معروف گردیده، به عنوان یک سامانه فعال و مهم در اقلیم زمستانه نواحی جنوبی، جنوب غربی و داخلی ایران مورد توجه خاص قرار گرفته است (مفیدی، ۱۳۷۸).

در این مقاله ابتدا تاریخچه‌ای از مطالعه سامانه‌های کم فشار منطقه دریای سرخ در ایران فراهم گردیده و سیر تکوینی مطالعات از اولین تحقیقات موجود تا به امروز مورد توجه قرار گرفته است. سپس با توجه به مطالعه تعداد ۱۸ توفان، الگوی سینوپتیکی غالب در زمان تشکیل و تکوین سامانه‌های کم فشار منطقه دریای سرخ و سودان ارایه گردیده است. هدف اصلی این پژوهش شناخت عوامل اصلی مؤثر در تکوین و گسترش سامانه‌های کم فشار سودانی بر روی ایران است.

کم فشارهای منطقه دریای سرخ، ساز و کار بارش‌زا در ایران

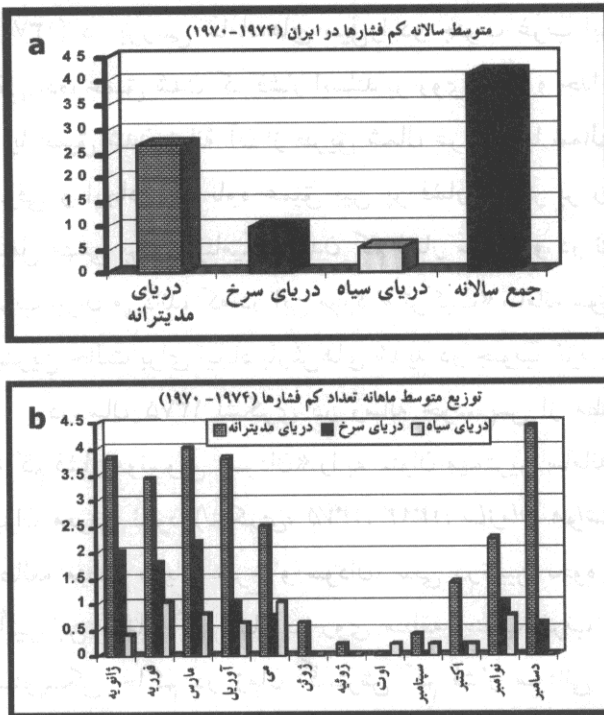
شناخت برخی از مؤلفه‌های اصلی اقلیم‌شناسی ایران از آن جمله کم فشارهای منطقه دریای سرخ نتیجه تکامل اقلیم‌شناسی سینوپتیک در طی دو دهه گذشته در ایران می‌باشد. تا دهه ۱۳۷۰ کمتر کسی در یک اظهار نظر علمی در رابطه با بارش‌های شدید و سیل‌آسا و یا در طبقه‌بندی سامانه‌های بارش‌زای ایران، نامی از «کم فشار سودانی» و یا سامانه‌های کم فشار دریای سرخ به میان می‌آورد. این ابهام هنوز هم در برخی محافل علمی و دانشگاهی مشاهده می‌شود. از این رو در ادامه، تحقیقات انجام شده در رابطه با کم فشارهای منطقه دریای سرخ و اثر آنها بر بارش ایران مورد توجه قرار می‌گیرد.

با توجه به منابع موجود به نظر می‌رسد اولین تحقیقی که تأثیر کم فشارهای منطقه دریای سرخ و سودان را بر اقلیم ایران مورد توجه قرار داده، مقاله آلفت تحت عنوان

«وضع هوای ایران در سال گذشته» است که در سال ۱۳۴۷ در مجله نیوار به چاپ رسیده است. الفت در این مقاله ضمن تعیین مسیرهای عمده عبور سامانه‌های کم فشار بارش‌زا در سال ۱۳۴۶، به این نتیجه می‌رسد که ۳۰٪ سامانه‌های بارش‌زا از شمال آفریقا و منطقه دریای سرخ منشأ گرفته‌اند که پس از عبور از عربستان و خلیج فارس وارد ایران گردیده‌اند (الفت، ۱۳۴۷).

فرشی فروغ (۱۳۵۶) در پایان‌نامه خود تحت عنوان «کلیماتولوژی سینوپتیکی آذربایجان» در یک دوره آماری پنج ساله به مطالعه سامانه‌های کم فشار و مسیرها و مقدار بارش آنها در منطقه شمال غرب ایران پرداخته است. در این تحقیق ضمن تشخیص کم فشارهایی که از منطقه دریای سرخ به عراق و در نهایت غرب ایران حرکت می‌کنند، تمامی سامانه‌های کم فشاری که از منطقه شمال آفریقا و منطقه دریای سرخ به غرب ایران می‌رسند اصطلاحاً «کم فشار سودان» نامیده شده‌اند. عبدالحسینی (۱۳۵۸) نیز در پایان‌نامه خود پس از بررسی چندین کم فشار سودانی حرکت به سمت جنوب پر فشار جنب حاره و عمیق شدن ناوه در شرق مدیترانه و خاورمیانه، همچنین استقرار جت جنب حاره در ماه‌های زمستانی بر روی دریای سرخ را در گسترش، حرکت و تغییر جهت این کم فشارها لازم دانسته است. او برای نخستین بار به این نتیجه می‌رسد که استقرار پر فشار جنب حاره بر روی دریای عرب و اقیانوس هند جریان جنوب شرقی - جنوبی را بر روی منطقه موجب می‌گردد و در عین حال نقش بسیار مهمی را در تغذیه رطوبتی کم فشار سودان بر عهده دارد (عبدالحسینی، ۱۳۵۸).

در سال ۱۳۶۰ فرجی در تحقیقی جامع‌تر به بررسی مسیر کم فشارهای غربی اعم از دریای مدیترانه، دریای سرخ و دریای سیاه بر روی ایران پرداخت (فرجی، ۱۳۶۰). نامبرده ضمن بررسی سامانه‌های کم فشار، سعی در تشخیص مسیر و همچنین تعیین فراوانی ماهانه کم فشارهای غربی به تفکیک منشأ وقوعشان بر روی ایران داشته است. فرجی تعداد کم فشارهایی که از سمت جنوب غرب و از منطقه دریای سرخ و خلیج فارس وارد ایران می‌شوند را حدود ۱۰ کم فشار ذکر می‌کند که قریب ۲۳٪ از سامانه‌های کم فشار بارش‌زای ورودی به کشور را در برمی‌گیرد. نکته جالب اینکه خلیلی (۱۳۷۰) پس از جمع‌بندی نتایج تمامی یافته‌های پیشین، به نتیجه‌ای مشابه نتایج فرجی دست می‌یابد. شکل ۱ تعداد متوسط ماهانه و سالانه سامانه‌های کم فشار را برای دوره پنج ساله (۱۳۷۴-۱۳۷۰) نشان می‌دهد.



شکل ۱ تعداد متوسط سالانه و ماهانه سامانه‌های کم فشار در ایران (۱۳۷۴-۱۳۷۰)، (فرجی، ۱۳۶۰).

در پاییز ۱۳۶۵ سیل مهیبی مناطق وسیعی از مرکز و جنوب کشور را در بر گرفت. تقی زاده (۱۳۶۶) در تحلیل علل ایجاد این سیل، ضمن ذکر شاخه‌ای از سامانه مدیترانه‌ای که از عراق وارد خوزستان شد، مهمترین عامل وقوع سیل پاییز ۱۳۶۵ را ورود کم فشاری تحت عنوان «کم فشار حرارتی سودان» عنوان نمود. بدین ترتیب که این توده هوای بدون جبهه در فصل سرد سال پس از عبور از دریای سرخ و حرکت به بالای عرض ۲۵ درجه شمالی در نتیجه برخورد با توده هوای عرض‌های بالاتر به صورت دینامیکی درآمده و در واقع با سامانه مدیترانه‌ای موجود در آمیخته و این بارش شدید را در جنوب غرب و جنوب و حتی مرکز ایران موجب شده است.

ایزد نگهدار (۱۳۷۰) نیز در مطالعه خود عمیق شدن ناوه در شرق مدیترانه تا منطقه دریای سرخ را در تقویت یک کم فشار سودانی و حرکت آن به سمت شمال شرق لازم دانسته و پر فشار مستقر بر روی عربستان را عامل اصلی انتقال رطوبت دریای عمان به درون کم فشار سودانی واقع در غرب پر فشار عربستان می‌داند. همزمان با او سبزی‌پرور

(۱۳۷۰) در بررسی سامانه‌های سیل‌زا در جنوب غرب ایران ضمن تأیید مجدد تحقیقات تقی‌زاده، عمیق شدن کم فشار ایسلند بر روی اروپا و جدا شدن سلول کم فشاری از ایسلند و یا عمیق شدن زبانه آن از طریق شمال غرب و یا شمال اروپا تا دریای سیاه و مدیترانه شرقی و ایجاد یک ناوه عمیق بین پر فشار مستقر بر روی روسیه و پر فشار آزر را عامل مهمی برای دینامیکی شدن کم فشار سودان و در نتیجه بارش‌های شدید در جنوب غرب ایران می‌داند، که در این مورد « ترکیب » سامانه سودانی و چرخندهای شرق مدیترانه بهترین حالت برای ایجاد بارش‌های شدید در جنوب غرب ایران دانسته شده است.

در سال ۱۳۷۵ لشکری در رساله خود، پس از مطالعه ۵۲ مورد سامانه‌های سیل‌زا « کم فشار مونسونی سودان » را به عنوان مهمترین سامانه بارش‌زا در منطقه جنوب غرب ایران معرفی نمود (لشکری، ۱۳۷۵؛ ۱۳۸۲؛ سازمان هواشناسی، ۱۳۷۷). این محقق ضمن مطالعه منطقه دریای سرخ و سودان، سعی در تبیین نحوه تشکیل و چگونگی گسترش و تأثیر این سامانه کم فشار بر روی منطقه جنوب غرب ایران نمود. در نهایت الگوهای سینوپتیکی حاکم در زمان گسترش کم فشار سودانی بر روی جنوب غرب ایران را تشریح کرد. در این رساله برای نخستین بار در اقلیم‌شناسی ایران خصوصیات سینوپتیکی و گردش هوا در منطقه دریای سرخ و سودان مورد توجه خاص قرار گرفت.

در چند سال اخیر نتایج پایان‌نامه‌های متعدد، حکایت از اهمیت و نقش سامانه‌های کم فشار سودانی در بارش مناطق مختلف کشور دارد. از آن جمله می‌توان به کار مولا (۱۳۷۴) و رثوفی فرد (۱۳۷۶) در رابطه با وقوع چند مورد سیل در استان‌های کرمان و قم اشاره کرد. نتایج تحقیق آنها نشان می‌دهد که کم فشارهای سودانی به طور مستقل و یا در ترکیب با سامانه‌های مدیترانه‌ای موجب بروز این سیل‌ها شده‌اند. علاوه بر این پایان‌نامه‌های امیری (۱۳۷۸)، پرنده (۱۳۷۸)، حجتی‌زاده (۱۳۸۰) و انصاری (۱۳۸۲) نمونه‌های دیگری هستند که بارش‌های سیل‌زا را به ترتیب در حوضه رودخانه‌های زهره، دالکی - کرخه، کارون - دز و حوضه‌های آبریز کهکیلویه و بویراحمد مورد بررسی قرار داده‌اند. در تمامی این بررسی‌ها مهمترین عامل بارش‌های سیل‌زای مناطق جنوب غرب ایران کم فشار سودانی معرفی گردید. نکته جالب اینکه نصیری (۱۳۷۸) و حجتی‌زاده (۱۳۸۰) در مقایسه حوضه‌های کرخه، کارون و دز (۱) به این نتیجه رسیدند که سامانه‌های غالب در حوضه دز سامانه‌های مستقل سودانی است. در حالی که در حوضه

کرخه سامانه‌های غالب در درجه اول سامانه‌های کم فشار شرق مدیترانه و سپس کم فشارهای ادغامی (مدیترانه‌ای- سودانی) می‌باشد. در این بین خوش اخلاق (۱۳۷۶؛ ۱۳۷۷a) به نحو دیگری اهمیت و نقش سامانه‌های سودانی را مورد توجه قرار داد. بدین ترتیب که او در تحلیل الگوهای خشکسالی و ترسالی، وجود «تاوایی مثبت» را از ناحیه جنوب غرب یعنی از منطقه دریای سرخ و سودان نماد دوره خیلی مرطوب برای ایران می‌داند. در تحقیقات دیگری امیدوار (۱۳۸۰) و مبین (۱۳۷۸) در بررسی باروری ابرها به ترتیب در منطقه کرمان و حوضه آبی زاینده‌رود، مناسب‌ترین الگوی سینوپتیکی جهت باروری ابرها و افزایش بارش را برای هر یک از مناطق فوق به ترتیب سامانه کم فشار سودانی و سامانه‌های ادغامی (مدیترانه‌ای- سودانی) معرفی نموده‌اند.

ناظم‌السادات (۱۳۷۷) در مقاله‌ای با استفاده از روش‌های آماری، رابطه دمای سطح آب خلیج فارس با بارندگی‌های جنوب ایران را مورد مطالعه قرار داد. براساس این مطالعه، ۴۰٪ از کل تغییرات بارندگی جنوب ایران با تغییرات «دمای سطح آب» خلیج فارس توجیه می‌گردد. به عبارتی یک «همبستگی منفی» بین این دو وجود دارد. بنا به نظر این محقق کاهش دمای سطح آب خلیج فارس اختلاف فشار بین نواحی جنوبی ایران و قسمت‌های شمالی و غربی عربستان را کاهش داده و حرکت توده هوای سودانی و بارش کوهساری ناشی از صعود این توده هوا بر روی کوه‌های زاگرس و نواحی جنوب غرب و جنوب ایران را به دنبال دارد (ناظم‌السادات، ۱۳۷۷). به نظر می‌رسد پذیرش این نظریه نیازمند مطالعات بیشتری باشد، چرا که ادله‌های فیزیکی، دینامیکی و سینوپتیکی لازم برای پذیرش آن از قوت چندانی برخوردار نیست. البته شاید در اینجا اشاره به تحقیق لوئیس و کاوامورا^۱ (۲۰۰۲) بر روی دریای عمان و منطقه‌ای در شرق تنگه هرمز خالی از لطف نباشد. آنها با استفاده از داده‌های سنجنده‌های ماهواره‌ای (AVHRR/ERS-1) دمای سطح آب و ویژگی‌های باد در سطح دریا را برای فصل زمستان مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که هر قدر مونسون زمستانی (بادهای سرد شمالی) بر روی دریای عمان مداوم‌تر و شدیدتر باشد، میزان گرمای از دست رفته از سطح دریا افزایش یافته و متعاقب آن دمای سطح دریا کاهش بیشتری نشان می‌دهد. به طوری که گرادیان حرارتی بین هوا و دریا در ماه ژانویه به حداکثر خود یعنی ۱۳ درجه سانتی‌گراد می‌رسد.

این فرآیند در فصل تابستان نیز در نتیجه استقرار جت سوماتلی بر روی دریای عرب و اقیانوس هند مشاهده می‌شود (Halpern & Woiceshyn, 2001). به دنبال این فرآیند، گرمای از دست رفته از سطح دریا به ۴۰ وات در مترمربع می‌رسد که در نهایت دمای سطح آب کاهش یافته و به حدود ۲۳ درجه می‌رسد. به نظر می‌رسد هوایی که طی این فرآیند رطوبت کسب می‌کند، پتانسیل بالایی برای فعال کردن سامانه‌های کم فشار در منطقه داشته باشد. بنابراین کاهش دمای سطح آب در اینجا نتیجه نوع الگو و میزان شدت و تداوم جریان هوا بر روی سطح دریاست (Luis & Kawamura, 2002). شکل ۵a و ۵b در مقاله حاضر که به ترتیب نقشه متوسط جهت و سرعت باد و نم ویژه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برای تعداد ۱۸ توفان با منشأ سودانی است می‌تواند گواه خوبی برای این مدعا باشد. در واقع در نقد نظریه ناظم‌السادات می‌توان گفت که کاهش دمای آب خلیج فارس نه از این جهت که کاهش گرادیان فشار بر روی منطقه را در پی دارد بلکه از این جهت که بر اساس فرآیند فوق‌الذکر، خلیج فارس همراه با منابع رطوبتی شرق شبه جزیره عربستان در تغذیه رطوبتی سامانه‌های کم فشار سودانی نقش دارد، دارای اهمیت است. کیانی پور (۱۳۷۹) در یک بررسی سینوپتیکی میزان فعالیت سامانه‌های کم فشار سودانی را در سال‌های ال نینو و لائینو در مناطق جنوب و جنوب غرب کشور مورد مطالعه قرار داده و در نهایت پدیده ال نینو با کمبود بارش در منطقه جنوب غرب ایران و کاهش فعالیت کم فشار سودان مرتبط دانسته است. لازم به ذکر است که نتیجه فوق متفاوت با نتایجی است که سایر پژوهشگران در منطقه خاورمیانه (Alpert & Reisin, 1986; Kahya, 2001; Price et al, 1998; Turkes, 1998) و ایران (مدرس پور، ۱۳۷۵؛ خوش اخلاق، ۱۳۷۷b؛ ناظم‌السادات، ۱۳۷۸؛ استوارمیمندی، ۱۳۷۹؛ عزیزی، ۱۳۷۹؛ میرافضلی، ۱۳۷۹؛ Nazemosadat, 2000) به دست آورده‌اند. هر چند که هیچ کدام از این پژوهش‌ها به طور مستقل منطقه جنوب و جنوب غرب ایران را مورد بررسی قرار ندادند و در عین حال غالباً از روش‌های آماری برای مطالعه خود استفاده نموده‌اند، ولی نتایج این تحقیق در رابطه با وقوع دوره‌های مرطوب و ارتباط آن با پدیده لائینو نیز با مطالعات اخیر همخوانی ندارد. چرا که جدیدترین خشکسالی ایران و جنوب غرب آسیا (خشکسالی ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱) با یکی از طولانی‌ترین و قوی‌ترین لائینوهای نیم قرن اخیر مرتبط دانسته شده است (Barlow et al, 2002; Waple et al, 2002). با وجود این، یافته‌های کیانی پور (۱۳۷۹) در

رابطه با میزان فعالیت کم فشار سودانی و برخی پژوهش‌های اخیر در رابطه با بارش‌های فصل زمستان (ژانویه، فوریه، مارس) در خاورمیانه (Xoplaki, 2001; Quaderlli et al., 2002; 2004) و ایران (Nazemosadat, 2001) همچنان بحث در این زمینه را باز گذاشته است.

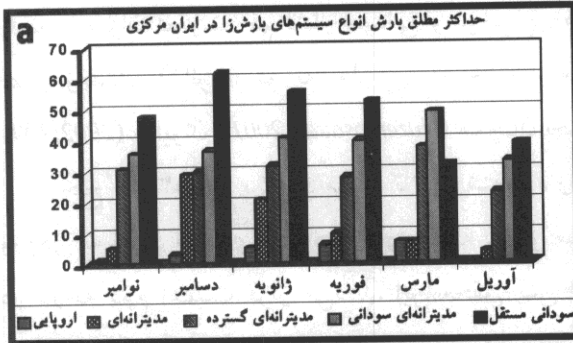
خلیج (۱۳۸۱) در بررسی میزان تأثیر رشته کوه زاگرس بر روی سامانه‌های کم فشار ورودی به ایران مرکزی، کم فشارهای منطقه دریای سرخ را پس از چرخندهای مدیترانه‌ای در درجه دوم اهمیت قرار می‌دهد. این محقق پس از مطالعه یک دوره ۲۰ ساله، تعداد سامانه‌های کم فشار ورودی به کشور را (در دوره سرد سال) حدود ۳۵ سامانه تعیین نموده است که نسبت سامانه‌های کم فشار دریای سرخ و سودان (نوع مستقل) از ۵/۴ تا ۱۲ درصد در ماه‌های مختلف تغییر می‌کند. در حالی که بیشترین فراوانی سامانه‌های کم فشار در ایران مرکزی مربوط به چرخندهای مدیترانه شرقی است، ولی شدیدترین بارش‌های منطقه به ترتیب متعلق به کم فشار دریای سرخ و کم فشارهای ترکیبی (مدیترانه-سرخ) دانسته شده است. این موضوع در شکل ۲a به خوبی نشان داده شده است. بنابر تحقیق او ماه دسامبر و فصل زمستان (ژانویه، فوریه و مارس) به ترتیب بیشترین درصد فعالیت کم فشارهای دریای سرخ را در ایران مرکزی را به خود اختصاص می‌دهد (خلیج، ۱۳۸۱).

جنبه‌های اقلیمی سامانه‌های کم فشار سودانی در سال ۱۳۸۱ در پروژه‌ای توسط سازمان هواشناسی کشور مورد توجه قرار گرفت. از جمله نتایج مهم این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

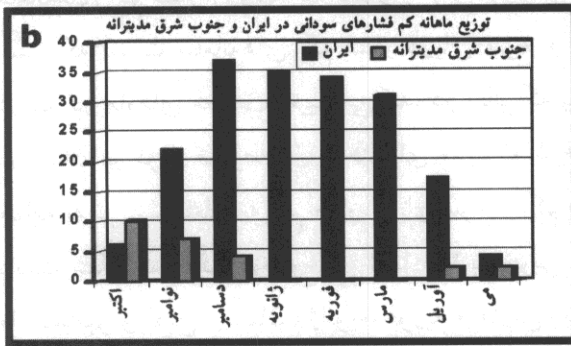
- در تحلیل آماری کم فشارها، تغییرات سال به سال زیادی در تعداد سامانه‌ها مشاهده می‌شود. به طوری که تعداد سالانه آنها بین حداکثر ۱۶ و حداقل ۲ سامانه در نوسان بوده است (بدین ترتیب با توجه به تعداد ۱۸۷ سامانه سودانی مورد مطالعه متوسط سالانه تعداد کم فشارهای سودانی بین ۸ تا ۹ سامانه خواهد بود).

- از نظر توزیع ماهانه، بیشترین تعداد سامانه‌ها در دوره مطالعه مربوط به ماه دسامبر (۳۷ مورد) و سپس به ترتیب ژانویه، فوریه و مارس می‌باشد (شکل ۲b). نتایج فوق کار خلیج (۱۳۸۱) را در این رابطه تأیید می‌کند.

- در بررسی محور ناوه برای ترازهای مختلف ۷۰۰، ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال مشخص شد که در زمان شروع بارش، عمدتاً محور ناوه در حد فاصل شرق مصر و غرب عربستان (حدود ۳۰ تا ۴۰ درجه طول شرقی) با امتداد شمالی-جنوبی استقرار می‌یابد.



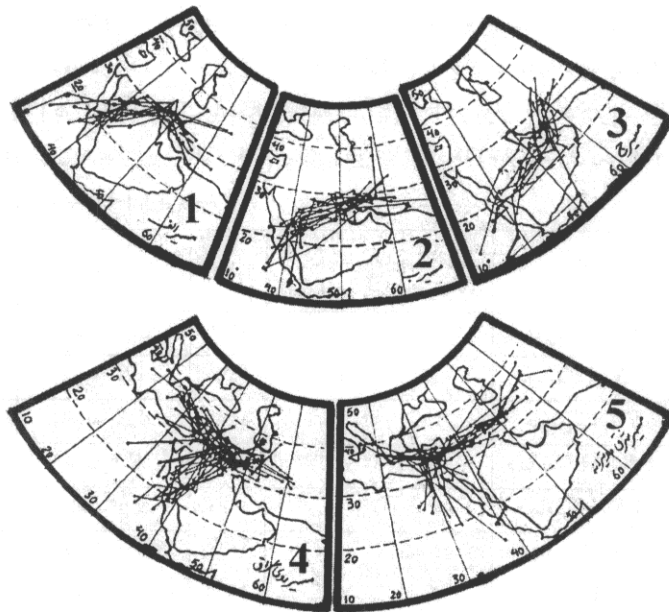
شکل ۲ a- حداکثر مطلق بارش انواع سامانه‌های بارش‌زا در مناطق مرکزی ایران (خلج، ۱۳۸۱)



b- توزیع ماهانه تعداد ۱۸۷ سامانه بارش‌زا با منشأ دریای سرخ در ایران (سازمان هواشناسی، ۱۳۸۱)

برای مقایسه، توزیع ماهانه تعداد ۲۵ سامانه سیل‌زا با منشأ دریای سرخ در جنوب شرق مدیترانه نیز برای یک دوره ۳۶ ساله (۱۹۶۵-۲۰۰۰) در شکل ۲b نشان داده شده است (Kahana, et al, 2002; Kahana et al, 2004).

- تعیین مسیر کم فشارهای سودانی موضوع دیگری است که در این تحقیق مورد توجه قرار گرفت. همانطوری که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، پنج مسیر اصلی برای ورود کم فشارهای سودانی به ایران تشخیص داده شد که سه مسیر آن مربوط به کم فشارهای مستقل (مسیرهای ۳، ۲، ۱) و دو مسیر دیگر یکی بر روی عراق (مسیر ۴) و دیگری بر روی شرق مدیترانه (مسیر ۵) به کم فشارهای ترکیبی تعلق دارند. کم فشارهای مستقل که حدود ۵۰٪ (۹۲ مورد) از کم فشارها را شامل می‌شوند از محدوده خلیج فارس (غرب، مرکز و شرق خلیج فارس) وارد کشور شده‌اند. نکته قابل ذکر اینکه علت اصلی تنوع مسیر کم فشارهای سودانی تفاوت در موقعیت محور ناوه در زمان گسترش و جابجایی این کم فشارها دانسته شده است. به عبارت دیگر موقعیت محور ناوه تعیین کننده مسیر ورود کم فشارهای سودانی به ایران دانسته شده است (سازمان هواشناسی، ۱۳۸۱؛ لشکری، ۱۳۸۱).



شکل ۳ مسیرهای اصلی ورود کم فشارهای سودانی به ایران (سازمان هواشناسی، ۱۳۸۱؛ لشکری، ۱۳۸۱)

مقایسه نتایج تحقیقات موجود در رابطه با ایران و شرق مدیترانه نکته جالبی را آشکار می‌سازد بدین ترتیب که تمامی محققان در مدیترانه شرقی معتقدند که سامانه‌های منطقه دریای سرخ در فصول انتقالی به خصوص ماه‌های اکتبر و نوامبر بیشترین فعالیت را دارند (Elfandy, 1948; 1950a; 1950b; 1952; Soliman, 1953; Dayan, 1986; Dayan etal, 2001; Alpert etal, 2002; 2004; Kahana etal, 2002; 2004; Ziv etal, 2004) حالی که نتایج تحقیق در ایران بیانگر آن است که این سامانه‌ها در ماه دسامبر و فصل زمستان از حداکثر فعالیت خود برخوردارند (سازمان هواشناسی، ۱۳۸۱؛ خلج، ۱۳۸۱).

تعیین الگوی سینوپتیکی غالب در زمان تشکیل و تکوین کم فشارهای سودانی

مواد و روش: جهت درک نحوه تشکیل و تکوین کم فشارها در منطقه دریای سرخ و تأثیر آنها در بارش‌های ایران، بر اساس مقادیر بارش ایستگاه‌های سینوپتیک کشور، تعداد ۱۸ توفان که از منطقه دریای سرخ و شمال شرق آفریقا منشأ گرفته است و دارای تداوم ۲ تا ۵ روزه بوده‌اند انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱). سپس نقشه‌های متوسط حاصل از بررسی تمامی طوفان‌ها در پایان هر مرحله تهیه گردید.

جدول ۱ مشخصات توفان‌های مورد بررسی و مدت تداوم آنها

در ستون مربوط به ماه، هریک از علائم [A,S,#, x, +,*] به ترتیب بیان‌کننده پرفشار منطقه اروپا [*]، پرفشار آلتوشن [+], در تراز ۵۰ هکتوپاسکال، پدیده بندآبی [x] در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، دو قسمتی بودن تاوه قطبی [#] در تراز ۵۰ هکتوپاسکال و منبع اصلی رطوبت توفان‌ها (جنوب شرقی سودان و غرب اتیوپی [S]، جنوب غرب دریای عرب [A]) می‌باشد.

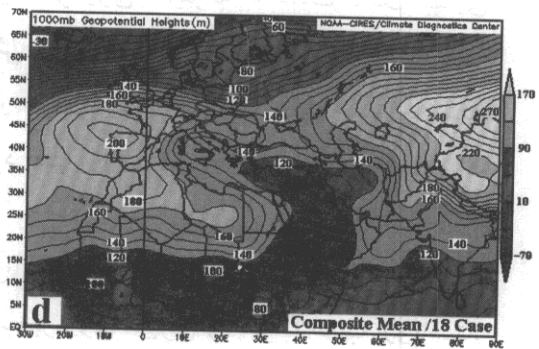
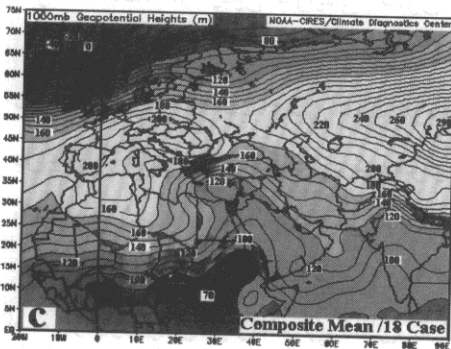
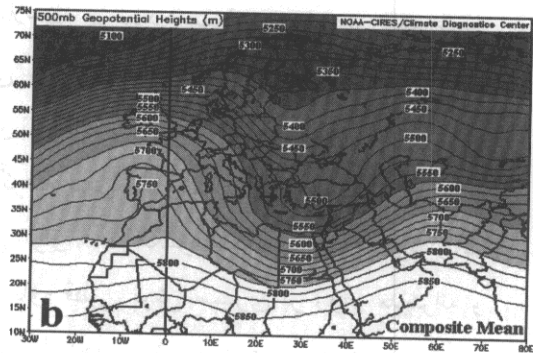
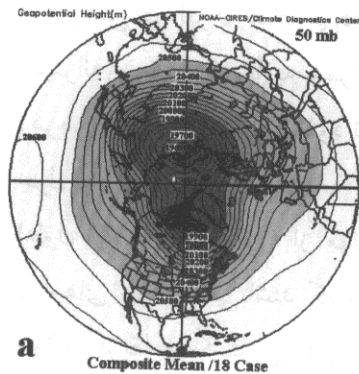
تداوم (روز)	سال	ماه	تاریخ وقوع	تراز (hPa)	تداوم (روز)	سال	ماه	تاریخ وقوع	تراز (hPa)
۵	۱۹۹۵	فوریه +*# S	۴-۸	۱۰	۴	۱۹۷۴	دسامبر *S	۴-۷	۱
۳	۱۹۹۵	دسامبر *x AS	۱۰-۱۲	۱۱	۳	۱۹۷۸	ژانویه AS	۸-۱۰	۲
۲	۱۹۹۸	مارس +*# S	۲۹-۳۰	۱۲	۳	۱۹۷۹	ژانویه AS	۹-۱۱	۳
۲	۲۰۰۱	دسامبر #x+* AS	۱-۲	۱۳	۳	۱۹۸۱	مارس *S	۲۶-۲۸	۴
۳	۲۰۰۴	دسامبر *x AS	۱۱-۱۳	۱۴	۳	۱۹۸۴	نوامبر *x S	۱۰-۱۲	۵
۵	۱۹۹۱	ژانویه #x+*# فوریه SA	۳۰-۳۱ ۱-۳	۱۵	۴	۱۹۸۴ ۱۹۸۵	دسامبر #x+* S ژانویه	۲۹-۳۰ ۱-۲	۶
۴	۲۰۰۴	دسامبر +x S	۲۵-۲۸	۱۶	۴	۱۹۸۶	نوامبر AS دسامبر	۲۹-۳۰ ۱-۲	۷
۴	۲۰۰۵	ژانویه *x S	۱۹-۲۲	۱۷	۴	۱۹۸۶	دسامبر *x AS	۱۸-۲۱	۸
۳	۲۰۰۵	مارس +*# S	۱۰-۱۲	۱۸	۲	۱۹۸۷	مارس #x+* S	۲-۳	۹

جهت تعیین الگوی سینوپتیکی غالب، نقشه‌های فشار سطح زمین، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۵۰ هکتوپاسکال، نقشه‌های سرعت و جهت باد (Vector) برای ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال، نقشه‌های مؤلفه باد مداری برای ترازهای ۵۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال، نم ویژه برای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال از مرکز پیش‌بینی اقلیمی آمریکا (NCEP/NCAR) با حد فاصل زمانی ۶ ساعت تهیه و بررسی شد (Kalnay et al, 1996; Kristler et al, 2001) و نتایج حاصل از بررسی تمامی توفان‌ها نیز در پایان هر مرحله به صورت نقشه‌های متوسط ارایه گردیده است. برای بررسی دقیق‌تر، تصاویر ماهواره‌ای مربوط به توفان‌های پس از سال ۱۹۹۰ نیز از سایت (<http://www.eumetsat.de/en/index.html>) تهیه گردید.

الگوی گردش غالب تراز بالا در زمان وقوع طوفان‌ها

شکل ۴a الگوی گردش متوسط تراز ۵۰ هکتوپاسکال را برای تعداد ۱۸ توفان با منشأ سودانی نشان می‌دهد. به طور کلی در ۱۵ مورد از ۱۸ توفان مورد بررسی، پرفشار یا

پشته‌ای بر روی شمال شرق اقیانوس اطلس و غرب اروپا یا بر روی آلتوشن در تراز ۵۰ هکتوپاسکال (پوش سپهر تحتانی) تاوه قطبی را از شکل متقارن خود خارج نموده و موجب عمیق شدن آن بر روی اروپا و مدیترانه گردیده است (جدول ۱). این امر موجب افزایش مقادیر تاوایی پتانسیل بر روی منطقه مدیترانه شده، شیب فشار را در وردسپهر فوقانی افزایش داده و در نهایت جت جنب حاره را تقویت نموده است. در این میان سهم پشته اروپایی به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از پشته مستقر بر روی آلتوشن می‌باشد (شکل a f).



شکل ۴ شامل‌های ۴a و ۴b به ترتیب وضعیت سینوپتیکی متوسط تراز ۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در زمان وقوع بارش و شکل‌های ۴c و ۴d وضعیت سینوپتیکی متوسط تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال را به ترتیب قبل از شروع و در زمان اوج بارش ایستگاه‌های ایران برای تعداد ۱۸ توفان با منشأ سودانی نشان می‌دهند.

نکته دیگر آنکه در مواردی که پشته اروپایی گسترش قابل ملاحظه‌ای به سمت قطب پیدا نموده توفان‌ها از تداوم ۴ تا ۵ روزه برخوردارند. گسترش به سمت قطب پشته منطقه اروپا و کشیدگی تاوه قطبی ناهنجاری‌های قابل ملاحظه‌ای را در الگوی گردش در

سرتاسر وردسپهر نیمکره شمالی موجب شده است. به طوری که در تعداد ۱۰ توفان پدیده بندآئی (بلاکینگ) بر روی اروپا و غرب روسیه در وردسپهر مشاهده می‌شود (جدول ۱). در واقع کشیدگی تاوه قطبی منبع اصلی تاوایی برای پیدایش الگوی گردش نابهنجار بر روی منطقه اروپا، مدیترانه و شمال آفریقا است.

الگوی گردش مقیاس منطقه ای

شکل ۶b الگوی متوسط تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را برای تعداد ۱۸ توفان در زمان اوج بارش در ایران نشان می‌دهد. چنانکه ملاحظه می‌شود استقرار پشته‌ای بر نیمه غربی مدیترانه و غرب اروپا به همراه ناوه عمیقی بر شرق مدیترانه که تا دریای سرخ میانی (عرض ۱۸ درجه شمالی) نفوذ نموده و محور ناوه آن با امتدادی تقریباً شمالی - جنوبی در حول و حوش طول ۳۰ درجه شرقی قرار گرفته همراه با پشته‌ای بر جنوب شرق ایران (طول ۶۰ درجه شرقی) از مؤلفه‌های اصلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای گسترش کم فشارهای سودانی می‌باشند که به دنبال نفوذ تاوه قطبی پوش سپهری بر روی مدیترانه و شمال آفریقا و گسترش پایین سوی گردش نابهنجار پوش سپهری به وردسپهر شکل گرفته است. در چنین شرایطی الگوی جریان بر روی مدیترانه به شدت نصف‌النهاری است و پشته‌ای تا اروپای مرکزی گسترش یافته است و متعاقباً با ایجاد جریان‌های شمالی - جنوبی موجب عمیق شدن ناوه‌ای در شرق مدیترانه می‌گردد. ناوه عمیق یاد شده در جانب غربی خود امکان ریزش هوای سرد قطبی را از عرض‌های بالا بر روی مدیترانه و سواحل شمالی آفریقا فراهم می‌آورد.

بررسی الگوی متوسط تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مربوط به تعداد ۱۸ توفان نشان‌دهنده استقرار دو مرکز پرارتفاع (پرفشار) به ترتیب بر روی سیبری و جنوب غرب اروپاست. این مراکز قبل از وقوع توفان‌ها از شدت بیشتری برخوردار بوده‌اند و در نتیجه به هم پیوستن آنها، یک کمربند پرفشار از سیبری تا غرب اروپا شکل گرفته است (شکل ۴c). در این زمان کم فشار سودان با کنتور بسته مرکزی ۷۰ ژئوپتانسیل متر (حدود ۱۰۰۸ هکتوپاسکال) در غرب فلات اتیوپی و بر روی سودان جنوبی مستقر است و زبانه‌های آن به سمت شرق مدیترانه گسترش یافته است (شکل ۴c). در زمان شروع بارش‌های ایران ضمن نصف‌النهاری شدن گسترش پرفشار سیبری و جابجایی به سمت غرب پرفشار

مستقر بر روی اروپا (پرفشار آزور)، زبانه‌های کم فشار سودانی تمامی مناطق جنوب غرب و غرب کشور را تحت نفوذ خود قرار داده است (شکل ۴d). نکته دیگر اینکه از قبل از شروع توفان‌ها زبانه پرفشاری (کنتور ۱۲۰ ژئوپتانسیل متر حدود ۱۰۱۴ هکتوپاسکال) از سمت شرق کشور بر روی دریای عمان تا جنوب دریای عرب نفوذ نموده و در زمان اوج بارش تقویت گردیده و گردش و اچرخندی را بر روی دریای عرب و شرق شبه جزیره عربستان موجب شده است. این زبانه به همراه زبانه پرفشاری که بر روی صحرای آفریقا به سمت شرق پیشروی نموده تقویت و گسترش به سمت شمال شرق سامانه سودانی را به دنبال داشته است (شکل ۴d).

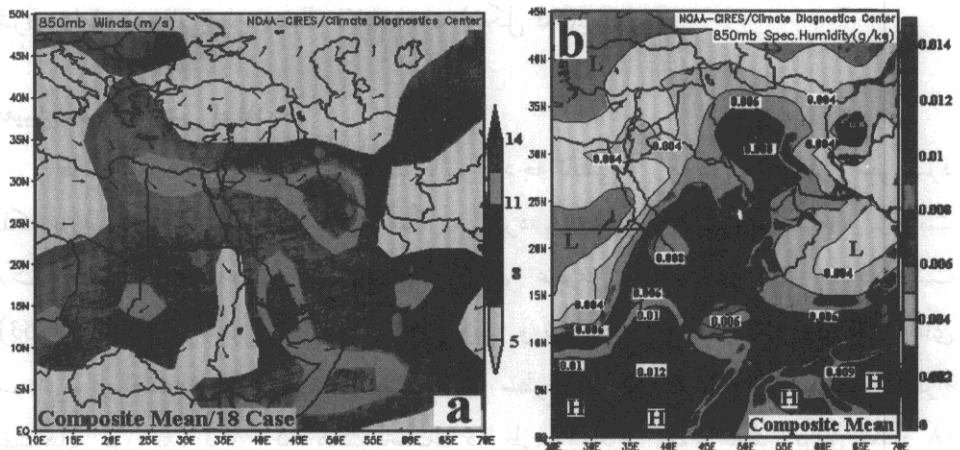
تعیین منبع رطوبتی توفان‌ها

اقلیم یک مکان معین صرفاً تحت تأثیر بودجه تابشی و رطوبتی محلی قرار نمی‌گیرد بلکه به طور قطع از پدیده فرارفت متأثر می‌گردد. بدین ترتیب بودجه گرما و رطوبت یک مکان معین ارتباط نزدیکی با حالت گردش عمومی جو در آن منطقه خواهد داشت (Reiter, 1963). به همین منظور در تعیین منشأ و نیز نحوه انتقال رطوبت در سامانه‌های سودانی، از نقشه‌های جهت و سرعت باد در سطوح ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال به همراه نقشه‌های نم ویژه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در طی روزهای وقوع بارش برای تعداد ۱۸ توفان استفاده گردید.

شکل ۵a الگوی گردش متوسط تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال را برای تعداد ۱۸ توفان در زمان اوج بارش‌ها در ایران نشان می‌دهد. بررسی نقشه متوسط زمان اوج بارش‌ها (شکل ۵a) نشان می‌دهد که علاوه بر وجود گردش و اچرخندی بر روی دریای عرب و شرق عربستان، سرعت متوسط باد بر روی منطقه خلیج فارس و نیمه جنوبی دریای سرخ در زمان گسترش سامانه‌ها بر روی ایران به طور قابل ملاحظه‌ای بالاست. گردش و اچرخندی به همراه سرعت جریان بالا در جنوب دریای سرخ و خلیج فارس نقش قابل ملاحظه‌ای در انتقال رطوبت و گرما و تکوین کم فشارهای سودانی دارد. لازم به ذکر است که با توجه به مشابهت الگوی جریان تراز ۷۰۰ با تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال از آوردن نقشه آن صرف‌نظر گردیده است.

به منظور دریافت یک دید کلی از منشأ رطوبتی سامانه‌های سودانی نقشه متوسط نم

ویژه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال از ترکیب تعداد ۱۸ توفان در زمان اوج بارش‌های ایران تهیه گردید (شکل ۵b). همان‌طوری که شکل ۵b نشان می‌دهد منبع اصلی رطوبت سامانه‌های کم فشار سودانی در درجه اول مناطق حاره‌ای شرق آفریقا (جنوب شرق سودان و غرب اتیوپی) و سپس نیمه جنوبی دریای عرب می‌باشد که در مسیر خود در منطقه دریای سرخ و خلیج فارس تقویت می‌شود. حداکثر رطوبت ورودی به ایران نیز در منطقه جنوب غرب کشور به خصوص بر روی استان‌های کهگیلویه و بویر احمد و چهارمحال و بختیاری به میزان ۸ گرم در هزارگرم (کیلوگرم) در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشاهده می‌گردد.



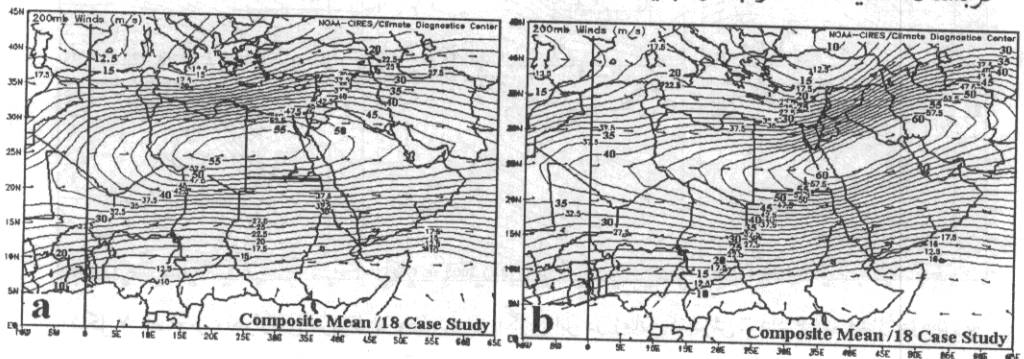
شکل ۵ شکل ۵a جهت و سرعت متوسط باد و شکل ۵b متوسط نم ویژه و فرارفت رطوبت را در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال حاصل از ترکیب تعداد ۱۸ توفان در زمان اوج بارش‌های ایران نشان می‌دهد. حرف H نشان‌دهنده نم ویژه بالا و حرف L نشان‌دهنده نم ویژه پایین و هوای خشک (گرم در هزارگرم) است.

تأثیر جت جنب حاره در تکوین و گسترش توفان‌ها

تاکنون تحقیقات زیادی نقش جت جنب حاره را در تکوین و گسترش کم‌فشارها مورد توجه قرار داده‌اند و الگوی گردش هوا در وردسپهر فوقانی را به عنوان یکی از عوامل اولیه در تشکیل و گسترش کم‌فشارها در منطقه خاورمیانه دانسته‌اند (Habtemichael & Pedgely, 1974; Dayan & Abramsky, 1983; Krichak & Alpert, 1994). (Membery, 1997; Krichak et al, 1997a; Krichak and Alpert, 1998; Ziv, 2001)

از این رو الگوی جریان وردسپهر فوقانی در زمان تشکیل و تکوین کم فشارهای منطقه دریای سرخ مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور محور جت جنب حاره و

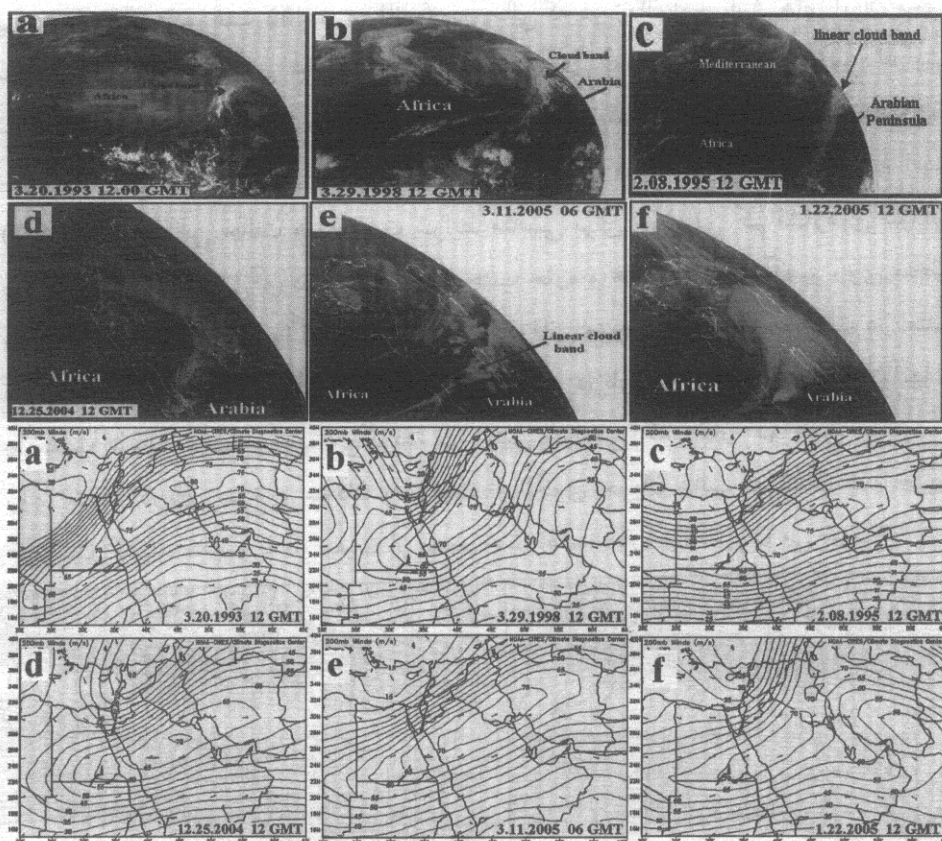
موقعیت هسته سرعت آن در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکالی (که بنا به نتایج تحقیق‌های موجود بهترین تراز برای تشخیص و مطالعه جت جنب حاره‌ای است (Krishnamurti, 1961) برای تعداد ۱۸ توفان با منشأ منطقه دریای سرخ و سودان بر روی شمال آفریقا و خاورمیانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی به صورت نقشه متوسط از موقعیت، جهت و سرعت جت جنب حاره بر روی شمال آفریقا و خاورمیانه برای زمان قبل از شروع بارش و زمان اوج بارش‌های ایران تهیه شد. همان‌طوری که شکل ۶a نشان می‌دهد هسته سرعت جت قبل از شروع بارش در غرب دریای سرخ قرار گرفته و دارای محوری مداری بوده و البته از سرعت کمتری نیز برخوردار است (سرعت ۵۵ متر بر ثانیه). در حالی که در زمان اوج بارش‌های ایران محور جت جنب حاره امتدادی جنوب غربی- شمال شرقی به خود گرفته و ضمن افزایش سرعت (سرعت متوسط ۶۰ متر بر ثانیه) کاملاً به سمت شرق جابجا شده و هسته سرعت جت بر روی خاورمیانه در حد فاصل دریای سرخ تا مرکز ایران استقرار یافته است (شکل ۶a). در این حالت هسته جت شرایط مناسبی برای جابجایی کم فشارهای سودانی در خاورمیانه فراهم می‌آورد. استقرار جت جنب حاره و هسته سرعت آن بر روی مناطق مذکور به جهت افزایش واگرایی در وردسپهر فوقانی موجب تقویت و حرکت در امتداد قائم و گسترش مناطق همگرایی کم عمق در منطقه دریای سرخ شده و جابجایی آنها را به سمت شمال شرق موجب می‌گردد. در چنین شرایطی کم فشار کم عمق موجود بر روی منطقه دریای سرخ و سودان به تبعیت از الگوی جریان غالب به شمال شبه جزیره عربستان کشیده شده و به از تبعیت از محور جت جنب حاره وارد ایران می‌شود.



شکل ۶ جهت و سرعت متوسط جریان در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال برای تعداد ۱۸ توفان با منشأ سودانی به ترتیب قبل از شروع بارش (شکل ۶a) و در زمان اوج بارش‌های ایران (شکل ۶b) نشان داده شده است.

تصاویر ماهواره‌ای توفان‌ها

شکل ابر در تصاویر ماهواره‌ای مربوط به تعداد ۶ کم فشار سودانی در شکل ۷ نشان داده شده است. شکل‌های ۷a الی ۷f به ترتیب شکل ابر را برای تعداد ۶ کم فشار در زمان بارش بر روی ایران نشان می‌دهد. در تصاویر ماهواره‌ای، ابرها عمدتاً به صورت نواری از جنوب غرب به سمت شمال شرق کشیده شده‌اند. جهت درک هرچه بهتر این شکل خاص ابرها در سامانه‌های سودانی، وضعیت جت جنب حاره در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال برای هریک از تصاویر (با همان حرف) در شکل ۷ آورده شده است.



شکل ۷ تصاویر ماهواره‌ای مربوط به وضعیت و الگوی ابر در زمان گسترش تعداد ۶ کم فشار سودانی به همراه نقشه‌های تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال آنها. وضعیت جت جنب حاره برای هریک از تصاویر برای سهولت مطالعه با همان حرف آورده شده است (ساعت به وقت گرینویچ).

مقایسه شکل ابر در هریک از تصاویر ماهواره‌ای با محور جت جنب حاره و موقعیت هسته سرعت آن در خاورمیانه بیان‌کننده این واقعیت است که مسیر حرکت کم فشارهای سودانی در خاورمیانه توسط محور جت جنب حاره و موقعیت هسته سرعت آن کنترل می‌شود.

نتیجه‌گیری

شناخت اجزای یک سامانه اقلیمی و درک قانونمندی‌های حاکم بر آن امکان تحلیل و پیش‌بینی مطلوب آن را فراهم می‌سازد. در یکی دو دهه اخیر بررسی بارش‌های سیل‌زا در مناطق مختلف کشور بر نقش سامانه‌های کم فشار منطقه دریای سرخ به عنوان یکی از ساز و کارهای مؤثر بر اقلیم ایران تأکید دارد. یافته‌های تحقیق ویژگی‌های بارز سامانه‌های کم فشار منطقه دریای سرخ را به عنوان یکی از اجزای الگوی گردش منطقه‌ای جو در اقلیم دوره سرد ایران و خاورمیانه بیان می‌کند:

- کم فشارهای منطقه دریای سرخ کم فشارهای کم عمقی هستند که تنها با مساعدت الگوی گردش در تراز فوقانی و میانی جو امکان گسترش و جابجایی آنها به سمت ایران وجود دارد.

- با توجه به بررسی تعداد ۱۸ توفان با منشأ سودانی، وجود پشته‌ای بر روی نیمه غربی مدیترانه و غرب اروپا به همراه ناوه عمیقی بر شرق مدیترانه که تا دریای سرخ میانی (حدود ۱۸ درجه شمالی) نفوذ نموده و محور ناوه آن در حول و حوش طول ۳۰ درجه شرقی قرار گرفته، همراه با پشته‌ای بر جنوب شرق ایران (حدود ۶۰ درجه طول شرقی) از مؤلفه‌های اصلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای گسترش کم فشارهای سودانی می‌باشند (شکل f b) که به دنبال نفوذ تاوه قطبی پوش سپهری بر روی اروپا و مدیترانه (شکل f a) و گسترش پایین سوی گردش ناهنجار پوش سپهری به وردسپهر شکل گرفته است. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد وجود پشته‌ای بر روی اروپا در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با نفوذ جبهه سرد چرخندهای برون حاره بر روی نوار شمالی ایران (مفیدی، ۱۳۷۹) و همچنین با وقوع دوره‌های مرطوب در ایران (مرادی، ۱۳۸۰) در ارتباط است.

- پشته مستقر در شرق عربستان و دریای عرب در تراز میانی به همراه پیشروی زبانه پرفشار سیبری از نیمه شرقی کشور در تراز پایین وردسپهر بر روی دریاها و شرق عربستان (شکل f) با ایجاد الگوی گردش و اچرخندی بر روی دریای عمان و دریای عرب (شکل ۵a) نقش اصلی را در تغذیه رطوبتی سامانه‌های سودانی بر عهده دارد.

• موقعیت هسته جت جنب حاره در خاورمیانه و امتداد محور آن در ترازهای فوقانی وردسپهر ضمن کنترل الگوی گردش تراز میانی، مسیرهای ورود کم فشارهای سودانی به ایران را کنترل می‌کند (شکل ۷).

• بیشترین فراوانی وقوع کم فشارهای سودانی در ایران در درجه اول مربوط به ماه دسامبر (آذر) و سپس فصل زمستان می‌باشد (شکل ۲). به نظر می‌رسد افزایش تعداد سامانه‌های سودانی با جابجایی سریع و حرکت به سمت جنوب جت جنب حاره در خاورمیانه در ماه دسامبر در ارتباط باشد (فائمی، ۱۳۴۹؛ Walker, 1967).

• شکل ابر در زمان گسترش سامانه‌های سودانی بر روی خاورمیانه به جهت تبعیت از الگوی جریان ترازهای فوقانی وردسپهر عمدتاً به صورت نواری از جنوب غرب به سمت شمال شرق کشیده می‌شود (شکل ۷). این ویژگی در تحقیق اخیر بارت و اشتینکهل نیز به خوبی نشان داده شده است (Barth & Steinkohl, 2004). در این رابطه شکل ابر در سامانه‌های سودانی با محور جت جنب حاره و موقعیت هسته سرعت آن در خاورمیانه انطباق خوبی را نشان می‌دهد.

• با توجه به بررسی تعداد ۱۸ توفان، منبع رطوبتی کم فشارهای سودانی در درجه اول مناطق حاره‌ای شرق آفریقا (جنوب شرق سودان و غرب اتیوپی) و سپس قطاع جنوب غربی دریای عرب می‌باشد که در مسیر خود در منطقه دریای سرخ و خلیج فارس تقویت می‌شود. حداکثر رطوبت ورودی به ایران نیز در منطقه جنوب غرب کشور به خصوص بر روی استان‌های کهگیلویه و بویر احمد و چهارمحال و بختیاری مشاهده می‌گردد (شکل ۵b).

تشکر و قدردانی

در نوشتن این مقاله از راهنمایی‌های ارزشمند استاد گرامی جناب آقای دکتر هوشنگ قائمی بهره‌های فراوانی برده‌ایم. بدینوسیله مراتب سپاس خود را از آن استاد فرزانه اعلام می‌داریم. از پروفسور یوری دایان به خاطر ارسال مقالات ارزشمندشان و از جناب آقای بیستونی، مسؤول بخش تکثیر مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران به جهت مساعدت لازم برای تهیه و تکثیر مقالات کمال تشکر را داریم.

پی‌نوشت‌ها

۱. نصیری در رساله خود تنها دو حوضه کرخه و دز را مورد مطالعه قرار داده است.

منابع و مآخذ

۱. استوار میمندی، ابراهیم (۱۳۷۹)؛ ال نینو و رابطه آن با بارش‌های ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
۲. الفت، علی‌اکبر (۱۳۴۷)؛ وضع هوای ایران در سال گذشته، نیوار، صفحه ۳۱ - ۲۹ و ۳ - ۶۲.
۳. امیدوار، کمال (۱۳۸۰)؛ تحلیل سینوپتیکی سیستم‌های بارانزا و امکان افزایش بارش آنها به وسیله باروری ابرها در منطقه کرمان، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۰، صفحه ۳۲ - ۱۹.
۴. امیری، هدایت (۱۳۷۸)؛ بررسی سینوپتیکی بارش‌های سیل‌زا در حوضه آبریز رودخانه زهره، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی.
۵. انصاری، سپهدار (۱۳۸۲)؛ بررسی سینوپتیکی سیستم‌های سیل‌زا در حوضه‌های آبریز منطقه کهگیلویه و بویراحمد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت معلم.
۶. ایزد ننگهدار، زهرا (۱۳۷۰)؛ بررسی سینوپتیکی بعضی از سیستم‌های مدیرانه‌ای مخصوص و اثرات آن بر روی ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
۷. تقی‌زاده، حبیب (۱۳۶۶)؛ بررسی سیل پاییز ۶۵ از نظر هواشناسی، رشد آموزش زمین‌شناسی، شماره ۶، صفحه ۵۶ - ۵۱.
۸. پرنده، اکرم (۱۳۷۸)؛ بررسی سینوپتیکی سیستم‌های سیل‌زا در حوضه آبریز رودخانه دالکی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
۹. حجتی‌زاده، رحیم (۱۳۸۱)؛ بررسی سینوپتیکی سیلاب رودهای دامنه غربی زاگرس (با تأکید بر حوضه‌های کرخه و کارون-دز)، رساله دکتری جغرافیای طبیعی (آب و هواشناسی)، دانشگاه اصفهان.
۱۰. خلیج، علی (۱۳۸۱)؛ تحلیلی بر تأثیر رشته‌کوه زاگرس روی سیستم‌های سینوپتیکی مؤثر بر اقلیم ایران مرکزی، رساله دکتری جغرافیای طبیعی (آب و هواشناسی)، دانشگاه تربیت مدرس.
۱۱. خلیلی، علی (۱۳۸۰)؛ طرح جامع آب کشور، جلد اول- بررسی بنیادی بارندگی ایران (بخش اول)، شرکت مهندسین جاماب، وزارت نیرو.
۱۲. خوش اخلاق، فرامرز (۱۳۷۶)؛ بررسی الگوهای ماهانه خشکسالی و ترسالی در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۵، صفحه ۱۵۴ - ۱۳۶.
۱۳. خوش اخلاق، فرامرز (۱۳۷۵)؛ تحقیق در خشکسالی‌های فراگیر ایران با استفاده از تحلیل سینوپتیکی، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز.
۱۴. خوش اخلاق، فرامرز (۱۳۷۵b)؛ پدیده انسو و تأثیر آن بر رژیم بارش ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۱، صفحه ۱۳۹ - ۱۲۱.
۱۵. چوخاچی‌زاده مقدم، محمد باقر (۱۳۷۶)؛ بررسی الگوهای سینوپتیکی فرابار سیبری و اثرات آن بر دمای شمال شرق ایران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران.
۱۶. رثوفی فرد، محمود (۱۳۷۶)؛ بررسی سینوپتیکی سیل در استان قم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

۱۷. سازمان هواشناسی کشور (۱۳۷۷)؛ سیل و شرایط جوی وقوع آن در استان خوزستان (گزارش پروژه) منتشر نشده، بدون شماره.
۱۸. سازمان هواشناسی کشور (۱۳۸۱)؛ بررسی سینوپتیکی تکوین، تقویت و گسترش کم فشارهای سودانی مؤثر بر روی ایران، گزارش منتشر نشده، شماره ۳۵۷، ۱۰۷ صفحه.
۱۹. سازمان هواشناسی کشور، داده‌های بارش روزانه مربوط به توفان‌های مورد مطالعه.
۲۰. سبزی‌پرور، علی‌اکبر (۱۳۷۰)؛ بررسی سینوپتیکی سیستم‌های سیل‌زا در جنوب غرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
۲۱. عبدالحسینی، محمدعلی (۱۳۵۸)؛ مسیر و اثرات کم‌فشارها بر روی ایران در زمستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
۲۲. عزیزی، قاسم (۱۳۷۹)؛ ال نینو و دوره‌های خشکسالی و ترسالی در ایران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۸، صفحه ۷۱-۸۴.
۲۳. فرجی، اسماعیل (۱۳۶۰)؛ بررسی مسیر سیستم‌های فشار کم باران‌زا بر روی ایران و ارایه الگوهایی از موقعیت و چگونگی حرکت آنها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
۲۴. فرشی فروغ، جواد (۱۳۵۶)؛ کلیما تولوژی سینوپتیکی آذربایجان، پایان کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
۲۵. قائمی، هوشنگ (۱۳۴۹)؛ بادهای شدید سطوح فوقانی در منطقه خاورمیانه، نیوار، صفحه ۸۲-۷۷.
۲۶. کیانی‌پور، منیژه (۱۳۷۹)؛ بررسی سینوپتیکی پدیده ال نینو و ارتباط آن با ناهنجاری بارش‌های جنوب و جنوب غرب کشور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
۲۷. لشکری، حسن (۱۳۷۵)؛ الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید در جنوب غرب ایران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
۲۸. لشکری، حسن (۱۳۸۱)؛ مسیریابی سامانه‌های کم فشار سودانی ورودی به ایران، مدرس (ویژه‌نامه جغرافیا)، دوره ششم، شماره دوم، صفحه ۱۵۶-۱۳۳.
۲۹. لشکری، حسن (۱۳۸۲)؛ مکانیسم تکوین، تقویت و توسعه مرکز کم‌فشار سودان و نقش آن بر روی بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۶، صفحه ۱۸-۱.
۳۰. مبین، محمدحسین (۱۳۷۸)؛ بررسی وضعیت بارش و امکان افزایش آن در حوضه آبی زاینده‌رود، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان.
۳۱. مدرس‌پور، آزاده (۱۳۷۵)؛ ناهنجاری‌های اقلیمی ایران و پدیده انسو، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه آزاد واحد تهران شمال.
۳۲. مرادی، حمیدرضا (۱۳۸۰)؛ تحلیل سینوپتیکی تاوه قطبی و اثرهای آن بر اقلیم ایران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
۳۳. مفیدی، عباس (۱۳۷۸)؛ کم‌فشار سودانی مکانیسم بارش‌زا در جنوب و جنوب غرب ایران، نشریه جغرافیا، شماره ۱، آموزش و پرورش منطقه ۱۷، صفحه ۵۵-۴۷.

۳۴. مفیدی، عباس (۱۳۷۹)؛ بررسی سینوپتیکی نقش دریای سیاه در بارش ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه آزاد واحد تهران مرکز.
۳۵. مفیدی، عباس (۱۳۸۲)؛ اقلیم‌شناسی سینوپتیکی بارش‌های سیل‌زا با منشأ منطقه دریای سرخ در خاورمیانه، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، زیر چاپ.
۳۶. مولا، عباس (۱۳۷۴)؛ بررسی سینوپتیکی-دینامیکی سیل کرمان در بهمن ۱۳۷۱، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
۳۷. میرافضلی، لیلی (۱۳۷۹)؛ اثر ال نینو ۸۳-۱۹۸۲ بر روی آب و هوای ایران، فیزیک زمین و فضا، جلد ۲۶، شماره ۲، صفحه ۹۶-۸۵.
۳۸. ناظم‌السادات، سید محمد جعفر (۱۳۷۷)؛ بررسی تأثیر دمای سطح آب خلیج فارس بر بارندگی‌های جنوب ایران، نیوار، شماره ۳۸، صفحه ۴۶-۳۳.
۳۹. ناظم‌السادات، سید محمد جعفر (۱۳۷۸)؛ بررسی تأثیر پدیده انسو بر بارندگی پاییزه ایران، مجموعه مقالات دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی، صفحه ۲۶۴-۲۵۲.
۴۰. نصیری، بهروز (۱۳۷۸)؛ تحلیل الگوی سینوپتیکی و دینامیکی بارش‌ها در حوضه‌های کرخه و دز، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

41. Alpert and Reisin (1986); An early winter polar air mass penetration to the eastern Mediterranean, Mon. Wea. Rev., Vol.114, pp.1411-1418.
42. Alpert, P, and 11 Co-authors (2002); **The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values**, Geophys. Res. Lett., Vol. 29, No. 11, 0.1029/2001 GI013554.
43. Alpert, P., et al (2004); **A new season definition based on classified daily synoptic system: An example for the eastern Mediterranean**, Int. J. Climatol., Vol.24, pp. 1013-1021.
44. Barlow, M. et al (2002); **Drought in central and southwest Asia: La Nina, the warm pool, and Indian ocean precipitation**, J. Climate, Vol. 15, No. 7, pp. 697-700.
45. Barth, H.J., Steinkohl, F. (2004); **Origin of winter precipitation in the central coastal lowlands of Saudi Arabia**, J. Arid Environments, Vol. 57, pp. 101-115.
46. Dayan, U. (1986); **Climatology of back trajectories from Israel based on synoptic analysis**, J. Climate, Appl. Met., Vol. 25, No. 5, pp. 591-595.
47. Dayan, U., and Abramski (1983); **Heavy Rain in the Middle east Related to unusual jetstream properties**, Bull. Amr. Met. Soc., Vol. 64, No. 10, pp. 1138-1140.
48. Dayan, U., et al (2001); **A severe autumn storm over the Middle East: synoptic and Mesoscale Convection analysis**, Theo. Appl. Climatol. Vol. 69, pp. 103-122.
49. Elfandy (1948); **The Effect of the Sudan monsoon low on the Development of thudery conditions in Egypt, Palestine and Syria**, Q. J. R. Met. Soc., Vol. 74, pp. 31-38.
50. Elfandy (1950a); **Effects to topography and other Factors on the Movement of lows in the Middle East and Sudan**, Bull. Amr. Met. Soc., Vol. 31, No. 10, pp. 375-381.
51. Elfandy (1950b); **Troughs in the upper westerlies and cyclonic Developments in the Nile valley**, Q. J. R. Met. Soc., Vol. 76, pp. 166-172.
52. Elfandy (1952); **Forecasting thunderstorms in the Red Sea**, Bull. Amr. Met. soc, Vol. 33, No 8, pp. 332-338.
53. Habtemichael and Pedgley (1974); **Synoptic case-study Rains in Eritrea**, Arch. Met. Geoph. Biokl., ser. A, Vol. 23, pp. 285-296.
54. Halpern, D., and Woiceshyn, P. (2001); **Somali Jet in the Arabian Sea, El Nino, and indian rainfall**, J. Climate, Vol. 14, pp. 434-441.
55. <http://www.eumetsat.de/en/index.html?>

56. Kahana,R.etal (2002); **Synoptic Climatology of major floods in the Negev Desert, Israel** .Int. J. Climatol. Vol. 22, pp.867-882.
57. Kahana,R.,etal (2004); **Atmospheric predictors for major floods in the Negev Desert, Israel**, Int. J. climatol.,Vol.24,pp.1137-1147.
58. Kahaya, E., Karabork,C. (2001); **The analysis of El-Nino and La-Nina signals in streamflows of Turkey**, Int. J. climatol., Vol.21,pp.1231-1250.
59. Kalnay,E.,and 21 Co-authors (1996); **The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project**. Bull. Amr. Met.Soc.,Vol.77,pp.437-471.
60. Krichak,S.,and Alpert,P. (1994); **Effects of winter monsoon Variability in the eastern Mediterranean**, WMO/TD, No.619(WCRP- 84), pp.215-222.
61. Krichak,S.,Alpert,P.,Krishnamurti,T.N. (1997a); **Interaction of topography and tropospheric flow-A possible Generator for the Red Sea Trough?** Met.Atmos.Phys.,Vol.63, pp. 149-158.
62. Krichak,S., Alpert,P., Krishnamurti,T.N. (1997b); **Red Sea Trough/ cyclone development- Numerical Investigation**, Met. Atmos. Phys.,Vol.63, pp.159-169.
63. Krichak,S.,and Alpert,P.(1998); **Role of large Scale moist dynamics in November 1-5,1994**, Hazardous Mediterranean Weather, J. Geophys.Res.,Vol.103,No.D16, pp. 19453-19468.
64. Krishnamurti,T.N. (1961); **The Subtropical jet stream of winter**, J.Metco.,Vol.18,No.2, pp.172-191.
65. Krishnamurti,T.N., Kanamitsu,M., Koss,W.J. (1973); **Tropical East-West circulations during the northern winter**, J.Atmos.Sci., Vol.30, pp.780-787.
66. Kristler,R.,and 13 Co-authors (2001); **The NCEP/NCAR 50-Year Reanalysis Project**, Bull. Amr. Met. Soc., Vol.82, pp.246-267.
67. Lu,R.Y.,Oh,J.,Kim,B. (2002); **A teleconnection pattern in upper-level meridional wind over the north African and Eurasian continent in summer**, Tellus, Vol.54A, pp.44-55.
68. Luis,A.J.,and Kawamura,H. (2002); **Mechanism for Sea Surface Temperature in the Gulf of Oman during winter**, Geophys. Res. Lett.,Vol.29,No.11,10.1029/2001 GI014148.
69. Membery,D. (1997); **Unusually wet weather across Arabia**, Weather,Vol.52, No.6,pp.166-174.
70. Nazemosadat,M.J., (2001); **Winter drought in Iran:Associations with ENSO**, Drought Network News, Vol. 13, No.1,pp.10-13.
71. Nazemosadat,M.,Cordery (2000); **On the relationships between ENSO and autumn rainfall in Iran**, Int.J. Climatol.,Vol.20,pp.47-61.
72. Price etal (1998); **A possible link between El Nino and precipitation in Israel**, Geoph. Res. Lett.,Vol. 25, pp. 3963-3966.
73. Quadrelli,R.,Pavan,V.,Molteni,F. (2001); **Winter variability of Mediterranean precipitation and its links with large-scale circulation anomalies**, Climate Dynamics,Vol.17,pp.457-466.
74. Reiter,E.R. (1963); **Jet Stream Meteorology; (Jet streams and Climate)**, Chicago press, pp.375-409.
75. Soliman (1953); **Rainfall over Egypt**, Q.J.R .Met.Soc.,Vol.79, pp. 389-397.
76. Turkes,M. (1998); **Influence of geopotential heights, cyclone frequency and southern oscillation on rainfall variations in Turkey**, Int.J.climatol.,Vol.18,pp.649-680.
77. Walkcr,M. (1967); **Some ideas on winter atmospheric processes over south - west Asia**, Met. Mag., Vol.96, No.1139, pp.161-167.
78. Waple,A.M.,etal (2002); **Climate assessment for 2001**, Bull.Amr.Met.Soc.,Vol.83, No.6,pp.s1-s59.
79. Xoplaki,E. (2002); **Climate variability over the Mediterranean**, PhD thesis, university of Bern, Switzerland (http://sinus.unibe.ch/klimet/docs/pdf_xoplaki.pdf).
80. Xoplaki,E.,etal (2004); **Wet season Mediterranean precipitation variability:influence of large-scale dynamics and trends**, Climate Dynamics,Vol.23,pp.63-78.
81. Ziv,B. (2001); **A subtropical rainstorm associated with a tropical plume over Africa and the Middle-East**. Theo. Appl. Climatol. Vol.69, pp.91-102.
82. Ziv,B., Dayan,U., Sharon,D (2004); **A mid-winter, tropical extreme flood-producing storm in southern Israel: Synoptic scale analysis**, Met.Atmos.Phys.,In press.