

جغرافیا و توسعه شماره ۲۷ تابستان ۱۳۹۱

وصول مقاله : ۱۳۹۰/۶/۷

تأیید نهایی : ۱۳۹۱/۲/۲۰

صفحات : ۷۷ - ۸۸

تحلیل سری‌های زمانی فشار مراکز الگوهای سینوپتیکی مؤثر بر بارش‌های فصلی ایران

دکتر علی اکبر رسولی^۱، ایمان بابائیان^۲، دکتر هوشنگ قائمی^۳، دکتر پیمان زواررضا^۴

چکیده

در تحقیق حاضر، روند تغییرات سری‌های زمانی فشار سطح دریای مراکز مهمترین الگوهای سینوپتیکی تأثیرگذار بر بارش‌های فصلی ایران مورد بررسی قرار گرفته است. الگوهای مورد بررسی در این تحقیق، شامل پرفشار سیبری و کم‌فشارهای مدیترانه، دریای سیاه و سودان در فصول بارشی زمستان (دسامبر تا فوریه) و بهار (مارس تا می) و کم‌فشارهای مونسون و خلیج فارس در فصل تابستان (جولای تا آگوست) می‌باشند. ۶۱ سال داده‌های ماهانه فشار سطح متوسط دریا در دوره‌ی ۱۹۴۸ الی ۲۰۰۹ میلادی از سایت سازمان هواشناسی و اقیانوس‌شناسی آمریکا با قدرت تفکیک ۲/۵ در ۲/۵ درجه جغرافیایی اخذ گردیدند.

با تحلیل سری‌های زمانی داده‌های مذکور مشخص شد که در این منطقه اکثر الگوهای سینوپتیکی، به استثنای پرفشار سیبری در فصل بهار، در حال تضعیف هستند. نتایج نشان می‌دهند که در طی دوره‌ی یاد شده، میانگین فشار در الگوی زمستانی پرفشار سیبری تقریباً ثابت ولی در الگوی بهاره حدود ۲ میلی‌بار افزایش یافته است. تقویت سامانه‌ی پرفشار سیبری در بهار می‌تواند موجب پدید آمدن گرادیان فشار در نواحی شمالی کشور و به تبع آن افزایش ناپایداری‌ها و بارش‌های بهاری گردد، همچنین مقادیر فشار در محدوده مرکزی سامانه‌های مدیترانه‌ای و سودانی افزایش یافته‌اند که می‌توانند از دو طریق کاهش فعالیت هر یک از سامانه‌های مذکور و عدم شکل‌گیری و یا کاهش تعداد سامانه‌های تلفیقی مدیترانه‌ای و سودانی، که نقش مهمی در بارش‌های کشورمان دارند، باعث کاهش بارش در کشور گردند. کم‌فشار دریای سیاه نیز در طی این مدت تضعیف شده است که با توجه به مسیر عبور سیکلون‌های دریای سیاه، موجب کاهش بارش در شمال غرب کشورمان می‌گردد.

یافته‌های این تحقیق حاکی از تضعیف کم‌فشارهای مونسون (مستقر بر روی پاکستان و خلیج فارس) به ترتیب به میزان ۳/۸ و ۱/۲ میلی‌بار می‌باشد. دامنه و ضریب تغییرات فشار در دوره‌ی ۲۰ ساله اخیر (۲۰۰۹-۱۹۹۰) در تمامی الگوهای مورد بررسی، به استثنای کم-فشار دریای سیاه در فصل زمستان، کاهش یافته است که با تضعیف کلی سامانه‌های مورد بررسی مطابقت دارد.
کلیدواژه‌ها: الگوهای سینوپتیکی، سری زمانی فشار سطح متوسط دریا، روند، آزمون من-کندال، بارش‌های فصلی ایران،

۱- استاد جغرافیا طبیعی، دانشگاه تبریز

۲- دکتری اقلیم‌شناسی، عضو پژوهشکده اقلیم‌شناسی مشهد (نویسنده مسؤل)

۳- استاد هواشناسی، پژوهشکده هواشناسی، سازمان هواشناسی کشور، تهران

۴- استاد مطالعات محیطی، دانشگاه کانتربری، نیوزلند

راسولی@tabrizu.ac.ir
babaieian@irimo.ir
hoo-ghaemi@yahoo.com
peyman.zawar-reza@canterbury.ac.nz

مقدمه

که نشان‌دهنده‌ی تضعیف فعالیت‌های آن می‌باشد
(Panagiotopoulos et. al, 2005: 1411-1422).

گانگ و هو (۲۰۰۱) فشار سطح متوسط دریا را در
محدوده‌ی استیلای پرفشار سیبری با استفاده از
داده‌های تحلیل مجدد^۱ دو مرکز^۲ CRU و^۳ NCAR در
یک دوره‌ی ۶۰ ساله مطالعه کردند.

آنها نشان دادند که فشار سطح متوسط دریا در این
الگو در ۲۰ سال آخر دوره تحت مطالعه (۱۹۹۵-۱۹۷۶)
به ترتیب ۲/۱۵ و ۱/۵۷ میلی‌بار تضعیف شده است
(Gong&Ho, 2001: 1-16).

در فصل تابستان در محدوده‌ی کشور سودان کم
فشاری با ماهیت حرارتی ایجاد می‌شود که در فصول
سرد سال رفتار آن ماهیت دینامیکی پیدا می‌کند. هر
قدر چرخنده‌های ایجاد شده توسط کم‌فشار سودان به
عرض ۳۰ درجه‌ی شمالی نزدیکتر گردند، بیشتر در
مسیر بادهای غربی قرار می‌گیرند و کاملاً به صورت
دینامیکی عمل می‌نمایند. هر گاه کم‌فشارهای سودان
با مدیترانه مرتبط شوند، ناوه عمیقی در شرق مدیترانه
به وجود می‌آید که موجب وقوع بارش‌های سنگین در
اغلب نقاط کشورمان می‌گردد (جو/نمرد و دیگران، ۱۳۸۲:
۱۵۰-۱۳۴).

دریای مدیترانه یکی از مناطق مهم سیکلونزائی،
به‌خصوص در فصول زمستان و بهار بوده و نقش اصلی
را در شکل‌گیری دینامیکی سیکلون‌های منطقه‌ی
خاورمیانه دارد (McCabe, 2001: 2763-2768). مسیر
عبور سیکلون‌های مدیترانه‌ای در طول ماه فوریه عمدتاً
مناطق جنوبی و در طول دوره‌ی دسامبر تا ژانویه
مناطق شمالی این دریا می‌باشد (شکری، ۱۳۷۵: ۵۰۵-
۵۰۰). به دلیل عبور سیکلون‌های مدیترانه، بیشترین
بارش زمستانه‌ی ایران در منطقه‌ی زاگرس رخ می‌دهد
(علیجانی، ۱۳۸۳: ۱۲۵-۱۲۰). چرخش‌های جوی در

اقلیم خاورمیانه، به ویژه کشور ایران، از دیدگاه
سینوپتیکی متاثر از موقعیت جغرافیایی و نحوه عمل
سامانه‌های جوی مختلف در منطقه است. از لحاظ
طبقه‌بندی اقلیمی، این منطقه از اقلیم فوق خشک
صحرائی در صحرای عربستان تا اقلیم سرد و مرطوب
در رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس برخوردار است. وجود
پهنه‌های آبی بزرگ، مانند دریا‌های مدیترانه، سیاه، عمان
و حتی خلیج فارس می‌توانند اقلیم ایران و به ویژه رژیم
بارش آن را کنترل نماید (Evans, 2009: 417-432).
تغییرات فشار هوا یکی از مهمترین عوامل در ایجاد
سیستم‌های سینوپتیکی منطقه و در نتیجه کنترل-
کننده‌ی بارش‌های کشورمان می‌باشد. مطالعات محققان
نشان‌دهنده‌ی این واقعیت است که الگوهای سینوپتیکی
گونگونی مانند پرفشار سیبری، کم‌فشارهای دریای
سیاه، دریای مدیترانه، سودان، مونسون و خلیج فارس
اقلیم ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در ارتباط با
سامانه‌های مذکور و رفتار آنها مطالعات زیادی به عمل
آمده است که به اختصار به آنها اشاره می‌شود. در
دوره‌ی سرد سال در سرزمین پهناور سیبری به دلیل
برقراری بیلان منفی در اخذ مقادیر انرژی خورشیدی،
مرکز پرفشار سیبری ایجاد می‌شود. اولین نشانه‌های
این آنتی‌سیکلون تشکیل یک منحنی بسته هم‌فشار در
ماه سپتامبر در اطراف دریاچه بایکال در جنوب کشور
روسیه است. پیشروی پرفشار سیبری به سمت جنوب
موجب سرازیر شدن هوای سرد و بارش برف سنگین
زمستانی (در صورت وجود رطوبت کافی) می‌گردد
(علیجانی، ۱۳۸۳: ۲۲۱-۱).

شدت پرفشار سیبری را با شاخص SHI نشان
می‌دهند که ارتباط مستقیم با فشار هسته مرکزی این
الگو دارد. این شاخص در بین سال‌های ۱۹۷۸ تا
۲۰۰۱ به میزان ۲/۵ میلی‌بار بر دهه کاهش یافته است

1-Reanalysis

2-Climate Research Unit

3-National Center for Atmospheric Research

سوی خلیج بنگال، در این ناحیه یک سامانه‌ی کم‌فشار شکل می‌گیرد که زبانه‌های آن تا خلیج فارس و نواحی جنوبی شبه‌جزیره‌ی عربستان گسترش می‌یابد. در شکل ۱، توسعه‌ی مکانی کم‌فشار مونسون تابستان در دوره‌ی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ که با هسته‌ی ۹۹۷/۵ میلی‌بار بر روی پاکستان و ۹۹۸/۶ میلی‌بار بر روی خلیج فارس بسته شده است، دیده می‌شود.

تقویت مونسون موجب بارش تابستانه در نواحی جنوب شرقی کشورمان می‌گردد. ایجاد تغییرات زمانی و مکانی در الگوهای فشار هوا، به دلیل تأثیرگذاری بر الگوهای چرخشی هوا، می‌تواند موجب تغییر در شدت فعالیت الگوهای سیکلونی و بارش‌های آنها گردد (Suzana, 2009: 201-208). در سال ۲۰۰۱ مکابه ثابت کرد که در سال‌های اخیر شدت فعالیت‌های سیکلونی کم‌فشارهای عرض‌های میانه کاهش یافته و همزمان شدت فعالیت الگوهای سیکلونی عرض‌های بالا افزایش یافته است (McCabe, 2001: 2763-2768).

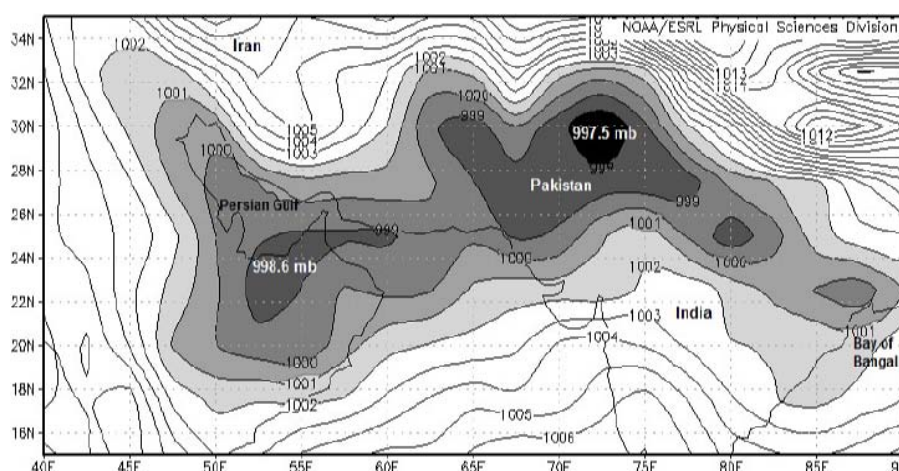
ایوانز (Evans, 2009: 389-402) با به کارگیری سناریوهای تغییر اقلیم مورد تأیید هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم^۳ نشان داد که منطقه‌ی همگرایی حاره‌ای^۴ به سمت عرض‌های بالاتر جابجا می‌شود. به همین ترتیب، دیزر و فلیپس (HMUDQG3 KLQDSV ±) با استفاده از مدل اقلیمی^۵ CAM تأثیر واداشت‌های^۶ تابش اتمسفری و دمای سطح آب اقیانوس بر الگوهای فشار سطح متوسط دریا و ارتفاع ژئوپتانسیلی نیمکره‌ی شمالی در نیمه‌ی دوم قرن بیستم را در نیمکره‌ی شمالی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که نه تنها این دو عامل موجب تغییر در الگوی فشار و ارتفاع ژئوپتانسیلی نیمکره‌ی شمالی می‌گردد، بلکه باعث جابجایی قطب سوی بادهای غربی در عرض‌های میانی، تقویت کم‌فشار آلتوسن^۷ و تضعیف چرخش واکر^۸ در منطقه‌ی حاره می‌شود.

ناحیه‌ی دریای سیاه متأثر از سامانه‌های سیکلونی بزرگ مقیاس می‌باشد که در اقیانوس اطلس شمالی تشکیل شده و در مسیر بادهای غربی به سمت اروپا، مدیترانه و دریای سیاه حرکت می‌کنند. مقیاس مکانی این سامانه‌ها ۲ تا ۳ هزار کیلومتر و مقیاس زمانی آنها بین ۲ تا ۳ روز می‌باشند. آنها عمدتاً در زمستان ایجاد شده و در مسیر حرکت از پدیده‌ی نوسان اطلس شمالی تأثیر می‌پذیرند (Efimov et al, 2008: 1-10). علاوه بر آن، کوه‌های ساحلی بلند و دریای سیاه نیز در شکل‌گیری سیکلون‌ها و چرخش‌های جوی این منطقه تأثیر گذارند. در این منطقه مکانیسم بارش در فصول سرد سال عموماً به این صورت است که جریان‌های سرد و خشک با عبور از روی این دریا رطوبت کسب کرده و در اثر برخورد با ارتفاعات "قره‌دنیز" (مستقر در سواحل جنوبی دریای سیاه) ناپایدار شده و بارش‌های نسبتاً سنگینی را ایجاد نمایند. از آنجا که اقلیم‌شناسی سینوپتیک سامانه‌ای سیکلونی در منطقه‌ی دریای سیاه به درستی مطالعه نشده و مطالعات مربوط به آن معمولاً تحت‌الشعاع مطالعات دریای مدیترانه فراموش شده‌اند، لذا مطالعات کمی پیدا می‌شوند که هر دو دریای مدیترانه و سیاه را در نظر گرفته باشند.

تریگو و دیگران (1999 و 2002، به نقل از افیموف و دیگران) با مطالعه ۱۷ سال داده‌های تحلیل مجدد مرکز^۱ ECMWF نشان دادند که سیکلون‌های شرق دریای سیاه طول عمر کمتری نسبت به سیکلون‌های غرب این دریا داشته و هنگامی تشکیل می‌شوند که تراف سطوح فوقانی از روی پهنه آبی گرم عبور کرده و یا کژفشاری^۲ در لایه‌های زیرین وجود داشته باشد (Lefvere et al, 1995: 638-655). در فصل تابستان آب‌های گرم اقیانوس هند و پهنه‌های آبی دریای عمان بر آب و هوای ایران، بخصوص از سوی جنوب شرق آن، تأثیرگذار است (مدیریان و دیگران، ۱۳۸۷: ۲۵-۷). در این فصل، با گسترش کمربند همگرایی حاره‌ای به

3-Inter-governmental Panel on Climate Change
4-Inter Tropical Convergence Zone
5-Community Atmospheric Model
6-Forcing
7-Aleutian Low
8-Walker Circulation

1-European Center for Medium-range Weather Forecasts
2-Baroclinicity



شکل ۱: موقعیت میانگین (۱۹۹۰-۱۹۶۱) کم فشار مونسونی در تابستان بر روی پاکستان و گسترش آن روی خلیج فارس
مأخذ: نگارندگان

که در تهیهی آنها از مقادیر مشاهداتی و در مناطق فاقد داده از روش‌های معتبر شبیه‌سازی آماری-دینامیکی استفاده می‌شود. سپس یا ترسیم نقشه‌های فشار فصلی با استفاده از نرم‌افزار GrADS^۲ و برنامه‌نویسی در محیط این نرم‌افزار، مقادیر بیشینه‌ی فشار در الگوی پرفشار و کمینه‌ی فشار در الگوهای کم‌فشار در محدوده‌ی سلول‌های پیرامون مراکز عمل هر یک از الگوها استخراج گردیدند.

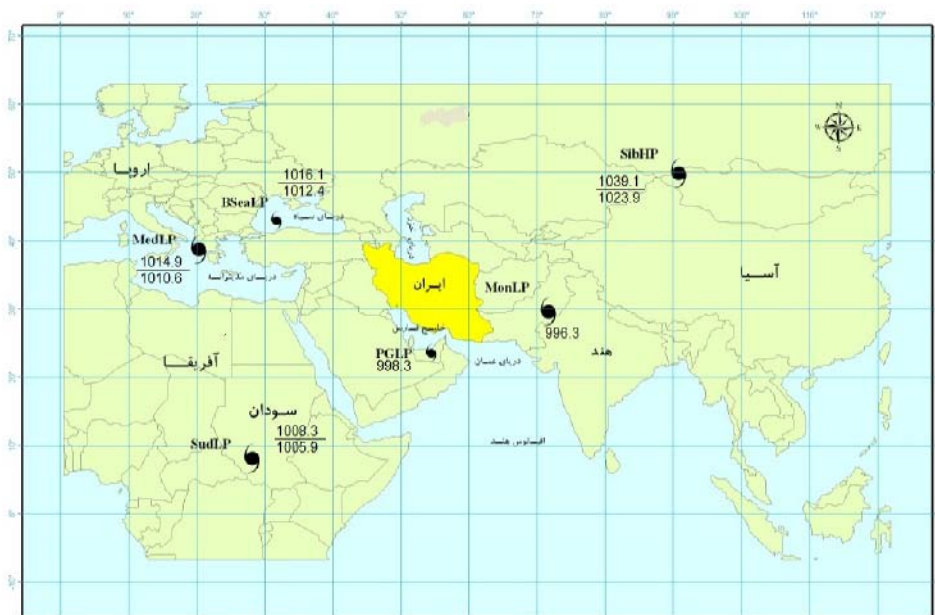
در شکل ۲ موقعیت جغرافیایی میانگین هر یک از الگوهای مورد مطالعه بر اساس داده‌های فشار متوسط سطح دریا در دوره‌ی ۲۰۰۹-۱۹۴۸ آورده شده است.

فصول مورد بررسی در الگوهای پرفشار سیبری، کم فشارهای دریای سیاه، مدیترانه و سودان زمستان و بهار و در کم‌فشار مونسون و خلیج‌فارس تابستان در نظر گرفته شده است. در شکل ۲ برای اختصار مرکز فشار زیادسیبری، کم‌فشار دریای سیاه، کم‌فشار مدیترانه، کم‌فشار سودان، کم‌فشار مونسون روی پاکستان و کم-فشار ثانوی خلیج‌فارس به ترتیب با SibHP، BSeaLP، MedLP، SudLP و MonLP نشان داده شده است.

تحقیقات فوق‌الذکر مبین این واقعیت است که تعداد و شدت فعالیت‌های سیکلونی در منطقه در حال تغییر است، از این رو شناخت رفتار و تغییرات مراکز فشار می‌تواند یافته‌های سودمندی در ارتباط با شرایط فعلی و آتی اقلیم (به ویژه بارش‌های فصلی) کشورمان را نمایان سازد. در تحقیق جاری با هدف آشکارسازی وجود روند و تغییرات معنی‌دار در سری‌های زمانی فشار، مقادیر فشار سطح متوسط دریا در محدوده‌ی مرکز هر یک از الگوهای فشار شامل پرفشار سیبری و کم‌فشارهای دریای سیاه، دریای مدیترانه، سودان، مونسون و خلیج‌فارس در دوره‌ی ۲۰۰۹-۱۹۴۸ مورد بررسی قرار گرفتند.

داده‌ها و روش‌ها

مقادیر ماهانه‌ی متوسط فشار سطح متوسط دریا در محدوده‌ی فعالیت الگوهای پرفشار سیبری، کم‌فشارهای دریای سیاه، دریای مدیترانه، سودان و مونسون (بر روی پاکستان و خلیج‌فارس) برای دوره‌ی زمانی ۱۹۴۸ الی ۲۰۰۹ میلادی از سایت سازمان هواشناسی و اقیانوس‌شناسی آمریکا^۱ اخذ شد (Kalanay, 1996: 437-471). داده‌های مذکور از نوع داده‌های تحلیل مجدد می‌باشد



شکل ۲: موقعیت تقریبی الگوهای سینوپتیکی مورد مطالعه. مقادیر بالای خط میانگین فشار هسته مرکزی در زمستان و زیر خط همان مقدار را در پاییز نشان می‌دهد. در کم فشارهای مونسونی فقط مقدار تابستانه قید شده است. مأخذ: نگارندگان

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی الگوهای سینوپتیکی غالب مورد مطالعه

دوره‌ی مورد مطالعه	محدوده‌ی فعالیت	موقعیت جغرافیایی		نام الگوی سینوپتیکی
		عرض شمالی	طول شرقی	
زمستان و بهار	جنوب‌روسیه و منطق همجوار	۴۸-۵۵	۸۰-۱۰۰	پرفشار سبیری
زمستان و بهار	حوضه مدیترانه	۳۰-۴۰	۶±۴۰	کم‌فشار مدیترانه
زمستان و بهار	سودان	۱۴-۱۸	۳۰-۳۵	کم‌فشار سودان
زمستان و بهار	حوضه دریای سیاه	۴۰-۴۸	۲۵-۴۳	کم‌فشار دریای سیاه
تابستان	پاکستان و هندوستان	۲۵-۳۲	۶۳-۷۸	کم‌فشار مونسون
تابستان	خلیج فارس و جنوب آن	۲۰-۲۷	۵۰-۶۰	کم‌فشار خلیج فارس

مأخذ: نگارندگان

خطی هر یک از سری مشاهدات مراکز فشار محاسبه و نمودارهای گرافیکی ترسیم شدند. در مرحله‌ی دوم از آزمون ناپارامتری من-کنندال برای مشخص کردن معنی‌دار بودن ضرایب روند در سری‌های زمانی فشار (فقط ارقام ثبت شده از مراکز الگوهای سینوپتیکی) استفاده گردید. با اعمال این روش، نقطه شروع روند و تغییر ناگهانی در رفتار داده‌های اقلیمی قابل تشخیص

در جدول ۱ موقعیت میانگین جغرافیایی هر یک از الگوهای سینوپتیکی و فصول مورد مطالعه آنها در دروه‌ی ۲۰۰۹-۱۹۴۸ ارائه شده است. طول و عرض‌های جغرافیایی مشخص شده در جدول مربوط به میانگین محدوده‌ی فعالیت هر یک از سامانه‌ها می‌باشد. برای هر یک از مراکز فشار یک پایگاه داده‌ای ایجاد شد. سپس در مرحله‌ی اول روند

مشاهدات منفی خواهد بود. در تحقیق جاری، سطح اطمینان در حد ۹۵ درصد در نظر گرفته شد و اصل فوق برای سری‌های زمانی معکوس نیز براساس رابطه‌ی ۵ محاسبه گردید.

$$u_i' = -u(t_i) \quad \text{معادله ۵}$$

ضمناً، در مدل‌های گرافیکی تولید شده محل تلاقی منحنی‌های u_i و u_i' نقطه شروع تغییرات را در هر روند مشاهدات نشان می‌دهد.

نتایج تحقیق

مرکز فشار زیاد سیبری

در شکل ۳ سری زمانی فشار هسته مرکزی پرفشار سیبری در زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) و بهار (مارس، آوریل و می) و وجود روند در آنها با استفاده از آماره من-کندال در یک دوره‌ی ۶۱ ساله آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، در دوره‌ی مورد بررسی تغییرات معنی‌داری در میانگین فشار زمستانی الگوی پرفشار دیده نمی‌شود. اما، مقادیر فشار فصل بهار (مارس، آوریل و می) دارای تغییرات معنی‌دار افزایشی بوده که سال تغییر آن ۱۹۷۴ می‌باشد.

این افزایش فشار در فصل بهار می‌تواند موجب تقویت بارش‌های بهاره از طریق افزایش گرادیان فشار نصف‌النهاری و مساعد شدن شرایط صعود هوا برای بارش‌های همرفتی، به‌خصوص در سواحل جنوبی دریای خزر، گردد.

است. یادآور می‌گردد، آزمون من-کندال برای بررسی تصادفی بودن و تعیین روند در سری‌ها استفاده می‌شود. در ابتدا این آزمون برای مشخص کردن غیرپارامتریک بودن سری‌ها به کار می‌رود. بدین ترتیب که سری‌های آماری به ترتیب صعودی مرتب و رتبه‌بندی می‌شوند. در این آزمون تصادفی بودن داده‌ها با عدم وجود روند مشخص می‌شود.

در صورت وجود روند داده‌ها غیرتصادفی بوده و برای تعیین تصادفی بودن داده‌ها مراحل ذیل بر اساس معادلات داده شده طی می‌شود (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷: ۲۸-۱۳؛ Ezber et al, 2007: 667-679):

$$t = \sum_i n_i \quad \text{معادله ۱}$$

در فرض صفر توزیع t در حد نرمال بوده که مقدار قابل انتظار و واریانس مرتبط طبق معادلات ۲ و ۳ قابل برآورد می‌باشد.

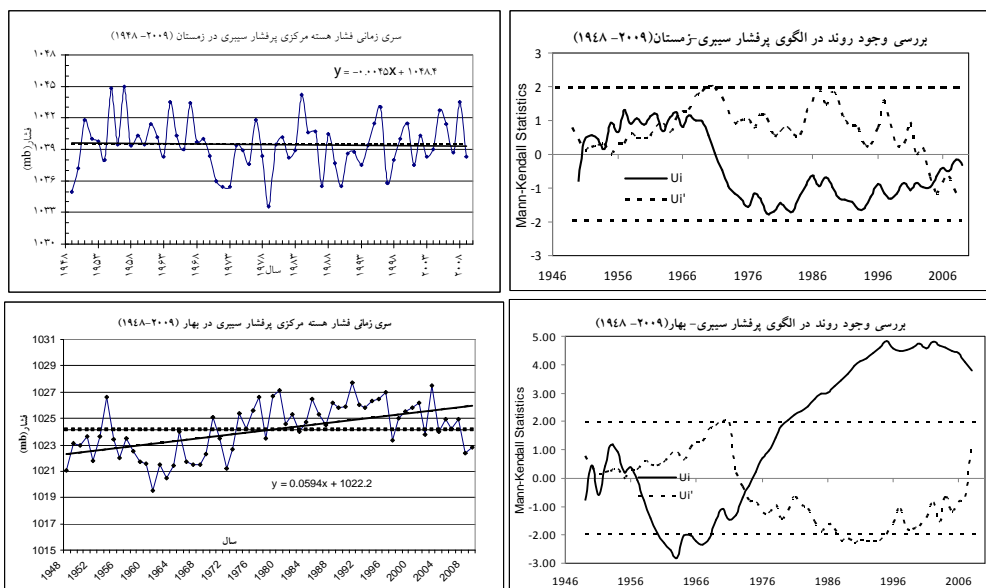
$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad \text{معادله ۲}$$

$$Var(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad \text{معادله ۳}$$

در صورت وجود روند، فرضیه صفر با مقادیر بالای قدرمطلق $u(t)$ طبق معادله ۴ رد خواهد شد.

$$u(t) = \frac{[t - E(t)]}{\sqrt{var(t)}} \quad \text{معادله ۴}$$

بنابراین، طبق رابطه $u(t) > 0$ مقادیر روند مثبت و در حالت عکس طبق رابطه $u(t) < 0$ روند در سری

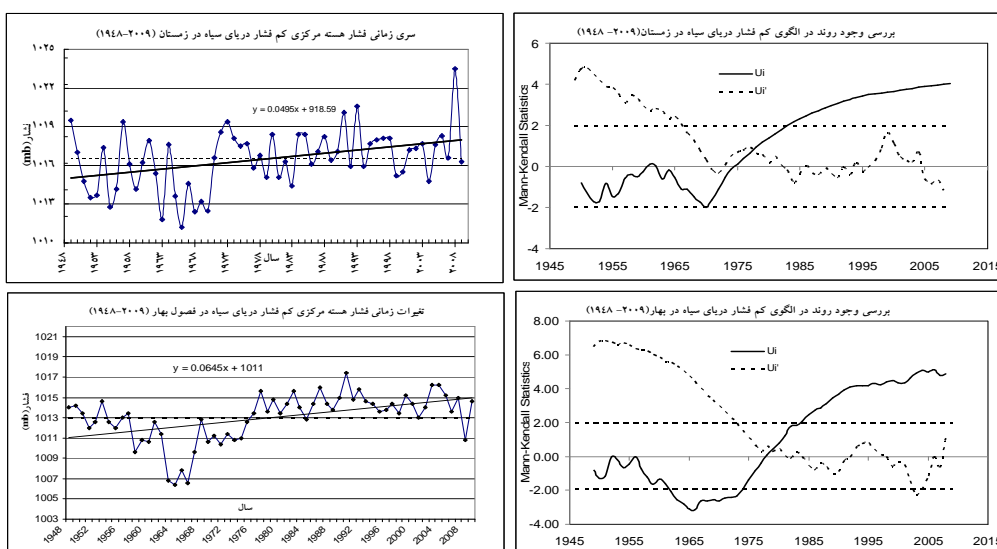


شکل ۳: تغییرات سری زمانی فشار در مرکز پرفشار سیبری، فصل زمستان (بالا) و فصل بهار (پایین)
مأخذ: نگارندگان

زمانی میانگین فشار هسته مرکزی کم‌فشار دریای سیاه در شکل ۴ ارائه شده است. بررسی مشاهدات نشان-دهنده‌ی افزایش فشار در هسته مرکزی آن به ترتیب به میزان ۳ و ۴ میلی‌بار در فصول زمستان و بهار طی دوره ۶۱ ساله می‌باشد. بر اساس آماره من-کندال این تغییرات در حد ۹۵ درصد معنی‌دار بوده و سال آغاز تغییرات در هر یک از فصول گفته شده به ترتیب ۱۹۷۸ و ۱۹۷۹ می‌باشد.

کم‌فشار دریای سیاه

بررسی داده‌های فشار سطح متوسط دریا در دوره‌ی ۱۹۴۸-۲۰۰۹ نشان می‌دهند که فشار هسته‌ی مرکزی کم‌فشارهای تشکیل شده بر روی دریای سیاه حدود ۳ میلی‌بار از کم‌فشارهای مدیترانه بیشتر (ضعیف‌تر) هستند. ضمناً، مسیر عبور آن‌ها از منطقه قفقاز و شمال غرب کشورمان بوده که در فصول سرد و بهار با بارش‌های قابل توجهی همراه می‌گردند. سری‌های



شکل ۴: تغییرات کم‌فشار دریای سیاه در فصول زمستان و بهار
مأخذ: نگارندگان

افزایش فشار هسته‌ی مرکزی آن به میزان ۲ و ۰/۵ میلی‌بار به ترتیب در فصول زمستان و بهار است. همانطوری‌که در شکل ۶ ملاحظه می‌شود بیشترین تضعیف این سامانه با ۲ میلی‌بار افزایش در فصل زمستان رخ داده است. نقطه‌ی شروع تغییر در سری‌های زمانی زمستان و بهار الگوی مذکور به ترتیب سال‌های ۱۹۷۸ و ۱۹۷۲ می‌باشد. نتیجه‌ی آزمون من-کندال نیز حاکی از وجود تغییرات معنی‌دار در حد ۹۵ درصد در فصول زمستان و بهار می‌باشد که آغاز تغییرات در آنها به ترتیب در سال‌های ۱۹۷۹ و ۱۹۷۲ رخ داده است.

کم‌فشارهای مونسون و خلیج فارس

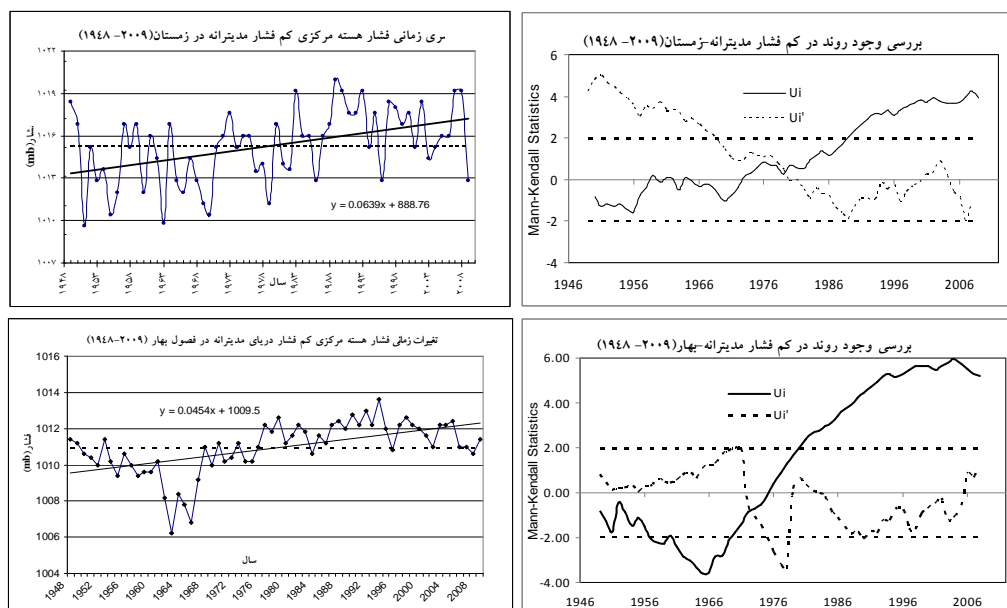
در این مطالعه سری‌های زمانی کم‌فشار مونسون بر روی کشور پاکستان و کم‌فشار ثانوی مرتبط با آن بر روی خلیج فارس در فصل تابستان مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که کم‌فشار مونسون پاکستان و خلیج فارس به ترتیب ۳/۸ و ۱/۲ میلی‌بار تضعیف شده‌اند که روند آنها در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. نقطه‌ی آغاز تغییرات به ترتیب سال‌های ۱۹۷۲ و ۱۹۶۶ بوده است (شکل ۷).

کم‌فشار دریای مدیترانه

تغییرات مقادیر فشار مدیترانه توسط مدل روند و نتایج آزمون من-کندال در شکل ۵ ارائه شده است. بررسی سری‌های زمانی مرکز فشار مدیترانه نشان می‌دهد که در طی دوره‌ی ۶۱ ساله مورد بررسی فشار هسته مرکزی این سامانه در فصول زمستان و بهار به ترتیب به مقدار ۳/۹ و ۲/۴ میلی‌بار پر شده است، که به معنای کاهش فعالیت‌های سیکلونزایی و بارشی این سامانه بخصوص در فصل زمستان می‌باشد. یادآور می‌گردد، پرشدن فشار هسته مرکزی یک سامانه کم‌فشار به معنی تضعیف فعالیت جبهه‌ای و کاهش ناپایداری است (Kuteswaram, 1978: 56-92). بنابراین، انتظار می‌رود با ادامه تضعیف مرکز فشار کم‌مدیترانه، فعالیت بارشی این الگو در محدوده‌ی کشورمان کاهش یابد. نتیجه‌ی آزمون من-کندال نیز حاکی از وجود تغییرات معنی‌دار در حد ۹۵ درصد در سری‌های زمانی مرتبط در فصول زمستان و بهار بوده که آغاز این تغییرات به ترتیب سال‌های ۱۹۷۹ و ۱۹۷۲ می‌باشد.

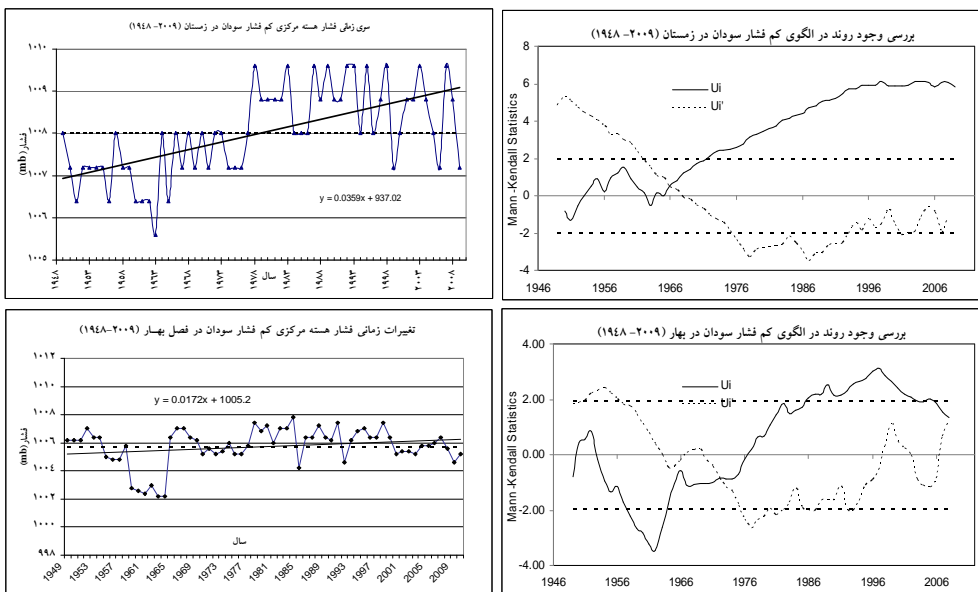
کم‌فشار سودان

بررسی سری‌های زمانی کم‌فشار سودان نشان‌دهنده‌ی



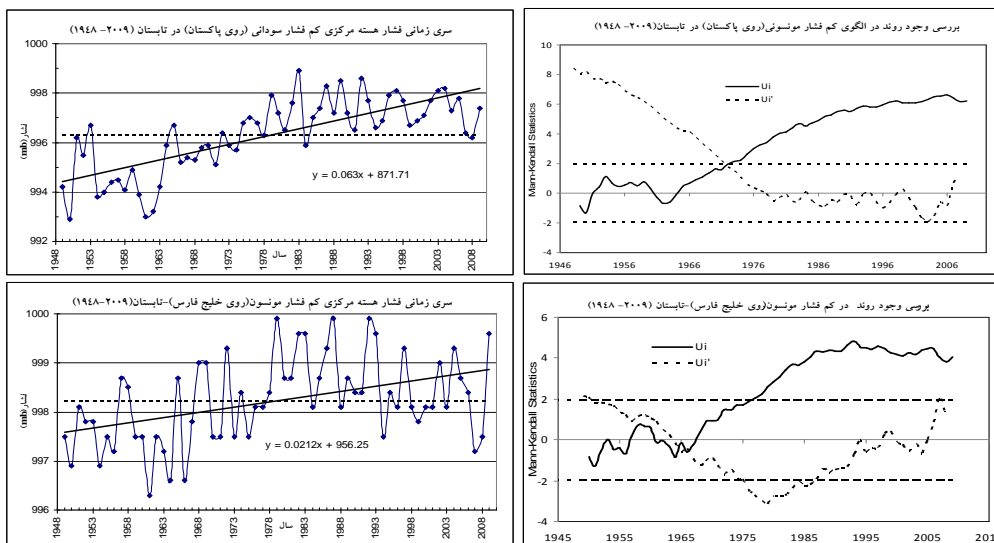
شکل ۵: تغییرات کم‌فشار دریای مدیترانه در فصول زمستان و بهار

مأخذ: نگارندگان



شکل ۶: تغییرات کم فشار سودان در فصول زمستان و بهار

مأخذ: نگارندگان



شکل ۷: تغییرات کم فشار پاکستان (بالا) و کم فشار ثانوی روی خلیج فارس (پایین)

مأخذ: نگارندگان

جدول ۲: روند تغییرات و معنی دار بودن آن در الگوهای سینوپتیکی منطقه مورد مطالعه

آماره من- کندال		آهنگ تغییرات (mb/10year)				الگوی سینوپتیکی	
زمستان	تابستان	بهار	زمستان	تابستان	بهار		
-۰/۳۱	--	۳/۸۱	-۰/۰۵	--	+۰/۵۹	پرفشار سبیری	
۳/۹۳	--	۵/۲۰	+۰/۶۴	--	+۰/۴۵	کم فشار مدیترانه	کم فشار منطقه مدیترانه
۴/۰۵	--	۴/۸۸	+۰/۵۰	--	+۰/۶۵	کم فشار دریای سیاه	
۵/۸۴	--	۱/۳۶	+۰/۳۶	--	+۰/۱۷	کم فشار سودان	
--	۶/۲۳	--	--	+۰/۶۵	--	کم فشار پاکستان	کم فشار مونسون
--	۴/۰۴	--	--	+۰/۲۲	--	کم فشار خلیج فارس	

مأخذ: نگارندگان

بحث

مشخصه‌های آماری کلیه مراکز فشاردر دو دوره‌ی ۴۱ ساله آماری (۱۹۴۸-۱۹۸۹) و ۲۰ ساله اخیر (۱۹۹۰-۲۰۰۹) در جدول ۳ مقایسه شده است. ملاحظه می‌شود که اغلب الگوها در ۲۰ سال اخیر نسبت به دوره‌ی آماری ۴۱ ساله قبلی تضعیف شده‌اند. ضرایب و دامنه‌ی تغییرات مربوط به مراکز کم‌فشار پاکستان و خلیج فارس در فصل تابستان نیز کاهش یافته است. به عبارتی اغلب الگوها به سمت پایداری بیشتر تمایل یافته‌اند، که نشان‌دهنده‌ی سامانه‌های ضعیف‌تر و در نتیجه مقادیر بارش کمتر خواهد بود.

در جدول ۲ روند تغییرات در فشار هسته‌ی مرکزی الگوهای سینوپتیکی مورد بررسی و معنی‌دار بودن آنها ارائه شده است. توضیح اینکه در ارتباط با نتایج حاصل از اعمال آزمون من-کندال، اعداد با علامت مثبت دارای روند افزایشی، اعداد با علامت منفی روند کاهشی و علامت \pm " نشان‌دهنده‌ی عدم وجود روند می‌باشد. شایان یادآوری است که اعداد روند بین $-۱/۹۶$ و $+۱/۹۶$ معنی‌دار نیستند، اما اعداد خارج از بازه‌های $(+۱/۹۶)$ و $(-۱/۹۶)$ و $(+۲/۵۸)$ و $(-۲/۵۸)$ به ترتیب در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشند.

جدول ۳: مقایسه‌ی مشخصه‌های آماری الگوهای فشار در دو دوره ۱۹۴۸-۱۹۸۹ و ۱۹۹۰-۲۰۰۹

دامنه تغییرات مقادیر فشار (میلی بار)			ضریب تغییرات مقادیر فشار (درصد)			میانگین فشار (میلی بار)			الگوی سینوپتیکی	
زمستان	تابستان	بهار	زمستان	تابستان	بهار	زمستان	تابستان	بهار		
۱۱/۴	-	۷/۶	۰/۲۵	-	۰/۱۹	۱۰۳۹/۴	-	۱۰۲۳/۶	۱۹۴۸-۱۹۹۸	پرفشار
۸	-	۵/۳	۰/۲۲	-	۰/۱۵	۱۰۳۹/۵	-	۱۰۲۵/۳	۱۹۹۰-۲۰۰۹	سیبری
۱۰/۴	-	۶/۴	۰/۲۵	-	۰/۱۴	۱۰۱۴/۵	-	۱۰۱۰/۵	۱۹۴۸-۱۹۹۸	کم‌فشار
۶/۴	-	۳	۰/۲۰	-	۰/۰۸	۱۰۱۶/۸	-	۱۰۱۰/۵	۱۹۹۰-۲۰۰۹	مدیترانه
۸/۳	-	۹/۶	۰/۲۲	-	۰/۲۴	۱۰۱۵/۹	-	۱۰۱۲/۳	۱۹۴۸-۱۹۹۸	کم‌فشار
۸/۷	-	۶/۶	۰/۲۰	-	۰/۱۴	۱۰۱۷/۶	-	۱۰۱۴/۵	۱۹۹۰-۲۰۰۹	دریای سیاه
۴	-	۵/۶	۰/۱	-	۰/۱۵	۱۰۰۷/۷	-	۱۰۰۵/۶	۱۹۴۸-۱۹۸۹	کم‌فشار
۲/۴	-	۲/۸	۰/۰۸	-	۰/۰۸	۱۰۰۸/۶	-	۱۰۰۶	۱۹۹۰-۲۰۰۹	سودان
-	۶	-	-	۰/۱۶	-	-	۹۹۵/۷	-	۱۹۴۸-۱۹۸۹	کم‌فشار
-	۲/۴	-	-	۰/۰۷	-	-	۹۹۷/۴	-	۱۹۹۰-۲۰۰۹	پاکستان
-	۳/۶	-	-	۰/۰۹	-	-	۹۹۸/۱	-	۱۹۴۸-۸۹	کم‌فشار
-	۲/۷	-	-	۰/۰۸	-	-	۹۹۸/۵	-	۱۹۹۰-۲۰۰۹	خلیج فارس

مأخذ: نگارندگان

بارش‌های بهاره را به دنبال داشته باشد. این نتیجه کم و بیش با وضعیت بارش سال‌های اخیر که از میزان بارش‌های پاییزه کاسته شده و بخشی از بارش‌ها به سمت بهار جابجا شده‌اند، همخوانی دارد. با توجه به اینکه مسیر عبور سیکلون‌های دریای سیاه از منطقه‌ی قفقاز و شمال غرب کشورمان می‌باشد، لذا تضعیف این

هر چند روند محاسبه شده برای پرفشار سیبری در فصل زمستان معنی‌دار نیست اما بطور کلی سری زمانی یاد شده روند تضعیف این سامانه را نشان می‌دهد که با نتایج سایر محققین هماهنگ است. برخلاف فصل زمستان، نتایج این تحقیق برای فصل بهار حاکی از تقویت این سامانه می‌باشد که می‌تواند افزایش

گردد. بنابراین بازنگری و اصلاح برخی سازه‌های زیربنایی در حوزه مهندسی آب، کشاورزی و حمل و نقل، بخصوص در مناطق مستعد وقوع سیل، برای جلوگیری از وارد آمدن خسارت به تأسیسات زیربنایی پیشنهاد می‌شود. علاوه بر آن با افزایش بارش‌های سنگین، سدها از رسوبات ناشی از بارش‌های سیل‌آسا پر شده و عمر مفید آنها کاسته می‌شود. بنابراین، برنامه‌های مدون آبخوان‌داری و آبخیزداری برای تغذیه آب‌های زیرزمینی و مدیریت رواناب‌ها توصیه می‌شود.

با پر شدن (تضعیف) کم‌فشار مدیترانه در دهه‌های اخیر از شدت فعالیت سیکلونزائی آن، به‌خصوص در فصل زمستان، کاسته شده و بارش‌های کشورمان کم می‌شود. همین‌طور کم‌فشار سودان نیز بطور کلی تضعیف شده است که ضمن کاهش فعالیت بارشی آن، به دلیل تضعیف هر دو سامانه کم‌فشار یاد شده، امکان تشکیل سامانه‌های تلفیقی مدیترانه‌ای-سودانی کمتر می‌شود. از آنجا که بر اساس مطالعات محققان کشورمان، سامانه‌های تلفیقی بارش‌های سنگینی را بر روی کشورمان موجب می‌شوند، لذا عدم تشکیل و یا تضعیف آنها می‌تواند باعث کاهش منابع آبی کشور و وارد آمدن خسارت به بخش کشاورزی و منابع آبی کشورمان گردد. همچنین کم‌فشارهای پاکستان و کم-فشار ثانوی خلیج فارس در فصل تابستان به میزان ۲/۷ و ۰/۴ میلی‌بار تضعیف شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که دامنه و ضریب تغییرات فشار در دوره‌ی ۲۰ ساله اخیر (۲۰۰۹-۱۹۹۰) در مقایسه با دوره‌ی ۴۰ ساله گذشته (۱۹۸۹-۱۹۴۸) در تمامی الگوهای مورد بررسی، به استثنای کم‌فشار دریای سیاه در فصل زمستان، کاهش یافته است که با تضعیف کلی سامانه‌ها مطابقت دارد. با توجه به تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر و پیامدهای ناشی از آن از قبیل وقوع خشکسالی، سیل، توفان و... پیشنهاد می‌شود اثرات تغییر اقلیم بر رفتار الگوهای سینوپتیکی با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف انتشار بررسی شده و تأثیر آن بر تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های کشورمان به منظور استفاده از نتایج آنها در بخش آب و کشاورزی مورد مطالعه قرار گیرد.

سامانه موجب کاهش بارش‌های این بخش از کشور و حوضه دریای خزر در آذربایجان می‌گردد. سیکلون‌های مدیترانه در مسیر اصلی بارش‌های ایران قرار دارند. تضعیف حدود ۳ میلی‌باری این سامانه موجب کاهش بارش در کشورمان می‌گردد. بر اساس این تحقیق، کم‌فشار سودان نیز تضعیف شده است که حاکی از کاهش تعداد سامانه‌های تلفیقی مدیترانه‌ای-سودانی می‌باشد. مطالعات متعدد وقوع بارش‌های سنگین را در هنگام تشکیل سامانه‌های تلفیقی تأیید می‌کنند.

جمع‌بندی و پیشنهادات

در تحقیق جاری با استفاده از داده‌های اخذ شده از سازمان هواشناسی و اقیانوس شناسی آمریکا در دوره‌ی زمانی ۱۹۴۸ تا ۲۰۰۹ میلادی (۶۱ سال)، روند تغییرات فشار سطح متوسط دریا در مرکز الگوهای سینوپتیکی تاثیرگذار بر بارش‌های فصلی ایران مورد ارزیابی قرار گرفت. چهار الگوی اصلی پرفشار سیبری، کم‌فشار مدیترانه، کم‌فشار سودان و کم‌فشار مونسونی به همراه الگوهای فرعی کم‌فشار دریای سیاه و کم‌فشار ثانوی مونسون بر روی خلیج فارس مورد مطالعه قرار گرفتند. بیشترین تضعیف مربوط به کم‌فشار دریای سیاه در فصل بهار و کم‌فشار مونسون پاکستان در فصل تابستان می‌باشد، ضمن اینکه پرفشار سیبری در فصل بهار تقویت شده است. بر اساس یافته‌های این تحقیق تغییرات فشار در مرکز این سامانه‌ها، به استثنای پرفشار سیبری در فصل بهار، به گونه‌ای است که موجب تضعیف این سامانه‌ها می‌گردد. هر چند پرفشار سیبری در فصل زمستان تضعیف شده است اما تغییرات آن از لحاظ آماری معنی‌دار نیست. اما این سامانه با ۰/۴۵+ میلی‌بار افزایش دهه‌ای، در فصول بهار تقویت شده است. تقویت این سامانه در بهار می‌تواند موجب پدید آمدن گرادیان فشار در نواحی شمالی کشور و به تبع آن افزایش ناپایداری‌ها و بارش‌های بهاری گردد. با توجه به اینکه بارش‌های بهاره عمدتاً به صورت رگباری و شدید هستند، لذا این وضعیت می‌تواند موجب وقوع بارش‌های سیل‌آسا در این فصل

منابع

- 11- Ezber Y., Lutfi Sen O., Kindap T. and Karaca M (2007). Climate effects of urbanization in , *International Journal of Climatology*, Vol 27.
- 12- Gong D., Y. and Ho C. H (2001). Siberian High and climate change over middle to high latitude Asia, *Theoretical and Applied Climatology*, July 2001.
- 13- Javanmard, S. et al (2003). Detection of climate change over I. R. Iran using historical synoptic pattern of middle-east, *Proceeding of World Climate Change Conference*, 2003, Moscow.
- 14- Kalnay, E and Coauthors (1996). The NCEP/NCAR reanalysis 40-year project. *Bulletin of American Meteorological Society*, 77.
- 15- Kuteswaram, P (1978). Notes on synoptic meteorology theory, 3rd edition, University of Tehran- Geophysics Institute.
- 16- Lefevre R. J. and Nielsen-Gammon J. W (1995). An objective climatology of mobile troughs in the Northern hemisphere, *Tellus*. V. 47A.
- 17- McCabe, G. J., Clark M. P. and Serreze M. C (2001). Trends in Northern Hemisphere Surface Cyclone Frequency and Intensity, *Journal of Climate*.
- 18- Panagiotopoulos, F., Shahgedanova M., Hannachi A. and Stephenson D. B (2005). Observed Trends and Teleconnections of the 6IEHIDQ + IJK \$ 5 HFFQW ' HFOQIQ & HQMU of Action. *J. Climate*, 18.
- 19- Suzana, J. Camargo (2009). How can we predict future changes in tropical storm IUIHXQF\ DQG IQWQMW" D UHMHZ \$ QQXDO meeting of abrupt climate change in a warming word, July 8-10, 2009, LDEO, Palisades, New york.
- 20- Trigo I. F., Bigg G. R., Davies T. D (2002). Climatology of Cyclogenesis Mechanisms in the Mediterranean, *Monthly Weather Review*, Vol.130 (3).
- 21- Zaitchik B. F., Evans J. P., and Smith R. B (2007). Regional Impact of an Elevated Heat 6RXIFH 7KH=DJURV 3 OMDX RI , UQ -RXQDO of Climate, Vol. 20 (16).
- ۱- جوانمرد، سهیلا و همکاران (۱۳۸۲). بررسی همبستگی بین تغییرات فشار قزاقستان- دریای عمان با نوسان‌های بارش ایران، *مجله تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۷۱.
- ۲- رسولی، علی‌اکبر (۱۳۸۲). تحلیل مقدماتی سری‌های زمانی- استخراج مؤلفه‌های اولیه و ثانویه عناصر اقلیمی شهر تبریز، *نشریه نیوار*. شماره‌های ۴۶ و ۴۷.
- ۳- عزیزی، قاسم؛ محمود روشنی (۱۳۸۷). مطالعه تغییر اقلیم در سواحل دریای خزر به روش من-کندال، *پژوهش‌های جغرافیایی*. شماره ۶۴.
- ۴- علیجانی، بهلول (۱۳۸۳). آب و هوای ایران، چاپ ششم. تهران. انتشارات دانشگاه پیام نور.
- ۵- لشکری، حسن (۱۳۷۵). الگوهای سینوپتیکی وقوع بارش‌های شدید جنوب غرب ایران، رساله دکتری آب و هواشناسی. دانشگاه تربیت مدرس.
- ۶- مدیریان، راحله و همکاران (۱۳۸۷). شبیه‌سازی بارش- های تابستانه جنوب‌شرق کشور با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3، *مجله نیوار*. شماره ۶۷-۶۶.
- 7- Deser C. and Phillips A. S (2009). *The Relative Roles of Sea Surface Temperature Forcing and Direct Atmospheric Radiative Forcing*, *Journal of Climate*, Vol. 22(2).
- 8- Efimov V. V., Shokurov M.V. and Hein D., Mesoscale cyclonic eddies in the Black Sea 5 HIRQ 0 HRIIFH WFKQFDO QRM precis.metoffice.com/Useful_Links/Publications/CTATbR2008Eng.doc
- 9- Evans J. P (2009). 21st century climate change in the Middle East, *Climatic Change*, Vol. 92 (3-4).
- 10- Evans J (2009). Global warming impact on the dominant precipitation processes in the Middle East, *Theoretical and Applied Climatology*.