

Investigation into variation in atmospheric circulation affecting the time delay of widespread and effective autumn's precipitation

Zahra Hejazizadeh¹  | Mohammad Darand²  | Bohلول Alijani¹  | Mohammad Nasserzadeh³  | Nabi Mirzaei⁴  

1-Professor, Department of climatology, Faculty of Geographical Sciences, University of Kharazmi Tehran, Iran

2- Professor, Department of climatology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan

4- Associate Professor, Department of climatology, Faculty of Geographical Sciences, University of Kharazmi Tehran, Iran

5- Ph.D Student Synoptic climatology, University of Kharazmi Tehran

Article Info:

Article type:

Research Article

history:

Received:

2024/5/3

Received:

2024/6/30

Accepted:

2024/7/25

Published:

2024/8/5

Keywords:

Synoptic, atmospheric circulation, westerly waves, subtropical high pressure, effective autumn precipitation.

Abstract: The strengthening of westerlies is the main driver of instability and precipitation over Iran, whose spatial variations are an important parameter to identify the spatial and temporal differentiation of precipitation, especially its role in the temporal distribution of autumn precipitation at the same time as the beginning of the water year is very important. Early and late fall rain is a good criterion for starting the cultivation of autumn (rainy) crops. In order to explain the role of changes in atmospheric circulation on the time delay of autumn rains, precipitation data, weather patterns, wave indices, intensity and high-pressure area in the subtropical high pressure (STHP) were used. The results showed the weakening of the westerlies waves due to the spatial variations of high pressure in the tropical zone. The decrease in tides in October was associated with the time delay of precipitation and the shortening of rainy days. The delay in the high-pressure southerly regression was associated with a 20-day delay and a decrease of 7 mm of monthly precipitation and finally a decrease of 15 mm of autumn precipitation. From a synoptic point of view, the time delay of precipitation was associated with the positive anomaly of geopotential height and STHP strengthening. These conditions occurred more often in the negative phase of the ENSO (La Niña) oscillation than in the positive phase. The general trend of precipitation in early autumn was lower than normal, so that the amount of precipitation decreased in the first half of autumn and increased in the second half. The time shift of the effective autumn rainfall (from October to November) was accompanied by due to the provision of suitable instability conditions. The time delay of autumn precipitation was associated with the shortening of the rainy season, the reduction of autumn precipitation and finally drought.

Cite this article: Rahimi ,N (2024). Examining the homogeneity of temperature data of Tabriz airport meteorological station. *Climat Chenge and Climat Disasters*, 3(5), 27-64.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan





واکاوی تغییرات گردش جوی موثر بر تاخیر زمانی بارش فراگیر و موثره پاییزه

زهرا حجازی زاده^۱ | محمد دارند^۲ | بهلول علیجانی^۳ | محمدحسین ناصر زاده^۴ | نبی میرزایی^۵

۱- استاد گروه آب و هواشناسی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران

۲- استاد گروه آب و هواشناسی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

۳- دانشیار گروه آب و هواشناسی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران

۴- دانشجوی دکتری اقلیم-شناسی سینوپتیک، دانشگاه خوارزمی تهران

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۳/۲/۱۲

بازنگری: ۱۴۰۳/۴/۱۰

پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۲۵

انتشار: ۱۴۰۳/۵/۱۵

واژگان کلیدی:

همدیدی، گردش جو، امواج باد غربی، پرفشار

جنب حاره، بارش موثر پاییز

چکیده: تقویت بادهای غربی محرک اصلی ناپایداری و بارش ایران زمین است که تغییرات مکانی آن پارامتری مهم جهت شناسایی تمایز فضایی و زمانی بارش است به‌ویژه نقش آن در توزیع زمانی بارش ۶‌های پاییزه همزمان با آغاز سال آبی، اهمیت زیادی دارد. بارش زودرس و دیررس فصل پاییز معیاری مناسب برای شروع کشت محصولات پاییزه (کشت دیم) است. در راستای تبیین نقش تغییرات گردش جوی بر تاخیر زمانی بارش ۶‌های پاییزه از داده‌های بارش و الگوهای جوی و برای شناخت تغییرات الگوهای گردش جوی از شاخص‌های موج و شدت و سطح پرفشار جنب حاره بهره گرفته شد. نتایج بیانگر تضعیف امواج باد غربی به دلیل تغییرات مکانی پرفشار جنب حاره است. کاهش موج در ماه اکتبر با تاخیر زمانی بارش و کوتاه شدن روزهای بارانی همراه بوده است. تاخیر در پسروری جنوبی پرفشار جنب حاره با تاخیر ۲۰ روزه و کاهش ۷ میلی‌متری بارش ماهانه و کاهش ۱۵ میلی‌متری بارش پاییزه همراه شده است. از لحاظ همدیدی نیز تاخیر زمانی بارش، با ناهنجاری مثبت ارتفاع ژئوپتانسیل و تقویت پرفشار همراه شده است. این شرایط در فاز منفی نوسان انسو (لاتینا) بیشتر از فاز مثبت رخنمود داشته است. گرایش کلی بارش ۶‌های اوایل پاییز به کمتر از نرمال طبیعی خود است بطوریکه از مقدار بارش در نیمه اول پاییز کاسته شده و بر مقدار آن در نیمه دوم افزوده شده است. جابجایی زمانی بارش موثر پاییزه (از اکتبر به نوامبر) به دلیل فراهم شدن شرایط مناسب ناپایداری همراه شده است. تاخیر زمانی بارش پاییزه با کوتاه شدن دوره بارشی، کاهش بارش پاییزه و در نهایت خشکسالی همراه شده است.

استناد: رحیمی، نفیسه (۱۴۰۳). بررسی همگنی داده‌های دما ایستگاه هواشناسی فرودگاه شهر تبریز. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، ۳(۵)، ۲۷-۶۴.

© نویسندگان .

ناشر: دانشگاه زنجان.

Homepage: cccd.znu.ac.ir



مقدمه

تغییر خصوصیات بارش تحت تاثیر تغییر اقلیم شامل تغییر تعداد روزهای مرطوب، مدت، شدت و زمان بارش می-باشد (توانگر و همکاران، ۱۳۹۸). بارش به عنوان حیاتی‌ترین عنصر اقلیمی، تحت تاثیر گردش بزرگ مقیاس جو رخنمود پیدا می کند. توزیع زمانی- مکانی بارش عامل مهمی در اتخاذ سیاست‌های مدیریتی در بخش‌های کشاورزی، مدیریت مخاطرات محیطی، خشکسالی، مدیریت منابع آب، مدیریت بحران بلایای طبیعی و مدیریت منابع آب است، بطوریکه از بین عناصر اقلیمی مقدار بارش، زمان شروع و پراکندگی زمانی آن برای کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (سبزی پرور و همکاران، ۱۳۹۱). وقوع ناهنجاری بارشی یکی از موانع اصلی توسعه پایدار است (لیو و همکاران^۱، ۲۰۱۸) زیرا بارش با تامین آب مورد نیاز برای تداوم فعالیت‌های اساسی بستر لازم برای توسعه فعالیت‌های کشاورزی و اقتصادی را فراهم می‌کند. واقع شدن ایران در عرض‌های پرفشار نیمکره شمالی سبب شده که بخش زیادی از آن عمدتاً دارای

شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک باشد. پراکندگی بارش سالانه ایران، گویای تفاوت‌های بسیار زیاد در زمان رخداد آن است. این تفاوت‌ها از یک سو به طبیعت رفتار بارش باز می‌گردد که اساساً متغیری سرکش است و تغییرات زمانی- مکانی شدیدی از خود نشان می‌دهد. از سوی دیگر، تنوع منشاء بارش، در نقاط مختلف ایران سبب شده است تا هر منطقه مقدار ریزش‌های جوی و زمان بارش متفاوت باشد (مسعودیان، ۱۳۹۰). عمده تولیدات کشاورزی و دامداری ایران به بارش دوره سرد سال وابسته است. بارش پاییز در کشت دیم و میزان تولید محصولات کشاورزی کشور نقش تعیین کننده دارد (فاتحی مرنج و مهدیان، ۱۳۸۷). رابطه بارش پاییزه و بخش کشاورزی و به ویژه کشت دیم، قابل توجه و از دیگر فعالیت‌ها متمایز است (عزیزی، ۱۳۷۹). به طور کلی بارش موثر پاییزه از چند جهت حایز اهمیت است، اولاً اینکه فصل پاییز، به عنوان آغاز سال آبی و دوره ورود سامانه‌های بارش‌زا نقش مهمی در تغییرات بارش کل دارد. دوماً اینکه بارش فصل پاییز بیشتر از فصول

دیگر تحت تاثیر متغیرهای فشار اتمسفری و نوسانات پیوند از دور قرار دارد (غیور و خسروی، ۱۳۸۰). سوما اینکه بارش فصل پاییز بعد از یک دوره بی بارشی یعنی دوره خشک و گرم سال (تابستان) نمود پیدا می کند، بسیار متغیرتر است بطوریکه به شدت تحت تاثیر رفتار الگوهای فشار اتمسفری قرار دارد. رخنمود بارش در این فصل به دلیل عدم پوشش گیاهی و رگباری بودن آن، بیشتر به صورت رواناب و سیلاب ظاهر می گردد. همچنین بارش موثر فصل پاییز معیاری مناسب برای شناسایی خشکسالی و ترسالی پاییزه در رابطه با فعالیت های فعالیت های کشاورزی است. بارش موثر بارشی است که مستقیماً جوابگوی نیاز آبی گیاه باشد، البته مفهوم بارش موثر از دیدگاه هیدرولوژی با مفهوم آن از دیدگاه کشاورزی متفاوت است. بارش موثر را برابر با کل باران فصل رشد، منهای رطوبت از دسترس خارج شده بصورت رواناب یا نفوذ می دانند. تعریف جامع و کامل در رابطه با بارش موثر (پله^۱) در

گستره ایران زمین نیز دشوار است. جدا از تقسیم بندی و معیاری ها برای مشخص کردن بارش موثر، اثر الگوی گردش جو موثر بر رخداد بارش پاییزه اهمیت بیشتری دارد. چرا که تاخیر زمانی عامل مهمی در خشکسالی و ترسالی محسوب می شود (سونگ و همکاران^۲، ۲۰۲۱). بر پایه مطالعات صورت گرفته بارش فصل پاییز بسیار متغیر است. دلیل این امر از یک سو به رفتار فشار اتمسفری مانند پرفشار جنب حاره و از سوی دیگر به تغییرات الگوهای جوی (باد غربی) موثر بر بارش بر می گردد، بطوریکه پرفشار جنب حاره آزر نقش مهمی در کاهش بارش در غرب ایران دارد (یاوری و سلیقه، ۱۳۹۲)، بارش های سنگین پاییزه ناشی از تغییرات تراف باد غربی است (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲). به عبارتی دیگر تغییرات عناصر سطحی در عرض های میانه ناشی از تغییرات مکانی باد غربی است (هاچمان و راو^۳، ۲۰۲۱). به طور مخص بخش قابل ملاحظه ای از تغییر پذیری بارش ایران به نوسان پیوند

۱- حداقل رطوبت مورد نیاز برای سبز شدن بذر گندم، در اصطلاح عامیانه به پله یا همان بارش موثر معروف است.

2- Song et al.

3- Hitchman and Rowe.

کشور اتفاق افتاده است (عساکره، ۱۳۸۶). دلیل احتمالی ناهنجاری مقدار و شدت بارش رفتار سامانه‌های همدید است، بطوریکه پرفشار جنب حاره طی همه فصول سال از نظر شدت و سطح افزایش یافته است (علی پور و همکاران، ۱۳۹۷). شاهبایی و عساکره (۱۳۹۶) ویژگی مکانی بارش‌های پاییزه‌ی شمال غرب ایران را واکاوی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که طی ماه اکتبر به دلیل ضعیف بودن باد غربی در منطقه، میزان واریانس فضایی بارش‌ها کم بوده و عوامل مکانی نقش مهمی در تغییرات بارش ایفا می‌کند. در ماه نوامبر ضمن تقویت سامانه‌های بارش زا نقش عوامل مکانی در تغییرپذیری بارش‌ها به اوج خود می‌رسد، اما در ماه دسامبر به دلیل قدرت سامانه‌های بارشی و تغذیه رطوبتی مناسب، از نقش عوامل مکانی در بارش‌های منطقه کاسته شده و تغییرپذیری بارش‌ها بیشتر با عوامل جوی مرتبط می‌باشد. ژانگ و تورنر^۴ (۲۰۱۴) خشکسالی پاییز در چین را تحت تأثیر نوسان انسو^۵ مطالعه کرده‌اند. کالوارو و همکاران^۶

از دور و دمای سطح پهنه‌های منطقه‌ای وابسته است (رسولی و همکاران، ۱۳۹۰). در این رابطه مطالعات متعددی تغییرات زمانی بارش را تحت تأثیر الگوهای پیوند از دور واکاوی کرده‌اند، از جمله آن می‌توان به (فانگ و همکاران^۱، ۲۰۰۸؛ هامد و همکاران^۲، ۲۰۲۱؛ هیفامارین و همکاران^۳، ۲۰۲۲) اشاره کرد. در این رابطه نیز موسوی بایگی و اشرف (۱۳۹۰) در بررسی الگوی های سینوپیتیکی منجر به خشکسالی پاییزه و زمستانه استان خراسان رضوی به این نتیجه رسیدند که اندرکش سامانه پرفشار سیبری و پرفشار آزور سبب رخداد خشکسالی متوسط، شدید و حاد در منطقه می‌شود. طایی و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که روند افزایشی بارش در ماه نوامبر در ایستگاه سقز در سطح ۹۵ درصد وجود دارد. در سایر ایستگاه‌ها طی دوره مطالعاتی مذکور هیچ روند مشخصی را نشان نمی‌دهد و فقط تغییرات ناگهانی همراه با نوسان در آن‌ها دیده می‌شود. به طور کلی کاهش بارش پاییزه در ۴/۵۱ درصد از مساحت

4- Zhang and turner, 2014

5- ENSO

6- Caloiero et al, 2018

1- Fang et al

2- Hameed et al

3- Halifa-Marín et al

(۲۰۱۸) در مطالعه خشکسالی نیمکره شمالی نشان دادند که شمال آفریقا و مدیترانه بیشترین خشکسالی ها را تجربه کرده اند. هلالی و همکاران (۲۰۲۰) اثر سیگنال های جوی بزرگ مقیاس در تاخیر زمانی بارش حوزه های آبخیز ایران زمین را انجام دادند. رقانی و همکاران (۲۰۱۶) نیز رابطه بین نوسان جنوبی و بارندگی پاییز را مطالعه کردند. بر این اساس میانگین فازهای نوسان انسو طی تیر تا شهریور با بارندگی پاییزی در برخی مناطق واقع در غرب و شمال غرب ایران، سواحل غربی دریای خزر و رشته کوه های البرز جنوبی مرتبط است. فازهای ال نینو (منفی) و لانینا (مثبت) به ترتیب با افزایش و کاهش بارندگی در پاییز همراه بودند. بنابراین وقوع پدیده لانینا بارش سالانه و پاییزه کمتر و متقابلا در سال- های وقوع پدیده ال نینو بارش سالانه و پاییزه بیشتر می شود (یوسفی و حجام، ۱۳۹۱). با توجه به انجام مطالعات متعددی پیرامون بارش ایران زمین، در اکثر آن ها توجه محققان عموماً به بررسی همیدی خشکسالی با استفاده از شاخص های آماری بوده است.

تعدادی از مطالعات مانند (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۰؛ فرج زاده و همکاران، ۱۳۹۲؛ هلالی و همکاران^۱، ۲۰۲۰) به اثر نوسان پیوند از دور بر رخداد بارش معطوف بوده است. در صورتی که در پژوهش پیش رو علاوه بر تبیین وردایی بارش پاییزه نقش عوامل مختلفی مانند پیوند از دور، آرایش الگوهای جوی و سامانه های فشار اتمسفری را در وردایی بارش های پاییزه مطالعه می کند. مسلماً کاهش بارش در فصل پاییز ناشی از تغییرات آب و هوایی است (زارعی، ۱۳۹۸) که تحت تاثیر تغییر اقلیم رفتار متغیری از خود نشان می دهد رسولی و همکاران (۱۳۹۰). در مطالعات پیشین با رویکردهای مختلفی تغییرات بارش بررسی شده است و کمتر به اثر تغییرات گردش تاخیر زمانی بارش توجه شده است. به عبارتی هنوز دلیل اصلی کاهش (افزایش) بارش پاییزه مورد توجه پژوهشگران نبوده و بیشتر بر تحلیل همیدی خشکسالی و ترسالی پرداخته شده است، در صورتی که رخداد خشکسالی و ترسالی و تغییرات زمانی- مکانی بارش تحت تاثیر تغییر رفتار الگوهای بزرگ جو است (عساکره و

فصل پاییز از دو جهت اهمیت دارد، از یک طرف در سال‌های اخیر شاهد تاخیر زمانی در شروع بارش‌های پاییزه بوده- ایم. از طرف دیگر تاکنون نقش وردایی الگوی گردش جو بر تاخیر زمانی بارش فصل پاییز بررسی نشده است. بنابراین در این پژوهش برآنیم مکانیسم همدیدی حاکم بر تاخیر زمانی بارش فراگیر و موثره پاییزه را واکاوی کنیم.

۱. داده‌ها و روش‌ها

۱.۱. داده‌ها

با هدف واکاوی نقش عوامل همدیدی در تغییرپذیری بارش فصل پاییز از سه دسته داده زمینی و داده‌های سطوح فوقانی جو برای بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۱۹۷۹ استفاده شد. داده‌های زمینی شامل داده‌های بارش ایستگاهی، داده بارش شبکه‌ای پایگاه مرکز پیش بینی میان مدت جوی اروپایی -ECMWF ERA5 می باشد. دسته دوم شامل داده‌های شبکه‌ای الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل است. دسته سوم داده‌های پیوند از دور انسو (نوسان جنوبی) است

شادمان، ۲۰۱۵)، به ویژه در فصل پاییز که به دلیل تغییرات در گردش جو (دوره انتقالی) بر این تغییرات افزوده می شود. بارش فصل پاییز علاوه بر تامین نیاز آبی گیاهان، نقش مهمی در تعادل هیدرولوژی و تراز آب سطحی دارد. به همین دلیل تاخیر در رخداد آن سبب بهم خوردن دوره رشد گیاهان، تاخیر و کاهش عملکرد کشت دیم، عدم وجود پوشش گیاهی مناسب برای کاهش رواناب و سیلاب در نهایت کاهش نفوذ پذیری در خاک می شود. ایران زمین با توجه به موقعیت جغرافیایی خاص خود در منطقه‌ای انتقالی نسبت به الگوهای بزرگ مقیاس گردش عمومی و ردسپهر قرار دارد و محل برهمکنش سیستم‌های گردش برون حاره و حاره‌ای است، در فصل پاییز الگوی بزرگ مقیاس سبب تضعیف پرفشار جنب حاره و تقویت باد غربی بر روی کشور می‌شود (حلبیان و شبانکاری، ۱۳۹۰). به همین دلیل رژیم بارندگی ایران پرنوسان است (بابایی فینی و فرج‌زاده، ۱۳۸۲)، بطوریکه رخداد خشکسالی و ترسالی تحت تاثیر الگوی گردش عمومی جو است (فتاحی و بابایی فینی، ۱۳۹۳). تبیین رفتار سامانه‌های جو بر تغییرات زمانی بارش

که از سایت نوا^۱ اخذ گردید. در راستای اهداف مورد نظر، زمان رخداد بارش‌های موثر پاییزه شناسایی شد. در این راستا روزهای با بارش ۱۰ میلی‌متر که حداقل در ۲۵ درصد ایستگاه‌ها رخنمود داشته باشد، به عنوان بارش فراگیر و موثر پاییزه استفاده شد. رخداد بارش ۱۰ میلی متری در ۲۵ درصد (صدک ۲۵م) از ایستگاه به منزله فراگیر بودن بارش است که ناشی از سیکلون بارشی است. همچنین بارش بیش از ۵ میلی متر با تداوم بیش از ۳ روز که در ۲۵ درصد ایستگاه‌ها رخنمود داشته باشد تحلیل شد. این آستانه امکان کشف عوامل گردشی در رخداد بارش را میسر کرده و به آستانه روش درصدی برای بارش موثر نزدیک‌تر است. معیار و شاخص-های مختلفی برای بارش موثر پاییزه ارایه شده است که برای مناطق مختلف کشور نمی تواند مقدار مشخصی بارش تعیین کرد.

۲.۲. روش‌ها

به طور کلی برای انجام این پژوهش دو مرحله اصلی در نظر گرفته شد. مرحله اول مربوط به بررسی تغییرات بارش

پاییزه است. در این راستا تغییرات زمانی بارش موثر پاییزه و روزهای بارانی در ماه‌های فصل پاییز برای دو دوره متفاوت (۲۰۲۰ تا ۱۹۹۹ و ۱۹۹۸ تا ۱۹۷۹) مورد واکاوی قرار گرفت. هدف از این کار مقایسه تغییرات زمانی و مقدار بارش در دو دوره ۲۰۲۰ تا ۱۹۹۹ و ۱۹۹۸ تا ۱۹۷۹ بود. برای تبیین تغییرات زمانی بارش نیز آنومالی بارش ماه‌های فصل پاییز از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۰ با استفاده از شاخص SPI^2 به دست آمد. مرحله دوم نیز شامل واکاوی اثر تغییرات مکانی پرفشار جنب حاره و باد غربی بر الگوهای جوی کنترل کننده بارش فصل پاییز است. با تحلیل الگوی گردشی برای کرنل ۷۰ تا ۸۰- درجه طول شرقی و ۱۰ تا ۶۰ درجه عرض شمالی، نقش تغییرات زمانی-مکانی باد غربی (شامل امواج باد غربی) و پرفشار جنب حاره در تغییرات زمانی بارش پاییزه تحلیل هم‌دیدگی شدند. با توجه به اینکه بارش در دوره سرد در بخش گسترده‌ای از ایران تحت تاثیر سامانه‌های است که از سمت مدیترانه رخ می‌دهد، تحلیل هم‌دیدگی بر روی

2-Standardized Precipitation Index

1 -National Oceanic and Atmospheric Administration

هکتوپاسکال در راستای عرض‌های جغرافیایی بیانگر تغییرات مکانی پرفشار است. همچنین برای شناسایی حد جنوبی باد غربی پربند ۵۸۰۰ به عنوان خروجی‌ترین (جنوبی) پربند باد غربی (هارمان^۱، ۱۹۹۱) تحلیل شد. در راستای تغییرات امواج باد غربی علاوه بر پربنده ۵۸۲ دکامتر مقدار تموج برای پربند ۵۶۵ و ۵۷۵ دکامتر نیز به دست آمد.

شاخص تموج

تموج^۲ تحت عنوان نسبت طول منحنی یکی از هم ارتفاع‌های تراز میانی جو به محیط عرض جغرافیایی معادل تعریف می‌شود (کوتکس و همکاران، ۲۰۱۶؛ مارتین و همکاران، ۲۰۱۶). کمینه مقدار تموج حدود ۱ است که نشان دهنده یک جریان مداری است و هرچه این مقدار افزایش یابد، افزایش مقدار تموج یک جریان را نشان می‌دهد (حجتی و مسعودیان، ۱۴۰۰).

(۱)

$$Asin = \frac{L_{575} + L_{575} + L_{575} + L_{575}}{EL_{575} + EL_{575} + EL_{575} + EL_{575}}$$

موقعیت مکانی باد غربی متمرکز است. همچنین با توجه به اینکه شروع فصل پاییز همزمان با پسروری پرفشار پویشی جنب حاره است، تغییرات پرفشار جنب‌حاره بر بارش این فصل نیز تحلیل می‌شود. تغییرات مکانی باد غربی در شمال و پرفشار جنب حاره از جمله مهمترین عواملی هستند که بر الگوهای جوی موثر بر بارش نقش آفرینی می‌کنند (بابایی فینی و فرج زاده، ۱۳۸۲). با هدف درک چگونگی تغییرات مکانی پرفشار جنب حاره از شاخص شدت و سطح برای تغییرات امواج باد غربی استفاده شد. شاخص سطح و شدت پرفشار جنب حاره توسط (علیپور و همکاران، ۱۳۹۷) برای بررسی تغییرات مکانی پرفشار جنب حاره استفاده شد. بر این اساس تعداد شبکه‌های که در زیر پربند هم‌ارتفاع ۵۸۴ ژئوپتانسیل دکامتر و بالاتر از آن قرار دارند، نشانه سطح پوشش این سامانه هستند. هر اندازه تعداد شبکه‌های زیر پوشش این پرفشار، بیشتر باشد شاخص سطح بالاتر بوده و مساحت بیشتری تحت سیطره پرفشار است (حجازی زاده و جوی زاده، ۱۳۸۹). بنابراین تغییرات پربند ۵۸۴۰

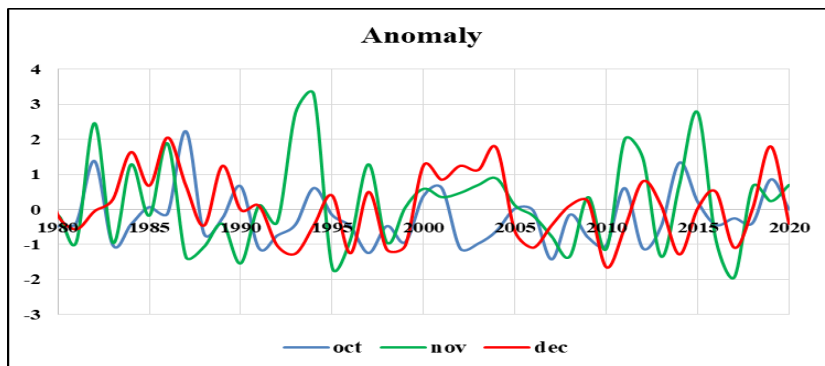
در رابطه (۱) L طول منحنی هم ارتفاع مورد و EL طول عرض جغرافیایی معادل آن است. طول، کوتاه ترین فاصله ممکن میان نقطه آغاز و پایان حلقه مداری است. موجی بودن جریانات با محاسبه و ترسیم سینوسی درک مناسبی از تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ ارائه می دهد (وارپوس و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین با ترسیم تموج تغییرات طولی و عرضی باد غربی برای ماه های فصل پاییز محاسبه می شود، سپس تغییرات حد جنوبی آن نسبت به میانگین تحلیل می شود. همچنین با تحلیل همدیدی نقشه های الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل تغییرات الگوهای جوی موثر بر بارش پاییزه تحلیل می شود.

۲. یافته ها و نتایج

آنومالی بارش ماه های فصل پاییز

آنومالی بارش برای ماه های فصل پاییز طی بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۱۹۷۹ پاییز بر

اساس شکل ۱ نشان می دهد که بارش در فصل پاییز تغییرات زمانی زیادی داشته است. ناهنجاری بارش ماه اکتبر کاهش را نسبت به میانگین نشان می دهد، بطوریکه طی دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۰۱ با کاهش مواجه شده است. برای ماه های نوامبر و دسامبر روند کاهش و افزایشی در نرخ بارش دریافتی دیده نمی شود. آنومالی مثبت بارش برای ماه های فصل پاییز طی بازه ۱۹۸۶ تا ۱۹۷۹، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۱ نشان دهنده ترسالی شدید و کاهش طی ۲۰۱۰ تا ۲۰۰۵ بیانگر خشکسالی شدید است. بر اساس آزمون من کندال روند طی ماه نوامبر و دسامبر طی دهه اخیر تغییرات شدید را نشان نمی دهد. ناهنجاری مثبت بارش ماه نوامبر طی دهه اخیر نمایان شده است. در حالیکه کاهش نسبی در مقدار بارش در ماه اکتبر رخ داده است. این کاهش ناشی از تغییرات دینامیکی بزرگ مقیاس جو است که در این پژوهش مورد واکاوی قرار گرفته است.

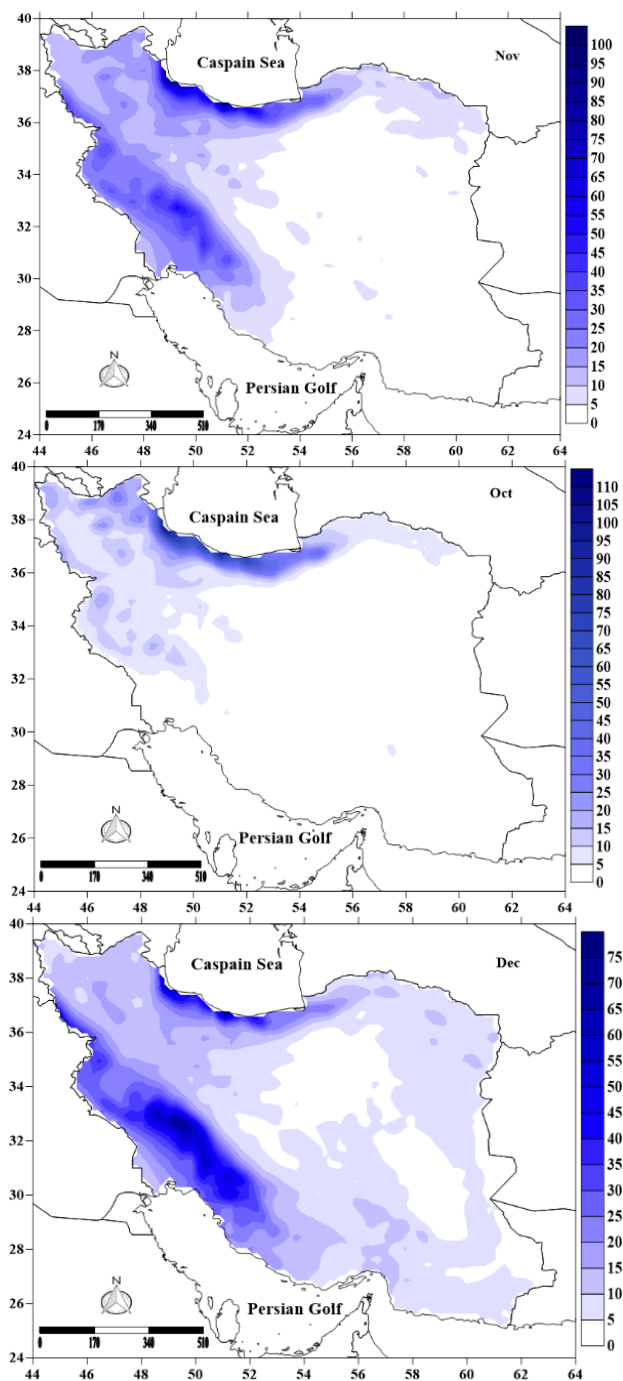


شکل ۱: شاخص توزیع نرمال استاندارد بارش پاییز طی بازه زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۰

ماه اکتبر است. افزایش چشمگیری در مقدار بارش در سرتاسر زاگرس و غرب کشور مشاهده می شود. در این ماه نیز بیشینه بارش در حوزه دریای خزر و بخش‌هایی از زاگرس مشاهده می شود. علاوه بر این بارش به سمت بخش‌های جنوبی‌تر نیز کشیده است. همزمان با شروع ماه دسامبر به دلیل تقویت امواج بارشی بخش گسترده‌ای از کشور بارش دریافت می کند. در این زمان تمرکز بارش بر روی سرتاسر زاگرس و نوار ساحلی دریای خزر می باشد. همچنین مقدار بارش در جنوب غرب و بخش‌های از شمال شرق کشور نیز نسبت به ماه‌های قبل افزایش یافته است.

میانگین بلندمدت بارش فصل پاییز

میانگین بلندمدت بارش دریافتی برای ۳ ماه اکتبر، نوامبر و دسامبر در شکل ۲ آورده شده است. در ماه اکتبر بارش در نوار ساحلی دریای خزر به دلیل فراهم شدن شرایطی بارش‌های همرفتی و امواج غربی بیشینه است. بارش به طور میانگین در این منطقه تا ۱۱۰ میلی متر رخ می دهد. علاوه بر این منطقه در شمال غرب و بخش‌های غربی کشور نیز بارش بین ۵۰ تا ۱۰ میلی‌متری در نوسان است. این مقدار برای تمام مناطق یکسان نبوده و تغییرات مکانی شدیدی را نشان می دهد. در ماه نوامبر گستره و شدت مکانی بارش بیشتر از

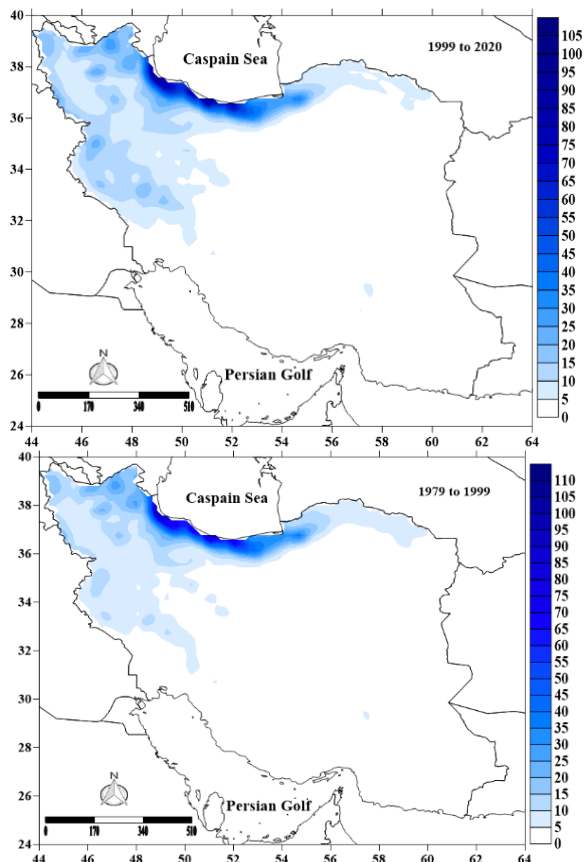


شکل ۲: میانگین بلندمدت بارش دریافتی ماه‌های فصل پاییز

بارش اکتبر

ویژه بر روی زاگرس شمالی بیشتر از دوره اول است. در دوره دوم نرخ بارش در این منطقه بین ۵ تا ۴۰ میلی‌متر در نوسان است. گستره مکانی بارش نیز در دوره دوم بیشتر از دوره اول است. به طور کلی در دو دوره ۲۰۲۰ تا ۱۹۹۹ و ۱۹۹۸ تا ۱۹۷۹ تمرکز بارش بر روی نوار شمالی و بخش‌های غربی کشور مشاهده می‌شود. سایر مناطق نیز بارشی کمتر از ۵ میلی‌متر را داشته‌اند.

نرخ بارش دریافتی ماه اکتبر برای دو دوره ۲۰۲۰ تا ۱۹۹۹ و ۱۹۹۹ تا ۱۹۷۹ در شکل ۳ نشان داد شده است. در دوره اول بیشینه بارش بر روی نوار شمالی کشور مشاهده می‌شود و در بخش‌های غربی کشور نیز بارشی بین ۲۰ تا ۵ میلی‌متر رخ نمود داشته است. در صورتی که در دوره دوم نرخ بارش دریافتی در بخش‌های غربی کشور به

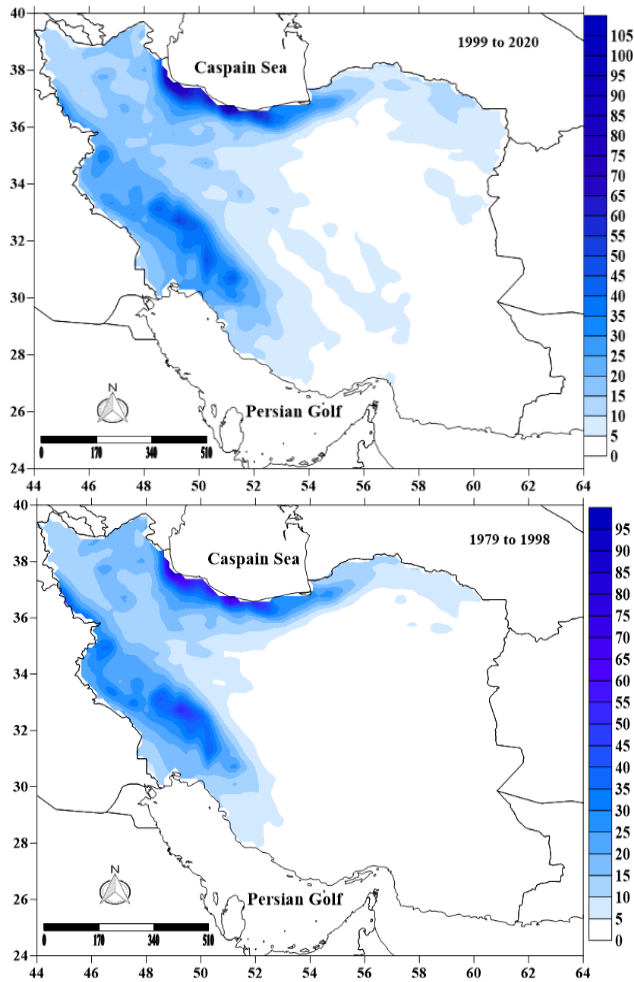


شکل ۳: میانگین بارش ماه اکتبر برای دوره ۲۰۲۰ تا ۱۹۹۹ و ۱۹۹۸ تا ۱۹۷۹

بارش نوامبر

گستره و مقدار بارش دریافتی کشور در ماه نوامبر نسبت به ماه اکتبر (شکل ۳) افزایش چشمگیری را نشان می دهد. افزایش نرخ بارش دریافتی در این ماه نیز در نوار شمالی کشور و بخش‌هایی از زاگرس مرکزی بیشتر از مناطق دیگر است. در دوره اول تمرکز اصلی بارش‌ها نیمه غربی و بخش‌های شمالی است اما در دوره دوم بارش به سمت بخش‌های مرکزی کشور کشیده شده است. مقایسه بارش دریافتی برای دو دوره نشان می دهد که گستره مکانی بارش در دوره دوم بیشتر از دوره اول است. بر روی بخش‌های شمالی کشور بارش

تغییرات زیادی را نشان نمی دهد، اما در بخش‌هایی از شمال غرب و مناطق مرزی کشور مقدار بارش به صورت جزئی‌تر کاهش را نشان می دهد. این در حالی است که شدت و دامنه بارش بر روی بخش‌های زاگرس جنوبی در دوره دوم بیشتر شده است. در صورتی- که بر نرخ بارش دریافتی در شمال شرق کشور افزوده شده است. همچنین در بازه ۲۰۲۰ تا ۱۹۹۹ از مقدار بارش در مناطق شمال غربی کاسته شده است و به مقدار بارش جنوب غرب و زاگرس مرکزی افزوده شده است. همچنین مقدار بارش دریافتی در دوره دوم بیشتر از دوره اول است.



شکل ۴: میانگین بارش نوامبر برای دوره ۲۰۲۰ تا ۱۹۹۹ و ۱۹۹۸ تا ۱۹۷۹

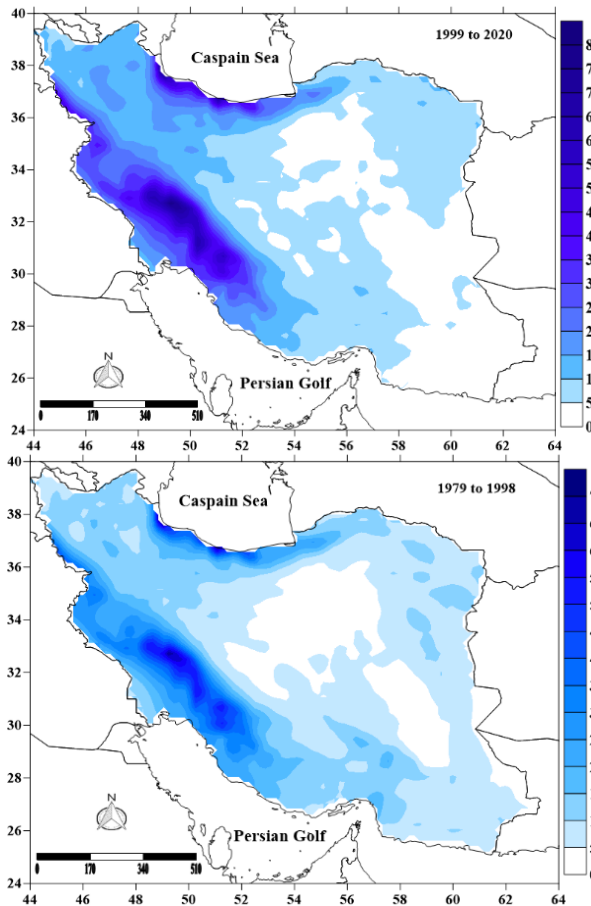
بارش دسامبر

بارش دریافتی در ماه دسامبر تغییرات گسترده‌ای نسبت به ماه نوامبر و اکتبر نشان می‌دهد، در این ماه بخش‌های گسترده‌ای از کشور بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر را تجربه می‌کند، تنها بخش‌های مرکزی کشور بارش کمتر از ۵

میلی‌متر را دریافت می‌کند. در این ماه به دلیل تقویت امواج باد غربی بر روی کشور و فراهم شدن شرایط صعود در بخش‌های غربی کشور، بارش‌های شدید و گسترده رخنمود پیدا می‌کند. از لحاظ مکانی تمرکز بارش در ماه دسامبر بر روی نیمه غربی کشور و سواحل دریای خزر است. مقدار بارش دریافتی

دریافت که در دو دهه اخیر شدت و تمرکز بارش در ماه مارس بر روی بخش‌های غربی کشور بوده است و بر مقدار بارش این مناطق افزوده شده است، در حالی که بارش در مناطق جنوب شرقی کشور کاهش شدیدی نسبت به دوره اول تجربه کرده است

دو دوره ۲۱ ساله بر اساس شکل ۵ نشان می‌دهد که مقدار بارش در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۱۹۹۹ نسبت به دوره ۱۹۹۸ تا ۱۹۷۹ افزایش یافته است. میانگین بارش دریافتی در دوره ۲۰۲۰ تا ۱۹۷۹ بیشتر از دوره ۱۹۹۸ تا ۱۹۷۹ است، اما گستره مکانی بارش در دوره اول بیشتر از دوره دوم است. بنابراین می‌توان



شکل ۵: توزیع مکانی بارش دسامبر برای دوره ۲۰۲۰ تا ۱۹۹۹ و ۱۹۹۸ تا ۱۹۷۹

تحلیل زمانی اولین بارش موثر و فراگیر پاییزه

جدول ۱ زمان شروع اولین بارش موثر پاییزه برای دوره‌های ۲۰۲۰ تا ۱۹۹۹ و ۱۹۹۸ تا ۱۹۷۹ را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است در دهه اول اولین بارش موثر کشور طی اواسط اکتبر بوده است، هر چند در برخی سال‌ها زمان رخداد بارش به ماه نوامبر تغییر کرده است اما در بیشتر سال‌ها اولین بارش موثر و فراگیر کشور طی ماه اکتبر (۹ مهر تا ۹ آبان) رخ نمود داشته است. در دوره دوم زمان دریافت بارش موثر بیشتر در نوامبر (۱۰ آبان تا ۹ آذر) و در برخی سال‌ها در ماه دسامبر (۱۰ آذر تا ۱۰ دی) رخ داده است. در دوره دوم تنها ۵ سال بارش موثر در ماه اکتبر رخ نمود داشته است. به طور کلی تحلیل زمان بارش‌های موثر پاییزه کشور نشان می‌دهد که در بازه ۱۹۹۹ تا ۱۹۷۹ به طور میانگین اولین بارش موثر اواسط اکتبر رخ داده است، اما در دوره دوم زمان بارش‌های موثر به اواخر اکتبر و نوامبر جابجا شده است. بنابراین بارش موثر در دهه اول از اواخر مهر تا

اواسط آبان رخ داده است اما در دوره دوم از اواسط آبان تا اوایل آذر در نوسان بوده است. این تاخیر ۲۰ تا ۱۵ روزه در رخداد بارش با کاهش ۷ میلی‌متر بارش در کشور همراه بوده است. به طور میانگین مقدار بارش در دوره دوم با ۲۰ روز تاخیر نمایان می‌شود. تاخیر زمانی بارش پاییزه از دو جهت اهمیت دارد، اولاً اینکه عدم بارش در ماه اکتبر و تاخیر زمانی در رخداد بارش موثر نقش مهمی در رخداد خشکسالی پاییزه و خشکسالی سالانه دارد. دوماً اینکه به دلیل تغییرات زمانی بارش موثر پاییزه از ماه اکتبر به نوامبر، سبب تشدید بارش موثر و گستره مکانی آن شده است، زیرا شدت، مقدار و گستره مکانی بارش در ماه نوامبر بیشتر از ماه اکتبر است (شکل ۲). بنابراین می‌توان دریافت که تاخیر زمانی بارش ماه اکتبر سبب کوتاه‌تر شدن دوره بارشی کشور شده است. این امر نشان دهنده تغییرات الگوهای جوی موثر بر بارش فصل پاییز است، که ضرورت انجام مطالعات بیشتر در این زمینه را نشان می‌دهد.

جدول ۱: تاریخ بارش‌های موثر دوره ۲۰۲۰ تا ۱۹۹۹ و ۱۹۹۸ تا ۱۹۷۹

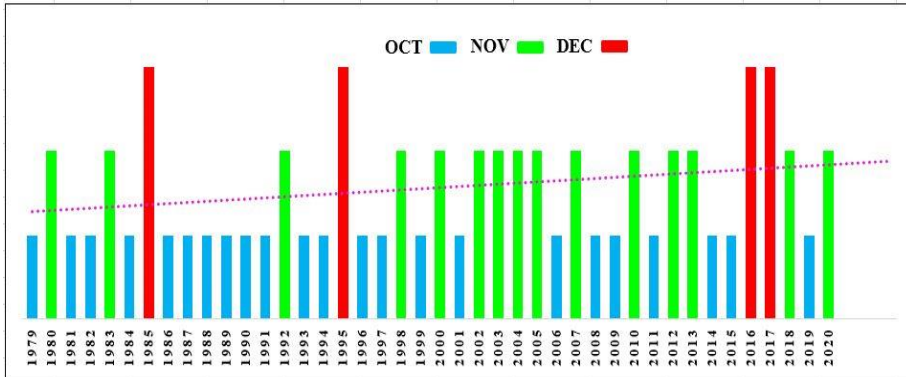
تغییرات بارش پاییز نسبت به میانگین	دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۰۰	تغییرات بارش پاییز نسبت به میانگین	دوره ۱۹۹۸ تا ۱۹۷۹
۷	۵ نوامبر ۲۰۰۰	۲/۲	۲۸ اکتبر ۱۹۷۹
۱	۲۶ اکتبر ۲۰۰۱	-۲/۱	۳۰ نوامبر ۱۹۸۰
-۲	۱ نوامبر ۲۰۰۲	-۱۰	۱۳ اکتبر ۱۹۸۱
۹	۳۰ نوامبر ۲۰۰۳	۱۱	۳ اکتبر ۱۹۸۲
-۴	۱۳ نوامبر ۲۰۰۴	-۱۲	۱۳ نوامبر ۱۹۸۳
۷/۹	۹ نوامبر ۲۰۰۵	۷/۹	۱۹ اکتبر ۱۹۸۴
۱	۲۸ اکتبر ۲۰۰۶	۳/۳	۱۲ دسامبر ۱۹۸۵
-۱۲	۲۲ نوامبر ۲۰۰۷	۶/۷	۲۴ اکتبر ۱۹۸۶
-۹	۲۶ اکتبر ۲۰۰۸	-۰/۲	۱۶ اکتبر ۱۹۸۷
-۹	۳۰ اکتبر ۲۰۰۹	۱	۱۵ اکتبر ۱۹۸۸
-۱۹	۲۵ نوامبر ۲۰۱۰	۶/۲	۳۱ اکتبر ۱۹۸۹
۲	۲۷ اکتبر ۲۰۱۱	۱/۳	۲۸ اکتبر ۱۹۹۰
۱۴	۱۲ نوامبر ۲۰۱۲	۹/۸	۱۶ اکتبر ۱۹۹۱
۶/۴	۳ نوامبر ۲۰۱۳	۱۴/۶	۸ نوامبر ۱۹۹۲
-۳	۲۱ اکتبر ۲۰۱۴	۲/۳	۲۸ اکتبر ۱۹۹۳
۱۳	۹ اکتبر ۲۰۱۵	۲۵/۹	۱۷ اکتبر ۱۹۹۴
۲	۱ دسامبر ۲۰۱۶	-۱۶	۴ دسامبر ۱۹۹۵
-۱۳	۲۸ دسامبر ۲۰۱۷	-۴	۱۶ اکتبر ۱۹۹۶
۲۰	۲۸ اکتبر ۲۰۱۹	۶	۳۱ اکتبر ۱۹۹۷
۱	۱۱ نوامبر ۲۰۲۰	-۱۸	۱۲ نوامبر ۱۹۹۸

تغییرات زمانی اولین بارش پاییز

همانطور که شکل ۶ نشان می دهد در دهه اول و دوم در سال‌های ۱۹۸۵ و ۱۹۹۵ بارش در ماه دسامبر و در سال-های ۱۹۸۰، ۱۹۸۳ و ۱۹۹۲ طی ماه نوامبر رخ داده است. در صورتی که در دهه سوم و چهارم به غیر از سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹

در بقیه سال‌های دیگر بارش موثر در ماه نوامبر رخ داده است. طی دوره دوم تنها ۸ سال بارش موثر در ماه اکتبر بوده است و در سال‌های دیگر بارش موثر و فراگیر پاییزه در ماه نوامبر و دسامبر کشیده شده است. بنابراین مشخص می شود که بارش‌های موثر پاییزه از ماه اکتبر در دوره ۱۹۹۸ تا ۱۹۷۹ به ماه

نوامبر طی بازه ۲۰۲۰ تا ۱۹۹۹ جابجا
است. مسلما تغییرات الگوهای گردش
مهمترین عامل در تغییرات زمانی بارش
پاییزه در کشور است.



شکل ۶: توزیع ماهانه بارش فراگیر موثر پاییزه طی بازه ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۰

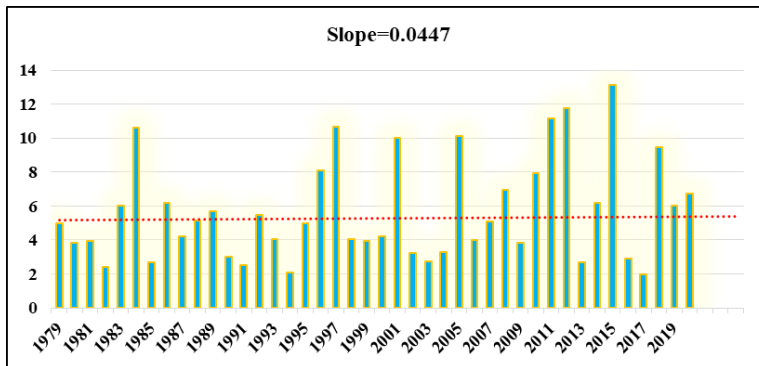
۲۰۲۰ تا ۱۹۹۹ تغییرات سالانه میانگین بارش شدیدتر از دوره اول است. در این زمان میانگین بارش بارش به ۷ میلی‌متر می‌رسد که نسبت به دوره اول افزایش ۱ میلی‌متر را نشان می‌دهد. اگر چه افزایش ۱ میلی‌متری بارش، مقداری ناچیزی به نظر می‌رسد اما این مقدار بیانگر افزایش در مقدار بارش موثر به دلیل تاخیر زمانی است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تاخیر در زمان بارش پاییزه طی سال‌های اخیر رخ داده است اما مقدار بارش تغییر زیادی را تجربه نکرده است. به عبارتی مقدار بارش در طول زمان ثابت بوده اما تغییرات زمانی رخداد آن سبب تغییر میانگین بارش دریافتی در فصل پاییزه

میانگین بارش موثر کشور طی بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۱۹۷۹

در این مرحله میانگین بارش دریافتی (اولین بارش فراگیر) کشور طی فصل پاییز ارائه و تحلیل شده است. نمودار میانگین بارش دریافتی بارش موثر و فراگیر کشور به خوبی افزایش نرخ بارش را از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد. دلیل این امر تغییر در زمان رخداد بارش‌های موثر پاییزه است. همانطور که در تحلیل بارش ماه‌های فصل پاییز نیز اشاره شد در دوره دوم ماه‌های فصل پاییز شدت بارش بیشتر از دوره اول است. همانطور که نمودار ۵ نشان می‌دهد مقدار بارش در بازه زمانی ۱۹۹۸ تا ۱۹۷۹ حدود ۶ میلی‌متر است. در دوره

افزایش فرسایش خاک به واسطه تشدید بارش‌ها، رواناب و افزایش سیلاب‌ها می‌گردد، بطوریکه اظهار نظر بیشتر در این زمینه نیاز به مطالعه بیشتری دارد.

شده است. بارش موثر کشور به دلیل تغییر در زمان رخداد آن در سال‌های اخیر از نظر شدت افزایش یافته است. مسلماً تداوم در تاخیر زمانی بارش پاییزه، سبب طولانی شدن دوره خشک،

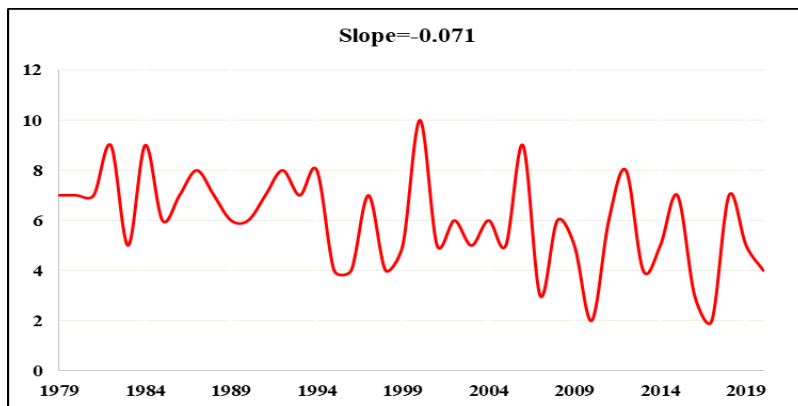


شکل ۷: میانگین اولین بارش فراگیر و موثر پاییزه

کشور را توجه می‌کند. به عبارتی دیگر در سال‌های اخیر اگرچه شدت بارش پاییزه (به ویژه نوامبر) بیشتر از دوره ۱۹۹۸ تا ۱۹۷۹ است اما این بارش در زمان کوتاه‌تری رخ نمود داشته است. بنابراین کاهش شدن روزهای بارشی و افزایش شدت بارش از ویژگی‌های بارش فصل پاییز طی دو دهه اخیر است. افزایش بارش با تداوم روزهای بیشتر بیانگر شدت کمتر و طولانی بودن بازه زمانی رخداد آن است. این شرایط سبب نفوذ بیشتر بارش در خاک و جذب بیشتر آن توسط گیاهان می‌شود (شکل ۸).

بارش‌های با تداوم ۳ روز

فراوانی دوره بارشی با تداوم بیش از ۳ روز برای بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۱۹۷۹ نشان دهنده کاهش بودن روزهای بارشی است. از لحاظ زمانی طی بازه ۲۰۰۰ تا ۱۹۷۹ تعداد روزهای بارانی بیشتر از ۵ مورد است اما در بازه ۲۰۲۰ تا ۲۰۰۱ این مقدار به کمتر از ۴ مورد رسیده است. بیشترین روزهای بارانی در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ و کمترین نیز طی سال ۲۰۱۷ و ۲۰۱۰ بوده است. بنابراین کاهش تعداد روزهای بارانی همراه با افزایش نرخ بارش طی دهه اخیر به خوبی تغییرات شدت و مقدار بارش موثر

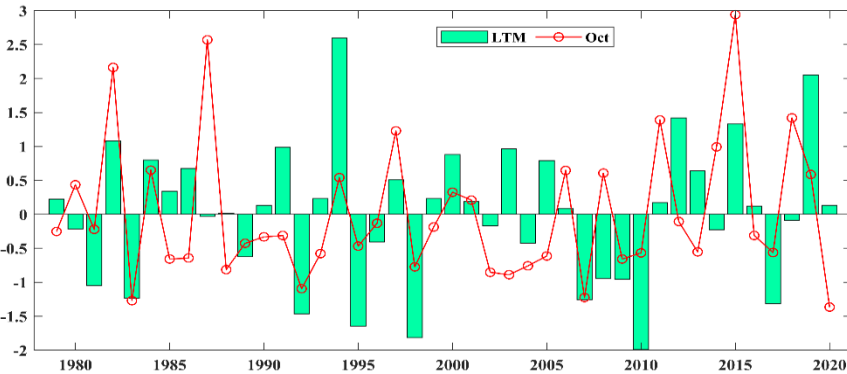


شکل ۸: فراوانی بارش‌های با تداوم بیش از ۳ روز

رخداد بارش رخ نداده است، ترسالی پاییزه اتفاق افتاده است. طی دوره آماری بیشترین مقدار بارش اکتبر طی سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱۵ و کمترین مقدار آن طی ۱۹۸۳، ۱۹۹۲، ۲۰۰۷ و ۲۰۲۰ بوده است که با ناهنجاری منفی بارش پاییزه همراه بوده است. این وضعیت در سال ۲۰۲۰ شدیدتر است بطوریکه مقدار بارش دریافتی به کمترین مقدار خود طی دوره مورد مطالعه رسیده است. به طور کلی هماهنگی بالایی بین ناهنجاری بارش در ماه اکتبر و فصل پاییز وجود دارد، افزایش نرخ بارش دریافتی اکتبر با افزایش میانگین پاییزه و ناهنجاری مثبت همراه بوده است.

ناهنجاری بارش اکتبر و خشکسالی و ترسالی پاییزه

شاخص بارش استاندارد جهت تعیین الگوی منطقه ای بارش و شرایط خشکی و شدت آن‌ها توسعه داده می شود. بر اساس جدول ۱ تاخیر زمانی حدود ۲۰ روزه در رخداد بارش موثر و فراگیر برای سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ در کشور رخ داده است. مقدار بارش استاندارد شده برای این سال‌ها نیز نشان دهنده رخداد خشکسالی با شدت ضعیف ($-0/5 \leq SPI \leq -0/99$) است. در سال‌های مانند ۱۹۷۹، ۱۹۸۲، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۵ نیز که تاخیر زمانی در



شکل ۹: شاخص بارش استاندارد میانگین بارش فصل پاییز و ماه اکتبر

تحلیل امواج باد غربی

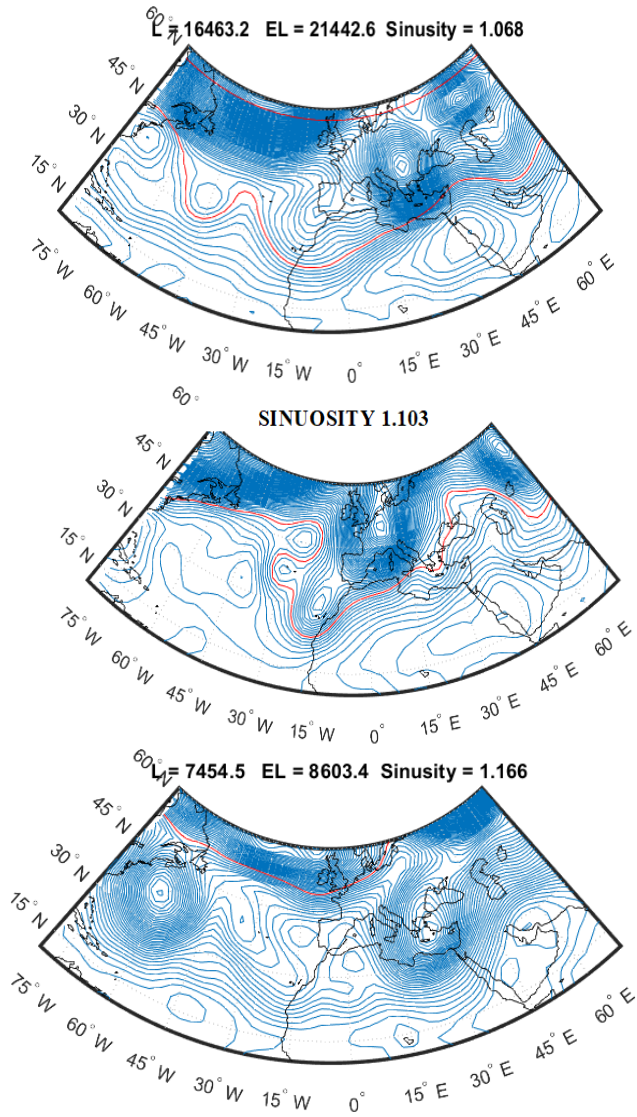
تغییرات مکانی باد غربی مستقل از مراکز فشار اتمسفری نیست و به شدت تحت تاثیر مراکز فشار اتمسفری به ویژه پرفشار جنب حاره قرار دارد. همانطور که الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می دهد گسترش شمال سوی پرفشار جنب حاره سبب جابجایی باد غربی و مشتقات ناشی آن شامل سامانه‌های کم ارتفاع و پراارتفاع به سمت عرض‌های بالاتر شده است. با این شرایط پشته قوی برروی جنوب غرب ایران قرار می‌گیرد و باد غربی برروی عرض‌های بالاتر از ۳۵ درجه قرار می‌گیرد که همزمان با آن پربند ۵۷۵ دکامتر به عرض‌های بالاتر از ۴۰ درجه جابجا شده است. نرخ سینوسیتهی پربند ۵۷۵ دکامتر به تبعیت از گسترش

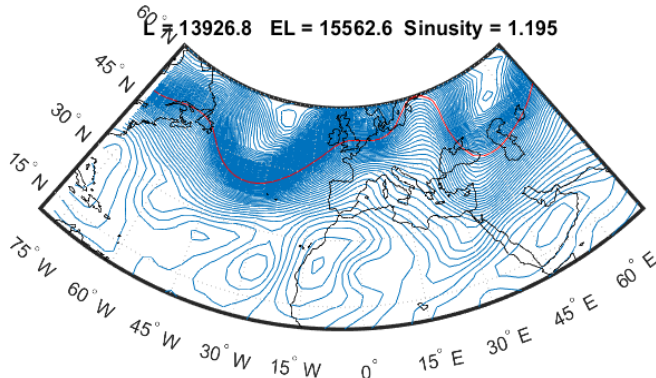
وضعیت گردش جو حاکم بر تاخیر زمانی بارش های موثر پاییز

برای شناسایی نقش الگوهای گردش جو بر ناهنجاری بارش پاییزه و تاخیر زمانی بارش، سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۰۷ و ۲۰۲۰ به عنوان سال منتخب جهت تحلیل الگوهای گردشی انتخاب شدند. میانگین رخداد بارش موثر پاییزه کشور نیمه دوم مهرماه تا اوایل آبان (اکتبر) است، در سال‌های اخیر این زمان به اواخر آبان کشیده شده است. به طور میانگین مقدار بارش در دوره دوم با ۲۰ روز تاخیر نمایان می‌شود (جدول ۱). در راستای کشف عوامل گردشی موثر بر رخداد این شرایط تغییرات مکانی پرفشار جنب حاره و باد غربی با استفاده از آرایش مراکز فشار جوی با استفاده از، ارتفاع ژئوپتانسیل تحلیل می‌شود.

پرفشار کاهش یافته است بطوریکه جریان باد غربی به دلیل استقرار پرفشار جنب‌حاره، با تراف کم عمق در عرض-های بالاتر از ۳۵ درجه جغرافیایی سبب ناهنجاری جوی می‌شود. در این زمان مقدار سینوستی به ۱/۱۹ می‌رسد که از میانگین ماهانه و سالانه خود کمتر است. پراارتفاع جنب حاره در این زمان سبب افزایش دمای هوا در ایران زمین گشته و برای تراف عرض‌های بالاتر سبب تزریق رطوبت به داخل کم ارتفاع شده است. همزمان با این شرایط مقدار ناپایداری و بارش ایران زمین به حداقل ممکن می‌رسد. بنابراین کاهش موج باد غربی، موقعیت مکانی و جابجای آن‌ها به عرض‌های بالاتر نتیجه استقرار پراارتفاع جنب حاره و جابجای امواج باد

غربی همراه است. پرفشار مذکور اثرات متفاوتی بر امواج باد غربی دارد قرارگیری پشته (ناهنجاری مثبت) این پرفشار بر روی جنوب مدیترانه و نصف النهار گرینویچ با تقویت ناوه مدیترانه و افزایش موج باد غربی همراه است. در صورتی که قرارگیری زبانه آن بر روی کشور با کاهش امواج بارشی بر روی کشور و افزایش آن در منطقه مدیترانه و شرق اروپا همراه است. به طور کلی می‌توان دریافت که به دلیل موقعیت جغرافیایی کشور به گونه‌ای است که به شدت تحت تأثیر پرفشار جنب حاره و باد غربی قرار دارد، همسویی جریانات بین عوامل سبب رخداد دوره‌های خشک و تر می‌شود (علیپور و همکاران، ۱۳۹۷).

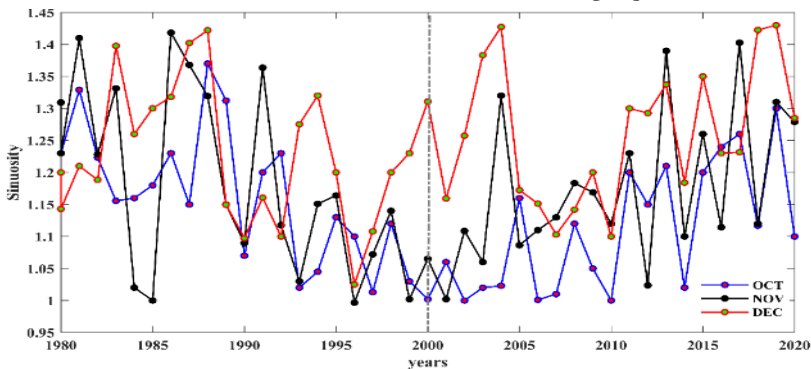




شکل ۱۰: امواج باد غربی همزمان با تاخیر بارش های پاییزه

دوره اول از ماه دسامبر بیشینه مقدار سینوستی در سال ۱۹۸۷ و در دوره دوم نرخ سینوستی در سال ۲۰۰۴ و ۲۰۱۹، ۲۰۱۸ بیشتر از سال های دیگر است. میانگین سینوستی در ماه دسامبر بیشتر از ماه های نوامبر و اکتبر است. روند تموج در ماه اکتبر با نرخ $-0/01$ کاهش را نشان می دهد. در ماه نوامبر و دسامبر تغییرات معناداری مشاهده نشد.

میانگین تموج تجمعی فصل پاییزه در شکل ۱۱ ارائه شده است. نرخ سینوستی در ماه اکتبر کاهش نسبی در دوره اول (۲۰۰۰-۲۰۲۰) را نسبت به دوره دوم (۱۹۷۹-۱۹۹۹) نشان می دهد. در این ماه بیشترین مقدار سینوستی از سال ۱۹۷۹-۱۹۸۸ بوده است. در ماه نوامبر مقدار سینوستی نیز طی ۲۰۰۰-۱۹۹۰ نسبت به میانگین کل دوره کاهش و در دهه ۲۰۱۰-۲۰۲۰ افزایش داشته است.

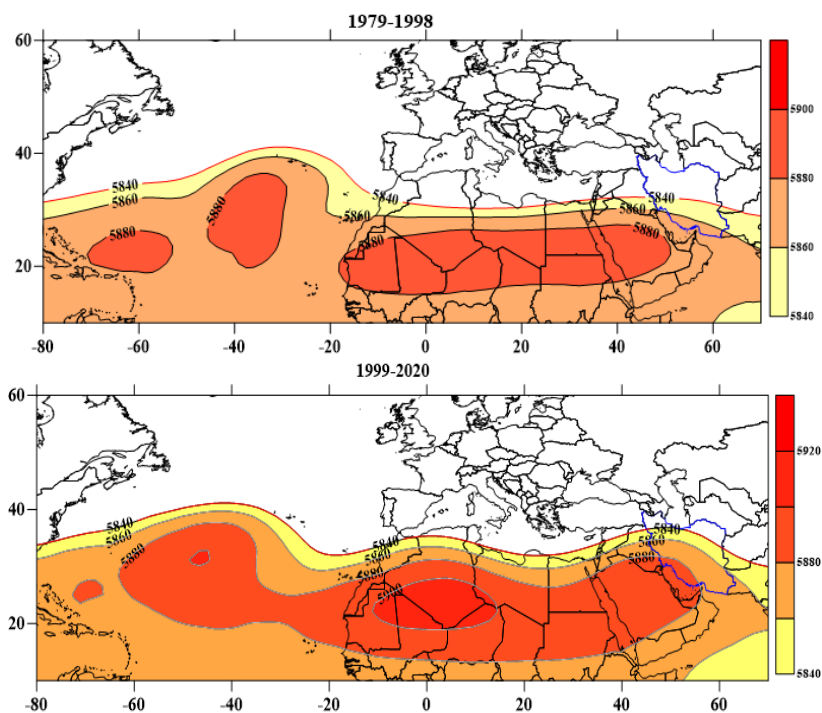


شکل ۱۱: میانگین تموج باد غربی طی بازه زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۰.

شاخص شدت و سطح پرفشار جنب حاره

همانطور که شکل ۱۲ نشان می دهد شدت و سطح پرفشار (پر بند ۵۸۴۰) ماه اکتبر برای دو دوره ۲۰۲۰ تا ۱۹۹۹ و ۱۹۹۸ تا ۱۹۷۹ متفاوت است. در دوره اول حد شمالی پرفشار بر روی نیمه جنوبی کشور قرار دارد. زبانه این پرفشار که از سمت آفریقا و عربستان گسترش یافته است بر روی عرض ۳۳ درجه قرار می گیرد. در این زمان بخشهای شمالی تر کشور تحت تاثیر باد غربی شرایط متفاوتی از نظر دما و بارش تجربه می کنند. طی بازه زمانی ۱۹۹۸ تا ۱۹۷۹ گسترش پرفشار پویشی جنب حاره ای از غرب به شرق است که حد شمالی آن به سمت شمال شرق متمایل گشته است. در دوره دوم جابجایی و تغییر شمال سوی زبانه پرفشار نسبت به دوره اول مشهود است. پر بند ۵۸۴۰ هکتوپاسکال در این زمان بر روی عرض

۳۵ درجه و بالاتر قرار گرفته است بطوریکه تنها بخش هایی از شمال غرب، شمال و شمال شرق تحت تاثیر پرفشار مذکور قرار ندارند. در دوره دوم گسترش پرفشار در راستای جنوب غربی شمالی است که به سبب آن پایداری و افزایش دما برای ماه اکتبر را به همراه داشته است. مسلما این افزایش پرفشار ناشی از تغییر اقلیم (علی پور و همکاران، ۱۳۹۶) است که بر تغییرات زمانی و مکانی بارش کشور موثر می باشد (حلبیان و شبانکاری، ۱۳۹۰). بنابراین تغییرات مکانی پرفشار جنب حاره و عدم آشفتگی نیواری در ماه اکتبر می تواند عامل اصلی تاخیر زمانی بارش های پاییزه، تداوم دوره خشک سال (کشیده شدن دوره خشک تابستان به پاییز) باشد که بر روی پدیده های ثانویه مانند افزایش خشکی زمین و گرد و غبار نیز موثر باشد. اثبات این ادعا نیاز به مطالعات بیشتر و جامع تر دارد.



شکل ۱۲: موقعیت مکانی حد شمالی (۵۸۴۰ هکتوپاسکال) پرفشار جنب حاره در ماه اکتبر

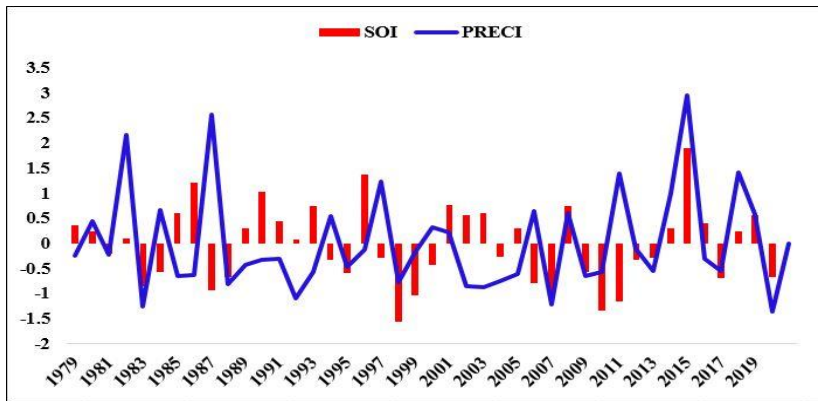
تأخیر زمانی رخداد بارش‌ها فاز منفی یا لانینا بوده است. مقدار بارش ماه پاییزه هماهنگی زیادی را با نوسان انسو نشان می‌دهد، در هنگام برقراری النینو یا فاز مثبت نوسان جنوبگان مقدار بارش افزایش و در سال‌های وقوع پدیده لانینا نیز بارش اکتبر کمتر از میانگین بلندمدت است. طی بازه زمانی مورد مطالعه سال‌های مشاهده شد که با وقوع النینو مقدار بارش همسو نبوده و کاهش یافته است. به طور مشخص طی سال‌های ۱۹۸۳، ۱۹۹۵، ۱۹۹۸، ۲۰۰۷،

الگوی پیوند ازدورو بارش

بر پایه جدول ۱ رخداد بارش‌های موثر پاییزه برای سال‌های ۱۹۸۰، ۱۹۹۵، ۱۹۹۸، ۲۰۰۳، ۲۰۰۷، ۲۰۱۰، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۰ با تأخیر اتفاق افتاده است. جهت شناسایی نقش نوسان جنوبی انسو بر بارش پاییزه مقدار استاندارد شده آن طی بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۱۹۷۹ ارائه شده است. مقدار استاندارد شده شاخص انسو نشان می‌دهد که طی سال‌های اخیر همزمان با

بارش ماه اکتبر و شاخص نوسان انسو دیده می شود اما تبیین تغییرات بارش و تاخیر زمانی آن نیاز به مطالعه الگوهای پیوند از دور بیشتری دارد (شکل ۱۳).

۲۰۱۰، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۰ همزمان با لانینا مقدار بارش نیز کاهش پیدا کرده است، بطوریکه مقدار بیشینه بارش با النینو و کمینه بارش با فاز منفی انسو یا لانینا همراه شده است. اگر چه هماهنگی بین



شکل ۱۳: مقدار استاندارد شده نوسان پیوند از دور انسو و بارش ماه اکتبر

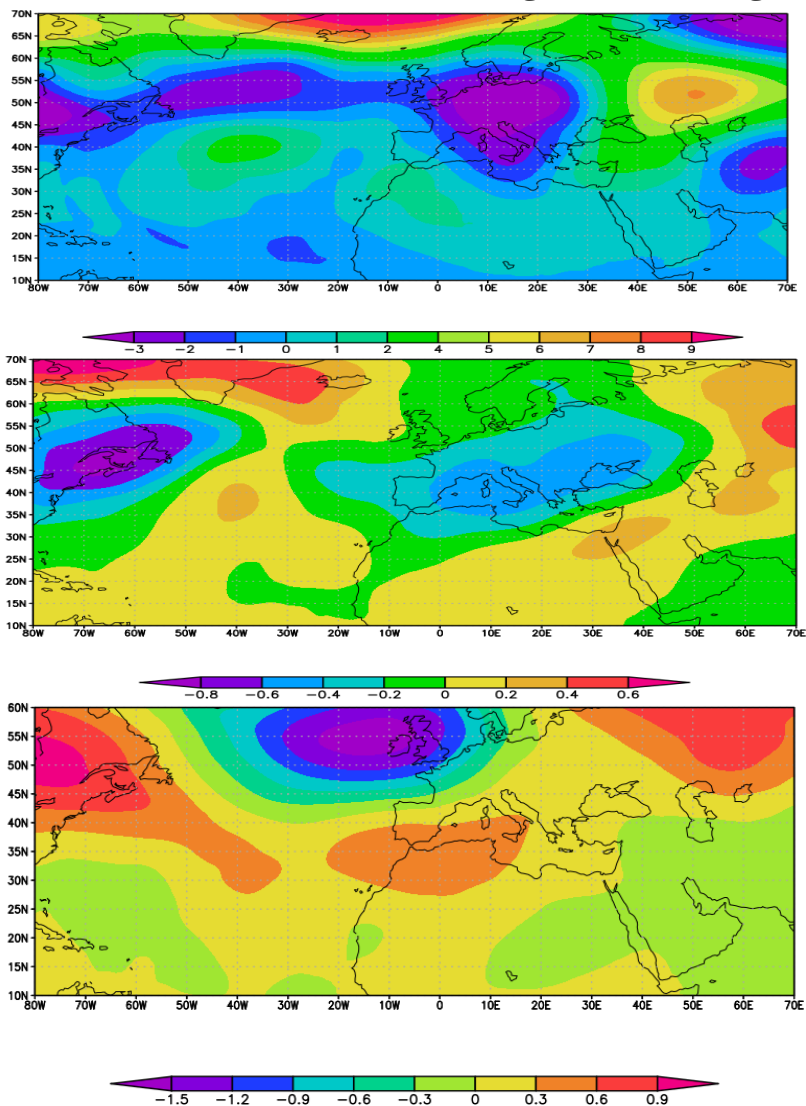
این امر ناشی از تقویت و گسترش مکانی پرفشار در فصل پاییز (علی پور و همکاران، ۱۳۹۶) است که نتیجه آن استقرار پایداری جو و افزایش دما است (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۸). پرفشار در برخی از نمونه‌ها ناهنجاری منفی ارتفاع جو بر روی بخش‌های از جنوب شرق کشور دیده شد که می تواند ناشی از تقویت شرایط پایداری جو به واسطه جابجای شرق سوی پرفشار جنب حاره و تقویت کم فشار مونسون در این منطقه باشد، به گونه‌ای که اثبات این ادعا نیاز به مطالعه بیشتری دارد. بنابراین تقویت پرفشار جنب حاره

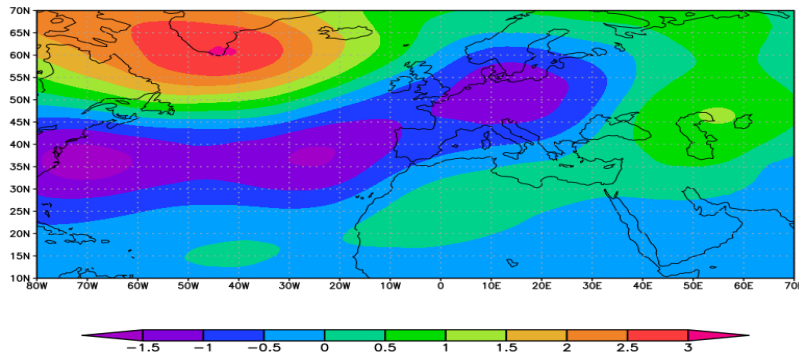
تحلیل الگوی گردشی

ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل برای سال-هایی که تاخیر زمانی بارش اتفاق افتاده است نشان دهنده تغییرات زیادی در گردش جو بر روی منطقه است. در این زمان بر روی بخش‌های زیادی از اروپا و مدیترانه ناهنجاری منفی ارتفاع ژئوپتانسیل دیده می شود که با افزایش ناپایداری جو در این منطقه همراه بوده است. در صورتی که بخش زیادی از آفریقا، خاورمیانه به ویژه ایران زمین ارتفاع ژئوپتانسیل افزایش را نسبت به میانگین بلندمدت از خود نشان می‌دهد.

همهانگ با این شرایط کاهش موج باد غربی و تاخیر در رخداد بارش در شروع فصل پاییز را سبب گشته است.

برروی کشور در ماه اکتبر نمایه بارز تغییر اقلیم است که با تغییر گردشی جو سبب کاهش بارش پاییزه، تداوم خشکسالی و افزایش دما می شود.



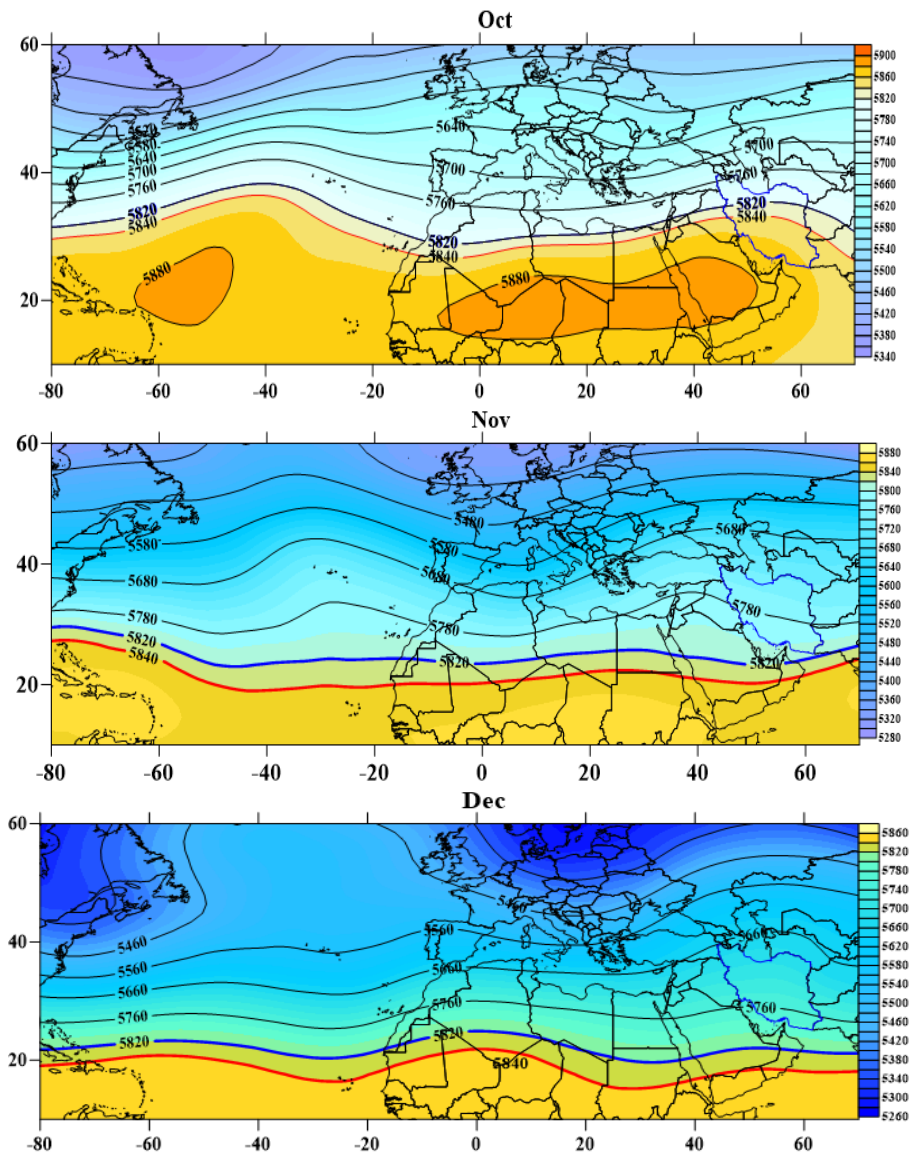


شکل ۱۴: آنومالی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

تقویت جریانات شمالی باد غربی تا جنوب خلیج فارس جابجا شده است. حد جنوبی پرفشار جنب حاره نیز بر روی عرض‌های پایین تر تغییر مکان داده است. این جابجایی بر روی مدار ۴۶ درجه بیشتر است که به واسطه آن ناوه باد غربی بر روی مدیترانه در حال شکل-گیری است. تراف مدیترانه در ماه دسامبر تقویت شده و با حرکت شرق سو به سمت شرق جابجا شده است. این شرایط با تقویت ناپایداری بر روی عرض ۳۵ درجه همراه شده است. به طور کلی می توان به نقش پرفشار جنب حاره در تغییر الگوهای جوی موثر بر بارش ایران در فصل پاییز پی برد. این شرایط در فصل پاییز به دلیل تقابل شدید دو سامانه باد غربی و جنب حاره شدیدتر از فصل زمستان است.

میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

گردش جو تراز میانی جو برای فصل پاییز تضعیف پرفشار جنب حاره نسبت به فصل تابستان نمایان می سازد، اما در برخی سال‌ها پرفشار پویشی جنب حاره تقویت گشته و پسروری آن به سمت جنوب دیرتر اتفاق می افتد. در این زمان شرایط تابستانی یعنی دما بالا و پایداری یا عدم بارش بر روی کشور حاکم می شود. الگوی تراز میانی در این زمان نشان می دهد که حد جنوبی باد غربی با پربند ۵۸۲۰ هکتوپاسکال در ماه اکتبر بر روی عرض ۳۶ درجه قرار دارد، در پایین دست باد غربی پربند ۵۸۴۰ هکتوپاسکال معرف پرفشار جنب حاره است که عرض‌های پایین تر از ۳۴ درجه را پوشش می دهد. در ماه نوامبر با

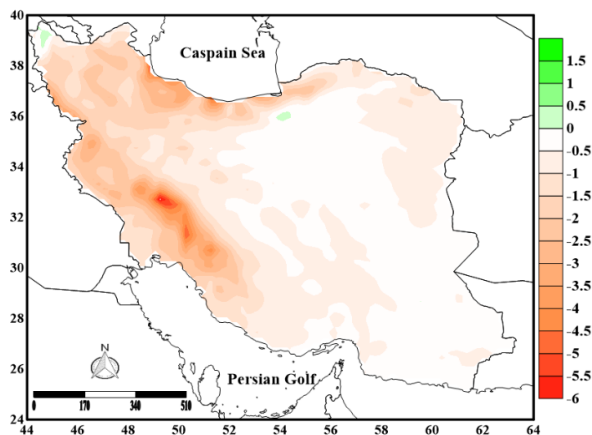


شکل ۱۵: آرایش گردشی جو همزمان با تأخیر زمانی بارش فصل پاییز

ناهنجاری بارش فصل پاییز (با تاخیر زمانی بیش از ۲۰ روز)

در زمان حاکمیت و تداوم الگوی تابستانی و عدم آشفتگی نیواری، کاهش چشمگیر در مقدار بارش فصل پاییز رخنمود پیدا می‌کند. از لحاظ مکانی بخش‌های غربی کشور ناهنجاری کاهشی شدیدی را تجربه می‌کند. در این زمان به صورت یکپارچه و فراگیر بارش بر گستره کشور آنومالی منفی را تجربه می‌کند. تنها بخش‌هایی از شمال غرب و مرکز کشور آنومالی مثبت را تجربه کرده است. در این زمان بخش‌های شرقی کشور تغییرات افزایشی و کاهشی در مقدار بارش مشاهده نمی‌شود. تاخیر زمانی بارش پاییزه به دلیل کاهش بارش موثر ماه اکتبر بر روی کشور می‌شود که به تبع آن مقدار بارش

کل نسبت به میانگین بلندمدت کمتر می‌شود. بطوریکه تقویت پرفشار جنب حاره سبب جابجایی موج باد غربی به عرض‌های بالاتر و در نهایت تاخیر زمانی در رخداد بارش می‌شود. مسلماً تقویت پرفشار جنب حاره و الگوهای گردشی موثر بر بارش پاییزه به شدت تحت تاثیر تغییرات اقلیمی و نوسان پیوند از دور قرار دارد که تبیین نقش هر کدام از این عوامل بر تغییرات الگوهای گردشی موثر بر بارش کشور، مطالعات بیشتری را می‌طلبد. چونکه بیشتر بارش در اوایل پاییز ناشی از استقرار امواج باد غربی در شمال غرب و غرب است، تاخیر زمانی به منزله کاهش بارش در این مناطق است به همین دلیل ناهنجاری بارش نیمه شمال غربی کشور شدیدتر از مناطق دیگر است.



شکل ۱۶: تغییرات بارش فصل پاییز با تاخیر زمانی

نتیجه‌گیری

توزیع زمانی بارش در یک مکان جهت اتخاذ سیاست‌ها و برنامه‌ریزی محیطی متناسب با آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در راستای تبیین نقش تغییرات مکانی الگوی گردش بزرگ مقیاس بر تاخیر زمانی بارش‌های پاییزه از داده‌های بارش، الگوهای جوی و شاخص‌های تموج و شدت و سطح پرفشار جنب حاره بهره گرفته شد. نتایج این پژوهش نشان دهنده تضعیف امواج باد غربی به دلیل تغییرات مکانی پرفشار جنب حاره طی ماه اکتبر است. کاهش تموج در ماه اکتبر با تاخیر زمانی بارش و کوتاه شدن روزهای بارانی همراه شده است. تاخیر زمانی در ماه اکتبر عامل اصلی کاهش بارش و خشکسالی پاییزه است. از لحاظ همدیدی تاخیر در پسروری جنوبی پرفشار جنب حاره با تاخیر ۲۰ روزه و کاهش ۷ میلی‌متری بارش ماهلنه و در نهایت ۱۵ میلی‌متری بارش پاییزه همراه شده است. در سال‌هایی که بارش با تاخیر زمانی همراه است نوسان انسو در فاز منفی خود (لانینا) و ناهنجاری مثبت ارتفاع ژئوپتانسیل

سبب تقویت پایداری و عدم بارش بر روی منطقه می‌شود. نتایج این بخش از پژوهش، با یافته‌های رقانی و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی دارد. گرایش کلی بارش‌های اوایل پاییز (اکتبر) به دلیل تقویت پایداری جو به کمتر از نرمال طبیعی خود است (Darnad and mirzaei, 2018). در صورتی که افزایش در مقدار بارش و گسترش مکانی آن در ماه نوامبر مشاهده شد. به عبارتی از مقدار بارش ماه اکتبر کاسته و به مقدار بارش نوامبر اضافه شده است. به دلیل تغییرات زمانی در رخداد بارش (از اکتبر به نوامبر) به دلیل فراهم بودن شرایط مناسب برای بارش در ماه نوامبر مقدار بارش‌های دریافتی افزایش یافته است. در ماه دسامبر تغییرات شدت و مقدار بارش افزایشی است اما گستره مکانی آن کاسته شده است. با توجه به تاخیر در رخداد بارش‌ها و طولانی شدن دوره خشکی در کشور با رخداد بارش در ماه نوامبر میزان نفوذپذیری خاک نیز کاهش می‌یابد که خود سبب ایجاد سیلاب می‌شود. به طور کلی تاخیر زمانی بارش پاییزه با کوتاه شدن دوره بارشی، کاهش بارش پاییزه و سالانه و

در نهایت خشکسالی همراه شده است.

همچنین در صورت تداوم این روند و

تاخیر در رخداد بارش پاییزه، لازم است

برنامه‌ریزی محیطی در بخش کشاورزی

و مدیریت منابع متناسب با تغییرات

زمانی بارش‌ها صورت گیرد. تحلیل اثر

تغییر اقلیم بر تغییرات زمانی بارش

موثر پاییزه، شدت و تمرکز بارش پاییزه

در راستای توسعه این پژوهش پیشنهاد

می‌شود.

تقدیر و تشکر

از سازمان هواشناسی کل کشور و پایگاه

داده مرکز پیش بینی میان مدت جوی

اروپایی برای گردآوری داده‌ها و در

دسترس قرار دادن داده‌هایی برای انجام

در این پژوهش تشکر و قدردانی می

شود.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان های تأمین مالی دریافت نکرده است.

تعارض منافع: طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

برگرفته از پایان نامه/رساله: این مقاله برگرفته از پایان نامه/رساله نبوده است.

منابع

- زارعی، شریفه. (۱۳۹۸). تحلیل سینوپتیکی خشکسالی‌های پاییزه در ایران (مطالعه موردی پاییز ۱۳۹۶) همایش بین‌المللی تغییر اقلیم، پیامدها، سازگاری و تعدیل، دانشگاه خوارزمی تهران.
- سبزی پرور، علی اکبر؛ ترکمان، مجتبی؛ مریانجی، زهره. (۱۳۹۱). بررسی تأثیر شاخص‌ها و متغیرهای هواشناسی کشاورزی در عملکرد بهینه گندم (مطالعه موردی: استان همدان)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۶(۶): ۱۵۶۷-۱۵۵۴.
- شاهبانی کوتنایی، علی؛ عساکره، حسین (۱۳۹۸). تحلیل ویژگی‌های مکانی بارش‌های پاییزه‌ی شمال غرب ایران، فضای جغرافیایی، ۱۹(۶۵)، ۲۴۷-۲۶۷.
- طایی، نسرین؛ تنی، نظام و غلامعلی، مظفری. (۱۳۹۶). بررسی تغییرات زمانی بارش‌های پاییزه ایران. اولین همایش اندیشه‌ها و فناوری‌های نوین در علوم جغرافیایی.
- علی‌پور، یوسف؛ حجازی‌زاده، زهرا؛ اکبری، مه‌ری و سلیقه، محمد. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات پرفشار جنب حاره تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیوار ایران
- امیدوار، کمال؛ حسین بیگی ساناز؛ رحیمی، کریمه. (۱۳۹۲). تحلیل سینوپتیکی بارش‌های سنگین پاییزه تهران (۶-۱۰ ابان ۱۳۹۰)، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی.
- بابایی، فینی ام السلمه؛ فرج‌زاده، منوچر (۱۳۸۲). شاخص‌های مکانی بارش و تغییرات آن در ایران، کنفرانس ملی-منطقه‌ای تغییر اقلیم، ۱.
- توانگر، شهلا؛ مرادی، حمیدرضا؛ علی‌رضا، مساح بوانی. (۱۳۹۸). اثر تغییر اقلیم بر مقدار و شدت بارش در شمال ایران، نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۰(۳۸)، ۱۸۸-۲۰۲.
- حلبیان، امیر حسین؛ شبانکاری، مهران. (۱۳۹۰). نقش پرفشار جنب حاره، در توزیع مکانی بارش‌های روزانه ایران، پژوهش‌نامه‌ی جغرافیایی، ۱: ۲۱-۱.
- رسولی، علی اکبر؛ بابائیان، ایمن، قائمی، هوشنگ و زوار رضا، پیمان. (۱۳۹۰). ارتباط بین بارش‌های فصلی ایران و دمای پهنه‌های آبی منطقه‌ای، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۲(۵)-۶.

- با رویکرد تغییر اقلیم، مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۷(۱۸)، ۱۶-۱.
- علیجانی، بهلول؛ دوستان، رضا. (۱۳۹۱). شناسایی کانون‌های کنترل کننده اقلیم ایران و الگوی فشار مربوط در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال جو ایران در دوره سرد سال، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۱۹(۱۰): ۲۷۸-۲۵۶.
- علیجانی، بهلول؛ طولابی نژاد، میثم؛ کربلایی درئی، علیرضا. (۱۳۹۸). رفتارسنجی اثر گرمایش جهانی بر پرفشار جنب حاره، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۱(۱): ۵۰-۳۳.
- عزیزی، قاسم. (۱۳۷۹). برآورد بارش موثر در رابطه با کشت گندم دیم(مورد: دشت خرم آباد). پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۹: ۱۲۳-۱۱۵.
- علیزاده، امین، عرفانیان؛ مریم، انصاری، حسین. (۱۳۹۰). بررسی الگوی پیوند از دور موثر بر پارامترهای بارش و دما(مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مشهد).
- فاتحی مرج، احمد؛ مهدیان، محمد حسین. (۱۳۸۸). پیش بینی بارش پاییزه با استفاده از شاخص های انسو و روش شبکه عصبی در حوضه دریاچه ارومیه. پژوهش‌های آبخیزداری، ۸۴.
- فتاحی، ابراهیم، بابایی فینی، ام السلمه. (۱۳۹۳). طبقه‌بندی الگوهای همدیدی بارش‌زا و خشکسالی‌زا در ایران زمین. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۹(۱): ۱۰۵-۱۲۲.
- فرج زاده اصل، منوچهر؛ احمدی، محمد؛ علیجانی، بهلول؛ قویدل، یوسف رحیمی؛ مفیدی، عباس؛ باباییان، ایمان. (۱۳۹۲). بررسی وردایی الگوهای پیوند از دور و اثر آن‌ها بر بارش ایران، نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی ۱۵، ۴۵-۳۱.
- موسوی بایگی و اشرف. (۱۳۹۰). مطالعه الگوی سینوپتیکی منجر به خشکسالی های پاییزه و زمستانه در استان خراسان رضوی. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۱۸(۴).
- مسعودیان، ابوالفضل. (۱۳۹۰). آب و هوای ایران. شریعه توس.
- یاوری، مهناز، سلیقه، محمد. (۱۳۹۲). تحلیل خشکسالی های غرب کشور با استفاده از الگوهای جوی. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه خوارزمی تهران.
- یوسفی، نصرت‌اله؛ حجام، سهراب. (۱۳۹۱). بررسی تاثیر پدیده انسو ENSO بر پارامترهای اقلیمی دما و

- Halifa-Marín, A., Pravia-Sarabia, E., Vicente-Serrano, S. M., Jiménez-Guerrero, P., & Montávez, J. P. (2022), assessing the wintertime NAO flavors contribution to wet/dry cycles over Western Europe across the recent past (No. EGU22-10571). Copernicus Meetings.
- Hameed, S., Wolfe, C. L., & Chi, L. (2021), Icelandic low and Azores high migrations impact Florida current transport in winter. *Journal of Physical Oceanography*, 51(10), 3135-3147.
- Helali, J., Salimi, S., Lotfi, M., Hosseini, S. A., Bayat, A., Ahmadi, M., & Naderizarneh, S., (2020), Investigation of the effect of large-scale atmospheric signals at different time lags on the autumn precipitation of Iran's watersheds, *Arabian Journal of Geosciences*, 13(18), 1-24.
- Helali, J., Pishdad, E., Alidadi, M., Loukzadeh, S., Asadi Oskouei, E., & Norooz Valashedi, R., (2020), Investigating the relationship between climate بارش مطالعه موردی: دشت قزوین. *فضای جغرافیایی*, ۱۲(۳۹), ۱۹۵-۲۱۰.
- Asakereh, H., Shadman, H., (2015), Identification of spatial relationships of comprehensive Warm Days in Iran, *Geographical Researches*, 30: 53-70.
- Cattiaux J, Peings Y, Saint-Martin in D Trou-Kechout N Vavrus SJ., (2016), Sinuosity of midlatitude atmospheric flow in a warming world. *Geophysical Research Letters*, 43(15): 8259-8268.
- Darand, M., & Mirzaei, N., (2019), The relationships between precipitation amounts, number of rain days, and relative vorticity in the mid-troposphere over Iran, *Weather*, 74, S23-S31.
- Fang, X., Wang, A., Fong, S. K., Lin, W. and J. Liu. (2008), Changes of reanalysis-derived Northern Hemisphere summer warm extreme indices during 1948–2006 and links with climate variability. *Global and Planetary Change*, 63: 67–78

- Influence of southern oscillation on autumn rainfall in Iran, (1951–2011). *Theoretical and applied climatology*, 124(1), 411-423.
- Song, F., Leung, L.R., Lu, J. et al., (2021), Emergence of seasonal delay of tropical rainfall during 1979–2019, *Nature Climate Change*. 11, 605–612.
 - Vavrus, S. J., Wang, F., Martin, J. E., Francis, J. A., Peings, Y., & Cattiaux, J. (2017), Changes in North American atmospheric circulation and extreme weather: Influence of Arctic amplification and Northern Hemisphere snow cover, *Journal of Climate*, 30(11), 4317-4333.
 - Zhang, W., Jin, F. F., & Turner, A., (2014), increasing autumn drought over southern China associated with ENSO regime shift, *Geophysical Research Letters*, 41(11), 4020-4026.
 - teleconnection indices and autumnal rainfall in Iran watersheds, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(8), 1921-1936.
 - Hitchman, M. H., & Rowe, S. M., (2021), On the Formation of Tropopause Folds and Constituent Gradient Enhancement near Westerly Jets, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 78(7), 2057-2074. 109.
 - Harman, J. R. (1991). Synoptic climatology of the westerlies: process and patterns.
 - Liu, D., You, J., Xie, Q., Huang, Y., & Tong, H., (2018), Spatial and temporal characteristics of drought and flood in Quanzhou based on standardized precipitation index (SPI) in recent 55 years, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 6(8), 25-37.
 - Martin, JE., Vavrus, SJ, Wang F., Francis JA., (2016), Sinuosity as a measure of middle tropospheric waviness, *Journal of Climate* 25(26).
 - Roghani, R., Soltani, S., & Bashari, H., (2016),