پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۹
ص ۳۱۱- ۲۹۵

بررسی تأثیر پدیده‌های دورپیوند در جابه‌جایی تاریخ رخداد اولین وآخرین یخبندان پاییزه و بهاره

علی‌اکبر سبزی‌پرور* – استاد هواشناسی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان
زیبا فیروزمند– کارشناس‌ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان
وحید ورشاویان– استادیار هواشناسی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۰

چکیده

در این پژوهش اثر نوسانات الگوهای دورپیوند در جابه‌جایی تاریخ رخداد اولین و آخرین یخبندان پاییزه و بهاره بررسی شد. این محاسبات در ۱۲ ایستگاه سینوپتیک کشور برای مدت ۳۱ سال (۱۹۸۵-۲۰۱۵) انجام شده است. برای بررسی همبستگی شاخص‌های دورپیوند و دمای کمینه، از دو سناریو (با و بدون تأخیر زمانی) استفاده شد. تأثیرگذارترین الگوی شناسایی‌شده بر یخبندان دیررس بهاره در مقیاس ماهانه (بدون تأخیر) شاخص NAO^- (ضریب همبستگی ۰/۷۶۷) در ماه فوریه و مربوط به ایستگاه اصفهان است و مؤثرترین شاخص اثرگذار بر یخبندان زودرس پاییزه AMO^+ (ضریب همبستگی ۰/۷۳۲) در مقیاس ماهانه (بدون تأخیر) سپتامبر و مربوط به ایستگاه همدان به‌دست آمد. جابه‌جایی تاریخ‌ها در اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره در فاز النینو نسبت به نرمال زودتر و در فاز لانینا نسبت به نرمال دیرتر شروع می‌شود. همبستگی بین فازهای النینو، لانینا، و نرمال با دمای کمینه نشان داد فاز لانینا تأثیرگذاری بیشتری در دمای کمینه داشته است. به‌طور کلی، نتایج نشان داد جابه‌جایی تاریخ‌های رخداد اولین و آخرین یخبندان پاییزه و بهاره در ایستگاه‌های موردمطالعه با تعدادی از شاخص‌های دورپیوند مانند AMO، SOI، NAO، AO، و MEI مرتبط است.

واژگان کلیدی: دمای کمینه، شاخص‌های دورپیوند، ضریب همبستگی، یخبندان.

مقدمه

مطالعه و تحلیل تغییرپذیری اقلیمی یکی از مباحث مهم و موردتوجه در بین متخصصان اقلیم‌شناسی محسوب می‌شود (رودریگوز پوبل و همکاران، ۱۹۹۸). درک علل و ماهیت تغییرات اقلیمی از اهم اهداف جمع‌آوری داده‌های هوا و اقلیم و پایش پدیده‌های اقلیمی است. در این رابطه نوسانات اقلیمی ناشی از الگوهای دورپیوند اهمیت فراوانی یافته است (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۵). اقلیم یک منطقه تحت‌تأثیر دو گروه از عوامل تغییر می‌کند: ۱. عواملی که باعث تغییرات سالانهٔ اقلیمی می‌شوند؛ ۲. عواملی که روندهای تغییر درازمدت را به‌وجود می‌آورند (کوچکی و نصیری محلاتی، ۱۳۷۰).

دما عنصری است که تحت‌تأثیر الگوها و پدیده‌های جوی به‌سرعت دچار تحول می‌شود و به پویایی جو به‌شدت حساسیت نشان می‌دهد. بنابراین، تغییرات دما در مدیریت و برنامه‌ریزی محیط مؤلفهٔ بسیار مهمی به‌شمار می‌رود. دورپیوند ارتباط هم‌زمان بین نوسانات عناصر اقلیمی یک مکان با تغییرات الگوهای فشار و دمای سطح دریا در نقاط جغرافیایی دیگر تعریف‌شده است (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۴). رابطه و همبستگی معنادار بین تغییرات زمانی دو

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۱۸۵۹۹۷۰ Email: swsabzi@basu.ac.ir

الگو با همدیگر یا با عناصر و پدیده‌های اقلیمی مناطق دیگر را دورپیوند می‌نامند. بسیاری از این الگوهای دورپیوند در مقیاس سیاره‌ای به‌وقوع می‌پیوندند و سراسر حوضه‌های اقیانوسی و قاره‌ای را دربر می‌گیرند (خسروی، ۱۳۸۳). زیرا تغییراتی هرچند کوچک در دما و فشار سطح آب‌های آزاد با توجه به ظرفیت گرمایی زیاد این سیال می‌تواند تغییرات بزرگی در دمای هوای مناطق مجاور ایجاد کند و سبب جابه‌جایی توده‌های هوا شود (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۵). با توجه به واقع‌شدن ایران در ناحیهٔ پُرفشار عرض‌های میانی نیم‌کرهٔ شمالی زمین، بیشتر مناطق کشور دارای اقلیم گرم نیمه‌خشک تا خشک است. بنابراین، پیش‌بینی و پایش درازمدت شرایط اقلیمی در هر منطقه می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با عوارض ناگوار تغییرات اقلیمی باشد (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۴).

سرمازدگی و یخبندان از مشکلات مهم و خسارت‌بار در بخش کشاورزی قلمداد می‌شود. یخبندان پدیده‌ای است که در دماهای پایین سبب ایجاد خسارت یا از بین رفتن اندام‌های گیاهی می‌شود. این عارضه در درختان میوه در فصل زمستان یا اوایل بهار حادث می‌شود و هرساله خسارت‌های زیادی برجای می‌گذارد. مطالعات پژوهشگران مختلف نشان می‌دهد که یخبندان دیررس بهاره و یخبندان زودرس پاییزه به همراه گرم‌شدن کلی تدریجی زمین از مسائل مهم و اساسی کشاورزی و منابع طبیعی در قرن حاضر است.

براساس مطالعات انجام‌گرفتهٔ ماتیو و همکاران (۲۰۰۴) هم‌زمانی فاز سرد انسو (لانینا) با فاز سرد AO شدت سرما و یخبندان (خشونت و سختی زمستان) را در اروپا تا حد غیرقابل‌تحملی افزایش می‌دهد. تورکس و ارلات (۲۰۰۵) طی مطالعه‌ای نشان دادند که یک همبستگی منفی بین تغییرات شاخص نوسان شمالی و بارش فصل زمستان ترکیه وجود دارد؛ به‌طوری‌که فاز منفی الگوی NAO توأم با افزایش بارش زمستانه و کاهش دما و فاز مثبت آن موجب کاهش بارش و افزایش دما و ظهور خشک‌سالی زمستانی در سراسر ترکیه شده است.

نتایج مطالعات راجیوان و پای (۲۰۰۷) بیانگر مطلوب‌نبودن شاخص TNI و مطلوبیت شاخص ترکیبی نینو ۳ و TNI در آشکارسازی ارتباط بین شاخص‌های موسمی کشور هند با پدیدهٔ انسو است. ریگبای و همکاران (۲۰۰۸) طی مطالعهٔ خود بر روی اثرهای تغییر اقلیم بر ریسک یخبندان بیان کردند افزایش واریانس دمای روزانه (که به افزایش ریسک یخبندان منجر می‌شود) در برنامه‌ریزی کشاورزی مهم‌تر از افزایش میانگین دمای روزانه (که به کاهش ریسک یخبندان منجر می‌شود) است. کوهن و همکاران (۲۰۱۰) فاز مثبت نوسانات شمالگان را عامل سرمای سخت و شدید سال ۲۰۰۹–۲۰۱۰، که موجب ریزش برف سنگین و سرمای شدید و واردآمدن خساراتی به مراکز صنعتی و جمعیتی در شرق آسیا، اروپا، و ایالت متحدهٔ امریکا شده است، دانسته‌اند.

چاودری و همکاران (۲۰۱۲)، طی مطالعات خود، تغییرپذیری و نوسان کند سالانهٔ شاخص النینو– نوسان جنوبی (انسو) را طی سال‌های ۱۸۷۰–۲۰۰۷ با استفاده از مشاهدات هواشناسی در سطح دریا در امتداد بخش شمالی اقیانوس هند (خلیج عدن از طریق تنگهٔ مالاکا) و بخش جنوبی دریای چین (به تنگهٔ لوزون) بررسی کردند. براساس نتایج مطالعات این محققان، بخش شمالی اقیانوس هند بر اثر النینو در اواخر قرن نوزدهم و اوایل و اواخر قرن بیستم گرم‌تر از فاصلهٔ سال‌های ۱۹۱۰ تا ۱۹۷۰ بوده و اوج گرما در تابستان مشاهده‌شده است. همچنین، گرمای ناشی از النینو و بارش و فشار سطح دریا در بخش شمالی اقیانوس هند، هنگام تابستان به سمت شمال غربی استوایی اقیانوس آرام افزایش می‌یابد.

تاکور و همکاران (۲۰۲۰) ارتباط بین فازهای ENSO و آب معادل برف را در بخش غربی ایالات متحده بررسی کردند. نتایج نشان داد که روند منفی بین آب معادل برف و فازهای ENSO در سال‌های اخیر وجود دارد. به‌طور کلی، تغییرات آب معادل برف روندی ناگهانی را در مقایسه با روندهای تدریجی گذشته نشان داد.

توجیه رفتار اقلیم براساس سازوکارهای الگوهای دورپیوند در ایران نیز موردتوجه محققان قرار گرفته است. خورشیددوست و همکاران (۱۳۸۵)، با استفاده از شاخص چندمتغیرهٔ انسو، نقش این پدیده را در تغییرپذیری بارش‌های فصلی استان آذربایجان شرقی مطالعه کردند؛ نتایج آن‌ها نشان داد که فقط در فصل پاییز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین این شاخص و بارش مشاهده شده است که به معنای افزایش میزان بارش‌های پاییزی به هنگام وقوع النینو و برعکس کاهش بارش در فاز لانینا است.

میرمسعودی و همکاران (۱۳۸۷) تغییرپذیری دمای هوای سه شهر ایران ازجمله تبریز، سقز، و قزوین را در سال‌های انسو نسبت به سال‌های خنثی بررسی کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که دمای هوای تبریز و قزوین با تأخیر سه‌ماهه از فازهای تابستانهٔ النینو تأثیر گرفته و در پاییز نسبت به سال‌های خنثی کاهش معنی‌داری می‌یابد. دمای هوای شهر سقز در شرایط النینوی تابستانه در فصل تابستان و همچنین فصل پاییز کاهش معنی‌داری دارد. در فاز لانینا و فصل زمستان دمای هوای هر سه شهر نسبت به سال‌های خنثی تغییر معنی‌داری نمی‌کند.

زارع ابیانه و بیات ورکشی (۱۳۹۱) در مطالعهٔ تأثیر پدیدهٔ انسو بر تغییرات دمای ماهانه و فصلی نیمهٔ جنوبی کشور نشان دادند که تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنادار دمای هوا با شاخص TNI به‌مراتب بیش از شاخص SOI بود. همچنین، در هر دو مقیاس زمانی، بیشترین همبستگی‌های معنادار از نوع منفی بود که بیانگر کاهش دمای هوا با افزایش مقادیر شاخص‌های انسو است.

قربانی و ولی‌زاده (۱۳۹۳) در بررسی تاریخ یخبندان‌های مؤثر در کشاورزی تحت تأثیر تغییر اقلیم نشان دادند در همهٔ ایستگاه‌های مطالعاتی اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره زودتر رخ داده و طول دورهٔ یخبندان کاهش یافته است.

سبحانی و همکاران (۱۳۹۳) در نتایج حاصل از بررسی ارتباط شاخص اقلیمی NAO با مقادیر میانگین، حداکثر، و حداقل دمای ماهانهٔ شمال غرب ایران نشان دادند که پدیدهٔ NAO در همهٔ ایستگاه‌ها با دمای هوا همبستگی منفی دارد. ضرایب همبستگی به‌دست‌آمده تأثیر ضعیف تا نسبتاً متوسط NAO در دماهای منطقه را نشان می‌دهد. بیشترین میزان همبستگی شاخص NAO با دماهای میانگین ماهانه و کمترین همبستگی با حداقل دماهای ماهانه مشاهده شده است.

خسروی و مسگری (۱۳۹۵) در تحلیل فضایی روابط الگوهای پیوند از دور با دمای ماهانهٔ شمال غرب ایران نشان دادند که ارتباط معنی‌داری بین الگوها و دمای منطقه وجود دارد که در این بین، الگوی پیوند از دور EP/NP، EA/WR، SOI، MEI، وAO بیشترین رابطه را با دمای منطقه از خود نشان دادند و تأثیرگذارترین الگوها شناسایی شدند. قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند که بین الگوی دورپیوند AO و دماهای کمینهٔ منطقهٔ شمال شرق ایران رابطهٔ معنی‌داری از نوع منفی و معکوس در دورهٔ سرد سال وجود دارد.

مهرآور و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی پیوند نوسان‌های مادن- جولیان با النینو- نوسان‌های جنوبی و بازخورد آن بر بارش‌های پاییزهٔ استان فارس پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که با چیرگی فاز منفی MJO در دوران النینو بیشترین و کمترین افزایش شدت بارش نسبت به فاز مثبت در این دوران در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی استان فارس به‌ترتیب به اندازهٔ ۵-۲۰ و ۸۰-۱۰۰درصد است. در بیشتر گستره‌های مرکزی و جنوب غربی استان افزایش ۴۰-

۶۰درصدی و در بخش‌های شمالی و جنوب شرقی افزایش ۶۰–۱۱۰درصدی احتمال رخداد بارش فاز منفی MJO در دوران گرم ENSO نسبت به فاز مثبت آن در دوران گرم دیده می شود.

با مرور برخی مطالعات انجام‌شده، مشاهده شد مطالعات بسیار کمی تأثیر این الگوها را بر جابه‌جایی تاریخ‌های رخداد یخبندان پاییزه و بهاره مطالعه کرده‌اند. هدف از این پژوهش تأثیر نوسانات الگوهای دورپیوند بر جابه‌جایی تاریخ رخداد اولین و آخرین سرمازدگی‌های پاییزه و بهاره در طی ۳۱ سال گذشته در ایستگاه‌های موردمطالعه است.

داده‌ها و روش‌ها

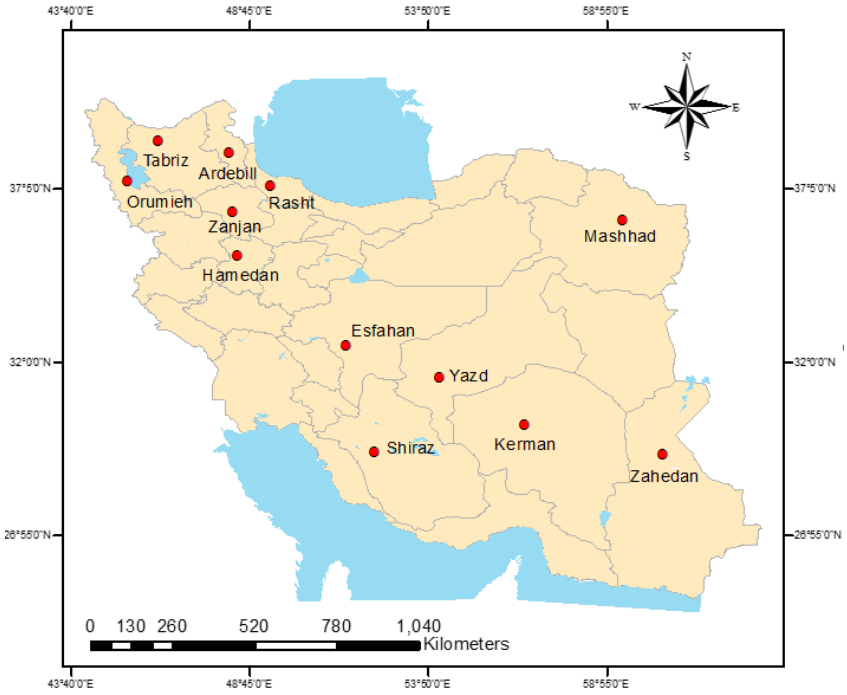
در این پژوهش از داده‌های هواشناسی ۱۲ ایستگاه سینوپتیک منتخب با طولانی‌ترین دورهٔ مشترک آماری (۱۹۸۵–۲۰۱۵) بهره گرفته شد. موقعیت جغرافیایی و نوع اقلیم شهرهای موردمطالعه در جدول ۱ و شکل ۱ نمایش داده شده است. نوع اقلیم هر منطقه با استفاده از نتایج پروژهٔ پهنه‌بندی اقلیم کشاورزی با روش یونسکو (غفاری، ۱۳۹۴) مشخص شد. این پهنه‌بندی درحقیقت نوعی پهنه‌بندی اقلیم کشاورزی است که بر مبنای سه معیار اصلی رژیم رطوبتی، تیپ زمستان، و تیپ تابستان استوار است. انتخاب ایستگاه‌ها و دورهٔ آماری به‌گونه‌ای انجام شد که، ضمن تنوع اقلیمی و پراکنش جغرافیایی مناسب، کمترین خلأ آماری را شامل شود.

در این پژوهش از دو مجموعه داده بهره گرفته شده است: نخست، داده‌های مربوط به میانگین و کمینهٔ دمای هوا در ارتفاع دومتری به‌صورت روزانه و ماهانه برای دورهٔ ۱۹۸۵–۲۰۱۵ از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد؛ دوم، داده‌های روزانه و ماهانه مربوط به شاخص‌های دورپیوند برای همان بازهٔ زمانی از سایت www.cdo.noaa.gov برداشت شد (جدول ۲).

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی و نوع اقلیم ایستگاه‌های موردمطالعه

ردیف	نام ایستگاه	طبقه‌بندی یونسکو	ارتفاع (m)	عرض جغرافیایی (درجهٔ شمال)	طول جغرافیایی (درجهٔ شرقی)
۱	اردبیل	SA-K-W	۱۳۳۲	۳۸٫۱۵	۴۸٫۱۷
۲	ارومیه	SA-K-M	۱۳۱۵٫۹	۳۷٫۳۲	۴۵٫۵
۳	اصفهان	A-C-W	۱۵۵۰٫۴	۳۲٫۳۷	۵۱٫۴۰
۴	تبریز	SA-K-M	۱۳۶۱	۳۸٫۵	۴۶٫۱۷
۵	رشت	PH-C-W	۵٫۵	۳۷٫۱۵	۴۹٫۳۶
۶	زاهدان	A-C-W	۱۳۷۰	۲۹٫۲۸	۶۰٫۵۳
۷	زنجان	SA-K-W	۱۶۶۳	۳۶٫۴۱	۴۸٫۲۹
۸	شیراز	SA-C-W	۱۴۸۴	۲۹٫۳۲	۵۲٫۳۶
۹	کرمان	A-C-W	۱۷۵۳٫۸	۳۰٫۱۵	۵۶٫۵۸
۱۰	مشهد	SA-C-W	۹۹۰	۳۶٫۱۶	۵۹٫۳۸
۱۱	همدان	SA-K-W	۱۷۴۱٫۵	۳۴٫۵۲	۴۸٫۳۲
۱۲	یزد	A-C-VW	۱۲۳۷٫۲	۳۱٫۵۴	۵۴٫۱۷

SA-K-M: اقلیم نیمه‌خشک با زمستان سرد و تابستان معتدل
SA-K-W: اقلیم نیمه‌خشک با زمستان سرد و تابستان گرم
SA-C-W: اقلیم نیمه‌خشک با زمستان خنک و تابستان گرم
A-C-VW: اقلیم خشک با زمستان خنک و تابستان خیلی گرم
A-C-W: اقلیم خشک با زمستان خنک و تابستان گرم
PH-C-W: اقلیم مرطوب با زمستان خنک و تابستان گرم



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های موردمطالعه بر روی نقشهٔ ایران

جدول ۲. لیست شاخص‌های مورداستفاده در این پژوهش

نام خلاصه‌شده	نام کامل	معادل فارسی	موقعیت مکانی
SOI	Southern Oscillation Index	شاخص نوسانات جنوبی	مابین جزایر تاهیتی و داروین
MEI	Multivariable Enso Index	شاخص چندمتغیرهٔ انسو	مابین جزایر تاهیتی و داروین
PNA	Pacific North American	شاخص اقیانوس آرام امریکای شمالی	نیمکرهٔ شمالی
TNI	Trans Nino Index	شاخص انتقالی انسو	منطقهٔ نینو ۲+۱ و منطقهٔ نینو ۴
NOI	Northern Oscillation Index	شاخص نوسانات شمالی	اقیانوس آرام
AMO	Atlantic Multidecadal Oscillation	نوسانات چنددهه‌ای اقیانوس اطلس	اقیانوس اطلس شمالی
QBO	Quasi Biennial Oscillation	نوسانات شبه‌دوسالانه	استراتوسفر حاره‌ای
NOA	North Atlantic Oscillation	نوسانات اقیانوس اطلس شمالی	ایسلند
AO	Antarctic Oscillation	نوسان قطب جنوب	عرض‌های شمالی و میانی (۴۵ درجهٔ شمالی)
EA	East Atlantic	الگوی اطلس شرقی	اقیانوس اطلس شمالی

سپس، خلأهای آماری پراسنج‌ها تکمیل شد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS صحت و همگنی داده‌ها از طریق ران تست[1] آزمون شد. نرمال‌بودن داده‌ها به‌وسیلهٔ آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بررسی شد. از کاربردهای روش همبستگی در اقلیم‌شناسی، کشف ارتباط پیوند بین الگوها و سامانه‌های جوی با عناصر و پدیده‌های مکان‌های دوردست‌تر است. برای سری‌های زمانی با توزیع نرمال ($P<۰/۰۵$)، آزمون همبستگی از لحاظ آماری به کمک روش پیرسون به‌انجام رسید. دربارهٔ سایر سری‌های زمانی که از توزیع نرمال پیروی نمی‌کردند از آزمون ناپارامتری اسپیرمن استفاده شد.

1. Run test

میزان همبستگی با استفاده از دو آزمون همبستگی پیرسون[1] و اسپیرمن[2] در سطح معنی‌داری ۹۵درصد و ۹۹درصد بررسی شد. ضریب همبستگی پیرسون (r_p) شاخص میزان رابطهٔ خطی بین X و Y است که شرط نرمال‌بودن توزیع توأم X و Y را دارد، ولی ضریب همبستگی اسپیرمن (r_s) متناظر ناپارامتری ضریب همبستگی پیرسون است که نیاز به شرط نرمال‌بودن ندارد و، علاوه بر رابطهٔ خطی، برای آشکارسازی روابط غیرخطی نیز به‌کار می‌رود.

در این پژوهش برای بررسی همبستگی (خطی یا غیرخطی) بین داده‌های شاخص‌های تعریف‌شدهٔ دورپیوند در هر یک از دوازده ماه و چهار فصل سال با کمینهٔ دما، از دو سناریو (با و بدون تأخیر زمانی) استفاده شد. برای اعمال تأخیر زمانی به‌صورت ماهانه یک تا یازده ماه تأخیر و در مقیاس فصلی یک تا سه فصل تأخیر درنظر گرفته شد. در صورت معناداربودن هر یک از دو ضریب همبستگی پیرسون و اسپیرمن، ضریب معنادار و در صورت معناداری هر دو ضریب، بزرگ‌ترین ضریب به‌عنوان ضریب همبستگی انتخاب شد.

در این پژوهش شمارهٔ روز[3] (شمارهٔ روز ژولیوسی که از اول ژانویه شروع می‌شود) اولین یخبندان زودرس پاییزه مصادف با اولین شمارهٔ روزی که دمای کمینه کوچک‌تر یا مساوی صفر درجهٔ سلسیوس است که از اواخر شهریور به بعد اتفاق می‌افتد و آخرین یخبندان دیررس بهاره مصادف با آخرین شمارهٔ روزی که دمای کمینه کوچک‌تر یا مساوی صفر درجهٔ سلسیوس است که از اوایل فروردین به بعد اتفاق می‌افتد استخراج شد.

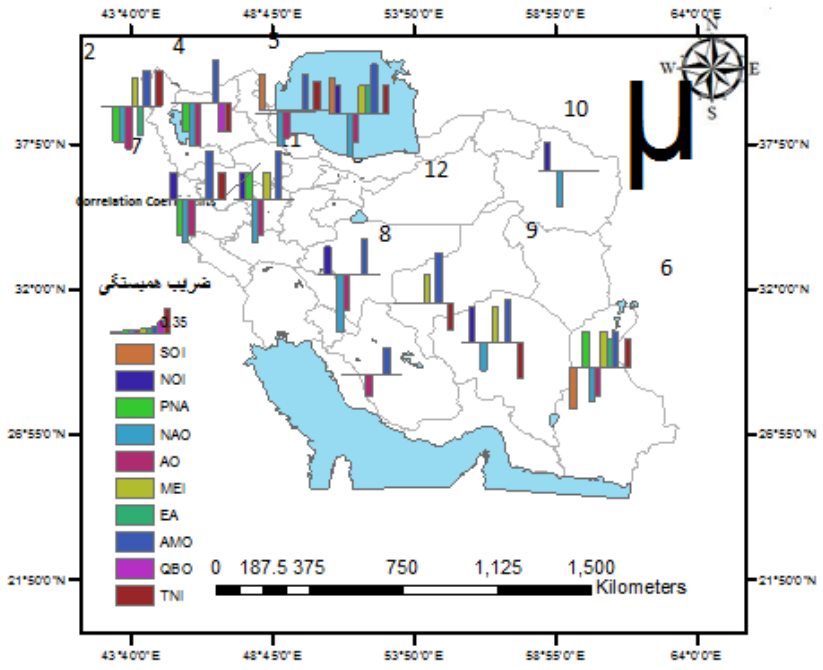
تاریخ‌های رخداد اولین و آخرین یخبندان پاییزه و بهاره در طول دورهٔ آماری به تفکیک برای فازهای النینو، لانینا، و خنثی در ایستگاه‌های موردمطالعه جداسازی و مقایسه شد. در این روش، در سری داده‌های شاخص نوسان جنوبی، که به‌صورت صعودی مرتب شده‌اند، مقادیر شاخص نوسان جنوبی بزرگ‌تر از ۵+، کوچک‌تر از ۵−، و بین این دو رقم به‌ترتیب به‌عنوان فازهای لانینا، النینو، و خنثی پدیدهٔ انسو درنظر گرفته شد (ناظم‌السادات و همکاران، ۱۳۸۶). بررسی رابطهٔ همبستگی بین پدیده‌های دورپیوند PNA، NAO، AO، و SOI بر اولین یخبندان زودرس پاییزه و آخرین یخبندان دیررس بهاره انجام شد. ذکر این نکته لازم است که در این پژوهش فصل زمستان (دسامبر، ژانویه، و فوریه)، فصل بهار (مارس، آوریل، و مه)، فصل تابستان (ژوئن، ژوئیه، و اوت) و فصل پاییز (سپتامبر، اکتبر، و نوامبر) درنظر گرفته شده است. ضمناً، با توجه به منشأ تقویمی شاخص‌های دورپیوند، که میلادی است، کلیهٔ محاسبات همبستگی در این پژوهش براساس ماه‌های میلادی انجام شده است.

یافته‌های پژوهش

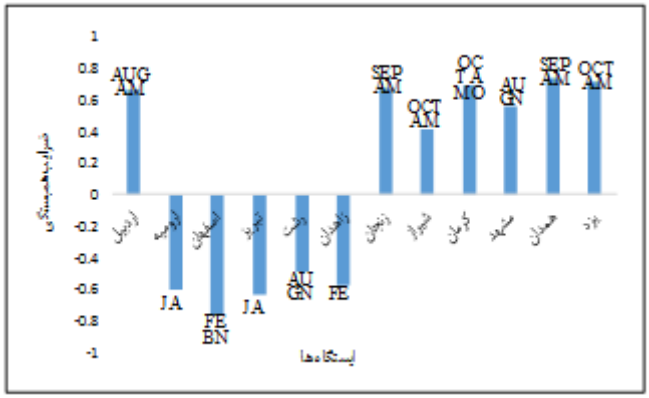
همبستگی ماهانه (با و بدون تأخیر زمانی)

پس از محاسبهٔ ضرایب همبستگی ماهانه (غیرتأخیری) توزیع مکانی مؤثرترین شاخص‌های دورپیوند بر یخبندان زودرس پاییزه و دیررس بهاره در مقیاس ایستگاهی در شکل ۲ و قوی‌ترین آن‌ها در هر ایستگاه در شکل ۳ آورده شده است.

1. Pearson
2. Spearman
3. DOY: Day Of the Year



شکل ۲. توزیع مکانی مؤثرترین شاخص‌های دورپیوند اثرگذار بر دمای کمینه به‌صورت هم‌زمان در مقیاس ماهانه (۱۹۸۵-۲۰۱۵)



شکل ۳. قوی‌ترین ضرایب همبستگی شاخص‌های دورپیوند با دمای کمینه به‌صورت هم‌زمان در مقیاس ماهانه (۱۹۸۵-۲۰۱۵)

همان‌طورکه در شکل ۳ مشاهده می‌شود، هفت ایستگاهی که با شاخص AMO همبستگی مثبت و معناداری را نشان داده‌اند مؤید این مطلب‌اند که در فاز مثبت این شاخص دما بالاتر از حد نرمال خواهد شد که می‌تواند سبب به تأخیر افتادن یخبندان زودرس پاییزه شود که با نتایج مطالعهٔ قنقرمه و همکاران (۲۰۱۵) در رابطه با افزایش دما در AMO^{+} همخوانی دارد. در دو ایستگاه NAO بیشترین همبستگی را در بین سایر شاخص‌ها از خود نشان داد که این همبستگی منفی و معنادار گویای به تأخیر افتادن یخبندان دیررس بهاره (ماه فوریه) و به تأخیر افتادن یخبندان زودرس پاییزه (ماه اوت) می‌شود که می‌توان دلیل آن را افزایش دما در فاز منفی شاخص مذکور دانست. هرگاه دو مرکز کم‌فشار ایسلند و پُرفشار آزورز از شدت بیشتری برخوردار باشند، شاخص نوسانات اطلس شمالی مثبت خواهد بود و هرگاه دو مرکز فشاری

مذکور از شدت کمتری برخوردار باشند، نتیجهٔ حاصله منفی می‌شود (مرادی، ۱۳۸۳) همبستگی منفی بین NAO و دمای هوا در ایران وجود دارد (قنقرمه و همکاران، ۲۰۱۵؛ سبحانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ یاراحمدی و عزیزی، ۱۳۸۶).

طبق مطالعهٔ قاسمی و خلیلی (۲۰۰۶) و خسروی و مسگری (۱۳۹۵) رابطهٔ بین شاخص AO و درجهٔ حرارت هوا در ایران منفی است و به آن معناست که در فاز منفی این شاخص یخبندان دیررس بهاره با تأخیر اتفاق می‌افتد (ره‌آورد AO منفی دمای بالاتر از نرمال است). دو ایستگاه، که با AO بیشترین همبستگی را نشان داده‌اند، این مورد را تأیید می‌کنند. شاخص SOI فقط در یک ایستگاه (زاهدان) همبستگی منفی نشان داد. در SOI^- ایجاد دمای پایین‌تر از حد نرمال سبب می‌شود که یخبندان دیررس بهاره زودتر (جلو افتادن) اتفاق بیفتد. طبق مطالعات خسروی و مسگری (۱۳۹۵) و عزیزی و همکاران (۱۳۹۳) در سال‌های النینو دمای هوا معمولاً سردتر از معمول خواهد بود.

پس از محاسبهٔ ضرایب همبستگی ماهانه (تأخیری) قوی‌ترین شاخص‌های دورپیوند بر یخبندان زودرس پاییزه و دیررس بهاره در هر ایستگاه در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. بیشترین ضرایب همبستگی تأخیری شاخص‌های دورپیوند با دمای کمینه در مقیاس ماهانه (۱۹۸۵-۲۰۱۵)

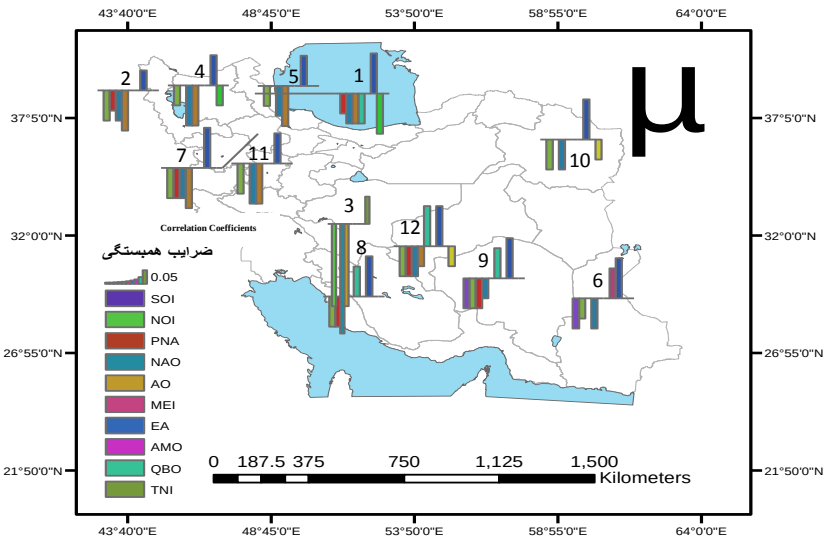
ایستگاه	ضریب همبستگی	شاخص	تأخیر زمانی (ماه)
اردبیل	۰٫۳۸۵**	AMO^+	۱۱
ارومیه	۰٫۲۷۲**	AMO^+	۱۱
اصفهان	۰٫۲۸۸**	AMO^+	۵
تبریز	۰٫۲۲۹**	AMO^+	۱۱
رشت	۰٫۲۹۸**	AMO^+	۱۱
زاهدان	۰٫۲۵۸**	TNI^+	۵
زنجان	۰٫۳۱۸**	AMO^+	۱۱
شیراز	۰٫۲۰۴**	MEI^-	۷
کرمان	۰٫۱۸۹*	TNI^+	۶
مشهد	۰٫۳۴۵**	AMO^+	۱۱
همدان	۰٫۲۴۵**	AMO^+	۱۰
یزد	۰٫۲۶۴*	MEI^-	۸

(*) همبستگی معنی‌داری در سطح ۹۵درصد، همبستگی معنی‌داری (**) در سطح ۹۹درصد

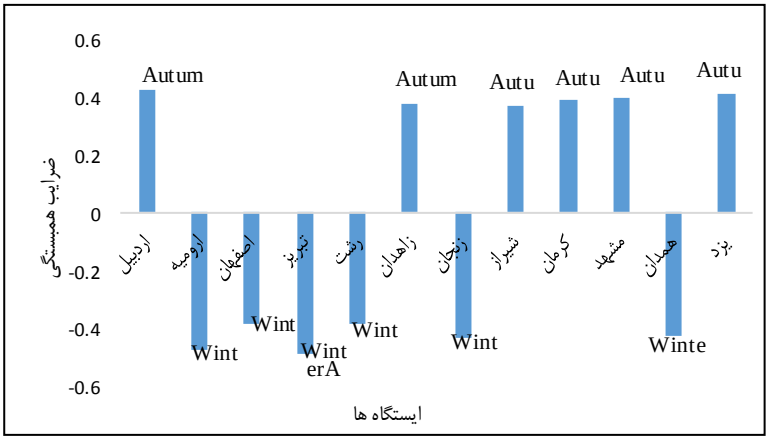
در این بخش بیشترین همبستگی دمای کمینه با شاخص AMO (ایستگاه اردبیل) در تأخیر یازده ماه شناسایی شد که نشان از به تأخیر افتادن یخبندان دیررس بهاره در فاز مثبت این شاخص است که با افزایش دما در ارتباط است. بیشترین همبستگی دمای کمینه با شاخص MEI^- (ایستگاه یزد) در تأخیر هشت ماه گویای به تأخیر افتادن یخبندان زودرس پاییزه است. شاخص MEI در فازهای سرد انسو منفی و در فازهای گرم انسو مثبت است (ترنبرس و استپنیاک، ۲۰۰۱). فاز منفی شاخص MEI معرف لانیناست که معمولاً هوا گرم‌تر از حالت عادی خواهد بود.

همبستگی فصلی (با و بدون تأخیر زمانی)

پس از محاسبهٔ ضرایب همبستگی فصلی (غیرتأخیری) توزیع مکانی مؤثرترین شاخص‌های دورپیوند بر یخبندان زودرس پاییزه و دیررس بهاره در مقیاس ایستگاهی در شکل ۴ و قوی‌ترین آن‌ها در هر ایستگاه در شکل ۵ آورده شده است.



شکل ۴. توزیع مکانی مؤثرترین شاخص‌های دورپیوند اثرگذار بر دمای کمینه به‌صورت هم‌زمان در مقیاس فصلی (۱۹۸۵-۲۰۱۵)



شکل ۵. قوی‌ترین ضرایب همبستگی شاخص‌های دورپیوند با دمای کمینه به‌صورت هم‌زمان در مقیاس فصلی (۱۹۸۵-۲۰۱۵)

طبق مطالعهٔ قنقرمه و همکاران (۲۰۱۵) رابطهٔ شاخص AMO و دمای هوا مثبت است؛ به این معنا که فاز مثبت AMO حاکی از دماهای بالاتر از نرمال است و سبب خواهد شد که یخبندان زودرس پاییزه با تأخیر اتفاق بیفتد. شش ایستگاهی که با AMO (فصل پاییز) همبستگی مثبت نشان داده‌اند تأییدکنندهٔ این حالت‌اند. همبستگی منفی میان NAO (فصل زمستان) و دمای کمینه نشان‌دهندهٔ این است که در NAO^- یخبندان بهاره به‌علت گرم‌شدن هوا دیرتر (عقب‌افتادن) حادث شود؛ ایستگاه اصفهان تأییدکنندهٔ این موضوع است.

ارتباط شاخص AO و درجهٔ حرارت هوا در ایران منفی است (قاسمی و خلیلی، ۲۰۰۶؛ خسروی و مسگری، ۱۳۹۵؛ امیدوار و جعفری ندوشن، ۱۳۹۳؛ قویدل و خوشحال دستجردی، ۱۳۸۹). بنابراین، در AO^- (فصل زمستان) دمای هوا افزایش می‌یابد و می‌تواند موجب تأخیر در یخبندان دیررس بهاره شود. در فاز منفی AO بادهای غربی که از مناطق گرم اقیانوس اطلس سرچشمه می‌گیرند در سراسر ایران افزایش می‌یابد و درنتیجه آنومالی‌های مثبت دما در سراسر کشور

افزایش می‌یابد و در فاز AO^+، که توأم با بادهای شمالی است، اجازه می‌دهد که هوای قطبی و توده‌هوای سرد به سمت ایران حرکت کنند. بنابراین، مولد دمای هوای زیر حد نرمال خواهد بود. علاوه بر این، AO در تابستان ۲۵ تا ۳۲درصد از واریانس دمای هوای سطح در زمستان را توجیه می‌کند (قاسمی و خلیلی، ۲۰۰۶).

پس از محاسبهٔ ضرایب همبستگی فصلی (تأخیری) شاخص‌های دورپیوند بر یخبندان زودرس پاییزه و دیررس بهاره در هر فصل در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴. ضرایب همبستگی تأخیری شاخص‌های دورپیوند با دمای کمینه در مقیاس فصلی (۱۹۸۵-۲۰۱۵)

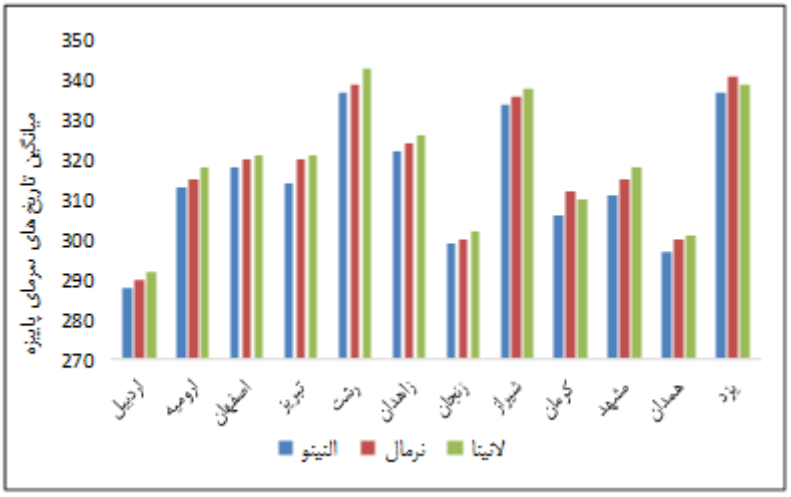
ایستگاه	ضریب همبستگی	شاخص	تأخیر زمانی (فصل)
اصفهان	۰٫۱۵۶*	AMO^-	۱
شیراز	۰٫۲۱۷**	MEI^-	۲
اردبیل	۰٫۲۹۸*	AMO^+	۳

(*) همبستگی معنی‌داری در سطح ۹۵درصد، همبستگی معنی‌داری (**) در سطح ۹۹درصد

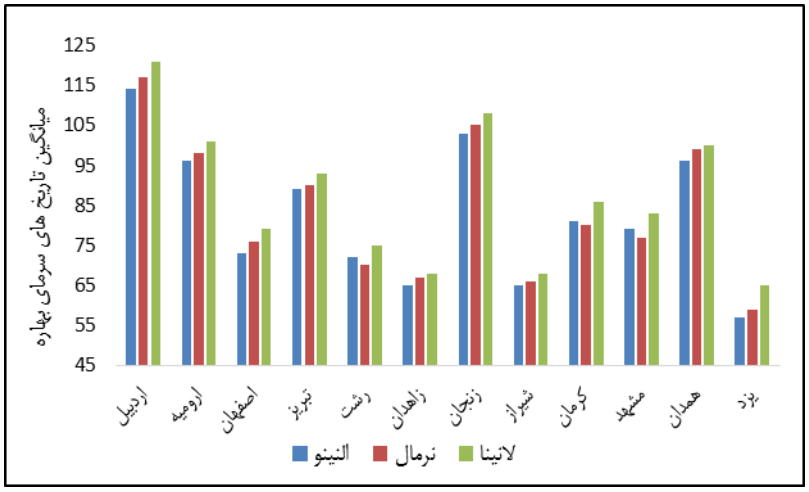
همان‌طورکه در جدول ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین همبستگی دمای کمینه با شاخص AMO (ایستگاه اردبیل) در تأخیر سه فصل (فصل پاییز) به‌دست آمد که وقوع فاز مثبت این پدیده می‌تواند موجب عقب‌افتادن یخبندان زودرس پاییزه شود؛ به‌طوری‌که اگر پدیدهٔ AMO^+ در فصل زمستان رخ دهد، قوی‌ترین اثرگذاری در پاییز سال بعد اتفاق می‌افتد. فاز مثبت این شاخص القاکنندهٔ دماهای بالاتر از نرمال است. با توجه به نتایج حاصله از آزمون‌های همبستگی، تنوع همبستگی‌های معنادار در مقیاس ماهانه بیشتر از مقیاس فصلی است. بدان معنی که ممکن است یک ماه خاص همبستگی معنادار نشان داده باشد؛ درحالی‌که فصلی که ماه موردنظر در آن قرار می گیرد همبستگی معناداری نشان ندهد.

تأثیر پدیده‌های دورپیوند در تاریخ‌های وقوع یخبندان

همان‌طورکه پیش‌تر هم اشاره شد، تاریخ رخدادهای اولین و آخرین یخبندان پاییزه و بهاره در طول دورهٔ آماری به تفکیک برای فازهای النینو، لانینا، و خنثی در ایستگاه‌های موردمطالعه جداسازی و مقایسه شد (شکل‌های ۶ و ۷).



شکل ۶. میانگین روزشمار اولین یخبندان پاییزه در ایستگاه‌های موردمطالعه (۱۹۸۵-۲۰۱۵)



شکل ۷. میانگین روزشمار آخرین یخبندان بهاره در ایستگاه‌های موردمطالعه (۱۹۸۵-۲۰۱۵)

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از شکل‌های ۶ و ۷، مشاهده می‌شود جابه‌جایی تاریخ‌های رخداد اولین و آخرین یخبندان پاییزه و بهاره در فاز النینو (SOI^- با کاهش دما در ارتباط است) نسبت به نرمال زودتر و در فاز لانینا (SOI^+ با افزایش دما در ارتباط است) نسبت به نرمال دیرتر شروع می‌شود. به‌طوری‌که یخبندان زودرس پاییزه و دیررس بهاره در سال‌های النینو نسبت به نرمال زودتر شروع می‌شود و دیرتر تمام می‌شود و در سال‌های لانینا نسبت به نرمال دیرتر شروع می‌شود و زودتر تمام می‌شود.

در زمان وقوع پدیدهٔ النینو، رودباد جنب حاره در نیم‌کرهٔ شمالی به عرض‌های پایین‌تری منتقل می‌شود و درواقع جانب شمالی سلول هدلی در موقعیتی نزدیک‌تر به استوا قرار می‌گیرد. در چنین حالتی پُرفشارهای جنب‌حاره‌ای در منطقهٔ خاورمیانه به عرض‌های پایین‌تری جابه‌جا می‌شود و امکان نفوذ موج بادهای غربی را در دورهٔ سرد به منطقهٔ مدیترانه و دریای سرخ افزایش می‌دهند؛ نتیجهٔ این فرایندها افزایش بارش زمستانی ایران و به‌طور کل خاورمیانه در سال‌های النینو خواهد بود. طبق مطالعات خسروی و مسگری (۱۳۹۵) و عزیزی و همکاران (۱۳۹۳)، در سال‌های النینو دمای هوا سردتر از معمول خواهد بود.

در وضعیت لانینا پُرفشارهای موجود در نیمکرهٔ غربی به‌ویژه در امتداد نصف‌النهار ۹۰ درجهٔ غربی قوی‌تر است که علت آن وجود جریان‌های سرد کالیفرنیا و پرو در شرق اقیانوس آرام است. در این شرایط کم‌فشار حاره‌ای ضعیف و پُرفشار جنب حاره به سمت استوا سوق می‌یابد و متقابلاً در نیم‌کرهٔ مقابل پُرفشارهای مذکور به‌دلیل تقویت نسبی کم‌فشار اخیر به سمت قطب کشیده می‌شوند و در خاورمیانه و ایران وقوع خشک‌سالی‌ها فراوانی نسبتاً بیشتری می‌یابد. طبق بررسی خسروی و مسگری (۱۳۹۵) در سال‌های لانینا دمای هوا معمولاً گرم‌تر از حالت عادی خواهد بود.

همبستگی شاخص‌ها با شمارهٔ روز وقوع یخبندان زودرس پاییزه و دیررس بهاره

با استخراج تاریخ‌های مربوط به اولین و آخرین یخبندان پاییزه و بهاره از دمای کمینه و همچنین داده‌های روزانهٔ شاخص‌های PNA، NAO، AO، و SOI برای همان بازهٔ زمانی با استفاده از دو آزمون پیرسون و اسپیرمن همبستگی این دو پارامتر در سطح معناداری ۹۵درصد و ۹۹درصد بررسی شد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین همبستگی بین دمای کمینهٔ پاییزه و شاخص‌های دورپیوند با شاخص AO^- (ضریب همبستگی ۰/۳۸۲) ایستگاه تبریز مشاهده شد؛ به‌طوری‌که وقوع فاز منفی این پدیده موجب عقب‌افتادن یخبندان زودرس پاییزه می‌شود؛ AO^- القاکنندهٔ دماهای بالاتر از نرمال است. در یخبندان دیررس بهاره قوی‌ترین همبستگی با

شاخص SOI (ضریب همبستگی ۰/۶۶۵) ایستگاه شیراز مشاهده شد که در صورت وقوع می‌تواند موجب وقوع زودتر یخبندان بهاره در منطقه شود.

بررسی رابطهٔ همبستگی بین فازهای مختلف النینو، لانینا، و نرمال با دمای کمینه

برای تعیین فازهای مختلف (النینو، لانینا، و نرمال) با استفاده از شاخص نوسان جنوبی، در سری داده‌های شاخص نوسان جنوبی، که به‌صورت صعودی مرتب شده‌اند، مقادیر شاخص نوسان جنوبی بزرگ‌تر از ۵+، کوچک‌تر از ۵-، و بین این دو رقم به‌ترتیب به‌عنوان فازهای لانینا، فازهای النینو، و فازهای خنثی پدیدهٔ انسو درنظر گرفته شد (ناظم‌السادات و همکاران، ۱۳۸۶). این روش در محدودهٔ مثبت و منفی ۳ و ۷ نیز انجام شد که بهترین ضرایب همبستگی در محدودهٔ مثبت و منفی ۵ انتخاب شدند.

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین فازهای مختلف النینو، لانینا، و نرمال با دمای کمینه (۱۹۸۵-۲۰۱۵)

ایستگاه	النینو	لانینا	نرمال
اردبیل	۰/۱۴۹**	-۰/۲۸۲**	-۰/۱۰۴
ارومیه	۰/۲۰۲*	-۰/۲۴۲**	۰/۱۱۷
اصفهان	۰/۲۳۳	-۰/۱۸۹**	-۰/۱۲۵
تبریز	۰/۱۵۲**	-۰/۲۷۵**	-۰/۱۰۹
رشت	۰/۲۵۸**	-۰/۲۷۱**	-۰/۱۱۲
زاهدان	-۰/۱۲۶	-۰/۲۹۵**	-۰/۱۳۹
زنجان	۰/۱۵۸**	-۰/۲۹۲**	-۰/۱۲۴
شیراز	۰/۱۳۹*	-۰/۱۸۳**	-۰/۱۰۸
کرمان	۰/۱۴۹	-۰/۱۹۶**	-۰/۱۱۵
مشهد	۰/۱۲	-۰/۲۰۹**	-۰/۱
همدان	۰/۲۶۳**	-۰/۲۸۷	-۰/۱۲۱
یزد	۰/۱۳۴	-۰/۱۹	۰/۱۰۶

(*) همبستگی معنی‌داری در سطح ۹۵درصد، همبستگی معنی‌داری (**) در سطح ۹۹درصد

همان‌طورکه در جدول ۵ مشاهده می‌شود، درمجموع فاز لانینا بیشترین اثرگذاری را بر دمای کمینه داشته است؛ به‌طوری‌که در این فاز دما از دمای کمینهٔ فاز نرمال بیشتر خواهد بود؛ به‌طوری‌که یخبندان زودرس پاییزه و دیررس بهاره در سال‌های لانینا نسبت به نرمال دیرتر شروع می‌شود و زودتر تمام می‌شود. طبق بررسی خسروی و مسگری (۱۳۹۵)، در سال‌های لانینا دمای هوا معمولاً گرم‌تر از حالت عادی خواهد بود.

بحث و نتیجه‌گیری

دما از مهم‌ترین پارامترهای هواشناسی در تعیین نقش و پراکندگی سایر عناصر اقلیمی و نیز از شاخص‌های مهم در طبقه‌بندی اقلیمی به‌شمار می‌رود و اثرهای انکارناپذیری در فعالیت‌های انسانی و به‌خصوص در زمینهٔ کشاورزی دارد. در این پژوهش از داده‌های حداقل دمای هوا برای دوازده ایستگاه در ایران جهت تعیین روند جابه‌جایی تاریخ رخداد اولین و آخرین یخبندان‌های پاییزه و بهاره در مقیاس ماهانه و فصلی و بررسی ارتباط این تغییرپذیری‌ها با الگوهای دورپیوند در طی سال‌های ۱۹۸۵-۲۰۱۵ استفاده شد. برای بررسی همبستگی شاخص‌های دورپیوند و دمای کمینه، از دو سناریو (با و بدون تأخیر زمانی) استفاده شد. تأثیرگذارترین الگوی شناسایی‌شده بر یخبندان دیررس بهاره در مقیاس ماهانه (بدون تأخیر) شاخص NAO در فوریه است که همبستگی منفی و معناداری را نشان داد. شاخص AO در مقیاس فصلی (بدون

تأخیر) در زمستان نیز دومین شاخص مؤثر بر یخبندان دیررس بهاره شناسایی شد که همبستگی منفی و معناداری را از خود نشان داد. مؤثرترین شاخص اثرگذار بر یخبندان زودرس پاییزه AMO در مقیاس ماهانه (بدون تأخیر) در سپتامبر با همبستگی مثبت و معنادار به‌دست آمد. شاخص MEI منفی با هشت ماه تأخیر (پاییز) بعد از AMO بیشترین همبستگی را با یخبندان زودرس پاییزه از خود نشان داد. جابه‌جایی تاریخ‌ها در اولین و آخرین یخبندان پاییزه و بهاره در فاز النینو نسبت به نرمال زودتر و در فاز لانینا نسبت به نرمال دیرتر شروع می‌شود. به‌طوری‌که سرمای زودرس پاییزه و دیررس بهاره در سال‌های النینو نسبت به نرمال زودتر شروع می‌شود و دیرتر تمام می‌شود و در سال‌های لانینا نسبت به نرمال دیرتر شروع می‌شود و زودتر تمام می‌شود. قوی‌ترین همبستگی بین دمای کمینهٔ پاییزه و شاخص‌های دورپیوند با شاخص AO^- (ضریب همبستگی ۰٫۳۸۲) مشاهده شد و نیز در یخبندان دیررس بهاره قوی‌ترین همبستگی با شاخص SOI^- (ضریب همبستگی ۰٫۶۶۵) به‌دست آمد.

رمجموع، می‌توان گفت که جابه‌جایی تاریخ‌های رخداد اولین و آخرین یخبندان‌های پاییزه و بهاره در ایستگاه‌های موردمطالعه در طی سال‌های ۱۹۸۵–۲۰۱۵ به‌طور معناداری وابسته به تغییرات تعدادی از شاخص‌های دورپیوند مانند MEI، SOI، NAO، AO، و AMO است که گردش جوی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از نتایج این تحقیق می‌تواند در جهت مدیریت بهتر احتمال خطر و زمان کاشت محصولات کشاورزی و نیز بیمهٔ محصولات کشاورزی استفاده کرد.

راسنج‌های اقلیمی ایران در شهرهای مختلف از عوامل گوناگونی مانند عرض جغرافیایی، ارتفاع، نوع اقلیم، تأثیر توپوگرافی، تأثیر میان‌مقیاس اقلیم‌های خاص منطقه، و الگوهای سینوپتیکی تأثیر می‌پذیرند که گاهی مستقل از شاخص‌های دورپیوندند. بنابراین، مقادیر دما (سرمازدگی) نیز، که وابسته به شرایط آب‌وهوایی است، ممکن است در برخی موارد از پدیده‌های دورپیوند تأثیر ضعیفی بپذیرد. با توجه به این واقعیت و با توجه به نتایج مطالعات مشابه داخلی و بین‌المللی، وجود همبستگی بین سنجه‌ها یا داده‌های هواشناسی و پدیده‌های دورپیوند هرچند با ضرایب کوچک مؤید تأثیرگذاری پدیده‌های دورپیوند در مناطق مورد بررسی است. همچنین، نباید انتظار داشت که، با وجود عوامل تأثیرگذار جانبی، شدت و نوع ارتباط بین داده‌های هواشناسی مناطق مختلف ایران با شاخص‌های دورپیوند یکسان و یکنواخت باشد.

دربارهٔ تأثیرگذاری متفاوت پیوند از دور بر ایستگاه‌های مختلف نباید نقش عوامل میکروکلیمایی منطقه را نادیده گرفت. به این معنی که حتی دو ایستگاه همجوار ولی با میکروکلیمای متفاوت به یک اندازه از سیگنال‌های پیوند از دور تأثیر نمی‌پذیرند و این امر می‌تواند ضرایب همبستگی متفاوت در ایستگاه‌های هم‌اقلیم و هم‌جوار را توجیه کند. بررسی دقیق‌تر این موضوع در مطالعات بعدی پیشنهاد می‌شود.

منابع

امیدوار، ک. و جعفری ندوشن، م. (۱۳۹۳). اثر نوسان قطبی بر نوسان‌های دما و بارش فصل زمستان در ایران مرکزی، *جغرافیایی سرزمین*، ۱۱(۴۱): ۶۵-۷۶.

زارع ابیانه، ح. و بیات ورکشی، م. (۱۳۹۱). تأثیر پدیدهٔ انسو بر تغییرات دمای ماهانه و فصلی نیمهٔ جنوبی کشور، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۴(۲): ۶۷-۸۴.

خسروی، م. (۱۳۸۳). بررسی روابط بین الگوهای چرخش جوی کلان‌مقیاس نیم‌کرهٔ شمالی با خشک‌سالی‌های سالانهٔ سیستان و بلوچستان، مجلهٔ *جغرافیا و توسعه*، ۲(۳۳): ۱۶۷-۱۸۸.

خسروی، م. و مسگری، ا. (۱۳۹۵). تحلیل فضایی روابط الگوهای پیوند از دور با دمای ماهانهٔ شمال غرب ایران، مجلهٔ *جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای*، ۶(۲۱): ۲۰۳-۲۱۴.

خورشیددوست، ع.م. و قویدل رحیمی، ی. (۱۳۸۵). ارزیابی اثر پدیدهٔ انسو بر تغییرپذیری بارش‌های فصلی استان آذربایجان شرقی با استفاده از شاخص چندمتغیرهٔ انسو، مجلهٔ *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۵۷: ۱۵- ۲۶.

سبحانی، ب.؛ صلاحی، ب. و گل‌دوست، ا. (۱۳۹۳). ارتباط شاخص اقلیمی NAO با مقادیر میانگین، حداکثر، و حداقل دمای ماهانهٔ شمال غرب ایران، نشریهٔ *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۴(۳۳): ۷۵-۹۰.

عزیزی، ق؛ چهره‌آرا، ت. و صفر راد، ط. (۱۳۹۳) اثر هم‌زمان فازهای NAO و SOI بر آب‌وهوای ایران، فصل‌نامهٔ *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۲: ۴۳-۵۶.

غفاری، ع.؛ قاسمی، و.ر. و دپائو، ا. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی اقلیم کشاورزی ایران با استفاده از روش یونسکو، نشریهٔ *زراعت دیم ایران*، ۴(۱): ۶۳-۷۴.

قربانی، خ. و ولی‌زاده، ا. (۱۳۹۳). بررسی تاریخ یخبندان‌ها و سرماهای مؤثر در کشاورزی تحت‌تأثیر تغییر اقلیم (مطالعهٔ موردی: مشهد، تبریز و قزوین)، نشریهٔ *پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک*، ۲۱(۴).

قویدل رحیمی، ی. و خوشحال دستجردی، ج. (۱۳۸۹). جستاری پیرامون سختی اقلیم زمستانی تبریز و ارتباط آن با نوسانات شمالگان، *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۱(۱۴): ۱۷۹-۱۹۶.

قویدل رحیمی، ی.؛ فرجزاده اصل، م. و حاتمی زرنه، د. (۱۳۹۴). تحلیل رابطهٔ پیوند از دور بین الگوی دریای شمال- خزر و دماهای حداقل ایران، فصل‌نامهٔ علمی- پژوهشی *فضای جغرافیایی*، ۱۶(۵۲): ۱۳۷-۱۵۹.

قویدل رحیمی، ی.؛ فرجزاده اصل، م. و حاتمی‌کیا، م. (۱۳۹۵). نوسان شمالگان و نقش آن در تغییرپذیری دماهای کمینهٔ منطقهٔ شمال شرق ایران، نشریهٔ *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۶(۴۲): ۴۱-۵۸.

کارآموز، م.؛ رمضانی، ف. و رضوی، س. (۱۳۸۵). پیش‌بینی بلندمدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی: کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی، *هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران*، تهران: دانشگاه تربیت مدرس، دانشکدهٔ عمران.

کوچکی، ع. و نصیری محلاتی، م. (۱۳۷۰). *اکولوژی گیاهان زراعی: روابط گیاهان و محیط*، مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

مرادی، م. ر. (۱۳۸۳). شاخص نوسانات اطلس شمالی و تأثیر آن بر اقلیم ایران، *مجلهٔ پژوهش‌های جغرافیایی*، دورهٔ ۳۶، (۴۸): ۱۷—۳۰.

مهرآور، ص.؛ قائد امینی، ح. و ناظم السادات، م. (۱۳۹۷). بررسی پیوند نوسان‌های مادن- جولیان با النینو- نوسان‌های جنوبی و بازخورد آن بر بارش‌های پاییزهٔ استان فارس، مجلهٔ *ژئوفیزیک ایران*، ۱۲(۲): ۱۰۹–۱۲۶.

میرمسعودی، ش.؛ معروفی، ص.؛ سبزی‌پرور، ع.ا. و تنیان، س. (۱۳۸۷). تأثیر پدیدهٔ انسو (النینو/ نوسان جنوبی) بر دمای هوای ایران (مطالعهٔ موردی شهرهای تبریز، سقز، و قزوین)، *دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی*، ۸ الی ۱۰ بهمن، دانشکدهٔ مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز.

ناظم‌السادات، م.ج.؛ ارمغان انصاری، ب، و پیشوایی، م.ر. (۱۳۸۶). ارزیابی سطح معنی‌داری برای پیش‌بینی دوران خشک‌سالی و ترسالی فصل پاییز و شش‌ماههٔ سرد ایران براساس وضعیت فازهای تابستانهٔ ENSO، مجلهٔ *تحقیقات منابع آب ایران*، ۳(۱): ۱۲–۲۴.

یاراحمدی، د. و عزیزی، ق. (۱۳۸۶). تحلیل چندمتغیرهٔ ارتباط میزان بارش فصلی ایران و شاخص‌های اقلیمی، *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۶۲: ۱۶۱–۱۷۴.

Azizi, G.; Chehreh Ara, T. and Safar Rad, T. (2014). The simultaneous effect of NAO and SOI phases on Iran's climate, *Quarterly Journal of Geography and Environmental Sustainability*, 12: 43-56.

Chowdary, J.S.; Shang-Ping, Xie; Hiroki, Tokinaga; Yuko M, Okumura; Hisayuki, Kubota; Nat, Johnson and Xiao- Tong, Heng (2012). Interdecadal Variations in ENSO Teleconnection to the Indo–Western Pacific for 1870-2007, *Journal of climate*, 25(5): 1722-1744.

Cohen, J.; Foster, J.; Barlow, M.; Saito, K. and Jonce, J. (2010). Winter 2009-2010: A Case study of an extream Arctic Oscillation event, *Geophysical Research Letters*, 37: L17707.

Gavidel Rahimi, Y.; Farajzadeh Asl, M. and Hatami Kia, M. (2016). Fluctuation in the North and its Role in *Changing the Ambient Temperatures of the Northeast Region of Iran*, 16(42): 41-58.

Ghafari, A.; Ghasemi, V.R. and Depao, E. (2015). The zoning of Iranian agricultural climate using the UNESCO method, *Iranian Dryland Agriculture Journal*, 4(1): 63-74.

Ghanghermeh, A.; Roshan, G. and Al-Yahyai, S. (2015). The influence of Atlantic-Eurasian teleconnection patterns on temperature regimes in South Caspian Sea coastal areas: a study of Golestan Province, *North Iran, Pollution*, 1(1): 67-83.

Ghasemi, A.R. and Khalili, D. (2006). The influence of the Arctic Oscillation on winter temperatures in Iran, *Theoretical and Applied Climatology*, 85(3): 149-164.

Ghorbani, KH. and Valizadeh, E. (2014). Investigation of the Effects of Ice Frost and Sectors Effective in Climate Change Agriculture (Case Study: Mashhad, Tabriz and Qazvin), *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 21(4).

Ghvidel Rahimi, Y. and Khoshhal Dastjerdi, J. (2010). An inquiry into the harshness of the winter climate in Tabriz and its relationship to the fluctuations of the north, *Programming and Spatial Planning*, 14(1): 179-196.

Ghvidel Rahimi, Y.; Farajzadeh, M. and Hatami, D. (2015). Analysis of the relationship between the North Sea - Caspian pattern and minimum temperatures in Iran, *Journal of geographical space*, 5: 137-159.

Karamoz, M.; Ramezani, F. and Razavi, S. (2006). Long-term forecasting of precipitation using meteorological signals: Application of artificial neural networks, *7th International Congress of Civil Engineering*, Tehran, Tarbiat Modares University, Faculty of Civil Engineering.

Khorshid Doost, A.M. And Qavidel Rahimi, Y. (2006). Evaluation of the effect of Enso phenomenon on the variability of seasonal precipitation in East Azarbaijan province using Enso multivariate index, *Journal of Geographical Research*, 57: 15-26.

Khosravi, M. (2004). A Study of the Relationships between Macro Rotation Patterns of Northern Hemisphere Scale with Annual Droughts of Sistan and Baluchestan Annual Journal, *Journal of Geography and Development*, 2(3): 167-188.

Khosravi, M. and Mesghari, E. (2016). Spatial Analysis of Relationships of Remote Link Patterns with the Monthly Temperature of Northwest of Iran, *Journal of Geography and Urban-Regional Planning*, 6(21): 203-214.

Kochaky, A. and Nasiri Mahallati, M. (1991). *Crop Ecology: Plant and Environment Relations*, Mashhad University Jihad Publications.

Maryanaji, Z.; Tapak, L. and Hamidi, O. (2019). Climatic and atmospheric indices teleconnection impact to the characteristics of frost season in wstern Iran, *Journal of Water and Climate Change*, 10.2, IWA Publishing.

Mathieu, P.; Sutton, R. and Dong, B. (2004). Predictability of winter climate over the North Atlantic European region during Enso events, *J.Clim.*, 17(10): 1953-1974.

Mehravar, P.; Qaed Amini, H. and Nazem Sadat, M. (2018). Investigating the link between Madan fluctuations - Julian and El Nino - Southern fluctuations and its feedback on autumn rains in Fars province, *Iranian Journal of Geophysics*, 12(2): 109-126.

Mirmasoudi, Sh.; Maroufi, S.; Sabziparvar, A.A. and Tanian, S. (2008). Effect of Enso Phenomenon (Elnino / Southern Fluctuation) on Iranian Air Temperature (Case Study of Tabriz, Saqez and Qazvin), *Second National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management*, 8 to 10 Bahman, Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.

Nazim Sadat, M.J.; Armaghan Ansari, B. and Pishvaie, M.R. (2007). Assessing the level of significance for predicting the dry and aging period of the cold autumn and six months of Iran based on the situation of summer phases of ENSO, *Iranian Journal of Water Resources Research*, 3(1): 12-24.

Omidvar, K. and Jafari Nadoushan, M. (2014). The Effect of Polar Oscillation on Temperature and Cold Changes in Central Iran, Journal of Geosciences, 11 (41), pp. 65-76.

Rajeevan, M. and Pai, D.S. (2007). On the El Niño-Indian monsoon predictive relationships, *Geophysical Research Letters*, 34(4).

Rigby, J.R. and Porporato, A. (2008). Spring frost risk in a changing climate, *Geophysical Res. Lett.*, 35(12).

Rodriguez-Puebla, C.; Encinas, A.H.; Nieto, S. and Garmendia, J. (1998). Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula, *International Journal of Climatology*, 18(3): 299-316.

Sobhani, B.; Salahi, B. and Goldoost, A. (2014). Relationship between NAO climate index with average, maximum and minimum monthly temperatures in northwestern Iran, *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 4(33): 75-90.

Strong, C. and McCabe, G.J. (2017). Observed variations in U.S. frost timing linked to atmospheric circulation patterns, *Nature Communications*, Doi: 10.1038/ncomms15307.

Thakur, B.; Kalra, A.; Lakshmi, V.; Lamb, K.; Miller, W. and Tootle, G. (2020). Linkage between ENSO phases and western US snow water equivalent, *Atmospheric Research*, ISSN: 0169-8095, 236: 104827.

Trenberth, K.E. and Stepaniak, D.P. (2001). Indices of El Niño evolution, *Journal of Climate*, 14(8): 1697-1701.

Turkes, M. and Erlat, E. (2005). Climatological responses of winter Precipitation in Turkey to variability of the North Atlantic Oscillation during the period 1030-2001, *Theoretical and Applied Climatology*, 78: 33-46.

Yarahmadi, D. and Azizi, Q. (2007). Multivariate Analysis of the Relationship between Iranian Seasonal Rainfall and Climatic Indicators, *Geographical Research*, 62: 161-174.

Zare Abyaneh, H. and Bayat Varkshi, M. (2012). Effect of Enso Phenomenon on Monthly and Seasonal Temperature Changes in the Southern Hemisphere, *Natural, Geographical Research*, 44(2): 67-84.