

ارتباط شاخص نوسان قطبی با نوسان‌های دمایی

مورد؛ ایستگاه شهر کرد

صادق کریمی خواجه لنگی
کارشناس ارشد جغرافیا طبیعی و اقلیم‌شناسی
دانشگاه سیستان و بلوچستان

دکتر محمود خسروی
استادیار جغرافیا طبیعی و اقلیم‌شناسی
دانشگاه سیستان و بلوچستان

دکتر محمد سلیقه
استادیار جغرافیا طبیعی و اقلیم‌شناسی
دانشگاه سیستان و بلوچستان

چکیده

نوسان قطبی (AO) به عنوان یکی از الگوهای پیوند از دور نیمکره شمالی، عبارت است از ناهنجاری فشار جوی در تراز دریا در عرض‌های قطبی شمال و عرض‌های میانی (عرض ۴۵ درجه شمالی). این ناهنجاری به صورت فازهای مثبت و منفی نشان داده می‌شود. الگوی نوسان قطبی، تغییرات الگوهای فشار، دما، بارش، ارتفاع ژئوپتانسیل، جهت باد و... را در دوره‌های خاصی از سال کنترل می‌کند. در این میان دما یکی از عناصر اقلیمی بسیار حساس از نظر تأثیرپذیری از سایر عوامل تأثیرگذار اقلیمی است که تحت تأثیر این الگو قرار دارد. این پژوهش با آشکارسازی پیوند بین الگوی نوسان قطبی و تغییرات الگوی دمای حداقل (یخبندان) در ایستگاه شهرکرد، زمینه را برای پیش‌بینی روند تغییرپذیری این الگوها در تقابل با هم، فراهم خواهد نمود. این پژوهش، نشان می‌دهد که یک پیوند معکوس بین AO و دماهای حداقل شهرکرد با ضریب همبستگی $-0/46$ وجود دارد و بین میانگین سالانه AO با دمای حداقل، متوسط سالیانه دما و متوسط سالیانه فشار شهرکرد نیز ارتباط وجود دارد. همچنین آشکار می‌شود که در سال‌هایی که فاز مثبت AO حاکم است، با کاهش میزان AO روزانه، دماهای حداقل روزانه شهرکرد افزایش می‌یابد و بالعکس. لذا پیش‌بینی تغییرات دماهای حداقل شهرکرد و بویژه دماهای زیر صفر درجه سانتی‌گراد (روزهای یخبندان) در طی سال‌هایی که شاخص نوسان قطبی (AO) در فاز منفی به سر می‌برد، منطقی به نظر می‌رسد.

کلیدواژه‌ها: نوسان قطبی (AO)، الگوی پیوند از دور، دمای حداقل روزانه.

مقدمه

نوسان قطبی (AO)^۱ عبارت است از ناهنجاری فشار اتمسفری در تراز دریا در عرض‌های قطبی شمال و عرض‌های میانی (عرض ۴۵ درجه شمالی) که این ناهنجاری به صورت فازهای مثبت و منفی نشان داده می‌شود. از دیدگاه سینوپتیکی، نوسان قطبی یکی از الگوهای پیوند از دور^۲ می‌باشد که بر آب و هوای کره‌ی زمین از طریق تغییر در الگوهای فشار، دما، بارش، ارتفاع ژئوپتانسیل، جهت باد و... تأثیر می‌گذارد. به عبارت دیگر الگوی نوسان قطبی، تغییرات الگوهای فشار، دما، بارش، ارتفاع ژئوپتانسیل، جهت باد و... را در دوره‌های خاصی از سال کنترل می‌کند. یکی از این الگوهای اقلیمی که در نیمکره‌ی شمالی تحت تأثیر این شاخص قرار دارد، عنصر دما است. دما یکی از عناصر اقلیمی بسیار حساس از نظر تأثیرپذیری از سایر عوامل تأثیرگذار محیطی و اقلیمی می‌باشد. الگوهای فشار، بیش از سایر عوامل بر روی دما تأثیرگذار هستند (علیجانی، ۱۳۷۱: ۱۱-۱۰).

قرارگیری ایران در موقعیت ورود سیستم‌های متنوع فشار که مراکز آنها در مدیترانه، اقیانوس اطلس و یا سیبری است و از طرفی تکوین این مراکز فشار، تحت حاکمیت الگوهای فشار عرض‌های قطبی، می‌تواند تبیین‌کننده یک الگوی پیوند از دور بین مراکز فشار اتمسفری در عرض‌های قطبی شمال با نوسان‌های دمایی در ایران باشد. اهمیت این پژوهش، در آشکارسازی پیوند بین الگوهای گردشی با دماهای حداقل سطحی است که زمینه را برای پیش‌بینی روند تغییرپذیری این الگوها در تقابل با هم، فراهم خواهد نمود که به پیش‌بینی یخبندان‌ها با استفاده از تغییرات الگوی نوسان قطبی در طی سال‌های آینده کمک خواهد نمود.

دلیل انتخاب شهرکرد به عنوان مطالعه‌ی موردی آن است که، منطقه‌ی شهرکرد، یکی از مناطق مهم ایران است که در معرض وقوع یخبندان و همچنین الگوهای متنوع فشار قرار دارد. موقعیت قرارگیری منطقه و ایستگاه مورد مطالعه در ایران و استان چهارمحال و بختیاری، در شکل (۱) مشخص شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه شهرکرد در ایران و استان چهارمحال و بختیاری

تحقیقات تامپسون و والاس^۱ نشان می‌دهد که نوسان قطبی، یک چرخش اتمسفری در نیمکره‌ی شمالی است که تبیین‌کننده‌ی بسیاری از نوسان‌های اقلیمی نیمکره‌ی شمالی است. والاس، نوسان شمالی را رقیب انسو در روند تغییرپذیری اقلیم سیاره زمین می‌داند. تامپسون^۲ نیز نشان داد که نوسان قطبی، در برگیرنده‌ی برخی دیگر از الگوهای گردش نیمکره‌ی شمالی از جمله نائو (NAO) است (Thompson and Wallace, 2000:1-2). تحقیقات گنگ^۳ و همکاران در زمینه ارتباط الگوی نوسان قطبی با اقلیم زمستانه چین نشان داده است که دما و بارندگی زمستانه‌ی چین در فازهای مثبت و منفی الگوی نوسان قطبی، تغییر می‌کند. بررسی‌های گنگ همچنین حاکی از تفاوت میزان همبستگی بین الگوهای مذکور در مناطق مختلف چین بوده است (Gong et al, 2000:2-3).

تحقیقات اسمولینسکی^۴، الگوی نوسان قطبی را به عنوان یکی از الگوهای بزرگ گردش و تبیین‌کننده تغییرات اقلیمی نیمکره‌ی شمالی معرفی می‌کند. وی معتقد است که در طی فاز

1- Wallace, J.M.

2- Thompson, D.W

3- Gong Daoyi

4- Smolinski, K. K

منفی الگوی نوسان قطبی، پایین آمدن دمای هوا در آمریکای شمالی و اروپا، یخبندان‌های شدیدی را ایجاد می‌کند (Smolinski, 2004: 8-9).

تحقیقات ولفگانگ^۱ و همکاران، تأثیر زمستانه‌ی نوسان قطبی را بر موسمی‌های اقیانوس هند (IOM)^۲ مورد بررسی قرار داده است. آنها به بررسی تأثیرات الگوهای گردشی نیمکره‌ی شمالی (از جمله الگوی نوسان قطبی) بر تغییرات دمایی و بارشی موسمی‌های اقیانوس هند پرداختند (Wolfgang and et al, 2004: 1-3).

کرپلسون^۳ و همکاران، ارتباط بین تغییرات نوسان قطبی با تغییرات سطح ازن اتمسفری را در سراسر اطلس شمالی آشکار نمودند (Creilson and et al, 2005: 2-4). خسروی به بررسی روابط بین الگوهای گردشی کلان مقیاس نیمکره‌ی شمالی با خشکسالی‌های سالانه سیستان و بلوچستان پرداخته و سهم هر کدام از الگوهای بارز را در وقوع این پدیده مورد بررسی قرار داده است (خسروی، ۱۳۸۳: ۷۶-۷۵). براتی به بررسی سینوپتیکی یخبندان‌ها پرداخته و چنین نتیجه می‌گیرد که وقوع دماهای حداقل و یخبندان‌های بهاره‌ی ایران ریشه‌ی سینوپتیک دارد (براتی، ۱۳۷۵: ۱۸۴-۱۸۳). والاس و گاتزلر (۱۹۸۱) با استفاده از روش همبستگی، الگوهای پیوند از دور زمستان‌های نیمکره‌ی شمالی را شناسایی کردند. بر این اساس الگوهای پیوند از دور زمستان‌های نیمکره‌ی شمالی عبارتند از: الگوی شرق اقیانوس اطلس، الگوی اقیانوس آرام و آمریکای شمالی، الگوهای اقیانوس اطلس غربی، الگوی اقیانوس آرام غربی و الگوی آسیا-اروپا (علیجانی، ۱۳۸۱: ۱۵۹-۱۵۸). در این میان، الگوهای NAO و AO یکی از الگوهای برجسته در تمامی فصول می‌باشند (Barnston and Livezey, 1987: 9-10). الگوی NAO ترکیبی است از الگوی EA^۴ و WA^۵ که به وسیله والاس^۶ و گاتزلر^۷ برای فصل زمستان بکار برده شده است (Wallace and Gutzler, 1981: 784-75).

الگوی AO یکی از برجسته‌ترین الگوهای تغییرات فشار سطح دریا (SLP) با خصوصیت غیر فصلی در شمال عرض‌های جغرافیایی ۲۰ درجه‌ی نیمکره‌ی شمالی است. اولین بار به وسیله والاس و تامپسون در سال ۱۹۹۸ به عنوان دلیل اصلی تغییرپذیری مناطق برون حاره‌ی نیمکره شمالی مطرح گردید. معمولاً با ایجاد ناهنجاری‌های (SLP) با علامت مشخص بر روی قطب شمال و ناهنجاری‌هایی با علامت مخالف در عرض جغرافیایی ۳۷ تا ۴۵ درجه‌ی شمالی مشخص می‌گردد. فاز مثبت AO به دوره‌هایی اطلاق می‌شود که فشار سطح دریا در قطب شمال زیر معمول باشد. در این حالت بادهای غربی سطح زمین در شمال اقیانوس اطلس

1-Wolfgang

2- Indian Ocean Monsoon

3-John, K.Creilson

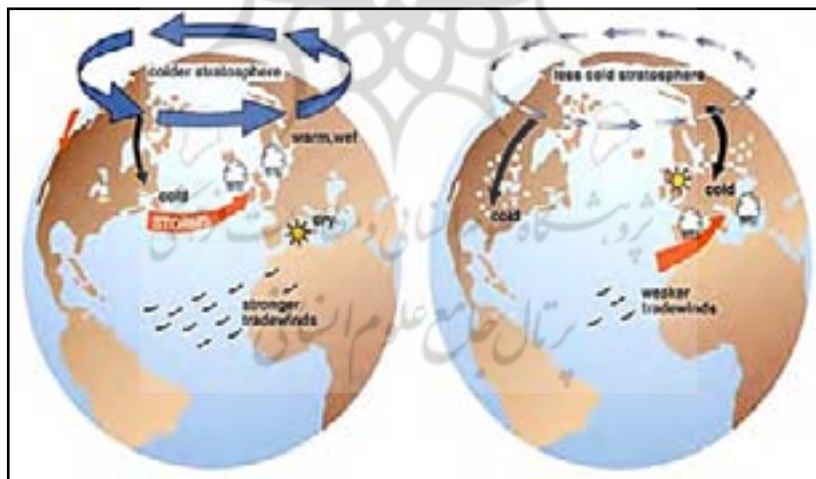
4-East-Atlantic pattern

5-West Atlantic pattern

6-Wallace

7-Gatzler

تقویت می‌شود و شرایط گرمتر و مرطوبتر از معمول را در اروپای شمالی به همراه می‌آورد (Hodges, 2000: 30-31). فاز منفی AO نشان‌دهنده‌ی فشار بالاتر از معمول بر روی منطقه قطب‌شمال و کمتر از معمول در عرض‌های ۴۵ درجه شمالی است. در طی این شرایط که به فاز سرد هم معروف است، موج‌های سرمایی، اروپا را فرا گرفته ولی شرایط خاورمیانه و جنوب اروپا و مدیترانه، مرطوبتر از حد معمول خواهد بود (شکل ۲). در حالی که در فازهای مثبت (بالا)، هوای مرطوبتر بر آلاسکا، اسکاتلند و اسکاندیناوی و شرایط خشکتر در کالیفرنیا، اسپانیا و خاورمیانه حاکم می‌گردد (Cutlip, 2000: 10-11). بررسی‌ها نشان می‌دهد که شاخص نوسان قطبی (AO) با نوسان‌های درجه حرارت بر روی قاره اوراسیا مرتبط است (Thompson & Wallace(a), 2000: 1015). تغییرات دما بر روی اقیانوس منجمد شمالی قویاً با AO مرتبط است (Rigor & et al, 2000: 896-897). تحقیقات اخیر، رابطه‌ی معناداری بین شدت پرفشار سیبری و الگوی AO را نشان می‌دهد. این ضریب بوسیله‌ی گنگ، ۰/۵۱ محاسبه شده است (Gong & et al, 2000: 2-3). نوسان قطبی، رقیب انسو در روند تغییرپذیری اقلیمی سیاره‌ی زمین به شمار می‌رود (Wallace, 2000: 792-793). تحقیقات نشان می‌دهد که حدود ۵۰ درصد بروز گرمایش بر روی قاره آسیا نیز به تغییرات AO نسبت داده شده است (Thompson and Wallace(b), 2000: 1001).



شکل ۲: اثرات فاز منفی (الف) و مثبت (ب) الگوی نوسان قطبی (AO) بر روی اقلیم کره‌ی زمین

مأخذ: Wallace, 2000: 793

مواد و روش‌ها

آمار مربوط به تغییرات نوسان قطبی (AO)، از مؤسسه IPCC و از طریق سایت مرکز تشخیص اقلیمی (CDC)^۱ به صورت روزانه، سالانه و همچنین آمار مربوط به متغیرهای اقلیمی شهرکرد از طریق مرکز آمار و انفورماتیک سازمان هواشناسی کل کشور به صورت روزانه و سالانه دریافت گردید. در این میان جهت یکسان سازی داده‌ها و مقایسه آسانتر، دماهای حداقل ایستگاه شهرکرد به کمک نرم‌افزار Spss به نمرات Z تبدیل شده است. در ادامه به کمک نرم‌افزارهای Spss و Minitab و با استفاده از روش همبستگی و آزمون t، معنادار بودن یا نامعناداری ارتباط بین نوسان قطبی و دماهای حداقل شهرکرد بررسی شد و سپس با استفاده از مدل نمایشی ساخته شده توسط والاس (شکل ۲)، عوامل سینوپتیکی ارتباط‌دهنده چنین پیوندهایی مورد بررسی قرار گرفت.

در این پژوهش، منظور از سال میانگین سالی است که مقادیر روزانه متغیرهای اقلیمی آن (مقادیر AO روزانه و دماهای حداقل روزانه شهرکرد) برای ۳۶۵ روز سال بر اساس میانگین ۴۴ ساله‌ی هر روز محاسبه گردید:

$$\mu_{1\text{ jan}} = \left[\frac{\sum_{1964}^{2004} 1\text{ jan}}{41} \right]$$

ایستگاه شهرکرد در موقعیت ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه عرض جغرافیایی و در ارتفاع ۲۰۸۴ متری از سطح دریا قرار دارد. موقعیت ایستگاه شهرکرد بر روی شکل (۱) نشان داده شد است. دوره‌ی آماری جهت مطالعه، ۴۱ سال با ۱۴۹۷۰ روز است که بین سال‌های ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۴ میلادی قرار دارد. این دوره، فاقد نموده‌های آماری و به صورت کامل است.

بحث و نتیجه‌گیری

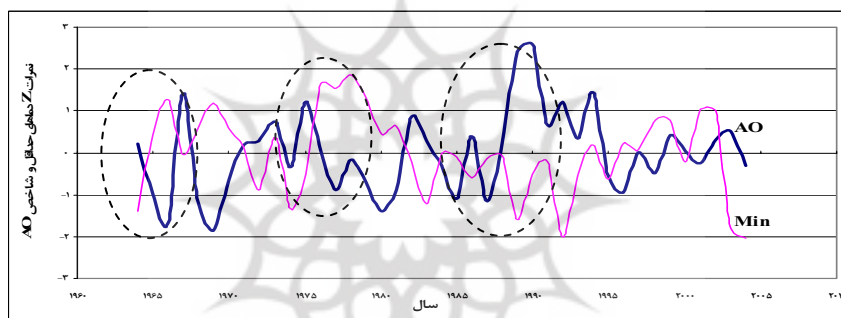
محاسبات مربوط به همبستگی بین AO سالانه و دماهای حداقل سالانه ایستگاه شهرکرد نشان‌دهنده‌ی وجود یک رابطه‌ی همبستگی قوی معکوس در سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌باشد. ضریب همبستگی متغیرهای مذکور ۰/۴۶- می‌باشد (جدول ۲). این امر نشان می‌دهد در سال‌هایی که شاخص نوسان قطبی (AO) در حالت شدیدترین فاز مثبت قرار داشته نظیر سال ۱۹۹۰، دماهای حداقل شهرکرد، تمایل به کاهش داشته و بالعکس (شکل ۳ و ۴).

همبستگی بین میانگین سالانه AO و سایر متغیرهای اقلیمی شهرکرد (دماهای حداکثر، متوسط سالیانه دما و متوسط سالیانه فشار) نیز ارتباطات معناداری را نشان می‌دهد که ضرایب همبستگی آنها در جدول (۱) نشان داده شده است.

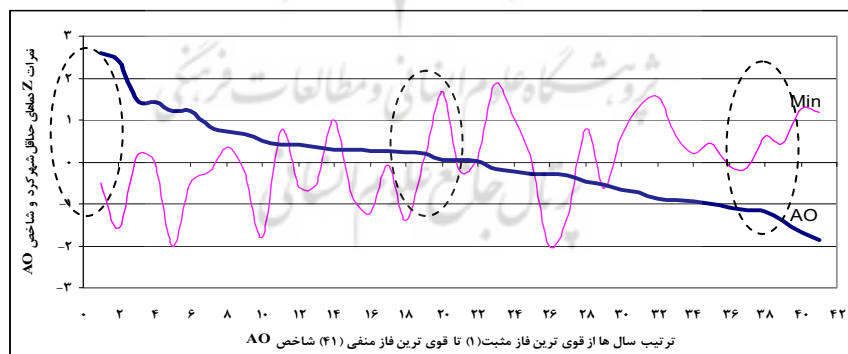
جدول ۱: ضرایب همبستگی بین شاخص نوسان قطبی با متغیرهای اقلیمی شهرکرد

شاخص نوسان قطبی	میانگین سالانه دماهای حداقل شهرکرد		میانگین سالانه دماهای حداکثر شهرکرد		میانگین سالانه دماهای متوسط شهرکرد		میانگین سالانه فشار سطح دریای شهرکرد	
	Sig	ضریب همبستگی	Sig	ضریب همبستگی	Sig	ضریب همبستگی	Sig	ضریب همبستگی
	.۰۰۲	-.۰۴۶۳ ^{**}	.۰۰۵	-.۰۴۳۱ ^{**}	.۰۳۷	-.۰۳۲۶ [°]	.۰۱۶	-.۰۳۷۴ [°]

** همبستگی در سطح اطمینان ۹۹ درصد ° همبستگی در سطح اطمینان ۹۵ درصد ، N=41



شکل ۳: روند تغییرات سالانه AO و دماهای حداقل شهرکرد در حالت ترتیب داده‌ها بر اساس سال (۱۹۶۴-۲۰۰۴)



شکل ۴: روند تغییرات سالانه AO و دماهای حداقل شهرکرد در حالت ترتیب داده‌ها بر اساس شدت AO

نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که میانگین جامعه دماهای حداقل شهرکرد از میانگین نمونه اول دماهای حداقل شهرکرد به طور معنی داری بیشتر است ($P.Value=0.031$). این امر نشان می‌دهد در سال‌هایی که شاخص نوسان قطبی (AO) تمایل بیشتر به فاز مثبت دارد، دماهای حداقل شهرکرد، تمایل به پایین آمدن دارد. بنابراین میانگین دماهای حداقل شهرکرد در طی فاز مثبت نوسان قطبی (میانگین نمونه اول) از میانگین کل دماهای حداقل شهرکرد در طول دوره‌ی آماری کمتر خواهد بود. عکس این قضیه نیز صادق است به طوری که میانگین کل دماهای حداقل شهرکرد از میانگین دماهای حداقل شهرکرد در طی فاز منفی نوسان قطبی (میانگین نمونه دوم) کمتر خواهد بود. ($P.Value = .0007$)

جدول ۲: آزمون T در رابطه با مقایسه میانگین دماهای حداقل ایستگاه شهرکرد طی فازهای مثبت (C_1) و منفی (C_2) نوسان قطبی و میانگین کل دماهای حداقل

نمونه ها	تعداد	میانگین	انحراف معیار	انحراف از میانگین	تست میانگین	P.Value
نمونه اول (C_1) *	۱۲	۳/۰۵	۰/۷۱۴	۰/۲۱	$\mu < 3.47$	۰/۰۳۱
نمونه دوم (C_2) **	۱۲	۴/۰۱	۰/۴۳۸	۰/۱۳	$\mu > 3.47$	۰/۰۰۰۷

* نمونه اول: دماهای حداقل شهرکرد در حالت فاز مثبت AO

** نمونه دوم: دماهای حداقل شهرکرد در حالت فاز منفی AO

میانگین کل دماهای حداقل شهرکرد: ۳/۵ سطح آزمون: ۹۹٪ دو طرفه

نتایج جدول (۳) نیز نشان می‌دهد که بین میانگین دماهای حداقل در فاز مثبت نوسان قطبی (میانگین نمونه اول) با میانگین دماهای حداقل در فاز منفی نوسان قطبی (میانگین نمونه دوم)، تفاوت معناداری وجود دارد. ($P.Value = .0003$)

جدول ۳: آزمون T در رابطه با مقایسه میانگین دمای حداقل طی فاز مثبت (C_1) و منفی (C_2) نوسان قطبی در ایستگاه شهرکرد

نمونه ها	تعداد	میانگین	انحراف معیار	انحراف از میانگین	درجه آزادی	P.Value
نمونه اول (C_1) *	۱۲	۳/۰۵	۰/۷۱۴	۰/۲۱	۲۲	۰/۰۰۰۳
نمونه دوم (C_2) **	۱۲	۴/۰۱	۰/۴۳۸	۰/۱۳		

* نمونه اول: دماهای حداقل شهرکرد در حالت فاز مثبت AO

** نمونه دوم: دماهای حداقل شهرکرد در حالت فاز منفی AO

میانگین کل دماهای حداقل شهرکرد: ۳/۵ سطح آزمون: ۹۹٪ دو طرفه

نتیجه آنکه، با کاهش میزان شاخص AO سالانه و افزایش روند منفی آن، دماهای حداقل سالانه شهرکرد افزایش می‌یابد. این بدان معناست که با میل AO به طرف فاز منفی، از شدت

منفی‌تر دماهای حداقل سالانه شهرکرد کاسته می‌شود و لذا شدت یخبندان‌ها به طور نسبی کاهش می‌یابد. با افزایش شاخص AO به سمت فازهای مثبت، بر شدت دماهای حداقل سالانه شهرکرد افزوده شده و به پایین‌تر از میانگین خود، تمایل می‌یابد. به عبارت دیگر، در سال‌هایی که شدیدترین فازهای مثبت AO حاکم بوده است، شدیدترین دماهای حداقل شهرکرد بروز نموده است.

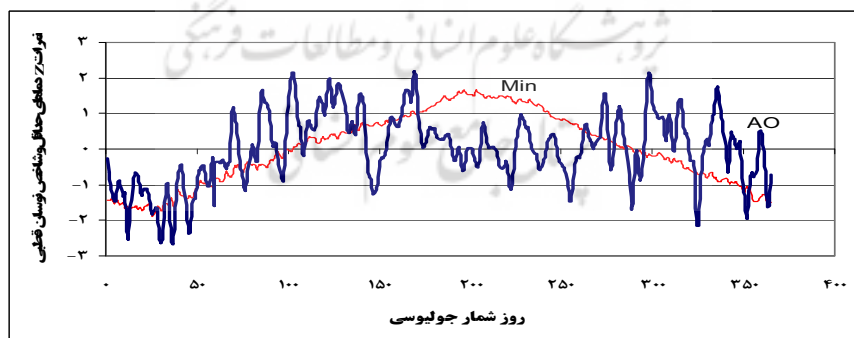
همچنین بین مقادیر سالانه نوسان قطبی با دمای حداکثر، دمای میانگین و فشار متوسط سالانه شهرکرد نیز یک رابطه‌ی همبستگی معکوس وجود دارد؛ به طوری که با افزایش شاخص AO، مقادیر مذکور نیز، تمایل به کاهش دارد (جدول ۱).

در یک آزمون همبستگی، ارتباط بین دماهای حداقل شهرکرد با نوسان قطبی روزانه در یک سال میانگین^۱ مورد سنجش قرار گرفت. نتایج این آزمون که در جدول (۴) آمده، مؤید آن است که با تمایل شاخص AO به سمت فاز مثبت، دماهای حداقل شهرکرد نیز به طرف مثبت تمایل پیدا می‌کند. این مقدار همبستگی با ضریب ($r=0/42$) در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بوده و حکایت از وجود یک ارتباط قوی بین دماهای حداقل شهرکرد با نوسان قطبی روزانه دارد. شکل (۵) و (۶) نیز این گفته را تأیید می‌نمایند.

جدول ۴: ضریب همبستگی بین AO روزانه با دماهای حداقل روزانه شهرکرد برای یک سال میانگین

تعداد جامعه (N روز)	میانگین سالانه دماهای حداقل شهرکرد		شاخص نوسان قطبی (AO)
	Sig	ضریب همبستگی	
۳۶۵	۰/۰۰۰	۰/۴۱۷**	

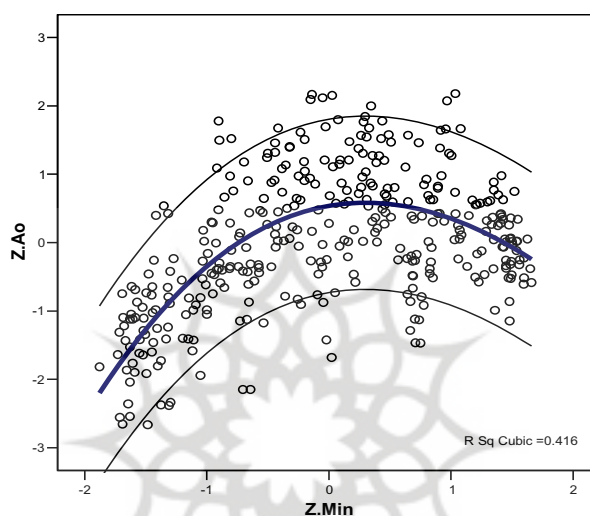
**N=365 همبستگی در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد.



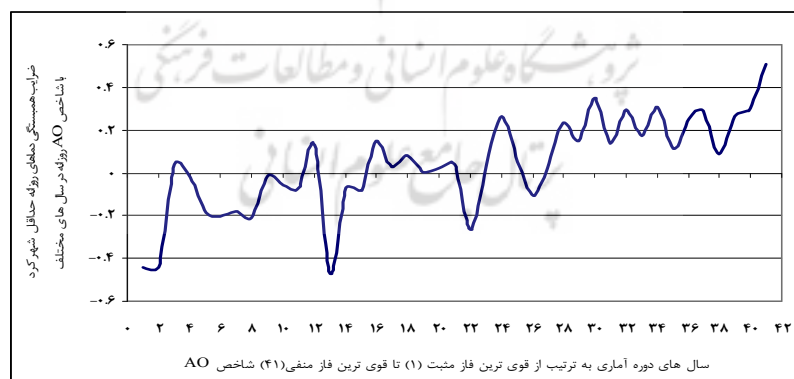
شکل ۵: مقایسه‌ی روند تغییرات دماهای حداقل روزانه شهرکرد با AO روزانه در یک سال میانگین

۱- سال میانگین: سالی که در آن، میانگین روزانه داده‌ها طی دوره ۴۱ ساله محاسبه شده است. به مواد و روش‌ها مراجعه شود.

ضرایب همبستگی دماهای حداقل روزانه شهرکرد با AO روزانه برای کل دوره آماری در شکل (۷) آمده است. نتایج این نمودار نشان می‌دهد در طی سال‌هایی که فاز مثبت AO حاکم بوده است (نظیر سال ۱۹۹۰)، با کاهش میزان AO روزانه، دماهای حداقل روزانه شهرکرد افزایش می‌یابد. اما در طی سال‌هایی که فاز منفی AO حاکم بوده است (نظیر سال ۱۹۶۹)، با کاهش میزان AO روزانه، دماهای حداقل روزانه شهرکرد نیز کاهش می‌یابد.



شکل ۶: هم‌تغییری دماهای حداقل روزانه شهرکرد و AO روزانه در یک میانگین



شکل ۷: نمودار تغییرات ضرایب همبستگی بین دماهای حداقل روزانه شهرکرد با AO روزانه (معنی‌دار و غیر معنی‌دار) در سال‌های مختلف به ترتیب از قوی‌ترین فاز مثبت تا قوی‌ترین فازهای منفی AO

در توجیه علمی این ارتباط باید توجه داشت، در سال‌هایی که فاز مثبت AO حاکم است، بادهای غربی و طوفان‌زا متوجه غرب اروپا و اسکاندیناوی می‌شود و منطقه‌ی خاورمیانه از تأثیرات آن مصون است. اما در سال‌هایی که فاز منفی AO حاکم است، طوفان‌های باران‌زا به همراه سرمای شدید بر روی غرب منطقه‌ی خاورمیانه ریزش می‌نماید که به نوبه خود باعث پایین آمدن دماهای حداقل این مناطق می‌شود (Cutlip, 2000: 10-11). با توجه به دلایل ذکر شده در مقدمه و همچنین موقعیت قرارگیری ایران و بالاحص منطقه‌ی مورد مطالعه در مسیر توده‌های مذکور، شاهد تفاوت‌های دمایی در ایستگاه شهرکرد در طی فازهای مثبت و منفی نوسان قطبی هستیم. به استناد نتایج کلی حاصل از این پژوهش و بر اساس داده‌های فعلی، پیش‌بینی تغییرات دماهای حداقل شهرکرد و بویژه دماهای زیر صفر درجه سانتی‌گراد (روزهای یخبندان) در طی سال‌هایی که شاخص نوسان قطبی (AO) در فاز منفی به سر می‌برد، منطقی به نظر می‌رسد؛ اگرچه ممکن است که فاز مثبت شاخص نوسان قطبی نیز از طریق غیرمستقیم در تغییرات دمایی منطقه تأثیرگذار باشد.

منابع و مأخذ

- ۱- براتی، غلامرضا (۱۳۷۵): طراحی و پیش‌بینی الگوهای سینوپتیک یخبندان‌های بهاره ایران. پایان‌نامه دکتری. دانشگاه تربیت مدرس. تهران.
- ۲- خسروی، محمود (۱۳۸۳): بررسی روابط بین الگوهای چرخشی جوی کلان مقیاس نیمکره شمالی با خشکسالی‌های سالانه سیستان و بلوچستان. مجله جغرافیا و توسعه سال دوم. شماره ۳. بهار و تابستان ۸۳. دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- ۳- سازمان هواشناسی کشور (۱۳۸۵): مرکز آمار و انفورماتیک.
- ۴- علیجانی، بهلول (۱۳۸۱): اقلیم‌شناسی سینوپتیک. انتشارات سمت. چاپ اول. تهران.
- ۵- علیجانی، بهلول و محمدرضا کاویانی (۱۳۷۱): مبانی آب و هواشناسی. انتشارات سمت. تهران.
- 6- Barnston, A. G., and R. E. Livezey, 1987: Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1083-1126.
- 7- Cutlip K., 2000: Northern influence. *Weatherwise*, 53(2), 10-11.
- 8- Gong Daoyi, Wang Shaowu, August 2000: "Arctic Oscillation and Climate of China in Winter", Submitted to *Advances in Atmospheric Sciences*.
- 9- Hodges, G., 2000: The new cold war. Stalking arctic climate change by submarine. *National Geographic*, March, 30-41.
- 10- <http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/List/index>

- 11- <http://www.cdc.noaa.gov>
- 12- John K. Creilson, Jack Fishman, and Amy E. Wozniak , 2005: "Arctic Oscillation – induced variability in satellite-derived tropospheric ozone", *Geophys. Res Lett*, 32, L14822, doi:10.1029/2005GL 023016.
- 13- Rigor, I, R. Colony, and S. Martin, 2000: Variations in Surface Air Temperature Observations in the Arctic, 1979 - 1997, *J. Climate*, Vol. 13, no 5, 896-914.
- 14- Smolinski, K.K, July 2004: "Interrelationship Among Large Scale Atmospheric Circulation Regimes and Surface Temperature Anomalies in the North American Arctic , A Thesis Presented to the Academic Faculty". School of Earth and Atmospheric Sciences.
- 15- Thompson D.W. J., J. M. Wallace, 2000(b): "Annular modes in the extratropical circulation, Part II: Trends". *J. Climate*, 13(5), 1000-1016.
- 16- Thompson, D. W. J, J. M. Wallace, 2000 (a): "Annular modes in the extratropical circulation, Part I: Month -to- Month variability". *J. Climate*, 13(5), 1000-1016.
- 17- Wallace J. M., 2000: North Atlantic Oscillation / Annular Mode: two paradigms -one phenomenon. *Quart. J Royal Met. Soc*, 126 (564): 791-805.
- 18- Wallace, J. M. and D. S. Gutzler, 1981: "Teleconnections in the Geopotential Height Field During the Northern Hemisphere Winter", *Mon. Wea. Rev.*: Vol. 109.
- 19- Wolfgang, Buermann, Benjamin Lintner, Celine Bonfils, July 2004: "A Winter- time Arctic Oscillation Signature on Early-Season Indian Ocean Monsoon Intensity."