بررسی نقش نوسان های اطلس شمالی و مدن–جولین بر آلودگی هوای کلانشهر تهران

شیما فطرس[۱]، امیرحسین مشکوتی[۲*]، غلامعلی کمالی[۲]، عبدالله صداقت کردار[۳]

[۱] دانشجوی دکتری هواشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران،گروه علوم زمین، تهران - ایران

[۲] عضوهیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، گروه علوم زمین، تهران- ایران

[۳] عضوهیئت علمی پژوهشگاه هواشناسی وعلوم جو، تهران – ایران.

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱۰ ، تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۱/۱۵

چکیده

آثار دور پیوندی دو نوسان اطلس شمالی (NAO) و مَدِن–جولیَن (MJO) بر آلودگی هوای کلان شهر تهران طی دوره آماری ۲۰۱۳-۱۹۸۴ بررسی شد. جهت تبیین این ارتباط ابتدا با محاسبه ی بیشینه هم بستگی، تاخیر زمانیتاثیر این نوسانات بر آلودگی هوای تهران محاسبه گردید.. با استفاده از روش های آماری بوت استرپ و تبدیل موجک،بی هنجاریهای پارامترهای هواشناختی مؤثر بر شکل گیری دوره های حاد آلودگی هوا و همچنین خصایص و ویژگی های برجسته در الگوهای مذکور در سطوح مختلف جوّی مشخص شد. سپس ارتباط مابین ناهنجاریهای موثر بر آلودگی هوا باشرایط مساعد جهت وقوع فازهای مختلف دو نوسانNAO وMJO بررسی شد.با توجه به یافته ها و الگوهای به دست آمده درمشخص گردیدکه تجمع آلاینده ها با منشاء محلی در فصول سرد و گرم سال با فاز مثبت NAO و دور شدن جریان های گرم و مرطوب غربی از خاورمیانه و همچنین فاز مثبت MJO به خصوص فاز چهارم و عزیمت سلول همرفتی به سوی شرق اقیانوس هند، که شرایط را جهت نزول و تجمع آلاینده های محلی فراهم می نماید،همراه بوده است.از سوی دیگر فرونشست آلاینده ها با منشا فرامحلی غالبابا سهمی یکسان از فازهای مثبت و منفی NAO روی داده اند. البته در اکثر نمونه های مورد بررسی تغییر فاز از مثبت به منفی مساعدترین شرایط برای این فرونشینی را فراهم نموده است. همچنین فاز منفیMJO به خصوص فاز اول آن و قرارگرفتن سلول همرفتی در نزدیکترین فاصله نسبت به مناطق بیابانی کشورهای همسایه غربی و جنوبغربی ایراندر وقوع این شرایط مؤثر بوده است.

کلمات کلیدی: *آلودگی هوا، بوت استرپ، تبدیل موجک، نوسان اطلس شمالی، نوسان مدن–جولین*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *ameshkatee@yahoo.com*

مقدمه

یکی از پدیده هایی که امروزه به معضلی فراگیر و تهدیدی جدی در تمدن بشری تبدیل گشته است آلودگی هوا می باشد. هر چند عوامل متعددی درافزایش غلظت آلاینده ها نقش دارند اما مهمترین عامل کنترل کننده توزیع و پراکنش آلاینده ها، شرایط جوّی حاکم است (رنجبرسعادت آبادی وهمکاران، ۱۳۹۰). از این رو شناسایی تحولاتی که در الگوهای گردش جوّی در مقیاس های محلی تا جهانی روی می دهند و تأثیر آنها بر آلودگی هوا از اهمیت ویژه ای برخوردار است. نوسانات بزرگ مقیاس جوّی – اقیانوسی می توانند بر متغیرهای مختلف جوّی در مناطق بسیار دور و حتی بر گردش کلی جوّ اثراتی قابل توجه داشته باشند و سبب بی هنجاریهایی در میدان های هواشناختی و کمیتهای اقلیمی در محدوده جغرافیایی بسیاروسیع شوند (سیدان قلعه جوزدانی، ۱۳۸۹). تاثیر این نوسان ها برمناطق دوردست اصطلاحا « دورپیوند نامیده میشود.از آنجائیکه کشور ایران در نیمکره شمالی و منطقه بین عرض های حاره تا میانی (۲۵°-۴۰°)قرار گرفته استمطالعات انجام شده در مورد تأثیرپذیری آب و هوای ایران از نوسان های مختلف جوی و اقیانوسی نشان از تأثیر دو نوسان اطلس شمالی (NAO) در اقیانوس اطلس شمالی و مدن-جولین (MJO) در اقیانوس هند،بر آن دارد (مرادی، ۱۳۸۳؛ نصراصفهانی و همکاران، ۱۳۸۸؛ رنجبر سعادت آبادی و همکاران، ۱۳۹۶؛ دوستان،۱۳۹۷). لذا می توان انتظار داشت که نوسانهایاطلس شمالی در عرض های میانی و مَدِن-جولیَن درمنطقهٔ حاره در شکل گیری دوره های حاد آلودگی هوا نقش داشته باشند. نوسان اطلس شمالی از بارزترین و تکرار پذیرترین الگوهای جوّی در نیمکره شمالی است (هارل[1]، ۲۰۰۳). این نوسان نتیجهٔ تغییرات در موقعیت دو مرکز کم فشار ایسلند و پرفشار آزورز نسبت به یکدیگر و تغییراتی که در آنها اتفاق می افتند می باشد.نوسان اطلس شمالی از عوامل مؤثر و تأثیر گذار بر شرایط آب و هوایی ایران محسوب می شود(مرادی، ۱۳۸۳). در فاز مثبت این نوسان گرادیان فشاری مابین این دو مرکز بیشینه گشته و این اختلاف فشار موجب جریان های شدید به سوی شمالو ظهور زمستان های گرم و مرطوب در اروپا (بویژه اروپای شمالی) می گردد؛ همزمانجوّی سردو خشک در شمال کانادا و گرینلند حاکم می گردد. اما در فاز منفی این دو مرکز فشاری ضعیفتر از حد معمول خود ظاهر می گردند. کاهش گرادیان فشار بین این دو مرکز جریان های ضعیف تری را به همراه خواهد داشت. در این وضعیت هوای گرم و مرطوب به سوی مدیترانه و از سوی دیگر هوای سرد و خشک به سمت شمال اروپا منتقل می گردد (اشل و همکاران[2]،۲۰۰۰). نوسانمَدِن-جولیَن نیز، به عنوان مد اصلی تغییر پذیری درون فصلی بزرگ مقیاس در نواحی حاره ای، اهمیت ویژه ای دارد (باندو ویچی[3] ،۲۰۰۴). این پدیده سرتاسر مناطق حاره ای از شرق آفریقا و غرب اقیانوس هند تا میانه ی اقیانوس آرام را تحت تأثیر خود قرار می دهد. از این مقیاس مداری گسترده تنها بخشی از آن دارای فعالیت همرفتی است(جونز[4]،۲۰۰۰). بر اساس موقعیت مکانیاین مرکز همرفتی برای این پدیده ۸ فاز تعیین گردیده است. این فازها از غرب اقیانوس هند (فاز ۱) آغاز و در مناطق مرکزی و حاره ای اقیانوس آرام (فاز ۸) به پایان می رسند (مَدِن و جولیَن[5]،۱۹۷۱) . فازهای ۳، ۴، ۵ و ۶با بیشینه همرفت درمجمع الجزایر اندونزی به عنوان فازهای مثبت و در مقابل فازهای ۱، ۲، ۷ و ۸با سرکوب همرفت در شرق اقیانوس هند و مجمع الجزایر اندونزی به عنوان فاز منفی درنظر گرفته می شوند. در مطالعات متعددی اثرنوساناتجوّی در مقیاس همدیدی بر تغییر غلظت آلاینده ها بررسی شده است. برای مثالاِکهارد و همکاران[6] (۲۰۰۳) به مطالعه ی کنترل نوسان اطلس شمالی بر مسیر انتقال آلاینده ها پرداختند و با استفاده ازمدل شبیه سازی مربوط به پراکندگی ردیابهایتاثیرپذیر، نمایشگرانتشارات ناشی از دخالتهای انسانی در قاره های

1 Hurrell

2 Eshel
3 Bond & Vecchi
4 Jones
5 Madden & Julian
6 Eckhardt

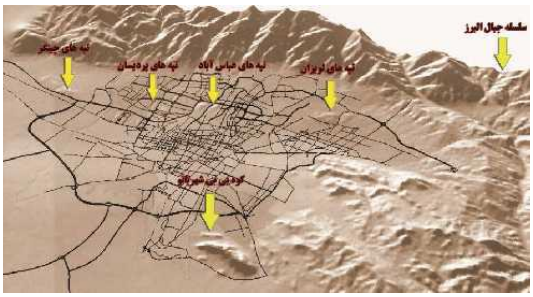
نیمکره ی شمالی، نشان دادند این نوسان مخصوصا در فصل بهار و زمستان کنترلی قوی بر مسیر انتقال آلاینده ها به سمت قطب اعمال می نماید. بایجِن[7] و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند نوسان مدن-جولین و تغییرات حاصل از آن در گردش های جوّی بر مسیر حرکت ذرات معلق تاثیرمستقیم‌دارند. شُن[8] و همکاران (۲۰۱۱) نقش نوسان مَدِن- جولیَن بر کیفیت هوای سانتیاگو(شیلی) را بررسی کردند. آنها نشان دادند شرایط جوّی رخ داده همزمان با فازهای مختلف MJOدر کیفیت هوای سانتیاگو نقش اساسی بازی کرده اند. هرچند پیشنهاد نموده اند برای تأیید هرچه بهتر نتایج بدست آمده به سری های داده و آمار اولیه ی طولانی تری احتیاج است. همزمان سینگ[9]و پالاز اُغلو (۲۰۱۱) در مطالعه ی اثر نوسانهای ENSO[10] و PDO[11] بر آلودگی هوای کالیفرنیابا استفاده از روش های بوت استرپ[12] و تبدیل موجک[13]اقدام بهتکمیل داده های آلودگی هوا و افزایش طول دوره آماری کردند و نشان دادند فراوانی وقوع شرایط مطلوب جهت رخداد آلودگی هوا در مقیاس محلی می تواند از رخدادهای اقلیمی بزرگ مقیاس نظیر ENSO و PDO تاثیر پذیرد.در ایران نیز مطالعاتی درباره ی تاثیر پدیده ها و جریان های بزرگ مقیاس برآلودگی هوا انجام شده است. حافظی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از شاخص های دو شاخه شدگی جت و شکست موج راسبی در بررسی دوره ی حاد آلودگی هوای تهران در آذرماه ۱۳۸۹ نشان دادندکه وجود مقدار میانگین منفی شاخص NAO و جابجایی استواسوی منطقه ی همگرایی درون حاره ای (ITCZ[14]) همراه با وجود بندال واقع بر اطلس شمالی از مشخصات بارز این دوره آلوده بوده است.مومن زاده و همکاران(۱۳۹۸) به بررسی اثرهای نوسان اطلس شمالی بر شرایط هواشناختی کیفیت هوای شهر تهران در دورهی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷ پرداختند. آنها بیان کردند در این پژوهش به علت نبود داده های طولانی مدت شاخص کیفیت هوا، نمی توان الگوی ثابت و قابل استناد آماری بیان کرد؛هرچند می توان نتیجه گرفت که طی دورهٔ مورد مطالعه دوره های آلوده با فاز مثبت شاخص NAOو دوره های سالم با فاز منفی همبستگی معنی داری داشته اند.با توجه به نتایج مطالعات پیشین‌در دست نبودن داده های حاصل از سنجش کیفیت هوا برای یک دوره بلند مدتآماری(قبل از سال ۱۹۹۹)، حوزه مطالعات اقلیمی و بررسی آثار این نوسانات بررخداد آلودگی هوا را محدود کرده است.. از این روبا بهره گیری از روشهای آماری بوت استرپ و تبدیل موجک ضمن گسترش دورهٔ آماری اثر دورپیوندی دو نوسان NAO و MJOبر آلودگی هوای شهر تهران طی یک دوره آماری ۳۰ ساله مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه، همچنین، تأخیر زمانی تأثیر این نوسانات بر میدان های هواشناختی مؤثر بر دوره های آلودگی هوا در منطقه ی مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

کلان شهر تهران در دامنه های جنوبی بخش مرکزی سلسله جبال البرز واقع شده است (شکل۱). تحقیقات به عمل آمده گویای آن است که به علت وجود ارتفاعات در اطراف تهران ، جنوب ، شرق و غرب این شهر نسبت به مرکز آن تا حدودی مرتفع تر بوده و در نتیجه می توان شهر تهران را به صورت کاسه ای نامنظم تجسم نمود که از نظر جغرافیایی و اقلیمی مکان مناسبی برای تجمع آلاینده هاست (فرزاد بهتاش و همکاران،۱۳۹۲).باتوجه به هویت سیاسی، اجتماعی، اقتصادی، جمعیتی و موقعیت جغرافیایی کلان شهر تهران و تبدیل شدن آلودگی هوا به یک معضل مهم در این شهر و در راستای بهبود شناخت از شرایط جوی مؤثر بر شکل گیری دوره های آلودگی شدید هوا در کلان شهر تهران،در این مقاله نقش دو نوسان اطلس شمالی و مَدِن-جولیَن بر آلودگی های بسیار شدید هوای تهران مورد بررسی قرار گرفته است.

ابتدا با استفاده از شاخص استاندارد آلودگی هوا، که

7 Baijun
8 Sean
9 Singh
10 Elnino Southern Oscillation
11 Pacific Decadal Oscillation
12 Bootstrap
13 Wavelet Transform
14 Intertropical Convergence Zone



شکل ۱. عوارض طبیعی محصورکنندهتهران (منبع. بوم سازگان،۱۳۸۴)

توسط شرکت کنترل کیفیت هوا به صورت میانگین گیری شده از کلیه ایستگاههای مستقر در شهر تهران محاسبه و گزارش می شود، روزهای با شرایط بسیار ناسالم (شاخص بین ۲۰۰ تا ۳۰۰) طی دوره آماری (۲۰۱۳ –1999) مشخص گردیدند.سپس با استفاده از داده های روزانه ی مرکز NOAA (http://www.cpc.noaa.gov/) و داده های وبگاه مرکز پژوهش هوا و اقلیم دولت استرالیا (http://cawcr.gov.au)تاثیر دورپیوندهای NAO و MJO بر ایجاد شرایط مساعد جهت تجمع آلاینده‌ها در شهر تهران مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت.

روزهای آلوده در هر دوفصول سرد و گرم سال به وقوع می پیوندند و از منابع آلاینده محلی و فرامحلی شکل می گیرند. بر این اساس در بررسی ارتباط بین این رخدادها و نوسان های مورد بحث، زمان و منشأ وقوع آلودگی مدنظر قرار گرفت. دسته بندی با در نظر گرفتن شباهت بین الگوها،فصولگرم (بهار و تابستان)و سرد (پاییز و زمستان) ومنشأ آلودگی انجام شد. چنانچه بالا رفتن شاخص آلودگی هوا و قرارگرفتن آن در وضعیت بسیار ناسالم به علت افزایش غلظت آلاینده ها در خود کلان شهر تهران بوده است آلودگی هوا با منشأ محلی و در غیر این صورت با منشأ فرامحلی در نظر گرفته شده اند. یکی از عواملی که برای تعیین روزهای با آلودگی فرامحلی به آن توجه شده است غلظت بالای آلاینده های ذره ای به خصوص ذرات با قطر کمتر از۲/۵میکرون بوده است که عمدتا ناشی ازانتقال ذرات گرد و غبار و ریزگردها ازبیابان ها و مناطق اطراف و یا کشورهای همجوار به منطقه مورد مطالعه است. همچنین داده های کد هوای حاضر در گزارش هایهمدیدی سازمان هواشناسی کشور، تصاویر ماهواره ای رنگ واقعی سنجنده مودیس نصب شده بر ماهواره های تراواآکوآ [15]نیز برای سنجش درستی و تصدیق دسته بندی ها مورد استفاده قرار گرفتند. به این ترتیب روزهای با شرایط بسیار ناسالم در شهر تهران طی دوره آماری مورد نظر در ۳ گروه آلودگی های فرامحلی فصول گرم، آلودگی های محلی فصول گرم و آلودگی های محلی فصول سرد طبقه بندی گردیدند. در این دوره آماری هیچ روزی با آلودگی های فرامحلی در فصل سرد یافت نشد. کفایت تعداد روزهای آلوده به عنوان نمونه های مورد بررسی در هر گروه به منظور افزایش میزان اعتبار نتایج حاصل از تحلیل های آماری جهت بررسی ارتباط و هم بستگی مابین آلودگی هوای تهران با نوسان های مذکور از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به علت کم بودن تعداد روزهای آلوده در هر گروه به عنوان نمونه های در دسترس و فقدان اندازه گیریهای شاخص آلودگی هوا طی سالیان گذشته ، و افزایش طول دوره ی آماری به یک دوره ی ۳۰ ساله (۲۰۱۳-۱۹۸۴) نتایج حاصل از مطالعات فطرس و همکاران (۲۰۱۸) مورد استفاده قرار گرفت.در این روش با یافتن خصایص برجسته یالگوهای مساعد جهت وقوع رخداد آلودگی هواازداده های موجود در هر گروه و یافتن خصایصی مشابه با الگوهای یافت شده در گذشته، شناسایی روزهای با شرایط مساعد جهت وقوع آلودگی بسیار شدید هوا در دوره ی آماری فاقد داده و در

15 Terra & Aqua

نتیجه پر کردن خلا آماری موجود ممکن شد. با افزایش طول دورهٔ آماری و تعداد نمونه های در دسترس شرایط برای بررسی‌های دقیق تر و معنیدارتر اقلیمی و تعیین ارتباط مابین وقوع آلودگی هوای تهران با نوسان های NAO و MJOفراهم شد. با توجه به پیوستار بودن جوّ و تاثیر این نوسان های به صورت دورپیوندی در مقیاس همدیدی،تاخیر زمانی در این ارتباط ها نیز در نظر گرفته شد.نظر باینکه هر دسته از آلودگی ها در فصول مختلف سرد و یا گرم سال و با منشاهای محلی و فرامحلی به وقوع پیوسته است لذا بدیهی است که تاخیر زمانی محاسبه شده برای گروههای متفاوت نیز یکسان نباشد. برای تحقق این هدف همبستگی معنیدار مابین شاخص آلودگی هوای تهران (PSI) در دوره های منجر به رخدادآلودگی شدید هوا با شاخص نوسانات مورد بحث تا ۲۰ روز قبل از بیشینه شدن شاخص PSI مورد مطالعه قرار گرفت. فاصله ی زمانی با بیشترین میزان هم بستگی (مثبت یا منفی) به عنوان تاخیر زمانی مناسب جهت تاثیرگذاری این نوسان ها بر آلودگی هوای تهران انتخاب ومعنیداری ضریب هم بستگی در آن روز با توجه به جدول آزمون R مورد مطالعه قرارگرفت. با معنیدار شناخته شدن این ضریب الگوهای همدیدی پارامترهای هواشناختی درآن روز مورد بررسی قرار گرفت.بدین منظور نقشه های ترکیبی الگوهای پارامترهای هواشناختی برای تاخیر زمانی یافت شده ،ترسیم و خصایص موثر و معنیدار الگو با بهره گیری از روش های آماری (بوت استرپ و تبدیل موجک) تعیین گردید. این نقشه ها با استفاده از میانگین همادی اطلاعات یک کمیت مربوط به روزهای هدف در هر گروه و در هر سطح مستقل فشاری وبه کمک نرم افزار GRADSتهیه شدند. سپس روش آماری ناپارامتری و باجایگزینی بوت استرپ به عنوان یک تست معنیداری آماری استفاده شد. این روش می تواند بدون فرض نرمال بودن و برای توزیع های ناشناخته در کنترل کیفیت آماری مورد استفاده قرار گیرد(وو[16] و همکاران،۱۹۸۶). در این تحقیق فاصله اطمینان صدکی بوت استرپ برای تعیین حدود کنترل و بازه ی اطمینان مورد استفاده قرار گرفت. این نمودارها با دو خط، حد کنترل بالا (UCL) و حد کنترل پایین (LCL) را تعیین می نمایند. این حدود کنترل به گونه ای انتخاب می گردند که چنانچه فرآیند به روال عادی و کنترل شده باشند ، تقریبا تمام نمونه های گرفته شده از جامعه بین این دو محدوده واقع گشته و تا زمانی که این نقاط بین این حدود کنترل قرار گیرد فرض می شود فرآیند تحت کنترل است . قرار گرفتن نقاط در خارج از محدوده ی کنترل نشان دهنده ی ناهنجاری رخ داده در فرآیند مورد بررسی است(ایران پناه،۱۳۹۰). سپالا[17] و همکاران(۱۹۹۵) ، بجگیر[18](۱۹۹۲)، فرانکلین و واسرمن[19](۱۹۹۲)، لیو وتانگ[20](۱۹۹۶) این نمودارهای کنترل را برای مشاهدات مستقل و وابسته براساس روش بوت استرپ به کار بردند.عملکرد این روش بدین صورت است که با نمونه گیری تصادفی ساده و البته با جایگذاری از مجموعه ی داده های مشاهده شده می توان ساختار توزیع داده ها را بازسازی نمود (رحیم زاده،۱۳۹۰) . دراجرای این روش برای هر نقطه ی شبکه نمونه های تصادفی با سایزی برابر با سایز نمونه اولیه (گروه هدف) از داده های جامعه اصلی گرفته شد. برای تعیین تعداد تکرارهای نمونه گیری بوت استرپی باید به هر دو عامل زمان برآورد و میزان اریبی توجه کامل داشته باشیم به عبارت دیگر مقدار زمانی که کامپیوتر صرف تکرارهای بوت استرپ می کند با تعداد نمونه های بوت استرپ(B) ارتباط مستقیم دارد. مانند سایر برآوردگرها از این روش نیز انتظار اریبی کم و انحراف معیار کوچک داریم. هر چه تعداد تکرارهای بوت استرپ بزرگتر باشد برآورد دقیق تر و انحراف معیار کوچکتر است(لجر،۱۹۹۲).به عنوان مثال اگر بر یک نقطه ی شبکه تعداد داده ها N روز (تعداد نهایی روزها در کل دوره ی آماری موجود) و تعداد داده های نمونه ی هدف(تعداد روزهای وقوع آلودگی شدید در تهران) را n روز در نظر گیریم، به تعداد B بارنمونه گیری تصادفی و با جایگزینی به سایز n بر روی جامعه انجام می گیرد و پنجره هایی با سایز n×B تولید می

16 Wu

17 Sepala
18 Bejgier
19 Franklin & Wasserman
20 Liu & Tang

نماید. برای محاسبه ی دقیق تر بهتر است B را بزرگتر از ۲۰۰ و در حدود ۱۰۰۰ در نظر گیریم. پس از محاسبه ی آماره ی مورد نظر بر روی بازنمونه های تصادفی در اختیار، توزیع نول مربوط به جامعه تخمین زده شد و با بکارگیری بازه های اطمینان بوت استرپی بر توزیع یافت شده برای α=0.05 (سطح اطمینان ۹۵٪)معنیدار بودن تفاوت آماره ی مورد بررسی برای گروه هدف نسبت به توزیع کل جامعه ی آماری مورد مطالعه قرار گرفت. در حقیقت معنیدار شناخته شدن و علامت خوردن هر نقطه ی شبکه به معنای قرارگیری میانگین گروه هدف در خارج از حد کرانه های بالا و پایین بازه های اطمینان بر توزیع جامعه و وقوع ناهنجاریهای معنیدار پارامتر مورد بررسی در آن نقطه ، در تاخیر زمانی مورد نظر است. با توجه به این تست این هم بستگی از لحاظ آماری معنیدار شناخته شده وناشی از تصادف نخواهد بود.برای آشنایی بیشتر با الگوریتم بوت استرپ کلاسیک می توان به سایر منابع داخلی و یا خارجی مراجعه نمود(افرون و گنگ،۱۹۸۳[۲۱]؛ طبیبیان،۱۳۸۸؛ قیطولی، ۱۳۸۸؛ فطرس و همکاران،۲۰۱۸). از سوی دیگر اجرا و بکارگیری تست معنیداری بوت استرپ در تک تک نقاط شبکه برای هر یک از متغیرهای جوّی مورد بررسی در هر یک از سطوح مستقل فشاری کار را پیچیده کرده و با داشتن مقایسه های چندگانه باعث افزایش حجم محاسبات می گردد. لذا استفاده از تبدیل ریاضی موجک (با استفاده از نرم افزار متلب) پیش از تست معنیداری بوت استرپ با کاستن تعداد نقاط شبکه و پردازش و از بین بردن نوفه های ناکارآمد در الگو باعث کاستن حجم محاسبات در مراحل بعد گشته و روند کار را ساده ترمی نماید. در حقیقت کاراین تبدیلتجزیه یک سیگنال به باندهای فرکانسی مختلف بر مبنای توابع موجک است که این توابع موجک را موجک های مادر (ψ) می‌نامند. موجکهای هار، دابچیز، کویفلت و میر از جمله توابع موجک مادر هستند (لیفوگال[۲۲]،۲۰۰۹) . انتخاب تابع موجک با توجه به نمایش فرکانسی و سطح انرژی سیگنال صورت می

21 Efron & Gong
22 Leefugal

پذیرد(مائدا[۲۳] و همکاران،۲۰۰۱).در این مقاله با توجه به نتایج قابل قبول حاصل آمده تابع موجک ها را جهت آنالیز برگزیده شده است.از آنجاییکه انواع مختلفی از توابع موجک وجود دارند که می توانند برای تبدیل موجک به کار گرفته شوند ، تابع موجک پایه به صورت زیر تعریف می شود:

$$\psi_{a,b}(x)=\frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \qquad (1)$$

که در آن $\psi_{a,b}(x)$ به عنوان موجک مادرو پارامترهای a و b به ترتیب پارامترهای مقیاس و انتقال می باشند. واژه مادرنیز به این منظور به کاربرده میشود که تمامی نسخه های انتقال یافته و مقیاس شده همگی از روی یک تابع اولیه به دست می آید که اصطلاحاً موجک مادر نامیده میشود(آدیسون[۲۴]،۲۰۰۲). در یک سیگنال (هرکمیت متغیر بازمان) با یک بعد مکانی ، چنانچه متغیر زمان به صورت پیوسته تغییر کند به آن سیگنال،آنالوگ (پیوسته) واگر متغیر زمان روی مجموعه‌ای گسسته تغییر کند به آن سیگنال، دیجیتال یا گسسته می‌گویند(استانکویچ[۲۵]،۱۹۹۴). بر همین اساس تبدیل‌های موجک نیز به تبدیل موجک پیوسته (CWT) و گسسته (DWT) تقسیم‌بندی شده اند. تبدیل موجک پیوسته یک بعدی (CWT) به صورت زیر تعریف می شود:

$$T(a,b)=\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\,\psi^{*}_{a,b}(x) \qquad (2)$$

که درآن f(x) یک تابع یک بعدی برای سیگنال پیوسته و نشان * نشان دهندهٔ تابع مزدوج مختلط[۲۶] تابع موجک مادر است. با در نظر گرفتن $a=2^{j}$ و $b=k\,2^{j}$ در تابع موجک مادر که j و k اعداد صحیح مثبت در نظر گرفته می شوند.DWT را می توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$\psi_{j,k}(x)=2^{-j/2}\psi(2^{-j}x-k) \qquad (3)$$

$$DWT(j,k)=\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\,\psi^{*}_{j,k}(x) \qquad (4)$$

23 Maeda
24 Addison
25 Stankovic
26 Complex conjugate function

که f(x) در اینجا تابعی یک بعدی برای سیگنال گسسته زمانی می باشد(چان و لیو ۲۰۱۰). باتوجه به اینکه سیگنال‌های مورد بررسی در این مقاله میانگین روزانه (سیگنال گسسته) در دوره آماری هستند از این رو از تبدیل موجک DWTاستفادهشده است. تجزیه سیگنال در این تبدیل به کمک تابع مقیاس و با استفاده از عمل پالایشصورت می پذیرد. پالاینده های به کار رفته در این تبدیل به دو دسته بالاگذر و پایین‌گذر تقسیم شده اند. سیگنال‌های خروجی از پالاینده های بالاگذر سیگنال جزئیات و همچنین سیگنال‌های خروجی از پالاینده های پایین‌گذر سیگنال تقریب نامیده می‌شوند(اُم[27] و همکاران،۲۰۱۲). در تبدیل موجک همزمان با انجام عمل پالایش و تجزیه سیگنال به باندهای فرکانسی متفاوت عمل کاهش نمونه گیری[28]نیز انجام می شود. در حقیقت این فرآیند به عنوان یک نمونه‌برداری کاهنده عمل کرده و تعداد پیکسل‌های مورد بررسی را کاهش می‌دهد(استولنیتز[29] و همکاران،۱۹۹۴). برای سیگنال‌های دو بعدی (پارامترها در راستای مداری و نصف النهاری) به کار گرفته شده در این مقاله، ابتدا تبدیل موجک یک بعدی برای هر سطر و سپس برای هر ستون مورد استفاده قرار گرفت. یعنی ابتدا سطرهای ماتریس از پالاینده های بالاگذر و پایین‌گذر عبور داده می‌شوند و سپس همین کار برای ستون‌های ماتریس انجام می‌گیرد. بدین ترتیب به کاهش ابعاد مکانی و پالایش اطلاعات فرکانس بالا (نویزها) پرداختیم. با در نظر گرفتن گستره ی جغرافیایی نقشه ها (10N-80N) و (40W-90E) و قرارگرفتن نقاط شبکه با تفکیک ۲٫۵درجه، ۵۳ نقطه در راستای طول جغرافیایی و ۲۹ نقطه در راستای عرض جغرافیایی بر شبکه واقع شدند.بدین ترتیب در تراز اول تجزیه ماتریس داده ای با ابعاد ۲۹ × ۵۳ نقطه به چهار ماتریس ۱۵ × ۲۷ نقطه و در تراز دوم تجزیه به ۴ ماتریس ۸ × ۱۴ نقطه تبدیل گردید(ماتریسهای تقریب و نوفه ها در راستای افقی، عمودی و مورب). از این رو با پالایش و جداسازی ماتریس های مربوط به اطلاعات فرکانس بالا و نویزها در راستای افقی ، عمودی ومورب به ماتریس تقریب یعنی شبکه ای با تعدا د نقاط کمتر و الگوی کلی تربد ست آمد .برای آشنایی بیشتر با این تبدیل می توان به سایر منابع داخلی و یا خارجی مراجعه نمود(آدیسون، ۲۰۰۲؛ سینگ و پالازاغلو،۲۰۱۱؛ اوم وهمکاران،۲۰۱۲؛ فطرس و همکاران،۲۰۱۸).

پس از بکارگیری تبدیل موجک و کاهش حجم محاسبات با اعمال تست معنیداری بوت استرپ در هر نقطه از شبکه ی تعدیل شده ، میانگین پارامتر مورد بررسی برای گروه هدف در هر نقطه با توزیع نول جامعه حاصل ازنمونه های تصادفیمقایسه شد . معنیداری این تفاوت از طریق بازه های اطمینان مورد بررسی قرار گرفت و نقاط با تفاوت معنیدار بر روی الگوهای ترکیبی با علامت ضربدر مشخص گردید.نقاط علامت خورده بر نقشه ها ی ترکیبی درتاخیر زمانی مورد نظرنشاندهنده خصایص موثر بر ایجاد شرایط مساعد جهت رخداد آلودگی هوا در شهر تهران است. در نهایت با بررسی اشتراک مابین خصایص برجسته و قسمتهای نشاندار شده در الگوهای موثر بر آلودگی هوا با ناهنجاریهای به وقوع پیوسته همزمان با فازهای مختلف نوسان های اطلس شمالی و مَدِن-جولیَن ،تاثیر دورپیوندهای NAO و MJO بر ایجاد شرایط مساعد جهت تجمع آلاینده‌ها در شهر تهران مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

محاسبه تاخیر زمانی تاثیر نوسانات اطلس شمالی و مدن جولینبرآلودگی هوای تهران

مطالعه ی رابطه ی بین متغیرها و تحلیل هم بستگی به منظور تعیین اثر یک متغیر(شاخص نوسان NAO یا MJO) در کنترل متغیر دیگر (شاخص آلودگی هواPSI) انجام شد.معیار عددی حاصل از این رابطه، ضریب هم بستگی نمونه ای(R) نامیده شد. مقادیری از R نزدیک به اعداد 1+ و1- متناظر با خوشه ی فشرده ای از نقاط داده ها در اطراف یک خط مستقیم ودر نتیجه یک رابطه قوی

27 Om
28 Down sampling
29 Stollnitz

جدول ۱. اطلاعات مربوط به هم بستگی مابین شاخص آلودگی هوا با نوسانات NAO و MJO ، تعیین تاخیر زمانی و بررسی معنیداری ضریب هم بستگی

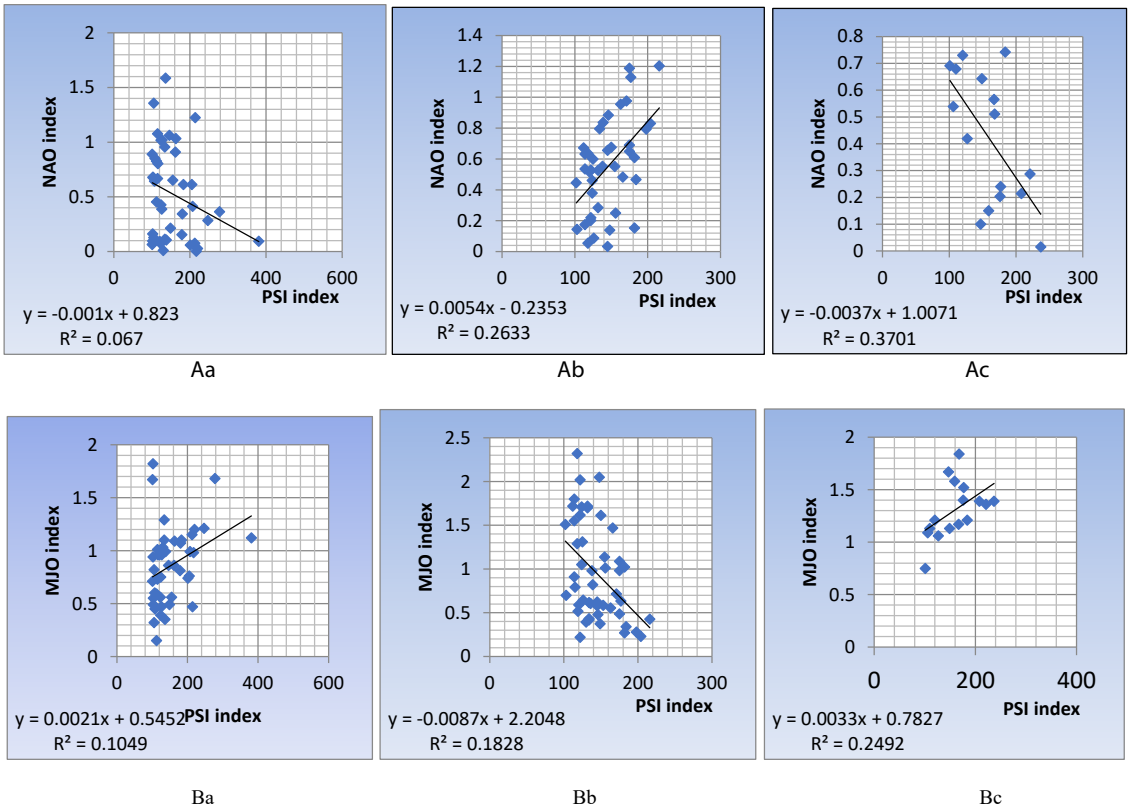
	گروه	تعداد روزهای مورد مطالعه (n)	درجه آزادی (n-۲)	تاخیرزمانی با بیشترین تاثیر	ضریب هم بستگی	معنیداری در سطح ۹۵٪	معنیداری در سطح ۹۹٪	وضعیت معنیداری هم بستگی
رابطه شاخص NAO با شاخص PSI برای	**آلودگی های فرامحلی فصول گرم**	۴۴	۴۲	۱۰ روز	-۰/۲۶۰	۰/۲۰۴	۰/۳۹۳	حداقل در سطح اعتماد ۹۵٪ معنیدار
	آلودگی های محلی فصول گرم	۴۹	۴۷	۷ روز	۰/۳۹۲	۰/۲۸۸	۰/۳۷۶	حداقل در سطح اعتماد۹۹٪ معنیدار
	آلودگی های محلی فصول سرد	۱۶	۱۴	۲ روز	-۰/۶۰۸	۰/۴۱۷	۰/۶۲۳	حداقل در سطح اعتماد ۹۵٪ معنیدار
رابطه شاخص MJO با شاخص PSI برای	**آلودگی های فرا محلی فصول گرم**	۴۴	۴۲	۱۰ روز	۰/۳۲۳	۰/۲۰۴	۰/۳۹۳	حداقل در سطح اعتماد ۹۵٪ معنیدار
	آلودگی های محلی فصول گرم	۴۹	۴۷	۳ روز	-۰/۴۲۷	۰/۲۸۸	۰/۳۷۶	حداقل در سطح معنیداری ۹۹٪ معنیدار
	آلودگی های محلی فصول سرد	۱۶	۱۴	۱۰ روز	۰.۴۹۹	۰/۴۱۷	۰/۶۲۳	حداقل در سطح اعتماد ۹۵٪ معنیدار

بین متغیرها و R=0 به عنوان عدم رابطه خطی تعبیر می گردد. بدین منظورتاخیر زمانی با بیشینه مقدار Rانتخاب و معنیداری آن با توجه به جدول آزمون R در سطوح معنیداری مختلف مورد بحث قرار گرفت.بر طبق تفسیر جدول آزمون معناداری R چنانچه ضریب هم بستگی حاصل در تاخیر زمانی یافت شده، از هر دو عدد جدول در سطوح اشتباه ۵٪ و ۱٪ بزرگتر باشد بیانگرمعنیدار بودن ضریب، حداقل در سطح معنیداری ۹۹٪ است. قرار گیری ضریب هم بستگی مابین دو عدد نمایش داده شده در جدول برای سطوح اشتباهات۵٪ و ۱٪ ، گویای معنیدار بودن ضریب ،حداقل در سطح معنیداری ۹۵٪و در نهایت کوچکتر بودن ضریب هم بستگی از هر دو عدد نمایش داده شده در سطوح اشتباهات ۵٪ و ۱٪حاکی ازمعنیدار نبودن ضریب حتی در سطح معنیداری ۹۵٪ است در این حالت برای ایجاد رابطه ی خطی بین دو متغیر مجاز نخواهیم بود.نتایج حاصل از محاسبات انجام شده در جدول۱نمایش داده شده است. نمودارهای پراکنش و خطوط برازش داده شده بر این نمودارها در تاخیر زمانی یافت شده برای هر دسته از آلودگی ها، درنمودار۱ قابل مشاهده است.

ارتباط نوسان اطلس شمالی با آلودگی هوای فرامحلی فصول گرم تهران

با توجه به اطلاعات جدول ۱ ضریب هم بستگی برای ۱۰ روز قبل از وقوع آلودگی بسیار شدید با مقدار R= -0/26 بیشینه شد. اگرچه میزان این هم بستگی از لحاظ عددی کوچک می باشد اما بهره گیری از جداول آزمون معنیداری R نشان داد که این هم بستگی با قرارگیری در محدوده ی بین دو عدد سطح اشتباهات ۱٪ تا ۵٪، حداقل درسطح آماری ۹۵٪ معنیدار می باشد. منفی بودن این ضریب بیانگر روند معکوس بین دو پارامتر مورد بررسی است بدین معنیکه با کوچک شدن مقدار عددیNAO (وقوع رخداد NAO به صورت ضعیف) انتظار افزایش شاخص PSIوجود خواهد داشت. با بهره گیری از شاخص روزانه ی مرکز NOAA فازهای مختلف نوسان اطلس شمالی برای ۱۰ روز قبل از وقوع آلودگی بسیار شدید فرامحلی فصول گرم در تهران مشخص گردید (جدول۲)

با توجه به داده‌های جدول مذکور اثر هر یک از فازهای



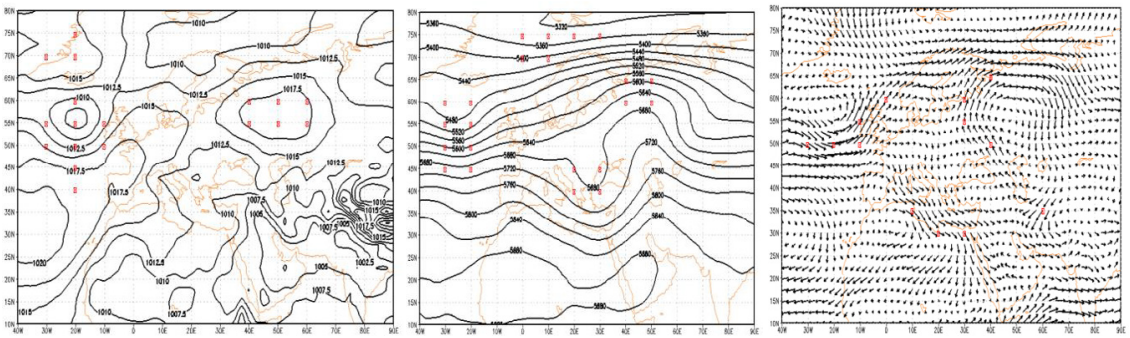
نمودار۱. نمودار پراکنش و خطوط برازش داده شده بر رابطه ی بین شاخصهای PSI وNAO (اشکال A) و شاخص های PSI و MJO (اشکال B) در تاخیر زمانی هر دسته از آلودگی های فرامحلی فصول گرم(a)، آلودگی های محلی فصول گرم (b)، آلودگی های محلی فصول سرد (c)

جدول۲ . میزان شاخص NAO برای دهمین روز قبل از رخداد آلودگی بسیار شدید هوای تهران در فصول گرم و با منشا فرامحلی در کل دوره آماری ۳۰ ساله

تاریخ وقوع بیشینه مقدار آلودگی	۱۸ آگوست ۱۹۸۴	۲۶ آگوست ۱۹۸۷	۲۶ جولای ۱۹۸۸	۲۱ می ۱۹۹۲	۲۱ می ۱۹۹۳	۷ ژوئن ۱۹۹۶	۴ سپتامبر ۱۹۹۷	۲۸ ژوئن ۱۹۹۸	۲۰ آگوست ۱۹۹۹
شاخص NAO (۱۰ روز قبل)	۱/۰۱۰	-۰/۸۵۲	۰/۳۱۲	۱/۱۳۶	-۰/۸۴۳	-۰/۰۳۹	۰/۱۵۳	-۱/۷۳۴	-۰/۰۴۵
تاریخ وقوع بیشینه مقدار آلودگی	۱ می ۲۰۰۰	۶ آپریل ۲۰۰۸	۵ جولای ۲۰۰۹	۶ جولای ۲۰۰۹	۱۶ جولای ۲۰۱۰	۱۴ آپریل ۲۰۱۱	۴ ژوئن ۲۰۱۱	۱۳ ژوئن ۲۰۱۱	۲۶ می ۲۰۱۲
شاخص NAO (۱۰ روز قبل)	۰/۰۷۵	۰/۰۰۳	۰/۰۹۴	-۰/۲۸۴	-۰/۰۲۸	۰/۳۶۴	-۰/۴۱۳	۱/۲۲۴	-۰/۰۵۸

مثبتو منفیNAO را به صورت جداگانه بر فراوانی وقوع رخداد آلودگی در این گروه مورد مطالعه قرارگرفت. بر طبق این مطالعات ۵۰٪ از روزهای آلوده با فاز منفی NAO و ۵۰٪ این آمار با فاز مثبت NAO همراه بوده است. شایان ذکر است برای اکثر روزهای آلوده در این گروه در تاخیر زمانی مورد نظر(۱۰ روز ماقبل) تغییر فازی از مثبت به منفی به وقوع می پیوست. قاسمی (۱۳۹۰) در نتیجه ی تحقیقات خود اینگونه مطرح کرد که با تغییر فاز NAO از مثبت به منفی فشار هوا بتدریج در منطقه کاهش یافته و شرایط را جهت گسترش سامانه‌های کم

نمودار ۲ . فراوانی وقوع فاز مثبت یا منفی‌نوسان اطلس شمالی ده روز قبل از وقوع آلودگی های بسیار شدید فرامحلی در فصول گرم در تهران



A B C

شکل۲.خروجی روشهای آماری برنقشه های ترکیبی فشار سطح زمین(A)، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال (B)و سمت سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال(C) ۱۰ روز قبل از وقوع آلودگیهای فرامحلی فصول گرم

فشار بر فراز مناطق خشک کشورهای همسایه ی غربی ایران (عراق، سوریه، عربستان) فراهم نموده و همین مسأله سبب افزایش تعداد روزهای غبارآلود همزمان با فاز منفی NAO خواهد گشت.

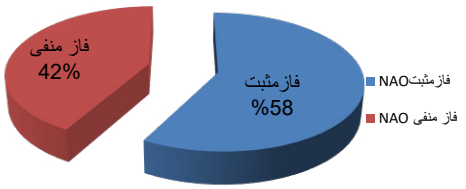
نمودار۲ نتایج حاصل را نمایش می دهد. بر طبق آمار بدست آمده این نتیجه حاصل می شود که در زمان رخداد ضعیف NAO احتمال بالا رفتن شاخص PSI برای آلودگی های فرامحلی فصول گرم بیشتر بوده و البته فازهای مثبت و یا منفی این نوسان های سهمی یکسان بر این ارتباط به نمایش خواهند گذاشت .

جهت تحلیل همدیدی نتایج حاصل نقشه های ترکیبی فشار سطح زمین ، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز۵۰۰ هکتوپاسکال و سمت و سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در دهمین روز قبل ازوقوع آلودگی هوا(میانگین همادی پارامترهای مورد نظر) ترسیم و پس از بکارگیری روشهای آماری موجک و بوت استرپ خصایص معنیدار الگو نشانگذاری شد. شکل۲الگوهای حاصل را نمایش می دهد.

با توجه به الگوهای حاصل دیده می شود که یک زبانه ی پرفشار از سمت شمال به جزیره ی آیسلند نفوذ کرده و با راندن کم فشار آیسلند به سمت جنوب موقعیت دائمی خود باعث کاهش معنیدار فشار در این مناطق گشته است . همچنین با جابجایی پرفشار آزورز به سمت شمال شرقی و با قرارگیری یک مرکز بسته ی پرفشار بر عرضهای شمالی ایران و بر فراز روسیه ، شرایط جهت چرخش جریان های گرم و مرطوب غربی از سوی اقیانوس اطلس به سمت اروپای شمالی فراهم گشته و در نتیجه با افزایش فشار بر مناطق شمالی ایران و همچنین مسدود شدن مسیر عبور جریان های گرم و مرطوب غربی ، کشور ما در فصل تابستان شرایط سرد و خشک همراه با افزایش پایداری و حرکات نزولی تجربه خواهد کرد. پشته ی ارتفاعی قوی حاکم برایران و افزایش معنیدار ارتفاع بر شمال کشور بخوبی تایید کننده ی نتایج حاصل است. از سوی دیگر بر فراز شاخه ی جنوبی پرفشار آزورز ، واقع بر مناطق شرقی اسپانیا قسمتی از جریان های گرم و مرطوب

جدول ۳ . میزان شاخص NAO برای هفتمین روز قبل از رخداد آلودگی بسیار شدید هوای تهران در فصول گرم و با منشا محلی در کل دوره آماری ۳۰ ساله

تاریخ وقوع آلودگی بیشینه مقدار آلودگی	۱۱ می ۱۹۸۷	۲۹ آگوست ۱۹۸۸	۵ ژوئن ۱۹۸۸	۳ سپتامبر ۱۹۹۳	۱۱ سپتامبر ۱۹۹۵	۹ سپتامبر ۲۰۰۲	۱۳ آگوست ۲۰۰۳
شاخص NAO (۷ روز قبل)	+۱/۲۸۴	+۰/۰۰۷	+۰/۰۴۹	-۰/۱۷۲	-۰/۷۴۱	+۱/۲۰۳	-۰/۸۳۰



نمودار۳. فراوانی وقوع فاز مثبت یا منفینوسان اطلس شمالی هفت روز قبل از وقوع آلودگی های بسیار شدید محلی در فصول گرم در تهران

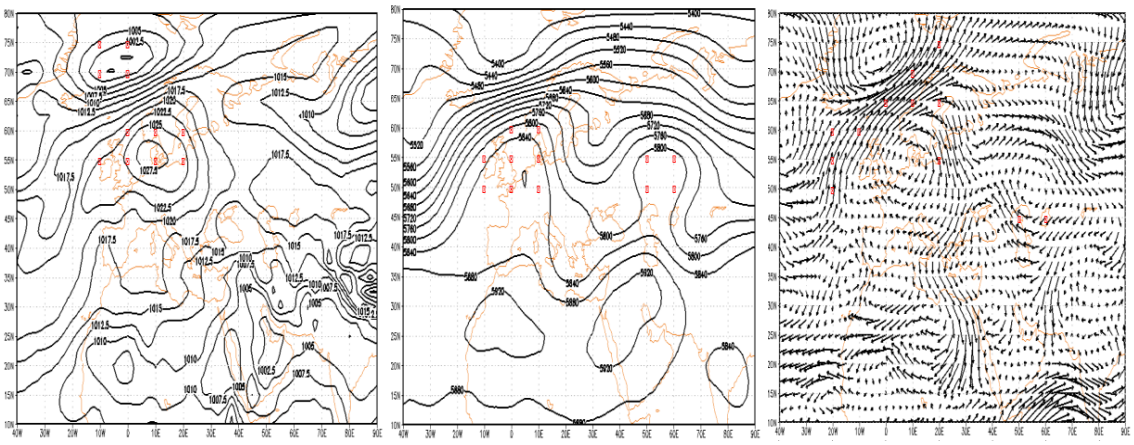
غربی ، با گردش به سمت جنوب و عبور از روی دریای مدیترانه و دریای سرخ و در امتداد ناوه ی عمیق ارتفاعی حاکم بر تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ، کشورهای همسایه ی غربی و جنوبغربی ایران و بخصوص شبه جزیره عربستان را اندکی گرمتر و مرطوب تر از قبل کرده و با افزایش سرعت باد در این مناطق برخاست آلاینده ها و ریزگردها را ممکن می سازد. شرعی پور و همکاران (۱۳۸۷) بیان کردند اکثر آلاینده‌هایی که منجر به بالا رفتن شاخص آلودگی هوا می‌شوند در دماهای بالاتر غلظت بیشتری خواهند داشت. این جریان ها به سوی ایران راه نیافته و در نتیجه بر کشور ما و منطقه ی مورد مطالعه همچنان شرایط پایدار و موقعیت مناسب جهت نشست ریزگردها فراهم است. الگوی باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به روشنی تایید کننده ی نتایج حاصل است.

ارتباط نوسان اطلس شمالی با آلودگی های محلی فصول گرم تهران

به منظور یافتن تاخیر زمانی مناسب برای بیشینه تاثیر نوسانات رخ داده دراقیانوس اطلس شمالی بر آلودگی های محلی فصول گرم تهران، ضریب هم بستگی مابین شاخص PSI در روزهای آلودگی هوا با شاخص NAO تا ۲۰ روز ماقبل محاسبه گردید و مقدار این ضریب در هفتمین روز قبل از وقوع آلودگی بسیار شدید با مقدار R= +0/392 بیشینه شد مقدار حاصل برای ضریب فوق نشان می دهد رخداد نوسان اطلس شمالی با آلودگیهای محلی فصول گرم تهران نسبت به آلودگیهای فرامحلی در این فصول هم بستگی و ارتباط بیشتری داشته است. و مثبت بودن این ضریب حاکی از ارتباط مستقیم این ارتباط است . بدین ترتیب انتظار می رود وقوع NAO به صورت قوی تر(افزایش مقدار عددی NAO چه در فاز مثبت و چه در فاز منفی) شرایط مساعدتری جهت افزایش شاخص آلودگی هوا در تهران فراهم نماید.

با بهره گیری از شاخص روزانه مرکز NOAA فازهای مختلف نوسان اطلس شمالی ۷ روز قبل از وقوع آلودگی‌های محلی فصول گرم تهران در جدول۳ مشخص گردید.

نتایج حاصل از محاسبات نشان می‌دهد ٪۵۸ از روزهای آلوده با منشأ محلی و در فصول گرم با فاز مثبت NAO و ٪۴۲ از این روزها با فاز منفی NAO همراه بوده اند. نمودار۳ نتیجه حاصل را به روشنی به نمایش می‌گذارد. با توجه به مطالعات انجام شده مشخص گردید وقوع NAO به صورت قوی و در فاز مثبت شرایط



شکل ۳ . خروجی روشهای آماری برنقشه های ترکیبی فشار سطح زمین(A)، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال (B)و سمت سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال(C) 7 روز قبل از وقوع آلودگیهای محلی فصول گرم

مساعدتری جهت رخداد آلودگی‌های محلی در فصول گرم برای کلان شهر تهران فراهم خواهد نمود.

جهت تبیین الگوهای سینوپتیک حاکم بر شرایط آب و هوایی کشور که منجر به بالا رفتن غلظت آلاینده‌ها در کلان شهر تهران می‌شود پارامترهای متعددی در سطح زمین و ترازهای بالایی جوّ موثر هستند. شکل۳ نقشه های ترکیبی و ناهنجاریهای معنیدار بوقوع پیوسته در پارامترهای فشار، ارتفاع و باد را در ترازهای مختلف جوّی هفت روز قبل از وقوع آلودگی‌های محلی فصول گرم تهران به نمایش می‌گذارد.

الگوی فشاری سطح زمین نشان می دهد مراکز کم فشار آیسلند و پرفشار آزورز تقویت شده و به سمت شمال شرق موقعیت دائمی خود رانده شده اند. نقاط علامت خورده بر این الگو کاهش شدید فشار بر دریای گرینلند و شمال آیسلند و همچنین نفوذ پرفشار آزورز و افزایش شدید فشار بر نواحی غربی اروپا را نمایش می دهد. وقوع فاز مثبت NAO قابل مشاهده است. با توجه به موقعیت قرارگیری این دو مرکز فشاری و قرارگیری NAO در فاز مثبت ، انحراف جریانهای جوّی و فرارفت هوای گرم و مرطوب به سمت شمال غرب اروپا به روشنی قابل مشاهده است. حال آنکه خاورمیانه شرایط سرد و خشک به همراه حرکات نزولی را تجربه می نماید. با قرارگیری یک مرکز پرفشاری بر شمال ایران و بر فراز روسیه شرایط حال حاضر تقویت می گردد. در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نواری با بی هنجاریهای مثبت ارتفاعی عرضهای ۴۰ تا ۶۵ درجه ی شمالی را دربرگرفته است. افزایش معنیدار فشار و پشته های ارتفاعی علامت خورده عملکرد پرفشارهای سطح زمین را تقویت می نمایند.کشور ایران و خصوصا مناطق شمالی آن در داخل یک بندال امگایی شکل واقع شده که این پدیده سبب مسدود شدن و انحراف جریانهای جوّی شده و اثر آن بر شرایط بد کیفیت هوا قابل مشاهده است. انحراف نصف النهاری جریانات جوّی از روی اقیانوس اطلس به سوی شمال غرب اروپا، بر الگوی باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز قابل مشاهده است. با توجه به الگوهای مورد بررسی تمامی شرایط تاییدی بر پایداری جوّی بر فراز ایران و در نتیجه افزایش غلظت آلاینده های محلی در منطقه ی مورد مطالعه است.

ارتباط نوسان اطلس شمالی با آلودگی های محلی فصول سرد تهران

هم بستگی بین شاخص PSI برای روزهای آلوده در فصول سرد با منشا محلی و شاخص نوسان اطلس شمالی با در نظر گرفتن تاخیرهای زمانی روزانه محاسبه شد. این هم بستگی دو روز قبل از وقوع آلودگی بسیار شدید با

جدول۴. میزان شاخص NAO برای دومین روز قبل از رخداد آلودگی بسیار شدید هوای تهران در فصول سرد و با منشا محلی در کل دوره آماری ۳۰ ساله

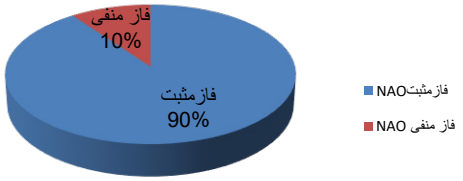
تاریخ وقوع بیشینه مقدار آلودگی	۱۷ اکتبر ۱۹۸۵	۳۰ مارچ ۱۹۸۸	۱۳ اکتبر ۱۹۸۹	۲۱ نوامبر ۱۹۹۲	۲۹ ژانویه ۱۹۹۴	۱۱ دسامبر ۱۹۹۸	۲۹ اکتبر ۱۹۹۸	۵ نوامبر ۲۰۰۱	۶ نوامبر ۲۰۰۱	۱۷ دسامبر ۲۰۰۳
شاخص NAO (۲ روز قبل)	+۰/۳۳۹	+۰/۰۸۳	+۰/۰۱۰	+۰/۲۵۰	+۰/۵۸۶	+۰/۹۴۵	+۰/۰۹۶	+۰/۲۱۴	-۰/۲۸۷	+۰/۵۳۹

مقدار R= -0/608 بیشینه شد. با توجه به اعداد و بازه های جدول آزمون معنیداری R این ضریب حداقل در سطح اعتماد ۹۵٪ معنادار شناخته شد. با توجه به بزرگ شدن مقدار عددی R نسبت به دو گروه ماقبل می توان اظهار داشت نوسان های اطلس شمالی در فصول سرد ، شرایط مساعدتری جهت وقوع آلودگی های بسیار شدید در شهر تهران فراهم نموده است. منفی بودن این ضریب مبین ارتباط معکوس میان دو پارامتر مورد بررسی بوده ، بدین معنی که انتظار می رود با کاهش مقدار عددی NAO در فاز مثبت و یا منفی (وقوع NAO به صورت ضعیف) شاهد آلودگی های شدیدتری (شاخص PSI بالاتر) در شهر تهران باشیم. با بهره گیری از شاخص روزانه ی مرکز NOAA فازهای مختلف نوسان اطلس شمالی ۲ روز قبل از وقوع آلودگی‌های محلی فصول گرم تهران در جدول۴ مشخص گردید

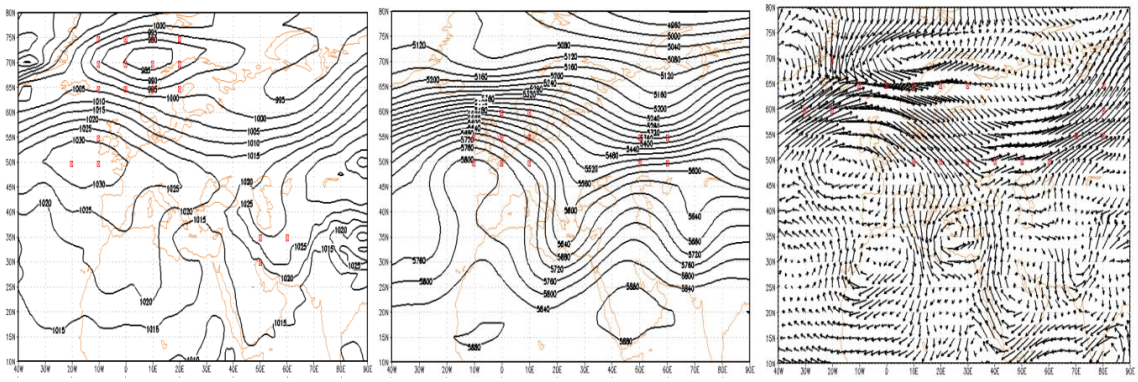
با توجه به داده‌های جدول مذکور اثر هر یک از فازهای مثبت و منفی NAO را به صورت جداگانه بر فراوانی وقوع رخداد آلودگی در این گروه مورد مطالعه قرار دادیم. بر طبق این مطالعات ۱۰٪ از روزهای آلوده با فاز منفی NAO و ۹۰٪ این آمار با فاز مثبت NAO همراه بوده است. تمامی مقادیر شاخص NAO در این بازه ی زمانی کوچکتر از ۱ و غالبا نزدیک به صفر است که تایید کننده ی ارتباط معکوس، مابین NAO و PSI می باشد. نمودار ۴ نتایج حاصل را به نمایش می گذارد . بر طبق یافته های حاصل این نتیجه حاصل می شود که وقوع NAO به صورت ضعیف و در فاز مثبت شرایط مساعدتری جهت رخداد آلودگی های محلی در فصول سرد فراهم می نماید.

جهت تحلیل همدیدی نتایج حاصل نقشه های ترکیبی فشار سطح زمین ، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز۵۰۰ هکتوپاسکال و سمت و سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در دومین روز قبل ازوقوع آلودگی هوا(میانگین همادی پارامترهای مورد نظر) ترسیم و پس از بکارگیری روشهای آماری خصایص معنادار الگو نشانگذاری شد. شکل ۴الگوهای حاصل را نمایش می دهد

تقویت شدید و سپس جابجایی مراکز کم فشار آیسلند و پرفشار آورز به سوی شمال موقعیت دائمی خود و همچنین افزایش گرادیان فشار بین این دو سامانه منجر به بادهای بسیار شدید غربی در کمربند عرضهای ۴۰ تا ۶۰ درجه ی شمالی شده و وقوع فاز مثبت نوسان های اطلس شمالی به روشنی قابل مشاهده است. به موجب این الگو جریان های گرم و مرطوب غربی به سمت عرضهای بالاتر روانه گشته و کشور ما را تحت تاثیر قرار نمی دهد. با وجود تقویت این مراکز فشاری جابجایی آنها موجب شده تا بر ایستگاههای دائمی واقع درجزایر آیسلند و آزورز گرادیان فشاری بسیار شدید احساس نشده و همین عامل باعث ثبت شاخص NAO به صورت ضعیف می باشد. اگرچه بی هنجاری شدید ارتفاع بر فراز روسیه و ناوه ی عمیق ارتفاعی بر دریای مدیترانه جریان ها را به سمت عرضهای پایین منحرف می کنند اما پشته ی ارتفاعی حاکم بر ایران مانند سدی عبور جریان ها را به سمت بالا رهنمود کرده که جهت شمالی این جریان ها با فاز مثبت NAO همخوانی خواهد داشت. هوای سرد و خشک به همراه پایداری بر ایران شرایط لازم برای تجمع



نمودار۴. فراوانی وقوع فاز مثبت یا منفینوسان اطلس شمالی دو روز قبل از وقوع آلودگی های بسیار شدید محلی فصول سرد در تهران



شکل۴. خروجی روشهای آماری برنقشه های ترکیبی فشار سطح زمین(A)، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال (B)و سمت سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال(C) دو روز قبل از وقوع آلودگیهای محلی فصول سرد

آلاینده های محلی بر منطقه ی مورد مطالعه را فراهم کرده و منجر به بروز آلودگی های بسیار شدید با منشا محلی در شهر تهران می گردد.

ارتباط نوسانمَدِن-جولیَن با آلودگی هوای تهران

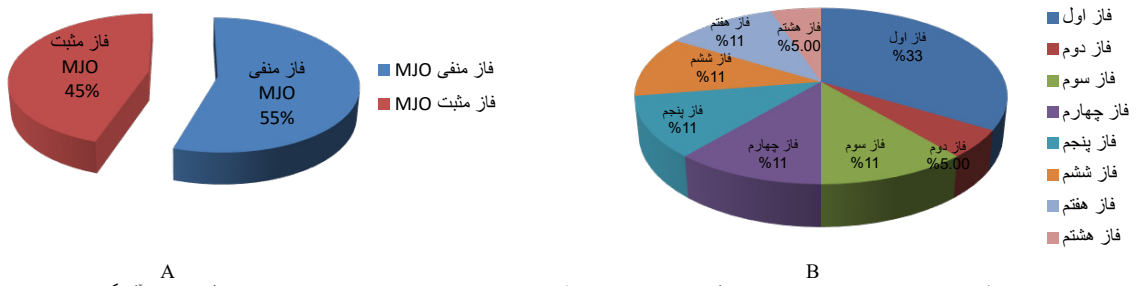
ارتباط نوسانمَدِن-جولیَن با آلودگی های فرامحلی فصول گرم تهران

جهت تعیین تاخیر زمانی برای بیشینه تاثیر نوسانات رخ داده در اقیانوسهای هند و آرام بر آلودگی های فرامحلی فصول گرم تهران، ضریب هم بستگی مابین شاخص PSI در روزهای آلودگی هوا با شاخص MJO تا ۲۰ روز ماقبل محاسبه گردید و مقدار این ضریب برای ۱۰ روز قبل از وقوع آلودگی بسیار شدید با مقدار R= 0/323 بیشینه شد. بهره گیری از جداول آزمون معنیداری R نشان داد که این هم بستگی با قرارگیری در محدوده ی بین دو عدد سطح اشتباهات ۱٪ تا ۵٪، حداقل درسطح اعتماد ۹۵٪ معنادار می باشد. مثبت بودن این ضریب بیانگر روند مستقیم مابین دو پارامتر مورد بررسی است بدین معنی که با بزرگ شدن مقدار عددیMJO (وقوع رخداد MJO به صورت قوی) انتظار افزایش شاخص PSI وجود خواهد داشت. جدول ۵ موقعیت قرارگیری فاز و دامنه ی نوسان مَدِن-جولیَن رابرای دهمین روز ماقبل از وقوع آلودگی بسیار شدید فرامحلی تهران در فصول گرم مشخص می‌نماید.

در گام اول نسبت تعداد روزهای وقوع آلودگی همزمان با هر یک از فازهای مثبتو یا منفی MJO را به صورت مجزا بر تعداد کل روزهای وقوع آلودگی در این گروه محاسبه کردیم. بر این اساس ۴۵ درصد از روزهای آلوده با فاز مثبت و ۵۵٪ از روزها با فازمنفی MJO همراهی می‌کنند. با محاسبه ی سهم هر فاز به صورت مجزا، فاز اول با مقدار ۳۳٪ به عنوان مهمترین و موثرترین فاز بر وقوع آلودگی‌های فرامحلی فصول گرم در تهران مشخص شد.

جدول ۵. میزان شاخص MJO برای دهمین روز قبل از رخداد آلودگی بسیار شدید هوای تهران در فصول گرم و با منشا فرامحلی در کل دوره آماری ۳۰ ساله

تاریخ وقوع بیشینه مقدارآلودگی	۱۸ آگوست ۱۹۸۴	۲۶ آگوست ۱۹۸۷	۲۶ جولای ۱۹۸۸	۲۱ می ۱۹۹۲	۲۱ می ۱۹۹۳	۷ ژوئن ۱۹۹۶	۴ سپتامبر ۱۹۹۷	۲۸ ژوئن ۱۹۹۸	۲۰ آگوست ۱۹۹۹
شاخص MJO (۱۰ روز قبل)	۱/۸۲	۱/۸۱	۰/۸۱۹	۱/۳۰	۰/۵	۱/۰۶۱	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۳۹
شماره فاز (۱۰ روز قبل)	۶	۳	۳	۵	۷	۲	۴	۱	۱
تاریخ وقوع بیشینه مقدارآلودگی	۱ می ۲۰۰۰	۶ آپریل ۲۰۰۸	۵ جولای ۲۰۰۹	۶ جولای ۲۰۰۹	۱۶ جولای ۲۰۱۰	۱۴ آپریل ۲۰۱۱	۴ ژوئن ۲۰۱۱	۱۳ ژوئن ۲۰۱۱	۲۶ می ۲۰۱۲
شاخص MJO (۱۰ روز قبل)	۱/۱۵	۰/۹۸	۱/۱۷	۱/۲۱	۱/۲۰	۱/۶۸	۰/۹۹	۰/۴۷	۰/۷۴
شماره فاز (۱۰ روز قبل)	۱	۵	۱	۱	۱	۶	۴	۸	۷



نمودار۵. نمودار مربوط به فراوانی وقوع فازهای نوسان مدن جولین به تفکیک فازهای مثبت و منفی (A) و شماره فاز از ۱ تا ۸ (B) ده روز قبل از وقوع آلودگی های بسیار شدید فرامحلی فصول گرم در تهران

نمودار دایره‌ای ۵ (A وB)نتایج را بر حسب درصد به نمایش می‌گذارند. علیرغم نزدیک بودن نتایج حاصل از مقایسه‌های مذکور می‌توان اینگونه مطرح کرد که رویداد نوسان های مَدِن جولیَن به صورت قوی و با فاز منفی (بخصوص قرارگیری در فاز اول) شرایط مساعدتری جهت وقوع آلودگی‌های فرامحلی در فصول گرم فراهم می‌نماید.

جهت تحلیل همدیدی نتایج حاصل، نقشه های ترکیبی (میانگین همادی پارامترهای مورد نظر) فشار سطح زمین ، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز۵۰۰ هکتوپاسکال و سمت و سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در دهمین روز قبل ازوقوع آلودگی هوا ترسیم و پس از بکارگیری روشهای آماری خصایص معنیدار الگو نشانگذاری شد(الگو مشابه شکل۶).

با توجه به شکل۶ به مقایسه ی مکان نقاط علامت زده شده به عنوان ماکزیمم ناهنجاریهای مرتبط با وقوع آلودگی هوای تهران، در الگوهای مورد بررسی و ماکزیمم بی هنجاری گردش‌های جوّی همراه شده با فعالیت فازهای مختلف نوسان مَدِن-جولیَن که توسط رنجبر سعادت آبادی و همکاران مورد بررسی قرار گرفت پرداخته می شود.. این مقایسه نشان داد که پراکندگی نقاط معنیدار بر پرفشار حاکم بر شمال شرق اطلس، بخش وسیعی از شرق اروپا، روسیه و شمال دریای خزر و همچنین

جدول۶ . میزان شاخص MJO برای سومین روز قبل از رخداد آلودگی بسیار شدید هوای تهران در فصول گرم و با منشا محلی در کل دوره آماری ۳۰ ساله

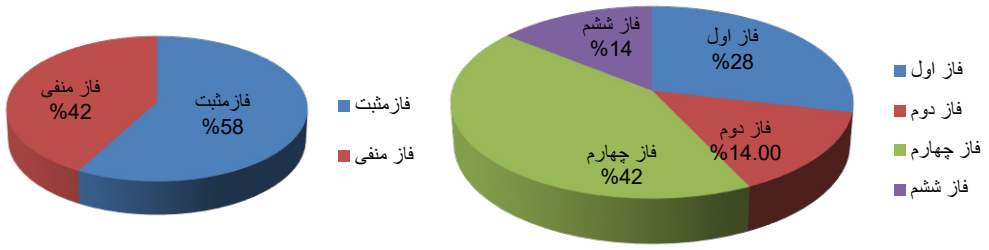
تاریخ وقوع بیشینه مقدارآلودگی	۱۱ می ۱۹۸۷	۲۹ آگوست ۱۹۸۸	۵ ژوئن ۱۹۸۸	۳ سپتامبر ۱۹۹۳	۱۱ سپتامبر ۱۹۹۵	۹ سپتامبر ۲۰۰۲	۱۳ آگوست ۲۰۰۳
شاخص MJO (۳ روز قبل)	۰/۴۳	۱/۳۳	۰/۴۷	۰/۳۷	۱/۵۵	۰/۴۲	۰/۲۳
فاز MJO (سه روز قبل)	۴	۱	۴	۲	۶	۱	۴

کاهش معنادار فشار بر نواحی شرقی اقیانوس اطلس بین عرضهای ۴۰ تا ۶۰ درجه ی شمالی در الگوی فشار سطح زمین و از سوی دیگر کاهش ارتفاع بر شمال اروپا و شرق اطلس تا حدود عرض ۴۵ درجه شمالی ، ناوه ی حاکم بر نواحی مرکزی اروپا، دریای سیاه ، شمال دریای مدیترانه و همچنین پشته ی ارتفاعی حاکم بر روسیه و گذر محور آن از ایران در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و در نهایت بی هنجاریهای میدان باد با جهت شرقی بر روی کشور ایران و افزایش سرعت بادهای غربی بر روی عربستان و عمان به عنوان خصایص موثر بر آلودگی های فرامحلی فصول گرم تهران با ناهنجاریهای به وقوع پیوسته در فاز اول نوسان های مَدِن-جولیَن، همخوانی خوبی به نمایش می‌گذارد و می‌توان اینگونه مطرح کرد که قرارگیری نوسان مَدِن-جولیَن در فاز منفی علی الخصوص فاز اول می‌تواند منجر به بروز تغییرات و ناهنجاریهایی در پارامترها و الگوهای جوّی شود که این تغییرات حاصل آمده می‌توانند به عنوان عاملی موثر بر وقوع آلودگی شدید هوای تهران در ده روز آینده نقش ایفا کنند. شاید بتوان عامل این ارتباط را در قرارگیری هسته ی همرفت MJO بر نواحی شرقی آفریقا و غرب اقیانوس هند در فاز اول دانست. شوبرت[30](۱۹۹۱) در تحقیقات خویش نشان داده است که به صورت کلی حرکت سلول همرفتی علاوه بر جهت شرق سوی خود همواره در جهت ورود به نیمکره‌ای است که در آن فصل تابستان قرار دارد از این رو در فصول گرم جابجایی اندک هسته ی همرفتی به سمت عرض‌های شمالی تر قابل انتظار خواهد بود و شاید بتوان گفت این هسته ی همرفتی با قرارگیری در فاز اول می تواند بیابانهای کشورهای همسایه ی غربی و جنوب غربی ایران (از جمله ربع الخالی عربستان) را تحت تاثیر قرار داده و با حرکات صعودی و فراسوی خود باعث صعود ذرات معلق و ریزآلاینده‌ها از مناطق مذکور گردد؛ و با مساعد بودن سرعت و جهت باد شرایط جهت انتقال و فرونشینی این آلاینده‌ها به سمت ایران و کلان شهر تهران فراهم خواهد شد. به نظر می رسد که این الگوها با تاثیر بیشینه ی فاز اول MJO گرایش به قرارگیریNAO در فاز منفی دارند. تحت تاثیر فعالیت سلول همرفتی MJO در فاز اول و قرارگیری NAO در فاز منفی فشار هوا بتدریج در منطقه کاهش یافته و با گسترش سامانه‌های کم فشار و فعالیتهای همرفتی بر فراز مناطق خشک کشورهای همسایه ی غربی ایران (عراق، سوریه، عربستان) شرایط جهت افزایش تعداد روزهای غبارآلود و آلودگی های با منشا فرامحلی فراهم گشته است .

ارتباط نوسانمَدِن-جولیَن با آلودگی های محلی فصول گرم تهران

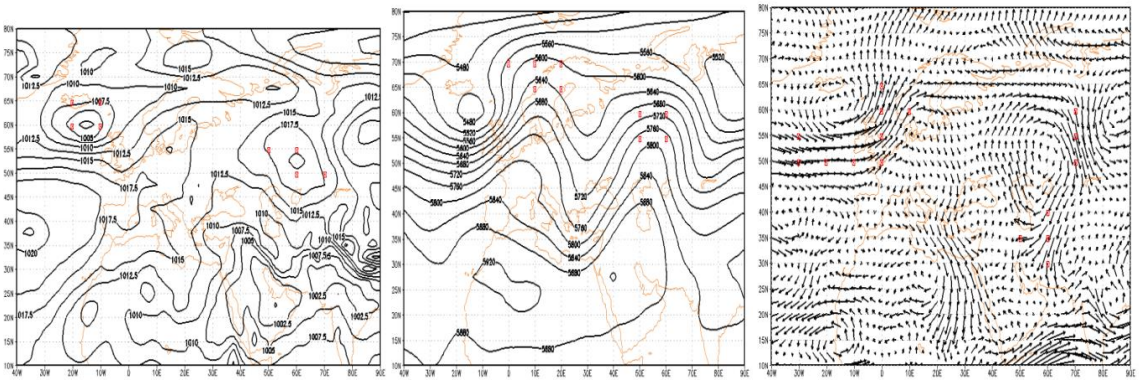
با توجه به اطلاعات جدول ۱ مقدار ضریب هم بستگی برای تاخیر زمانی ۳ روز ماقبل از وقوع آلودگی بسیار شدید با مقدار R= -0/427 بیشینه شد. بهره گیری از جداول آزمون معنیداری R نشان داد که این هم بستگی حداقل درسطح آماری ۹۹٪ معنادار می باشد. منفی بودن این ضریب بیانگر روند معکوس مابین دو پارامتر مورد بررسی است بدین معنا که با کوچک شدن مقدار عددیMJO (وقوع رخداد MJO به صورت

30 Schubert



A B

نمودار۶. نمودار مربوط به فراوانی وقوع فازهای نوسان مدن جولین به تفکیک فازهای مثبت و منفی (A) و شماره فاز از ۱ تا ۸ (B) سه روز قبل از وقوع آلودگی های بسیار شدید محلی فصول گرم در تهران



شکل۵.خروجی روشهای آماری برنقشه های ترکیبی فشار سطح زمین(A)، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال (B)و سمت سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال(C) سه روز قبل از وقوع آلودگیهای محلی فصول گرم

ضعیف) انتظار افزایش شاخص PSIوجود خواهد داشت. جدول۶موقعیت قرارگیری فاز و دامنه ی نوسان مَدِن-جولیَن را برای سومین روز ماقبل از وقوع آلودگی بسیار شدید محلی تهران در فصول گرم مشخص می‌نماید.

با محاسبه ی نسبت تعداد روزهای آلوده همزمان با فازهای مثبت و یا منفی MJO به تعداد کل روزهای وقوع آلودگی در این گروه دریافتیم که ٪۵۸ درصد از آلودگی‌های بسیار شدید تهران همزمان با فاز مثبت و ٪۴۲ همزمان با فاز منفی به وقوع می‌پیوندد. که البته شاهد نقش پررنگ تر فاز۴ (به عنوان فاز مثبت) می‌باشیم. نمودار دایره‌ای۶(AوB) نتایج را بر حسب درصد به نمایش می‌گذارد.

نتایج حاصل آمده از مقایسه‌ها بخوبی نشان داد که وقوع نوسان های مَدِن-جولیَن در فازهای مثبت و با دامنه‌های ضعیف شرایط مساعدتری را جهت تجمع آلاینده‌ها در شهر تهران فراهم می‌نماید.

جهت تحلیل همدیدی نتایج حاصل، نقشه های ترکیبی (میانگین همادی پارامترهای مورد نظر) فشار سطح زمین ، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز۵۰۰ هکتوپاسکال و سمت و سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در سومین روز قبل ازوقوع آلودگی هوا ترسیم و پس از بکارگیری روشهای آماری، خصایص معنیدار الگو نشانگذاری شد. شکل ۵ الگوهای حاصل را نمایش می دهد.پراکندگی این نقاط برکم فشار حاکم بر شمال شرق اطلس ، شمال بریتانیا و پرفشار حاکم بر جنوب روسیه، قزاقستان و شمال شرق دریای خزر در الگوی فشاری سطح زمین

جدول ۷. میزان شاخص MJO برای دهمین روز قبل از رخداد آلودگی بسیار شدید هوای تهران در فصول سرد و با منشاء محلی در کل دوره ی آماری ۳۰ ساله

تاریخ وقوع بیشینه مقدارآلودگی	۱۷ اکتبر ۱۹۸۵	۳۰ مارچ ۱۹۸۸	۱۳ اکتبر ۱۹۸۹	۲۱ نوامبر ۱۹۹۲	۲۹ ژانویه ۱۹۹۴	۱۱ دسامبر ۱۹۹۸	۲۹ اکتبر ۱۹۹۸	۵ نوامبر ۲۰۰۱	۶ نوامبر ۲۰۰۱	۱۷ دسامبر ۲۰۰۳
شاخص MJO (۱۰ روز قبل)	۰/۷۳	۳/۳۵	۰/۴۷	۱/۵	۰/۹۰	۱/۱۶	۱/۰۲	۱/۱۳	۱/۰۶	۱/۶۷
شماره فاز (۱۰ روز قبل)	۲	۳	۴	۴	۴	۶	۶	۸	۴	۳

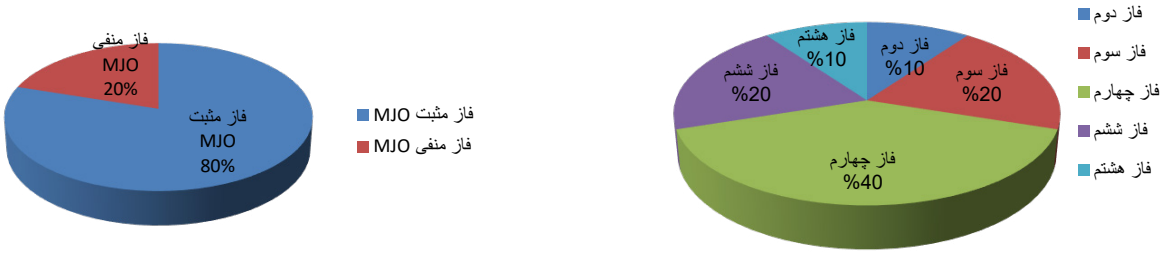
و همچنین افزایش شدید ارتفاع در شمال غرب اروپا ، غرب و جنوب غرب روسیه و ایران بر الگوی ارتفاعی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به عنوان خصایص مرتبط با آلودگی محلی فصول گرم تهران با بی هنجاریهای به وقوع پیوسته همزمان با فاز چهارم نوسان مدن جوّلین (حاصل از تحقیقات رنجبر سعادت آبادی در سال ۹۶) بیشترین هماهنگی و انطباق را به نمایش می گذارد. شاید بتوان علت این ارتباط را در قرارگیری هسته ی همرفت MJO در فاز مثبتبر نواحی شرقی اقیانوس هند مطرح کرد. زیرا که با قرارگیری هسته ی همرفتی در این محدوده همگرایی جریان ها در ورد سپهر زیرین و واگرایی آنها در ورد سپهر فوقانی باعث حرکات فراسو بر مناطق شرقی اقیانوس هند شده است اما از آنجاییکه در بیرون از منطقه ی همرفتی جریان های نزولی و فرونشینی حاکم است مسلماً بر روی ایران شاهد همگرایی جریان ها در ورد سپهر فوقانی و واگرایی آن‌ها در ورد سپهر زیرین خواهیم بود. مسلماً همین عامل به همراه حرکات نزولی رخ داده بر روی ایران شرایط مساعدی جهت فرونشینی آلاینده‌های محلی در فصول گرم بر تهران فراهم خواهد نمود.

ارتباط نوسانمَدِن-جولَین با آلودگی های محلی فصول سرد تهران

با توجه به اطلاعات جدول ۱مقدارضریب هم بستگی برای ۱۰ روز قبل با مقدار R= 0/499 بیشینه شد. بهره گیری از جداول آزمون معنیداری R نشان داد که این هم بستگی درسطح آماری ۹۵٪ معنیدار می باشد. مثبت بودن این ضریب بیانگر روند مستقیم مابین دو پارامتر مورد بررسی است بدین معنی که با بزرگ شدن مقدار عددیMJO (وقوع رخداد MJO به صورت قوی) انتظار افزایش شاخص PSIوجود خواهد داشت. جدول ۷ موقعیت قرارگیری فاز و دامنه ی نوسان مَدِن-جولیَن رابرای دهمین روز ماقبل از وقوع آلودگی بسیار شدید محلی تهران در فصول سرد مشخص می‌نماید.

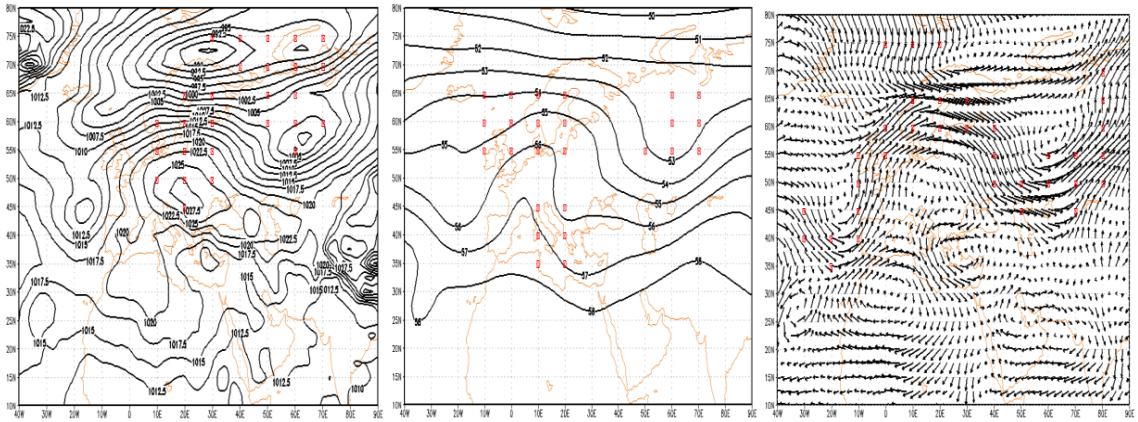
بر طبق آمار و اطلاعات آمده در جدول به صورت مجزا به محاسبه ی نسبت روزهای وقوع آلودگی، همزمان با فازهای مثبت و منفی MJO به کل روزهای آلوده با منشاء محلی در فصول سرد پرداخته شد. بر طبق نتایج حاصل شده مشخص شد ۸۰٪ درصد از روزهای آلوده در این گروه با فاز مثبتMJO (یعنی فازهای ۳ و ۴و ۵و ۶) و ۲۰٪ درصد از این روزها با فاز منفیMJO همراه بوده اند. بر اساس نتیجه حاصله مشخص شد قرارگیری MJO در فاز مثبت و با سهم بیشتر فاز چهارم مساعدترین شرایط را برای وقوع این دسته از آلودگی‌ها فراهم می‌نماید. نمودار‌دایره ای ۷(*A*و*B*)*نتایج* حاصل را بر حسب درصد نمایش می‌دهد.

نقشه های ترکیبی (میانگین همادی پارامترهای مورد نظر) فشار سطح زمین ، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز۵۰۰ هکتوپاسکال و سمت و سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال دردهمین روز قبل ازوقوع آلودگی هوا ترسیم و پس از بکارگیری روشهای آماری، خصایص معنیدار الگو نشانگذاری شد. شکل۶ الگوهای حاصل را نمایش می دهد.کم فشار مستقر بر مناطق شمالی و شمال غربی اروپا، جنوب روسیه و شمال قزاقستان و همچنین پرفشار مستقر بر اروپای



A B

نمودار۷. نمودار مربوط به فراوانی وقوع فازهای نوسان مدن جولین به تفکیک فازهای مثبت و منفی (A) و شماره فاز از ۱ تا ۸ (B) ده روز قبل از وقوع آلودگی های بسیار شدید محلی فصول سرد در تهران



شکل۶.خروجی روشهای آماری برنقشه های ترکیبی فشار سطح زمین(A)، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال (B)و سمت سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال(C) ده روز قبل از وقوع آلودگیهای محلی فصول سرد

مرکزی،شمال مدیترانه، دریای سیاه ، نواحی شمالی دریای خزر و مناطق غربی قزاقستان در الگوی فشاری سطح زمین و پشته ی ارتفاعی حاکم بر اروپای مرکزی و نیمه ی غربی مدیترانه و ناوه ی مستقر بر شمال اروپا و روسیه و زبانه کشی آن تا شمال قزاقستان و دریای خزر در الگوی ارتفاعی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به عنوان خصایص برجسته و موثر بر وقوع رخداد آلودگی هوای تهران با بی هنجاریهای مرتبط با فاز چهارمMJOهماهنگی و انطباق خوبی به نمایش می گذارد. قرارگیری هسته همرفت MJO در فاز مثبتبر نواحی شرقی اقیانوس هند و دور شدن بیشینه فعالیت های همرفتی از ایران، فرونشینی و حرکات نزولی را بر کشور ما تقویت کرده و شرایط مساعدی جهت تجمع آلاینده های محلی در منطقه مورد بررسی فراهم می نماید. یافته‌های حاصل با نتایج تحقیقات غضنفری (۱۳۸۸) تطابق خوبی به نمایش می‌گذارد.

جمع‌بندی

برای بررسی آثار دورپیوندی نوسانات NAO و MJO بر آلودگی هوای کلانشهر تهران، ابتدا روزهای بسیار ناسالم طی دوره آماری ۳۰ ساله تعیین شدند. سپس با توجه به رخدادپدیده در فصول مختلف سال و با منشاءهای متفاوت، طبقه بندی گردیدند. پس از آن با محاسبه ی بیشینه هم بستگی بین شاخص آلودگی هوا(PSI) و شاخص های روزانه ی نوسان های مذکور،

تاخیر زمانی تاثیر این نوسانات بر آلودگی هوای تهران محاسبه شد. نقشه های ترکیبی الگوهای پارامترهای هواشناختی برای تاخیر زمانی یافت شدهترسیم شدند؛ و با بهره گیری از روش های آماری (بوت استرپ و تبدیل موجک) ویژگی های موثر و معنیدارالگوهای گردشی جو دروقوع آلودگی هوا مشخص شدند. پس از آن ارتباط نوسان ها با بروز آن ناهنجاریهای مشترک تعیین گردید. با توجه به خروجی حاصل از روشهای آماری و قرارگرفتن نقاط مؤثر و معنیدار بروقوع آلودگی هوای تهران، بر روی اقیانوس اطلس شمالی و در مجاورت مراکز کم فشار دائمی آیسلند و پرفشار دائمی آزورز به همراه نتایج حاصل از تحلیل همبستگی آماری مشخص شد نوسا ن هایاقیانوس اطلس شمالی بر وقوع آلودگی هوای تهران تأثیر می گذارند. با توجه به یافته ها وتحلیل همدیدی الگوهای مورد بررسی مشخص کرد که تجمع آلاینده ها با منشا محلی در فصول سرد و گرم سال با فاز مثبت NAO وانحراف نصف النهاری جریان های گرم و مرطوب از عرض های جنب حاره ای اقیانوس اطلس به سوی شمال و شمال غرب اروپا ودر نتیجه ایجاد شرایطی سرد و خشک بر فراز ایران همراه بوده است. در مقابل آلودگی های با منشا ء فرامحلی سهمی یکسان از فازهای مثبت و منفی NAO داشته اند. البته در اکثر نمونه های مورد بررسی تغییر فاز از مثبت به منفی و افزایش سرعت باد در عرضهای پایین تر شرایط مساعدتری جهت برخاست آلاینده ها از مناطق بیابانی کشورهای همسایه و فرونشست آن بر کشور ما فراهم کرده است.براساس تحلیل های دینامیکی خروجی حاصل از روشهای آماری و تعیین خصایص معنیدار الگوها نوع جهت گیری محور کم فشار آیسلند و پرفشار آزورز در اقیانوس اطلس ، محور ناوه ها و پشته های ارتفاعی ، تغییر سرعت باد در سطوح پایین جوّ بر کیفیت هوای منطقه ی مورد مطالعه تاثیرگذار بوده زیرا که وضعیتهای مختلف یا مانند سدی در مقابل نفوذ جریان های غربی به سمت شرق عمل می کنند و یا مسیر را برای عبور جریان ها هموار می نمایند. یافته‌های حاصل از بخش نهایی مطالعات نشان داد شباهت بسیار مابین پراکندگی نقاط معنیدار الگوهای حاصل (به عنوان ناهنجاریهای موثر بر وقوع رخداد آلودگی هوای تهران) با ماکزیمم بی هنجاریهای به وقوع پیوسته در فازهای مختلف نوسان مَدِن-جولیَندر مطالعات رنجبر سعادت آبادی و همکاران (۱۳۹۶) وجود دارد. این مطلب تایید کنندهٔ ارتباط فازهای مختلف نوسان MJO با تغییرات غلظت آلایندها در تهران است. بر طبق نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده آلودگی‌های با منشاء محلی در فصول گرم و سرد سال با فاز مثبت MJO علی الخصوص فاز چهارم ارتباط نزدیکی دارند. به نظر می رسد با عزیمت سلول همرفتی و حرکات فراسو به سوی شرق اقیانوس هند، شرایط جهت نزول و تجمع آلاینده های محلی در شهر تهران فراهم می گردد . از سوی دیگر فرونشست آلاینده ها با منشاء فرامحلی غالبا با فاز منفیMJO علی الخصوص فاز اول همراه شد که گویی با قرارگیری سلول همرفتی و حرکات فراسو در نزدیکترین فاصله نسبت به مناطق بیابانی کشورهای همسایه ی غربی و جنوبغربی ایران، شرایط جهت برخاست آلاینده ها از این مناطق فراهم می گردید.در این وضعیت گردشهای جوّی بر روی تهران و اطراف آن هم برای وقوع این فرونشینی مساعد هستند.

مراجع

۱. ایران‌پناه، ن. و م. مختاری‌مقدم. ۱۳۹۱. روش بوت استرپ برای تعیین حدود کنترل میانگین فرایند آماری. نشریه‌ی علوم دانشگاه تربیت معلم. دانشگاه اصفهان. دوره‌ی ۱۰، شماره ۱.

۲. بوم سازگان، مهندسین مشاور. ۱۳۸۴. طرح راهبردی هدایت و کنترل تحولات کاربردی تهران، وزارت مسکن و شهرسازی-شهرداری تهران.

۳. حافظی، م.، م. رضایی منش، ع. محب الحجه، ع.ع. علی اکبری بیدختی و م. ع. نصراصفهانی.۱۳۹۴. کاربست شاخصهای دو شاخه شدگی جت و شکست موج راسبی برای بررسی دوره یآلودگی حاد تهران در آذر ماه ۱۳۸۹. مجله ژئوفیزیک ایران. جلد۹، شماره ۱. ۱۴۹-۱۳۴.

۴. دوستان، ر. ۱۳۹۷. دور پیوند جهانی و دور پیوندهای منطقه‌ای ایران. مجله‌ی فیزیک زمین و فضا. دوره‌ی ۴۴، شماره‌ی ۳. ۶۴۰-۶۲۵.

۵. رحیم‌زاده، ف. ۱۳۹۰. روش‌های آماری در مطالعات هواشناسی و اقلیم شناسی. تهران: انتشارات سید باقر حسینی. چاپ اول.

۶. رنجبر سعادت آبادی، ع. و ز. قصابی. ۱۳۹۰. مطالعه‌ی همدیدی الگوهای جوّی حاکم بر روی تهران در روزهای با آلودگی بسیار شدید هوا. نشریه‌ی پژوهش‌های اقلیم شناسی. جلد ۲، شماره‌ی ۵ و ۶

۷. رنجبر سعادت‌آبادی،ع. و م. سوری. ۱۳۹۶. مطالعه‌ی بی‌هنجاریهای

گردش جوّی همراه شده با فعالیت نوسان مَدِن-جولیَن و بارش زمستانه‌ی ایران. مجله‌ی ژئوفیزیک ایران. دوره‌ی ۱۱، شماره‌ی ۱. ۶۵-۴۹.

۸. سیدان قلعه جوّزدانی، م. ۱۳۸۹. مطالعه‌ی اثرات NAO و ENSO و پرفشار سیبری بر بی‌هنجاریها دما و بارش ایران در زمستان ۱۳۸۶. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد علوم تحقیقات تهران.

۹. طبیبیان، م. ۱۳۸۸. کاربرد برخی روش‌های بوت استرپ در رگرسیون خطی. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.

۱۰. غضنفری لاکه، ا. ۱۳۸۸. شبیه‌سازی MJO و مطالعه‌ی تاثیر احتمالی آن برروی بارندگی‌های ایران در زمستان ۸۶ با استفاده از مدل عددی MM5. هشتمین همایش پیش بینی عددی وضع هوا. پژوهشکده‌ی هواشناسی.

۱۱. قیطولی، ا. ۱۳۸۹. روش‌های بوت استرپ در مدل‌های رگرسیون چندسطحی. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس تهران.

۱۲. فرزاد بهتاش، م.، س. مرادی و ص. نگین تاجی. ۱۳۹۲. بررسی ابعاد تاثیر گذار فرم شهر بر کیفیت هوای تهران. انتشارات مرکز مطالعه و برنامه ریزی شهر تهران، گزارش شماره۲۱۲.

۱۳. مرادی، ح.ر. ۱۳۸۳. شاخص نوسانات اطلس شمالی و تاثیر آن بر اقلیم ایران. پژوهش‌های جغرافیایی. ۴۸. ۳۰-۱۷.

۱۴. مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهری http://www.rpc.tehran.ir

۱۵. مومن زاده، ا.، ف. احمدی گیوی و س. ثابت قدم. ۱۳۹۸. بررسی اثرهای نوسان اطلس شمالی بر شرایط هواشناختی کیفیت هوای شهر تهران در دوره ی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷. مجله ی ژئوفیزیک ایران. جلد۱۳، شماره ۲ . ۷۲-۵۱.

۱۶. نصر اصفهانی، م.، ع. محب‌الحجهو ف. احمدی گیوی. ۱۳۸۸. اثر نوسان اطلس شمالی بر برخی کمیته‌های هواشناسی ورد سپهر در خاورمیانه و جنوب غربی آسیا. موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران. ۶۴-۵۱.

1. Addison, P. 2002. The illustrated wavelet transform handbook: introductory theory and applications in science, engineering medicine and finance. Taylor and Francis. Edinburgh UK.
2. Baijun, T. and [et al]. 2008. Does the Madden-Julian oscillation influence aerosol variability?. Journal of Geophysical Research. Vol 133, Issue D12.
3. Bejgier, S. M. 1992. The use of Bootstrapping to construct limits on control charts. Proceedings of the decision science institute. 1611-1613.
4. Bond, N. A. and G. Vecchi. 2003. The influence of the Madden-Julian oscillation on precipitation in Oregon and Washington. Weather and forecasting. Vol 18.600-613.
5. Eshel, G., M. Cane, B. Faarell.2000. Forecasting eastern Mediterranean droughts. Month. Weath. Rev. Vol 128, 11. 3618-3630.
6. Eckhardt, S. and [et al]. 2003. The north Atlantic oscillation controls air pollution transport to the Arctic. Atoms Chem Phys. Vol 3. 1769-1778.
7. Efron, B. and G. Gong. 1983. A leisurely at the Bootstrap, Jackknife and cross validation. J. American Statistician. Vol 37, No 1. 36-48.
8. Efron, B. and R. J. Tibshirani. 1993. An introduction to the Bootstrap. Chapman and Hall Press. New York United States.
9. Franklin, L. A. and G. S. Wasserman. 1992. Bootstrap lower confidence limits for capability indices. Journal of quality technology. Vol 24. 196-210.
10. Fotros, Sh., A.H. Meshkatee, G. A. Kamali andA. Sedaghatkerdar.2018. Exploring the most influential part of atmospheric circulation in the formation of severe air pollution episodes in the greater Tehran. Arabian journal of geosciences.vol11, issue22, 1-18.
11. Hurrell, J. W. and [et al]. 2003. An overview of the north Atlantic Oscillation. Visbeck (Eds). 1-36.
12. Jones, C. 2000. Occurrence of extreme precipitation events in California and relationships with the Madden-Julian oscillation. J. Climate. 13. 3576-3587.
13. Liu, R. Y. and J. Tang. 1996. Control charts for dependent and independent measurements based on bootstrap methods. Journal of American Statistical Association. 91. 1694-1700.
14. Leger, C., D. Politis and J. Romano.1992. Bootstrap technology and application. Technometrics. 34. 378-389.
15. Leefugal, D. 2009. Conceptual Wavelets in digital signal processing. Space and signals technical pub. California.
16. Madden, R. A. and P. R. Julian. 1971. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical pacific. J. Atomos. Sci. 28. 702-708.
17. Maeda, K., A. Sano and H. Takaie. 2001. Wavelet transform and its application. Tokyo. Asakura publishing Co.
18. Om, H., M. Biswas. 2012. An improved image denoising method based on Wavelet thresholding. JSIP. Vol 3. 109-116.
19. Sean, J. F. and S. B. Bradford. 2011. Projecting the Madden-Julian oscillation to air quality in Santiago. Chile. Oceanography department. United State Nora academy Annapolis, MD.
20. Seppala, T., H. Moskowitz, R. Plante and J. Tang. 1995. Statistical process control via the subgroup bootstrap, Journal of quality technology, 27, 139-153.
21. Singh, A. and A. Palazoglu. 2011. A statistical framework to identify the influence of large-scale weather events on regional air pollution. Journal of meteorology and climatology. 2376-2393.
22. Stankovic, L. J. 1994. A method for time-frequency signal analysis IEEE trans. Signal Processing. Vol 42. 225-229.
23. Stollnitz, E. J., T. D. Deroseand D. H. Salesin. 1994. Wavelet for computer graphics. http://www.csi.udel/edu/
24. Wu, CFJ. 1986. Jackknife, Bootstrap and other resampling method in regression analysis. Ann Stat. 14. 1261-1295.

The effect of NAO and MJO on Tehran metropolitan air pollution

Shima Fotros[1], Amir-Hussain Meshkatee[1,*], Gholamali Kamali[1], Abdollah Sedaghatkerdar[2]

[1] Department of Earth Sciences, Faculty of Basic Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Shohadayeh Hesarak Blvd., Simon Bulivar Blvd., Tehran, Iran.

[2] Atmospheric Science and Meteorological Research Centre,Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: ameshkatee@yahoo.com

Received: 30 January 2019, accepted: 4 April 2019

ABSTRACT

The effects of the North Atlantic Oscillation (NAO) and Madden-Julian oscillation (MJO) on air pollution in Tehran during the period of 1984-2013 were studied. To investigate the relationship, first correlation between those oscillations and Tehran air pollution index was examined at different time lags. Second, bootstrap and wavelet transform methods were used to identify the most influential features of atmospheric circulation, meteorological fields, and their anomalies in the formation of polluted episodes in Tehran. Then, the relationships between those anomalies with different phases of NAO and MJO oscillations were examined. According to our findings air pollution from local sources during cold and warm seasons were well correlated with positive phases of NAO and MJO (especially the fourth phase of the oscillation). While contribution from both positive and negative phases of NAO oscillation in the formation of air pollution episodes from non-local sources in Tehran were the same. However, in most of the studied episodes, the most favorable condition was formed during the positive to negative phase transition. The negative phases of MJO, also, provided favorable conditions for the formation of air pollution episodes from non-local sources in Tehran, especially during its first phase, when the convective cell was located at the closest distance to the desert areas of the western and southwestern neighboring countries of Iran.

Keywords: *TEXT*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Fotros Sh.; Meshkati A.H.; Kamali Gh.A.; Sedaghatkerdar A. (2019). The effect of NAO and MJO on Tehran metropolitan air pollution. J. Meteorol. Atmos. Sci., 2(2): 93-113.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).