

جغرافیا و توسعه شماره ۲۹ زمستان ۱۳۹۱

وصول مقاله : ۱۳۹۰/۶/۳۰

تأیید نهایی : ۱۳۹۱/۴/۲۷

صفحات : ۱-۱۴

ارتباط الگوهای گردش جو با تغییرات اُزون کلی در اصفهان

دکتر عباسعلی آروین (اسپانی)^۱

چکیده

لایه اُزون به عنوان سپر حفاظتی حیات بر روی کره زمین، دارای تغییرات زیادی از نظر حجم و مقدار است. در این پژوهش اثر عوامل اقلیمی بر تغییرات اُزون کلی در ایستگاه اصفهان مورد مطالعه قرار گرفت و نشان داده شد، بخشی از نوسانات روزانه اُزون مربوط به الگوهای گردش جو در سطوح فوقانی و میانی جو است. به این ترتیب شرایط فراز (پشته) / فرود (تراف) در سطح ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی باری و واچرخند/چرخند در سطح ۵۰۰ میلی باری موجب کاهش/افزایش قابل توجه در مقدار اُزون کلی در فصل سرد سال که پوشش جو فعال است، می گردد و زمانی که محور تراف/فراز بر روی اصفهان قرار دارد، میزان اُزون به حداکثر/حداقل میزان خود می رسد. مقادیر مُد داده‌ها (۲۷۴ دابسون) که عمدتاً در فصل گرم سال اتفاق می افتد با پُر ارتفاع عمیق در تراز ۱۰۰ میلی باری همراه است. در سطح ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی باری در زمان وقوع مُد داده‌ها، خطوط هم ارتفاع آرایش مداری دارند که اندکی به سمت فراز میل می کند. به این ترتیب فعالیت پوششی جو در فصل سرد، تغییر و نوسان زیاد اُزون کلی را با باعث می گردد و پایداری جو در فصل گرم سال، تثبیت مقدار اُزون کلی را در پی دارد. از نظر آماری بین نقشه‌های هم مقدار میانگین روزانه اُزون کلی و نقشه‌های میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل همبستگی معکوس معناداری در سطح اطمینان ۰/۰۱ درصد در هر سه سطح ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی باری وجود دارد که در سطوح ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی باری قوی تر است. بر اساس تحلیل رگرسیون خطی به ترتیب ۰/۸۹، ۰/۸۰/۵ و ۰/۷۸/۴ درصد تغییرات مقدار اُزون در رخدادها، مقادیر حداکثر و حداقل توسط تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تبیین می گردد. انطباق نقشه‌های هم مقدار اُزون کلی با نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل نیز نشان داد، خطوط هم مقدار اُزون در منطقه وقوع کم فشار پوششی بر روی اصفهان متراکم و دارای مقادیر حداکثر است. کلیدواژه‌ها: اصفهان، اُزون کلی، الگوهای گردش جو، استراتوسفر، رگرسیون خطی چندمتغیره.

مقدمه

گاز اُزون در دو لایه تروپوسفر و استراتوسفر به دو طریق متفاوت زندگی انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اُزون موجود در لایه تروپوسفر که اُزون سطحی نام گرفته است، فوق‌العاده سمی و کشنده می‌باشد و اثرات مخربی بر ریه انسان و نیز نسوج گیاهی وارد می‌کند. اُزون سطحی در ایستگاههای آلوده سنجی شهرهای بزرگ به عنوان یکی از هفت گاز آلاینده اندازه‌گیری می‌شود. برخلاف اُزون سطحی، وجود اُزون در لایه استراتوسفر که به لایه اُزون مشهور است برای حیات انسان و سایر موجودات فوق‌العاده ضروری می‌باشد. اُزون موجود در لایه‌ی استراتوسفر در ایستگاههای هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود. از سال ۱۳۷۳ در محل ایستگاه سینوپتیک اصفهان ابزار اُزون‌سنجی نصب و توسط آنها مقدار اُزون به دو صورت کلی و عمودی (پروفیل اُزون) اندازه‌گیری می‌شود. بررسی‌ها نشان داده مقدار گاز اُزون به عنوان لایه محافظ زمین از پرتوهای مرگبار خورشیدی دارای تغییرات زیادی است. تغییر در میزان اُزون استراتوسفری تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله تغییر در تشعشع خورشیدی، انفجار آتشفشان‌ها، وجود غبارهای کیهانی، شهاب سنگ‌ها و غیره بوده که به عنوان عوامل طبیعی مؤثر در مقدار اُزون جو مطرح می‌باشند. در طولانی‌مدت کاهش و افزایش حجم اُزون بر اثر عوامل طبیعی به ثبات آن انجامیده و موجب گردیده مقدار اُزون موجود در استراتوسفر همواره ثابت باقی بماند (اسپانی، ۱۳۸۳: ۱۱۲). مقدار اُزون موجود در استراتوسفر و بخصوص استراتوسفر پایینی تحت تأثیر فعالیت‌های جوی دارای نوسانات (کاهش/افزایش) قابل توجهی است. کاهش یا افزایش مقدار اُزون در استراتوسفر پایینی با فعالیت‌های جو در زیر تروپوپاوز پیوند می‌خورد و مطالعات بسیاری نیز بر این نکته اشاره دارند. با عنایت به تأثیرپذیری اُزون در استراتوسفر پایینی و تروپوسفر

بالایی از عوامل اقلیم‌شناختی، اثر گردش‌های جوی در سطوح میانی و فوقانی جو بر تغییرات مقدار اُزون در زیر تروپوپاوز مورد بررسی قرار گرفت و ارتباط بین الگوی گردش هوا با تغییرات میزان اُزون کلی در اصفهان مطالعه شده است.

پیشینه تحقیق

در ارتباط با موضوع مطالعه دو دسته تحقیقات وجود دارد؛ دسته اول آنهایی هستند که اثر شرایط همدید را در پدیده‌های مختلف مطالعه می‌کنند که با توجه به اهمیت موضوع تا حد قابل توجهی محققین کشورمان بدان پرداخته‌اند. علیجانی (۱۳۸۵) در کتاب اقلیم‌شناسی سینوپتیک و مسعودیان (۱۳۸۵) در کتاب اقلیم‌شناسی همدید و کاربرد آن در مطالعات محیطی، به میانی نظری، مفاهیم و روش‌ها در مطالعات همدید پرداخته‌اند. مسعودیان (۱۳۸۳: ۳۳) در مقاله‌ی خود نشان داد الگوهای گردشی ایران از سیزده مؤلفه‌ی مبنا ترکیب یافته و در مجموع نه الگوی گردشی در محدوده‌ی یاد شده حاکم است. الگوی پُراتفاع و فراز فراوان‌ترین الگوهای حاکم در بخش بزرگی از ایران است. جهان‌بخش و دیگران (۱۳۷۸: ۱۰۷) رژیم سینوپتیکی بارندگی در سواحل جنوبی خزر و تأثیر پرفشار سیبری در الگوی بارش منطقه را در پرباران‌ترین فصل سال (پاییز) و روند کاهش میزان بارش از غرب به شرق ناحیه را مطالعه کرده‌اند. نصیری و دیگران (۱۳۷۸: ۱۷۷) علل اختلاف بارش در دو حوضه‌ی کرخه و دز را سیستم‌های باران‌زایی تشخیص دادند که بارش این مناطق را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مسعودیان و دیگران (۱۳۸۷: ۳) علت ایجاد سرمای وزشی در نیمه‌ی غربی ایران را وجود فرود عمیق می‌دانند که حامل هوای سرد از عرض‌های بالا به منطقه بوده است. این فرود موجب افت شدید دما در بیشتر نقاط ایران و از جمله سنندج گردیده است.

آزون استراتوسفری به صحت مدل‌های انتقال تشعشع از اتمسفر و محاسبه مناسب فاکتور توده‌ی هوا (AMFs) وابسته است. جوهانس استهیلن و دیگران^۴ (2002:468) بیان می‌کنند آزون استراتوسفری در نواحی قطبی و بخصوص نواحی جنب قطبی قویاً کاهش می‌یابد که ناشی از فرایندهای غیرمعمول رادیکال هولوزن فعال منبعث از فعالیت بشر در جو است. پیک کاهش آزون در نواحی عرض‌های متوسط در بهار و زمستان اتفاق می‌افتد.

تی‌نارایانا رو^۵ و دیگران (2004: 754) تغییر در ارتفاع تروپوپاوز را عمدتاً به عبور سیستم‌های جوی تروپوسفر نسبت می‌دهند که به تغییرپذیری بالای ماهانه‌ی آزون در نزدیکی تروپوپاوز منجر می‌گردد. در استراتوسفر پایینی تغییرپذیری فصلی حداکثر زمستانه و بهاره را نشان می‌دهد که نتیجه‌ای از تغییر در امواج ناشی از گردش استراتوسفری در زمستان است. ایی ززانو و دیگران^۶ (2005: 1375) با استفاده از مدل درون‌داد (Forcing) ثابت کردند کاهش آزون و سردی دما در استراتوسفر بالایی موجب افزایش فراوانی گازهای گلخانه‌ای و کاهش مداوم آزون در استراتوسفر می‌گردد. همچنین ایی ززانو و دیگران^۷ (2006:2203) برای مطالعه‌ی پاسخ تغییرات آزون به سیکل چرخش ۲۸ روزه خورشیدی، مدل شیمی- اقلیم SOCOL را که فرایند فیزیکی- شیمیایی در اتمسفر از سطح زمین تا مزوپاوز را ارائه می‌دهد، استفاده کردند. اِکسون‌وانگ و دیگران^۸ (2006:261) بیان می‌دارند اجزای مایع و جامد در ابرهای استراتوسفری قطبی (PSCs)، نقش مهمی در نابودی شیمیایی آزون استراتوسفری در بالای نواحی قطبی و جنب قطب در زمستان و اوایل بهار ایفا می‌کنند.

عطایی (19:1317) مقادیر سیزده مؤلفه‌ی مبنا در ۱۸۲۷ روز و هفت الگوی گردشی در سال‌های پربارش ایران را شناسایی کرده است.

دسته‌ی دوم تحقیقاتی هستند که ارتباط عوامل جوی و بخصوص مطالعات همدید را در ارتباط با تغییرات آزون بررسی کرده‌اند. برای مثال محامد (۱۳۷۷) در کتاب لایه‌ی آزون سپر حفاظتی حیات تغییرات لایه‌ی آزون و عوامل تهدیدکننده‌ی آن را بررسی کرده است. اسپنانی (1383: 125-108) در مقاله‌ی آزون و نقش آن در حیات کره‌ی زمین تغییرات آزون استراتوسفری و تروپوسفری را بررسی کرده است. عزتیان و باقری (1389: 122) داده‌های آزون کلی ایستگاه اصفهان را با استفاده از داده‌های سنجنده نقشه‌سازی اسپکترومتری آزون کلی (TOMS) را کنترل و مدل هذلولی را برای جایگزینی داده‌ها در روزهای فاقد آمار با استفاده از داده‌های این سنجنده پیشنهاد داده‌اند. همچنین عزتیان و دیگران (1389: 42) با استفاده از روش‌های آماری نوسانات آزون تروپوسفری را تحلیل کرده و نشان دادند افزایش دما و رطوبت بیشترین سهم را در تشکیل آزون تروپوسفری (سطح زمین) دارند. ام. مارتین و دیگران^۱ (1999:665) مشاهده کردند یک کاهش با میانگین ۱۰٪ در زمان وقوع سه سیکل خورشیدی اخیر وجود دارد و ارتباط معناداری بین لکه‌های خورشیدی و تغییرات آزون وجود دارد. وی. سی. رولدجین^۲ (2000:68) نشان داد عبور یک موج بلند (فراز یا پشته) موجب همگرایی هوای فقیر از آزون در زیر تروپوپاوز و واگرایی هوای غنی از آزون در بالای تروپوپاوز می‌شود و موجب کاهش آزون می‌گردد. در حالی که عبور تراف (فرود) فرایند مخالف را باعث می‌شود و افزایش آزون را به‌همراه دارد. مت‌آر بسفورد^۳ و دیگران (2001:657) نشان دادند برآورد مقدار درست

4-Johannes Stachelin at all

5-T. Narayana Rao at all

6-E. Rozanov at all

7-E. Rozanov at all

8-Xihong Wang at all

1-Ny-Alesund

2-V.C.Roldugin

3-Matthew R. Bassford at all

و ۱۲/۱ درجه شمالی پیوند می‌خورد و روند تغییر آن برای دوره‌ی آماری اخیر به صورت سهمی است. ام آنتون و دیگران^۶ (2010:2) تغییرپذیری روزانه‌ی آزون کلی در بالای مادرید اسپانیا را مطالعه کرده و به این نکته پرداختند که در حدود ۹۰٪ روزها تغییرپذیری غیر قابل چشم‌پوشی آزون دارای یک روند فصلی است. سوفی گودین‌بیکن^۷ (2010: 342) انواع ماهواره‌هایی هایی که برای اندازه‌گیری لایه‌ی آزون و ویژگی‌های شیمیایی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد را بررسی و انواع وسایل اندازه‌گیری آزون کلی را توضیح می‌دهد. در این مقاله نیز تغییرات روزانه‌ی آزون کلی در ایستگاه اصفهان در ارتباط با الگوهای گردش هوا با بهره‌گیری از تحلیل نقشه‌های سطوح ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌باری و روش‌های آماری مطالعه شده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از روش محیطی به گردشی و به شیوه‌ی دستی و بصری برای تحلیل الگوهای سینوپتیک استفاده شده است. برای این منظور ابتدا متوسط روزانه‌ی آزون کلی مربوط به داده‌های آزون استراتوسفری از مرکز داده‌های سازمان هواشناسی استان اخذ گردید. ایستگاه آزون‌سنجی اصفهان در مختصات ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی در ارتفاع ۱۵۵۰ متری از سطح دریا قرار دارد. طول دوره‌ی آماری از ۲۰۰۴/۱۰/۱ تا ۲۰۱۰/۲/۲۷ است. از مجموع ۱۹۵۷ روز، ۱۷۴ روز آمار مفقود بود و بنابراین از ۱۸۰۱ روز داده‌های روزانه‌ی آزون کلی در تحلیل استفاده شد (جدول شماره ۱).

جی‌لسلیردی‌بلوو و دیگران^۱ (2007:6510) نشان دادند در زمان وقوع توفان‌های حاره‌ای، گردش آژئوستروفیک مرتبط با منطقه واگرایی القاء شده توسط حرکات عمودی و اثر برش باد عمودی در مدل‌های سیکلونی هاریکن ایدال، در فرایند انتقال به سمت پایین آزون استراتوسفری کمک می‌کند.

ان‌سمن و دیگران^۲ (۲۰۰۷: ۱۷۱) معتقدند رطوبت نسبی پایین و ارتفاع پایین تروپوپاوز، نابهنجاری‌هایی در مقدار آزون ایجاد می‌کند که با انتقال به سمت پایین (کاهش ارتفاع) از استراتوسفر ترکیب می‌گردد.

حسن‌زاده و دیگران^۳ (۲۰۰۸: ۲۳۲۵) با بهره‌گیری از از روش‌های رگرسیون خطی چندگانه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، مقادیر آزون و متغیرهای هواشناسی را در دوره‌ی آماری ۲۰۰۴-۱۹۹۹ در ایستگاه اصفهان مطالعه کردند. در همه‌ی دوره‌ها آزون با ضریب همبستگی بالایی با درجه حرارت پیوند می‌خورد اما با رطوبت نسبی دارای رابطه‌ی منفی است. همچنین تأثیر هریک از متغیرهای هواشناسی را بر مقدار آزون ارزیابی کردند. پیوتر وی نوودوسکی و دیگران^۴ (2009:54) بیان می‌دارند آژوسل‌های استراتوسفری در ارتفاعات بالای ۳۰ کیلومتری نقش مهمی در شرایط گرمایی و ضخامت لایه‌ی آزون دارد.

چاندر ماداب‌پال^۵ (2010: 1927) آمار تمرکز آزون کلی در ۱۹ ایستگاه شبه‌قاره‌ی هند و پیوندهای منطقه‌ای آن را مطالعه کردند. به‌طور کلی یک تمایل به کاهش در مقدار آزون دیده می‌شود. نرخ متوسط سالانه کاهش TOC در بالای منطقه‌ی هند ۰/۳۶۳ دابسون در دوره‌ی آماری مذکور بوده است. روندهای کاهش TOC قویاً با عرض جغرافیایی برای عرض ۱۴/۷

1-J. Leclair De Bellevue at all

2-N. Semane at all

3-S. Hassanzadeh at all

4-Piotr V. Nevodovskiy at all

5-Chandramadhab Pal

6-M. Antón at all

7-Sophie Godin-Beekmann

جدول ۱: تعداد روزهایی که در هر سال آمار آن برای تحلیل نقشه انتخاب گردید

سال	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	مجموع
تعداد روز	۷۵	۳۵۴	۳۴۹	۳۵۳	۳۴۹	۲۸۱	۴۰	۱۸۰۱

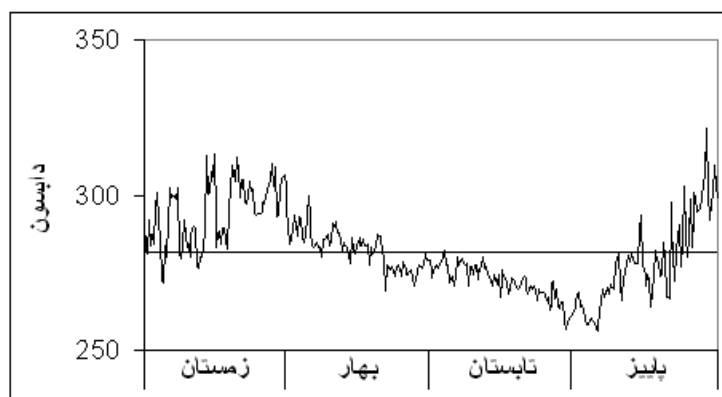
مأخذ: نگارنده

قادرند در آن واحد بسیاری از اطلاعات نقشه‌های دما، باد و آرایش الگوهای فشار را در اختیار مفسر بگذارند بسیار مناسب هستند (قویدل/رحیمی، ۱۳۸۹: ۱۱۶). سطوح ۱۰۰، ۳۰۰ میلی‌باری جهت آگاهی بر وجود فرود یا فراز و سطح ۵۰۰ میلی‌باری نیز برای ردیابی وجود هسته‌های کم ارتفاع (کم فشار) یا بلند (پرفشار) به منظور تبیین تغییرات اُزون متأثر از ناپایداری و یا پایداری جو انتخاب شدند. همچنین از روش‌های همبستگی برای تحلیل روابط بین نقشه‌ی مقادیر اُزون کلی و نقشه‌ی الگوهای همدید بهره‌گیری شده است. برای این منظور داده‌های مقدار متوسط روزانه‌ی اُزون کلی برای فواصل 10×10 درجه برای مختصات صفر تا 80 درجه شرقی و ده تا 70 درجه شمالی از پایگاه نقشه‌سازی اسپکترومتري اُزون کلی NASA/GSFC برای روزهایی که مقدار اُزون در ایستگاه اصفهان حداکثر، حداقل و یا بیشترین تکرار را داشت (مد داده‌ها) استخراج و نقشه‌های هم‌مقدار اُزون برای روزهای مزبور ترسیم گردید. سپس با استفاده از روش همبستگی روابط بین مقادیر روزانه‌ی اُزون کلی و ارتفاع ژئوپتانسیل مورد تحلیل قرار گرفت.

سری زمانی تغییرات اُزون

بررسی سری زمانی تغییرات اُزون نشان‌دهنده‌ی تأثیرپذیری شدید تغییرات آن از فعالیت جوی است. به این ترتیب که در فصل زمستان متأثر از فعالیت جوی دارای تغییرات زیاد، در فصل بهار متأثر از افزایش سیاره‌ای دارای مقادیر زیاد، در فصل تابستان به علت پایداری جو دارای تغییرات ناچیز و در فصل پاییز متأثر از کاهش سیاره‌ای اُزون دارای مقادیر حداقل است که با نزدیک شدن به فصل زمستان مقدار آن افزایش می‌یابد (شکل ۱).

در ابتدا روزهایی که مقدار اُزون کلی حداکثر/حداقل بود از طریق جدول توصیفی داده‌ها استخراج شد. بر این اساس میانگین اُزون 284 دابسون، حداقل مقدار ثبت شده 222 و حداکثر آن 393 دابسون است. رقم 274 دابسون (مد) بیشترین فراوانی تکرار را دارد. چارک اول داده‌ها 271 و چارک سوم 293 دابسون است و تمام روزهای چارک اول و سوم در دوره‌ی سرد سال از آذر تا اردیبهشت اتفاق افتاده‌اند. با توجه به اینکه تعداد روزهایی که چنین ویژگی را داشتند زیاد بود، روزهایی که مقدار اُزون زیر 250 بالای 310 دابسون بود به عنوان روزهای حداقل/حداکثر اُزون قلمداد شد. در نهایت 21 روز مربوط به مقادیر حداقل و 21 روز مربوط به مقادیر حداکثر اُزون انتخاب گردید. همچنین روزهایی که مقدار اُزون حول میانگین (284 دابسون) و بالاترین فراوانی تکرار (274 دابسون) بود، جهت استخراج الگوی گردش جوی حاکم بر تغییرات اُزون سعی شد روزهایی انتخاب گردد که مقادیر (حداقل، حداکثر، میانگین یا مد) اُزون به صورت چند روز متوالی باشد و بتوان به الگویی که شرایط مزبور را تثبیت می‌کند، دست یافت. پس از مشخص شدن روزهای مربوط به آماره‌های تعیین شده، نقشه‌ها متوسط روزانه‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل سطوح 100 ، 300 و 500 میلی‌باری برای مختصات صفر تا 80 درجه شرقی و ده تا 70 درجه شمالی از پایگاه داده‌های اقلیمی NCEP/NCAR استخراج گردید. به علت اینکه می‌خواستیم تغییرات اُزون کلی (لایه‌ی اُزون) را در سطوح فوقانی تریوسفر (زیر تروپوپاوز) بررسی کنیم از نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل استفاده شد. این نقشه‌ها علاوه بر اینکه برای بررسی فعالیت جوی در سطوح فوقانی به کار می‌روند به علت اینکه



شکل ۱ روند تغییرات روزانه‌ی مقدار آزون کلی نسبت به خط میانگین در طول سال (متوسط سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹)
مأخذ: نگارنده

ایران است و نوید چرخندگی منفی و حاکمیت شرایط آنتی سیکلونی را به همراه دارد. در این روز مقدار آزون ۲۳۶ دایسون است. در روز ۹ دسامبر الگوی پشته یا فراز در تراز ۱۰۰ و ۳۰۰ و شرایط واچرخند در سطح ۵۰۰ میلی‌باری کاملاً بر روی ایران قرار یافته است و مقدار آزون به حداقل میزان ۲۲۲ دایسون کاهش یافته است. به این ترتیب وقتی که محور ریح در تراز ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌باری و آنتی سیکلون پوششی در تراز ۵۰۰ میلی‌باری کاملاً بر روی اصفهان قرار می‌گیرد، هوای فقیر از آزون بر روی منطقه‌ی اصفهان انتقال یافته و مقدار آزون کلی به حداقل میزان، کاهش می‌یابد. در روز ۱۰ دسامبر که محور فراز در حال خروج از ایران است، مقدار آزون اندکی افزایش می‌یابد ولی به دلیل قرارگیری محور فراز در تراز ۱۰۰ و ۳۰۰ و شرایط واگرایی در سطح ۵۰۰ میلی‌باری بر روی ایران همچنان مقدار آزون در حداقل میزان ۲۲۹ دایسون قرار دارد (شکل شماره ۲).

الگوی گردش‌ی مربوط به روزهای بامقادیر حداقل آزون

در مجموع نقشه‌های تعداد ۲۴ روز (۵ دوره روز) از روزهای متوالی که مقدار آزون حداقل مقدار ثبت شده بود مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر حداقل آزون در روزهای سرد سال زمانی که الگوی فراز در سطوح ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌باری و شرایط واچرخند در سطح ۵۰۰ میلی‌باری بر ایران و اصفهان قرار می‌یابد اتفاق افتاده است. برای جلوگیری از اطاله‌ی کلام نقشه روزهای ۸ تا ۱۰ دسامبر را توضیح می‌دهیم.

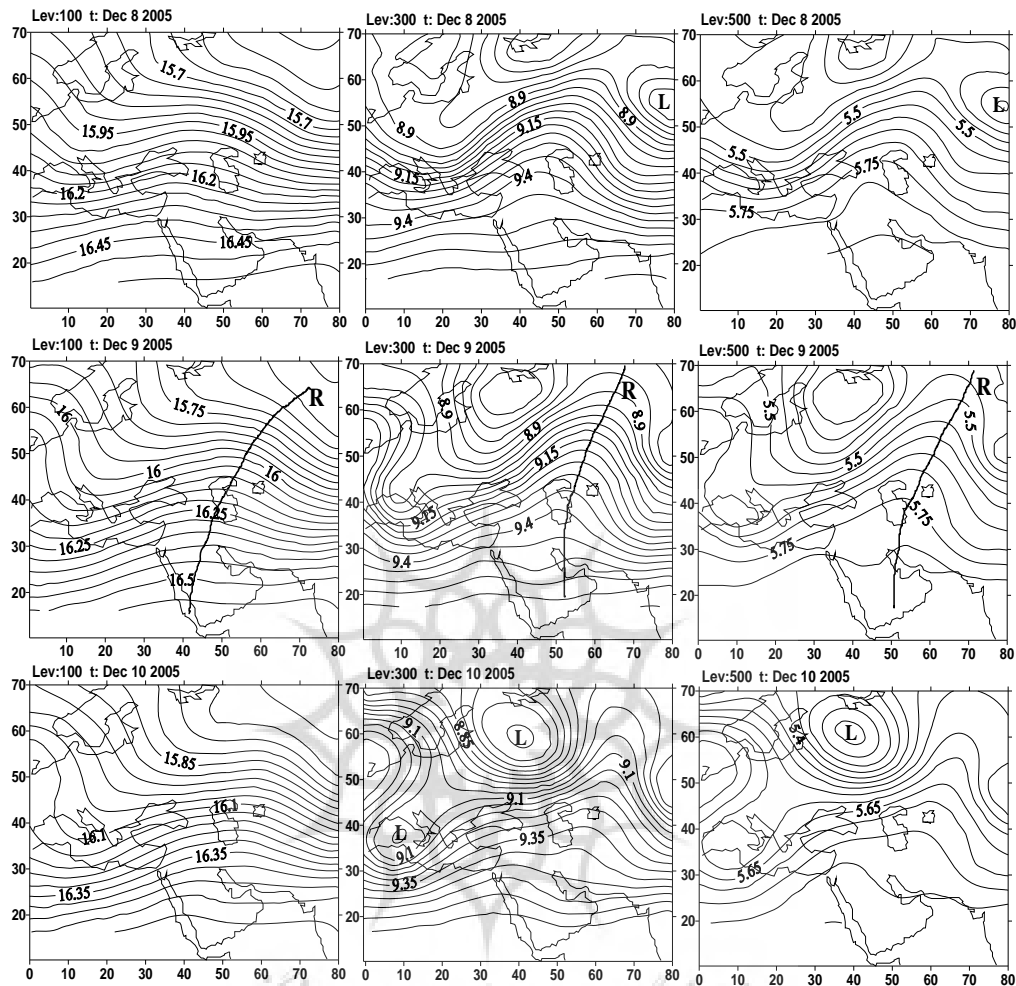
نقشه‌های ۸ تا ۱۰ دسامبر ۲۰۰۵

متوسط مقدار آزون در این دوره ۲۲۹ دایسون است که در روز ۹ دسامبر به حداقل میزان در طول دوره‌ی آماری یعنی ۲۲۲ دایسون رسیده است (جدول ۲). الگوی نقشه‌ها در این روز بیانگر جوی پایدار و آرام بر روی اصفهان است. در روز ۸ دسامبر در تراز ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌باری الگوی فراز (پشته) در حال ورود به

جدول ۲: تاریخ و مقادیر حداقل آزون ۸ تا ۱۰ دسامبر ۲۰۰۵

۱۳۸۴/۹/۱۷	۲۰۰۵/۱۲/۸	۲۳۶
۱۳۸۴/۹/۱۸	۲۰۰۵/۱۲/۹	۲۲۲
۱۳۸۴/۹/۱۹	۲۰۰۵/۱۲/۱۰	۲۲۹

مأخذ: نگارنده



شکل ۲: نقشه‌های متوسط روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل جو (هزارمتر) در سه سطح ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی باری از تاریخ ۸ تا ۱۰ دسامبر ۲۰۰۵. محور فراز با حرف R، پراتفعا با حرف H و کم ارتفاع با حرف L مشخص است.

مأخذ: نگارنده

نقشه‌های ۳۰ مارس تا ۱ آوریل ۲۰۰۹

همانطور که در نقشه‌ی ۳۰ مارس مشاهده می‌شود در تراز ۱۰۰ الگوی ترفا و در تراز ۵۰۰ میلی‌باری سیکلون تکامل یافته‌ای که تا تراز ۳۰۰ میلی‌باری عمق یافته از غرب وارد ایران می‌گردد. به این ترتیب در بدو ورود الگوی سیکلونی به ایران در روز ۳۰ مارس، مقدار آزون به ۳۴۹ دابسون افزایش یافته است. در روز ۳۱ مارس محور ترفا در تراز ۱۰۰ میلی‌باری و در تراز ۵۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌باری سیکلون بسیار عمیقی کاملاً بر مرکز ایران قرار می‌یابد، در این روز مقدار آزون داری

الگوی گردشی مربوط به روزهای با مقادیر حداکثر آزون

برای این منظور ۳۹ نقشه‌ی میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل سطوح ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌باری در ۱۳ روز سال که همگی در فصل سال اتفاق افتاده بودند، مورد بررسی قرار گرفت. الگوی غالب در همگی این نقشه‌ها، ترفا در سطوح فوقانی ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌باری و سیکلون در تراز ۵۰۰ میلی‌باری است. یک نمونه از الگوی نقشه‌های روزهایی که مقادیر حداکثر اتفاق افتاده را توضیح می‌دهیم:

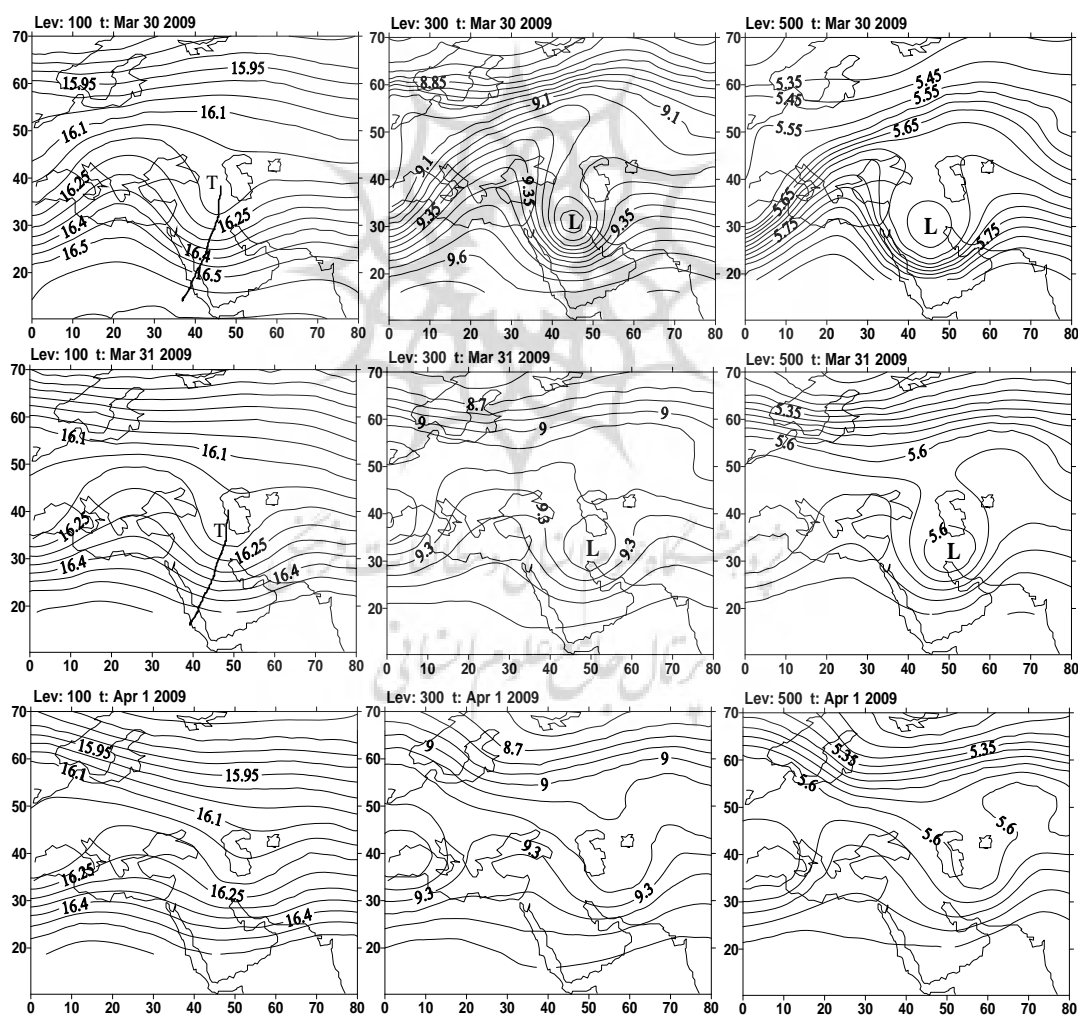
سمت شرق متمایل شده ولی به دلیل قرارگیری بر روی ایران مقدار آزون در حداکثر مقدار ۳۶۸ دابسون باقی مانده است (شکل ۳).

جدول ۳: تاریخ و مقادیر حداکثر آزون ۳۰ مارس تا ۱ آوریل ۲۰۰۹

۱۳۸۸/۱۸/۱۰	۲۰۰۹/۳/۳۰	۳۴۹
۱۳۸۸/۱/۱۱	۲۰۰۹/۳/۳۱	۳۷۱
۱۳۸۸/۱/۱۲	۲۰۰۹/۴/۱	۳۶۸

مأخذ: نگارنده

حداکثر مقدار ۳۷۱ دابسون است. یعنی در زمان قرارگیری محور تراف و الگوی سیکلونی کامل بر روی ایران، مقدار آزون به بالاترین میزان خود رسیده است. نتیجه اینکه زمان وقوع حداکثر آزون در این دوره سه روزه، با الگوی تراف در سطح ۱۰۰ میلی باری و شرایط سیکلونی کامل در سطوح ۵۰۰ تا ۳۰۰ انطباق دارد. قابل ذکر است در ۳۱ مارس در ایستگاه آزون سنجی اصفهان ۷/۴ میلی متر باران ثبت شده است. در روز یک آوریل تراف سطح ۱۰۰ و ۳۰۰ به

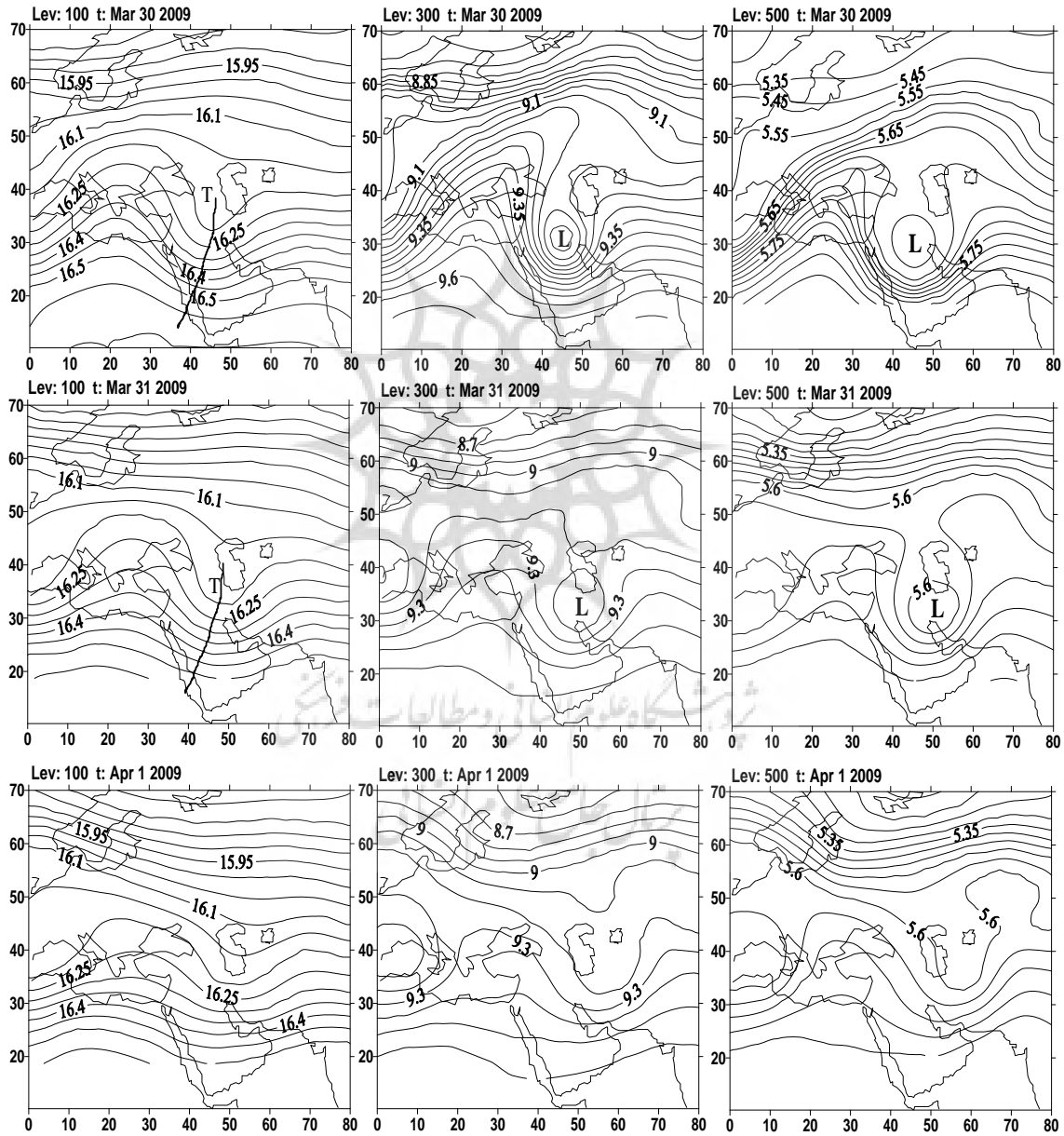


شکل ۳: نقشه‌های متوسط روزانه‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل جو (هزارمتر) در سه سطح ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی باری از تاریخ ۳۰ مارس تا ۱ آوریل ۲۰۰۹. در این تصویر حرف L کم ارتفاع و حرف T محور تراف را نشان می‌دهد.

مأخذ: نگارنده

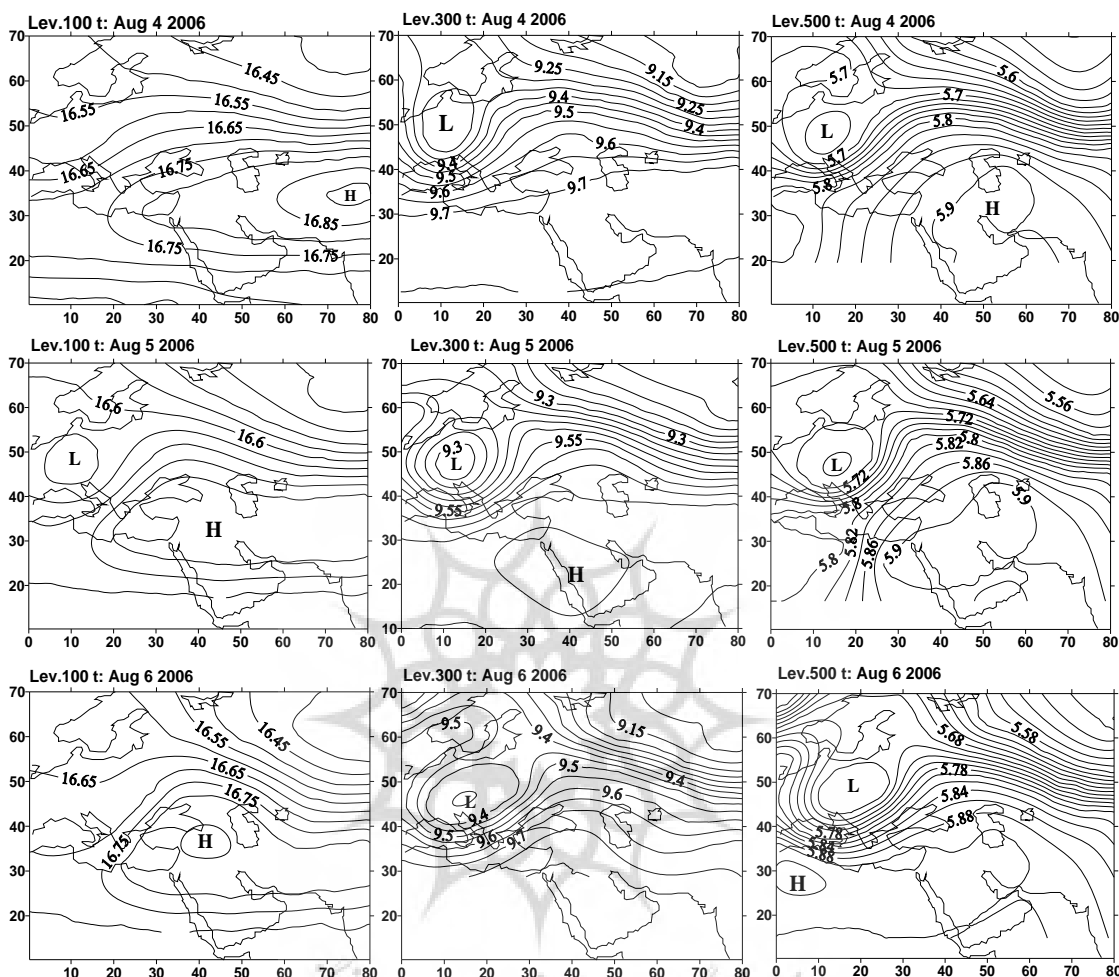
نمای داده‌ها استفاده شد. برای این منظور تعداد ۳۳ نقشه مربوط به ۱۱ روز- دوره‌هایی که مقدار آزون ۲۷۴ دابسون (مُد داده‌ها) یا حدود آن بود، استخراج شد که برای نمونه نقشه‌های یک دوره را توضیح می‌دهیم.

الگوی گردشی مربوط به روزهایی که مقدار آزون بیشترین تکرار را دارد برای اطلاع بر الگوی گردشی روزهایی که مقدار آزون ثبت شده بیشترین تکرار را دارد از مقادیر مُد یا



شکل ۳: نقشه‌های متوسط روزانه‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل جو (هزارمتر) در سه سطح ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌باری از تاریخ ۳۰ مارس تا ۱ آوریل ۲۰۰۹. در این تصویر حرف L کم ارتفاع و حرف T محور تراف را نشان می‌دهد.

مأخذ: نگارنده



شکل ۴: نقشه‌های متوسط روزانه‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل جو (هزار متر) در سه سطح ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰ میلی‌باری از تاریخ ۴ تا ۶ آگست ۲۰۰۶. در این تصویر حرف H مراکز پُراتفَاع و حرف L مراکز کم ارتفاع را نشان می‌دهد.

مأخذ: نگارنده

در نقشه سطح ۱۰۰ میلی‌باری پُراتفَاع عمیقی با مرکزیت ارتفاعات هیمالیا و تبت در روز ۴ آگست بر روی ایران گسترش یافته و هم‌ارتفاع ۱۶۸۰۰ متری تمام ایران را در بر گرفته است. در روز ۵ آگست پُراتفَاع مزبور تا شرق دریای مدیترانه کشیده شده است و در روز ششم به مرکز عمیقی در غرب ایران و ترکیه تبدیل شده است. همزمان با آن پُراتفَاع سطح ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌باری نیز گسترش یافته است. خط هم ارتفاع ۵۹۰۰ متری سطح ۵۰۰ میلی‌باری که معمولاً در

جدول ۴: تاریخ و مقادیر آزون با بیشترین تکرار (مُد)

۴ تا ۶ آگست ۲۰۰۶

۱۳۸۵/۵/۱۳	۲۰۰۶/۸/۴	۲۷۴
۱۳۸۵/۵/۱۴	۲۰۰۶/۸/۵	۲۷۴
۱۳۸۵/۵/۱۵	۲۰۰۶/۸/۶	۲۷۷

مأخذ: نگارنده

نقشه‌های مربوط به روزهای ۴ تا ۶ آگست ۲۰۰۶

در این دوره مقدار متوسط روزانه‌ی آزون در دو روز اول ۲۷۴ و در روز سوم ۲۷۷ دابسون است (جدول ۴).

۱۰۰ میلی‌باری الگوی پُراتفعا در تمامی گستره‌ی ایران حاکمیت دارد (شکل ۴).

تحلیل آماری الگوهای همدید و مقادیر آزون کلی

با توجه به اینکه وقوف بر الگوهای سینوپتیکی حاکم بر تغییرات مقادیر آزون کلی از طریق الگوی نقشه‌ها ممکن است لذا به منظور بررسی روابط بین این الگوها و مقادیر آزون، نقشه‌های هم‌مقدار آزون کلی ترسیم گردید و ارتباط بین نقشه‌های هم‌مقدار روزانه آزون کلی با الگوی نقشه‌های همدید از طریق روابط همبستگی بررسی شد. تحلیل‌ها نشان داد در هر سه سطح ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌باری بین مقادیر روزانه آزون کلی و ارتفاع ژئوپتانسیل ارتباط معکوس در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ وجود دارد (جدول ۵).

جدول ۵: ضرایب همبستگی بین نقشه هم‌مقدار آزون و نقشه‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل جو

سطح ۱۰۰ میلی‌باری	سطح ۳۰۰ میلی‌باری	سطح ۵۰۰ میلی‌باری	
-۰/۸۱۳	-۰/۸۳۸	-۰/۷۲۵	رخداد حداکثر آزون
-۰/۸۷۶	-۰/۸۵۲	-۰/۷۴۱	رخداد حداقل آزون
-۰/۸۴۸	-۰/۹۱۳	-۰/۸۸۴	رخداد مُد داده‌ها

مأخذ: نگارنده

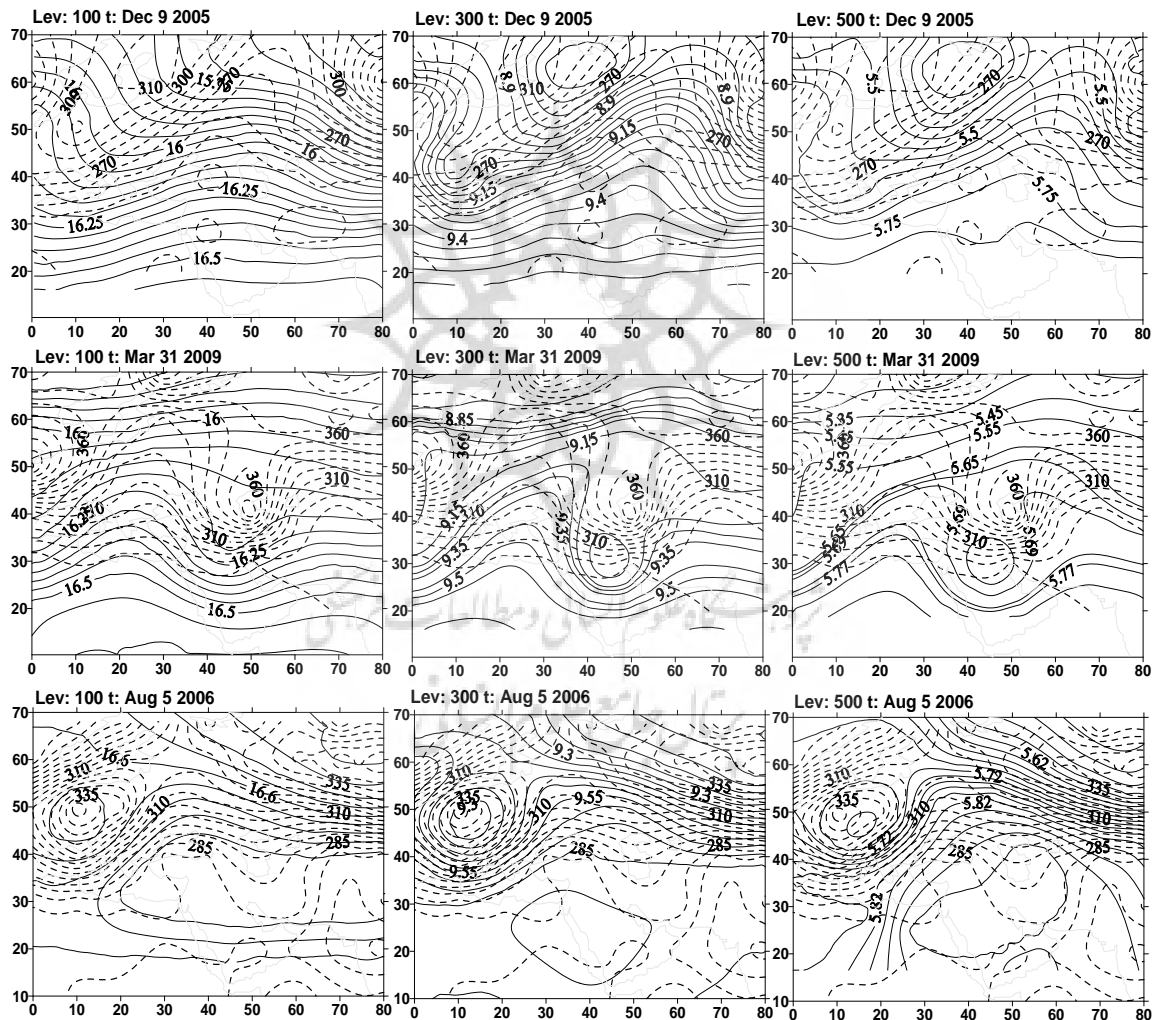
آزون افزوده می‌شود. اثر جمعی سه سطح تراز بر تغییرات آزون با استفاده از تحلیل رگرسیون چند متغیره خطی سنجیده شد و نشان داد تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل با ضرایب همبستگی ۰/۹۹۴، ۰/۸۸۵ و ۰/۸۹۷ به ترتیب در زمان رخداد مُد داده‌ها، مقادیر حداکثر و حداقل بر تغییرات مقدار آزون مؤثر است. بر این اساس ۸۹/۱، ۸۰/۵ و ۷۸/۴ درصد تغییرات مقدار آزون در رخدادهای مزبور توسط تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تبیین می‌گردد. بالا بودن ضرایب همبستگی و تبیین در زمان رخداد مُد داده‌ها بخاطر وقوع یک مرکز کم فشار بسیار عمیق بر روی اروپا در ۵ آگست ۲۰۰۶ است که در منطقه‌ی مطالعاتی مورد تحلیل ما

نقشه‌های میانگین آزون در جنوب و جنوب غرب ایران و بیشتر در شمال عربستان حضور داشت، در این دوره کاملاً بر روی ایران قرا گرفته و از صحاری ترکمنستان، شرق مرکز خزر، نواحی خراسان شروع شده و تا دریای سرخ ادامه پیدا کرده است. در تراز ۵۰۰ میلی‌باری نیز خط هم‌ارتفاع ۵۹۵۰ متری کاملاً بر مرکز ایران و اصفهان قرار یافته است. این وضعیت در روز پنجم آگست نیز تکرار شده است و در روز ششم آگست با تضعیف پُراتفعا سطح ۵۰۰ میلی‌باری و تغییر شکل خطوط هم ارتفاع ۳۰۰ میلی‌بار، مقدار متوسط آزون نیز تا ۲ دابسون افزایش یافته است. بنابراین در نقشه‌های روزهایی که مقدار آزون بیشترین تکرار را داشته، الگوی پرفشار آن هم در مرکز ایران در دو سطح ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌باری کاملاً به چشم می‌خورد و در سطح

مهمترین متغیر مؤثر در زمان رخداد حداکثر، تغییرات ارتفاع سطح ۱۰۰ میلی‌باری و در رخداد مُد و حداقل مقادیر آزون تغییرات ارتفاع سطح ۳۰۰ میلی‌باری است. در هر سه رخداد (حداکثر، حداقل و مُد داده‌های آزون)، ارتباط بین تغییر ارتفاع ژئوپتانسیل و مقادیر آزون کلی در سطوح فوقانی (۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌باری) قوی‌تر است زیرا تراکم آزون در زیر تروپوپاوز بیشتر است و تغییر الگوی نقشه‌ها در سطوح فوقانی اثر بیشتری بر تغییرات آزون کلی دارد. به این ترتیب با افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل (حاکمیت شرایط پرفشار) مقدار آزون کاهش می‌یابد و برعکس با کاهش ارتفاع ژئوپتانسیل (حاکمیت شرایط کم‌فشار) بر مقدار

در این روز الگوی کامل کم ارتفاع (کم فشار پوششی) در اصفهان حاکم بوده است. تراکم خطوط هم‌مقدار ازون در این روز بر روی ایران و اصفهان در هر سه سطح ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌باری کاملاً مشهود است. صورتی که در روز ۹ دسامبر ۲۰۰۵ به شدت از تراکم ازون کاسته شده و در روز ۵ اگست ۲۰۰۶ تراکم ازون در اصفهان زیاد نیست (شکل شماره ۵).

قرار دارد. برای آگاهی بهتر بر ارتباط بین اثر الگوهای همدید بر تغییرات ازون کلی، نقشه‌های توزیع ازون کلی در محدوده‌ی مورد مطالعه ترسیم و با الگوی نقشه‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل انطباق داده شد (شکل ۵). با اندکی دقت در این نقشه‌ها مشخص می‌شود که از میزان تراکم مقدار ازون کلی با افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل کاسته می‌شود. بیشترین تراکم ازون بر روی اصفهان در روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹ دیده می‌شود که



شکل ۵: انطباق نقشه‌های همدید ارتفاع ژئوپتانسیل با نقشه هم‌مقدار ازون کلی در محدوده‌ی مورد مطالعه در سه سطح ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌باری برای روزهای رخداد حداقل (۹ دسامبر ۲۰۰۵)، حداکثر (۳۱ مارس ۲۰۰۹) و مُد داده‌ها (۵ اگست ۲۰۰۶). در این نقشه‌ها ارتفاع ژئوپتانسیل (هزار متر) با خطوط پُر، مقادیر ازون کلی (دابسون) با خط چین و مرز نواحی با خط کم رنگ مشخص شده است.

مأخذ: نگارنده

جمع‌بندی و نتیجه

مطالعات پیشین و بررسی‌های سری‌های زمانی نشان می‌دهد آزون کلی تحت تأثیر پایداری و ناپایداری هوا دارای نوسانات زیادی است. ناپایداری هوا از طریق انتقال افقی هوای غنی/فقیر از آزون در زیر استراتوسفر موجب افزایش/کاهش مقدار آزون کلی در زیر تروپوپاوز می‌گردد (روی سی رولدجین (۲۰۰۰) تی نارایانارو (۲۰۰۳) و جی لسیر دی بلورو و دیگران (۲۰۰۷))

بررسی الگوهای گردشی نقشه‌های هوا در سه سطح ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌باری نیز ارتباط بین تغییرات آزون کلی در ایستگاه اصفهان و الگوی گردش جو را تأیید کرد. به این ترتیب که در زمان وقوع مقادیر حداقل آزون، الگوی فراز یا ریج در سطح ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌باری و پرفشار پویشی در تراز ۵۰۰ میلی‌باری بر روی ایستگاه اصفهان حاکمیت دارد که زمان رخداد چنین وضعیتی در فصل سرد سال اتفاق می‌افتد. پایین‌ترین مقادیر آزون زمانی به وقوع می‌پیوندد که محور فراز بر مرکز ایران و اصفهان باشد. در صورتی که در زمان رخداد مقادیر حداکثر آزون، الگوی فرود یا تراف در سطح ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌باری و سیکلون در تراز ۵۰۰ میلی‌باری بر روی ایستگاه اصفهان حاکمیت دارد و زمانی مقدار آزون در ایستگاه اصفهان به حداکثر میزان می‌رسد که محور فرود بر مرکز ایران و اصفهان باشد. مشابه زمان رخداد حداقل، زمان رخداد حداکثر نیز در فصل سرد سال است. به این ترتیب حداکثرهای آزون با الگوی فرود (تراف) و حداقل‌های آزون با الگوی فراز (ریج) منطبق است. همچنین الگوی نقشه‌های مربوط به مقادیر مُد داده‌ها (۲۷۴ دابسون) نشان‌دهنده‌ی الگوی پُرارتفاع عمیق در تراز ۱۰۰ میلی‌باری است. در تراز ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌باری نیز همزمان با سطح ۱۰۰ میلی‌باری پُرارتفاع کاملاً گسترده شده است. به طور کلی الگوی نقشه‌های مربوط به مقادیر مُد داده‌ها آزون دارای آرایش‌مداری در تراز ۳۰۰ و ۵۰۰ است که اندکی به سمت فراز میل

کند. باید اذعان داشت نوسانات آزون در فصل گرم ناچیز و اثر عوامل همدید نیز بر مقدار آن بسیار کم است. به این ترتیب فعالیت پویشی جو در فصل سرد، تغییر و نوسان زیاد در آزون کلی را باعث می‌شود اما پایداری جو در فصل گرم سال، تثبیت مقدار آزون را در پی دارد. تحلیل همبستگی بین نقشه‌های پراکنش متوسط روزانه‌ی آزون کلی با نقشه‌های متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل نشان داد، بین ارتفاع ژئوپتانسیل و مقدار آزون رابطه‌ی همبستگی معکوس معناداری وجود دارد که این رابطه در ترازهای فوقانی جو (۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌باری) قوی‌تر است. بر این اساس با افزایش ارتفاع جو (پرفشار) از میزان آزون کلی در زیر تروپوپاوز کاسته می‌شود و با کاهش ارتفاع جو (کم فشار) میزان آزون افزایش قابل ملاحظه‌ای دارد. تراکم خطوط هم‌مقدار آزون در اطراف مراکز کم‌فشار در همه نقشه‌ها بخصوص نقشه‌ی روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹ که بر روی ایران و اصفهان کم‌فشار پویشی حاکمیت مطلق دارد نشان‌دهنده‌ی افزایش مقدار آزون کلی مرتبط با کاهش فشار جو در زمان کم‌فشارهای پویشی است. قابل ذکر است در همین روز در ایستگاه آزون‌سنجی اصفهان ۷/۴ میلی‌متر باران ثبت شده است. نتایج تحلیل رگرسیون خطی نشان داد به ترتیب ۸۹/۱، ۸۰/۵ و ۷۸/۴ درصد تغییرات مقدار آزون در رخداد‌های مُد داده‌ها، مقادیر حداکثر و حداقل توسط تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تبیین می‌گردد.

منابع

- ۱- اسپنانی، عباسعلی (۱۳۸۳). آزون و نقش آن در حیات کره زمین، مجله فضای جغرافیایی، شماره ۱۱.
- ۲- جهانبخش، سعید؛ فریبا فریبا (۱۳۷۸). مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۴ و ۵۵.
- ۳- عزتیان، ویکتوریا؛ اعظم باقری (۱۳۸۹). کنترل کیفی داده‌های آزون با استفاده از داده‌های سنجنده TOMS، چهارمین کنفرانس بین‌المللی تغییر اقلیم.

- transport during the tropical cyclone Marlene event, *Atmospheric Environment* 41.
- 17- Johannes Staehelin, Jorg Moder, Andrea K. Weiss, Christof Appenzeller(2002). Long-term ozone trends in Northern mid-latitudes With special emphasis on the contribution of changes in dynamics. *Physics and Chemistry of the earth*.
- 18- M. Antón, M. López, A. Serrano, M. Bañón, J. A. García (2010). Diurnal variability of total ozone column over Madrid (Spain), *Atmospheric Environment*, xxx 1-6.
- 19- M. Martin, T. Toroshelidze, W. E. Alves, M. G. S Mello, A. A. Guser, G. I. Pugacheva (1999). Solar cycle and global long term variations of stratospheric ozone, *Adv Space Res*.
- 20- Matthew R. Bassford, Chris A. McLinden, Kimberly Strong (2001). Zenith-sky observations of stratospheric gases: the sensitivity of air mass factors to geophysical parameters and the influence of troposphere clouds, *Journal of Quantitative Spectroscopy&Radiative Transfer* 68.
- 21- N. Semane, V. H. Peuch, L. El Amraoui, H. Bencherif, S. Massart, D. Cariolle, J. L. Atti, and R. Abida (2007). An observed and analysed stratospheric ozone intrusion over the high Canadian Arctic UTLS region during the summer of 2003, *Advances in Space Research* 34.
- 22- Piotr V.Nevodovskiy, Aleksandr V. Morozhenko (2009). Studies of stratospheric ozone layer from near-earth orbit utilizing ultraviolet Polari meter, *Acta Astronautica* 64.
- 23- Renata De winter-Sorkina (2001). Impact of ozone layer depletion I: ozone depletion climatology, *Atmospheric Environment*.
- 24- S.Hassanzadeha,F.Hosseinibalama, M. Omidvari (2008). Statistical methods and regression analysisof stratospheric ozone and meteorological variables in Isfahan, *Physica A* 387.
- 25- Sophie Godin-Beekmann (2010). Spatial observation of the ozone layer *Observation spatial de la couche ozone,C.R.Geosciences*342.
- 26- T. Narayana Rao, J. Arvelius, S. Kirkwood, P. von der Gathen (2004). Climatology of ozone in the troposphere and lower stratosphere over the European Arctic *Advances in Space Research* 34.
- 27- V.C.Roldugin,G.N. Nikulin and K. Henriksen (2000). Wave-Like Ozone Movements, *Phys. Chem. Earth*, Vol. 25, No. 5-6.
- 28- W.J Collins, D. S. Stevenson, C. E. Johnson, R.G. Derwent (2000). The European regional ozone distribution and its links with the global scale for the years 1992 and 2015, *Atmospheric Environment*.
- 29- Xihong Wang and Diane V. Michelangeli (2006). A review of Polar Stratospheric Cloud Formation *Ghina Paricuology* Vol. 4, No. 6.
- ۴- عزتبان ویکتوریا؛ ابراهیم اسعدی اسکویی (۱۳۸۹). کاربرد روش‌های آماری در تحلیل نوسانات اُزون تروپوسفری، نشریه انجمن ژئوفیزیک ایران.
- ۵- عطایی، هوشمند (۱۳۸۷). شناسایی و تجزیه و تحلیل الگوهای گردشی تراز میانی جو در سال‌های پربارش ایران، *مجله تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۹۰.
- ۶- علیجانی، بهلول (۱۳۸۵). اقلیم‌شناسی سینوپتیک، سمت. تهران.
- ۷- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۹). نگاشت و تفسیر سینوپتیک اقلیم با استفاده از نرم‌افزار Grads، سها دانش. تهران.
- ۸- محامد، احمد (۱۳۷۷). لایه اُزون (سپر حفاظتی حیات)، گروه پژوهشگران ایران.
- ۹- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۸۳). ریج سی‌ساله الگوهای گردشی تراز میانی جو در ایران، *مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*. شماره ۷.
- ۱۰- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۸۵). اقلیم‌شناسی همدید و کاربرد آن در مطالعات محیطی، تألیف برنت یارنال. دانشگاه اصفهان.
- ۱۱- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ محمدحسین قلی‌زاده؛ بختیار محمدی (۱۳۸۷). سرماهای وزشی ایران (مطالعه موردی: سرمای وزشی بهمن ۱۳۶۱ سنندج)، *مجله تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۹۰.
- ۱۲- نصیری، بهروز؛ هوشنگ قائمی (۱۳۷۸). تحلیل الگوی سینوپتیک و دینامیکی سیل‌های کرخه و دز، *مجله تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۵۴ و ۵۵.
- 13- Chandramadhab Pal(2010). Variability of total ozone over India and its adjoining regions during 1997-2008, *Atmospheric Environment* 44.
- 14- E. Rozanov, M. Schraner, C. Schnadt, T. Egorova, M. Wild, A. Ohmura, V. Zubov, W. Schmutz, Th. Peter (2005). Assessment of the ozone and temperature variability during 1979–1993 with the chemistry-climate model SOCOL, *Advances in Space Research* 35.
- 15- E. Rozanova, T. Egorovab, W. Schmutzb, Th. Peter (2006). Simulation of the stratospheric ozone and temperature response to the solar irradiance variability during sun rotation cycle, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 68.
- 16- J. Leclair De Bellevuea, J. L. Baraya, S. Baldya,G.Ancelletb,R.Diabc,F. Ravetta (2007). Simulations of stratospheric to tropospheric