

بررسی افت و خیزهای زمستانی ازن کلی جو^۱ مربوط به امواج مقیاس همدیدی در منطقه ایران

زهرا شرعی پور^{۱*} و عباسعلی علی اکبری بیدختی^۲

^۱ کارشناس ارشد هواشناسی، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

^۲ استاد، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۹۲/۸/۷، پذیرش نهایی: ۹۲/۱۱/۱۵)

چکیده

در این تحقیق، پریشیدگی‌های ازن کلی ایجاد شده از امواج وردسپهر بالایی زمستانی در منطقه ایران برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ بررسی شده است. حضور ناوه‌ها و پشته‌های وردسپهر بالایی زمستانی در منطقه می‌تواند باعث افزایش و کاهش مقدار روزانه ازن کلی در منطقه شود. این الگوهای توزیع ازن کلی از نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی در سطح ۳۰۰ hPa تبعیت می‌کند. افزایش روزبه‌روز ازن در اثر ناوه ممکن است تا مقدار ۱۴۰ DU و کاهش روزبه‌روز ازن در اثر پشته ممکن است تا مقدار ۷۵ DU برسد. اغلب این افزایش‌ها و کاهش‌های ازنی، کل منطقه ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد ولی بیشینه آنها بیشتر در محدوده عرض‌های ۳۰-۳۵ درجه شمالی و ۵۰-۶۰ درجه شرقی رخ می‌دهد. این بیشینه‌های افزایش روزبه‌روز ازن یا در محدوده بیشینه روزانه ازن و یا در نزدیکی گرادیان شدید پربندهای ازنی روزانه تشکیل می‌شوند. موقعیت بیشینه افزایش و کاهش روزانه ازن به ترتیب در نزدیک محور ناوه‌ها و پشته‌ها و همچنین در سرعت‌های کم جریان جتی جنب‌حاره‌ای قرار دارد. در مناطق گرادیان افقی شدید ازنی در محدوده محور ناوه و در راستای نصف‌النهار، مقدار افزایش ازن بر کاهش ارتفاع ژئوپتانسیلی برای الگوهای گوناگون بین ۰/۲ تا ۰/۸ و به‌طور متوسط ۰/۵ DU/gpm است. در اغلب الگوهای به‌دست آمده، بیشینه سرعت نزولی هوا بیش از ۰/۲ Pa/s و نمونه بیشینه سرعت نصف‌النهاری باد بیش از ۳۰ m/s و نشان‌دهنده فعالیت موج قابل ملاحظه‌ای است. این فعالیت موج می‌تواند هوای با غلظت زیاد ازن وردسپهر فوقانی را که از منطقه شکست امواج سیاره‌ای راسبی در پوشن سپهر (stratosphere) عرض‌های بالا منشأ می‌گیرد، به عرض‌های کمتر در این منطقه بیاورد.

واژه‌های کلیدی: ازن کلی، امواج همدیدی، ناوه و پشته، فرارفت افقی و قائم، ایران

Study of atmospheric total ozone variations due to winter synoptic scale disturbances over Iran

Sharipour, Z¹. and Bidokhti, A. A.²

¹Research assistant, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

²Professor, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 29 Oct 2013, Accepted: 04 Feb 2014)

Summary

Ozone is an important chemical constituent of the atmosphere, and stratosphere it protects the Earth surface from harmful UV radiations, such that it is known as “good ozone” while, in the lower troposphere it is a highly oxidizing pollutant and known as “bad ozone”. It is also a greenhouse gas that can affect the climate. Hence, the study of spatial and temporal variations of ozone is important in the atmosphere. Large scale atmospheric flows, specially large scale wave activities can contribute to stratosphere-troposphere interaction, leading to the vertical exchange of ozone. Specially transfer of good ozone to the troposphere where

it can chemically react fast, through which regionally changes the total atmospheric ozone. These large-scale synoptic systems often occur in winter when the condition of baroclinic conversion of the potential energy to the kinetic energy in the middle latitudes is the largest. The wave activities at this time are also greatest, leading to meridional and vertical transfer of air.

In this work the total atmospheric ozone variations over Iran due to upper tropospheric wave activities in winter for the period of 2005-2013 have been investigated. The data are acquired from the Ozone Monitoring Instrument (OMI) satellite, while the ground ozone data are from the Geophysics Station (51. 23°E 35. 44°N and 1419 m above sea level), University of Tehran. The OMI data has a resolution of 1 degree and have been acquired from TOMS site The synoptic data have also been obtained from NOAA.

Results show that large-scale synoptic troughs and ridges are associated with the daily variations of increase (up to 140 DU) and decrease (down to 75 DU) of total ozone, respectively. The pattern of total ozone distributions over this area are well correlated with the 300hpa geopotential maps.

The variations of total ozone cover most of the Iranian Plateau, particularly 30-35°N and 50-60°E. Regions with the maximum variations of total ozone are also found in areas with the largest gradients of ozone concentrations. The areas with the largest decrease or increase of total ozone are found at the axes of troughs and ridges, respectively where large vertical motions are expected, and the westerly component of the subtropical jet stream has the least intensity. It is also found that at the axes of troughs, the gradient of ozone with respect to the geopotential height is between 0.2 and 0.8 DU/gpm, with an average of 0.5 DU/gpm. In the dominant synoptic patterns associated with variations of total ozone, the vertical motions of 0.2 Pa/s and typical meridional velocity of 30 m.s⁻¹ are found, indicating large wave activities in the region. Also, regions of maximum ozone appear as bands with their axes often being in the northeast-southwest direction, corresponding to the final stage of the development of large-scale mid-latitude baroclinic disturbances. These regions with such activities also cover the whole area of Iran usually from the Persian Gulf to the Caspian Sea.

Keywords: Total ozone, Synoptic waves, Ridge and trough, Horizontal and vertical advection, Iran

۱ مقدمه

عرض‌های میانی، غربی هستند که در توزیع ازن پوشش سپهری نیمکره‌ای بسیار موثرند. این جریان‌های غربی پوشش سپهری در بالای سامانه‌های هواشناسی ورد سپهری (troposphere) قرار گرفته‌اند.

گردش‌های آرام جوئی که ازن را از منابع تولید آن در مناطق حاره‌ای به سمت عرض‌های جغرافیایی میانی و قطبی منتقل می‌کند، به گردش بروئر- دابسون (Brewer-Dobson circulation) معروف است. این گردش، حاصل حرکات موجی پوشش سپهری مناطق برون حاره‌ای و شامل سه بخش اصلی است. بخش اول، حرکات صعودی هوا از

ازن کلی جو که عمدتاً در پوشش سپهر میانی است، به علت داشتن خاصیت جذب تابش‌های مضر فرابنفش خورشیدی نقش مهمی در سلامت بشر ایفا می‌کند. بنابراین بررسی چگونگی تغییرات ازن کلی جو و عوامل مؤثر بر آن اهمیت خاصی دارد. به‌طور کلی عوامل متعددی ازن کلی جو را تحت تأثیر قرار می‌دهند که در این میان می‌توان به عوامل هواشناسی، به‌ویژه بزرگ‌مقیاس و جغرافیایی اشاره کرد.

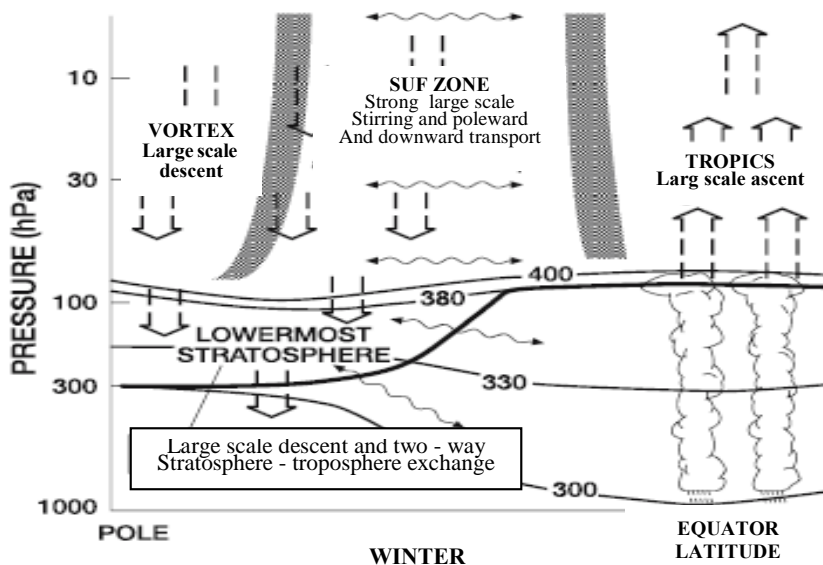
انتقال ازن در جو ارتباط مستقیمی با دینامیک حرکات جوئی دارد، مثلاً جریان‌های زمستانی در پوشش سپهر

بزرگ مقیاس در ارتباط با تاوه قطبی زمستانی را نشان می‌دهد. هوا و تشکیل دهنده‌های شیمیایی آن که به دنبال نزول بادررو (دیاباتیک) به بخش تحتانی پوشن سپهر پایینی رسیده‌اند، می‌توانند به صورت بی‌دررو (آدیاباتیک) در امتداد سطوح هم‌آنروپی به وردسپهر منتقل و آمیخته شوند. به بیان دیگر این انتقال در مرز بالای پوشن سپهر پایینی به صورت پمپ برون حاره‌ای عمل می‌کند. این تبادل‌های وردایست اغلب از راه آشفستگی‌های شدید مانند کم‌فشار بریده (Cut off low) صورت می‌گیرد و باعث تشکیل زبانه‌های هوای پوشن سپهری با ازن بالا می‌شود که می‌توانند نفوذ عمیقی به وردسپهر داشته باشند. چنین تبادل‌های هوایی دارای فرایندهای دینامیکی در مقیاس‌های کوچک و متوسط است. برای نمونه، در مجاورت چرخندهای برون حاره‌ای (از مقیاس ۱۰۰۰ کیلومتر) هوای پوشن سپهری سرد در کناره غربی چرخند (داخل تاشدگی وردایست) به سمت استوا منتقل می‌شود و تدریجا با هوای وردسپهری آمیخته می‌شود (مکینتایر و پالم، ۱۹۸۴).

در مقیاس‌های کوچک‌تر (از مرتبه ۱۰۰ کیلومتر) آشفستگی‌ها و آمیختگی‌ها از راه شکست امواج گرانی یا بُرش شدید باد، سهمی برای تبادل‌های وردایست دارد. تبادل‌های مقیاس کوچک‌تر در عرض‌های میانی نیز در ارتباط با گردش‌های واچرخندی در وردسپهر بالایی صورت می‌گیرد (براسور و سالومون، ۲۰۰۵).

اهمیت نسبی حرکات بادررو شیب‌دار و آمیختگی شبه افقی در شکل ۲ نیز نشان داده شده است. این شکل توزیع میانگین مداری هیدروژن فلورید (HF) اندازه‌گیری شده از فضا را بیان می‌کند. منطقه چشمه این ترکیبات در پوشن سپهر قرار دارد و نسبت آمیختگی آنها زیر ارتفاع ۵۰ کیلومتری با ارتفاع افزایش می‌یابد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کمینه نسبت آمیختگی در مناطق حاره‌ای با حرکات صعودی شدید ارتباط دارد در حالی که غلظت‌های زیاد در عرض‌های بالا از حرکات نزولی نتیجه می‌شود.

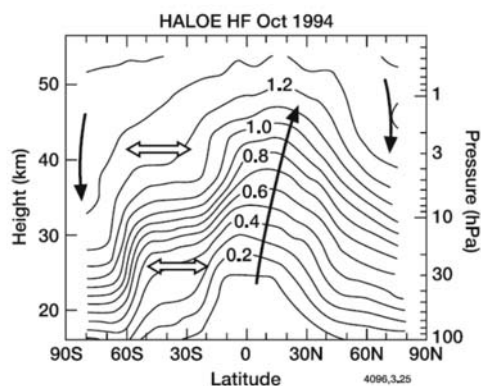
وردسپهر به پوشن سپهر در مناطق حاره‌ای، بخش دوم، انتقال هوای پوشن سپهری از مناطق حاره‌ای به مناطق قطبی و بخش سوم، حرکات نزولی هوا در پوشن سپهر عرض‌های میانی و قطبی است. انتقال آرام ترکیبات شیمیایی جوی از پوشن سپهر مناطق حاره‌ای به عرض‌های میانی حدود ۶ ماه و برگشت آن از عرض‌های میانی به مناطق حاره‌ای حدود یک سال طول می‌کشد. طی فصل زمستان، هوای پوشن سپهر مناطق حاره‌ای، مجزا از هوای عرض‌های میانی است و به بیان دیگر، زبانه هوای حاره‌ای به صورت سدی در مقابل انتقال نصف‌النهاری هوا از مناطق حاره‌ای به عرض‌های بالا عمل می‌کند. از طرف دیگر، تاوه قطبی (چرخند بزرگ مقیاس که نزد یک قطب‌های زمین در وردسپهر میانی، بالایی و پوشن سپهر و در بالای هسته سرد هوای قطبی تشکیل می‌شود و موقعیت جغرافیایی آن نزدیک عرض ۶۰ درجه و بالای ارتفاع ۱۶ کیلومتری است) سد دیگری در مقابل این انتقال است. گردش بروئر- دابسون نقش مهمی در انتقال هوا بین استوا و عرض‌های بالا دارد. در محل شکست امواج سیاره‌ای راسبی (Rossby waves)، در منطقه‌ای به نام surf zone (مکینتایر و پالم، ۱۹۸۴) انتقال‌های شدید هوا به سمت پایین (به همراه شار پایین سو قائم ازن، $w'c' < 0$) و به سمت قطب صورت می‌گیرد. همچنین در این منطقه نوارهایی از هوای قطبی از کناره تاوه قطبی خارج می‌شوند و تاوه قطبی تضعیف می‌شود. بنابراین زیر ارتفاع ۱۶ کیلومتری سد کناره تاوه تضعیف می‌شود و آمیختگی هوا به عرض‌های بالا صورت می‌پذیرد و حفره ازن قطبی نیز تضعیف می‌شود. شکل ۱ گردش نصف‌النهاری در پوشن سپهر پایینی و نقش سدهای دینامیکی حاره‌ای و قطبی در این انتقال را نشان می‌دهد. این شکل همچنین تبادل‌های هوا از راه وردایست (tropopause) و صعود بزرگ مقیاس هوا در پوشن سپهر مناطق حاره‌ای در بالای سامانه‌های همرفتی شدید وردسپهر و نزول



شکل ۱. نمایش طرحواره گردش جوی و ارتباط آمیختگی شبه افقی بین سطح و پوشش سپهر میانی. همچنین فرایندهای آمیختگی منجر به تبادل‌های پوشش سپهر-وردسپهر نشان داده شده است. نوارهای قائم هاشورخورده بیانگر سدهای دینامیکی در مقابل انتقال نصف‌النهاری است (WMO, ۱۹۹۹).

است. به بیانی دیگر انتقال ازن فقط توزیع دوباره ازن از مکانی به مکان دیگر است. در پوشش سپهر پایینی مقدار ازن در هر مکانی وابسته به چشمه هوایی است که از آنجا آمده. تغییرات ازن در این ارتفاعات بیشتر وابسته به فرایندهای انتقال است و کمتر فرایندهای فتوشیمیایی در آن دخالت دارد (CCPO: <http://www.ccpo.odu.edu>).

علاوه بر جریان‌های کلی غربی، جریان‌های فرارفتی مجزای توده‌های هوا نیز با مقادیر اندازه‌گیری شده دما، رطوبت و ازن آنها بررسی می‌شود. بنابراین فرارفت ازن نیز مانند فرارفت‌های هوای گرم، سرد و مرطوب، اثرات سامانه‌های هواشناسی را بر توزیع ازن نشان می‌دهد و متفاوت از فرایندهای فتوشیمیایی ایجاد و تخریب ازن



شکل ۲. توزیع میانگین مداری نسبت آمیختگی هیدروژن فلورید (HF) برحسب واحد ppb اندازه‌گیری شده با دستگاه HALOE. پیکان‌های افقی نمایشگر محل آمیختگی شدید شبه‌افقی توسط امواج سیاره‌ای هستند (براسور و سالومون، ۲۰۰۵).

دوره سال‌های ۱۹۸۳-۱۹۸۸ در نیمکره جنوبی بررسی‌هایی را عملی ساختند و نشان دادند که در عرض‌های میانی توافق خوبی بین پریشیدگی‌های افزایشی ازن و سرعت نصف‌النهاری باد سطح hPa ۳۰۰ برقرار است. روندانی و همکاران (۲۰۰۲) در منطقه سواحل غربی امریکای جنوبی طی سال‌های ۱۹۹۶-۲۰۰۰ روشن ساختند که تغییرات شدید ازن سطحی زمستانی در اثر فرارفت هوا از عرض‌های قطبی به عرض‌های میانی و عرض‌های جنب حاره‌ای طی رشد و توسعه ناوه‌های عمیق و کم‌فشار بریده (cut off low) رخ می‌دهد. ساتامورتی (۱۹۹۹) نیز نشان داد که ناوه‌ها و پشته‌های ورد سپهر بالایی که به‌طور عمیق در جنوب آسیا در مقیاس همدیدی نفوذ کرده، باعث افزایش و کاهش ازن کلی در منطقه می‌شوند. بنا بر نتایج این تحقیق، ناوه‌های وردسپهر بالایی زمستانی در جنوب آسیا بین سطح‌های hPa ۵۰۰ و ۱۰۰ رخ می‌دهند و طول عمر آنها کمتر از یک هفته است. این ناوه‌ها با جت قطبی سرد از سمت شمال احاطه می‌شوند. به‌طور نمونه، ناوه و پشته‌ای که در روزهای ۲۸-۲۴ فوریه ۱۹۹۲ منطقه آسیا را تحت تأثیر قرار داده‌اند، بررسی شده‌اند و نقشه‌های خط جریان و بی‌هنجاری ازن نسبت به میانگین اقلیمی در روز ۲۶ فوریه ۱۹۹۲ به‌دست آمده است. این ناوه در منطقه هند روی بنگلادش تشکیل شده و در غرب آن هم پشته‌ای که در مناطق شرق ایران گسترده شده است و ناحیه بی‌هنجاری مثبت ازن روی منطقه بنگلادش روی ناوه تشکیل شده است. مقادیر بیشینه ازن به ۱۰۰ DU رسیده است و ناحیه بی‌هنجاری منفی ازن با مقادیر ۵۰ DU کمتر از میانگین اقلیمی در منطقه بزرگی در میدان جریان جنوب غربی واقع در غرب محور پشته گسترده شده است که هوای کم‌ازن را از مناطق حاره‌ای به آنجا منتقل می‌کند. بگام (۱۹۹۳) با بررسی میدان‌های ازن کلی در اطراف جریان جتی جنب‌حاره‌ای نشان داده است که به‌طور کلی این جریان جتی باعث گرادیان‌های شدید ازن کلی می‌شود و در

رد (۱۹۵۰) روشن ساخت که افت‌وخیزهای کوتاه‌مدت تخلیه ازن پو شن سپهر پایینی، به همراه بخشی از مناطقی با مقیاس همدیدی هستند که تحت تأثیر دینامیک وردسپهر، فرارفت می‌یابند و در طی چند روز رشد پیدا می‌کنند و سپس نابود می‌شوند. این مناطق تخلیه شدید ازن را نیومن و همکاران (۱۹۸۸) حفره‌های کوچک ازنی ozone mini-holes نامیده‌اند. این حفره‌های ازنی با فرارفت افقی توده هوای کم ازن از مناطق حاره‌ای به مناطق برون حاره‌ای و صعود و ردايست؛ که باعث واگرایی هوای پُر ازن پو شن سپهری از ستون هوا می‌شود، تشکیل می‌شوند (جیمز و همکاران، ۱۹۹۷).

در مناطق حاره‌ای و عرض‌های میانی، مناطق پُر ازن با مقیاس همدیدی در ارتباط مستقیم با سامانه‌های هواشناسی مقیاس همدیدی هستند. این مناطق پُر ازن در اثر فرارفت توده هوای پُر ازن از عرض‌های بالاتر به عرض‌های پایین‌تر و پایین آمدن و ردايست روی ناوه مقیاس همدیدی تشکیل می‌شوند. این مناطق پُر ازن طی چند روز رشد می‌کنند و سپس نابود می‌شوند (ساتامورتی، ۱۹۹۹).

از سال‌ها قبل ارتباط قوی بین فعالیت پیچکی (eddy) ورد سپهری و ازن کلی آشکار شده است. افت‌وخیزهای مقیاس همدیدی ازن حاصل از آشفتگی‌های کثرفشار وردسپهر، در اثر رخدادهای گرادیان‌های نصف‌النهاری بزرگ مقیاس دما به‌ویژه طی فصل زمستان بسط و توسعه می‌یابند (ویگلبارلو و همکاران، ۱۹۹۹). پتزولت (۱۹۹۹) نقش عوامل دینامیکی را در ایجاد بی‌هنجاری‌های ازن کلی نسبت به میانگین بلندمدت، مورد بررسی قرار داده است. او نشان داده که در عرض جغرافیایی حدود ۶۰ درجه شمالی، بی‌هنجاری‌های بزرگ میانگین ماهانه ازن به بی‌هنجاری‌های بزرگ میانگین ماهانه ارتفاع سطح hPa ۳۰۰ مربوط می‌شوند.

ویگلبارلو و همکاران (۱۹۹۹) در مورد تغییرات ازن و ارتباط آن با فعالیت امواج مقیاس همدیدی زمستانی طی

زمستان پرندهای میانگین ماهانه ازن کلی تقریباً با جهت باد سطح ۲۰۰ hPa موازی هستند.

اکی‌می (۲۰۱۰) ضریب تغییرات نسبی سالانه ازن کلی و همبستگی این تغییرات با عرض جغرافیایی را برای دوره سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۲ در منطقه حاره‌ای غرب آفریقا بررسی کرده است. آنتون و همکاران (۲۰۱۱) تغییرات مکانی و زمانی ازن کلی در کشور پرتقال را برای دوره سال‌های ۱۹۷۸-۲۰۰۵ بررسی کرده‌اند. پی پینگ و همکاران (۲۰۱۲) ویژگی‌های تبادل ازن بین پو شن سپهر و وردسپهر را بررسی کرده‌اند.

در تحقیقی که در مورد تأثیر عوامل همدیدی بر نوسانات روزانه ازن کلی پایگاه اصفهان صورت گرفت روشن شد که در ۵۹٪ موارد مطالعه شده سال ۱۹۹۷، افزایش ارتفاع وردایست موجب کاهش ازن و برعکس است (سبزی‌پور و لبافی میرقوامی، ۱۳۸۱). شرعی‌پور (۱۳۹۰) نیز نشان داده که در منطقه خاورمیانه همبستگی منفی بین ازن کلی و ارتفاع ژئوپتانسیلی وردسپهر بالایی قوی‌تر از وردسپهر میانی و پو شن سپهر است. همین‌طور در ایستگاه ازن سنجی اصفهان، همبستگی تابش UV-B سطح زمین با عوامل مؤثر ازن کلی و ابرناکی بررسی شده است و روابطی بین آنها به‌دست آمده است (شرعی‌پور و علی‌اکبری بیدختی، ۱۳۹۰). در تحقیقی دیگر که رابطه توزیع قائم ازن و دما در ایستگاه ازن سنجی اصفهان در آن تحقیق شد، بیشینه‌های اصلی و ثانویه ازن را مورد بررسی قرار داده‌اند (شرعی‌پور، ۱۳۹۱).

در تحقیق حاضر، تغییرات ازن کلی در ارتباط با فعالیت امواج مقیاس همدیدی زمستانی در منطقه ایران و تأثیر ناوه و پشته وردسپهر بالایی بر افزایش و کاهش ازن کلی جو مورد بررسی قرار گرفته است. میزان تغییرات روزبه‌روز ازن در اثر این امواج و گسترش مکانی آن مورد توجه قرار گرفته و در خصوص ویژگی‌های ناوه‌های مؤثر بر تغییرات ازن بحث شده است. همچنین ارتباط جریان

جی جو بالا با موقعیت این تغییرات ازن بررسی شده است.

۲ مواد و روش‌ها

در این تحقیق از داده‌های شبکه جهانی ازن ماهواره‌ای OMI (Ozone Monitoring Instrument) OMI، دستگاه ازن‌سنجی (وابسته به پایگاه TOMS) در محدوده منطقه ایران استفاده شده است. فاصله شبکه‌ای نقاط داده در دو راستای طول و عرض جغرافیایی، یک درجه است. نقشه‌های همدیدی نیز از مرکز داده‌ای پایگاه NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)، پایگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوئی امریکا تهیه شده است.

منطقه ایران در نوار عرض جغرافیایی ۲۵/۰۵ - ۳۹/۷۸ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴/۰۸ - ۶۳/۳۰ درجه شرقی قرار دارد.

داده‌های ازن کلی زمینی نیز مربوط به اندازه‌گیری‌های صورت گرفته با دستگاه دابسون در ایستگاه ازن‌سنجی مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران است. مشخصات جغرافیایی ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک عبارت‌اند از عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه، طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه و ارتفاع ۱۴۱۹ متر. بازه زمانی تحقیق دوره سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ است. این مجموعه شامل نقشه‌های ازن کلی ماهواره‌ای در منطقه ایران است. براساس تغییرات بیش از حد بیشینه ازن کلی روزبه‌روز (بیشتر از ۶۰ DU) الگوهای بزرگ‌مقیاس همدیدی مربوط به آنها انتخاب می‌شود و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳ نتایج

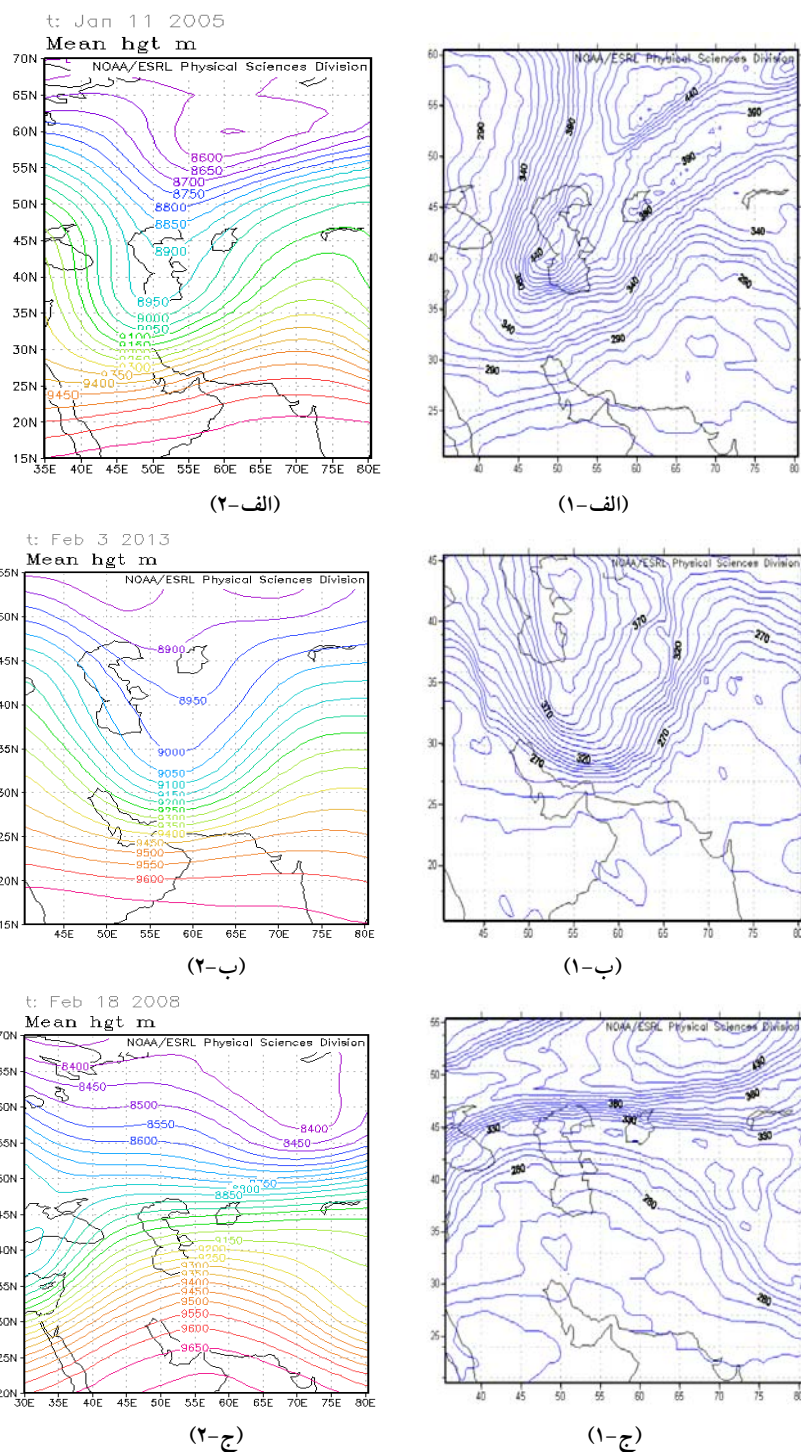
به‌منظور بررسی ارتباط بین میدان‌های ازن کلی و پارامترهای هواشناسی، تغییرات ازن کلی در ارتباط با فعالیت امواج مقیاس همدیدی زمستانی در منطقه ایران طی سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۳ مورد بررسی قرار گرفت. از آنجاکه

بیشترین همبستگی‌ها بین ازن و پارامترهای هواشناسی برای عرض‌های میانی معمولاً در سطح ۳۰۰ hPa وجود دارد، این مقایسه‌ها برای این سطح صورت گرفت. مقایسه میدان‌های متغیرهای هواشناسی و ازن کلی، ارتباط مشخصی بین ناوه (پشته) با بیشینه (کمینه) میدان‌های ازنی نشان می‌دهد. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که ناوه‌ها و پشته‌های عمیق که شامل پریشیدگی‌های شدید روزانه مؤلفه نصف‌النهاری باد (v) و همچنین مؤلفه قائم باد (omega) هستند، باعث پریشیدگی‌های شدید روزانه ازنی می‌شوند. مقایسه الگوهای ازنی و ناوه‌ها و پشته‌های عمیق نشان می‌دهد که بر اثر امواج بر اساس ارتفاع ژئوپتانسیلی، امواج ازنی به نسبت مشابهی تشکیل می‌شود. این تشابه در شکل ۳ برای دو ناوه (در روزهای ۱۱ ژانویه ۲۰۰۵ و ۳ فوریه ۲۰۱۳) و یک پشته (در روز ۱۸ فوریه ۲۰۰۸) نشان داده شده است.

گردش‌های بروئر - دابسون نقش اساسی در انتقال نصف‌النهاری ازن از پوشش سپهر مناطق استوایی به مناطق عرض‌های میانی و بالا دارد. همان‌طور که در بخش ۱ توضیح داده شد، در منطقه نوار شکست امواج راسبی، مقداری از هوای پُر ازن به ورد سپهر فوقانی عرض‌های بالا منتقل می‌شود. بنابراین با افزایش عرض جغرافیایی مقدار ازن افزایش می‌یابد. در حضور ناوه‌ها فرارفت افقی توده هوای پُر ازن از عرض‌های بالاتر به عرض‌های پایین‌تر، شار منفی پیچکی نصف‌النهاری ازن ($\overline{v'c'} < 0$)، باعث افزایش ازن می‌شود. علاوه بر این، فرارفت‌های قائم نیز در توزیع ازن کلی مؤثرند. معمولاً جریان نزولی هوا در پشت محور ناوه‌ها و جریان صعودی در پشت محور پشته‌ها مشاهده می‌شوند. هوا در پشت سامانه واچرخندی در راستای قائم به سوی بالا همراه با صعود سطوح ثابت ازنی، فرارفت می‌یابد. از آنجا که ازن با ارتفاع افزایش می‌یابد، این جریان‌های صعودی باعث کاهش ازن داخل بسته‌های هوا می‌شوند. حرکت بالاسو باعث انتقال هوای با نسبت

آمیختگی کم ازن به ارتفاعات بالاتر می‌شود. در نوک قله پشته، سرعت‌های قائم کاهش می‌یابند و بسته‌های هوا بیشینه ارتفاع قائم را تحمل می‌کنند بنابراین، کمینه ازن رخ می‌دهد و در مورد ناوه هم به همان صورت جریان‌های نزولی همراه با آن باعث افزایش ازن می‌شوند و حرکت پایین‌سو باعث انتقال هوای با نسبت آمیختگی بالای ازن به ارتفاعات پایین‌تر می‌شود (ویگل‌یارلو و همکاران، ۱۹۹۹).

برای بررسی تأثیر کمی افزایشی و کاهش ازن در اثر ناوه‌ها و پشته‌ها نقشه‌های پربندهای تغییرات روزانه ازن در روز حضور ناوه و پشته در منطقه ایران نسبت به روز قبل رسم شد و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این مقایسه‌ها نشان داد که ناوه‌ها و پشته‌های با سرعت زیاد نصف‌النهاری که از نظر گستردگی محور، موقعیت جغرافیایی و شکل در منطقه ایران مشابه‌اند، دارای تغییر روزانه ازنی تقریباً یکسانی هستند. بر این اساس، نقشه‌های ناوه‌ها و پشته‌های به دست آمده گروه‌بندی شد و از هر گروه، نمونه‌ای به منزله الگو انتخاب شد. به عبارت دیگر، در مرحله اول، ناوه‌ها و پشته‌هایی در نظر گرفته شدند که باعث تغییرات روزانه ازنی زیادی بودند. بنابراین ناوه‌ها و پشته‌های با تغییرات روزانه ازن کم، در این الگوها جای نداشتند. بررسی این امواج همدیدی نشان داد که آنها دارای سرعت‌های زیاد نصف‌النهاری (v) هستند. سپس این نمونه‌ها بررسی و مقایسه شدند و نتایج این بررسی‌ها نشان داد که هرچه امواج در منطقه ایران در عرض‌های جغرافیایی بالاتر تشکیل شوند، میزان تغییرات ازنی حاصل شده از آنها نسبت به امواجی که در عرض‌های پایین‌تر منطقه ایران تشکیل می‌شوند، بیشتر است. همچنین مشخص شد که نوع ظاهری شکل امواج نیز تا حدی در میزان تغییرات ازنی مؤثر است. در این مرحله گروه بندی نمونه‌های امواج صورت گرفت.



شکل ۳. مقایسه الگوهای میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیلی (برحسب واحد gpm) ناهها و پشته‌های سطح ۳۰۰ hPa با الگوهای میانگین روزانه ازن کلی ماهواره‌ای در منطقه ایران در روزهای (الف) ۱۱ ژانویه ۲۰۰۵، (ب) ۳ فوریه ۲۰۱۳، (ج) ۱۸ فوریه ۲۰۰۸. بازه پرندهای ازن در نقشه‌ها ۱۰ DU است. محورهای افقی و قائم نقشه‌ها به ترتیب نشان‌دهنده طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی (برحسب درجه) هستند.

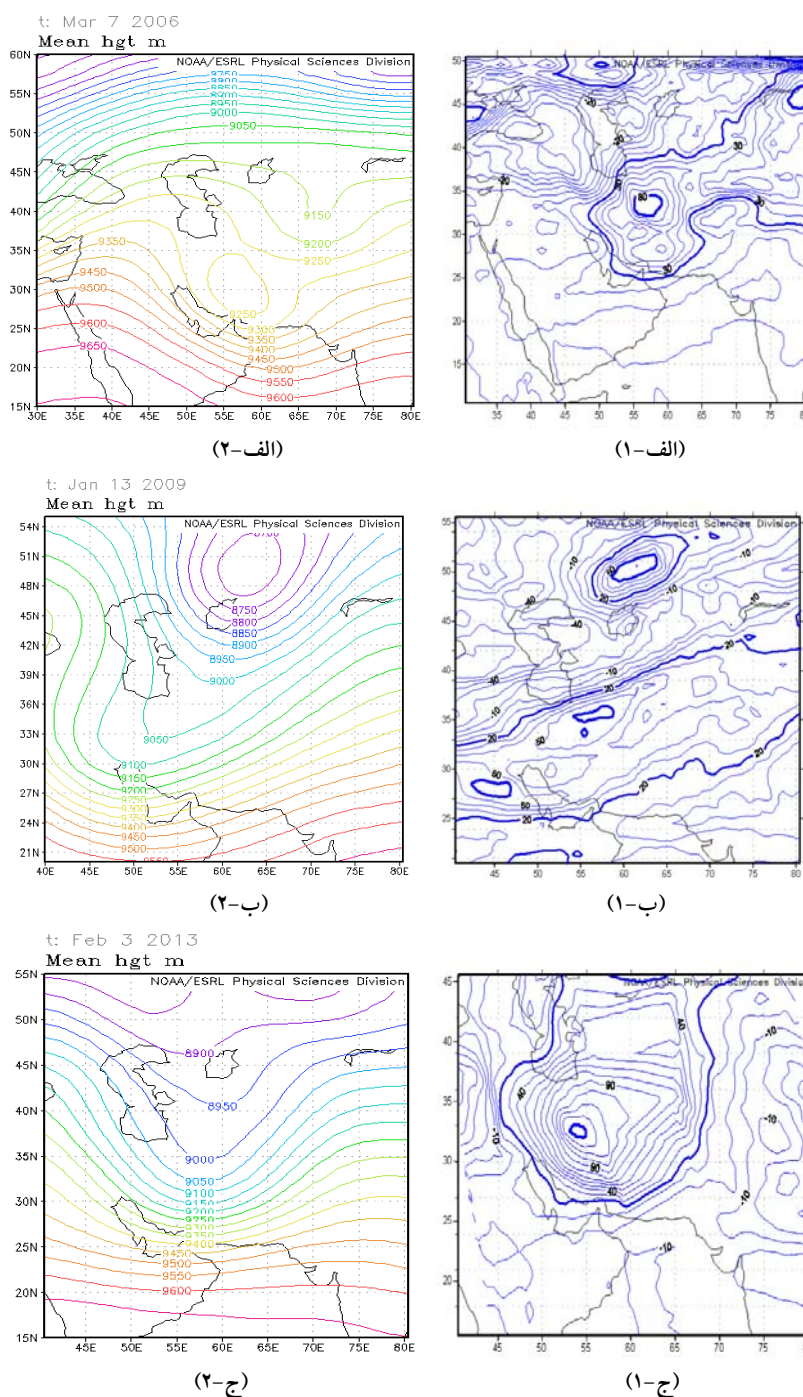
افزایش ازن معمولاً در محدوده بالای محور ناوه تشکیل می شود. به نظر می رسد که در بیشتر موارد، منطقه افزایش روزانه ازن بر اثر ناوه‌ها مانند نواری شامل منطقه ایران است که به سمت شمال شرق منحرف شده است. به نظر می رسد که این ساختار از ساختارهای پیچکی بزرگ مقیاس که در نتیجه تکامل اغتشاش‌های کُرفشار ایجاد شده‌اند و در حالت نهایی خود هستند، تبعیت می کنند (علی اکبری بیدختی، ۱۳۷۵). در الگوهای به دست آمده، جهت محور ناوه‌ها متفاوت و از جمله نصف‌النهاری، شمال غربی- جنوب شرقی و شمال شرقی- جنوب غربی است. در برخی از الگوها، در عرض‌های بالاتر از ناوه‌ای که در منطقه ایران تشکیل شده، نیز مرکز کم ارتفاعی گسترده شده و متناظر با آن مرکز بیشینه ازن نیز در آن محدوده مشاهده می شود و به عبارت دیگر دو مرکز بیشینه ازن در نقشه وجود دارد.

بررسی نقشه‌های هم‌مقدار ازن روزانه نشان می دهد که گرادیان شدید ازنی نزدیک محور ناوه مشاهده می شود. برای هر یک از الگوهای ناوه، در منطقه گرادیان شدید ازنی، گرادیان نصف‌النهاری ازن یا تغییر ازن بر هر درجه عرض جغرافیایی محاسبه شد (جدول ۱). نتیجه این محاسبات نشان داد که در ناوه‌هایی که باعث افزایش روزانه ازنی بیشتری شده‌اند، مقدار این گرادیان بیش از ۳۰ DU بر هر عرض جغرافیایی بوده است.

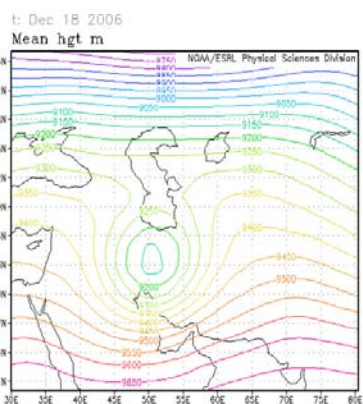
پس از روی هم انداختن نقشه‌های هم‌مقدار ازن کلی و هم‌مقدار ارتفاع ژئوپتانسیلی سطح ۳۰۰ hPa، مقدار این افزایش ازنی بر کاهش ارتفاع ژئوپتانسیلی سطح ۳۰۰ hPa در منطقه گرادیان شدید ازنی، روی محور ناوه و در راستای نصف‌النهاری برای هر یک از الگوها محاسبه شد (جدول ۱). این مقدار برای الگوهای گوناگون بین ۰/۲ DU/gpm تا ۰/۸ و به طور متوسط ۰/۵ DU/gpm به دست آمده است.

شکل ۴ الگوهای ناوه (۶ الگو) و شکل ۵ الگوهای پشته (۳ الگو) به دست آمده را نشان می دهد. به بیانی دیگر، شکل ۴ مقایسه الگوهای ناوه‌ها و افزایش روزانه ازن متناظر ناشی از آن و شکل ۵ مقایسه الگوهای پشته‌ها و کاهش روزانه ازن متناظر ناشی از آن را در منطقه ایران نشان می دهد. در شکل ۴ محدوده افزایش بیش از ۲۰ DU با خطوط ضخیم مشخص شده است. بررسی این نقشه‌ها نشان می دهد که ناوه‌ها و پشته‌های عمیق زمستانی که در منطقه ایران حضور می یابند، اغلب می توانند باعث به ترتیب، افزایش‌ها و کاهش‌های روزبه‌روز ازنی در کل منطقه ایران شوند. در هر یک از نقشه‌ها پربند بیشینه افزایش یا کاهش ازنی مشخص شد و موقعیت پربند بیشینه از لحاظ مقداری و مکانی مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۱ ویژگی‌های الگوهای ناوه‌ها و افزایش ازن ناشی از آن در منطقه ایران را نشان می دهد. نتایج این بررسی‌ها روشن می سازد که در زمستان از نظر کمی، افزایش روزبه‌روز ازن در اثر ناوه ممکن است تا مقدار ۱۴۰ و کاهش روزبه‌روز ازن در اثر پشته ممکن است تا مقدار ۷۵ DU در منطقه ایران برسد. برای نمونه، کاهش ازنی مربوط به پشته روز ۱۸ فوریه ۲۰۰۸ در ایستگاه ازن سنجی مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران نیز با دستگاه دابسون مشاهده شده است. شکل ۶ مقایسه داده‌های ازن اندازه‌گیری شده زمینی و ماهواره‌ای را در ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک طی ماه فوریه نشان می دهد.

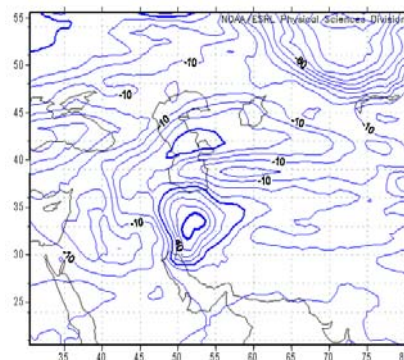
مقایسه مقادیر بیشینه افزایش روز به روز ازن در الگوهای گوناگون نشان می دهد که معمولاً بیشترین افزایش ازن در ناوه‌هایی رخ می دهد که دامنه آنها از عرض‌های جنوبی منطقه تا ساحل دریای خزر گسترده شده است. به بیانی دیگر، ناوه به عرض‌های بالای جغرافیایی که شامل هوای پُر ازن است، گسترده شده است. بررسی این نقشه‌ها نشان می دهد که موقعیت مکانی مرکز بیشینه



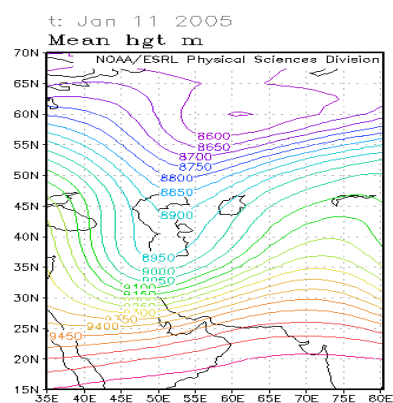
شکل ۴. مقایسه الگوهای میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیلی (برحسب واحد gpm) ناهای سطح ۳۰۰ hPa (سمت چپ) با الگوهای متناظر تغییر روزانه ازن کلی ماهواره‌ای (سمت راست) در منطقه ایران در روزهای (الف) ۷ مارس ۲۰۰۶، (ب) ۱۳ ژانویه ۲۰۰۹، (ج) ۳ فوریه ۲۰۱۳، (د) ۱۸ دسامبر ۲۰۰۶، (ه) ۱۱ ژانویه ۲۰۰۵، (و) ۴ فوریه ۲۰۰۹. بازه پهندهای ازن در نقشه (ه-۱) ۲۰ DU و در سایر نقشه‌ها ۱۰ DU است. پهندهای افزایش ۲۰ DU ازن و مرکز بیشینه افزایش ازن با خطوط ضخیم نشان داده شده است. محورهای افقی و قائم نقشه‌ها به ترتیب نشان‌دهنده طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی (برحسب درجه) هستند.



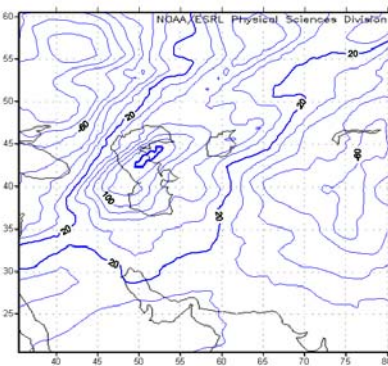
(۲-د)



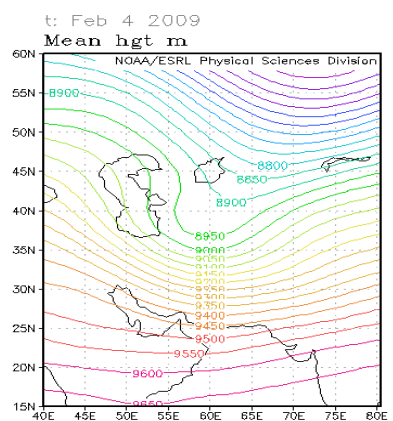
(۱-د)



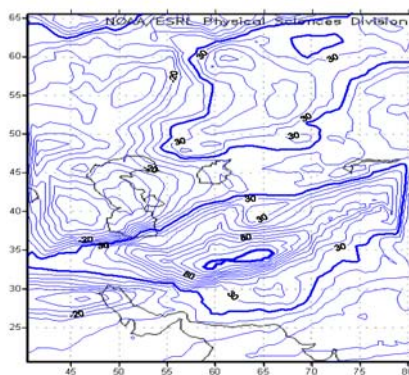
(۲-ه)



(۱-ه)

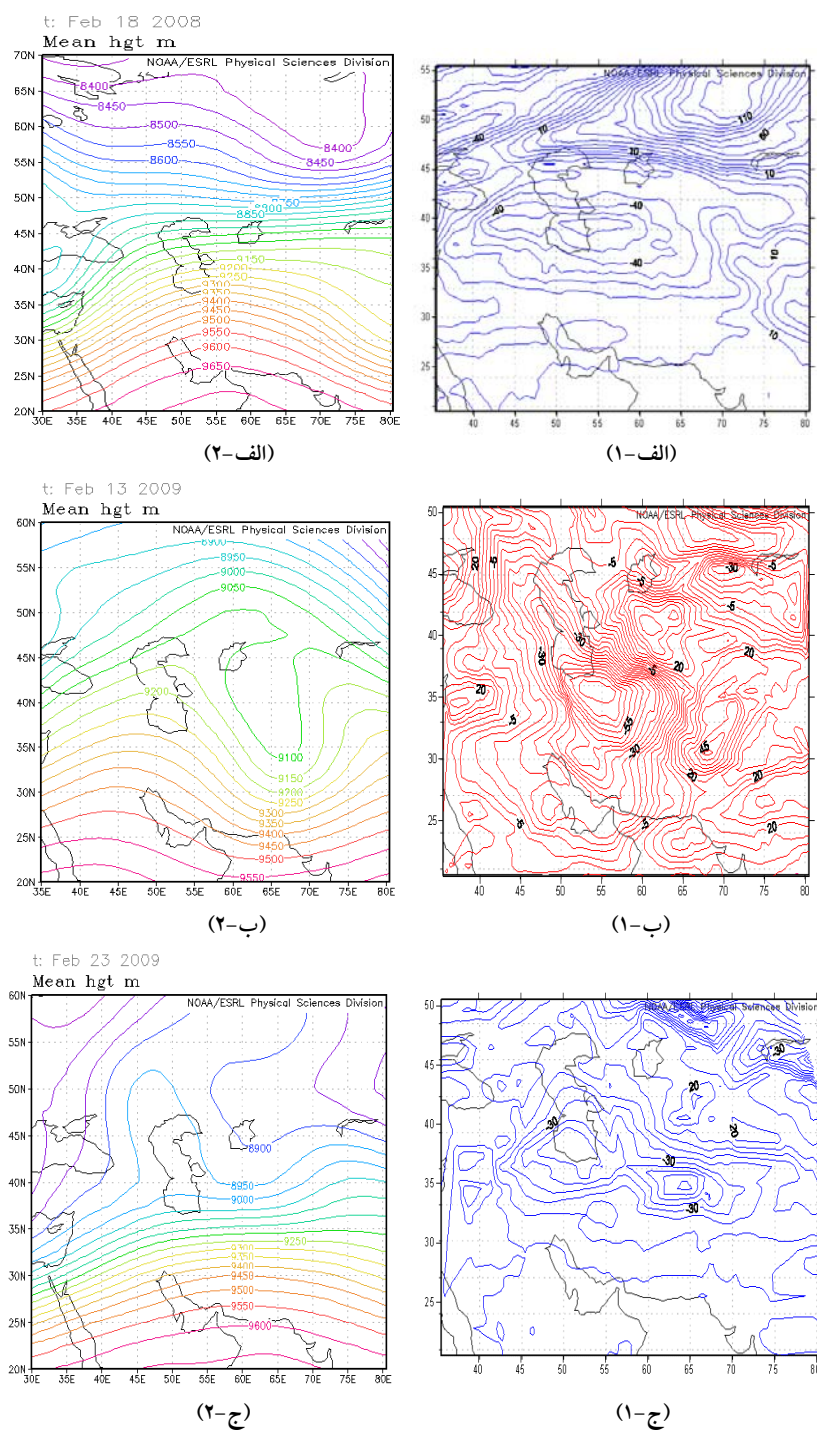


(۲-و)



(۱-و)

ادامه شکل ۴.



شکل ۵. مقایسه الگوهای میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیلی (برحسب واحد gpm) پشته‌های سطح ۳۰۰ hPa با الگوهای مناظر تغییر روزانه ازن کلی ماهواره‌ای در منطقه ایران در روزهای (الف) ۱۸ فوریه ۲۰۰۸، (ب) ۱۳ فوریه ۲۰۰۹، (ج) ۲۳ فوریه ۲۰۰۹. بازه پهندهای ازن در نقشه (ب-۱) ۵ DU و در سایر نقشه‌ها ۱۰ DU است. محورهای افقی و قائم نقشه‌ها به ترتیب نشان‌دهنده طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی (برحسب درجه) هستند.

ازن معمولاً در محدوده عرض‌های ۳۰-۳۵ درجه شمالی و ۵۰-۶۰ درجه شرقی رخ می‌دهد. برای نمونه استان یزد یکی از مناطق این بیشینه‌های ازنی است. در نمونه‌هایی از حضور پشته در منطقه ایران نیز مراکز کمینه ازنی در استان سمنان و دریای خزر تشکیل شده است (شکل ۵). مقایسه نقشه‌های هم‌مقدار ازن و افزایش ازن برای این الگوها نشان می‌دهد که مراکز بیشینه افزایش روزانه ازن بر اثر ناوه‌ها یا در محدوده بیشینه ازن و یا در نزدیکی محل گرادیان‌های شدید ازنی تشکیل می‌شود.

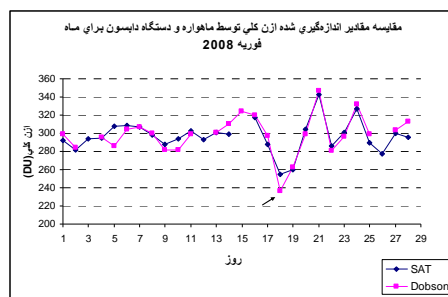
مقایسه نقشه‌های هم‌مقدار ازن و جریان جتی باد سطح ۳۰۰ hPa برای الگوهای ناوه نشان می‌دهد که بیشینه ازنی معمولاً در مناطق سرعت‌های کم جت‌ها تشکیل می‌شود. به عبارت دیگر، در این مناطق، فرارفت مداری کاهش می‌یابد و در عوض، فرارفت نصف‌النهاری از عرض‌های بالا و فرارفت قائم از ارتفاعات بالا افزایش می‌یابد. این مقایسه نمونه‌وار، برای الگوی ناوه روز ۱۳ ژانویه ۲۰۰۹ در شکل ۷ نشان داده شده است.

بررسی و مقایسه الگوهای ناوه و تغییر ازن به دست آمده از نظر نقشه‌های میانگین روزانه سرعت باد نصف‌النهاری (v) سطح ۳۰۰ hPa نشان می‌دهد که سرعت بیشینه مؤلفه نصف‌النهاری باد در پشت محور این ناوه‌ها از ۲۷ m/s تا ۳۵ در تغییر است (جدول ۱). همچنین بررسی این الگوها از نظر نقشه‌های میانگین روزانه سرعت قائم باد (omega) در سطح ۳۰۰ hPa الگوها نشان می‌دهد که این ناوه‌ها همراه با نزول‌های قوی هوا هستند و بیشینه سرعت نزولی هوا در پشت محور ناوه از ۰/۱۷ Pa/s تا ۰/۳۵ در تغییر است (جدول ۱). برای نمونه، برای الگوی ناوه روز ۱۳ ژانویه ۲۰۰۹، نقشه‌های سرعت باد نصف‌النهاری و سرعت قائم سطح ۳۰۰ hPa در شکل ۷ نشان داده شده است. سرعت ناوه‌ها با استفاده از جابه‌جایی محور آنها در راستای طول جغرافیایی در طی بازه زمانی (۲۴ ساعت) محاسبه شد و در بیشتر موارد، بالاترین سرعت روزانه ناوه‌ها ۱۰-۱۲ m/s بوده است (جدول ۱).

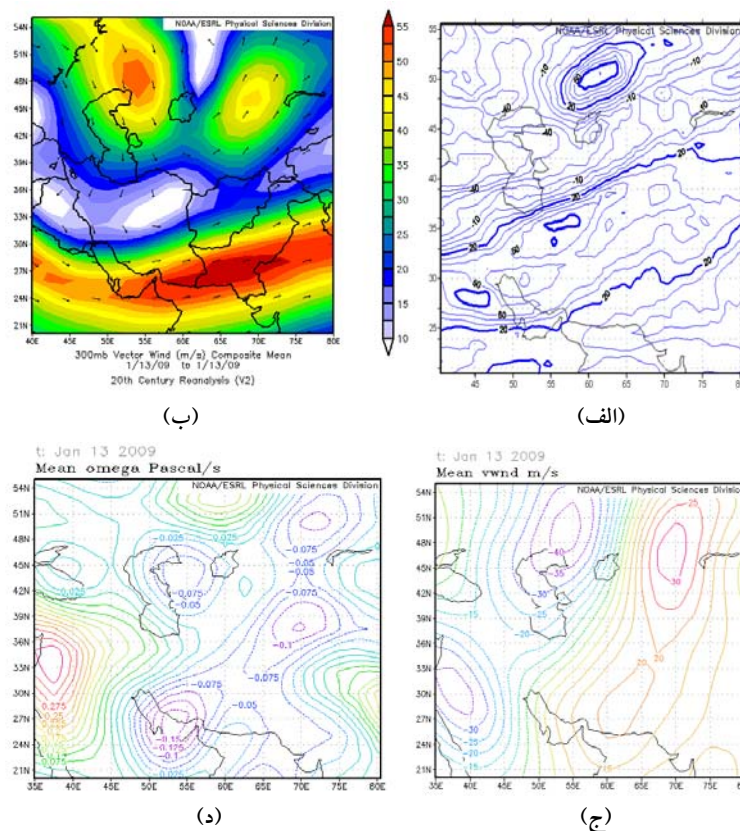
بررسی نقشه‌های افزایش روزانه ازن بر اثر حضور ناوه‌ها نشان می‌دهد که موقعیت مکانی مرکز بیشینه افزایش

جدول ۱. ویژگی‌های الگوهای ناوه مؤثر بر افزایش ازن کلی در منطقه ایران.

موقعیت بیشینه افزایش روزانه ازن	طول عمر ناوه (روز)	بالاترین سرعت روزانه ناوه (m/s)	گرادیان نصف‌النهاری ازن (DU/degree)	گرادیان ازن به ارتفاع ژئوپتانسیلی $\Delta O_3 / \Delta H$ (DU/gpm)	بیشینه سرعت نصف‌النهاری V (m/s)	بیشینه سرعت نزولی Omega (Pa/s)	درصد بیشینه روزانه افزایش ازن (%)	بیشینه روزانه افزایش ازن (DU)	تاریخ
دریای خزر	۴	۱۰/۸	۳۲	۰/۸	-۲۷/۵	۰/۱۷	۴۵	۱۴۰	۱۱ ژانویه ۲۰۰۵
یزد	۵	۱۱/۸	۲۴	۰/۶	-۳۷/۵	۰/۳	۲۷	۸۰	۷ مارس ۲۰۰۶
اصفهان	۶	۱۱/۳	۱۵	۰/۲	-۲۷/۵	۰/۳۵	۲۲	۶۰	۱۸ دسامبر ۲۰۰۶
سمنان	۷	۳/۹	۲۴	۰/۴	-۳۵	۰/۳۲	۱۹	۶۰	۱۳ ژانویه ۲۰۰۹
خراسان جنوبی	۴	۱۰/۸	۳۰	۰/۵	-۲۷/۵	۰/۲	۴۹	۱۲۰	۴ فوریه ۲۰۰۹
یزد	۵	۱۱/۱	۳۳	۰/۵	-۳۵	۰/۳	۵۱	۱۳۰	۳ فوریه ۲۰۱۳



شکل ۶. مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده با دستگاه ازن‌سنج دابسون و ماهواره در ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران طی فوریه ۲۰۰۸. کاهش ازنی در اثر پشته در روز ۱۸ فوریه با پیکان مشخص شده است.



شکل ۷. مقایسه نقشه‌های (الف) افزایش ازن روزانه، (ب) جریان جتی باد سطح ۳۰۰ hPa و مقیاس سرعت برحسب m/s است، (ج) باد نصف‌النهاری سطح ۳۰۰ hPa و (د) سرعت قائم سطح ۳۰۰ hPa، بر اثر ناوه روز ۱۳ ژانویه ۲۰۰۹.

۴ نتیجه‌گیری

طی سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۳ مورد بررسی قرار گرفت. به عبارت دیگر، پریشیدگی‌های ازن کلی ایجاد شده با امواج وردسپهر بالایی و رخداد گرادیان‌های نصف‌النهاری بزرگ مقیاس دما طی فصل زمستان محاسبه و از نظر مقدار

در این تحقیق، به منظور بررسی ارتباط بین میدان‌های ازن کلی و پارامترهای هواشناسی، تغییرات ازن کلی در ارتباط با فعالیت امواج مقیاس همدیدی زمستانی در منطقه ایران

و وسعت مقایسه شد.

نتایج این بررسی‌ها نشان داد که حضور ناوه‌ها و پشته‌های وردسپهر بالایی زمستانی در منطقه می‌تواند باعث افزایش و کاهش مقدار روزانه ازن کلی در منطقه شود و ناوه‌ها و پشته‌های عمیق که شامل پریشیدگی‌های شدید روزانه مؤلفه نصف‌النهاری باد (۷) و همچنین مؤلفه قائم باد (omega) هستند، باعث پریشیدگی‌های شدید روزانه ازنی می‌شوند. از بررسی این امواج مؤثر بر ازن، نمونه‌هایی از ناوه (۶ الگو) و پشته (۳ الگو) در سطح ۳۰۰ hPa به دست آمده است.

نتایج بررسی نقشه‌های افزایش روزانه ازن نشان می‌دهد که در زمستان از نظر کمی، افزایش روزبه‌روز ازن در اثر ناوه ممکن است تا مقدار ۱۴۰ DU و کاهش روزبه‌روز ازن در اثر پشته ممکن است تا مقدار ۷۵ DU در منطقه ایران برسد. مقایسه مقادیر بیشینه افزایش روزبه‌روز ازن در الگوهای گوناگون نشان می‌دهد که معمولاً بیشترین افزایش ازن در ناوه‌هایی رخ می‌دهد که دامنه آنها از عرض‌های جنوبی منطقه تا ساحل دریای خزر گسترده شده است.

بررسی این نقشه‌ها نشان می‌دهد که موقعیت مکانی مرکز بیشینه افزایش و کاهش ازن معمولاً در محدوده بالای محور ناوه و پشته تشکیل می‌شود. در بیشتر موارد، منطقه افزایش روزانه ازن بر اثر ناوه‌ها مانند نواری شامل منطقه ایران است که به سمت شمال شرق منحرف شده است. به نظر می‌رسد که این ساختار از ساختارهای پیچکی بزرگ مقیاس که در نتیجه تکامل اغتشاش‌های کُرفشار ایجاد شده‌اند و در حالت نهایی خود هستند، تبعیت می‌کند.

نقشه‌های هم‌مقدار ازن روزانه نشان می‌دهد که گرادیان شدید ازنی نزدیک محور ناوه مشاهده می‌شود. برای هر یک از الگوهای ناوه، در منطقه گرادیان شدید ازنی، گرادیان نصف‌النهاری ازن یا تغییر ازن بر هر درجه

عرض جغرافیایی محاسبه شد (مطابق جدول ۱). نتیجه این محاسبات نشان داد که در ناوه‌هایی که باعث افزایش روزانه ازنی بیشتری شده‌اند، مقدار این گرادیان بیش از ۳۰ DU بر هر عرض جغرافیایی بوده است.

لازم به ذکر است که در پوشش سپهر، گردش معروف بروئر-دابسون باعث انتقال ازن از مناطق استوایی به عرض‌های بالا می‌شود و در نتیجه فرایندهای همراه با شکست امواج راسبی (در مرز تاوه پوشش سپهر قطبی، معروف به نوار شکست موج، مکینتایر و پالمر، ۱۹۸۴)) مقداری از این هوای پُر ازن را به وردسپهر فوقانی منتقل می‌کند. سپس فرارفت افقی همراه با ناوه‌های عمیق این هوای پُر ازن را به مناطق عرض‌های پایین می‌آورد و همان‌طور که در نتایج آمده، باعث افزایش شدید ازن می‌شود.

در مناطق گرادیان شدید ازنی در محدوده محور ناوه و در راستای نصف‌النهاری، مقدار افزایش ازن بر کاهش ارتفاع ژئوپتانسیلی برای الگوهای گوناگون بین ۰/۲ تا ۰/۸ و به طور متوسط ۰/۵ DU/gpm است. در الگوهای ناوه‌های عمیق مؤثر بر تغییرات افزایشی ازن، بیشینه سرعت نصف‌النهاری باد سطح ۳۰۰ hPa، از ۳۷ تا ۲۷ در تغییر است و بیشینه سرعت نزولی هوای سطح ۳۰۰ hPa از ۰/۱۷ Pa/s تا ۰/۳۵ در تغییر است. در این الگوها معمولاً بالاترین سرعت روزانه ناوه ۱۲-۱۰ m/s بوده است.

بررسی نقشه‌های افزایش روزانه ازن بر اثر حضور ناوه‌ها نشان می‌دهد که موقعیت مکانی مرکز بیشینه افزایش ازن معمولاً در محدوده عرض‌های ۳۰-۳۵ درجه شمالی و ۵۰-۶۰ درجه شرقی رخ می‌دهد. مقایسه نقشه‌های هم‌مقدار ازن و افزایش ازن برای این الگوها روشن می‌سازد که مراکز بیشینه افزایش روزانه ازن بر اثر ناوه‌ها یا در محدوده بیشینه ازن و یا در نزدیکی محل گرادیان‌های شدید ازنی تشکیل می‌شود. مقایسه نقشه‌های هم‌مقدار ازن و جریان

- Portugal, Remote Sensing of Environment, **115**, 855-863 .
- Begum, D. A., 1993, Climatological study of the total ozone field around the subtropical jet stream, *International J. of Climatology*, **13**, 915-921.
- Brasseur, G. P. and Solomon, S., 2005, *Aeronomy of the middle atmosphere (Chemistry and Physics of the stratosphere and mesosphere)*, Published by Springer, 637.
- James, P. M., Peters, D. and Greisiger, K. M., 1997, A study of ozone mini-hole formation using a tracer advection model driven by barotropic dynamics, *Meteorol. Atmos. Phys.*, **64**, 107-121.
- Mcintyre, M. E. and Palmer, T. N., 1984, The surf zone in the stratosphere, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, **46**, 825-849.
- Newman, P. A., Lait, L. R. and Schoeberl, M. R., 1988, The morphology and meteorology of southern hemisphere spring total ozone mini-holes, *Geophys. Res. Lett.*, **15**, 923-926.
- Petzoldt, K., 1999, The role of dynamics in total ozone deviations from their long-term mean over the northern hemisphere, *Ann. Geophysicae*, **17**, 231-241.
- Reed, R. J., 1950, The role of vertical motions in ozone weather relationships, *J. Meteorol.*, **7**, 263-267.
- Rondanelli, R., Gallardo, L. and Garreaud, R. D., 2002, Rapid changes in ozone mixing ratios at Cerro Tololo (30° 10'S, 70° 48'W, 2200 m) in connection with cutoff lows and deep troughs, *J. Geophys. Res.*, **107**(0), XXXX, doi:10.1029/2001JD001334.
- Sathiyamoorthy, V., 1999, *Stratosphere troposphere interactions associated with the dynamical processes in the atmosphere*, Ph.D, Cochín University of Science and Technology.
- Vigliarolo, P. K., Vera, C. S. and Diaz, S. B., 1999, Winter ozone fluctuations related with synoptic-scale waves over South America, *Sixth International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography*, 3-7 April.
- World Meteorological Organization (WMO), 1999, *Scientific assessment of ozone depletion*, 1998, *Global Ozone Research and Monitoring Project- Report No. 44*, Geneva.
- Yiping, D., Quanliang, C. and Lingxiao, W., 2012, Characteristics of the ozone exchange between the troposphere and the stratosphere, *Procedia Environmental Sciences*, **12**, 537- 542.
- جتی باد سطح ۳۰۰ hPa برای الگوهای ناوه نشان می دهد که بیشینه ازنی معمولاً در مناطق سرعت های پایین جت ها تشکیل می شود. به عبارت دیگر، در این مناطق، فرارفت مداری کاهش می یابد و در عوض، فرارفت نصف النهاری از عرض های بالا و فرارفت قائم از ارتفاعات بالا افزایش پیدا می کند.
- لازم به ذکر است که تحقیق حاضر بیشتر از دید میدانی با توجه به الگوهای همدیدی اثر گذار بر ازن کلی صورت گرفته است و به یک تحقیق دینامیکی در ارتباط با انتقال قائم و نصف النهاری ازن در این منطقه نیاز است.
- ### مراجع
- سبزی پور، ع.، ا. و لبافی میرقوامی، م.، ۱۳۸۱، تاثیر عوامل همدیدی بر نوسان های روزانه ازن کلی پایگاه اصفهان، م. فیزیک زمین و فضا، **۲۸**(۱)، ۱۳-۱۹.
- شرعی پور، ز. و علی اکبری بیدختی، ع.، ۱۳۹۰، اثرات عوامل ابرناکی و ازن کلی بر تابش فرابنفش خورشیدی UV-B در منطقه اصفهان، م. ژئوفیزیک ایران، **۵**(۴)، ۷۴-۸۸.
- شرعی پور، ز.، ۱۳۹۰، بررسی همبستگی ازن کلی با پارامترهای هوا شناختی جو بالا در منطقه خاورمیانه، م. فیزیک زمین و فضا، **۳۷**(۱)، ۲۱۵-۲۲۸.
- شرعی پور، ز.، ۱۳۹۱، توزیع قائم ازن و دما در ایستگاه اصفهان، پانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ۲۶-۲۸ اردیبهشت.
- علی اکبری بیدختی، ع.، ۱۳۷۵، ساختار تلاطم در شارهای چرخان، م. فیزیک زمین و فضا، **۲۳**(۱)، ۱-۱۸.
- Akinyemi, M. L., 2010, Total ozone as a stratospheric indicator of climate variability over West Africa, *Int. J. Phys. Sci.*, **5**, 447-451.
- Antón, M., Bortoli, D., Costa, M. J., Kulkarni, P. S., Domingues, A. F., Barriopedro, D., Serrano, A., and Silva, A. M., 2011, Temporal and spatial variability of total ozone column over