

بررسی آماری توزیع ازن کلی جو در منطقه ایران برای فصل‌های متفاوت، طی سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸

زهرا شرعی پور^{۱*}، عباسعلی علی‌اکبری بیدختی^۲ و محمدعلی تقفی^۱

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

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

(دریافت: ۹۰/۸/۱۸، پذیرش نهایی: ۹۱/۷/۱۸)

چکیده

در این تحقیق که به منظور بررسی تغییرات منطقه‌ای ازن کلی صورت گرفته است، از داده‌های ازن کلی ماهواره‌ای OMI برای ۱۰ ایستگاه از مراکز استانی منطقه ایران طی سال ۲۰۰۷ استفاده شد. در سال ۲۰۰۷ میانگین مقدار سالانه منطقه‌ای ازن، ۲۹۱ واحد دابسون، بیشینه ماهانه منطقه‌ای ازن کلی در ماه مارس مقدار ۳۲۸/۲ دابسون و کمینه آن در ماه اکتبر، مقدار ۲۶۷ دابسون برآورد شد. مقایسه فصلی ایستگاه‌های منتخب منطقه نشان داد که در فصل‌های تابستان و پاییز، بیشترین مقدار ازن کلی مربوط به ایستگاه رشت و کمترین آن مربوط به ایستگاه شیراز است.

طی سال ۲۰۰۷ تغییرات میانگین ماهانه منطقه‌ای ازن کلی بین ۵ تا ۲۷ درصد است و بیشترین تغییرات منطقه‌ای در فصل سرد و کمترین آن در فصل گرم رخ داده است. بیشترین تغییرات روزبه‌روز ازن کلی معمولاً در ماه‌های سرد فوریه و مارس و کمترین آن در ماه‌های گرم ژوئیه و سپتامبر رخ می‌دهد. محدوده تغییرات میانگین ماهانه تغییرات روزبه‌روز ازن کلی ایستگاه‌های منتخب تقریباً بین ۱ تا ۸ درصد است و این تغییرات با افزایش عرض جغرافیایی، افزایش پیدا کرده‌اند.

برای بررسی توزیع فصلی ازن کلی منطقه، نقشه‌های هم‌مقدار ازن کلی رسم شد و الگوهای فصلی برای سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ به دست آمد. به منظور بهتر نشان دادن توزیع ازن، علاوه بر ۱۰ ایستگاه پیش‌گفته از ۳۸ ایستگاه دیگر نیز استفاده شد. الگوی زمستانی و بهاری ازن کلی در منطقه ایران نشان داد که هم‌مقدارهای ازن در این فصل تقریباً به صورت مداری است و ازن کلی با افزایش عرض جغرافیایی افزایش پیدا می‌کند. الگوی تابستانی و پاییزی ازن کلی منطقه ایران نشان داد که مقادیر ازن در ارتفاعات زاگرس کاهش و در مناطق ساحلی افزایش پیدا کرده است. کمینه ازن در ارتفاعات بالای زاگرس تشکیل می‌شود و در بخش‌های شرقی ایران با افزایش طول جغرافیایی، مقدار ازن افزایش ولی در بخش‌های غربی، کاهش پیدا می‌کند. نتایج بررسی‌ها روشن ساخت که در تمام فصل‌های سال، همبستگی مثبت معنی‌داری بین مقادیر ازن و عرض جغرافیایی وجود دارد و این همبستگی در فصل‌های زمستان و بهار قوی‌تر از سایر فصل‌ها است. همچنین در فصل‌های تابستان و پاییز، همبستگی منفی معنی‌داری بین مقادیر ازن و ارتفاع برقرار و این همبستگی در تابستان قوی‌تر از پاییز است.

واژه‌های کلیدی: ازن کلی، تغییرات منطقه‌ای، تغییرات زمانی، الگوی فصلی

Investigation of total ozone seasonal distribution over Iran area for 2007-2008

Sharipour, Z.¹, Bidokhti, A., A.² and Saghafi, M., A.¹

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

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

(Received: 02 Nov 2011, Accepted: 09 Oct 2012)

Abstract

In the present study the total atmospheric ozone distributions over Iran area for different

E-mail: sharie@ut.ac.ir

دورنگار: ۰۲۱-۸۸۰۰۹۵۶۰

تلفن: ۰۲۱-۶۱۱۸۲۸۳

*نگارنده رابط:

seasons have been studied using data of OMI satellite and the ground station of the Institute of Geophysics, University of Tehran for 2007-2008. The mean daily ozone satellite data are available that are used for 10 points, representing the stations of main province centers around Iran. The data of ground station for Tehran is also used in order to check the satellite data that shows the difference between the two is less than 3 percent.

The mean regional value of total ozone concentration for 2007 was 291 DU, while the maximum and minimum mean monthly values were respectively found for March, 328.2 DU and for October, 267 DU. The annual range of mean ozone variations over the area is 248-360.5 DU. The analyses also showed that the seasonal maximum for summer and autumn was for Rasht area and its minimum was observed for Shiraz.

Investigations of the correlation coefficients between total ozone of selected stations show maximum correlation coefficients between Tehran and Gorgan stations with a value of 0.97 and 0.98 between Tabriz and Urmia stations that are nearer to each others.

During 2007 the regional monthly mean variations of ozone over this area was between 5 to 27 percent, from which the maximum and minimum variations were respectively for cold and warm seasons. This was so for the daily variations that also increased with latitude. One of the important factors in total column ozone variations in cold season is the increase in synoptic activities which needs further investigations.

Among the selected stations of the region, the highest variations of seasonal total ozone is for Rasht station with 55% and the lowest variations is for Bandar Abbas station with 32.8%.

The most noticeable daily variations of total ozone occur in February and March especially for the stations of Tabriz, Orumieh and Rasht. While the least of variations take place for July to August especially for Shiraz and Zahedan. The range of the monthly mean variations of total ozone for all selected stations was also found to be between 1% to 8%.

For the seasonal spatial distributions of total ozone in the region we prepared contour maps for the years 2007-2008 from the total ozone of about 48 points scattered over the area. These maps show that the total ozone contour for winter and spring were almost zonal, with its value increasing with latitude. This pattern was quite different for summer and autumn, with minimum value over the mountains (especially over Zagros range that have implications for UV radiation increase over the mountains) and maximum over the low land areas of coastal regions. Also in these warm seasons there is a gradual increase of total ozone from west (from the Zagros peak range) to east that appears to be due to the reduction of topographic height in this direction.

In summer as the high pressure belt of 30° moves to the area prevailing a very calm condition the troposphere and stratosphere thicknesses are influenced (thinned slightly) by mountain ranges. This factor may be responsible for ozone reduction over the mountain ranges. In the summer time the spacial gradient of total ozone is largest in the western part of Zagros range and also in the northern part of Alborz Range and the coastal area of Caspian Sea.

Keywords: Total ozone, Regional variations, Time variations, Seasonal patterns, Iran

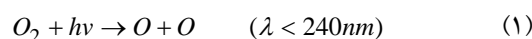
۱ مقدمه

مهم محافظ زندگی در مقابل تابش فرابنفش خورشید و همین طور گازهای گلخانه‌ای در مقیاس هاس منطقه‌ای و

با اینکه ازن درصد کمی از کل گازهای جوّی کره زمین را تشکیل می‌دهد، نقش مهمی را به‌منزله یکی از گازهای

جهانی ایفا می‌کند.

نظریه تولید و نابودی اُزن در آرام‌سپهر را چپ‌من عرضه کرد که مطابق آن، مولکول اکسیژن ضمن واکنش (۱) در اثر جذب تابش فرابنفش با طول موجی کمتر از ۲۴۰ نانومتر تبدیل به اکسیژن اتمی می‌شود، سپس مطابق واکنش (۲) اکسیژن اتمی در مجاورت مولکول یا اتم دیگر با کسینژن مولکولی ترکیب می‌شود و اُزن تولید می‌کند (مک‌ال روی و همکاران، ۱۹۹۲). مطابق واکنش (۳) و (۴) مولکول اُزن در اثر جذب تابش فرابنفش به اتم و مولکول اکسیژن تجزیه می‌شود. مقادیر اُزن تولید شده بر طبق نتایج چرخه چپ‌من، بیشتر از مقادیر مشاهداتی بود. تحقیقات بعدی نشان داد که ترکیباتی مانند رادیکال‌های اکسید نیتروژن (NO_x) و رادیکال‌های اکسید هیدروژن (HO_x) می‌توانند اُزن را از بین ببرند و به مقدار مشاهداتی برسانند. فعالیت‌های انسانی مانند پرواز هواپیماها و تولید گازهای کلروفلورکربن (CFC) مقادیر زیادی از کلر و NO_x را وارد جو می‌کنند و این مواد به آرام‌سپهر راه می‌یابند و باعث کاهش اُزن می‌شوند. این اثر در مناطق قطبی حادتر است (مک‌ال روی و همکاران، ۱۹۹۲).



یکی از نتایج کاهش مقدار اُزن کلی جو، افزایش تابش UV سطح زمین است، بنابراین، بررسی تغییرات مکانی و زمانی اُزن کلی در مناطق گوناگون، موضوع مهمی در تحقیقات علمی محسوب می‌شود. از آنجا که تعداد ایستگاه‌های زمینی اندازه‌گیری اُزن محدود است، از این طریق نمی‌توان توزیع مکانی-زمانی منطقه‌ای اُزن را کاملاً پوشش داد. بنابراین اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای که برای شبکه‌ای از نقاط فراهم است، یکی از روش‌های مناسب برای به‌دست آوردن توزیع مکانی و زمانی اُزن

است. نقشه‌های هم‌مقدار اُزن که از این روش به‌دست می‌آید، ساختار مکانی-زمانی اُزن کلی را برای یک منطقه نشان می‌دهد.

نتایج تحقیقاتی که در مورد ارتباط بین اُزن کلی و عوامل جغرافیایی و هواشناسی صورت گرفته، متعدد است که در اینجا به برخی از آنها اشاره می‌شود. آنتون و همکاران (۲۰۱۱) تغییرات مکانی و زمانی اُزن کلی در منطقه کشور پرتغال با نوار عرض جغرافیایی ۵ درجه (۳۷-۴۲ درجه) برای دوره سال‌های ۱۹۷۸-۲۰۰۵ را بررسی کردند و روشن ساختند که تغییرات ماهانه منطقه‌ای اُزن از نظر عرض جغرافیایی بین ۳/۵ تا ۶ درصد بوده است. اکی‌نی‌می (۲۰۱۰) ضریب تغییرات نسبی سالانه اُزن کلی ($ACRV$, annual coefficient of relative variability) و همبستگی این تغییرات با عرض جغرافیایی برای دوره سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۲ در منطقه حاره‌ای غرب آفریقا را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داده که با افزایش عرض جغرافیایی، تغییرات سالانه و فصلی اُزن کلی افزایش یافته است. در این تحقیق همچنین رابطه همبستگی بین تغییرات سالانه اُزن و پارامترهای دما و بارش نیز بررسی شده است و اُزن کلی در حکم یک شاخص آرام‌سپهری تغییرات اقلیمی معرفی شده است.

مینا و پاتیل (۲۰۱۱) تغییرات اُزن کلی در منطقه شمال هند را بررسی کردند. در این تحقیق از داده‌های اُزن ماهواره و دستگاه‌های اُزن‌سنج دابسون و پروتر استفاده شده است. بررسی داده‌های اُزن در چند ایستگاه این منطقه نشان داده است که مقادیر اُزن با افزایش عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها افزایش پیدا می‌کند.

در برخی از تحقیقاتی که در مورد توزیع منطقه‌ای اُزن کلی صورت گرفته، نقشه‌های هم‌مقدار اُزن کلی به‌دست آمده، نشان داده است که در برخی از فصل‌های سال، وجود کوهستان‌ها باعث کاهش اُزن کلی جو می‌شود.

تأثیر ارتفاع کوهستان‌ها در کاهش اُزن کلی جو در مناطق گوناگونی از جهان مانند کوهستان‌های آند، راکی و هیمالیا گزارش شده و عامل‌های متفاوتی را به این رویداد نسبت داده‌اند. از جمله در تحقیقی که در کوهستان‌های تبت صورت گرفته، کاهش اُزن با افزایش ارتفاع کوهستان در فصل‌های بهار و تابستان گزارش شده است. در این تحقیق، مهم‌ترین عامل در این زمینه، نازک شدن ستون جوئی در بالای کوهستان بیان شده است. همچنین به عامل‌های دیگری از جمله واداشته‌های گرمایی-دینامیکی نیز اشاره شده است. به بیانی دیگر هنگامی که بادهای افقی به کوهستان‌ها برخورد می‌کنند، حرکات صعودی جوئی ایجاد می‌شود (تیان و همکاران، ۲۰۰۸).

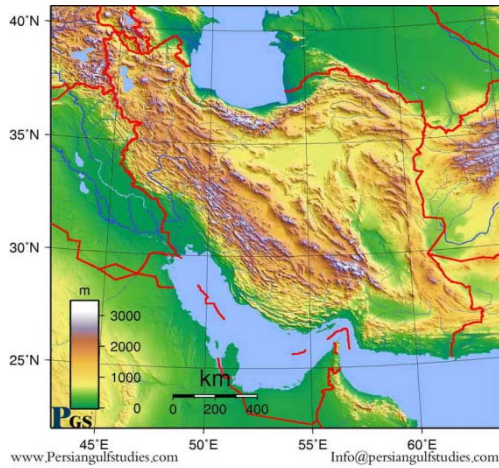
در تحقیقی که در ۱۳۸۱ صورت گرفت، تأثیر عوامل همدیدی بر نوسان‌های روزانه اُزن کلی پایگاه اصفهان بررسی شده است (سبزی‌پرور و لبافی میرقوامی، ۱۳۸۱). در تحقیق حاضر، تغییرات مکانی-زمانی اُزن کلی منطقه ایران برای سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ بررسی می‌شود. این بررسی با توجه به شرایط همدیدی هواشناسی در فصل‌های متفاوت و توپوگرافی منطقه صورت گرفته است.

۲ مواد و روش‌ها

در این تحقیق از داده‌های اُزن کلی ماهواره‌ای OMI (Ozone Monitoring Instrument) برای ایستگاه‌های منتخب در منطقه ایران استفاده شده است. دوره تحقیقاتی این پژوهش، سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ را که با فاصله زمانی یک روزه قابل دسترس است دربر می‌گیرد. منطقه ایران در نوار عرض جغرافیایی ۲۵/۰۵-۳۹/۷۸ درجه و طول جغرافیایی ۴۴/۰۸-۶۳/۳۰ درجه قرار دارد. برای بررسی توزیع مکانی اُزن کلی و محاسبه درصد

تغییرات مکانی منطقه‌ای آن، ۱۰ ایستگاه در نظر گرفته شد. در انتخاب این ایستگاه‌ها که هر یک در مراکز استان‌ها واقع‌اند، سعی شده است که توزیع خوبی از اُزن کلی بخش‌های گوناگون، از جمله بخش‌های شمالی، جنوبی، غربی و شرقی منطقه ایران به دست آید. این ایستگاه‌ها عبارت‌اند از تهران، تبریز، ارومیه، مشهد، زاهدان، شیراز، بندرعباس، اهواز، گرگان و رشت. جدول ۱ مشخصات جغرافیایی (طول، عرض و ارتفاع) این ایستگاه‌های منتخب منطقه را نشان می‌دهد و شکل ۱-الف نقشه جغرافیایی این ایستگاه‌ها است. شکل ۱-ب نیز توزیع توپوگرافی منطقه را نشان می‌دهد. برای ترسیم نقشه‌های هم‌مقدار اُزن کلی و به منظور بهتر نشان دادن توزیع اُزن، علاوه بر ۱۰ ایستگاه پیش گفته، از ۳۸ ایستگاه دیگر (۳۰ ایستگاه مرکز استانی و ۱۸ ایستگاه کمکی) نیز استفاده شد.

همچنین از داده‌های اُزن کلی اندازه‌گیری شده با دستگاه اُزنسنج دابسون ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک تهران برای سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ استفاده شد. انتخاب دوره زمانی تحقیق (سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸)، با توجه به کامل بودن داده‌های ماهواره در این دوره و همچنین مطابقت بیشتر داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های زمینی ایستگاه ژئوفیزیک صورت گرفته است. شایان ذکر است که دستگاه دابسون مؤسسه ژئوفیزیک، در اوایل سال ۲۰۰۶ واسنجی (کالیبره) شده است. میانگین سالانه درصد خطای بین داده‌های ماهواره‌ای و دستگاه دابسون ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک برای سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ به ترتیب ۲/۳ و ۲/۱ محاسبه شد که هر دو کمتر از ۳ درصد بوده و قابل قبول است. شکل ۲ نمودار درصد خطای روزانه بین داده‌های اُزن ماهواره‌ای و زمینی دابسون را طی سال ۲۰۰۷ نشان می‌دهد.



(ب)

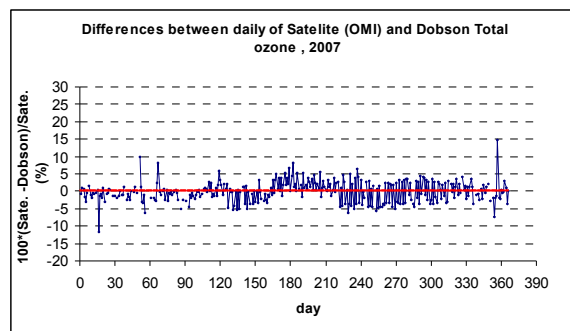


(الف)

شکل ۱. نقشه‌های (الف) توزیع ایستگاه‌های منتخب در ایران. شهرهایی که با علامت دایره مشخص شده‌اند، برای اندازه‌گیری اُزن به‌کار رفته‌اند و (ب) توپوگرافی منطقه ایران.

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب منطقه ایران.

ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)
تهران	۳۵/۷۳	۵۱/۳۸	۱۴۱۹
تبریز	۳۸/۰۸	۴۶/۲۸	۱۳۶۱
ارومیه	۳۷/۵۳	۴۵/۰۸	۱۳۱۶
مشهد	۳۶/۲۶	۵۹/۶۳	۹۹۰
زاهدان	۲۹/۴۶	۶۰/۸۸	۱۳۷۰
شیراز	۲۹/۵۳	۵۲/۵۸	۱۴۹۱
بندرعباس	۲۷/۲۱	۵۶/۳۶	۱۰
اهواز	۳۱/۳۳	۴۸/۶۷	۲۲
گرگان	۳۶/۸۵	۵۴/۲۶	۱۳
رشت	۳۷/۲۰	۴۹/۶۵	۳۷



شکل ۲. نمودار درصد خطای روزانه بین داده‌های اُزن ماهواره‌ای و زمینی دایسون در سال ۲۰۰۷. واحد اُزن کلی برحسب دایسون است.

۳ نتایج

۱-۳ میانگین منطقه‌ای ازن

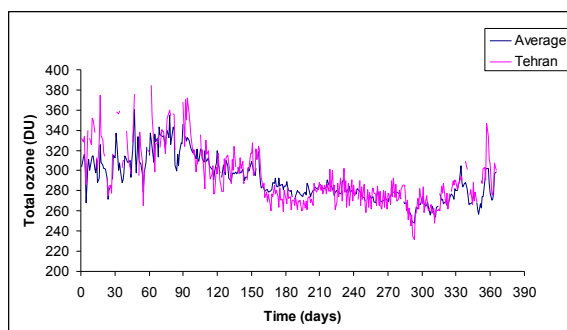
برای هر روز از سال ۲۰۰۷، داده‌های ازن کلی ایستگاه‌های منتخب بررسی و مقادیر بیشینه، کمینه و با متوسط‌گیری از آن دو، میانگین منطقه‌ای محاسبه شد. سپس از مقادیر روزانه برای هر ماه میانگین‌گیری، و میانگین ماهانه منطقه‌ای محاسبه شد. جدول ۲ مقادیر میانگین ماهانه ازن کلی برای منطقه ایران را نشان می‌دهد. همچنین نمودار شکل ۳ نیز نمودار میانگین روزانه ازن کلی منطقه ایران در ۲۰۰۷ را نشان می‌دهد. براساس میانگین‌های روزانه منطقه‌ای، محدوده تغییرات ازن کلی در طی سال بین ۲۴۸ تا ۳۶۰/۵ واحد دابسون است و در فصل زمستان تغییرات

ازن نسبت به میانگین مقطعی فصلی بیشتر و در تابستان کمتر است که علت آن قوی‌تر شدن فعالیت‌های سینوپتیکی در زمستان است. در این شکل، داده‌های روزانه ازن کلی اندازه‌گیری شده با دستگاه دابسون ایستگاه ژئوفیزیک تهران، برای مقایسه آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود این مقادیر داده‌ها با یکدیگر همخوانی دارند.

همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد، بیشینه ماهانه ازن کلی در ماه مارس با مقدار ۳۲۸/۲ واحد دابسون و کمینه آن در ماه اکتبر با مقدار ۲۶۷ واحد دابسون رخ داده است. با استفاده از میانگین‌گیری از مقادیر میانگین ماهانه، میانگین سالانه منطقه، مقدار ۲۹۱ واحد دابسون محاسبه شد.

جدول ۲. مقادیر میانگین ماهانه ازن کلی منطقه ایران در سال ۲۰۰۷ (واحدها برحسب دابسون است).

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
302.8	308.5	328.2	314.6	299	287.6	279.7	281.5	273.2	267	270.9	279.1



شکل ۳. مقایسه نمودارهای روزانه ازن کلی میانگین منطقه‌ای ایران و ایستگاه ژئوفیزیک تهران در سال ۲۰۰۷.

۲-۳ مقایسه مقادیر ازن کلی ایستگاه‌های منتخب منطقه

مقایسه مقادیر ازن کلی ایستگاه‌های متفاوت منطقه نشان داد که ایستگاه‌های شمالی منطقه، اغلب مقادیر بالاتر و ایستگاه‌های جنوبی منطقه، مقادیر پایین‌تری دارند. از آنجا که ازن کلی معمولاً با افزایش عرض جغرافیایی، افزایش پیدا می‌کند، این نتیجه دور از انتظار نیست. این مقایسه دقیق که برای هم‌روزهای سال ۲۰۰۷ صورت گرفت،

نشان داد که نتایج با تغییر فصلی و با در نظر گرفتن بیشترین درصد فراوانی به شرح زیر است:

در فصل زمستان، بیشترین مقدار ازن کلی مربوط به ایستگاه‌های تبریز، مشهد، رشت و ارومیه و کمترین مقدار ازن کلی مربوط به ایستگاه بندرعباس است. در فصل بهار، بیشترین مقدار ازن کلی مربوط به ایستگاه‌های تبریز، رشت و مشهد و کمترین مقدار ازن کلی مربوط به

با ایستگاه زاهدان ۰/۹۱، ایستگاه گرگان با ایستگاه تهران ۰/۹۷، ایستگاه ارومیه با تبریز ۰/۹۸ هستند. تمام ضریب‌های همبستگی بیان شده از نظر آماری در سطح ۹۹٪ معنی‌دار هستند.

در اینجا لازم به یادآوری است که ضریب‌های همبستگی بزرگ بین دو ایستگاه، نشان‌دهنده مشابهت مقادیر و تغییرات اُزن کلی آنها بوده، بنابراین هنگامی که یکی از آنها کمبود داده‌ای دارد، می‌توان از مقادیر ایستگاه معلوم برای به‌دست آوردن داده‌های ایستگاه مجهول استفاده کرد.

۳-۴ درصد تغییرات منطقه‌ای اُزن کلی

برای محاسبه درصد ضریب تغییرات نسبی منطقه‌ای CRV (Coefficient of relative variation) اُزن کلی از رابطه زیر استفاده شد:

$$CRV_i = 100 (TOC_i (max) - TOC_i (min)) / TOC_i (mean) \quad (5)$$

که در آن، منظور از TOC، (total ozone column) اُزن کلی جوّ و اندیس i مربوط به روز i ام است. منظور از max و min، مقادیر بیشینه و کمینه اُزن است. این محاسبه برای همه روزهای سال ۲۰۰۷ صورت گرفت. شکل ۵، نمودار این مقادیر را نشان می‌دهد.

مطابق نمودار شکل ۵، بیشترین درصد تغییرات منطقه‌ای اُزن کلی، در ماه‌های سرد ژانویه و فوریه و کمترین آن در ماه‌های گرم ژوئیه، اوت و سپتامبر رخ می‌دهد و دامنه تغییرات سالانه آن تا حدود ۵۰ درصد است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، تغییرات منطقه‌ای اُزن کلی در فصل سرد افزایش می‌یابد و در فصل گرم کاهش پیدا می‌کند. از آنجاکه در فصل سرد، فعالیت سامانه‌های هواشناسی افزایش پیدا می‌کند و این یکی از عامل‌های مؤثر بر تغییرات اُزن کلی در هریک از ایستگاه‌های منطقه است، این نتیجه دور از انتظار نیست. به بیان دیگر، فعالیت سامانه‌های همدیدی در فصل سرد بیشتر

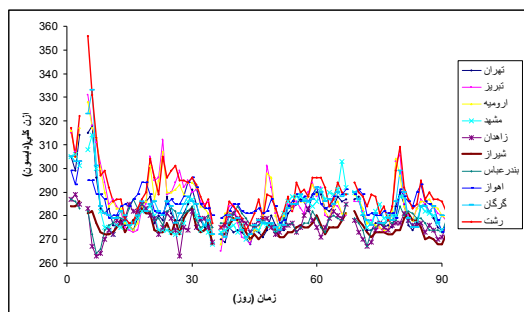
ایستگاه‌های زاهدان، بندرعباس و شیراز است. در فصل تابستان، بیشترین مقدار اُزن کلی مربوط به ایستگاه رشت و کمترین مقدار اُزن کلی مربوط به ایستگاه شیراز است. در فصل پاییز، بیشترین مقدار اُزن کلی مربوط به ایستگاه رشت و کمترین مقدار اُزن کلی مربوط به ایستگاه شیراز است.

این نتایج روشن می‌سازد که فصل‌های تابستان و پاییز، نتایج مشابهی دارند. همچنین، در فصل‌های زمستان و بهار نیز نتایج تا اندازه‌ای نزدیک به هم هستند. به‌طور کلی در بیشتر فصل‌ها، ایستگاه رشت دارای بیشترین مقدار اُزن کلی و ایستگاه‌های شیراز و بندرعباس دارای کمترین مقدار هستند. بنابراین در میان شهرهای شمالی منطقه، شهر رشت بالاترین مقدار اُزن کلی را داشته است. پایین بودن مقدار اُزن کلی در شهرهای شیراز و بندرعباس نشان می‌دهد که این شهرها از نظر تابش فرابنفش خورشیدی (UV) در معرض خطر هستند و به‌ویژه در فصل تابستان که این تابش بیشترین مقدار را در سال دارد، باید تمهیدات لازم در نظر گرفته شود. به‌علت اهمیت فصل تابستان در ارتباط با تابش پرتو فرابنفش خورشیدی، مقایسه مقادیر اُزن کلی ایستگاه‌های منتخب منطقه در نمودار شکل ۴ نشان داده شده است.

۳-۳ ضریب همبستگی بین ایستگاه‌ها

ضریب همبستگی بین داده‌های روزانه اُزن کلی ایستگاه‌های منتخب، برای دوره یک‌ساله ۲۰۰۷ محاسبه و بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که هریک از ایستگاه‌های منتخب منطقه با چه ایستگاهی بیشترین ضریب همبستگی را دارد. بالاترین ضریب همبستگی ایستگاه تهران با ایستگاه گرگان ۰/۹۷، ایستگاه رشت با تبریز و ارومیه ۰/۹۶، ایستگاه تبریز با ایستگاه ارومیه ۰/۹۸، ایستگاه زاهدان با بندرعباس ۰/۹۱، ایستگاه شیراز با بندرعباس ۰/۸۴، ایستگاه اهواز با ایستگاه شیراز ۰/۸۳، ایستگاه مشهد با ایستگاه گرگان ۰/۹۲، ایستگاه بندرعباس

۷ نمودار درصد تغییرات روزبه‌روز ازن کلی را در ایستگاه تبریز در سال ۲۰۰۷ نشان می‌دهد. از مقادیر روزانه تغییرات روزبه‌روز ازن کلی هریک از ایستگاه‌ها برای هر ماه میانگین‌گیری شد و میانگین ماهانه محاسبه شد. شکل ۸ نمودار مقادیر میانگین ماهانه تغییرات روزبه‌روز ازن کلی هریک از ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین تغییرات روزبه‌روز ازن کلی معمولاً در ماه‌های سرد فوریه و مارس رخ می‌دهد و بیشینه این مقادیر مربوط به ایستگاه‌های تبریز، ارومیه و رشت است. کمترین تغییرات روزبه‌روز ازن کلی نیز در ماه‌های گرم ژوئیه و سپتامبر رخ می‌دهد و کمینه این مقادیر مربوط به ایستگاه‌های شیراز و زاهدان است. از آنجا که تغییرات روزبه‌روز ازن کلی جو، بیشتر در اثر فعالیت سامانه‌های هواشناسی و فرایندهای انتقال دینامیکی جو ایجاد می‌شود (آنتون و همکاران، ۲۰۱۰) و در فصل سرد، این فعالیت‌ها بیشتر رخ می‌دهند، در نتیجه، این نتایج قابل قبول است. محدوده این تغییرات ماهانه تقریباً بین ۱ تا ۸ درصد است و به‌طور دقیق، بیشترین این تغییرات، مقدار ۷/۴ درصد و در ایستگاه تبریز و کمترین آن، مقدار ۰/۷ درصد و در ایستگاه شیراز رخ داده است. همچنین مقایسه نمودار تغییرات روزبه‌روز ازن کلی ایستگاه‌های گوناگون نشان می‌دهد که این تغییرات با افزایش عرض جغرافیایی، افزایش پیدا کرده‌اند.



شکل ۴. مقایسه مقادیر ازن کلی ایستگاه‌های منتخب منطقه در فصل تابستان ۲۰۰۷. مقادیر ایستگاه‌های رشت و شیراز با خطوط ضخیم‌تر مشخص شده‌اند.

است و این موضوع می‌تواند روی آرام‌سپهر که لایه ازن را نیز دربر دارد اثر بگذارد و تغییرات را بیشتر کند. افزایش ارتفاع سطوح ژئوتانسیلی در آرام‌سپهر پایینی و تروپوپاز همراه با نازک شدن ستون ازن کلی آرام‌سپهری و کاهش ازن کلی جو است و برعکس (جیمز، ۱۹۹۸). سپس از مقادیر روزانه CRV برای هر ماه میانگین‌گیری شده و میانگین ماهانه منطقه‌ای محاسبه شد. شکل ۶ نمودار مقادیر میانگین ماهانه درصد ضریب تغییرات نسبی منطقه‌ای ایران را نشان می‌دهد. براساس این داده‌ها، میانگین ماهانه تغییر نسبی منطقه‌ای ازن کلی از ۵ تا ۲۷ درصد متغیر است.

۳-۵ تغییرات زمانی ازن کلی

برای به‌دست آوردن تغییرات زمانی ازن کلی، از چند روش استفاده شد. در روش اول برای هریک از ایستگاه‌ها مقادیر بیشینه و کمینه و میانگین روزانه ازن کلی طی دوره یک‌ساله ۲۰۰۷ محاسبه و سپس تغییرات زمانی یک‌ساله یا CRV زمانی از رابطه زیر محاسبه شد.

$$CRV = 100 (TOC (max) - TOC (min)) / TOC (mean) \quad (6)$$

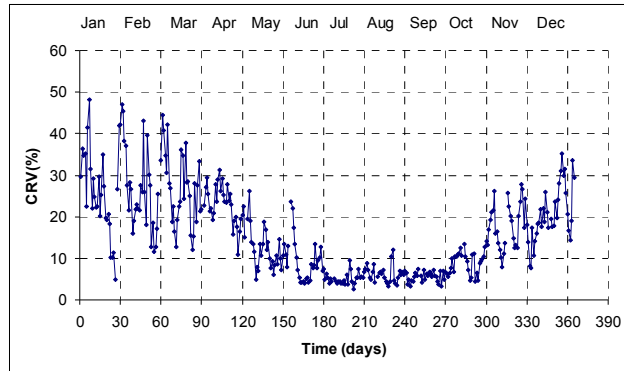
جدول ۳ مقادیر به‌دست آمده از این روش را نشان می‌دهد. به بیانی دیگر، این مقادیر نشان‌دهنده تغییرات فصلی در هر ایستگاه هستند.

مطابق نتایج جدول ۳، بالاترین تغییرات فصلی ازن کلی مربوط به ایستگاه رشت با مقدار ۵۵ درصد و کمترین آن مربوط به ایستگاه بندرعباس با مقدار ۳۲/۸ درصد است.

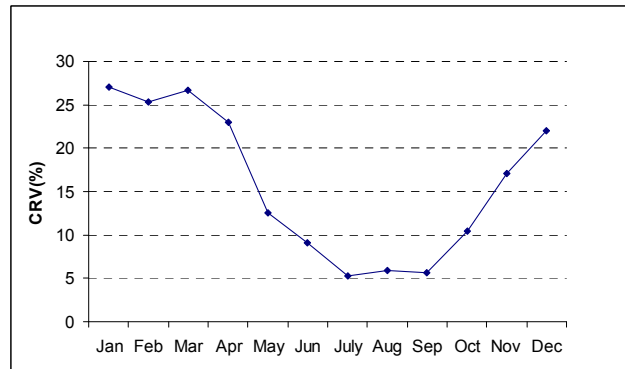
درصد تغییرات روزبه‌روز (کوتاه‌مدت) ازن کلی روز اُم از رابطه زیر محاسبه شد (آنتون و همکاران، ۲۰۱۱).

$$DDV_i = 100 (TOC_{i+1} - TOC_i) / TOC_i \quad (7)$$

که در آن منظور از TOC (total ozone column)، ازن کلی جو و اندیس i مربوط به روز اُم است. این محاسبه برای همه ایستگاه‌های منتخب منطقه صورت گرفت. شکل



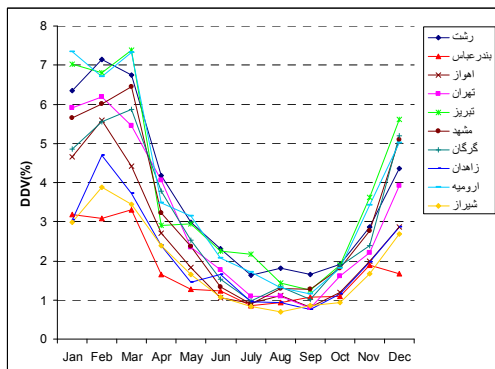
شکل ۵. نمودار درصد ضریب تغییرات نسبی CRV روزانه اُزن کلی در منطقه ایران در سال ۲۰۰۷.



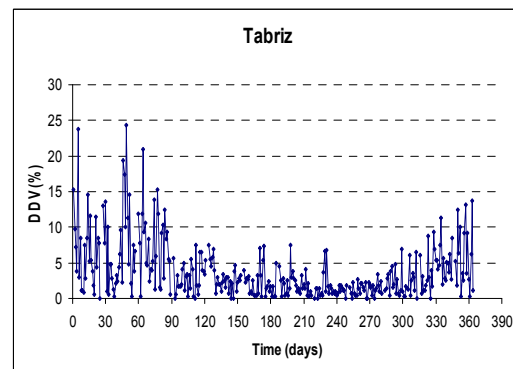
شکل ۶. نمودار درصد ضریب تغییرات نسبی CRV ماهانه اُزن کلی در منطقه ایران در سال ۲۰۰۷.

جدول ۳. درصد تغییرات زمانی یک‌ساله اُزن کلی برای هر یک از ایستگاه‌های منتخب منطقه.

رشت	تهران	تبریز	ارومیه	مشهد	زاهدان	شیراز	بندرعباس	اهواز	گرگان
۵۵/۰	۴۶/۹	۵۴/۱	۴۸/۶	۵۰/۷	۴۰/۰	۳۴/۹	۳۲/۸	۴۰/۴	۴۶/۶



شکل ۸. مقادیر میانگین ماهانه درصد تغییرات روزبه‌روز اُزن کلی برای هریک از ایستگاه‌های منتخب در سال ۲۰۰۷.



شکل ۷. نمودار درصد تغییرات روزبه‌روز اُزن کلی در ایستگاه تبریز در سال ۲۰۰۷.

۳-۶ بررسی نقشه‌های هم‌مقدار اُزن و اثر کوهستان در منطقه ایران

برای بررسی توزیع فصلی اُزن کلی منطقه، نقشه‌های هم‌مقدار اُزن کلی رسم شد. این نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزار surfer تهیه شد. در ترسیم این نقشه‌ها از روش شبکه‌ای Triangulation with Linear Interpolation استفاده شده است. برای ترسیم نقشه‌های میانگین ماهانه اُزن، در هر روز برای ایستگاه‌های متفاوت، داده‌های ماهواره‌ای روزانه اُزن تهیه شد. سپس برای هر یک از ایستگاه‌ها مقادیر میانگین ماهانه اُزن به دست آمد و در پایان، با استفاده از نرم‌افزار surfer، نقشه‌های هم‌مقدار اُزن کلی رسم شد.

از نقشه‌های میانگین ماهانه ماه‌های ژانویه، آوریل، ژوئیه و اکتبر به ترتیب برای الگوهای فصلی زمستان، بهار، تابستان و پاییز استفاده شد. شکل‌های ۹ تا ۱۲، این الگوهای فصلی را نشان می‌دهند. برای اینکه نتایج به دست آمده برای الگوهای فصلی اطمینان بیشتری باشند، این الگوها برای سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ به دست آمد.

الگوی زمستانی اُزن کلی در منطقه ایران (شکل ۹) نشان می‌دهد که هم‌مقدارهای اُزن در این فصل تقریباً به صورت مداری هستند. اُزن کلی با افزایش عرض جغرافیایی افزایش پیدا می‌کند، ولی با تغییر طول جغرافیایی، تغییر خاصی در مقدار اُزن مشاهده نمی‌شود و دامنه تغییرات اُزن کلی بزرگ است.

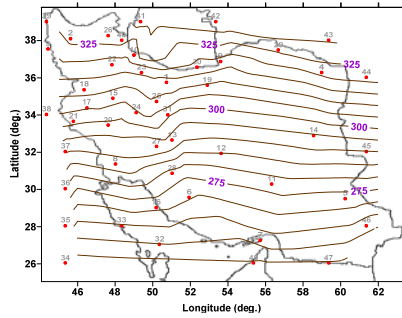
الگوی بهاری اُزن کلی در منطقه ایران (شکل ۱۰) نزدیک به الگوی زمستانی آن است، با این تفاوت که هم‌مقدارهای اُزن ممکن است از حالت مداری کمی منحرف شوند و در ارتفاعات زاگرس نیز مقدار کمی کاهش اُزن مشاهده می‌شود. در این فصل، مقادیر اُزن کلی زیاد است.

الگوی تابستانی اُزن کلی در منطقه ایران (شکل ۱۱) با

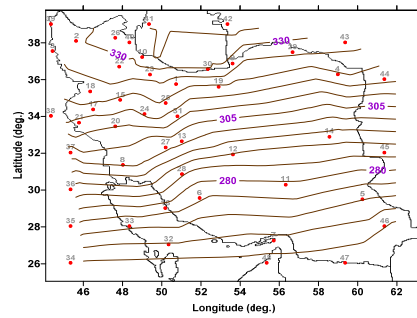
الگوهای زمستانی و بهاری متفاوت است و دامنه تغییرات اُزن کلی کمترین مقدار سالانه را دارد. خطوط هم‌مقدار در بخش‌های غربی و شرقی منطقه با بخش‌های مرکزی و شمالی متفاوت است و در این میان، اثر کوهستان زاگرس بر این خطوط هم‌مقدار، کاملاً آشکار است. در شکل ۱-ب توزیع توپوگرافی منطقه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر اُزن در ارتفاعات زاگرس کاهش و در مناطق ساحلی افزایش پیدا کرده است. کمینه اُزن در ارتفاعات بالای زاگرس تشکیل شده است. هم‌مقدارهای اُزن در سمت غربی کوهستان زاگرس و سمت شمالی کوهستان البرز و سواحل دریای خزر دارای گرادیان شدید هستند. در بخش‌های شرقی ایران، با افزایش طول جغرافیایی، مقدار اُزن افزایش پیدا می‌کند و در بخش‌های غربی ایران، با افزایش طول جغرافیایی، مقدار اُزن کاهش پیدا می‌کند. الگوی پاییزی اُزن کلی در منطقه ایران (شکل ۱۲) تا اندازه‌ای به الگوی تابستانی آن نزدیک است، با این تفاوت که شدت گرادیان خطوط هم‌مقدار اُزن در مجاورت کوهستان‌ها کمتر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کمترین مقدار سالانه اُزن در این فصل رخ می‌دهد و دوباره کمینه اُزن در ارتفاعات بالای زاگرس و همچنین عرض‌های جنوبی منطقه تشکیل شده است. مهم‌ترین عامل در کاهش اُزن مشاهده شده در اثر کوهستان زاگرس در فصل‌های تابستان و پاییز، نازک شدن ستون جوئی در بالای کوهستان است. در فصل تابستان، پُرفشار عرض جغرافیایی ۳۰ درجه (مدار اسبی) روی منطقه قرار دارد، بنابراین آرام‌سپهر در این زمان احتمالاً تغییرات مکانی نسبت به توپوگرافی پیدا می‌کند. از آنجاکه در فصل تابستان، تابش فرابنفش خورشیدی، بیشترین مقدار سالانه را دارد، تغییرات کاهشی اُزن کلی دارای اهمیت ویژه‌ای است. بنابراین افراد ساکن در مناطق عرض‌های جنوبی کشور و کوهستان‌های زاگرس بیشتر در

روز، کمینه اُزن در همه نقاط منطقه ایران مشاهده می‌شود و از نظر مداری و نصف‌النهاری تدریجی نیست و به یکباره رخ می‌دهد. به‌طور نمونه کمینه سالانه اُزن کلی سال ۲۰۰۷ در تاریخ ۲۰ اکتبر رخ داده است و این کمینه هم‌زمان در همه ایستگاه‌های منطقه مشاهده می‌شود.

معرض خطر ابتلا به بیماری‌های ناشی از افزایش تابش فرابنفش خورشیدی هستند و باید نکات ایمنی و حفاظتی را بیشتر رعایت کنند. از آنجا که کمینه سالانه اُزن در فصل پاییز و به‌ویژه در ماه اکتبر رخ می‌دهد، این کاهش به‌طور منطقه‌ای بررسی شد و نتایج نشان داد که معمولاً در یک

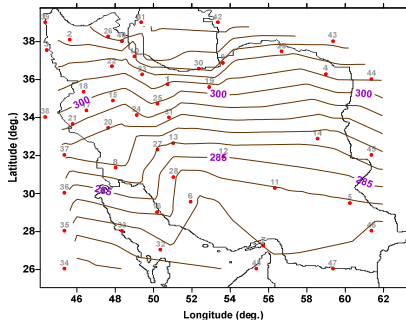


(ب)

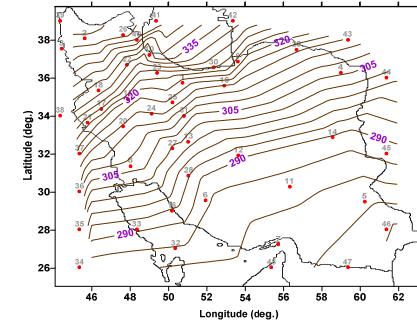


(الف)

شکل ۹. نقشه الگوی زمستانی هم‌مقدارهای اُزن کلی در منطقه ایران برای میانگین ماه ژانویه سال‌های (الف) ۲۰۰۷ و (ب) ۲۰۰۸. مقادیر برحسب واحد دابسون هستند و فاصله هم‌مقدارهای اُزن ۵ واحد دابسون است. نقاط ایستگاه‌ها با شماره مشخص شده‌اند.

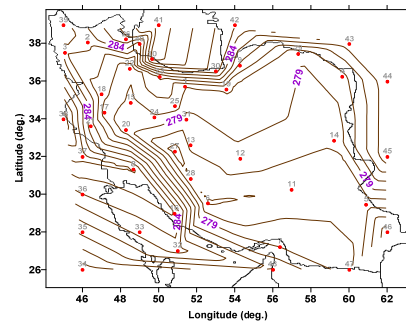


(ب)

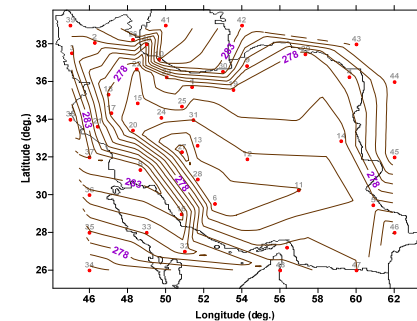


(الف)

شکل ۱۰. نقشه الگوی بهاری هم‌مقدارهای اُزن کلی در منطقه ایران برای میانگین ماه آوریل سال‌های (الف) ۲۰۰۷ و (ب) ۲۰۰۸. مقادیر برحسب واحد دابسون هستند و فاصله هم‌مقدارهای اُزن، ۳ واحد دابسون است. نقاط ایستگاه‌ها با شماره مشخص شده‌اند.

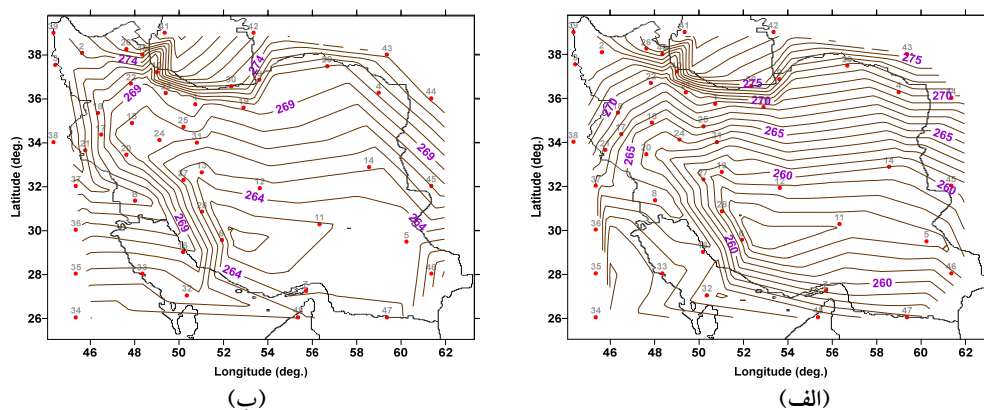


(ب)

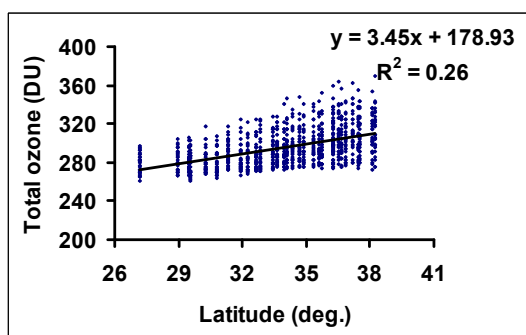


(الف)

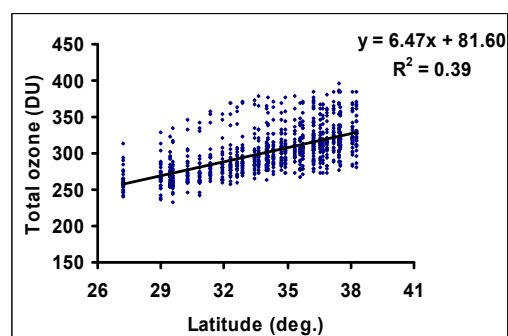
شکل ۱۱. نقشه الگوی تابستانی هم‌مقدارهای اُزن کلی در منطقه ایران برای میانگین ماه ژوئیه سال‌های (الف) ۲۰۰۷ و (ب) ۲۰۰۸. مقادیر برحسب واحد دابسون هستند و فاصله هم‌مقدارهای اُزن، ۱ واحد دابسون است. نقاط ایستگاه‌ها با شماره مشخص شده‌اند.



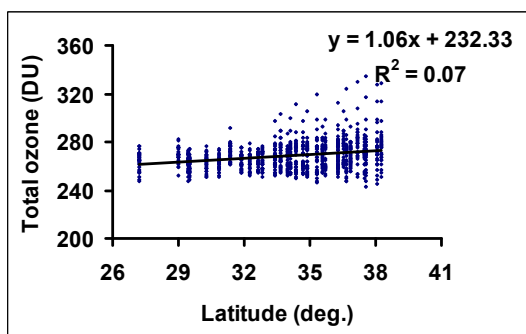
شکل ۱۲. نقشه الگوی پاییزی هم‌مقدارهای ازن کلی در منطقه ایران برای میانگین ماه اکتبر سال‌های (الف) ۲۰۰۷ و (ب) ۲۰۰۸. مقادیر بر حسب واحد دابسون هستند و فاصله هم‌مقدارهای ازن، ۱ واحد دابسون است. نقاط ایستگاه‌ها با شماره مشخص شده‌اند.



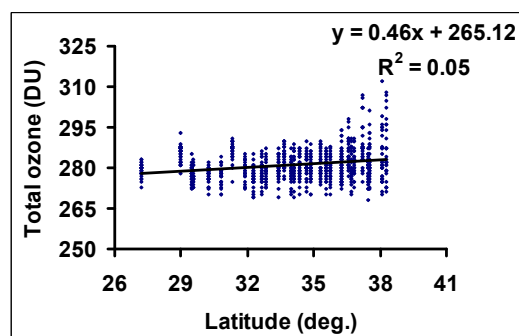
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۱۳. روابط همبستگی بین ازن و عرض جغرافیایی برای (الف) ژانویه، (ب) آوریل، (ج) ژوئیه و (د) اکتبر ۲۰۰۸.

جدول ۴. مقادیر ضرایب همبستگی بین ازن و عرض جغرافیایی طی سال ۲۰۰۸. منظور از R، ضریب همبستگی و N، درجه آزادی می باشد.

month	Jan	Apr	Jul	Oct
R	0.62	0.51	0.23	0.26
N	930	899	899	923

زاهدان، شیراز، بندرعباس، اهواز، گرگان و رشت. نتایج زیر برای سال ۲۰۰۷ به دست آمد. میانگین سالانه منطقه‌ای اُزن، مقدار ۲۹۱ واحد دابسون محاسبه شد. بیشینه ماهانه منطقه‌ای اُزن کلی در ماه مارس با مقدار ۳۲۸/۲ واحد دابسون و کمینه آن در ماه اکتبر با مقدار ۲۶۷ واحد دابسون رخ داده است. محدوده تغییرات سالانه منطقه‌ای اُزن بین ۲۴۸ تا ۳۶۰/۵ واحد دابسون است.

مقایسه فصلی ایستگاه‌های منتخب منطقه روشن ساخت که در فصل‌های تابستان و پاییز، بیشترین مقدار اُزن کلی مربوط به ایستگاه رشت و کمترین آن مربوط به ایستگاه شیراز است.

ضریب همبستگی بین داده‌های روزانه اُزن کلی ایستگاه‌های منتخب، برای سال ۲۰۰۷ محاسبه و بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که هر یک از ایستگاه‌ها با کدام ایستگاه بالاترین همبستگی را دارد. به طور نمونه ایستگاه تهران بالاترین همبستگی را با ایستگاه گرگان با مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۷ دارد.

درصد ضریب تغییرات نسبی منطقه‌ای (CRV) اُزن کلی برای هر یک از روزهای سال ۲۰۰۷ محاسبه شد و سپس مقادیر میانگین ماهانه آن به دست آمد. این نتایج نشان داد که تغییرات ماهانه منطقه‌ای اُزن کلی بین ۵ تا ۲۷ درصد است و بیشترین تغییرات منطقه‌ای در فصل سرد و کمترین آن در فصل گرم رخ می‌دهد. مقدار ضریب تغییرات نسبی منطقه‌ای به دست آمده وابسته به مشخصات جغرافیایی منطقه تحقیقاتی می‌تواند متفاوت باشد، برای نمونه، در تحقیقی که آنتون و همکاران (۲۰۱۱) در کشور پرتغال انجام داده‌اند، تغییرات ماهانه منطقه‌ای اُزن از نظر عرض جغرافیایی بین ۳/۵ تا ۶ درصد بوده است.

درصد تغییرات روزبه‌روز اُزن کلی در سال ۲۰۰۷ برای هر یک از ایستگاه‌های منتخب محاسبه شد. بیشترین تغییرات روزبه‌روز اُزن کلی معمولاً در ماه‌های سرد فوریه

در حدود ۳۰ ایستگاه مراکز استانی، ضرایب همبستگی بین مقادیر اُزن و پارامترهای عرض جغرافیایی و ارتفاع، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که ضرایب همبستگی مثبتی بین اُزن و عرض جغرافیایی در فصل‌های متفاوت سال برقرار است (در سطح آماری ۹۹٪) ولی این همبستگی‌ها در فصل زمستان و بهار قوی‌تر و در تابستان و پاییز ضعیف‌تر هستند. جدول ۴ این مقادیر همبستگی را نشان می‌دهد. شکل ۱۳ نمودارها و روابط همبستگی بین آنها را برای فصل‌های متفاوت نشان می‌دهد. قوی شدن همبستگی بین اُزن کلی و عرض جغرافیایی در بهار و زمستان بر اثر قوی شدن گردش‌های برور-دابسون است که طی آن، اُزن از منابع تولیدش در مناطق حاره‌ای به سمت عرض‌های جغرافیایی میانی و قطبی منتقل می‌شود. ضرایب همبستگی منفی بین اُزن و ارتفاع، در فصل‌های تابستان ($R = -0.32$, $N = 899$) و پاییز ($R = -0.15$, $N = 923$)، برقرار است (در سطح آماری ۹۹٪) و این همبستگی در تابستان قوی‌تر از پاییز است.

۴ نتیجه‌گیری

در این تحقیق از داده‌های اُزن کلی ماهواره‌ای OMI برای ایستگاه‌های منتخب در منطقه ایران استفاده شد. دوره تحقیقاتی پژوهش مربوط به سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ است. همچنین از داده‌های اُزن کلی اندازه‌گیری شده با دستگاه اُزن سنج دابسون ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک به منظور مقایسه مقدار آن با اُزن ماهواره‌ای استفاده شد.

برای بررسی تغییرات مکانی منطقه‌ای اُزن کلی، ۱۰ ایستگاه در نظر گرفته شد و در انتخاب این ایستگاه‌ها که هر یک در مراکز استان‌ها واقع‌اند، سعی شد توزیع خوبی از اُزن کلی بخش‌های گوناگون منطقه ایران به دست آید. این ایستگاه‌ها عبارت‌اند از تهران، تبریز، ارومیه، مشهد،

بخش‌های غربی آن، با افزایش طول جغرافیایی، مقدار اُزن کاهش پیدا می‌کند. الگوی پاییزی اُزن کلی در منطقه ایران تا اندازه‌ای به الگوی تابستانی آن نزدیک است. با این تفاوت که در پاییز، شدت گرادیان خطوط هم‌مقدار اُزن در مجاورت کوهستان‌ها کمتر است. در تحقیقی که در کوهستان‌های تبت صورت گرفته نیز کاهش اُزن کلی تابستانی مشاهده شده است. این رویداد بیشتر در اثر کاهش ستون جوئی در بالای کوهستان‌ها رخ می‌دهد (تیان و همکاران، ۲۰۰۸).

از آنجا که در فصل تابستان، تابش فرابنفش خورشیدی، بیشترین مقدار سالانه را دارد، تغییرات کاهشی اُزن کلی، دارای اهمیت ویژه‌ای است و افراد ساکن در مناطق عرض‌های جنوبی کشور و کوهستان‌های زاگرس باید نکات ایمنی و حفاظتی را بیشتر رعایت کنند.

از آنجا که کمینه سالانه اُزن در فصل پاییز و به‌ویژه در ماه اکتبر رخ می‌دهد، این کاهش به‌طور منطقه‌ای بررسی شد و نتایج نشان داد که معمولاً در یک روز، کمینه اُزن در همه نقاط منطقه ایران مشاهده می‌شود.

نتایج بررسی‌ها روشن ساخت که در همه فصل‌های سال، همبستگی مثبت معنی‌داری بین مقادیر اُزن و عرض جغرافیایی وجود دارد و این همبستگی در فصل‌های زمستان و بهار قوی‌تر از سایر فصل‌ها است. همچنین در فصل‌های تابستان و پاییز، همبستگی منفی معنی‌داری بین مقادیر اُزن و ارتفاع برقرار است و این همبستگی تابستان قوی‌تر از پاییز است.

منابع

سبزی‌پرور، ع. ا. و لبافی میرقوامی، م.، ۱۳۸۱، تأثیر عوامل همدیدی بر نوسانات روزانه اُزن کلی پایگاه اصفهان، نشریه تحقیقاتی فیزیک زمین و فضا، ۲۸(۱)، ۱۳-۱۹.

Antón, M., Bortoli, D., Costa, M. J., Kulkarni, P. S., Domingues, A. F., Barriopedro, D., Serrano, A. and Silva, A. M., 2011, Temporal

و مارس رخ می‌دهد و بیشینه این مقادیر مربوط به ایستگاه‌های تبریز، ارومیه و رشت است. کمترین تغییرات روزبه‌روز اُزن کلی نیز در ماه‌های گرم ژوئیه و سپتامبر رخ می‌دهد و کمینه این مقادیر مربوط به ایستگاه‌های شیراز و زاهدان است. محدوده تغییرات میانگین ماهانه تغییرات روزبه‌روز اُزن کلی ایستگاه‌های منتخب تقریباً بین ۱ تا ۸ درصد است. همچنین مقایسه نمودار تغییرات روزبه‌روز اُزن کلی ایستگاه‌های گوناگون نشان می‌دهد که این تغییرات با افزایش عرض جغرافیایی، افزایش پیدا کرده‌اند. برای بررسی توزیع فصلی اُزن کلی منطقه، نقشه‌های هم‌مقدار اُزن کلی رسم شد و الگوهای فصلی زمستان، بهار، تابستان و پاییز برای سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ به‌دست آمد.

الگوی زمستانی اُزن کلی در منطقه ایران نشان می‌دهد که هم‌مقدارهای اُزن در این فصل تقریباً به‌صورت مداری هستند. اُزن کلی با افزایش عرض جغرافیایی افزایش پیدا می‌کند ولی با تغییر طول جغرافیایی، تغییر خاصی در اُزن مشاهده نمی‌شود و دامنه تغییرات اُزن کلی گسترده است. الگوی بهاری اُزن کلی در منطقه ایران به الگوی زمستانی آن نزدیک است، با این تفاوت که هم‌مقدارهای اُزن ممکن است از حالت مداری کمی منحرف شوند و در ارتفاعات زاگرس نیز مقدار کمی کاهش اُزن مشاهده می‌شود. در این فصل مقادیر اُزن کلی زیاد است. الگوی تابستانی اُزن کلی در منطقه ایران با الگوهای زمستانی و بهاری متفاوت است و دامنه تغییرات اُزن کلی، کمترین مقدار سالانه را دارد. مقادیر اُزن در ارتفاعات زاگرس، کاهش و در مناطق ساحلی افزایش پیدا کرده است. کمینه اُزن در ارتفاعات بالای زاگرس تشکیل می‌شود. هم‌مقدارهای اُزن در سمت غربی کوهستان زاگرس و سمت شمالی کوهستان البرز و سواحل دریای خزر دارای گرادیان شدید هستند. در بخش‌های شرقی ایران، با افزایش طول جغرافیایی، مقدار اُزن افزایش می‌یابد و در

- stratosphere, Planet. Space Sci., **40**, 373-401.
- Meena, G. S. and Patil, S. D., 2011, Variation of total column ozone along the monsoon trough region over north India, International Journal of Remote Sensing, **32**(9), 2581-2590.
- James, P. M., 1998, Climatology of ozone mini-holes over the northern hemisphere, J. Climatology, **18**, 1287-1303.
- Tian, W., Chipperfield, M. and Huang, Q. I. A. N., 2008, Effects of the Tibetan Plateau on total column ozone distribution, Tellus B, **60**(4), 622-635.
- and spatial variability of total ozone column over Portugal, Remote Sensing of Environment, **115**, 855-863 .
- Antón, M., López, M., Serrano, A., Bañón, M. and García, J. A., 2010, Diurnal variability of total ozone column over Madrid (Spain), Atmospheric Environment, **44**, 2793-2798 .
- Akinyemi, M. L., 2010, Total ozone as a stratospheric indicator of climate variability over West Africa, Int. J. Phys. Sci., **5**, 447-451.
- McElroy, M. B., Salawitch, R. J. and Minschwaner, K. R., 1992, The changing