

بررسی تغییرات ازون کلی جو و نقش آلاینده SO₂ گشت سپهری (تروپوسفری) در تغییرات ازون کلی اندازه گیری شده با دستگاه دابسون مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

زهرا شرعی پور^{۱*} و مجید مزرعه فراهانی^۲

^۱ کارشناس ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

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

(دریافت: ۸۵/۹/۱، پذیرش نهایی: ۸۶/۶/۱۷)

چکیده

برخی آلاینده‌ها از طریق جذب تابش خورشیدی باعث ایجاد تغییراتی در ازون اندازه‌گیری شده با دستگاه ازون سنج دابسون می‌شوند که مهم‌ترین آنها SO₂ و NO₂ هستند. به عبارت دیگر افزایش آلاینده‌ها باعث تغییر مقادیر داده‌های ازون اندازه‌گیری شده با دستگاه دابسون می‌شوند. در این تحقیق ابتدا بررسی کلی از تغییرات داده‌های ازون کلی اندازه‌گیری شده با دستگاه دابسون مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران طی دوره ۴ ساله ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ صورت می‌گیرد و سپس تأثیر آلاینده SO₂ جو تحتانی بر مقادیر ازون اندازه‌گیری شده بررسی می‌شود و خطای حاصل از آلاینده SO₂ بر ازون کلی محاسبه می‌شود و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که بیشترین تغییرپذیری میان سالانه ازون کلی، مربوط به فصل‌های زمستان و بهار است. مقادیر بیشینه بهاری ازون طی دوره موردنظر افزایش جزئی یافته است. بیشترین مقادیر میانگین فصلی بهار و پاییز ازون مربوط به سال ۲۰۰۵ و کمترین آن مربوط به سال ۲۰۰۳ است. همچنین میانگین درصد اختلاف داده‌های ازون دستگاه دابسون و ماهواره طی سال‌های بررسی، تقریباً کاهش یافته است. نتایج تحقیق در مورد خطای آلاینده SO₂ نشان می‌دهد که اغلب محدوده خطا در فصل زمستان بین ۰/۲٪ تا ۱/۴٪ و در فصل تابستان بین ۰/۱٪ و ۰/۷٪ بوده است. همچنین مقدار خطا در فصل زمستان بیشتر از فصل تابستان است.

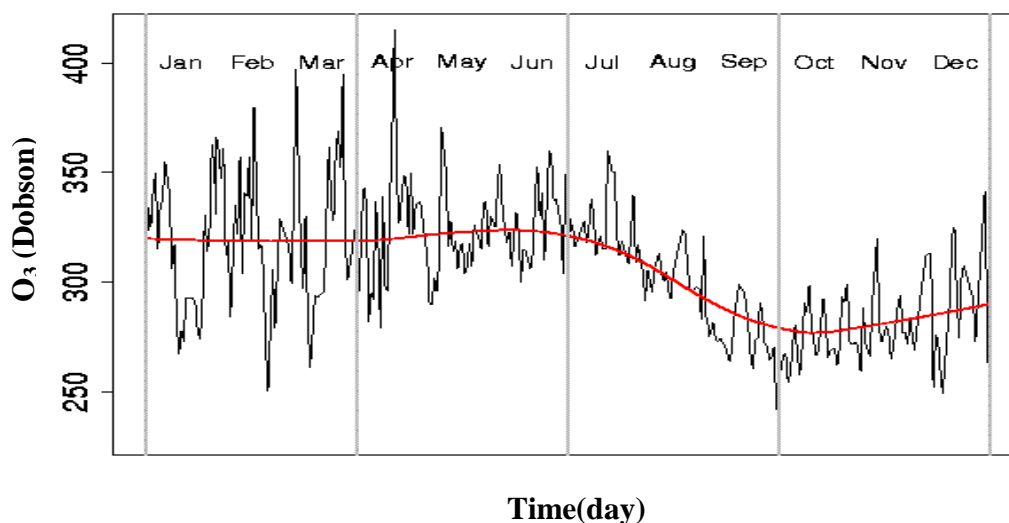
واژه‌های کلیدی: ازون کلی، غلظت آلاینده SO₂، خطای حاصل از آلاینده SO₂، دستگاه دابسون

۱ مقدمه

تغییرات ازون کلی شامل تغییرات جغرافیایی و تغییرات فصلی است. به بیانی دیگر مقدار ازون با عرض و طول جغرافیایی تغییر می‌کند. در مناطق عرض‌های میانی و بالا، بیشینه چرخه فصلی ازون کلی جو در اواخر زمستان و اوایل بهار و کمینه آن در پاییز رخ می‌دهد. برای نمونه شکل ۱ تغییرات سالانه ازون کلی سال ۱۹۹۷ در آروسای سوئیس را نشان می‌دهد که شامل تغییرات فصلی و تغییرات روز به روز است. مطابق شکل ۱ مقادیر زیاد در فصل بهار و مقادیر کم در فصل پاییز رخ داده است. معمولاً تغییرات فصلی به موجب گردش‌های کلی آرام سپهری و تغییرات روز به روز مربوط به شرایط هواشناسی است (۲۰۰۴، تارنمای IAC).

با توجه به اهمیت ازون کلی جو و نقش آن در جذب پرتو فرابنفش خورشیدی و تأثیر تخریب لایه ازون بر سلامت انسان، جانوران، گیاهان و محیط زیست، عملی ساختن تحقیقاتی در این مورد ضروری است. در این راستا، تحقیق حاضر در مورد تغییرات ازون کلی جو و آلاینده SO₂ جو تحتانی و همچنین تأثیر آلاینده SO₂ بر ازون کلی صورت گرفته است.

لایه ازون از راه جذب پرتو فرابنفش خورشیدی در آرام سپهر (استراتوسفر) بر دمای این بخش از جو مؤثر بوده است و از این راه باعث تعدیل دمای سطح زمین نیز می‌شود. بنابراین نقش آن در توازن انرژی جو، حیاتی است.



شکل ۱. تغییرات سالانه ازون کلی جو برای سال ۱۹۹۷ در آروسای سوئیس (۲۰۰۴، تارنمای IAC).

آلاینده‌ها بستگی به فعالیت‌های صنعتی، منابع گرمای خانگی و اتوموبیل‌ها دارد و موقعیت جغرافیایی شهر نیز بر آن مؤثر است.

سهام منابع گوناگون در تولید آلاینده SO_2 بستگی به عوامل متعددی دارد و در مکان‌های گوناگون، متفاوت است. برای نمونه در شکل ۲ سهم منابع اصلی SO_2 در مینه سوتا در ۱۹۹۴ نشان داده شده است (۲۰۰۳، تارنمای PCA). مطابق این نمودار نخستین منبع گسیل SO_2 (سهم حدود ۶۲٪) وابسته به اشتعال سوخت‌های مربوط به فعالیت‌های تولید برق است، دومین منبع (سهم حدود ۱۷٪) مربوط به اشتعال سوخت‌های فعالیت‌های صنعتی، سومین منبع (سهم حدود ۹٪) مربوط به فعالیت‌های صنعتی کارخانه‌ها، چهارمین منبع (سهم حدود ۷٪) وابسته به اشتعال سوخت‌های سایر فعالیت‌ها و آخرین منبع (سهم حدود ۵٪) مربوط به حمل و نقل است. مسلماً سهم منابع یادشده در مکان‌های گوناگون، بسته به نوع فعالیت‌های صورت گرفته در آنها، متفاوت است.

با داشتن داده‌های بلندمدت ازون کلی و غلظت آلاینده SO_2 می‌توان مقدار انحراف حاصل از آلاینده

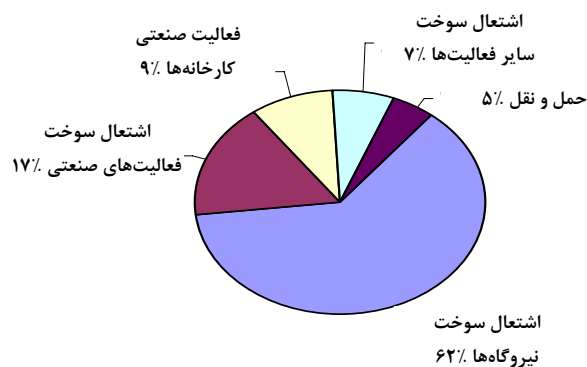
عوامل گوناگونی بر مقدار ازون کلی اندازه‌گیری شده با دستگاه دابسون مؤثرند. از جمله این عوامل می‌توان به دما (آنگل و کرشوفر، ۱۹۶۴)، رطوبت هوا (کوندراتیف و واروتسوز، ۲۰۰۰)، ارتفاع تروپوپاز (ولاماکیس، ۲۰۰۵)، جریان‌های آرام سپهری (کوپر و همکاران، ۲۰۰۵)، نوسان اطلس شمالی-شمالگان (وایس و همکاران، ۲۰۰۱) تاوایی پتانسیلی امواج باروکلینیکی (موت و همکاران، ۱۹۹۱)، تبادل آرام سپهری-گشت سپهر (موراماتسو و همکاران، ۱۹۸۵) و آلاینده‌های هوا (کام‌هیر و ایونس، ۱۹۸۰) اشاره کرد. همچنین تابش فرابنفش خورشیدی نیز بر ازون کلی مؤثر است (کرزیسین، ۲۰۰۰).

انواع جذب‌کننده‌های جوی بر ازون کلی اندازه‌گیری شده با دستگاه طیف‌سنج دابسون تأثیر دارند و در این میان تاثیر آلاینده‌های NO_2 و SO_2 مهم‌تر از سایر آلاینده‌ها است (کام‌هیر و ایونس، ۱۹۸۰).

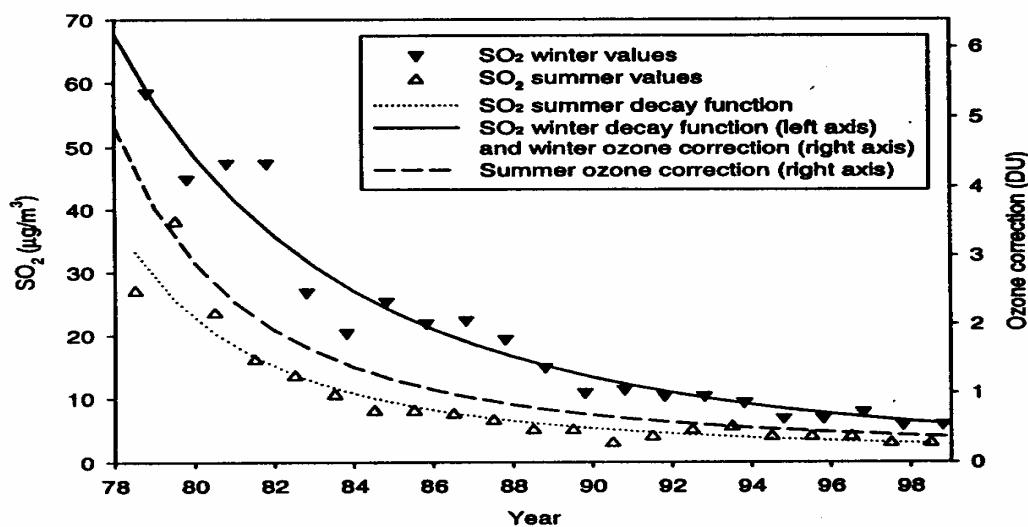
در مکان‌هایی که آلودگی هوا وجود داشته باشد، خطای اندازه‌گیری ازون کلی دستگاه دابسون حاصل از جذب‌کننده‌های فوق، قابل توجه می‌شود. مقدار این

کاهش غلظت آلاینده SO₂ است. در عین حال تصحیح زمستانی، بیشتر از تصحیح تابستانی بوده است. شکل ۳ روند این تغییرات را نشان می‌دهد. برای مثال، تصحیح زمستانی در ۱۹۷۸ تقریباً 2 ± 6 واحد دابسون [یک واحد دابسون، (DU)، برابر است با مقدار ازون موجود در یک لایه به ضخامت ۰/۰۱ میلی‌متر و سطح مقطع واحد در فشار یک اتمسفر و دمای صفر درجه (مزرعه‌فراوانی و همکاران، ۱۳۸۵)] و تصحیح زمستانی در همان سال 1 ± 5 واحد دابسون بوده است در حالی که بعد از ۱۹۹۰ تصحیح تابستانی و زمستانی به حدود ۱ واحد دابسون کاهش یافته است.

SO₂ را محاسبه کرد. در این تحقیق به دلیل نداشتن داده در مؤسسه ژئوفیزیک، بررسی بلندمدت ازون و آلاینده SO₂ مقدور نشد؛ در صورتی که در تحقیقی که در نورژ صورت گرفته (اسوندبی و دال بک، ۲۰۰۲) با استفاده از تغییرات بلندمدت (سال‌های ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۸) غلظت آلاینده SO₂، مقادیر تصحیح محاسبه شده و با اعمال آن بر مقادیر ازون مشاهداتی، مقادیر ازون واقعی ازون برای هر سال به دست آمده است. به بیانی دیگر با داشتن تغییرات بلندمدت غلظت آلاینده SO₂ و یافتن رابطه‌ای برای روند کاهش بلندمدت آن، رابطه‌ای برای تصحیح ازون به دست آمده است که متناسب با همان روند



شکل ۲. سهم منابع گوناگون گسیل SO₂ در ۱۹۹۴ در مینه سوتا (۲۰۰۳، تارنمای PCA).



شکل ۳. منحنی‌های مقادیر میانگین فصلی SO₂ در اسلو، طی سال‌های ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۸.

به طور کلی در عرض‌های میانی، تغییرات ازون کلی ناشی از دو عامل انتقال و تولید، و تخریب فوتوشیمیایی است. انتقال ازون، گردش‌های آرام سپهری صورت می‌گیرد. همچنین دو عامل یاد شده تحت تأثیر فعالیت امواج سیاره‌ای قرار می‌گیرند.

در زمستان و اوایل بهار که ازون کلی افزایش می‌یابد، آرام سپهری عامل انتقال قوی و قابل توجه است و در تابستان و اواخر بهار که ازون کلی کاهش می‌یابد، عامل انتقال ضعیف می‌شود و عامل فوتوشیمیایی حائز اهمیت است (فیولتف و شیرد، ۲۰۰۳).

افزایش ازون کلی زمستانی در عرض‌های برون‌حاره‌ای معمولاً همراه با افزایش فعالیت امواج سیاره‌ای است (فوسو و سلی، ۱۹۹۹).

مطابق الگوی سالانه ازون در شکل ۴ همان‌طور که انتظار می‌رود، بیشینه مقدار ازون در اوایل فصل بهار، یعنی در ماه‌های مارس و آوریل و همچنین کمینه آن در اوایل فصل پاییز یعنی در ماه‌های اکتبر و نوامبر رخ می‌دهد. جدول ۱ مقادیر این کمینه و بیشینه‌های ازون را در سال‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

مطابق جدول ۱ مقدار کمینه ازون طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ افزایش و در ۲۰۰۵ کاهش مختصری یافته است. همچنین مقدار بیشینه ازون طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ تقریباً افزایش یافته است. تغییرات زمانی کمینه و بیشینه ازون طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ نشان می‌دهد که برای هر دو ابتدا جلوفتادگی و سپس عقب‌افتادگی وجود داشته است. این تقدیم و تأخیر برای کمینه در فاصله ماه‌های اکتبر و نوامبر و برای بیشینه در فاصله ماه‌های مارس و آوریل رخ داده است.

تغییرات میانگین فصلی بهار (مارس، آوریل، مه) و پاییز (سپتامبر، اکتبر، نوامبر) و همچنین دامنه تغییرات ازون یعنی مقدار اختلاف بیشینه و کمینه برای سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ در جدول ۲ نشان داده شده است.

در این بررسی ابتدا موقعیت جغرافیایی ایستگاه و دستگاه ازون‌سنج دابسون معرفی می‌شود سپس نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری‌های ازون کلی بیان می‌شود. در ادامه تغییرات غلظت آلاینده SO_2 و تأثیر آن بر ازون کلی جو مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. همچنین تغییرات ذرات گرد و غبار و تأثیر آن بر ازون کلی جو نیز بررسی می‌شود. سرانجام نتیجه‌گیری کلی از تحقیقات صورت گرفته ارائه می‌شود.

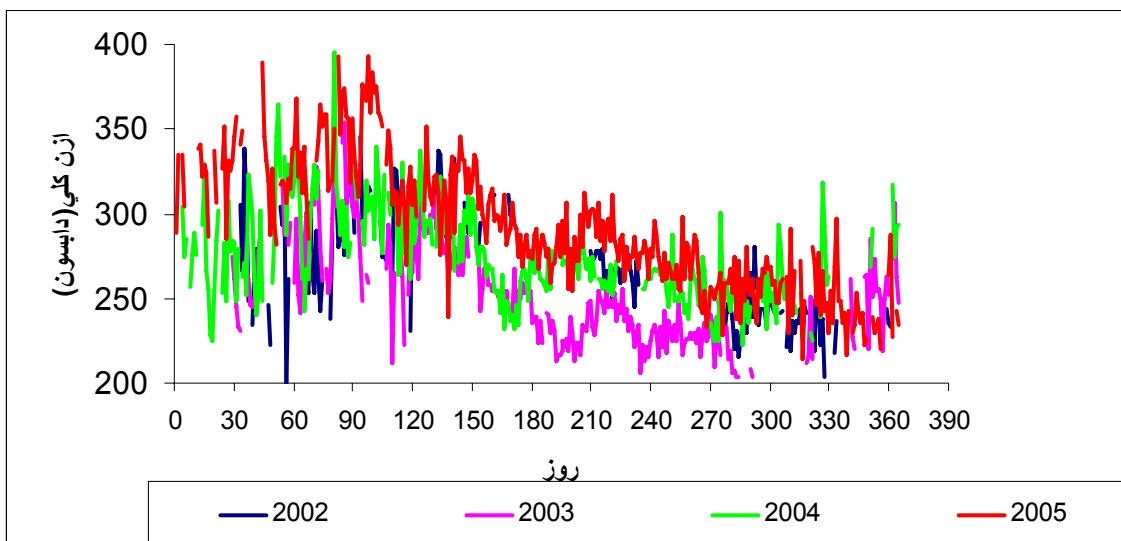
۲ موقعیت ایستگاه و دستگاه ازون‌سنج دابسون

مشخصات جغرافیایی ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک عبارت‌اند از عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴۱۹ متر از سطح دریا. به علت نزدیکی مکانی ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک و ایستگاه سنجش آلودگی پردیسان، میزان آلودگی SO_2 ایستگاه پردیسان با مقدار ازون کلی جو مؤسسه ژئوفیزیک مقایسه شده است. عرض ایستگاه پردیسان ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه و طول جغرافیایی آن ۵۱ درجه و ۲۰ دقیقه و فاصله آن با ایستگاه ژئوفیزیک حدود یک کیلومتر و تقریباً هم ارتفاع با آن است.

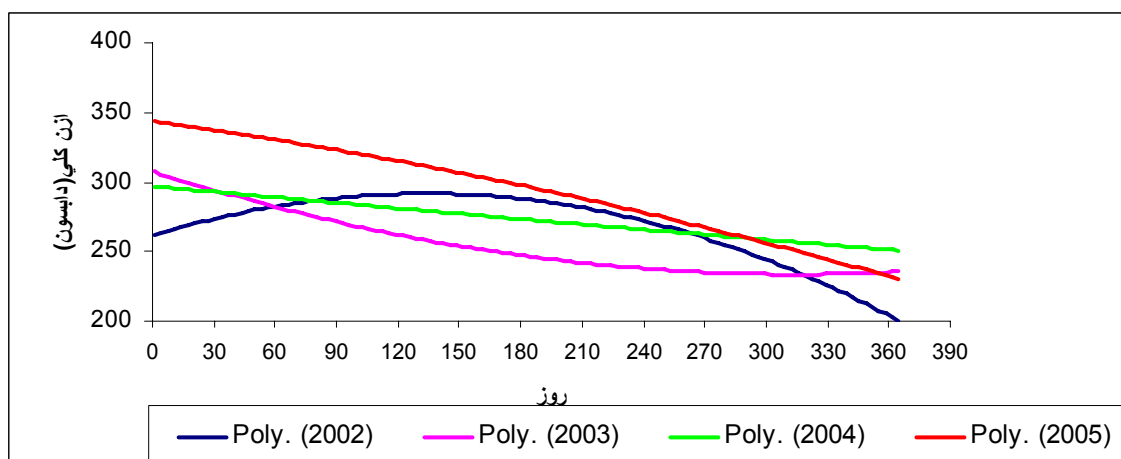
در این تحقیق از داده‌های ازون کلی جو اندازه‌گیری شده با دستگاه دابسون مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و همچنین از داده‌های روزانه آلاینده SO_2 سازمان محیط زیست (ایستگاه پردیسان) در مقطع زمانی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ میلادی استفاده شده است.

۳ نتایج اندازه‌گیری‌های ازون کلی

تغییرات ازون کلی جو با استفاده از داده‌های دستگاه دابسون به صورت نقطه‌ای برای ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک بررسی شده است. شکل ۴ تغییرات سالانه ازون کلی برای سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ و شکل ۵ منحنی گرایش چندجمله‌ای درجه دوم آنها را نشان می‌دهد.



شکل ۴. مقایسه مقادیر اوزن اندازه‌گیری شده با دستگاه دابسون در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ (شروع محور زمانی ابتدای ژانویه است).



شکل ۵. مقایسه منحنی گرایش چندجمله‌ای درجه دوم مقادیر اوزن اندازه‌گیری شده با دستگاه دابسون در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ (شروع محور زمانی ابتدای ژانویه است).

جدول ۱. مقدار و تاریخ وقوع کمینه و بیشینه اوزن در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵.

سال	تاریخ وقوع کمینه اوزن	مقدار اوزن کمینه (دابسون)	تاریخ وقوع بیشینه اوزن	مقدار اوزن بیشینه (دابسون)
۲۰۰۲	روز ۲۴ نوامبر	۲۰۴	روز ۴ آوریل	۳۴۶
۲۰۰۳	روز ۱۰ اکتبر	۲۰۳	روز ۲۷ مارس	۳۵۴
۲۰۰۴	روز ۱۳ اکتبر	۲۲۲	روز ۲۲ مارس	۳۹۵
۲۰۰۵	روز ۱۲ نوامبر	۲۱۴	روز ۸ آوریل	۳۹۳

۲۰۰۳ ناشی از عامل فوتوشیمیایی و افزایش جزئی ژانویه و فوریه سال ۲۰۰۵ مربوط به افزایش فعالیت امواج سیاره‌ای است.

مقایسه‌ای بین داده‌های ماهواره Earth probe و دستگاه دابسون در طول سال‌های مورد بررسی صورت گرفته است. نمودارهای این مقایسه، مطابق شکل‌های ۶ است که در آن درصد تفاوت داده‌های ماهواره و دستگاه دابسون نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده از این نمودارها نشان می‌دهد که در بیشتر موارد، کمترین تفاوت، مربوط به ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر، یا به عبارتی فصل تابستان است. یکی از دلایل این امر احتمالاً کاهش عوامل مؤثر بر ازون کلی در این فصل، از قبیل نم‌نسیبی، سامانه‌های جوی و مقدار آلاینده‌ها است.

همانطور که مشاهده می‌شود در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ در بیشتر موارد تفاوت بین مقادیر ازون حاصل از دستگاه دابسون و ماهواره مثبت و در سال ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ این مقادیر هم مثبت و هم منفی بوده است، به طوری که در سال ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵، دامنه تغییرات بین ۱۰- و ۱۰+ است. همچنین میانگین درصد اختلاف داده‌های ازون دستگاه دابسون و ماهواره، طی سال‌های اخیر کاهش یافته است.

مطابق جدول ۲ بالاترین مقادیر میانگین فصلی بهار و پاییز ازون مربوط به ۲۰۰۵ و کمترین آن مربوط به ۲۰۰۳ است. مقدار میانگین ازون در فصل بهار و پاییز ۲۰۰۵ افزایش داشته ولی افزایش بهاری بیشتر از افزایش پاییزی بوده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، طی سال‌های مورد بررسی، دامنه افزایش یافته و بیشترین دامنه مربوط به ۲۰۰۵ است.

بررسی الگوی سالانه ازون کلی نشان می‌دهد که چرخه سالانه ازون کلی به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند و بیشترین تغییر آن در فصل‌های زمستان و بهار؛ هنگامی که امواج سیاره‌ای، گشت سپهر را به آرام سپهری مرتبط می‌کند، رخ می‌دهد (فوسو و سلبی، ۱۹۹۹). جدول ۳ با مقایسه انحراف معیار ماهانه ازون کلی برای ماه‌های متفاوت این موضوع را نشان می‌دهد.

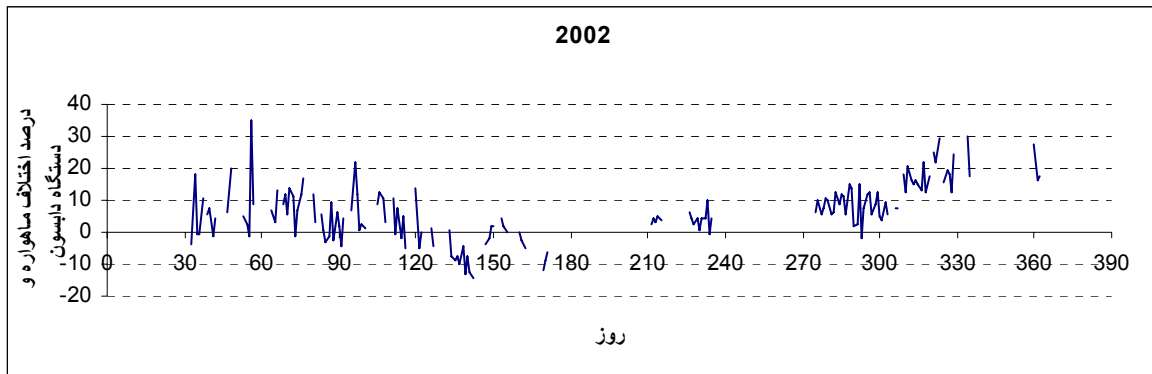
مقایسه نمودارهای سالانه ازون نشان می‌دهد که مقدار ازون در دو ماهه اول ۲۰۰۵ نسبت به سایر سال‌ها افزایش جزئی داشته است. همچنین در ماه ژوئیه ۲۰۰۳ کاهش جزئی مشاهده می‌شود. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، عوامل متعددی بر میزان تغییرات ازون مؤثرند. عوامل مؤثر بر تغییرات ذکر شده در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵ در دست بررسی است. احتمالاً کاهش جزئی ژوئیه سال

جدول ۲. میانگین فصلی ازون برحسب واحد دابسون و دامنه نوسان‌های سالانه.

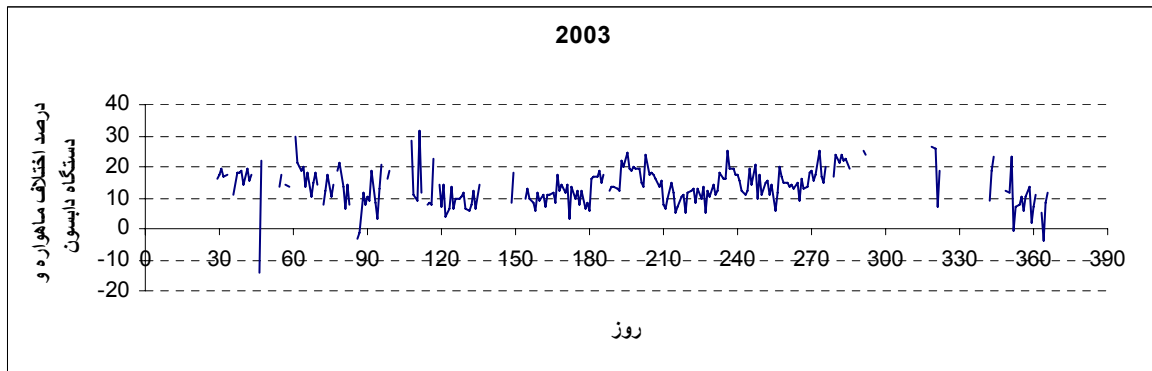
سال	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵
میانگین بهاری	۲۹۳	۲۸۲	۲۹۹	۳۳۱
میانگین پاییزی	۲۳۸	۲۲۳	۲۵۴	۲۵۹
مقدار دامنه سالانه ازون	۱۴۲	۱۵۱	۱۷۳	۱۷۹

جدول ۳. انحراف معیار ماهانه ازون کلی برحسب واحد دابسون در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵.

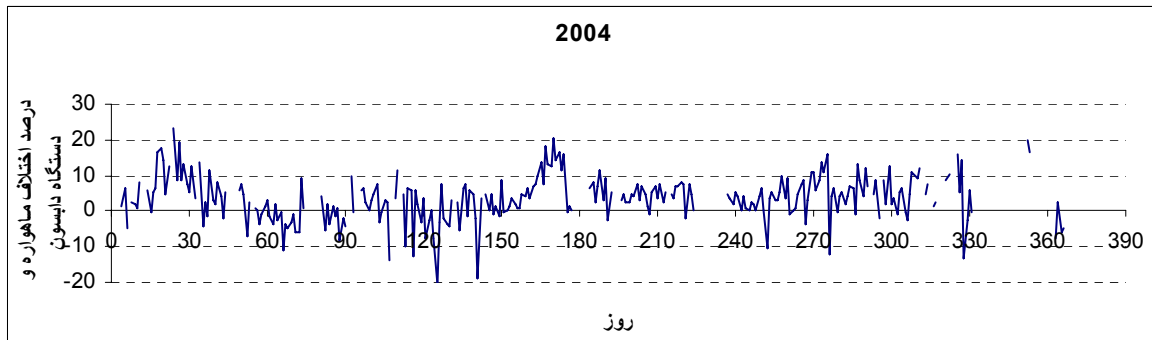
سال	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
۲۰۰۲	—	۳۶/۴	۲۵/۱	۲۷/۱	۱۶/۴	۱۲/۳	۱۶/۱	۹/۲	—	۱۳/۵	۱۲/۸	۱۲/۳
۲۰۰۳	۱۷/۰	۳۹/۵	۳۰/۷	۲۴/۸	۱۴/۸	۹/۶	۹/۷	۱۲/۹	۸/۵	۹/۵	۱۸/۲	۲۱/۴
۲۰۰۴	۲۴/۴	۳۴/۲	۳۳/۵	۲۱/۱	۱۵/۶	۱۵/۲	۸/۷	۵/۵	۱۴/۱	۱۶/۹	۲۴/۲	۲۴/۹
۲۰۰۵	۲۰/۳	۲۴/۷	۲۴/۲	۳۰/۸	۲۱/۸	۱۴/۵	۱۵/۱	۱۱/۶	۱۴/۶	۱۲/۵	۱۹/۷	۱۴/۶



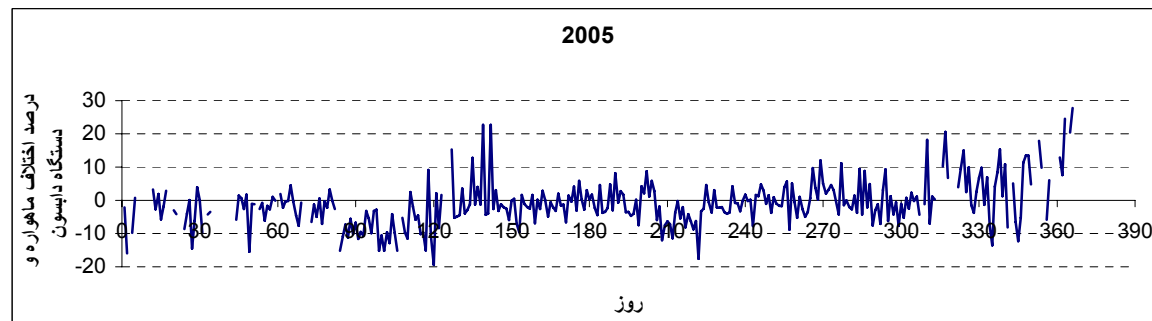
(a)



(b)



(c)



(d)

شکل ۶. نمودار درصد تفاوت داده‌های ماهواره و دابسون در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ (درصد تفاوت = $(TOMS-DOBSON)/TOMS$) در ترتیب d, c, b, a به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ است.

۴ تغییرات آلاینده SO_2 و تأثیر آن بر ازون کلی جو تغییرات ازون کلی جو و آلاینده SO_2 در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ بررسی شد و نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در ۲۰۰۲ گرادیان شدیدی در مقدار SO_2 در ماه اکتبر وجود دارد که در سایر سال‌ها مشاهده نشده است. این پرش در داده‌های ازون کلی مشاهده نشد. این رخداد و مقایسه آن با مقادیر ازون در شکل ۷ نشان داده شده است. احتمالاً یکی از دلایل پیدایش این گرادیان شدید می‌تواند تغییرات در محیط اطراف ایستگاه پردیسان از جمله بازگشایی بزرگراه‌های اطراف این ایستگاه باشد.

شکل ۸ الگوی سالانه آلاینده SO_2 را در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ نشان می‌دهد. الگوی سالانه آلاینده SO_2 نشان می‌دهد که مقادیر آلاینده SO_2 در زمستان افزایش و در تابستان کاهش می‌یابد و معمولاً بیشینه آن در ماه‌های دسامبر و ژانویه رخ می‌دهد. منابع عمده گسیل SO_2 در تهران وسایل گازوئیل‌سوز و دستگاه‌های گرمایش خانگی است.

بررسی تغییرات میزان SO_2 نشان می‌دهد که میزان آلاینده SO_2 پس از کاهش شدید در اکتبر ۲۰۰۲، تقریباً تا ۲۰۰۵ روند افزایشی داشته است. شکل ۹ نشان‌دهنده این تغییرات طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ است.

برخی آلاینده‌ها از راه عمل جذب باعث تغییراتی در مقدار داده‌های اندازه‌گیری شده با دستگاه دابسون می‌شوند و در این میان تأثیر آلاینده‌های NO_2 و SO_2 بیشتر از سایر آلاینده‌ها است (کام‌هیر و ایونس، ۱۹۸۰).

SO_2 جوی باندهای جذبی قوی در طول موج‌های تابش فرابنفش که برای اندازه‌گیری ازون جوی به کار می‌رود، دارد. بنابراین اندازه‌گیری‌های ازون کلی، با حضور SO_2 تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، SO_2 باعث ایجاد تداخل در اندازه‌گیری‌های دابسون می‌شود (ایونس و همکاران، ۱۹۸۱).

به‌طور کلی جذب پرتو خورشیدی با ازون در سه باند

متفاوت صورت می‌گیرد که عبارت‌اند از باند جذبی هارتلی (Hartly)، باند جذبی بسیار قوی هاگینز (Huggins)، باند جذبی ضعیف (Chappuis). طیف‌سنج دابسون، تابش خورشیدی را در دو تا سه جفت طول موج‌های باند هاگینز اندازه‌گیری می‌کند که عبارت‌اند از: جفت طول موج‌های A، B، C و D. همچنین ازون کلی به‌دست آمده از طول موج‌های AD مهم‌تر از سایر طول موج‌ها است. به بیانی دیگر، مقادیر حد تقریبی طول موج‌های جذبی ازون برای باند هارتلی، 320nm ، برای باند هاگینز، 360nm و برای باند چاپویس، 850nm است. مقادیر حد تقریبی طول موج‌های جذبی SO_2 برای باند قوی آن، 340nm و برای باند خیلی ضعیف آن 390nm است (وارنک، ۱۹۸۸).

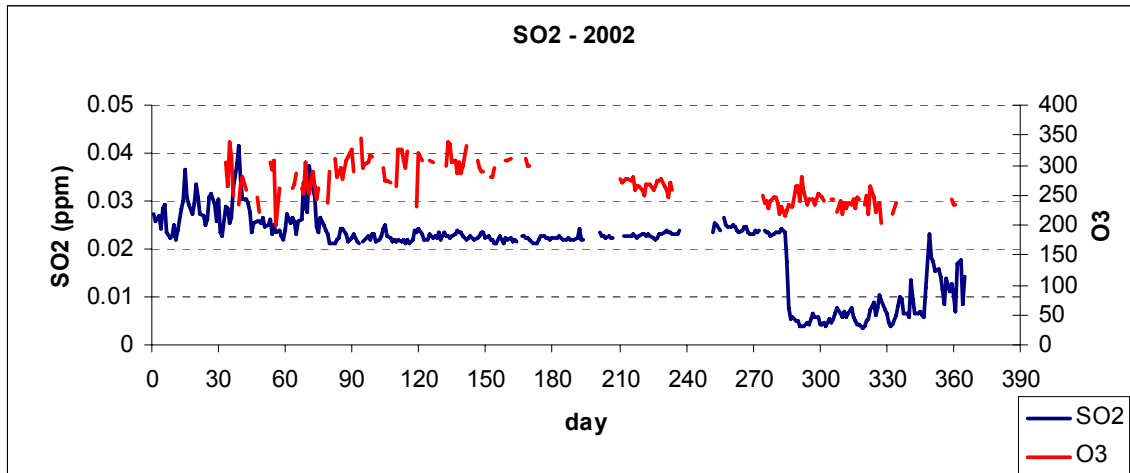
افزایش آلاینده SO_2 و در نتیجه افزایش میزان جذب ازون با این آلاینده باعث می‌شود که داده‌های ازون کلی اندازه‌گیری شده با دستگاه‌های زمینی، به‌طور کاذب تغییر یابد. به بیانی دیگر افزایش آلاینده SO_2 باعث تغییر ازون ثبت شده با دستگاه دابسون می‌شود در حالی که مقادیر ازون واقعی تغییر نیافته است و می‌توان با محاسبه میزان خطا و تفاضل آن از مقادیر مشاهده‌ای، مقادیر واقعی ازون را به‌دست آورد. در مکان‌هایی که مقادیر غلظت آلاینده‌های هوا زیاد است خطای ازون حاصل از آلاینده‌ها قابل توجه است. درصد خطای ازون کلی اندازه‌گیری شده دستگاه دابسون در اثر حضور آلاینده‌ها از رابطه زیر به‌دست می‌آید (کام‌هیر و ایونس، ۱۹۸۰).

$$\% \text{ error in } x_1 = (100 \cdot \alpha_2/x_1 \cdot \alpha_1) \cdot x_2 \quad (1)$$

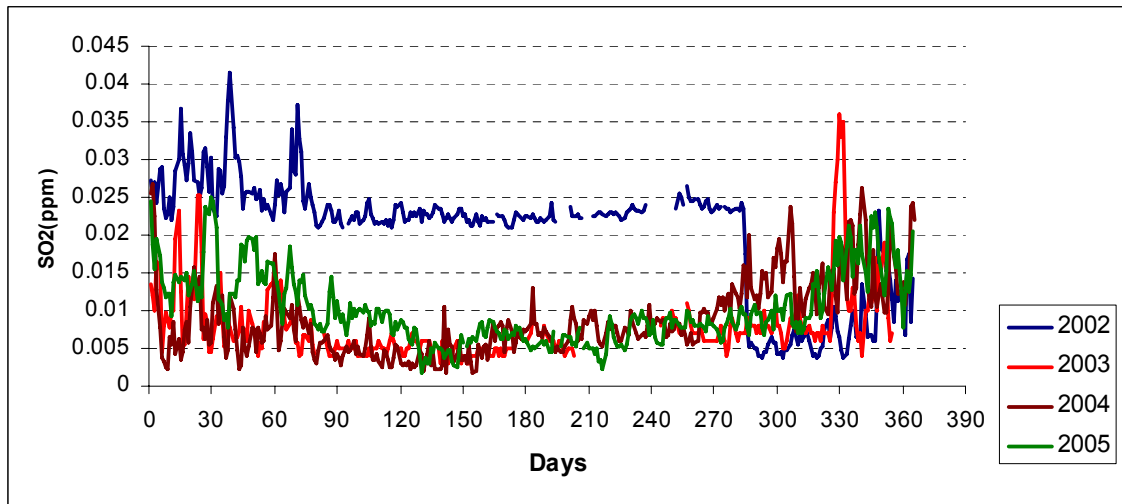
که در آن α_1 ضریب جذب ازون، α_2 ضریب جذب آلاینده، x_2 مقدار غلظت آلاینده و x_1 مقدار ازون است. x_1 و x_2 برحسب میلی اتمسفر- سانتی‌متر است. درصد خطای به‌دست آمده از رابطه فوق برای آلاینده SO_2 برای سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ محاسبه شد. در این مقایسه داده‌های میانگین روزانه خطا برای هر سال به‌طور

می‌توان گفت در تهران مهم‌ترین منبع در گسیل آلاینده SO₂ حمل و نقل است و به‌هنگام تغییرات آلاینده SO₂، اوزون سطحی هم تغییر می‌کند که مقدار آن بر اوزون کلی مؤثر است.

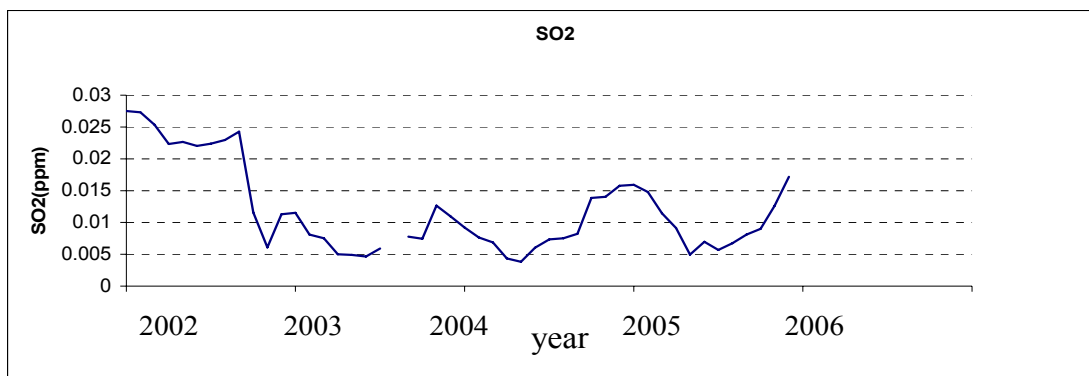
جداگانه بررسی شد. البته قابل ذکر است که عوامل متعددی بر اوزون تأثیرگذارند و در ضمن برخی از آنها بر یکدیگر نیز تأثیر متقابل دارند. بنابراین در نظر گرفتن مجموع تأثیرات این عوامل کار پیچیده‌ای است. برای نمونه



شکل ۷. مقایسه مقدار اوزون کلی جو و غلظت آلاینده SO₂ در سال ۲۰۰۲ میلادی.



شکل ۸. مقایسه مقادیر آلاینده SO₂ در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵.



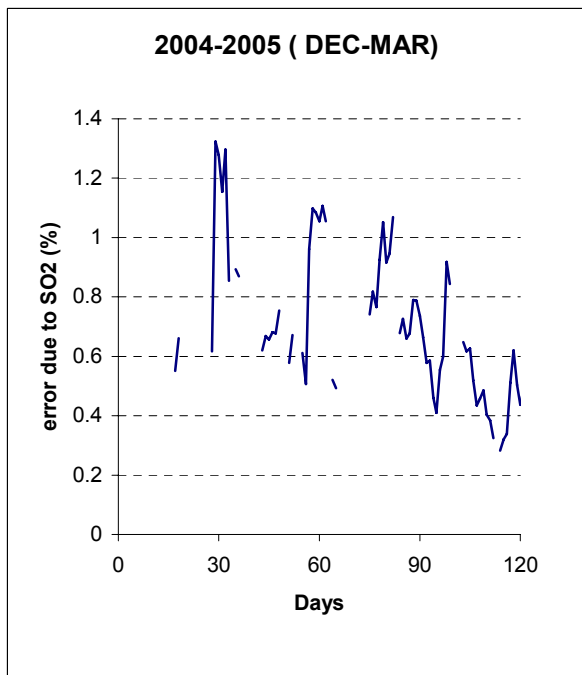
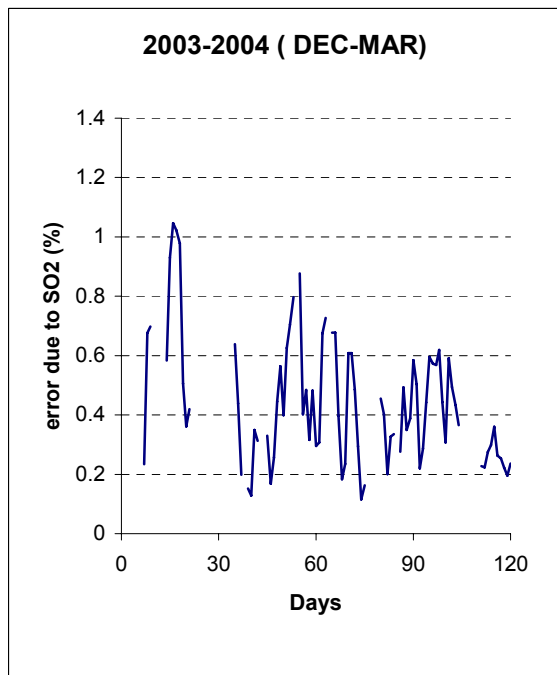
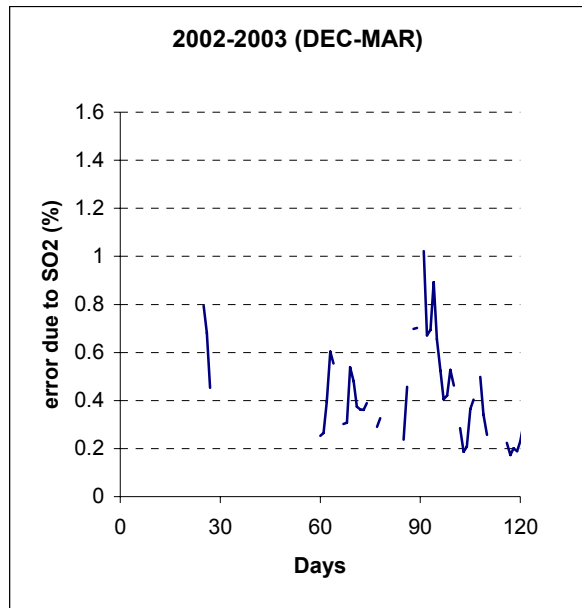
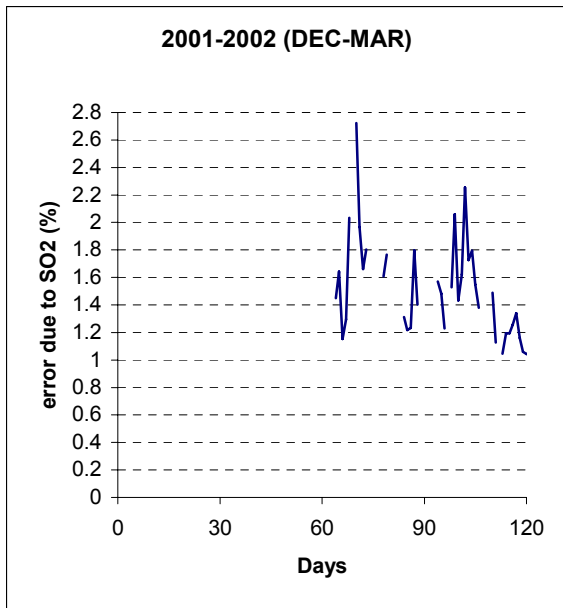
شکل ۹. روند تغییرات ماهانه SO₂ از سال ۲۰۰۲.

در تحقیق مشابهی که در مورد تأثیر SO₂ بر ازون کلی جو اندازه‌گیری شده با دستگاه دابسون در آتن صورت گرفته (کوندرا تیف و واروتسوز، ۲۰۰۰) درصد خطای حاصل از SO₂ محاسبه شده است. همچنین درصد خطا برای فصل زمستان و تابستان با یکدیگر مقایسه شده است. شکل ۱۲ نمودار این خطاها را برای فصل زمستان سال ۱۹۸۹-۱۹۹۰ به ازای مقدار استاندارد ۰/۳ اتمسفر- سانتی‌متر ازون نشان می‌دهد. در تحقیق یاد شده، اغلب محدوده خطا در فصل زمستان بین ۰/۲٪ و ۱/۹٪ و در فصل تابستان بین ۰/۲٪ و ۱/۷٪ بوده است. طبق نتایج این تحقیق، در آتن نیز تأثیر آلاینده SO₂ بر ازون و در نتیجه خطای حاصل شده در فصل زمستان بیشتر از تابستان است.

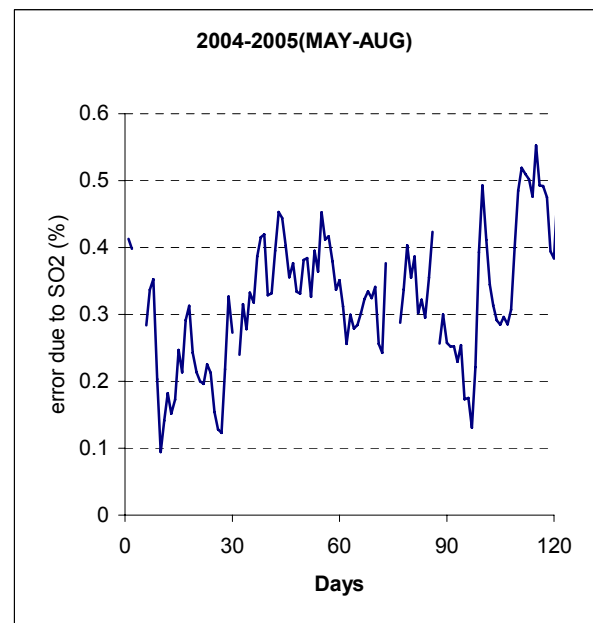
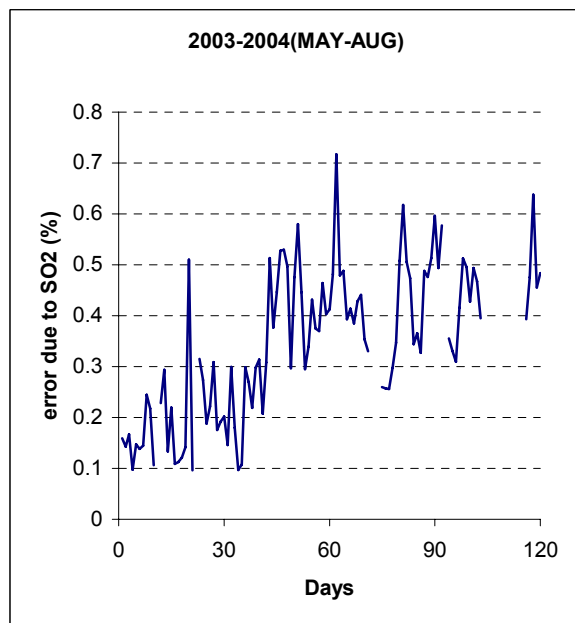
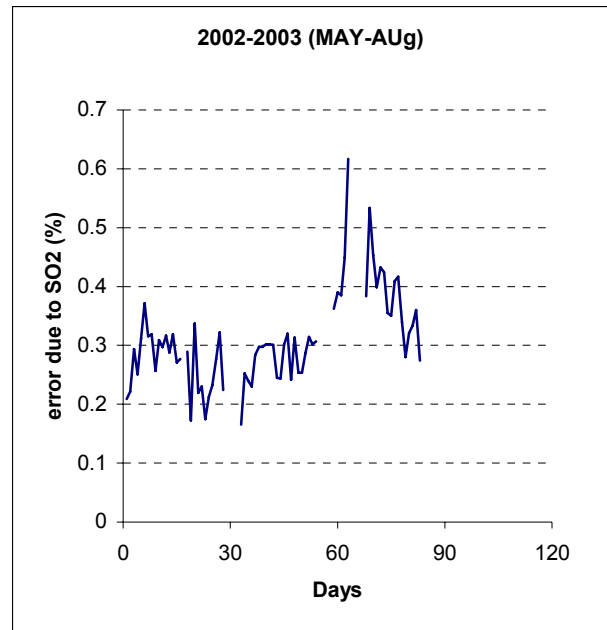
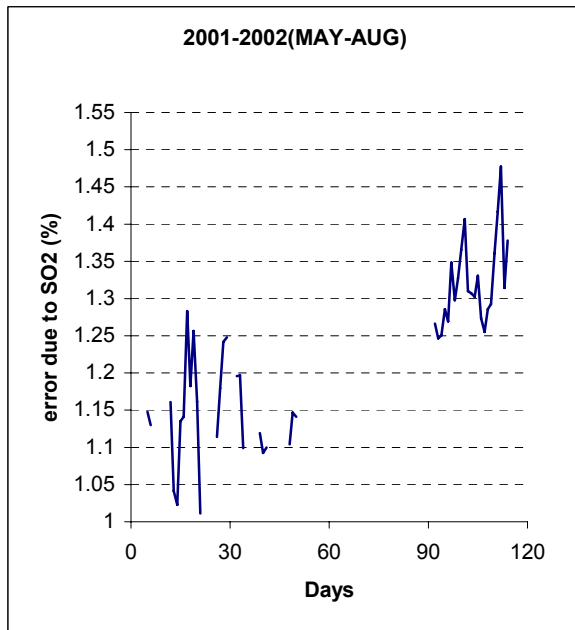
مقدار خطای ازون حاصل از آلاینده‌ها، بسته به میزان غلظت آلاینده‌ها در مکان مورد نظر، متفاوت است. برای مثال، خطای حاصل از آلاینده SO₂ که میانگین سالانه آن در بولدر دنور کلورادو در سال ۱۹۷۸ مقدار ۰/۱۱-ppm بوده مطابق ۰/۶ درصد محاسبه شده است (کام‌هیر و ایونس، ۱۹۸۰).

شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نمودارهای خطاهای به‌دست آمده را به ترتیب در فصل زمستان و تابستان نشان می‌دهد. کمبود نقاط داده‌ها در نمودارهای مورد نظر مربوط به کمبود داده‌ای ازون کلی یا SO₂ است. همان‌طور که مشاهده می‌شود خطاهای به‌دست آمده در ۲۰۰۲ بیش از سایر سال‌ها است که علت آن بالا بودن غلظت آلاینده SO₂ در این سال است. در اکثر موارد، محدوده خطا در فصل زمستان (ماه‌های دسامبر تا مارس) بین ۲۰٪ تا ۱/۴٪ و همچنین در فصل تابستان (ماه‌های مه تا اوت) بین ۱۰٪ تا ۰/۷٪ است. همچنین غالباً مقدار درصد خطا در ماه مارس در مقایسه با سایر ماه‌های زمستان کمتر است که یکی از عوامل آن می‌تواند افزایش مقدار ازون کلی جو در ماه مارس باشد.

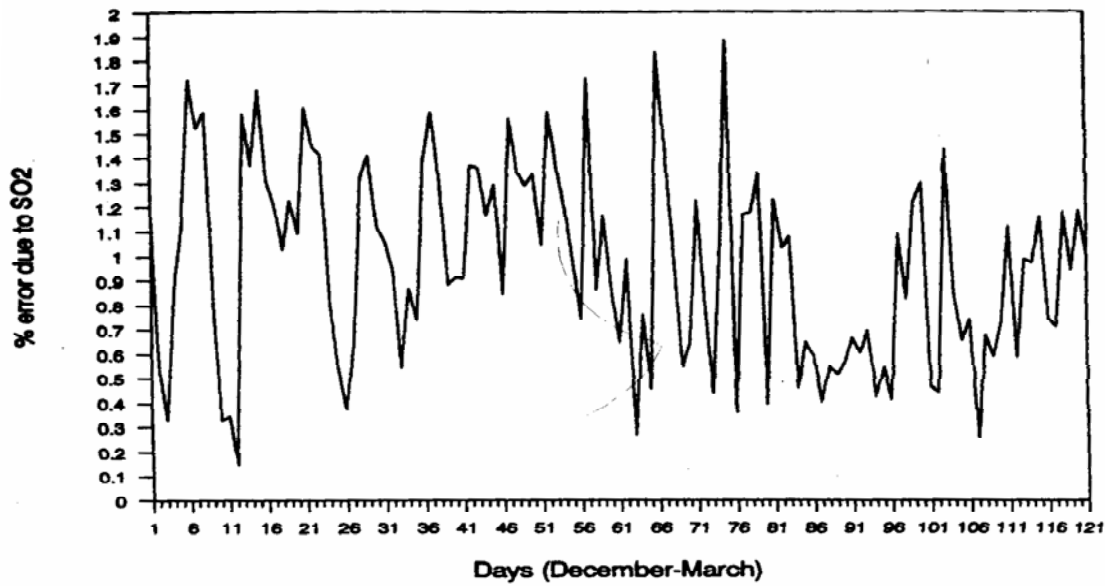
مقایسه میانگین فصلی درصد خطای حاصل از آلاینده SO₂ در جدول ۴ آمده است. نتایج به‌دست آمده از این جدول و مقایسه نمودارهای مورد نظر نشان می‌دهد که درصد خطای فصل زمستان بیش از فصل تابستان است که یکی از عوامل اساسی آن افزایش آلاینده SO₂ در زمستان به موجب استفاده از منابع گرمایی خانگی نسبت به تابستان است.



شکل ۱۰. منحنی‌های درصد خطای ازون حاصل از آلاینده SO₂ در فصل زمستان (ماه‌های دسامبر تا مارس) برای سال‌های ۲۰۰۱ - ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ - ۲۰۰۵.



شکل ۱۱. منحنی‌های درصد خطای ازون حاصل از آلاینده SO_2 در فصل تابستان (ماه‌های می تا اوت) برای سال‌های ۲۰۰۱ - ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ - ۲۰۰۶.



شکل ۱۲. میانگین روزانه درصد خطای ازون کلی حاصل از SO₂ در ماه‌های دسامبر تا مارس سال ۱۹۸۹-۱۹۹۰ (کوندراتیف و واروتسوز، ۲۰۰۰).

جدول ۴. مقادیر میانگین فصلی درصد خطای حاصل از آلاینده SO₂.

سال	مه - اوت	دسامبر - مارس
۲۰۰۱-۲۰۰۲	۱/۲۱	۱/۵
۲۰۰۲-۲۰۰۳	۰/۳۱	۰/۴۸
۲۰۰۳-۲۰۰۴	۰/۳۵	۰/۴۵
۲۰۰۴-۲۰۰۵	۰/۳۲	۰/۷۲

در اثر بازسازی کلی لایه ازون در سال‌های اخیر باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که چرخه سالانه ازون کلی در طی سال به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند و بیشترین تغییر آن در فصل‌های زمستان و بهار و هنگامی است که امواج سیاره‌ای، گشت سپهر را به آرام سپهر پیوند می‌دهند، رخ می‌دهد. دامنه ازون در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ افزایش یافته است که به علت آن افزایش بیشتر بیشینه بهاری نسبت به کمینه پاییزی است. بیشترین مقادیر میانگین فصلی بهار و پاییز ازون مربوط به سال ۲۰۰۵ و کمترین آن مربوط به سال ۲۰۰۳ است. مقدار ازون در دو ماهه اول سال ۲۰۰۵ نسبت به سایر سال‌ها افزایش جزئی

۵ نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به منظور افزایش دقت اندازه‌گیری‌های ازون دستگاه دابسون ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک و تعیین خطای حاصل از آلاینده‌ها و نیز بررسی کلی تغییرات سالانه ازون طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ شد.

بررسی چرخه فصلی ازون نشان می‌دهد که مشابه سایر مناطق عرض‌های میانی، بیشینه ازون کلی در اوایل فصل بهار (اکثراً در ماه‌های مارس و آوریل) و کمینه آن در اوایل فصل پاییز (اکثراً در ماه‌های اکتبر و نوامبر) رخ می‌دهد. مقدار بیشینه بهاری ازون در دوره چهار ساله مورد بررسی تقریباً افزایش یافته است. این افزایش ممکن است

تشکر و قدردانی

از سازمان محیط زیست به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های آلودگی ایستگاه پردیسان سپاسگزاری می‌شود.

منابع

مزرعه فراهانی، م.، شرعی‌پور، ز.، زندنی‌پور، ا.، علوی، ن.، و مالکی‌فرد، ف.، ۱۳۸۵، گزارش علمی شماره ۸۴: ازون جوی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صفحه ۶.

- Angell, J. K., and Korshover, J., 1964, Quasi-biennial variations in temperature, total ozone, and tropopause height, *J. Atmos. Sci.*, **21**, 479-492.
- Cooper, O. R., Stohl, A., Hubler, G., Hsie, E. Y., Parrish, D. D., Tuck, A. F., Kiladis, G. N., Oltmans, S. J., Johnson, B. J., Shapiro, M., Moody, J. L., and Lefohn, A. S., 2005, Direct transport of midlatitude stratospheric ozone into the lower troposphere and marine boundary layer of the tropical Pacific Ocean, *J. Geophys. Res.*, **110**, D23310, doi:10.1029/2005JD005783.
- Evans, W. F. J., Asbridge, I. A., Kerr, J. B., Mateer, C. L., and Olafson, R. A., 1981, The effects of SO₂ on Dobson and Brewer total ozone measurements, *Quadrennial International Ozone Symposium*, Boulder, CO, August 4-9, 1980, *Proceedings. Volume 1. (A82-36401 17-46)* Boulder, CO, International Association of Meteorology and Atmospheric Physics, 1981, p. 48-56.
- Fioletov, V. E., and Shepherd T. G., 2003, Seasonal persistence of midlatitude total ozone anomalies, *Geophys. Res. Lett.*, **30**, NO. 0,xxxx, doi: 10.1029/2002 GL016739.
- Fusco, A. C., and Salby, M. L., 1999, Interannual variations of total ozone and their relationship to variations of planetary wave activity, *J. Climate*, **12**, 1619-1629.
- Komhyr, W. D., and Evans, R. D., 1980, Dobson spectrophotometer total ozone measurement errors caused by interfering absorbing species such as SO₂, NO₂, and photochemically produced O₃ in polluted air: *Geophys. Res. Lett.*, **7**, 157-160.
- Kondratyev, K. Y., and Varotsos, C. A., 2000, *Atmospheric Ozone Variability: publisher praxis*, 617 pp.

داشته است و هم‌چنین در ماه ژوئیه ۲۰۰۳ کاهش جزئی مشاهده می‌شود. احتمالاً کاهش جزئی ژوئیه ۲۰۰۳ ناشی از عامل فوتوشیمیایی و افزایش جزئی ژانویه و فوریه ۲۰۰۵ مربوط به افزایش فعالیت امواج سیاره‌ای است. درصد اختلاف بین داده‌های ازون دستگاه دابسون و ماهواره اغلب در تابستان کاهش یافته و هم‌چنین تغییرات کلی سالانه تقریباً بین ۱۰٪- و ۱۰٪+ بوده است. میانگین درصد اختلاف داده‌های ازون دستگاه دابسون و ماهواره طی سال‌های اخیر کاهش یافته است.

برخی آلاینده‌ها از راه جذب تابش فرابنفش خورشیدی باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری‌های ازون دستگاه دابسون می‌شوند که مهم‌ترین آنها NO₂ و SO₂ است. به عبارت دیگر افزایش آلاینده‌ها باعث تغییر کاذب داده‌های ازون اندازه‌گیری شده با دستگاه دابسون می‌شود. در این تحقیق، تأثیر آلاینده SO₂ بر ازون مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر این آلاینده در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ بررسی و درصد خطای حاصل از SO₂ برای میانگین روزانه محاسبه شد. نمودار تغییرات درصد خطای حاصل از SO₂ نشان داد که اغلب محدوده خطا در فصل زمستان (ماه‌های دسامبر تا مارس) بین ۰/۲٪ تا ۱/۴٪ و در فصل تابستان (ماه‌های مه تا اوت) بین ۰/۱٪ و ۰/۷٪ است. هم‌چنین مقایسه نمودار تغییرات فصلی این خطا نشان می‌دهد که درصد خطای فصل زمستان بیش از فصل تابستان بوده است که این با نتایج به‌دست آمده در تحقیق مشابه در آتن که کوندراتیف و واروتسوز (۲۰۰۰) عملی ساختند، مطابقت دارد. در تحقیق مزبور اغلب محدوده خطا در فصل زمستان بین ۰/۲٪ و ۱/۹٪ و در فصل تابستان بین ۰/۲٪ و ۱/۷٪ بوده است. یکی از عوامل اساسی افزایش خطای زمستان نسبت به تابستان افزوده شدن منابع گرمای خانگی به منابع حمل و نقل در این فصل است. قابل ذکر است که مقدار خطای مورد نظر، بسته به مقدار آلودگی موجود در هر مکان و نوع منابع آلاینده‌ها متفاوت است.

- Vlamakis, A., 2005, Tropopause and total ozone at mid-latitudes, *International J. Remote Sens.*, **26**, 3605-3612.
- Warneck, P., 1988, *Chemistry of the Natural Atmosphere*, Academic Press, 757 pp.
- Weiss, A. K., Staehelin, J., Appenzeller, C., and Harris, N. R. P., 2001, Chemical and dynamical contributions to ozone profile trends of the Payerne (Switzerland) balloon soundings, *J. Geophys. Res.*, 106(D19), 22, 685-22,694.
- <http://www.iac.ethz.ch/en/research/chemie/tpeter/totozon.html>
- <http://www.pca.state.mn.us/gloss/fullDef.cfm?termID=169&header=1>
- Krzyscin, J. W., 2000, Total ozone influence on the surface UV-B radiation in the late spring-summer 1963-1997: An analysis of multiple timescales, *J. Geophys. Res.*, 105, 4993-5000.
- Mote, P. W., Holton, J. R., and Wallace, J. M., 1991, Variability in total ozone associated with baroclinic waves, *J. Atmos. Sci.*, **48**, 1900-1903.
- Muramatsu, H., Makino, Y., Hirota, M., Sasaki, T., 1985, Intrusion process of stratospheric ozone into the troposphere over Japan, In *International Council of Scientific Unions Handbook for MAP*, Vol. 18 4 p (SEE N86-27719 18-46).
- Svendby, T. M., and Dahlback, A., 2002, Twenty years of revised Dobson total ozone measurements in Oslo, Norway: *Geophys. Res.*, 107(D19), 4369, 3, 1-17.