

بررسی تغییرات شاخص تابش فرابنفش UV خورشیدی و ازون کلی جو در شهر تهران طی دوره ۱۱ ساله ۲۰۲۳-۲۰۱۳

زهرا شرعی پور^{۱*} و عباسعلی علی‌اکبری‌بیدختی^۲

^۱ کارشناس ارشد، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران
^۲ استاد گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۳۰)

چکیده

هدف از پژوهش حاضر تعیین تغییرات ماهانه و فصلی تابش UV خورشیدی به منظور محافظت افراد در بیشینه تاثیر ازون کلی جو بر آن در منطقه تهران است. در این تحقیق، مقادیر روزانه شاخص UV خورشیدی از روش محاسباتی با استفاده از داده‌های ازون کلی جو اندازه‌گیری شده زمینی و زاویه سرسوی خورشیدی بدست آمده و سپس با داده‌های مستقیم ماهواره‌ای مقایسه شده است. نتایج این مقایسه نشان داده که طی ماه‌های مه تا ژوئیه مقادیر بدست آمده از این دو روش بهم نزدیک هستند و خطای بین آن دو کم است و درعین حال، مقادیر ماهواره‌ای کمی بیشتر از مقادیر محاسباتی بوده اند. بنابراین نتیجه و با توجه به کمبود داده‌ای اندازه‌گیری‌های زمینی ازون کلی، داده‌های ماهواره‌ای شاخص UV طی دوره بلندمدت مه تا اوت ۲۰۲۳-۲۰۱۳ بررسی شده است. نتایج این بررسی نشان داده که شاخص تابش UV طی ماه‌های فصل گرم مقایره بالایی داشته و میانگین ۴ ماهه مه تا اوت ۱۱/۲۸ و بیشینه ماهانه آن در ژوئیه مقدار ۱۲/۰۶ محاسبه شده است. همبستگی منفی توانی معنی‌داری بین مقادیر روزانه ازون کلی و شاخص تابش UV طی ماه‌های گرم برقرار است ($\alpha \text{To}^{-1.635}$) و ضریب همبستگی ۰/۹۶- برای این دوره ۳ ماهه مه تا ژوئیه سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۱۳ محاسبه شد. مقایسه شاخص تابش UV تهران با برخی شهرهای با ارتفاع جغرافیایی کمتر یا بیشتر از ارتفاع تهران در نزدیکی ایران نشان می‌دهد که این شاخص با افزایش ارتفاع جغرافیایی هر کیلومتر، حدود ۱۱ درصد افزایش می‌یابد. روند بلندمدت میانگین ۴ ماهه مه تا اوت شاخص UV طی سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۱۳ افزایشی بوده است. در حدود ۲۱/۶ درصد از روزهای سال، شاخص استاندارد UV تهران بزرگتر و حدود ۱۱ است که در رده تابش فوق العاده زیاد قرار داشته و بیشتر در ماه‌های ژوئن و ژوئیه رخ می‌دهد و افراد باید از لوازم محافظتی بدن در برابر تابش فرابنفش خورشید استفاده کنند.

کلمه‌های کلیدی: ارتفاع جغرافیایی، ازون کلی جو، تابش UV، تغییرات فصلی، شاخص UV

۱ مقدمه

امروزه اثرات بیولوژیکی تابش فرابنفش UV خورشیدی بر روی سلامت انسانها و مباحث مربوط به آن در سرتا سر جهان از اهمیت بالایی برخوردار است. تابش فرابنفش UV خورشیدی معمولاً به سه باند طیفی (۳۱۵-۴۰۰ nm) UV-A، (۲۸۰-۳۱۵ nm) UV-B و (۱۰۰-۲۸۰ nm) UV-C تقسیم می‌شود. همانطور که این تابش می‌تواند باعث تولید ویتامین D در بدن انسان شود، در حالت پرتوگیری بیش از حد می‌تواند باعث آفتاب‌سوختگی پوست، پیری پوست، سرطان پوست، بیماریهای چشم مانند آب مروارید، آسیب به زنجیره DNA و مشکلات ایمنی بدن شود. تاثیر این آسیب‌ها در برخی مناطق مانند سواحل دریاها و برخی مشاغل که فعالیتشان در محیط باز است بیشتر است. همچنین سالانه تعدادی از افراد بر اثر این اشعه جان خود را از دست می‌دهند. طول موج کوتاه تابش فرابنفش باعث می‌شود انرژی این تابش بیشتر از تابش ناحیه مرئی باشد. تغییرات اصلی تابش فرابنفش خورشیدی رسیده به سطح زمین به دلیل تغییرات فصلی زاویه میل خورشیدی روی می‌دهد و دیگر عوامل مؤثر ثانویه، میزان ازون کلی جو، ابرناکی و ذرات هواویز و بازتاب سطحی است (فویو و همکاران، ۲۰۰۳).

برخی از انواع هواویزها مانند کربن سیاه و کربن قهوه‌ای تاثیر مهمی بر تابش UV رسیده به سطح زمین دارند (بارنارد و همکاران، ۲۰۰۳، موک و همکاران، ۲۰۱۸). تابش UV خورشیدی طول موج A بدون جذب در جو، مستقیم به سطح زمین می‌رسد ولی تابش UV خورشیدی طول موج C توسط مولکولهای اکسیژن و ازون جو بالا جذب می‌شود و به سطح زمین نمی‌رسد (کر و فیولتو، ۲۰۰۸). بیشتر تابش UV خورشیدی طول موج B نیز توسط لایه ازون جذب شده و قسمت کمی از آن به سطح زمین می‌رسد. بنابراین مقدار تابش UV-B که به سطح زمین می‌رسد بستگی زیادی به مقدار ازون کلی جو دارد و هرچه میزان ازون کلی جو

بیشتر باشد، تابش UV-B رسیده به سطح زمین کاهش می‌یابد. معمولاً تابش UV رسیده به سطح زمین، ترکیبی از UV-A و UV-B است. منظور از طیف فعال، تاثیر نسبی تابش UV در یک طول موج خاص برای ایجاد پاسخ زیستی خاص است. مقدار دوز دریافتی مؤثر UV بر حسب واحد J/m^2 برای یک دوره خاص پرتوگیری با مجموع تابش مؤثر در آن دوره تعیین می‌شود. مهمترین کاربرد متداول طیفی در زمینه تابش UV عبارت‌اند از طیف‌های فعال اریتما (erythema) قرمزی پوست یا آفتاب‌سوختگی، جذب DNA و سرطان پوست و آفتاب‌سوختگی.

شاخص UV اریتما معیار برآورد مقادیر UV است که از نظر سلامت پوست اهمیت داشته و زمان اندازه‌گیری این شاخص معمولاً در ظهر محلی است و درصد کمی از آن مربوط به UV-A و درصد زیادی از آن مربوط به UV-B است. این شاخص، پارامتری برای افزایش آگاهی عمومی در مورد اثرات تابش UV روی سلامتی است و معمولاً در موارد بحرانی آن اخطار داده می‌شود تا موارد محافظت بدن با استفاده از وسایلی مانند عینک آفتابی، کلاه، چتر و کرم‌های ضد آفتاب رعایت شود. جدول (۱) گروه بندی شاخص استاندارد تابش UV را نسبت به وضعیت سلامت پوست نشان می‌دهد که توسط سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۰۲ پیشنهاد شده است. تا کنون تحقیقات متعددی در مورد تابش فرابنفش خورشیدی رسیده به سطح زمین انجام شده است که در اینجا به نتایج برخی از آنها اشاره می‌شود. با توجه به تاثیر مهم تابش فرابنفش خورشیدی بر سلامت و بهداشت افراد، بسیاری از محققان، تغییرات مکانی زمانی این تابش را در نقاط مختلف جهان بررسی کرده‌اند از جمله جان جای و همکاران (۲۰۱۰) در تایلند لیو و همکاران (۲۰۱۷) در چین، فونتولاکیس و همکاران (۲۰۲۰) در ایتالیا، آتریلاس و همکاران (۲۰۱۳) در اسپانیا و پارک و همکاران (۲۰۱۵) در کره.

جدول ۱. گروه بندی شاخص استاندارد تابش UV نسبت به وضعیت سلامت پوست (داون و همکاران، ۲۰۱۶) و (سازمان بهداشت جهانی WHO، ۲۰۰۲).

توصیه های ایمنی	نیاز به محافظت، افراد در اواسط روز در سایه باشند		نیاز به محافظت اضافی، افراد در اواسط روز از حضور در محیط باز خودداری کنند		
	بی نیاز از محافظت	نیاز کم	نیاز متوسط	نیاز زیاد	نیاز بسیار زیاد
دامنه شاخص تابش UV	۰-۲	۳-۵	۶-۷	۸-۱۰	۱۱+
UV erythema (mW/m ²)	۰-۷۵	۷۵-۱۵۰	۱۵۰-۲۰۰	۲۰۰-۲۷۵	۲۷۵+
رده پرتوگیری	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد	فوق العاده زیاد

UV-B خورشیدی در منطقه اصفهان طی دوره یک ساله ۲۰۰۳-۲۰۰۴ بررسی کرده‌اند. نتایج تحقیق آنها نشان داده که در ماه‌هایی از سال که اثر ابرناکی قابل ملاحظه است این عامل مؤثرتر از عامل ازون کلی باعث تغییرات تابش UV-B شده و در ماه‌هایی که ابرناکی ضعیف است تاثیر عامل ازون کلی بر تابش UV-B بیشتر است. شرعی پور و علی‌اکبری‌بیدختی (۱۳۹۳) ارتباط امواج مقیاس همدیدی هواشناسی را با افت و خیزهای روزانه ازون کلی جو منطقه ایران طی فصل سرد سالهای ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ بررسی کرده‌اند. نتایج تحقیق آنها نشان داده که حضور ناو‌ها و پشته‌های وردسپهر بالایی زمستانی در منطقه می‌تواند بترتیب باعث افزایش و کاهش مقدار روزانه ازون کلی در منطقه شود. عبدی و همکاران (۱۴۰۰) میزان شاخص UV خورشیدی را در یکی از مکان‌های روباز شهر زنجان (شهری مرتفع) با استفاده از ایستگاه‌های اندازه‌گیری زمینی طی دوره یک ساله بررسی کرده‌اند. طبق نتایج آنها بیشترین میزان شاخص UV روزانه مربوط به تیر ماه بوده است.

در پژوهش حاضر، ابتدا مقادیر روزانه شاخص UV خورشیدی تهران از روش محاسباتی بدست آمده و سپس با داده‌های مستقیم ماهواره‌ای مقایسه شده است. سپس با توجه به نزدیکی داده‌های ماهواره‌ای به داده‌های روش محاسباتی، تغییرات بلند مدت آن بررسی شده است. تغییرات فصلی میزان دوز تابش UV خورشیدی و شاخص آن برای شهر تهران بررسی شده و مقدار بیشینه سالانه آن محاسبه شده است. سپس ارتباط تابش UV با ازون کلی جو

تن و همکاران (۲۰۱۸) تحقیقی را در مالزی انجام داده‌اند. آنها با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای OMI تابش UV مالزی را طی سال ۲۰۱۵ بررسی کرده‌اند. طبق نتایج بدست آمده آنها بیشینه سالانه مربوط به ماه آوریل بوده و همبستگی زیادی بین تغییرات زمانی و مکانی تابش UV و مانسون فصلی وجود داشته است. اگیوم و همکاران (۲۰۲۲) تابش UV را در کشور نیجریه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای از نظر طول و عرض جغرافیایی طی ۳۷ سال سالهای ۲۰۲۰-۱۹۷۹ در ۷ ایستگاه بررسی کرده‌اند. طبق نتایج بدست آمده آنها تابش UV در نیجریه با افزایش عرض جغرافیایی از ۴ تا ۱۳ درجه شمالی افزایش یافته و تابش UV در مناطق شرقی بیش از مناطق غربی بوده است. المصطفی و همکاران (۲۰۱۵) تابش UV را با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای طی سالهای ۲۰۰۵-۱۹۷۹ بررسی کرده‌اند. آنها نشان داده‌اند که روند بلندمدت تابش UV اریتما در عربستان علی‌رغم روند کاهشی ازن کلی جو کاهشی بوده است و این کاهش را به‌عوامل افزایش ذرات هواویز جو نسبت داده‌اند. شارما و همکاران (۲۰۱۲) شاخص UV خورشیدی را با استفاده از داده‌های زمینی در سه شهر بزرگ نیپال شامل کاتماندا، پوخارا و بیراتناگار طی سال ۲۰۰۹ مقایسه کرده‌اند. راپتیس و همکاران (۲۰۲۱) اثرات ترکیبی کاهش ازون و افزایش هواویزهای جوی بر مقدار شاخص UV را در شهر آتن یونان طی ماه مه ۲۰۲۰ بررسی کرده‌اند. شرعی پور و علی‌اکبری‌بیدختی (۱۳۹۰) اثرات ترکیبی عوامل ازون کلی جو و ابرناکی را بر تابش

(orbiting Partnership) بوده و تفکیک افقی شبکه اندازه گیری آن یک درجه عرض و طول جغرافیایی است (پایگاه اینترنتی به نشانی <https://www.esrl.noaa.gov>). داده های ازون کلی زمینی مربوط به اندازه گیری های صورت گرفته با دستگاه دابسون در ایستگاه ازون سنجی مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران است. در این تحقیق از داده های ماهواره ای تابش UV شهرهای تهران، بغداد (با توجه به تنوع آب و هوایی، ارتفاع و عرض جغرافیایی برای مقایسه) استفاده شده و مشخصات جغرافیایی آن ها در جدول (۲) آمده است. داده های ماهواره ای تابش UV و شاخص آن در شرایط آسمان بدون ابر (cloud free) می باشد.

در این تحقیق سعی شده مقادیر تابش UV و شاخص آن با پارامتر ازون کلی جو که یکی از عوامل مؤثر بر آن است مقایسه شود و ارتباط بین آن دو بررسی شود. همچنین از آنجا که دوره بررسی، فصل تابستان در نظر گرفته شده و در شهر تهران در فصل تابستان پارامتر ابرناکی ضعیف است از بررسی تاثیر ابرناکی بر تابش UV صرف نظر شده است.

جدول ۲. مشخصات جغرافیایی شهرهای تهران و بغداد.

ارتفاع میانگین (متر)	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	
۱۱۲۴	۵۱/۳۷	۳۵/۶۲	تهران (ایران)
۳۷	۴۴/۳۷	۳۳/۳۷	بغداد (عراق)

که در آن μ_0 عبارت است از $\cos(SZA)$ که SZA (Solar Zenith Angle) زاویه سرسوی خورشیدی است و نمونه مقادیر کمیت های روابط (۱) و (۲) عبارت اند از: $S = 1.24 \text{ Wm}^{-2} \text{ nm}^{-1}$ ، $\varepsilon = 0.17$ و $\tau = 0.58$ و شاخص تابش UV یا UVI با قرار دادن UVA در رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\frac{UVI}{UVA} = F \times X^G + \frac{H}{T_0} + J \quad (3)$$

بحث شده است. در بخش دیگر، تاثیر عامل ارتفاع جغرافیایی بر مقدار دوز تابش UV در تهران و برخی شهرهای نزدیک منطقه ایران مقایسه شده است و در آخر، تغییرات بلندمدت میانگین ۴ ماهه مه تا اوت تابش UV بررسی شده است.

۲ روش پژوهش

داده های ماهواره ای تابش UV رسیده به سطح زمین از پایگاه داده ای TEMIS (Tropospheric Emission Monitoring Internet Service) بدست آمده که توسط ماهواره SCIAMACHY اندازه گیری می شود (پایگاه اینترنتی به نشانی <https://www.temis.nl>). تفکیک افقی شبکه اندازه گیری ماهواره ای سنجش تابش UV مقدار ۰/۲۵ درجه عرض و طول جغرافیایی است. داده های ازون کلی ماهواره ای (Ozone Mapping and OMPS Profiler Suite) مرکز فضایی NASA (National Aeronautics and Space Administration) مربوط به ماهواره (Suomi National Polar- Suomi NPP)

از نظر تئوری معادلات لازم برای محاسبه شاخص تابش UV عبارت اند از:

$$UVA = \left(\frac{D_0}{D}\right)^2 \times S \times \mu_x \times \exp\left(-\frac{\tau}{\mu_x}\right) \quad (1)$$

که در آن μ_x از رابطه (۲) تعیین می شود و D فاصله بین خورشید و زمین و D_0 فاصله میانگین خورشید و زمین و τ خاموشی جوی و S ثابت خورشیدی UV است.

$$\mu_x = \mu_0 \times (1 - \varepsilon) + \varepsilon \quad (2)$$

که بدترین شرایط تابش UV خورشیدی معمولاً در فصل گرم رخ می‌دهد و همچنین در تهران در فصل گرم، مقدار ابرناکی قابل ملاحظه نیست و ماهواره این داده‌ها را در شرایط بدون ابر در نظر گرفته است، این مقایسه‌ها در ماههای مه، ژوئن و ژوئیه انجام شد. شکل (۱) بطور نمونه این مقایسه را برای ماه‌های مه تا ژوئیه سال ۲۰۲۳ نشان می‌دهد. نتایج این مقایسه نشان می‌دهد که معمولاً داده‌های مستقیم ماهواره‌ای کمی بیشتر از داده‌های روش محاسباتی بوده است و درصد خطا بین آن دو بطور میانگین حدود ۶ درصد محاسبه شده که قابل قبول است. همچنین برای بررسی صحت و سقم داده‌های ماهواره‌ای، مقدار شاخص تابش UV یک بار نیز با استفاده از مقادیر ازون کلی ماهواره‌ای محاسبه و مقایسه شد. شکل (۱) این سه سری مقایسه را نشان می‌دهد. نتایج این مقایسه نشان می‌دهد که داده‌ها بهم نزدیک بوده و اساس رابطه محاسباتی و ماهواره یکی است. بنابراین در این تحقیق، داده‌های ماهواره‌ای شاخص UV که کمبود داده‌ای ندارند، از نظر بلندمدت بررسی شده است و نتایج آن در پی می‌آید.

۳-۲ تغییرات فصلی تابش UV

در این تحقیق ابتدا تغییرات فصلی تابش UV خورشیدی روزانه رسیده به سطح زمین در شهر تهران طی سالهای ۲۰۲۳-۲۰۱۳ بررسی شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که معمولاً مقادیر بالای تابش در ماه‌های مه تا اوت رخ می‌دهد که میانگین ماهانه شاخص UV بالاتر از ۱۰ بوده و از نظر سلامت مخرب است و باید موارد محافظت بدن رعایت شود. مقایسه مقادیر روزانه تابش UV با شاخص آن نشان می‌دهد که همبستگی مثبت خوبی بین آنها برقرار است. شکل (۲) این مقایسه را بصورت نمودار توزیع پراکندگی بین آنها بطور نمونه طی سال ۲۰۲۲ نشان می‌دهد. ضریب همبستگی بین آنها ۰/۹۸ است.

که در آن TO عبارت است از ازون کلی جو یا Total Ozone در ایستگاه اندازه‌گیری و X از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$X = 1000 \times \frac{H_0}{T_0}$$

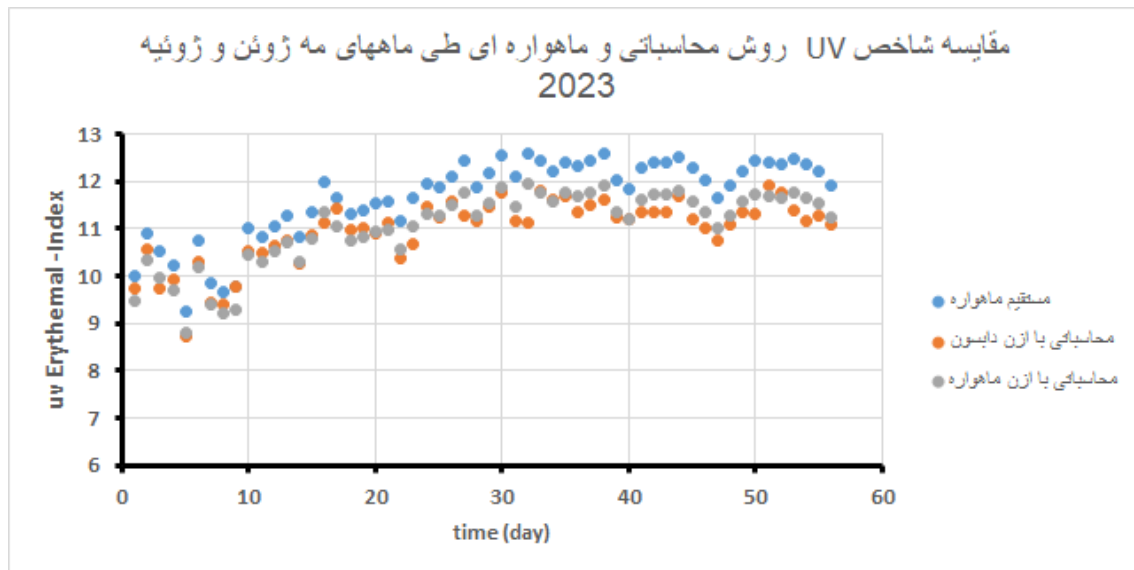
و پارامترهای F، G، H (بر حسب واحد دابسون) و J مقادیر زیر در نظر گرفته می‌شوند (الارت و همکاران، ۲۰۰۴).

$F = 2.0$ $G = 1.62$ $H = 280.0$ $J = 1.4$
و به این ترتیب شاخص تابش UV تقریباً وابسته به دو پارامتر ازون کلی جو و زاویه سوسوی خورشیدی، در ایستگاه اندازه‌گیری، می‌شود و می‌توان آن را برآورد کرد.

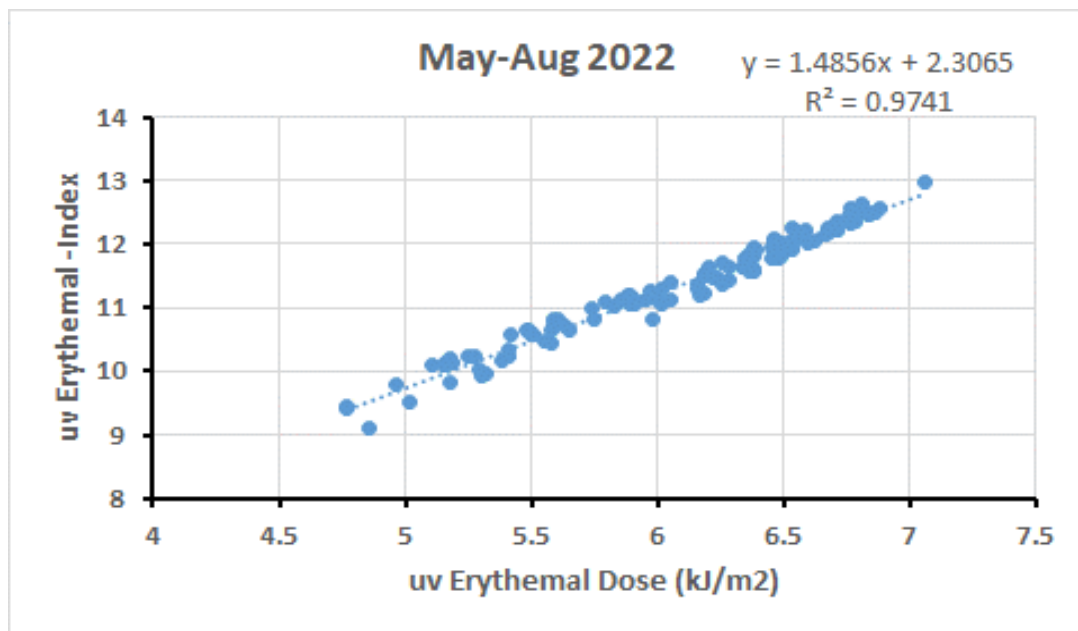
۳ نتایج

۳-۱ تعیین مقادیر شاخص UV از روش محاسباتی و مقایسه آن با مقادیر مستقیم ماهواره‌ای

ابتدا مقادیر روزانه شاخص UV از روش محاسباتی (رابطه‌های ۱-۳) و با استفاده از داده‌های ازون کلی اندازه‌گیری شده زمینی دستگاه دابسون و زاویه سوسوی خورشیدی بوقت ظهر محلی ایستگاه ازن‌سنجی مؤسسه ژئوفیزیک بدست آمد. با توجه به اینکه داده‌های زمینی ازون کلی نسبت به داده‌های ماهواره‌ای از دقت بیشتری برخوردار هستند داده‌های شاخص UV محاسباتی نیز دقیق‌تر از داده‌های ماهواره‌ای هستند. از آنجا که داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی ازون کلی در همه روزها در دسترس نمی‌باشد و کمبود داده‌ای وجود دارد و همچنین در همه مناطق، ازون کلی زمینی اندازه‌گیری نمی‌شود بنابراین مقایسه این دو سری داده‌ها از روش محاسباتی و مستقیم ماهواره‌ای مورد نیاز است تا بتوان در موارد مورد نیاز از داده‌های ماهواره‌ای نیز استفاده شود. بنابراین، در این تحقیق، این دو سری داده‌ها با هم مقایسه شده‌اند. از آنجا



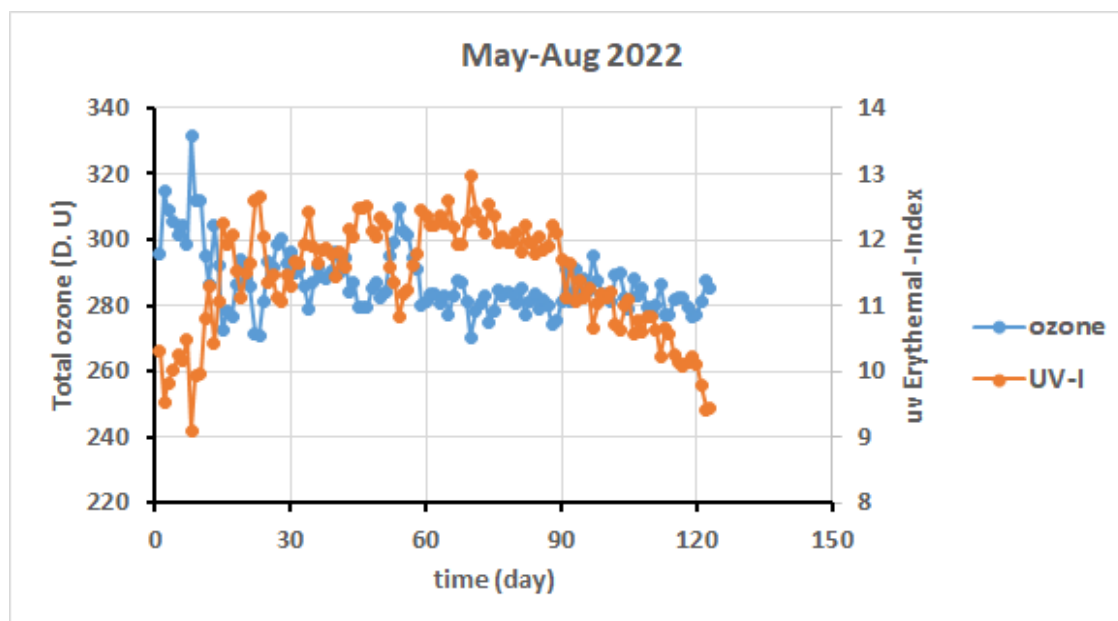
شکل ۱. مقایسه مقادیر شاخص UV روش محاسباتی با استفاده از ازون کلی جو اندازه گیری شده زمینی دستگاه دایسون و مقادیر مستقیم ماهواره ای و روش محاسباتی با استفاده از داده های ماهواره ای ازون کلی جو طی ماههای مه، ژوئن و ژوئیه سال ۲۰۲۳.



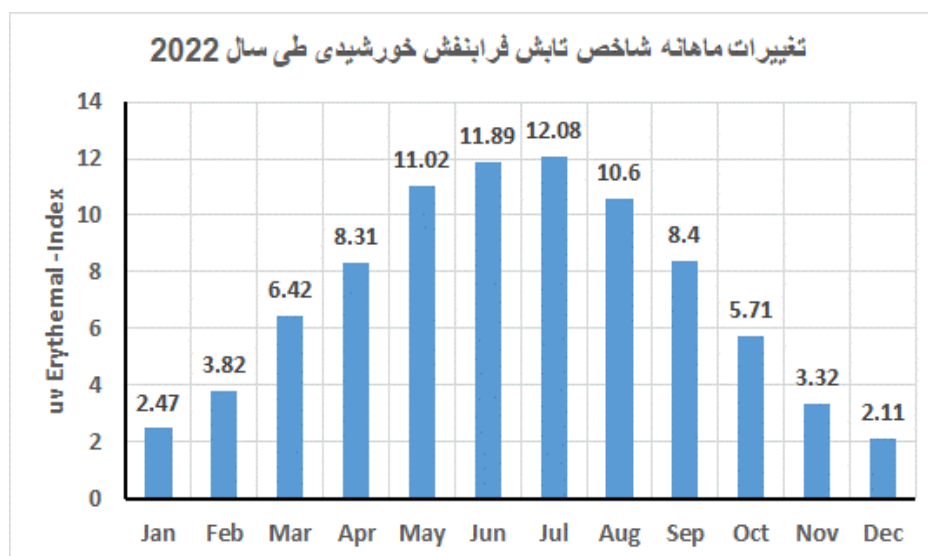
شکل ۲. توزیع همبستگی مقادیر روزانه شاخص تابش UV بر حسب تابش UV در ایستگاه موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران طی ماههای مه تا اوت سال ۲۰۲۲.

معمولاً مربوط به ماه ژوئن یا ژوئیه است. طبق نتایج میانگین دوره ۱۱ ساله، بیشینه ماهانه مربوط به ماه ژوئیه با مقدار ۱۲/۰۶ و میانگین ۴ ماهه مه تا اوت مقدار ۱۱/۲۸ محاسبه شده است.

برای نمونه شکل (۳) تغییرات روزانه شاخص تابش UV و ازون کلی جو را طی ماههای مه تا اگوست و شکل (۴) میانگین ماهانه شاخص تابش UV در تهران، را طی سال ۲۰۲۲ نشان می‌دهند. نتیجه مقایسه تغییرات ماهانه طی سال‌های مختلف نشان می‌دهد که بیشینه شاخص UV



شکل ۳. مقایسه تغییرات روزانه شاخص تابش UV و ازون کلی جو در تهران طی ماه‌های مه تا اوت سال ۲۰۲۲.



شکل ۴. تغییرات میانگین ماهانه شاخص تابش UV تهران طی سال ۲۰۲۲.

UV و ازون کلی جو برای ماه‌های مختلف سال بررسی شد و ضریب همبستگی بین آن دو برای هر یک از ماه‌های سال بطور جداگانه محاسبه شد. نتایج این محاسبات نشان می‌دهد که همبستگی منفی معنی داری بین آن‌ها طی ماه‌های مه، ژوئن و ژوئیه وجود دارد. به بیان دیگر، طی ماه‌های مه تا ژوئیه کاهش ازون کلی جو باعث افزایش

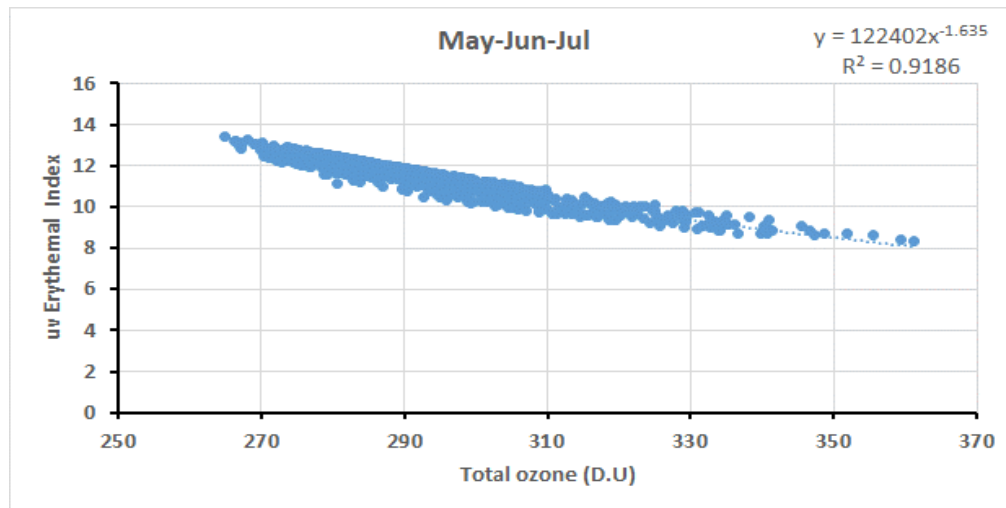
۳-۳ همبستگی بین تابش UV و ازون کلی جو
تغییرات اصلی تابش فرابنفش خورشیدی رسیده به سطح زمین به دلیل تغییرات فصلی زاویه میل خورشید روی می‌دهد و عوامل ثانویه مختلفی بر آن تاثیرگذارند که از مهمترین آن‌ها می‌توان به عامل ازون کلی جو اشاره کرد. به این منظور همبستگی بین مقادیر روزانه شاخص تابش

صدم میلیمتر ازون در فشار سطح دریا) است. شکل (۵) نمودار و رابطه همبستگی بین آن‌ها را طی ماه‌های مه تا ژوئیه برای دوره ۱۱ ساله تحقیق نشان می‌دهد. ضریب همبستگی برای این دوره مقدار ۰/۹۶- محاسبه شده است که در سطح ۹۹٪ آماری معنی دار است.

شاخص تابش UV می‌شود. بهترین مدل‌های برازش برای برآورد شاخص تابش UV برحسب ازون کلی جو، تابع همبستگی توانی بدست آمد یعنی:

$$UVI = 1.13 \times 10^5 \times To^{-1.635}$$

که To ازون کلی جو برای ایستگاه اندازه‌گیری (موسسه ژئوفیزیک) برحسب واحد دابسون (هر دابسون برابر یک



شکل ۵. نمودار رابطه همبستگی برازش توانی مقادیر روزانه شاخص تابش UV و ازون کلی جو در تهران طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳.

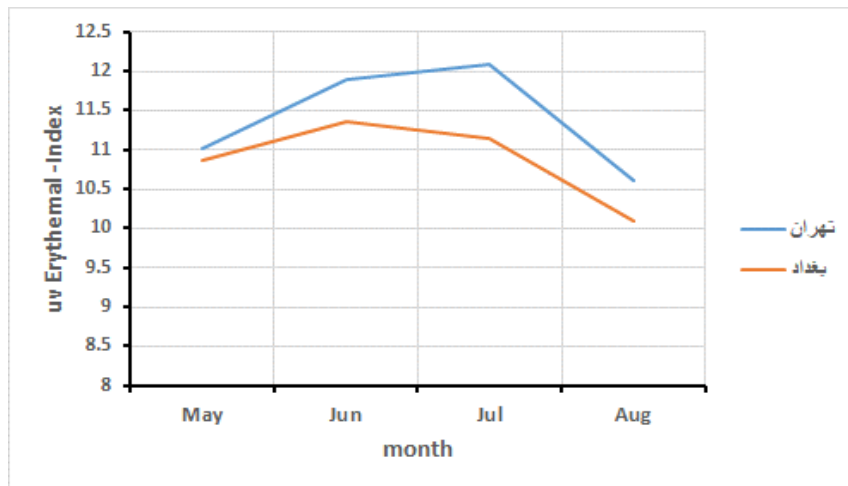
می‌یابد) را برای سال ۲۰۲۲ نشان می‌دهد و تفاوت‌ها غیر ارتفاعی عمدتاً مربوط به تغییرات غلظت ذرات هواویز معلق در دو شهر است، معمولاً با افزایش گردوغبار در جو UV اندکس در آن کاهش می‌یابد (ویز و همکاران، ۲۰۰۸).

۳-۵ بررسی تغییرات بلند مدت میانگین ۴ ماهه مه تا اوت تابش UV و ازون کلی جو

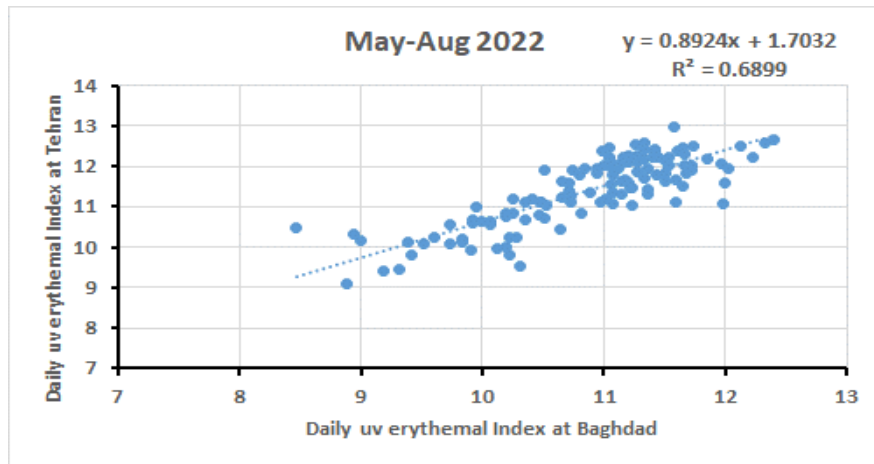
بررسی تغییرات بلند مدت میانگین ۴ ماهه مه تا اوت شاخص تابش UV نشان می‌دهد که این تابش طی دوره ۱۱ ساله ۲۰۲۳-۲۰۱۳ روند افزایشی داشته است. شکل (۷) این روند را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، افزایش ناگهانی به دلیل کاهش ازون در سال ۲۰۲۰ مشاهده می‌شود.

۳-۴ تاثیر ارتفاع بر تابش UV

مقایسه مقادیر شاخص تابش UV تهران با برخی مناطق با اختلاف جغرافیایی ارتفاع بیشتر یا کمتر از تهران نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع ایستگاه، مقدار شاخص تابش UV افزایش می‌یابد. شکل ۶-الف این مقایسه را برای ایستگاه‌های بغداد عراق با ارتفاع حدود یک کیلومتر کمتر از تهران برای میانگین ماهانه مه تا اوت سال ۲۰۲۲ نشان می‌دهد. مشخصات جغرافیایی این ایستگاه‌ها در جدول (۱) آمده است. همچنین همبستگی خوبی بین مقادیر روزانه شاخص تابش UV تهران و بغداد طی ماه‌های مه تا اوت برقرار است. شکل ۶-ب بطور نمونه نمودار و ضریب و رابطه همبستگی مثبت بین آنها (تقریباً با افزایش ارتفاع هر یک کیلومتر، اندکس UV حدود ۱۱ درصد افزایش



(الف)

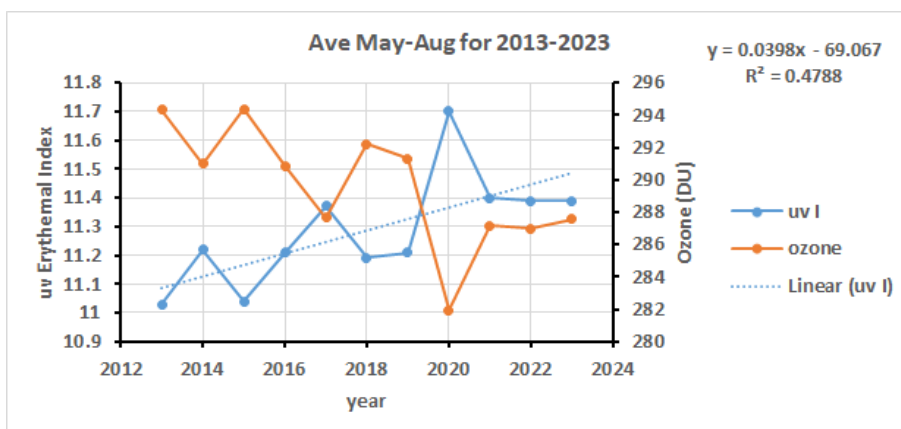


(ب)

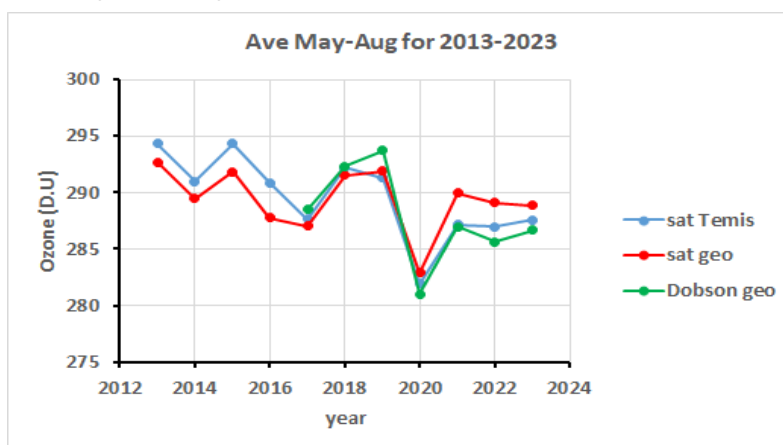
شکل ۶. (الف) مقایسه تغییرات ماهانه شاخص تابش UV ایستگاه های تهران و بغداد برای میانگین ماه های مه، ژوئن، ژوئیه و اوت سال ۲۰۲۲. (ب) نمودار توزیع پراکندگی مقادیر روزانه شاخص تابش UV بین تهران و بغداد طی ماههای مه تا اوت ۲۰۲۲. ضریب همبستگی $R = 0.83$ و درجه آزادی $N=121$ سطح معنی داری ۹۹٪.

ایستگاه ازن سنجی مؤسسه ژئوفیزیک نیز بررسی شد. این مقایسه ها در شکل (۸) آمده است. مطابق شکل (۸)، این کاهش سال ۲۰۲۰ توسط داده های اندازه گیری شده زمینی و ماهواره ای ایستگاه ژئوفیزیک نیز تایید می شود که همبستگی خوبی بین داده های زمینی و ماهواره ای (برای ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک) مشاهده می شود.

از آنجا که رابطه همبستگی منفی بین مقادیر روزانه شاخص تابش UV و ازون کلی مشاهده شد، روند بلندمدت میانگین ۴ ماهه مه تا اوت ازون کلی جو نیز طی این دوره همزمان محاسبه و مقایسه شد. همانطور که در شکل مشاهده می شود، در سال ۲۰۲۰ همزمان کاهشی در ازون کلی ۴ ماهه مه تا اوت وجود دارد. این روند بلند مدت ازون کلی جو برای داده های زمینی دستگاه دابسون و ماهواره ای



شکل ۷. مقایسه تغییرات بلندمدت میانگین ۴ ماهه مه تا اوت شاخص تابش UV با ازون کلی جو ماهواره طی سال های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳.



شکل ۸. مقایسه تغییرات بلندمدت میانگین ۴ ماهه مه تا اوت ازون کلی جو ماهواره واحد شبکه (sat Temis) و ایستگاه ژئوفیزیک (sat geo) و داده های زمینی دستگاه دابسون (Dobson geo) ایستگاه ژئوفیزیک طی سالهای ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳. داده های زمینی ازون دابسون طی سالهای ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ موجود نیست.

مقدار ازون کلی اندازه گیری شده در ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک بررسی شده است. ابتدا مقادیر روزانه شاخص UV خورشیدی با استفاده از روش محاسباتی و بکارگیری داده های ازون کلی جو اندازه گیری شده دستگاه زمینی دابسون و زاویه سرسوی خورشیدی بدست آمده و سپس با داده های مستقیم ماهواره ای مقایسه شده است. نتایج این مقایسه نشان داده که طی ماه های مه تا ژوئیه، این دو سری داده ها بهم نزدیک هستند ولی داده های ماهواره ای کمی بیشتر از داده های روش محاسباتی هستند (بطور میانگین حدود ۶ درصد) بنابراین داده های ماهواره ای شاخص UV طی دوره بلندمدت مه تا اوت ۲۰۱۳-۲۰۲۳ بررسی شده است.

۴ شرایط مخاطره آمیز تابش UV شهر تهران

در حدود ۲۱/۶ درصد از روزهای سال در فصل گرم، شهر تهران در رده پرتوگیری فوق العاده زیاد (extreme) قرار دارد که شاخص استاندارد UV بزرگتر و مساوی ۱۱ است و احتیاج به محافظت اضافی بدن در برابر تابش خورشیدی هست (مطابق جدول ۱). این شرایط بیشتر در ماه های ژوئن و ژوئیه رخ می دهد و در این روزها افراد باید در اواسط روز تا آنجا که ممکن است از حضور در محیط های باز خودداری کنند و یا از روش های محافظتی استفاده کنند.

۵ بحث

در این تحقیق، داده های شاخص تابش UV خورشیدی شهر تهران طی دوره ۱۱ ساله ۲۰۱۳-۲۰۲۳ با توجه به

همچنین همبستگی خوبی بین داده های زمینی و ماهواره ای ازون کلی برقرار است.

۶ نتیجه گیری

در حدود ۲۱/۶ درصد از روزهای سال، شهر تهران در رده پرتوگیری فوق العاده زیاد (extreme) قرار دارد که شاخص استاندارد UV بزرگتر و مساوی ۱۱ است و احتیاج به محافظت اضافی بدن در برابر تابش خورشیدی هست و این شرایط بیشتر در ماه های ژوئن و ژوئیه رخ می دهد. بنابراین افراد شاغل در محیط باز باید بخصوص در این ماه ها از وسایل حفاظتی در برابر تابش خورشید استفاده کنند و عموم مردم باید زمان در معرض قرار گرفتن مستقیم نور آفتاب را محدود کنند.

۷ پیشنهادات

پیشنهاد می شود تحقیقات مربوط به بررسی تغییرات شاخص UV خورشیدی برای سایر مناطق ایران نیز بررسی شود تا مناطقی که از نظر این تابشها در ریسک خطر بیشتری قرار دارند، مشخص شده و افرادی که در این مناطق زندگی می کنند، مسایل حفاظتی را بیشتر رعایت کنند.

منابع

شرعی پور، ز. و علی اکبری بیدختی، ع.، ۱۳۹۳، بررسی افت و خیزهای زمستانی ازون کلی جو مربوط به امواج مقیاس همدیدی در منطقه ایران، مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۴۰، شماره ۴، صفحه ۱۳۹-۱۵۴.

شرعی پور، ز. و علی اکبری بیدختی، ع.، ۱۳۹۰، اثرات عوامل ابر ناکی و اوزون کلی بر تابش فرابنفش خورشیدی UV-B در منطقه اصفهان، مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۵، شماره ۴، صفحه ۷۴-۸۸.

عبدی، م.، عظیمی پیرسای، س. ر. و محمدی زاده، م. ر.، ۱۴۰۰، بررسی میزان شدت پرتو فرابنفش خورشیدی در

بررسی تغییرات فصلی نشان می دهد که تابش UV و شاخص آن طی ماه های مه تا اوت مقادیر بالایی داشته و بیشینه شاخص UV مربوط به ماه ژوئن یا ژوئیه است. این نتایج، مشابه نتایج بدست آمده از تغییرات ماهانه شاخص UV در چند شهر نپال طی سال ۲۰۰۹ است که توسط شارما و همکاران (۲۰۱۲) انجام شده و قبلاً در متن اشاره شده است.

بیشینه ماهانه شاخص تابش UV مربوط به ماه ژوئیه با مقدار ۱۲/۰۶ و میانگین ۴ ماهه مه تا اوت مقدار ۱۱/۲۸ محاسبه شده است.

همبستگی منفی معنی داری بین مقادیر روزانه ازون کلی و شاخص تابش UV طی ماه های مه، ژوئن و ژوئیه برقرار است و ضریب همبستگی برای این دوره ۳ ماهه سال های ۲۰۱۳-۲۰۲۳ مقدار ۰/۹۶- محاسبه شد و رابطه همبستگی بین آن دو بدست آمد. بهترین مدل های برازش برای برآورد شاخص تابش UV برحسب ازون کلی جو، تابع همبستگی توانی بدست آمد.

مقایسه شاخص تابش UV تهران با برخی شهرهای با ارتفاع متوسط کمتر یا بیشتر از ارتفاع تهران در نزدیکی منطقه ایران نشان می دهد که با افزایش ارتفاع ایستگاه، شاخص تابش UV افزایش می یابد. این مقایسه برای ایستگاه بغداد عراق با اختلاف ارتفاعی حدود ۱ کیلومتر از ارتفاع تهران انجام شد. همچنین همبستگی مثبتی بین مقادیر روزانه شاخص تابش UV تهران و بغداد برقرار است (از نظر آماری در سطح معنی داری ۹۹٪) و با افزایش ارتفاع هر یک کیلومتر، اندکس UV حدود ۱۱ درصد افزایش می یابد.

روند تغییرات بلندمدت میانگین ۴ ماهه مه تا اوت شاخص تابش UV طی سال های ۲۰۱۳-۲۰۲۳ افزایشی بوده و رابطه آن بدست آمده و بالاترین مقدار شاخص تابش در سال ۲۰۲۰ رخ داده است و همزمان داده های ازون کلی ماهواره ای و زمینی کاهش را در این سال نشان داده اند.

- environment. *Remote Sens. Environ.*, 114 (3): 682-691.
- Kerr, JB, Fioletov, VE, 2008, Surface ultraviolet radiation. *Atmos. Ocean.*, 46 (1): 159-184.
- Liu, H, Hu, B, Zhang, L, Zhao, XJ, Shang, KZ, Wang, YS, et al., 2017, Ultraviolet radiation over China: spatial distribution and trends. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 76: 1371-1383.
- Mok, J, Krotkov, NA, Torres, O, Jethva, H, Li, Z, Kim, J, et al. 2018, Comparisons of spectral aerosol single scattering albedo in Seoul, South Korea. *Atmos. Meas. Tech.*, 11: 2295-2311.
- Park, SS, Lee, YG, Kim, JH, 2015, Impact of UV-A radiation on erythral UV and UVindex estimation over Korea. *Adv. Atmos. Sci.*, 32 (12): 1639-1646.
- Raptis, IP; Eleftheratos, K, Kazadzis, S, Kosmopoulos, P, Papachristopoulou, K, Solomos, S, 2021, The Combined Effect of Ozone and Aerosols on Erythral Irradiance in an Extremely Low Ozone Event during May 2020. *Atmosphere.*, 12 (2): 145.
- Shariepour, Z, Ali Akbari Bidokhti, AA, 2012, The effects of cloudiness and total ozone on UV-B radiation in Esfahan province, *Iranian Journal of Geophysics.*, 5 (4): 74-88. (in Persian)
- Shariepour, Z, Aliakbari Bidokhti, AA, 2014, Study of atmospheric total ozone variations due to winter synoptic scale disturbances over Iran, *Journal of the Earth and Space Physics.*, 40 (4): 139-154. (in Persian)
- Sharma, NP, Bhattarai, BK, Sapkota, B, Kjeldstad, B, 2012, Ground based comparison of solar UV index in Kathmandu, Pokhara and Biratnagar, *Atmospheric Environment.*, 60: 428-435.
- Tan, KC, Lim, H S, Mat Jafri, M Z, 2018, Study on solar ultraviolet erythral dose distribution over Peninsular Malaysia using Ozone Monitoring Instrument. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences.*, 21 (1): 105-110.
- Utrillas, MP, Marín, MJ, Esteve, AR, Estell_es, V, Gandía, S, Núñez, JA, et al. شهر زنجان با استفاده از شاخص فرابنفش، فصلنامه سلامت و محیط زیست، جلد ۱۴ شماره ۱، صفحه ۶۷-۸۲
- Abdi M, Azimi Pirsaraei SR, Mohammadzadeh MR. 2021, Evaluation of solar ultraviolet radiation in Zanjan city using the ultraviolet index. *Iranian Journal of Health and Environment.*, 14(1):67-82. (in Persian)
- Allaart, M, vanWeele, M, Fortuin, P, Kelder, H, 2004, An empirical model to predict the UV-index based on solar zenith angles and total ozone, *Meteorol. Appl.*, 11 (1): 59-65.
- Al-Mostafa, ZA, Elminir, HK, Abulwfa, A, Al-Shehri, SM, Alshehri, FA, Al-Rougy, IM, et al. 2015, Evaluation of Erythral ultraviolet solar radiation over Saudi Arabia, *J. Solar Energy.*, 113: 258-271.
- Barnard, WF, Saxena, VK, Wenny, BN, DeLuisi, JJ, 2003, Daily surface UV exposure and its relationship to surface pollutant measurements. *J. Air Waste Manag. Assoc.*, 53 (2): 237-245.
- Downs, N, Parisi, AV, Galligan, L, Turner, J, Amar, A, King, R, et al. 2016, Solar radiation and the UV index: an application of numerical integration, trigonometric functions, online education and the modelling process. *Int. J. Res. Educ. Sci.*, 2 (1): 179-189.
- Egbuim, TC, Onyeuwaoma, ND, Okere, B I, Ezenwugo, M H, Chukwudi, AO, Uhiene, GO, et al. 2022, Erythral UV radiation across Nigeria. *J. Heliyon.*, 8 (8): e10158.
- Fountoulakis, I, Di_emoz, H, Siani, A-M, Laschewski, G, Filippa, G, Arola, A, et al. 2020, Solar UV irradiance in a changing climate: trends in Europe and the significance of spectral monitoring in Italy. *Environments.*, 7 (1): 1-31.
- Foyo-Moreno, I, Alados, I, Olmo, FJ, Alados-Arboledas, L, 2003, The influence of cloudiness on UV global irradiance (295-385 nm), *Agr. Forest Meteorol.*, 120: 101-111.
- Janjai, S, Buntung, S, Wattan, R, Masiri, I, 2010, Mapping solar ultraviolet radiation from satellite data in a tropical

2013, Ten years of measured UV index from the Spanish UVB radiometric network. *J. Photochem. Photobiol*, 125: 1–7.

Weihls, P, Blumthaler, M, Rieder, H E, Kreuter, A, Simic, S, Laube, W, et al. 2008, Measurements of UV irradiance within the area of one satellite pixel, *Atmos. Chem. Phys.*, 8: 5615–5626.

WHO (World Health Organization), 2002, *Global Solar UV Index: A Practical Guide*. Geneva, Switzerland.

Investigation of UV erythema radiation and total ozone for the city of Tehran during the period of 2013-2023

Zahra Shariepour¹ and Abbasali Aliakbari Bidokhti^{2*}

¹ M.Sc., Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

² Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: 06 March 2024, Accepted: 10 July 2024)

Summary

As some regions of the world especially in the subtropics, e.g. the Middle East, experience climate change impacts such as hotter temperature and dryer weather, near surface UV-radiation also increases that can have adverse effects on the humans and other living things. Hence, estimations of UV radiation dose on regular bases is important. Data of total ozone from ground station and also satellite can be used along with solar radiation intensities, to estimate UV radiation dose especially in the hot seasons, to be used for social use, in order to do preparation to protect themselves against the excessive UV radiation outdoors.

This is particularly important in more populous areas as big cities such as Tehran. Total ozone data at the Geophysics station has been measured by Dobson spectrometer, now for nearly for the last decade. Using such data are used not only for calibration of satellite data, but here are used along with solar radiation in Geophysics Station, nearly at center of Tehran to calculate UV-radiation (as UV index), especially UV Erythema radiation.

The aim of present study is to investigate monthly and seasonal variations of UV Erythema radiation using solar radiation along with total ozone over Tehran area for the period of 2013-2023 as UV radiation can affect human health. Daily solar radiation and total ozone data for a central station in Tehran (Institute of Geophysics) for period of 11 years (2013-2023) are used to find UV Erythema index which is calculated using solar zenith angle and total ozone acquired by a Dobson total ozone measuring system at the Geophysics Station.

The results show that the UV Erythema index is large for the summer months especially for July of about 12.06 (extreme level, needing protective shield). The clear negative correlation between total ozone and UV-index shows a power relationship ($\alpha To^{-1.635}$) for warm months (May, June and July). Comparison between the UV indexes for cities with different altitudes show that it increases with height by about 11 percent every kilometer. Also for the period of study, the trend of UV Erythema index in warm months has been on the increase, indicating that climate change may expose people in Tehran to more UV Erythema radiation. About 21.6 percent of days of the year, especially warm months in Tehran has extreme levels of UV Erythema index (>10 , typically 11), requiring protective shields in the mid-days of these months, and it seems to have an increasing trend due to climate change.

Such study can also be extended to other large cities, especially in southern part of Iran that are prone to large UV radiation in the warm months of the year, with adverse health effects for skin and eye.

Keywords: Altitude, seasonal change, total ozone, UV Erythema, UV-index