

اثرات عوامل ابرناکی و اوزون کلی بر تابش فرابنفش خورشیدی UV-B در منطقه اصفهان

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

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

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۸/۱۲، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۷/۱۶، دسترسی برخط: ۱۳۹۰/۱۲/۲۵)

چکیده

در این تحقیق داده‌های تابش UV-B تجمعی روزانه و اوزون کلی روزانه اندازه‌گیری شده با دستگاه بروئر و داده‌های هواشناسی ایستگاه هواشناسی اصفهان و داده‌های اوزون کلی ماهواره OMI برای دوره یک‌ساله ۲۰۰۳-۲۰۰۴ میلادی تحلیل شده است. بررسی داده‌های تابش UV-B تجمعی روزانه طی دوره یک‌ساله نشان داد که بیشترین مقدار تابش در ماه‌های ژوئن-ژوئیه رخ می‌دهد و میانگین سالانه آن مقدار $3212 \text{ J.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$ به‌دست آمده است. همین‌طور همبستگی تابش UV-B سطح زمین با برخی عوامل موثر از جمله اوزون کلی جو و ابرناکی در ایستگاه اصفهان بررسی شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد در ماه‌هایی که اثر ابرناکی قابل ملاحظه است (ماه‌های دسامبر تا آوریل) عامل ابرناکی مؤثرتر از عامل اوزون کلی باعث تغییرات تابش UV-B می‌شود و در دوره‌هایی که ابرناکی ضعیف است تأثیر عامل اوزون کلی بر تابش UV-B بیشتر است. بررسی مقادیر روزانه فاکتور ابرناکی در طی یک سال نشان داد که پوشش ابری زیاد می‌تواند باعث کاهش شدید تابش UV-B تجمعی روزانه شود. همچنین، ضریب همبستگی و روابط همبستگی بین مقادیر فاکتور ابرناکی و تابش UV-B تجمعی روزانه برای هریک از ماه‌هایی که در آنها فاکتور ابرناکی، قابل ملاحظه است، محاسبه شد. همچنین، رابطه کمی همبستگی بین داده‌های روزانه تابش UV-B تجمعی و اوزون کلی به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تابش UV-B، اوزون کلی، ابرناکی، همبستگی

The effects of cloudiness and total ozone on UV-B radiation in Esfahan region

Zahra Shariepour¹ and Abbasali Aliakbari Bidokhti^{1*}

¹Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 03 November 2010, accepted: 28 September 2011, available online: 15 March 2012)

Summary

Different factors such as the total ozone, cloudiness and aerosol particles influence the surface UV-B from solar radiation. UV-B is particularly dangerous to life on the surface of the earth. In this paper, the effects of total ozone on UV-B radiation, obtained by the spectrophotometer Brewer (type MK IV) system and measurements of cloud cover over the Esfahan area using meteorological records for July 2003 to June 2004, have been considered. The results show that daily integrated UV-B radiation for this period varied

*Corresponding author:

bidokhti@ut.ac.ir

*نگارنده رابط:

between 0 to 6000 J/m², its maximum occurred during June and July, and its minimum occurred during December and January. The maximum day-to-day variations of UV-B occurred in May and April. Also, the annual mean of integrated UV-B was approximately 3212 J.m⁻².d⁻¹ (Joules per square meter per day).

The results also show that UV radiation can reach critical levels for Esfahan, sufficient to have negative health consequences on humans, especially in June and July. It may be necessary, therefore, for the national weather bureau to issue warnings in this time of the year.

The correlations between UV-B and total ozone and cloudiness also show that substantial cloud cover (generally present between December and April) is more important in harmful levels of UV-B radiation than is total ozone. When cloud cover is insignificant, ozone is more effective in reducing UV-B radiation.

The cloud factor (C) is found to be about 0.25 in this area. High cloud cover (e. g. (7-8) Octas) can reduce UV-B by 70%. Maximum cloudiness occurs during January and the secondary peak occurs in April (mid-spring). The minimum of cloudiness occurs in the period including July, August and September. Additionally, the results show that clear sky conditions usually have a cloud factor of less than 0.3, while the high cloud cover condition measures between 0.6 and 1.0. These values are in agreement with the values of other research results.

Thick cloud cover ((7-8) Octas) can substantially reduce UV-B radiation. Usually, there are negative correlations between cloud cover or total ozone and UV-B radiation. The best defined correlations during cloudy months and clear sky periods were extracted from the analyses and are as follows:

$$\ln(\text{UV-B}) = -1.0294 C + 7.8910$$

$$\ln(\text{UV-B}) = -2.4156 \ln(\text{O}_3) + 22.235$$

All correlation coefficients of linear regressions for the cloud factor versus UV-B is within the 99% confidence level, and for the total ozone and UV-B it is within 95% confidence level. These relationships can be used to determine UV-B radiation in this area, for technical use. The relationship between the logarithm of daily integrated UV-B radiation and the logarithm of total daily ozone for clear sky conditions shows that α (the Radiation Amplification Factor, RAF) has a value of about 2.4.

Key words: UV-B radiation, total ozone, cloudiness, correlation

UV -A: 315-400 nm

UV -B: 280-315 nm

UV-C: 200-280 nm

بخش C طیف کلا در اوزون آرام سپهری جذب می شود و به سطح زمین نمی رسد. بیشترین مقدار تابش نسبتاً خطرناک UV-B در جو با لایه اوزون جذب می شود و فقط قسمت کمی از این تابش به سطح زمین می رسد. معمولاً UV رسیده به سطح زمین ترکیبی از UV-A و UV-B است. به بیانی دیگر، ۹۴٪ آن مربوط به UV-A و ۶٪ مربوط به UV-B است. مقدار تابش

۱ مقدمه

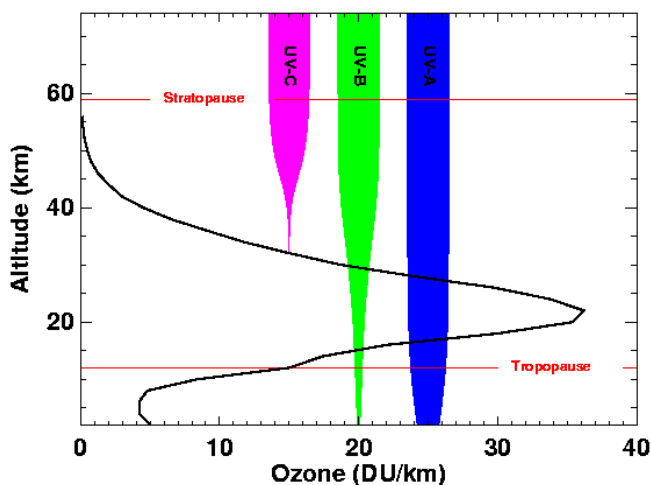
تغییرات عمده تابش UV سطحی با تغییرات سالانه تابش خورشید به دلیل تغییرات فصلی ارتفاع خورشید روی می دهد. اوزون کلی، ابرها و هواویزها عوامل مهم ثانویه برای این تغییرات هستند. نقش تغییرات ابرها در تغییرات روز به روز تابش در عرض های جغرافیایی میانی نیم کره شمالی، حائز اهمیت است. معمولاً تابش فرابنفش را به سه گروه تقسیم می کنند که عبارت اند از (شکل ۱):

خورشیدی (Top of Atmosphere) و طیف تابش UV سطح زمین (Bottom of Atmosphere) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، در بخشی که جذب اوزون بیشترین مقدار را دارد، اختلاف بین تابش UV خورشیدی و تابش UV سطحی، بسیار زیاد است. آشکارا مشاهده می شود که طول موج هایی که بیشترین تأثیر را در آسیب رسانی به DNA دارند، به طور مؤثر در اوزون جذب می شوند. اگرچه، در دامنه کوچکی از طول موج حدود ۳۰۰ nm، طیف عملی DNA و طیف UV سطحی روی هم می افتند و این منطقه با نام اثر DNA خالص (Net DNA Effect) مشخص شده است. با کاهش مقدار ازن، مقدار بیشتری از طول موج های کوتاه تر UV-B به سطح زمین می رسند. از آنجا که این طول موج ها نسبت به طول موج های بلند، آسیب بیشتری به DNA می رسانند، بنابراین، با کاهش ازن، آهنگ آسیب رسانی به DNA افزایش می یابد. برای مقدار متوسط ۳۰۰ واحد دابسونی ازن، ریسک آسیب رسانی به DNA برای کاهش ۱٪ غلظت ازن، ۲/۵٪ افزایش می یابد.

UV-B که به سطح زمین می رسد بستگی به مقدار اوزون کلی جو دارد (شکل ۱). هرچه میزان اوزون کلی بیشتر باشد، مقدار UV-B که به سطح زمین می رسد کاهش می یابد و برعکس (<http://www.temis.nl/uvradiation/info/index.html>)، پایگاه (TEMIS).

فوتون های طول موج UV-B به سلول های بدن آسیب می رسانند و تغییرات شیمیایی را در مواد تشکیل دهنده آنها ایجاد می کنند. تابش های مضر UV-B تأثیرات کوتاه مدت و بلندمدتی بر پوست دارند، باعث بیماری های گوناگون پوستی، از جمله آفتاب سوختگی، حساسیت های پوستی و سرطان پوست می شوند و زنجیره DNA را نیز تحت تأثیر قرار می دهند. اثرات بلندمدت UV بر موجودات زنده با تغییر در مواد ژنتیک ایجاد می شود.

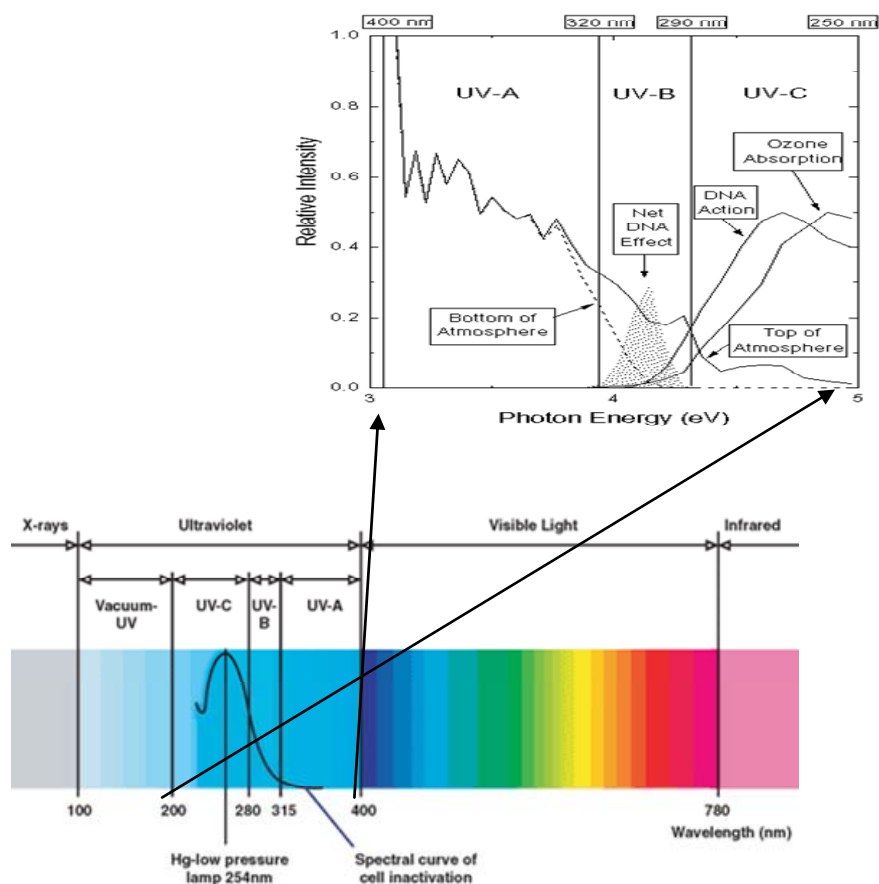
شکل ۲ طیف تابش الکترومغناطیسی و پنجره مربوط به تابش فرابنفش UV و ارتباط بین اوزون و آسیب رسانی به DNA را نشان می دهد. در این شکل، طیف جذبی اوزون (Ozone Absorption) و طیف کنش (action spectrum) برای آسیب رسانی به DNA، طیف تابش UV



شکل ۱. نیم رخ قائم اوزون در عرض های جغرافیایی میانی نیم کره شمالی. نمودار غلظت اوزون برحسب ارتفاع منطبق شده بر نمودار تابش UV برحسب ارتفاع

برای UV-A، UV-B و UV-C. پهنای نمودار میله ای UV نشان دهنده مقدار انرژی است.

(<http://www.temis.nl/uvradiation/info/index.html>)، پایگاه (TEMIS)



شکل ۲. طیف تابش الکترومغناطیسی و پنجره مربوط به تابش فرابنفش UV (پایگاه GENE به نشانی <http://www.phys.ksu.edu/gene>).

به معنی مقدار حداقل دُز دریافتی اریتما تعریف می شود. یک واحد MED به منزله دُز UV مؤثری است که التهاب قرمزی را روی پوست بدن ایجاد می کند (وانیچک و همکاران، ۱۹۹۹). از آنجا که توانایی محافظت پوست در مقابل تابش UV برای انواع پوستها متفاوت است، برای یک واحد MED، مقدار دُز دریافتی مؤثر یکسانی تعریف نشده است. برای مثال، این مقدار برای نژاد اروپایی در بازه $200-500 \text{ J m}^{-2}$ قرار دارد. به طور کلی، هرچه رنگ پوست، مو و چشم، روشن تر باشد، حساسیت پوست به تابش UV، بیشتر است. برای نمونه، مقدار دُز تقریبی دریافتی که باعث التهاب قرمزی پوست می شود (یک

منظور از طیف کنش، تأثیر نسبی تابش UV در یک طول موج خاص برای ایجاد پاسخ زیستی خاص است. مقدار دریافتی (dose) مؤثر UV (برحسب واحد J.m^{-2}) برای یک دوره خاص پرتوگیری (exposure) با مجموع تابش مؤثر در آن دوره تعیین می شود. مهم ترین کاربرد متداول طیفی در زمینه تابش UV عبارتند از طیف های کنش اریتما (قرمزی پوست، erythema)، جذب DNA و سرطان پوست. از آنجا که آفتاب سوختگی یکی از اثرات تعیین کننده معمول وی پوست بدن است، از "طیف کنش اریتما" برای ارزیابی بیماری های پوستی در اثر تابش UV استفاده می شود. برای توصیف پتانسیل تابش UV اریتما، واحدی به نام MED (Minimal Erythema Dose)

واحد MED) برای گروه پوستی با مو و چشم قهوه‌ای 350 J.m^{-2} است.

شاخص UV پارامتری برای افزایش آگاهی‌های عمومی در مورد اثرات تابش UV روی سلامتی است و اینکه برای مقادیر متفاوت آن به چه میزان محافظت پوست نیاز است. معمولاً در مواردی که مقدار این شاخص زیاد باشد (حالت‌های بحرانی) اخطار داده می‌شود تا موارد محافظت پوست با استفاده از وسایلی مانند عینک آفتابی، کلاه و چتر رعایت شود.

شاخص UV اریتما برآورد مقادیر UV است که از نظر تأثیر بر سلامت پوست اهمیت دارد و واحد آن معادل 25 mW/m^2 (میلی وات بر متر مربع) است. زمان اندازه‌گیری این شاخص ظهر محلی است. بازه طیفی UV اریتما مربوط به بازه $280-400 \text{ nm}$ ، و 17% آن مربوط به UV-A و 83% آن مربوط به UV-B است. جدول پ-۱ موجود در پیوست، گروه‌بندی شاخص استاندارد تابش UV اریتما را نسبت به وضعیت سلامت پوست نشان می‌دهد. برای نمونه، شکل پ-۱ پیوست، تغییرات شاخص تابش UV اریتما در ایستگاه تهران را در سال ۲۰۰۷ نشان می‌دهد. در این شکل، مرزبندی وضعیت‌های گوناگون مطابق جدول پ-۱ مشخص شده و داده‌های آن مربوط به داده‌های ماهواره‌ای است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، از ماه مارس تا ماه اکتبر، شاخص UV در تهران مقادیر ۶ و بالاتر را دارد که طبق گروه‌بندی جدول، برای سلامت پوست مضر است و باید نسبت به محافظت پوست از تابش مستقیم خورشیدی اقدام کرد. همچنین، در ماه‌های ژوئن و ژوئیه تعداد روزهایی با وضعیت اکستریم (شاخص بالاتر از ۱۱) بیش از سایر ماه‌های سال است.

برخی از تحقیقات که در مورد تأثیر ابرها بر تابش رسیده به سطح زمین صورت گرفته نشان داده که ابرها می‌توانند اثر کاهشی یا افزایشی بر تابش سطحی داشته باشند. اثر افزایشی می‌تواند به موجب بازتاب نور خورشید

در کناره‌های ابرها ایجاد شود. این وضعیت، برای ابرهایی رخ می‌دهد که درخشان‌تر از آسمان آبی اطراف باشند و همچنین، مانع عبور نور خورشید نشوند. ولی در بیشتر موارد، ابرها اثر کاهشی دارند. تا کنون تحقیقات بسیاری در مورد تغییرات تابش UV-B و عوامل مرتبط با آن به انجام رسیده است. در اینجا به نتایج برخی از این تحقیقات اشاره می‌شود.

لام و همکاران (۲۰۰۲) تحقیقی را در خصوص UV سطحی و اوزون کلی در شهر هونکونگ عملایی ساخته‌اند. براساس نتایج این تحقیق، UV-B همبستگی منفی با اوزون کلی دارد و تغییرات بلندمدت دوره ۲۰۰۱-۱۹۹۵ نشان داده که افزایش 1% اوزون کلی باعث کاهش 1% UV-B سطحی شده است.

اثرات تغییرات هواشناسی و هواویزهای وِردسپهری بر تابش UV-B در شهر کوردوبای آرژانتین را پالانکار و تاسلی، (۲۰۰۴) بررسی کرده‌اند. در این تحقیق، تابش UV-B اندازه‌گیری شده با دستگاه‌های رادیومتر و پیرانومتر با داده‌های محاسباتی مدل TUV 4.1 مقایسه شده‌اند. نتایج این مقایسه روشن ساخته که در روزهایی با آسمان صاف، محاسبات مدل، توافق خوبی با اندازه‌گیری‌ها دارند. همچنین، در روزهایی با غلظت زیاد هواویز، تابش UV-B کاهش قابل ملاحظه‌ای (حدود 50%) را نشان داده است و این کاهش به علت جذب تابش UV-B در هواویزها صورت گرفته است.

نتایج برخی تحقیقات نیز نشان داده که تضعیف تابش توسط ابرها در مورد تابش کلی خورشیدی بیشتر از تابش UV-B است که این ارتباط نشان‌دهنده نبود تشابه تأثیر ابرها بر تابش UV-B و تابش کلی خورشیدی است که در اثر تفاوت در مقدار پخش تابش به وجود می‌آید (کرزسین و همکاران، ۲۰۰۳).

در ایران نیز تحقیقاتی در خصوص UV صورت گرفته است، از جمله:

گرفت. نتایج بررسی این داده‌ها نشان داد که داده‌ها برای دوره یک‌ساله ژوئیه ۲۰۰۳ تا ژوئن ۲۰۰۴ پیوستگی نسبتاً خوبی داشته و درعین حال نشان‌دهنده واسنجه (کالیبره) بودن دستگاه است. بنابراین، این بازه برای تحقیق انتخاب شد. همچنین، مقایسه داده‌های اوزون کلی دستگاه بروئر در این دوره با داده‌های اوزون ماهواره روشن ساخت که داده‌های اوزون دستگاه بروئر معتبرند.

درعین حال مقایسه داده‌های میانگین ماهانه تابش UV-B دستگاه بروئر ایستگاه اصفهان در این دوره یک‌ساله، با یکی از ایستگاه‌های اسپانیا که در عرض جغرافیایی حدود ۸ درجه بالاتر قرار گرفته است، نشان می‌دهد که داده‌های تابش UV-B دستگاه بروئر ایستگاه اصفهان در دوره پیش گفته اعتبار لازم را دارد.

نتایج بررسی برخی تحقیقات در مورد آلودگی هوای منطقه اصفهان نیز نشان می‌دهد که مقدار غلظت آلاینده‌ها نسبتاً زیاد است. از جمله گندم‌کار (۱۳۸۶) روشن ساخته که موقعیت خاص جغرافیایی شهر اصفهان و قرارگیری در یک گودال و تجمع مواد آلاینده در هوای سطحی، این شهر را به یکی از آلوده‌ترین شهرهای کشور تبدیل کرده است و در همه فصل‌های سال به جز بهار، غلظت آلاینده‌ها در این شهر زیاد است.

عرض و طول جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه اصفهان به ترتیب عبارت‌اند از: ۳۲/۴۷ درجه شمالی، ۵۱/۷۲ درجه شرقی و ۱۵۵۰ متر.

سبزی‌پرور (۱۳۷۸) تحقیقی را در مورد ارتباط بین اوزون و ردسپهری و پرتو فرابنفش رسیده به سطح زمین عملی ساخته است. عزیزاده (۱۳۸۴) با استفاده از دستگاه دُزیمتر محیطی طراحی شده، نقشه UV را برای مناطق صحرایی اصفهان و مناطق ساحلی تهیه کرده است. در تحقیقی که در منطقه اصفهان صورت گرفته، همبستگی خطی بین تابش خورشیدی و تابش مؤثر اریتما بررسی شده و با استفاده از روش آماری، تابش مؤثر اریتما برآورد شده است (سبزی‌پرور، ۲۰۰۹).

در تحقیق حاضر، ابتدا تغییرات روزانه تابش UV-B اندازه‌گیری شده با دستگاه بروئر در ایستگاه اصفهان برای دوره یک‌ساله بررسی می‌شود، سپس این تغییرات با تغییرات اوزون کلی جو و فاکتور ابرناکی از نظر همبستگی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲ مواد و روش کار

داده‌های تابش UV-B و اوزون کلی جو مربوط به داده‌های اندازه‌گیری شده با دستگاه نورسنج طیفی (اسپکتروفوتومتر) بروئر (Brewer) ایستگاه ازن‌سنجی اصفهان است. مدل دستگاه، MK IV شماره ۱۶۰ است.

داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک اصفهان نیز از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. داده‌های اوزون و تابش UV-B با نوار طیفی (285.5-315nm) دستگاه بروئر برای دوره سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ مورد بررسی قرار

جدول ۱. مقادیر میانگین ماهانه تابش UV-B جمع‌ی روزانه اندازه‌گیری شده با دستگاه بروئر ایستگاه اصفهان (واحد برحسب $J.m^{-2}$ است) برای دوره یک‌ساله ژوئیه ۲۰۰۳ تا ژوئن ۲۰۰۴.

Station	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Esfahan	1148	1994	2858	3628	4876	5204	4881	4864	3894	2525	1595	1087

۳ بحث

در این بخش داده‌های تابش UV-B تجمعی روزانه زمینی اندازه‌گیری شده با دستگاه بروئر ایستگاه اصفهان در بازه زمانی یک‌ساله ژوئیه ۲۰۰۳ تا ژوئن ۲۰۰۴ بررسی شد که در شکل ۳ نمودار تغییرات آن نشان داده شده است. منظور از تابش UV-B تجمعی روزانه، جمع تابش UV-B دریافتی از طلوع تا غروب یک روز است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، محدوده تغییرات داده‌های UV-B تجمعی روزانه طی یک سال تقریباً بین $6 \text{ تا } 10 \text{ kJ.m}^{-2}$ است و بیشترین تغییرات روزبه‌روز تابش UV-B تجمعی در ماه‌های آوریل و مه رخ داده است که این می‌تواند مربوط به تغییر زیاد فاکتور ابرناکی در این ماه‌ها باشد. بیشترین مقدار در ماه‌های ژوئن و ژوئیه و کمترین آن در ماه‌های دسامبر و ژانویه رخ داده است.

میانگین ماهانه تابش UV-B تجمعی روزانه این دوره محاسبه شده و در جدول ۱ آمده است. این مقادیر با نتایج به‌دست آمده برای داده‌های تابش UV-B اندازه‌گیری شده با دستگاه بروئر مربوط به تحقیقی که در مادرید اسپانیا صورت گرفته (گوترزمارکو و همکاران، ۲۰۰۷)، مقایسه شد. مشخصات جغرافیایی ایستگاه تحقیقاتی در مادرید عبارت‌اند از عرض جغرافیایی $40/45$ درجه شمالی، طول جغرافیایی $3/71$ درجه غربی و ارتفاع 690 متر. قابل ذکر است که داده‌های ایستگاه مادرید مربوط به دوره سال‌های ۱۹۹۶-۲۰۰۲ است. شکل ۴ نمودار مقایسه‌ای این دو ایستگاه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، از آنجا که مادرید در عرض‌های شمالی‌تری نسبت به اصفهان قرار گرفته و همچنین، ارتفاع آن کمتر است، انتظار می‌رود که مقادیر اوزون کلی آن بزرگ‌تر باشد و متعاقب آن تابش UV-B تجمعی کمتری داشته باشد. این موضوع در نمودار ۴ کاملاً آشکار است. اختلاف مقادیر میانگین ماهانه این دو ایستگاه به‌طور

متوسط حدود 800 J.m^{-2} است. همچنین، همبستگی خوبی بین داده‌های میانگین ماهانه این دو ایستگاه برقرار است. با توجه به مطالبی که قبلاً در بخش مقدمه در مورد تغییرات شاخص تابش UV اریتما در ایستگاه تهران به آنها اشاره شد و قرار گرفتن اصفهان در عرض‌های جنوبی‌تر از تهران، بحرانی‌تر بودن وضعیت سلامت پوست در شهر اصفهان، به‌خصوص در ماه‌های ژوئن و ژوئیه آشکار است. بنابراین، در این زمینه باید تمهیدات مناسب در نظر گرفته شود.

ابتدا داده‌های میانگین روزانه اوزون کلی جوّ اندازه‌گیری شده با دستگاه بروئر برای دوره یک‌ساله تحقیق، مورد بررسی قرار گرفت. سپس این داده‌ها با داده‌های روزانه اوزون کلی ماهواره امی (OMI, Ozone Monitoring Instrument) مقایسه شد. شکل ۵ نشان‌دهنده نمودار این تغییرات برای دستگاه بروئر و ماهواره است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، داده‌های دستگاه بروئر و ماهواره، تطابق خوبی با هم دارند. میانگین درصد خطای حاصل از مقایسه داده‌های ماهواره و دستگاه بروئر برای دوره یک‌ساله مورد بررسی، حدود $2/7$ محاسبه شد. همچنین، اوزون کلی دارای تغییرات فصلی است و کمینه سالانه آن در اوایل پاییز (اکتبر و نوامبر) و بیشینه آن در بهار رخ داده است. میانگین سالانه اوزون کلی به‌دست آمده در این دوره مقدار 285 واحد دابسون است.

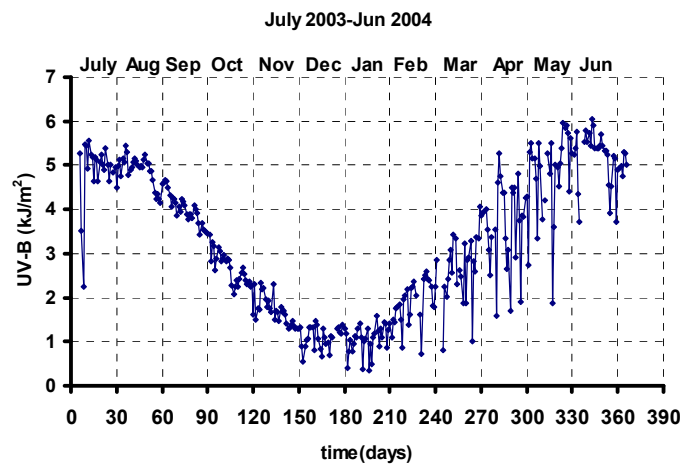
در مرحله بعدی مقادیر میانگین روزانه اوزون کلی جوّ و تابش UV-B تجمعی اندازه‌گیری شده با دستگاه بروئر با یکدیگر مقایسه شد. این مقایسه روشن ساخت که همبستگی منفی بین آن دو وجود دارد. با این حال همسان نبودن مقادیر افت و خیزهای دو پارامتر روشن ساخت که عوامل مؤثر دیگری بر تغییرات تابش UV-B وجود دارد که از آن جمله می‌توان به ابرناکی (نوع و پوشش) و

در تحقیق حاضر، ابتدا این فاکتور برای هر روز محاسبه شد و سپس میانگین ماهانه آن به دست آمد. داده‌های ساعت‌های آفتابی از داده‌های هواشناسی ایستگاه اصفهان تهیه شد و برای محاسبه طول نظری روز نیز از یک محاسبه گر برخط (on line calculator) در پایگاه اینترنتی: (<http://www.usno.navy.mil>) استفاده شد. جدول ۲ این مقادیر را برای سال ۲۰۰۳-۲۰۰۴ نشان می‌دهد. شکل ۷ مقادیر روزانه فاکتور ابرناکی را نشان می‌دهد.

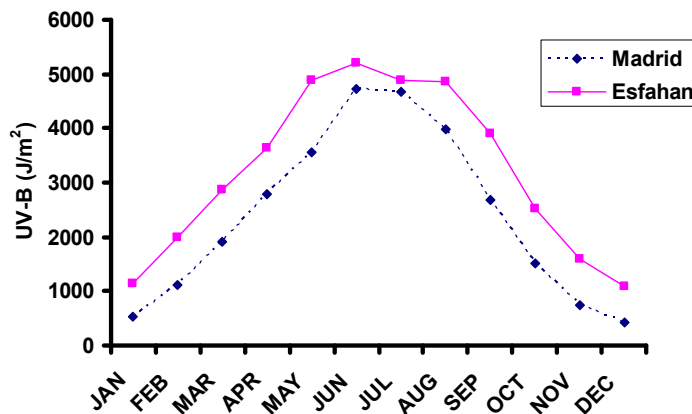
هواویزها اشاره کرد. نتایج مقایسه‌ها نشان می‌دهد که ابرناکی زیاد (پوشش (۷/۸-۸/۸)) باعث کاهش ناگهانی تابش UV-B می‌شود و اغلب کمینه‌هایی را ایجاد می‌کند. شکل ۶ این مقایسه را برای ماه آوریل ۲۰۰۴ نشان می‌دهد. برای تعیین فاکتور ابرناکی، شاخصی را به صورت زیر معرفی کرده‌اند (گوترزمارکو و همکاران، ۲۰۰۷):

$$C = 1 - (n / N) \quad (1)$$

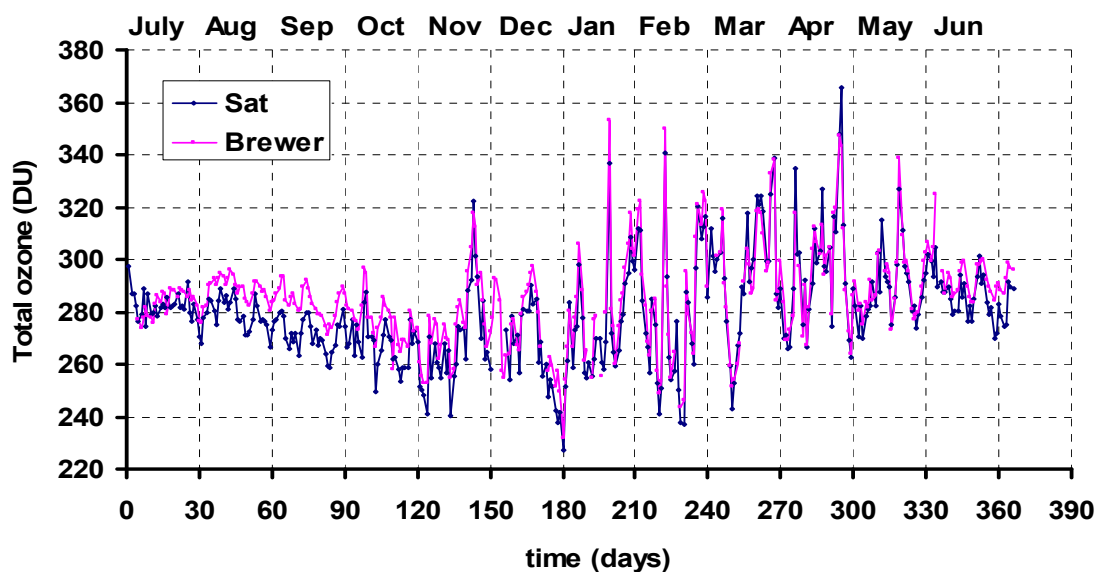
که در آن، منظور از n ، ساعت‌های آفتابی مشاهداتی و N ، طول نظری روز است.



شکل ۳. نمودار تغییرات تابش UV-B تجمعی روزانه در ایستگاه اصفهان.



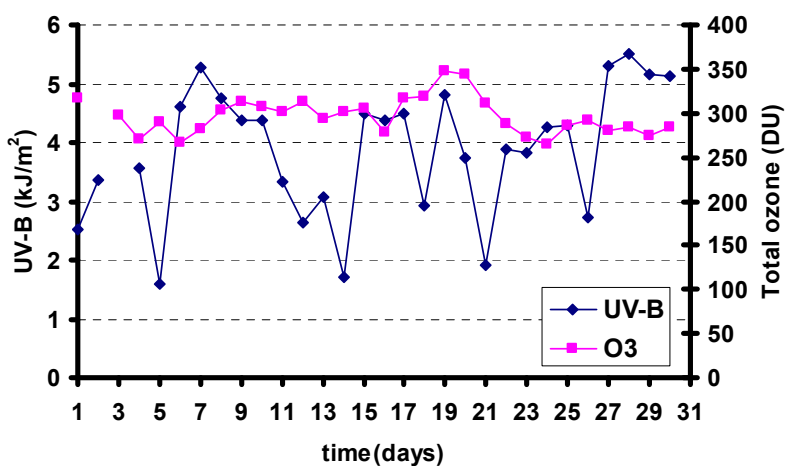
شکل ۴. نمودار مقایسه تغییرات تابش UV-B ماهانه در ایستگاه اصفهان و مادرید.



شکل ۵. مقایسه مقادیر میانگین روزانه اوزون کلی اندازه‌گیری شده با دستگاه بروئر و ماهواره در ایستگاه اصفهان برای دوره یک‌ساله ژوئیه ۲۰۰۳ تا ژوئن ۲۰۰۴.

جدول ۲. مقادیر میانگین ماهانه فاکتور ابرناکی (C) در ایستگاه اصفهان برای دوره یک‌ساله ژوئیه ۲۰۰۳ تا ژوئن ۲۰۰۴.

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0.42	0.19	0.33	0.36	0.23	0.22	0.21	0.11	0.11	0.20	0.22	0.40



شکل ۶. نمودار مقایسه مقادیر روزانه اوزون کلی و تابش UV-B تجمعی در ایستگاه اصفهان برای ماه آوریل ۲۰۰۴.

نمودارهای آن در شکل ۸ آمده است. همه ضرایب همبستگی از نظر آماری در سطح ۹۹٪ معنی دارند. برای دوره ماه آوریل تا دسامبر این رابطه به صورت زیر است:

$$\text{Ln (UV-B)} \quad (2) \\ = -1.0294 C + 7.8910, \quad R = -0.47$$

همین طور همبستگی بین داده‌های تابش UV-B جمعی و اوزون کلی بررسی شد. نتایج بررسی نشان داد که ضریب همبستگی منفی بین این دو برقرار است و افزایش اوزون کلی موجب کاهش تابش UV-B رسیده به سطح زمین می‌شود. با این حال این همبستگی ضعیف‌تر از همبستگی بین تابش UV-B و ابرناکی است، به عبارت دیگر در تغییرات تابش UV-B، ابرناکی در مقایسه با اوزون کلی، عامل مؤثرتری است.

از آنجا که تابع لگاریتمی رفتار آماری بهتری دارد و همچنین، بنابر نتایج برخی تحقیقات، بین تابش UV-B جمعی و اوزون کلی، برای برآزش داده‌ها از یک رابطه توانی به صورت زیر (گاتی درز و همکاران، ۲۰۰۷) استفاده شد:

$$\text{UV-B} = (\text{O}_3)^{-\alpha} \quad (3)$$

که در آن، منظور از α ، عامل تقویت تابش (Radiation Amplification Factor, RAF) است.

برای تعیین تأثیر خالص اوزون کلی در غیاب ابرناکی، دوره زمانی اول ژوئن تا ۱۵ ژوئیه که در آن وضعیت پوشش ابری کمتر و بیشتر موارد آسمان صاف است و اوزون کلی نیز مقدار متوسطی دارد، در نظر گرفته و همبستگی بین این دو بررسی شد. رابطه خطی به دست آمده بین لگاریتم تابش جمعی روزانه UV-B و لگاریتم اوزون کلی روزانه به صورت رابطه (۴) است. شکل ۹ نیز این رابطه خطی را نشان می‌دهد و از نظر آماری در سطح اعتماد ۹۵٪ معنی دار است.

مقایسه مقادیر میانگین ماهانه این فاکتور نشان می‌دهد که ماه‌های دسامبر، ژانویه، مارس و آوریل دارای مقادیر زیاد ابرناکی هستند. به بیانی دیگر، بیشینه اصلی در ماه ژانویه و بیشینه ثانویه در اواسط بهار (آوریل) روی می‌دهد. همچنین، مقادیر کم ابرناکی تقریباً در ماه‌های ژوئیه، اوت و سپتامبر رخ می‌دهد. میانگین سالانه این فاکتور حدود ۰/۲۵ محاسبه شد که با مقدار میانگین این فاکتور که گوترزمارکو و همکاران (۲۰۰۷) در اسپانیا حدود ۰/۳ محاسبه کرده‌اند قابل مقایسه است. مسلماً شرایط آب و هوایی بر مقدار فاکتور ابرناکی مؤثر است.

مقایسه روزانه مقادیر فاکتور ابرناکی و تابش UV-B جمعی برای ماه‌های متفاوت روشن ساخت که در حالت زیاد بودن پوشش ابری (۷/۸-۸/۸) که فاکتور ابرناکی نزدیک یک است، کاهش تابش UV-B جمعی می‌تواند به حدود ۷۰٪ برسد.

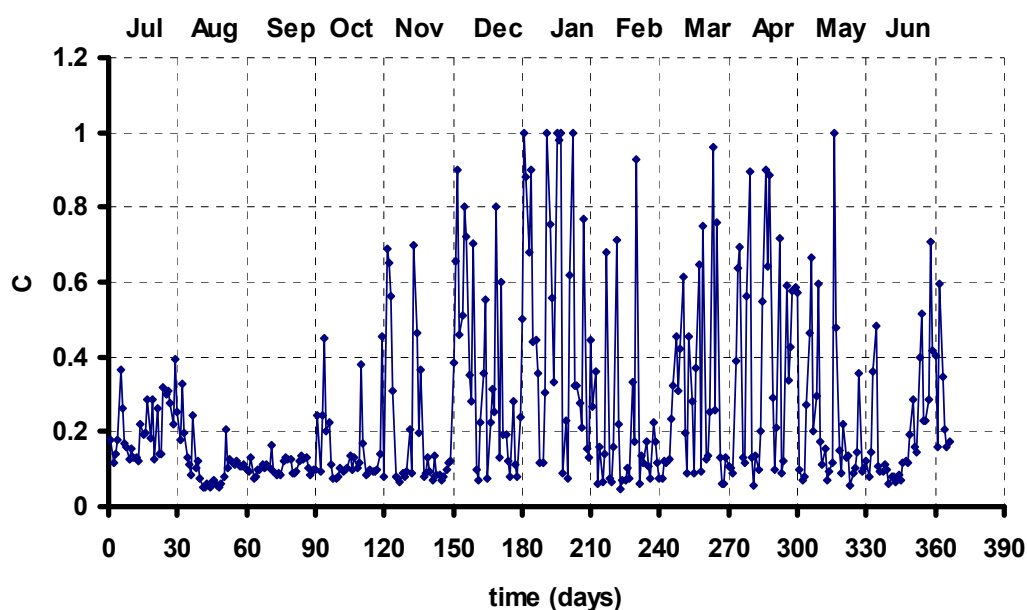
همچنین، نتایج مقایسه نشان داد که معمولاً حالت آسمان صاف (Clear Sky) مربوط به مقدار فاکتور ابرناکی حدود کمتر از ۰/۳ و حالت پوشش ابری زیاد (Cloudy) متناظر با بازه ۰/۶ تا ۱ است.

بررسی همبستگی بین داده‌های روزانه تابش UV-B جمعی و فاکتور ابرناکی (C) نشان داد که همبستگی قوی منفی بین این دو برقرار است. وجود این همبستگی قوی نشان‌دهنده اهمیت نقش ابرها در تضعیف تابش UV-B جمعی است. نتایج این مقایسه روشن ساخت که ابرناکی هر روز همبستگی زیادی با تابش UV-B جمعی فردای آن روز دارد. رابطه خطی بین مقادیر فاکتور ابرناکی و لگاریتم تابش UV-B جمعی برای هر یک از ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس و آوریل و همچنین، برای کل دوره ۵ ماهه دسامبر تا آوریل که در آنها فاکتور ابرناکی، قابل ملاحظه است، به دست آمد. این روابط خطی و ضرایب همبستگی مربوطه در جدول ۳ و

قوی تر، و شیب خط به دست آمده بیشتر می شود. به بیان دیگر، ضریب همبستگی به مقدار ۰/۴۳ می رسد و مقدار α نیز به ۲/۷ افزایش می یابد که این ضریب همبستگی در سطح اعتماد ۹۹٪ معنی دار است.

$$\text{Ln (UV-B)} = -2.4156 \text{ Ln (O}_3\text{)} + 22.235, \quad R = -0.37$$

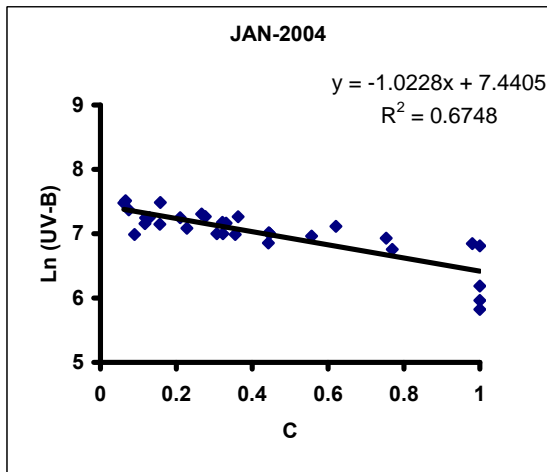
به عبارت دیگر، در این دوره α دارای مقدار ۲/۴ است. حال اگر در این بازه زمانی نیز، روزهایی که مقدار فاکتور ابرناکی بیش از ۰/۴ باشد، حذف شوند، این همبستگی



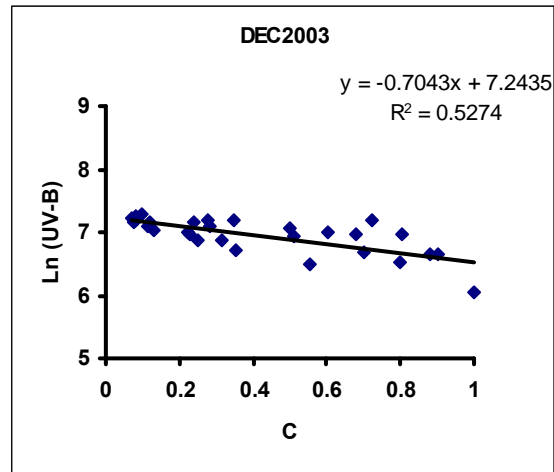
شکل ۷. مقادیر روزانه فاکتور ابرناکی در ایستگاه اصفهان برای دوره یکساله ژوئیه ۲۰۰۳ تا ژوئن ۲۰۰۴.

جدول ۳. روابط خطی بین مقادیر فاکتور ابرناکی و لگاریتم تابش UV-B و ضریب همبستگی بین آنها برای هریک از ماههای دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس و آوریل و همچنین برای کل دوره پنج ماهه دسامبر تا آوریل (واحد UV-B برحسب J.m^{-2} است).

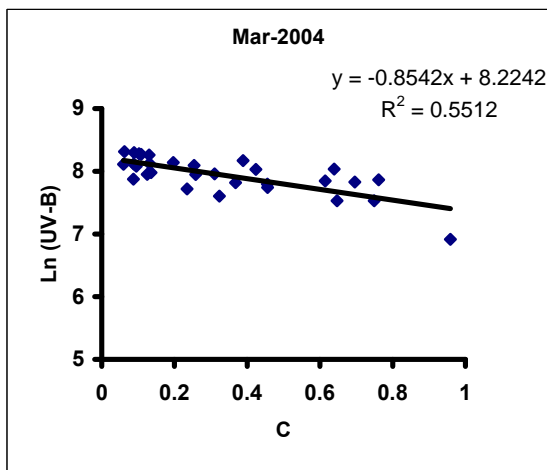
Dec	$\text{Ln (UV-B)} = -0.7040 C + 7.2435$	$R = -0.72$
Jan	$\text{Ln (UV-B)} = -1.0228 C + 7.4405$	$R = -0.82$
Feb	$\text{Ln (UV-B)} = -1.2614 C + 7.8139$	$R = -0.88$
Mar	$\text{Ln (UV-B)} = -0.8542 C + 8.2242$	$R = -0.74$
Apr	$\text{Ln (UV-B)} = -0.9728 C + 8.5926$	$R = -0.80$
Dec- Apr	$\text{Ln (UV-B)} = -1.0294 C + 7.8910$	$R = -0.47$



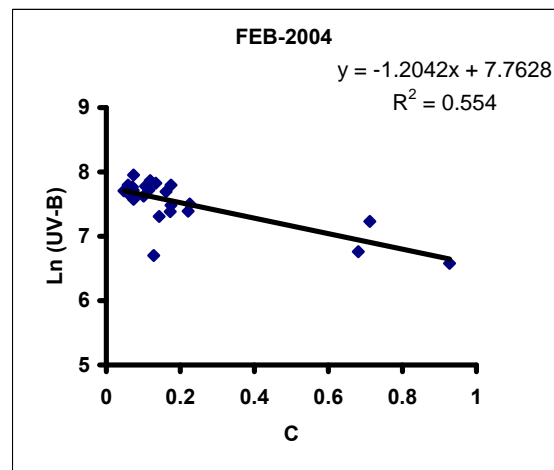
(ب)



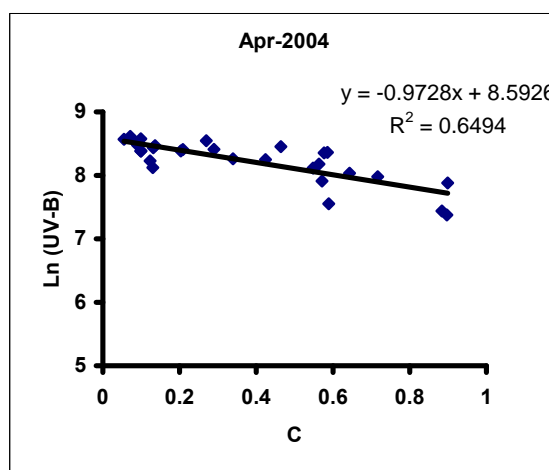
(الف)



(د)

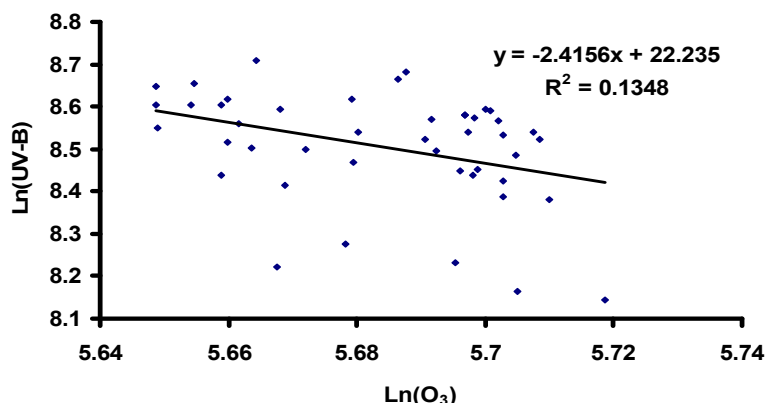


(ج)



(ه)

شکل ۸. روابط همبستگی فاکتور ابرناکی (C) با Ln (UV-B) برای ماه‌های (الف) دسامبر، (ب) ژانویه، (ج) فوریه، (د) مارس و (ه) آوریل.



شکل ۹. رابطه خطی بین لگاریتم تابش UV-B تجمعی روزانه و لگاریتم اوزون کلی روزانه در دوره زمانی اول ژوئن تا ۱۵ ژوئیه ۲۰۰۴ برای ایستگاه اصفهان (ازن کلی برحسب دایسون و تابش UV-B برحسب $J.m^{-2}$ است).

۴ نتیجه گیری

می تواند باعث کاهش شدید و ناگهانی تابش UV-B شود. بررسی همبستگی بین داده های روزانه تابش UV-B تجمعی و فاکتور ابرناکی، همبستگی منفی قوی را بین آن دو نشان داد و روابط خطی بین مقادیر فاکتور ابرناکی و لگاریتم تابش UV-B تجمعی برای ماه های دسامبر تا آوریل و همچنین، برای کل دوره پنج ماهه دسامبر تا آوریل به دست آمد که همگی از نظر آماری در سطح ۹۹٪ معنی دار هستند. مقایسه روزانه مقادیر فاکتور ابرناکی و تابش UV-B تجمعی برای ماه های متفاوت روشن ساخت که در حالت بالا بودن پوشش ابری ($0.8-0.7$) که فاکتور ابرناکی نزدیک به یک است، کاهش تابش UV-B تجمعی می تواند تا حدود ۷۰٪ برسد. بررسی همبستگی بین تابش UV-B و اوزون کلی جو روشن ساخت که همبستگی منفی بین آن دو برقرار است و افزایش اوزون کلی جو باعث کاهش تابش UV-B می شود. برای تعیین اثر خالص اوزون کلی بر تابش UV-B، دوره زمانی ژوئن-ژوئیه که در آن وضعیت پوشش ابری کمتر است انتخاب شد و رابطه همبستگی بین آنها محاسبه شد که در سطح ۹۵٪ معنی دار است.

در این تحقیق ابتدا تغییرات روزانه تابش UV-B تجمعی مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه مقادیر میانگین ماهانه، روشن ساخت که بیشترین مقدار این تابش در ماه های ژوئن-ژوئیه رخ می دهد. میانگین سالانه تابش UV-B تجمعی مقدار $3212 j.m^{-2}.day^{-1}$ به دست آمده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که شهر اصفهان به خصوص در ماه های ژوئن، ژوئیه به لحاظ سلامت پوست در وضعیت بحرانی قرار دارد. در مرحله بعدی تأثیر دو عامل اوزون کلی جو و ابرناکی بر تابش UV-B مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه مقادیر میانگین روزانه تابش UV-B تجمعی و اوزون کلی و ابرناکی روشن ساخت که در ماه هایی که اثر ابرناکی قابل ملاحظه است (ماه های دسامبر تا آوریل) عامل ابرناکی مؤثرتر از عامل اوزون کلی باعث تغییرات تابش UV-B می شود و در دوره هایی که ابرناکی ضعیف باشد و مقدار اوزون نیز ناچیز نباشد (برای نمونه، ماه های ژوئن-ژوئیه) تأثیر عامل اوزون کلی بر تابش UV-B بیشتر است.

مقدار میانگین سالانه فاکتور ابرناکی حدود ۰/۲۵ به دست آمد. نتایج نشان داد که پوشش ابری بالا ($0.8-0.7$)

Palancar, G. G., and Toselli, B. M., 2004, Effects of meteorology and tropospheric aerosols on UV-B radiation: a 4-year study: Atmospheric Environment, **38**, 2749-2757.

Gutierrez-Marco, E., Hernandez, E., Camacho, J. L., and Labajo, A., 2007, Analysis of UVB values in the centre of the Iberian Peninsula: Atmospheric Research, **84**, 345-352.

Krzycin, J. W., Jarosawski, J. and Sobolewski, P. S., 2003, Effects of clouds on the surface erythemal UV-B irradiance at northern midlatitudes: estimation from the observations taken at Belsk, Poland (1999-2001): Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, **65**, 457-467.

Lam, K. S., Aijun, D., Chan, L. Y., Wang, T., and Wang, T. J., 2002, Ground-based measurements of total ozone and UV radiation by the Brewer spectrophotometer #115 at Hong Kong: Atmospheric Environment, **36**, 2003-2012.

Sabziparvar, A. A., 2009, Estimation of clear-sky effective erythema radiation from broadband solar radiation (300-3000nm) data in an arid climate: Int. J. Climatology, DOI: 10.1002/joc.1848, **29**, 2027-2032.

Vanicek, K., Frei, T., Litynska, Z., and Schmalwieser, A., 1999, UV- Index for the Public: Report COST-713 Action Brussels, 1-26.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از سازمان هواشناسی کشور برای در اختیار قرار دادن داده‌های تابش UV-B، اوزون کلی و هواشناسی قدردانی می‌شود. همچنین، از حمایت قطب علمی تحلیل مخاطرات محیطی گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه تربیت معلم قدردانی می‌شود. همین‌طور از نظرات ارزشمند داوران محترم کمال تشکر را داریم.

منابع

سبزی‌پرور، ع.ا.، ۱۳۷۸، اوزون ورود سپهر و پرتو فرابنفش رسیده به سطح زمین: مجله فیزیک زمین و فضا، (۱) و (۲)، ۲۵، ۲۷-۲۱.

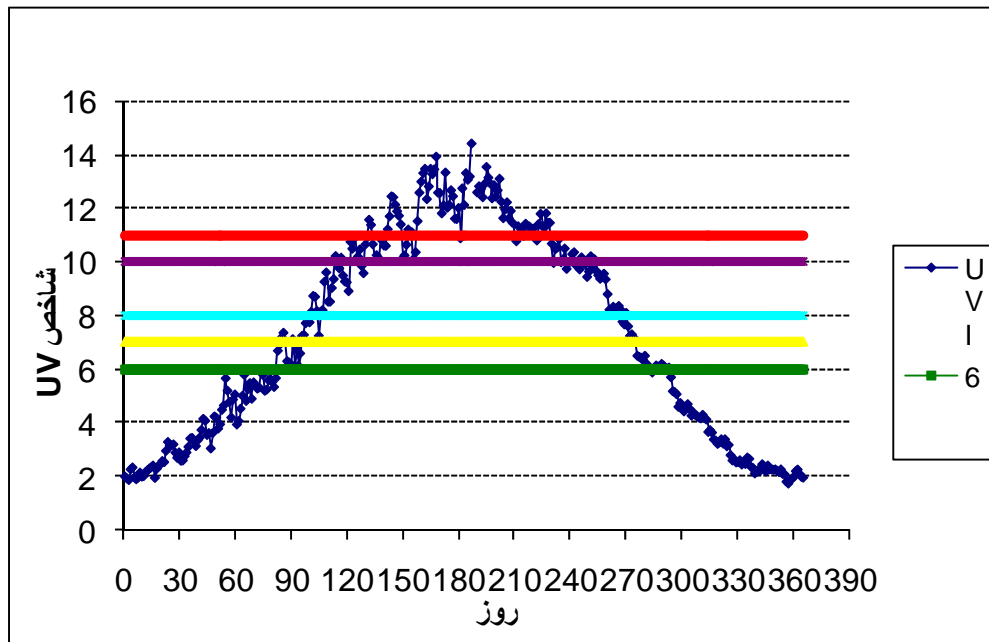
علیزاده، ا. ر.، ۱۳۸۴، بررسی احتمال خطر UV در مناطق دریایی: ششمین همایش علوم و فنون دریایی، تهران، مرکز علوم جوی و اقیانوسی.

گندمکار، ا.، ۱۳۸۶، مدیریت بحران آلودگی هوای شهر اصفهان با پیش‌بینی استقرار پرفشار سبیری: اولین کنفرانس مهندسی برنامه ریزی و مدیریت سیستم‌های محیط زیست، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.

پیوست

جدول پ-۱ شاخص استاندارد اریثما UV. (منبع: پایگاه TEMIS به نشانی <http://www.temis.nl>).

رده پرتوگیری	دامنه شاخص تابش UV	توصیه‌های ایمنی
کم	۰-۲	محافظت نیاز ندارد
متوسط	۳-۵	محافظت نیاز دارد؛ در اواسط روز در سایه باشید
زیاد	۶-۷	نیاز به محافظت اضافی دارد؛ از بودن در محیط بیرون در اواسط روز خودداری شود
بسیار زیاد	۸-۱۰	
فوق‌العاده زیاد	۱۱-...	



شکل پ-۱. تغییرات روزانه شاخص UV اریتما در ایستگاه تهران برای سال ۲۰۰۷ (با استفاده از داده‌های ماهواره SCIAMACHY پایگاه TEMIS).
مرزبندی مربوط به وضعیت‌های متفاوت جدول ۱ است.