

# برآورد تابش فرابنفش تجمعی روزانه UVA و سازگاری آن با برخی عوامل مؤثر مطالعه موردی: مناطق مرکزی ایران

علی اکبر سبزی پرور<sup>۱</sup>

علیرضا سیف‌زاده<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۰۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۴

\*\*\*\*\*

## چکیده

پرتوهای فرابنفش (UV) بخش خطرناک تابش خورشیدی است که علی‌رغم داشتن سهم کوچکی از کل انرژی تابشی خورشید (۵ تا ۷ درصد) و فوایدی در زمینه تولید ویتامین D3، اما تابش بیش از حد آن می‌تواند آسیب‌های جبران‌ناپذیری به سلول‌های انسان برساند. عمده تحقیقات صورت گرفته قبلی در ایران بر روی تابش UV صرفاً محدود به اثرات آن روی پارامترهای گیاهی یا پهنه‌بندی در محدوده کوچک بصورت مطالعه موردی بوده است. در تحقیق حاضر تابش فرابنفش تجمعی روزانه UVA در منطقه وسیعی از فلات مرکزی ایران که دارای اقلیم خشک و نیمه خشک هستند در دوره اقلیمی ۱۳ ساله شامل ۲۲ ایستگاه در ۹ استان به وسیله مدل انتقال تابش لایه‌ای TUV5 برآورد شده است. نتایج در سه حالت شرایط آسمان کاملاً صاف، کاملاً ابری و واقعی (ترکیبی از درصد هوای ابری و صاف در ماه مربوطه) برآورد گردید و بصورت متوسط فصلی پهنه‌بندی شد و انطباق آن با عوامل اثرگذار بر تابش فرابنفش مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشینه تابش UVA در نیمه جنوبی منطقه مورد مطالعه متمرکز است که در فصول گرم سال غالباً در شرق و در فصول سرد سال در نواحی مرکزی و جنوب غرب منطقه مستقر است. مقایسه پهنه‌های تابش تجمعی روزانه در شرایط کاملاً ابری نشان می‌دهد که همخوانی مطلوبی با پهنه‌های عمق نوری ابر و آئروسول وجود دارد. در حالیکه در شرایط کاملاً صاف، انطباق پهنه‌های توزیع تابش UVA و ازون کلی بیشتر است. شرایط آسمان تمام ابری قادر است شدت تابش روزانه دریافتی UVA را حدود ۵۲ درصد در فصل زمستان و ۲۱ درصد در فصل تابستان به نسبت شرایط آسمان کاملاً صاف کاهش دهد. در شرایط واقعی آسمان شدت تجمعی پرتوهای UVA برآورد شده در مقایسه با آسمان کاملاً صاف، کاهش متوسط ۱۹ درصدی در فصل تابستان تا ۳۲ درصدی در فصل زمستان را نشان می‌دهد. میزان تأثیر کاهشی ابر بر تابش سطحی فرابنفش در فصول گرم سال (به دلیل زاویه سمت الرأس کمتر) به طور نسبی کمتر از فصل سرد سال می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مدل TUV5، عمق نوری ابر و آئروسول، تابش UVA، آسمان کاملاً صاف، آسمان تمام ابری.

\*\*\*\*\*

۱- استاد هوشناسی گروه مهندسی علوم آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا (نویسنده مسئول) swsabzi@basu.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری هوشناسی کشاورزی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا ali.seifzadeh69@yahoo.com

## ۱- مقدمه

یکی از تابش‌های خطرناک خورشیدی، پرتو فرابنفش است. این اشعه در محدوده بینایی انسان نیست و نمی‌توان آن را دید، به همین دلیل به آن نور تاریک نیز می‌گویند (سرو همکاران، ۲۰۰۴: ۱۹۵۸). اشعه فرابنفش، انرژی الکترومغناطیسی است که در محدوده طول موج کوتاه بوده و در طیف الکترومغناطیسی، بین اشعه ایکس و نور مرئی قرار دارد. در طیف پرتوهای خورشیدی دریافت شده در سطح زمین طول موج‌های کمتر از ۲۹۰ نانومتر توسط گازهای مختلف جو جذب می‌گردد اما در سال‌های اخیر کاهش ضخامت لایه ازن توسط بسیاری از پژوهشگران گزارش شده است (مکنزی و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۲۱). این امر منجر به نفوذ تابش فرابنفش بیشتری به سطح زمین می‌گردد. گاز ازن با جذب تابش فرابنفش خورشیدی در واقع همانند یک سپر جاذب از رسیدن تابش‌های مضر به سطح زمین جلوگیری می‌کند. ازن تنها گاز شناخته شده در جذب تابش فرابنفش بوده، لذا نازک شدن ضخامت لایه ازن در لایه استراتوسفر باعث افزایش میزان عبور این تابش‌ها از استراتوسفر گردیده و سطح زمین بیشتر در معرض این نوع تابش‌ها قرار می‌گیرد. افزایش میزان عبور تابش فرابنفش از لایه استراتوسفر و رسیدن آن به سطح زمین برای حیات موجودات زمینی فوق‌العاده خطرناک است، زیرا این اشعه از نظر بیولوژیکی فعال است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷: ۳۵۱). اگر چه سهم کل انرژی در طیف UV بین ۵ الی ۷ درصد کل انرژی خورشید می‌باشد، ولی همین مقدار ناچیز نقش مهمی را در فعالیت‌های بیولوژیکی و فتوشیمیایی زمین و جو ایفا می‌کند (موقری و خسروی، ۱۳۹۳: ۱۴). UV در تولید ویتامین D3 در انسان‌ها، اما دریافت تابش بیش از حد UV می‌تواند بر اسیدهای نوکلئیک (DNA-RNA)، پروتئین و لیپیدهای سلول‌های انسان آسیب برساند. این امر می‌تواند منجر به بیماری‌هایی نظیر آب مروارید، آفتاب سوختگی، کور چشمی و پیری زودرس در انسان شود. همچنین سیستم دفاعی بدن می‌تواند در اثر تابش بیش از

حد اشعه UV تضعیف گردد (کیلیاسا و همکاران، ۱۹۹۷: ۸۱۳). این اشعه خود به سه دسته تقسیم می‌شود UV-A، UV-B و UV-C. طول موج این سه نوع اشعه برای UV-A حدود ۳۱۵ تا ۴۰۰ نانومتر، برای UV-B حدود ۲۸۰ تا ۳۱۵ نانومتر و برای UV-C حدود ۲۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر می‌باشد. علاوه بر جو زمین عواملی چون گرد و غبار، آلودگی هوا و ابرها از شدت ورود این اشعه می‌کاهند (آروین اسپانی، ۱۳۹۱: ۶). مقدار UV-A وارد شده به زمین، بیش از دو نوع دیگر می‌باشد. تحقیقاتی که در ایران بر روی اشعه فرابنفش صورت پذیرفته اغلب محدود به تأثیر پرتو فرابنفش بر پارامترهای گیاهی مانند مواد مؤثره، طول قسمت هوایی و طول ریشه و ساقه و همینطور تأثیرات مخرب این اشعه بر روی سلامت انسان است. از مطالعات انجام شده در این سطح در ایران می‌توان به کارهای بهروز و همکاران (۱۳۸۸)، حسینی سرقین و همکاران (۱۳۹۰)، محجوب و همکاران (۱۳۹۱)، جهانبخش و همکاران (۱۳۹۳) و مرادی ریک‌آباد و همکاران (۱۳۹۷) اشاره کرد. تحقیقات مشابه صورت پذیرفته در این زمینه در سطح جهان که توسط محققین رشته‌های زیست‌شناسی، علوم گیاهی و علوم پزشکی به صورت مطالعه موردی و آزمایشگاهی صورت گرفته، می‌توان به کارهای کالدول و همکاران (۱۹۸۶)، بلوم و وولکنان (۲۰۰۲)، جانجای و همکاران (۲۰۱۵) و یو و همکاران (۲۰۱۵) اشاره نمود. اما هدف از انجام این پژوهش محاسبه و ارزیابی میزان پرتو فرابنفش UV-A تحت شرایط آب و هوایی گوناگون و بررسی تطابق آن با پهنه‌های پارامترهای مؤثر بر آن (ازون کلی جو، عمق نوری ابر و عمق نوری آئروسول) در منطقه مورد مطالعه است. علی‌رغم اینکه پرتوهای UV-B و UV-C در کوتاه مدت قدرت تخریبی بالاتری دارند، طول موج‌های محدوده UV-A در طولانی مدت قادر به تخریب سلول‌های پوست و چشم به‌طور جبران‌ناپذیری هستند. ضمن اینکه لایه ازن قادر به جذب کامل این طیف قبل از رسیدن به سطح زمین نیست و تابش بیشتری از این طیف به زمین می‌رسد و

تجربی اندازه‌گیری شده، معمولاً تخمین شدت تابش UV توسط مدل‌های تابش ساده و پیچیده (مانند مدل‌های خط به خط DISORT<sup>۱</sup>) انجام می‌گیرد (تاجیک و همکاران، ۲۰۱۵: ۲۱). هر یک از این مدل‌ها در ارائه تابش تخمین زده شده در سطح زمین مزایا و معایب خود را به دنبال دارند.

در کنار این مدل‌ها، مدل‌های دیگری نیز مانند مدل TUV<sup>۲</sup> که در دسته مدل‌های انتقال تابش لایه‌ای طبقه بندی می‌شوند نیز اقدام به برآورد شدت اشعه فرابنفش و مرئی در طول موج‌های مختلف می‌نمایند (سبزی پرور و کریمی، ۱۳۹۷: ۲۱۸). تغییرات زمانی تابش فرابنفش در طول موج‌های ۲۹۵ الی ۳۸۵ نانومتر در یکی از شهرهای مرطوب کشور آرژانتین مورد مطالعه قرار گرفت. آن‌ها از مدل TUV و داده‌های ماهیانه ازون، آروسول و آلیدوی اندازه‌گیری شده توسط TOMS/NASA بعنوان ورودی استفاده نمودند و یک رابطه ساده ریاضی برای پیش‌بینی تابش UV در طول موج‌های ذکر شده برای شهر Rosario ارائه نمودند (پاستینی و همکاران، ۲۰۰۲: ۶۵).

نتیجه تحقیقی که اقدام به مقایسه اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در طول موج‌های ۳۰۰ الی ۳۶۸ نانومتر و برآورد مقادیر مدل TUV نموده بود، گزارش کرد که مدل TUV می‌تواند جایگزین مناسبی برای اندازه‌گیری‌های اسپکترال تابش فرابنفش به حساب آید (وانگ و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۳۰). نتایج برآوردهای حاصل از مدل TUV با برآوردهای انجام‌شده توسط SBDART<sup>۳</sup> تحت شرایط گوناگون ازون کلی و تحت زوایای مختلف SZA مقایسه شد. تفاوت دو مدل در طول موج‌های فرابنفش کمتر از ۸ درصد و در طول موج‌های مرئی کمتر از ۱ درصد به دست آمد (کاروالیو و همکاران، ۲۰۰۹: ۳۶). در این پژوهش با فرض اینکه ابرناکی و ازون کلی می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر تابش UVA داشته باشد و همچنین این باند از تابش فرابنفش تابع فصل و عوامل جغرافیای منطقه مورد مطالعه است، اقدام

ریسک خطرپذیری آن را افزایش می‌دهد. (مورنو و همکاران، ۱۹۹۸: ۱۰۲۰) به همین دلیل ضرورت انجام چنین پژوهشی در مناطق خشک و نیمه خشک کشور که کانون خطرات احتمالی تابش فرابنفش هستند احساس می‌شود.

در پژوهشی که به بررسی میزان شدت تابش ماهانه UV-A در شهر همدان به صورت مقطعی و در مدت یک سال پرداخته شده است، نتایج نشان داد که بیشترین کمترین میانگین شدت تابش UV-A در طول سال به ترتیب مربوط به ماه‌های شهریور و آذر بوده است. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که بیشینه میانگین UV-A در شهریور با میزان  $27/3 \pm 1/09$  وات بر متر مربع، حدود دو برابر بیشتر از مقدار مجاز (۱۰ وات بر متر مربع) که توسط WHO گزارش شده، بوده است. کمینه میانگین تابش UV-A نیز در منطقه مورد مطالعه حدود ۱۸٪ بیشتر از مقدار مجاز اعلام شده می‌باشد. این موضوع احتمالاً به علت ارتفاع زیاد شهر همدان از سطح دریا می‌باشد (رستم‌پور و همکاران، ۱۳۹۱: ۷۲).

موسوی و همکاران در پژوهشی مدل‌های شاخص UV را با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای بیشترین میزان روزانه تابش فرابنفش خورشید در ۲۸ نقطه از ایران، برای فصول بهار و تابستان و ماه‌های شاخص هر یک ترسیم کردند. نتایج تحلیل داده‌های ماهواره‌ای حاکی از آن بود که ایران غالباً طی دوره مورد مطالعه در این پژوهش (۲۰۰۵-۱۹۹۶)، در شرایط هوای صاف تحت حاکمیت بالاترین درجه تابش یعنی خطر بسیار شدید قرار داشته است اما نتیجه مطالعه از طریق بازسازی ارقام فصول بهار و تابستان با کمک ایستگاه مرجع دو منطقه تابشی متمایز را نشان داد. منطقه یک، خطر زیاد روی کمربند ساحلی و کوهستانی شمال، سواحل جنوب و جنوب غرب ایران و منطقه دو، خطر بسیار زیاد که در نواحی داخلی و ارتفاعات زاگرس مرکزی جنوبی متمرکز می‌باشد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۱).

مطالعه تغییرات شدت تابش فرابنفش به دلیل اهمیت بیولوژیک آن توسط محققین مختلف در دهه‌های اخیر مورد توجه بوده است. به دلیل محدودیت دسترسی به داده‌های

1- Discrete Ordinate Radiative Transfer

2- Tropospheric Ultraviolet Visible

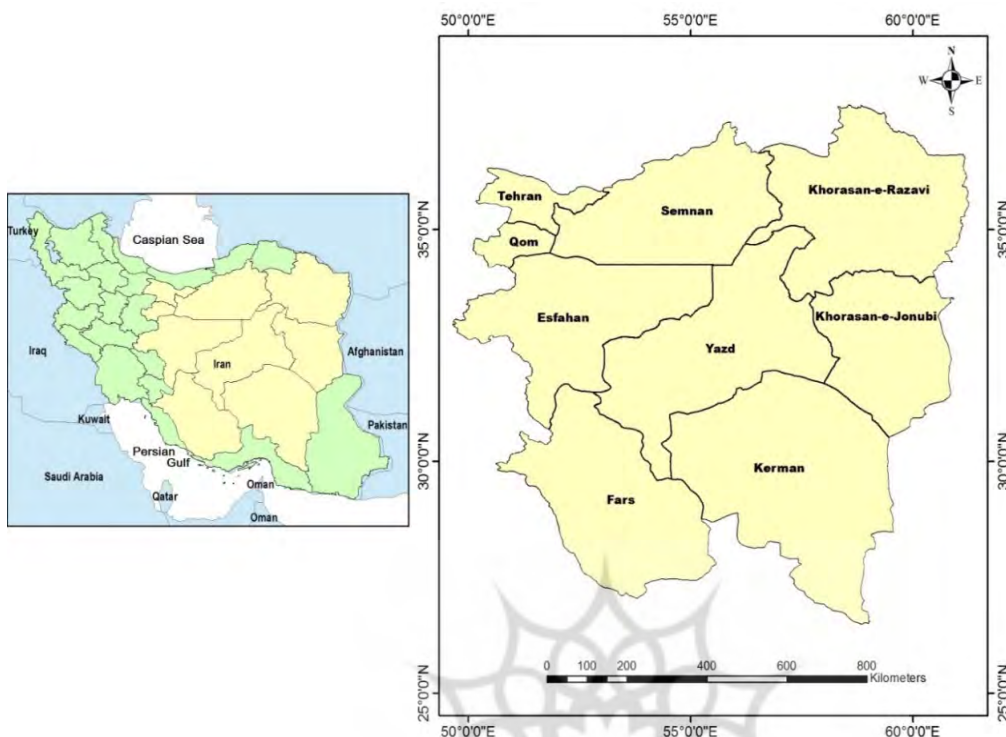
3- Santa Barbara DISORT Atmospheric Radiative Transfer

به برآورد مقدار تابش تجمعی روزانه UVA در ایستگاه‌های مورد مطالعه شد و ارزیابی تطابق این تابش با پهنه‌های عوامل مؤثر بر آن از جمله ازون کلی جو، تغییرات ابرناکی و آتروسول صورت پذیرفت. در نهایت نتایج این تحقیق می‌تواند مشخص کند که تأثیرات ازون کلی جو، ابرناکی و آتروسول در افزایش یا کاهش شدت UVA تا چه اندازه قابل ملاحظه است. که این مورد تاکنون در کشور بررسی نگردیده است.

۲- داده‌ها و روش‌ها  
 ۲-۱- منطقه مورد مطالعه  
 ایستگاه‌های برآورد تابش تجمعی روزانه UVA که برای انجام این پژوهش انتخاب شده‌اند براساس سیستم طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن اصلاح شده در مناطق خشک، نیمه خشک و فراخشک قرار دارند. در جدول ۱ اطلاعات ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در نگاره ۱ نشان داده شده است که ۲۲ شهر

جدول ۱: اطلاعات جغرافیایی و نوع آب و هوای ایستگاه‌های مورد مطالعه در ناحیه مرکزی ایران

ردیف	شهر	طول جغرافیایی (درجه شرقی)	عرض جغرافیایی (درجه شمالی)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	نوع آب و هوا (دومارتن اصلاح شده)
۱	آباده	۵۲/۶۷	۳۱/۱۸	۲۰۳۰	خشک
۲	انار	۵۵/۲۵	۳۰/۸۸	۱۴۰۹	فراخشک
۳	بافت	۵۶/۵۸	۲۹/۲۳	۲۲۸۰	نیمه خشک
۴	بم	۵۸/۳۵	۲۹/۱۰	۱۰۶۷	فراخشک
۵	بیرجند	۵۹/۲۰	۳۲/۸۶	۱۴۹۱	خشک
۶	اصفهان	۵۱/۸۷	۳۲/۶۷	۱۶۰۱	فراخشک
۷	فردوس	۵۸/۱۷	۳۴/۰۲	۱۲۵۰	خشک
۸	گرمسار	۵۲/۲۷	۳۵/۲۰	۸۲۵	فراخشک
۹	قم	۵۰/۸۵	۳۴/۷۰	۸۷۷	خشک
۱۰	گناباد	۵۸/۶۸	۳۴/۳۵	۱۰۵۶	خشک
۱۱	کبوترآباد	۵۱/۸۵	۳۲/۵۲	۱۵۴۵	فراخشک
۱۲	کاشان	۵۱/۴۵	۳۳/۹۸	۹۸۲	نیمه خشک
۱۳	کاشمر	۵۸/۴۷	۳۵/۳	۱۱۱۰	فراخشک
۱۴	کرمان	۵۶/۹۷	۳۰/۲۵	۱۷۵۴	خشک
۱۵	خوریابانک	۵۵/۰۳	۳۳/۷۸	۸۴۵	خشک
۱۶	میانده جیرفت	۵۷/۸۰	۲۸/۵۸	۶۰۱	خشک
۱۷	سمنان	۵۳/۵۵	۳۵/۵۵	۱۱۷۱	خشک
۱۸	شهر بابک	۵۵/۱۳	۳۰/۱۰	۱۸۳۴	خشک
۱۹	سیرجان	۵۵/۶۸	۳۰/۴۷	۱۷۳۹	خشک
۲۰	طبس	۵۶/۹۲	۳۳/۶۰	۷۱۱	فراخشک
۲۱	تهران	۵۱/۳۲	۳۵/۶۸	۱۱۹۰	خشک
۲۲	یزد	۵۴/۴۰	۳۱/۹۰	۱۲۳۰	فراخشک



نگاره ۱: موقعیت  
جغرافیایی استان‌های  
مورد مطالعه

مورد نظر در ۹ استان مرکزی ایران قرار گرفته‌اند. به دلیل فقدان شبکه پایش تابش فرابنفش در کشور، مقادیر ساعتی و روزانه تابش فرابنفش در ایستگاه‌های مورد مطالعه از مدل تابشی TUV5 حاصل گردید. مدل تابشی TUV برای اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط مدرونیچ<sup>۱</sup> به مرکز ملی تحقیقات علوم جوی آمریکا<sup>۲</sup> (NCAR) عرضه شد. این مدل برای محاسبه تابش اسپکترال در طول موج‌های فرابنفش و مرئی با دقت قابل قبولی کاربرد دارد (ویلیامسون و همکاران، ۲۰۱۴: ۴۳۱).

داده‌های ورودی مورد نیاز مدل TUV شامل: طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد نظر، عمق نوری<sup>۳</sup> ابر، ارتفاع ایستگاه از سطح دریا، آلبیدوی زمین<sup>۴</sup> در طول موج‌های فرابنفش، عمق نوری آئروسول و ازون کلی جو است.

طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد نظر و ارتفاع ایستگاه از سطح دریا از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی بدست آمد که در جدول ۱ نیز قابل مشاهده است. همچنین مقدار ساعتی حداکثر طول روز (N) و مقدار ساعات آفتابی (n) به صورت متوسط ماهیانه برای محاسبه ضریب (n/N) که یک ضریب تعدیلی برای محاسبه شرایط واقعی آسمان است، از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی دریافت گردید. تصاویر ماهواره‌ای عمق نوری ابر و عمق نوری آئروسول از سنجنده Terra & Aqua/MODIS به دست آمد. تصاویر ماهواره‌ای ازون کلی جو (Total Column Ozone) از سنجنده OMI/Aura TOMS به دست آمد.

تصاویر ماهواره‌ای آلبیدو زمین در طیف طول موج‌های فرابنفش با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های پروژه MERRA-2 ناسا که استفاده از ماهواره ERA و سیستم مشاهدات زمینی

مورد نظر در ۹ استان مرکزی ایران قرار گرفته‌اند. به دلیل فقدان شبکه پایش تابش فرابنفش در کشور، مقادیر ساعتی و روزانه تابش فرابنفش در ایستگاه‌های مورد مطالعه از مدل تابشی TUV5 حاصل گردید. مدل تابشی TUV برای اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط مدرونیچ<sup>۱</sup> به مرکز ملی تحقیقات علوم جوی آمریکا<sup>۲</sup> (NCAR) عرضه شد. این مدل برای محاسبه تابش اسپکترال در طول موج‌های فرابنفش و مرئی با دقت قابل قبولی کاربرد دارد (ویلیامسون و همکاران، ۲۰۱۴: ۴۳۱).

داده‌های ورودی مورد نیاز مدل TUV شامل: طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد نظر، عمق نوری<sup>۳</sup> ابر، ارتفاع ایستگاه از سطح دریا، آلبیدوی زمین<sup>۴</sup> در طول موج‌های فرابنفش، عمق نوری آئروسول و ازون کلی جو است.

## ۲-۲- داده‌ها

### ۲-۲-۱- روش آماده سازی داده‌ها

پژوهش حاضر در طی یک دوره آماری ۱۳ ساله (۲۰۰۵

- 1- Madronich
- 2- U.S National Center for Atmospheric Research (NCAR)
- 3- Optical Depth
- 4- Surface Albedo

### ۲-۳- شرایط آسمان کاملاً ابری (Overcast)

به منظور بررسی تأثیر پوشش ابری بر تابش روزانه دریافتی در محدوده طول موج‌های ۳۱۵ الی ۴۰۰ نانومتر، کل منطقه بصورت پیش فرض بطور همگن با ابری با ضخامت یک کیلومتر (ارتفاع پایه ۴ و ارتفاع قله ۵ کیلومتر از زمین) در نظر گرفته شد. البته عمق اپتیکی ابرها در هر ایستگاه مقدار واقعی گزارش شده توسط سنجنده‌های ماهواره‌ای در مدل لحاظ گردید. هدف از این کار بررسی میزان تأثیر ابر در کاهش شدت تابش فرابنفش در باند UVA می‌باشد.

### ۳-۳- شرایط واقعی (All Sky)

در این پژوهش شرایط واقعی به حالتی اطلاق می‌شود که مدت زمانی که ابر در طول روز جلوی پرتوهای مستقیم خورشید را سد نموده، در نظر گرفته شده است. برای محاسبه تابش روزانه UVA در شرایط واقعی ابتدا حداکثر طول روز (N) و مقدار ساعات آفتابی واقعی (n) در طول سال برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه به صورت متوسط ماهیانه برای محاسبه ضریب (n/N) که یک ضریب تعدیلی است، محاسبه گردید. سپس با ضرب کردن این ضریب تعدیلی در مقادیر شرایط آسمان کاملاً صاف، شرایط واقعی آسمان بدست آمد.

در انتها نقشه‌های پهنه‌بندی مقادیر ازون کلی جو، عمق نوری ابر و عمق نوری آتروسول به عنوان عوامل اثرگذار بر شدت تابش ورودی پرتو فرابنفش و مقادیر UVA در تمام حالت‌های ذکر شده در محدوده مورد مطالعه به صورت متوسط فصلی اقلیمی (متوسط ۱۳ سال بازه زمانی) با استفاده از نرم افزار ArcGIS تولید می‌گردد. روش درون‌یابی مورد استفاده برای پهنه‌بندی روش IDW بوده است که بنا به نتیجه تحقیق موقری و خسروی در مقایسه با روش‌های کریجینگ ساده<sup>۳</sup> و کریجینگ معمولی<sup>۴</sup>، دارای عملکرد بهتری در پهنه‌بندی مقادیر تابش فرابنفش می‌باشد (موقری و خسروی، ۱۳۹۳: ۲۰۱).

Goddard نسخه ۵ (GEOS-5) و سیستم همگام سازی داده‌های جوی (ADAS)<sup>۱</sup> نسخه ۵، ۱۲، ۴ بود، حاصل شد. این تصاویر ماهواره‌ای نیز همانند تصاویر قبلی به صورت روزانه در شبکه (Grid) جهانی ۰/۲۵ × ۰/۲۵ درجه (۲۵ کیلومتر در ۲۵ کیلومتر) و در طی دوره مورد مطالعه (۲۰۰۵ - ۲۰۱۷ میلادی) در دسترس است.

تصاویر ماهواره‌ای مورد اشاره از طریق سایت (<https://disc.gsfc.nasa.gov>) که وابسته به اداره کل ملی هوانوردی و فضا<sup>۲</sup> (به اختصار ناسا) ایالات متحده امریکا است به صورت رایگان در دسترس قرار گرفته است.

### ۳- روش پژوهش

مدل TUV حاوی یک برنامه فرترن ۴۰۰ صفحه‌ای است که جو را به حدود ۱۸ لایه تقسیم می‌کند و در هر لایه کلیه فرآیندهای جذب، پخش و انعکاس توسط گازهای مختلف جوی و آتروسول‌ها را محاسبه و آخرین تابش فرابنفش رسیده به سطح زمین را با توجه به شرایط اقلیمی و جغرافیایی منطقه در اختیار کاربر قرار می‌دهد (مدرونیچ و همکاران، ۱۹۹۵: ۱۵۰). فایل مدل به صورت رایگان از طریق لینک (<http://cprm.acom.ucar.edu/Models/TUV>) قابل دریافت است. دقت بالا و سادگی استفاده توسط کاربران در دنیا، از مزیت‌های استفاده از این مدل است. نسخه‌های جدید این مدل نسبت به نسخه‌های اولیه به مراتب کامل‌تر و دقیق‌تر است.

با در اختیار داشتن داده‌های ورودی مورد نیاز مدل TUV اقدام به برآورد مقادیر ساعتی و روزانه طیف UVA در سه شرایط آب و هوایی زیر گردید:

### ۳-۱- شرایط آسمان کاملاً صاف (Clear Sky)

در این حالت، مقادیر ابرناکی به عنوان ورودی مدل TUV وارد نمی‌شود و مقدار صفر برای ابرناکی در نظر گرفته می‌شود.

3-Simple kriging

4- Ordinary kriging

1- Atmospheric Data Assimilation System

2- National Aeronautics and Space Administration

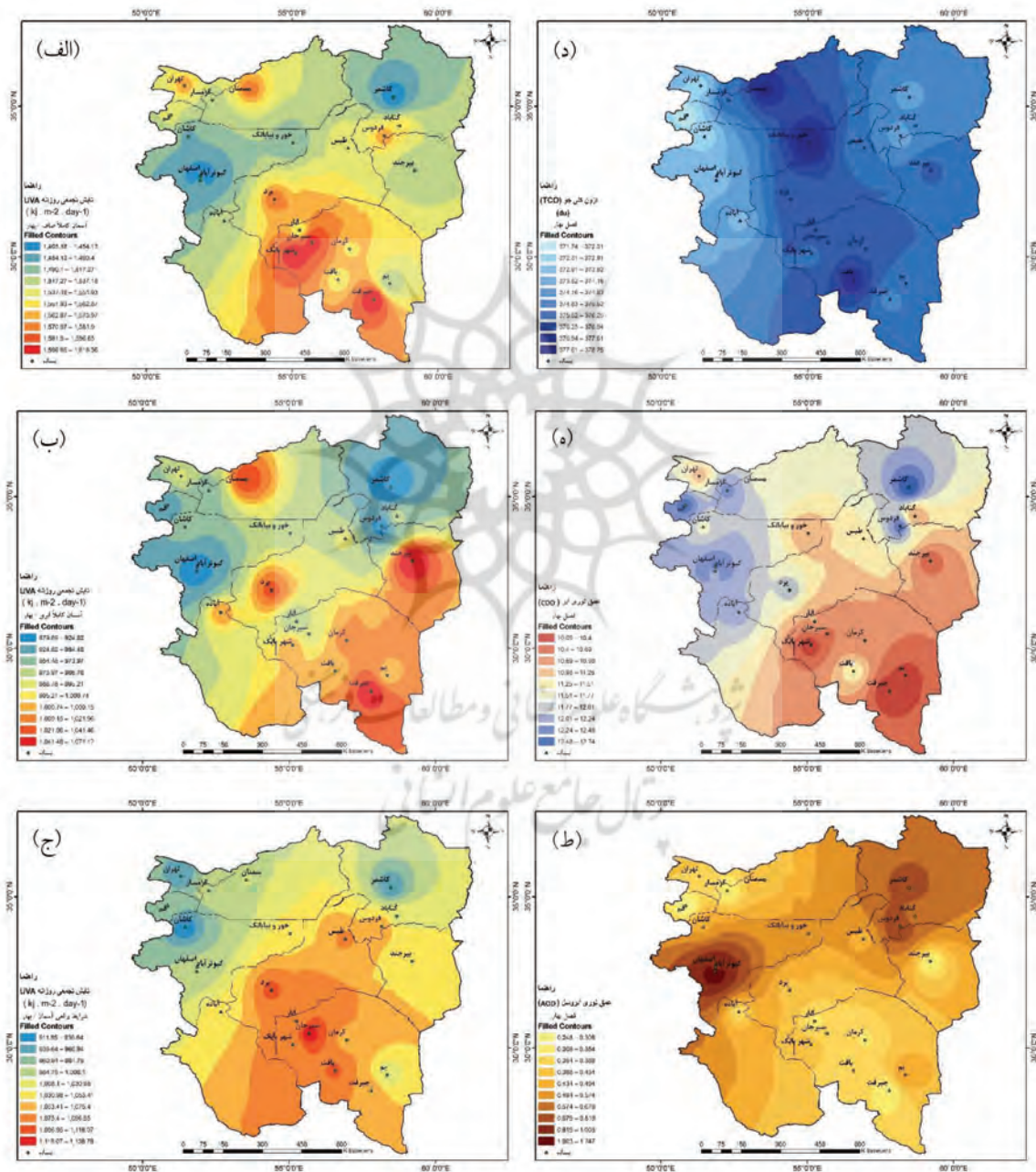
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)  
برآورد تابش فرابنفش تجمعی UVA و سازگاری آن ... / ۱۷۵

۴- نتایج و بحث

۴-۱- فصل بهار

حسب کیلوژول بر مترمربع در روز ( $\text{kJ/m}^2.\text{day}$ ) در نگاره ۲ قابل مشاهده است. همچنین پهنه مقادیر ازون کلی جو (Total Column Ozone) برحسب واحد دابسون (du)، عمق نوری ابر (Cloud Optical Depth) و عمق نوری آئروسول (Aerosol Optical Depth) به عنوان عوامل اثرگذار بر مقادیر تابش

مقدار متوسط تابش تجمعی روزانه UVA در فصل بهار تحت سه شرایط آسمان کاملاً صاف (Clear Sky)، آسمان کاملاً ابری (Overcast) و شرایط واقعی آسمان (All Sky) بر



نگاره ۲- میانگین ۱۳ ساله تابش تجمعی روزانه UVA (کیلوژول بر متر مربع در روز): (الف) آسمان کاملاً صاف، (ب) آسمان کاملاً ابری، (ج) آسمان واقعی (د) ازون کلی جو (دابسون)، (ه) عمق نوری ابر، (ط) عمق نوری آئروسول در فصل بهار

متوسط ۳۶ درصد کاهش پیدا نموده است و این بیان‌کننده اهمیت ابرناکی در مطالعات تابش UV است.

مقایسه پهنه‌های تابش تجمعی روزانه UVA در شرایط کاملاً ابری نشان می‌دهد که همخوانی مطلوبی با پهنه‌های عمق اپتیکی ابر و آئروسول وجود دارد. در اغلب ایستگاه‌های مورد بررسی همخوانی کلی تابش دریافتی UVA از آئروسول‌ها بیشتر از ابر بود. مقادیر UVA تحت شرایط واقعی آسمان به نسبت آسمان کاملاً صاف در فصل بهار به‌طور متوسط ۳۲ درصد کاهش پیدا نموده است. همچنین بزرگ‌ترین بازه تغییرات از پایین‌ترین مقدار تا بالاترین مقدار در فصل بهار در شرایط واقعی آسمان (بین ۹۱۱/۸۶ تا ۱۱۳۸/۷۸  $\text{kJ/m}^2.\text{day}$ ) حادث شده است در حالی که کوچک‌ترین بازه تغییرات (بین ۸۷۹/۷۰ تا ۱۰۷۱/۱۲  $\text{kJ/m}^2.\text{day}$ ) در شرایط آسمان کاملاً ابری به وقوع پیوسته است.

#### ۴-۲- فصل تابستان

به همین ترتیب مقدار متوسط تابش تجمعی روزانه UVA در فصل تابستان نیز تحت سه شرایط آسمان کاملاً صاف، آسمان کاملاً ابری و شرایط واقعی آسمان در نگراره ۳ قابل مشاهده است. همچنین مقادیر ازون کلی جو، عمق نوری ابر و عمق نوری آئروسول به عنوان عوامل اثرگذار بر مقادیر تابش فرابنفش در منطقه مورد مطالعه پهنه‌بندی شد. در فصل تابستان بیشینه مقادیر UVA در همه شرایط مورد مطالعه (کاملاً صاف، تمام ابری و واقعی) و تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی به نسبت فصول دیگر ثبت شده است. همچنین کمترین مقادیر ابرناکی نیز در این فصل ثبت گردیده است. بیشینه مقادیر عمق اپتیکی ابر به ترتیب در ایستگاه‌های قم و تهران در نواحی شمال‌غربی منطقه مورد مطالعه و کمینه مقادیر در ایستگاه‌های بم و بیرجند در نواحی جنوب‌شرقی منطقه مورد مطالعه اندازه‌گیری شده است. این وضعیت کاملاً در تطابق با متوسط تابش تجمعی روزانه UVA در شرایط آسمان کاملاً ابری است. به‌طوری‌که در این شرایط ایستگاه بم با ۱۵۲۸/۱۴ کیلوژول بر مترمربع

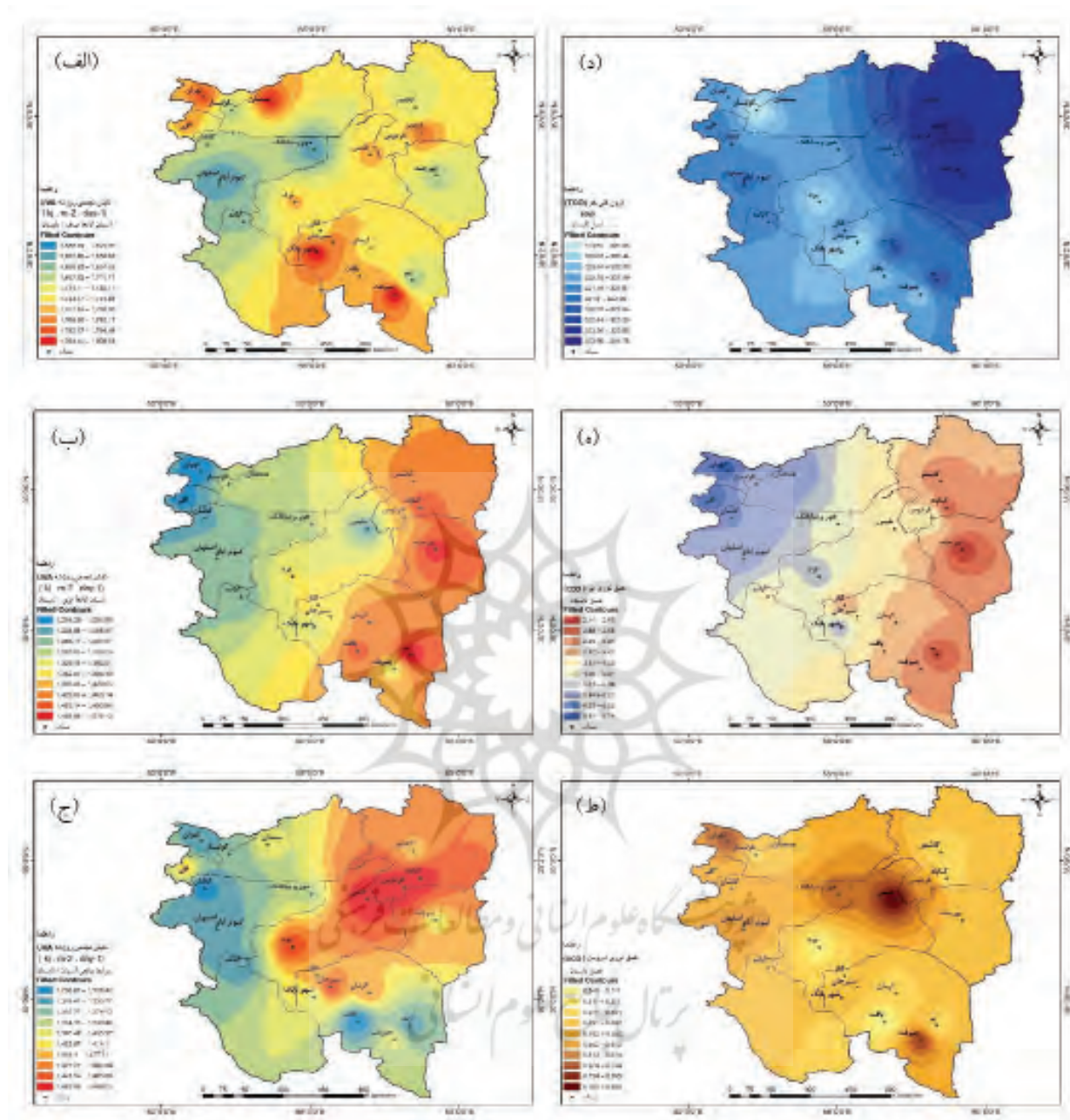
فرابنفش ارائه می‌گردند. عمق نوری، نفوذپذیری نور در ماده است که کسری از تابش الکترومغناطیسی جذب شده توسط اجزای لایه‌ای که نور از آن عبور کرده، لگاریتم طبیعی نسبت نور تابیده به شار تابشی منتقل شده در عبور از یک ماده است. عمق نوری بی بعد است و به‌طور خاص یک طول نیست. نتایج نشان می‌دهد تحت همه شرایط مورد بررسی، نواحی جنوبی منطقه مورد مطالعه بیشینه مقادیر تابش UVA را دارا هستند. به طوری‌که در شرایط آسمان کاملاً صاف ایستگاه جیرفت با ثبت مقدار ۱۶۱۶/۵۷ UVA برحسب کیلوژول بر مترمربع در روز (حداکثر مقدار را داراست.  $\text{kJ/m}^2.\text{day}$ ) در شرایط واقعی آسمان ایستگاه سیرجان با ۱۱۳۸/۷۸  $\text{kJ/m}^2.\text{day}$  دارای حداکثر مقدار UVA است.

در شرایط آسمان کاملاً ابری، بیشترین تمرکز مقادیر بالای UVA اندکی به سمت نواحی جنوب شرقی و ایستگاه بیرجند با ثبت مقدار ۱۰۷۱/۱۲  $\text{kJ/m}^2.\text{day}$  تمایل پیدا می‌کند که کاملاً در تطابق با پهنه عمق نوری ابر است. مشخصاً هسته‌های مقادیر کمینه عمق نوری ابر، موجب شده تا در شرایط آسمان کاملاً ابری، مقادیر بیشینه UVA در ایستگاه مورد اشاره رخ دهد.

همانگونه که در پهنه ابرناکی مشخص است تمرکز بالای ابرناکی در فصل بهار در نواحی شمال شرقی و غربی منطقه مورد مطالعه بوده و نواحی جنوبی منطقه مورد مطالعه همواره مقدار کمتری از ابرناکی را ثبت نموده است. با توجه به اینکه ازون کلی جو نقش مهمی در تعیین تابش UV دریافتی بازی می‌کند، قابل مشاهده است که توزیع جغرافیایی شدت تابش UVA دریافتی در شرایط آسمان کاملاً صاف از توزیع جغرافیایی ازون تبعیت می‌نماید. حداقل مقدار UVA به ترتیب در شرایط آسمان کاملاً صاف، ابری و واقعی برابر با ۱۴۰۵/۱۹  $\text{kJ/m}^2.\text{day}$  در ایستگاه اصفهان، ۸۷۹/۷  $\text{kJ/m}^2.\text{day}$  در ایستگاه کاشان که همگی جز ایستگاه‌های نیمه شمالی منطقه مورد مطالعه است برآورد گردید. مقادیر UVA تحت شرایط آسمان کاملاً ابری به نسبت آسمان کاملاً صاف در فصل بهار به‌طور



فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)  
 برآورد تابش فرابنفش تجمعی UVA و سازگاری آن ... / ۱۷۷



نگاره ۳: میانگین ۱۳ ساله تابش تجمعی روزانه UVA (کیلوژول بر متر مربع در روز): الف) آسمان کاملاً صاف، ب) آسمان کاملاً ابری، ج) آسمان واقعی د) ازون کلی جو (دابسون)، ه) عمق نوری ابر، ط) عمق نوری آئروسول در فصل تابستان در روز ۱۲۰۴/۲۶ حداکثر و ایستگاه تهران با  $1204/26 \text{ kJ/m}^2.\text{day}$  در شرایط آسمان کاملاً صاف گرچه همچنان بیشترین تمرکز مقادیر بالای UVA در نواحی جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه است اما نواحی شمال غربی به خصوص ایستگاه‌های تهران و سمنان افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقادیر تابش UVA را نسبت به فصول دیگر از خود نشان می‌دهند. این امر می‌تواند به پراکندگی مقادیر پایین ازون در این نواحی در فصل تابستان برگردد به طوری که مقادیر ازون در فصل مذکور در نواحی شمال غربی منطقه مورد مطالعه، پایین‌ترین مقادیر را دارد

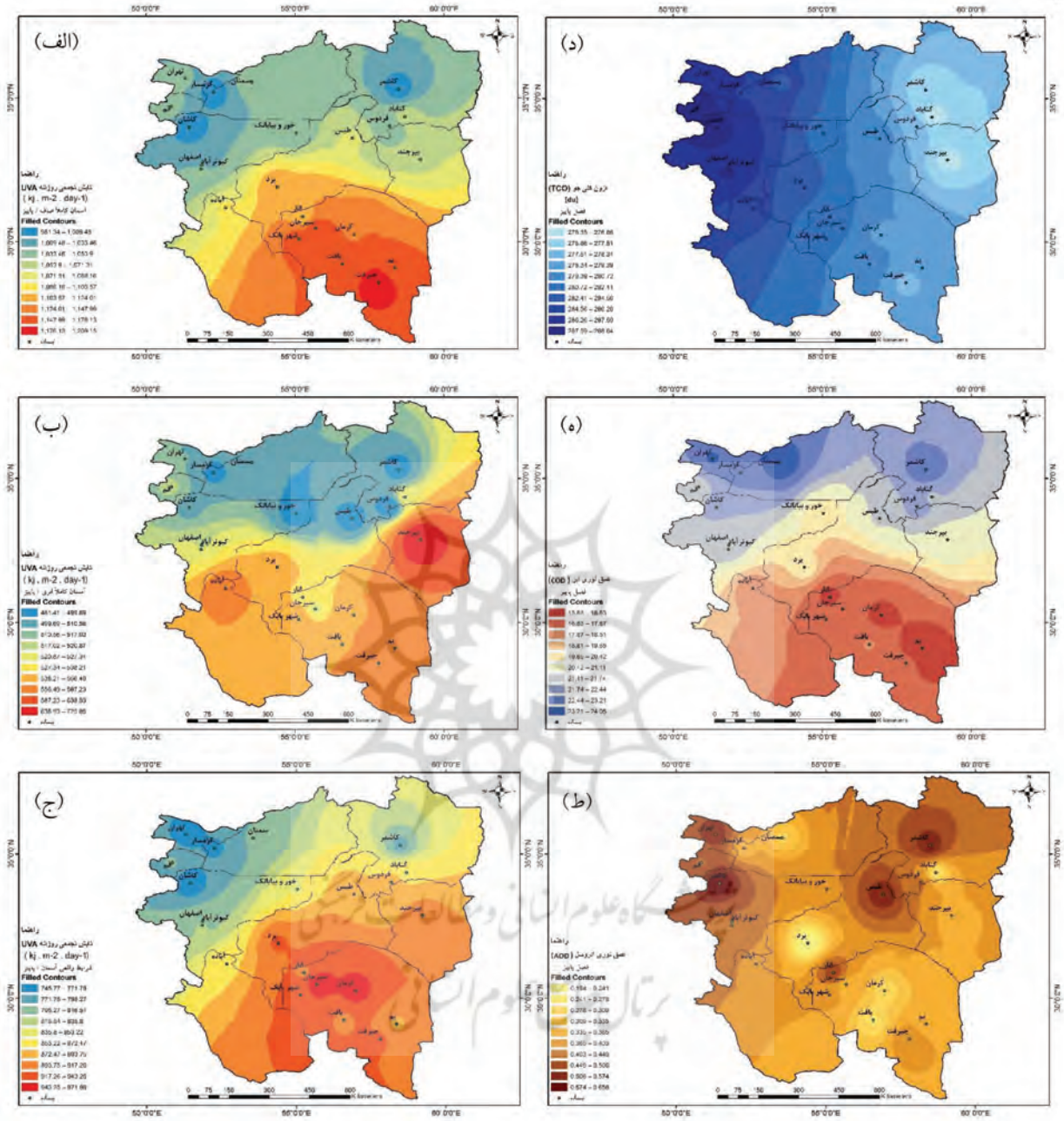
بالاترین مقدار در فصل تابستان در شرایط آسمان کاملاً ابری (بین ۱۲۰۴/۲۶ تا ۱۵۲۸/۱۴  $\text{kJ/m}^2.\text{day}$ ) حادث شده است، در حالی که کوچکترین بازه تغییرات (بین ۱۲۹۶/۸۳ تا ۱۴۸۹/۲۶  $\text{kJ/m}^2.\text{day}$ ) در شرایط واقعی آسمان به وقوع پیوسته است.

#### ۴-۳- فصل پاییز

نگاره ۴ مقدار متوسط تابش تجمعی روزانه UVA در فصل پاییز را تحت سه شرایط آسمان کاملاً صاف، آسمان کاملاً ابری و شرایط واقعی آسمان نشان می‌دهد. همچنین پهنه مقادیر ازون کلی جو، عمق نوری ابر و عمق نوری آئروسول نیز قابل مشاهده است. در هیچکدام از فصول به استثنای فصل پاییز، مقدار شاخص ازون بر حسب واحد داپسون از عدد ۳۰۰ کمتر نشده است. تمرکز بالاتر غلظت در فصول مختلف متفاوت است، بطوریکه در فصل بهار بالاترین غلظت در نواحی غربی و مرکزی منطقه مورد مطالعه حاصل شده است و در فصل تابستان در نواحی شرقی منطقه مورد مطالعه حاصل شده است. دوباره در فصل پاییز این تمرکز غلظت به مناطق غربی و در فصل زمستان به مناطق شرقی منتقل گردیده است. دلیل این جا به جایی تمرکز غلظت ازون در هر فصل می‌تواند جا به جایی هوا باشد که ازون را از مناطق تولید کننده آن (عمدتاً جنگل‌های کوهستانی البرز در شمال و زاگرس در غرب ایران) با گذشت زمان به مناطق مرکزی و شرقی ایران منتقل می‌کنند (موسوی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۸). انطباق پراکندگی ستون ازون از لحاظ مداری نیز قابل توجه است که به تناسب افزایش عرض جغرافیایی مقدار آن روند بالاتری داشته است و انحراف به وجود آمده در نقاط هم عرض به دو عامل اقلیمی و توپوگرافی بر می‌گردد. در شرایط آسمان کاملاً صاف ایستگاه جیرفت با  $1209/15 \text{ kJ/m}^2.\text{day}$  بیشینه مقدار UVA را داراست. در شرایط واقعی آسمان ایستگاه سیرجان با  $971/97 \text{ kJ/m}^2.\text{day}$  دارای حداکثر مقدار UVA است. در هر دو حالت ذکر شده اخیر ایستگاه کاشان به

و این مقادیر کمتر ازون به عنوان عامل مهم بازدارنده پرتو UV نسبت به سایر نقاط سبب افزایش تمرکز مقادیر بالای UVA گردیده است. در شرایط آسمان کاملاً صاف، ایستگاه شهر بابک با  $1808/55 \text{ kJ/m}^2.\text{day}$  حداکثر مقدار UVA را داراست و حداقل مقدار در ایستگاه اصفهان با  $1588/39 \text{ kJ/m}^2.\text{day}$  برآورد گردید. در شرایط واقعی آسمان ایستگاه طبرس با  $1489/26 \text{ kJ/m}^2.\text{day}$  دارای حداکثر مقدار UVA است. در شرایط آسمان کاملاً صاف بیشینه شدت تجمعی تابش UVA روزانه در نواحی جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه بوده است اما در شرایط آسمان کاملاً ابری و واقعی که اثر ابرناکی نیز لحاظ گردیده است، حداکثر شدت به نواحی شمال شرقی و مرکزی منطقه مورد مطالعه منتقل شده است. دلیل این مورد می‌تواند تأثیرات پدیده آب و هوایی میان مقیاس مونسون باشد که با اثرگذاری در فصل تابستان در منطقه جنوب شرقی ایران، منجر به بارش‌های تابستانه در این مناطق می‌گردد.

بارش‌های موسمی که از هندوستان بر جنوب شرق ایران در تابستان حاکم می‌شوند با اثر گذاشتن بر مقدار ساعات آفتابی (n) سبب کاهش ضریب (n/N) در این فصل می‌گردند و در نهایت سبب می‌شوند تا حداکثر مقدار تابش UV به نواحی مرکزی منطقه منتقل گردد. مقادیر UVA تحت شرایط آسمان کاملاً ابری به نسبت آسمان کاملاً صاف در فصل تابستان به طور متوسط ۲۱ درصد کاهش پیدا نموده است که کمترین کاهش به نسبت سایر فصول است. مقایسه پهنه‌های تابش تجمعی روزانه UVA در شرایط کاملاً ابری نشان می‌دهد که همخوانی مطلوبی با پهنه‌های عمق اپتیکی ابر و آئروسول وجود دارد. در حالی که در شرایط آسمان کاملاً صاف توزیع جغرافیایی شدت تابش UVA دریافتی، سازگاری بیشتری با توزیع جغرافیایی ازون داشته است. مقادیر UVA تحت شرایط واقعی آسمان به نسبت آسمان کاملاً صاف در فصل تابستان به طور متوسط ۱۹ درصد کاهش پیدا نموده است. همچنین بزرگترین بازه تغییرات از پایین‌ترین مقدار تا



نگاره ۴: میانگین ۱۳ ساله تابش تجمعی روزانه UVA (کیلوژول بر متر مربع در روز): (الف) آسمان کاملاً صاف، (ب) آسمان کاملاً ابری، (ج) آسمان واقعی (د) ازون کلی جو (دابسون)، (ه) عمق نوری ابر، (ط) عمق نوری آئروسول در فصل پاییز

ترتیب با ۹۸۱/۳۵ و ۷۴۵/۷۸  $\text{kJ/m}^2.\text{day}$  کمینه مقدار را دارد. در شرایط آسمان کاملاً ابری، بیشترین تمرکز مقادیر بالای UVA در نواحی جنوب شرقی و ایستگاه بیرجند با ثبت مقدار ۷۲۵/۸۵  $\text{kJ/m}^2.\text{day}$  برآورد می‌گردد. این موضوع نه تنها در تطابق با پهنه عمق نوری ابر است بلکه همخوانی مناسبی با پهنه ازون کلی جو نیز دارد. به طوری که ایستگاه بیرجند کمترین مقدار ازون (۲۷۶/۵۷ دابسون) را در منطقه مورد مطالعه در این فصل ثبت نموده است. حداقل مقدار UVA در شرایط آسمان کاملاً ابری برابر با ۴۸۱/۴۱  $\text{kJ/m}^2.\text{day}$  در ایستگاه فردوس حادث گردیده است. مقادیر

UVA تحت شرایط آسمان کاملاً ابری به نسبت آسمان کاملاً صاف در فصل پاییز به طور متوسط ۵۰ درصد کاهش پیدا نموده است و این بیان‌کننده اهمیت ابرناکی در مطالعات تابش UV است. مقادیر UVA تحت شرایط واقعی آسمان به نسبت آسمان کاملاً صاف در فصل پاییز به طور متوسط ۲۰ درصد کاهش پیدا نموده است. همچنین بزرگ‌ترین بازه تغییرات از پایین‌ترین مقدار تا بالاترین مقدار در این فصل در شرایط آسمان کاملاً ابری (بین ۴۸۱/۴۱ تا ۷۲۵/۸۵ kJ/m<sup>2</sup>.day) حادث شده است در حالی که کوچک‌ترین بازه تغییرات (بین ۷۴۵/۷۸ تا ۹۷۱/۹۷ kJ/m<sup>2</sup>.day) در شرایط واقعی آسمان به وقوع پیوسته است.

تحت تأثیر قرار دهد. عمق نوری بالاتر آئروسول جوی، تقریباً در همه فصول در نواحی شرقی و مرکزی منطقه مورد مطالعه بوده است که عمده‌ترین دلیل آن احتمالاً بارش و پوشش گیاهی ضعیف و وقوع طوفان‌های گردوغبار در منطقه می‌باشد.

تحت همه شرایط مورد بررسی، نواحی جنوبی منطقه مورد مطالعه بیشینه مقادیر تابش UVA را دارا هستند. به طوری‌که در شرایط آسمان کاملاً صاف و واقعی ایستگاه جیرفت به ترتیب با ۱۰۱۱/۴۵ و ۶۷۹/۶۷ kJ/m<sup>2</sup>.day بیشینه مقدار UVA را داراست. در شرایط آسمان کاملاً ابری بیشترین تمرکز مقادیر بالای UVA اندکی به سمت نواحی مرکزی تمایل پیدا نموده و ایستگاه آباد به ثبت مقدار ۴۵۵/۴۷ kJ/m<sup>2</sup>.day دارای بیشینه مقدار است.

#### ۴-۴- فصل زمستان

همانند فصول قبل مقدار متوسط تابش تجمعی روزانه UVA در فصل زمستان نیز تحت سه شرایط آسمان کاملاً صاف، آسمان کاملاً ابری و شرایط واقعی آسمان در نگاره ۵ قابل مشاهده است. همچنین مقادیر ازون کلی جو، عمق نوری ابر و عمق نوری آئروسول به عنوان عوامل اثرگذار بر مقادیر تابش فرابنفش در منطقه مورد مطالعه پهنه‌بندی گردیده است.

در فصول قبلی در شرایط آسمان کاملاً ابری، تمرکز مقادیر بالای UVA از نواحی جنوب شرقی به نواحی شمالی‌تر به ویژه ایستگاه بیرجند منتقل می‌گردید اما در این فصل مقدار بالای عمق نوری آئروسول جوی در ایستگاه بیرجند سبب گردیده تا این بیشینه به ایستگاه‌های مرکزی منتقل گردد. حداقل مقدار UVA در شرایط آسمان کاملاً صاف و واقعی در ایستگاه کاشمر به ترتیب با مقدار برابر با ۷۲۳/۱۸ و ۴۴۷/۹۴ kJ/m<sup>2</sup>.day برآورد گردیده است. در شرایط آسمان کاملاً ابری کمینه مقدار UVA با مقدار برابر با ۳۳۵/۳۶ kJ/m<sup>2</sup>.day در ایستگاه فردوس اندازه‌گیری شده است.

بالاترین مقادیر آئروسول جوی به نسبت تمامی فصول به طور متوسط با مقدار ۰/۵۹ عمق نوری در فصل زمستان در نواحی شرقی منطقه مورد مطالعه اندازه‌گیری شده است. تأثیر آئروسول‌ها بر شدت تابش سطحی علاوه بر غلظت آن‌ها به توزیع اندازه آن‌ها نیز وابسته است.

نظریه‌های پخش ریلی<sup>۱</sup> و می<sup>۲</sup> نشان داده که ذرات و مولکول‌های با ابعاد کوچک‌تر از طول موج‌های نور تحت قانون پخش ریلی و آئروسول‌های بزرگ‌تر با قوانین تابش می به سمت زمین و جو تابش می‌نمایند.

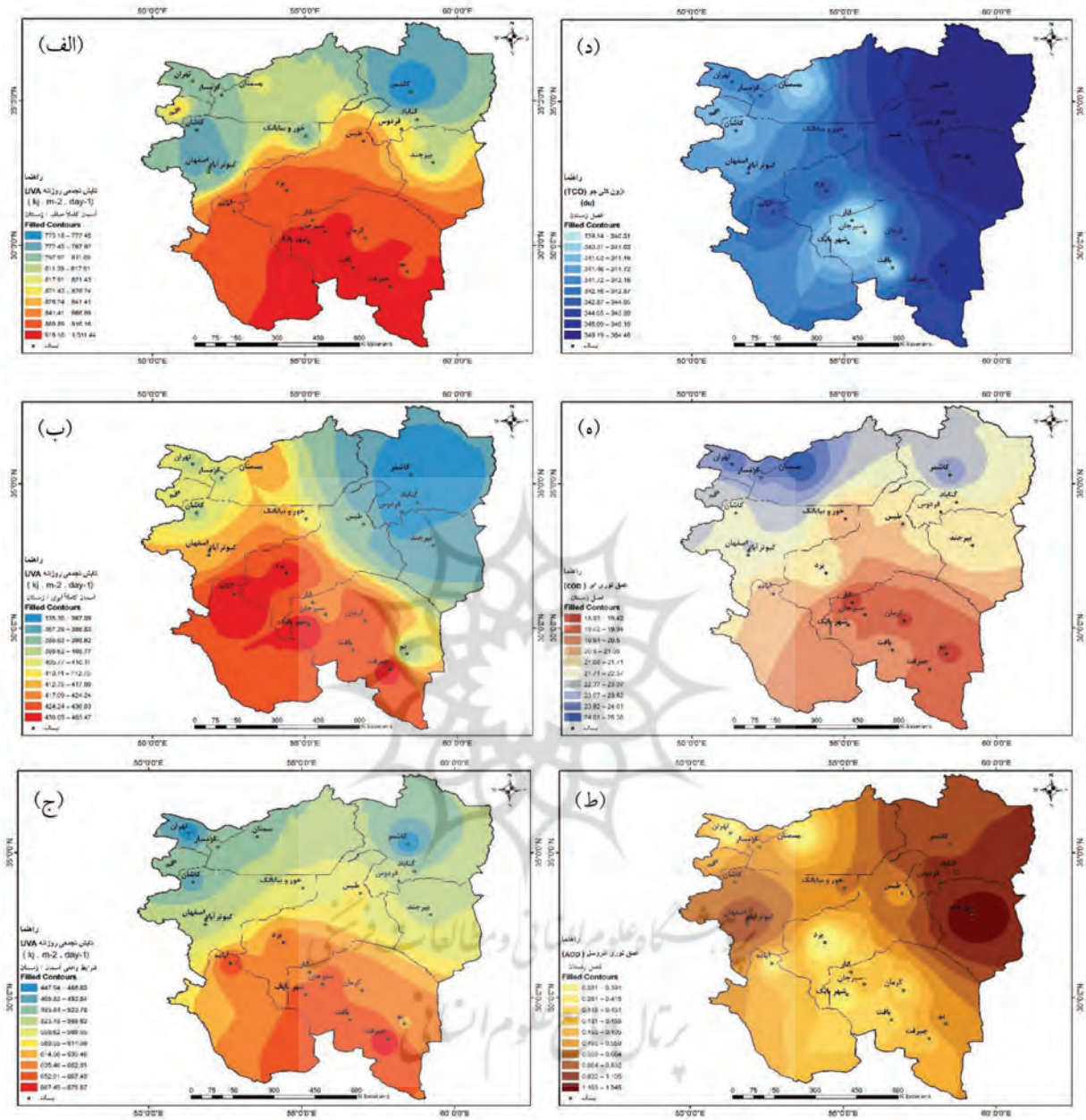
لازم به ذکر است تغییر پروفیل عمودی توزیع ذرات آئروسول می‌تواند تابش پخشیده پایین سو و بالا سو<sup>۳</sup> را

همانند تمام شرایط و فصول مورد بررسی در این فصل نیز کمینه مقدار تابش تجمعی روزانه UVA در ایستگاه‌هایی برآورد گردیده که در نیمه شمالی منطقه مورد مطالعه قرار دارند. مقادیر UVA تحت شرایط آسمان کاملاً ابری به نسبت آسمان کاملاً صاف در فصل زمستان به طور متوسط ۵۲ درصد کاهش یافته است که بالاترین درصد کاهش نسبت به فصول دیگر است. مقادیر UVA تحت شرایط واقعی آسمان به نسبت آسمان کاملاً صاف در فصل زمستان به طور متوسط ۳۲ درصد کاهش پیدا نموده است. همچنین

1- Rayleigh

2- Mie

3- Downward and upward scattering



نگاره ۵: میانگین ۱۳ ساله تابش تجمعی روزانه UVA (کیلوژول بر متر مربع در روز): الف) آسمان کاملاً صاف، ب) آسمان کاملاً ابری، ج) آسمان واقعی د) ازون کلی جو (دایسون)، ه) عمق نوری ابر، ط) عمق نوری آتروسول در فصل زمستان

### ۵- نتیجه گیری

نتایج پژوهش نشان داد که بیشینه تابش روزانه UVA ( $315-400 \text{ nm}$ ) در فصول گرم سال و غالباً در شرق منطقه مستقر است. این در حالی است که در فصول سرد سال تمرکز بیشینه به جنوب غرب منطقه منتقل می‌گردد. لذا

بزرگ‌ترین بازه تغییرات از پایین‌ترین مقدار تا بالاترین مقدار در فصل زمستان در شرایط آسمان کاملاً صاف (بین  $723/18$  تا  $1011/45 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ ) حادث شده است در حالی که کوچک‌ترین بازه تغییرات (بین  $335/36$  تا  $455/47 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ ) در شرایط آسمان کاملاً ابری به وقوع پیوسته است.

که شرایط آسمان تمام ابری (با ابری به ضخامت یک کیلومتر برای کل منطقه) قادر است تابش روزانه دریافتی را در طیف UVA تا ۴۰ درصد (در میانگین سالانه) کاهش دهد. لازم به ذکر است که این تأثیر کاهشی در همه فصول سال یکسان نمی‌باشد. تأثیر کاهشی ابر بر تابش سطحی فرابنفش در فصول گرم سال (به دلیل زاویه سمت الرأس کمتر) بطور نسبی کمتر از فصول سرد سال می‌باشد.

در فصل زمستان حداکثر کاهش (میانگین ۱۳ ساله) مشاهده شده از تأثیر کاهشی شرایط تمام ابری در فصل زمستان در طیف UVA حدود ۵۲ درصد و در فصل تابستان حدود ۲۱ درصد بدست آمد. شرایط هوای صاف در تحقیق دیگری نیز، بالاترین میزان تابش فرابنفش را ثبت نموده است و همانند نتایج تحقیق حاضر در نواحی داخلی و مرکزی ایران خطر بسیار زیاد شاخص UV گزارش شده است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۶). همچنین در شرایط واقعی آسمان، مقادیر تابش روزانه دریافتی UVA نسبت به آسمان کاملاً صاف کاهش متوسط ۱۹ درصدی در فصل تابستان تا ۳۲ درصدی در فصل زمستان را نشان می‌دهد. برآوردهای تابش UVA این پژوهش براساس مدل تروپوسفری فرابنفش-مرئی انتقال تابش نسل ۵ و با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به‌دست آمده است. برای اعتبارسنجی و افزایش دقت مدل نیازمند یک شبکه فشرده پایش زمینی UV می‌باشد. متأسفانه امکان تأسیس چنین شبکه‌ای در کشور با توجه به هزینه سنگین آن در حال حاضر میسر نمی‌باشد. ذکر این نکته نیز ضروری است که ایستگاه‌های پایش ازون و تابش فرابنفش کشور فقط در اصفهان و تهران با دوره زمانی غیر پیوسته موجود می‌باشند که برای اعتبارسنجی نتایج مطالعات مشابه کفایت نمی‌کنند. این خلاء اقدام عملی سازمان‌های هواشناسی و محیط زیست کشور را می‌طلبد. با توجه به پتانسیل بالای خطرات بیولوژیکی پرتوهای فرابنفش در ایران، توسعه شبکه پایش پرتوهای محدوده ۲۸۰ الی ۴۰۰ نانومتر توسط سازمان‌های محیط زیست و هواشناسی کشور ضروری به نظر می‌رسد.

تابش تجمعی روزانه دریافتی UVA در طول سال ریسک بیشتری را متوجه اهالی نواحی شرقی و جنوب‌غربی می‌نماید. با وجود اینکه پرتوهای UV-B و UV-C در کوتاه مدت قدرت تخریبی بالاتری دارند، طول موج‌های محدوده UV-A به دلیل اینکه به طور کامل توسط لایه ازون جذب نمی‌شوند و درصد بالاتری از این طیف به سطح زمین می‌رسد، در طولانی مدت بطور جبران ناپذیری قادر به تخریب سلول‌های پوست و چشم هستند. با توجه به نتایج مطالعات پیشین که بیشینه تابش روزانه UVA را برای عرض‌های میانی تا  $2000 \text{ KJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  گزارش نموده‌اند (سبزی پرور و همکاران، ۱۹۹۹: ۲۰۱)، ریسک بالای تابش در شرایط آسمان صاف در محدوده طول موج‌های UVA در منطقه مورد مطالعه مشهود است (با بیشینه  $1808/155 \text{ KJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  در فصل تابستان در شهر بابک). ثبت بالاترین مقدار UVA در فصل تابستان با نتیجه تحقیقات گذشته مطابقت دارد که بیشینه میانگین UVA را در شهریور ماه با میزان  $27/3$  وات بر متر مربع گزارش نموده‌اند (رستم پور و همکاران، ۱۳۹۱: ۷۲). لازم به ذکر است که علاوه بر زاویه تابش خورشیدی، طول روز در منطقه در ایجاد این بیشینه نقش داشته است. در مجموع، در تمامی فصول سال بیشینه تابش در نیمه جنوبی منطقه مورد مطالعه متمرکز شده است. مقایسه پهنه‌های تابش تجمعی روزانه در شرایط کاملاً ابری نشان می‌دهد که همخوانی مطلوبی با پهنه‌های عمق اپتیکی ابر و آئروسول وجود دارد و تأثیر پذیری توزیع تابش UVA از ازون کلی در این حالت ضعیف‌تر است. به نظر می‌رسد که در شرایط کاملاً ابری توزیع جغرافیایی ازون نقش تعیین کننده را بر وقوع بیشینه و کمینه تابش دریافتی UVA ایفا نمی‌کند. این در حالی است که در شرایط کاملاً صاف که عامل ابرناکی در نظر گرفته نشده، انطباق پهنه‌های توزیع تابش UVA و ازون کلی کاملاً مشهود است.

در مجموع، وقوع آسمان تمام ابری تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر تابش دریافت شده در محدوده طول موج‌های ۳۱۵ الی ۴۰۰ نانومتر در سطح زمین دارد. این تأثیر به گونه‌ای است

روابط رگرسیونی بین شدت لحظه‌ای تابش فعال فتوستنتز و شدت تابش کل خورشید. نشریه آب و خاک. جلد ۳۲، شماره ۱، صص ۲۱۳-۲۲۸.

۷- محبوب، عظیمی خراسانی، هروی، مومنی مقدم، محبوب؛ منیژه، عباس، جواد، حامد، فاطمه (۱۳۹۱). اثر رنگ‌های مختلف عینک‌های آفتابی بر عملکرد بینایی. ماهنامه تحقیقات علوم پزشکی. شماره ۵۴، صص ۲۲-۱۰.

۸- موسوی، حاجی‌زاده، حسنی؛ شفیعی، ابراهیم، مریم (۱۳۹۱). مدل اصلاح شده داده‌های ماهواره‌ای در ناحیه‌بندی تابش فرابنفش خورشید دوره گرم سال روی سرزمین ایران.

همایش اوزون و تابش فرابنفش. تهران، سازمان هواشناسی کشور، معاونت توسعه و پیش‌بینی هواشناسی. صص ۴۸-۳۶.

۹- موقری، ع و خسروی، م. (۱۳۹۳). محاسبه، ارزیابی و تحلیل توزیع مکانی شاخص پرتو فرابنفش در گستره ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. سال چهاردهم، شماره ۳۴، صص ۱۱-۳۱.

10- Blum, A., & Volkenandt, M. (2002). Skin cancer. Deutsche medizinische Wochenschrift. 127(33): 1679-1681.

11- Caldwell, M.M., Camp, L.B., Warner, C.W., & Flint, S.D. (1986). Action spectra and their key role in assessing biological consequences of solar UV-B radiation change, In Stratospheric ozone reduction, solar ultraviolet radiation and plant life. Springer Berlin Heidelberg. 11(5): 11-87.

12- Carvalho, V.S.B., Itimura, M.S., & Yamasoe, M.A. (2009). Comparison of results of spectrally integrated irradiance generated by radiative transfer models SBDART and TUV. AIP Conference Proceedings. 35-37.

13- Janjai, S., Wattan, R., & Sripradit, A. (2015). Modeling the ratio of photosynthetically active radiation to broadband global solar radiation using ground and satellite-based data in the tropics. Advances in Space Research. 56(11): 2356-2364.

14- Kielbassa, C., Roza, L., & Epe, B. (1997). Wavelength dependence of oxidative DNA damage induced by UV and visible light. Carcinogenesis. 18(4): 811-816.

15- Lesser, M.P., Lamare, M.D., & Barker, M. F. (2004). Transmission of ultraviolet radiation through the

## تشکر و قدردانی

مقاله حاضر برون داد طرحی پژوهشی است که تحت حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران ریاست جمهوری انجام شده و بدین وسیله از آن مرکز تشکر و قدردانی می‌شود. نویسندگان مقاله صمیمانه از راهنمایی علمی دکتر ساشا مدرونیچ در مرکز NCAR کلرادو آمریکا، همچنین از مدیران آرشیو اطلاعات سایت ناسا به موجب در اختیار گذاشتن داده‌های مورد نیاز طرح قدردانی می‌نمایند.

## منابع و مآخذ

۱- آروین اسپنانی، عباسعلی. (۱۳۹۱). ارتباط الگوهای گردشی جو با تغییرات اوزن کلی در اصفهان. مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۲۹، صص ۱-۱۴.

۲- بهروز، سیف، فتاحی اصل، بهروز؛ محمدعلی، فاطمه، جعفر، لیل. (۱۳۸۸). اندازه‌گیری میزان شدت پرتوهای فرابنفش کیهانی در شهر اهواز در ماه‌های مختلف سال. مجله علمی پزشکی، دوره ۹، شماره ۱، صص ۵۱-۴۵.

۳- جهانبخش، مدرس ثانوی، قناتی، توکلی، مرادی قهدریجانی، پناهی؛ حبیبی، سید علی محمد، فایزه، اکبر، مهرداد، مهدی (۱۳۹۳). بررسی عملکرد دانه و صفات کیفی ذرت شیرین (Zea mays L.var. Sacarata) تحت تیمارهای کم آبی، تشعشع فرابنفش و ازدیاد دی اکسید کربن. فصلنامه علوم گیاهان زراعی ایران. شماره ۳، جلد ۴۱، صص ۳۳۵-۳۴۴.

۴- حسینی سرقین، کاراپتیان، خارا؛ سیاوش، ژیرایر، جلیل (۱۳۸۸). بررسی اثر اشعه UV روی برخی پارامترهای ساختاری و فراساختاری در گیاه فلفل قلمی. علوم دانشگاه خوارزمی. شماره ۳، جلد ۹، صص ۴۸۵-۵۰۲.

۵- رستم پور، الماسی، رستم‌پور، بیات، کریمی؛ نیما، تینوش، معصومه، حسنا، سعیده (۱۳۹۱). بررسی میزان شدت پرتوهای فرابنفش خورشیدی نوع A در شهر همدان. مجله دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان. شماره ۴، جلد ۱۹، صص ۶۹-۷۴.

۶- سبزی پرور، ع. ا و کریمی، ع. (۱۳۹۷). ارزیابی تجربی

4(6): 434-441.

25- Yu, X., Wu, Z., Jiang, W., & Guo, X. (2015). Predicting daily photosynthetically active radiation from global solar radiation in the Contiguous United States. *Energy Conversion and Management*. 89: 71-82.

26- Zhang, X., Chen, Y., Gao, Q., Wang, W., Liu, L., Fan, J., Cao, L., & L, C. (2017). Short-term UV-B radiation effects on morphology physiological traits and accumulation of bioactive compounds in *Prunella vulgaris* L. *J. Plant Interact*. 12(1): 348-354.

Antarctic annual sea ice and its biological effects on sea urchin embryos. *Limnology and oceanography*. 49(6): 1957-1963.

16- Madronich, S., McKenzie, R.L., Caldwell, M., & Björn, L.O. (1995). Changes in ultraviolet-radiation reaching the earth's surface. *Journal of Ambio*. 24(3): 143-152.

17- McKenzie, R.L., Aucamp, P.J., Bais, A.F., Bjorn, L.O., & Ilyas, M. (2007). Changes in biologically-active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface *Photochem. Photobiological Science*. 6(3): 218-231.

18- Moradi Rikabad, M., Pourakbar, L., Moghaddam, S.S., & Popović-Djordjević, J. (2019). Agrobiological, chemical and antioxidant properties of saffron (*Crocus sativus* L.) exposed to TiO<sub>2</sub> nanoparticles and ultraviolet-B stress. *Industrial Crops and Products*. 137(1): 137-143.

19- Moreno, I., Vida, J., & Alados-Arboledas, L. (1998). A Simple All Weather Model to Estimate Ultraviolet Solar Radiation (290-385 nm). *Journal of Applied Meteorology*. 38 (7):1020-1026.

20- Piacentini, R.D., Alfano, O.M., Albizzati, E.D., Luccini, E.A., & Herman, J.R. (2002). Solar ultraviolet irradiance for clear sky days incident at Rosario, Argentina: Measurements and model calculations. *Journal of Geophysical Research*. 107 (15): 61-67.

21- Sabziparvar, A.A., Keith, P., Shine, E., & Piers, M. (1999). A Model- Derived Global Climatology of UV Irradiation at the Earth's Surface. *Journal of Photochem and photobiol*. 69(2): 193-202.

22- Tajek, E., Rezai, A.A., Abkar, A., Alavipanah, S.k., Jahantab, Z., & Rahmati, A.R. (2015). Estimate the total instantaneous solar short wavelength using the Modus satellite imagery (Case study: Central regions of Iran ). *Remote Sensing and Geographic System in Natural Resources*. 6(1): 17-30.

23- Wang, X., Gao, W., Slusser, J.R., Davis, J., & Gao, Z. (2007). Spectral distribution of UV-B irradiance derived by synthetic model compared with simulation results of TUV and ground measurements. *Proceedings of SPIE journal*. 10(3): 126-138.

24- Williamson, C.E., Zepp, R., Lucas, R., Madronich, S., Austin, T., Ballaré, C., Norval, M., Sulzberger, B., & Robinson, S.A. (2014). Solar ultraviolet radiation in a changing climate. *Journal of Nature Climate Change*.