

مدل تحلیلی اثرات میکرو و نانوذرات آلاینده هوا در کاهش اشعه خورشید

فرح سادات هالک^{۱*}، استادیار، فرهنگ حسنی^۲، دانشجوی کارشناسی ارشد، علی کاوسی رحیم^۳، کارشناس

^۱ پژوهشکده انرژی - پژوهشگاه مواد و انرژی - کرج - ایران

f-halek@merc.ac.ir

^۲ پژوهشکده انرژی - پژوهشگاه مواد و انرژی - کرج - ایران

Farhang-h1363@yahoo.com

^۳ پژوهشکده انرژی - پژوهشگاه مواد و انرژی - کرج - ایران

a.kavosirahim@merc.ac.ir

ارسال مقاله: ۹۰/۵/۳۰ اصلاحیه: ۹۰/۱۱/۲۹

پذیرش مقاله: ۹۱/۵/۱

چکیده: در این تحقیق، میزان تأثیرپذیری تابش خورشیدی از عواملی مانند فاصله زمانی از ظهر خورشیدی و غلظت نانوذرات آلاینده هوا در سه اندازه مختلف (PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و $PM_{1.0}$) مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، تابش خورشیدی و غلظت آلاینده ذرات معلق (PM_{10})، $PM_{2.5}$ و $PM_{1.0}$ در روزهای تابستان اندازه گیری شده و از بررسی آماری اطلاعات به دست آمده، مدل های پیش بینی کننده میزان تابش بر حسب غلظت ذرات و فاصله از ظهر خورشیدی، در سه رابطه برای PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و $PM_{1.0}$ به دست آمده است. در ادامه، روابط مورد ارزیابی قرار گرفته تا از درستی و اثربخشی آنها اطمینان حاصل شود. وقتی که مقدار واقعی تابش خورشیدی برابر ۱۹۵۳ کیلوژول بر متر مربع است، روابط سه گانه مذکور، میزان تابش را به ترتیب ۱۹۵۲، ۱۹۵۴ و ۱۹۵۳ کیلوژول بر متر مربع پیش بینی می کنند.

واژه های کلیدی: تابش خورشید، آلاینده هوا، ذرات معلق، نانوذرات، میکروذرات، مدل سازی.

۱. مقدمه

انرژی خالص دریافت می‌کند. انرژی خورشیدی که به سطح زمین می‌رسد، تشعشعات فزاینده‌ی^۱ نامیده می‌شود. آهنگ رسیدن انرژی فزاینده به واحد سطح در زمین، بر حسب w/m^2 است که به طور متغیر به تشعشع، ایزوله کردن یا چگالی انرژی مربوط می‌شود. تشعشعات فزاینده، گازهای مختلف، بخارات و مواد ویژه در اتمسفر زمین را در معرض تغییر و یا کاهش قرار می‌دهد. تشعشعات فزاینده به وسیله دو مکانیزم پراکندگی و جذب تضعیف می‌شوند. قسمت عمده این تضعیف در جو زمین، توسط مولکول‌های گرد و غبار و بخار آب در اتمسفر اتفاق می‌افتد [۳].

شدت تابش خورشیدی در موقعیت‌های مکانی و زمانی مختلف، موضوع تحقیقات بسیاری بوده است. شدت تابش و میزان وابستگی آن به پارامترهای محیطی در فصل‌های مختلف سال تفاوت می‌کند [۴ و ۵]. موقعیت دستگاه‌ها یا صفحه‌های جاذب انرژی خورشیدی و زوایای قرارگیری آن‌ها نسبت به خورشید و همچنین دمای محیط و رطوبت نسبی از مهم‌ترین عواملی هستند که باید مد نظر قرار گیرند. [۶ و ۷]. دافی و بکمن [۸] آنالیز جامعی از پارامترهای مؤثر بر شدت تابش خورشیدی و روابط موجود بین آن‌ها را ارائه کرده‌اند.

در تحقیق حاضر، غلظت آلاینده ذرات معلق در سه طبقه (PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و $PM_{1.0}$) در طول فصل تابستان ۱۳۸۸ در سایت انرژی خورشیدی پژوهشگاه مواد و انرژی، واقع در شهر مشکین‌دشت کرج اندازه‌گیری شده است. به طور هم‌زمان، شدت تابش خورشید در سایت مذکور، اندازه‌گیری شده و در ادامه، با بهره‌گیری از نرم‌افزارهایی مانند SPSS و استفاده از قواعد انطباق خطی [۹]، مدل‌هایی برای تأثیر غلظت ذرات بر میزان تابش، به دست آمده است.

۲. مشخصات امواج خورشید در سطح زمین

مقدار انرژی خورشیدی که در واحد زمان به اتمسفر فوقانی می‌رسد، بسیار زیاد است. این واقعیت، اساس صنعت عظیم بهره‌برداری از انرژی خورشید قرار گرفته است. با توجه به فاصله زمین از خورشید، هر متر مربع از سطح زمین در حالت عمود بر امتداد نور خورشید $19/2 \text{ kCal}$ انرژی را در هر دقیقه

آلودگی هوا که معلول فرآیندهای صنعتی و توسعه اقتصادی کشورهای مختلف است، تنها به تخریب محیط زیست بسنده نکرده، بلکه تعادل طبیعی جو کره زمین را به مخاطره انداخته است. با وجود این، باید توجه داشت که کلیه کشورهای و تمامی افراد جامعه بشری در ایجاد پدیده آلودگی هوا که امروزه در بعضی از مناطق به صورتی حاد ظاهر گشته، شریک و سهیم‌اند. آلاینده‌هایی که در شهرها ایجاد می‌شوند، هم به سلامت ساکنان این شهرها لطمه می‌زنند و هم خطری جدی برای جو زمین هستند که به طور مستقیم یا غیر مستقیم، همه افراد را تحت تأثیر قرار می‌دهند. گرم شدن اتمسفر زمین در اثر ازدیاد گاز دی‌اکسید کربن در جو، ذوب شدن برف‌ها و یخ‌های قطبی، تغییر آب و هوا، تغییر میزان ازت و سیکل طبیعی آن، و از همه مهم‌تر، تغییر تعادل حرارتی و تشعشعی کره زمین در اثر وجود ذرات معلق (در اندازه نانو و میکرومتر) و تشکیل ابرهای بیشتر و تغییر میزان اکسیژن جو، از جمله تغییراتی است که کره زمین بر اثر آلودگی هوا با آن روبه‌روست [۱ و ۲].

از طرف دیگر، تأمین انرژی برای فعالیت‌های صنعتی و تولیدی، یک ضرورت انکارناپذیر است؛ لذا مسئله مهم آن است که تأمین و مصرف انرژی به گونه‌ای مدیریت شود که بین این فعالیت‌ها و انتشار آلاینده‌های ناشی از آن‌ها تعادل برقرار شود. در واقع مدیریت انرژی، تنظیم سیستم‌های انرژی و بهینه‌سازی مصرف انرژی به گونه‌ای است که مقدار انرژی مصرفی برای یک فعالیت تولیدی مشخص، بدون اینکه هزینه اضافی به تولیدکننده تحمیل شود، کاهش یابد. بدیهی است که انرژی خورشیدی، به طور غیر مستقیم منشأ همه منابع انرژی که در دسترس انسان است، می‌باشد و خود یکی از منابع مستقیم تأمین انرژی به حساب می‌آید.

انرژی خورشیدی، یک منبع تجدیدپذیر است که هرگز به اتمام نمی‌رسد. خورشید دائماً 1360 وات انرژی به ازای هر متر مربع زمین آزاد می‌کند. این انرژی معادل 430 Btu/hr.ft^2 یا 123 w/ft^2 است. طبعاً قسمتی از این انرژی به وسیله اتمسفر جذب می‌شود، به گونه‌ای که حتی در ساعت ۱۲ ظهر یک روز آفتابی در مناطق کویری، سطح زمین تنها حدود 1000 w/m^2

و غبار در جو و همچنین ارتفاع محل ناظر نسبت به سطح دریا دارد [۱۶ و ۱۷].

۳. عملکرد ذرات معلق در اتمسفر

از جمله پدیده‌های اتمسفری که وجود نانو ذرات در بروز آن‌ها دخالت دارد، کمک به شکل‌گیری بلورهای یخ و قطره‌های آب است که منجر به تشکیل ابر و مه می‌شود. همچنین ذرات با انعکاس نور، به ایجاد تعادل حرارتی جو کمک می‌کنند. از این رو، ساعات ابری در نقاط صنعتی و آلوده بیشتر از نقاط غیر آلوده است. ذرات نانو شامل اکسیدهای فلزی و کربن در واکنش‌های اکسیداسیون، نقش کاتالیزوری نیز دارند [۱۸].

شاید یکی از مهم‌ترین عملکردهای ذرات در اتمسفر، جلوگیری از رسیدن تشعشعات خورشیدی به زمین است که نتیجه آن عکس از دیاد CO_2 در جو و سردی هوا می‌باشد. در آتش‌سوزی‌های متعدد جنگل‌ها، مقادیر زیادی خاکستر و مواد دیگر حاصل می‌شود که به تغییرات آب و هوایی منطقه کمک می‌کند. ۳ تا ۴ درصد کاهش در شفافیت هوا در حدود ۰/۴ درجه سانتی‌گراد، درجه حرارت هوا را کاهش می‌دهد. اگر میزان کلی ابر در سطح کره زمین یک درصد اضافه شود، درجه حرارت کلی، ۰/۸ الی ۰/۵ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. در پژوهش‌هایی، گرد و غبار و خاکستر آتشفشان‌ها با غبارهای به وجود آمده توسط انسان‌ها مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفته است. بنا بر نتایج این تحقیقات، تغییرات درجه حرارت به وسیله بخارهای تولید شده توسط بشر در حدود ۰/۵ درجه سانتی‌گراد در هر ۱۰ سال است [۱۹]. غبارهای حاصل از آتشفشان‌ها که در طبقه استراتوسفر نفوذ می‌کند، به مدت ۱۴ ماه در آن باقی می‌ماند، در حالی که غبارها و ذرات ناشی از فعالیت‌های بشری، در طبقه مجاور زمین یعنی تروپوسفر رها می‌شود و طول عمر متوسط آن‌ها حداکثر چند ماه است. با وجود این، افزایش روزافزون آلاینده ذرات با ابعاد مختلف ناشی از فعالیت‌های بشری و سوخت‌های فسیلی را نباید از نظر دور داشت [۲۰ و ۲۱].

۴. تجهیزات مورد استفاده

دو دستگاه عمده که در این تحقیق به کار رفته، شامل یک دستگاه غبارسنج قابل حمل برای اندازه‌گیری ذرات معلق، و یک دستگاه پیرانومتر برای اندازه‌گیری مقدار تابش خورشید است.

دریافت می‌کند. این مقدار برابر $10^2 w/m^2 \times 1/34$ است. اگر تمام این انرژی به سطح زمین می‌رسید و جذب می‌شد، سیاره ما تاکنون تبخیر شده بود. در واقع، عوامل پیچیده‌ای در حفظ تعادل حرارتی کره زمین نقش دارند [۱۰ و ۱۱].

شدت تابش خورشید در سطح خارجی آن، حدود $10^8 w/m^2 \times 6/33$ است، اما چون تابش منتشر شده و مقدار آن با نسبت مربع فاصله کاهش می‌یابد، با توجه به فاصله زمین از خورشید، شدت تابش خورشید (Isc) که مقدار انرژی رسیده به یک متر مربع از سطح عمود بر تابش خورشید خارج جو زمین در واحد زمان است، معادل ۱۳۶۷ وات بر متر مربع تعیین می‌شود [۱۲ و ۱۳]:

$$Isc = 6/33 \times 10^8 \times (0/695 \times (10^9 / 1/496) \times 10^{11})^2 \quad (1)$$

$$= 1367 w/m^2$$

با توجه به وجود بخار آب، گاز کربنیک، ابر، مه و ذرات معلق در هوای اطراف زمین، بخشی از تابش خورشیدی توسط اتمسفر جذب شده (موجب گرم شدن جو زمین می‌شود)، بخش دیگری منعکس گشته (توسط فضاانوردان قابل مشاهده است) و قسمتی هم پخش می‌شود و مقدار باقی مانده به طور مستقیم منتقل می‌شود. در سطح زمین، خورشید، شدت کمتر و رنگ و شکلی متفاوت از آنچه در بالای جو دیده می‌شود، دارد [۱۴].

در یک روز خیلی ابری و مه‌آلود که خورشید قابل رؤیت نیست، مقدار تابش مستقیم صفر است و سایه‌ای وجود ندارد. از نظر طراح سیستم خورشیدی با درجه حرارت بالا، تابش مستقیم دارای اهمیت ویژه‌ای است، زیرا می‌توان آن را توسط متمرکزکننده‌هایی مانند عدسی و آینه، بر روی یک سطح کوچک متمرکز کرد، در صورتی که از تابش پراکنده، چنین استفاده‌ای مقدور نیست [۲ و ۱۵].

تابش پراکنده، عاملی است که دیدن در سایه را امکان‌پذیر می‌کند. اگر قسمتی از تابش خورشید پراکنده نمی‌شد و یا تابش پراکنده وجود نداشت، آسمان همیشه سیاه بود و ستارگان همواره قابل مشاهده بودند [۸].

تابش پراکنده، ناشی از منحرف شدن تابش خورشیدی توسط نیتروژن، اکسیژن، ذرات آب، بخار آب و گرد و غبار در جو است. مقدار این پراکندگی، بستگی به مقدار رطوبت و گرد

۱.۴. دستگاه غبارسنج قابل حمل

در این مطالعه، برای اندازه‌گیری غلظت نانوذرات در هوا، از دستگاه غبارسنج مدل 1.108 ساخت شرکت Grimm (کشور آلمان) استفاده شده است. این دستگاه غبارسنج، دارای ۱۵ کانال است که قابلیت اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات (غلظت و شمارش) را در محیط‌های شهری و صنعتی دارد (شکل ۱).

دستگاه غبارسنج با استفاده از تکنولوژی پراکنش پرتو نور^۱ برای شمارش ذرات به کار گرفته می‌شود، در حالی که یک لیزر نیمه هادی به عنوان منبع نور در آن عمل می‌کند. سیگنال به وجود آمده از ذره، از طریق پرتو لیزر عبور می‌کند و به وسیله یک آینه ۹۰ درجه به یک گیرنده دیود انتقال داده می‌شود. سیگنال پس از گذر از تقویت‌کننده، از دیود عبور می‌کند. جریان هوای عبوری ۱/۲ lit/min می‌باشد. نمونه از طریق سل نمونه و دکتور دیود در یک فیلتر PTFE (پلی‌تری فلئوئور اتیلن) جمع‌آوری می‌شود. گفتنی است که کالیبراسیون دستگاه، طبق سفارش شرکت سازنده با استفاده از تغییرات وزنی فیلتر مذکور و اعمال یک ضریب تصحیح بر روی نتایج انجام می‌شود. دستگاه، قابلیت اندازه‌گیری غلظت ذرات معلق را تا محدوده ۱۰۰ mg/lit با حساسیت ۱ particle/lit دارد و تکرارپذیری آن $\pm 2\%$ است.

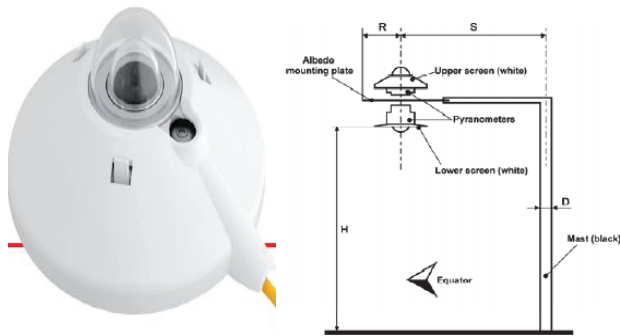


شکل (۱): دستگاه غبارسنج

۲.۴. دستگاه شیدسنج (پیرانومتر)

در این مطالعه، برای اندازه‌گیری تابش خورشیدی، از دستگاه

شیدسنج یا پیرانومتر مدل CMP-22 ساخت شرکت KIPP & ZONEN (کشور آلمان) استفاده شده است. در شکل (۲)، تصویری از این دستگاه و یک شمای کلی از محل نصب آن آورده شده است.



شکل (۲): دستگاه شیدسنج؛ طرح کلی (راست) و پروب (چپ)

دستگاه شیدسنج (پیرانومتر) مدل CMP-22 طبق استانداردهای بین‌المللی برای سنجش نور خورشید طراحی شده است. این دستگاه، تابش بین ۳۶۰۰-۲۰۰ nm را پوشش می‌دهد و در بازه دمایی 40°C الی 80°C کاربری دارد. حساسیت آن نیز $14-7 \mu\text{V}\cdot\text{m}^2/\text{w}$ می‌باشد.

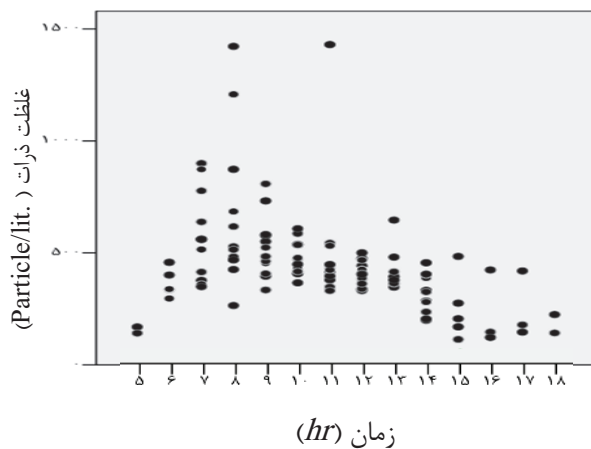
این دستگاه، مجموع تابش مستقیم نور خورشید و پرتوهای منعکس شده از محیط اطراف را اندازه‌گیری می‌کند. منظور از پرتوهای منعکس شده، آن قسمت از نور خورشید است که در برخورد با ذرات معلق، بخارهای آب و سایر موادی که در اتمسفر موجودند، متفرق می‌شود. یک شیدسنج خوب طراحی شده، کلیه امواج طیف را می‌گیرد و مقداری که نشان می‌دهد، نسبت به تابش مستقیم خورشید متناسب با کسینوس زاویه بین شعاع مرکزی خورشید و خط عمود بر سطح جاذب است. استفاده متعارف شیدسنج برای اندازه‌گیری شدت تابش خورشید بر سطح افق است. برای اندازه‌گیری با شیدسنج، باید آن را در امتداد افق و کاملاً بالاتر از محیط اطراف قرار داد، به طوری که نیم‌کره محوطه دید آن، کاملاً صاف و بدون هیچ سایه از درخت یا ساختمان‌های اطراف باشد.

۵. بخش تجربی

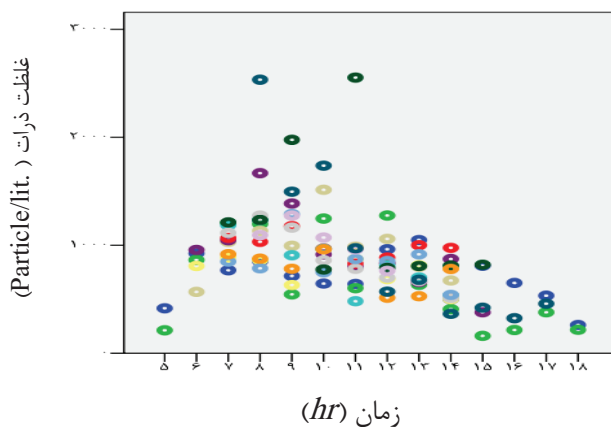
۱.۵. نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌های انجام شده

اندازه‌گیری‌های دوگانه ذرات معلق و تابش خورشیدی،

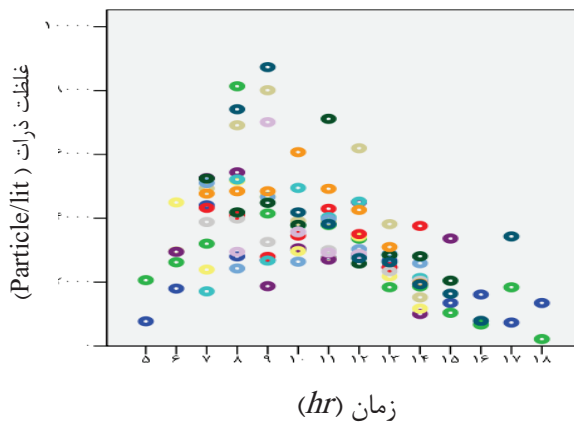
1. light-scattering



شکل (۴): غلظت ساعتی ذرات زیر ۱ میکرومتر در طول فصل تابستان



شکل (۵): غلظت ساعتی ذرات زیر ۲/۵ میکرومتر در طول فصل تابستان



شکل (۶): غلظت ساعتی ذرات زیر ۱۰ میکرومتر در طول فصل تابستان

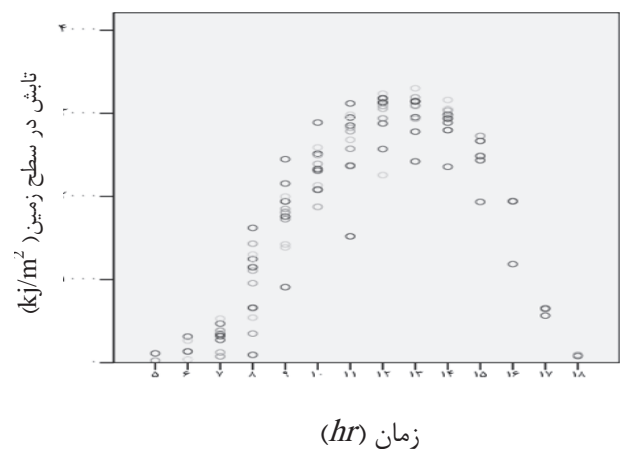
۲.۵. آنالیز داده‌ها و مدل‌سازی با نرم‌افزار SPSS

در این تحقیق، تحلیل تأثیرات متقابل غلظت ذرات (PM) و فاصله زمانی از ظهر خورشیدی (SDN) بر شدت تابش (I) با فرض ثابت بودن سایر پارامترها (تنها برای سایت خورشیدی پژوهشگاه مواد و انرژی در فصل تابستان ۱۳۸۸) انجام شده

به‌طور هم‌زمان در طول روزهای تابستان برای شهر مشکین‌دشت واقع در جنوب شهر کرج (در ارتفاع ۱۵۷۲ متری از سطح دریا) با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی در محل سایت خورشیدی پژوهشگاه مواد و انرژی انجام شده است.

همه اندازه‌گیری‌ها در ارتفاع ۴ متری از سطح زمین (بالای سایت خورشیدی پژوهشگاه) انجام شده است. متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده تابش خورشیدی و نانوذرات معلق در شکل‌های (۳) تا (۶) نمایش داده شده است. مقدار تابش خورشید بر حسب کیلوژول بر متر مربع، غلظت ذرات بر حسب تعداد ذره در یک لیتر و فاصله از ظهر خورشیدی بر حسب ساعت گزارش شده است. همه اندازه‌گیری‌ها از ساعت ۵/۵ لغایت ۱۸/۵ انجام شده است. در شکل (۳)، میانگین ساعتی تابش در طول روز دیده می‌شود. چنان‌که انتظار می‌رفت، شدت تابش در ساعت‌های میانی روز واقع شده است.

لازم به ذکر است که نتایج ارائه شده در شکل‌های (۳) الی (۶)، میانگین نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری‌ها در طول این تحقیق (تابستان ۱۳۸۸) می‌باشد.



شکل (۳): تابش ساعتی اندازه‌گیری شده در طول فصل تابستان

شکل‌های (۴) تا (۶)، غلظت (تعداد) نانوذرات در هوا را در سه طبقه مختلف نشان می‌دهد. در هر سه طبقه، مقدار بیشینه مشاهده شده، در حوالی ساعت ۹ صبح به چشم می‌خورد که علت آن، شدت ترافیک در این ساعت از روز است که بر افزایش غلظت هوا تأثیر مستقیم دارد.

پیش‌بینی شده شدت تابش خورشیدی با مقدار اندازه‌گیری شده دیده شد، به طوری که برای یک روز معین، فاصله از ظهر خورشیدی برابر ۲/۵۷ (ساعت) و غلظت PM_{10} برابر $3409 \text{ Particle/lit}$ را در رابطه مربوط جاگذاری شد و مقدار تابش خورشید (I) را برابر 1952 kJ/m^2 به دست آمد. به همین ترتیب، دو رابطه دیگر، مقدار تابش خورشید را به ترتیب، مقدار 1954 kJ/m^2 و 1953 kJ/m^2 به دست می‌دهند. ملاحظه می‌شود که خوشبختانه با توجه به مقدار واقعی تابش خورشیدی (۱۹۵۳)، این نتایج قابل قبول می‌باشند. یادآوری می‌شود که این مقادیر، مجموع تابش در یک بازه زمانی یک ساعته به مرکزیت ساعت ۲/۵۷ (از ظهر خورشیدی) است.

است. برای طرح مسئله از نمودارهای شکل‌های (۳) تا (۶) استفاده می‌شود. در ادامه و به منظور برقراری یک رابطه ریاضی بین این متغیرها، شدت تابش به عنوان پارامتر وابسته و فاصله زمانی از ظهر خورشیدی (SDN)، غلظت ذرات PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و $PM_{1.0}$ به عنوان چهار متغیر مستقل در نظر گرفته شده است. چنان‌که قبلاً گفته شد، شدت تابش بر حسب واحد کیلوژول بر متر مربع، غلظت ذرات بر حسب تعداد ذره در یک لیتر و فاصله تا ظهر خورشیدی بر حسب ساعت می‌باشد.

جدول (۱) مشخصات آماری خلاصه‌ای از اطلاعات تابش خورشیدی، عامل PM ثبت شده و عامل فاصله از ظهر خورشیدی را ارائه می‌دهد.

جدول (۲): آنالیز واریانس

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
رگرسیون باقیمانده جمع	PM_{10}				
	۱/۱۸۳E۸	۲	۵/۹۱۴E۷	۳۷۵/۰۵۹	۰/۰۰۰
	۱/۸۴۵E۷ ۱/۳۶۷E ۸	۱۱۷ ۱۱۹	۱۵۷۶۷/۲۴۸		
رگرسیون باقیمانده جمع	$PM_{2.5}$				
	۱/۱۳۹E۸	۲	۵/۶۹۵E۷	۲۹۱/۹۲۴	۰/۰۰۰
	۲/۲۸۲E۷ ۱/۳۶۷E ۸	۱۱۷ ۱۱۹	۱۹۵۰۷۷/۱۲۸		
رگرسیون باقیمانده جمع	$PM_{1.0}$				
	۱/۱۳۰E ۸	۲	۵/۶۶۵۰E۷	۲۷۸/۶۲۱	۰/۰۰۰
	۲/۳۷۲E ۷ ۱/۳۶۷E ۸	۱۱۷ ۱۱۹	۲۰۲۷۷۴/۸۹۴		

جدول (۱): مشخصات آماری پارامترهای اندازه‌گیری شده

انحراف معیار	میانگین	پیشینه	کمینه	فاصله از ظهر خورشیدی (SDN)
۱/۶۹	۲/۵۷	۶/۵۰	۰/۵۰	
۱/۶۲	۳۴۰۸/۸۰	۸۷۳۳/۷۶	۲۱۵/۹۳	PM_{10}
۳۸۵/۳۰	۸۷۴/۰۸	۲۵۵۲/۲۹	۱۶۰/۴۰	$PM_{2.5}$
۲۰۹/۶۶	۴۴۵/۸۳	۱۴۳۰/۱۹	۱۱۳/۶۷	$PM_{1.0}$
۱/۰۷	۱۹۵۳/۰۲	۳۳۰۲/۰۰	۲۵/۰۰	تابش خورشیدی (I)

در جدول (۱)، بالا بودن نسبی مقدار انحراف معیار، اولاً به دلیل مقادیر بالای خود متغیرها (تعداد ذرات و تابش) و ثانیاً به علت بازه پراکندگی در ساعات مختلف نمونه‌برداری در طول روز، است. در ادامه کار، این مقادیر، استاندارد شده و انحراف معیار استاندارد نزدیک ۱ بدست آمد که مطلوب است.

در هر سه رابطه به دست آمده در این پژوهش (روابط ۲، ۳ و ۴)، تابش دریافتی از خورشید پارامتر وابسته و فاصله زمانی از ظهر خورشیدی به عنوان یک پارامتر مستقل (در کنار پارامتر ذرات) در میزان تابش دریافتی از خورشید، تأثیر خود را نشان می‌دهد. مقدار R^2 برای روابط مذکور به ترتیب ۰/۸۳۳، ۰/۸۶۵ و ۰/۸۲۶ و مقدار پیش‌بینی شده غلظت ذرات در هر سه رابطه، با توجه به مقادیر آنالیز واریانس^۱ در جدول (۲) و داشتن شرط آزمون $F (0.05 < \text{sign})$ در سطح اطمینان ۹۵٪، قابل تطبیق با مقادیر واقعی است. علاوه بر این، مطابقت خوبی نیز بین مقدار

در نهایت، با توجه به ضرایب پیشنهاد شده برای این مدل برای ذرات PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و $PM_{1.0}$ روابط پیش‌بینی کننده شدت تابش خورشیدی بر مبنای غلظت ذرات معلق اندازه‌گیری شده، به ترتیب زیر ارائه می‌شود:

حالت اول با در نظر گرفتن PM_{10} به عنوان پارامتر مستقل:

$$I = 4370.87 - 0.247 PM_{10} - 576.75 SDN \quad (2)$$

حالت دوم با در نظر گرفتن $PM_{2.5}$ به عنوان پارامتر مستقل:

$$I = 4318.10 - 1.028 PM_{10} - 569.37 SDN \quad (3)$$

حالت سوم با در نظر گرفتن $PM_{1.0}$ به عنوان پارامتر مستقل:

$$I = 4200.75 - 1.830 PM_{10} - 556.14 SDN \quad (4)$$

چنان‌که پیش‌تر اشاره شد، به عنوان نمونه‌ای از کاربرد این روابط و تطبیق نتایج آن‌ها با اندازه‌گیری‌های واقعی، مقادیر

1. Anova

پیش‌بینی‌کننده میزان تابش بر حسب غلظت ذرات و فاصله از ظهر خورشیدی، در قالب سه رابطه به دست آمد. مقدار واقعی تابش خورشیدی که در یک روز معین اندازه‌گیری شد، با مقادیری که از روابط فوق به دست آمد، مطابقت خوبی نشان داد.

فهرست علائم

I	شدت تابش خورشیدی
Isc	ثابت خورشیدی
PM ₁₀	ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر
PM _{2.5}	ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرومتر
PM _{1.0}	ذرات معلق با قطر کمتر از ۱ میکرومتر
PTFE	پلی تری فلئوئور اتیلن
SPSS	نرم‌افزار آماری و محاسباتی (Statistical Package for the Social Sciences)
SDN	فاصله زمانی از ظهر خورشیدی

واقعی از یک روز که شدت تابش در آن، ۱۹۵۳ اندازه‌گیری شده بود، با مقادیری که روابط فوق پیش‌بینی می‌کرد، تطبیق داده شد که مطابقت خوبی را نشان داد.

بدیهی است که این روابط که در فصل تابستان و در ارتفاع ۴ متری از سطح زمین (سایت خورشیدی پژوهشگاه) به دست آمده است، در شرایط مشابه صادق می‌باشد، اما در حالت فعلی، قابل تعمیم به همه فصول یا ارتفاعات مختلف نیست.

۶. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، میزان تأثیرپذیری تابش خورشیدی از فاصله زمانی از ظهر خورشیدی و غلظت ذرات آلاینده هوا در سه اندازه مختلف (PM₁₀، PM_{2.5} و PM_{1.0}) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، تابش خورشیدی و غلظت آلاینده ذرات معلق (PM₁₀، PM_{2.5} و PM_{1.0}) در روزهای تابستان در سایت خورشیدی پژوهشگاه مواد و انرژی اندازه‌گیری شد. سپس، اطلاعات به دست آمده بررسی آماری شده و مدل‌های

مراجع

- [۱] شپرد، چادوک، کاکز، هارمن، فناوری انرژی، ترجمه مظفرعلی مهربان، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۸۷.
- [2] Biau, G., Zorita, E., Von Storch, H., Wackernagel, H., "Estimation of precipitation by kriging in the EOF space the sea level pressure field", Journal of Climate, Vol. 12, pp. 1070-1085, 1999.
- [3] Mondol, J.D., Yohanis, Y.G., Norton, B., "Solar radiation modelling for the simulation of photovoltaic systems", Renewable Energy, Vol. 33, pp. 1109-1120, 2008.
- [4] Gairaa, K., Benkacali, S., "Analysis of solar radiation measurements at Ghardaia area, south Algeria", Energy Procedia, Vol. 6, pp. 122-129, 2011.
- [5] Fröhlich, C., Brusa R.W. "Solar Radiation and its Variation in Time", Solar Physics, Vol. 74, pp. 209, 1981.
- [6] Al-Rawahi, N.Z., Zurigat, Y.H., Al-Azri, N.A., "Predicting of Hourly Solar Radiation on Horizontal and Inclined Surfaces for Muscat/Oman", The Journal of Engineering Research, Vol. 8, pp. 19-31, 2011.
- [7] Al-Riza, D.F., Gilani, S.I.H., Aris M.Sh., "Hourly Solar Radiation Estimation Using Ambient Temperature and Relative Humidity Data", International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 2, No. 3, 2011.

- [8] Duffie, J.A., Beckman, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, Third Edition, John Wiley, 2006.
- [9] Montgomery, D., Peck, C., Elizabeth, A., Introduction to linear Regression Analysis, 2nd. Edition, 1992.
- [10] Craig, F. Bohren, Fundamentals of Atmospheric Radiation. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2006.
- [11] Delinger W. G. "The Definition of the Langley", Solar Energy, Vol. 18, pp. 369, 1976.
- [12] Munzhedzi, R., Sebitosi, A.B., "Redrawing the solar map of South Africa for photovoltaic applications", Renewable Energy, Vol. 34, pp. 165-169, 2009.
- [13] Thekaekara, M.P., "Solar Radiation Measurement: Techniques and Instrumentation", Solar Energy, Vol. 18, pp. 309, 1976.
- [14] Nakicenovic, N., Fossil fuels in a changing climate, Green peace international, Amsterdam, Holland, 1995.
- [15] Hamdan, M.A., Gazzawi, N., "The effect of clouds on solar radiation", Energy Conversion and Management, Vol. 34, pp. 29-32, 1993.
- [16] Horseman, A., MacKenzie, A.R., Timmis, R., "Using bright sunshine at low-elevation angles to compile an historical record of the effect of aerosol on incoming solar radiation", Atmospheric Environment, Vol. 42, pp. 7600-7610, 2008.
- [17] Fröhlich, C., R.W., Brusa, "Solar Radiation and its Variation in Time", Solar Physics, Vol. 74, pp. 209, 1981.
- [18] Sharma, P.K., "Parametric studies of a greenhouse for summer conditions", Journal of Energy, Vol. 28, No. 3, 1999.
- [19] WMO, Programm on Weather Prediction Research (PWPR), Report Series No. 13, Technical Document (WMO/TD. No. 979), pp. 12-37, 1999.
- [20] Supit, I., Kappel, Van R.R., "A simple method to estimate global radiation", Solar Energy, Vol. 83, No. 3, 2000.
- [21] Incropera, F.P., Dewitt, D.P., Introduction to heat transfer, 4th Edition. John Wiley & Sons Inc, 2002.