

تحلیل آماری آلاینده های هوا و پارامترهای هواشناسی در ارتباط با مرگ و میر بیماران قلبی-عروقی و تنفسی

زهره عدالتی خواجه^۱، شقایق ابدی^۱، میترا محمدی^{۲*}، مریم سرخوش^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، موسسه آموزش عالی خردگرایان مطهر، مشهد، ایران

^۲ استادیار گروه محیط زیست، موسسه آموزش عالی خردگرایان مطهر، مشهد، ایران

^۳ دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

* نویسنده مسئول: استادیار گروه محیط زیست، موسسه آموزش عالی خردگرایان مطهر، مشهد، ایران، پست

چکیده

امروزه آلودگی هوای شهرهای بزرگ یکی از مشکلات عمده زیست محیطی است که پیامدهای خطرناکی روی سلامت انسان ها، جانوران، گیاهان و حتی ساختمان ها دارد. آلودگی هوا تأثیرات مختلفی بر سلامت بشر دارد، اما سیستم تنفسی و قلبی-عروقی در معرض بیشترین صدمه قرار دارند. از طرف دیگر تغییرات اقلیم در عصر حاضر به عنوان مهم ترین تهدید برای توسعه پایدار مطرح است که به منابع طبیعی، محیط زیست، امنیت غذایی، سلامت انسان، فعالیت های اقتصادی و غیره ضرر می رساند. اقلیم یکی از عوامل اثر بخش بر مرگ و میر انسان است و تغییرات فصلی و روزانه مرگ و میر و میزان مراجعه به بیمارستان ها ناشی از بیماری های قلبی و تنفسی ارتباط مستقیمی با پارامترهای اقلیمی دارند. بنابراین بررسی ارتباط میان آلاینده های هوا و عناصر اقلیمی بر سلامت انسان ها به منظور کنترل آلودگی هوا در کلان شهرها از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا این مطالعه با هدف بررسی این ارتباط توسط روش های پیشرفته آماری انجام شد. در این پژوهش، با جستجوی لغات کلیدی (فارسی و انگلیسی) "آلودگی محیط زیست"، "آلودگی هوا"، "پارامترهای هواشناسی"، "اقلیم"، "مرگ و میر بیماران قلبی-عروقی" و "مرگ و میر بیماران تنفسی" در مقالات موجود در پایگاه های اطلاعاتی معتبر همچون Scopus، مرکز استنادی علوم جهان اسلام (ISC)، SID، Magiran، PubMed و سیویلیکا در بازه سال های ۱۳۹۲ الی ۱۴۰۱، اطلاعات مورد نیاز جمع آوری گردید. پس از حذف مقالات تکراری، همایشی، کنفرانسی و پژوهش هایی که متن کامل آنها در دسترس نبود، ۱۹۰ مقاله که بیشترین نزدیکی را با هدف این پژوهش داشتند، انتخاب و با مطالعه دقیق تر ۱۲۰ مقاله با اعتبار علمی بالاتر انتخاب شدند. سپس میزان اهمیت هر یک از پارامترهای هواشناسی و آلاینده های هوا بر میزان مرگ و میر ناشی از بیماران قلبی-عروقی و تنفسی مورد بررسی قرار گرفته و روش های پیشرفته آماری به منظور بررسی این ارتباط معرفی شدند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که تغییرات جزئی در غلظت آلاینده های هوا و برخی پارامترهای هواشناسی می تواند تأثیرات زیادی بر میزان مرگ و میر افراد به خصوص بیماران قلبی-عروقی و تنفسی داشته باشد. لذا می توان این اثرات سوء را با توجه و تمرکز هر چه بیشتر بر روی عوامل ایجاد و تولید آلاینده ها به میزان بیشتر و همچنین شرایط مختلف جوی، کاهش چشم گیری داد و کنترل نمود. همچنین این مطالعه نشان داد که الگوریتم جنگل تصادفی در بین مدل های آماری موجود جهت بررسی ارتباط میان آلودگی هوا و پارامترهای هواشناسی با سلامت انسان، دارای دقت بیشتری است. این الگوریتم می تواند به طور تأثیر گذاری بر روی پایگاه داده های بزرگ انجام بگیرد و قادر است با هزاران متغیر ورودی به مدل بدون حذف متغیری سر و کار داشته باشد.

کلمات کلیدی: آلودگی محیط زیست، آلودگی هوا، پارامترهای هواشناسی، مرگ و میر بیماران قلبی-عروقی، مرگ و میر بیماران تنفسی

مقدمه

امروزه آلودگی جوی و محیط زیست بشر با توجه به رشد روز افزون جمعیت و تمرکز آن از نظر مکانی، به عنوان یکی از مشکلات مهم جامعه انسانی بیان شده است. این مسئله منطقه ای نبوده و به مرزهای جغرافیایی و سیاسی محدود نمی گردد بلکه یک موضوع مهم جهانی است. بیشترین میزان آلودگی هوا بر اثر احتراق سوخت های فسیلی در هوا رها می شود و با افزایش جمعیت و روند رو به افزایش مصرف این سوخت ها، انتظار بالا رفتن میزان آلودگی ها را داریم (شکر زاده فرد، ۱۳۹۳). آلودگی هوا بزرگ ترین مشکل محیط زیستی کشور ما و کلان شهرهای آن بوده و با توجه به اقدامات جدی مسئولین، آثار قابل توجه و مثبتی در زمینه کاهش آلودگی هوای شهرهای بزرگ دیده نمی شود. در سال های اخیر از میان هر ۳ روز، ۱ روز آلوده با وجود انواع آلاینده های اصلی هوا داشته ایم که عوامل فراوانی از جمله طبیعی و انسانی در به وجود آوردن آن نقش داشته اند (روشنی و همکاران، ۱۳۹۶). آلودگی های محیطی از جمله مخاطراتی هستند که به همراه گسترش شهرنشینی، افزایش سریع جمعیت، توسعه های صنعتی و نبود کنترل دقیق بر منابع آلوده کننده و افزایش سوخت های فسیلی به وجود آمده و باعث تغییر اکوسیستم، تخریب محیط، ضررهای اقتصادی، تغییرات اقلیمی و آلودگی هوا شده است. آلودگی هوا به عنوان یکی از بحرانی ترین آلودگی زیست محیطی مطرح می باشد که عوارض آن به صورت بیماری های تنفسی، قلبی-عروقی و دیگر بیماری ها متوجه ساکنین شده است (خرسندی و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین بررسی وضعیت بررسی وضعیت آلودگی هوای شهرها و ارزیابی عوامل موثر بر غلظت آلاینده ها می تواند در برنامه ریزی های جامع کنترل و کاهش آلودگی هوا بسیار تاثیر گذار باشد (Bernatsky و همکاران، ۲۰۱۵). برای کنترل موثر آلودگی هوا، آشکار سازی و روشن کردن رابطه بین آلودگی هوا و شرایط هوای روزانه نیز امری ضروری و مهم است (Liu و همکاران، ۲۰۲۰).

آلودگی هوا

هر گونه تغییر در ترکیب طبیعی هوای محیط پیرامون با افزودن ترکیبات دیگر مانند دود، دوده، گازها و بخارات در هوا، آلودگی هوا نامیده می شود (عقلمند، ۱۳۹۳). آلودگی هوا محصول جانبی و نامناسب پیشرفت صنعت و فناوری می باشد که پی در پی رشد کرده و در حال حاضر به یک معضل جهانی تبدیل شده است (لشگری و همکاران، ۱۳۹۴). آلودگی هوا و بالا رفتن آلاینده ها از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) در شهرهای بزرگ، از مهم ترین مشکلات زیست محیطی کلان شهرهای امروزی است که سلامت بشر را تهدید می نماید (مشکینی و همکاران، ۱۳۹۵).

منابع مولد آلودگی هوا

منابع آلودگی هوا می تواند از طریق فرایندهای طبیعی که انسان در آن دخالت ندارد و در اثر فعالیت های مختلف در طبیعت مانند خروج ذرات از آتشفشان ها، گردبادهای صحرایی و یا گرده گیاهان به وجود آید و یا از طریق فرایندهای مصنوعی ناشی از کاربردهای مختلف صنعتی و حمل و نقل ایجاد شود (احمدی آسور واله آبادی، ۱۳۹۰). سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (EPA) منابع مصنوعی آلاینده های هوا را در پنج گروه مهم تقسیم بندی کرده است که شامل فرایندهای صنعتی (کارخانجات پتروشیمی، فولاد و ...)، احتراق سوخت در منابع ثابت (نیروگاه ها و ...)، حمل و نقل (اتومبیل، هواپیما و ...)، دفع مواد زائد (نظیر سوزاندن زباله ها در هوای آزاد، استفاده نامناسب از زباله سوزها) و فرایندهای متفرقه نظیر فعالیت های خانگی است (محقق و حاجیان، ۱۳۹۲). بررسی روند تغییرات کمیت و کیفیت منابع طبیعی نشان داده شده که مشکلات جدی برای سلامت انسان و محیط زیست ایجاد نمی کنند اما آلاینده های ناشی از منابع مصنوعی می توانند ادامه زندگی را برای انسان و سایر موجودات زنده غیر ممکن سازد (اسد زاده و همکاران، ۱۳۹۳).

آلاینده های هوا

آلاینده ها از نظر منشاء و اثرات بهداشتی متعدد بوده و عملاً بررسی همه آن ها غیرممکن است. آلاینده های زیستی مختلفی وجود دارند که سلامتی را به مدل های متفاوتی به خطر می اندازند. مهم ترین آن ها به نام آلاینده های معیار و شامل منو اکسید کربن (CO)، ازون (O₃)، ذرات معلق (PM)، دی اکسید نیتروژن (NO₂) و دی اکسید گوگرد (SO₂) هستند (Hansel و همکاران، ۲۰۱۶). سطح آلودگی هوا معمولاً به وسیله غلظت آلاینده های معیار مشخص می شود (Rongxian و همکاران، ۲۰۱۷). ذرات معلق بیشتر از هر نوع دیگر از آلاینده های معیار انسان را تحت تاثیر قرار می دهند (WHO, 2015). آلاینده ها در دو گروه بخارات و گروه آئروسول ها قرار دارند. آئروسول ها هم به دو گروه ذرات جامد و ذرات مایع طبقه بندی می شوند. آئروسول ها پراکندگی ذرات ریز و میکروسکوپی جامد و یا مایع در محیطی گازی شکل مانند دود هستند. گرد و غبارها شامل ذرات جامدی هستند که می توانند به صورت موقت در هوا و یا گاز دیگری به شکل معلق قرار بگیرند و تمایلی به چسبندگی ندارند (عبدالاحسینی و ذوالقدری، ۱۴۰۰). ذرات معلق کوچک تر از ۱۰ میکرون، خطرناک ترین آلاینده ها برای انسان هستند به طوری که کاهش غلظت آلوده کننده ها از ۷۰ به ۲۰ میکروگرم بر متر مکعب، مقدار مرگ و میر مرتبط با آلودگی هوا را تا ۱۵ درصد کاهش می دهد (موسوی و حافظی، ۱۳۹۶). طبق مطالعات انجام شده در بین آلاینده های هوا گاز های NO₂ و SO₂ بیشتر از همه در آلودگی هوا نقش داشته اند و باعث تحریک مجاری تنفسی می شوند (Leili و همکاران، ۲۰۱۴).

آلاینده های هوا و تاثیرات آن ها بر سلامتی

عوارضی که آلاینده های هوا می تواند برای افراد به همراه داشته باشد بستگی به میزان آلودگی هوا، نوع ماده آلاینده و غلظت آن، طول تماس و شرایط آب و هوایی دارد (محمدیان و احتشامی، ۱۳۹۷). آلودگی هوا با افزایش میزان آمار مرگ و میر و ایجاد بیماری های متعدد منجر به کاهش کیفیت زندگی خواهد شد (اسماعیلی، ۱۳۹۷). طبق گزارش بانک جهانی در دسامبر سال ۲۰۱۶ میلادی، آلودگی هوا به عنوان کشنده ترین نوع آلودگی و چهارمین عامل مرگ و میر زودرس در سراسر جهان مطرح شد (فشکی و سیفان، ۱۳۹۹). آلودگی هوا به عنوان عاملی استرس زا می تواند تغییرات جسمی- رفتاری، احساسی و شناختی در فرد ایجاد کند. همچنین ممکن است آثار تخریبی مستقیمی بر سلامت فرد داشته باشد و با تأثیر غیر مستقیم بر سلامت روانی فرد، رضایت روحی روانی، کاهش عملکرد عصبی باعث کاهش سطح سلامت روانی فرد و افزایش ابتلا به مشکلات روانی در وی منتج شود (اسماعیلی و شکوهی، ۱۳۹۴). آثار آلودگی هوا صرفاً محدود به بروز سریع علائمی مانند تنگی نفس، سوزش، سرفه و ایجاد حساسیت نیست و می تواند با اثرات زیان باری که در بلند مدت دارد، آسیب های جدی به ارگان های بدن از جمله قلب، مغز و ریه وارد کند (داستانی و همکاران، ۱۳۹۸).

دی اکسید گوگرد

گازی بی رنگ و فعال است که از سوختن سوخت های دارای گوگرد مانند ذغال سنگ و روغن تولید می شود. بیشترین مقدار SO₂ در نزدیکی مناطق صنعتی یافت می شود. در صورت تنفس توسط دهان اثرات سوء بر سلامت انسان دارد اما در تنفس توسط بینی معمولاً حذف می شود. در انسان های بالغ و سالم میزان غلظت حدود ۱۰۰۰ ppb تا ۲۰۰۰ ppb برای تاثیر گذاری بر عملکرد دستگاه تنفس و ریه کافی است. در میزان غلظت های بالا از SO₂ در افراد سالم هم امکان ایجاد علائم بیماری آسم وجود دارد. در هنگام تماس طولانی مدت با این آلاینده در صورت تغییراتی که در مکانیسم های دفاعی ریه ایجاد می شود، سبب ایجاد بیماری ریه می شود (محقق و حاجیان، ۱۳۹۲).

اکسیدهای نیتروژن

NO و NO_2 از جمله شایع ترین اکسیدهای نیتروژن می باشند. هر دوی آن ها گازهای سمی بوده و بیشتر باهم تحت عنوان NO_x خوانده می شوند، با اینکه دارای ویژگی های شیمیایی، فیزیکی و آلاینده گی محیطی کاملاً متفاوتی هستند. NO_2 گازی شدیداً واکنش زا و اکسیدان خورنده است. منابع تولید کننده آن ها فرایندهای احتراقی مانند جوشکاری، احتراق در وسایل گرمایشی بدون دودکش یا با دودکش معیوب، استعمال تنباکو و موتور خودروها است. NO تحت تاثیر تغییرات فتوشیمیایی و آلاینده O_3 به NO_2 اکسید می شود. NO_2 بسیار سمی تر از NO است. این گاز محلول در آب بوده و پس از تنفس، جذب مخاط بینی و حلق شده و در آنجا تبدیل به اسیدهای تیریک و نیتروس می شود (شهرام محقق، ۱۳۹۲). NO_2 گازی است قرمز متمایل به نارنجی نزدیک به قهوه ای دارای نقطه جوش $21/2^\circ\text{C}$ و فشار کم که آن را در حالت گازی نگه می دارد. این گاز خورنده، اکسیدان قوی و از نظر فیزیولوژیکی محرک مجاری تحتانی تنفسی است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱).

مونوکسید کربن

CO گاز بی رنگ و بی بو و ناشی از سوختن ناقص کربن است. منبع اصلی این گاز دود حاصل از آگروز خودروها و فعالیت های صنعتی است. میل ترکیبی CO با هموگلوبین خون ۲۳۲ برابر اکسیژن است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴)، بنابراین با تنفس این گاز و با ورود آن به خون باعث می شود به جای اکسیژن این گاز به هموگلوبین خون پیوسته و با به وجود آوردن کربوکسی هموگلوبین مانع اکسیژن رسانی کافی به بدن شده و در نتیجه موجب مرگ افراد شود. افراد دارای بیماری های ریوی COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease) و کم خونی و... در صورت برخورد با این آلاینده دچار مشکل یا تشدید علائم می شوند (محقق و حاجیان، ۱۳۹۲).

ذرات معلق

تکنولوژی نانو به اثبات رسانده است که در گرد و خاک هایی که به هوا برخاسته می شود، ذرات ریزی در اندازه نانو متر وجود دارد که این ذرات پس از برخاستن هوا، همچنان به صورت معلق باقی می مانند و هیچ گاه به زمین بر نخواهند گشت مگر اینکه توسط بارش باران های تند و وزش باد های شدید به مناطق دیگر حمل شوند (سیادتی و همکاران، ۱۳۹۶). ذرات معلق مانند $\text{PM}_{2.5}$ (ذرات با اندازه $2/5$ میکرو متر یا کم تر) از مهم ترین آلاینده های هوا هستند که باعث به خطر انداختن سلامتی انسان می شوند (Orru و همکاران، ۲۰۱۵). از منابع اصلی ذرات معلق از جمله $\text{PM}_{2.5}$ می توان به گرد و غبار خشک بیابانی اشاره نمود که بعضی از پارامتر های هواشناسی مانند درجه حرارت و سرعت باد و غیره آن را به مناطق شهری انتقال می دهند و میزان غلظت $\text{PM}_{2.5}$ را چند برابر بیشتر از دستور العمل های بهداشتی و استاندارد های هوا می کنند و باعث افزایش مرگ و میر ناشی از بیماری های تنفسی و سرطان ریه می شوند (Shahsavani و همکاران، ۲۰۲۰). اجزاء اصلی تشکیل دهنده ذرات معلق هوا شامل سولفات ها (SO_x)، نیترات ها (NO_x)، آمونیوم (NH_4)، سدیم کلرید (HCL)، کربن سیاه، ذرات معدنی و آب می باشند (WHO, 2015). مطالعات زیادی نشان داده اند که مواجهه با ذرات معلق هوا با اثرات بهداشتی نظیر بیماری های قلبی-عروقی و تنفسی در ارتباط است. ذرات PM_{10} مسبب یا تشدید کننده بیماری ها و مرگ مرتبط با بیماری های ریوی یا قلبی هستند. بیماران دارای بیماری سرخرگ تاجی، ناتوانی احتقانی قلب، آسم یا بیماری انسداد مزمن ریوی و سالمندان با احتمال زیادی به مراکز اورژانس مراجعه، در بیمارستان بستری و یا حتی در مواردی می میرند. همچنین بی نظمی های قلبی و حملات قلبی را به مواجهه با این ذرات دانسته اند (عطا فر و همکاران، ۱۳۹۳).

ازن

O₃ یک آلاینده ثانویه است که از ترکیب شدن گازهای مختلف با اکسیدهای نیتروژن تولید شده و باعث ایجاد آسیب‌های خطرناک به دستگاه تنفسی می‌شود. واکنش‌های NO_x ها در حضور نور خورشید، منبع اصلی انتشار O₃ به حساب می‌آید (رحمتی و همکاران، ۱۳۹۹). غلظت O₃ بسیار کم است و معمولاً مقدار آن چند مولکول به ازای یک میلیون مولکول هواست ولی همین مقدار اندک برای زندگی اهمیتی حیاتی دارد چرا که با جذب اشعه فرابنفش مانع رسیدن آن به سطح زمین می‌گردد. در مقابل O₃ استراتوسفری، O₃ موجود در تروپوسفر یک آلودگی به حساب می‌آید و اغلب آن را به عنوان یک گاز سمی می‌شناسیم. O₃ تروپوسفری در طول روز در نواحی آلودگی مثل منطقه‌های شهری تولید می‌شود. آلودگی‌های ناشی از O₃ در کلان شهرها از مهم ترین عوامل آلوده کننده‌هاست که موجب آسیب به محیط زیست و انسان‌ها شده است. اولین عضو هدف می‌تواند منجر به افزایش سرطان ریه شود (خشک دامن، ۱۳۹۶).

اقلیم (آب و هوا)

اقلیم به میانگین شرایط آب و هوایی در نقطه‌ای مخصوص از زمین گفته می‌شود (Reidy, 2016). اقلیم به عنوان الگوهای طولانی مدت آب و هوایی بیان می‌شود که شرایط جوی یک منطقه را توصیف و بیان می‌کند. دما، وارونگی دما، رطوبت، بارندگی و وزش باد از مهم ترین پارامترهای اقلیمی هستند (Adedeji و همکاران، ۲۰۱۴). یکی از مهم ترین مسائلی که جدیداً در مورد آب و هوا مورد بحث هست مربوط به گسترش زندگی در شهرها و آلودگی هوای شهری به خصوص در شهرهای بزرگ و در قبال آن آب و هوای شهرها می‌باشد. تغییرات آب و هوایی می‌تواند از طریق تشدید انتشار بعضی از آلاینده‌های اصلی هوا مانند O₃ و ذرات معلق، آتش سوزی جنگل‌ها، افزایش جمعیت شهرهای بزرگ، وارونگی و ایجاد جزایر حرارتی بر کیفیت و خاصیت آب و هوای شهرهای بزرگ تأثیرگذار باشد. امروزه تغییرات آب و هوا بسیار مهم است، زیرا این تغییرات موضوعی است که نه تنها درباره برنامه‌های ملی و بین المللی، بلکه برای بسیاری از شبکه‌های فرا ملی موضوعی قابل تامل و نگران کننده است (قربانی سپهر و همکاران، ۱۳۹۹). کیفیت هوا به طور کلی به متغیرهای جوی و همچنین به تغییرات اقلیمی وابستگی دارد (عالی محمودی سراب و همکاران، ۱۳۹۷). در کل یکی از عوامل مهم در افزایش و کاهش غلظت آلاینده‌ها شرایط آب و هوایی است (Ashrafi & Ahmadi, 2014).

تأثیر پارامترهای هواشناسی بر آلودگی هوا

تغییرات آب و هوایی بر بعضی از اساسی ترین عناصر تعیین کننده بهداشت محیط مانند هوا، آب و غذا تأثیرات بسیار نامطلوبی بر جای می‌گذارد. گرم شدن کره زمین تدریجی بوده، اما باعث افزایش فراوانی ایجاد رویدادهایی نظیر طوفان‌ها، سیلاب و خشکسالی شدید خواهند بود و نتایج آن بسیار نگران کننده است. بسیاری از بیماری‌های مسری و عفونی بطور ذاتی با آب و هوا ارتباط دارند و این امکان وجود دارد که با توجه به پارامترهای اقلیمی به عنوان شاخص‌های پیش بینی کننده، بتوان وقوع این بیماری‌ها را پیش بینی کرد (عتابی و همکاران، ۱۳۹۵). اقلیم از اصلی ترین عواملی است که بر روی اکوسیستم‌ها تأثیر می‌گذارد، به همین خاطر کوچکترین تغییرات بر اقلیم، اکوسیستم را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (منصوری و همکاران، ۱۳۹۴). تغییرات اقلیمی تغییر در میانگین آب و هوایی یا تغییر پذیری آب و هوا است که در یک دوره طولانی ادامه دارد (ردی، ۲۰۱۶). تأثیرات تغییر اقلیم بر طبیعت، به صورت بالا آمدن و اسیدی شدن آب اقیانوس‌ها، ذوب شدن یخ‌های قطبی، افزایش رویدادهای الینو و بروز رویدادهای آب و هوایی جدی مانند امواج گرما و سرما، طوفان‌های شدید، بارش‌های سیل آسا، خشکسالی‌ها، طوفان‌های گرد و غبار و آتش سوزی‌های جنگلی ظاهر می‌شود که باعث اختلال در حیات گونه‌ها می‌گردد. این پیامدها می‌توانند به دلایل گوناگونی همچون ویرانی محیط خانه، آوارگی، مرگ و میر عزیزان، قحطی، سوء تغذیه، بیکاری، فقر و همچنین، شیوع

بیماری های عفونی و غیر عفونی (تنفسی و قلبی-عروقی) خطرناک، بر روی سلامتی روان انسان ها تاثیرات مخربی داشته باشند (شیخ بیگلر اسلام، ۱۳۹۸).

باد

پارامتر اقلیمی باد، عامل اصلی انتشار و پخش ریزگرد ها و آلاینده های صنعتی به شهر است (زینالی و همکاران، ۱۳۹۷). به طور کلی آلاینده های هوا با کمک باد جا به جا می شوند (Javanbakht Amiri & Khatemi, 2012). بنابر تحقیقات متعدد، باد از پارامترهای مهم در بافت های شهری است که بر پراکندگی آلودگی و تامین سلامتی انسان تاثیرگذار است (Khodakarami و همکاران، ۲۰۲۰). نتایج حاصل از پژوهشی در تهران مشخص نمود که باد نقش تاثیرگذار و قانون مندی در کاهش آلودگی هوای تهران دارد، به این صورت که افزایش سرعت باد، کاهش مقدار آلودگی را به دنبال خواهد داشت (صفرزاد و یوسفی، ۱۴۰۱).

بارندگی

ابر ها و بارش (برف، باران، تگرگ،...) همین طور که بخش مهمی از پدیده های زیر سامانه جو اقلیم زمینی هستند، از اجزاء اصلی چرخه آب هم هستند. عوامل بسیاری در بارش تاثیر گذار هستند که از جمله آن ها می توان ذرات معلق را نام برد. با بالا رفتن غلظت ذرات معلق، ابر های گرم و بارش های آن ها به علت کاهش اندازه های قطرک ها و کاهش برخورد و به هم پیوستگی آن ها کاهش خواهند یافت و بر عکس با بالا رفتن غلظت ذرات معلق در ابر های سرد باعث افزایش یخ زدگی قطرک ها و در نهایت افزایش بارش می شوند (عبد منافی و همکاران، ۱۳۹۷). بارندگی یکی از متغیرترین عناصر اقلیمی است که تغییر در انتهای توزیع آن، باعث تغییر در مقادیر و شدت بارش های سنگین و فوق سنگین خواهد بود. این تغییرات می تواند پیامدهای زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی به ویژه اقتصاد کشاورزی کم سابقه ای داشته باشد (رزمی و اشرفی، ۱۳۹۲).

رطوبت

رطوبت نسبی (RH)، عبارت از نسبت میزان آب موجود در هوا به میزان آب در حالت اشباع است. از تاثیرات رطوبت می توان ایجاد چسبندگی زیاد در ذرات و در نتیجه جمع کردن ذرات به دور هم و تشکیل ذرات درشت تر را نام برد که از سویی توزیع اندازه ذرات را تغییر می دهد و از طرف دیگر با افزایش اندازه ذرات، وزن آن ها نیز بیشتر شده و در نتیجه سرعت ته نشینی آن ها طبق قانون استوکس بالا می رود و انتظار کاهش آلودگی را داریم (رضا بیات، ۱۳۸۳). دما و رطوبت دو عنصر مهم جوی هستند که در سلامت انسان نقش ویژه ای دارند (بهادری و همکاران، ۱۳۹۲). هنگامی که هوا خشک و بدون رطوبت کافی است غشاء نازک بینی، گلو و قسمت بالایی دستگاه تنفسی درگیر می شود و در چنین شرایطی زمینه ابتلا به بیماری زکام فراهم می شود. بیماران دارای ورم مفاصل، روماتیسم و نقرس زمانی بیشتر تحت تاثیر قرار می گیرند که در معرض هوای سرد و مرطوب طی مدت زمان زیادی قرار بگیرند. هر چه هوای محیط اطراف گرم و اشباع از بخار آب باشد انجام فعالیت های سخت بدنی مشکل شده و گاهی غیر ممکن می شوند. در این شرایط اشتیهای افراد کاهش می یابد و در سیستم دستگاه گوارش و اعصاب اختلال ایجاد می شود. در این محیط رشد میکروب ها، تخم انگل ها و حشرات افزایش یافته و شرایط برای گسترش و افزایش بیماری های عفونی و انگلی فراهم می شود (شبابی و عزتیان، ۲۰۱۲). به طور مثال برای مداوای بیماری آسم، برونشیت و عفونت ها رطوبت کم لازم است (میوانی و همکاران، ۱۳۹۳).

دما

دما یکی از پارامترهای مهم در تشکیل اقلیم است که تغییرات آن می تواند شرایط آب و هوایی منطقه را دگرگون کند (Zahrabi و همکاران، ۲۰۱۶). تغییرات شدید دمایی پدیده ای نامطلوب برای زیست جانوران و گیاهان بوده و اثرات نامطلوبی هم برای عناصر طبیعی، سازه ها و تاسیسات دارد. زمانی که دمای هوا از حد معینی پایین می رود شرایط برای زندگی و فعالیت مطلوب جانداران بسیار سخت می شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴). عوامل مختلفی در ابتلا و تشدید وضعیت بیماری های قلبی-عروقی دخالت دارند که تغییرات دمایی می تواند یکی از دلایل آن باشد (یزدان پناه، ۱۳۹۴). تین و همکاران (۲۰۱۲) از طریق مطالعه محیط مرگ و میر ناشی از عروق کرونر قلب در چین به این نتیجه رسیدند که دمای بسیار سرد یا بسیار گرم، خطر مرگ و میر CHD (عروق کرونر قلب) را افزایش می دهد. زنان و افراد مسن نسبت به سرمای شدید و مردان و افراد جوان نسبت به گرمای شدید حساس ترند. همچنین بیان کردند که تنظیم درجه حرارت مناسب در تابستان و زمستان به همراه خدمات اضطراری می تواند به طرز چشمگیری از مرگ و میر بیماری های قلبی-عروقی جلوگیری کند. درجه حرارت زیاد باعث افزایش ضربان قلب و افزایش جریان خون به سمت پوست می شود که به شکل عرق در گرما و یا لرز در سرما خود را نشان می دهد (بارکا و همکاران، ۲۰۱۳).

وارونگی دما

وارونگی هوا پدیده اقلیمی است که باعث افزایش تراکم آلایندگی در شهر های پر جمعیت و صنعتی می شود، به طوری که عبور از آستانه کیفیت هوا مشکلات فراوانی برای شهروندان در پی دارد (محبوب فر و همکاران، ۱۳۹۷). طی پژوهشی که در سال ۱۳۹۲ انجام شد نتیجه این بود که بیشتر وارونگی های بسیار شدید که در فصل زمستان رخ داده از نوع تابشی است و ۷۰ درصد وارونگی های دمای دو مرحله ای که نقش مهمی در ادامه وارونگی دارند در فصل زمستان بخصوص درماه ژانویه رخ می دهند (جهانبخش و روشنی، ۱۳۹۲). تحلیل ضخامت و ارتفاع وارونگی و شدت آلودگی در شهر تهران نشان داد زمانی که ارتفاع وارونگی به سطح زمین نزدیک شده بر شدت آلودگی هوا افزوده شده است (کیخسروی و لشکری، ۱۳۹۳). بررسی تاثیر وارونگی دمایی بر شدت آلودگی هوا در شهر اینس براک استرالیا نشان داد که رفع وارونگی تا حد بسیار زیادی با تلاطم هوا همراه بوده است و در این شرایط، آلودگی هوا به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافته است (Leukauf و همکاران، ۲۰۱۵).

تابش خورشید (ساعات آفتابی)

میزان ساعات آفتابی با اثری که بر تعیین میزان تابش خورشید دارد، فاکتور اصلی کنترل حیات، آب و هوا و دیگر فعالیت های زیستی در سطح زمین به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک به حساب می آید. یکی از پارامتر های مهم اقلیمی که آثار غیر قابل انکار بر فعالیت های مختلف انسانی و واکنش های طبیعی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک دارد ساعات آفتابی است. میزان ساعات آفتابی در یک روز عبارت از مدت زمانی است که در طی یک روز خورشید در آسمان وجود دارد و توسط ابرها پنهان نمی شود. این عامل با تاثیری که در مشخص کردن میزان تابش خورشید دارد، عامل مهم کنترل حیات، آب و هوا و دیگر فعالیت های زیستی در سطح کره زمین به حساب می آید (مجرد و مرادی، ۱۳۹۳). تابش خورشیدی انرژی لازم برای بسیاری از فرآیندهای طبیعی و اقلیمی و چرخه های بیولوژیکی و جوی از جمله گردش عمومی هوا را تامین می کند و رویداد های جوی، اغتشاشات هوایی، پیدایش شرایط دمایی مطلق و میانگین، وضعیت بارندگی و وزش باد ها و طوفان ها را به طور مستقیم و غیر مستقیم نتیجه تغییر در بیلان تابشی خورشید در سطح زمین است (فتحی زاد و همکاران، ۱۳۹۵). تابش خورشید یکی از بهترین میکروب کش هاست به عنوان مثال عامل بیماری سل را در دو ساعت نابود می کند در حالی که همین میکروب در نقاط تاریک و نمناک می تواند ماه ها قدرت بیماری زایی خود را حفظ کند. تاثیر تابش خورشید در بهبود بیماری های سل، درد مفاصل، رماتیسم، نرمی استخوان و... ثابت شده و همچنین تابش سبب ساختن ویتامین D در پوست می گردد. البته پاره ای از

پرتوهای خورشید مانند تابش فرابنفش و مادون قرمز چنانچه بیش از حد بتابد مضر است و باعث ایجاد سرطان پوست در افراد می گردد (شبانی و عزتیان، ۱۳۹۰). تابش خورشیدی پس از ورود به سطح زمین نقش مهمی در تعادل انرژی سیستم جو زمین دارد. به همین دلیل داشتن دانش کافی از میزان تابش خورشیدی در روز برای بسیاری از برنامه های اساسی مانند کشاورزی، زیست محیطی، هیدرولوژیکی و مدل های انتقال خاک پوشش گیاهی جو مهم و ضروری است (Long Chen, 2013).

تبخیر

تبخیر یک فرایند اقلیمی است که طی آن مولکول های آب از حالت مایع به بخار تبدیل شده و وارد جو می شوند (بزی و همکاران، ۱۴۰۰). بیشتر وسعت کشور پهناور ایران در اقلیم خشک و نیمه خشک واقع شده است. در این میان تبخیر و تفرق از جمله پارامترهای اقلیمی است که این اقلیم های خشک و نیمه خشک را بیش از پیش تحت تاثیر خود قرار داده است. پدیده تبخیر و تفرق پدیده ای منطقه ای، نه نقطه ای می باشد. ۶۴ درصد بارش های جو به علت تبخیر و تفرق از سطح زمین است و در واقع تبخیر و تفرق مرتبط کننده سه جز مهم اتمسفر، هیدروسفر و زیست کره به شمار می آید. عوامل اقلیمی مانند حداقل و حداکثر دما، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعت های آفتابی از عوامل موثر بر روی تبخیر و تفرق اند و با توجه به فصل سال و ویژگی های توپوگرافی منطقه، نقش هر یک از عوامل مطرح شده بر روی تبخیر و تفرق بیشتر یا کمتر می شود (طالبی و همکاران، ۱۳۸۹). افزایش دمای جهانی به دلیل تغییر اقلیم با سرعت بخشیدن به تبخیر از سطح اقیانوس ها می تواند چرخه هیدرولوژیکی را دگرگون کند (هانا، ۲۰۱۵).

فشار

فشار هوا دائم در حال نوسان است. پژوهشگران اکرانی ثابت کرده اند که نوسانات جوی فشار هوا، در فرکانس های پایین منجر به ایجاد اختلال در فعالیت های ذهنی خواهد شد که در نهایت موجب کاهش عملکرد حافظه کوتاه مدت انسان و همچنین کاهش تمرکز می شود. یافته های برخی پژوهشگران نشان داده اند که نوسانات فشار هوا در آزمایشگاه باعث تغییر فرکانس ضربان قلب و فشار خون در افراد مورد آزمون می شود و این روند می تواند عامل بروز عوارضی مانند بی خوابی، سردرد و واکنش های عصبی افراد باشد (غیاث و شرقی، ۱۳۹۷). در ارتفاعات بالا هوا دارای فشردگی و تراکم کم تری است و فشار نسبی در ارتفاعات کاهش می یابد. درصد اکسیژن و گاز های دیگر در ارتفاعات برخلاف نقاط با ارتفاع کم و دشت ها کم تر است زیرا در ارتفاعات کم شدن فشار هوا باعث رقیق شدن هوا و همینطور کاهش اکسیژن می شود. کاهش اکسیژن در نفس کشیدن باعث ایجاد ضایعات در دستگاه عصبی می شود. تاثیرات بهداشتی در مورد فشار به این گونه است که اگر افراد به مدت طولانی در ارتفاعات بسیار بلند حضور داشته باشند عوارض شدید تری مانند زیاد شدن تولید گلبول های قرمز خون، بزرگ شدن بخش سمت راست قلب، افزایش فشار ریه، نارسائی قلب، تنگی نفس و درد در مفاصل ها برایشان ایجاد می شود (عزتیان و شبانی، ۲۰۱۲).

عمق نوری ذرات معلق (AOD)

مقدار نوری که به طور مستقیم از جو عبور می کند، به دلیل پراکندگی و جذب به وسیله ی ملکول ها و ذرات معلق ضعیف می شود. عمق نوری ذرات معلق کمیتی بدون بعد است که بر حسب میزان خاموشی شدت نور پس از رد شدن از ذرات معلق محاسبه می شود. هر چه اندازه ذرات معلق موجود در هوا بزرگ تر باشد، مقدار خاموشی بیشتر است و عدد AOD^1 هم بزرگ

¹ Aerosol Optical Depth

تر می‌شود و بر عکس هر چقدر اندازه ذرات معلق کوچک تر باشد، مقدار خاموشی کم تر و عدد AOD هم کوچک تر می‌شود (بیات و همکاران، ۱۳۹۹). در بین ذرات معلق ذرات با اندازه‌های بزرگ و ذرات معلق شهری و صنعتی ذراتی با اندازه های ریز هستند (دهقان و همکاران، ۱۳۹۷). براساس داده‌های ماهواره ای، مدل های آماری و ایستگاه های زمینی مقدار ذرات معلق در هوا که منشا انسانی و طبیعی دارند به صد تا هزاران میلیون تن در سال می‌رسند که این ذرات می‌توانند تا کیلومترها جابجا شوند. این ذرات معلق در هوا به طور مستقیم سبب انتشار نور خورشید و به صورت غیر مستقیم با اثر گذاری بر ایجاد ابر اثرهای مهمی بر تغییرات اقلیمی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای دارند. این ذرات معلق و به دنبال آن آلاینده‌های سمی اثرهای منفی روی سلامت انسان و کیفیت محیط زیست بر جای می‌گذارند (هادی اسکندری دامنه و همکاران، ۱۴۰۰).

انواع روش ها و مدل های آماری مرتبط با این پژوهش

پیدایش و توسعه فناوری ها و مدل های آماری و تحلیلی جدید باعث گسترش مرز دانش و یافته های پژوهشگران در زمینه مطالعات مرتبط با آلودگی هوا شده است. در این رابطه استفاده از روش های آماری برای شناسایی الگوهای زمانی و مکانی آلاینده ها کاربرد فراوانی پیدا کرده است (اسماعیلی و امینی، ۱۳۹۹).

مدل های رگرسیونی (میانگین گیری) و انواع آن ها

یکی از روش ها و مدل های آماری، مدل های رگرسیونی هستند که به طور کلی امکان شناسایی و کمی نمودن رابطه بین متغیر مستقل و متغیرهای وابسته را به ما می‌دهد. در بین مدل های آماری رگرسیونی، روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی، رسمی‌ترین و ساده ترین روش است. این روش در جستجوی این است که ضریب های مدل مقادیری به دست بیاورند که بررسی های مدل رگرسیونی علاوه بر اینکه به مشاهدات افراد بیشترین شباهت و نزدیکی (کم ترین خطای بررسی) را دارند، دارای بزرگ ترین R^2 (ضریب همبستگی) هم باشند. در این مدل سازی فرض مورد نظر این است که پارامتر های مدل آماری نسبت به مکان مورد مطالعه (مختصات جغرافیایی) ثابت باشند، در نتیجه مقدار متغیر یا پارامتر وابسته که توسط این مدل تخمین زده می شود برای همه نقاط منطقه مورد نظر مقداری یکسان را تخمین می زند که این امر از معایب این روش در مدل سازی مکانی به حساب می‌آید (Erfanian و همکاران، ۲۰۱۳). R^2 میزان درصد واریانس متغیر وابسته که توسط متغیرهای مستقل تبیین می شود را بیان می‌کند. اگر میزان ضریب تعیین ۱ شود یعنی خط رگرسیون دقیق توانسته تغییرات متغیر وابسته را به تغییرات متغیر های مستقل مرتبط کند و اگر ضریب تعیین برابر ۰ باشد نشان دهنده عدم توانایی رگرسیون در برآورد تغییرات متغیر وابسته از روی متغیر های مستقل است (Asakereh, 2018).

مدل شبکه عصبی مصنوعی

مدل آماری دیگر که در این رابطه مورد استفاده قرار گرفته است مدل سازی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی هستند که ابزار ریاضی ای هستند که با الگو برداری از سیستم بیولوژیک ساخته شده اند و قدرت انعطاف و اصلاح پذیری خوبی در تطبیق خود با داده های ورودی مدل دارند. به طوری که توانایی سازمان دهی دارند و هماهنگی و منظم بودن بین داده ها را پیدا می کنند و براساس بردار های داده شده به مدل احتمال انجام و بزرگ بودن پدیده ای را پیش بینی می کنند. ساختار این مدل به این گونه است که سه لایه با نام های لایه ورودی، لایه میانی پنهان و لایه خروجی دارد، لایه ورودی انتقال دهنده است و برای تهیه کردن داده هاست، لایه خروجی دارای مقادیر تخمین زده شده توسط مدل است و لایه میانی محلی برای پردازش داده ها است (سلیقه و کاخکی مهنه، ۱۳۹۴).

مدل های خطی تعمیم یافته^۲

مدلی دیگر تحت عنوان مدل های خطی تعمیم یافته هستند که گسترش یافته مدل های رگرسیون معمولی هستند و در برخورد با توزیع غیر نرمال متغیر پاسخ و مدل بندی تابع میانگین آن به کار می روند (قربانی و همکاران، ۱۳۹۷). این مدل یک مدل پارامتری است. در این مدل فرمول ارائه می شود و رابطه بین متغیر های بیان شده و پاسخ به وسیله پارامتر بر آورد شده رگرسیون به اضافه فواصل اطمینان سنجش می شود. مدل های خطی تعمیم یافته برای زمانی که مشاهدات به صورت نرمال توزیع پیدا نکرده اند و همین طور مواقعی که دیگر روش های مدل رگرسیون مناسب نمی باشند، ابداع شدند (جعفریان و کارگر، ۱۳۹۶). مدل های خطی تعمیم یافته با اینکه دامنه گسترده ای از داده ها را شامل می شوند ولی بسیاری از محققان به دلیل ناآشنایی با این مدل ها تاثیرات تصادفی در مدل را نادیده می گیرند و این کار باعث می شود که بعضی از پارامتر ها به اشتباه معنی دار شوند، استفاده درست از این مدل ها باعث می شود از بسیاری از این نتایج اشتباه در تحقیقات جلوگیری شود (فلاح زاده و اسدی، ۱۳۹۸).

مدل جمعی تعمیم یافته^۳

مدل جمعی تعمیم یافته یکی از روش های مهم آماری است که در ۴۰ سال گذشته گسترش پیدا کرده است. این مدل یک مدل ناپارامتری بوده و بسط مدل های خطی تعمیم یافته می باشد. مدل جمعی تعمیم یافته روش بسیار مناسبی را برای تجزیه و تحلیل داده ها و بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل و پاسخ ارائه می دهد. در مدل های جمعی تعمیم یافته بر خلاف مدل رگرسیون خطی اجازه داده می شود داده ها شکل منحنی پاسخ را مشخص کنند (جعفریان و کارگر، ۱۳۹۶). مدل های جمعی تعمیم یافته کلاس قدرتمندی از مدل ها را برای مدل سازی اثرات غیر خطی متغیرهای کمی پیوسته، در مدل های رگرسیونی با پاسخ های عضو توزیع های خانواده نمایی، فراهم می کند.

روش آماری Random forest (الگوریتم جنگل تصادفی)

مدل جنگل تصادفی (RF) یک روش گروهی است که چند الگوریتم درختی را برای به وجود آوردن یک پیش بینی پی در پی از هر پدیده ترکیب می کند. ترکیب درخت های تصمیم را روش های دسته جمعی می گویند. یک مجموعه دسته جمعی شامل

² Generalized Linear Model

³ Generalized Additive Model

تعدادی یاد گیرنده است که به آن ها یاد گیرنده های پایه گفته می شود. یاد گیرنده های پایه معمولاً از داده های آموزشی به وسیله یک الگوریتم یادگیری پایه ساخته می شوند که این الگوریتم یادگیری می تواند درخت تصمیم شبکه عصبی یا الگوریتم های یاد گیری دیگر باشد. RF می تواند الگوهای پیچیده را یاد بگیرد و ارتباط غیر خطی بین متغیرهای توضیحی و متغیرهای وابسته را در نظر بگیرد (نوروزی قوشبلاغ و ندیری، ۱۳۹۸). در بیانی دیگر جنگل تصادفی یک نوع مدرن از روش های درخت-پایه است که دارای تعداد فراوانی از درخت های کلاس بندی و رگرسیونی می باشد. همچنین یکی از روش های ناپارامتریک مناسب برای مدل سازی داده های پیوسته و گسسته روش درخت تصمیم است که از مشکلات این روش نوسانات بالای نتایج هر درخت است. به منظور کاهش این نوسانات، روش جنگل تصادفی پیشنهاد شده است. این مدل با استفاده از مجموعه ای از درخت ها با در نظر گرفتن تعداد فراوانی از داده ها مشاهده ای مستقل ساخته می شود (جوادی علی نژاد و همکاران، ۱۳۹۶).

نتیجه گیری

اثر شدید تغییرات آب و هوایی در زمینه گرم شدن زمین و همچنین آلودگی هوا یک تهدید بزرگ برای بیماران قلبی-عروقی و تنفسی و هشدار بزرگ برای محافظت از زمین به شمار می رود. در سال های اخیر، با توجه به روند صعودی آلودگی هوا در شهر های بزرگ انتظار می رود که آمار بیماران بستری شده قلبی-عروقی و تنفسی به عنوان یکی از تبعات این نوع از آلودگی زیست محیطی نیز سال به سال افزایش یابد که توجه هر چه بیشتر مسئولان و متخصصان امر را جهت کنترل آلودگی هوای کلانشهرها ضروری می سازد. لذا هدف از این پژوهش، بررسی روابط بین آلاینده های هوا و پارامتر های هواشناسی با میزان مرگ و میر بیماران قلبی-عروقی و تنفسی توسط روش های پیشرفته آماری است. بنابر نتایج بدست آمده از این بررسی به طور کلی می توان بیان نمود تغییرات کم و مختصر در غلظت و میزان آلاینده های هوا و برخی پارامتر های هواشناسی می تواند تاثیرات زیادی بر میزان مرگ و میر افراد به خصوص بیماران قلبی-عروقی و تنفسی داشته باشد. لذا می توان این اثرات سوء را با توجه و تمرکز هر چه بیشتر بر روی عوامل ایجاد و تولید آلاینده ها به میزان بیشتر و همچنین شرایط مختلف جوی، کاهش چشم گیری داد و کنترل نمود. در راستای تحقق کاهش اثرات مضر انواع آلاینده ها و شرایط مختلف جوی توصیه می شود که منابع متعدد آلاینده های هوا به طور گسترده شناسایی شده و همچنین شرایط مختلف جوی توسط پایگاه های مرتبط سنجیده شود و مورد بررسی قرار گیرد و پس از بررسی های لازم اقدامات مورد نظر جهت برقراری تعادل در شرایط انجام گیرد. همچنین این مطالعه نشان داد که الگوریتم جنگل تصادفی در بین مدل های آماری موجود جهت بررسی ارتباط میان آلودگی هوا و پارامترهای هواشناسی با سلامت انسان، دارای دقت بیشتری است. این الگوریتم می تواند به طور تاثیر گذاری بر روی پایگاه داده های بزرگ انجام بگیرد و قادر است با هزاران متغیر ورودی به مدل بدون حذف متغیری سر و کار داشته باشد. همچنین روش RF مزایای دیگر هم چون یاد گیری روابط غیر خطی، توانایی مقابله با داده های پرت و ساختگی، برآورد خطای غیر مرتبط داخلی و داشتن حساسیت کم تر در برابر گیر افتادن در کمینه محلی را دارا می باشد.

منابع

- ۱- احمدی، م، لشکری، ح، کیخسروی، ق، آزادی، م (۱۳۹۴). واکاوی عناصر هواشناسی ایستگاه های شمال شرق کشور، به عنوان نمایه ای از تغییر اقلیم. فصلنامه علوم محیطی، ۱ (۱۳)، ۱-۱۴.
- ۲- احمدیاسور، ا، اله آبادی، ا (۱۳۹۰). سنجش میزان آلاینده های هوا در شهر سبزوار. دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، ۲ (۱۸)، ۱۴۷-۱۴۰.

- ۳- اسدزاده، ن، هاشمی، م، دولتی، م، کرمانی، م (۱۳۹۳). بررسی روند تغییرات آلاینده‌های هوا و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی در شهر بجنورد در سال ۱۳۹۳. مجله ره آورد سلامت، سال سوم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶.
- ۴- اسکندری دامنه، ه، اسکندری دامنه، ح، صیادی، ز، خورانی، ا (۱۴۰۰). ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی عمق نوری و داده‌های اقلیمی در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۹ (مطالعه موردی: کشور ایران). نشریه علمی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۲۸، شماره ۴، صص ۷۷۲-۷۸۶.
- ۵- اسماعیلی، ر (۱۳۹۷). نواحی همگن آلودگی هوای شهر مشهد. مجله مخاطرات طبیعی، ۱۶ (۷)، ۲۴۰-۲۲۷.
- ۶- اسمعیلی، م، شکوهی، ع (۱۳۹۴). سنجش تأثیر آلودگی هوا بر سلامت روان شهروندان (نمونه موردی مجتمع مسکونی قائم زنجان). کنفرانس بین المللی انسان، معماری، عمران و شهر، تبریز، <https://civilica.com/doc/409620>.
- ۷- بزی، ح، ابراهیمی، ح، امین نژاد، ب (۱۴۰۰). اثر تغییر اقلیم بر تغییرات تبخیر از سطح چاه نیمه‌های سیستم. علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۲۳، شماره ۱۲، اسفند ۱۴۰۰، صص ۱۳۵-۱۲۱.
- ۸- بهادری، ع، عطابی، ح، نوروزی، ف، مساعدی، پ (۱۳۹۲). بررسی نقش عناصر جوی بر سلامت انسان (مطالعه موردی بوشهر)، دومین همایش ملی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست، ارومیه.
- ۹- بیات، ع، عصار عنایتی، ا، توشنی، ع. (۱۴۰۰). صحت سنجی پارامتر عمق اپتیکی هواویز سنجنده‌های کالیوپ، مادیس، میزر و امی باشید سنج خورشیدی در شهر زنجان. علوم جغرافیایی، ۶۲، ۲۰۱-۲۱۹.
- ۱۰- سلیقه، م، کاخکی مهنه، ح (۱۳۹۴). بررسی روابط بین عناصر آب و هوایی و نوسانات آلودگی هوا (مورد: شهر مشهد). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۴ (۴)، ۹۴-۷۷.
- ۱۱- جوادی علی نژاد، م، سیدیان، س، م، روحانی، ح، فتح آبادی، ا (۱۳۹۶). مدل سازی تصادفی بار رسوب با استفاده از جنگل تصادفی و رگرسیون چندک. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۴ (۲۴)، ۱۲۲-۱۰۳.
- ۱۲- جهان بخش اصل، س و روشنی، ر (۱۳۹۳). بررسی شرایط الگوی سینوپتیکی حاکم بر وضعیت‌های وارونگی دمای بسیار شدید شهر تبریز. نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، ۱۸ (۴۸)، ۸۱-۹۶.
- ۱۳- حیدرزاده، م، رستگاری، م، موسی زاده نمینی، ا، ارغیانی، ع (۱۳۹۶). بررسی تغییرات غلظت آلاینده ذرات معلق PM2.5 در ایستگاه‌های سنجش اداره کل حفاظت محیط زیست استان تهران در سال. ششمین همایش ملی مدیریت آلودگی- هوا و صدا، تهران <https://civilica.com/doc/754399>.
- ۱۴- حیدری، ح، مرادی، ه، طالبی، ر (۱۳۹۳). بررسی و مقایسه عناصر اقلیمی موثر بر بروز بیماری‌های تنفسی در مناطق کوهستانی و دشت (مطالعه موردی: استان ایلام). مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۱۵ (۷)، ۱۲۵-۱۴۰. <https://civilica.com/doc/316713>.
- ۱۵- خشک دامن، ر (۱۳۹۶). اثرات آلاینده‌گی ازن بر محیط زیست و انسان. اولین همایش بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی HSE همدان. <https://civilica.com/doc/678876>.
- ۱۶- داستانی، ک، خداپگان، ح، حسن پور جبری، ز، بهزادی، فرهاد (۱۳۹۸). سایه سنگین آلاینده‌های هوا بر سلامتی انسان. فناوری، دانشگاه صنعتی شریف (صص. ۶۰-۶۵).
- ۱۷- رحمتی، م، مغانی، و، وصال، م (۱۳۹۹). بررسی اثر کوتاه مدت آلودگی هوا بر مرگ و میر در شش کلان شهر در ایران ۱۳۹۹. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)، سال بیستم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۹، صص ۷۶-۵۳.
- ۱۸- رزمی، ر، اشرفی، س (۱۳۹۲). تحلیل تغییرات بارش‌های سنگین و فوق سنگین تبریز. دومین کنفرانس بین المللی مخاطرات محیطی، تهران، <https://civilica.com/doc/307373>.

- ۱۹- روشنی، م، عباسیان، م، نادری، م. گزارش سالانه کیفیت هوای تهران در سال ۱۳۹۶. مرکز چاپ نشر شهر، تهران. ۱۳۹۷.
- ص
- ۲۰- زینالی، ب، شکرزاده فرد، ا، پیروزی، ا (۱۳۹۷). ارزیابی و پهنه بندی آلودگی هوا با استفاده از مدل VIKOR (مطالعه موردی: شهر تبریز). مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۱۵ (۷)، ۶۷-۸۸.
- ۲۱- سیادت، س م ح، دهقان طرزه، ز، ملاحی، م، پرهمت، ز (۱۳۹۶). عاقلانه ترین و اصولی ترین راهکار جهت کاهش موثر ریزگرد ها و آلودگی هوا، چهارمین کنفرانس بین المللی برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.
- ۲۲- شبانی، ش، عزتیان، و (۱۳۹۰). رابطه بین بیماری ها با عناصر اقلیمی و الاینده های جوی در استان اصفهان. دوره ۲۰، شماره ۸۰، بهمن ۱۳۹۰، صص ۴۷-۵۶.
- ۲۳- شکرزاده فرد، ا (۱۳۹۳). کاربرد روش ELECTRE در سطح بندی پتانسیل تراکم الاینده های هوا در سطح شهر تبریز. پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته جغرافیای طبیعی گرایش آب و هوا، گروه آموزشی جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی.
- ۲۴- شیخ بیگلر اسلام، ب (۱۳۹۸). پیامدهای تغییر اقلیم جهان بر سلامتی روان. همایش بین المللی تغییر اقلیم، پیامدها، سازگاری و تعدیل، تهران، <https://civilica.com/doc/101968>.
- ۲۵- طالبی، ع، پورمحمدی، س، رحیمیان، م (۱۳۸۹). بررسی عوامل موثر در تبخیر و تعرق مرجع، با استفاده از آنالیز حساسیت معادله فائو-پنمن-مانیت مطالعه موردی: ایستگاه های یزد، طبس و مروست. پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، پاییز ۱۳۸۹، صص ۹۷-۱۱۰.
- ۲۶- عبدالحسینی، ن، ذوالقدری، ش (۱۴۰۰). مروری بر پدیده آلودگی هوا در ایران؛ علت ها، تاثیرات و راه کارهای قانونی. مجله علمی-تخصصی دانشجویی زیست سپهر، ۲ (۱۴)، ۴۶-۵۶.
- ۲۷- عبدمنافی، د، حجام، س، مشکوتی، ا، وظیفه دوست، م (۱۳۹۷). تاثیر آلودگی های ذره ای هوای تهران بر روی مشخصه های ابر و بارش. علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۱، دوره ۲۰، صص ۱۱۹-۱۳۰.
- ۲۸- عتابی، ف، عرفانی، م، بذرافشان، ا (۱۳۹۵). ارزیابی آلاینده های هوا و تعیین شاخص کیفیت هوا در شهر زاهدان. <https://civilica.com/doc/1289126>.
- ۲۹- عطافر، ز، زائی، ی، کرمی، ا، سرخوش، م (۱۳۹۷). بررسی اثر غلظت (PM10) بر میزان پذیرش اورژانس بیمارستان های شهر کرمانشاه طی سال های ۹۶-۱۳۹۳. دومین همایش بین المللی گرد و غبار، ۱۳۹۷.
- ۳۰- عقیلمند، ف (۱۳۹۳). بررسی تاثیر پارامترهای جوی بر پتانسیل آلودگی هوای شهر تبریز. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه آب و هواشناسی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز.
- ۳۱- غیاث، م، شرقی، م (۱۳۹۷). نقش پارامترهای اقلیمی بر سلامت و بیماری های روحی و روانی افراد. مجله ی طب سنتی اسلام و ایران، سال ۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷.
- ۳۲- فتحی زاده، ح، غلامی نیا، ا، مبین، م ح، سودائی زاده، ح (۱۳۹۵). بررسی روابط بین خشک سالی هواشناسی و متغیرهای خورشیدی در برخی از ایستگاه های همدیدی ایران. مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۱۲ (۶)، ۶۳-۸۸.
- ۳۳- فشکی، م، و سیفان، پ (۱۳۹۹). مطالعه و بررسی ارتباط مرگ و میر جمعیت شهر تهران با آلودگی هوا طی سال های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹. یازدهمین همایش سراسری محیط زیست انرژی و منابع طبیعی پایدار.

- ۳۴- قربانی سپهر، آ، امرایی، م، قالوجه، م، دانشور، پ (۱۳۹۹). بررسی اثر تغییر اقلیم بر آلودگی هوای کلانشهرها. جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۳، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۹.
- ۳۵- کیخسروی، ق، لشکری، ح، (۱۳۹۳)، تحلیل رابطه بین ضخامت و ارتفاع وارونگی و شدت آلودگی هوا در شهر تهران، نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، ۴۹ (۱۸)، ۲۳۱-۲۵۷.
- ۳۶- گراوندی، س، گودرزی، غ، سلطانی، ف، دوبرادران، س، سلمانزاده، ش، کمایی، س، و همکاران (۱۳۹۵). آلاینده دی اکسید گوگرد و اثرات آن در بروز موارد بیماری و مرگ در میان شهروندان شهر بوشهر. طب جنوب. ۱۳۹۵؛ ۱۹ (۴): ۵۹۸-۶۰۷ (۱-۶-۲).
- ۳۷- محبوب فر، م، رامشت، م ح، یزدان پناه، ح، ا، اذانی، م (۱۳۹۷). سهم مدیریت وارونگی اقلیمی در کنترل آستانه ی شاخص کیفیت هوای شهری (مطالعه موردی: شهر اصفهان). پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۲ (۵۰)، ۲۷۰-۲۵۵.
- ۳۸- محقق، ش، حاجیان، م (۱۳۹۲). ورزش و آلودگی هوا. مجله علمی سازمان نظام پزشکی جمهوری اسلامی ایران، دوره ۳۱، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲: ۲۳۷-۲۴۹.
- ۳۹- محمدی، پ، چراغیان فرد، ش، محمدی، ط، مرتضایی، ز (۱۳۹۴). مروری بر مقادیر و اثرات گاز مونوکسیدکربن بر انسان و محیط زیست. اولین کنفرانس ملی علوم و مدیریت محیط زیست، اردیبهشت <https://civilica.com/doc/432327>.
- ۴۰- محمدی، ح، خوش اخلاق، ف، گلی زاده، ن (۱۳۹۴). واکاوی آماری آلاینده از های هوا و عناصر جوی با فوت شدگان ناشی از بیماری های قلبی شهر تهران. مطالعات برنامه ریزی سکونتگاه های انسانی، سال دهم، شماره ۳۳، زمستان ۱۳۹۴، صص. ۱۱-۱.
- ۴۱- محمدی، م، گودرزی، غ، احمدی انگالی، ک، محمدی، ب، سلیمانی، ز، بابایی، ع، نیسی، ع، گراوندی، س (۱۳۹۱). برآورد تعداد موارد مرگ قلبی-عروقی، سکته قلبی و بیماری مزمن انسداد ریوی (COPD) ناشی از در معرض قرار گرفتن با آلاینده دی اکسید نیتروژن (NO₂) با استفاده از مدل Air Q در هوای شهر اهواز در سال ۱۳۸۸. مجله سلامت و محیط، دوره ششم، شماره اول، بهار ۱۳۹۲، صص ۹۱-۱۰۲.
- ۴۲- محمدیان، ع، احتشامی، م (۱۳۹۷). آنالیز و پتانسیل پاکسازی آلودگی هوای شهر تهران. کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران تهران، دانشگاه تهران.
- ۴۳- مشکینی، ا، آزادی قطار، س، رکن الدین افتخاری، ع، مصطفوی، ا، احدنژاد روشتی، م (۱۳۹۵). تحلیل ارتباط بین الگوی جغرافیایی سرطان ریه و آلودگی هوا در ساختار فضایی شهر تهران. فصل نامه تحقیقات جغرافیایی. ۱۳۹۵؛ ۳۱ (۴): ۷-۲۳.
- ۴۴- منصوری سراب بادیه، ط، صدقی، ح، صارمی، ع، نادری کرونندان، چ (۱۳۹۴). عوامل ایجاد کننده تغییر اقلیم با تاکید بر-بحران آب و راهکارهای مقابله با آن، کنفرانس بین المللی علوم و مهندسی، <https://civilica.com/doc/424332>.
- ۴۵- موسوی، س ح، حافظی، م ر (۱۳۹۶). ایروودینامیک شهری، مروری بر آلودگی هوای شهر ها. کنفرانس بین المللی عمران، معماری و شهرسازی ایران معاصر ایران-تهران.
- ۴۶- میوانی، ف، اکبری، ا، با عقیده، م (۱۳۹۳). ارتباط بین شاخص های آسایش حرارتی و مرگ و میر ناشی از بیماری های قلبی. مجله دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی مشهد، ۸ (۵۷)، ۹۴۲-۹۳۳.
- ۴۷- نوروزی قوشبلاغ، ح، ندیری، ع ا (۱۳۹۸). پیش بینی سطح آب زیرزمینی دشت بوکان با استفاده از مدل های منطق فازی، جنگل تصادفی و شبکه عصبی. مرتع و آبخیز داری، مجله منابع طبیعی ایران، ۱ (۷۲)، ۳۰۶-۲۹۱.
- ۴۸- یزدان پناه، ح، صالحی فرد، ع، گلشاهی، ج (۱۳۹۴). بررسی تاثیر امواج گرمایی بر تعداد مراجعات قلبی عروقی شهر بند عباس. فصلنامه علمی -پژوهشی برنامه ریزی فضایی (جغرافیا)، سال پنجم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴.

49. Adedeji O, Reuben O, Olatorye O (2014). Global climate change. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2(02). 114.
50. Ashrafi k, Ahmadi Orkomi A (2014). Atmospheric stability analysis and its correlation with the concentration of air pollutants: A case study of a critical air pollution episode in Tehran. *Iranian Journal of Geophysics*, 8(3).
51. Barreca.A, Clay. K, Deschenes. O, Greenstone. M, Shapiro JS, (2013), Adapting to Climate Change: The Remarkable Decline in the U.S. Temperature- Mortality Relationship over the Century. *MIT Center for Energy and Environmental Policy Research*, 12(9): 1-3.
52. Bernatsky S, Smargiassi A, Johnson M, Kaplan G.G, Barnabe C, Svenson L (2015). Fine particulate air pollution, nitrogen dioxide, and systemic autoimmune rheumatic disease in Calgary, Alberta. *Journal Environmental Research*. Vol. 140, pp: 474-478.
53. Hannah L. (2015). The climate system and climate change. *climate change biology* (Second Edition). Academic Press, Boston, 13-53.
54. Hansel, N. N., McCormack, M. C., Kim, V (2016). The effects of air pollution and Temperature on COPD. *Copd*, 13(3), 327-379.
55. Javanbakht Amiri S, Khatemi H (2012). The relationship between pollution index air quality and meteorological parameters in Tehran regression analysis approach. *Islamic Azad University Science and Research Branch of Tehran*. 10(1): 15-28. (in Persian)
56. Khodakarami J, Nouri Sh, Mansouri R (2020). Influence of Tall Buildings on the Distribution of Particulate Matter and Air Pollution in the Environment around Them. *Naqshejahan-Basic studies and New Technologies*, 10(3): 193-203.
57. Leili M, Bahrami Asl F, Hesam M, Molamahmoudi M, Salahshour Arian S. Estimation of Diseases and Mortality Attributed to Atmospheric NO₂ and SO₂ Using AirQ Model in Hamadan City, Iran. *Sci J Hamadan Univ Med Sci*. 2017; 23 (4):314-322.
58. Leukauf D, Gohm A, Mathias W, Johannes S (2015). The Impact of the Temperature Inversion Breakup on the Exchange of Heat and Mass in an Idealized Valley: Sensitivity to the Radiative Forcing, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 54: 2199.
59. Liu Y, Zhou Y, Ku J (2020). Exploring the relationship between air pollution and meteorological Conditions in China under environmental governance. *Scientific Reports*, 1-11.
60. Long Chen, J; Sheng Li, G; Sheng-Jun, W. (2013). Assessing the potential of support vector machine for estimating daily solar radiation using sunshine duration *Energy Conversion and Management*, pp. 311-318.
61. Orru H, Lovenheim B, Johansson C, Forsberg B. Potential health impacts of changes in air pollution exposure associated with moving traffic into a road tunnel. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2015; 25(5):524-31.
62. Reidy, ch. (2016). *Climate Change*.
63. Rongxian Z, Shi C, Weiye W, Jiao H, Wang K, Li L.S.W (2017). The impact of short-term exposure to air pollutants on the onset of out-of-hospital cardiac arrest: A systematic review and meta-analysis *International Journal of Cardiology*. 226: 110-7.
64. Tian. Zh, Li. Sh, Zhang. J, Jaakkola.j and Guo.Y, (2012), Ambient temperature and coronary heart diseasemortality in Beijing, China: a time series study, *Environmental Health*: 11(56); 1-7.
65. WHO, Ambient (outdoor) air quality and health (2015); Available from: <http://www.who.int/media/Centre/factsheets/fs313/en/>
66. Zahrabi N, Massah Bavani A, Goodarzi E, Heidarnajad M (2016). Identify Trend in the Annual Temperature and Precipitation in Karkheh River Basin. *Wetland Exobiology*. 8(2): 5-22. (In Persian)

