دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده: **هوا فضا**

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته تحصیلی: **آیرودینامیک**

عنوان

بررسی آیرودینامیکی پخش آلودگی در هوا توسط روشهای عددی

استاد راهنما

علیرضا جهانگیریان

دانشجو

مهدی ابراهیمی

چکیده:

در این پایان نامه با استفاده از روشهای دینامیک سیالات محاسباتی(CFD) و بهره گیری از محیط نرم افزارهای فلوئنت و گمبیت، نحوهٔ انتشار و میزان غلظت آلاینده در نقاط مختلف میدان که هر بار یکی از پارامترهای موثر از جمله ارتفاع دودکش، قطر دهانه دودکش، سرعت باد، دبی آلاینده‌های خروجی و سایر مشخصات مرتبط تغییر داده می‌شود، محاسبه شده است. سپس به کمک مدل تئوری گوس برای چند نمونه مقایسه‌ای بین نتایج حاصل صورت می‌پذیرد.

در ادامه به مدلسازی گازهای خروجی از نیروگاه بخار بعثت به عنوان یک نمونه که هر ساله حجم عظیمی از گازهای سمی بخصوص گاز SO_2 را وارد هوای شهر تهران می‌نماید پرداخته شده است. سپس از مدلهای بدست آمده بمنظور تهیه هندبوکی که در شرایط متفاوت جوی و کارکرد دودکش‌ها، یک سری اطلاعات مفید را از جمله تعیین رفتار گازهای خروجی، تعیین نقاط نشست آلاینده‌ها بر روی سطح زمین، تعیین کمربندی که غلظت آلاینده‌ها بیش از حد استاندارد است، تأثیر شرایط جوی بر نحوهٔ پخش آلاینده‌ها و تأثیر چیدمان دودکش ها بر غلظت آلاینده‌ها را در اختیار کاربر قرار می‌دهد، استفاده خواهد شد.

کلمات کلیدی: مدلسازی عددی، انتشار آلاینده‌ها، دودکشهای صنعتی، مدل گوس، نیروگاه بعثت.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول

مقدمه و بررسی انواع آلاینده‌های منتشره از واحدهای صنعتی

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بررسی مساله از دیدگاه محیط زیست ٦

۱-۲-۱- تاریخچه اهمیت آلودگی هوا ۷

۱-۲-۲- طبقه بندی آلا ینده های هوا ۸

۱-۳-انواع نیروگاهها ۹

۱-٤- بررسی روشهای مختلف در مدلسازی نحوه انتشار آلا ینده‌های خروجی از دودکش صنایع ۱۲

۱-٤-۱- روشهای تجربی ۱۲

۱-٤-۲- روشهای تحلیلی ۱۵

۱-٤-۳- روشهای عددی ۲۰

فصل دوم

حل عددی جریان سیال و مبانی مدل سازی

۲-۱- مقدمه ۳۲

۲-۲- امتیازات یک محاسبه عددی ۳۲

۲-۳- نارسایی‌های یک محاسبه تئوری ۳٤

۲-٤- معادلات دیفرانسیل کلی ۳٤

۲-۵- مدل اغتشاشی ۳٦

۲-۵-۱- مدلهای تلاطم بر پایه لزجت گردابهای ۳۷

۲-۵-۲- مدلهای تلاطم بر پایه محاسبه مستقیم تنشهای رینولدز از معادلات ۳۸

۲-٦- مدل سازی ریاضی و مفهوم انفصال ٤۱

۲-۷- تعیین پروفیل سرعت جریان باد ٤۳

۲-۸- شرایط مرزی ٤۷

۲-۹- تولید شبکه محاسباتی ٤۷

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل سوم

مدلسازی جریان گازهای خروجی از دودکشهای صنعتی و بررسی پارامترهای موثر در نحوه انتشار آنها

۳-۱- مقدمه ۵۵
۳-۲- مدل سازی طرح ۵۵
۳-۲-۱- مدل سازی بکمک روشهای عددی ۵۶
۳-۲-۲- مدل سازی به کمک روش گوس ۵۹
۳-۲-۳- مقایسه نتایج حاصل از مدل گوس و روش عددی ۶۲
۳-۳- بررسی نتایج حاصل از مدلسازی عددی پخش آلاینده‌ها از دودکشهای صنعتی ۶۷
۳-۳-۱- تاثیرات سرعت باد بر نحوه پخش آلاینده ها در اتمسفر ۶۷
۳-۳-۲- تاثیرات ارتفاع موثر دودکش بر نحوه پخش آلاینده ها در اتمسفر ۶۸
۳-۳-۳- تاثیرات نحوه چیدمان دودکشها بر پخش آلاینده ها در اتمسفر ۷۱
۳-۳-٤- تاثیرات قطر دهانه و یا سرعت گازهای خروجی بر نحوه پخش آلاینده ها در اتمسفر ۷۳
۳-۳-۵- تاثیرات اختلاف دمای محیط و سرعت گازهای خروجی بر نحوه پخش آلاینده ها در اتمسفر ۷۳

فصل چهارم

بررسی نتایج حاصل از مدلسازی عددی جریان سیال خروجی از دودکشهای نیروگاه بعثت

٤-۱- مقدمه ۷۵
٤-۲- معرفی نیروگاه بعثت ۷۵
٤-۳- بررسی منطقه محل استقرار نیروگاه بعثت از نظر منابع آلاینده ۷۶
٤-٤- مشخصات دودکشها و گازهای متصاعد شده ۷۹
٤-۵- اطلاعات هواشناسی ۸۲
٤-٦- مدلسازی نحوه انتشار آلایندهها از دودکشهای نیروگاه بعثت ۸٤
٤-۷- بررسی نتایج حاصل از مدلسازی عددی پخش آلاینده ها از نیروگاه بعثت ۹۰
٤-۷-۱- اثرات افزایش سرعت باد بر غلظت گاز SO_2 در هوای منطقه ۹۰
٤-۷-۳- اثرات افزایش سرعت باد بر غلظت ذرات معلق PM_{10} در هوای منطقه ۹۳
٤-۷-٤- اثر چیدمان دودکشها بر نحوه پخش آلاینده ها در اتمسفر ۹۷

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل پنج

راه کارها و پیشنهادات

۵-۱- مقدمه ۹۹

۵-۲- پیشنهاداتی جهت کاهش نشر آالاینده ها به کمک نتایج حاصل از این تحقیق ۹۹

۵-۲-۱- افزایش ارتفاع موثر دودکش بمنظور کاهش غلظت آلاینده ها در سطح زمین ۹۹

۵-۲-۲- بازنگری و انجام پروژه های تحقیقاتی مشابه در سالهای آتی ۱۰۰

۵-۲-۳- بررسی شرایط جوی هر منطقه در طراحی و آلودگی سنجی نیروگاهها ۱۰۰

۵-۲-٤- بررسی تاثیر مناطق شهری متراکم بر نحوه انتشار آلاینده ها ۱۰۰

۵-۳- پیشنهاداتی جهت بهبود زیر بنایی کیفیت هوا ۱۰۱

۵-۳-۱- پیشنهادات برای کنترل موقت آلودگی هوا ۱۰۱

۵-۳-۲- پیشنهاداتی برای تغییرات زیربنایی و دراز مدت ۱۰۱

۵-٤- کنترل آلودگی ناشی از نیروگاه بعثت ۱۰۲

فصل اول

مقدمه و بررسی انواع آلاینده‌های منتشره از واحدهای صنعتی

۱-۱- مقدمه

امروزه در اکثر جوامع بشری به علت شهر نشینی و توسعه صنایع، جمعیت های بزرگی در محدوده‌ای کوچک گرد هم آمده‌اند که مستقیماً تحت تاثیر آلوده کننده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرند، بنابراین شهرنشینی و توقع استانداردهای بالای زندگی با حداقل قیمت، بدون توجه به اثرات زیست محیطی ناشی از آن و پراکندگی صنایع کوچک و بزرگ در شهرها بدون هیچگونه اسلوب توسعه شهری باعث افزایش غلظت آلودگی در حد خطرناک و قابل توجه گردیده است. بنابراین با توجه به وجود واحدهای صنعتی در داخل و نزدیکی بسیاری از شهرها و جوامع انسانی، بررسی و شناسایی اثرات این واحدها، تعیین غلظت آلاینده‌های ناشی از فعالیت آنها و تلاش در دستیابی به راه‌های به حداقل رساندن آلاینده‌ها می‌تواند گامی مثبت در جهت کاهش روند آلودگی در حفظ محیط زیست تلقی گردد. علاوه بر این مراکز ذیصلاح می‌توانند از این بررسی‌ها در جهت اتخاذ سیاست کلی تولید انرژی و تدوین استانداردهای این صنعت بهره‌مند گردند. به این ترتیب به جهت جلوگیری از احداث مکان‌هایی مرتبط با امور کودکان، سالمندان و مواردی مشابه، شناسایی دقیق نحوهٔ انتشار گاز خروجی از دودکش صنایع مختلف و تعیین اولین نقاط تماس آلاینده با سطح زمین همچنین تعیین کمربندی که ماکزیمم غلظت آلاینده‌ها در آن محدوده اتفاق می‌افتد از اهمیت بسزایی برخوردار است و هر گونه اقدام در این بخش می‌تواند به ابتکاراتی در زمینه های تکنولوژی، سیاسی، اجتماعی و تدوین مقررات و استانداردهائی مفید منجر شود.

در این میان با توجه به سهم بالای مصرف سوختهای فسیلی در نیروگاه‌های کشور، به عنوان نمونه این بخش از صنعت در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است (نتایج حاصل قابل تعمیم به سایر دودکش‌های صنعتی نیز می‌باشد) بطوری که بنا به آمار منتشره از موسسه تحقیقاتی تولید برق وزارت نیرو، قریب به یک چهارم کربن و یک دهم اکسیدهای ازت منتشره در هوا متعلق به نیروگاه‌های برق می‌باشد که حدود ۸۵ درصد از نیروی این واحدها توسط سوختهای فسیلی تأمین می‌شود. از منظر مقایسه‌ای این بخش درمیان منابع و صنایع مختلف، پس از بخش حمل و نقل، بیشترین سهم را در آلوده سازی محیط زندگی انسان به خود اختصاص می‌دهد. همچنین با توجه به آنکه تولید انرژی الکتریکی عمدتاً در نیروگاه‌های حرارتی با استفاده از سوخت های فسیلی صورت می‌گیرد که حاصل فرایند احتراق در آنها، تولید و انتشار آلاینده‌های زیست محیطی نظیر اکسیدهای کربن، خاکستر فرار، ذرات نسوخته یا نیم‌سوز سوخت، اکسیدهای گوگرد، اکسیدهای

ازت و گازهای ناشی از سوخت ناقص مثل هیدروکربونها می‌باشند(تمام این ترکیبات سمی، خطرناک و گاه سرطان‌زا هستند)، بنابراین هر گونه شناخت از نوع، مقدار و چگونگی پراکنش گازهای آلاینده حاصل از دودکشهای صنعتی می‌تواند به روشن شدن بخش قابل ملاحظه‌ای از آلودگی ایجاد شده در محیط زیست منجر شود. ضمناً هر گونه اقدام در این بخش از صنعت می‌تواند به شدت میزان انتشار آلاینده‌ها را تحت تاثیر قرار دهد.

این موضوع در مستندات شورای جهانی انرژی نیز به روشنی ترسیم شده است. طبق پیش بینی‌ها، مصرف جهانی انرژی هر ده سال یکبار دو برابر می‌شود و در این افزایش مداوم، مصرف انرژی الکتریکی بیشترین سهم را دارد. سهم انرژی الکتریکی از کل انرژی از سال ۱۹۵۰ تا سال ۲۰۰٦ از ۲۰ درصد به ٤۲ درصد رسید و پیش بینی می شود در سال ۲۰۵۰ به ۷۰ درصد برسد.

در کشور عزیزمان ایران نیز، روند توسعه در عرصه صنعت برق در سالهای پس از انقلاب بسیار چشمگیر است. کافی است توجه کنیم که قدرت نصب شده نیروگاه‌ها در پایان سال ۱۳۵۷ تنها ۷ هزار مگاوات بود. طی این سال‌ها همه شاخص‌ها منجمله میزان قدرت سرانه، تولید سرانه انرژی برق و ضریب بار افزایش یافته به طوریکه قدرت نصب شده نیروگاهی کشور در مقایسه با سال ۵۷ به ٦ برابر رسید و تولید برق نیز به نسبت ۲۸ سال گذشته ۱۰ برابر افزایش یافته است، هم اکنون ظرفیت نصب شده برق کشور حدود ٤۷ هزار مگاوات است که با توجه به پیش بینی‌های صورت گرفته توسط وزارت نیرو، این میزان تا پایان سال جاری به ۵۰ هزار مگاوات افزایش می‌یابد. اما توسعه در این بخش از صنعت بالطبع افزایش در میزان مصرف سوخت و افزایش آلودگی را به همراه خواهد داشت بطوری که در سال ۱۳۷۵ برای تولید ۲۲/۵ هزار مگاوات ۱۰۱٤ میلیون لیتر گازوئیل، ۷٤٤٦ میلیون لیتر نفت گاز و ۱۳٤٤۳ میلیون متر مکعب گاز مورد استفاده قرار گرفته است که در سال ۸۰ به ترتیب به مقادیر ۱٦۱۸و ٦۷۹۹ میلیون لیتر و ۲٤۰۱ میلیون متر مکعب و در سال ۱۳۸۵ به ترتیب به مقادیر ۲۸۱۳ و ٦۸۱۲ میلیون لیتر و ۳۳۹۷۷ میلیون متر مکعب افزایش یافته است. جدول شماره (۱-۱) میزان مصرف سوخت نیروگاه‌ها را طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ نشان می‌دهد[۱].

جدول۱- ۱- *میزان مصرف انواع سوخت در نیروگاههای کشور طی سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ بر حسب میلیون لیتر و میلیون متر مکعب*[۱].

سال	گازوئیل(میلیون لیتر)	مازوت(میلیون لیتر)	گاز(میلیون متر مکعب)
۱۳۷۵	۱۰۱٤	۷٤٤٦	۱۳٤٤۳
۱۳۷٦	۱۱٦۱	۷۰۳۸	۱٥٦۰٤
۱۳۷۷	۷۹٦	٤۸۷۰	۱۹٤۰۳
۱۳۷۸	۱۰۷۳	٥۹۳٦	۲۱۲۳٤
۱۳۷۹	۱۲٦۰	٦٤۹۲	۲۱۹۳۳
۱۳۸۰	۱٦۱۸	٦۷۹۹	۲٤۰۱۲
۱۳۸۱	۱٦۰۸	٦۲۷٥	۲٦٦۹۳
۱۳۸۲	۱٤۳۲	٤۹۳۸	۲۹٤۲۹
۱۳۸۳	۲۱۷۹	٥۷۳٦	۳۱۷۹٦
۱۳۸٤	۲٦۱۲	٦۳۲۹	۳۲۸۳۲
۱۳۸٥	۲۸۱۳	٦۸۱۲	۳۳۹۷۷

بنابراین با توجه به درصد قابل ملاحظه مصرف انواع سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها در مقایسه با سایر صنایع، به جرأت می‌توان گفت که این بخش از صنعت یکی از مهمترین منابع تاثیر گذار در تولید گازهای زیان آور را تشکیل می دهد. این مساله وقتی اهمیت بیشتری پیدا می کند که بسیاری از نیروگاه‌ها در فواصل نزدیک و حتی گاه در داخل شهرها واقع شده اند. جدول شماره (۱-۲) سهم انواع منابع آلودگی هوای کشور را به تفکیک نشان می‌دهد[۱].

جدول۱- ۲- سهم انواع منابع آلودگی هوای کشور بر حسب تن در سال[۱].

شرح	NO_X	SO_2	CO_2	SO_3	CO	CH	SPM
خانگی تجاری عمومی	۱۰۲۳٤٤	۸۸۲٦۰	۱۰۷۲۳۱٦۷۸	۹۳۹	۷۲۸۵۹	۱۲۳۲۹	۱۰۹۳۸
صنایع	۱۱۵۷۵۸	۱۲۱۵٦٦	۵۱٦۷۱۳۳۹	۱۷۸۵	۱۹۹۲۰	٦۷۱۲	۱۲۵٤٤
حمل و نقل	۷۵۳۸۰۸	۳۲۲۳۱۸	۹۷۱٦٤٦۵٦	۳٤۷۵	۷۸٤۵٦۳۲	۱۷٦۷٤۳۳	۲٤۹۲۳٤
کشاورزی	۵۸۱٦۸	۵۹٦۰٦	۹۸۱۷۳۵۲	۳٦۳	۱۸۰٤٤	٤۰۷۵٤	۲۵۳٤۷
نیروگاهها	۱۳۹۲۱۵	۱۲٤۱٤۲	۹۰۷٤۲۷٤٦	۱۸۹٤	۱۸۹	٤۸٦۵	۱۵۵۳۷
جمع	۱۱٦۹۲۹۳	۷۱۵۸۹۲	۳۵٦٦۲۷۷۷۱	۸٤۵٦	۷۵۹٦٦٤٤	۱۸۲۲۰۹۳	۳۱۳٦۰۰
درصد نیروگاهها	۱۲	۱۷	۲۵	۲۲	ناچیز	۰/۳	۵

شهر تهران نیز به عنوان یکی از آلوده‌ترین شهرهای دنیا در محاصره حجم عظیمی از آلوده کننده های هوا قرار گرفته است که گاه این منابع درست در دل شهر و در آلوده ترین مناطق آن قرار دارند. یکی از مهمترین این منابع نیروگاه بخار بعثت می‌باشد که در منطقه ١٦ تهران واقع شده است و هرساله حجم انبوهی از گازهای آلاینده را وارد هوای شهر می‌نماید.

با این وجود از سال ۱۳۷۵ به بعد که به کمک دستگاههای آلودگی‌سنج، میزان آلاینده‌های محوطه داخلی نیروگاه مورد اندازه گیری قرار گرفت، تقریباً هیچ اقدام جدی جهت شناسایی آلودگی نیروگاه بخار صورت نگرفته است. به این ترتیب در این تحقیق پس از بررسی یک سری پارامترهای تاثیر گذار بر نحوهٔ پخش آلاینده‌ها، از دهانه دودکشهای در محدوده صنعتی از جمله سرعت باد، ارتفاع دهانه، قطر دهانه، دمای خروجی گازها و سایر موارد مشابه به بررسی نیروگاه بعثت به عنوان یک نمونه پرداخته شده است و مدلی از نحوه انتشار نقاط با حداکثر آلودگی و نقاط اولین تماس آلاینده‌ها با سطح زمین ارائه می‌گردد.

۱-۲- بررسی مساله از دیدگاه محیط زیست

قرن بیستم و خصوصا نیمه دوم آن قرنی سرشار از تحولات سریع و بی‌سابقه در محیط زیست جهان بود. اثرگذاری انسان بر طبیعت اطرافش به جایی رسیده که دارای ماهیت و اهمیت جهانی شده و متاسفانه این تاثیرات از سرعت سرسام آوری نیز برخوردار گردیده است و دیگر تقریبا هیچ زیستگاه یا اکوسیستم طبیعی در سطح زمین وجود ندارد که لااقل اندکی دستخوش تغییر نگردیده باشد. اما تحولات زیست محیطی زاییده فعالیتهای بشری، اگرچه از دیر باز آغاز گردیده است اما هیچگاه به اندازه چند سال گذشته مورد توجه نبوده و نگرانیهای مجامع بشری در این رابطه این قدر با بدبینی عجین نشده بود.

با توجه به قدرت تفکر و تعقل انسان، چنین انتظار می رفت که بشر هر روز بیش از گذشته به قدرتی تبدیل شود که بتواند معیارهای ارزشمند محیط زیست را حفاظت و بهبود بخشد اما بالعکس به نظر می رسد که انسان بطور روزافزون به نیرویی مقتدر تبدیل می شود که مایه ایجاد آشفتگی در بستر حیات خود و قطع ریشه های هستی‌اش می‌گردد.

در زمینهٔ آلودگی هوا، اولین آلاینده های هوا احتمالاً دارای منشا طبیعی بوده‌اند. دود، بخارات بدبو، خاکستر و گازهای متصاعد شده از آتشفشانها و آتش سوزی جنگلها، گرد و غبار طوفانها در نواحی خشک، مه در نواحی کم ارتفاع مرطوب و مه های رقیق شامل ذرات حاصل از درختهای کاج و صنوبر در نواحی کوهستانی و بسیاری از موارد مشابه پیش از آنکه در مشکلات مربوط به سلامت انسانها و مشکلات ناشی از فعالیتهای انسانی محسوس باشند، اصولاً جزئی از محیط زیست به شمار می‌روند.

در واقع شماری از این مشکلات طبیعی، طبق تعریف پذیرفته شده که در ادامه آمده است، در طبقه بندی آلودگی هوا قرار می گیرند. به این ترتیب می توان آلودگی هوا را به حضور یک و یا بیش از یک آلاینده در هوای آزاد (به عنوان مثال گرد و خاک، دود غلیظ، گاز، مه آلوده، بوی نامطبوع، دود و یا بخار) به مقدار بیش از یک حد و تداوم مشخص که می تواند حیات انسان، گیاه، جانوران و یا اموال انسانی را به مخاطره اندازد یا آنکه به نحو قابل ملاحظه‌ای در روند درست و مطلوب زندگی یا اموال انسانی ایجاد اختلاط نمایند، تعریف نمود.

به استثنای موارد بسیار حاد، نظیر فوران آتشفشان، آلودگی هوا ناشی از منابع طبیعی معمولاً ایجاد چنان مشکلات جدی برای حیات انسانها و جانوران نمی‌کنند. این در حالیست که فعالیتهای

انسانی ایجاد چنان مشکلاتی از نظر آلودگی می‌نماید که بیم آن می رود، بخشهای از اتمسفر زمین تبدیل به محیطی مضر برای سلامت انسانها گردد.

۱-۲-۱- تاریخچه اهمیت آلودگی هوا

هنگامی که پرومته آتش را از خدایان به سرقت برد، در واقع به طور ناخودآگاه همراه با رحمت بلا را نیز دزدید، زیرا آتش ایجاد دود می کند و دود یکی از قدیمی ترین آلاینده‌های هواست که برای سلامت بشر مضر است. زمانی که دود ناشی از آتش حاصله از سوختن چوب توسط ساکنین اولیه غارها جای خود را به دود ناشی از کوره های زغال سوز در شهر های پر جمعیت داد، آلودگی هوا به قدری افزایش یافت که زنگ خطر برای ساکنین بعضی از آن شهرها به صدا در آمد اما تقریباً تا سال ۱۹۵٦ میلادی اقدامی جدی جهت کنترل آلودگی هوا صورت نگردید. در این سال قانون کنترل آلودگی هوا (قانون عمومی ۱۵۹-۸٤) به تصویب رسید اما این مصوبه تنها موجب به تصویب رسیدن یک قانون موثرتر گردید. این قانون یک بار در سال ۱۹٦۰ و بار دیگر در سال ۱۹٦۲ بازنگری شد. این قانون معیارهای برای کیفیت هوا وضع کرد و بر اساس آنها استاندارد های کیفیت هوا و گازهای متصاعد شده در دهه ۱۹۷۰ میلادی پی‌ریزی گردید.

اجرای قانون هوای تمیز در سال۱۹۷۰ (قانون عمومی ٦۰٤-۹۱) به آژانس نوبنیاد حفاظت محیط زیست (EPA) محول گردید که این آژانس استانداردهای درجهٔ اول و دوم کیفیت هوای محیط زیست را وضع نمود. استاندارد های اولیه متکی بر معیار های کیفیت هوا، برای حفظ سلامت عموم مردم، دامنه وسیعی از ایمنی را در نظر می‌گیرد، در حالی که استاندارد های ثانوی که آنها نیز متکی بر معیار های کیفیت هوا می باشند برای حفظ رفاه عموم انسانها بعلاوه جانوران، گیاهان، اموال و دارایی ها هستند.

اصلاحات قانون هوای تمیز به سال ۱۹۷۷ (قانون عمومی ۹۵-۹۵) به تقویت هر چه بیشتر قوانین موجود پرداخته است و ملتها را به تمیز نگه داشتن هوای محیط زیست ترغیب می نماید. از آن سالها به بعد و به دلیل اهمیت روز افزون حفاظت از محیط زیست هر روزه شاهد توجه هر چه بیشتر این موضوع چه در مقیاس جهانی و چه در مقیاس منطقه ای هستیم اما از سوی به دلیل فقدان ضمانت اجرائی لازم و از سوی دیگر افزایش رشد جمعیت، پیشرفتهای تکنولوژیک و رفاه طلبی بشر، زمین هر روزه شاهد رشد هر چه بیش از پیش این آلودگی ها در اغلب زمینه‌ها می‌باشد.

۱-۲-۲- طبقه بندی آلاینده های هوا

آلاینده های هوا را به چند طریق تقسیم کرده اند که از آن جمله می‌توان به تقسیم از نظر منشاء آلودگی که اوّلیه و ثانویه می‌باشد و تقسیم از نظر اثرات فیزیولوژیکی نام برد. از نظر منشاء تولید آلاینده های اوّلیه آنهایی هستند که به همان شکل و ترکیبی که از منبع آلوده کننده خارج شده‌اند در هوا وجود دارند و آلاینده های ثانویه معمولا از ترکیب آلاینده های اوّلیه تحت تاثیر اشعه خورشید تولید می‌شوند. از آلوده کننده های اوّلیه می توان به SO_2، CO، HC و از آلوده کننده های ثانویه میتوان به اسماگ فوتوشیمیایی، ازن و قسمت عمدهٔ NO_2 اشاره کرد.

از منظر منابع انتشار آلودگی، آلاینده های هوا را به دو گروه ثابت و متحرّک تقسیم کرده اند. گروه ثابت همانطور که از اسم آن‌ها پیداست شامل صنایع، نیروگاه ها و مراکز تجاری و مسکونی می‌شود و منابع متحرّک انواع وسایل نقلیه از موتور سیکلت تا هواپیما و کشتی را شامل می‌گردد.

آلودگی هوا در صنایع هم به علّت مصرف سوخت است و هم نوع فرآیند، در حالیکه در منابع متحرّک عمدتاً حاصل احتراق سوخت بوده و به صورت گازهای آلاینده و یا ذرات، وارد هوا می‌شود. مقدار آلودگی تولید شده از منبع را با وزن آلودگی به واحد وزن مواد خام مصرفی یا محصول تولیدی بیان می‌کنند و به آن ضریب انتشار می‌گویند. ضریب انتشار برای آلاینده های مهم بعضی منابع بدون وسیله کنترل به شرح جدول ذیل می‌باشد[۲] .

جدول۱-۳- ضریب انتشار مواد سوختی بر حسب کیلوگرم برای ۱۰۰۰ لیتر سوخت برای چند نوع آلاینده

دیگ بخار	ذرات	SO_2	NOx	VOC
سوخت مازوت برای نیروگاه ها	۱/۲۵۵	۱۹S	۸	۰/۰۹
مازوت صنعتی	۱/۲۵۵	۱۹S	٦/٦	۰/۰۳٤
گازوئیل صنعتی	۰/۲٤۰	۱۷S	۲/٤	۰/۰۲٤
مازوت تجاری	۱/۲۵۵	۱۹S	٦/٦	۰/۱٤
گازوئیل تجاری	۰/۲٤۰	۱۷S	۲/٤	۰/۰٤
نفت و گاز خانگی	۰/۳۰۰	۱۷S	۲/۲	۰/۰۸۵

S = درصد گوگرد موجود در سوخت

در صنایع، علاوه بر آلاینده‌های ناشی از سوخت و مواد خام، تولیدات میانی و محصول نهایی هم وارد هوا می‌شود بطور مثال در صنعت آلومینیوم، فلوراید و ذرات هیدروکربن چند هسته‌ای عطری تولید می‌شوند. در صنایع فلزی، سرب وارد هوا می‌شود و از زباله سوزها، فلزات

سنگین مثل کادمیوم و ترکیبات خطرناک دی اکسین و فورین منتشر می‌شوند. نوع آلاینده و ضرایب انتشار برای صنایع با شناخت و بررسی فرآیند و در نهایت اندازه گیری امکان پذیر می‌باشد. در جدول شماره (۱-٤) میزان استانداردهای برخی از معمول ترین آلاینده های موجود در هوای مناطق شهری به استناد سازمان بهداشت جهانی نشان داده شده است[۳].

جدول۱- ٤- استانداردهای هوای آزاد به استناد سازمان بهداشت جهانی

نوع ترکیب	غلظت	میانگین زمان
مونوکسید کربن	۱۰۰ میلی گرم در متر مکعب	۱۵ دقیقه
	٦۰ میلی گرم در متر مکعب	۳۰ دقیقه
	۳۰ میلی گرم در متر مکعب	۱ ساعت
	۱۰ میلی گرم در متر مکعب	۸ ساعت
ازن	۱۲۰ میکروگرم در متر مکعب	۸ ساعت
دی اکسید ازت	۲۰۰ میکروگرم در متر مکعب	۱ ساعت
	٤۰ میکروگرم در متر مکعب	سالانه
دی اکسید گوگرد	۵۰۰ میکروگرم در متر مکعب	۱۰ دقیقه
	۱۲۵ میکروگرم در متر مکعب	۲٤ ساعت
	۵۰ میکروگرم در متر مکعب	سالانه
ذرات کوچکتر از ۱۰ μ	۱۵۰ میکروگرم در متر مکعب	۲٤ ساعته
	۵۰ میکروگرم در متر مکعب	سالانه

۱-۳-انواع نیروگاهها

بیشترین نیروگاه‌های جهان شامل دو دسته آبی یا حرارتی هستند. درواقع فاکتوری که مبنای طبقه‌بندی نیروگاه‌ها قرار می‌گیرد، نوع سوخت آنها نیست، بلکه طراحی سیستم تولید برق نیروگاه می‌باشد. یک نیروگاه بخار ممکن است با گاز، زغال سنگ یا سوخت‌های دیگر، و حتی با سوخت هسته‌ای کارکند. اما نحوه عملکرد آن با نیروگاه گازی متفاوت است و در نتیجه کاربرد آن نیز متفاوت خواهد بود. از منظر مقایسه ای بین انواع نیروگاهها و با نگاهی به آمار سال‌های مختلف می‌توان گفت که نیروگاه‌های بخار بیشترین سهم را در انتشار آلاینده‌ها به خود اختصاص می دهند. اما در اینجا گذشته از نوع نیروگاه، نوع سوخت هم اهمیت پیدا می‌کند. گاز طبیعی سوختی است که بیشتر از سایر سوختها در نیروگاه‌های توربین بخار به کار می‌رود. گرچه گاز طبیعی یک سوخت فسیلی منتشر کننده CO_2 است، اما انتشار کربن آن بسیار کمتر از زغال سنگ یا نفت

جایگزین بوده و آلایندگی SO_2 آن ناچیز است همچنین با وجود اینکه میزان آلایندگی NO_x آن درخور توجه است، اما راههای کاهش آن ساده‌تر از مورد زغال‌سنگ می‌باشد. زغال سنگ بیشتر از سایر روشهای تولید الکتریسیته، کربن منتشر می‌کند. همچنین هنگام استخراج از معدن و نیز موقع حمل به فواصل دور، گازهای گلخانه‌ای بطور غیر مستقیم منتشر می‌شوند. علاوه برآن احتراق زغال سنگ، با انتشار اسیدهای SO_2 و NO_x و ذرات تجزیه پذیر توام است. بسیاری از جوامع این موضوع را پذیرفته‌اند که گاز طبیعی کم زیان‌تر از سایر روشهای تولید الکتریسیته است و استفاده از آن برای تولید برق، مرحله مناسبی در انتقال کامل به انرژی پایدار آینده محسوب می شود. در ادامه به معرفی اجمالی مهمترین انواع نیروگاهها که در آلودگی هوای منطقه کارکرد موثرند، پرداخته می‌شود.

- نیروگاه دیزلی

رودلف دیزل (۱۹۱۳– ۱۸۵۸) در پاریس از والدین آلمانی به دنیا آمد. او در سال ۱۸۹۳ و در آلمان موتور اختراعی را به نام خودش به ثبت رساند که این موتور شامل چرخه ایده‌آل متشکل از فرایندهای تراکم ایده‌آل بی‌دررو (بدون تبادل گرما)، فرایند فشار ثابت گرماگیر، فرایند انبساط ایده‌آل بی‌دررو و فرایند حجم ثابت گرماده که سرانجام چرخه را به حالت یک باز می‌گرداند می‌باشد.

در نیروگاه دیزل با استفاده از سوخت گاز یا مایع در سیلندرها، انرژی مکانیکی به‌دست می‌آید که توسط ژنراتور به انرژی الکتریکی تبدیل می‌گردد. نیروگاه دیزل برخلاف دیگر نیروگاه‌های حرارتی و آبی، فاقد توربین می‌باشد. امروزه حتی اگر نیروگاه‌های دیزلی را به طور کامل کنار بگذاریم، باز هم استفاده از دیزل ژنراتور در نیروگاه‌ها ضروری است. زمانی که شبکه سراسری Black Out می‌شود، برق اولیه به وسیله یک دیزل ژنراتور تأمین می‌گردد که به نوبه خود توربین گازی را با برق ۳۸۰ ولت متناوب به عنوان Prime Mover راه می‌اندازد. توربین گازی به نوبه خود بار لازم برای راه‌اندازی توربین های بخار را تأمین می‌کند.

- نیروگاه بخار

ویلیام جان ام رانکین(۱۸۷۲–۱۸۲۰) استاد مهندسی ساختمان در دانشگاه گلاسکو بود. وی یکی از پیش‌کسوتان علم ترمودینامیک و نخستین شخصی بود که به تدوین و نگارش این علم

همت گماشت. چرخه‌ای که او طراحی کرد، بنام چرخه رانکین معروف است که یک چرخه مایع و بخار به شمار می‌آید.

نیروگاه‌های بخار معمولاً نیروگاه‌های بزرگی هستند که به سرمایه و زمان زیادی برای نصب نیاز دارند. این نیروگاه‌ها به دلیل داشتن ضریب ظرفیت بالا، برای تأمین بار پایه بسیار مناسب می‌باشند. محاسبات نشان می‌دهد برای یک نیروگاه بخار ۱۰۰۰ مگاواتی، سالانه درحدود ۱۹ میلیون مترمکعب آب لازم است. لذا این نیروگاه‌ها باید نزدیک منابع آب تأسیس شوند.

- نیروگاه گازی

نیروگاه گازی طبق چرخه برایتون و با استفاده از گاز حاصل از احتراق، توربین را به گردش درمی‌آورد. مهمترین مزایای نیروگاه گازی در مقایسه با نیروگاه بخار به شرح زیر است:

۱- نیروگاه توربین گازی، در مقایسه با نیروگاه بخار کوچکتر است، وزن کمتری دارد و هزینه اولیه آن برای تولید هرواحد توان از هزینه مربوط به نیروگاه بخار کمتر است.

۲- مدت زمان لازم برای تحویل توربین گازی نسبتاً کوتاه است و می‌توان آن را سریعاً نصب کرد و مورد استفاده قرارداد.

۳- راه‌اندازی و توقف توربین‌های گازی ساده است و طی مدت کوتاهی در حدود ابعاد زمانی ده دقیقه این اعمال انجام می‌گیرد.

٤- دارای آلودگی کمتری نسبت به سایر توربین می باشد.

٥- اکثر توربین‌های گازی با هوا خنک می‌شوند و در نتیجه نیاز به آب و تصفیه خانه ندارند.

اما این نیروگاه معایب مهمی هم به شرح زیر دارد:

۱- بازده چرخه برایتون، اصولاً به اندازه بازده چرخه رانکین (نیروگاه بخار) نیست.

۲- قطعات یدکی آن گران است.

توأم بودن هزینه سرمایه‌گذاری پایین و بازده پایین در توربین گازی موجب می‌شود که از آن عمدتاً به عنوان نیروگاه تأمین بار پیک استفاده شود و طبعاً از چنین نیروگاهی انتظار نمی‌رود بیش از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ ساعت در سال در مدار باشد. بدیهی است که برای چنین مواردی، استفاده از نیروگاه‌های بزرگ بخار، غیراقتصادی خواهد بود.

- نیروگاه سیکل ترکیبی

نیروگاه چرخه ترکیبی به نیروگاهی گفته می‌شود که درآن هم در توربین گازی و هم در توربین بخار، قدرت تولید می‌شود. به این ترتیب از انرژی بسیار زیاد گازهای خروجی توربین، برای تولید بخار جهت یک نیروگاه بخار استفاده می‌شود. این روش کاملاً عملی است زیرا توربین گاز، یک ماشین با دمای نسبتاً بالا و توربین بخار، یک ماشین با دمای نسبتاً پایین است. این کارکرد توأم توربین گازی در «طرف گرم» و توربین بخار در «طرف سرد» را نیروگاه چرخه ترکیبی می‌نامند.

چرخه ترکیبی علاوه بر داشتن بازده و توان بالا، از مزایای دیگری نیز مانند انعطاف‌پذیری، راه‌اندازی سریع، مناسب بودن برای تأمین بار پایه و عملکرد دوره‌ای و بازده بالا در محدوده گسترده‌ای از تغییرات بار برخوردار است.

۱-٤- بررسی روشهای مختلف در مدلسازی نحوه انتشار آلاینده‌های خروجی از دودکش صنایع

اصولا روشهای مدلسازی آلاینده های خروجی از دودکش نیروگاهها و صنایع مختلف و محاسبه میزان غلظت آنها در فواصل مختلف از منبع تولید، به سه دسته بندی کلی تقسیم می شوند. این تقسیم بندی شامل استفاده از روشهای تجربی، روشهای تحلیلی و روشهای عددی می باشد که هر یک با توجه به نوع مساله، میزان اهمیت دقت مدلسازی و سایر عوامل فیزیکی و منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این میان استفاده از روشهای عددی با توجه به رشد فزاینده سرعت پردازش رایانه ها، روشی نسبتا نو پا قلمداد می‌شود و طی چند سال اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه روشهای مورد استفاده در تحقیقات انجام شده گذشته، پیرامون مسائل مشابه به صورت اجمالی مورد بررسی قرار می گیرند و نقاط ضعف و قدرت هر یک ارائه می گردند.

۱-٤-۱- روشهای تجربی

در روشهای تجربی از ادوات اندازه گیری غلظت گازهای آلاینده شامل انواع محلولها با غلظتهای متفاوت، صافیها، فیلترها، ابزار آلات مکانیکی و الکتریکی و سایر موارد مشابه استفاده می‌گردد که با توجه به سادگی عملکرد، معمول ترین روش ممکن می باشد. اما از آنجایی که امکان تفکیک سهم منابع مختلف در ایجاد آلودگی در این روش وجود ندارد تنها در مواردی که غلظت

آلاینده ها، مستقل از نوع منبع مورد اهمیت باشد کاربرد دارد. بعلاوه در این روش مدلی از نحوه انتشار سیال ارائه نمی گردد و تنها غلظت آلاینده ها در نقاط مورد نظر محاسبه می‌شوند. بیشترین غلظت مجاز برای آلاینده های اتمسفری خود به دو روش قابل اندازه گیری است:

۱- به عنوان بالاترین غلظت یک نمونه از نمونه های برداشت شده در ۲۰ دقیقه[1]

۲- غلظت متوسط روزانه در ٢٤ ساعت[2]

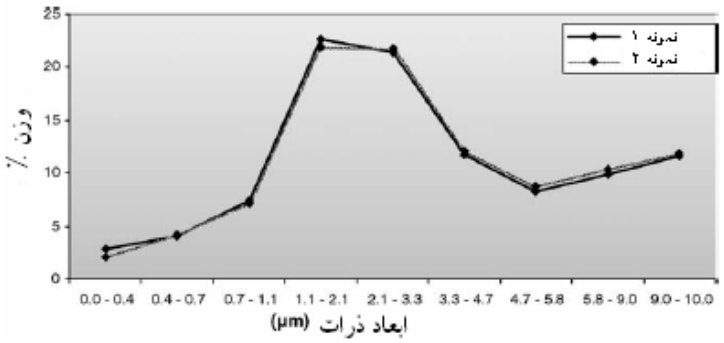
علاوه بر موارد ذکر شده بسیاری از روشهای آنالیز هوا بر تیتراسیون، رنگ سنجی، الکترومتری، اسپکتروفتومتری جذب، جذب اتمی، نشر اتمی و غیره مبتنی می باشند.

لازم به ذکر است که روشهای ذکر شده در اندازه گیری ذرات و گازهای آلاینده تنها بخشی از ابزار آلات و روشهای موجود بوده و هر روزه متدهای نوین‌تر و دستگاههای با قابلیت و دقت بالاتر عرضه می‌گردد. همانطور که پیشتر نیز اشاره شد به دلیل سادگی کار این روش معمولاً به عنوان انتخاب اول مطرح است و موارد استفاده شده به کمک روش مذکور بسیار گسترده می‌باشد. اما به عنوان نمونه از موارد مورد بررسی در کشور می‌توان به اندازه گیری غلظت ذرات PM_{10} ساطع شده از کارخانه سیمان شهر کرمان اشاره نمود. این کارخانه همانطور که در شکل شماره (۱-۱) نشان داده شده در ۱۵ km شهر کرمان قرار داشته و متاسفانه محل آن در منطقه واقع شده است که ذرات حاصل از کارکرد آن توسط باد غالب منطقه به سمت شهر هدایت می‌شود.

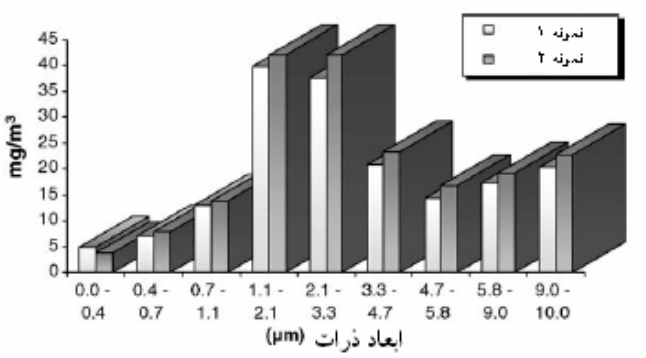
شکل۱ -۱- نمایی از سایت کارخانه سیمان در مجاورت شهر کرمان

[1] Highest single concentration
[2] Average daily concentration

در تحقیق مزبور غلظت ذرات علاوه بر اندازه گیری به کمک فیلتر های مربوط توسط مدل گوس نیز محاسبه شده است که گرافهای مربوط در قسمت بررسی مدل گوس ارائه و با نتایج تجربی مقایسه شده است. روش محاسبه نیز به این ترتیب است که در فواصل مختلف از بالادست و پایین دست کارخانه فیلترهای تعبیه می‌گردد که اختلاف مقدار اندازه گیری شده مبنای غلظت ذرات پخش شده خواهد بود. شکلهای شماره (۱-۲) و (۱-۳) توزیع اندازه ذرات ساطع شده از کارخانه سیمان را بر اساس وزن و غلظت آنها نشان می‌دهد. همانطور که از گرافهای مربوطه نیز مشخص است بیشترین توزیع جرم و غلظت در محدوده ذرات با قطر متوسط ۱/۱ تا ۳/۳ میکرومتر اندازه گیری شده است[۴].



شکل۱ -۲- توزیع اندازه ذرات ساطع شده از کارخانه سیمان بر اساس درصد وزنی



شکل۱ -۳- توزیع غلظت ذرات ساطع شده از کارخانه سیمان بر اساس اندازه ذرات

از دیگر مطالعات داخلی صورت گرفته می‌توان به اندازه گیری ذرات ساطع شده از صنایع واقع در جنوب غربی شیراز اشاره نمود که به کمک ٤ دستگاه نمونه برداری INAA[3] و بر پایه

[3] Instrumental Neutron Activation Analysis

روش AAS[4] میزان غلظت ذرات بصورت هفتگی اندازه گیری گردید که نشان می‌داد در غالب شرایط جوی میزان غلظت ذرات انتشار یافته در سطح شهر بیشتر از حد استاندارد می باشد[۵].

از موارد متعدد تحقیقات خارجی نیز می توان به بررسی صورت گرفته در شانگهای اشاره نمود که به کمک دستگاههای نصب شده در سطح شهر و بررسی ذرات جمع آوری شده توسط میکروسکوپهای اتمی سهم انواع منابع در آلودگی سطح شهر تعیین گردید که نشان می‌داد به ترتیب سایتهای ساختمانی، کارخانجات سیمان، دود خودروها، کوره های زغال سنگ و کارخانه های تولید فولاد در بین منابع مختلف آلایندگی بیشترین سهم را در انتشار ذرات در سطح شهر ایفا می‌کنند[٦].

۱-٤-۲- روشهای تحلیلی

در روشهای تحلیلی به کمک مدلهای تئوری استخراج شده از معادلات حاکم بر جریان سیال، نحوه انتشار گازهای خروجی از دودکش شبیه سازی می‌گردد که از پرکاربردترین آنها می‌توان به مدل گوس اشاره کرد. در این روش با توجه به شرایط جوی و گرافهای مرتبط که با توجه به پایداری هوا و سرعت باد، ضرائب مورد نیاز در معادله تئوری را ارائه می‌دهند، میزان غلظت آلاینده ها در هر نقطه از میدان استخراج می‌شود. از عمده نواقص این روش می‌توان به عدم قابلیت مدلسازی موانع تاثیر گذار از جمله ساختمانهای بلند و برجستگی های زمین و همچنین فرضیات صورت گرفته در استخراج معادلات آن اشاره نمود که بالطبع منجر به کاهش دقت مساله بخصوص در فواصل نزدیک از دودکشها می‌گردند. بطوری که بر اساس تحقیقات صورت گرفته در واحد علوم جوی دانشگاه ایلنویدز نتایج مدل مزبور برای دودکشهای معمول صنعتی (در ارتفاع ۲۰ الی متری٤۰) تا فاصله حدود ۱۰۰۰ متری از دقت بالایی برخوردار نبوده و در فواصل نزدیکتر به هیچ عنوان قابل قبول نمی‌باشد ولی به تدریج و با فاصله گرفتن از دودکشها به مقدار واقعی نزدیکتر می‌گردد[۷].

برای به دست آوردن مدل گوس از دیدگاه لاگرانژین استفاده شده که بر پایه موازنه جرم استوار است. اگر در معادله موازنه جرم از فاکتور های تولید و زوال صرفنظر شود، در نهایت می‌توان به معادله ذیل دست یافت.

$$C(x,y,z,H)=\frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z U}\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)\left\{\exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right]+\exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right]\right\} \qquad (۱-۱)$$

[4] Atomic Absorption Spectrometry