



دانشگاه گیلان  
کتاب / ۲۹۱

# مبانی اولیه هواشناسی و آلودگی هوا

مؤلف :  
میهایس لازاریدیس

مترجمین :

دکتر علی اکبر سبزی پرور  
(استاد هواشناسی)

مهندس جلیل هلالی

ویژه دانشجویان و پژوهشگران:  
محیط زیست، بهداشت حرفه‌ای، منابع طبیعی و هواشناسی

## بیوگرافی پروفسور علی اکبر سبزی پرور



پروفسور علی اکبر سبزی پرور در سال ۱۳۳۷ خورشیدی در شهرستان بروجرد متولد شد. وی دوره متوسطه را در دبیرستان‌های نصیرالدین طوسی و بحرالعلوم بروجرد طی نموده و در سال ۱۳۵۵ موفق به اخذ دیپلمه نظام قدیم رشته ریاضی از دبیرستان آذر تهران گردید. نامبرده در سال ۱۳۶۴ مدرک کارشناسی خود را در رشته فیزیک کاربردی از دانشگاه شهید بهشتی (ملی سابق) دریافت نمود و در سال ۱۳۷۰ مدرک کارشناسی ارشد خود را نیز در رشته هواشناسی (گرایش سینوپتیک) از دانشگاه تهران دریافت نمود. در سال ۱۳۷۱ به عنوان عضو هیأت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه بوعلی سینا مشغول به کار شد. وی مدرک دکتری خود را در رشته هواشناسی با موضوع مدل‌سازی تابش

فرابنفش از دانشگاه ردینگ (Reading) انگلستان در سال ۱۳۷۶ دریافت نمود و دوره تحقیقاتی فوق دکتری را در دانشگاه یومیست (UMIST) منچستر در رابطه با مدل‌سازی تابش در سال ۱۳۸۳ سپری نمود. وی در سال ۱۳۸۶ موفق شد به مرتبه دانشیاری و در سال ۱۳۹۰ به مرتبه استادی ارتقاء یابد.

زمینه تحقیقاتی مورد علاقه ایشان اقلیم‌شناسی، هواشناسی فیزیکی و هواشناسی زیستی می‌باشد. ایشان به عنوان مدیر پروژه ملی "ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی و منابع آب کشور" (به سفارش سازمان FAO) در سال ۲۰۰۸ انتخاب گردید. از دیگر کارهای بین‌المللی ایشان می‌توان به مشارکت در تألیف کتاب "ارزیابی علمی تخریب لایه اوزون در جهان" (به انتخاب برنامه زیست محیطی سازمان ملل، UNEP) اشاره نمود. از دیگر پروژه‌های ملی ایشان انجام پروژه "مدلسازی اطللس تابش کشور" در سال ۱۳۸۴ به سفارش سازمان هواشناسی کشور است.

این محقق مجری ۱۱ طرح مطالعاتی و همچنین ده‌ها مقاله ISI و علمی پژوهشی در زمینه هواشناسی می‌باشند. نامبرده عضو Fellow انجمن هواشناسی انگلستان (از سال ۱۹۹۵)، عضویت در انجمن تغییر اقلیم در کشورهای جهان (ESPERO) از سال ۲۰۰۳، عضویت در انجمن اروپایی ژئوفیزیک (EGU) از سال ۲۰۰۰ می‌باشد. وی تاکنون به عنوان داور مقالات در چندین ژورنال تخصصی ملی و بین‌المللی برگزیده شده است.

# مبانی اولیه هواشناسی و آلودگی هوا

## مؤلف:

میهاپیس لازاریدیس

## مترجمین:

دکتر علی اکبر سبزی پرور

(استاد هواشناسی)

مهندس جلیل هلالی

## فهرست

صفحه

عنوان

i

پیشگفتار مترجمین

## فصل اول : شرحی از اتمسفر زمین

۱	چکیده
۱	۱-۱- مقدمه‌های بر ساختمان و ترکیبات اتمسفری
۱	۱-۱-۱- انتشار آلاینده‌ها در اتمسفر
۴	۱-۱-۲- اتمسفر زمین
۷	۱-۱-۳- منشأ و سیر تحول اتمسفر
۱۰	۱-۲- ویژگی‌های اتمسفر
۱۱	۱-۳- ترکیبات اتمسفر تحتانی
۱۱	۱-۳-۱- هوای خشک اتمسفری
۱۲	۱-۳-۲- آب در اتمسفر
۱۳	۱-۳-۳- هواویزهای اتمسفری
۱۴	۱-۴- تقسیم‌بندی عمودی اتمسفر- تغییرات دمایی
۱۲	۱-۴-۱- تروپوسفر (زیرین‌سپهر)
۱۵	۱-۴-۱-۱- تروپوپاوز
۱۷	۱-۴-۲- لایه مرزی
۱۸	۱-۴-۲-۱- لایه اختلاط
۱۹	۱-۴-۲-۲- لایه پسمانده (RL)
۲۰	۱-۴-۳- لایه مرزی شبانه
۲۱	۱-۴-۳- استراتوسفر (آرام‌سپهر)
۲۱	۱-۴-۳-۱- اسرانتوپاوز
۲۲	۱-۴-۴- مزوسفر (میان‌سپهر)
۲۲	۱-۴-۴-۱- مزوپاوز
۲۲	۱-۴-۵- ترموسفر (دما‌سپهر)
۲۲	۱-۴-۶- اگزوسفر (فرا‌سپهر)
۲۳	۱-۴-۷- یونوسفر- مگنتوسفر (یون‌سپهر- مغناطیس‌سپهر)
۲۳	۱-۵- تغییر پارامترهای هواشناسی با ارتفاع
۲۶	۱-۵-۱- وارونگی دمایی
۲۸	۱-۵-۲- نوسانات چگالی هوا با ارتفاع

۲۹	۱-۵-۳- تغییرات فشار اتمسفری با ارتفاع
۳۱	۱-۶-۱- الگوی اتمسفر استاندارد
۳۲	۱-۶-۱- واحد ترکیبات شیمیایی در اتمسفر
۳۳	۱-۶-۲- تبدیل واحد غلظت‌های ا (میکروگرم بر مترمکعب) به غلظت‌های حجمی (پی‌پی‌ام)
۳۳	۱-۷-۷- تابش در اتمسفر
۳۵	۱-۷-۱- قوانین تابش
۳۶	۱-۷-۱-۱- قانون کیرشهف
۳۷	۱-۷-۱-۲- قانون پلانک
۳۷	۱-۷-۱-۳- قانون دوم وین
۳۸	۱-۷-۱-۴- قانون استفان-بولتزمن
۳۹	۱-۷-۲- تابش خورشیدی
۳۹	۱-۷-۳- تابش زمینی
۴۰	۱-۷-۴- عوامل مؤثر بر شار تابشی خورشید به زمین
۴۰	۱-۷-۴-۱- عوامل جغرافیایی
۴۰	۱-۷-۴-۲- عوامل هندسی
۴۱	۱-۷-۴-۳- کاهش تابش
۴۱	۱-۷-۵- فعل و انفعال تابش خورشیدی در اتمسفر
۴۲	۱-۷-۵-۱- جذب تابش خورشید
۴۵	۱-۷-۵-۲- پخش تابش خورشیدی
۴۷	۱-۷-۶- اثر گلخانه‌ای
۵۰	۱-۷-۷- بیلان انرژی زمین و اتمسفر آن
۵۲	۱-۷-۸- پراکنش تابش خورشیدی در سامانه سطح زمین - اتمسفر
۵۳	۱-۷-۹- اقلیم کره زمین
۵۶	۱-۷-۹-۱- تغییر اقلیم و دلایل آن
۵۸	۱-۸-۱- مثال‌ها
۶۲	۱-۹- استانداردهای کیفیت هوای محیط
۶۷	۱-۱۰-۱- پیوست ۱: معادله هیدرواستاتیک
۶۸	مسائل

## فصل دوم: مبانی اولیه هواشناسی

- ۷۳ ۲-۲- ساختار عمودی دما و شرایط پایداری اتمسفری
- ۷۴ ۲-۲-۱- آفتاهنگ هوای خشک
- ۷۸ ۲-۲-۲- آفتاهنگ هوای مرطوب
- ۷۹ ۲-۲-۳- وارونگی دمایی
- ۸۰ ۲-۳- تغییرپذیری اتمسفری، توده‌های هوا، جبهه‌ها
- ۸۱ ۲-۳-۱- توده‌های هوا
- ۸۲ ۲-۳-۲- طبقه‌بندی توده‌های هوا
- ۸۳ ۲-۳-۳- جبهه‌ها
- ۸۴ ۲-۳-۳-۱- جبهه قطبی
- ۸۴ ۲-۳-۳-۲- جبهه سرد
- ۸۶ ۲-۳-۳-۳- جبهه گرم
- ۸۷ ۲-۳-۳-۴- جبهه‌های ساکن
- ۸۸ ۲-۳-۳-۵- جبهه‌های بند آمده
- ۸۹ ۲-۳-۴- موج چرخندی (فروربار)
- ۹۰ ۲-۴- تلاطم- معادلاتی برای مقادیر متوسط
- ۹۲ ۲-۵- خصوصیات آماری پدیده تلاطم
- ۹۷ ۲-۶- دمای اتمسفر
- ۹۷ ۲-۶-۱- تغییرات و نوسانات فصلی دما
- ۱۰۱ ۲-۶-۲- تغییرات روزانه دما
- ۱۰۴ ۲ ۶ ۳ گرمایش سطح زمین و هدایت حرارتی
- ۱۰۶ ۲-۶-۴- توزیع دما در هوا
- ۱۰۷ ۲-۷- رطوبت در اتمسفر
- ۱۰۹ ۲-۷-۱- اصطلاحات و عبارات ریاضی رطوبت در اتمسفر
- ۱۰۹ ۲-۷-۱-۱- رطوبت مطلق (B)
- ۱۰۹ ۲-۷-۱-۲- رطوبت ویژه (Q)
- ۱۰۹ ۲-۷-۱-۳- نسبت اختلاط (R)
- ۱۰۹ ۲-۷-۱-۴- رطوبت نسبی (RH)
- ۱۱۰ ۲-۷-۲- نقطه شبنم
- ۱۱۱ ۲-۷-۲-۱- تخیر آب در هوای سرد
- ۱۱۲ ۲-۷-۲-۲- انجماد هوای مرطوب

۱۱۲	۲-۷-۳- ابرها در اتمسفر
۱۱۴	۲-۷-۴- بارندگی
۱۱۶	۲-۷-۵- مطالعه پالایش بارش
۱۱۸	۲-۸- کاربردها و مثال‌ها
۱۲۲	مسائل

### فصل سوم : گردش اتمسفری

۱۲۵	چکیده
۱۲۵	۳-۱- فشار اتمسفری و سامانه‌های گرادیان فشار
۱۲۶	۳-۲- تغییرات فشار اتمسفری
۱۲۶	۳-۲-۱- تغییرات عمودی فشار
۱۲۶	۳-۲-۲- تغییرات نامتعارف فشار
۱۲۷	۳-۲-۳- تغییرات متعارف فشار
۱۲۸	۳-۳- تبدیل فشار به مقدار متوسط آن در سطح دریا
۱۲۸	۳-۴- منحنی‌های هم‌فشار: سامانه‌های گرادیان فشار
۱۳۱	۳-۵- نیروی گرادیان فشار
۱۳۲	۳-۶- حرکت هوا : باد
۱۳۴	۳-۶-۱- نیروهایی که بر حرکت هوا تأثیر می‌گذرانند
۱۳۴	۳-۶-۱-۱- نیروی کوریولیس
۱۳۷	۳-۶-۱-۲- نیروی اصطکاک
۱۳۷	۳-۶-۱-۳- نیروی‌های گریز از مرکز و مرکز‌گرا
۱۳۷	۳-۶-۲- معادلات انتقال توده‌های هوا در اتمسفر
۱۳۸	۳-۶-۳- دسته‌بندی بادهای
۱۳۸	۳-۶-۳-۱- باد زمینگرد
۱۴۰	۳-۶-۳-۲- باد گرادیان فشار
۱۴۱	۳-۶-۳-۳- باد اصطکاکی : قانون بایز- بیلوت
۱۴۳	۳-۶-۳-۴- باد در لایه‌های سطحی
۱۴۳	۳-۷- گردش عمومی در اتمسفر
۱۴۴	۳-۷-۱- الگوهای تک سلولی و الگوی سه سلولی
۱۴۷	۳-۷-۲- بادهای پیوسته (دائمی)
۱۴۷	۳-۷-۳- بادهای دورمای (نیمه دائمی)

۱۱۲	۲-۷-۳- ابرها در اتمسفر
۱۱۴	۲-۷-۴- بارندگی
۱۱۶	۲-۷-۵- مطالعه پالایش بارش
۱۱۸	۲-۸- کاربردها و مثال‌ها
۱۲۲	مسائل

### فصل سوم : گردش اتمسفری

۱۲۵	چکیده
۱۲۵	۳-۱- فشار اتمسفری و سامانه‌های گرادیان فشار
۱۲۶	۳-۲- تغییرات فشار اتمسفری
۱۲۶	۳-۲-۱- تغییرات عمودی فشار
۱۲۶	۳-۲-۲- تغییرات نامتعارف فشار
۱۲۷	۳-۲-۳- تغییرات متعارف فشار
۱۲۸	۳-۳- تبدیل فشار به مقدار متوسط آن در سطح دریا
۱۲۸	۳-۴- منحنی‌های هم‌فشار: سامانه‌های گرادیان فشار
۱۳۱	۳-۵- نیروی گرادیان فشار
۱۳۲	۳-۶- حرکت هوا : باد
۱۳۴	۳-۶-۱- نیروهایی که بر حرکت هوا تأثیر می‌گذرانند
۱۳۴	۳-۶-۱-۱- نیروی کوریولیس
۱۳۷	۳-۶-۱-۲- نیروی اصطکاک
۱۳۷	۳-۶-۱-۳- نیروی‌های گریز از مرکز و مرکزگرا
۱۳۷	۳-۶-۲- معادلات انتقال توده‌های هوا در اتمسفر
۱۳۸	۳-۶-۳- دست‌بندی بادهای
۱۳۸	۳-۶-۳-۱- باد زمینگرد
۱۴۰	۳-۶-۳-۲- باد گرادیان فشار
۱۴۱	۳-۶-۳-۳- باد اصطکاکی : قانون بایز- بایلوت
۱۴۳	۳-۶-۳-۴- باد در لایه‌های سطحی
۱۴۳	۳-۷- گردش عمومی در اتمسفر
۱۴۴	۳-۷-۱- الگوهای تک سلولی و الگوی سه سلولی
۱۴۷	۳-۷-۲- بادهای پیوسته (دائمی)
۱۴۷	۳-۷-۳- بادهای دورمای (نیمه دائمی)



۱۴۸	۳-۷-۴- نسیم خشکی و دریا
۱۴۹	۳-۷-۵- نسیم کوهستان و دره
۱۵۱	۳-۸- ساختار عمودی سامانه‌های گرادیان فشار
۱۵۲	۳-۹- معادلات گردش اتمسفری
۱۵۲	۳-۹-۱- معادلات گردش برای یک سیال تراکم‌پذیر
۱۵۵	مثال. تغییرات باد در مقابل ارتفاع در اتمسفر
۱۵۶	مسائل

### فصل چهارم: شیمی اتمسفری

۱۵۷	چکیده
۱۵۷	۲-۱- ترکیبات شیمیایی در اتمسفر
۱۵۹	۴-۲- شیمی تروپوسفر
۱۶۰	۲-۲-۱- ترکیبات گوگردی
۱۶۰	۴-۲-۲- ترکیبات نیتروژنی
۱۶۲	۴-۲-۳- ترکیبات کربنی
۱۶۳	۴-۲-۴- ترکیبات هالوژن
۱۶۳	۴-۳- مواد با ذرات ریز (ذرات معلق)
۱۶۳	۴-۴- فتوشیمی در تروپوسفر آزاد
۱۶۳	۴-۴-۱- چرخه فتوشیمیایی آزون و اکسیدهای نیتروژن
۱۶۶	۴-۴-۲- شیمی دی اکسید کربن
۱۶۷	۴-۴-۳- شیمی هیدروکربن‌ها
۱۶۷	۴-۴-۴- شیمی ترکیبات گوگردی
۱۶۸	۴-۵- ترکیبات شیمیایی آبی در اتمسفر
۱۶۹	۴-۶- شیمی استراتوسفر-آزون
۱۷۲	مسائل

### فصل پنجم: ریزگردهای اتمسفری

۱۷۵	چکیده
۱۷۵	۵-۱- مقدمه
۱۷۸	۵-۲- توزیع اندازه هواویزها
۱۸۹	۵-۳- ترکیب شیمیایی ریزگردها
۱۹۰	۵-۴- ریزگردهای آلی

۱۹۲	۵-۴-۱- کربن اولیه - کربن آلی اولیه
۱۹۳	۵-۴-۲- شکل‌گیری مواد آلی ثانویه (کربن آلی ثانویه)
۱۹۳	۵-۵- دینامیک مواد ذره‌ای اتمسفری
۱۹۳	۵-۵-۱- تشکیل ذره جدید
۱۹۴	۵-۵-۱-۱- تئوری هسته‌ای شدن - روش جنبشی
۱۹۷	۵-۵-۱-۲- محاسبه سرعت هسته‌ای شدن
۲۰۰	۵-۵-۱-۳- هسته‌ای شدن ناهمگن
۲۰۱	۵-۵-۲- میعان و تبخیر
۲۰۴	۵-۵-۳- انعقاد
۲۰۵	۵-۶- ریزدانه‌های زیستی-تعریف
۲۰۷	مسائل

### فصل ششم: انتشار اتمسفری: الگوهای (گوسی) نرمال

۲۰۹	چکیده
۲۰۹	۶-۱- نظریه‌های انتشار اتمسفری
۲۱۰	۶-۲- تشریح اویلری
۲۱۱	۶-۳- تشریح لاگرانژی
۲۱۲	۶-۴- معادلات بیان‌کننده غلظت آلاینده‌ها در شرایط تلاطمی
۲۱۲	۶-۴-۱- معادله پخش و انتشار در تشریح اویلری
۲۱۳	۶-۴-۲- معادله انتشار در تشریح لاگرانژی
۲۱۴	۶-۴-۳- حل معادله انتشار برای یک منبع پیوسته با روش اویلری
۲۱۵	۶-۵- الگوی گوسی
۲۱۶	۶-۵-۱- محدودیت‌های الگو یا مدل نرمال
۲۱۶	۶-۵-۱-۱- شرایط ناپایداری شدید
۲۱۶	۶-۵-۱-۲- انتشار نزدیک به سطح
۲۱۷	۶-۵-۲- محاسبه ضرایب $\sigma_y$ و $\sigma_z$ متودولوژی پایداری
۲۱۹	۶-۵-۳- صعود دود
۲۲۳	۶-۵-۳-۱- صعود دود ناشی از تکانه اولیه تحت پایداری خنثی یا ناپایدار در اتمسفر
۲۲۳	۶-۵-۳-۲- صعود حرارتی تحت شرایط پایداری خنثی یا پایدار در اتمسفر
۲۲۳	۶-۵-۳-۳- شرایط پایدار
۲۲۳	۶-۵-۳-۴- صعود دود ناشی از تکانه تحت شرایط پایدار

- ۲۲۳ ۵-۳-۵-۶- صعود حرارتی تحت شرایط اتمسفری پایدار
- ۲۲۴ ۴-۵-۶- پایداری اتمسفری- کاربرد الگوهای گوسی
- ۲۲۵ ۶-۶- راه‌حل‌های تحلیلی معادله انتشار اتمسفری
- ۲۲۹ ۷-۶- منبع خطی پیوسته مستقل از زمان، دو بُعدی با مقادیر متغیر سرعت و ضریب انتشار
- ۲۳۰ ۸-۶- ویژگی‌های پخش دود- شرایط پایداری
- ۲۳۳ ۹-۶- مثال‌ها و کاربردها
- ۲۳۷ مسائل
- ۲۳۹ ۱۰-۶- پیوست ۶-۱ معادله پیوستگی

### فصل هفتم: الگوهای اتمسفری: انتشار آلاینده‌ها

- ۲۴۱ چکیده
- ۲۴۱ ۱-۷- مقدمه
- ۲۴۳ ۲-۷- معادلات پراکندگی انتقال آلاینده در سیستم مختصات اویلری و لاگرانژی
- ۲۴۳ ۱-۲-۷- الگوهای تک حجمی با سیستم اویلری
- ۲۴۵ ۲-۲-۷- الگوهای سه بُعدی آلاینده اتمسفری
- ۲۴۶ ۳-۷- ارزیابی آماری الگوهای اتمسفری
- ۲۴۷ ۴-۷- انتشار و خروج آلاینده‌های اتمسفری
- ۲۵۱ ۵-۷- خروجی‌ها و انتشارات زیست کره
- ۲۵۱ ۱-۵-۷- انتشار ترکیبات آلی فرار از پوشش‌های گیاهی
- ۲۵۳ ۲-۵-۷- محاسبه خروجی‌ها و انتشارات بیوزنی
- ۲۵۵ ۳-۵-۷- انتشار نمک دریا
- ۲۵۵ ۴-۵-۷- انتشار آلاینده‌های اتمسفری از سطح زمین
- ۲۵۶ ۵-۵-۷- انتشار آلاینده‌های ناشی از آتش سوزی‌های جنگل
- ۲۵۸ ۶-۷- مثال‌ها و کاربردها
- ۲۶۲ مسائل

### فصل هشتم: آلودگی هوا در محیط‌های بسته

- ۲۶۳ چکیده
- ۲۶۴ ۱-۸- مقدمه‌ای بر کیفیت هوا در محیط‌های بسته
- ۲۷۳ ۲-۸- آزون
- ۲۷۴ ۳-۸- اکسیدهای نیتروژن
- ۲۷۷ ۴-۸- ترکیبات آلی فرار

۲۸۲	۵-۸- شیمی ترکیبات آلی درون ساختمان‌ها
۲۸۵	۶-۸- رادون
۲۸۷	۱-۶-۸- تجزیه و وایشی رادیواکتیوی ایزوتوپ‌های رادون
۲۸۹	۲-۶-۸- پرتوگیری از دز رادیوم در محیط‌های بسته
۲۹۱	۳-۶-۸- مثال‌ها
۲۹۲	۷-۸- مونو اکسید کربن
۲۹۴	۸-۸- ازبست‌ها
۲۹۵	۹-۸- فلزات سنگین
۲۹۷	۱۰-۸- فرم آلدئید
۳۰۰	۱۱-۸- آفت‌کش‌ها
۳۰۱	۱۲-۸- هیدرو کربن‌های آروماتیک چند حلقوی
۳۰۲	۱۳-۸- بی‌فنیل‌های پلی‌کلریک (PCBs)
۳۰۳	۱۴-۸- دود دخانیات
۳۰۶	۱۵-۸- زیست هواویزها
۳۰۷	۱۶-۸- الگوهای ریزمحیطی
۳۱۰	۱۷-۸- سرعت تبادل هوا از طریق نفوذ
۳۱۱	۱۸-۸- الگوهای انتشار
۳۱۲	۱۹-۸- الگوهای ته‌نشست
۳۱۳	۱-۱۹-۸- مثال‌ها
۳۱۵	مسائل
۳۱۷	واژه نامه (اضافه شده توسط مترجمین)
۳۳۵	منابع

## پیشگفتار مترجمین

گسترش علوم و صنایع در چند سده اخیر موجب ایجاد فرصت‌ها و در عین حال چالش‌های متعددی در جهان گردیده است. به عنوان مثال، گسترش و بهبود کیفیت بهداشت و رفاه اجتماعی از جمله فواید گسترش علوم و صنایع بوده است. این در حالی است که گسترش صنایع و عدم مدیریت بهینه آن، موجب ایجاد مشکلاتی نیز شده است که بیشترین این مشکلات در زمینه محیط زیست بوده است. مشکلاتی از قبیل تغییر اقلیم، بر هم زدن تعادل اکوسیستم‌ها و از همه مهم‌تر ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی شامل آلودگی آب دریاها، دریاچه‌ها، آلودگی خاک و آلودگی هوا از این جمله‌اند. اتمسفر (نیوار) به عنوان مأمنی برای حیات موجودات مطرح است و وجود آلودگی در آن لطمات جبران ناپذیری بر موجودات موجود در آن خواهد گذاشت.

برای بررسی آلودگی هوا، شناخت نیوار که آلودگی در آن ایجاد شده است بسیار ضروری است. به این منظور، در سه فصل ابتدایی کتاب حاضر به ترتیب به شرحی از نیوار زمین شامل بررسی پویایی نیوار، ساختمان نیوار، ترکیبات شیمیایی نیوار و تغییر پارامترهای هواشناسی نسبت به ارتفاع، اثر تابش خورشیدی بر سطح زمین و نیوار و اثر گلخانه‌ای پرداخته می‌شود. در فصل دوم مبانی اولیه هواشناسی شامل جنبه‌های عمومی هواشناسی، ساختار عمودی دما و شرایط پایداری جو، تغییرپذیری جو، توده‌های هوا، جبهه‌ها، تلاطم، دما و رطوبت جو (نیوار) پرداخته می‌شود. در فصل سوم گردش نیواری که در برگزیده مواردی همچون فشار، سحنی‌های هم‌فشار، نیروی گرادیان فشار، باد، گردش عمومی، ساختار عمودی سامانه‌ها و معادلات گردش عمومی نیوار می‌باشد، مورد بحث قرار خواهد گرفت. در فصل چهارم مباحث اولیه در خصوص شیمی جو مورد بررسی قرار می‌گیرد که می‌توان مواردی همچون ترکیبات شیمیایی نیوار، شیمی تروپوسفر، ذرات معلق، فتوشیمی در تروپوسفر آزاد، ترکیبات شیمیایی آبی در نیوار و شیمی استراتوسفر-آزون را نام برد. وجود ریزگردها در حال حاضر به عنوان مشکلی در کشور مطرح است که موجب خسارات اقتصادی و زیست محیطی زیادی گردیده است. به این منظور، در فصل پنجم ریزگردهای نیوار (آئروسول‌ها) مورد بررسی قرار گرفته است که جنبه‌های مختلفی از قبیل توزیع اندازه، ترکیبات شیمیایی، ریزگردهای آلی، دینامیک ریزگردها و ریزدانه‌های زیستی (*Bio-aerosol*) را در بر می‌گیرد. موضوع فصل ششم نحوه انتشار آلاینده‌ها در نیوار با استفاده از مدل‌های انتشار اویلری و لاگرانژی می‌باشد. فصل هفتم به بررسی الگوهای انتشار آلاینده‌ها در نیوار پرداخته است که به تفصیل معادلات پراکندگی انتقال آلاینده در

سیستم مختصات اوپلری و لاگرانژی، انتشار و خروج آلاینده‌های نیواری را در زیست‌کره (*Biosphere*) مورد بحث قرار داده است. در فصل هشتم، آلودگی هوا در محیط‌های بسته مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این فصل، ابتدا به بحث پیرامون مقدمه‌ای بر کیفیت هوا در محیط‌های بسته (*Indoor*) پرداخته شده و سپس تأثیر آلاینده‌هایی همچون آزون، اکسیدهای نیتروژن، ترکیبات آلی فرار، شیمی ترکیبات آلی درون ساختمان‌ها، رادون، مونو اکسید کربن، آزبست‌ها، فلزات سنگین، فرم آلدئیدها، آفت‌کش‌ها، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقوی، بی‌فنیل‌ها، دود دخانیات، زیست هواویزها (ریز دانه های زیستی)، الگوهای ریزمحیطی (*Micro-environment*)، سرعت تبادل هوا از طریق نفوذ، الگوهای انتشار و الگوهای نشست آلودگی به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که فصل انتهایی کتاب به دلیل ورود به مباحث تخصصی پزشکی و احتمال غیر کاربردی بودن آن برای خوانندگان (دانشجویان و محققین غیر پزشکی) از مبحث کتاب حذف گردید. این کتاب برای کلیه دانشجویان و دانش پژوهان در رشته‌های محیط زیست، بهداشت حرفه‌ای، پزشکی (عمومی)، منابع طبیعی و هواشناسی (گرایش آلودگی) در کلیه مقاطع تحصیلی شامل کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری توصیه می‌شود.

در انتها، مترجمین بر این باورند که ترجمه این اثر خالی از اشکال نبوده و ارائه پیشنهادات از طرف پژوهشگران و دانشجویان عزیز موجب ارتقاء محتوی کتاب در چاپ‌های بعدی خواهد شد. مترجمین اثر دریافت هرگونه اصلاحیه و پیشنهاد را از طریق پست الکترونیکی : [swsabzi@basu.ac.ir](mailto:swsabzi@basu.ac.ir) با روی باز پذیرا می‌باشند.

علی اکبر سبزی پرور ، جلیل هلالی

اتمسفر از تابش‌های فرابنفش (UV) <sup>۱</sup> و رعد و برق‌ها <sup>۲</sup> دچار تلاطم‌های شدید گردید. همزیستی منابع انرژی و اتمسفر اولیه باعث به وجود آمدن شکل اولیه‌ای از زندگی در درون آب شد که به واسطه عمل فتوسنتز، اتمسفر با اکسیژن غنی گردید.

اکسیژن اتمسفر ترکیب حیاتی لازم برای به وجود آمدن و باقی ماندن زندگی در روی زمین است. این گاز مصرف شده و باعث به وجود آمدن فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی که در سرتاسر زیست‌کره و سنگ‌کره <sup>۳</sup> رخ می‌دهد می‌شود. منابع و فرآیندهای تولید اکسیژن در اتمسفر به صورت زیر است:

الف) تجزیه نوری <sup>۴</sup> بخار آب در اثر تابش فرابنفش خورشیدی، فرآیندی که از طریق واکنش شیمیایی زیر در اتمسفر فوقانی روی می‌دهد:



ب) فتوسنتز در ارگانیسم‌های زنده (گیاهان، جلبک‌ها <sup>۵</sup>، سیانو باکتری‌ها) ترکیب مواد آلی را از آب و دی‌اکسید کربن با واکنشی که توسط نور خورشید با استفاده از معادله زیر می‌سازند:

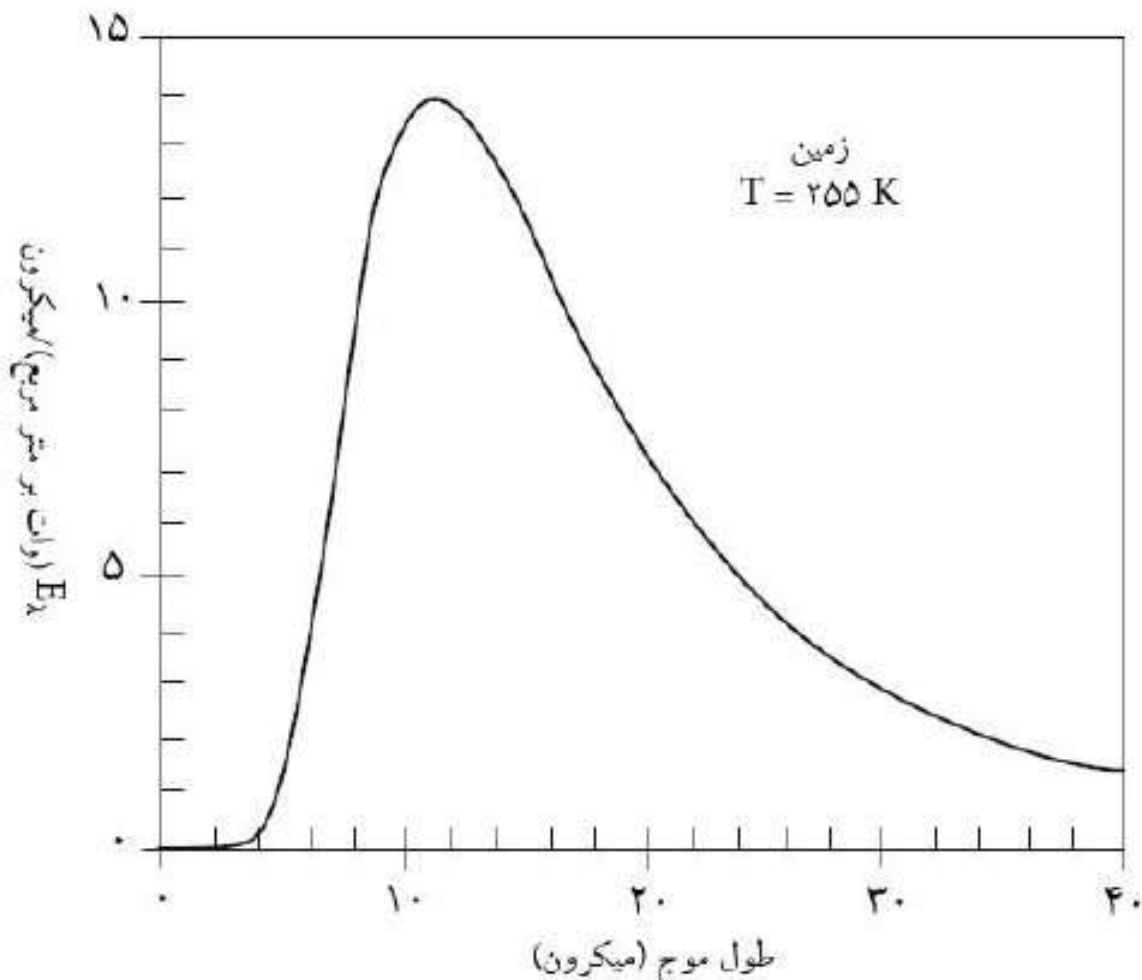


از دو مسیر بالا که اکسیژن تولید می‌شود، فتوسنتز سازوکار غالب در رابطه با فرآیند تجزیه نوری است. اگر تنها تجزیه نوری در اتمسفر وجود داشت، تولید اکسیژن متناظر با ترازهای غلظت بین یک میلیونیم تا یک ده هزارم کمتر از سطح کنونی آن در اتمسفر می‌بود.

ایجاد حیات اولیه از آب با محافظت اتمسفر از تابش خطرناک فرابنفش خورشیدی ممکن شد. این محافظت از طریق لایه محافظ/آزون که در لایه‌های بالاتر اتمسفر قرار گرفته به وجود آمد. آزون به واسطه فتوسنتزی که در میکروارگانیسم‌های <sup>۶</sup> (ریز موجودات) درون آب صورت می‌گرفت از اکسیژن تولید شد. آزون قادر به جذب تابش فرابنفش است که برای موجودات زنده مضر می‌باشد. محاسبات نظری با یک الگوی اتمسفری نشان داده که تشکیل این لایه محافظ (آزون) حداقل نیاز به یک هزارم غلظت اکسیژن کنونی نیاز دارد. با تشکیل لایه آزون و بیشتر شدن ضخامت آن، موجودات زنده قادر به خروج از آب شده و حیات بر روی زمین ممکن گردید. در نهایت، با استفاده از اجزاء سخاوتمند محیط زیست، زندگی آغاز شد و نواحی جنگلی روی زمین گسترش یافت.

فرآیند فتوسنتز منبع اصلی اکسیژن در اتمسفر می‌باشد و محاسبه شده که یک میلیارد سال قبل اتمسفر دارای مقادیر مشابهی از اکسیژن که امروزه وجود دارد، بوده است. مقدار کل اکسیژن در

1. Ultra Violet
2. Lightnings
3. Lithosphere
4. Photo-dissociation
5. Algae
6. Cyanobacterial
7. Micro-organisms



شکل ۱-۲۲- تابش موج بلند زمینی از سطحی که به صورت جسم سیاه با دمای ۲۵۵ درجه کلوین تشعشع می‌نماید.

### ۹-۱- استانداردهای کیفیت هوای محیط

استانداردهای کیفیت هوا به منظور محافظت از سلامتی انسان و محیط در سطوح ملی و بین‌المللی معرفی گردیده است. <sup>۱</sup> آستانه‌های آلاینده‌های بیان شده در قانونگذاری‌ها بر مبنای مرور دقیق اطلاعات علمی مرتبط با اثرات آنها روی بهداشت و سلامتی انسان‌ها بوده است. جدول ۱-۶ خط‌مشی‌های کیفیت هوا را برای مواد ذرات، آزون، دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد که توسط سازمان بهداشت جهانی <sup>۲</sup> پیشنهاد شده است ارائه می‌کند (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۰۶). تراکم متوسط سالانه پیشنهاد شده با مقادیر متوسط ۲۴ ساعته، ۸ ساعته، ۱ ساعته و ۱۰ دقیقه‌ای نیز ارائه شده است. قانونگذاری غلظت  $PM_{10}$  نیز به وسیله اتحادیه اروپا <sup>۳</sup> پیشنهاد شده است. نقش‌ها، اهداف و

1. Threshold  
2. World Health Organization (WHO)  
3. European Union (EU)



روش‌های مدیریت کیفیت هوا در بخشنامه شماره ۹۶/۶۲/EC اتحادیه اروپا تعیین و ارائه شده است. برای  $PM_{10}$  استانداردهای لازم الاجرا در سطوحی که در جدول ۱-۷ ارائه شده است باید انجام شود. علاوه بر این، در جدول ۱-۸ سطوح غلظت محیطی آزون و مواد ذره‌ای پیشنهاد شده به وسیله آژانس محافظت از محیط زیست ایالات متحده<sup>۱</sup> نیز نشان داده شده است. همچنین، ترازهای غلظت محیطی آلاینده‌های مخصوص هوا که به وسیله سازمان بهداشت جهانی ارائه شده است نیز در جداول ۱-۹ تا ۱-۱۰ نشان داده شده است (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۰۶).

جدول ۱-۶- راهنمای کیفیت هوا برای مواد خاص، آزون، دی اکسید نیتروژن، و دی اکسید گوگرد که بوسیله سازمان بهداشت جهانی پیشنهاد شده است (از بهداشت جهانی، ۲۰۰۶).

ترکیب	متوسط سالانه <sup>۲</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	متوسط ۲۴ ساعته ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	متوسط ۸ ساعته (میکروگرم بر مترمکعب)	متوسط ۱ ساعته ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	متوسط ۱۰ دقیقه‌ای ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
$PM_{10}$	۲۰	۵۰			
$PM_{2.5}$	۱۰	۲۵			
$O_3$			۱۰۰		
$NO_2$	۴۰			۲۰۰	
$SO_2$		۲۰			۵۰۰

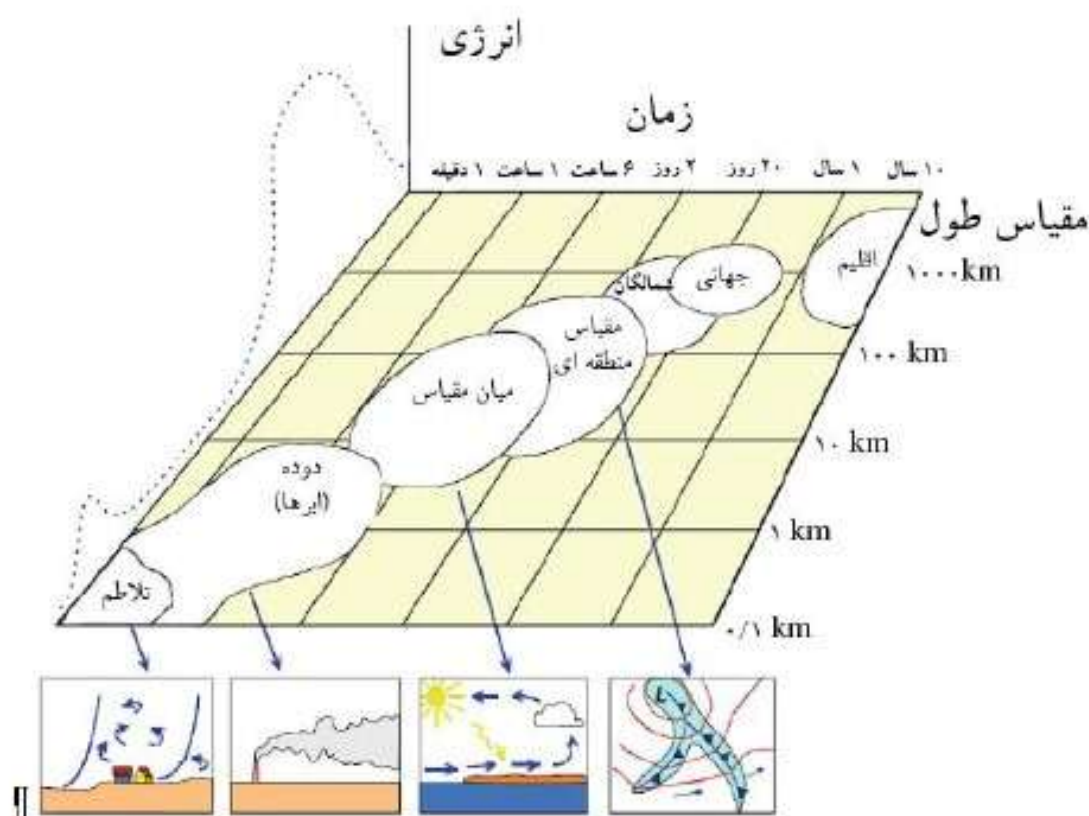
جدول ۱-۷- محدوده مقادیر برای مواد ذره‌ای

متوسط دوره زمانی	مقدار مجاز	محدوده مجاز (درصد)	تاریخی که این محدوده تصویب شده
مقدار محدوده ۲۴ ساعته برای محافظت از سلامتی انسان	۵۰ میکروگرم بر مترمکعب، نباید بیشتر از ۳۵ بار در یک سال تجاوز نماید	۵۰ درصد این راهنما را تصویب کردند، در ۱ ژانویه ۲۰۰۱ تحویل داده شد و هر ۱۲ ماه بعد برابر با درصد سالانه می‌رسد به ۰ درصد در ۱ ژانویه ۲۰۰۵	۱ ژانویه ۲۰۰۵
مقدار محدوده سالانه برای محافظت از سلامتی انسان	۴۰ میکروگرم بر مترمکعب مواد ذره‌ای	۲۰ درصد این راهنما را تصویب کردند، در ۱ ژانویه ۲۰۰۱ تحویل داده شد و هر ۱۲ ماه بعد برابر با درصد سالانه می‌رسد به ۰ درصد در ۱ ژانویه ۲۰۰۵	۱ ژانویه ۲۰۰۵

منتشر می‌شوند نهایتاً زدوده شده و یک چرخه را به وجود می‌آورند. این چرخه را چرخه زیستی-شیمیایی-زمینی<sup>۱</sup> می‌نامند. عبارت آلودگی هوا وقتی استفاده می‌شود که ترکیبات شیمیایی منتشر شده از فعالیت‌های بشر در غلظت‌های بالای خود باقی بمانند و اثرات قابل اندازه‌گیری بر روی اکوسیستم‌ها و انسان‌ها بگذارند. علاوه بر این، شکل ۱-۲ مقیاس‌های زمانی و مکانی مرتبط با آلودگی هوا، تلاطم، ابرها، وضع هوا و اقلیم را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲- مقیاس‌های مکانی انتقال آلاینده‌ها در اتمسفر و پدیده‌های مرتبط

مقیاس	بُعد مکانی	مثال‌هایی از فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی در اتمسفر
مقیاس مولکولی	کمتر از ۲ میلی‌متر	انتشار مولکولی
خُرد مقیاس	۲ میلی‌متر تا ۲ کیلومتر	انتشارات صنعتی، ابرها
میان مقیاس	۲ تا ۲۰۰۰ کیلومتر	بهم آمیختگی ابر، طوفان‌ها، آلودگی هوا در مراکز شهرها
مقیاس سینوپتیکی	۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلومتر	سامانه‌های کم فشار و پرفشار، حفره آزون در جنوبگان
مقیاس جهانی	بیشتر از ۱۰۰۰۰ کیلومتر	کاهش آزون استراتوسفری، سامانه‌ی پادهای سیاره‌ای



شکل ۱-۲- مقیاس‌های زمانی، مکانی و انرژی پدیده‌های مختلف در اتمسفر

حوادث پیچیده‌ای که از انتشار آلاینده‌ها به اتمسفر شروع می‌شود، در نهایت به اثراتی که بر سلامتی انسان دارد ختم می‌شود. بنابراین، لازم است برای پیش‌بینی پتانسیل ریسک انسان‌ها از ترکیبات شیمیایی خاص و ترکیباتی که ناشی از آن‌ها می‌باشد اطلاع داشته باشیم (شکل ۲-۲ را

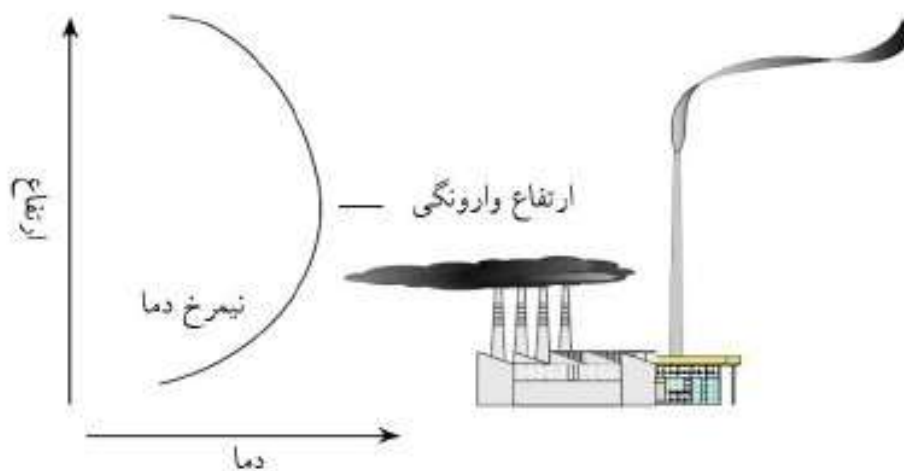
عبارت  $\frac{dw_v}{dz}$  برای هوای در حال صعود که تراکم بخار آب در درون آن صورت می‌گیرد منفی خواهد بود، بنابراین سرعت سردشدگی هوای مرطوب در درون آب‌رها کمتر از سرعت سردشدگی هوای خشک است. دلیل این امر این است که با افزایش ارتفاع، درصد بخار آب به علت تراکم آن کاهش می‌یابد. عبارت  $\frac{dw_v}{dz}$  به دما بستگی دارد چرا که به طور قابل ملاحظه‌ای با دما افزایش می‌یابد.

### ۳-۲-۲- وارونگی دمایی

همان طور که در فصل اول اشاره شد، در بعضی موارد دمای هوا به جای کاهش با ارتفاع در یک محل مشخص از اتمسفر افزایش می‌یابد. این پدیده را وارونگی دمایی گویند. در درون لایه وارونگی، اتمسفر در تعادل پایدار است و بنابراین شرایط برای حرکت عمودی هوا در آن مناسب نیست. وارونگی دمایی ممکن است منجر به افزایش تراکم آلاینده‌ها در لایه‌های پایینی اتمسفر گردد. سه عامل اساسی وجود دارد که در ایجاد وارونگی‌های دمایی تأثیر می‌گذارند:

- سرد شدن لایه‌های پایین اتمسفر (وارونگی سطحی یا تشعشعی).
- گرم شدن بی‌دررو هوای در حال نزول (وارونگی فرونشینی).
- انتقال افقی هوای سرد یا گرم.

به طور نمونه، نیمرخ حرکت یک ستون دود<sup>۱</sup> در زمان وقوع وارونگی دمایی در شکل ۲-۵ و وارونگی تابشی در شکل ۲-۶ نشان داده شده است. لایه‌ای که از سطح زمین تا پایه لایه وارونگی توسعه یافته را لایه اختلاط<sup>۲</sup> نامند. ارتفاع این لایه را ارتفاع اختلاط<sup>۳</sup> گویند.



شکل ۲-۵- دوده ناشی از دودکش‌های کم ارتفاع در درون وارونگی حبس شده، در حالی که دوده ناشی از دودکش‌های بلند در بالای ارتفاع وارونگی صعود کرده، اختلاط یافته و منتقل شده است.

1. Plume
2. Mixing layer
3. Mixing height

ما در اتمسفر مفهوم جریانی را که مطالعه می‌کنیم به صورت انتقال کمیتی بر واحد سطح و واحد زمان تعریف می‌کنیم. در لایه مرزی معمولاً مطالعه شار جرم، حرارت، رطوبت، تکانه و آلاینده‌ها صورت می‌گیرد. به عنوان مثال برای جرم جریان آلاینده ( $\overline{M}$ ) را تعریف می‌کنیم که به صورت کیلوگرم هوا بر مترمربع ثانیه بیان می‌شود. جریان سینماتیکی<sup>۱</sup> به صورت  $M = \frac{\overline{M}}{\rho_{air}}$  تعریف می‌شود که به صورت متر بر ثانیه می‌باشد. علاوه بر این، شار حرارتی سینماتیکی عمودی ناشی از شار تلاطم (شار جنبشی-حرارتی عمودی پیچک) به صورت  $w'\theta'$  تعریف می‌شود که  $\theta$  دما است.

کمیت دیگری که در مطالعه شار اتمسفر مهم است تنش می‌باشد که در واقع نیرویی است که می‌تواند باعث تغییر شکل در جسم گردد. فشار نوعی از تنش است که در سیالات تحت تعادل بکار برده می‌شود. تنش رینولدز برای یک سیال در حرکت تلاطمی بوسیله عبارت زیر بیان می‌شود:

$$\tau_{Reynolds} = -\rho \overline{u'w'} \quad (\text{تنش رینولدز}) \quad (27-2)$$

یا می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$\tau_{ij} = \mu \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) + \left( \mu_B - \frac{2}{3} \mu \right) \frac{\partial U_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \quad (28-2)$$

که  $\mu_B$  ضریب وِشکسانی (چسبندگی)<sup>۲</sup> و  $\mu$  ضریب وِشکسانی دینامیکی<sup>۳</sup> است. تانسور تنش رینولدز متقارن بوده و با رابطه (29-2) مشخص می‌شود:

$$\begin{bmatrix} \overline{u'u'} & \overline{u'v'} & \overline{u'w'} \\ \overline{u'v'} & \overline{v'v'} & \overline{v'w'} \\ \overline{u'w'} & \overline{v'w'} & \overline{w'w'} \end{bmatrix} \quad (29-2)$$

که  $u, v, w$  و  $U$  سرعت یا شتاب هوا در سه جهت است.

مقدار نمونه ضریب سینماتیکی تنش رینولدز در اتمسفر  $0.05$  مترمربع بر مجذور ثانیه است. تنش رینولدز خصوصیتی معین از شار و جریان بوده و مربوط به محیط واسطه نیست. علاوه بر این، تنش رینولدز در جهت‌های  $X, Y$  و  $Z$  را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$\tau_{xz} = -\rho \overline{u'w'_s} \quad (\text{تنش گرانروی}) \quad (30-2)$$

$$\tau_{yz} = -\rho \overline{v'w'_s} \quad (31-2)$$

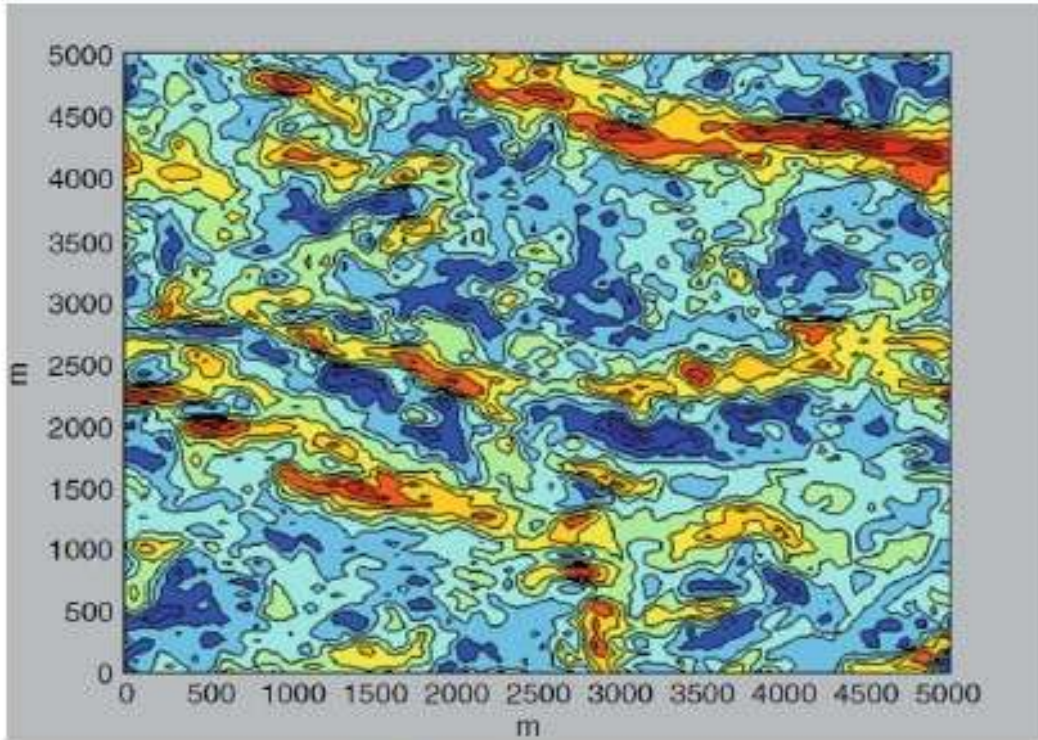
با یک تنش رینولدز کلی داریم:

1. Kinematic flux
2. Viscosity coefficient
3. Dynamic viscosity coefficient
4. Viscous stress

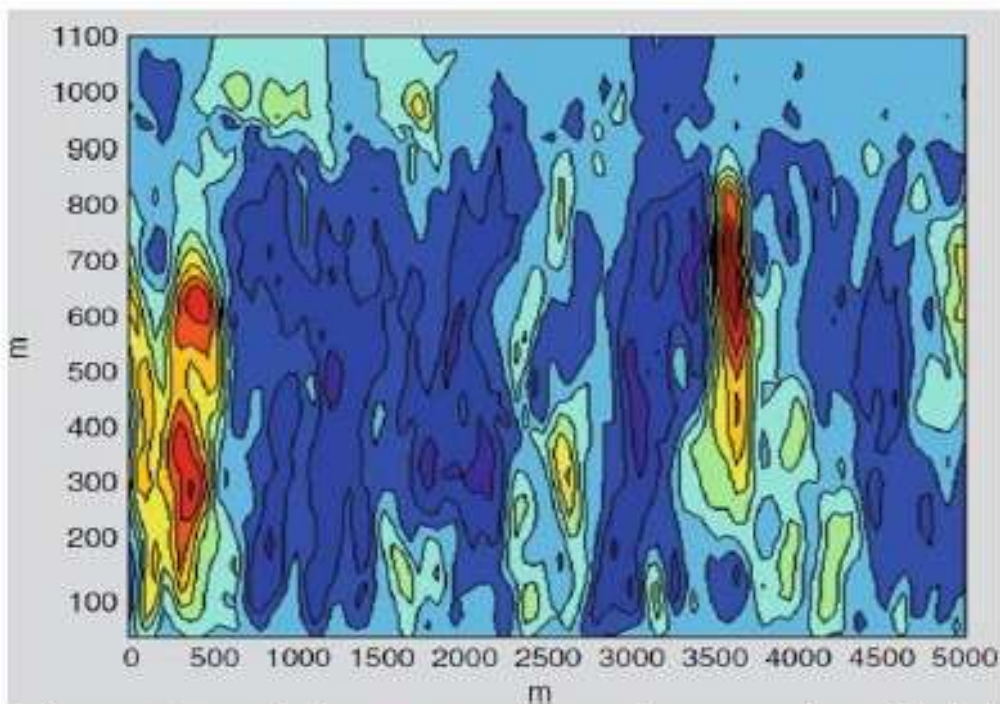
$$|\tau_{Reynolds}| = [\tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2]^{1/2} \quad (32-2)$$

نهایتاً سرعت اصطکاکی  $u^*$  را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$u^{*2} \equiv \left[ \overline{u'w_s'^2} + \overline{v'w_s'^2} \right]^{1/2} = |\tau_{Reynolds}| / \bar{\rho} \quad (33-2)$$



شکل ۲-۱۶- نوسانات لحظه‌ای مؤلفه عمودی باد (متر) در صفحه X-Y در ارتفاع ۱۹۰ متری سطح زمین (اقتباس از هوسیاداس و همکاران، ۲۰۰۴).



شکل ۲-۱۷- نوسانات لحظه‌ای مؤلفه عمودی باد (متر) در صفحه Y-Z در ارتفاع ۲۵۰۰ متری (اقتباس از هوسیاداس و همکاران، ۲۰۰۴).

## ۲-۷-۵- مطالعه پالایش بارش

برای ایجاد بارش راه‌های مختلفی وجود دارد که در فصل جاری بحث شد. مهم‌ترین آن‌ها باران و برف هستند. جریان گازها و ذرات اتمسفر به سطح زمین از طریق بارش را می‌توان به صورت زیر تعریف نمود (سینفیلد و پاندیس، ۲۰۰۶):

$$W_{gazi\ rain}^i = \Lambda_{ig} C_{i,gas} \quad (38-2)$$

$$W_{aeros\ rain}^i = \Lambda_{ip} C_{i,part} \quad (39-2)$$

که در آن  $\Lambda_{ig}$  و  $\Lambda_{ip}$  به ترتیب ضرایب جمع‌کننده مؤلفه‌های فاز گازی و ذرات است. وقتی تراکم آلاینده‌های موجود در اتمسفر در سطح افقی همگن باشد پالایش کل  $F_{bc}(t)$  (کیلوگرم بر مترمربع بر ساعت) زیر آبر برابر با  $C_g(z,t)$  خواهد بود، پس نتیجه می‌شود:

$$F_{bc}(t) = \int_0^h \Lambda_g(z,t) C_g(z,t) dz \quad (40-2)$$

که  $h$  ارتفاع پایه ابر<sup>۱</sup> و  $g$  ضریب پالایش<sup>۲</sup> است که به زمان (بر ثانیه) بستگی دارد. پالایش کل مجموع پالایش درون ابرها<sup>۴</sup> و ریزش زیر ابرها<sup>۵</sup> است. برای اتمسفر همگن در زیر ابرها آن را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$F_{bc}(t) = C_g(t) \int_0^h \Lambda_g(z,t) dz = \bar{\Lambda}_g h C_g(t) \quad (40-2)$$

که  $\bar{\Lambda}_g$  مقدار متوسط ضریب جمع‌کننده است.

نسبت ریزش زیر ابر را می‌توان به صورت زیر تعریف نمود:

$$WR = \frac{C_{i,precip}(x,y,0,t)}{C_{i,abr}(x,y,0,t)} \quad (42-2)$$

که  $C_{i,precip}(x,y,0,t)$  غلظت ترکیب  $i$  است که در درون باران در سطح زمین وجود دارد و  $C_{i,rain}(x,y,0,t)$  غلظت ترکیب  $i$  درون هوای سطح زمین است. بنابراین جریان  $F_w$  در پالایش مرطوب<sup>۶</sup> را می‌توان به صورت زیر بیان نمود (سینفیلد و پاندیس، ۲۰۰۶):

1. Total scavenging
2. Cloud base
3. Scavenging coefficient
4. Washout
5. Rainout
6. Wet Scavenging

## مسائل

۲-۱- پیشنهاد شده که مشکل آلودگی هوا در شهر لس آنجلس را می توان به وسیله تونل های حفر شده در اطراف کوه ها و پمپ نمودن هوای بیرونی مناطق اطراف که عمدتاً بیابان هستند حل نمود. انرژی لازم برای انتقال هوا از لس آنجلس را محاسبه نمایید. مساحت لس آنجلس ۴۰۰۰ کیلومتر مربع بوده و هوای آلوده زیر لایه مرزی با ارتفاع متوسط ۴۰۰ متر قرار دارد. ضریب چسبندگی<sup>۱</sup> هوایی که در ناحیه بالای لس آنجلس منتقل می شود برابر با ۰/۵ و حداقل انرژی که برای جریان هوا لازم است برابر با مقدار انرژی است که از اصطکاک سطحی هدر می رود. انرژی که برای انتقال جرم هوایی با سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت لازم است را محاسبه نمایید. نتیجه را با ظرفیت سد تولید برق هاور<sup>۲</sup> که برابر با  $۱۰^۶ \times ۱/۲۵$  کیلووات ساعت است مقایسه نمایید.

۲-۲- مقدار افتاهنگ عمودی دما در ناحیه ای برابر با ۵ درجه سانتیگراد بر کیلومتر و دمای هوای سطح برابر با ۲۰ درجه سانتیگراد می باشد. اگر یک بالون عایق دار از هوای خشک با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد پر شده و اجازه صعود از سطح به آن داده شود، در این صورت ارتفاعی را که بالون می تواند به آن برسد را محاسبه نمایید (افتاهنگ در داخل بالون را برابر با ۱۰ درجه سانتیگراد بر کیلومتر در نظر بگیرید).

۲-۳- اندازه گیری های همزمان دمای هوا در چهار نقطه  $\Gamma, B, A$  و  $\Delta$  که در جهت باد یک رشته کوه قرار گرفته اند به صورت زیر است:

نقاط	A	B	$\Gamma$	$\Delta$
ارتفاع (متر)	۱۵۳۰	۱۳۹۶	۶۹۰	۳۷۸
دما (سانتیگراد)	۶/۳	۹/۶	۱۱/۹	۱۲/۲

مقدار افتاهنگ عمودی دما بین موقعیت های:

الف)  $\Delta, \Gamma$ ، ب)  $\Gamma, B$ ، ج)  $B, A$  و د)  $\Delta, A$  را محاسبه نمایید. علاوه بر این، مقایسه ای از متوسط افتاهنگ دما در این منطقه کوهستانی را با مقدار ۶/۵- درجه سانتیگراد انجام داده و اختلافات را تخمین بزنید.

۲-۴- معمولاً دمای پتانسیل  $\theta$  با فرض فرآیند بی دررو محاسبه می شود. تغییرات در آنترابی<sup>۳</sup> را می توان با تغییرات دما و فشار با استفاده از عبارت زیر بیان نمود:

$$dS = \left( \frac{\partial S}{\partial T} \right)_p dT + \left( \frac{\partial S}{\partial P} \right)_T dp$$

1. Viscosity coefficient
2. Hoover Dam
3. Entropy

$$|F_c| = |F_B| \quad (15-3)$$

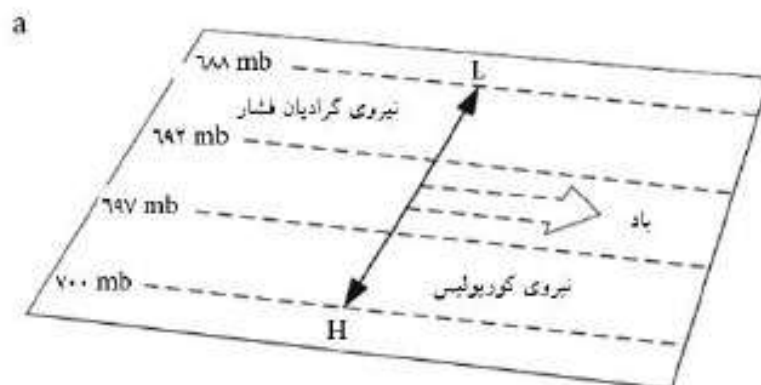
جریان بادی که از تعادل نیروی گرادیان فشار و نیروی کوریولیس به وجود می‌آید باد زمينگرد ( $V_g$ ) نامیده می‌شود. شدت باد زمينگرد مشابه با نیروهای گرادیان فشار و کوریولیس است. باد زمينگرد برای محاسبه تقریبی باد واقعی در بالای مناطقی که هیچ داده‌های هواشناسی ندارند مثل بالای اقیانوس‌ها و دریا‌های آزاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این، باد زمينگرد با باد واقعی بالای لایه مرزی در شرایطی که جریان باد بین سطوح فشار ثابت تقریباً مستقیم بوده و به نیروی اصطکاک بستگی ندارد، مشابه می‌باشد (شکل ۳-۹). از تعادل نیروی گرادیان فشار و نیروی کوریولیس، معادلات زیر برای تخمین سرعت باد زمينگرد در جهت‌های  $XX'$  و  $YY'$  حاصل می‌شود:

$$u = -\frac{1}{\rho f_c} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (16-3)$$

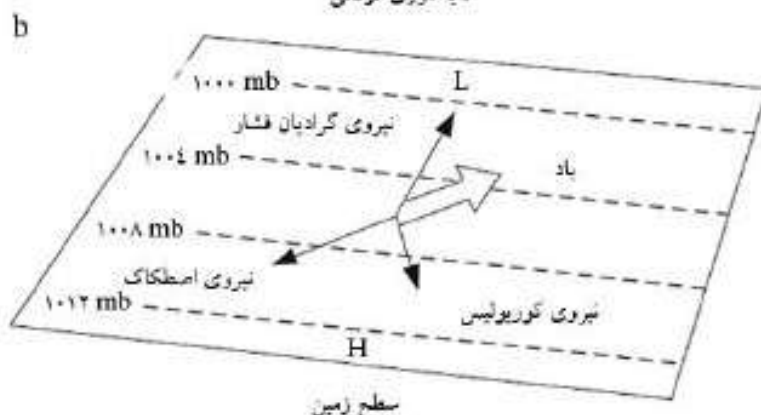
$$v = -\frac{1}{\rho f_c} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (17-3)$$

بنابراین سرعت باد زمينگرد برابر خواهد بود با:

$$V = \sqrt{u^2 + v^2} = \frac{1}{\rho f_c} \sqrt{\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial p}{\partial y}\right)^2} \quad (18-3)$$



لایه مرزی فوقانی

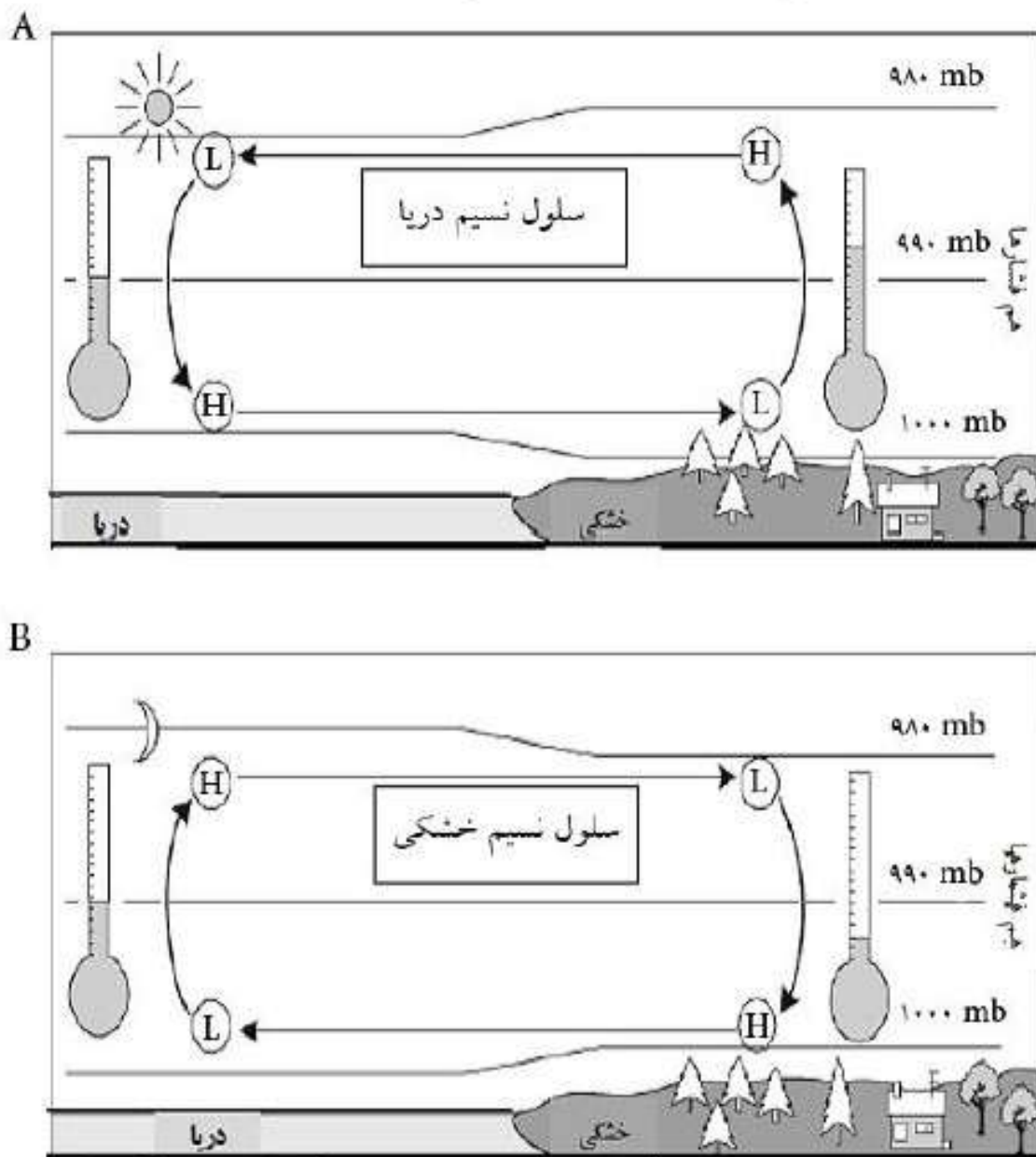


سطح زمین

شکل ۳-۹- جهت باد در لایه‌های اتمسفری سطحی (b) و فوقانی (a)



طی تمام شب تا وقتی که آفتاب طلوع می‌کند رُخ دهد (شکل ۳-۱۷). شدت و ارتفاع نسیم خشکی کمتر از شدت و ارتفاع نسیم دریاست. ارتفاع اوج آن کمتر از ۱۰۰ متر است. این امر ناشی از این واقعیت است که اختلاف دمایی بین زمین و دریا در طی شب و روز بیشتر است.



شکل ۳-۱۷- نمایش سازوکار تشکیل: (a) نسیم دریا؛ (b) نسیم خشکی

### ۳-۷-۵- نسیم کوهستان و دره<sup>۱</sup>

نسیمی که روی کوهستان‌ها و دره‌ها ظاهر می‌شود از اختلاف دمایی هوای بالای سطح نسبت به دمایی هوایی که در ارتفاع مشابه در اتمسفر آزاد قرار دارد ناشی می‌شود. همچنین از هوای سرد انتقال یافته از بالای کوه به ارتفاعات پایین‌تر نیز به وجود می‌آید. شکل ۳-۱۸ نمایی از این پدیده را که اختلاف فشار بین فلات و سطح دریا وجود داشته و باعث تشکیل باد در شیب‌های کوهستان به ارتفاعات پایین می‌شود را نمایش می‌دهد.

## فصل چهارم

### شیمی اتمسفری

#### چکیده

اتم‌سفر شامل هزاران ترکیب شیمیایی و گونه‌های فعال، با غلظت‌های کم می‌باشد (مقادیر قسمت در میلیون و قسمت بر میلیارد). فصل چهارم ترکیبات شیمیایی اتمسفر را در رابطه با این واکنش‌های شیمیایی بررسی می‌کند. ترکیبات گوگردی، نیتروژن، کربن و هالوژن به همراه مواد ذره‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرند. چرخه فتوشیمیایی اکسیدهای نیتروژن و آزون در تروپوسفر به اضافه شیمی ترکیبات و اجزای اکسید کربن، هیدروکربن‌ها و سولفورها مورد بحث است. علاوه بر این، به مطالعه شیمی استراتوسفر در رابطه با تخریب آزون نیز پرداخته می‌شود.

#### ۴-۱- ترکیبات شیمیایی در اتمسفر

به طوری که در فصل یک نیز مورد بحث قرار گرفت اتمسفر در برگیرنده ترکیبات شیمیایی و گونه‌های واکنش‌پذیر بی‌شمار با غلظت‌های کم (پی‌پی‌ام و پی‌پی‌بی) است. تروپوسفر به عنوان حاملی برای گازها و هواویزها عمل می‌کند. انتقال آلاینده‌ها از تروپوسفر به استراتوسفر خیلی کم است (در مقیاس و دامنه سالانه)، در صورتی که اختلاط آلاینده‌ها در تروپوسفر در طی چند هفته اتفاق می‌افتد. مشاهده شده که ترکیبات اتمسفر در قرن حاضر با افزایش غلظت آلاینده‌های گازی خاصی مثل  $CO_2$ ،  $CH_4$ ،  $N_2O$  و ترکیبات هالوژن‌دار<sup>۱</sup> و همچنین هواویزها در حال تغییر بوده است. برای مثال واکنش‌های شیمیایی شامل تشکیل آزون و دی اکسید نیتروژن بوده و تعداد زیادی از واکنش‌های شیمیایی غیرخطی را درگیر نموده است (سینفیلد و پان‌دیس، ۲۰۰۶). علاوه بر این، سرعت واکنش‌های شیمیایی به غلظت سابق گونه‌های شیمیایی مختلف که بر اثر فعالیت‌های

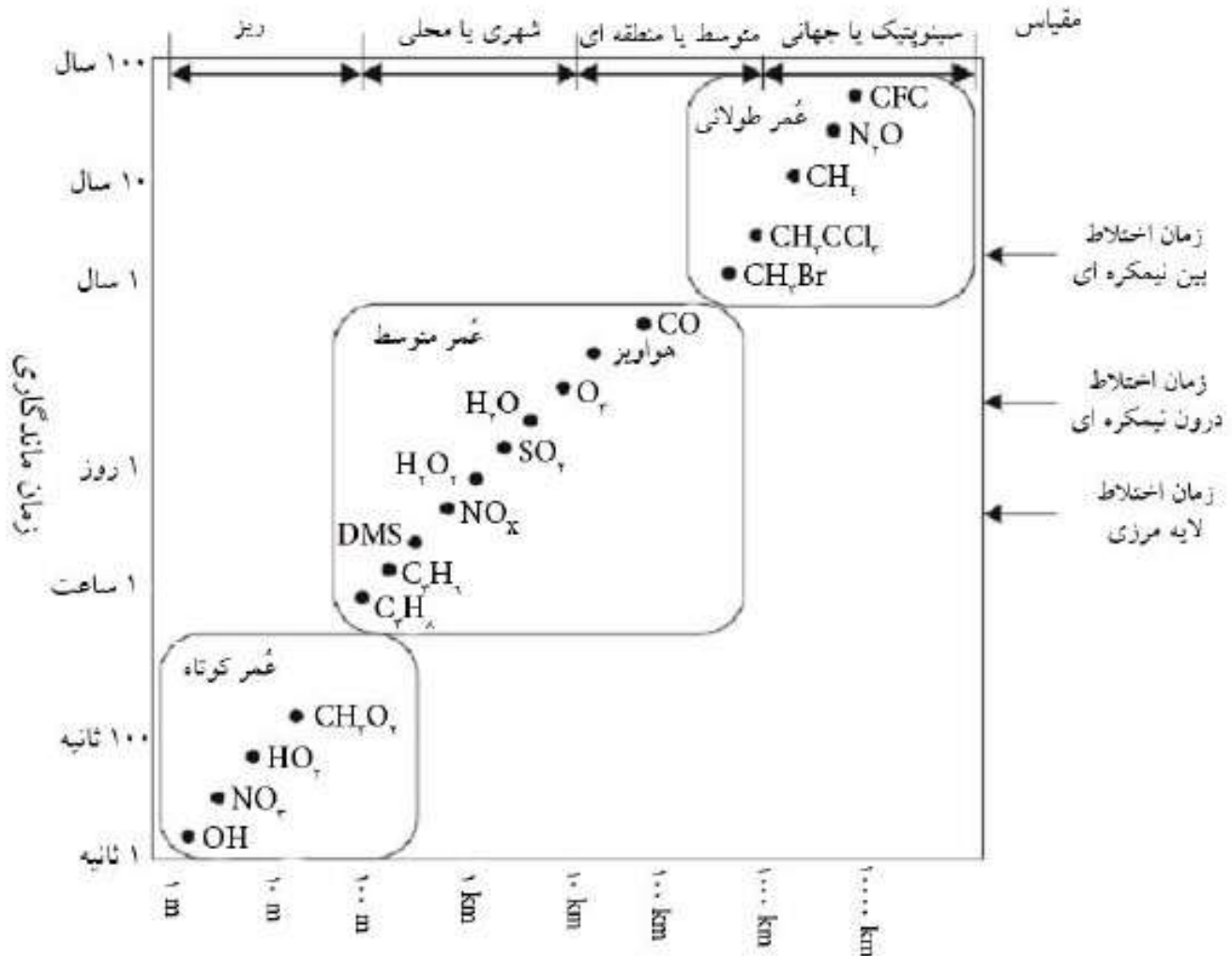
هواشناسی تولید شده‌اند، بستگی دارند. مدل‌سازی واکنش‌های شیمیایی گازی اتمسفر، به دلیل واکنش‌های پیچیده و فرآیندهای اختلاط تصادفی ناشی از تلاطم، کار مشکلی است. در الگوهای کیفیت هوا، ساده‌سازی‌هایی در تشریح واکنش‌های شیمیایی در فاز گازی به وجود آمده است. شرایط هواشناسی یکی از مهم‌ترین عوامل در تعیین توزیع زمانی و مکانی آلاینده‌های اتمسفر هستند. پدیده‌های دیگری که بر واکنش‌های شیمیایی اتمسفر تأثیر می‌گذراند تابش خورشیدی و پوشش ابری هستند.

جدول ۴-۱ ساختاری از ترکیبات انتخاب شده که در اتمسفر فراوان هستند را ارائه نموده است. تعداد خطوط بین اتم‌ها نشان دهنده پیوندهای اتم است، در صورتی که تک نقطه بالای اتم‌ها، مشخص کننده الکترون آزاد است. ترکیبات شیمیایی با الکترون‌های آزاد رادیکال‌های آزاد نامیده می‌شوند که در اتمسفر بسیار واکنش‌پذیر هستند. همچنین ترکیبات شیمیایی با یک پیوند (آزون) نیز واکنش‌پذیر هستند، چون یک ترکیب تک پیوند نسبت به پیوندهای دوگانه یا سه گانه راحت‌تر می‌شکنند (ژاکوبسون، ۲۰۰۲). بعضی از ترکیبات شیمیایی بار مثبت یا منفی دارند. توزیع بار در طی تشکیل مولکول، توسعه یافته و بار بین اتم‌ها را منتقل می‌کند. مولکول‌های با بار مثبت و منفی بار خالص صفر دارند ولی بار می‌تواند واکنش‌پذیری را نیز افزایش دهد زیرا اتم بار مثبت شده می‌تواند بار منفی را از دیگر ترکیبات جذب نموده و بر عکس نیز این امر صورت می‌گیرد.

جدول ۴-۱- ساختار شیمیایی ترکیبات شیمیایی انتخاب شده در اتمسفر (ژاکوبسون، ۲۰۰۲)

نام ترکیب شیمیایی	ساختار	فرمول شیمیایی با الکترون‌های آزاد	فرمول شیمیایی بدون الکترون‌های آزاد
اکسیژن مولکولی	$O=O$	$O_2(g)$	$O_2(g)$
نیتروژن مولکولی	$N\equiv N$	$N_2(g)$	$N_2(g)$
ازن	$\overset{\cdot}{O}-O-\overset{\cdot}{O}$	$O_3(g)$	$O_3(g)$
رادیکال هیدروکسیل	$\overset{\cdot}{O}-H$	OH	OH(g)
بخار آب	$\overset{\cdot}{O}-H$	$H_2O(g)$	$H_2O(g)$
اکسید نیتریک	$\overset{\cdot}{N}=O$	NO	NO(g)
دی اکسید نیتروژن	$\overset{\cdot}{N}=\overset{+}{O}=\overset{-}{O}$	$NO_2$	$NO_2(g)$
دی اکسید گوگرد	$\overset{\cdot}{S}=\overset{+}{O}=\overset{-}{O}$	$SO_2(g)$	$SO_2(g)$
مونواکسید کربن	$C\equiv O^{\cdot}$	CO(g)	CO(g)
دی اکسید کربن	$O=C=O$	$CO_2(g)$	$CO_2(g)$
متان	$H-C-H$	CH <sub>4</sub> (g)	CH <sub>4</sub> (g)
یون سولفات	$O=S(=O)_2$	$SO_4^{2-}$	$SO_4^{2-}$

زمان ماندگاری ترکیبات شیمیایی در اتمسفر و مقیاس زمانی انتقال آن‌ها بر خصوصیات دینامیکی آن‌ها تأثیر زیادی می‌گذارد (شکل ۴-۱). برای نمونه، ترکیبات گازی با طول عمر طولانی مثل  $\text{CH}_4$  نقش مهمی در اثر گلخانه‌ای اتمسفر بازی می‌کنند.

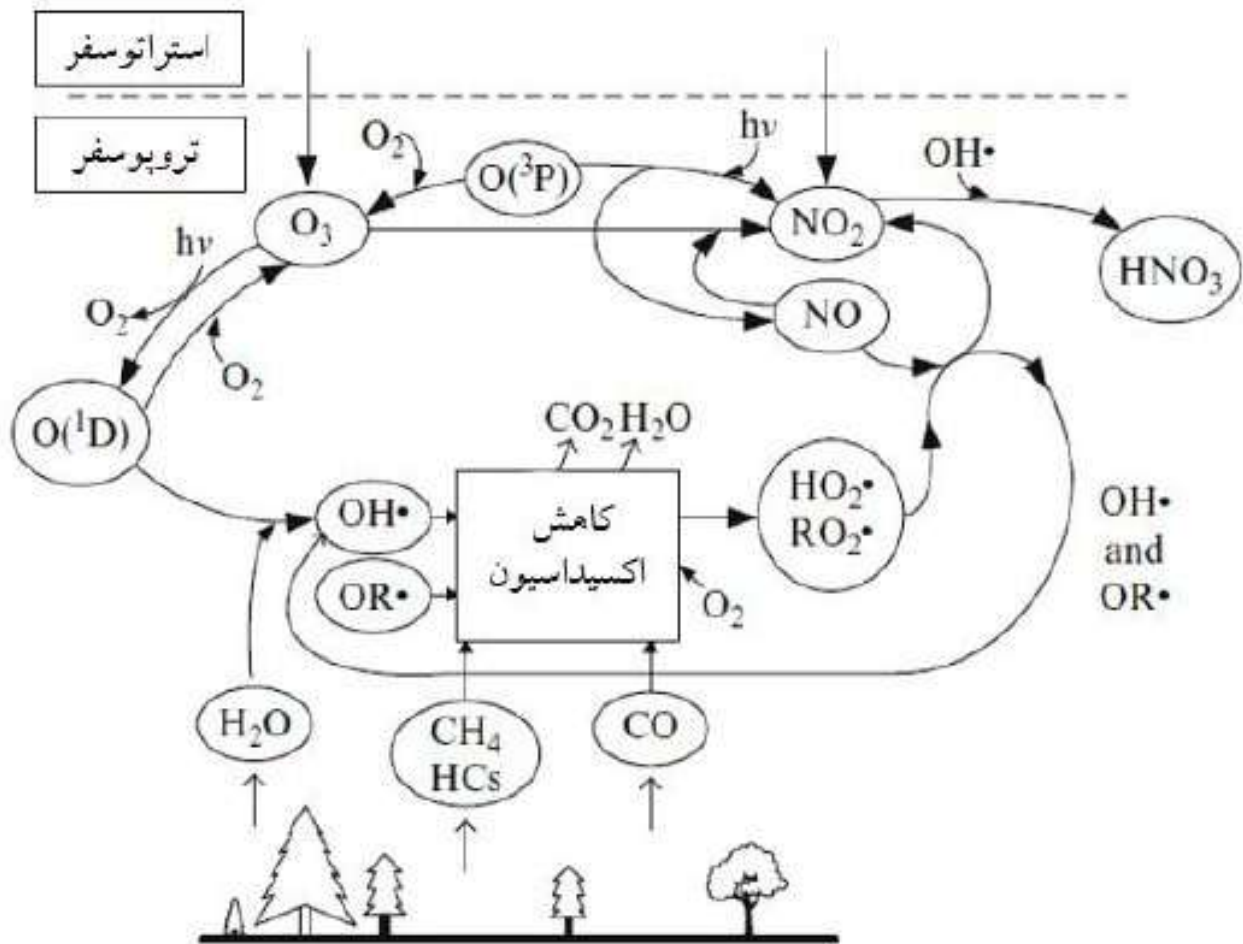


شکل ۴-۱- مقیاس مکانی و زمان ماندگاری گونه‌های شیمیایی گازی و هواپزها در اتمسفر

#### ۴-۲- شیمی تروپوسفر

عناصر تشکیل دهنده اتمسفر همگی همان عناصری هستند که در جدول تناوبی<sup>۱</sup> موجود است. ترکیبات شیمیایی اتمسفر را می‌توان به چند گروه اصلی تقسیم نمود که نقش مهمی در شیمی اتمسفر ایفا می‌کنند (سینفیلد و پاندیس، ۲۰۰۶). گروه‌های اصلی عبارتند از:

- ترکیبات دارای گوگرد
- ترکیبات دارای نیتروژن
- ترکیبات دارای کربن
- ترکیبات دارای هالوژن



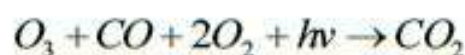
شکل ۲-۴-۲- واکنش‌های شیمیایی با وجود تابش خورشیدی در اتمسفر

#### ۲-۴-۴- شیمی دی اکسید کربن

مونواکسید کربن در اتمسفر وجود داشته و از منابع سوختی آزاد می‌شود و با فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی و با زمان ماندگاری نزدیک به ۳۶ روز در اتمسفر از بین می‌رود. مونواکسید کربن بعد از واکنش با اتم‌های اکسیژن، آزون یا دی اکسید نیتروژن اکسیده می‌شود. اکسیداسیون اتمسفری مونواکسید کربن می‌تواند با واکنش‌های زیر بیان شود:



در مجموع خواهیم داشت:



## فصل پنجم

### ریزگردهای اتمسفری

#### چکیده

این فصل مروری کلی بر دینامیک ریزگردهای اتمسفری دارد. اندازه ذرات پارامتر مهمی است که ترکیب شیمیایی، خصوصیات نوری، رسوب ذرات و استنشاق آنها در مجاری تنفسی<sup>۱</sup> انسان را تعیین می‌کند. اندازه ذرات همراه با ترکیب شیمیایی آنها مجموعاً تعیین کننده خصوصیات آنها می‌باشد. علاوه بر این، تمرکز ویژه‌ای بر ریزگردهای آلی<sup>۲</sup> در اتمسفر وجود دارد (کربن عنصری و آلی). در این فصل نیز نظریه هسته‌ای کلاسیک در ارتباط با تشکیل ذره جدید در اتمسفر، همراه با فرآیندهای تراکم، تبخیر و انعقاد ارائه می‌گردد. در انتها جنبه‌های ریزگردهای (ریزدانه) زیستی<sup>۳</sup> نیز مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

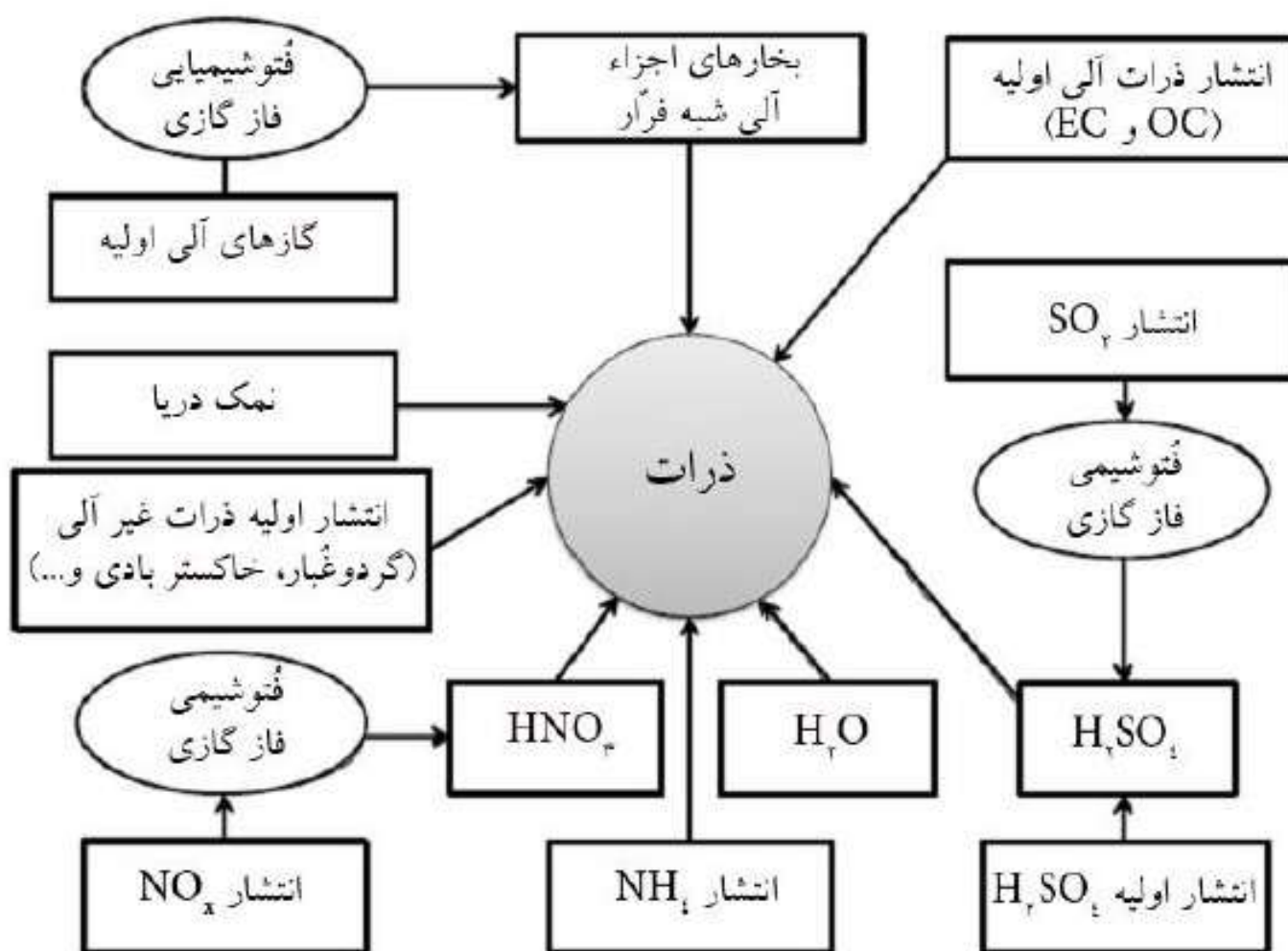
#### ۵-۱- مقدمه

ریزگرد به عنوان ذره معلق پایدار جامد و مایع در اتمسفر تعریف می‌شوند. همچنین ریزگردهای اتمسفری شامل متوسط ذراتی که در هوا معلق هستند نیز می‌شود. به هر حال، در مواقع زیادی عبارت‌های ریزگرد و ذرات ریز با هم در نوشته‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. ذرات ریزگرد در اندازه‌های بین ۰/۰۰۱ میکرومتر تا ۱۰۰ میکرومتر تغییر می‌کنند، از این رو، دامنه اندازه ذرات از ابعاد ماکروسکوپی تا حدود اندازه مولکولی نوسان دارد. آشنایی با ریزگردها برای درک سلامت عمومی بشر مهم است و شناخت دینامیک آنها برای کمی‌سازی اثرشان روی انسان اهمیت زیادی دارد. انسان همیشه در معرض ریزگردهایی است که هم در محیط بسته و هم محیط باز وجود دارند. به کارگیری

1. Respiratory tract  
2. Organic aerosols  
3. Bioaerosols

واژه ریزگرد یا آئروسول به دونان<sup>۱</sup> (ویتلاوگری و همکاران، ۱۹۲۳) نسبت داده می‌شود. اگر چه اولین بار این عبارت از شوماس<sup>۲</sup> (۱۹۲۳) اقتباس شده که به عنوان یک مقایسه با هواپیزهای آبی<sup>۳</sup> که ذرات مایع پایدار از ذرات جامد است مورد استفاده قرار گرفت. ذرات بزرگ‌تر از ۱۰۰ میکرومتر به اندازه کافی در هوا باقی نمی‌مانند که بتوان آن‌ها را به عنوان ریزگرد اندازه‌گیری و مشاهده نمود. محدوده پایینی آن‌ها به وسیله اندازه خوشه‌ای از یک جین یا مولکول‌های این چنینی کنترل می‌شود که این کوچک‌ترین موجودیتی از فاز تغلیظ شده است که می‌تواند وجود داشته باشد.

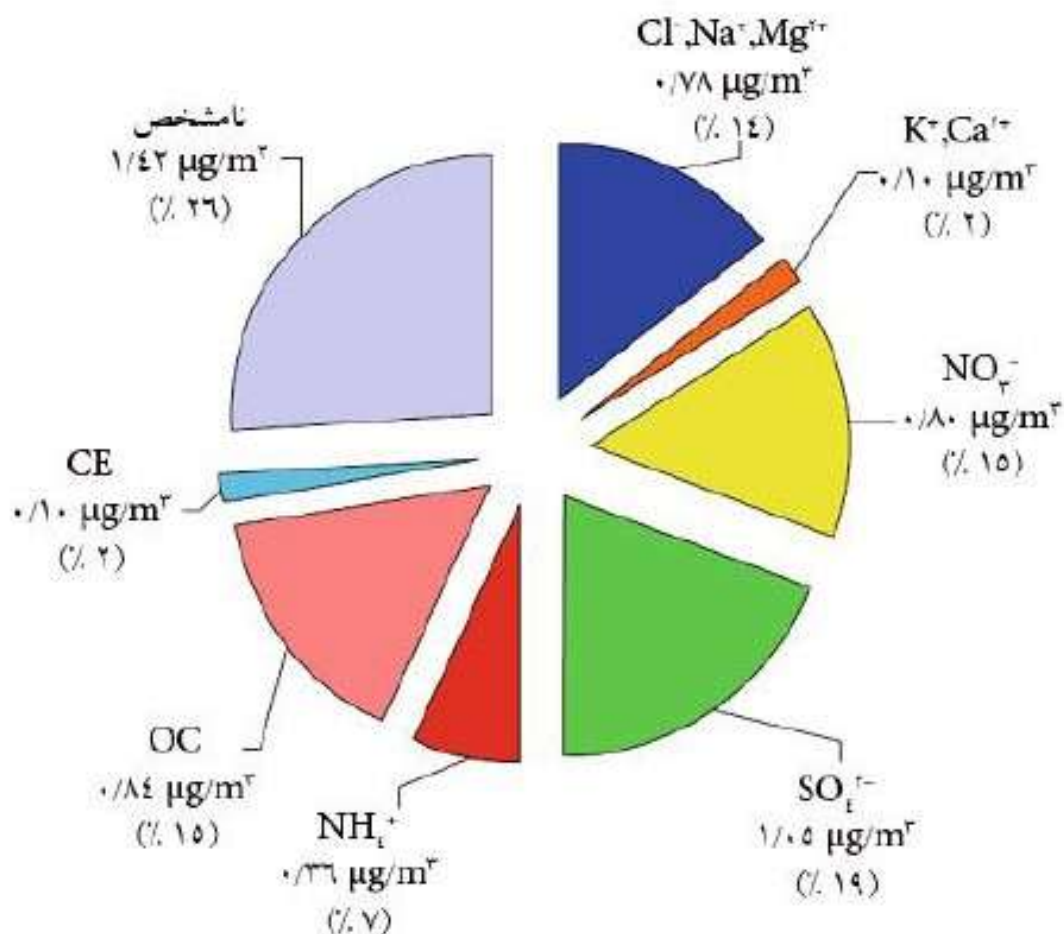
ذرات موجود در اتمسفر ترکیبی مخلوط از ذرات جامد، قطره‌های مایع و ترکیبات مایع موجود در ذرات جامد هستند. ذرات بسته به تراکم و غلظت‌شان و همچنین خصوصیات فیزیکی-شیمیایی و مورفولوژیکی‌شان متغیر هستند. این ذرات می‌توانند حاصل احتراق، مواد معلق خاک، مواد پخش شده از سطح دریا و همچنین محصولات ثانویه واکنش‌های شیمیایی رخ داده در اتمسفر باشند (شکل ۱-۵).



شکل ۱-۵- طرح‌واره‌ای از واکنش‌های شیمیایی و فرآیندهای مرتبط با مواد دریای (اقتباس از منگ و سینفیلد، ۱۹۹۶).

## ۳-۵- ترکیب شیمیایی ریزگردها

ریزگردهای اتمسفری هم از فرآیندهای طبیعی و هم از فعالیت‌های انسانی ناشی می‌شوند. منابع اصلی ریزگردهای طبیعی انتشارات آتشفشانی، بسپری‌های دریایی و انتشار نخل‌باران معدنی است در صورتی که منابع مصنوعی و انسانی شامل انتشارات صورت گرفته از فرآیندهای صنعتی و احتراق می‌باشند. منابع مواد ذره‌ای در طبیعت، می‌توانند *اولیه* یا *ثانویه* باشند. منابع اولیه عمدتاً منشأ طبیعی داشته در حالی که ذراتی که به طور ثانویه در اتمسفر تشکیل شده‌اند از هر دو منشأهای طبیعی و انسانی و همچنین از تبدیلات شیمیایی پیش‌ماده‌های گازی<sup>۱</sup> همچون دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیترژن و VOC ها نیز می‌توانند منشأ بگیرند. در مطالعات صورت گرفته اخیر بر روی اهمیت هیدروکربن‌های بیوژنی<sup>۲</sup> (مثل تریپن‌ها) در تشکیل ریزگردهای آلی، پر رنگ شده است (سینفیلد و پاندیس، ۲۰۰۶). گاهی تمایز بین منابع طبیعی و مصنوعی ریزگردها ممکن نیست. برای مثال دود برخاسته از آتش‌سوزی‌های طبیعی اغلب به صورت مصنوعی طبقه‌بندی می‌شوند در حالی که غبار معدنی پراکنده شده در اتمسفر از مناطق فرسایش یافته کشاورزی به عنوان منابع طبیعی مورد ملاحظه قرار می‌گیرند.



شکل ۵-۱۰- جرم شیمیایی هواویزهای PM<sub>۱۰</sub> در ایستگاه بیرکنس نروژ در طی سال ۲۰۰۴

1. Gaseous precursors
2. Biogenic hydrocarbons



نمی‌کند. به طوری که با کاهش قطر، انحراف بیشتر شده و این در قطره‌های کوچک‌تر از ۰/۴ میکرومتر مهم می‌گردد. به وسیله فاجس تصحیحی برای ضریب انعقاد بیان شده که به صورت معادله زیر می‌باشد:

$$K = K_0 \beta \quad (5-55)$$

در شرایط استاندارد مقادیری برای توابع  $\beta$ ،  $K_0$  و  $k$  ارائه شده که در جدول ۵-۲ مشخص شده است.

جدول ۵-۲- ضرایب انعقاد در شرایط متعارفی (اقتباس از هیندس، ۱۹۹۹)

قطر (میکرومتر)	ضریب تصحیح	$K_0$ ( $m^3/s$ )	$K$ ( $m^3/s$ )
۰/۰۰۴	۰/۰۳۷	$۱۶۸ \times 10^{-16}$	$۶/۲ \times 10^{-16}$
۰/۰۱	۰/۱۴	$۱۶۸ \times 10^{-16}$	$۹/۵ \times 10^{-16}$
۰/۰۴	۰/۵۸	$۶۸ \times 10^{-16}$	$۱۰/۷ \times 10^{-16}$
۰/۱	۰/۸۲	$۸/۷ \times 10^{-16}$	$۷/۲ \times 10^{-16}$
۰/۴	۰/۹۵	$۴/۲ \times 10^{-16}$	$۴/۰ \times 10^{-16}$
۱	۰/۹۷	$۳/۴ \times 10^{-16}$	$۳/۴ \times 10^{-16}$
۴	۰/۹۹	$۳/۱ \times 10^{-16}$	$۳/۱ \times 10^{-16}$
۱۰	۰/۹۹	$۳/۰ \times 10^{-16}$	$۳/۰ \times 10^{-16}$

### ۵-۶- ریزدانه‌های زیستی-تعریف

ریزگردهای زیستی (ریزدانه‌های زیستی) شامل همه ذرات هوایی که منشأ بیولوژیکی دارند مثل باکتری‌ها، قارچ‌ها، اسپور قارچ‌ها، ویروس‌ها، گرده‌ها و اجزای آنتی‌ژن آن‌ها می‌باشند. این ذرات قطر آئرودینامیکی ۰/۵ تا ۱۰۰ میکرون دارند (نوالانین و همکاران، ۱۹۹۱؛ کوکس و واجتس، ۱۹۹۵). میکروارگانیسم‌های هوایی به دلیل خشک شدن در طی زمان، زنده نمانده و تکه‌تکه می‌شوند. هوای فضاهای بسته شامل ترکیبات پیچیده‌ای از (۱) ریزدانه‌های زیستی مثل قارچ‌ها، باکتری‌ها، و مواد آلرژی‌زا<sup>۱</sup> و (۲) ذرات غیر زنده (مثل گردوغبار، دود تنباکو، ذرات تولید شده از پخت و پز، ذرات سوختی از آگزوز موتورها، و ذرات نیروگاه‌های حرارتی<sup>۲</sup>) هستند. مواجهه با این چنین مواد بیولوژیکی و تکه‌های میکروبی، مثل تکه‌های دیواره سلولی و تاژک‌ها، همچنین متابولیت‌های میکروبی مثل آگزوتوکسین‌ها<sup>۳</sup>، میکوتوکسین‌ها<sup>۴</sup> و VOC ها ممکن است تأثیراتی مضر بر سلامتی داشته باشد. به ویژه افزایش حملات تنگی نفس و واکنش‌پذیری زیاد نای با افزایش سطح و مقدار ریزگردهای زیستی مرتبط هستند.

1. Allergen
2. Thermal power plants
3. Endotoxin
4. Mycotoxins

## فصل ششم

### انتشار اتمسفری: الگوهای (گوسی) نرمال<sup>۱</sup>

#### چکیده

توصیف ریاضی نیمرخ غلظت ترکیبات شیمیایی مختلف اتمسفر، یکی از کاربردهای مهم الگوهای اتمسفری است. یکی از پرسش‌ها، بررسی مکانی و زمانی تراکم آلاینده‌های هوا در شرایط انتشاری خاص است. در فصل ۶ انتشار آلاینده‌های هوا با روش تحلیلی نرمال مورد بررسی قرار گرفت. برای تحلیل معادله پیوستگی از توصیفات اویلر<sup>۲</sup> و لاگرانژ<sup>۳</sup> استفاده می‌شود. علاوه بر این، محدودیت‌های روش نرمال همراه با محاسبه ضرایب انتشار نرمال تحت شرایط پایداری مختلف مطالعه می‌شود. صعود دود از منابع نقطه‌ای انتشار، همراه با خصوصیات انتشار دود نیز مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

#### ۶-۱- نظریه‌های انتشار اتمسفری

بیان ریاضی غلظت ترکیبات شیمیایی مختلف در اتمسفر یکی از کاربردهای الگوهای اتمسفری است. مشکلی که وجود دارد محاسبه تراکم و غلظت زمانی-مکانی<sup>۴</sup> آلاینده‌ها تحت شرایط انتشار خاص است. البته برای حل دقیق و درست این مسأله، نیاز به توصیف همراه با جزئیات انتشار آلاینده‌ها، توپوگرافی زمین، واکنش آلاینده‌ها و شرایط انتقال در اتمسفر است. تخمین دقیق فاکتورهایی که غلظت آلاینده‌های محیط را کنترل می‌کنند مثل منابع انتشار، انتقال آلاینده‌ها (شرایط هواشناسی) و توپوگرافی، مشخص کننده میزان عملی بودن راه حل‌هاست. در نوشتارهای علمی، چندین دسته از الگوها برای رفع مشکلات انتشار آلاینده‌های اتمسفر استفاده شده‌اند مثل الگو یا مدل‌های قطعی<sup>۵</sup>، آماری و تصادفی. راهکارهای عددی و تحلیلی برای الگوهای قطعی به کار رفته-

1. Gaussian or Normal Models
2. Euler description
3. Lagrange description
4. Spatial and temporal concentration
5. Deterministic

۲- **مرحله میانی**، که به صورت زیر توصیف می‌شوند:

تسلط تلاطم اتمسفری؛ بُریدگی دود در قسمت‌های کوچک و افزایش تدریجی قطر دوده.

۳- **مرحله انتشار و پخش**، که به صورت زیر توصیف می‌شوند:

تسلط انتشار تلاطمی اتمسفری؛ تشکیل دوده حتی پخش بیشتر و توسعه نسبتاً آرام.

در پخش آلاینده‌ها از یک ارتفاع بلند آلاینده‌ها بایستی دمایی بیشتر از محیط داشته باشند و با مومنتم بالا همراه باشد. بنابراین ارتفاع مؤثر دودکش ( $h$ )، جمع ارتفاع نرمال دودکش ( $h_s$ ) و صعود دود ( $\Delta h$ ) بوده و به صورت زیر بیان می‌گردد:

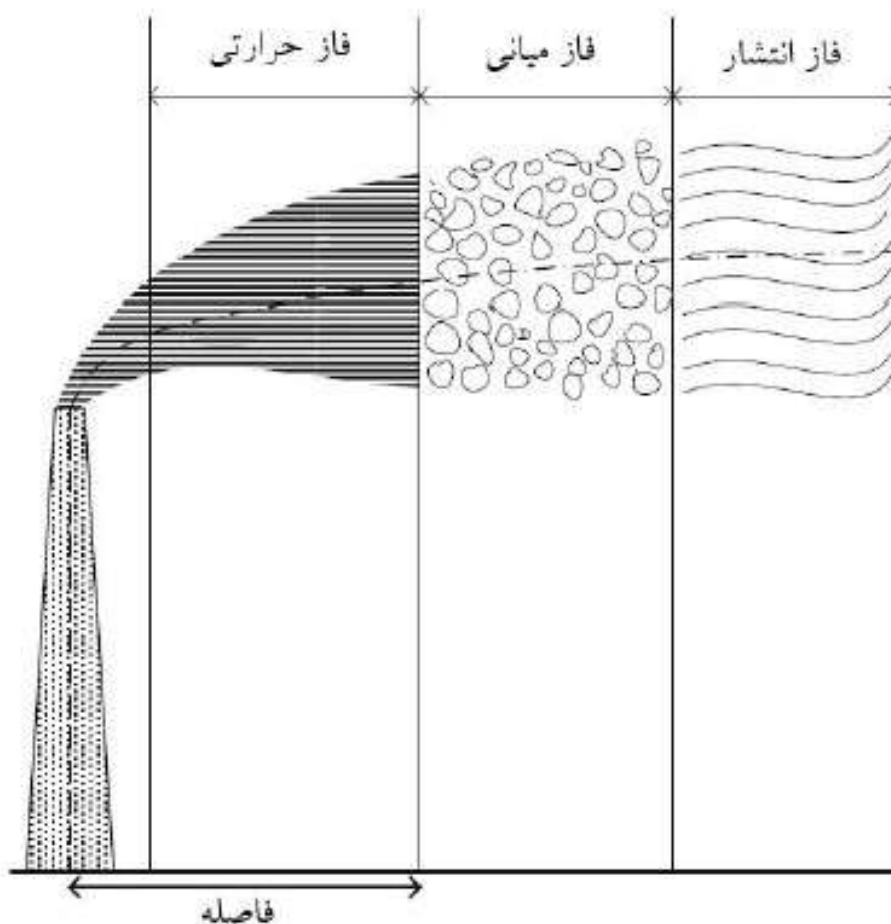
$$h = h_s + \Delta h \quad (۶-۳۴)$$

محاسبه صعود دود مشکل است زیرا به پارامترهای زیادی از جمله شرایط هواشناسی، اختلاف دمایی بین دود و هوای محیط و سرعت انتشار دود بستگی دارد. بر اساس شرایط اولیه دود می‌تواند به صورت زیر توصیف گردد:

دود شناور با صعود اولیه << تکانه اولیه،

دود تحت فشار با صعود اولیه  $\equiv$  تکانه اولیه و نهایتاً،

پرتاب با صعود اولیه >> تکانه اولیه.



شکل ۶-۳- توصیفی از صعود دود (اقتباس از شنل و دی، ۱۹۹۹).

## مسائل

۶-۱- سلولی ابعاد  $\Delta x=5$ ;  $\Delta y=4$ ;  $\Delta z=0.1$  و سرعت‌های حسابی در جهت غربی، شرقی، جنوب و شمال داشته و سرعت در تراز پایین‌تر Z به ترتیب برابر است با:

$$u_1=3; u_2=4; v_1=-3; v_2=2; w_1=2; w_2=2$$

اگر اتمسفر تراکم ناپذیر باشد، مقدار سرعت  $w_2$  در بالای سلول چقدر است؟

۶-۲- مورفی و نلسون نشان دادند که معادله نرمال دود را می‌توان با سرعت رسوب خشک  $v_d$  با جایگزینی مقاومت منبع  $q$  که معمولاً ثابت است و با مقاومت منبع حذف شده  $q(t)$  به صورتی که تابعی از زمان  $t$  باشد اصلاح نمود، یعنی:

$$q(t) = q_0 e^{-\left\{ \left( \frac{2}{\pi} \right)^{1/2} v_d \int_0^t \frac{1}{\sigma_z(t')} e^{-\left( \frac{h^2}{2\sigma_z^2(t')} \right)} dt' \right\}}$$

این نتایج را بررسی کنید. نشان دهید اگر  $\sigma_z = (2K_{zz}t)^{1/2}$ ، آنگاه (سینفیلد و پانديس، ۲۰۰۶):

$$q(t) = q_0 e^{-\left\{ \frac{2v_d t^{1/2}}{(\pi K_{zz})^{1/2}} \right\}}$$

۶-۳- نیروگاهی ۱۰۰۰۰ کیلو گرم بر ساعت زغال سنگ می‌سوزاند که دارای ۲/۵ درصد گوگرد است. سیال خروجی آزاد شده از تنها دودکش با ارتفاع ۷۰ متری می‌باشد. ارتفاع معمولی صعود دود حدود ۳۰ متر می‌باشد و ارتفاع انتشار مؤثر دود ۱۰۰ متر است. باد در این روز که روز تابستانی آفتابی است با سرعت ۴ متر بر ثانیه وزش دارد. لایه وارونگی نیز وجود ندارد. از پارامترهای انتشار پاسکیل-گیفورد استفاده کنید.

**الف)** تراکم دی اکسید گوگرد تراز سطح زمین را در حد واسط فواصل ۱۰۰ متری تا ۱۰ کیلومتری رسم نمایید (فواصل لوگ-لوگ).

**ب)** غلظت دی اکسید گوگرد تراز سطح زمینی را در مقابل فاصله مخالف باد در فواصل ۲۰۰ متری تا ۱ کیلومتری مسیر باد رسم کنید.

**ج)** حد واسط نیمرخ عمودی غلظت دی اکسید گوگرد را از سطح زمین تا ۵۰۰ متری در فواصل ۲۰۰ متری، ۱ کیلومتری و ۵ کیلومتری رسم نمایید (سینفیلد و پانديس، ۲۰۰۶).

## فصل هفتم

## الگوهای اتمسفری: انتشار آلاینده‌ها

## چکیده

اتم‌سفر سامانه‌ای پویاست که در آن تعداد زیادی از فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی به طور هم‌زمان اتفاق می‌افتد. مطالعه جامع پویایی و انتقال آلاینده‌ها در اتم‌سفر با استفاده از الگوهای اتم‌سفری<sup>۱</sup> بیان می‌شود. در فصل هفتم معادلات انتشار انتقال آلاینده‌ها در سیستم مختصات اویلری و لاگرانژی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین به بررسی انتشار آلاینده‌های اتم‌سفری حاصل از منابع متنوع از جمله منشاء زیستی و انسانی آن پرداخته می‌شود. در نهایت یک روش‌شناسی<sup>۲</sup> خاص نیز برای محاسبه انتشار مواد ذره‌ای و گازی همراه با مثال‌ها و کاربردها معرفی می‌گردد.

## ۷-۱- مقدمه

الگوهای اتم‌سفری، فرآیندهای رخ داده مختلف در درون اتم‌سفر و اثرات متقابل آن‌ها را شبیه‌سازی می‌کنند. همچنین استفاده از یک الگوی اتم‌سفری مستلزم مقایسه نتایج الگو با آزمایشات میدانی و آزمایشگاهی نیز است. این امر به درک فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی روی داده درون اتم‌سفر و همچنین ارزیابی اجرای الگو کمک زیادی می‌کند. اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی اطلاعات با ارزشی از فرآیندهای خاص ارائه کرده است و در عین حال اندازه‌گیری‌های میدانی نیز خصوصیات اتم‌سفری و ترکیبات هوا را در فواصل زمانی و مکانی خاص تجسم نموده و شرح می‌دهد. یک الگوی اتم‌سفری، تصویری کامل از سیر تحولات مکانی و زمانی آلاینده‌های هوای درون اتم‌سفر را در ارتفاعات مختلف ارائه می‌دهد. نمایی از همرفت و انتشار آلاینده در یک الگوی سلولی یک بُعدی و فرارفت در یک الگوی سلول دو بُعدی در شکل ۷-۱ نشان داده شده است.

جدا از مقایسه فوق، برای ارزیابی یک الگو محاسباتی، می‌توان تحلیلی تشخیصی بر مبنای سناریوهایی ساده همانند فرض صفر<sup>۱</sup> یا جداشدگی صفر<sup>۲</sup> برای بررسی حساسیت الگو و تعیین خطاهای محاسباتی ممکن انجام داد.

#### ۷-۴- انتشار و خروج آلاینده‌های اتمسفری

مهم‌ترین آلاینده‌های هوا مونو اکسید کربن و دی اکسید کربن ( $CO_2$  و  $CO$ )، ترکیبات آلی فرار بدون متان<sup>۳</sup> ( $NM VOC$  ها)، متان ( $CH_4$ )، اکسیدهای نیتروژن و اکسید نیتروژن ( $NO_x$ ،  $N_2O$ )، آمونیاک ( $NH_3$ )، دی اکسید گوگرد ( $SO_2$ )، مواد معلق ( $PM$ )، فلزات سنگین<sup>۴</sup> ( $HM$ ) و آلاینده‌های آلی پایدار<sup>۵</sup> ( $POP$  ها) می‌باشند. منشاء این مواد منتشر شده از منابع طبیعی و فعالیت‌های بشر بوده و پیامدهای مهمی روی اکوسیستم‌ها، کیفیت هوای مناطق شهری، بهداشت انسان و اقلیم دارند.

تفسیر لیست خروجی آلاینده‌ها ابزاری مهم در مدیریت کیفیت هوا می‌باشد. این امر عاملی کلیدی در الگوسازی کیفیت هواست که از آن به عنوان وسیله‌ای مهم برای سیاستگذاران به منظور توسعه استراتژی‌های کاهش آلودگی هوا استفاده می‌شود. کمی کردن و ارزیابی انتشار آلاینده‌ها و نوسانات زمانی و مکانی آن‌ها برای محافظت محیط زیست و سلامتی شهروندان خیلی مهم است. علاوه بر الگوسازی کیفیت هوا، فهرستی از انتشار آلاینده به منظور ارزیابی اثر فعالیت‌های انسانی خاص و منابع آلوده کننده مسئول در تخریب کیفیت هوا در مناطقی که از استاندارد کیفیت هوا تخلف شده است، استفاده می‌شود. در این رابطه نیز استراتژی‌های مختلف کاهش آلودگی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. اطلاعات پوشش اراضی، تراکم جمعیت، موقعیت و انتشار منابع نقطه‌ای بزرگ<sup>۶</sup> ( $LPS$ ) برای تفسیر خروجی آلاینده‌ها از منابع مصنوعی ناشی از فعالیت‌های انسانی لازم و ضروری است. برای نمونه، خروجی‌های منابع ثابت که شامل سوخت صنایع، استخراج مواد معدنی و گرمایش خانگی است در طبقات بافت شهری پیوسته و ناپیوسته طبقه‌بندی می‌شوند، در حالی که خروجی‌های کشاورزی به آن مناطق اختصاص داده می‌شود.

به طور خاص، برای تجزیه خروجی‌ها بر مبنای داده‌های جمعیتی، معادلاتی به شکل زیر را می‌توان مورد استفاده قرار داد:

$$E_k(\text{cell}) = E_k(\text{cell}_{EMEP}) \frac{wf_{k,l}}{\sum_l (wf_{k,\text{cell}_{EMEP}})} \cdot \frac{\text{pop}(\text{cell}, l)}{\text{pop}(\text{cell}_{EMEP}, l)} \quad (17-7)$$

1. Zero emissions
2. Zero removal
3. Non-Methane Volatile Organic Compounds
4. Heavy metals
5. Persistent Organic Pollutants
6. Large point sources

ترکیبات نیتروژنی استفاده شده در مطالعه کنونی اکسیدهای نیتروژن، پروتوکسید نیتروژن<sup>۱</sup> و آمونیاک می‌باشد. جرم نیتروژن منتشر شده به وسیله معادله زیر برآورد می‌شود:

$$N = 0.0045 \times M \quad (24-7)$$

که ضریب ۰/۰۰۴۵ کسر وزنی نیتروژن در بیوماس خشک است که برای همه گونه‌ها مشابه فرض می‌شود. انتشار ترکیبات نیتروژن (به صورت کیلوگرم) برابر است با:

$$E_j = \varepsilon_j \times N \quad (25-7)$$

که  $\varepsilon_j$  ترکیب شیمیایی،  $\varepsilon_j$  کسر نیتروژن کل منتشر شده به صورت ترکیب شیمیایی  $\varepsilon_j$  است. مقادیر فاکتور  $\varepsilon_j$  را می‌توان از EMEP/CORINAIR (۲۰۰۲) به دست آورد. ترکیب شیمیایی گوگردی منتشر شده از آتش سوزی جنگلی دی اکسید گوگرد است. جرم دی اکسید گوگرد منتشر شده را می‌توان به صورت زیر برآورد نمود:

$$E_S = 1.6 \times 10^{-3} \times C = 0.72 \times 10^{-3} \times M \quad (26-7)$$

جرم کل مواد ذره‌ای منتشر شده از آتش سوزی‌های جنگلی را می‌توان از معادله زیر به دست آورد:

$$M_{TSP} = 0.0085 \times M \quad (27-7)$$

که ضریب ۰/۰۰۸۵ کسر جرمی مواد ذره‌ای معلق کل<sup>۱</sup> (TSP) بیوماس خشک است.

## ۷-۶- مثال‌ها و کاربردها

**مثال ۱-** ترکیبات شیمیایی غیر واکنشی غلظت اولیه  $C_i(0)$  داشته و با نرخ ۲۰۰ میکروگرم بر مترمربع بر ساعت منتشر می‌شود. غلظت اولیه برابر با  $C_i(0) = 1 \mu\text{gm}^{-3}$  می‌باشد. مطلوب است محاسبه غلظت و تراکم حالت پایا در بالای شهری که سرعت باد در آن ۳ متر بر ثانیه است. ابعاد شهر ۱۰۰ در ۱۰۰ کیلومتر مربع بوده و ارتفاع لایه مرزی ۱۰۰۰ متر می‌باشد.

**حل:**

از آنجا که آلاینده‌های آورده شده در اینجا غیر واکنشی هستند، عبارتی که در معادله پیوستگی مربوط به اثر واکنش‌های شیمیایی را شامل می‌شود برابر با صفر است ( $R_i = 0$ ). همچنین فرض

می‌شود که  $\frac{v_{d,i}}{H} \ll \frac{c_i - c_i^0}{\tau_r}$ . زیرا هیچ اطلاعاتی از ذرات زدوده شده ناشی از پالایش کننده وجود

1. Nitrogen protoxide

1. Total suspended particulate matter

## فصل هشتم

### آلودگی هوا در محیط‌های بسته

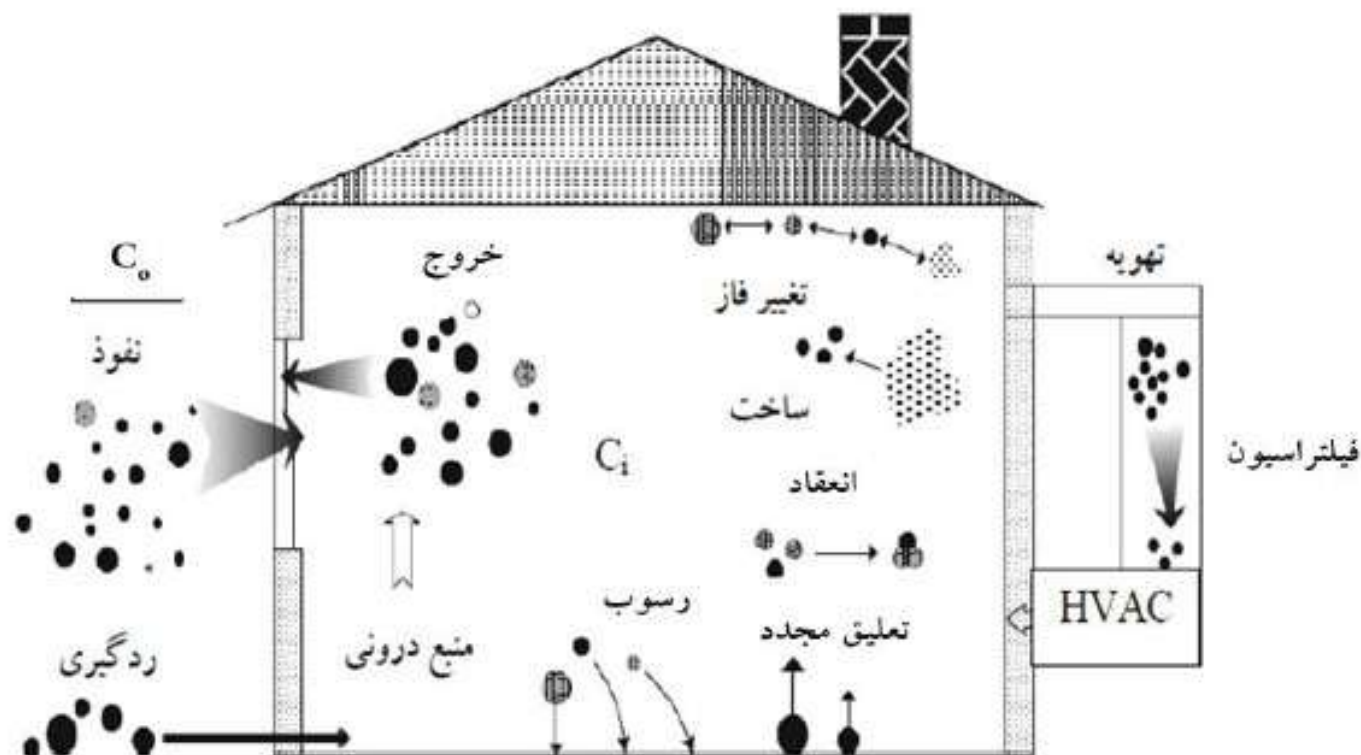
#### چکیده

مردم حدود ۸۵ درصد از اوقاتشان را در محیط‌های بسته<sup>۱</sup> و بیش از ۳ درصد را در درون وسایل نقلیه سپری می‌کنند. بنابراین مردم از طریق نفوذ هوای محیط باز و منابع موجود در محیط‌های بسته در مواجهه با آلاینده‌های گازی و مواد ذره‌ای منابع محیطی قرار دارند. سؤال اصلی این است که محیط خانه نسبت به کیفیت هوای محیط‌های بسته چه مقدار سالم است. در فصل ۸ مروری کلی بر کیفیت هوای محیط‌های بسته می‌گردد. مروری بر رایج‌ترین آلاینده‌های هوا و منابع‌شان نیز انجام می‌شود. آلاینده‌هایی همچون اوزون، مواد ذره‌ای، اکسیدهای نیتروژن، ترکیبات آلی فرار، رادون<sup>۲</sup>، مونواکسید کربن، آزبست<sup>۳</sup>، فلزات سنگین، فرم‌الدئید<sup>۴</sup>، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقوی<sup>۵</sup>، دی فنیل پلی کلریک‌ها<sup>۶</sup> و آفت‌کش‌ها<sup>۷</sup> و همچنین شیمی ترکیبات شیمیایی آلی در محیط‌های بسته مورد بررسی قرار می‌گیرد. علاوه بر این، اثر دوده‌های دخانیاتی نیز در این محیط‌ها مطالعه خواهد شد، چرا که یکی از خطرناک‌ترین و گسترده‌ترین آلاینده‌های یافت شده می‌باشند. همچنین بعضی از

1. Indoor
2. Radon
3. Asbestos
4. Formaldehyde
5. Polycyclic aromatic hydrocarbons
6. Polychloric diphenyls
7. Pesticides



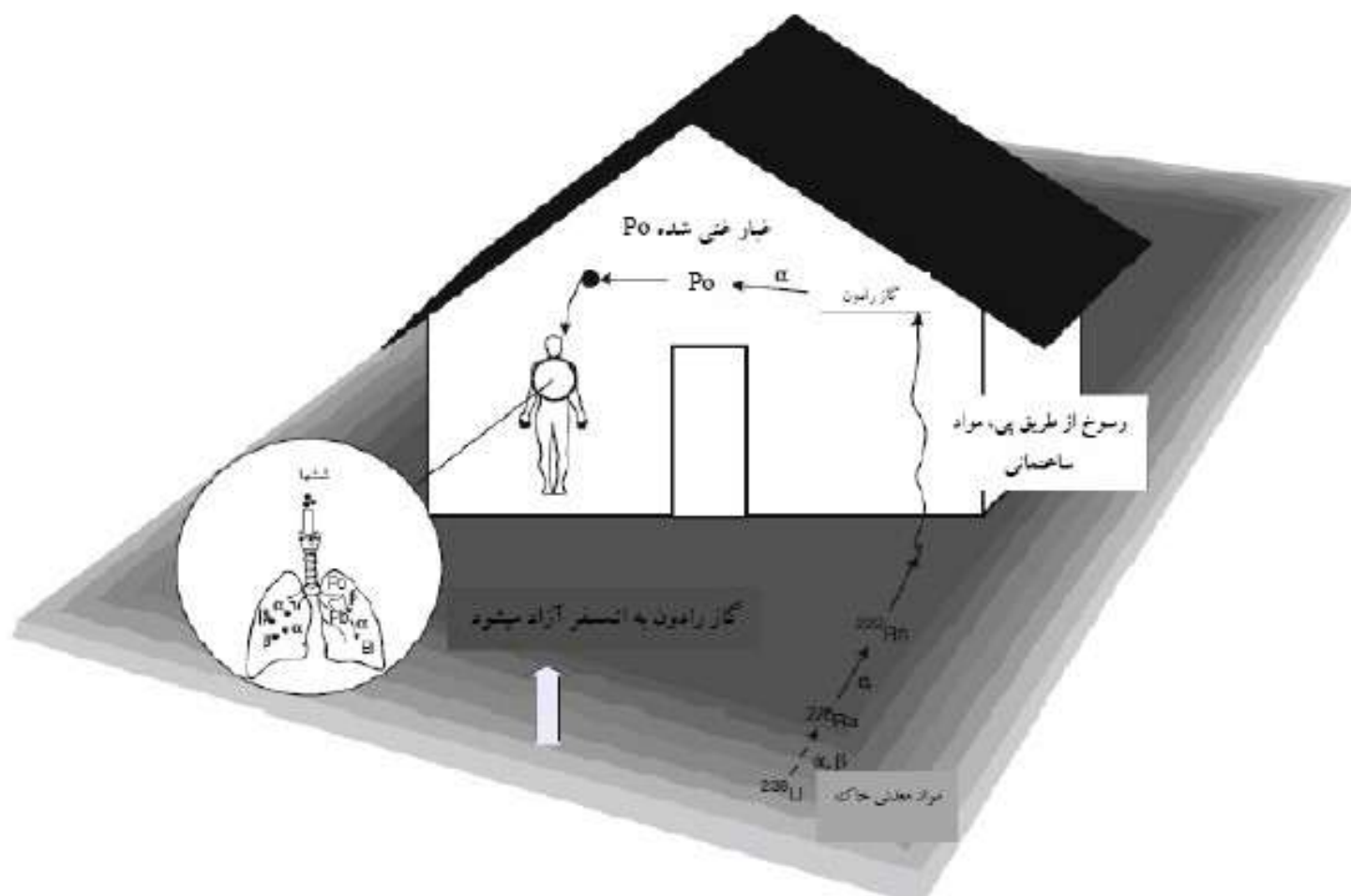
شکل ۸-۱ فرآیندهای اصلی را که بر غلظت ذرات درون یک محیط بسته تأثیر می‌گذارند نشان می‌دهد. ذرات از طریق نفوذ هوا از محیط باز و همچنین با ورودی‌های ناشی از انسان‌ها به محیط بسته وارد می‌شوند (از کفش‌ها و لباس‌ها). ترکیبات شیمیایی ممکن است فزایشان با سازوکارهایی مثل میعان و تبخیر تغییر کنند. همچنین ذرات می‌توانند روی سطوح نشست کرده و باقی بمانند. سازوکارهای تعلیق مجدد می‌تواند موجب انتشار ذرات در هوا گردد.



شکل ۸-۱- فرآیندهای فیزیکی-شیمیایی که بر غلظت ذرات در محیط‌های بسته تأثیر می‌گذارند ( $C_0$  و  $C_i$  به ترتیب به غلظت آلاینده‌ها در محیط‌های بیرونی و محیط‌های بسته اشاره دارد) (اقتباس از موریسون، ۲۰۱۰).

ذراتی که به آسانی در محیط بسته نفوذ می‌کنند ذرات ریز ( $PM_{2.5}$ ) هستند و به دلیل رسوب در ناحیه کیسه‌های هوایی ریه<sup>۱</sup> باعث خطراتی بر سلامتی انسان‌ها می‌گردد. در طی نفوذ آلاینده‌ها به داخل، کاهش غلظتی در نتیجه تماس آن‌ها با سطوح ساختمانی به وجود می‌آید. مثالی از این مورد، ورود آزون است که به طور قابل ملاحظه در محیط‌های بسته در مقایسه با محیط‌های باز کمتر است، زیرا آزون در سطوح محیط بسته نشست می‌کند.

انتشار آلاینده‌ها از محیط‌های بسته مشابه این وضعیت صورت نمی‌گیرد. منابع خاصی مثل مواد ساختمانی، وسایل خانگی و فرش‌ها پی‌درپی آلاینده‌ها را منتشر می‌کنند. در مقابل، سایر فعالیت‌ها مثل تمیز نمودن خانه و پخت‌وپز نیز آلاینده‌هایی را منتشر می‌کنند. ترکیبات شیمیایی بعد از انتشار قادرند به مدت طولانی در محیط وجود داشته باشند. یک مثال از این مورد را می‌توان در فرش‌هایی که جلوی ورودی خانه‌ها به منظور تمیز کردن استفاده می‌کنند، مشاهده نمود. به هر حال، بررسی



شکل ۸-۱۲- مسیرهای عبور برای انتقال رادون به محیط‌های خانگی

### ۸-۶-۱- تجزیه و واپاشی رادیواکتیوی ایزوتوپ‌های رادون

نیمه عمر رادون و تورون خیلی کم بوده و به ترتیب برابر با  $3/825$  روز و  $55/6$  ثانیه می‌باشد. پس یک اتم رادون زنجیره‌ای از واپاشی‌های پرتوزایی را با فرآورده‌هایی از نوکلیدهای رادون و تورون شروع می‌کند (شکل ۸-۱۳). در مرحله اول مخصوصاً در واپاشی  $^{222}\text{Rn}$ ، با انتشار ذره آلفا به پولونیوم  $^{218}\text{Po}$  (با نیمه عمر ۳ دقیقه) تبدیل می‌شود. علاوه بر این،  $^{218}\text{Po}$  با انتشار یک ذره آلفا به سرب  $^{214}\text{Pb}$  (با نیمه عمر ۲۷ دقیقه) تبدیل می‌شود و علاوه بر این، با واپاشی یک ذره بتا به بیسموتیوم  $^{214}\text{Bi}$  تبدیل می‌گردد. بیسموتیوم  $^{214}\text{Bi}$  با نیمه عمر ۲۰ دقیقه به پولونیوم  $^{214}\text{Po}$  واپاشی شده که دارای نیمه عمر  $0/00015$  ثانیه می‌باشد، بعد با گسیل نمودن ذرات آلفا به سرب  $^{210}\text{Pb}$  با نیمه عمر ۲۲ ساله تجزیه می‌شود. در نهایت اتم‌های سرب به خاک منتقل و به عنصر سرب  $^{206}\text{Pb}$  که عنصری غیر رادیواکتیو است تبدیل می‌گردد. ۵ مرحله اولیه واپاشی رادون تا واپاشی آن به سرب  $^{210}\text{Pb}$  در مدت زمان ۵۰ دقیقه روی می‌دهد که فرآورده‌های رادیواکتیوی خطرناکی برای سلامتی هستند. پولونیوم  $^{218}\text{Po}$  خطرناک‌ترین فرآورده واپاشی پرتوزایی رادون است زیرا سریعاً تجزیه شده و ذرات آلفا منتشر می‌کند. برعکس،

Tropical moist	رطوبت حاره‌ای
Tropopause	تروپوپاوز (وردایست)
Troposphere	تروپوسفر، وره سپهر
Trough	کم‌فشار کشیده شده (ناوه)
Turbulence	تلاطم
Turbulent movement	حرکت تلاطمی
Twilight	بین‌الطلوعین
Typhoon	طوفان حاره‌ای که روی اقیانوس آرام نزدیک دریای چین شکل می‌گیرد
<b>U</b>	
Ultrafine particles	ذرات فوق ریز
Unsaturated	غیر اشباع
Unstable	شرایط ناپایداری
Upper stratosphere	استراتوسفر فوقانی
Uranium	اورانیوم
Urban haze	غبار شهری
US Environmental Protection Agency (USEPA)	آژانس محافظت از محیط زیست ایالات متحده
Ultra Violet	تابش‌های فرابنفش
<b>V</b>	
Van 't Hoff law	قانون وانت هوف
Vapor constituents	سازندهای بخار
Vernal equinox	اعتدال بهاری
Vertical column abundance	فراوانی عمودی حجمی
Viscosity	وشکسانی یا گرانیروی (چسبندگی)
Viscosity coefficient	ضریب گرانیروی
Viscous stress	تنش گرانیروی
Visibility	قابلیت دید
Volatile organic compounds	ترکیبات آلی فرار
Volume distribution	توزیع حجمی
<b>W</b>	
Warm air mass	توده هوای گرم
Warm front	جبهه گرم
Warm sector	قطعه گرم
Washout	درون ریز ابر



Bu Ali Sina University

کتاب / ۲۹۱

# *First Principles of Meteorology and Air Pollution*

*Written By :*  
Mihalis Lazaridis

*Translated By :*  
A.A. Sabziparvar  
(Professor in Meteorology)  
J.Helali

ISBN : 978-600-128-121-1



9 786001 281211