



دانشگاه پیام نور

# شیمی محیط زیست

(رشته شیمی)

دکتر کامیلا نجاتی دکتر ذوالفقار رضوانی محسن قاسمیان خجسته

## بسم الله الرحمن الرحيم

### پیشگفتار ناشر

کتاب‌های دانشگاه پیام نور حسب مورد و با توجه به شرایط مختلف یک درس در یک یا چند رشته دانشگاهی، به صورت کتاب درسی، متن آزمایشگاهی، فرادرسی، و کمک درسی چاپ می‌شوند.

**کتاب درسی** ثمره کوشش‌های علمی صاحب اثر است که براساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصل‌های مصوب تهیه و پس از داوری علمی، طراحی آموزشی، و ویرایش علمی در گروه‌های علمی و آموزشی، به چاپ می‌رسد. پس از چاپ ویرایش اول اثر، با نظرخواهی‌ها و داوری علمی مجدد و با دریافت نظرهای اصلاحی و متناسب با پیشرفت علوم و فناوری، صاحب اثر در کتاب تجدیدنظر می‌کند و ویرایش جدید کتاب با اعمال ویرایش زبانی و صوری جدید چاپ می‌شود.

**متن آزمایشگاهی** (م) راهنمایی است که دانشجویان با استفاده از آن و کمک استاد، کارهای عملی و آزمایشگاهی را انجام می‌دهند.

**کتاب‌های فرادرسی** (ف) و **کمک درسی** (ک) به منظور غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی تهیه و بر روی لوح فشرده تکثیر می‌شوند و یا در وبگاه دانشگاه قرار می‌گیرند.

**مدیریت تولید محتوا و تجهیزات آموزشی**



## فهرست

|                                               |       |
|-----------------------------------------------|-------|
| پیشگفتار                                      | یازده |
| <b>فصل ۱ - محیط زیست</b>                      | ۱     |
| ۱.۱ مفهوم و قلمرو شیمی محیط زیست              | ۱     |
| ۲.۱ نامگذاری                                  | ۲     |
| ۳.۱ بخش های مختلف محیط زیست                   | ۳     |
| ۱.۳.۱ اتمسفر                                  | ۳     |
| ۲.۳.۱ هیدروسفر                                | ۴     |
| ۳.۳.۱ لیتوسفر                                 | ۵     |
| ۴.۳.۱ بیوسفر                                  | ۵     |
| <b>فصل ۲ - اتمسفر</b>                         | ۷     |
| ۱.۲ اجزاء تشکیل دهنده ی اتمسفر                | ۷     |
| ۲.۲ ساختار اتمسفر                             | ۸     |
| ۳.۲ توازن پرتوهای زمین                        | ۹     |
| ۴.۲ ذرات معلق، یون ها و رادیکال ها در اتمسفر  | ۱۱    |
| ۵.۲ فرایندهای شیمیایی ذرات کوچک معدنی         | ۱۲    |
| ۶.۲ فرایندهای شیمیایی تشکیل ذرات کوچک آلی     | ۱۳    |
| ۷.۲ یون ها و رادیکال ها                       | ۱۴    |
| ۸.۲ مواد شیمیایی و واکنش های فتوشیمیایی در جو | ۱۵    |
| ۱.۸.۲ دی اکسید گوگرد                          | ۱۵    |
| ۲.۸.۲ اکسیدهای نیتروژن                        | ۱۷    |
| ۳.۸.۲ ترکیبات آلی                             | ۱۸    |
| ۴.۸.۲ اثر گلخانه ای                           | ۱۹    |
| ۵.۸.۲ شیمی اکسیژن و اوزن                      | ۲۰    |

|    |                                                                      |
|----|----------------------------------------------------------------------|
| ۲۲ | ۹. فعالیت‌های انسانی و هواشناسی                                      |
| ۲۳ | ۱۰. خودآزمایی‌ها                                                     |
| ۳۱ | <b>فصل ۳ - هیدروسفر</b>                                              |
| ۳۱ | ۳.۱ بهداشت آب                                                        |
| ۳۲ | ۳.۲ منابع تأمین آب                                                   |
| ۳۳ | ۳.۳ شیمی فیزیک آب دریا                                               |
| ۳۵ | ۳.۴ تعادلات آب دریا                                                  |
| ۳۶ | ۳.۵ تشکیل کمپلکس‌ها در آب‌های طبیعی و فاضلاب‌ها                      |
| ۳۷ | ۳.۶ سختی آب                                                          |
| ۳۸ | ۳.۶.۱ عناصر ایجادکننده سختی آب                                       |
| ۳۸ | ۳.۶.۲ تقسیم‌بندی سختی آب                                             |
| ۳۸ | ۳.۶.۳ اهمیت سختی آب                                                  |
| ۳۹ | ۳.۶.۴ سختی‌زدایی آب                                                  |
| ۳۹ | ۳.۷ باران‌های اسیدی                                                  |
| ۳۹ | ۳.۷.۱ عوامل موثر در اسیدیته باران                                    |
| ۴۰ | ۳.۷.۲ اسیدهای موجود در باران‌های اسیدی                               |
| ۴۰ | ۳.۷.۳ اثرات بوم‌شناختی باران‌های اسیدی                               |
| ۴۰ | ۳.۷.۴ تأثیر روی اکوسیستم آبی                                         |
| ۴۱ | ۳.۷.۵ تأثیر روی گیاهان و جنگل‌ها                                     |
| ۴۱ | ۳.۸ باران قلیایی                                                     |
| ۴۲ | ۳.۹ آب سنگین                                                         |
| ۴۳ | ۳.۱۰ آب نیمه سنگین                                                   |
| ۴۳ | ۳.۱۱ آب با اکسیژن سنگین                                              |
| ۴۳ | ۳.۱۲ مواد هامیک                                                      |
| ۴۵ | ۳.۱۳ کاتالیزورهای واکنش‌های شیمیایی در محیط‌زیست آبی                 |
| ۴۶ | ۳.۱۳.۱ واکنش‌های ردوکسی که به واسطه‌ی میکروارگانیسم‌ها انجام می‌شوند |
| ۴۷ | ۳.۱۴ تصفیه‌ی فاضلاب‌ها                                               |
| ۴۹ | ۳.۱۴.۱ تصفیه‌ی فاضلاب‌های صنعتی                                      |
| ۵۰ | ۳.۱۵ خودآزمایی‌ها                                                    |
| ۵۵ | <b>فصل ۴ - لیتوسفر</b>                                               |
| ۵۵ | ۴.۱ لیتوسفر/خاک                                                      |
| ۵۶ | ۴.۲ تقسیم لایه‌های زمین                                              |
| ۵۷ | ۴.۳ پوسته‌ی خاکی بیولوژیک                                            |
| ۵۸ | ۴.۴ مواد معدنی و آلی موجود در خاک                                    |

|    |                                       |
|----|---------------------------------------|
| ۵۹ | ۵.۴ مواد غذایی ماکرو و میکرو          |
| ۶۰ | ۵.۴.۱ فسفر                            |
| ۶۰ | ۵.۴.۲ پتاسیم                          |
| ۶۰ | ۵.۴.۳ روی                             |
| ۶۱ | ۵.۴.۶ فاضلاب‌ها و مواد آلاینده در خاک |
| ۶۲ | ۵.۴.۷ خودآزمایی‌ها                    |

|    |                                              |
|----|----------------------------------------------|
| ۶۹ | <b>فصل ۵ - آلودگی</b>                        |
| ۶۹ | ۵.۱ مقدمه                                    |
| ۶۹ | ۵.۲ انواع آلودگی‌ها                          |
| ۷۰ | ۵.۳ آلودگی هوا                               |
| ۷۰ | ۵.۳.۱ منابع آلودگی هوا                       |
| ۷۰ | ۵.۳.۲ مهم‌ترین آلاینده‌های هوا               |
| ۷۹ | ۵.۴ آلودگی آب                                |
| ۷۹ | ۵.۴.۱ آلاینده‌های آب                         |
| ۸۳ | ۵.۴.۲ عناصر موجود در آب و گونه‌شناسی شیمیایی |
| ۸۵ | ۵.۵ آلودگی خاک                               |
| ۸۵ | ۵.۵.۱ مقدمه                                  |
| ۹۰ | ۵.۶ آلودگی صوتی                              |
| ۹۰ | ۵.۷ آلودگی نوری                              |
| ۹۱ | ۵.۸ خودآزمایی‌ها                             |

|     |                                                     |
|-----|-----------------------------------------------------|
| ۹۷  | <b>فصل ۶ - چرخه‌های طبیعی</b>                       |
| ۹۷  | ۶.۱ مقدمه                                           |
| ۹۹  | ۶.۲ آهن                                             |
| ۹۹  | ۶.۲.۱ فراوانی و ویژگی‌ها                            |
| ۱۰۳ | ۶.۲.۲ چرخه‌ی آهن                                    |
| ۱۰۶ | ۶.۲.۳ آهن در سیستم‌های بیولوژیکی و محیطی            |
| ۱۰۹ | ۶.۲.۴ کاربرد آهن                                    |
| ۱۰۹ | ۶.۳ کربن                                            |
| ۱۰۹ | ۶.۳.۱ فراوانی و ویژگی‌ها                            |
| ۱۱۱ | ۶.۳.۲ چرخه‌ی کربن                                   |
| ۱۱۵ | ۶.۳.۳ اثرات پیدایش و تکامل انسان بر روی چرخه‌ی کربن |
| ۱۱۵ | ۶.۳.۴ کاربردهای آهن                                 |
| ۱۱۷ | ۶.۴ گوگرد                                           |
| ۱۱۷ | ۶.۴.۱ فراوانی و ویژگی‌ها                            |

|     |                                             |
|-----|---------------------------------------------|
| ۱۱۹ | ۶. ۴. ۲ چرخه‌ی گوگرد                        |
| ۱۲۳ | ۶. ۴. ۳ گوگرد و محیط                        |
| ۱۲۴ | ۶. ۴. ۴ کاربردهای گوگرد                     |
| ۱۲۵ | ۶. ۵ اکسیژن                                 |
| ۱۲۵ | ۶. ۵. ۱ فراوانی و ویژگی‌ها                  |
| ۱۲۶ | ۶. ۵. ۲ چرخه‌ی اکسیژن                       |
| ۱۳۲ | ۶. ۵. ۳ کاربردهای اکسیژن                    |
| ۱۳۳ | ۶. ۶ فسفر                                   |
| ۱۳۳ | ۶. ۶. ۱ فراوانی و ویژگی‌ها                  |
| ۱۳۵ | ۶. ۶. ۲ چرخه‌ی فسفر                         |
| ۱۳۷ | ۶. ۶. ۳ فسفر در سیستم‌های بیولوژیکی و محیطی |
| ۱۳۹ | ۶. ۶. ۴ کاربردهای فسفر                      |
| ۱۳۹ | ۶. ۷ نیتروژن                                |
| ۱۳۹ | ۶. ۷. ۱ فراوانی و ویژگی‌ها                  |
| ۱۴۲ | ۶. ۷. ۲ چرخه‌ی نیتروژن                      |
| ۱۴۳ | ۶. ۷. ۳ نیتروژن و محیط‌زیست                 |
| ۱۴۵ | ۶. ۸ خودآزمایی‌ها                           |

|     |                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------|
| ۱۵۱ | <b>فصل ۷ - سم‌شناسی</b>                               |
| ۱۵۱ | ۷. ۱ مواد شیمیایی سمی در محیط‌زیست                    |
| ۱۵۲ | ۷. ۲ ماده‌ی سمی چیست؟                                 |
| ۱۵۲ | ۷. ۲. ۱ ساختار شیمیایی ماده‌ی سمی                     |
| ۱۵۳ | ۷. ۲. ۲ نحوه‌ی ورود ماده‌ی سمی به بدن                 |
| ۱۵۳ | ۷. ۲. ۳ مقدار ماده‌ی سمی که به درون بدن نفوذ می‌کند   |
| ۱۵۴ | ۷. ۲. ۴ مدت زمانی که بدن در معرض ماده‌ی سمی قرار دارد |
| ۱۵۴ | ۷. ۲. ۵ مقدار حساسیت بدن به ماده‌ی سمی                |
| ۱۵۴ | ۷. ۳ آیا تمامی مواد شیمیایی سرطان‌زا هستند؟           |
| ۱۵۵ | ۷. ۴ محدودیت‌های تماس با مواد شیمیایی                 |
| ۱۵۶ | ۷. ۵ آسیب‌های مواد شیمیایی سمی بر بدن                 |
| ۱۵۶ | ۷. ۵. ۱ برخی از مواد شیمیایی صنعتی مضر                |
| ۱۷۵ | ۷. ۶ مواد سمی در محیط‌زیست                            |
| ۱۷۷ | ۷. ۷ سازمان صلح سبز Green Peace                       |
| ۱۷۸ | ۷. ۸ خودآزمایی‌ها                                     |

|     |                               |
|-----|-------------------------------|
| ۱۸۵ | <b>فصل ۸ - انرژی</b>          |
| ۱۸۵ | ۸. ۱ عصر صنعت و نیاز به انرژی |

|     |                                        |
|-----|----------------------------------------|
| ۱۸۷ | ۲.۸ سوخت‌های فسیلی                     |
| ۱۸۷ | ۱.۲.۸ زغال سنگ                         |
| ۱۹۰ | ۲.۲.۸ نفت                              |
| ۱۹۲ | ۳.۲.۸ گاز طبیعی                        |
| ۱۹۴ | ۴.۲.۸ منابع جدید فسیلی                 |
| ۱۹۴ | ۳.۸ منشاء انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی |
| ۱۹۵ | ۴.۸ موانع استفاده از سوخت‌های فسیلی    |
| ۱۹۶ | ۵.۸ اکتشاف منابع تجدیدپذیر انرژی       |
| ۱۹۶ | ۱.۵.۸ انرژی خورشیدی                    |
| ۱۹۸ | ۲.۵.۸ انرژی بادی                       |
| ۲۰۰ | ۳.۵.۸ انرژی آبی                        |
| ۲۰۲ | ۴.۵.۸ انرژی دریایی                     |
| ۲۰۴ | ۵.۵.۸ انرژی زیست توده                  |
| ۲۰۵ | ۶.۵.۸ زیست سوخت                        |
| ۲۰۵ | ۷.۵.۸ انرژی زمین گرمایی                |
| ۲۰۷ | ۸.۵.۸ انرژی هسته‌ای                    |
| ۲۰۹ | ۶.۸ نتیجه‌گیری                         |
| ۲۱۰ | ۷.۸ خودآزمایی‌ها                       |



## پیشگفتار

بسیاری عقیده دارند که مفهوم محیط‌زیست، تعریف مشخصی نداشته و در نزد افراد مختلف معانی متفاوتی دارد. ما قصد نداریم که در این کتاب، تعریف جدیدی از این عبارت ارائه دهیم. ولی می‌توانیم بگوییم که مطالعه‌ی شیمی محیط‌زیست برای درک بهتر فرایندهای طبیعی و رویدادهایی که در اثر تماس بشر با طبیعت رخ می‌دهند، لازم و ضروری است. شیمی محیط‌زیست، قلمرو وسیعی دارد و از ساختار و ترکیب زمین گرفته تا معادن و فلزات، سوخت‌های فسیلی، انرژی‌های تجدیدپذیر، فراوانی و چرخه‌ی عناصر در طبیعت، گرم شدن زمین و تغییرات آب و هوا، باران‌های اسیدی و انواع آلودگی آب‌ها، هوا و خاک را دربرمی‌گیرد. در واقع ارتباط روشن و واضحی بین افکار انسان‌ها و برداشت‌های آن‌ها از شیمی محیط‌زیست در زندگی وجود دارد. به نظر اکثر مردم، شیمی و صنایع وابسته به آن باعث آلودگی محیط‌زیست می‌شوند و شیمی محیط‌زیست فقط به آلودگی ربط دارد. در حالی که این دیدگاه بسیار محدود است و پیشرفت‌ها و تحقیقات علمی جدیدی که در این زمینه صورت گرفته، نشان می‌دهند که فرایندهای صنعتی انجام گرفته در حوزه‌های شیمی و پتروشیمی می‌توانند در توسعه‌ی راه‌حل‌های مشکلات زیست محیطی نظیر تولید انرژی، دفع زباله‌ها، تغییرات آب و هوایی، از بین رفتن لایه‌ی اوزن، تولید مواد و محصولات سازگار با محیط‌زیست و غیره نقش اساسی داشته باشند. ولی از طرف دیگر، ذکر این نکته نیز ضروری به نظر می‌رسد که با وجود راه‌حل‌های مختلفی که دانشمندان برای حل مسائل و مشکلات محیط‌زیست پیشنهاد می‌کنند، انجام این تکلیف به آسانی میسر نیست و تصمیمات

اتخاذ شده در مدیریت محیط‌زیست به وضعیت اقتصادی، فرهنگی و آداب و رسوم اجتماعی مردم نیز وابسته است. جامعه‌ی بشری از سویی نیازمند تأمین آب، هوا و خاکی سالم برای تولید مواد غذایی است و از سوی دیگر خواهان رشد اقتصادی و توسعه‌ی اجتماعی می‌باشد. ولی نتیجه‌ی رشد اقتصادی و توسعه‌ی اجتماعی، افزایش آلودگی محیط‌زیست است. یکی از بهترین مثال‌ها در این مورد توسعه‌ی فرایند حمل و نقل به کمک ماشین‌ها است. همراه با رشد اقتصادی و توسعه‌ی جوامع، صنعت حمل و نقل نیز رشد یافته، ولی دود حاصل از رفت و آمد اتومبیل‌ها، نقش به‌سزایی در آلودگی هوا و گرم شدن زمین داشته و دارد. لذا مدیریت محیط‌زیست بسیار پیچیده بوده و نیازمند تمهیداتی است که با سالم‌سازی محیط، از یک طرف و عوامل رشد اقتصادی و توسعه‌ی اجتماعی از طرف دیگر، به‌طور همزمان مواجه شود. هدف ما در این کتاب، آشنایی دانشجویان با کره‌ی خاکی و فرایندهای طبیعی که در آن رخ می‌دهد، انواع مختلف انرژی‌ها (تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر)، انواع آلودگی‌ها، سم‌شناسی فلزات و مواد معدنی و چرخه‌ی عناصر می‌باشد. در پایان هر فصل نیز ابتدا تمرینات و خودآزمایی‌هایی آورده شده اند که به دانشجویان عزیز در مرور مطالب و آموختن مطالب جدید کمک می‌کنند و سپس به دنبال آن‌ها، منابع مورد استفاده به تفکیک ذکر شده‌اند.

دکتر کامیلا نجاتی

عضو هیئت علمی دانشگاه پیام‌نور مرکز تبریز

دکتر ذوالفقار رضوانی

عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت‌معلم آذربایجان

محسن قاسمیان خجسته

# فصل اول

## محیط زیست

### ۱.۱ مفهوم و قلمرو شیمی محیط زیست

شیمی محیط زیست علمی چند شاخه است که شیمی، فیزیک، علوم زیستی، کشاورزی، علوم دارویی، بهداشت عمومی و مهندسی را دربرمی گیرد. به بیان ساده تر، شیمی محیط زیست، بررسی پدیده های شیمیایی را در محیط زیست مورد توجه قرار می دهد. همچنین، علم شیمی محیط زیست، مطالعه منابع مواد، حمل و نقل، تأثیر ذرات شیمیایی روی هوا، آب، خاک و نیز تأثیر انسان روی این فعالیت ها را شامل می شود.

درک مفاهیم بنیادی شیمی محیط زیست، نه تنها برای شیمیدانان محیط زیست ضروری است، بلکه برای افرادی که در زمینه علوم زیست محیطی، مهندسی و مدیریت فعالیت می کنند نیز ضروری به نظر می رسد.

موضوع محیط زیست به موازات توسعه کشورها در دهه ی شصت میلادی مورد توجه قرار گرفت. در سال ۱۹۷۰ که سازمان ملل متحد اقدام به برگزاری جشن های «روز زمین» کرد و سپس با برگزاری کنفرانس محیط زیست انسانی در سال ۱۹۴۲ در استکهلم سوئد که تحت سرپرستی سازمان ملل متحد برگزار گردید، این توجهات به اوج خود رسید.

امروزه، آموزش فرایندهای زیست محیطی در سطوح ملی، منطقه ای، و جهانی یک ضرورت اجتناب ناپذیر برای بشریت به شمار می رود.

آموزش در زمینه محیط زیست، بایستی روی این موضوع متمرکز شود که:

«محیط‌زیست را حفاظت و نگهداری کنیم و هرگونه فعالیت‌های انسانی که منجر به آلوده‌سازی محیط‌زیست می‌شود را بایستی دقیقاً کنترل کنیم». در واقع شیمی محیط‌زیست، بخشی از این آموزش‌ها به‌شمار می‌رود. مباحث زیادی در زمینه محیط‌زیست وجود دارد که هر روز بر اهمیت و پیچیدگی آن‌ها اضافه می‌شود. چگونه هزاران ژاپنی در دهه شصت میلادی در اثر خوردن ماهی‌های رودخانه میناتابای، جان خود را از دست دادند؟ چرا در سال ۱۹۵۲، قریب به چهار هزار نفر در لندن مردند؟ چرا مجسمه‌های باستانی در یونان و ایتالیا در اثر باران‌های اسیدی فرسوده می‌شوند؟ چرا رودخانه گنگ در هندوستان از آلوده‌ترین رودخانه‌های جهان است؟ آیا بایستی نیروگاه‌های هسته‌ای گسترش پیدا کنند؟ آیا ساختارین، یک افزودنی غذایی خطرناک است؟ چرا هوای تهران و شهرهای بزرگ ایران بیش از حد استاندارد دارای آلاینده‌های خطرناک و بسیار مضر است؟ این موارد و بسیاری موارد ناگفته دیگر مباحثی هستند که می‌توان آن‌ها را از جنبه‌های شیمیایی به بهترین نحو مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. البته این مباحث مرتبط با مباحث اکولوژیکی، اجتماعی، سیاسی و اقتصادی هستند که بایستی در ارتباط با هم مورد بررسی قرار گیرند.

## ۱. ۲ نامگذاری

**آلاینده<sup>۱</sup>:** ماده‌ای که در طبیعت وجود دارد و مقدار آن، بر اثر فعالیت‌های انسانی، بیشتر از حد فراوانی طبیعی آن است. به‌طوری که فراوانی آن در این سطح موجب وارد آمدن مضراتی به محیط‌زیست، اورگانسیم‌های زنده و انسان می‌شود. مانند سرب، جیوه، دی اکسید گوگرد، دی اکسید کربن و غیره.

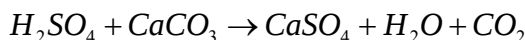
**ماده‌ی آلوده<sup>۲</sup>:** ماده‌ای که در طبیعت وجود ندارد، اما در اثر فعالیت‌های انسانی به محیط اضافه می‌شود. اگر ماده‌ی آلوده، اثرات زیان بار پدید آورد بایستی به‌عنوان آلاینده از آن نام برد. مثال: در طی سالیان متمادی، کپسول‌های حاوی گاز کلر در ایالت فلوریدای آمریکا از شهری به شهر دیگر حمل می‌شدند. مادامی که آن‌ها اثرات زیان باری پدید نیآورده‌اند در دسته مواد آلوده قرار می‌گیرند. اما در سال ۱۹۷۸ در اثر انفجار

1. pollutant  
2. contaminant

یکی از کپسول‌ها، گاز کلر نشت کرد و باعث مرگ هشت نفر گردید. این گاز در جوّ وجود ندارد. بنابراین ما، گاز کلر را ماده‌ی آلوده می‌نامیم که بعضی مواقع ممکن است تأثیرات زیان بار پدید آورد که در این صورت آلاینده نامیده می‌شود.

**پذیرنده<sup>۱</sup>:** محیطی است که تحت تأثیر ماده‌ی آلاینده قرار می‌گیرد. مثلاً انسان پذیرنده‌ی هوای آلوده است که سوزش چشم و آسیب به دستگاه تنفسی را در پی دارد. **زباله‌دان<sup>۲</sup>:** محیطی است که آلاینده‌های با طول عمر زیاد را نگهداری می‌کند و با آن‌ها تأثیر متقابل دارد.

دیوار مرمرین به‌عنوان زباله‌دان برای اسید سولفوریک جوّ عمل می‌کند و به مرور فرسوده و تخریب می‌شود.



اقیانوس‌ها، زباله‌دان دی‌اکسید کربن جوّ به‌شمار می‌روند.

**خط سیر آلاینده<sup>۳</sup>:** مکانیسمی که در طی آن، آلاینده از منبع خود به بخش‌های مختلف محیط منتشر می‌شود.

**گونه‌شناسی<sup>۴</sup>:** عبارت است از شناسایی گونه‌های مختلف مواد شیمیایی آلی، معدنی یا آلی - فلزی که در محیط‌زیست حضور دارند. شناسایی گونه شیمیایی آلوده‌کننده مهم است، زیرا بعضی از گونه‌ها در مقایسه با گونه‌های دیگر سمّیت بیشتری دارند. مثلاً  $(CH_3Hg)^+$  و  $(CH_3)_2Hg$  در مقایسه با سایر گونه‌های  $Hg$  از سمّیت فوق‌العاده‌ای برخوردار هستند.

### ۳.۱. بخش‌های مختلف محیط‌زیست

محیط‌زیست از چهار بخش اتمسفر، هیدروسفر، لیتوسفر و بیوسفر تشکیل شده است.

#### ۱.۳.۱. اتمسفر

این بخش از گازهایی تشکیل شده است که مانند روکشی دور زمین را فراگرفته‌اند و از حیات موجودات زنده در روی کره زمین، در مقابل عوامل خطرناک فضای خارجی

1. receptor

2. sink

3. path way of pollutants

4. speciation

محافظت می‌کنند. اتمسفر اغلب تابش‌های کیهانی و نیز بخش عمده‌ای از تابش‌ها و امواج الکترومغناطیس حاصل از خورشید را جذب می‌کند و تنها باعث عبور بخشی از امواج فرابنفش نور خورشید، امواج مرئی و مادون قرمز (بین طول موج‌های ۳۰۰ الی ۲۵۰۰ نانومتر) و امواج رادیویی (طول موج‌های ۰/۰۱ تا ۴۰ میکرون) می‌شود. اتمسفر نقش کلیدی در حفظ تعادل زمین دارد و این کار را از طریق جذب امواج مادون قرمز (امواج گرمایی) نشر شده از خورشید یا بازتابیده شده از زمین انجام می‌دهد. اجزای عمده‌ی اتمسفر گازهای نیتروژن و اکسیژن بوده و گازهایی نظیر آرگون، دی اکسید کربن و چند گاز دیگر نیز به مقدار جزئی در آن وجود دارند. اتمسفر در واقع به‌عنوان منبعی برای اکسیژن (برای ادامه حیات موجودات زنده) و دی اکسید کربن (برای عمل فتوسنتز در گیاهان) در نظر گرفته می‌شود. چرخه‌های آب و نیتروژن نیز در طبیعت از طریق اتمسفر انجام می‌شوند. متأسفانه با پیشرفت علوم و تکنولوژی، هر روز مقداری مواد آلاینده، توسط فعالیت‌های انسانی وارد اتمسفر می‌شوند که این امر، خطری جدی برای محیط‌زیست محسوب می‌شود.

### ۱.۳.۲ هیدروسفر

هیدروسفر تمام منابع آبی، از جمله اقیانوس‌ها، دریاها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، نهرها، مخازن آب زیرزمینی، یخچال‌ها و یخ‌های قطبی را در بر می‌گیرد. در حدود ۹۷ درصد آب‌های روی زمین در اقیانوس‌ها هستند که به علت شوری زیاد، غیرقابل مصرف می‌باشند. ۲ درصد آب‌ها هم به صورت یخچال‌ها و یخ‌های قطبی هستند و تنها حدود یک درصد آب‌ها (به‌صورت آب‌های سطحی و زیر زمینی) برای انسان‌ها قابل استفاده می‌باشند. از جمله مصارف آب می‌توان به آبیاری در کشاورزی (۳۰ درصد)، نیروگاه‌های حرارتی (۵۰ درصد)، مصارف خانگی (۷ درصد) و مصارف صنعتی (۱۲ درصد) اشاره کرد. آب‌ها می‌توانند در اثر ورود فاضلاب‌های خانگی و ضایعات صنعتی و یا از طریق خاک، حرارت و مواد رادیواکتیو آلوده شوند. در طول سالیان گذشته امراض ناشی از آلودگی آب، صدمات جبران ناپذیری به مردم بسیاری از شهرها و روستاها در سراسر جهان وارد کرده‌اند. در حال حاضر نیز در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، بیماری‌های ناشی از آلودگی آب همچنان سلامت مردم را تهدید می‌کند.

## ۱. ۳. ۳. لیتوسفر

لیتوسفر به پوسته‌ی خارجی زمین گفته می‌شود که شامل عناصر و مواد موجود در پوسته‌ی زمین و خاک می‌شود (مواد آلی و معدنی). خاک، مهم‌ترین قسمت لیتوسفر به‌شمار آمده و نقش مهمی در تولید مواد غذایی برای انسان‌ها و حیوانات ایفا می‌کند. ولی به دلیل فعالیت‌های انسانی، خاک در معرض آلاینده‌هایی نظیر سموم دفع آفات، کودها، ذرات معلق و غیره قرار می‌گیرد.

## ۱. ۳. ۴. بیوسفر

این بخش شامل موجودات زنده و انواع تعاملات آن‌ها با محیط زیست اطرافشان (اتمسفر، هیدروسفر و لیتوسفر) است. بیوسفر و محیط اطراف آن کاملاً روی هم تأثیر می‌گذارند. به‌عنوان مثال میزان اکسیژن و دی اکسید کربن در اتمسفر، به فعالیت گیاهان سبز در بیوسفر بستگی دارد. در واقع گیاهان سبز از طریق عمل فتوسنتز و نیز در اثر پوسیدن و تجزیه شدن می‌توانند روی غلظت اکسیژن موجود در اتمسفر مؤثر باشند.



# فصل دوم

## اتمسفِر

### ۱.۲ اجزاء تشکیل دهنده اتمسفِر

اتمسفِر از سه بخش با اندازه‌های متفاوت (بزرگ‌تر، کوچک‌تر، و یک بخش جزئی) تشکیل شده است و در یک هوای خشک عاری از آلودگی در سطح زمین ترکیب درصد حجمی آن به شرح جدول ۱.۲ می‌باشد:

جدول ۱.۲ اجزاء تشکیل دهنده اتمسفِر

| اجزاء بیشتر   | درصد حجمی              |
|---------------|------------------------|
| نیتروژن       | ۷۸/۰۹                  |
| اکسیژن        | ۲۰/۹۴                  |
| بخار آب       | ۰/۱-۵*                 |
| اجزاء کمتر    | درصد حجمی              |
| آرگون         | $9/34 \times 10^{-1}$  |
| دی اکسید کربن | $3/25 \times 10^{-2*}$ |
| اجزاء ناچیز   | درصد حجمی              |
| نئون          | $1/12 \times 10^{-3}$  |

| اجزاء ناچیز      | درصد حجمی             |
|------------------|-----------------------|
| هلیوم            | $5/24 \times 10^{-4}$ |
| متان             | $2 \times 10^{-4}$    |
| هیدروژن          | $5 \times 10^{-5}$    |
| کربن مونوکسید    | $1/2 \times 10^{-4}$  |
| نیتروز اکسید     | $2/5 \times 10^{-5}$  |
| گزنون            | $8/7 \times 10^{-6}$  |
| آمونیاک          | $1 \times 10^{-6}$    |
| دی اکسید گوگرد   | $2 \times 10^{-4}$    |
| دی اکسید نیتروژن | $1 \times 10^{-5}$    |
| یُد              | (ناچیز)               |
| اوزن             | (ناچیز)               |

\* مقادیر بر حسب ppm

این درصدها با تغییر ارتفاع از سطح زمین، تغییر می کنند. چگالی اتمسفر بر اثر افزایش ارتفاع به طور محسوسی کاهش می یابد. فشار اتمسفر از  $1 \text{ atm}$  در سطح دریا تا  $3 \times 10^{-7} \text{ atm}$  در ارتفاع صد کیلومتری از سطح دریا متغیر است. در حالی که در همین محدوده، دما از  $100^\circ \text{C}$  تا  $1200^\circ \text{C}$  تغییر می کند. جرم کل اتمسفر نیز تقریباً  $5 \times 10^{15}$  تن است که یک میلیونیم جرم کل کره زمین است.

## ۲.۲ ساختار اتمسفر

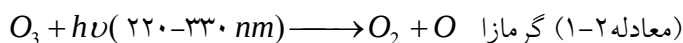
اتمسفر را می توان به چهار بخش عمده تقسیم بندی کرد که در جدول ۲.۲ آورده شده است.

جدول ۲.۲ بخش های عمده جو

| منطقه      | دامنه ارتفاع<br>(کیلومتر) | دامنه دما<br>(درجه سانتی گراد) | گونه های شیمیایی مهم                                      |
|------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| تروپوسفر   | ۰ - ۱۱                    | ۱۵ - (-۵۶)                     | $\text{N}_2, \text{O}_2, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$ |
| استراتوسفر | ۱۱ - ۵۰                   | (-۵۶) - (-۲)                   | $\text{O}_3$                                              |
| مئوسفر     | ۵۰ - ۸۵                   | (-۲) - ۹۲                      | $\text{O}_2^+, \text{NO}^+$                               |
| ترموسفر    | ۸۵ - ۵۰۰                  | ۹۲ - ۱۲۰۰                      | $\text{O}_2^+, \text{O}^+, \text{NO}^+$                   |

تروپوسفر، ۱۰ درصد جرم اتمسفر را تشکیل می‌دهد. محدوده بالایی تروپوسفر بسته به عواملی نظیر دما و طبیعت سطح زمین، ممکن است تا چندین کیلومتر تغییر کند. چگالی و دمای هوا در تروپوسفر یکنواخت نیست. چگالی به‌طور نمایی<sup>۱</sup> با افزایش ارتفاع، کاهش می‌یابد. میزان آب در تروپوسفر به چرخه‌ی آب وابسته بوده و متغیر است. همچنین بسته به میزان آلاینده‌های هوا و به دلیل چرخه‌ی ثابت ذرات تشکیل‌دهنده هوا در این ناحیه، ممکن است نحوه توزیع ذرات در تروپوسفر، یکنواخت یا غیریکنواخت باشد. جریان انرژی ناشی از عدم توازن در سرعت گرمایش و سرمایش استوا و قطبین باعث می‌شود که این منطقه از جو از یک تلاطم و آشفتگی همیشگی برخوردار باشد. دما در تروپوسفر به‌طور یکنواخت با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد. هوای نزدیک سطح زمین به علت جذب پرتوهای حرارتی زمین گرم است.

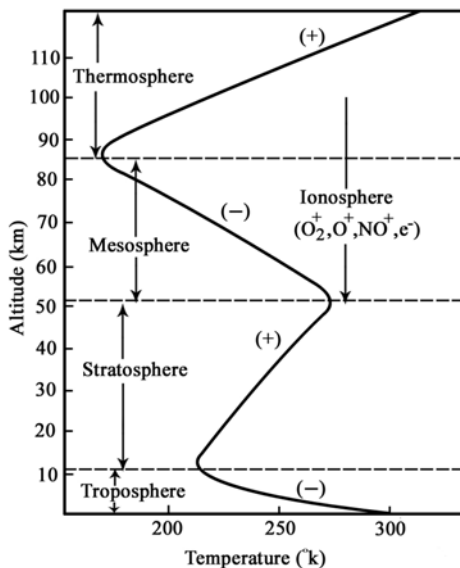
لایه سرد بالای تروپوسفر ( $-56^{\circ}C$ )، تروپوپاز<sup>۲</sup> نامیده می‌شود که بعد از آن معکوس شدن دما رخ می‌دهد یعنی منطقه منفی به منطقه مثبت تبدیل می‌شود. شیب منحنی دما - ارتفاع در شکل ۱.۲ در تروپوسفر منفی است ولی در استراتوسفر دما با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد و شیب منحنی دما - ارتفاع مثبت است. در این منطقه، اوزن با جذب اشعه‌ی فرا بنفش خورشید، باعث حفاظت کره زمین از اثرات زیان بار این اشعه می‌شود (معادله ۱-۲).



## ۲.۳ توازن پرتوهای زمین

کره‌ی زمین روزانه انرژی انبوهی از خورشید دریافت می‌کند. طیف پرتوهای خورشیدی در سطح زمین، دارای یک پیک در  $483\text{ nm}$  (ناحیه مرئی) است که نشان می‌دهد دمای سطح خورشید تقریباً  $6000^{\circ}K$  است. طیف پرتوهای زمین یک پیک در  $10000\text{ nm}$  (ناحیه زیر قرمز) نشان می‌دهد که بیانگر آن است که دمای سطح زمین تقریباً  $290^{\circ}K$  ( $17^{\circ}C$ ) می‌باشد. به بیان دیگر، زمین پرتوهای ناحیه مرئی را جذب کرده و در عوض پرتوهای زیر قرمز ( $2-40\text{ }\mu$  با ماکزیمم  $10\text{ }\mu$ ) از خود نشر می‌کند.

1. exponential  
2. Tropopause



شکل ۱.۲ بخش‌های عمده اتمسفر و تغییرات دمایی آن

فشار حرارتی حاصل از خورشید در قسمت بالای جو برابر  $1340 \text{ W.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$  است. اگر همه این انرژی توسط زمین جذب می‌شد، سال‌ها پیش از این زمین تبخیر شده بود. مکانیسم‌های مختلف و پیچیده‌ای وجود دارند که با به‌کارگیری آن‌ها توسط زمین، توازن حرارتی آن حفظ می‌شود و شرایط بهینه‌ای به وجود می‌آید که ادامه حیات در آن امکان‌پذیر می‌شود.

زمین حدود ۶۶ درصد شار خورشیدی را جذب می‌کند و حدود ۳۴ درصد از آن با مکانیسم‌هایی نظیر انعکاس و پخش به فضا بازگردانده می‌شود. نقل و انتقال انرژی، نقش کلیدی در توازن تشعشعی زمین ایفا می‌کند. فرآیند انتقال انرژی از طریق سه مکانیسم زیر انجام می‌گیرد:

(الف) بازتابش انرژی از طریق برهم‌کنش‌های بین اتم‌ها و مولکول‌ها.

(ب) بازتابش انرژی به صورت امواج زیر قرمز از سطح زمین.

(ج) جابه‌جایی انرژی از طریق چرخه‌ی هوا.

مکانیسم‌های (الف) و (ج) باعث کاهش دمای سطح زمین از طریق انتقال آن به ابرها می‌شوند. میانگین دمای سطح زمین تقریباً  $15^\circ\text{C}$  تخمین زده شده است که بیشتر

آن ناشی از بازجذب امواج زیر قرمز منعکس شده از سطح زمین توسط ذرات بخار آب ( $4-8 \mu$ ) و کمی نیز به دلیل جذب امواج توسط مولکول‌های دی اکسید کربن ( $12-16/3 \mu$ ) است. خاصیت جذب گرما توسط بخار آب و دی اکسید کربن منجر به به وجود آمدن «اثر گلخانه‌ای» می‌شود که نقش زیادی در گرم شدن هوای زمین دارد. در بخش‌های بعدی درباره این اثر بحث خواهیم کرد. افزایش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی باعث بهم خوردن توازن حرارتی در سطح زمین شده است. فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی باعث آزاد شدن مقدار انبوهی گرد و غبار و گاز در جو می‌شوند. تأثیر این فعالیت‌های انسانی در مقایسه با تأثیر عوامل طبیعی مانند باد، مه و آتشفشان‌ها که در مقیاس وسیعی باعث پخش ذرات معلق در جو می‌شوند، به مراتب کمتر است. ذرات معلق سیاه رنگ باعث جذب اشعه خورشید و ذرات سبک و بی‌رنگ باعث پخش اشعه خورشید می‌شوند که در نتیجه، اولی باعث افزایش و دومی باعث کاهش دمای زمین می‌شود. تأثیر این ذرات روی آب و هوا را می‌توان با تجزیه و تحلیل منابع به وجود آورنده این ذرات و میزان تأثیر آن‌ها در جو درک کرد.

## ۲.۴ ذرات معلق، یون‌ها و رادیکال‌ها در اتمسفر

ذرات معلق از اجزاء تشکیل دهنده عمده تروپوسفر محسوب می‌شوند. تعداد این ذرات از چند صد واحد در هر سانتی‌متر مکعب (هوای خالص) تا  $10^{+5}$  واحد در هر سانتی‌متر مکعب (هوای بسیار آلوده) متغیر است. اندازه این ذرات  $0.1-10 \mu$  است. جرم این ذرات از  $10 \mu g / m^3$  در هوای تمیز تا  $2000-60 \mu g / m^3$  در هوای آلوده شهری متغیر می‌باشد. ذرات با اندازه‌های کوچک و کلوئیدی مانند در جو را آئروسول (Aerosol) گویند. آئروسول‌های با منشأ طبیعی که قطر کمتر از  $0.2 \mu$  دارند، آیتکن (Aitken) نامیده می‌شوند. این ذرات از دریاها، دود، گرد و غبار، و تبخیر مواد آلی از سطح گیاهان حاصل می‌شوند.

سایر ذراتی که با منشأ طبیعی در جو وجود دارند عبارتند از: باکتری‌ها، دوده‌های سیاه، ذرات حاصل از گرده افشانی، و خاکسترهای آتشفشانی. در ایالات متحده آمریکا، سالانه حدود  $13/4$  میلیون تن ذرات معلق، وارد جو می‌شوند که از این مقدار، ۵ میلیون تن دارای اندازه کمتر از  $3 \mu$  هستند. ماهیت شیمیایی و اندازه ذرات اهمیت زیادی در