

دانشگاه سبز
شاهرود

شیمی سبز

(رشته شیمی)

دکتر محمدعلی کریمی دکتر خدیجه دیده بان

دکتر ماهرو خالقی

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «إِقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار

۱	فصل اول. مفاهیم شیمی سبز (تعاریف کلی)
۱	هدف کلی
۱	هدف‌های یادگیری
۱	مقدمه
۲	۱-۱ شیمی سبز و آینده پایدار
۶	۲-۱ تاریخچه شکل‌گیری شیمی سبز
۸	۳-۱ شیمی‌دان سبز
۱۰	۴-۱ پسماندها و هزینه دفع آن‌ها
۱۴	۵-۱ محیط زیست، اقتصاد اتمی و کاهش آلاینده‌ها
۱۵	۱-۵-۱ آلودگی محیط زیست
۱۵	۲-۵-۱ اقتصاد اتمی و کاهش پسماند
۱۷	۳-۵-۱ مبانی اقتصاد اتمی
۱۸	۴-۵-۱ اصول و معیارها
۱۹	۶-۱ لزوم دستیابی به فناوری‌های سبز
۲۱	خلاصه فصل اول
۲۱	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول
۲۲	خودآزمایی تشریحی فصل اول
۲۲	منابع فصل اول
۲۵	فصل دوم. اصول بنیادی شیمی سبز
۲۵	هدف کلی

۲۵	هدف‌های یادگیری
۲۵	مقدمه
۲۶	۱-۲ اصول دوازده‌گانه شیمی سبز
۲۶	۱-۱-۲ پیشگیری از تولید فراورده‌های بیهوده
۲۷	۲-۱-۲ اقتصاد اتمی A.E.
۳۲	۳-۱-۲ سنتز شیمیایی کم‌خطر
۳۳	۴-۱-۲ طراحی مواد شیمیایی ایمن‌تر
۳۴	۵-۱-۲ حلال‌ها و مواد کمکی ایمن‌تر
۳۵	۶-۱-۲ طراحی برای افزایش بهره‌انرژی
۳۶	۷-۱-۲ استفاده از مواد خام تجدیدپذیر
۳۷	۸-۱-۲ کاهش مشتقات
۳۸	۹-۱-۲ کاتالیزورها
۳۹	۱۰-۱-۲ طراحی برای تخریب‌پذیری
۴۰	۱۱-۱-۲ تجزیه و تحلیل لحظه به لحظه برای پیشگیری از آلودگی
۴۱	۱۲-۱-۲ شیمی ذاتاً ایمن‌تر برای جلوگیری از حوادث
۴۱	خلاصه فصل دوم
۴۳	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دوم
۴۴	خودآزمایی تشریحی فصل دوم
۴۵	منابع فصل دوم
۴۷	فصل سوم. طراحی یک فرایند سبز
۴۷	هدف کلی
۴۷	هدف‌های یادگیری
۴۷	مقدمه
۴۸	۱-۳ انتخاب مواد اولیه و واکنشگرها
۴۹	۱-۱-۳ مواد اولیه حاصل از منابع کشاورزی (زیست توده)
۵۲	۲-۳ انتخاب کاتالیزگر- کاتالیزگر سبز
۵۲	۱-۲-۳ گزینش‌پذیری کاتالیزگر
۵۲	۲-۲-۳ کاتالیزگرهای زیستی
۵۳	۳-۲-۳ کاتالیزگرهای همگن و ناهمگن
۵۵	۴-۲-۳ کاتالیزگرهای انتقال فاز
۵۶	۳-۳ انتخاب حلال- حلال‌های سبز
۵۷	۱-۳-۳ حلال‌های ایمن
۵۷	۲-۳-۳ آب به‌عنوان حلال در واکنش‌های سنتزی
۵۸	۳-۳-۳ مایعات یونی به‌عنوان حلال سبز
۵۹	۴-۳-۳ سیال‌های فوق بحرانی

۶۰	۳-۳-۵ حلال‌های دوفازی پرفلوئوره
۶۱	۳-۳-۶ سامانه‌های بدون حلال
۶۲	خلاصه فصل سوم
۶۳	خودآزمایی چهار گزینه‌ای فصل سوم
۶۵	خودآزمایی تشریحی فصل سوم
۶۶	منابع فصل سوم
۶۷	فصل چهارم. فناوری‌های سبز
۶۷	هدف کلی
۶۷	هدف‌های یادگیری
۶۷	مقدمه
۶۸	۴-۱ فناوری‌های سبز در مقیاس نانو (نانوسبز)
۷۱	۴-۲ انرژی‌های پاک
۷۳	۴-۳ کاربرد ریزموج در شیمی سبز
۷۵	۴-۳-۱ حذف هافمن
۷۵	۴-۳-۲ هیدرولیز بنزیل کلرید
۷۶	۴-۳-۳ محافظت‌زدایی (استیل‌زدایی)
۷۷	۴-۴ کاربرد فراصوت در شیمی سبز
۷۸	۴-۴-۱ استری‌شدن
۷۹	۴-۴-۲ آبکافت
۷۹	۴-۴-۳ واکنش‌های جانشینی
۸۰	۴-۵ واکنش‌های نورشیمیایی در شیمی سبز
۸۱	۴-۶ واکنش‌های الکتروشیمیایی در شیمی سبز
۸۵	خودآزمایی گزینه‌ای فصل چهارم
۸۶	خودآزمایی تشریحی فصل چهارم
۸۷	منابع فصل چهارم
۸۹	فصل پنجم. نگرشی بر شیمی محیط زیست
۸۹	هدف کلی
۸۹	هدف‌های یادگیری
۸۹	مقدمه
۹۰	۵-۱ شیمی محیط زیست
۹۱	۵-۲ شیمی هوا
۹۲	۵-۲-۱ آلودگی هوا
۹۲	۵-۲-۲ گازهای گلخانه‌ای

۹۳	۵-۲-۳ لایه اُزن
۹۵	۵-۲-۴ هیدروکربن ها
۹۷	۵-۲-۵ ترکیبات سرب
۹۸	۵-۲-۶ منوکسیدکربن
۹۸	۵-۲-۷ ترکیبات گوگرددار
۹۹	۵-۲-۸ آزیست
۱۰۰	۵-۲-۹ آلاینده های هوا در محیط های بسته
۱۰۰	۵-۳-۳ شیمی خاک
۱۰۱	۵-۳-۱ آلودگی خاک
۱۰۳	۵-۴-۴ شیمی آب
۱۰۳	۵-۴-۱ آلودگی آب
۱۰۵	۵-۵ آلاینده های آلی دیرپا (مقاوم)
۱۰۸	۵-۶ آلودگی صوتی
۱۰۹	خلاصه فصل پنجم
۱۰۹	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل پنجم
۱۱۰	خودآزمایی تشریحی فصل پنجم
۱۱۱	منابع فصل پنجم
۱۱۳	فصل ششم. سامانه های مدیریت زیست محیطی
۱۱۳	هدف کلی
۱۱۳	هدف های یادگیری
۱۱۳	مقدمه
۱۱۵	۶-۱ سامانه جهانی استاندارد سازی (ایزو)
۱۱۶	۶-۲ انواع استانداردها
۱۱۸	۶-۲-۱ استاندارد هوای پاک
۱۲۰	۶-۲-۲ استاندارد مدیریت زیست محیطی سری ۱۴۰۰۰
۱۲۲	۶-۲-۳ استانداردهای آلودگی
۱۳۲	خلاصه فصل ششم
۱۳۲	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل ششم
۱۳۳	خودآزمایی تشریحی فصل ششم
۱۳۴	منابع فصل ششم
۱۳۵	فصل هفتم. نمونه هایی از محصولات سبز
۱۳۵	هدف کلی
۱۳۵	هدف های یادگیری

۱۳۵	مقدمه
۱۳۶	۱-۷ طراحی زیست سازگار
۱۳۷	۲-۷ پلاستیک‌های سبز و زیست سازگار
۱۳۹	۳-۷ سوخت‌های زیستی
۱۴۰	۴-۷ آفت‌کش‌های سبز
۱۴۲	۵-۷ رنگ‌های سبز
۱۴۵	۶-۷ پاک‌کننده‌های سبز
۱۴۷	۷-۷ اسانس‌های سبز
۱۴۸	۸-۷ داروهای سبز
۱۵۱	۹-۷ منافع محصولات سبز برای محیط‌زیست
۱۵۱	خلاصه فصل هفتم
۱۵۲	خودآزمایی چهار گزینه‌ای فصل هفتم
۱۵۳	خودآزمایی تشریحی فصل هفتم
۱۵۳	منابع فصل هفتم
۱۵۵	فصل هشتم. کامپوزیت‌های سبز
۱۵۵	هدف کلی
۱۵۵	هدف‌های یادگیری
۱۵۵	مقدمه
۱۵۶	۱-۸ کامپوزیت
۱۵۹	۲-۸ کامپوزیت‌های سبز
۱۶۰	۱-۲-۸ پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر به‌عنوان فاز زمینه
۱۶۴	۲-۲-۸ نانوپرکننده‌های مورد استفاده در کامپوزیت‌های سبز
۱۶۹	۳-۲-۸ کامپوزیت چوب پلاستیک (WPC)
۱۶۹	۴-۲-۸ کامپوزیت سرامیکی
۱۷۰	خلاصه فصل هشتم
۱۷۱	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هشتم
۱۷۱	خودآزمایی تشریحی فصل هشتم
۱۷۲	منابع فصل هشتم
۱۷۴	پاسخنامه خودآزمایی چهارگزینه‌ای

پیشگفتار

در عصری از دانش بشری به سر می بریم که همه دانشمندان و محققین بر این باورند که شیمی نقشی بنیادی در پیشرفت تمدن آدمی داشته و جایگاه آن در اقتصاد، سیاست و زندگی روزمره روز به روز پررنگ تر شده است. با این همه، شیمی طی روند پیشرفت خود، که همواره با سودرساندن به آدمی همراه بوده، آسیب های چشمگیری نیز به سلامت آدمی و محیط زیست وارد کرده است. شیمیدان ها طی سال ها کوشش و پژوهش، مواد خامی را از طبیعت برداشت کرده اند، که با سلامت آدمی و شرایط محیط زیست سازگاری بسیار دارند، و آن ها را به موادی دگرگونه کرده اند که سلامت آدمی و محیط زیست را به چالش کشیده اند. هم چنین، این مواد به سادگی به چرخه ی طبیعی مواد باز نمی گردند و سال های زیادی به صورت زباله های بسیار آسیب رسان و همیشگی در طبیعت می ماند. بارها از آسیب های مواد شیمیایی به بدن آدمی و محیط زیست شنیده و خوانده ایم. اما، چاره کار چیست؟ به نظر می رسد در کنار راهکارهای پیشگیرانه، که تاکنون کارآمدی چشمگیری از خود نشان نداده اند، باید به راه های کارآمدتری نیز بیاندیشیم که دگرگونی در شیوه ی ساختن مواد شیمیایی در راستای کاهش آسیب های آن ها به آدمی و محیط زیست، یکی از این راه ها است.

امروزه، از این رویکرد نوین با عنوان شیمی سبز (شیمی پایدار) یاد می شود. فلسفه تحقیقاتی شیمی و رشته های وابسته به آن در این رویکرد، طراحی فراورده ها و فرایندهایی می باشد که با محیط زیست سازگار بوده و خطرات ناشی از مواد شیمیایی

به حداقل برسد. هدف شیمی محیط زیست، فرایندهای شیمیایی است که در محیط زیست طبیعی رخ می دهد و در مورد مواد شیمیایی آلاینده در طبیعت بحث می کند، در حالی که شیمی سبز به دنبال کاهش و جلوگیری از این آلودگی در محیط زیست می باشد.

در ایران نیز با توجه به پیشرفت های قابل توجه در علم شیمی و سهم به سزای اساتید و محققین شیمیدان کشور در دستاوردهای مرتبط با این دانش بشری در عرصه جهانی، در سال های اخیر مقوله جهت گیری طراحی یا بازطراحی مولکول ها، مواد و دگرگونی های شیمیایی در راستای سالم تر کردن آن ها برای آدمی و محیط زیست بر مبنای بنیادهای دوازده گانه شیمی سبز بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است.

در این راستا، با توجه به عدم وجود منبع درسی مناسب و قابل فهمی با رویکرد آشنایی طیف وسیعی از دانشجویان و محققین با مفاهیم، اصول بنیادین و شیوه های طراحی و دستیابی به فرایندها و فناوری های سبز، کتاب حاضر تهیه و تدوین شده است. کتاب از هشت فصل مجزا تشکیل شده است. خواننده در **فصل اول** کتاب با تاریخچه، مفاهیم، تعاریف و مزایای شیمی سبز و توسعه پایدار و مفاهیم کلیدی نظیر محیط زیست، اقتصاد اتمی، پسماندها و بازطراحی واکنش ها و فناوری های روز در حوزه شیمی سبز آشنا می شود.

فصل دوم کتاب شامل معرفی اصول بنیادین دوازده گانه شیمی سبز و روش های استفاده از این اصول و بازطراحی واکنش ها بر مبنای استفاده از مواد شیمیایی ایمن تر و پربازده تر است. همچنین روش های تلفیق این اصول و استفاده هم زمان از آنها و چگونگی محاسبه اقتصاد اتمی و واکنش های با اقتصاد اتمی مناسب شرح داده می شوند.

در **فصل سوم** سعی شده است تا روش های طراحی یک فرایند سبز و اصول و اصطلاحات عمومی نظیر کاتالیزگر سبز، حلال سبز و مواد اولیه سبز توضیح داده شوند.

فصل چهارم شامل معرفی برخی از فناوری های موجود در زمینه شیمی سبز است. در این فصل مقوله های مهمی نظیر انرژی های پاک و فناوری های جایگزین و همچنین کاربرد امواج ریز موج و فراصوت و واکنش های نورشیمیایی و الکتروشیمیایی در شیمی سبز نیز شرح داده می شوند.

در فصل پنجم با شیمی محیط زیست و نقش و چگونگی تاثیرگذاری بشر بر طبیعت و ناپایدارنمودن آن و منابع، آثار و انواع آلودگی‌ها و راه‌های کنترل آنها آشنا می‌شوند.

فصل ششم شامل آشنایی با استانداردهای در زمینه محیط زیست و مفاهیم مرتبط با سامانه جهانی استاندارد سازی (ایزو) و تضمین کیفیت است. همچنین، مطالب و مفاهیم ضروری در استانداردهای آلودگی و هوا و آب پاک توضیح داده می‌شوند.

در فصل هفتم با تعدادی از محصولات سبز بر پایه فرایندهای سبز و چگونگی کاهش آلودگی‌های آب و هوا و حفظ منابع زمین ناشی از چنین رویکردی آشنا می‌شوند. در همین راستا، ضمن تشریح فلسفه طراحی فرآورده‌های زیست سازگار و چگونگی سنتز آنها، منافع چنین محصولات سبزی برای جامعه بشری و محیط زیست تشریح می‌شود. همچنین، برخی نمونه محصولات سبز نظیر پلاستیک‌ها، سوخت‌ها، آفت‌کش‌ها، رنگ‌ها، پاک‌کننده‌ها، اسانس‌ها و داروها تشریح می‌شوند.

فصل هشتم شامل آشنایی با کامپوزیت‌ها و نانوکامپوزیت‌های سبز و نحوه استفاده از آنها در ترکیبات زیست تخریب‌پذیر است. همچنین، پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر بر پایه نشاسته، سلولز، کیتین و پروتئین‌ها و برخی نانوپرکننده‌ها توضیح داده می‌شوند.

امید است کتاب حاضر به ارتقاء هر چه بیشتر سطح علمی دانشجویان به ویژه در رشته‌های مختلف به‌ویژه شیمی و مهندسی شیمی و رشته‌های وابسته در مقاطع کارشناسی و کارشناسی‌ارشد کمک نماید. انشاء...

بدین‌وسیله مراتب سپاس خود را از تلاش مسئولانه و زحمات ارزشمند و صادقانه پرسنل محترم دفتر تدوین، سرکارخانم خواجه‌پور و سرکار خانم حاجی‌انزهایی، که در زمینه پیشبرد تدوین این کتاب، نقش به‌سزایی داشتند، ابراز می‌داریم.

دکتر محمدعلی کریمی (عضو هیئت علمی دانشگاه پیام‌نور)

دکتر خدیجه دیده بان (عضو هیئت علمی دانشگاه پیام‌نور)

دکتر ماهر و خالقی مقدم (عضو هیئت علمی پژوهشگاه استاندارد)

فصل اول

مفاهیم شیمی سبز (تعاریف کلی)

هدف کلی

در این فصل دانشجو با تعاریف و مفاهیم اصلی در شیمی سبز و توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست و همچنین، مزایای استفاده از علم شیمی سبز و چشم‌اندازهای آینده آن آشنا خواهد شد. اصطلاحات عمومی از قبیل سبزبودن واکنش‌ها و اقتصاد اتمی را فرا می‌گیرد و در مورد مسائل محیط زیست مانند پسماندها و هزینه دفع آن اطلاعاتی کسب خواهد نمود.

هدف‌های یادگیری

دانشجو در پایان این فصل، بایستی توانایی‌های زیر را کسب کرده باشد:

۱. تعریف شیمی سبز و توسعه پایدار را بداند و با مفاهیم بازطراحی واکنش‌ها با استفاده از مواد شیمیایی بهتر و ایمن‌تر و انتخاب ایمن‌ترین و پربازده‌ترین راه‌ها برای سنتز آن‌ها آشنا شود.
۲. با مفاهیم محیط زیست، اقتصاد اتمی و روش‌های کاهش آلاینده‌ها آشنا شود.
۳. پسماندها را بشناسد و دید کلی از هزینه دفع آن‌ها داشته باشد.
۴. با فناوری‌های روز در زمینه شیمی سبز آشنا شود.

مقدمه

شیمی یا همان کیمیا به‌عنوان دانش تبدیل مواد کم ارزش به مواد ارزشمند از قدیم نقش بسیار اثرگذاری در پیشرفت تمدن انسان داشته است که البته با این پیشرفت‌ها، آسیب‌ها و خطراتی نیز برای سلامتی و محیط زیست انسان به همراه داشته است.

شیمیدان‌ها طی سال‌ها کوشش و پژوهش، موادی از طبیعت برداشت و آن را به مواد دیگری تبدیل کرده‌اند که سلامت انسان و محیط زیست را تحت تأثیر قرار داده‌اند، به‌طوری که این مواد دیگر به‌سادگی به چرخه طبیعت باز نمی‌گردد و سال‌های طولانی به‌صورت زباله‌های همیشگی و آسیب‌رسان در طبیعت باقی خواهند ماند.

حفظ و نگهداری محیط زیست و منابع طبیعی یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که بشر در آستانه قرن بیست و یکم با آن مواجه است و این در حالی است که لزوم بهبود سطح استانداردهای زندگی در کشورهای در حال توسعه اهمیت خود را از دست نداده است.

بنابراین با این شرایط، برای شیمیدان‌ها، افزایش تولید و کاهش قیمت محصولات مختلف با توجه به محدودیت‌های ایجاد شده در زمینه ضایعات و سمیت محصولات ممکن نخواهد بود. این امر باعث شده تا دانشمندان، نگاهی جدید به شیمی داشته باشند. به این معنی که علاوه بر توجه به قیمت و بازدهی، باید سلامتی انسان و صدمات محیطی نیز در مواد و فرایندهای مورد استفاده، جهت تولید، در طول مدت ساخت و پس از ساخت در نظر گرفته شود که این رویکرد جدید به‌عنوان «شیمی سبز» یاد می‌شود.

۱-۱ شیمی سبز و آینده پایدار

شیمی سبز رهیافتی به طراحی، تولید و استفاده از محصولات شیمیایی به‌منظور کاهش یا حذف خطرهای شیمیایی است. هدف شیمی سبز ایجاد مواد شیمیایی بهتر و ایمن‌تر و در عین حال انتخاب ایمن‌ترین و پربازده‌ترین راه‌ها برای سنتز آن‌ها و کاهش پسماندهاست. به‌طور نمونه، مواد شیمیایی با این انتظار تولید می‌شوند که هرگونه خطر شیمیایی می‌تواند به نوعی به‌وسیله ایجاد ملاحظات ایمنی و محدودیت‌های در معرض قرارگیری^۱، مدیریت شود.

شیمی سبز بدین‌شکل تعریف می‌شود: ابداع، طراحی و کاربرد فراورده‌ها و فرایندهای شیمیایی به‌منظور کاهش یا حذف استفاده از مواد خطرناک یا تولید آن‌ها.

۱. در معرض قرارگیری (exposure) شامل قرارگرفتن در معرض آلاینده‌های مختلف است که می‌تواند سبب بروز اختلال‌های و آسیب‌هایی در سلامتی فرد شود.

در نگاه اول به تعریف شیمی سبز، اولین چیزی که دیده می‌شود، مفهوم ابداع و طراحی است. با توجه به لزوم در نظر گرفتن آثار محصولات و فرایندهای شیمیایی در طراحی آن‌ها، تعریف شیمی سبز به‌طور جدایی‌ناپذیری به ملاحظات مخاطره‌آمیز همراه با کارایی بستگی دارد.

جنبه دیگری از تعریف شیمی سبز در عبارت، استفاده و تولید، نهفته است. به جای آنکه فقط روی آن دسته از مواد نامطلوب تمرکز شود که ممکن است به‌طور ناخواسته در فرایند تولید شوند، شیمی سبز شامل تمام موادی می‌شود که بخشی از فرایند هستند. بنابراین، شیمی سبز ابزاری، نه فقط برای به حداقل رساندن اثر منفی واکنش‌ها و بهینه‌سازی بازده است، بلکه برای به حداقل رساندن و بهینه‌سازی فرایندها بوده و مکمل اهداف نهایی است.

در نهایت، شیمی سبز راهی برای کاهش خطر و جلوگیری از آلودگی با معرفی خطرهای ذاتی مواد و شرایط استفاده معمول از آن‌هاست که خطر مواد را افزایش می‌دهند.

همچنین، تعریف شیمی سبز نکته مهم دیگری را در اصطلاح "خطرناک" روشن می‌کند. این اصطلاح به خطرهای فیزیکی نظیر قابلیت انفجار، اشتعال‌پذیری و قابلیت خوردگی محدود نمی‌شود، بلکه به‌طور عمده، شامل سمیت حاد و مزمن، سرطان‌زایی و سمیت بوم‌شناختی می‌شود. افزون بر این، خطرهای تعاریف جدیدی شامل تهدیدهای جهانی مانند گرم‌شدن جهانی، تخلیه لایه ازن اتمسفر و زیست‌انباشت^۱ مواد شیمیایی دیرپا^۲ در جهان امروز را دربرمی‌گیرد.

• **یادآوری:** مواد شیمیایی دیرپا موادی هستند که در محیط به مدت نسبتاً طولانی باقی می‌مانند و پاکسازی این ترکیبات از طبیعت به آسانی امکان‌پذیر نیست. برای دربرداشتن این چشم‌انداز گسترده، داشتن هر دو دیدگاه زیستی و عملی لازم است. مسلماً توجه به تنها یک زیرمجموعه از خطرهای نادیده‌گرفتن یا توجه نکردن به سایر آن‌ها غیرمنطقی است. اما مهم‌تر از آن، خواص خطرناک ذاتی آن دسته از ملاحظات است که طی طراحی مناسب یا بازطراحی واکنش‌ها یا مواد شیمیایی در نظر گرفته می‌شوند.

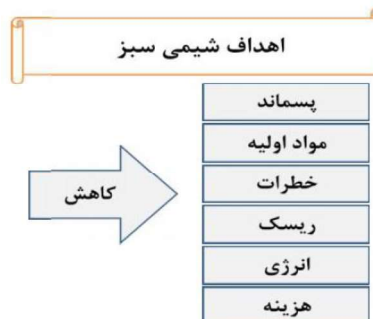
1. Bioaccumulation
2. Ersistent Chemicals

به اختصار، شیمی سبز نه نوع نوینی از شیمی، نه جنبش زیست‌محیطی و نه محکوم‌کردن صنعت و فناوری نوین یا آنچه که قبلاً انجام می‌دادیم، است. شیمی سبز به سادگی حق تقدم مسائل زیست‌محیطی با توجه به قوانین به علوم و فنون جدید است.

فلسفه شیمی سبز، نوعی طراحی برای تکامل شیمیایی و راهنمایی دانشمندان به منظور انجام تمرین‌های مداوم طی پژوهش، توسعه و تولید را فراهم می‌کند. در سال‌های اخیر، تکامل در شیمی سبز به اوج رسیده و نیروی محرکه به اندازه کافی حاصل شده است و دانشمندان درباره دانش مورد نیاز برای بازده سنتزی بالاتر و ملاحظات زیست‌محیطی آگاهی بیشتری دارند.

شیمی سبز اصرار دارد که اهداف سنتزی ما با فرض ملاحظات اضافی مرتبط با مسئولیت زیست‌محیطی باشد، که طی عملیات (واکنش‌ها) به وجود می‌آیند. اگر از واکنشگر سمی استفاده شود، باید درباره واکنشگر کمتر سمی که به همان پایان منجر می‌شود، جویا شد. ممکن است جست و جوی منابع، جایگزینی با بازده مناسب همراه با سمیت کاهش یافته نسبت به قبل را به دست ندهد، اما منجر به طراحی روشی با استفاده از واکنشگر ایمن‌تر شود. یعنی خطر را کاهش دهد. در واقع، بسیاری از این موضوع آگاهی ندارند که عمل ساده جست‌وجو برای کاهش سمیت، سطح بالاتری از نظارت زیست‌محیطی را نشان می‌دهد و این شیمی سبز است. در نظر داشتن مسائل زیست‌محیطی، فرایند را اصلاح و خطر مرتبط با کار با واکنشگر سمی را کاهش می‌دهد. این در حالی است که بازده سنتز را نگه داشته یا بهبود می‌بخشد. برخی بر این باورند که حق تقدم زیست‌محیطی زمان‌بر و هزینه‌بر است. اما درست برعکس است، زمان و هزینه ابتدا با بیشتر شدن بازده سنتز کاهش می‌یابند و روش‌های نوین می‌توانند با تلاش‌های بیشتر در راستای افزایش بهره‌وری کلی تولید، اعمال شوند.

بنابراین تلاش برای آنکه شیمی تا آنجا که ممکن است بی‌خطرتر باشد، یک هدف است. شیمی بی‌خطر فقط عبارتی ایده‌آل برای دستیابی به این هدف است. در جدول ۱-۱ این اهداف فهرست شده است.



شکل ۱-۱. اهداف شیمی سبز

در حالی که پیش‌تر گفته شد، هیچ‌چیزی برای محیط زیست واقعاً بی‌خطر نیست، موادی وجود دارند که نسبت به سایر مواد برای انسان سمی‌تر و برای محیط زیست مضرت‌تر شناخته شده‌اند. با استفاده از داده‌های گسترده موجود در باره آثار بوم‌شناختی و سلامتی انسان، برای گستره متنوعی از مواد شیمیایی و دسته‌بندی‌های شیمیایی مجزا، شیمیدان‌ها می‌توانند در این باره که کدام ماده شیمیایی برای استفاده در سنتز یا فرایند خاصی مطلوب‌تر است، انتخاب آگاهانه‌ای داشته باشند. از این رو، مهم است که شیمیدان‌ها گزینه‌های شیمی سبز نوین را، توسعه دهند.

❖ توسعه به معنی برنامه‌ریزی جهت رسیدن جامعه از وضع فعلی به وضع مطلوب‌تر است و توسعه پایدار (Sustainable Development)، بدین مفهوم است که به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی گردد، تا نسل‌های آینده در بر آوردن نیازهای خویش دچار مشکل نشده، سرمایه‌های ملی دچار افت بها نشوند و به محیط زیست نیز آسیبی نرسد.

با وجود اینکه تمام عناصر چرخه عمر مواد شیمیایی یا فرایندهای جدید ممکن است برای محیط زیست بی‌خطر نباشند، با این حال مهم است که این مراحل هر جا که امکان اصلاح باشد، بهبود یابند. آنگاه، فاز بعدی تحقیق می‌تواند روی عناصری از چرخه حیات متمرکز شود که هنوز نیاز به بهبود دارند. به عبارت دیگر بهبود در روش‌ها و شرایط تدریجی است. حتی اگر روش‌شناسی شیمی سبز نوین نتواند به یک‌باره معضل چرخه عمر یک ماده شیمیایی یا فرایند خاصی را حل کند، با این حال پیشرفت‌های حاصل بسیار بااهمیت هستند.

برای ارزیابی سبز بودن یک فرایند ویژه، باید به ملاحظات مربوط به عواملی از قبیل ایمنی، سلامتی و تأثیرهای زیست محیطی واکنش دهنده‌ها، مواد کمکی (عمدتاً حلال‌ها) و پسماندها توجه شود. با وجود این که این برشمردن، آشکارا ناقص به نظر می‌رسد، اما در حال حاضر می‌تواند سودمند باشد. سؤال درباره اینکه یک واکنش چقدر سبز است، بیشتر به درصد تبدیل ویژه، با مقایسه دو یا چند فرایند جایگزین برای همان سنتز یا روش‌های سنتزی ترکیبات جایگزین مربوط است. مطالعه سبز بودن واکنش‌های آلی با بررسی اجمالی آخرین واکنشگرهایی، کامل می‌شود که در دستیابی به تبدیل‌های مطلوب، ایمن و پاک مشارکت داشته باشند.

۱-۲ تاریخچه شکل‌گیری شیمی سبز

در خلال تولد شیمی سبز طی دهه گذشته، زمینه آن شاهد گستردگی سریع بوده است. این کار با دستیابی به موفقیت‌های علمی نوآورانه متعدد به همراه تولید و مصرف فراورده‌های شیمیایی بوده است.

در این زمان، مفهوم و ایده آل شیمی سبز فراتر از شیمی رفته و موضوعاتی از انرژی تا حساسیت اجتماعی را نیز دربر گرفته است. اندیشه اصلی شیمی سبز "بازده" است که شامل بازده‌های ماده، انرژی، نیروی انسانی و میزان سمیت می‌شود. در این قسمت با نگاهی بر پیدایش و روند توسعه شیمی سبز در سال‌های گذشته، چشم‌اندازی از آینده آن ترسیم می‌شود.

در سال ۱۹۶۲، راشل کارسون نویسنده، زیست شناس و دوستدار محیط زیست، کتابی تحت عنوان "بهار خاموش" منتشر کرد؛ پس از جنگ جهانی دوم استفاده بی‌رویه از سموم شیمیایی آفت‌کش توجه کارسون را به خود جلب کرد و او را واداشت تا مردم را از اثرات درازمدت سموم آفت‌کش آگاه سازد. کتاب بهار خاموش او در سال ۱۹۶۲ جنبشی زیست محیطی را پدید آورد که موجب بازنگری اساسی در جایگاه علم در زندگی انسان شد. در آمریکا، در سال ۱۹۶۹ رئیس جمهور ریچارد نیکسون شورایی تحت عنوان کیفیت محیط زیست بنا نهاد و یک سال بعد یعنی در سال ۱۹۷۰ سازمان حفاظت محیط زیست (EPA) تأسیس شد.

شکل‌گیری دفتر پیشگیری آلودگی و مواد سمی در سال‌های ۱۹۸۰ - ۱۹۸۸

مقدمه‌ای برای تصویب قانون پیشگیری از آلودگی توسط دولت بوش در سال ۱۹۹۰، به وجود آمد.

با تصویب این قانون، اداره جلوگیری از مواد سمی آژانس محافظت از محیط زیست (OPPT)، ایده جدیدی (بهبود محصولات و فرایندهای شیمیایی جهت کاهش خطرات) را در قالب یک برنامه آزمایشی آغاز کرد. طبق این برنامه، برای اولین بار، کمک مالی به پروژه‌های تحقیقاتی مربوط به جلوگیری از آلودگی در تولید فراورده‌های شیمیایی عرضه شد.

در جهت پیاده‌سازی شیمی سبز در سال ۱۹۹۳، EPA برنامه‌ای را برای بازنگری فرایندهای شیمیایی در راستای جلوگیری از آلودگی محیط زیست مطرح کرد و در طی سال ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶ در زمان ریاست جمهوری بیل کلینتون، وی به شناسایی فناوری‌های نوین شیمیایی توجه نشان داد و در نهایت، پاداشی را برای ایجاد رقابت در گسترش شیمی سبز در نظر گرفت.

در این زمان با تعیین پاداش ریاست جمهوری برای رقابت شیمی سبز و قدردانی‌های سالانه دولت از گروه‌ها و سازمان‌ها و انجمن‌ها، سرعت نشر اطلاعات شیمی سبز در صنعت افزایش یافت.

بعد از گذشت یک سال در سال ۱۹۹۷، عده‌ای از صنعتگران و انجمن‌ها به کمک دولت، موفق به ثبت سازمان شیمی سبز^۱ (GCI) شدند. این امر نه به خاطر سود و منافع فردی، بلکه به دلیل ارتقاء و پیشرفت شیمی سبز صورت گرفت که نقطه عطفی برای توسعه جهانی این علم به حساب می‌آمد.

در سال ۱۹۹۸ با انتشار کتاب تعاریف و اصول دوازده‌گانه شیمی سبز توسط پل آناستاز و جان وارنر این علم به شکل نوینی که امروزه می‌بینیم، بنیان نهاده شد. در فوریه سال ۱۹۹۹ انگلستان اقدام به چاپ نشریه علمی بین‌المللی با عنوان شیمی سبز کرد.

آنچه مشخص است، آینده شیمی باید نگاهی بسیار متفاوت از گذشته داشته باشد. شیمی سنتی، مواد غذایی، انرژی، بهداشت، حمل و نقل، ارتباطات و کیفیت زندگی مدرن را ارتقا داده است و همزمان، تخلیه منابع محدود و کمیاب طبیعی و در