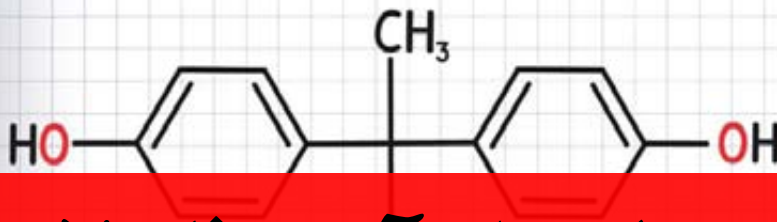
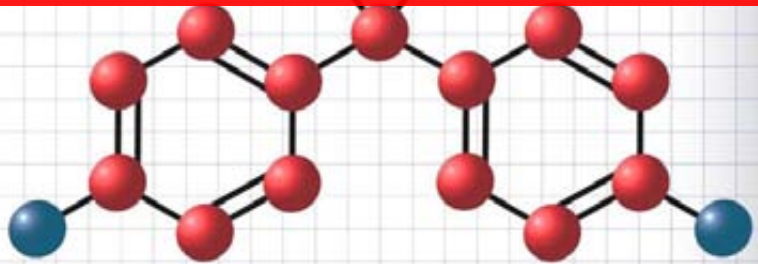


# Bisphenol A (BPA)



حذف بیسفنول A از آب و فاضلاب



مترجم: علی اصغر عربخانی

## مقدمه مترجم

«غلبه بر آلودگی پلاستیک<sup>1</sup>»؛ این شعاری بود که در سال ۲۰۱۸ به مناسبت روز جهانی محیط زیست از جانب UNEP اعلام شد. پلاستیک پلیمری شگفت‌انگیز است که مزایای انکارناپذیر آن بر کسی پوشیده نیست و همین امر باعث گسترش سریع کاربرد این ماده در دنیا شد، تا جایی که برخی گزارشات از واژه "انفجار" برای تولید انبوه آن استفاده می‌کنند.

اما در سالیان اخیر چه رخ داده است که سبب شد بشر با علم بر این مزایا، سخن از غلبه بر آلودگی پلاستیک به میان آورد؟

همان‌گونه که می‌دانیم پلاستیک پلیمری مصنوعی و ساخته دست بشر است که مواد شیمیایی مختلفی برای بهبود ویژگی‌های آن جهت سهولت در کاربری‌های مختلف به آن افزوده می‌شود. یکی از این ترکیبات سنتتیک، بیسفنول A است که از آن در ساخت پلاستیک‌های محکم و با انعطاف‌پذیری بالا، رزین‌های اپوکسی، سی‌دی‌ها و دی‌وی‌دی‌ها، لنزهای عینک و ... استفاده می‌شود به طوری که می‌توان گفت این ماده در محیط پیرامون ما پراکنده است.

این موضوع هنگامی قابل تامل می‌شود که بدانیم سالانه چیزی حدود ۱۳ میلیون تن پلاستیک وارد محیط‌های آبی دنیا از جمله اقیانوس‌ها شده و از این طریق وارد رژیم غذایی انسان می‌شود. با گسترش مواجهه انسان با این ترکیب شیمیایی، تحقیقاتی انجام گرفت که نتایج حاکی از تأثیرات منفی آن بر بدن موجودات زنده از جمله انسان می‌باشد. این تأثیرات منفی شامل اختلال در عملکرد غدد درون‌ریز و تأثیر بر فرآیندهای شیمیایی بدن است. از این رو بسیاری از کشورها سعی در ممنوعیت کاربرد این ماده نموده‌اند.

تحقیقات گوناگونی تاکنون بر روی جنبه‌های مختلف مصرف بیسفنول A انجام شده است. کتابی که اکنون ترجمه آن تقدیم می‌گردد، با دیدی جامع و با تکیه بر تحقیقات و مقالات متنوع نگاشته شده که سعی در پوشش تمام حوزه‌های مرتبط با ماهیت شیمیایی این ترکیب، روش‌های تولید، اثرات بر بدن

---

<sup>1</sup> Beat plastic pollution

موجودات زنده، و فناوری‌های مختلف حذف آن از آب و فاضلاب دارد. از این رو منبع متقن و جامعی برای محققان، دانشجویان و علاقمندان حوزه تصفیه آب و فاضلاب به شمار می‌رود که امید است مثمر ثمر نیز واقع شود.

## فهرست مطالب

۱	معرفی بیسفنول A	۱
۵	منابع تولید و ویژگی‌های بیسفنول A	۲
۶	تولید و کاربرد	۶
۱۰	ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، و زیستی	۱۰
۲۷	شناسایی و کمی سازی بیسفنول A در آبهای زیرزمینی، آبهای سطحی، فاضلاب و شیرابه	۲۷
۴۴	منابع و مآخذ فصل ۲	۴۴
۵۱	فناوری‌های فیزیکی و شیمیایی حذف بیسفنول A از فاضلاب	۳
۵۲	جذب سطحی	۵۲
۶۰	فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته	۶۰
۶۱	ازن زنی	۶۱
۶۸	اکسیداسیون فتوشیمیایی	۶۸
۷۸	کاویتاسیون فراصوت (اولتراسونیک)	۷۸
۸۵	تجزیه الکتروشیمیایی	۸۵
۹۰	فیلتراسیون غشایی	۹۰
۹۶	منابع و مآخذ فصل ۳	۹۶
۱۰۵	تجزیه زیستی میکروبی و متابولیسم بیسفنول A	۴
۱۰۵	تجزیه بیسفنول A توسط باکتریها	۱۰۵
۱۲۲	تجزیه بیسفنول A توسط قارچها	۱۲۲
۱۲۷	تجزیه بیسفنول A توسط جلبکها	۱۲۷
۱۳۱	منابع و مآخذ فصل ۴	۱۳۱
۱۳۷	فناوری‌های تصفیه زیستی فاضلاب برای حذف بیسفنول A	۵
۱۳۸	حذف بیسفنول A توسط بیومس در سیستمهای تصفیه فاضلاب	۱۳۸
۱۴۰	متابولیسم همزمان بیسفنول A	۱۴۰

۱۴۵.....	جذب سطحی بیسفنول A	
۱۴۸.....	پارامترهای موثر بر حذف زیستی بیسفنول A	
۱۵۵.....	حذف بیسفنول A در راکتورهای زیستی غشایی (MBRS)	
۱۵۹.....	حذف بیسفنول A در سیستم‌های کلان‌مقیاس تصفیه فاضلاب	
۱۶۴.....	سرنوشت نهایی بیسفنول A در لجن فاضلاب	
۱۶۷.....	منابع و مآخذ فصل ۵	
<b>۱۷۵.....</b>	<b>سیستم‌های یکپارچه حذف بیسفنول A از فاضلاب</b>	<b>۶</b>
۱۷۶.....	فناوری‌های ترکیبی AOPS و روش‌های تصفیه زیستی	
۱۸۱.....	فناوری‌های ترکیبی AOPS و فیلتراسیون غشایی	
۱۸۵.....	فناوری‌های ترکیبی تصفیه زیستی و فیلتراسیون غشایی	
۱۸۶.....	سیستم‌های یکپارچه که از کاتالیست‌های زیستی استفاده می‌کنند	
۱۹۰.....	تولید نانو کاتالیست‌های زیستی برای تصفیه فاضلاب شهری	
۱۹۱.....	منابع و مآخذ فصل ۶	

## معرفی بیسفنول A



بیسفنول A (BPA<sup>1</sup>) احتمالاً یکی از رایج‌ترین و شایع‌ترین شبه استروژن‌های سنتتیک در محیط زیست می‌باشد. گستردگی بیسفنول A وابسته به رشد سریع کاربری‌های صنعتی است که به این ماده نیاز دارند. به همین دلیل، تولید جهانی آن در سال ۲۰۱۰ به حدود ۵ میلیون تن در سال افزایش یافته بود. هر چند تعیین جداگانه بزرگ‌ترین منشا ایجاد آلودگی بیسفنول A دشوار است، به جرات می‌توان گفت بیسفنول A همیشه یک آلودگی انسان‌ساخت می‌باشد. ۹۲٪ بیسفنول A از طریق فاضلاب با منابع مختلف به محیط زیست وارد می‌شود. میزان آلودگی با این ماده از مقادیر  $ng/L$  تا بیش از چندین  $mg/L$  در شیرابه یک لندفیل پسماندهای خطرناک در ژاپن متغیر می‌باشد. باقیمانده بیسفنول A که به محیط‌های آبی تخلیه می‌شود، اغلب باعث آلودگی منابع آب آشامیدنی می‌شود. بیسفنول A موجود در جامدات زیستی حاصل از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نیز به عنوان یک منشا قابل توجه آلودگی به شمار می‌رود. غلظت بیسفنول A در این جامدات از  $100 - 10000 ng/g$  متغیر است، بدین معنا که جامدات زیستی حاصل از واحدهای تصفیه در صورت استفاده به عنوان کود کشاورزی می‌توانند به عنوان منشا آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی باشند.

---

<sup>1</sup> Bisphenol A

اگرچه بیشتر تحقیقات اخیر بر روی اثرات سمیت بیسفنول A و حذف آن از فاضلاب متمرکز شده‌اند، همچنان فقدان اطلاعاتی در خصوص این ماده در استانداردهای تصفیه خانه‌های فاضلاب شهری، مانند دستورالعمل چارچوب منابع آب<sup>۱</sup> اتحادیه اروپا ( WFD, The Directive 2000/60/EC) به چشم می‌خورد. پیشرفت‌های چشمگیری نیز در حذف بیسفنول A از فاضلاب در چند سال اخیر حاصل شده است. بنابراین، نوشتار حاضر اطلاعاتی به‌روز درباره بیسفنول A و پیشرفت‌های فناوری تصفیه فاضلاب برای حذف ریزآلاینده‌ها با نگاهی به بیسفنول A به عنوان نمونه ارابه می‌کند. محتوای این کتاب منابع و ویژگی‌های بیسفنول A، فناوری‌های تصفیه و پیش تصفیه شیمیایی و فیزیکی، همچنین تجزیه زیستی یا متابولیسم تجزیه در فناوری‌های تصفیه زیستی را پوشش می‌دهد. به علاوه، سیستم‌هایی که این فناوری‌ها را برای حذف بیسفنول A از فاضلاب با هم یکپارچه می‌کنند، را محک می‌زند.

پیشرفت‌های اخیر، فناوری‌های فیزیکی و شیمیایی پیش تصفیه و تصفیه را برای حذف بیسفنول A پیشنهاد می‌کنند. این فناوری‌ها شامل جذب سطحی، فیلتراسیون غشایی و یک سری روش‌های مختلف هستند که برای اکسیداسیون بیسفنول A به کار می‌روند. همه این روش‌ها گام‌هایی موثر در فرآیندهای حذف هستند. علیرغم کارایی بالای این روش‌ها، اما همچنان این پرسش مطرح است که آیا استفاده از این فناوری‌ها در تصفیه‌خانه‌های کلان‌مقیاس به دلیل هزینه زیاد آن‌ها امکان‌پذیر می‌باشد یا خیر؟ پیش تصفیه شیمیایی اغلب برای اکسیداسیون ناقص بیسفنول A به کار می‌رود تا در مراحل بعدی به راحتی بتوان آن را به صورت زیستی تجزیه کرد. به علاوه، واکنش‌های سونوشیمیایی<sup>۲</sup> نیز به عنوان روش‌هایی موثر در تجزیه ترکیبات آلی در محلول‌های آبی مطرح شده‌اند.

<sup>1</sup> Water Framework Directive

<sup>۲</sup> سونوشیمی به دانش استفاده از امواج فراصوت برای انجام واکنش‌های شیمیایی گفته می‌شود که با ایجاد دما و فشار موضعی بسیار بالا در محیط واکنش همراه است. اساس این روش بر پایه حفره‌زایی یا کاویتاسیون است.

میکروارگانسیم‌ها نقش مهمی در حذف بیسفنول A ایفا می‌کنند. این مولکول می‌تواند به راحتی توسط کلنی‌های باکتریایی متابولیزه شده، و سویه باکتری‌های تجزیه‌کننده از محیط جداسازی و شناسایی شود. اولین سویه باکتری (سویه MV1 از باکتری *Sphingomonas sp.*) از لجن تصفیه‌خانه فاضلاب جداسازی شد. این سویه‌های باکتریایی قادرند روی مولکول بیسفنول A رشد و از آن به عنوان تنها منبع تامین کربن و انرژی استفاده کنند. متابولیت‌های تولید شده در طی تجزیه بیسفنول A تحت شرایط هوایی به طور کامل مطالعه و بررسی شده‌اند، و چندین مسیر تجزیه نیز تاکنون پیشنهاد شده است. راکتورهای زیستی با لجن فعال، بیوفیلم و بیومس دانه‌ای هوایی ساخته شده‌اند تا حذف بیسفنول A را به صورت تجزیه زیستی و یا جذب سطحی افزایش دهند. به صورت کلی، بیوراکتورهای غشایی که قابلیت ایجاد غلظت بالایی از میکروارگانسیم، سن بالای لجن و پسابی بدون جامدات معلق را دارند، اصلی‌ترین گزینه برای دستیابی به حذف کارآمد بیسفنول A هستند.

علاوه بر آن، با ترکیب حذف بیولوژیکی بیسفنول A با فناوری‌های فیزیکی و شیمیایی که در بالا به آن اشاره شد، عملکرد تصفیه فاضلاب را می‌توان بهبود داد. به عنوان مثال، روش‌های بر پایه فتوکاتالیستی ناهمگن، که با تولید رادیکال‌های هیدروکسیل همراه هستند، برای حذف بیسفنول A از فاضلاب به کار رفته‌اند. همچنین تحقیقات بر روی روش‌های تصفیه با استفاده از اکسیداسیون پیشرفته از قبیل UV/O<sub>3</sub>، فنتون، UV/O<sub>3</sub>، UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>، O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> و O<sub>3</sub>/UV/TiO<sub>2</sub> متمرکز شده‌اند. محصولات اکسیداسیون و ترکیبات فرعی دیگر که توسط فرآیندهای پیش تصفیه فیزیکی و شیمیایی ایجاد می‌شوند، می‌توانند توسط میکروارگانسیم‌ها متابولیز شوند. اکسیداسیون نه تنها برای پیش تصفیه استفاده می‌شود، بلکه برای تجزیه آلاینده‌های سخت تجزیه‌پذیری که پس از حذف بخش زیست تجزیه‌پذیر فاضلاب باقی می‌مانند نیز کاربرد دارد. بنابراین، ترکیب اکسیداسیون با روش‌های تصفیه زیستی برای حذف آلودگی‌ها از فاضلاب در حال پیشرفت می‌باشد.



به علاوه، پایداری و بقای بیسفنول A در بیومس میکروبی یا لجنی که به عنوان مکمل و یا کود کشاورزی به خاک اضافه می‌شود، منبع بالقوه آلودگی محیط زیست به شمار می‌رود. به همین دلیل ضروری است که از تاثیر روش‌های پیش تصفیه مختلف بر حذف بیسفنول A و محصولات جانبی بینابینی آن از لجن آگاهی حاصل شود. بنابراین اطلاعات موردنیاز در خصوص میزان بیسفنول A در لجن دفعی، حذف آن با روش‌های مختلف تصفیه لجن و روش‌های ترکیبی برای کاهش غلظت بیسفنول A در لجن، که بر سمیت محصولات جانبی بینابینی و پایداری لجن در محیط زیست اثر می‌گذارند، در این کتاب گردآوری شده است. این مجموعه تحقیقات بروز، منبعی جامع و ضروری برای دانشجویان و محققان، و نیز طراحان و بهره‌برداران واحدهای تصفیه فاضلاب که برای حفاظت از سلامت انسان‌ها و محیط زیست از اثرات زیان‌بار بیسفنول A تلاش می‌کنند، فراهم خواهد کرد.