



محیط زیست و صنعت داروسازی: تأثیرات زیست محیطی، پیامدها و راهکارها

سارا نری میسا^{۱*}، رضا قدوسی^۲، اعظم صادق اسدی^۳

۱- دکتر تخصصی محیط زیست، معاونت غذا و دارو، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ایران. ایمیل: saranarimisa@gmail.com

۲- دکتر حرفه ای داروسازی، مدیریت داروخانه های بیمارستانی (مدد)، معاونت غذا و دارو، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ایران. ایمیل: dr.birdofjove@gmail.com

۳- کارشناس ارشد آلودگی و حفاظت محیط زیست، آزمایشگاه ترکیبات نفتی و سموم، سازمان محیط زیست کشور. ایمیل: sadeghasadiazam@doa.ac.ir

* نویسنده مسئول، تهران. میدان آرژانتین. خیابان الوند. معاونت غذا و دارو دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ایران.

چکیده

صنعت داروسازی به عنوان یکی از ارکان اصلی نظام سلامت، نقش مهمی در بهبود کیفیت زندگی و درمان بیماری‌ها ایفا می‌کند. با این حال، فعالیت‌های این صنعت با پیامدهای زیست‌محیطی متعددی همراه است که از جمله می‌توان به آلودگی منابع آب و خاک، تولید پسماندهای شیمیایی و سمی، مصرف بالای انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای اشاره کرد. ورود داروها و ترکیبات فعال دارویی به محیط‌زیست می‌تواند تأثیرات مخربی بر اکوسیستم‌ها، حیات وحش و حتی سلامت انسان‌ها داشته باشد. این مقاله با هدف بررسی تأثیرات زیست‌محیطی دو کارخانه داروسازی، به تحلیل چالش‌های موجود در حوزه آلودگی، پسماند و مصرف منابع طبیعی پرداخته و در ادامه، راهکارهایی مانند به‌کارگیری فناوری‌های سبز، مدیریت اصولی پسماندها، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و بهینه‌سازی فرایندهای تولید را به عنوان راه‌حل‌های مؤثر ارائه می‌دهد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که با اتخاذ رویکردی پایدار و همسو با اصول زیست‌محیطی، می‌توان هم‌زمان با پیشرفت علمی و صنعتی، از تخریب محیط‌زیست جلوگیری کرد و به سمت توسعه پایدار حرکت نمود.

کلمات کلیدی: محیط زیست، صنعت داروسازی، آلودگی، مدیریت پسماند، انرژی تجدیدپذیر، فناوری سبز

Environment and the Pharmaceutical Industry: Environmental Impacts, Consequences, and Solutions

Sara Narimisa ^{1,*}, Reza Ghodousi ², Azam Sadegh Asadi ³

1- PhD in Environment. Deputy of Food and Drug Administration, Iran University of Medical Sciences and Health Services. Email:

saranarimisa@gmail.com

2- Hospital Pharmacy Management (MADAD), Deputy of Food and Drug Administration, Iran University of Medical Sciences and Health Services. Email: dr.birdofjove@gmail.com

3- Laboratory of Petroleum Compounds and Toxins, Environmental Protection Organization of Iran. Email: sadeghasadiazam@doa.ac.ir

* Corresponding Author, Deputy of Food and Drug Administration, Alvand St. Arjantina Squ, Tehran

Abstract

The pharmaceutical industry, as one of the main pillars of the health system, plays an important role in improving the quality of life and treating diseases. However, the activities of this industry are associated with numerous environmental consequences, including pollution of water and soil resources, production of chemical and toxic waste, high energy consumption, and greenhouse gas emissions. The introduction of drugs and active pharmaceutical ingredients into the environment can have devastating effects on ecosystems, wildlife, and even human health. This article aims to examine the environmental impacts of two companies in the pharmaceutical industry, analyzes the challenges in the field of pollution, waste, and consumption of natural resources, and then presents solutions such as the use of green technologies, principled waste management, the use of renewable energies, and optimization of production processes as effective solutions. The results of the studies show that by adopting a sustainable approach in line with environmental principles, we can prevent environmental degradation and move towards sustainable development, while simultaneously advancing science and industry.

Keywords: Environment, Pharmaceutical Industry, Pollution, Waste Management, Renewable Energy, Green Technology

مقدمه

پیشرفت‌های علمی و فناوری‌های نوین، توانسته است درمان‌های مؤثر و نوآورانه‌ای برای انواع بیماری‌ها ارائه دهد و در نتیجه امید به زندگی و کیفیت زندگی افراد را به‌طور چشمگیری افزایش دهد. با این وجود، رشد روزافزون

صنعت داروسازی یکی از مهم‌ترین و حیاتی‌ترین بخش‌های نظام بهداشت و درمان در جهان است که با تولید داروهای درمانی و پیشگیرانه، نقشی بی‌بدیل در حفظ و ارتقای سلامت انسان‌ها ایفا می‌کند. این صنعت با

تولید و مصرف داروها در سطح جهانی، چالش‌های زیست‌محیطی قابل توجهی را به دنبال دارد.

صنعت داروسازی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تأثیرات قابل توجهی بر محیط زیست دارد. این تأثیرات به‌ویژه در فرآیندهای تولید دارو، مصرف منابع طبیعی و مدیریت پسماندها به وضوح نمایان می‌شود. از آلودگی منابع آبی و خاکی گرفته تا مصرف بالای انرژی و منابع اولیه، چالش‌های محیط‌زیستی ناشی از این صنعت روز به روز پیچیده‌تر می‌شود. همچنین، استفاده از مواد شیمیایی و دارویی در فرآیندهای تولید، می‌تواند به آلودگی‌های شیمیایی منجر شود که تهدیدی جدی برای اکوسیستم‌ها و سلامت عمومی به شمار می‌آید.

در این مقاله، به تحلیل تأثیرات محیط‌زیستی صنعت داروسازی پرداخته خواهد شد. علاوه بر آن، چالش‌ها و تهدیدهای زیست‌محیطی این صنعت مورد بررسی قرار گرفته و راه‌حل‌ها و استراتژی‌های مختلف برای کاهش اثرات منفی آن بر محیط زیست، مانند استفاده از فناوری‌های سبز، بازیافت پسماندها، بهینه‌سازی مصرف منابع و تصفیه فاضلاب‌ها، ارائه خواهد شد. هدف از این مقاله، تشریح لزوم هماهنگی بین صنعت داروسازی و اصول حفاظت از محیط زیست است تا این صنعت بتواند به‌طور همزمان از پیشرفت‌های علمی خود بهره‌برداری کند و در عین حال اثرات منفی آن را بر محیط‌زیست به حداقل برساند. پژوهش‌های زیادی در سطح بین‌المللی اثرات داروها و ترکیبات دارویی بر محیط‌زیست را مورد بررسی قرار داده‌اند. برخی از مطالعات برجسته در این حوزه بر لزوم توجه بیشتر به اثرات زیست‌محیطی این مواد و نیاز به مقررات سخت‌گیرانه‌تر برای کنترل آن‌ها تأکید دارند.

Kümmerer (2001) در تحقیق خود به بررسی مواد دارویی در محیط‌های آبی پرداخت و نشان داد که ترکیبات دارویی به‌راحتی از بدن انسان و حیوانات عبور کرده و در تصفیه‌خانه‌ها تجزیه نمی‌شوند، به‌طوری‌که این مواد در منابع آبی باقی می‌مانند.

Fick et al. (2010) این مطالعه در ۷۱ کشور مختلف انجام شد و نشان داد که داروها و ترکیبات دارویی در ۷۰٪ منابع آبی بررسی شده در این کشورها وجود دارند. این نتایج نگرانی‌هایی جدی در مورد آلودگی دارویی منابع آبی ایجاد کرد.

aus der Beek et al. (2016) مطالعه‌ای گسترده در اروپا و آمریکای شمالی انجام شد که نشان داد داروها به‌طور قابل توجهی در رودخانه‌ها و منابع آبی دیگر شایع هستند و تهدیدات جدی برای سلامت اکوسیستم‌ها ایجاد می‌کنند.

روش‌شناسی تحقیق

این تحقیق به‌صورت تجربی و آزمایشگاهی انجام شده است تا اثرات زیست‌محیطی پساب‌های خروجی از صنایع داروسازی بر منابع محیط‌زیستی مورد بررسی قرار گیرد. تمرکز اصلی پژوهش بر شناسایی ترکیبات آلاینده موجود در پساب‌ها و بررسی تأثیر این ترکیبات بر سلامت زیستی منابع طبیعی، به‌ویژه منابع آبی و خاک است.

- طراحی آزمایش:

پژوهش حاضر با هدف بررسی ترکیب شیمیایی پساب‌های دارویی و ارزیابی اثرات بالقوه آنها در دو کارخانه داروسازی بر محیط زیست طراحی شده است. آزمایش‌ها شامل تماس مستقیم نمونه‌های زیستی با پساب‌ها و تجزیه و تحلیل اثرات زیست‌محیطی آن‌ها می‌باشد.

- نمونه‌های مورد بررسی:

- پساب‌های داروسازی
- پساب‌ها از دو کارخانه داروسازی جمع‌آوری شدند. این پساب‌ها حاوی ترکیبات دارویی، مواد شیمیایی جانبی، حلال‌ها و بقایای مواد اولیه دارویی هستند.
- نمونه‌های زیستی و محیطی
- برای شبیه‌سازی اثر این پساب‌ها بر منابع زیست‌محیطی، از مدل‌های سلولی و محیط‌های شبیه‌سازی‌شده آزمایشگاهی شامل آب، خاک و محیط کشت استفاده شد.
- شرایط آزمایشگاهی:
- کنترل شرایط محیطی: دما، pH و ترکیب محیط‌های آزمایشی مطابق با شرایط طبیعی منابع زیست‌محیطی (مانند منابع آب سطحی) تنظیم شد.
- مدت تماس: نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در معرض پساب‌ها قرار گرفتند.
- گروه‌های کنترل: گروه‌های کنترل بدون آلودگی برای مقایسه و تحلیل دقیق تأثیرات مورد استفاده قرار گرفتند.
- ارزیابی اثرات زیست‌محیطی پساب‌ها:
- تأثیر بر فعالیت زیستی
- از آزمون‌های زیستی مانند MTT و آنالیز زنده‌مانی سلولی برای سنجش میزان سمیت و اختلالات سلولی ناشی از تماس با پساب استفاده شد.
- تغییرات فیزیکی-شیمیایی محیط
- پارامترهایی نظیر اکسیژن محلول، رسانایی، pH، BOD، COD و مقدار ترکیبات دارویی باقیمانده در محیط‌های آزمایشی اندازه‌گیری شدند تا اثرات تخریبی بر کیفیت محیط زیست مشخص شود.
- ابزارهای مورد استفاده:
- HPLC و GC-MS برای شناسایی ترکیبات دارویی و شیمیایی
- میکروسکوپ فلورسانس و دستگاه PCR برای بررسی تغییرات زیستی و مولکولی
- دستگاه‌های آنالیز شیمی آب و خاک جهت سنجش پارامترهای کیفی زیست‌محیطی
- تحلیل داده‌ها:
- داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و تحلیل آماری مانند ANOVA و t-test بررسی شدند. هدف از تحلیل‌ها، شناسایی ارتباط میان غلظت آلاینده‌ها و میزان آسیب زیست‌محیطی بود.

تأثیرات زیست‌محیطی صنعت داروسازی

صنعت داروسازی با وجود مزایای فراوانش در بهبود وضعیت سلامت جوامع، تأثیرات منفی قابل توجهی بر محیط زیست دارد. این تأثیرات در چند بخش مختلف قابل مشاهده است:

- آلودگی آب‌ها و خاک‌ها:

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها، آلودگی منابع آبی و خاکی توسط مواد دارویی است. بسیاری از مواد شیمیایی و داروها به راحتی از طریق فاضلاب‌ها به منابع آبی وارد می‌شوند. این مواد به صورت دارویی یا متابولیت‌های آن‌ها (ترکیباتی که از تجزیه دارو در بدن انسان یا حیوانات حاصل می‌شود) در آب‌ها و خاک‌ها باقی می‌مانند. این مواد ممکن است به موجودات آبی و جانوران وارد شده و در زنجیره غذایی تأثیر بگذارند. برای مثال، داروهای

ضدافسردگی، آنتی‌بیوتیک‌ها و هورمون‌ها ممکن است در غلظت‌های بسیار پایین نیز بر تکامل گونه‌های مختلف اثر بگذارند.

- تولید پسماندهای سمی و خطرناک:

صنعت داروسازی به تولید مقادیر زیادی پسماندهای شیمیایی می‌پردازد. این پسماندها، شامل مواد زائد سمی، ترکیبات دارویی غیرقابل استفاده و سایر مواد شیمیایی خطرناک هستند. بسیاری از این پسماندها، اگر به درستی مدیریت نشوند، می‌توانند به منابع آب و خاک نفوذ کرده و آلودگی زیست‌محیطی ایجاد کنند.

- مصرف بالای انرژی و منابع طبیعی:

فرآیند تولید دارو معمولاً نیاز به انرژی فراوان و مصرف مواد اولیه زیادی دارد. برای تولید دارو، از انواع واکنش‌های شیمیایی و تجهیزات خاصی استفاده می‌شود که مصرف بالای انرژی (از جمله انرژی الکتریکی و گرمایی) را به دنبال دارد. این مصرف انرژی بالا معمولاً به تولید گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی کمک می‌کند.

- انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا:

بسیاری از فرآیندهای تولید دارو باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسیدکربن (CO2) و متان (CH4) می‌شوند. این گازها از طریق فرایندهای صنعتی و استفاده از سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌های تولید انرژی و همچنین در فرآیندهای تولید دارو به جو منتقل می‌شوند. در کنار آن، بسیاری از صنایع داروسازی به دلیل استفاده از ترکیبات فرار شیمیایی، هوا را نیز آلوده می‌کنند.

جدول ۱: نتایج آنالیز پارامترهای فیزیکوشیمیایی در پساب خروجی

کارخانه داروسازی A

پارامتر کیفی پسماند	فصل زمستان	فصل پاییز	فصل تابستان	فصل بهار
FecalColiform کلیرم (آب و پساب)	برابر با ۳۹	برابر با ۴۶	برابر با ۶۴	برابر با ۱۵۰
TotalColiform کلیرم (پساب)	برابر با ۱۵۰	برابر با ۲۱۰	برابر با ۲۴۰	برابر با ۲۳
BOD (شیمی آب و پساب)	برابر با ۲۵	برابر با ۲۹	برابر با ۳۶	برابر با ۳۹
Oilچربی (شیمی آب و پساب)	برابر با ۲۸	برابر با ۲۵	برابر با ۲۰۲	برابر با ۱۰۵۴
TSSجامدات معلق (شیمی آب و پساب)	برابر با ۱۳	برابر با ۱۷	برابر با ۲۰	برابر با ۲۶
Phosphateفسفات (شیمی آب و پساب)	برابر با ۱۶	برابر با ۲۸	برابر با ۲۰۳	برابر با ۱۰۳۸
کدورت (شیمی آب و پساب)	برابر با ۲۸۸	برابر با ۲۰۵	برابر با ۱۹۴	برابر با ۲۱۰۴
NO3نیترات (شیمی آب و پساب)	برابر با ۱۴۰۷	برابر با ۱۶۰۲	برابر با ۱۵۰۴۶	برابر با ۲۶۰۵
NO2نیتريت (شیمی آب و پساب)	برابر با ۱۰۰۸	برابر با ۱۰۱	برابر با ۱۰۰۸	برابر با ۱۰۱۱
کلرآزاد	برابر با ۰۰۵	برابر با ۰۰۵	برابر با ۰۰۵	برابر با ۰۰۲
DOکسیژن محلول (شیمی آب و پساب)	برابر با ۵۰۲	برابر با ۴۰۳	برابر با ۴۰۱	برابر با ۳۰۷
COD(شیمی آب و پساب)	برابر با ۴۶	برابر با ۴۸	برابر با ۵۷	برابر با ۹۴
pH(شیمی آب و پساب)	برابر با ۸۰۰۷	برابر با ۸۰۱	برابر با ۷۰۷	برابر با ۷۰۱۶
TDSجامدات محلول (شیمی آب و پساب)	برابر با ۱۴۲۰	برابر با ۲۱۵۰	برابر با ۱۹۱۵	برابر با ۷۴۸
NH4مونوم (شیمی آب و پساب)	برابر با ۱۰۳	برابر با ۱۰۱	برابر با ۰۰۹۸	برابر با ۱۰۶۶
ABSدترجنت (شیمی آب و پساب)	برابر با ۰۰۱۸	برابر با ۰۰۱۲	برابر با ۰۰۱	برابر با ۰۰۳۱
Temperature(شیمی آب و پساب)	برابر با ۲۱۸	برابر با ۲۲	برابر با ۲۰۱	برابر با ۱۵۰۶

جدول ۲: نتایج آنالیز پارامترهای فیزیکوشیمیایی در پساب خروجی

کارخانه داروسازی B

پارامتر کیفی پسماند	فصل زمستان	فصل پاییز	فصل تابستان	فصل بهار
ABSدترجنت (شیمی آب و پساب)	برابر با ۰۰۵	برابر با ۰۰۶	برابر با ۰۰۶	برابر با ۱۵۰
Temperature(شیمی آب و پساب)	برابر با ۱۶۰۶	برابر با ۱۶۰۷	برابر با ۱۶۰۷	برابر با ۱۶۰۷
Aluminiumلومینیتوم (آب و پساب)	برابر با ۰۰۰۳	برابر با ۰۰۰۲	برابر با ۰۰۰۲	برابر با ۰۰۰۲
FecalColiformفکال کلیرم (آب و پساب)	برابر با ۹۳	برابر با ۱۰۴	برابر با ۵۵	برابر با ۱۵۰
TotalColiformتوتال کلیرم (پساب)	برابر با ۳۶۰	برابر با ۱۳۶	برابر با ۹۸	برابر با ۲۱۰
Phosphateفسفات (شیمی آب و پساب)	برابر با ۰۰۰۹	برابر با ۲۰۰۳۲	برابر با ۰۰۰۱۱	برابر با ۱۰۲۳
COD(شیمی آب و پساب)	برابر با ۱۶۷۰۲	برابر با ۱۲۶۰۱	برابر با ۶۰۲۶	برابر با ۲۶۰
pH(شیمی آب و پساب)	برابر با ۷۰۹	برابر با ۷۰۷	برابر با ۷۰۹	برابر با ۶۰۵۹
NH4مونوم (شیمی آب و پساب)	برابر با ۰۰۱۱	برابر با ۰۰۰۵	برابر با ۰۰۰۲۳	برابر با ۲۰۸۹
BOD(شیمی آب و پساب)	برابر با ۹۱۰۶	برابر با ۱۴۰۲	برابر با ۳۰۸	برابر با ۷۷
NO3نیتترات (شیمی آب و پساب)	برابر با ۸۰۹	برابر با ۸۰۶	برابر با ۸۰۳	برابر با ۲۱۰۳
NO2نیتريت (شیمی آب و پساب)	برابر با ۶۰۴	برابر با ۵۰۴	برابر با ۰۰۰۳	برابر با ۰۰۱۶
کلرآزاد	برابر با ۰۰۲	برابر با ۰۰۲	برابر با ۰۰۲	کمتر از ۰۰۱
ECهدایت الکتریکی (شیمی آب و پساب)	برابر با ۵۴۲۰۵	برابر با ۵۵۱۰۶	برابر با ۵۴۶۰۹	برابر با ۹۰۳
TSSجامدات معلق (شیمی آب و پساب)	برابر با ۳۰	برابر با ۳۵۰۱	برابر با ۲۷	برابر با ۷
TDSجامدات محلول (شیمی آب و پساب)	برابر با ۲۶۹۰۲	برابر با ۳۸۹۰۷	برابر با ۳۸۴۰۶	برابر با ۴۱۶

جدول ۳: استاندارد خروجی فاضلاب

پارامتر کیفی	تخلیه به آبهای سطحی (mg/l)	تخلیه به چاه جاذب (mg/l)	مصارف کشاورزی و آبیاری (mg/l)
FecalColiformفکال کلیرم (آب و پساب)	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰
TotalColiformتوتال کلیرم (پساب)	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
BOD(شیمی آب و پساب)	۳۰ لحظه ای ۵۰	۳۰ لحظه ای ۵۰	۱۰۰
Oilچربی (شیمی آب و پساب)	۳	۳	-
TSSجامدات معلق (شیمی آب و پساب)	۴۰ لحظه ای ۶۰	۴۰ لحظه ای ۶۰	۱۰۰
Phosphateفسفات (شیمی آب و پساب)	۶	۶	-
کدورت (شیمی آب و پساب)	۵۰	-	۵۰
NO3نیتترات (شیمی آب و پساب)	۵۰	۱۰	-
NO2نیتريت (شیمی آب و پساب)	۱۰	۱۰	-
کلرآزاد	۰۰۲	۰۰۲	۱
DOکسیژن محلول (شیمی آب و پساب)	۲	-	۲
COD(شیمی آب و پساب)	۶۰ لحظه ای ۱۰۰	۶۰ لحظه ای ۱۰۰	۲۰۰

استاندارد خروجی فاضلاب

به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و در نتیجه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند.

- مدیریت بهینه پسماندها:

مدیریت صحیح و مؤثر پسماندهای شیمیایی و دارویی یک راهکار بسیار مهم است. استفاده از سیستم‌های بازیافت و روش‌های مناسب برای دفع پسماندهای سمی می‌تواند از آلودگی‌های زیست‌محیطی جلوگیری کند. یکی از روش‌های نوین در این زمینه، تبدیل پسماندهای دارویی به مواد مفید یا حتی استفاده از آن‌ها در تولید محصولات جدید است.

- کاهش مصرف منابع طبیعی:

صنایع داروسازی می‌توانند با بهینه‌سازی مصرف آب، انرژی و مواد اولیه، اثرات منفی بر محیط زیست را کاهش دهند. برای مثال، استفاده از آب به صورت بسته‌ای و بازیافت آن در چرخه تولید، به کاهش فشار بر منابع آبی کمک می‌کند. همچنین بهینه‌سازی فرآیندهای تولید به کاهش مصرف انرژی منجر می‌شود که می‌تواند از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بکاهد.

- تصفیه فاضلاب‌های داروسازی:

استفاده از سیستم‌های پیشرفته تصفیه فاضلاب می‌تواند یکی از راه‌حل‌های مؤثر برای مقابله با آلودگی آب‌ها باشد. سیستم‌های تصفیه‌ای که قادر به از بین بردن مواد شیمیایی و دارویی از فاضلاب‌ها هستند، می‌توانند کمک کنند تا این آلاینده‌ها به منابع آبی وارد نشوند.

- تحقیقات و توسعه در زمینه داروهای سبز:

تحقیقات در زمینه تولید داروهای سبز و استفاده از مواد اولیه پایدار می‌تواند به کاهش اثرات زیست‌محیطی صنعت داروسازی کمک کند. این نوع داروها معمولاً از مواد طبیعی، بیولوژیکی و قابل تجزیه در محیط ساخته می‌شوند و از آلودگی‌های شیمیایی و سمی جلوگیری می‌کنند.

- بهینه‌سازی مصرف منابع (آب، انرژی، مواد اولیه)

• استفاده از سیستم‌های بازیافت آب در کارخانه‌ها

• بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی

• اصلاح تجهیزات صنعتی برای مصرف کمتر انرژی و مواد اولیه

- مدیریت پسماندهای دارویی و شیمیایی و تصفیه فاضلاب

• جداسازی، جمع‌آوری و دفع اصولی پسماندهای خطرناک

• استفاده از روش‌های نوین بازیافت پسماندهای دارویی

• جلوگیری از ورود داروهای تاریخ‌گذشته به طبیعت

• نصب سیستم‌های تصفیه پیشرفته برای حذف ترکیبات دارویی از فاضلاب

• پایش مداوم خروجی‌های فاضلاب برای کنترل کیفیت محیط‌زیست

• استفاده از روش‌هایی مثل اکسیداسیون پیشرفته (AOP)، نانوفیلترها و بیوتکنولوژی

- فناوری‌های نوین تصفیه آلاینده‌های دارویی

برای کاهش اثرات منفی پساب‌های داروسازی بر محیط‌زیست، استفاده از فناوری‌های نوین تصفیه می‌تواند مؤثر باشد. برخی از این فناوری‌ها عبارتند از:

• اکسیداسیون پیشرفته (AOP) این روش با استفاده از ترکیب اوزون، UV و پراکسید هیدروژن قادر به تجزیه ترکیبات دارویی مقاوم در فاضلاب‌ها است.

pH (پساب)	۸٫۵ تا ۶٫۵	۹ تا ۵	۸٫۵ تا ۶٫۵
TDS جامدات محلول (شیمی آب و پساب)	-	۵۰۰	۵۰۰
NH4 آمونیوم (شیمی آب و پساب)	-	۱	۲٫۵
ABSDترجنت (شیمی آب و پساب)	-	۱	۱
Temperature دما (شیمی آب و پساب)	-	۲۲	۲۲

نتایج تحلیل داده‌ها و مقایسه با حد مجاز استاندارد خروجی فاضلاب حاکی از آن است که نمونه‌های اخذ شده در مقایسه با حدود مجاز، صنعت A در همه فصول خوب است. اما در صنعت B پارامترهای NH4، NO3، BOD و COD در فصل بهار از حدود مجاز بالاتر بوده و در سایر فصول خوب است.

پیامدهای بلندمدت آلودگی دارویی بر محیط و انسان

آلودگی محیطی ناشی از پساب‌های داروسازی نه تنها برای اکوسیستم‌ها تهدید ایجاد می‌کند، بلکه تأثیرات بلندمدت آن بر سلامت انسان‌ها نیز قابل توجه است. این تأثیرات عبارتند از:

- مقاومت آنتی‌بیوتیکی: مواد دارویی مانند آنتی‌بیوتیک‌ها که در فاضلاب‌ها باقی می‌مانند، می‌توانند به گسترش مقاومت میکروبی در محیط‌های طبیعی منجر شوند. این مقاومت می‌تواند درمان بیماری‌ها را در آینده مشکل‌تر سازد.
 - اختلالات هورمونی: هورمون‌ها و داروهای هورمونی موجود در آب‌های آلوده می‌توانند به سیستم غدد درون‌ریز موجودات آبی و انسان‌ها آسیب رسانده و موجب اختلال در تولید مثل یا تکامل شوند.
 - تأثیرات بر رفتار و رشد موجودات: داروهایی مانند ضدافسردگی‌ها و داروهای ضد روان‌پریشی حتی در غلظت‌های پایین نیز می‌توانند تغییراتی در رفتار، رشد و تولید مثل گونه‌های مختلف جانوری ایجاد کنند که این تغییرات به تدریج می‌تواند اکوسیستم‌ها را تحت تأثیر قرار دهد.
- این پیامدهای بلندمدت، اهمیت مدیریت صحیح فاضلاب‌های داروسازی و به‌کارگیری فناوری‌های مناسب تصفیه را بیش از پیش نمایان می‌کند.

راهکارهای کاهش تأثیرات زیست‌محیطی در صنعت

داروسازی

برای مقابله با تأثیرات منفی محیط‌زیستی صنعت داروسازی، اقدامات مختلفی می‌توان انجام داد. در این بخش به بررسی برخی از راهکارها و فناوری‌های پایدار پرداخته می‌شود که می‌توانند به کاهش آسیب‌های این صنعت کمک کنند.

- استفاده از فناوری‌های سبز و پایدار:

صنعت داروسازی باید به سمت استفاده از فناوری‌های سبز و کم‌اثر بر محیط زیست حرکت کند. فناوری‌های سبز به استفاده از منابع طبیعی به طور بهینه و با کمترین تأثیر بر محیط زیست اشاره دارند. برای مثال، استفاده از فرایندهای سنتزی بهینه و بدون نیاز به مواد شیمیایی سمی می‌تواند کاهش اثرات زیست‌محیطی را به همراه داشته باشد. همچنین استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی در کارخانه‌ها می‌تواند

صنعت داروسازی با وجود اهمیت زیادی که در بهبود سلامت انسان‌ها دارد، تأثیرات منفی زیادی بر محیط زیست می‌گذارد. آلودگی منابع آب، تولید پسماندهای سمی، مصرف بالای انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله چالش‌های عمده این صنعت است. با این حال، با بهره‌گیری از فناوری‌های سبز، بهینه‌سازی مصرف منابع، مدیریت بهینه پسماندها و تحقیق و توسعه در زمینه داروهای پایدار، می‌توان تأثیرات منفی این صنعت را کاهش داد. در نهایت، حفظ تعادل میان توسعه صنعت داروسازی و حفاظت از محیط زیست ضروری است و برای رسیدن به این هدف نیاز به همکاری‌های بیشتر میان دولت، شرکت‌های داروسازی و جوامع علمی است تا صنعت داروسازی به سمت پایداری حرکت کند و همزمان با حفظ سلامت انسان‌ها، از آسیب به محیط زیست جلوگیری شود. توسعه استانداردهای زیست‌محیطی و همکاری‌های جهانی در این زمینه می‌تواند به‌طور مؤثری به بهبود وضعیت محیط‌زیست در صنعت داروسازی کمک کند.

مراجع

- اثرات صنایع مختلف بر محیط زیست، شماره ۱-۱۴۰۳، سازمان صنایع و معادن کشور
- قوانین، مقررات، ضوابط و استانداردهای محیط زیست انسانی. ۱۴۰۳. سازمان محیط زیست کشور
- مدیریت پسماندهای شیمیایی و صنعتی، شماره ۱۷. سازمان محیط زیست کشور
- Drugs in the environment: the significance of pharmaceuticals in the aquatic environment. Science of the Total Environment. Kümmerer, K. (2001).
- Green Chemistry and the Health Sciences P. T. Anastas , J. C. Warner.(2021)
- Environmental Sustainability in the Pharmaceutical Industry S. S. D. D. Smith.(2011)
- Impact of pharmaceutical residues on aquatic ecosystems. Environmental Toxicology and Chemistry. Gauthier, J. M., et al.(2019).

- نانو فیلترها و اسمز معکوس: این فناوری‌ها به‌ویژه برای حذف ترکیبات دارویی از پساب‌ها بسیار مؤثر هستند و می‌توانند مواد آلاینده را با دقت بسیار بالا فیلتر کنند.
- بیوفیلتراسیون: استفاده از میکروارگانیسم‌ها برای تجزیه زیستی داروها و آلاینده‌های موجود در فاضلاب یکی از روش‌های مؤثر دیگر است که به کاهش آلودگی محیطی کمک می‌کند.
- با استفاده از این فناوری‌ها، امکان تصفیه و حذف مؤثر ترکیبات دارویی و مواد آلاینده از پساب‌های صنعتی فراهم می‌شود، که می‌تواند تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از این مواد را به حداقل برساند.
- طراحی داروهای زیست‌تخریب‌پذیر (Eco-friendly Pharmaceuticals)
- تولید داروهایی که پس از مصرف به راحتی در محیط تجزیه می‌شوند
- کاهش ترکیبات مقاوم به تجزیه که در محیط باقی می‌مانند
- نظارت و آموزش درون‌سازمانی
- آموزش کارکنان در زمینه اصول ایمنی زیست‌محیطی
- ایجاد فرهنگ سازمانی مسئولانه نسبت به محیط زیست
- اجرای استانداردهای بین‌المللی مانند ISO 14001

نتیجه‌گیری

با توجه به تأثیرات گسترده و چندبعدی صنعت داروسازی بر محیط زیست، اتخاذ رویکردهای جامع و چندسطحی برای کاهش این اثرات ضروری است. راهکارهایی نظیر استفاده از فناوری‌های سبز، تصفیه پیشرفته فاضلاب، طراحی داروهای زیست‌تخریب‌پذیر، مدیریت بهینه پسماند و بهینه‌سازی مصرف منابع طبیعی، می‌توانند به‌طور مؤثری از ورود آلاینده‌ها به محیط‌زیست جلوگیری کنند. همچنین، توسعه پژوهش‌های نوین، آموزش درون‌سازمانی و پایش مستمر خروجی‌های صنعتی، می‌توانند نقش کلیدی در تضمین پایداری صنعت داروسازی ایفا کنند. این اقدامات، در کنار همکاری بین‌المللی و وضع مقررات دقیق‌تر، زمینه‌ساز حرکت صنعت داروسازی به‌سوی توسعه‌ای پایدار و هماهنگ با اصول زیست‌محیطی خواهد بود.