

## بررسی چالش های زیست محیطی صنایع پتروشیمی در ایران

سیدامیرعباس ذکریا، سیدحمید احمدی\*، محمدحسن امینی

پژوهشکده محیط زیست و فناوری های پاک، پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران، تهران، ایران

Email: ahmadi@ccerci.ac.ir

### چکیده

فرآیندهای صنعتی شیمیایی با توجه به شرایط ویژه تولید محصولات و آلاینده های تولیدی دارای ویژگی های ساختاری پیچیده ای هستند. از سوی دیگر تقاضای روزافزون فرآورده های نفتی و پتروشیمیایی با رشد جمعیت جهان و توسعه فناوری به استراتژی های جدید برای مدیریت منابع آب، خاک و هوا به منظور کاهش اثرات زیست محیطی نیاز دارند. آلاینده ها در آب های زیرزمینی، آب شرب، فاضلاب، خاک، هوا و مواد غذایی یافت می شوند و ممکن است از یک بافت محیطی به بافت دیگری منتقل شوند. صنعت پتروشیمی مقادیر زیادی مواد سمی و مضر را به عنوان پساب، گاز و زباله های جامد تولید می کند که فرآیند تصفیه و دفع آنها دشوار است. صنایع پتروشیمی نسبت با سایر صنایع تولیدی با مشکلات زیست محیطی بیشتری مواجه هستند. پسماند این صنایع به طور کلی با عناصر خطرناک تری همراه بوده و دارای ریسک زیست محیطی بالاتری است. هدف از این بررسی، شناسایی انواع پسماندهای تولید شده و بیان تکنولوژی های مورد استفاده در زمینه مدیریت پسماند صنایع نفت و پتروشیمی بوده و در این راستا الزامات مدیریت پسماند بیان شده است. با این حال در مدیریت پسماند فعلی، تصفیه پسماند با مشکل های جدی رو به رو است که می توان آن را به تنوع زیاد و خصوصیات خطرناک ترکیبات مرتبط دانست. مطابق متون مورد مطالعه و در دسترس در غالب موارد، روش های بازیافت و استفاده مجدد، فروش، سوزاندن و دفن مورد استفاده قرار می گیرند. در میان روش های بیان شده می توان اشاره نمود که مناسب ترین رویکرد، بازیافت و استفاده مجدد است. با این وجود شاهد این هستیم که از سوی صنایع رویکردهای سوزاندن و دفن بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند. در این راستا به اقدامات صورت گرفته از سوی صنایع پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: پسماند پتروشیمی، مدیریت پسماند، تصفیه فاضلاب، تصفیه فیزیکی و شیمیایی، پالایش در صنایع شیمیایی

## Investigating environmental challenges of petrochemical industry

Seyed Amirabbas Zakaria, Seyed Hamid Ahmadi\*, Mohammad Hassan Amini

Chemistry & Chemical Engineering Research Center Of Iran, Environmental Research Center and Clean Technologies, Tehran, Iran

**Abstract:** Chemical industrial processes have complex structural features due to the special circumstances of product manufacturing and the produced contaminants. The ever-increasing demand for oil and petrochemicals resulting from global population growth and industrial developments requires new strategies for the conservation of water, soil, and air resources in order to reduce the environmental impacts. Pollutants are found in groundwater, drinking water, sewage, soil, air, and food and may move from one environmental matrix to another. The petrochemical industry produces massive amounts of toxic, harmful substances in the form of wastewater, gas, and solid wastes, purification and elimination processes of them are quite arduous. The petrochemical industry is faced with greater environmental challenges, compared to other production industries. The waste produced by this industry is generally accompanied by more hazardous elements and has higher environmental risk. The aim of the present review is to identify the various types of produced waste and introduce the technologies used in waste management in the oil and petrochemical industry, while stating its requirements. However, regarding the current method of waste management, waste purification is faced with serious issues that could be attributed to the high diversity and the hazardous properties of the compounds. According to the available literature reviewed, recycling and reusing, selling, burning, and landfill are implemented in most cases. It is noteworthy that among the mentioned methods, recycling and reusing are the most suitable approaches. However, the approaches of burning and landfill are mostly applied by the industries. The measures taken by the industries are addressed in the present review.

**Keywords:** Petrochemical waste, Waste management, Wastewater treatment, Physical and chemical treatment, Refining in chemical industry

## 1. مقدمه

برای درک اهمیت صنایع پتروشیمی مهم است که ابتدا به تاریخچه صنعت پتروشیمی بپردازیم. با توسعه صنعت پتروشیمی در کنار پالایشگاه‌های نفتی پروژه‌های پتروشیمی در بسیاری از ویژگی‌ها با پروژه‌های پالایشگاهی مشترک هستند. صنعت پتروشیمی از دهه 1920 (1298 خورشیدی) آغاز شد و با پیشرفت فرآیندهای پالایش نفت خام، فرآورده‌های فرعی مناسب در دسترس قرار گرفتند. این صنعت به موازات صنعت نفت که مواد اولیه ارزان قیمتی را ارائه می‌داد توسعه پیدا کرد و به سرعت از دهه 1940 (1318 خورشیدی) گسترش یافت [1]. با آغاز سال 2000 میلادی (1378 خورشیدی) حدود 730 پالایشگاه مورد بهره‌برداری قرار گرفت. در آن سال‌ها ظرفیت پالایش نفت خام حدود 4 میلیارد تن در سال و معادل 15 هزار بشکه در روز بوده است [2]. تولیدات پتروشیمی از نفت خام شامل الفین‌ها (مانند اتیلن و پروپیلن)، آروماتیک‌ها (مانند بنزن و تولوئن) و سایر مشتقات است [3]. با وجود آن‌که بزرگ‌ترین صنایع پتروشیمی در آمریکای شمالی و اروپا واقع شده‌اند، اما رشد عمده این صنایع در آسیا رخ داده است. اولین سازمان نسبتاً متشکل در زمینه پتروشیمی در ایران «بنگاه کود شیمیایی» در مردودشت است که در سال 1337 آغاز به کار می‌کند. این کارخانه که قسمتی از مجتمع پتروشیمی شیراز کنونی است در سال 1342 به بهره‌برداری می‌رسد و بدین ترتیب اولین محصول تجاری پتروشیمی در ایران درست با تأخیر 47 ساله از تولید اولین محصول پتروشیمی و تأخیر 35 ساله از تجاری شدن محصولات پتروشیمی جهان وارد بازار می‌شود [4].

روند توسعه و تحول صنعت پتروشیمی در ایران شش مرحله مشخص را در بر می‌گیرد:

- پیدایش (1342)
- گسترش اولیه (1343 تا 1357)
- رکود (1357 تا 1367)
- تجدید حیات و بازسازی (1368 تا 1378)
- جهش، تثبیت و توسعه (1379 تا 1387)

- خصوصی‌سازی و تبدیل به سازمان حاکمیتی و نظارتی (1388 - تاکنون)

## 2. بررسی فرآیند

جداسازی کامل فعالیت پالایشگاه‌های نفت و پتروشیمی از لحاظ تجزیه و تحلیل یا طبقه‌بندی‌های واضح، بسیار دشوار است، زیرا این فعالیت‌ها بر اساس دو اصل زیر به صورت یکپارچه در آمده‌اند [2]:

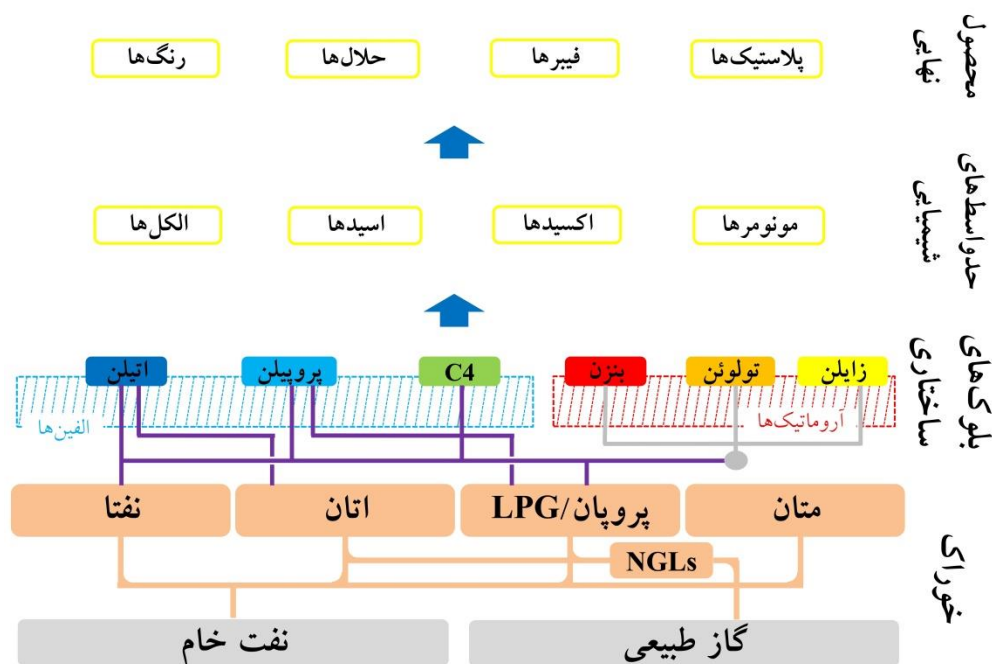
اول: پالایشگاه و پتروشیمی باید در کنار یکدیگر اما جدا از هم باشند.

دوم: پالایشگاه و پتروشیمی باید در یکدیگر ادغام شده یعنی دارای آب، برق و مدیریت یکپارچه باشند.

پالایشگاه به عنوان یک کارخانه صنعتی تعریف می‌شود که در آن نفت خام تصفیه شده و ناخالصی‌ها یا عناصر ناخواسته طی فرآیند پالایش حذف می‌شوند. در حالی که خوراک پتروشیمی‌ها از صنایع پالایش نفت خام و صنایع فرآوری گاز طبیعی تهیه می‌شوند. این مواد اولیه برای تولید هفت واحد اساسی پتروشیمی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این واحدهای ساختمانی بیشتر به طیف گسترده‌ای از مواد شیمیایی واسطه مختلف تبدیل شده و در نهایت به محصولات نهایی مورد استفاده تبدیل می‌شوند. نمودار تبدیل مواد اولیه (خوراک) به محصولات نهایی در شکل 1 نشان داده شده است [5].

با استفاده از مراحل فرآیندی مختلف، صنعت پتروشیمی اکنون تنوع بالایی از مواد مختلف از پلاستیک‌های روزمره گرفته تا داروهای تخصصی را تولید می‌کند. این ویژگی شیمیایی هیدروکربن‌ها، به ویژه توانایی اتم‌های کربن برای پیوند با یکدیگر برای تشکیل مولکول‌های بزرگ‌تر است که منجر به انعطاف‌پذیری این صنعت برای تولید محصولات متنوع می‌شود.

محصولات پتروشیمی شامل هر ماده شیمیایی است که از نفت (و گاز طبیعی) تولید شده و برای مقاصد تجاری مختلف استفاده می‌شود. این تولیدات شامل طیف وسیعی از مواد شیمیایی آلیفاتیک، آروماتیک و نفتی و همچنین کربن سیاه و مواد معدنی مانند گوگرد و آمونیاک است.



شکل 1: تبدیل مواد اولیه (خوراک) به محصول نهایی [5]

محصولات واسطه‌ای مورد استفاده قرار گیرد که در بخش پایین دست استفاده می‌شود. برخی از نمونه‌های مهم آن شامل وینیل کلرید و استایرن است.

4. صنایع پتروشیمی پایین دست (محصول نهایی): صنایع پتروشیمی پایین دست محصولات بالادستی و واسطه‌ای را مصرف می‌کند و از آن‌ها برای تولید محصولات نهایی جهت استفاده در صنایع دیگر بهره می‌برد. محصولات حاصل از صنایع پتروشیمی پایین دست به 4 گروه تقسیم می‌شوند:

- پلاستیک‌ها بزرگ‌ترین محصول پتروشیمی تولید شده در صنایع دیگر هستند. موارد استفاده شامل بسته‌بندی، ساخت خودرو، مصالح ساختمانی و کالاهای مصرفی هستند و مهم‌ترین رزین‌های پلاستیکی شامل پلی اتیلن، پلی پروپیلن، پلی وینیل کلرید (PVC)، PET و پلی استایرن است.
- الیاف مصنوعی به عنوان مثال پلی استر و الیاف نایلون، توسط صنایع مختلفی از جمله پارچه و بسته‌بندی مصرف می‌شوند.

محصولات پتروشیمی به عنوان مواد اولیه در صنایع دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. تولید در این بخش به چهار مرحله اصلی تقسیم می‌شود [6].

1. تهیه مواد اولیه: شامل تولید مواد اولیه است که بیشتر مربوط به صنایع نفت است. شامل گاز طبیعی، میعانات (از کارخانه جداسازی گاز)، نفتا (از پالایشگاه) و اخیراً محصولات بیولوژیکی است.

2. صنعت پتروشیمی بالادست (بلوک‌های اساسی): تولیدکنندگان بالادست پتروشیمی مواد اولیه خوراکی را مصرف می‌کنند و از آن‌ها برای تولید محصولات بالادستی پتروشیمی استفاده می‌کنند. این تولیدات با توجه به ساختار مولکولی به دو گروه تقسیم می‌شوند: اولفین‌ها شامل متان، اتیلن، پروپیلن و سایر مواد شیمیایی تشکیل شده از 4 اتم کربن، و آروماتیک‌ها شامل بنزن، تولوئن و زایلن، که برای فرآیندهای بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

3. حدواسطه‌های صنعت پتروشیمی: حدواسطه‌های صنعت پتروشیمی محصولات بالادستی را از بخش بالادست از جمله اولفین و آروماتیک دریافت می‌کند، که ممکن است برای تولید

آتی تا ۲۵ درصد افزایش داشته باشد. به طور کلی محصولات پتروشیمی نزدیک به 40 درصد ارزش بازارهای جهانی مواد شیمیایی را به خود اختصاص داده‌اند [7 و 8].

فرآورده‌های نفتی مانند روغن، نفت سفید، سوخت دیزل، بنزین، گاز-بنزین مایع شده<sup>۱</sup> (LPG) و سوخت جت که مخلوطی از هیدروکربن‌ها هستند [9]، بر خلاف محصولات پتروشیمی، بخش‌های فله‌ای بوده که از نفت حاصل می‌شوند و از ارزش تجاری برخوردار هستند. به طور دقیق‌تر، فرآورده‌های پتروشیمیایی با آنکه فرآورده‌های نفتی هستند، اما مواد شیمیایی متفاوتی بوده که به عنوان واحدهای اساسی ساخت صنایع شیمیایی مانند پلیمرها، الیاف مصنوعی، لاستیک، پلاستیک، صابون و مواد شوینده، حلال‌ها، داروها، کودها، سموم دفع آفات، مواد منفجره، رنگ و مواد کفپوش و عایق‌ها [7] مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### 3. دسته‌بندی مناطق پتروشیمی

مطابق تقسیم‌بندی شرکت ملی صنایع پتروشیمی، این صنایع بر اساس پراکندگی جغرافیایی آن‌ها در سه منطقه تقسیم‌بندی شده‌اند. گروه اول مجتمع‌های پتروشیمی واقع در منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر، گروه دوم مجتمع‌های پتروشیمی واقع در منطقه ویژه اقتصادی پارس (عسلویه) و گروه سایر که کلیه مجتمع‌های دیگری که غیر از این دو منطقه در کشور پراکنده هستند را شامل می‌شود. براساس برنامه تدوین شده سال 1396 در کل 59 مجتمع در زمینه پتروشیمی در کشور فعال هستند.

#### 1-3 منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی ماهشهر

منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی در محدوده‌ای به وسعت حدود 2600 هکتار در جنوب غربی ایران و در ساحل خلیج فارس، واقع در شهرستان ماهشهر، بخش بندر امام خمینی قرار گرفته شده است. این منطقه با توجه به موقعیت طبیعی و جغرافیایی و همچنین برخورداری از تسهیلات قانونی مناطق ویژه، به منظور توسعه صنعت و تجارت به ویژه صنایع

- لاستیک/الاستومرهای مصنوعی، به عنوان مثال SBR و BR در ساخت قطعات خودرو، لاستیک و کالاهای مصرفی استفاده می‌شوند.
- روکش مصنوعی و مواد چسب از قبیل پلی کربنات و پلی وینیل استات که در ساخت و ساز و انواع صنایع دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

متداول‌ترین مواد اولیه خوراکی شامل اتان، پروپان، چهار کربنه‌ها و نفتا است. این خوراکی‌ها معمولاً از فرآیند کراکینگ پتروشیمی یا واحدهای آروماتیک تولید می‌شوند تا هفت بلوک ساختمانی اساسی شامل (1) سه اولفین اتیلن، پروپیلن و اولفین‌های چهار کربنه، (2) سه آروماتیک بنزن، تولوئن و زایلن و (3) گاز سنتزی را تشکیل دهند. بسیاری از واکنش‌های فرایندی برای تولید محصولات نهایی استفاده می‌شوند که دارای بازده 80٪ هستند [5]. واکنش‌هایی که محصولات پتروشیمی ایجاد می‌کنند معمولاً به شرایط ویژه و کاتالیست‌های گران قیمت نیاز دارند. علاوه بر این، فرایندهای مورد نیاز برای تولید پتروشیمی‌ها در مقیاس بزرگ، بسیار یکپارچه بوده و مقادیر قابل توجهی انرژی مصرف می‌کنند. معمولاً حجم زیادی از فرآورده‌های فرعی تولید می‌شود که بسیاری از آن‌ها بالقوه برای محیط زیست خطرناک هستند. عواقب عدم ثبات و حوادث فرایندی شامل انتشار گازها و مواد خطرناک و سمی، آتش سوزی و انفجار، صدمات گسترده در محیط زیست و غیره است.

بودجه‌بندی منابع نفت و گاز در کشور شامل ۳۷ درصد سوخت (خانگی و تجاری، کشاورزی، حمل و نقل و صنعت)، ۳۵ درصد صادرات، ۱۳ درصد اتلاف (در تبدیل و توزیع) و ۱۰ درصد جهت تزریق در مخازن نفت و گاز مورد مصرف قرار می‌گیرد. این در حالی است که در ایران 5 درصد از منابع و در سطح جهانی به صورت متوسط ۱۵ درصد از منابع نفت و گاز به عنوان خوراک وارد زنجیره ارزش و تولید محصولات با ارزش افزوده بیشتر در مجتمع‌های پتروشیمیایی می‌شوند و پیش‌بینی می‌شود که در سطح جهانی این سهم در سال‌های

<sup>1</sup> Liquefied Petroleum Gas

23 میلیون تن در سال به بهره‌برداری رسیده است. پیش‌بینی می‌گردد طی سال‌های آتی با به بهره‌برداری رسیدن سایر فازهای پالایشگاهی پارس جنوبی و تامین خوراک‌های مورد نیاز صنعت پتروشیمی 26 طرح پتروشیمی دیگر به ظرفیت اسمی 35 میلیون تن در این منطقه به بهره‌برداری برسند.

#### 4. خوراک ورودی به مجتمع‌های پتروشیمی

این مواد اولیه خوراکی شامل اتان، پروپان، چهار کربنه‌ها و نفتا است (شکل 2) [6]. این خوراک‌ها معمولاً از فرآیند کراکینگ پتروشیمی یا واحدهای آروماتیک تولید می‌شوند [5].

- اولفین‌ها: اتیلن بالاترین حجم واحد ساخت و ساز پتروشیمی است و ماده اولیه تولید بسیاری از محصولات از جمله پلی‌اتیلن، پلی‌وینیل کلرید، پلی‌استایرن و پلی‌اتیلن ترفتالات است. پروپیلن دومین واحد ساخت و ساز پایه پتروشیمی است و برای تولید پلی‌پروپیلن، پروپیلن اکسید، پلی‌اورتان و نایلون استفاده می‌شود. C4ها به بوتادین و نرمال و ایزوتو بوتن‌ها اشاره دارند. این واحدهای ساختمانی برای اهداف مختلف از جمله تولید لاستیک مصنوعی، الاستومرهای گرما نرم و مواد افزودنی اکتان سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- آروماتیک: هیدروکربن‌های آروماتیک مولکول‌هایی هستند که پیکربندی خاصی از پیوندهای کربن-کربن دارند که در یک ساختار حلقه‌ای معروف به حلقه بنزن چیده شده‌اند. بنزن مهم‌ترین پتروشیمی آروماتیک است و ماده اولیه پلی‌استایرن، نایلون و پلی‌اورتان است. تولوئن عمدتاً در تولید پلی‌اورتان و فنل مورد استفاده قرار می‌گیرد. سه نوع زایلین وجود دارد (پارا زیلین، ارتو زایلین و متا زایلین). مهم‌ترین مورد پارا زایلین است که بلوک اصلی ساختمان پلی‌اتیلن ترفتالات است که به عنوان پلاستیک مخصوصاً برای ساخت بطری استفاده می‌شود.

- گاز سنتزی: گاز سنتزی مخلوطی از هیدروژن و مونواکسید کربن است که به عنوان منبع چندین ماده

پتروشیمی و صنایع پایین دستی آن جهت تأمین منافع اقتصادی، اجتماعی و ملی، جذب تکنولوژی‌های جدید و افزایش اشتغال ایجاد گردیده است. از نظر موقعیت جغرافیایی، منطقه بندر امام از طریق خور موسی به آبهای آزاد بین‌المللی و از طریق راه‌های دسترسی به راه آهن سراسری به ترکیه، اروپا و آسیای مرکزی دسترسی دارد. این منطقه به عنوان بخشی از استان خوزستان، همانند یک پایگاه استراتژیک و تاثیرگذار در مناطق نفت و گاز خیز ایران عمل کرده است. در حال حاضر 21 مجتمع تولیدی با ظرفیت اسمی 26 میلیون تن محصول پتروشیمیایی در منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی طراحی و احداث شده‌اند. در حال حاضر چیزی در حدود 40 درصد ظرفیت تولید محصولات پتروشیمی کشور به این منطقه تعلق دارد.

#### 2-3. منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس (عسلویه)

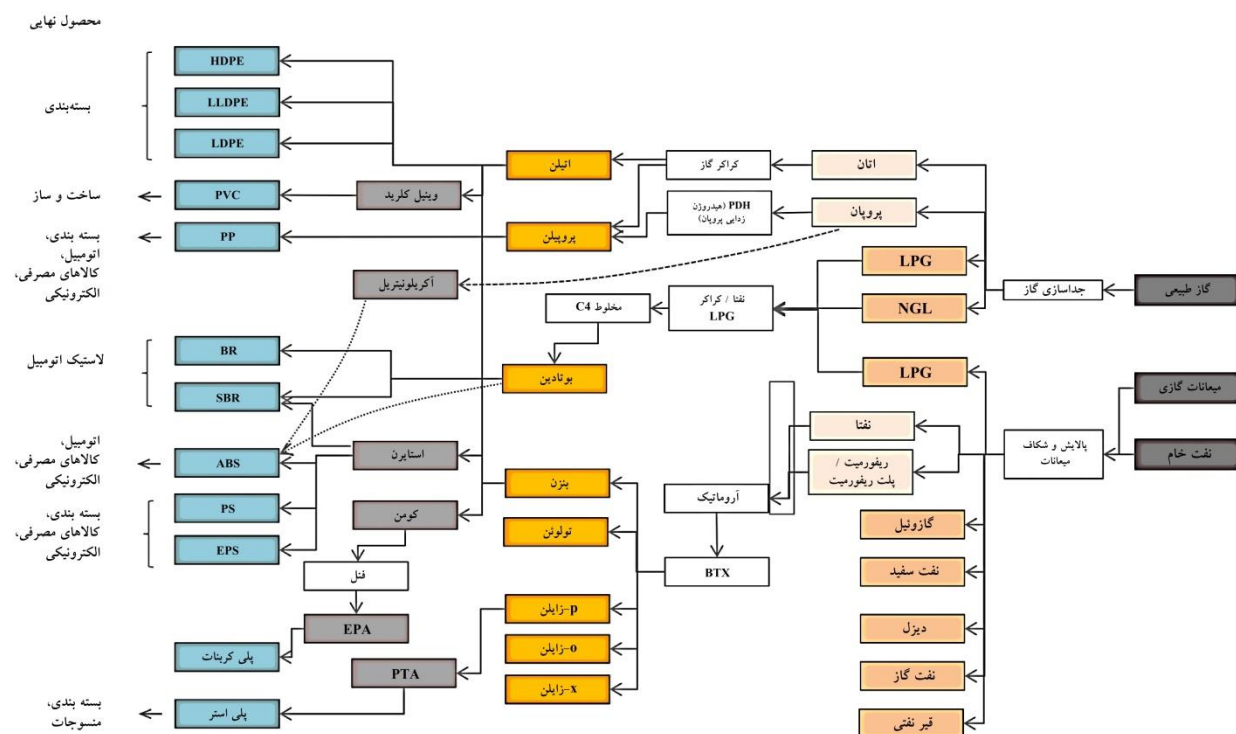
منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس متشکل از سه منطقه زیر است:

- پارس جنوبی (پارس یک) با 14 هزار هکتار مساحت
- پارس کنگان (پارس دو) با 16 هزار هکتار مساحت
- پارس شمالی (پارس سه) با 16 هزار هکتار مساحت

به منظور پشتیبانی از بزرگ‌ترین مخزن گازی دنیا و جهت توسعه زیرساخت‌های لازم به منظور استحصال منابع گازی از این مخزن و همچنین توسعه زنجیره ارزش گاز طبیعی در سال 1377 تاسیس شده است. میدان گازی پارس جنوبی با حجم ذخایر 14/2 تریلیون مترمکعب گاز 8 درصد از کل ذخایر گاز دنیا و همچنین 48 درصد ذخایر گازی کشور را در خود جای داده است. این مخزن با مساحتی بالغ بر 9700 کیلومتر مربع بین کشور ایران و قطر مشترک است. طی سال‌های اخیر، برنامه‌ریزی‌های متعددی جهت بهره‌برداری از این میدان مشترک صورت گرفته است و در حال حاضر روزانه 300 میلیون مترمکعب گاز سبک از این مخزن گازی تولید و وارد شبکه مصرف گاز کشور می‌شود. طی سال‌های گذشته 13 مجتمع تولیدی پتروشیمی در این منطقه با ظرفیت اسمی

بخار متان هر دو واکنش‌های بسیار سازگار هستند و می‌توانند از گازهای مختلف خوراک‌های مختلف اعم از گاز طبیعی گرفته تا روغن‌های سوختی و حتی زغال سنگ، گاز سنتزی تولید کنند. گاز سنتزی حتی از زباله‌های شهری تولید می‌شود.

شیمیایی مهم از جمله هیدروژن، متانول و آمونیاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعدادی مسیر مختلف برای تولید گاز سنتزی وجود دارد که دو مورد اصلی آن اکسیداسیون جزئی (واکنش هیدروکربن‌ها با تأمین اکسیژن محدود) و اصلاح بخار متان (واکنش هیدروکربن‌ها با بخار) است. اکسیداسیون جزئی و اصلاح



شکل 2. شماتیک کلی یک مجتمع پتروشیمی از پالایش خوراک اولیه تا تبدیل آن به محصول نهایی [6]

مورد استفاده در کل مجموعه پتروشیمی در سال 1396 در جدول 1 ارائه شده است [10]. صنعت پتروشیمی ایران سالانه 33 میلیون متر مکعب خوراک مصرف می‌کند که معادل 650 هزار بشکه نفت خام در روز است که در قالب خوراک‌های مختلف دریافت می‌شود. به طور کلی 77 درصد خوراک گاز و 23 درصد خوراک به صورت مایع است.

### 5. خوراک مصرفی در سال 96

خوراک صنایع پتروشیمی از محصولات جانبی حاصل از استخراج نفت خام (میعانات گازی)، یا محصولات جانبی پالایشگاه‌ها شامل نفتا، اتان، گاز ترش، نفت سفید و محصولات دیگری همچون پلاتفرمیت تأمین می‌شود. بر اساس گزارش سازمان پتروشیمی میزان خوراک و سوخت

جدول 1. عملکرد خوراک و سوخت صنعت پتروشیمی در سال 1396 [10]

ردیف	نام خوراک	واحد اندازه‌گیری	عملکرد
------	-----------	------------------	--------



22661/8	هزار تن در سال	گاز طبیعی (خوراک و سوخت)	1
6218	هزار تن در سال	میعانات گازی	2
2214	هزار تن در سال	نفثا (سبک و سنگین)	3
2827	هزار تن در سال	اتان (از منابع بالادستی)	4
29275	هزار تن در سال	گاز غنی	5
3095	هزار تن در سال	گاز ترش	6
386	هزار تن در سال	نفث سفید	7
363	هزار تن در سال	پلاتفرمیت	8

### 6. معرفی آلاینده

آلودگی فرآیندهای پتروشیمیایی طیف گسترده‌ای از مواد شیمیایی و اثرات منفی بر سلامتی را ایجاد می‌کند که با سایر فعالیت‌های صنعتی مشترک هستند [11]. لازم است فرضیه‌هایی در مورد نگرانی پیرامون آلاینده‌هایی ایجاد شود که ممکن است با یک منبع خاص مرتبط باشند، مانند عملیات تولید، آزمایشگاه، نحوه حمل و نقل، منطقه دفع یا محل زباله [12]. میزان بیماری‌های ایجاد شده در سراسر جهان فقط به واسطه مواد شیمیایی قابل توجه است. طبق برآوردهای اخیر سالانه 4/9 میلیون مرگ و میر و 86 میلیون ایجاد نقص عضو یا ناتوانی جسمی در نتیجه قرار گرفتن در معرض محیط‌زیست آلوده و مدیریت ناصحیح مواد شیمیایی است. این ارقام فقط در مورد تأثیرات تعداد کمی از مواد شیمیایی بوده که داده‌های آن‌ها در دسترس است. بنابراین به احتمال زیاد اثرات مخرب بسیار بیش از این مقدار خواهد بود.

اثرات فعالیت‌های صنعتی پیچیده است، زیرا آلاینده‌ها در محیط در همه جا حضور دارند. آلاینده‌ها در آب‌های زیرزمینی، آب شرب، فاضلاب، خاک، هوا و مواد غذایی یافت می‌شوند و ممکن است از یک محیط به محیط دیگر منتقل شود. علاوه بر این پالایش نفت خام مقادیر زیادی لجن نفتی (روغنی) را تولید می‌کند که از مواد آبریز و مواد مقاوم در برابر تجزیه زیستی تشکیل شده است [13]. مقیاس اثرات فعالیت‌های مختلف صنعتی متفاوت است و شامل اکوسیستم‌های شکننده، جنبه‌های فرهنگی گروه‌های بومی،

سلامت جوامع و کارگران، جو جهانی و درگیری‌های نظامی است [14].

تماس با مواد آلاینده می‌تواند از طریق انواع مکانیسم‌های حاد و مزمن به اعضای بدن، از جمله دستگاه تنفسی، خونسازی، کبدی و کلیوی آسیب برساند. به عنوان مثال، بسیاری از مواد سرطان‌زا شناخته شده یا مشکوک هستند. با این حال تخمین اثرات منفی آن‌ها بر سلامتی یک گام همواره دشوار است. توصیف قرار گرفتن ساکنان در مناطق آلوده نیاز به اطلاعات دقیق در مورد روند مکانی و زمانی توزیع مواد شیمیایی مختلف دارد. همچنین به الگوهای تحرک افراد و همچنین امکان پیش‌بینی قرار گرفتن در معرض آلاینده بدون نظارت نیاز دارد [15]. به طور کلی برای تاسیسات بزرگ صنعتی، مانند واحدهای پتروشیمیایی، به‌درستی می‌توان فرض کرد هیچ دو واحدی، یک مجموعه پیچیده یکسان از آلاینده‌ها را در محیط تولید نمی‌کنند.

همچنین ابعاد مکانی و زمانی مورد استفاده برای بررسی یک پدیده - یعنی مقیاس آن- باید در نظر گرفته شود، زیرا تأثیرات آلودگی صنعتی به ندرت یک مسئله تک مقیاس است. بنابراین، چالش اصلی ایجاد چارچوب یا تخمین اثرات احتمالی بر روی جمع‌آوری صحیح نمونه آنالیزی برای گردآوری انواع آنالیت برای ارزیابی اثرات آلودگی صنعتی بر سلامتی است.



مستقیم یا غیر مستقیم حاصل از فعالیت انسان بوده و از نظر تولید کننده زائد تلقی می‌گردد که می‌تواند خطرناک و غیرخطرناک باشد. سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا حدود 600 نوع پسماند خطرناک را در قالب چهار لیست جداگانه فهرست کرده است که می‌توان با مراجعه به این لیست‌ها، فهرست پسماندهای خطرناک لیست شده را ملاحظه نمود. این لیست توسط مدیریت پسماند صنعت پتروشیمی مورد استفاده قرار گرفته است. اگر پسماندها دارای ویژگی‌های زیر باشند در دسته پسماندهای خطرناک قرار می‌گیرند.

- اشتعال پذیری: (الف) پسماندهای مایع (بجز پسماندهای آبی که کمتر از 24 درصد حجمی الکل دارند) که نقطه اشتعال آن‌ها کمتر از 60 درجه سانتیگراد باشد. (ب) پسماندهای غیر مایع که در دما و فشار استاندارد، در اثر اصطکاک، جذب رطوبت یا تغییرات شیمیایی خودبخودی، قابلیت اشتعال داشته و زمانی که آتش می‌گیرد آنقدر قدرت و دوام داشته باشد که ایجاد خطر کند. (ج) پسماندهایی که مطابق تعریف گاز فشرده، قابل اشتعال باشند. (د) پسماندهایی که طبق تعریف، عامل اکسید کننده باشد.
- خوردگی: پسماندهای مایع با  $\text{pH} \leq 2$  یا  $\text{pH} \geq 12.5$ ، پسماندهای مایعی که با شدت  $6/35 \text{ mm/year}$  یا بیشتر باعث خوردگی فولاد می‌شوند.
- سمیت: اگر روش لیچینگ مشخصه سمیت (TCLP) نشان دهد که نمونه شاخصی از یک پسماند، حاوی غلظت‌های برابر یا بیشتر از غلظت‌های حد آستانه تعریف شده باشد، آن پسماند جزو پسماندهای خطرناک به شمار می‌رود.
- واکنش پذیری: قابلیت انفجار یا واکنش یا تجزیه منفجر شونده را در شرایط (در دما و فشار استاندارد، قرار گرفتن در معرض منبع اشتعال قوی، در صورت حرارت دادن در فضای بسته) داشته باشد. هنگام اختلاط با آب (قابلیت

اگر ضایعات شیمیایی تولید شده در طی فرآیندهای تولید و پالایش نفت به موقع فرآوری یا ایمن‌سازی نشود، می‌توانند به یک آلاینده تبدیل گردند [16].

به طور کلی اگر ماده‌ای که در یک مکان خاص یا اکوسیستم وجود دارد در حالی که بومی محل نباشد و یا در غلظتی بالاتر از حد طبیعی قرار داشته باشد، آلاینده نامیده می‌شود. این ماده اغلب محصول فعالیت‌های انسانی است. آلاینده، تأثیر مخربی بر محیط، به صورت جزئی یا کامل دارد. همچنین آلاینده‌ها را می‌توان به دو دسته اصلی و فرعی یا اولیه و ثانویه تقسیم نمود.

آلاینده اولیه<sup>1</sup> آلاینده‌ای است که به طور مستقیم از منبع منتشر می‌شود. از آلاینده‌های اصلی در دسته‌ی آلاینده‌های جوی می‌توان به اکسیدهای کربن، دی اکسید گوگرد و اکسیدهای ازت حاصل از عملیات احتراق سوخت اشاره نمود. آلاینده ثانویه<sup>2</sup> آلاینده‌ای است که در نتیجه تعامل یک آلاینده اولیه با یک ماده شیمیایی دیگر تولید می‌شود. در بسیاری از موارد، آلاینده‌های ثانویه می‌توانند اثرات زیست محیطی مهمی مانند شکل‌گیری باران اسیدی داشته باشند. هرگونه آلاینده، اولیه یا ثانویه می‌تواند تأثیر جدی در چرخه‌های مختلف زیست محیطی مانند چرخه صنعتی و چرخه آب داشته باشد [16].

علاوه بر این، زباله‌های خطرناک (آلاینده)، هرگونه مواد زاید جامد، مایع یا گاز است که در صورت مدیریت یا دفع نادرست آن‌ها، می‌تواند خطرات قابل توجهی برای سلامت انسان و محیط زیست ایجاد کند. در بسیاری موارد، اصطلاح ضایعات شیمیایی اغلب با اصطلاح پسماندهای خطرناک قابل جایگزینی است (مترادف خواهند بود). با این حال، تمام پسماندهای شیمیایی خطرناک نیستند و در استفاده صحیح از این اصطلاحات باید احتیاط کرد.

## 7. معرفی پسماند [17]

مطابق تعریف قانون مدیریت پسماند، پسماند: به مواد جامد، مایع و گاز (غیر از فاضلاب) گفته می‌شود که به طور

<sup>2</sup> Secondary pollutant

<sup>1</sup> Primary pollutant

انفجار داشته باشد، شدیداً واکنش دهد، تولید گاز یا بخارات سمی کند)

## 8. دفن پسماند

گسترش سریع بخش‌های صنعتی، تجاری و مصرف زیاد محصولات منجر به افزایش تولید زباله‌های جامد شده است. از جمله پذیرفته شده‌ترین شیوه‌های مدیریت پسماند جامد در سراسر جهان، شامل بازیافت، دفن زباله، تولید کمپوست (تبدیل پسماند به کود) و سوزاندن است [18]. در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه به دلیل سادگی و مزایای اقتصادی آن، دفن زباله‌ها از دیر باز به عنوان راه نهایی برای ذخیره زباله با حداقل هزینه و مکمل تمام روش‌های دفع در نظر گرفته می‌شود [19]. گرچه تعداد زیادی از محل‌های دفن زباله‌های قدیمی معمولی در سراسر جهان غیر مهندسی هستند، امروزه محل‌های دفن زباله با سیستم جمع‌آوری خطی و آبشویی مناسب مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در ایران صنایع پتروشیمی، پالایشگاهی، صنایع فلزی، نیروگاهی و صنایع وابسته بسیاری وجود دارند. بنابراین پسماندهای صنعتی تولید شده دارای مقادیر قابل توجهی هستند. پسماندهای صنعتی به دو دسته ویژه و معمولی تقسیم می‌شوند. در میان پسماندهای صنعتی بخشی از پسماندها به عنوان پسماند ویژه تلقی می‌شوند، بر اساس تعاریف موجود این پسماندها احتمال سمی بودن، بیماری‌زایی، خوردندگی و اشتعال‌زایی دارند که حمل و نقل برون‌مرزی پسماندهای ویژه صنعتی بر اساس قانون، تحت کنترل کنوانسیون بازل RCRA (معاهده‌ای در زمینه کنترل حمل و نقل برون‌مرزی پسماندهای زیانبار) صورت می‌گیرد. در حال حاضر حدود هشت میلیون تن پسماندهای ویژه در کشور تولید می‌شود که باید روی آن کار خاص انجام شود. با توجه به آنکه صنعت پتروشیمی دارای بازده 80 درصدی است بر اساس میزان خوراک ورودی به مجموعه سالانه در حدود 6/6 میلیون تن پسماند خاص در کشور تولید می‌شود.

با توجه به ماهیت پسماندهای تولیدی در صنعت پتروشیمی، اقدامات مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند که هر کدام دارای مزایا و معایب خاص خود هستند:

- بازیافت و استفاده مجدد
  - فروش
  - سوزاندن
  - دفن (قرارگیری پسماند در لندفیل<sup>1</sup>)
- پارامترهای قابل اندازه‌گیری در چاه‌های دفن پسماند، به نوع پسماند دفن شده در واحد دفن بستگی دارد. به همین منظور موارد زیر به عنوان راهنما پیشنهاد شده است:
- دسته اول پارامترهای کلی و عمومی آب است که خصوصیات کلی آن را مشخص می‌کند نظیر: هدایت الکتریکی، کدورت، pH، VOC،  $\text{NO}_3^-$ ،  $\text{HCO}_3^-$ ،  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{Ca}^{2+}$  و  $\text{Mg}^{2+}$ .
  - دسته دوم پارامترهای خاصی است که باتوجه به پسماندهای دفن شده مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد نظیر: کروم، آهن، قلع، فنل، کادمیم، سرب، جیوه و منگنز.
- نمونه‌گیری از شیرابه به منظور تعیین پارامترهای تشکیل دهنده آن و ایجاد همبستگی بین پارامترهای یافت شده در آب زیر زمینی و شیرابه محل دفن انجام می‌شود. این اندازه‌گیری‌ها می‌توانند تغییرات احتمالی در نوع پسماندهای دفن شده را نشان دهند. از آنجا که نوع پسماندهای دفن شده در محل دفن مربوط به صنایع پتروشیمی، انواع خاص و مشخصی هستند، بنابراین در صورت تولید شیرابه، نوع پارامترهای آن تغییر چندانی نخواهد داشت و بروز تغییر در این پارامترها می‌تواند به معنای تغییر در مواد دفن شده تلقی گردد. بدین منظور به طور سالانه از شیرابه جمع شده در مخزن شیرابه نمونه برداری شده و پارامترهای TSS، VOC، pH، فنل و BTEX، فلزات سنگین، قلع و آهن و COD مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند.
- موارد دیگری که مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند شامل: نمونه‌گیری از آب‌های سطحی: کروم و آهن و قلع و

<sup>1</sup> فضای ایزوله جهت دفن پسماند به مدت طولانی

3. هر سازمان برای تهیه گزارش فرآیند مدیریت پسماند خود، باید از آخرین ویرایش کلیه راهنماها و دستورالعمل‌های مرتبط آگاهی داشته و بر آن اساس گزارش خود را تهیه نماید.
4. هر سازمان باید روش اجرایی مورد نیاز برای جمع‌آوری اطلاعات جهت تدوین گزارش ماهیانه و سالیانه را تهیه نماید.
5. گزارش مقادیر پسماند باید بر اساس سیستم کد گذاری مندرج در آخرین ویرایش راهنمای شماره HSE-441 صورت پذیرد.
6. هر سازمان باید از میزان پسماندهای باقیمانده از قبل، ورودی به مجتمع، تولید شده و بالاخره موجودی پسماند در هر لحظه و به تفکیک کد پسماندها اطلاع کامل داشته باشد.
7. هر سازمان باید روش‌های مدیریت پسماند خود اعم از بازیافت، فروش، سوزاندن، دفن یا تحویل به مناطق ویژه (درخصوص مجتمع‌های مستقر در مناطق ویژه) را برای هر یک از پسماندهای تولیدی تعیین کرده باشد.
8. مدیریت پسماند اعم از بازیافت، فروش، سوزاندن، دفن یا تحویل به مناطق ویژه (درخصوص مجتمع‌های مستقر در مناطق ویژه) باید تحت کنترل اداره محیط زیست هر سازمان بوده و میزان پسماندهای مدیریت شده با روش‌های فوق باید در هر سازمان ثبت و اسناد مربوطه نگهداری شود.
9. گزارش مدیریت پسماندها به دو صورت ماهیانه و سالیانه بر اساس فرمت‌های مربوطه پیش‌بینی شده که مجتمع‌ها و مناطق ویژه موظف به تهیه و ارائه آن هستند.

همچنین می‌توان به پسماندهای ناسازگار نیز اشاره نمود که تحت قانون حفاظت و بازیابی منابع موسوم به RCRA دسته‌بندی می‌شوند. استانداردهای تصفیه برای اغلب پسماندهای دارای خصوصیات خطرناک، مستلزم تفسیر غیر خطرناک بودن پسماند (یعنی حذف خصوصیات خطر پسماند) است. وقتی

فنل به صورت سالانه و EC، TSS، VOC، pH، و COD بطور 3 ماه یکبار انجام می‌شود و نمونه‌گیری از گاز خروجی از عمک‌ها در سلول‌ها: VOCs و H<sub>2</sub>S است. در ایران به طور معمول از روش‌های دفن و معدوم‌سازی پسماند استفاده می‌شود. بدین منظور اولین محل استاندارد دفن صنعتی پسماند با ظرفیت 300 هزار تن در پتروشیمی بندر امام احداث شده است.

### 9. قواعد کلی مدیریت پسماند [17]

در دنیای امروز نیاز به محیط‌زیست با کیفیت منجر به تغییر مفهوم کنترل آلودگی شده است. تاریخچه مدیریت پسماندهای صنعتی به تصویب قانون بازیابی منابع در ایالات متحده در سال 1976 باز می‌گردد. پالایشگاه‌های نفتی و صنایع پتروشیمی مجموعه‌ای از انواع مختلف پسماندهای خطرناک را تولید می‌کنند. نمونه‌های کمی از صنایع پتروشیمی در ایران وجود دارند که پسماندهای تولیدی را مدیریت می‌کنند. بدین منظور از روش‌های بازیابی، استفاده مجدد، پر کردن زمین و سایر روش‌های مدیریت پسماند استفاده می‌شود [20]. به طور مشخص دفن پسماند یک روش معمول برای دفع پسماندهای پتروشیمی در ایران است، ولی به دلیل آنکه واحدهای دفن پسماند (لندفیل) غالباً به خوبی طراحی نشده‌اند سبب افزایش بار زیست‌محیطی و نگرانی‌های بهداشتی شده‌اند. بنابراین بسیار مهم است که جریان دفن پسماندها را به سمت استفاده مجدد و بازیافت این مواد سوق داد [21]. بدین منظور قواعدی برای تسهیل مدیریت پسماندهای تولید شده توسط صنعت پتروشیمی تدوین شده‌اند که به شرح زیر است:

1. هر سازمان باید سیستم مدیریت پسماند را در داخل مجتمع پیاده‌سازی نموده و فرآیند گزارش‌دهی آن را تدوین و پیاده‌سازی نماید.
2. هر سازمان باید در فرآیند گزارش‌دهی خود، تهیه گزارش‌های ماهیانه فرآیند مدیریت پسماند را جهت استفاده داخلی خود و ارسال آن به امور محیط زیست NPC مد نظر قرار دهد.

هستند، لیکن در برخی موارد نیز اینگونه نخواهد بود. به عنوان مثال، ممکن است ظرفیت تصفیه کافی برای تصفیه پسماند موجود نبوده یا مقدار غلظت مورد نظر پس از تصفیه حاصل نشود. گاهی برخی شرکت‌ها برای عبور از این مرحله دست به اقداماتی مانند رقیق‌سازی یا ذخیره‌سازی غیر اصولی می‌زنند.

این پسماندهای دارای خصوصیات خطرناک، تصفیه شده و خاصیت خطر را از دست دادند، می‌توانند در لندفیل پسماند غیرخطرناک دفن شوند. خلاصه فناوری‌های به کار رفته در جدول 2 ارائه شده است.

در نهایت اگر یک پسماند ممنوعه نتواند استاندارد تصفیه مربوطه را رعایت نماید، دفن آن در لندفیل ممنوع است. اگرچه اغلب پسماندها با رعایت استانداردها واجد شرایط دفن

جدول 2. فناوری‌های مورد استفاده در زمینه تصفیه پسماند در صنعت پتروشیمی [17]

شرح	تکنولوژی	کد
در تجزیه بیولوژیکی، از میکروارگانیسم به منظور تجزیه و شکستن ترکیبات استفاده می‌شود تا پسماند کم خطرتری بدست آید.	تجزیه بیولوژیکی	BIODG
در این روش، فلزات و ترکیبات معدنی موجود در فاضلاب به رسوبات نامحلول تبدیل می‌شود که سپس ته‌نشین شده و از آن خارج می‌شود. بدین ترتیب غلظت فلزات و مواد معدنی در فاضلاب کمتر می‌شود.	احیای شیمیایی	CHRED
احتراق باعث تخریب مواد زاید آلی شده یا سوزاندن آن در بویلرها، کوره‌های صنعتی یا پسماند سوزها، باعث کاهش مخاطرات آن می‌شود.	احتراق	CMBST
غیرفعال‌سازی عبارت است از تصفیه یک پسماند به منظور کاهش خصوصیات اشتعال‌پذیری، خوردگی، یا واکنش‌زایی آن. غیرفعال‌سازی به کمک بسیاری از روش‌های تصفیه قابل حصول است.	غیرفعال‌سازی	DEACT
خنثی‌سازی باعث کاهش خاصیت اسیدی پسماندهای مشخص شده یا از خاصیت قلیایی ترکیبات می‌کاهد.	خنثی‌سازی	NEVTR
رسوب‌دهی، باعث جداسازی فلزات و مواد جامد معدنی از پسماندهای مایع می‌شود تا شرایط دفع ایمن آن حاصل شود.	رسوب‌دهی	PRECP
در بازیافت فلزات، از روش‌های حذف فیزیکی مستقیم استفاده می‌شود تا فلزات ترکیبات معدنی از پسماند جدا شود.	بازیافت فلزات	REMTL
در بازیافت مواد آلی، از روش‌های حذف فیزیکی مستقیم (نظیر تقطیر و عریان‌سازی با بخار) استفاده می‌شود تا ترکیبات آلی از پسماند جدا شوند.	بازیافت مواد آلی	RCRGS
تثبیت (همچنین جامدسازی) مشتمل بر افزودن مواد تثبیت کننده (نظیر سیمان پرتلند) به پسماند است تا قابلیت نشت ترکیبات فلزی کاهش یابد.	تثبیت	STABL

روش تصفیه مشابه و سوزاندن پسماندهای فلزی، نمونه‌هایی از رقیق‌سازی غیرمجاز هستند.

#### ممنوعیت ذخیره‌سازی

#### ممنوعیت رقیق‌سازی

رقیق کردن پسماند خطرناک برای گریز از تصفیه مناسب آن، ممنوع است. اضافه کردن آب یا خاک به پسماند برای رقیق‌سازی آن، مخلوط کردن پسماندهای نامتمایل به یک

خطرناک قرار می‌گیرند کاربرد دیگری ندارند [26]. این آلودگی‌ها می‌توانند در سه دسته کلی شامل آلودگی آب، خاک و هوا قرار گیرند [27-29].

#### 11-1. پالایش آب و خاک

تاثیر صنعت پتروشیمی روی آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است: از یک سو بخش‌های پتروشیمی و کشاورزی اغلب از منابع آبی محدود برخوردار هستند، از طرف دیگر استفاده از آب برای عموم مردم بسیار حیاتی است [30].

از این رو مدیریت پسماندهای صنعتی مانند لجن‌های نفتی و مواد زاید صنعتی و غیر صنعتی یکی از شیوه‌های بسیار مناسب برای کاهش اثرات سوء فعالیت‌های صنعتی در محیط‌زیست است. به طور مثال ثابت و همکاران در مطالعه میدانی در پالایشگاه نفت شیراز پس از بررسی فرآیند تولید، نقاط تولید پسماند و دوره‌های تخلیه پسماندها را شناسایی و آن‌ها را دسته‌بندی نموده‌اند [31]. مطابق نتایج به دست آمده 43٪ پسماندهای تولیدی خطرناک بوده که تنها حدود 9٪ آن‌ها دارای منبع مشخص هستند. سپس پسماندها را از لحاظ سمی بودن، اشتعال‌پذیری، واکنش‌پذیری و خوردگی دسته‌بندی نموده‌اند. در پالایشگاه شیراز به طور میانگین سالانه 9 تن کاتالیست و 3 تن لجن نفتی تولید می‌گردد و در بخش مدیریت پسماند پالایشگاه لجن تولیدی در تولید ایزوگام به مصرف می‌رسد و کاتالیست بازیابی می‌گردد. از سوی دیگر با تولید سالانه 121 تن لجن در واحد تصفیه خانه و انتقال آن به بخش بیولوژیکی کود لازم برای فضای سبز مجموعه تولید و مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به منظور فرآوری پسماندهای خطرناک در پتروشیمی تبریز، عبدلی و همکاران بیان نموده‌اند که برای تصفیه مواد زاید جامد خطرناک از تصفیه یا پیش تصفیه پسماند استفاده می‌شود. آن‌ها بیان می‌کنند که زباله‌های خطرناک را در صورت داشتن مشخصات نامناسب نمی‌توان در لندفیل به طور مستقیم دفن نمود. انجام فرآیندهای درمانی برای کاهش خصوصیات خطرناک پسماند پیشنهاد می‌شوند. فرآیندهای مختلف درمان شامل روش‌های زیر است [32]:

قبل از اینکه بتوان پسماندی را تصفیه نمود، معمولاً پسماند در واحدهایی نظیر ظروف و مخازن ذخیره می‌شود. این واحدهای ذخیره برای مدیریت بلندمدت پسماند نبوده و لذا تمهیدات حفاظتی آن نیز مثل واحدهای دفن نیست.

#### 10. ترکیبات خطرناک صنایع پتروشیمی

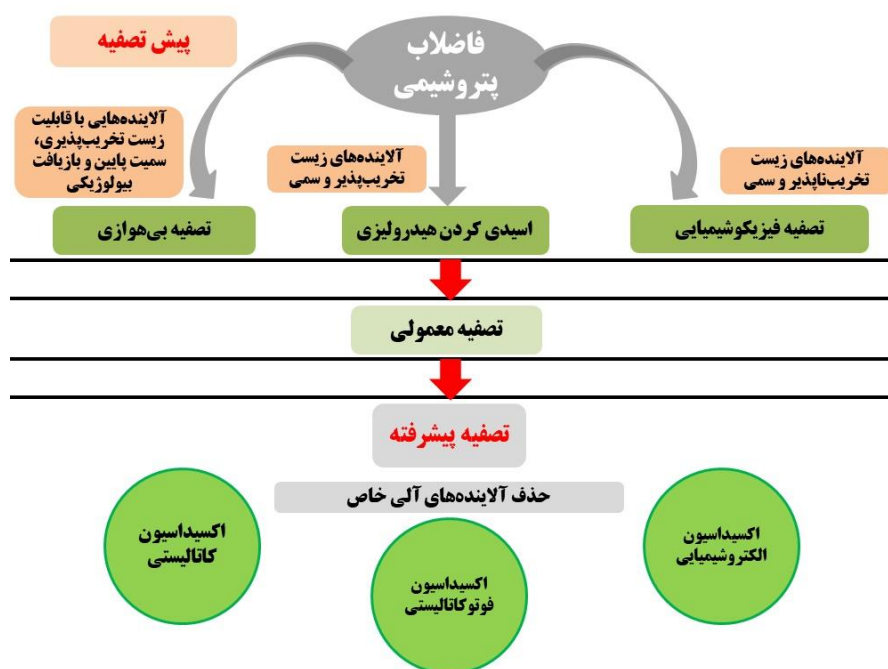
در صنعت پتروشیمی به دلیل استفاده از مواد اولیه پیچیده، فرآیندهای پیچیده و واکنش‌های جانبی پیچیده، پساب آن حاوی مقادیر بالایی مواد سمی است که به عنوان آلاینده‌های آلی و معدنی طبقه‌بندی می‌شوند. آلاینده‌های معدنی به فلزات سنگین و سایر مواد تشکیل دهنده (سولفیدها، فلوراید‌ها و غیره) تقسیم می‌شوند که مطالعات بسیاری به حذف و بازیافت آن‌ها توجه داشته‌اند [22 و 23]. آلاینده‌های آلی از آلاینده‌های آلی خاص مانند بنزن‌ها، آلدئیدها فنل‌ها و غیره تشکیل شده‌اند، که به دلیل بالا بودن درصد تولید، مشکل اصلی در فاضلاب پتروشیمی به حساب می‌آیند. بر اساس قوانین فدرال ایالات متحده و سیستم‌های اطلاعات ریسک یکپارچه و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا شش هزار ماده آلاینده توسط صنایع مختلف پتروشیمی تولید می‌شود [17].

#### 11. پالایش در صنایع پتروشیمی

صنایع معدنی و پتروشیمی نقش مهمی در توسعه اقتصادی تعداد قابل توجهی از کشورها در سراسر جهان دارا هستند و محصولات این صنایع مزیت مهمی برای جامعه مدرن محسوب می‌شوند [24]. صنایع پتروشیمی، مشابه سایر منابع تولید پسماند با مشکلات زیست‌محیطی مرتبط با ضایعات متعدد همراه هستند. پسماندهای پتروشیمی به طور کلی با عناصر خطرناک‌تر همراه هستند و به همین دلیل پتانسیل ریسک محیط‌زیستی بالاتری دارند. با این حال ضایعات ناشی از فعالیت این صنایع با توجه به کمیت و پیچیدگی‌های ساختاری که دارند سمی و سرطان‌زا بوده و برای سلامتی انسان و محیط‌زیست بسیار مخرب هستند [25]. از آنجا که زباله‌های تولیدی این صنایع در رده ترکیبات

تخلیه دقیق را رعایت کند، در سال‌های اخیر تلاش‌های اساسی برای بهبود پیش تصفیه و تصفیه پیشرفته انجام شده است. تیان و همکاران [34] نمونه‌ای از تحولات اخیر در تصفیه فاضلاب پتروشیمی (با توان بالا) و تصفیه پیشرفته (با توان پایین) را ارائه داده‌اند که در شکل 3 نشان داده شده است. هدف از پیش تصفیه قبل از تصفیه معمولی دستیابی به حذف جزئی آلاینده‌های آلی خاص، بهبود تجزیه‌پذیری در غلظت‌های بالا و کاهش میزان سمیت در فاضلاب پتروشیمی است [33 و 34]. مرحله پیش تصفیه شامل درمان‌های مکانیکی و فیزیکی شیمیایی است در حالی که تصفیه پیشرفته شامل فرآیندهای تصفیه فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است [35].

- جذب توسط کربن فعال (مبتنی بر جذب سطحی آلاینده‌های آلی سمی توسط عبور فاضلاب با جریان بالا از طریق یک ستون فولادی)
  - خنثی‌سازی
  - سوزاندن (برای ترکیبات آلی استفاده شده و باعث کاهش حجم و خاصیت سمی مواد آلی می‌شود).
  - تبخیر (در این روش پسماندها به مدت طولانی در حوضچه‌های تبخیر نگهداری می‌شوند و به طور معمول به عنوان یک روش درمانی در نظر گرفته نمی‌شود بلکه یک روش پیش تصفیه است).
- به منظور آنکه تصفیه مؤثر فاضلاب‌های پتروشیمی بسیار غلیظ و سمی به گونه‌ای باشد که بتواند استانداردهای کیفیت



شکل 3. نمودار شماتیک تحولات اخیر در پیش تصفیه فاضلاب پتروشیمی و تصفیه پیشرفته پیشنهاد شده توسط تیان و همکاران [34]

کیفیت هوا<sup>1</sup> (AQI) شده است، که برای تجزیه و تحلیل شدت آلودگی هوا و میزان در خطر قرار گرفتن سلامتی، ناشی از ذرات و آلودگی هوا استفاده می‌شود. شاخص کیفیت هوا شرایط دقیق کیفیت هوا را به افراد منتقل می‌کند و منجر به

## 2-11. پالایش هوا

آلودگی هوا و تاثیرات کیفیت هوا سال‌ها است که مورد مطالعه قرار گرفته و نگرانی‌های قابل توجهی را در سراسر جهان ایجاد کرده است. این امر منجر به پیدایش شاخص

<sup>1</sup> Air Quality Indices

C<sub>2</sub>، هگزان سیکلوهگزان، متیل سیکلوهگزان، ایزوپروپیل بنزن و استایرن نیز موجود بوده‌اند [39].

جدول 3. طول عمر برخی ترکیبات آلی فرار در هوا [38]

ترکیب	طول عمر در هوا
بنزن	9/4 روز
تولون	1/9 روز
اتیل بنزن	1/6 روز
o-زایلین	20/3 ساعت
p-زایلین	19/4 ساعت
m-زایلین	11/8 ساعت
متان	9/6 سال
اتان	60 روز
پروپان	10 روز
بوتان	5 روز
اتیلن	4 روز
استایرن	4/9 ساعت

برخی از واحدهایی که در آن اندازه‌گیری‌های غلظت آلاینده انجام شده است از جاده‌های و بزرگراه‌های اصلی دور بوده‌اند به طوری که ترافیک بر اندازه‌گیری‌ها تاثیر گذار نخواهد بود. این مسئله بسیار مهم است و می‌توان نتیجه گرفت که یک منطقه غیر شهری بهترین محل جمع‌آوری نمونه برای تعیین غلظت آلاینده‌های صنعتی، به ویژه VOCها خواهد بود. در یک مطالعه مشابه پیرامون پالایشگاه بزرگ نفتی در یونان، نتیجه گرفته شد که گرچه هیدروکربن‌های آروماتیک منبع اصلی VOC هستند، اما هیدروکربن‌های اشباع نیز در منطقه وجود دارند، که از تبخیر فرآورده‌های نفتی و حلال‌های آلی سرچشمه می‌گیرند [37]. عامل موثری که در زمینه اندازه‌گیری VOCها باید مورد توجه قرار گیرد سرعت باد و جهت وزش آن است که نقش عمده‌ای در توزیع انتشار آلاینده‌ها دارد و می‌تواند متغیر باشد. با افزایش سرعت وزش باد غلظت VOCها به دلیل افزایش رقت نمونه کاهش

ایجاد آگاهی و تغییر درون سازمانی در مورد تغییرات لازم در مقررات و اقدامات موثر صنایع می‌شود. شاخص‌های مختلفی در مناطق مختلف جهان مورد استفاده قرار گرفته است. در این زمینه می‌توان شاخص استاندارد آلاینده‌ها<sup>1</sup> (PSI) توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده<sup>2</sup> (US EPA)، شاخص مشترک کیفیت هوا در کشورهای اروپایی و شاخص کیفیت سلامت هوا در کانادا اشاره کرد [36]. از آنجاکه فعالیت‌های صنعتی منجر به کاهش کیفیت هوا می‌شوند، رسیدگی به این موضوع و شناسایی راه‌های جدید برای بهبود وضعیت مهم است. پالایشگاه‌ها و صنایع پتروشیمی تعدادی از آلاینده‌ها را به هوای اطراف آزاد می‌کنند، ما باید منابع آلودگی در این صنایع و ماهیت آلاینده‌ها را دریابیم تا استراتژی‌های کنترل موثر را تدوین کنیم.

در بین آلاینده‌های منتشر شده توسط این واحدها، اصلی‌ترین آن‌ها ترکیبات آلی فرار (VOCs)، ذرات ریز و گازهای گلخانه‌ای هستند. VOCهای موجود در هوا در نزدیکی واحدهای پتروشیمی شامل ترکیبات آروماتیک و آلیفاتیک هستند [37]. VOCهای آروماتیک عمدتاً از بنزن، تولن، اتیل بنزن و زایلین (BTEX) تشکیل شده‌اند. دانستن طول عمر جوی<sup>3</sup> VOCها بسیار مهم است تا بتوان مسافت‌هایی را که ممکن است در هوا سفر کنند، به دست آوریم. طول عمر جوی بالاتر نشان می‌دهد که VOC می‌تواند مسافت بیشتری را در جو طی کند که احتمالاً منجر به اثرات بسیار دورتر از منبع انتشار می‌شود. در جدول 3 طول عمر جوی چندین VOC متداول ارائه شده است [38].

با نزدیکی مناطق شهری به پالایشگاه‌ها و صنایع پتروشیمی، کیفیت هوا تحت تاثیر ترکیبات VOC آروماتیک و آلیفاتیک قرار خواهد گرفت و کیفیت هوا به شدت کاهش می‌یابد. به طور مثال در مطالعه‌ای پیرامون منابع هیدروکربنی در هوستون تگراس مشاهده شد که علاوه بر BTEX سایر VOCهای اصلی شامل اتان، پروپن، I-بوتن، آلکان‌های C<sub>4</sub>-

<sup>3</sup> طول عمر جوی یک گونه، زمان لازم برای بازیابی تعادل را پس از افزایش یا کاهش ناگهانی غلظت آن در جو، بیان می‌کند.

<sup>1</sup> Pollutant Standards Index

<sup>2</sup> United States Environmental Protection Agency



بازار تجاری پسماند را حدود 10 درصد بازار اصلی تخمین زد که مبلغ 2/5 میلیارد دلار را شامل خواهد شد.

### 13. نتیجه‌گیری

صنایع پتروشیمی نقش اساسی در بخش‌های مختلف تولیدی دارند. با این حال، خطرات بالقوه زیست‌محیطی مرتبط با این صنایع نگرانی‌های بسیاری را برای جوامع ایجاد کرده است. این صنعت مقادیر زیادی مواد سمی و مضر را به عنوان پساب، گاز و زباله‌های جامد تولید می‌کند که فرآیند تصفیه و دفع آنها دشوار است. البته میزان انتشار گازهای مضر از صنایع پتروشیمی به دلیل استفاده از تحولات زیست‌محیطی و فناوری‌های نوظهور به همراه افزایش آگاهی در مورد جنبه‌های ایمنی، در چند سال گذشته به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. با این حال تدوین اقدامات کنترل و پیشگیری که در مراحل برنامه‌ریزی در این صنایع انجام می‌شود، ضروری است. با این حال صنایع پتروشیمی در ایران دچار چالش‌های بسیاری هستند که از جمله می‌توان نیاز به آب در حجم بالا را در صنایع بالادستی پتروشیمی نام برد. بنابراین لازم است فرآیند تصفیه و استفاده مجدد در شرایط کنونی بیشتر مورد توجه قرار گیرد. البته این نظارت باید در هر سه زمینه آب، هوا و خاک همراه با توجه به نوع زیست بوم محلی انجام شود.

در این راستا اقدامات موثری در ایران صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- طرح تبدیل مواد ضایعاتی و دورریز شیمیایی واحد ملامین به محصول پتروشیمیایی سیانوریک اسید در پتروشیمی خراسان
- فروش پسماندهای عادی صنعتی شامل روغن‌ها، هگزان ضایعاتی، الیگومر، چوب و کارتن، فلزات و پلاستیک و پلیمرهای مذاب مطابق دستورالعمل‌های مدیریت پسماند در پتروشیمی ایلام
- شناسایی منابع آلودگی مجتمع‌ها (آب و پساب، هوا و خاک)

می‌یابد و هنگامی که جهت باد به گونه‌ای باشد که آلودگی را از منبع به محل نمونه‌برداری منتقل کند، غلظت مشاهده شده در این حالت بیشتر خواهد بود.

### 12. بار اقتصادی

هزینه‌های تولید به گونه‌ای است که منابع اولیه حدود 60 تا 70 درصد از کل هزینه‌ها را شامل می‌شوند. نیرو و حمل و نقل 15-20٪ دیگر را تشکیل می‌دهد و هزینه‌های ثابت نیز تقریباً یکسان است و بنابراین، هزینه‌های کلی تا حد زیادی به قیمت نفت بستگی دارد. بنابراین پتروشیمی به عنوان یک صنعت مبتنی بر هزینه در نظر گرفته می‌شود و تولیدکنندگانی که در مدیریت هزینه خوب عمل می‌کنند مزیت‌های رقابتی کسب می‌کنند. به طور خاص، هزینه‌های نقدی تولید بستگی به نوع مواد اولیه مصرفی، فناوری‌های تولید، دسترسی به مواد اولیه و مدیریت مواد اولیه دارد که همه این‌ها تأثیر مستقیمی بر هزینه‌ها خواهد داشت. بنابراین، قرار دادن تسهیلات تولید به واحدهایی که دسترسی آسان به مواد اولیه و بازارها را دارند، باعث کاهش هزینه‌های حمل و نقل و همچنین ایجاد مزیت رقابتی می‌شود [6]. صنایع پتروشیمی در ایران سالانه 33 میلیون تن خوراک مصرف می‌کند که معادل 650 هزار بشکه نفت در روز است که در قالب خوراک‌های مختلف دریافت می‌شود. با توجه به آنکه صنعت پتروشیمی دارای بازده 80 درصدی است سالانه در حدود 6/6 میلیون تن پسماند خاص که نیازمند انجام اقدام‌های موثر هستند، در کشور تولید می‌شود. به دلیل آنکه تهیه لیستی از اجزا ضایعات شیمیایی تولید شده در صنایع پتروشیمی دشوار بوده و دارای پیچیدگی ویژه‌ای است، ارزیابی دقیق ارزش مالی محبوس در پسماند و برآورد اقتصادی آن مشکل خواهد بود. از سوی دیگر لازم است تا میزان تأثیر پسماندهای پتروشیمی بر زیست بوم مورد بررسی قرار گیرد. از آنجا که ایران محیط‌زیست منحصربه‌فردی در منطقه دارا است تخمین خسارت وارد شده از سوی صنایع قابل برآورد نیست. اما با توجه به آن که ارزش بازار پتروشیمی ایران در حدود 25 میلیارد دلار در سال است، می‌توان ارزش

- [4] مختاری‌فر، سیدرضا، تاریخ پتروشیمی ایران، انجمن نفت ایران، **1392**.
- [5] Clews R., "Project Finance for the International Petroleum Industry", Academic Press, **2016**, 189-190.
- [6] *Petrochemical Industry, Thailand Industry Outlook 2017-2019*, pp. 3.
- [7] Sharma A., Sharma P., Sharma A., Tyagi R., Dixit A., "Hazardous Effects of Petrochemical Industries: A Review", *Recent Advances in Petrochemical Science*, **2017**, 3(2), RAPSCI.MS.ID.555607.
- [8] Naderpour N., "Petrochemical Production Processes", SBS Publishers, Delhi, India, **2008**.
- [9] Meyers R.A., "Handbook of Petrochemicals Production Processes", McGraw-Hill, New York, USA, **2005**.
- [10] آزادگان، الهه، گزارش سالانه شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران، انتشارات شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران، **1396**.
- [11] Intrinsic Environmental Sciences Inc., Stantec Consulting Ltd, *Systematic literature review of health outcomes associated with living in proximity to petrochemical industries*. Final Report. Wyoming, Ontario, The Corporation of the County of Lambton ([http://www.lambtonhealthstudy.ca/Documents/Lambton\\_Final\\_December\\_2010\\_13.pdf](http://www.lambtonhealthstudy.ca/Documents/Lambton_Final_December_2010_13.pdf)), **2010**.
- [12] WHO human health risk assessment toolkit: chemical hazards, World Health Organization (IPCS Harmonization Project Document, No. 8; [http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241548076\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241548076_eng.pdf)), Geneva, Switzerland, **2010**.
- [13] Vasudevan N., Rajaram P., "Bioremediation of oil sludge-contaminated soil", *Environment International*, **2001**, 26(5-6), 409-411.
- نظارت و شناسایی جنبه‌های زیست محیطی داخل و خارج از محیط شرکت‌ها و مجتمع‌های پتروشیمی
  - تهیه طرح جامع مدیریت پسماندها توسط شرکت‌های پتروشیمی
  - نظارت بر انجام پایش سواحل و دریا و تعیین نیازمندی‌های مربوطه در حوزه شرکت‌های پتروشیمی
  - ساخت و تجهیز آزمایشگاه مرکزی محیط زیست شرکت‌های پتروشیمی مناطق سه گانه
  - برنامه‌ریزی و شناسایی مباحث مورد نیاز بهداشتی، ایمنی و زیست‌محیطی برای امر آموزش و ارتقاء و به روز کردن سطح دانش کارشناسان بهداشت، ایمنی و محیط زیست
- در پایان لازم به ذکر است اقدامات صورت گرفته یا موارد مشابه، مناسب اما ناکافی هستند. چراکه صنعت پتروشیمی روبه رشد بوده و در فاز سوم توسعه خود قرار دارد. لازم است که این رشد نه تنها به لحاظ کمی بلکه از نظر کیفی صورت گیرد. زیرا زیست بوم منطقه‌ای ایران دارای ویژگی‌های منحصر به فردی است که هر گونه آسیب به آن دارای تبعات جبران ناپذیری است. از این رو مدیریت آلاینده‌های صنعتی باید در راستای پیشرفت صنایع رشد نماید و نظارت تا سطح قابل قبولی افزایش یابد.

#### منابع

- [1] Speight J.G., "Handbook of Petroleum Refining", CRC Press, pp. 175, **2017**.
- [2] Giavarini C., "Oil refining industry: general aspects – structures and schemes. in: Encyclopaedia of hydrocarbons", vol. 2, Istituto della Enciclopedia Italiana Fondata da Giovanni Treccani SpA:3-24, Rome, Italy, **2006**.
- [3] Matar S., Hatch L.F., "Chemistry of petrochemical process", 2nd. Gulf Professional Publishing, Boston, USA, **2001**.

- Chemical Engineering Journal*, **2016**, 286, 1-15.
- [23] Wang W., Lai Y., Ma Y., Liu Z., Wang S., Hong C., "Heavy metal contamination of urban topsoil in a petrochemical industrial city in Xinjiang, China", *Journal of Arid Land*, **2016**, 8, 871-880.
- [24] Li J., Wang G., Xu Z., "Generation and detection of metal ions and volatile organic compounds (VOCs) emissions from the pretreatment processes for recycling spent lithium-ion batteries", *Waste Management*, **2016**, 52, 221-227.
- [25] Wei M.S., Huang K.H., "Recycling and Reuse of Industrial Wastes in Taiwan", *Waste Management*, **2001**, 21, 93-97.
- [26] Rovira E., Cuadras A., Aguilar X., Esteban L., Borràs-Santos A., Zock J.P., Sunyer J., "Asthma, respiratory symptoms and lung function in children living near a petrochemical site", *Environmental Research*, **2014**, 133, 156-163.
- [27] Freije A.M., "Heavy metal, trace element and petroleum hydrocarbon pollution in the Arabian Gulf: Review", *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, **2015**, 17, 90-100.
- [28] Haghollahi A., Fazaelpoor M.H., Schaffie M., "The effect of soil type on the bioremediation of petroleum contaminated soils", *Journal of Environmental Management*, **2016**, 180, 197-201.
- [29] Zolfaghari R., Fakhru'l-Razi A., Chuah A.L., Elnashaie S.S.E.H., Pendashteh A., "Demulsification techniques of water-in-oil and oil-in-water emulsions in petroleum industry", *Separation and Purification Technology*, **2016**, 170(1), 377-407.
- [30] Mudu P., Terracini B., Martuzzi M., *Human Health in Areas with Industrial Contamination. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe*, **2014**.
- [14] O'Rourke D., Connolly S., "Just Oil? The Distribution of Environmental and Social Impacts of Oil Production and Consumption", *Annual Review of Environment and Resources*, **2003**, 28, 587-617.
- [15] International Programme on Chemical Safety (IPCS), *Principles of characterizing and applying human exposure models*. World Health Organization, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43370>, **2005**.
- [16] Speight J.G., "*The Chemistry and Technology of Petroleum*", Fourth Edition, CRC Press, , pp. 843, **2007**.
- [17] جعفرزاده، محمدتقی، الزامات زیست‌محیطی صنایع پتروشیمی، انتشارات حک، **1391**.
- [18] Hoornweg D., Bhada-Tata P., "*What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*", World Bank, Washington DC, USA, **2012**.
- [19] Krook J., Svensson N., Eklund M., "Landfill mining: A critical review of two decades of research", *Waste Management*, **2012**, 32(3), 513-520.
- [20] Abbasia M., Kamalanb H.R., "Waste Management Planning in Amirkabir Petrochemical Complex", *Environmental Energy and Economic Research*, **2017**, DOI 10.22097/eeer.2018.96582.1011.
- [21] Menikpura S.N.M., Gheewala S.H., Bonnet S., "Framework for life cycle sustainability assessment of municipal solid waste management systems with an application to a case study in Thailand", *Waste Management & Research*, **2012**, 30(7), 708-719.
- [22] Cechinel M.A.P., Mayer D.A., Pozdniakova T.A., Mazur L.P., Boaventura R.A.R., de Souza A.A.U., Guelli U.de Souza S.M.A., Vilar V.J.P., "Removal of metal ions from a petrochemical wastewater using brown macro-algae as natural cation-exchangers",

Apel E.C., Karl T., Lonneman W.A., Riemer D., "Hydrocarbon source signatures in Houston, Texas: Influence of the petrochemical industry", *Journal of Geophysical Research*, **2004**, 109, D24305.

[31] ثابت اقلیدی، پروین، هادی زارعی، قاسمعلی عمرانی، شناسایی، "طبقه‌بندی و مدیریت پسماند پالایشگاه نفت شیراز بر اساس RCRA"، فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره 25، **1392**.

[32] Abduli M.A., Abbasi M., Nasrabadi T., Hoveidi H., Razmkhah N., "Solid Waste Management in Tabriz Petrochemical Complex", *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, **2006**, 3(3), 185-192.

[33] Yi Q., Gao Y., Zhang H., Zhang H., Zhang Y., Yang M., "Establishment of a pretreatment method for tetracycline production wastewater enhanced hydrolysis", *Chemical Engineering Journal*, **2016**, 300, 139-145.

[34] Tian X., Song Y., Shen Z., Zhou Y., Wang K., Jin X., Han Z., Liu T., "A comprehensive review on toxic petrochemical wastewater pretreatment and advanced treatment", *Journal of Cleaner Production*, **2020**, 245, 118692.

[35] Aljuboury D.A.D.A., Palaniandy P., Abdul Aziz H.B., Feroz S., "Treatment of petroleum wastewater by conventional and new technologies -A review", *Global NEST Journal*, **2017**, 19(3), 439-452.

[36] Monteiro A., Vieira M., Gama C., Miranda A.I., "Towards an improved air quality index, Air Quality", *Atmosphere & Health*, **2017**, 10, 447-455.

[37] Kalabokas P.D., Hatzianestis J., Bartzis J.G., Papagiannakopoulos P., "Atmospheric concentrations of saturated and aromatic hydrocarbons around a Greek oil refinery", *Atmospheric Environment*, **2001**, 35(14), 2545-2555.

[38] Ragothaman A., Anderson W.A., "Air Quality Impacts of Petroleum Refining and Petrochemical Industries", *Environments*, **2017**, 4(3), 66.

[39] Jobson B.T., Berkowitz C.M., Kuster W.C., Goldan P.D., Williams E.J., Fesenfeld F.C.,