

# ارزیابی و مقایسه کارایی روش های تصفیه فاضلاب صنایع پتروشیمی تولید کننده PET،

## یک مطالعه مروری

نعیم بنی سعید<sup>۱</sup>، نعمت الله جعفرزاده حقیقی فرد<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست- آب و فاضلاب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- مرکز تحقیقات سم شناسی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۸

### چکیده

در این مطالعه مروری روش های بهینه انجام گرفته در ایران و جهان جهت حذف ترکیبات ترفتالات از فاضلاب های صنعتی حاوی این ماده که از اهداف این پژوهش می باشد، مورد بررسی قرار گرفت. در این زمینه با استفاده از جستجوی اینترنتی، مطالعات به این مضمون یافت شد که از مقالات موجود ۴۰ مقاله که دقیقاً به این موضوع پرداخته بودند، مورد بررسی قرار گرفت. این مقالات بر اساس نوع آلاینده مورد مطالعه و فرآیند حذف آلاینده منتخب در تصفیه خانه دسته بندی و رتبه بندی گردیدند. در مقالات بررسی شده رتبه اول مطالعات (۴۱٪) در خصوص بررسی میزان حذف COD در تصفیه خانه های فاضلاب صنعتی PTA بوده است، رتبه های دوم تا پنجم نیز به حذف مواد محلول (۱۴٪)، حذف مواد معلق (۱۱٪)، حذف فلزات سنگین (۹٪) و بررسی نوع کلنی های باکتری های موجود در تصفیه خانه (۷٪) بوده است. بر اساس این یافته ها می توان عمده پارامترهای مورد بررسی در فاضلاب صنعتی PTA، به ترتیب مواد آلی، مواد محلول و مواد معلق رتبه بندی نمود. این مطالعات نشان می دهد که فرآیند بی هوازی در این نوع فاضلاب ها کارایی خوبی داشته بطوری که در بیشتر مقالات، این نوع فرآیند جهت حذف مواد آلی بررسی شده و نتیجه رضایت بخشی نیز در این زمینه کسب شده است. برای فاضلاب های صنعتی حاوی ترکیبات ترفتالات استفاده از فرآیندهای خنثی سازی، ته نشینی اولیه، بی هوازی و هوازی می تواند به عنوان یک فرآیند قابل اطمینان در این نوع فاضلاب ها استفاده شود.

واژگان کلیدی: فاضلاب پتروشیمی، ترفتالات اسید، PET، PTA، CTA

### مقدمه

۵۰۰ فرآیند مختلف شامل پلیمریزه کردن، هیدروژنه کردن، هالوژنه نمودن، اپواکسید کردن، هیدروکربوکسیله نمودن، تیتره کردن، سولفونه کردن، اکسایش، تقطیر، هیدروژنه نمودن، کراکینگ، ایزومره کردن و کریستاله نمودن، مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین تعجب آور نیست که توان بالقوه ای برای آلوده کردن محیط ناشی از صنایع پتروشیمی وجود داشته

تصفیه بیولوژیکی بر پایه کاهش غلظت آلاینده ها از طریق انعقاد بیولوژیکی و حذف مواد بیولوژیکی کلوئیدی غیر قابل ته نشینی بنا شده است (بال و دگات، ۲۰۰۱). صنایع پتروشیمی به دلیل اهمیت فراوان و موارد استفاده متعدد محصولات آن بیش از صنعت نفت که محصولات آن منحصر به سوخت و روغن بوده، پیشرفت نموده است. در صنایع پتروشیمی متجاوز از

که نتیجه آن کاهش غلظت CBA-۴ از بین ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ ppm به زیر ۲۵ ppm می باشد. در طول این مرحله ناخالصی های مختلف رنگی هم توسط هیدروژناسیون به محصولات بی رنگ تبدیل می شوند. بطور تقریبی ۲/۵ تا ۴/۵ مترمکعب از فاضلاب و ۲۰ تا ۴۰ کیلوگرم COD در ازای هر تن در تولید PTA تولید می شود. بیشترین بار آلی COD (۸۰ تا ۹۰ درصد) از واحد خالص سازی حاصل می شود. حلالیت ترفتالیک اسید در آب بسیار ضعیف است، این حلالیت به pH بستگی دارد و با ترکیباتی همچون نمک های سدیم که حلالیت بالایی دارند، افزایش پیدا می کند. با این وصف، در دما و pH فاضلاب، TA غیرمحلول باقی خواهد ماند. حضور این ماده در فاضلاب معمولاً بصورت SS بوده و آزمایشات مختلف این امر را تایید نموده اند. نکته قابل توجه در این نوع فاضلاب ها این است که معمولاً حاوی نیتروژن، فسفر و سولفات نیستند. این نتیجه برای استفاده از کیفیت خیلی بالای آب دمین برای همه تولیدات که باعث افزایش جریان فاضلاب می شوند، حائز اهمیت است (کروانتس و همکاران، ۲۰۰۶).

پتروشیمی شهید تندگویان واقع در منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر اولین و تنها تولید کننده ماده PTA جهت صنایع پایین دستی بوده و با توجه به تازگی نوع فاضلاب تولیدی آن در ایران، به آن کمتر پرداخته شده است. لذا مقالات مرتبط با این موضوع به فارسی را به ندرت می توان یافت.

در ادامه مشخصات فاضلاب واحد PTA و همچنین ساختار مولکولی موادی که معمولاً در فاضلاب

باشد. اسید ترفتالیک خالص<sup>۱</sup> (PTA) که به همراه اتیلن گلیکول<sup>۲</sup> برای ساخت پلی مر مصنوعی PET<sup>۳</sup> استفاده می شود، پلی استر اشباع به عنوان پایه در بسیاری از کاربردهای زندگی مدرن همچون صنایع نساجی، صنایع فیلم و نوار و صنایع بسته بندی مواد غذایی همچون بسته بندی آب معدنی و نوشابه ها استفاده می شود. برای این کاربردهای وسیع، PTA اصلی ترین ماده در تولید نهایی این ماده است. تخمین زده می شود که حدود ۳۰ تا ۳۵ میلیون تن در سال از این ماده در جهان تولید شود که ۶۰ درصد آن در قاره آسیا، ۲۲ درصد در آمریکای شمالی و ۱۱ درصد در اروپا باشد. بدست آوردن اقتصادی ترفتالیک اسید<sup>۴</sup> (TA) تنها با خالص سازی مناسب برای پلیمراسیون حاصل می شود. فرآیند آن شامل دو بخش اصلی، اکسیداسیون و خالص سازی است. در فرآیند اکسیداسیون ترفتالیک اسید بوسیله اکسیداسیون فاز مایع توسط هوا از پارازیلین در دمای ۱۷۵ تا ۲۲۵ درجه سانتی گراد و فشار ۱۵ تا ۳۰ اتمسفر با استفاده از حلال استیک اسید و کبالت و منگنز به عنوان کاتالیزور و برم به عنوان منبع بازیابی رایکال های آزاد، حاصل می گردد. ترفتالات خام<sup>۵</sup> (CTA) در این مرحله تا ۹۹ درصد خالص سازی می شود. ولی این برای تولید PET کافی نیست. عمل خالص سازی پودر CTA توسط حل شدن در آب ۲۵۰ درجه سانتی گراد در فشار ۴۰ اتمسفر و هیدروژناسیون در حضور کالیست پالادیوم و تبدیل<sup>۶</sup> (CBA-۴) که مهمترین ناخالصی شمرده می شود، به پاراتولوئیک اسید (عمل احیاء از گروه آلدید به متیل) انجام می گیرد

۴- Terephthalic Acid

۵- Crude Terephthalic Acid (CTA)

۶- ۴-Carboxybenzaldehyde

۱-Purified Terephthalic Acid (PTA), 1,4-benzenedicarboxylic acid

۲- Ethylene Glycol




۳- Poly Ethylene Terephthalate (PET)

# ارزیابی و معیار کارایی روش های تصفیه فاضلاب صنایع ترویشیمی تولیدکننده PET، یک مطالعه مروری

واحد PTA وجود دارد ارائه شده است (کروانتس و همکاران، ۲۰۰۶).

جدول شماره ۱- مشخصات فاضلاب واحد PTA

پارامتر	واحد	مقدار	سهم COD (%)
دما	درجه سانتی گراد	۲۵ - ۱۰۰	
pH	--	۳ - ۵	
کل جامدات	گرم بر لیتر	۵ - ۸/۶	
جامدات معلق	گرم بر لیتر	۰/۳ - ۶	
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	گرم بر لیتر	۴/۴ - ۲۰	
COD/BOD <sub>5</sub>	--	۱/۲ - ۱/۷	
ترفتالات اسید	گرم بر لیتر	۰/۶ - ۶/۹	۷/۴ - ۷۶/۵
p-toluic acid	گرم بر لیتر	۰/۰۵ - ۱	۰/۸ - ۲۵/۸
Benzoic acid	گرم بر لیتر	۰/۰۵ - ۲/۲۳	۱/۴ - ۵۹
Acetic acid	گرم بر لیتر	۰/۲۵ - ۱۲	۲ - ۷۱
کیالت	میلی گرم بر لیتر	۱۳ - ۵۷	
متگنز	میلی گرم بر لیتر	۴۱ - ۷۶	
برم	میلی گرم بر لیتر	۳۶	

Common name	Terephthalic acid	p-toluic acid	Benzoic acid	Acetic acid
IUPAC name	1,4-Benzene-dicarboxylic acid	4-Methylbenzoic acid	Benzene-carboxylic acid	Ethanoic acid
Chemical structure	C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>
Developed structure				CH <sub>3</sub> -COOH
COD exerted <sup>a</sup>	1444.65	2115.46	1967.21	1066
Solubility (g/1000 g water)				
Protonated forms				
25°C	0.017	0.345	3.45	∞
35°C	0.039	0.55	5.07	∞
100°C	0.33	11.6	58.75	∞
Sodium salts				
25°C	140	V <sub>8</sub> <sup>b</sup>	628.8	505.8

<sup>a</sup> in mg COD/g compound

شکل ۱- ساختار مولکولی مواد اصلی آلاینده در فاضلاب واحد PTA

مواد و روش ها

## نتایج و بحث

در جدول شماره ۲ فراوانی و رتبه بندی عوامل آلاینده در فاضلاب پتروشیمی های PTA ارائه شده است. در مقالات بررسی شده رتبه اول مطالعات (۴۱٪) در خصوص بررسی میزان حذف COD در تصفیه خانه های فاضلاب صنعتی PTA بوده است، رتبه های دوم تا پنجم نیز به حذف مواد محلول (۱۴٪)، حذف معلق (۱۱٪)، حذف فلزات سنگین (۹٪) و بررسی نوع کلنی های باکتری های موجود در تصفیه خانه (۷٪) بوده است. بر اساس این یافته ها می توان عمده پارامترهای مورد بررسی در فاضلاب صنعتی PTA، به ترتیب مواد آلی، مواد محلول و مواد معلق رتبه بندی نمود.

در این زمینه پس از جستجوی اینترنتی، مطالعات به این مضمون به زبان فارسی یافت نشد و لذا به منظور استخراج مطالعات انجام شده در جهان، جستجوی اینترنتی مقالات با موتور جستجوی google، در پایگاه های اطلاعاتی science؛ springer؛ direct؛ iwap؛ online library wiley؛ و ... انجام گردید که از مقالات موجود ۴۰ مقاله که دقیقا به این موضوع پرداخته بودند، یافت شد. این مقالات بر اساس نوع آلاینده مورد مطالعه و فرآیند حذف آلاینده منتخب در تصفیه خانه دسته بندی و رتبه بندی گردیدند.

جدول شماره ۲- فراوانی و رتبه بندی عوامل آلاینده بررسی شده در فاضلاب PTA

درصد	رتبه	فراوانی	عوامل آلاینده
۴۱٪	۱	۱۸	حذف COD
۱۴٪	۲	۶	حذف مواد محلول
۱۱٪	۳	۵	حذف مواد معلق
۹٪	۴	۴	حذف فلزات سنگین
۷٪	۵	۳	بررسی نوع کلنی های باکتری ها
۵٪	۶	۲	بررسی سنتتیک واکنش بی هوازی
۵٪	۷	۲	pH بهینه فرآیند
۲٪	۸	۱	حذف BOD
۲٪	۹	۱	بررسی بار آلی راکتور
۲٪	۱۰	۱	بررسی SVI
۲٪	۱۱	۱	بررسی خلوص PTA

شیمیایی (۱۷٪)، تلفیق روش بی هوازی - هوازی (۹٪) و بررسی نوع کلنی های باکتری های موجود در تصفیه خانه (۳٪) و شناسایی سمیت در فرآیند بیولوژیکی و اسمز معکوس هر کدام (۲٪) بوده است. این مطالعات نشان می دهد که فرآیند بی هوازی در این نوع فاضلاب ها کارایی خوبی داشته بطوری که در بیشتر مقالات، این نوع فرآیند جهت حذف مواد آلی بررسی شده و نتیجه رضایت بخشی نیز در این زمینه کسب شده است.

در جدول شماره ۳ فراوانی و رتبه بندی روش های منتخب جهت حذف آلاینده ها در فاضلاب پتروشیمی های PTA ارائه شده است. در مقالات بررسی شده رتبه اول مطالعات در خصوص روش منتخب جهت حذف آلاینده ها در تصفیه خانه های فاضلاب صنعتی PTA، روش تصفیه بی هوازی در این نوع فاضلاب با ۴۸٪ است. رتبه های دوم تا ششم نیز به فرآیند جذب (۲۲٪)، استفاده از روش های فیزیکی

### جدول شماره ۳- فراوانی و رتبه بندی روش های بررسی شده در حذف عوامل آلاینده در تصفیه

#### فاضلاب

روش تصفیه بررسی شده	فراوانی	رتبه	درصد
روش بی هوازی	۲۲	۱	۴۸٪
فرآیند جذب	۱۰	۲	۲۲٪
روش های فیزیکی شیمیایی	۸	۳	۱۷٪
تلفیق روش بی هوازی - هوازی	۴	۴	۹٪
شناسایی سمیت در حذف بیولوژیکی	۱	۵	۲٪
روش اسمز معکوس	۱	۶	۲٪
روش فقط هوازی	۰	۷	۰٪

ماکاری و همکاران، مقایسه ای بین راکتورهای بی هوازی UASB<sup>۱</sup> و راکتور با بستر ثابت انجام دادند. در این مطالعه دو نوع راکتور UASB نوع T و U استفاده شد. در راکتور نوع T به فاضلاب ورودی، لجن برداشت شده از برکه های تثبیت بی هوازی که فاضلاب پتروشیمی را دریافت می کردند اضافه شد. به راکتورهای UASB نوع U و راکتور با بستر ثابت، لجن فعال آدابته شده از فاضلاب شهری اضافه گردید. فاضلاب خام قبل از ورودی به راکتورها، عمل خنثی سازی و ته نشینی بر روی آن انجام گرفت. نتایج ته نشینی نشان داد که حدود ۷۰٪ TSS و حدود ۳۷٪ COD حذف شده بود. مطالعه نتایج راکتورهای UASB نشان دادند که بهترین بازده در ۴/۴۶٪ موارد در راکتور UASB نوع T در بار آلی ۲/۶ کیلوگرم در مترمکعب در روز و زمان ماند ۲/۷ روز و در ۹/۴۳٪ موارد در راکتور UASB نوع U در بار آلی ۲/۲ کیلوگرم در مترمکعب در روز و زمان ماند ۳/۲ روز بوده است. ولی در این مدت

بر اساس رتبه بندی مقالات یافت شده، در حذف مواد آلاینده از فاضلاب پتروشیمی PTA، اکثر مطالعات (حدود ۴۸٪)، مربوط به استفاده از راکتورهای بی هوازی در حذف مواد آلاینده مخصوصا COD (حدود ۴۱٪)، بوده است. در ادامه نتایج این تحقیقات به ترتیب زمان انتشار مقاله ارائه شده است.

نویولا و همکاران، مطالعه ای در خصوص میزان تصفیه پذیری فاضلاب حاوی ترفتالات اسید در فرآیند بی هوازی را در مقیاس آزمایشگاهی با فرآیند راکتور با بستر ثابت انجام دادند. نتایج نشان می دهد که ۷۵٪ COD در زمان ماند ۳/۴ روز در دمای ۳۳ درجه سانتی گراد، حذف گردید. بر روی فاضلاب قبل از ورود به راکتور اصلی، فرآیندهای خنثی سازی و ته نشینی انجام شده بود. در این مطالعه برای این نوع فاضلاب ها، با هدف حذف مواد معلق و آلی با راندمان بالا و صرفه جویی انرژی، فرآیندهای ته نشینی اولیه، بی هوازی و هوازی را پیشنهاد نمودند (نویولا و همکاران، ۱۹۹۰).

راکتور با بستر ثابت توانسته حدود ۷۵٪ از مواد آلی (COD) را با بار آلی راکتور  $kgCOD/m^3.d$  ۱/۸۹ و زمان ماند ۳/۲ روز، حذف نماید (ماکاری و همکاران، ۱۹۹۲).

کلیربزم، در مقایسه ای بین راکتورهای بی هوازی UASB دو مرحله ای و راکتورهای هیبریدی در تصفیه فاضلاب های PTA، انجام داد که نتایج حاصله نشان می دهد که هر دو راکتور در حذف مواد آلی (COD) راندمان بالایی داشته اند (کلیربزم، ۱۹۹۷). راستن و همکاران، در مطالعه ای فرآیند بیولوژیکی راکتور با بستر متحرک را در حذف مواد آلی در فاضلاب های پتروشیمی بررسی نمودند که نتایج مطالعه نشان داد که این فرآیند با بار آلی BOD ۵۳ گرم در مترمربع در روز همیشه بصورت آسان مواد با قابلیت تجزیه زیستی را با راندمان بین ۶۰ تا ۸۰ درصد حذف می کند. در بار آلی BOD ۱۰ تا ۲۰ گرم در مترمربع در روز موادی که بصورت آهسته قابلیت تجزیه زیستی دارند را نیز تا ۹۵ درصد حذف می کند. بعد از واحد جلادهی لجن فعال، در نهایت میزان غلظت BOD فیلتر شده حدود ۳/۴ میلی گرم در لیتر بوده است. در این مقاله، استفاده از فرآیند MBBR<sup>۱</sup> با استفاده از مدیای با سطح ویژه خیلی بالا به همراه فرآیند لجن فعال برای تصفیه فاضلاب های مجتمع های پتروشیمی پیشنهاد شده است (راستن و همکاران، ۱۹۹۹).

کلیربزم، در رساله دکتری خود تصفیه پذیری ترکیبات ترفتالات در فاضلاب صنعتی را بررسی نمود که در آن نشان داد که تمام ایزومرهای ترفتالات را می توان در دو نوع تصفیه شامل متانوژنیک لجن گرانول و لجن هضم شده فاضلاب، تجزیه نمود. در هر دو راکتور

UASB و راکتورهای هیبریدی در بار آلی بالا (بر حسب COD)  $(\square\square\square\square/\square\square)$  (۲۰-۱۵) راندمان حذف ترکیبات ترفتالات قابل قبول بوده است. همچنین نتایج نشان می دهد که راندمان حذف مواد آلی در راکتور UASB قویا به تشکیل گرانول های بیولوژیکی بستگی دارد (کلیربزم، ۱۹۹۹).

کلیربزم، در مقایسه ای بین راکتورهای بی هوازی UASB دو مرحله ای و راکتورهای هیبریدی در تصفیه فاضلاب های PTA، انجام داد که نتایج حاصله نشان می دهد که هر دو راکتور در حذف مواد آلی (COD) راندمان بالایی داشته اند (کلیربزم، ۱۹۹۹). کلیربزم و همکاران، در مطالعه ای نقش بزوات در روند تجزیه بی هوازی ترفتالات بررسی نموده اند. مطالعه نشان می دهد که بزوات و استات نقش بازدارنده های در تجزیه بی هوازی ترفتالات داشته و بطوریکه غلظت این مواد رابطه عکس با روند تجزیه بی هوازی ترفتالات داشته اند، به عبارتی دیگر با کاهش غلظت این مواد، تجزیه بهتر بی هوازی ترفتالات روندی افزایشی خواهد داشت (کلیربزم و همکاران، ۱۹۹۹).

پولانکو و همکاران، در مطالعه ای دو نوع فاضلابی که در پتروشیمی بارسلونا (اسپانیا) تولید می شود مورد بررسی قرار گرفت. یکی از این جریان ها با COD برابر با ۳۰۰۰۰ میلی گرم در لیتر و دیگری دارای COD برابر با ۴۰۰۰ میلی گرم در لیتر می باشد. نمونه برداری های ناپیوسته با استفاده از فرآیند بی هوازی نشان داد که راندمان حذف COD برای فاضلاب اول ۹۰ درصد و فاضلاب دوم ۷۵ درصد بوده است (پولانکو و همکاران، ۱۹۹۹).

که در تجزیه ترکیبات ترفتالات دخالت دارند(جر هورنگ وو و همکاران، ۲۰۰۱).

یان لینگ و همکاران، در مطالعه ای جمعیت میکروبی موجود در واحد بی هوازی که به آن فاضلاب صنعتی حاوی ترفتالات اسید وارد می شود را بررسی نمودند. Desulfotomaculum که یک باکتری گرمادوست احیا کننده سولفات است و در گروه delta-Proteobacteria نیز قرار دارد به عنوان یک باکتری غالب جداسازی شد. باکتری Methanospirillum، ترفتالات را به استات و متان تبدیل می کند. این مطالعه نشان داد که در حین تجزیه ترفتالات میزان کمی از بنزوات بصورت کوتاه به عنوان واسطه تجمع پیدا می کند که این امر اشاره به این دارد که تبدیل ترفتالات به بنزوات مرحله اولیه تجزیه می باشد(یان لینگ و همکاران، ۲۰۰۴).

یی تو لو و ارسلان، در مطالعه ای جذب کروم شش ظرفیتی را بوسیله (۴-VP) پیوند شده با PET را بررسی نمودند. در این مطالعه زمان جذب، pH محلول و غلظت کرم شش ظرفیتی مورد ارزیابی قرار گرفت. مدت ۳۰ دقیقه برای جذب کفایت داشت و pH برابر با ۳ برای این فرآیند بهینه بود. حداکثر ظرفیت جذب ۲۶۳/۱۶ میلی گرم بر گرم بدست آمد. همچنین نتایج مطالعه نشان می دهد که فیبر فعال قابلیت بازیافت بوسیله اسید یا باز را بدون ازدست دادن میزان فعالیت خود را دارد(یی تو لو و ارسلان، ۲۰۰۵).

ژانگ و همکاران، در مطالعه ای میزان تجزیه زیستی پذیر و سمیت ترفتالات اسید خالص (PTA) در مقیاس پایلوت با فاضلاب لجن فعال حمل شده را

کلیربزم و لتینگا، در مطالعه ای تصفیه بی هوازی با بار آلی بالا در فاضلاب صنعتی حاوی ترفتالات را بررسی نموده اند. مطالعه نشان می دهد که در زمان تولید ترفتالات، فاضلاب غلیظی که در این فرآیند تولید می شود حاوی مواد آلی قابل تجزیه سریع(استات و بنزوات) مواد تجزیه کند(ترفتالات و پارا تولوات) است. بر اساس نتایج آزمایشات انجام شده توسط گروه مطالعه کننده در تصفیه بی هوازی فاضلاب، راه اندازی و بهره برداری دو مرحله ای بهینه در راکتور بیولوژیکی بصورت مفهومی مورد بررسی قرار گرفت. در شرایط بهینه برخی از گونه های بیولوژیکی باعث تجزیه مواد شده که در این صورت برای تنظیم pH می توان از هیدروکسید سدیم استفاده کرد. انتقال آهسته بین شرایط اولیه در حالت موازی و انتقال آن به حالت سری در این مطالعه پیشنهاد شده است(کلیربزم و لتینگا، ۲۰۰۰).

جر هورنگ وو و همکاران، در یک بررسی مشخصات مجموعه میکروبی فرآیند بی هوازی در تصفیه فاضلاب حاوی ترفتالات را بررسی نمودند. بررسی های ژن نشانگر سلولی نشان داد که از مجموع ۱۰۶ کلنی مشاهده شده، ۷۸/۵٪ از جمعیت میکروبی از گروه پروتوباکتريا (Proteobacteria) بوده اند. در این مطالعه باکتری های سبز بدون سولفور-green non-sulfur، ۷/۵٪ ؛ سینرژيست-green non-sulfur، ۰/۹٪ و گونه های ناشناخته ۱۳/۱٪ را تشکیل می دادند. بیشتر باکتری های پروتوباکتريا از گونه های جدید با منشاء ناشناخته بودند. گروه های جدید باکتریایی احتمالاً جمعیت اولیه باکتریایی هستند

ترفتالات در مرحله دوم شروع به کاهش نمود. نتیجه نهایی اینکه حذف اولیه استات و بنزوات می تواند در افزایش سرعت تجزیه ترفتالات موثر باشد (کلیربزم و همکاران، ۲۰۰۵).

در مطالعه پوفالی و همکاران، بررسی حذف مواد آلی فاضلاب PTA با استفاده از بستر ثابت رو به بالا مورد بررسی قرار گرفت که در این بررسی با بار آلی ورودی ۴ تا ۵ kgCOD/m<sup>۳</sup>.d، COD، ۶۲٪ و BOD، ۶۳٪ در این راکتور حذف شده و میزان ۴۴۲ کیلووات از طریق تولید بیوگاز تولید انرژی داشته است. همچنین این مطالعات نشان داد که تصفیه پذیری تکمیلی هوازی فاضلاب با استفاده از لجن فعال پس از این سیستم به خوبی انجام می گیرد (پوفالی و همکاران، ۲۰۰۷).

مانی کاواساگام و همکاران، در مقاله ای افزایش قابلیت تجزیه زیست ترفتالات اسید خالص (PTA) با استفاده از فرآیند انعقاد و لخته سازی به عنوان پیش تصفیه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان می دهد که از آنجا که p-xylene به عنوان بزرگترین ماده خام در تولید PTA به همراه مواد میانه همچون p-benzoic acid، toluic acid، ۴-phthalic acid و phthalic acid، carboxybenzaldehyde وجود دارند، این مواد باعث جلوگیری اکسیداسیون زیستی در فرآیند می شوند. لذا حذف این مواد تا آنجا که ممکن است قبل از فرآیند هوازی لازم خواهد بود. استفاده از فرآیند انعقاد و لخته سازی با مواد منعقد کننده سولفات آلومینیوم، پلی آلومینیوم کلراید، سولفات آهن، کلرید آهن به همراه پلی الکتروولیت های آنیونی انجام گردید. ترکیب پلی آلومینیوم کلراید با آهک و پلی الکتروولیت آنیونی حدود

بررسی نمودند. میزان بار لجن در لجن فعال حمل شده نسبت به COD، ۱/۰۹ بر روز و برای فاضلاب PTA، ۰/۲۹ بر روز بوده است. نتایج سنجش بیولوژیکی با استفاده از نرم افزار Ebis<sup>۳</sup> نشان می دهد که غلظت کشته ۵۰ در ۴۸ ساعت برای *Daphnia magna* برای غلظت PTA برابر با ۱/۱۰ برای خلوص شیمیایی PTA بوده است. این مطالعه نشان داد که حداقل ۵ نوع از آلاینده های بنزوات بعنوان سمیت موجود در فاضلاب PTA وجود دارند (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۵).

کلیربزم و همکاران، در مطالعه ای تصفیه پذیری محصولات ترفتالات اسید در فاضلاب را با استفاده از فرآیند بی هوازی بستر لجن جریان رو به بالا دو مرحله ای بررسی نمودند. فاضلاب ورودی مصنوعی دارای مواد آلی اصلی این نوع فاضلاب شامل استات، بنزوات و ترفتالات بود. برای مرحله دوم فرآیند بی هوازی از راکتورها بصورت موازی و برای بذر پاشی از ترفتالات معلق کشت شده استفاده شد، بدون اضافه نمودن لجن گرانولار متانوژنیک. مرحله اول فرآیند بی هوازی (راکتور UASB) بوسیله لجن گرانولار متانوژنیک بذر پاشی<sup>۱</sup> شد. از راکتورها در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد و pH ۷ بهره برداری انجام شد. پس از ۳۰۰ روز بهره برداری تفاوت بین توده های بیولوژیکی رشد کرده در راکتورهای هر دو مرحله بدست آمد. در مرحله اول استات و بنزوات به بار حجمی ۴۰ گرم COD بر لیتر در روز تبدیل شدند. که در این میان میزان حذف COD تا ۹۵٪ در ۲۵ روز اول بهره برداری نیز رسید. تجزیه ترفتالات در ۳۰۰ روز بهره برداری در مرحله اول بدست نیامد و میزان بار حجمی به ۹ گرم COD بر لیتر در روز از روز ۱۵۰ کاهش یافت. از روز اول میزان

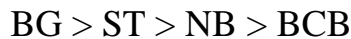
۱- seeding



و ۹۴٪ با غلظت ۴۰۰ میلی گرم در لیتر بوده است (بی تو لو و ارسلان، ۲۰۰۹).

ارسلان، در مطالعه ای میزان حذف سرخ کنگو را بوسیله (HMDA-GMA-g-PET) بررسی نمود. در این بررسی اثرات عوامل مختلف همچون بازده پیوند، pH، زمان تصفیه، غلظت اولیه رنگ و دما مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان جذب در HMDA-GMA-g-PET بیشتر از GMA-g-PET یا PET به تنهایی است. در این تحقیق بهترین زمان برای جذب ۶۰ دقیقه و بیشترین میزان جذب برای این ماده ۱۶/۶ میلی گرم در گرم بدست آمد (ارسلان، ۲۰۱۰).

ایچلو، در مطالعه ای میزان حذف رنگ پایه را بوسیله مخلوط اسید باقیمانده بدست آمده از تقطیر دی متیل ترفتالات بررسی نمود. آزمایشات جذب در دمای محیط انجام گردید. ظرفیت جذب بصورت



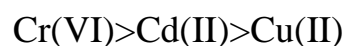
کاهش پیدا نمود. حداکثر جذب برای BCB, ST, BG, NB, به ترتیب ۱۰۷، ۲۲، ۱۷ و ۱۳ میلی گرم در گرم بوده است. بررسی سنتتیک واکنش نشان می دهد که نرخ واکنش از واکنش های شبه اول و شبه دوم پیروی کرده است ولی مدل واکنش های شبه اول بهتر مدل نرخ واکنش را نشان می دهد (ایچلو، ۲۰۱۰).

بی تو لو و تیموچین، در مقاله ای استفاده از گروه های آمید و آمین ترکیبات اتیلن ترفتالات در حذف رنگ سرخ کنگو از محیط آبی بررسی شد. در این بررسی اثرات عوامل مختلف همچون بازده پیوند، pH، زمان تماس و غلظت اولیه رنگ مورد ارزیابی قرار گرفت. بیشترین جذب در گروه آمید در pH برابر با ۳ و گروه آمین در pH برابر با ۵ اتفاق افتاده است. تعادل در

۶۳٪/۱ میزان COD و ۴۵٪/۲ BOD را کاهش داد. استفاده از فرآیند انعقاد و لخته سازی به همراه فرآیند اکسیداسیون زیستی هوازی مجموعاً ۹۷٪/۴ COD و ۹۹٪/۴ BOD را کاهش داد. ارزیابی میزان تجزیه پذیری زیستی نشان داد که نسبت BOD<sub>5</sub>/COD در حالت بهینه به ۰/۴۵ تا ۰/۶۷ افزایش پیدا کرد (مانی کاواساگام و همکاران، ۲۰۰۸).

توسط ارسلان و بی تو لو، در مطالعه ای قابلیت جذب رنگ های پایه بوسیله پلی مر ترفتالات اسید از محیط های آبی بررسی شد. در این بررسی اثرات عوامل مختلف همچون بازده پیوند، pH، زمان تصفیه، غلظت اولیه رنگ و دما مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان جذب با افزایش بازده پیوند، pH، زمان تصفیه، غلظت اولیه رنگ و دمای جاذب، افزایش می یابد. شدت جذب نیز با واکنش شبه مرتبه دوم مطابقت دارد. اطلاعات معادله نیز منطبق بر معادله جذب لاگمیر و حداکثر جذب برای متیلن بلو ۲۰۰ میلی گرم در گرم و قرمز پایه ۲۵۰ میلی گرم در گرم بوده است (ارسلان و بی تو لو، ۲۰۰۸).

بی تو لو و ارسلان، در مطالعه ای میزان قدرت جذب دو ماده (۴-VP) و (HEMA) ترکیب شده با PET را در جذب گرم شش ظرفیتی، مس دو ظرفیتی و کادمیوم دو ظرفیتی از محیط آبی بررسی نمودند. در این بررسی اثرات عوامل مختلف همچون بازده پیوند، pH، زمان تصفیه، غلظت اولیه رنگ و دما مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ترتیب میزان فلز جذب شده به صورت



بود. همچنین در pH ۳ میزان حذف کروم شش ظرفیتی برابر با ۹۹٪ با غلظت اولیه ۵ میلی گرم در لیتر

را بررسی کردند. راکتورهای مورد بررسی شامل راکتورهای اختلاط کامل هضم بی هوازی، بستر لجن با جریان رو به بالا، بستر سیال شده بی هوازی و فیلترهای بی هوازی بودند. در صنایع مختلف همچون نساجی با دمای بهره برداری ۳۵ درجه سانتی گراد، میزان حذف COD تا ۹۰ درصد برای راکتورهای بستر لجن با جریان روبه بالا و حدود ۸۲ درصد برای راکتورهای بستر سیال شده، بوده است (ارساهین و همکاران، ۲۰۱۱).

انامول و همکاران، در مطالعه ای میزان جذب متیل اورنج و متیلن بلو را با استفاده از مواد با ساختار آلی - فلز بررسی نمودند. در این مطالعه کاربرد ترفتالات آهن (MOF-۲۳۵) برای حذف رنگ های مضر با استفاده از فرآیند جذب مورد ارزیابی قرار گرفت. این مطالع نشان داد که ظرفیت این ماده خیلی بیشتر از کربن فعال است. همچنین مشخص شد در صورتیکه ماده ای که باید جذب شود گاز نباشد، این ماده می تواند بسیاری از رنگ های مضر را جذب نماید. عمل جذب در این محیط، با واکنشی خودبخودی و گرما گیر همراه است (انامول و همکاران، ۲۰۱۱).

ارسلان، در مطالعه ای کاربرد گلیسیدیل متاکریلات و متاکریل اسید به همراه اتیلن ترفتالات برای جذب و حذف متیلن بلو از محیط آبی را بررسی نمود. در این بررسی اثرات عوامل مختلف همچون بازده پیوند، pH، زمان حذف، غلظت اولیه رنگ و دمای واکنش مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که متیلن بلو در غلظت اولیه ۱۰ میلی گرم در لیتر، ۹۹٪ و در غلظت اولیه ۲۰۰ میلی گرم در لیتر ۹۳٪ حذف گردید. سنتیک واکنش شبه مرتبه دوم بهتر نوع واکنش را تشریح می نمود و اطلاعات استخراج شده ایزوترم فرندلیچ مطابقت کامل داشت (ارسلان، ۲۰۱۱).

محلول تقریباً برای گروه آمین در حدود ۶۰ دقیقه طول کشید. ظرفیت جذب گروه آمین ترکیبات اتیلن ترفتالات ۴۶/۵ میلی گرم در گرم و بیشتر از گروه آمید بود. مطالعات نشان داد که استفاده از گروه آمین ترفتالات اتیلن در حذف رنگ سرخ کنگو از محلول های آبی بسیار کارایی دارد (بی تو لو و تیموچین، ۲۰۱۰).

پرکینز و همکاران، در خصوص بررسی ژنتیک باکتری های موجود در گرانول لجن سه نوع راکتور بی هوازی رو به بالا که فاضلاب PTA را تصفیه می کردند، نشان دادند که بیشتر جمعیت میکروبی گرانول های لجن از نوع Syntrophus و Pelotomaculum بوده که بر روی راندمان حذف ترفتالات و بنزوات اثرگذار بوده اند. در شرایط بی هوازی بنزوات بوسیله باکتری های syntrophic و باکتری های دریافت کننده هیدروژن مانند Desulfovibrio و hydrogenotrophic و methanogens؛ می تواند تجزیه شود (پرکینز و همکاران، ۲۰۱۱).

دارامولا و همکاران، مطالعه مقایسه ای بین تصفیه بی هوازی فاضلاب PTA در شرایط ترموفیلیک و مزوفیلیک انجام دادند. در این مطالعه قابلیت تجزیه بیولوژیکی، سنتیک واکنش، طراحی بیوراکتور برای فاضلاب PTA انجام گردید. نتیجه این مطالعه نشان می دهد که فرآیند بی هوازی یک مرحله ای در شرایط ترموفیلیک به همراه فرآیند انعقاد و لخته سازی به عنوان پیش تصفیه می تواند به عنوان یک روش اقتصادی در تصفیه فاضلاب PTA و رساندن آن به استاندارد بین المللی مورد استفاده قرار بگیرد (دارامولا و همکاران، ۲۰۱۱).

ارساهین و همکاران، در مطالعه ای کاربرد انواع راکتورهای بی هوازی در تصفیه فاضلاب های صنعتی

دانسیتته پایین در سطح و دانسیته بالا در کف (یوجین و همکاران، ۲۰۱۲).

در مطالعه ای یانگ شین و جی بونگ، حذف استات، بنزووات، ترفتالات و تولوات از فاضلاب تولید ترفتالات اسید خالص را با استفاده از بستر لجن گرانول منبسط شده بی هوازی دو مرحله ای بررسی نمودند. این مطالعه با بررسی اکسیداسیون مواد آلی (COD، تولید گاز، تطبیق پذیری باکتریایی و پایداری لجن گرانول انجام شد. متوسط بازده حذف وقتی که شدت بار آلی ۱ کیلوگرم COD بر مترمکعب در روز و غلظت ترفتالات و تولوات ۳۵۱ میلی گرم درلیتر بودند، ۹۳/۵٪ و متوسط بازده حذف وقتی که شدت بار آلی ۱۵ کیلوگرم COD بر مترمکعب در روز و غلظت ترفتالات و تولوات ۵۲۶ میلی گرم درلیتر بودند، ۷۲/۷٪ بوده است. در این شرایط میزان گاز متان ۰/۳ لیتر بر گرم COD تولید شد. حداکثر ۴/۸ گرم COD در لیتر برای این راکتور می تواند مزاحمت ایجاد نماید (یانگ شین و جی بونگ، ۲۰۱۴).

هایکان و همکاران، در یک بررسی از فیبر پلیمری به عنوان حامل بیوفیلیم و مواد غشایی برای تصفیه فاضلاب استفاده نمودند. مطالعات نشان داد که استفاده از فیبر پارچه ای اتیلن ترفتالات با آنتراکینون ۲ سولفانات (AQS) به عنوان واسطه می تواند در حذف ترکیبات آزو بسیار موثر باشد. با این روش حدود ۹۳/۷٪ از رنگ آزو حذف گردید و لذا برای تصفیه فاضلاب در این بررسی پیشنهاد گردید (هایکان و همکاران، ۲۰۱۴).  
ورما، در مقاله ای به تصفیه فیزیکوشیمیایی فاضلاب های پتروشیمی حاوی ترفتالات اسید خالص (PTA) پرداخته است. یک محلول نرمال از

یانگ یانگ و همکاران، در مقاله ای به قابلیت تجزیه بی هوازی ترفتالات اسید موجود فاضلاب صنعتی با استفاده از برگشت جامدات در بستر سیال شده پرداختند. مطالعات نشان داد که در یک دوره ۳۴ روزه بهره برداری سیستم به حالت پایدار رسید و COD ناشی از ترفتالات اسید با این روش بین ۶۰ تا ۷۰٪ کاهش یافت و شدت بار آلی با روندی افزایشی از ۷/۳۷ به ۱۸/۵۲ کیلوگرم COD بر مترمکعب در روز رسید. همچنین نتایج مطالعه حاکی از پربازده بودن این سیستم و کاهش زمان ماند به ۸ ساعت برای حذف COD ناشی از ترفتالات اسید بوده است (یانگ یانگ و همکاران، ۲۰۱۲).

چگونیان و همکاران، در مطالعه ای استفاده از غشاهای ترفتالات اسید سولفونات شده را در حذف رنگ پایه بررسی نمودند. غشای ساخته شده دارای منافذ ۳۰۰ نانومتر تا ۱ میکرون بود. استفاده از این نوع فیبر توانست تا ۹۸٪ درصد از رنگ های پایه را حذف نماید. در این روش تعادل جذب در محلول با ایزوترم های جذب لانگمیر و فرندلیچ مطابقت داشت (چگونیان و همکاران، ۲۰۱۲).

یوجین و همکاران، در مقاله ای فرآیند حذف مواد خارجی در جریان تغذیه پس از مصرف ترفتالات اسید را بررسی نمودند. روش های پیشنهادی در این مطالعه شامل دپلیمرزایی جریان تغذیه ترفتالات اسید از مواد ذوب شده با ویسکوزیته ۰/۰۰۱ تا ۱۰۰۰ پویز، ورود مواد ذوب شده در تجهیزات جداسازی، شناورسازی نمودن مواد خارجی با دانسیته پایین، ته نشینی مواد خارجی با دانسیته بالا و حذف پلی اتیلن ترفتالات بین مواد با

اسید سولفوریک ( $\text{pH}=2$ ) در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، می تواند ۵۳/۲٪ از COD را حذف نماید. یعنی بیشتر از ۹۰٪ از ترفتالات اسید و بیشتر از ۶۰٪ از بنزوئیک اسید را در ترسیب جامدات حذف می نماید. نتیجه تصفیه متعاقب لجناب با کربن فعال گرانول، حذف بیشتر از ۹۹٪ ترفتالات اسید و بنزوئیک اسید بوده که در آن ۸۲/۷٪ از COD حذف شده است (ورما، ۲۰۱۴). ادوارد و همکاران، در مطالعه ای تصفیه جریان های مختلط در تولید PTA و PET را بررسی و نحوه بازیافت آنها را پیشنهاد دادند. در این مطالعه با استفاده از فرآیند اسمز معکوس جریان های تصفیه شده در تولید PTA و PET برای مصرف مجدد پیشنهاد داده شد. نتایج نشان می دهد که استفاده از فرآیند اسمز معکوس در تصفیه فاضلاب تصفیه شده و استفاده مجدد از محصول آن می تواند بسیار اقتصادی باشد و از طرفی کل فرآیند در راستای حفظ محیط زیست خواهد شد (ادوارد و همکاران، ۲۰۱۵).

ورما و همکاران، در یک بررسی استفاده از خاکستر باگاس در تصفیه فاضلاب صنعتی حاوی ترفتالات اسید خالص را مطالعه نمودند. در این مقاله عنوان گردید که تصفیه اسیدی این چنین فاضلاب هایی می تواند بیش از ۵۰٪ از COD را حذف نماید. همچنین استفاده از جاذب بیولوژیکی خاکستر باگاس برای کاهش COD بررسی شد. میزان pH اولیه برابر با ۴، میزان دوز باگاس خاکستر شده برابر با ۱۵ گرم در لیتر و زمان تماس برابر با ۳ ساعت بود. تصفیه بوسیله فرآیند جذب باعث حذف بیش از ۵۸/۲٪ COD شد که برابر با ۹۶/۳٪ ترفتالات اسید و ۹۹/۹٪ بنزوئیک اسید بوده است (ورما و همکاران، ۲۰۱۶).

کریشان و باشش وار، در مقاله ای به روش های بیولوژیکی و فیزیکوشیمیایی مورد استفاده در تصفیه

فاضلاب حاوی ترفتالات اسید خالص پرداخته اند. در این بررسی ساختار، مراحل فرآیند، مکانیسم واکنش، پارامترهای طراحی و بهره برداری روش انعقاد الکتریکی که در تصفیه این نوع فاضلاب ها کاربرد دارد، مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین این مطالعه نشان داد که روشی همچون اکسیداسیون پیشرفته می تواند در حذف آلاینده های این نوع فاضلاب ها بسیار موثر باشد (کریشان و باشش وار، ۲۰۱۷).

در مطالعه ای خرم و همکاران، با استفاده از ترکیبات پلی اتیلن ترفتالات به عنوان غشای جاذب، حذف کروم مورد بررسی قرار گرفت. این نانو فیبر از پسماندهای بطری های پلی اتیلن ترفتالات تهیه شد. هدف بررسی میزان جذب کروم شش ظرفیتی از محیط های آبی بوده است. مطالعات نشان داد که در مدت ۵ دقیقه تماس و pH برابر با ۴ حدود ۹۳/۷٪ بازده جذب صورت گرفته است (خرم و همکاران، ۲۰۱۷).

در یک مقاله، چارپی و همکاران، رویکرد مدل سازی و کنترل رسوب در راکتورهای غشایی بیولوژیکی بی هوازی با استفاده از ترکیبات پلی اتیلن ترفتالات در تصفیه فاضلاب شهری مورد بررسی قرار دادند. برای مدل بیولوژیکی از AM<sup>2</sup>b و برای مدل رسوب از مدل فیلترهای غشایی استفاده شد. داده های مدل از نتایج مدل در مقیاس آزمایشگاهی بدست آمد. بهره برداری راکتور در ۲۵۰ روز انجام شد. مدل سازی مواد معلق و غلظت COD محلول و غلظت های تولیدات میکروبی محلول و شدت تولید متان در حالت پایدار؛ با ضریب رگرسیون ۹۵٪ ( $R^2$ ) انجام شد. مطالعات نشان داد که مدل می تواند مکانیسم رسوب در اثر حالت کیک قرار گرفتن پیش بینی کند (چارپی و همکاران، ۲۰۱۸).

در مطالعه ای، سونو و کاوامورا، بستر منبسط کربن فعال گرانولی را برای حذف ترفتالات در فاضلاب حوی

کلنی های باکتری های موجود در تصفیه خانه (۷٪) اختصاص یافت. بر اساس این یافته ها می توان عمده پارامترهای مورد بررسی در فاضلاب صنعتی PTA، را به ترتیب مواد آلی، مواد محلول و مواد معلق رتبه بندی نمود. همچنین رتبه اول مطالعات در خصوص روش منتخب جهت حذف آلاینده ها در تصفیه خانه های فاضلاب صنعتی PTA، روش تصفیه بی هوازی در این نوع فاضلاب با ۴۸٪ است. رتبه های دوم تا ششم نیز به فرآیند جذب (۲۲٪)، استفاده از روش های فیزیکی شیمیایی (۱۷٪)، تلفیق روش بی هوازی - هوازی (۹٪) و بررسی نوع کلنی های باکتری های موجود در تصفیه خانه (۳٪) و شناسایی سمیت در فرآیند بیولوژیکی و اسمز معکوس هر کدام (۲٪) بوده است. این مطالعات نشان می دهد که فرآیند بی هوازی در این نوع فاضلاب ها کارایی خوبی داشته بطوری که در بیشتر مقالات، این نوع فرآیند جهت حذف مواد آلی بررسی شده و نتیجه رضایت بخشی نیز در این زمینه کسب شده است. برای فاضلاب های صنعتی حاوی ترکیبات ترفتالات استفاده از فرآیندهای خنثی سازی، ته نشینی اولیه، بی هوازی و هوازی می تواند به عنوان یک فرآیند قابل اطمینان در تصفیه این نوع فاضلاب ها استفاده شود.

این ماده بررسی نمودند. تجزیه بیولوژیکی بی هوازی ترفتالات و تولید گاز متان در غلظت ۱۵۰ میلی گرم از این ماده رخ می دهد. مطالعات نشان داد که استفاده از کربن فعال گرانولی می تواند حدود ۹۰٪ COD را با بار آلی ۴ کیلوگرم بر مترمکعب در روز و شدت بار ۱ کیلوگرم بر مترمکعب در روز ترفتالات حذف نماید (سونو و کاوامورا، ۲۰۱۹).

در مقاله تحقیقی دونگ و همکاران، تصفیه پذیری بیولوژیکی فاضلاب های پتروشیمی مخلوط شده بر پایه سمیت حاد و مشخصات تجزیه زیستی پذیری بررسی شد. مطالعات نشان داد که ترکیب PTA+PET و PTA+PE دارای اثرات متناقض بوده در حالیکه PTA+PET+PE نشان از اثرات افزایشی دارد. نتایج تجزیه بیولوژیکی بی هوازی و شدت جذب ویژه اکسیژن نشان می دهد که فرآیند تجزیه زیستی آلاینده ها به دروه اولیه و بازیافت آنها بستگی دارد. آنالیز نسبت بین سمیت و قابلیت تجزیه زیستی در حالت هوازی اثرات بازدارنده ای نسبت به حالت بی هوازی دارد (دونگ و همکاران، ۲۰۲۰).

از کل مقالات بررسی شده، رتبه اول مطالعات (۴۱٪) در خصوص بررسی میزان حذف COD در تصفیه خانه های فاضلاب صنعتی PTA بوده است، رتبه های دوم تا پنجم نیز به حذف مواد محلول (۱۴٪)، حذف مواد معلق (۱۱٪)، حذف فلزات سنگین (۹٪) و بررسی نوع

## مراجع

of basic dyes from aqueous solutions, Journal of Applied Polymer Science, Volume 110, Issue 1, pp. 30-38.

1. Arslan Metin, Mustafa Yiğitoğlu, 2008, Use of methacrylic acid grafted poly (ethylene terephthalate) fibers for the removal

9. Dong Wang, Yuanyuan Zuoa, Chunsheng Qiu, Nannan Liua, Chenchen Wang, Shaopo Wang, Jingjie Yua, Liping Suna, 2020, Investigations on the biological treatment of mixed petrochemical industrial effluents based on acute toxicity and biodegradation characteristics, *Desalination and Water Treatment* (179), pp.75–82.
10. Edward Robert, Neate Finbar, Gerald McDonnell, Alexander Stuart Coote, 2015, Combined PTA and PET plant waste water purification and recycle, <https://patents.google.com/patent/GB2525989A/en>
11. Enamul Haque, Jong Won Jun, Sung HwaJ hung, 2011, Adsorptive removal of methyl orange and methylene blue from aqueous solution with a metal-organic framework material, iron terephthalate (MOF-235), *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 185, Issue 1, pp. 507-511, Elsevier.
12. Ersahin Mustafa Evren, Hale Ozgun, Recep Kaan Dereli and Izzet Ozturk, 2011, Anaerobic Treatment of Industrial Effluents: An Overview of Applications, *Waste Water - Treatment and Reutilization*, Prof. Fernando Sebastiã;n GarcÃa Einschlag (Ed.), ISBN: 978-953-307-249-4, InTech,
13. Eugene J. Burkett, Randy S. Jenks, 2012, Process for the removal of foreign materials from a post-consumer polyethylene terephthalate feed stream, <https://patents.google.com/patent/US5223544A/en>
14. Güçlü G., 2010, Removal of basic dyes from aqueous solutions by dimethyl terephthalate distillation residue, *Desalination*, Volume 259, Issues 1–3, pp.53-58.
15. Haikun Zhang, Hong Lu, Sheng Zhang, Guangfei Liu, Gang Li, Jiti Zhou, Jing Wang, 2014, A novel modification of poly (ethylene terephthalate) fiber using anthraquinone-2-sulfonate for accelerating azo
2. Arslan Matin, 2010, Use of 1,6-diaminohexane-functionalized glycidyl methacrylate-g-poly (ethylene terephthalate) fiber for removal of acidic dye from aqueous solution, *Fibers Polym*, 11, pp.177–184.
3. Arslan Metin, 2011, Preparation and application of glycidyl methacrylate and methacrylic acid monomer mixture-grafted poly (ethylene terephthalate) fibers for removal of methylene blue from aqueous solution, *Journal of Applied Polymer Science*, Volume119, Issue5, pp. 3034-3042.
4. Bal, A. S., N. N. Dhagat, 2001, Up flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor-A Review, *Indian J. Environ. Health*;43(2): pp.1-82.
5. Cervantes Francisco J., Spyros G. Pavlostathis, Adrianus C.van Haadel, 2006, *Advanced Biological Treatment Process for Industrial Wastewater, Principles and Applications*, IWA Publishing.
6. Charfi Amine, Eunyoung Park, Muhammad Aslama, Jeonghwan Kim, 2018, Particle-sparged anaerobic membrane bioreactor with fluidized polyethylene terephthalate beads for domestic wastewater treatment: Modelling approach and fouling control, *Bioresource Technology*, Volume 258, pp. 263-269.
7. Chegoonian P., M. Feiz, S. A. Hosseini Ravandi, S. Mallakpour, 2012, Preparation of sulfonated poly (ethylene terephthalate) submicron fibrous membranes for removal of basic dyes, *Journal of Applied Polymer Science*, Volume124, Issue S1, Special Issue: Membranes.
8. Daramola, M.O., Aransiola, E.F., Adeogun, A.G., Mar.2011, Comparative study of thermophilic and mesophilic anaerobic treatment of purified terephthalic acid (PTA) wastewater, *Jr. Natural Science*, Vol.3, No.5, pp. 371-378.

22. Kleerebezem, R., Lettinga, G., 2000, High-rate anaerobic treatment of purified terephthalic acid wastewater, *Water Science and Technology*, Vol. 42, Nos 5–6, pp. 259–268, IWA Publishing.
23. Kleerebezem Robbert, Judith Beckers, Look W Hulshoff Pol, Gatze Lettinga, 2005, High Rate Treatment of Terephthalic Acid Production Wastewater in a Two-Stage Anaerobic Bioreactor, *Biotechnol Bioeng*, 20;91(2):169-79. doi: 10.1002/bit.20502.
24. Krishan KishorGarg, Basheshwar Prasad, 2017, Treatment of toxic pollutants of purified terephthalic acid waste water: A review, *Environmental Technology & Innovation*, Volume 8, pp. 191-217.
25. Manikavasagam Karthik, Nishant Dafale, Pradyumna Pathe, Tapas Nandy, 2008, Biodegradability enhancement of purified terephthalic acid wastewater by coagulation–flocculation process as pretreatment, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 154, Issues 1–3, Pages 721-730.
26. Macarie, H., A. Noyola, J.P. Guyot, 1992, Anaerobic treatment of a petrochemical wastewater from terephthalic acid plant, *Wat. Sci. Tech.* Vol. 25, No. 7, pp. 223-235.
27. Noyola A., Hervé Macarie, J.-P Guyot, 1990, Treatment of terephthalic acid plant wastewater with an anaerobic fixed film reactor, *Environmental Technology*, Taylor & Francis: STM, Behavioural Science and Public Health Titles, 11 (3), pp. 239 – 248.
28. Perkins, S. D., N.B. Scalfone, L.T. Angenent, Oct. 2011, Comparative 16S rRNA gene surveys of granular sludge from three upflow anaerobic bioreactors treating purified terephthalic acid (PTA) wastewater, *Water Sci & Technol*; 64 (7); pp. 1406–1412.
- dyes and nitroaromatics removal, *Separation and Purification Technology*, Vol. 132, pp. 323-329, Elsevier.
16. Jer-Horng Wu, Wen-Tso Liu, I-Cheng Tseng, Sheng-Shung Cheng, Feb. 2001, Characterization of Microbial Consortia in a Terephthalate-Degrading Anaerobic Granular Sludge System, *Jr. Microbiology*, 147(Pt 2), pp. 373-382. doi: 10.1099/00221287-147-2-373.
17. Khorram Mohammad, Ahmad Mousavi, Nasir Mehranbod, 2017, Chromium removal using adsorptive membranes composed of electrospun plasma-treated functionalized polyethylene terephthalate (PET) with chitosan, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 5, Issue 3, pp. 2366-2377.
18. Kleerebezem Robbert, Joost Mortier, Look W. Hulshoff, Pol Gatze Lettinga, 1997, Anaerobic pre-treatment of petrochemical effluents: Terephthalic acid wastewater, *Water Science and Technology*, Vol. 36, Issues 2–3, pp. 237-248, Elsevier.
19. Kleerebezem, R., 1999, Anaerobic Treatment of Phthalates, *Microbiological and Technological Aspects*, Doctoral Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
20. Kleerebezem Robbert, Maarit Ivalo, Look W. Hulshoff Pol, Gatze Lettinga, 1999, High Rate Treatment of Terephthalate in Anaerobic Hybrid Reactors, *Biotechnol Prog.*, Volume15, Issue3, pp. 347-357
21. Kleerebezem, R., L.W. Hulshoff pol, G. Lettinga, Mar.1999, The Role of Benzoate in Anaerobic Degradation of Terephthalate, *Applied and Environmental Microbiology*, pp. 1161–1167, American Society for Microbiology.

- Wastewater from Terephthalate Manufacturing, American Society for Microbiology Journals, Applied and Environmental Microbiology, Biodegradation, DOI: 10.1128/AEM.70.3.1617-1626.2004.
36. Yangyang Feng, Beibei Lu, Yu Jiang, Yinwen Chen, Shubao Shen, 2012, Anaerobic Degradation of Purified Terephthalic Acid Wastewater Using a Novel, Rapid Mass-Transfer Circulating Fluidized Bed, *Water Sci Technol.*; 65(11):pp. 1988-93, doi: 10.2166/wst.2012.098.
37. Yiğitoğlu, M., Temoçin, Z., 2010, Removal of benzidine-based azo dye from aqueous solution using amide and amine-functionalized poly (ethylene terephthalate) fibers, *Fibers Polym.* 11, pp. 996–1002.
38. Yiğitoğlu, M., Arslan, M., 2005, Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solutions using 4-vinyl pyridine grafted poly (ethylene terephthalate) fibers, *Polymer Bulletin*, 55, pp.259–268.
39. Yiğitoğlu M, Arslan M., 2009, Selective removal of Cr(VI) ions from aqueous solutions including Cr(VI), Cu(II) and Cd(II) ions by 4-vinyl pyridine/2-hydroxyethyl-methacrylate monomer mixture grafted poly (ethylene terephthalate) fiber, *J. Hazard Mater.*;166(1): pp.435-444.
40. Young-Shin Lee, Gee-Bong Han, 2014, Treatment of Wastewater from Purified Terephthalic Acid (PTA) Production in a Two-stage Anaerobic Expanded Granular Sludge Bed System, *Environmental Engineering Research*; 19(4): pp. 355-361.
41. ZHANG Xu-xiang, WAN Yu-qiu, CHENG Shu-pei, SUN Shi-lei, ZHU Cheng-jun, LI Wei-xin, ZHANG Xiao-chun, WANG Gui-lin, LU Jian-hua, LUO Xiang, GU Ji-dong, 2005, Purified terephthalic acid wastewater biodegradation and toxicity, PhD Fund of the National Education Ministry of China, <http://www.paper.edu.cn>.
29. Pophali, G.R., R. Khan, R.S. Dhodapkar, T. Nandy, S. Devotta, 2007, Anaerobic-aerobic treatment of purified terephthalic acid (PTA) effluent; a techno-economic alternative to two-stage aerobic process, *Journal of Environmental Management*, No.85, pp. 1024–1033, Elsevier.
30. Polanco, F. Fdz., M.D. Hidalgo, M. Fdz. Polanco, P.A. García Encina, 1999, Anaerobic treatment of Polyethylene Terephthalate (PET) wastewater from lab to full scale, *Water Science and Technology*, Vol. 40, Issue 8, pp. 229-236, Elsevier.
31. Rusten Bjørn, Chandler H. Johnson, Steve Devall, Dennis Davoren, Bryan S. Cashiont, 1999, Biological pretreatment of a chemical plant wastewater in high-rate moving bed biofilm reactors, *Water Science and Technology*, Volume 39, Issues 10–11, Pages 257-264.
32. Tsuno Hiroshi, Masasumi Kawamura, 2019, Development of an Expanded-Bed GAC Reactor for Anaerobic Treatment of Terephthalate-Containing Wastewater, *Water Res*; 43(2): pp. 417-22, The National Center for Biotechnology Information.
33. Verma Shilpi, 2014, Treatment of Petrochemical Wastewater by Acid Precipitation and Carbon Adsorption, *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste / Volume 18, Issue 3*,
34. Verma Shilpi, Basheshwar Prasad, ndra Mani Mishra, 2016, Treatment of Purified Terephthalic Acid Wastewater Using a Bio-Waste-Adsorbent Bagasse Fly Ash (BFA), *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*;24(2): pp.1953-1966.
35. Yan-Ling Qiu, Yuji Sekiguchi, Hiroyuki Imachi, Yoichi Kamagata, I-Cheng Tseng, Sheng-Shung Cheng, Akiyoshi Ohashi, Hideki Harada, 2004, Identification and Isolation of Anaerobic, Syntrophic Phthalate Isomer-Degrading Microbes from Methanogenic Sludges Treating



## **Efficient wastewater treatment methods for petrochemical industrials producing Poly Ethylene Terephthalate (PET) - A review**

### **Abstract**

Findings the efficient method for removing of terephthalate compounds from industrial wastewaters is considered a big challenge in the world. In this study, an efficient Iranian and worldwide methods to remove terephthalate compounds from petrochemical industrial wastewaters were investigated. In this regard, no studies with Persian languages were found. To review the studies conducted in the rest of the world, articles were searched with Google engine in databases including springer; science direct; online library Wiley; iwap online and.... 40 articles were included in this study. These articles were categorized and ranked based on the type of contaminant and the selected removal methods. The studies were ranked as fallow; 1: COD removal efficiency industrial wastewater including PTA (41%), 2: removal of soluble materials (14%), 3: removal of suspended solids (11%), 4: removal of heavy metal (9%) and investigation the type of bacterial colonies in the treatment plants (7%). These study showed that the anaerobic process has a good efficiency to treat this type of wastewater, so, has been mostly studied to remove organic matter and a satisfactory result has been obtained in this field. For industrial wastewaters containing terephthalate compounds, the neutralization, initial sedimentation, anaerobic and aerobic processes can be used as a reliable process to treat this type of wastewater.

***Key words:*** *Petrochemical wastewater, Terephthalate acid, PET, CTA, PTA*

