

## The Effect of Concentration of Paranitrophenol on Efficiency of the Aerobic Biological Wastewater Treatment and the Production of Excess Sludge

Afshin Takdastan<sup>1</sup>, Ali Akbar Azimi<sup>2</sup>, Ferdos Karimi<sup>3</sup> and Naghmeh Orooji<sup>4\*</sup>

1- Associate Professor, Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

2- Department of Environmental and Civil Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran.

3- M.Sc. in Civil Engineering, Managing Director of Ahvaz Water and Wastewater Company, Ahvaz, Iran.

4- Ph.D. Student, Department of Environmental Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

\* Corresponding Author, Email: n.oroji2007@gmail.com

Received: 16/03/2018

Revised: 09/12/2018

Accepted: 12/12/2018

### Abstract

The aim of this study is to reduce p-nitrophenol from wastewater using an SBR reactor for biological treatment of sewage and to study the effect of concentration of p-nitrophenol in wastewater on reduction of biomass production and sludge volume index. For this study, two SBR reactors with a volume of 20 liters with on-line control system were used. Once the stable conditions in the reactors are met, sampling and testing of parameters such as COD, MLSS, MLVSS, PH, DO, SV1, SOUR, and p-nitrophenol (PNP), as well as the rate of reduction in production of biological solids were performed during the 12 months of research. The results showed that for the inserted amount of more than 100 mg/l of PNP, the COD decreased from 772 to 193 mg/l while the COD removal efficiency decreased to 75% and the PNP concentration decreased to 36.7 mg/l. The biodegradable solids decreased by about 49.5% relative to the control reactor. On the other hand, in this dose of PNP, the amount of SOUR was 31 mg O<sub>2</sub>/h, and VSS and the SVI value was less than 48 ml/g. For the PNP dose of 150 mg/l, no biosolids was produced in the reactor but COD and PNP levels increased in the effluent. The presence of toxic organic compounds such as p-nitrophenol in high concentrations in the wastewater while reducing the removal efficiency of the organic matter decreases the biological solids and thus reduces the amount of excess sludge.

**Keywords:** Biomass production, Biological sludge, PNP, SBR reactor, SOUR.

## اثر غلظت پارانیتروفنل موجود در فاضلاب بر کارایی فرایند تصفیه بیولوژیکی هوای و میزان لجن مازاد دفعی

افشین تکدستان<sup>۱</sup>، علی اکبر عظیمی<sup>۲</sup>، فردوس کریمی<sup>۳</sup> و نغمه عروجی<sup>۴\*</sup>

۱- دانشیار، مرکز تحقیقات فناوریهای زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران.

۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران، مدیر عامل و رئیس هیئت مدیره شرکت آب و فاضلاب اهواز، اهواز، ایران.

۴- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

\* نویسنده مسئول، ایمیل: n.oroji2007@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۵

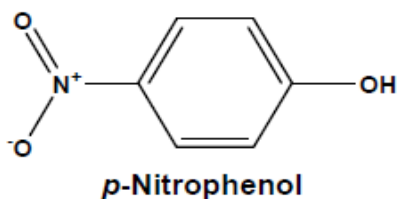
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۰۹/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۱

### چکیده

هدف این مطالعه کاهش پارانیتروفنل از پساب با استفاده از فرایند بیولوژیکی هوای تصفیه فاضلاب به روش SBR و اثر غلظت پارانیتروفنل موجود در فاضلاب بر میزان کاهش لجن تولیدی و قابلیت ته نشینی لجن است. در این تحقیق از ۲ راکتور SBR به حجم ۲۰ لیتر که توسط سیستم برخط کنترل می شود استفاده شد. پس از ایجاد شرایط پایدار در راکتورها در خلال ۱۲ ماه تحقیق، نمونه برداری و آزمون پارامترهایی از قبیل COD، MLSS، MLVSS، PH، DO، SV1، SOUR، SVI، SOUR، و پارانیتروفنل (PNP) و در نهایت میزان کاهش تولید جامدات بیولوژیکی انجام شد. نتایج نشان داد که در میزان تزریقی بیش از ۱۰۰ میلی گرم در لیتر به راکتور میزان COD از ۷۷۲ به ۱۹۳ میلی گرم در لیتر رسید و راندمان حذف COD به ۷۵ درصد و غلظت PNP به ۳۶/۷ میلی گرم بر لیتر کاهش یافت. میزان جامدات بیولوژیکی قابل ته نشینی در حدود ۴۹/۵ درصد نسبت به راکتور شاهد کاهش یافت. از طرفی در این دوز تزریقی PNP میزان SOUR به ۳۱ mgO<sub>2</sub>/h.gVSS و SVI به کمتر از ۴۸ ml/g رسید. در دوز ۱۵۰ میلی گرم در لیتر PNP به راکتور هیچ لجن بیولوژیکی تولید نشد، اما میزان COD و PNP در پساب خروجی افزایش یافت. وجود ترکیبات آلی سمی و مقاوم نظیر پارانیتروفنل در فاضلاب در غلظت های بالا، اگرچه باعث کاهش راندمان حذف مواد آلی شده، اما منجر به کاهش جامدات بیولوژیکی نیز می شود و در نتیجه میزان لجن دفعی کاهش می یابد.

**واژه های کلیدی:** راکتور SBR، لجن بیولوژیکی، پارانیتروفنل، تولید بیومس، SOUR.



شکل ۱- فرمول شیمیایی پارا نیترو فنل (Suja et al., 2012)

وارد می‌شود از رشد جمعیت‌های میکروبی تجزیه کننده موجود در فاضلاب جلوگیری می‌کند. توانایی میکروب‌ها در تجزیه ترکیبات فنلی از جمله PNP توسط محققان بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است. سرعت تجزیه بیولوژیکی چندین ترکیب فنلی از جمله PNP در شرایط هوازی توسط سیستم لجن فعال توسط محققین بررسی شد. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که فرایندهای بیولوژیکی هوازی از جمله لجن فعال به‌طور موثری برای تصفیه ترکیبات فنلی از جمله PNP قابل کاربرد است (Bhatti et al., 2002; Takdastan et al., 2010; Liu, 2003; Low and Chase, 2003). اگر فرایند لجن فعال به ترکیبات فنلی از جمله PNP سازش داده شود میکروب‌ها قادرند با سرعت مناسب ترکیبات فنلی را تجزیه کنند. فرایند لجن فعال با اختلاط کامل برای تصفیه ترکیبات فنلی با بار ۲/۶ کیلوگرم بر مترمکعب بر روز به کار رفته است که براساس نتایج، کارایی این راکتور در حذف فنل ۸۹ تا ۹۵٪ گزارش شد (Saby et al., 2009; Takdastan et al., 2002). در غلظت‌های در حد میلی‌گرم بر لیتر برای اکثر میکروارگانیسم‌های موجود در فاضلاب سمی است، اما تحمل غلظت‌های بسیار بالاتر در محدوده ۱۰۰ mg/l را می‌توان از طریق سازگاری در تصفیه فاضلاب ایجاد نمود (Takdastan and Takdastan et al., 2013; Takdastan et al., 2003; Yang et al., 2003; Rocher et al., 2001; Pazoki, 2011). نرخ مصرف مواد آلی موجود در فاضلاب و رشد میکروبی می‌تواند در اثر وجود ترکیبات بازدارنده از جمله PNP کند شود (Liu, 2000). مواد شیمیایی از جمله PNP ممکن است اثرات نامطلوبی بر فرایندهای تصفیه بیولوژیکی نیز داشته باشند. مهار سمی گاهی مشکلی جدی در واحدهای تصفیه کننده پساب‌های صنعتی از جمله لجن فعال وارد می‌سازد (Liu and Tay, 2000; Alavi et al, 2015). اثرات عمده مواد سمی PNP بر فرایند بیولوژیکی لجن فعال عبارتند از: کاهش حذف BOD و COD، کاهش راندمان جداسازی جامدات بیولوژیکی

بسیاری از ترکیبات فنلی از جمله پارانتیروفنل سمی و خطرناک هستند. میزان حلالیت این ماده در آب حداکثر ۱۵ گرم بر لیتر است (Fazelipour et al., 2011; Takdastan et al., 2009; Pazoki et al., 2010). طبق استاندارد سازمان محیط‌زیست و WHO حداکثر غلظت PNP در آب آشامیدنی نباید از ۱ میکروگرم بر لیتر فنل بیشتر باشد (حسینی پناه و تکدستان، ۱۳۹۴; Salehi et al., 2010; کردانی و تکدستان، ۱۳۹۴). در بررسی سم‌شناسی WHO (1995) بر روی فنل و ترکیبات فنلی از جمله PNP این ترکیبات را جزء ترکیبات سرطان‌زا و جهش‌زایی ژنتیکی معرفی نمود. این ترکیب دارای اثر سمی شدید در تولید مته‌مگلوبین، باعث آسیب به کبد و کلیه، کم خونی، تحریک پوست و چشم و مسمومیت‌های سیستمیک می‌شود (Goh et al., 2009; Martín-Hernández et al., 2009).

نیتروفنل‌ها به‌طور گسترده‌ای در صنایع پتروشیمی، از جمله رنگ، پلاستیک، لاستیک، پالپ، آفت‌کش‌ها و تولید رنگ‌ها استفاده می‌شود. حضور نیتروفنل‌ها در فاضلاب صنعتی نگرانی‌های زیادی در سال‌های اخیر به دلیل افزایش تخلیه فاضلاب و سمیت نیترو فنول‌ها به منابع آب پذیرنده ایجاد کرده است (Martín-Hernández et al., 2012; Suja et al., 2012). با توجه به تحقیقات مختلف در جهان از انواع روش‌های فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی برای حذف ترکیبات فنلی از جمله پارانتیروفنل استفاده شد. از روش‌های فیزیکی حذف می‌توان فرایندهای غشایی نظیر اسمز معکوس و جذب سطحی و از روش‌های شیمیایی، سوپرکلریناسیون، ازناسیون، اکسیداسیون پیشرفته (AOP) و الکترو کواگولاسیون و سونوشیمیایی و نانو تکنولوژی را می‌توان نام برد. پنتاکلوروفنل (PCP) و دیگر فنل‌های کلرینه در فاضلاب به‌روش هوازی و بی‌هوازی قابل تجزیه بیولوژیکی هستند. امروزه از روش‌های بیولوژیکی به‌ویژه روش‌های هوازی از جمله لجن فعال و SBR برای تجزیه ترکیبات شیمیایی سمی و مقاوم از جمله PNP استفاده می‌شود (Martín-Hernández et al., 2012; Suja et al., 2012). شکل ۱ فرمول شیمیایی پارانتیروفنل را نشان می‌دهد (Suja et al., 2012). وقتی که ترکیبات فنلی از جمله PNP به داخل فاضلاب

و تغییر در خواص فشرده‌گی لجن. مواد سمی شیمیایی از جمله PNP هم‌چنین قادر است کیفیت آب‌های پذیرنده را تقلیل دهد. پساب‌های فاضلاب‌های سمی ممکن است موجودات زنده آبی در آب‌های پذیرنده را تهدید کنند (Hajsardar et al., 2013; Hormozi Nejad et al., 2011). مطالعات سمیت مبتنی بر تنفس باکتری‌ها (شاخص SOUR) که در راکتورهای بیولوژیکی تصفیه فاضلاب در واحدهای پایلوت انجام گرفته، نشان داده است که از مجموع ۳۳ ترکیب آلی مقاوم و سمی، ۱۳ نوع آن‌ها از جمله ترکیبات فنلی با بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده‌اند، اما در غلظت‌های پائین‌تر تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر بهره‌برداری از لجن فعال نخواهند داشت (Huang et al., 2007; Liang et al., 2006; Liang et al., 2006; Jafari et al., 2016).

راکتور ناپیوسته متوالی (SBR) یکی از فرآیندهای هوازی تصفیه فاضلاب به‌روش لجن فعال ناپیوسته است که به‌دلیل پایین بودن هزینه و راندمان مطلوب در حذف آلاینده‌ها، در سال‌های اخیر برای تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی کاربرد فراوانی یافته است. یکی از مهم‌ترین معایب فرآیندهای هوازی تصفیه فاضلاب، از جمله SBR تولید زیاد لجن بیولوژیکی است، به‌طوری‌که مشکل تولید لجن مازاد بیولوژیکی و تصفیه و دفع آن در سیستم‌های متداول تصفیه هوازی فاضلاب شهری و صنعتی در اکثر نقاط جهان از جمله ایران مشهود است. یک ایده مطلوب برای حل مشکل تولید لجن مازاد کاهش آن از طریق کاهش تولید بیومس است. مکانیسم‌های کاهش نرخ تولید لجن مازاد بیولوژیکی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. مجموعه اقداماتی که قادر به کاهش نرخ تولید لجن مازاد بیولوژیکی باشد عبارتند از: فرایند خودتخریبی متابولیسم جفت نشده با استفاده از فرایند OSA (Jafari et al., 2016; Mahmoudi et al., 2013)، افزایش اکسیژن محلول حوض هوادهی (Liu Y., 2003)، اکسیداسیون بخشی از لجن توسط کلر و یا ازن (Takdastan et al., 2009)، افزایش دما در لجن برگشتی به راکتور (Takdastan et al., 2011)، تغییر pH (Bhatti et al., 2002)، استفاده از پالس الکتریکی در لجن برگشتی به راکتور (Hormozi Nejad et al., 2013)، استفاده از امواج التراسونیک در لجن برگشتی به راکتور (Huang et al., 2007)، استفاده از

باکتری‌خوارها هم‌چون پروتوزئرها و متازواها (Alavi et al., 2015) و در نهایت دور ریزی انرژی توسط ترکیبات مقاوم به تجزیه و مواد سمی از جمله PNP (Liu, 2000). روش‌های متعددی برای جداسازی و دور ریزی انرژی وجود دارد که می‌توان اضافه کردن مواد شیمیایی سمی و مقاوم به تجزیه، افزایش نسبت مواد آلی اولیه به غلظت میکروارگانسیم اولیه موجود در فاضلاب را نام برد (Takdastan et al., 2009). از دسته مواد شیمیایی جداساز و دور ریز انرژی می‌توان ترکیبات فنلی از جمله ۲ و ۴ دی‌نیتروفنل، پارانیتروفنل و پنتاکلروفنل اشاره نمود (Bhatti et al., 2002). (Mayhew et al., 1998) دریافتند که افزایش ۳۵ میلی‌گرم در لیتر ۲ و ۴ دی‌نیتروفنل (dnp) به راکتور لجن فعال به‌طور پیوسته در دمای  $C^{\circ} 20$  و  $gMLSS/gCOD$  ۰/۳ در  $pH=7$  و  $MLSS=2/5 g/l$ ،  $d$  و  $SRT=15$  و  $HRT=5/5 h$  قادر است لجن مازاد بیولوژیکی را کاهش دهد، اما عیب آن افزایش ۳/۷٪ COD در پساب خروجی است (Mayhew and Stephenson, 1998). (1999) Strand دریافتند که افزایش ۲ تا ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر ۲، ۴ و ۵ تری‌کلروفنل (TCP) به‌طور پیوسته در دمای  $C^{\circ} 20$  و  $pH=7$   $MLSS=2/5 g/l$   $SRT= d5$  و  $HRT=3/ h5$  قادر است لجن مازاد بیولوژیکی را تا ۵۰٪ کاهش دهد (Strand et al., 1999). (2003) Yang دریافتند که افزایش  $m$  کلروفنل (mcp) به راکتور ناپیوسته لجن فعال (SBR) به مقدار  $mg/l 100$  در دمای  $C^{\circ} 25$  و  $pH=7$  قادر است لجن مازاد بیولوژیکی را تا ۸۶/۹٪ کاهش دهد، اما عیب آن افزایش ۱۳/۵٪ COD در پساب خروجی است. (Low et al., 1998) دریافتند که افزایش پیوسته پارانیتروفنل (PNP) به مقدار  $mg/l 100$  در یک راکتور بیولوژیکی حاوی باکتری تجزیه‌کننده پسودوموناس در دمای  $C^{\circ} 30$  و  $pH$  حدود ۶/۲ تا ۷ قادر است لجن مازاد بیولوژیکی را ۶۲ تا ۷۰٪ کاهش دهد. (Low (2000) در یک مقیاس آزمایشگاهی سیستم لجن فعال مشخص کرد که تولید بیومس حدود ۴۹٪ توسط افزایش پارانیتروفنل (PNP) به میزان ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به محیط کشت کاهش می‌یابد. در این دوز راندمان حذف COD در حدود ۲۵٪ کاهش یافت. با افزایش ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر غلظت پارانیتروفنل (PNP) تولید لجن مشاهده نشد (Low and chase, 2000). اگرچه کاهش تولید لجن در اثر افزایش مواد مقاوم به تجزیه و ترکیبات سمی اتفاق می‌افتد، اما لازم است که میزان آلاینده‌های سمی از جمله

ترکیبات فنلی در پساب خروجی به یک مقدار قابل قبول از نظر استاندارد زیست‌محیطی کاهش یابد. هدف این مطالعه کاهش پارانیتروفنل از پساب با استفاده از فرایند بیولوژیکی هوازی تصفیه فاضلاب به روش SBR و اثر غلظت پارانیتروفنل موجود در فاضلاب بر میزان کاهش لجن تولیدی و قابلیت ته‌نشینی لجن است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تجهیزات مورد استفاده و مشخصات راکتور بیولوژیکی

برای انجام مطالعه از دو عدد راکتور ناپیوسته متوالی استوانه‌ای شکل، از جنس پلکسی گلس، با قطر داخلی ۲۵ و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر، حجم مفید ۲۰ لیتر و ظرفیت تصفیه ۱۰ لیتر در هر سیکل استفاده شد. برنامه‌ریزی عملیات سیستم از طریق نرم‌افزار کنترلر انجام شد. این نرم‌افزار قادر به کنترل و ثبت کلیه عملیات سیستم است. با توجه به نوع و مشخصات فاضلاب خام مورد استفاده، طول دوره‌های کاری برای هر دو راکتور یکسان و به ترتیب زیر انتخاب شد. پر شدن ۳ دقیقه، هوادهی ۴ ساعت، ته‌نشینی یک ساعت و ۴۵ دقیقه و تخلیه ۱۲ دقیقه. در عمل مدت زمان لازم برای پر شدن، کوتاه‌تر و حدود یک دقیقه و ۱۰ ثانیه است (Low and Chase, 2003).

### ۲-۱-۱- مشخصات فاضلاب مصنوعی

فاضلاب ورودی به پایلوت از طریق اختلاط ۴۰ گرم شیر خشک صنعتی در ۱۰۰ لیتر آب لوله‌کشی تهیه شد. در آزمایش‌های انجام شده مشخصات کیفی فاضلاب مصنوعی به شرح جدول ۱ است.

جدول ۱- مشخصات کیفی فاضلاب مصنوعی

پارامتر	غلظت
COD	۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر
BOD <sub>5</sub>	۴۲۰ میلی‌گرم در لیتر
غلظت نیتروژن نیتراتی	۴/۷ میلی‌گرم در لیتر برحسب ازت
غلظت نیتروژن آمونیاکی	۰/۷ میلی‌گرم در لیتر
غلظت نیتروژن آلی	۳۰ میلی‌گرم در لیتر
غلظت نیتروژن کج‌دال	۳۰/۷ میلی‌گرم در لیتر
غلظت فسفر	۱۰/۵ میلی‌گرم در لیتر
غلظت پارانیتروفنل (PNP)	در محدوده ۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر

### ۲-۱-۲- نحوه راه اندازی و Start Up پایلوت

برای راه‌اندازی راکتور SBR ابتدا از بذری لجن فعال برگشتی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری به حجم تقریبی ۲ لیتر برای هر یک از راکتورهای پایلوت SBR که دارای حجم ۲۰ لیتر بود استفاده شد و به راکتور فاضلاب مصنوعی با COD حدود ۲۰ +/- ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اضافه شد.

هوادهی و واکنش به مدت تقریبی دو هفته برای تشکیل لخته یا بیومس صورت گرفت. مواد آلی هر روز به مقدار کافی به راکتور اضافه می‌شد. بعد از دو هفته سیستم پایلوت SBR با ۵ سیکل پر شدن، واکنش، تخلیه پساب، تخلیه لجن و استراحت راه‌اندازی شد. پساب خروجی از نظر COD، SS و PH پایش و کنترل شده و نتایج آزمون در هر نوبت با نتایج قبلی مقایسه شد. پس از حدود ۲ هفته راه‌اندازی SBR نتایج COD خروجی نزدیک هم بود که نشان‌دهنده پایان START UP راکتور است. پس از ایجاد شرایط پایدار در راکتورها در خلال ۱۲ ماه تحقیق، نمونه‌برداری و آزمون پارامترها از قبیل COD، MLSS، MLVSS، درصد جامدات خشک لجن، SVI، SOUR، پارانیتروفنل (PNP) در پساب تصفیه شده و لجن و در نهایت میزان کاهش جامدات بیولوژیکی انجام شد. روش نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌ها طبق رهنمودهای (A.P.H.A., 2008) بود. PNP توسط کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) با استفاده از حجم تزریق ۲۰ میکرولیتر اندازه‌گیری شد (Liu and Tay, 2000).

### ۲-۲- تغییر شرایط

به هنگام تغییر سن لجن و تغییر میزان پارانیتروفنل تزریقی به راکتور، حداقل دو هفته (معادل ۴۲ سیکل) برای انطباق سیستم با شرایط جدید زمان در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری پارامترها پس از تثبیت شرایط انجام می‌شد. غلظت مواد معلق در داخل راکتور و COD پساب خروجی به‌عنوان شاخص تثبیت شرایط در نظر گرفته شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- روند تغییرات COD و MLSS در میزان PNP

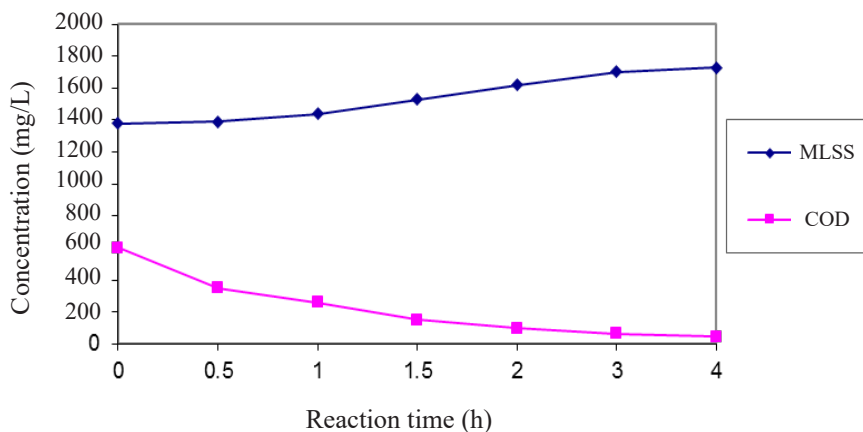
#### تزریق متفاوت به راکتور SBR

شکل‌های ۲ تا ۸ روند تغییرات COD و MLSS در میزان

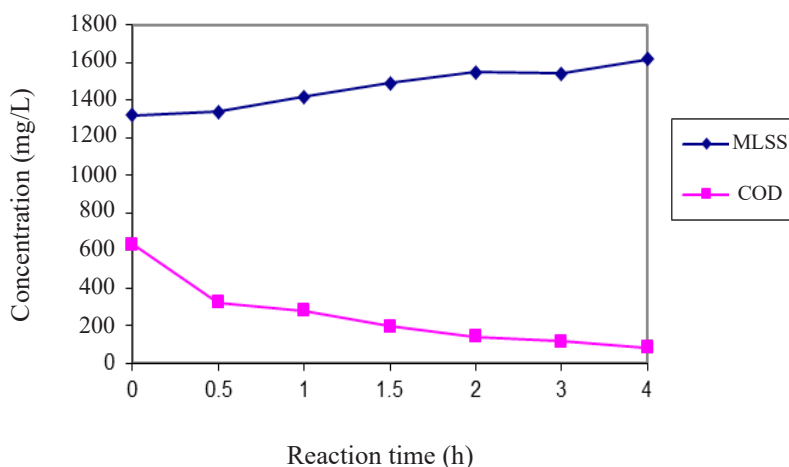
### ۲-۳- تاثیر میزان PNP تزریقی متفاوت بر راندمان حذف COD

همان طور که در شکل ۹ مشاهده می شود بدون افزایش PNP با COD ورودی ۶۰۰ میزان راندمان حذف COD ۹۵٪ است. اما با افزودن PNP به راکتور میزان راندمان حذف COD کاهش می یابد، به طوری که با افزایش ۱۰۰ میلی گرم در لیتر PNP به راکتور به دلیل کاهش تولید جرم سلولی باعث افزایش جزئی COD محلول در پساب خروجی به مقدار ۱۹۳ میلی گرم در لیتر است (راندمان حذف COD به حدود ۷۵٪ می رسد). اما با افزایش میزان PNP به ۱۳۰ میلی گرم در لیتر به راکتور، راندمان حذف COD به ۵۶٪ کاهش یافت و میزان COD پساب خروجی به ۳۶۰ میلی گرم در لیتر رسید.

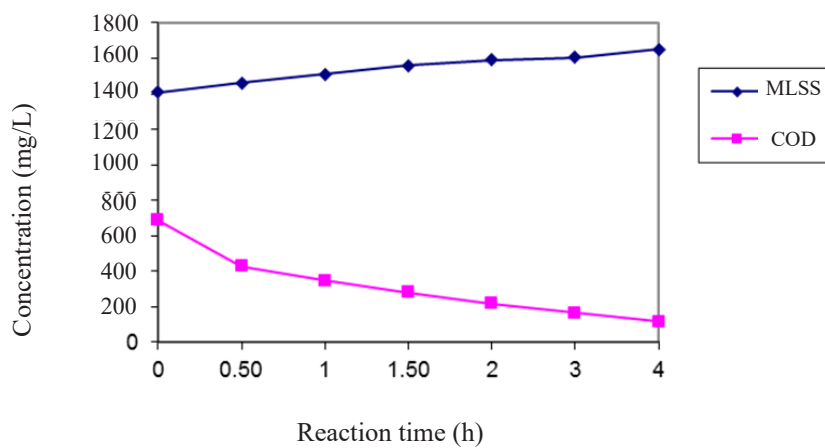
PNP تزریقی متفاوت به راکتور SBR را نشان می دهد. همان طور که در نمودارها مشاهده می شود با افزایش PNP به راکتور راندمان حذف COD کاهش یافته است که دلیل آن اثر سمیت PNP بر میکروارگانیسمها (فقط میکروارگانیسمهای مقاوم و اسپوردار در برابر PNP) است. همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود در میزان PNP تزریقی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر به راکتور، میزان COD از ۷۷۲ به ۱۹۳ میلی گرم در لیتر رسید، راندمان حذف COD به ۷۵٪ و غلظت MLSS به طور جزئی از ۱۲۹۰ به ۱۴۴۶ میلی گرم بر لیتر افزایش یافت. مطابق شکل ۸ در میزان PNP تزریقی ۱۳۰ میلی گرم در لیتر به راکتور، میزان COD از ۸۲۴ به ۳۶۰ میلی گرم در لیتر رسید، راندمان حذف COD به ۵۶٪ و غلظت MLSS به طور بسیار جزئی از ۱۳۰۶ به ۱۳۴۴ میلی گرم بر لیتر افزایش یافت.



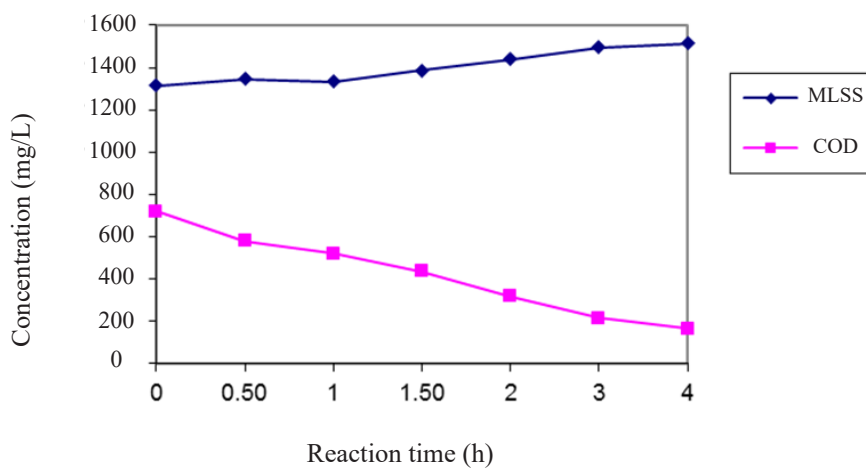
شکل ۲- روند تغییرات COD و MLSS در حالت بدون تزریق PNP به راکتور



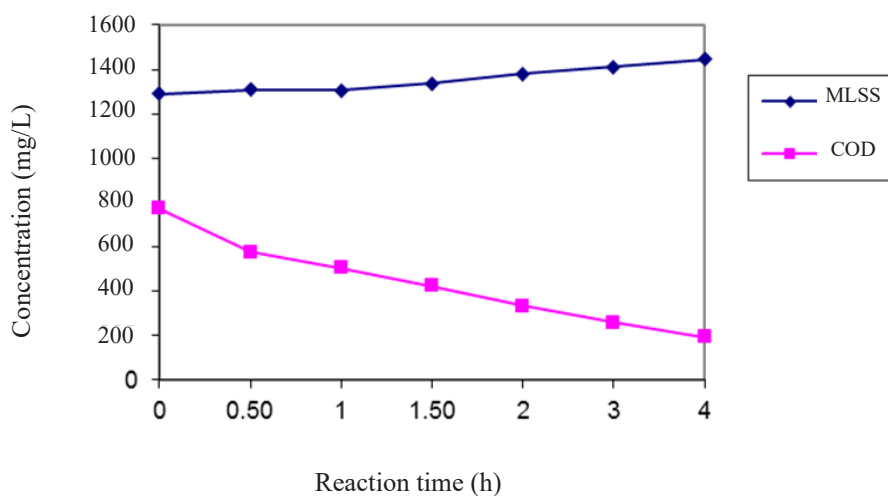
شکل ۳- روند تغییرات COD و MLSS در شرایط ۲۰ میلی گرم بر لیتر تزریق PNP به راکتور



شکل ۴- روند تغییرات MLSS و COD در شرایط ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر تزریق PNP به راکتور

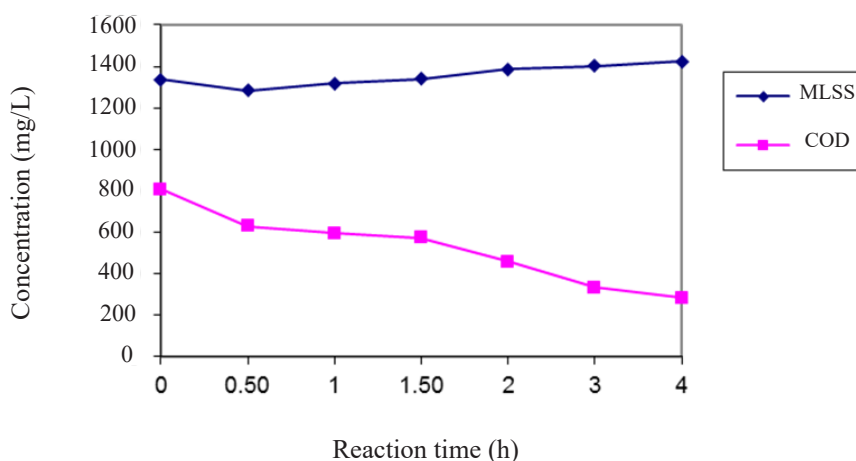


شکل ۵- روند تغییرات MLSS و COD در شرایط ۷۰ میلی‌گرم بر لیتر تزریق PNP به راکتور

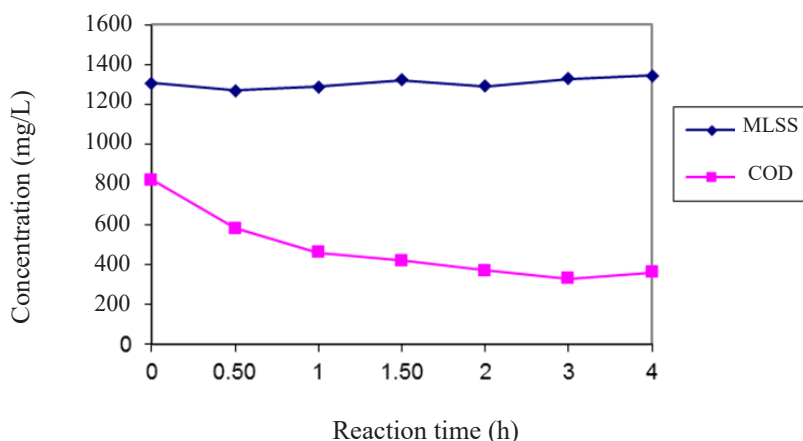


شکل ۶- روند تغییرات MLSS و COD در شرایط ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تزریق PNP به راکتور





شکل ۷- روند تغییرات COD و MLSS در شرایط ۱۲۰ میلی گرم بر لیتر تزریق PNP به راکتور



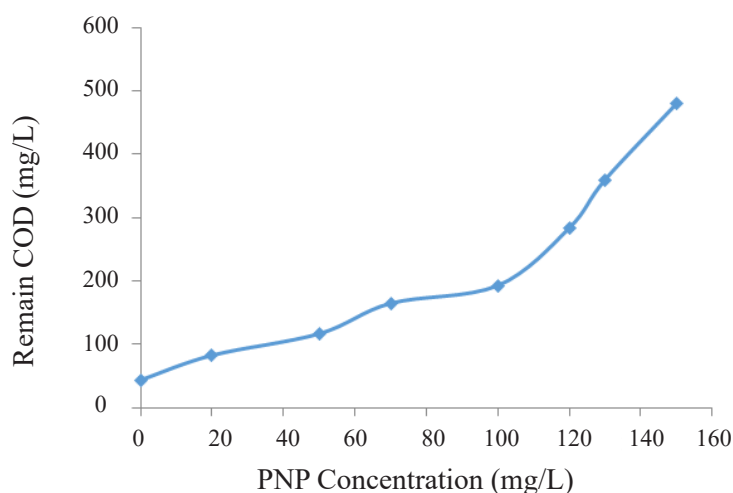
شکل ۸- روند تغییرات COD و MLSS در شرایط ۱۳۰ میلی گرم بر لیتر تزریق PNP به راکتور

### ۳-۴- تاثیر میزان PNP تزریقی متفاوت بر SVI شاخص حجمی لجن (SVI)

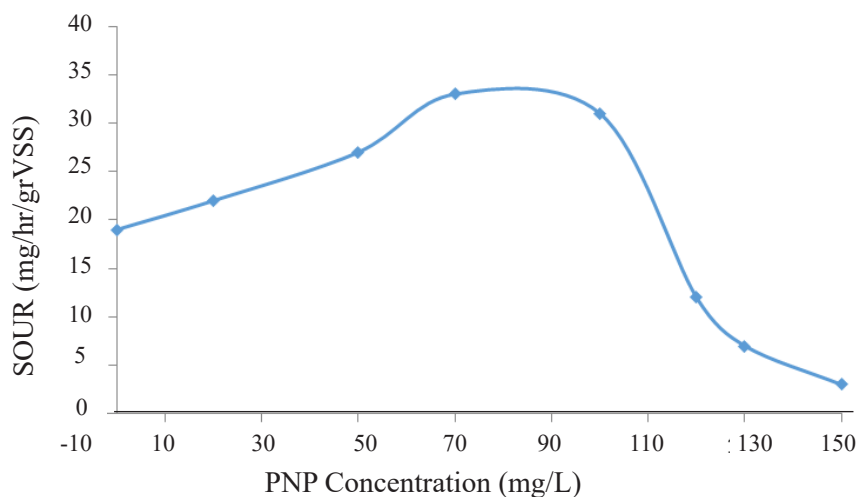
مطابق با شکل ۱۱ با افزایش PNP تزریقی به راکتور، میزان شاخص حجمی لجن (SVI) به دلیل کاهش تولید جرم سلولی در نتیجه کاهش میزان MLSS کاهش می یابد. همان طور که در شکل مشاهده می شود با افزایش PNP تزریقی در حدود بیش از ۱۰۰ میلی گرم در لیتر به راکتور، میزان SVI به ۴۸ ml/g و با افزایش PNP تزریقی به ۱۳۰ میلی گرم در لیتر به راکتور، میزان SVI به ۱۳ ml/g می رسد، اما در میزان ۱۵۰ میلی گرم در لیتر به راکتور، هیچ لجنی تشکیل نمی شود.

### ۳-۳- تاثیر میزان PNP تزریقی متفاوت بر SOUR

همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود در شرایط بدون تزریق PNP و PNP تزریقی ۱۰۰ و ۱۳۰ میلی گرم در لیتر به راکتور، میزان تنفس میکروبی یا SOUR نیز در غلظت های یاد شده به ترتیب ۱۹، ۳۱ و ۷ میلی گرم اکسیژن مصرفی در ساعت به ازای هر گرم MLVSS محاسبه شد. با افزودن PNP به راکتور تا محدوده خاصی فعالیت میکروارگانیسم ها در حضور PNP نسبت به راکتور شاهد بیشتر می شود و در نتیجه، میزان تنفس میکروبی یا SOUR تا محدوده غلظت ۷۰ میلی گرم در لیتر PNP به راکتور افزایش و در میزان بالاتر از این حد به دلیل اثر سمیت آن کاهش می یابد.



شکل ۹- تاثیر میزان PNP تزریقی بر راندمان حذف COD



شکل ۱۰- تاثیر میزان PNP تزریقی بر SOUR

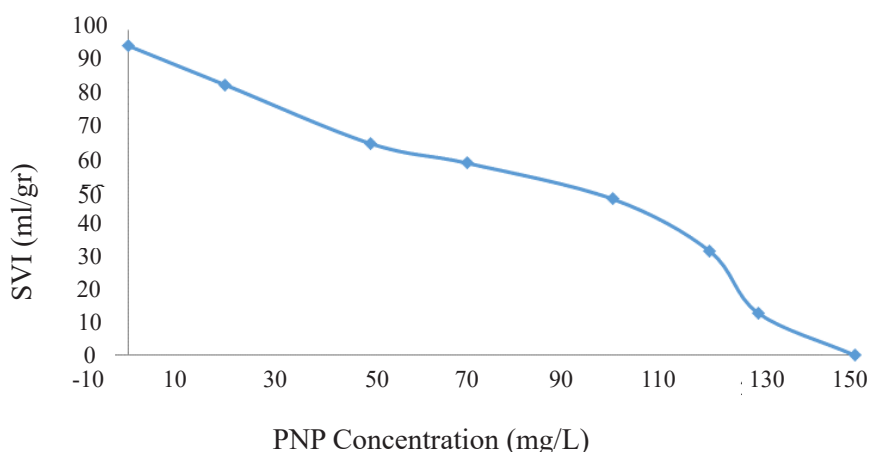
به غلظت PNP تزریقی، راندمان حذف COD در انتهای زمان واکنش کاهش یافته و غلظت MLSS نیز در انتهای زمان واکنش به طور جزئی افزایش یابد (Hajsardar et al., 2011). در غلظت بالای PNP، به علت اثر سمی این ترکیب بر میکروارگانیسم‌ها باعث محدودیت رشد میکروبی در راکتور، در نتیجه باعث کاهش تولید لجن و شاخص حجمی لجن می‌شود (Hormozi Nejad et al., 2013; Huang et al., 2007). در زمان ماند سلولی یا سن لجن ۱۰ روز، در حالت بدون افزایش PNP به راکتور SBR با COD ورودی ۶۰۰ میلی گرم بر لیتر میزان راندمان حذف COD به ۹۵٪ رسید اما با افزودن ۱۰۰ میلی گرم در لیتر PNP به راکتور، علاوه بر کاهش تولید جرم سلولی یا MLSS باعث

جدول ۲ خلاصه تاثیر میزان PNP تزریقی بر پارامترهای راهبری و شاخص‌های بهره‌برداری در تصفیه بیولوژیکی هوازی به روش SBR به‌ویژه بر SVI، SOUR و COD باقی‌مانده پس از واکنش را نشان می‌دهد.

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

با افزایش PNP به راکتور، راندمان حذف COD کاهش یافته است که دلیل آن اثر سمیت PNP بر میکروارگانیسم‌های موجود در راکتور SBR است، اما برخی میکروارگانیسم‌های اسپوردار مقاوم در برابر PNP هستند. این امر باعث می‌شود که بسته





شکل ۱۱- تاثیر میزان PNP تزریقی بر SVI

جدول ۲- تاثیر میزان PNP تزریقی بر پارامترهای راهبری و شاخص‌های بهره‌برداری در تصفیه بیولوژیکی هوازی به روش SBR

میزان PNP تزریقی به راکتور (mg/l)	میزان PNP در پساب خروجی (mg/l)	SOUR (mg/hr/grVSS)	SVI (ml/gr)	درصد کاهش جامدات قابل ته‌نشینی	COD خروجی (mg/l)
۰	۰	۱۹	۹۵	-	۴۴
۲۰	۰/۰۶	۲۲	۸۳	۱۲/۶	۸۳
۵۰	۰/۰۷	۲۷	۶۵	۳۱/۵	۱۱۷
۷۰	۳۱	۳۳	۵۹	۳۷/۹	۱۶۵
۱۰۰	۳۶/۷	۳۱	۴۸	۴۹/۵	۱۹۳
۱۲۰	۷۰	۱۲	۳۲	۶۶/۳	۲۸۴
۱۳۰	۹۵	۷	۱۳	۸۶/۳	۳۶۰
۱۵۰	۱۰۳	۳	۰	۱۰۰	۴۸۰

خروجی از راکتور افزایش و راندمان حذف مواد آلی کاهش می‌یابد. دلیل آن دور ریزی انرژی در اثر وجود ترکیب سمی پارانیتروفنل در راکتور و اثر بازدارندگی این ترکیب است. محققین زیادی از جمله (Chen (2003), Liu (2000) و Yang (2003) به نتایج مشابه با دیگر ترکیب سمی در کاهش تولید جامدات بیولوژیکی از طریق کاهش میزان جرم سلولی یا MLVSS رسیدند (Liu Y, 2000; Yang et al., 2003; Chen et al., 2003). در شرایط بدون تزریق PNP و PNP تزریقی ۱۰۰ و ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر به راکتور SBR، میزان تنفس باکتری‌ها یا SOUR نیز در غلظت‌های یاد شده به ترتیب ۱۹، ۳۱ و ۷ میلی‌گرم اکسیژن مصرفی در ساعت به‌ازای هر گرم MLVSS محاسبه شد. یعنی در غلظت‌های بالا این ماده سمی در فاضلاب، PNP به‌عنوان یک عامل محدود کننده رشد میکروارگانیسم‌ها در راکتور بیولوژیکی عمل می‌کند. با افزودن

افزایش جزئی COD محلول در پساب خروجی به مقدار ۱۹۳ میلی‌گرم در لیتر شد (راندمان حذف COD به حدود ۷۵٪ رسید). اما با افزایش میزان PNP به ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر به راکتور، راندمان حذف COD به ۵۶٪ کاهش یافت و میزان COD پساب خروجی به ۳۶۰ میلی‌گرم در لیتر رسید. در این مقدار PNP اکثر میکروارگانیسم‌های موجود در راکتور، غیرفعال شده و راندمان حذف COD کاهش یافته، که نشان‌دهنده اثر بازدارندگی PNP بر میکروارگانیسم‌های موجود در راکتور بوده و در نتیجه، مرگ تعدادی از میکروارگانیسم‌ها را به دنبال داشته است (مگر تعداد محدودی از میکروارگانیسم‌های مقاوم که قادر به تحمل هستند). در صورت افزایش PNP به راکتور SBR میزان تولید جرم سلولی کاهش یافته به طوری که در PNP تزریقی ۱۰۰ تا ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر به راکتور، میزان جرم سلولی یا MLSS کاهش یافت. در نتیجه میزان COD پساب

PNP به راکتور، تا محدوده خاصی فعالیت میکروارگانیسم‌ها در حضور PNP نسبت به راکتور شاهد بیشتر می‌شود. در نتیجه میزان SOUR تا محدوده غلظت ۷۰ میلی‌گرم در لیتر PNP به راکتور افزایش و در میزان بالاتر از این حد به دلیل اثر سمیت آن کاهش می‌یابد. (Mayhe and Stephenson (1998) نیز با افزایش ۲ و ۴ دی‌نیتروفنل به راکتور لجن فعال، به همین نتیجه رسیدند. آن‌ها دریافتند که این ترکیبات سمی باعث تفکیک و کاهش انرژی در مخلوط کشت شده، از این رو افزایش SOUR مرتبط با رشد سلولی نیست (Mayhew and Stephenson, 1998). مصرف بالای اکسیژن در راکتور بیولوژیکی SBR دال بر اسراف انرژی برای تنظیم متابولیک میکروارگانیسم‌ها است که منجر به کاهش تولید لجن نیز می‌شود. با افزایش غلظت PNP به دلیل اثر سمیت این ترکیب بر میکروارگانیسم‌ها میزان SOUR کاهش می‌یابد. در نتیجه اکثر باکتری‌ها غیرفعال شده

(مگر تعداد محدودی از میکروارگانیسم‌های مقاوم) و فعالیت میکروبی کاهش می‌یابد (Chen et al., 2003). با افزایش PNP تزریقی به راکتور، میزان شاخص حجمی لجن (SVI) به دلیل کاهش تولید جرم سلولی، کاهش می‌یابد. به طوری که با افزایش PNP تزریقی در حدود بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به راکتور، میزان SVI به ۴۸ ml/g و با افزایش PNP تزریقی به ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر به راکتور، میزان SVI به ۱۳ ml/g می‌رسد، اما در میزان ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر PNP به راکتور هیچ لجنی تولید نشد. دلیل آن اثر بازدارندگی ناشی از غلظت بالای پارانیتروفنل در راکتور SBR است. جدول ۳ نیز مقایسه نتایج حاصل از اثر بازدارندگی PNP مطالعه حاضر در مقایسه با سایر تحقیقات در تصفیه بیولوژیکی هوازی به‌ویژه کاهش تولید جامدات بیولوژیکی و راندمان حذف COD را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مقایسه نتایج حاصل از اثر بازدارندگی PNP با دیگر تحقیقات تصفیه بیولوژیکی هوازی به‌ویژه کاهش تولید جامدات بیولوژیکی و راندمان حذف COD

منابع	درصد حذف COD	درصد کاهش جامدات لجن	مواد بازدارنده و شرایط بهره‌برداری
Mayhew and Stephenson (1998)	کاهش ۳/۷٪	-	افزایش ۳۵ میلی‌گرم در لیتر ۲ و ۴ دی‌نیتروفنل (dnp) به راکتور لجن فعال به‌طور پیوسته در دمای ۲۰ °C و ۰/۳ gMLSS/gCOD HRT=۵/۵ h, SRT=۱۵ d, MLSS=۲/۵ g/l, pH=۷
Strand et al. (1999)	-	۵۰٪	افزایش ۲ تا ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر ۲، ۴ و ۵ تری‌کلوروفنل (TCP) به کشت لجن فعال به‌طور پیوسته در دمای ۲۰ °C و HRT=۳/۵ h و SRT=۵d, MLSS=۲/۵ g/l, pH=۷
Chen et al. (2003)	تقریباً بی‌تأثیر	۴۰٪	افزایش ۳ و ۴ و ۵ تتراکلروسالیسیلانید (TCS) به مقدار ۱-۰/۸ میلی‌گرم در لیتر در دمای ۲۰ °C و pH=۷ به سیستم لجن فعال به‌طور پیوسته با HRT= ۸ h, MLSS=۲ g/l و SRT=۷ d
Yang et al. (2003)	کاهش ۱۳/۵٪	۸۶/۹٪	افزایش m کلروفنل (mcp) به راکتور ناپیوسته لجن فعال به مقدار ۲۰ mg/l در دمای ۲۵ °C و pH=۷
Low and Chase, 1998	-	۷۷-۶۲٪	افزایش پیوسته پارانیتروفنل (PNP) به مقدار ۱۰۰ mg/l در یک کشت تنها حاوی پسودوموناس در دمای ۳۰ °C و pH برابر ۶/۲ و ۷
Low and Chase (2000)	کاهش ۲۵٪	۰/۴۹٪	افزایش پیوسته پارانیتروفنل (PNP) به مقدار ۱۰۰ mg/l به راکتور پیوسته لجن فعال در دمای ۲۰ °C، pH=۷/۷ و MLSS=۰/۷ g/l
این مطالعه	۸۰/۵٪ ۶۷/۸٪ ۵۲/۷٪ ۲۰٪	۳۱/۵٪ ۴۹/۵٪ ۶۶/۳٪ ۱۰۰٪	افزایش پارانیتروفنل به راکتور SBR در دمای ۲۵ °C و pH=۷/۶ با COD ورودی ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به شرح زیر: الف) ۵۰ mg/l ب) ۱۰۰ mg/l ج) ۱۲۰ mg/l د) ۱۵۰ mg/l

- process in Ahvaz wastewater treatment plant, Iran”, *Asian Journal of Chemistry*, 25(5), 2565-2571.
- Huang, X., Liang, P., and Qian, Y., (2007), “Excess sludge reduction induced by Tubifex in a recycle sludge reactor”, *Journal of Biotechnology*, 127(3), 443-453.
- Jafari, A.J., Kakavandi, B., Kalantary, R.R., Babaei, A.A., and Takdastan, A., (2016), “Application of mesoporous magnetic carbon composite for reactive dyes removal: Process optimization using response surface methodology”, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 33(10), 2878-2890.
- Liu, Y., (2003), “Chemically reduced excess sludge production in the activated sludge process”, *Chemosphere*, 50(1), 1-7.
- Liu, Y., (2000), “Effect of chemical uncoupler on the observed growth yield in batch culture of activated sludge”, *Water Research*, 3(4), 2025-2030.
- Liu, Y., and Tay, J.H., (2000), “A kinetic model for energy spilling-associated product formation in substrate-sufficient continuous culture”, *Journal of Applied Microbiology*, 88(4), 663-668.
- Liang, P., Huang, X., and Qian, Y., (2006), “Excess sludge reduction in activated sludge process through predation of *Aeolosoma hemperichi*”, *Chemistry Engineering Journal*, 28(2), 117-122.
- Liang, C., Huang, X., Qian, Y., Wei, Y., and Ding, G., (2006), “Determination and comparison of sludge reduction rates caused by microfaunas predation”, *Bioresource Technology*, 97(6), 854-861.
- Low, E.W., and Chase, H.A., (2003), “Reducing production of excess biomass during wastewater treatment”, *Water Research*, 33(5), 1119-1132.
- Low, E.W., and Chase, H.A., (1998), “The use of chemical uncouplers for reducing biomass production during biodegradation”, *Water Science and Technology*, 37(4-5), 399-402.
- Low, W., and Chase, A., (2000), “Uncoupling of metabolism to reduce biomass production in the activated sludge process”, *Water Research*, 44(12), 3204-3212.
- Martín-Hernández, M., Carrera, J., Pérez, J., and Suárez-Ojeda, M.E., (2009), “Enrichment of a K-strategist microbial population able to biodegrade p-nitrophenol in a sequencing batch reactor”, *Water Research*, 43(15), 3871-3883.
- Martín-Hernández, M., Suárez-Ojeda, M.E., and Carrera, J., (2012), “Bioaugmentation for treating transient or continuous p-nitrophenol shock loads in an aerobic sequencing batch reactor”, *Bioresource Technology Journal*, 123, 150-156.
- Mahmoudi, P., Takdastan, A., Alavi, N., Mousavi, A.A., Kaydi, N., (2013), “Study of excess sludge

1- Seed

## ۶- مراجع

- حسینی‌پناه، ا.، و تکدستان، ا.، (۱۳۹۴)، «امکان‌سنجی حذف کل هیدروکربن نفتی از کنده حفاری به‌همراه لجن هضم شده با استفاده از کرم خاکی»، *مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران*، ۲۵(۱۳۳)، ۳۱۹-۳۲۴.
- کردانی، م.، و تکدستان، ا.، (۱۳۹۴)، «حذف کل هیدروکربن‌های نفتی با استفاده از گیاه وتیور و تغییرات جمعیت میکروبی در خاک‌های آلوده به نفت در منطقه اهواز»، *مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران*، ۲۵(۱۳۱)، ۸۷-۹۷.
- Alavi, N., Shirmardi, M., Babaei, A., Takdastan, A., and Bagheri, N., (2015), “Waste electrical and electronic equipment (WEEE) estimation: A case study of Ahvaz City, Iran”, *Journal of the Air and Waste Management Association*, 65(3), 298-305.
- A.P.H.A., A.W.W.A., and W.P.C.F., (2008), *Standard method for the examination of water and wastewater*, 19<sup>th</sup> Edition, A.P.H.A.N.W, Washington D.C.
- Bhatti, Z.I., Toda, H., Furukawa, K., (2002), “p-Nitrophenol degradation by activated sludge attached on nonwovens”, *Water Research*, 36(5), 1135-1142.
- Chen, G.H., An, K.J., Saby, S., Brois, E., and Djafer, M., (2003), “Possible cause of excess reduction in an oxic-settling-anaerobic activated sludge process (OSA process)”, *Water Research*, 37(16), 2277-2283.
- Fazlipour, M., Takdastan, A., and Jou, M.S.S., (2011), “Survey on chlorine application in sequencing batch reactor waste sludge in order to sludge minimization”, *Asian Journal of Chemistry*, 23, 2994-2998.
- Goh, C.P., Seng, C.E., Sujari, A.N.A., and Lim, P.E., (2009), “Performance of sequencing batch biofilm and sequencing batch reactors in simultaneous p-nitrophenol and nitrogen removal”, *Environmental Technology*, 30(7), 725-736.
- Hajsardar, M., Takdastan, A., Ahmadi, M., and Hasani, A.H., (2011), “Study of reducing waste biosolids in sequencing batch reactor by ozonation to waste biosolids”, *Asian Journal of Chemistry*, 23(8), 3615-3619.
- Hormozi Nejad, M., Takdastan, A., Jaafarzadeh, N., Ahmadi Mogadam, M., and Mengelizadeh, N., (2013), “Removal of orthophosphate from municipal wastewater using chemical precipitation

- in biological excess sludge reduction in batch-activated sludge reactor”, *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4(1), 1-7.
- Takdastan, A., and Pazoki, M., (2011), “Study of biological excess sludge reduction in sequencing batch reactor by heating the reactor”, *Asian Journal of Chemistry*, 23(1), 29-33.
- Yang, X.F., Xie, M.L., Liu, Y., (2003), “Metabolic uncouplers reduce excess sludge production in an activated sludge process”, *Process Biochemistry Journal*, 38(9), 1373-1377.
- reduction in conventional activated sludge process by heating returned sludge”, *Asian Journal of Chemistry*, 25(5), 26-27.
- Mayhew, M., and Stephenson, T., (1998), “Biomass yield reduction: Is biochemical manipulation possible without affecting activated sludge process efficiency”, *Water Science and Technology*, 38(8-9), 137-144.
- Pazoki, M., Takdastan, A., Jaafarzadeh, N., (2010), “Investigation of minimization of excess sludge production in sequencing batch reactor by heating some sludge”, *Asian Journal of Chemistry*, 22(3), 1751-1759.
- Rocher, M., Roux, G., Goma, G., Begue, A.P., Louvel, L., and Rols, J.L., (2001), “Excess sludge reduction in activated sludge processes by integrating biomass alkaline heat treatment”, *Water Science and Technology*, 44(2-3), 437-444.
- Salehi, Z., Sohrabi, M., Vahabzade, F.H., Fatemi, S., and Kawase, Y., (2010), “Modeling of p-nitrophenol biodegradation by *Ralstonia eutropha* via application of the substrate inhibition concept”, *Journal of Hazardous Materials*, 177, 582-585.
- Saby, S., Djafer, M., and Chen, G.H., (2001), “Feasibility of using a chlorination step to reduce excess sludge in activated sludge process”, *Water Research*, 36(3), 656-666.
- Strand, S.E., Harem, G.H., and Stensel, H.D., (1999), “Activated-sludge yield reduction using chemical uncouplers”, *Water Environment Research*, 71(4), 454-458.
- Suja, E., Nancharaiah, Y.V., and Venugopalan, V.P., (2012), “p-Nitrophenol biodegradation by aerobic microbial granules”, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 167(6), 1569-1577.
- Takdastan, A., Mehrdadi, N., Azimi, A.A., Torabian, A., and Nabi Bidhendi, G., (2009), “Intermittent chlorination system in biological excess sludge reduction by sequencing batch reactor”, *Iranian Journal of Environmental Health Science Engineering*, 6(1), 53-60.
- Takdastan, A., Azimi, A., and Jaafarzadeh, N., (2010), “Biological excess sludge reduction in municipal wastewater treatment by chlorine”, *Asian Journal of Chemistry*, 22, 1665-1670.
- Takdastan, A., Mehrdadi, N., Torabian, A., Azimi, A.A., and Nabi Bidhendi, Gh., (2009), “Investigation of excess biological sludge reduction in sequencing batch reactor”, *Asian Journal of Chemistry*, 21(3), 2419-2427.
- Takdastan, A., and Eslami, A., (2013), “Application of energy spilling mechanism by para-nitrophenol