

بررسی عوامل موثر بر راندمان حذف آمون یوم در تصفیه خانه های فاضلاب با

استفاده از فرایند زدایش توسط هوا

آرزو زنگنه^۱

سیما سبز علیپور^{*}

Shadi582@yahoo.com

افشین تکدستان^۳

رضا جلیل زاده ینگجه^۴

مرتضی خفائی^۵

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۶

تاریخ دریافت: ۹۹/۹/۱۴

چکیده

زمینه و هدف: حذف آمونیوم از پساب ها در تصفیه خانه های فاضلاب به دلیل تأثیرات خطرناک و سمی آن بر سلامتی انسان و منابع بیوتیک ضروری است. هدف از انجام این مطالعه بررسی پارمترهای عملیاتی بر راندمان فرایند زدایش با هوا، تعیین اولویت و درجه تاثیر آنها بر حذف آمونیوم و مقایسه راندمان حذف آمونیوم طی فرایند زدایش توسط هوا در تصفیه خانه های فاضلاب شهری با استفاده از فاضلاب مصنوعی و واقعی بود.

روش بررسی: در این مطالعه تاثیر هر یک از پارمترهای عملیاتی بر روی راندمان حذف آمونیوم شامل غلظت آمونیوم ورودی، pH و دما طی فرایند زدایش با هوا به ترتیب برای فاضلاب مصنوعی و واقعی، بر اساس روش های استاندارد (نسلریزاسیون و تهیه محلول های استاندارد) و با استفاده از اسپکتروفتومتر، pH سنج و ماژول دما بررسی شد. این مطالعه در بهمن ماه ۱۳۹۷ انجام پذیرفت.

یافته ها: نتایج این مطالعه نشان داد که حداکثر راندمان حذف آمونیوم طی فرایند زدایش توسط هوا برای فاضلاب مصنوعی با نسبت هوا به آب ۸۰ و غلظت آمونیوم ورودی ۵۹/۶ میلی گرم در لیتر، pH ۱۲/۰۵ و دمای ۴۶/۳ درجه سانتی گراد ۹۱٪ است. همچنین نتایج مطالعه در زمینه بررسی راندمان حذف آمونیوم در تصفیه خانه های فاضلاب شهری نشان داد که راندمان حذف حداکثری ۹۱٪ برای فاضلاب واقعی

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۲- استادیار گروه مهندسی محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. * (مسئول مکاتبات)
۳- استاد مرکز تحقیقات فناوریهای زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.
۴- دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۵- دانشیار مرکز تحقیقات فناوریهای زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.

(پساب مخزن ته نشینی اولیه) با نسبت هوا به آب ۸۰ و غلظت آمونیوم ورودی ۶۱/۰۴ میلی گرم در لیتر، pH ۱۲/۵۳ و دمای ۴۵/۹ درجه است.

بحث و نتیجه گیری: براساس نتایج مدل رگرسیون تک متغییره به ترتیب غلظت آمونیوم ورودی < دما < pH بیشترین میزان تاثیر را بر راندمان حذف آمونیوم در فاضلاب مصنوعی و فاضلاب واقعی دارند. در مدل رگرسیون چند متغییره به ترتیب تاثیر دما و pH بر راندمان حذف آمونیوم در فاضلاب مصنوعی و فاضلاب واقعی افزایشی و کاهش می باشد. بر اساس یافته های این مطالعه، فرایند زدایش توسط هوا می تواند با موفقیت به منظور حذف آمونیوم از پساب تصفیه خانه های فاضلاب شهری به ویژه برای مناطق گرمسیری به کار رود.

واژه های کلیدی: فاضلاب شهری، آمونیوم، فرایند زدایش توسط هوا.

Investigation of effective factors on the ammonia removal efficiency in the wastewater treatment plants using the air stripping process

Arezoo Zangeneh¹

Sima Sabzalipour^{2*}

Shadi582@yahoo.com

Afshin Takdatsan³

Reza Jalilzadeh Yengejeh⁴

Morteza Abdullatif Khafaie⁵

Admission Date: December 1, 2021

Date Received: December 4, 2020

Abstract

Background and Objective: Removal of ammonia from wastewater in the treatment plants due to its dangerous and toxic effects on human health and biotic resources is essential. This study was aimed to investigate the effective operational parameters on the efficiency of the air stripping process, determine their priority and degree of effect on ammonia removal and compare the ammonia removal efficiency during the air stripping process in the municipal wastewater treatment plants using synthetic and real wastewater.

Material and Methodology: In this study, the effect of each operating parameter on the ammonia removal efficiency including initial ammonia concentration, pH and temperature during the air stripping process for synthetic and real wastewater, respectively, based on standard methods (the Nesslerization method, preparation of standard solutions) using a spectrophotometer, pH meter and temperature module were evaluated.

Findings: The results of this study showed that the maximum of ARE for synthetic wastewater with Air to water ratio 80 and an initial ammonia concentration of 59.6 mg/l, pH 12.05 and temperature 46.3°C was %91. Also, the results of the study on the ARE during the air stripping process showed that the maximum of ARE (%91) for real wastewater (primary sedimentation tank effluent (PST)) with Air to

1- PhD Candidate, Department of Environmental Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2-Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. **(Corresponding Author)*

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

4-Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

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

water ratio 80 and an initial ammonia concentration of 61.04 mg/l, pH 12.53 and temperature 45.9 ° C was obtained.

Discussion and Conclusion: Based on the results of univariate regression model, initial ammonia concentration > temperature > pH have the greatest effect on the ammonia removal efficiency in synthetic wastewater and real wastewater, respectively. In the multivariate regression model, the effect of temperature and pH on the ammonia removal efficiency in synthetic and real wastewater is increasing and decreasing, respectively. Based on the findings of this study, the air stripping process can be successfully used to remove ammonia from wastewater in the municipal treatment plants, especially in the tropics.

Key words: Municipal wastewater, Ammonia, Air stripping process.

مقدمه

پساب ایران جهت تخلیه به آب های سطحی ۲/۵ میلی گرم بر لیتر تعیین شده است (۸). نیتروژن یکی از دلایل اصلی پدیده یوتروفیکاسیون است، در حالی که برخی از ترکیبات نیتروژن (به عنوان مثال آمونیاک، آمونیوم، نیتريت، نترات، کلرامین) می توانند برای سلامتی انسان مضر باشند (۹). یون آمونیوم تأثیرات خطرناک و سمی بر سلامتی انسان و منابع بیوتیک نیز دارد در صورتی که میزان آن بیشتر از ظرفیت سم زدایی و از پیش تعیین شده مجاز در بدن باشد (۱۰). بنابراین، حذف آمونیوم از فاضلاب برای محافظت از محیط زیست و سلامت انسان ضروری می باشد (۱۱). حذف نیتروژن از فاضلاب می تواند توسط فرآیندهای بیولوژیکی یا فیزیکی-شیمیایی حاصل شود. فرآیندهای بیولوژیکی به طور گسترده ای برای تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی استفاده می شود (۹). تصفیه فاضلاب با غلظت بالای آمونیوم در تصفیه خانه های فاضلاب شهری بوسیله فرآیندهای بیولوژیکی اغلب چالش برانگیز و همراه با تولید مقادیر زیادی از لجن است (۱۲-۱۴). لذا استفاده از روشهای جایگزین مبتنی بر فرآیندهای فیزیکی-شیمیایی پیشنهاد شده است (۹، ۱۵). در حال حاضر، طیف گسترده ای از فن آوری های فیزیکی-شیمیایی برای حذف نیتروژن از فاضلاب در دسترس است که شامل: فرایند

فعالیت های مختلف جوامع انسانی از جمله کارخانجات صنعتی، مزارع پرورش حیوانات، کشاورزی و دفع بدون کنترل پسماندهای شهری بسیاری از آلاینده ها، از جمله نیتروژن را در آب تخلیه می کند (۱). شایع ترین اشکال نیتروژن شامل آمونیاک/ آمونیوم ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$) به عنوان نیتروژن آمونیاکی کل^۱ (TAN)، نیتريت (NO_2^-)، نترات (NO_3^-) و ازت آلی است (۲، ۳). یون آمونیوم می تواند از روش های مستقیم مانند تخلیه پساب های شهری و دفع مواد زائد از ته از حیوانات و غیر مستقیم به معنای تثبیت نیتروژن و رواناب از زمین های کشاورزی به محیط آبی وارد شود (۴). بنابراین بزرگترین منابع آلودگی آمونیاکی فاضلاب شامل: تصفیه خانه های فاضلاب^۲ (WWTP)، دفن زباله ها، معادن، کشاورزی و مزارع پرورش حیوانات هستند (۳). در تصفیه خانه های فاضلاب، نیتروژن آلی از طریق هیدرولیز به راحتی می تواند به آمونیوم تبدیل شود (۵). آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده^۳ (EPA) میزان تخلیه آمونیوم از تصفیه خانه های فاضلاب شهری را ۴/۹ میلی گرم در لیتر TAN به طور متوسط در هر ماه و ۱۰ میلی گرم در لیتر TAN روزانه (حداکثر مقدار یون آمونیوم محلول در آب) تعیین کرده است (۶). همچنین، براساس مقررات (WHO) و قوانین اروپا حداکثر غلظت آمونیوم در آبهای سطحی به ترتیب کمتر از ۰/۲ و ۱/۵ میلی گرم تعیین شده است (۷). حداکثر غلظت آمونیوم بر اساس استاندارد تخلیه

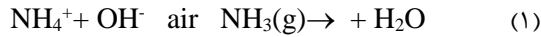
1-Total Ammonia Nitrogen

2- Waste Water Treatment Plants

3- Environmental Protection Agency

4-World Health Organization⁴.

آمونیوم، از آهک یا سوز آور به طور معمول برای افزایش pH و تبدیل یون های آمونیوم به گاز آمونیاک طبق واکنش زیر (معادله ۱) استفاده می شود (۱۸،۳۲).



حذف آمونیوم از پساب ها در تصفیه خانه های فاضلاب شهری ناشی از تأثیرات خطرناک و سمی آن بر سلامتی انسان و منابع بیوتیک ضروری می باشد. هدف از انجام این مطالعه بررسی پارمترهای عملیاتی و عوامل موثر بر راندمان فرایند زدایش توسط هوا (بعنوان یک روش فیزیکی-شیمیایی)، تعیین اولویت و درجه تاثیر پارمترهای عملیاتی (غلظت آمونیوم ورودی (NH_4^+) ، pH و دما) بر حذف آمونیوم و مقایسه راندمان حذف آمونیوم طی فرایند زدایش با هوا در تصفیه خانه های فاضلاب با استفاده از فاضلاب مصنوعی و واقعی بوده است.

روش بررسی

این مطالعه در بهمن ماه ۱۳۹۷ در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد و بعد از انجام مطالعات مورد نیاز در زمینه طراحی برج های هوادهی، براساس معیارها و پارمترهای رایج برای طراحی برج زدایش توسط هوا، طراحی پایلوت انجام گرفت.

طراحی برج هوادهی

به منظور ساخت برج هوادهی از یک استوانه از جنس پلکسی گلاس به ارتفاع یک متر و قطر ۱۰ سانتی متر استفاده شد. سپس برج هوادهی با استفاده از هوادهی کلدنس ۳ به قطر ۱۰×۲۵ میلی متر به ارتفاع ۶۰ سانتی متر پر گردید. شماتیکی از برج استریپر در شکل ۱ ارائه شده است. در جدول (۱) ویژگی های ستون حاوی پکینگ و مدیای پلاستیکی (پکینگ مدیای کلدنس^۲ شرکت کاویان) به کار رفته برای افزایش سطح تماس هوا و مایع و بهینه سازی راندمان حذف آمونیوم (ARE)^۳ در فرایند زدایش توسط هوا نشان داده شده است. انتخاب نوع پکینگ ها براساس نتایج سایر مطالعات انجام شده است که نشان می دهد پکینگ های پلاستیکی به دلیل افزایش سطح تماس

زدایش توسط هوا، زدایش بخار و تقطیر خلاء آمونیوم (۹) تبادل یونی (۱۶،۱۷) و نقطه شکست کلر می باشد (۱۸،۱۹). با این حال، اغلب روش های تصفیه هنوز در سطح تجربی هستند. یک توجه ویژه نسبت به فرایند زدایش توسط هوا به منظور حذف آمونیوم و همچنین سایر ترکیبات فرار در تصفیه خانه های فاضلاب، باید اعمال شود (۲۰،۲۱). فرایند زدایش توسط هوا به منظور حذف آمونیوم دارای مزایای زیادی می باشد، زیرا یک فرآیند نسبتاً ساده، مقرون به صرفه و بدون لجن اضافی به منظور حذف یون آمونیوم از فاضلاب است (۱۸،۲۲). امروزه روش زدایش توسط هوا برای حذف یون آمونیوم با غلظت زیاد از انواع فاضلاب ها شامل: شیرابه لندفیل (۲۳،۲۴)، هضم بی هوازی فاضلاب ها (۲۵،۲۶) و فاضلاب های صنعتی (۲۷) به کار گرفته شده است و مطالعات کمتری برای استفاده از روش زدایش توسط هوا به منظور حذف آمونیوم از فاضلاب های شهری انجام گرفته است (۹). راندمان فرایند زدایش توسط هوا به منظور حذف یون آمونیوم علاوه بر معیارهای فرآیند (میزان جریان مایع، میزان جریان هوا، نرخ هوا به مایع، ارتفاع مدیا، ویژگی مدیا) عمدتاً به pH و دما بستگی دارد (۲۸،۲۹). در مطالعه انجام شده به منظور بررسی راندمان فرایند زدایش توسط هوا به منظور حذف یون آمونیوم از مخلوط مواد زائد غذایی و فاضلاب شهری پارمترهای عملیاتی همچون pH (۱۲) و نسبت هوا به آب (۲۹۲۵) مورد بررسی قرار گرفت و راندمان حذف حداکثری معادل ۹۰ درصد بود (۲۹). در مطالعه انجام شده توسط Lucas و همکاران به منظور بررسی راندمان فرایند زدایش توسط هوا به منظور حذف و بازیافت یون آمونیوم با رنج دمایی ۲۵ تا ۴۵ درجه سانتی گراد و نسبت هوا به آب ۱۷۰۰ تا ۲۶۰۰، راندمان حذف معادل ۹۱ درصد بود (۳۰). در مطالعه انجام شده توسط Hanira و همکاران به منظور بررسی پارمترهای عملیاتی موثر بر راندمان حذف یون آمونیوم از شیرابه لندفیل طی فرایند زدایش توسط هوا، راندمان حذف حداکثری در pH (۱۲) و نسبت هوا به آب ۸۰ معادل ۸۰ درصد بود (۳۱). در فرآیند زدایش توسط هوا به منظور حذف

یون آمونیوم موجود در نمونه های فاضلاب در فواصل زمانی یک ساعته نمونه برداری و با روش های استاندارد (روش نسلریزاسیون؛ تهیه معرف نسلر، تهیه محلول های استاندارد و رسم منحنی کالیبراسیون برای سنجش آمونیوم) با استفاده از اسپکتروفوتومتر (HACH, DR 5000, Germany) در طول موج ۴۲۵ نانومتر آنالیز و تعیین مقدار شد (۳۵). به منظور تعیین pH نمونه ها، از pH سنج مدل (WTW 720, Inolab, Germany) استفاده شد. به منظور ارزیابی مقایسه راندمان حذف آمونیوم در فاضلاب مصنوعی و فاضلاب واقعی در طی فرآیند زدایش توسط هوا، پساب مخزن ته نشینی اولیه (PST) تصفیه خانه فاضلاب شهری اهواز (WWTP) جهت تغذیه پایلوت طی ۴ مرحله در فواصل زمانی معین و در حجم های ۲۰ لیتری تهیه شد. مشخصات فاضلاب واقعی که به عنوان جریان ورودی به پایلوت فرایند زدایش آمونیوم استفاده شد در جدول ۲ ارائه شده است.

مابع با هوا، بیشترین بازده حذف را برای یونهای آمونیوم دارد (۳۳،۳۴).

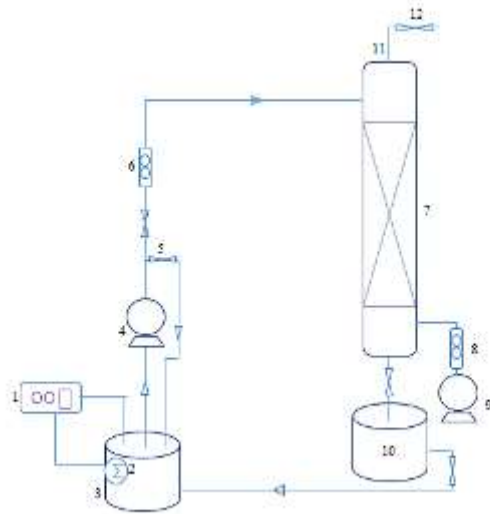
مواد و روش ها

پس از راه اندازی و ران نمودن پایلوت، آزمایشات در شرایط عملیاتی مختلف pH با رنج ۷/۲۵ تا ۱۲/۰۵ فاضلاب مصنوعی و ۷/۸۹ تا ۱۲/۸ برای فاضلاب واقعی و دما با رنج ۱۸/۹ تا ۴۶/۳ درجه سانتی گراد برای فاضلاب مصنوعی و ۲۰/۸ تا ۴۵/۹ درجه سانتی گراد برای فاضلاب واقعی انجام شد. به منظور تنظیم pH از سود ۶ و ۲۵ مولار و برای تنظیم دما از ماژول کنترل دما (Model XH-W3001) بر اساس رنج مورد نظر استفاده شد. به منظور تامین و حفظ جریان هوا و آب در پایلوت به ترتیب به میزان ۴۵ و ۰/۵۶ لیتر در دقیقه از پمپ هوا مدل (HAILEA Aq. air pump, 45 L/minute)، پمپ آب با گذر حجمی لیتر بر دقیقه و روتامتر های هوا و آب استفاده گردید. به منظور ارزیابی تأثیر غلظت آمونیوم ورودی بر فرآیند زدایش توسط هوا

جدول ۱- ویژگی های ستون حاوی پکینگ در پایلوت فرایند زدایش توسط هوا

Table 1. Characteristics of the column containing packing in the pilot ammonia stripping process

مقدار	پارامتر
$4/71 \times 10^{-3} \text{ m}^3$	حجم پکینگ
۰/۱ m	قطر ستون استریپر
۰/۶ m	نوع پکینگ
۳ (۲۵×۱۰ mm) کلدنس	ارتفاع پکینگ



شکل ۱- شماتیک پایلوت فرایند زدایش توسط هوا در مقیاس آزمایشگاهی: (۱) سوئیچ الکتریکی و کنترلر دما (۲) سیستم گرمایش (۳) مخزن تغذیه؛ (۴) پمپ آب؛ (۵) شیر آب؛ (۶) فلومتر آب؛ (۷) ستون زدایش با هوا؛ (۸) فلومتر هوا (۹) پمپ هوا؛ (۱۰) مخزن بازیافت آب؛ (۱۱) خروجی گاز (۱۲) شیر خروجی گاز.

Figure 1. A Schematic diagram of the pilot-scale lab experiment for the Ammonia stripping process: (1) Electronic switch and temperature controller; (2) heating system; (3) feed tank; (4) water pump; (5) water valve; (6) water flow meter; (7) air stripping column; (8) airflow meter; (9) air pump; (10) water recycle tank; (11) gas outlet; (12) gas outlet valve.

جدول ۲- مشخصات فاضلاب واقعی به عنوان جریان ورودی به پایلوت فرایند زدایش توسط هوا

Table 2. Characteristics of actual wastewater as influent of the pilot ammonia stripping process

پارامتر	واحد	حداقل	حداکثر
pH	-	۷/۸۹	۹/۱۴
NH ₄ ⁺	mg/L	۳۸/۴۰	۶۱/۰۴
TN	mg/L	۴۲/۲۵	۷۰/۱۹

که C_{in} و C_{out} به ترتیب غلظت یون آمونیوم در جریان ورودی و خروجی محلول بر حسب میلی گرم در لیتر می باشد (۳۶،۳۷).

تجزیه و تحلیل داده ها

به منظور تجزیه و تحلیل و آنالیز آماری و بررسی رابطه خطی و ضریب همبستگی داده ها ابتدا نمودار *heat map* ترسیم و سپس به منظور آنالیز دقیق تر از دو مدل رگرسیون خطی تک متغییره و مدل رگرسیون خطی چند متغییره استفاده شد که

به منظور اندازه گیری غلظت گاز آمونیاک از سنسور گاز آمونیاک مدل (GasAlert Extreme NH₃) ساخت شرکت Honeywell کشور آمریکا استفاده گردید. به منظور محاسبه راندمان حذف یون آمونیوم^۱ (ARE) در فرایند زدایش توسط هوا از معادله ۲ استفاده گردید.

$$\%Ammonia\ Removal\ Eff. = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times \%100 \quad (2)$$

از ۳۸٪ تا ۹۱٪ در مدت زمان ۱ تا ۶ ساعت طی فرایند زدایش توسط هوا می شود. همچنین افزایش غلظت آمونیوم ورودی (NH_4^+) از ۳۸/۴۰ تا ۶۱/۰۴ میلی گرم در لیتر برای فاضلاب واقعی منجر به افزایش راندمان حذف یون آمونیوم ورودی (NH_4^+) از ۳۴٪ تا ۹۱٪ در مدت زمان ۱/۵ تا ۷ ساعت طی فرایند زدایش توسط هوا می شود. در جدول (۳) روند راندمان حذف آمونیوم در فرایند زدایش توسط هوا را در فاضلاب مصنوعی و واقعی در نسبت هوا به آب (G/L) ۸۰ و براساس غلظت آمونیوم ورودی و خروجی را نشان می دهد.

نمودار heat map فاضلاب مصنوعی و واقعی که به ترتیب بیانگر ارتباط خطی و ضریب همبستگی (بیانی) معنادار مثبت بین غلظت آمونیوم ورودی و دما با ARE، ارتباط خطی بین pH و ARE، ارتباط معنادار منفی بین غلظت آمونیوم خروجی با ARE در فاضلاب مصنوعی و واقعی هستند، در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

راندمان حذف آمونیوم بعنوان متغیر وابسته و pH، دما و غلظت آمونیوم ورودی (NH_4^+) به عنوان متغیرهای مستقل مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات در میانگین راندمان حذف آمونیوم (ARE) بر حسب ضرایب غیراستاندارد (B) و استاندارد (Beta) به ازای تغییرات و افزایش در یک واحد متغیرهای مستقل و فاصله اطمینان (CI) ارائه شده است. تجزیه و تحلیل و آنالیز آماری توسط نرم افزار satatistics۲۴ انجام شد.

یافته ها و بحث

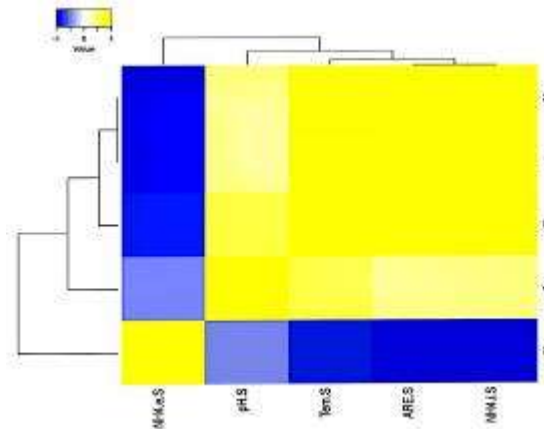
اثر غلظت آمونیوم ورودی بر فرایند زدایش توسط هوا در فاضلاب مصنوعی و واقعی

نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش غلظت آمونیوم ورودی (NH_4^+) از ۳۵/۷۰ تا ۵۹/۶ میلی گرم در لیتر با جریان هوا ۴۵ و آب ۰/۵۶ لیتر در دقیقه و نسبت فلوی هوا به آب ثابت (G/L) ۸۰ و با سرعت جریان هوای ۰/۰۹ متر بر ثانیه برای فاضلاب مصنوعی منجر به افزایش راندمان حذف یون آمونیوم (NH_4^+)

جدول ۳- راندمان حذف آمونیوم طی فرایند زدایش توسط هوا در فاضلاب مصنوعی و واقعی

Table 3. Ammonia removal efficiency during the air stripping process for synthetic and real wastewater.

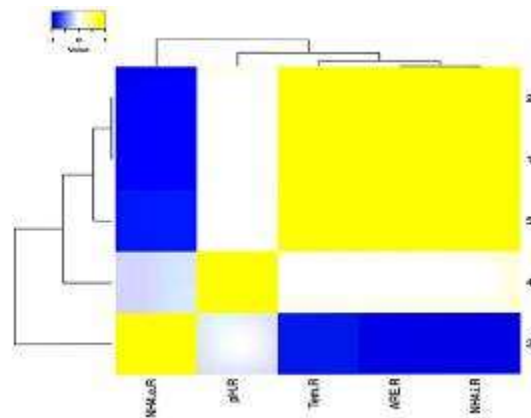
غلظت آمونیوم ورودی (mg/L)		غلظت آمونیوم خروجی (mg/L)		راندمان حذف آمونیوم (%ARE)		فاضلاب
حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	
۳۵/۷۰	۵۹/۶	۲۲/۱۰	۴/۹۸	۳۸	۹۱	مصنوعی
۳۸/۴۰	۶۱/۰۴	۲۵/۵۰	۵/۳۶	۳۴	۹۱	واقعی



شکل ۲- نمودار heat map فاضلاب مصنوعی (۱) راندمان حذف آمونیوم بر حسب درصد ۲. غلظت آمونیوم ورودی ۴.

غلظت آمونیوم خروجی ۴، pH ۵. دمای فاضلاب مصنوعی

Figure 2. heat map diagram of synthetic wastewater.



شکل ۳- نمودار heat map فاضلاب واقعی (۱) راندمان حذف آمونیوم بر حسب درصد ۴. غلظت آمونیوم ورودی ۴. غلظت

آمونیوم خروجی ۴، pH ۵. دمای فاضلاب واقعی

Figure 3. heat map diagram of real wastewater.

میانگین ARE به ترتیب میزان ۰/۹۷ و ۰/۹۹۸ درصد افزایش یافت که این نتایج مشابه نتایج مطالعه دیگری در زمینه بررسی فرایند زدایش توسط هوا می باشد (۳۸). این نتایج نشان می دهد که راندمان حذف نیترژن آمونیاکی در فرایند زدایش توسط هوا تابعی از غلظت آمونیوم ورودی است (۳۹).

نتایج مدل رگرسیون تک متغییره در جدول ۴ نشان می دهد که بین غلظت آمونیوم ورودی (NH_4^+) و میزان راندمان حذف آمونیوم در فاضلاب مصنوعی و فاضلاب واقعی رابطه معنا دار مثبت وجود دارد (P-value : ۰/۰۰۰) و به ازای یک واحد افزایش در غلظت آمونیوم ورودی (NH_4^+) در فاضلاب مصنوعی و واقعی،

- 1- Ammonia Removal Efficiency for Synthetic Wastewater
- 2- Initial NH_4^+ Concentration in Synthetic Wastewater
- 3- Effluent NH_4^+ in Synthetic Wastewater
- 4- Temperature of Synthetic Wastewater
- 5- Ammonia Removal Efficiency for Real Wastewater
- 6- Initial NH_4^+ Concentration in Real Wastewater
- 7- Effluent NH_4^+ in Real Wastewater
- 8- Temperature of Real Wastewater

جدول ۴- نتایج مدل رگرسیون تک متغییره برای غلظت یون آمونیوم ورودی، pH و دما در فاضلاب مصنوعی و واقعی.

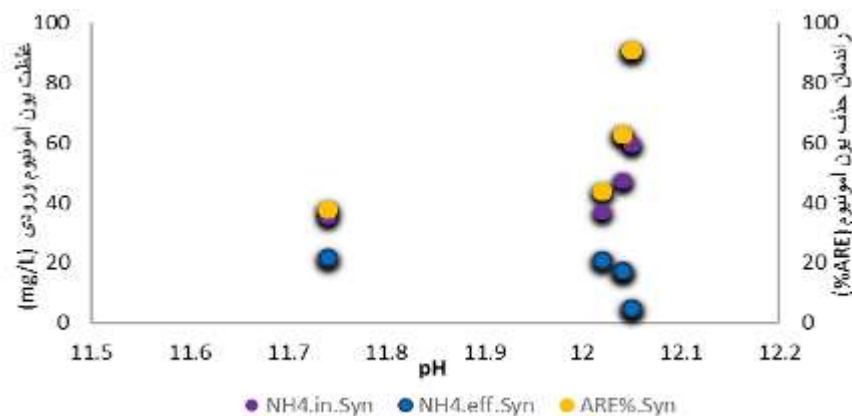
Table 4. Results of univariate regression model for initial ammonia concentration, pH and temperature in synthetic and real wastewater.

غلظت یون آمونیوم ورودی (NH_4^+)			pH			دما (درجه سانتی گراد)			فاضلاب			
B	Beta	Changes (95% CI)	B	Beta	Changes (95% CI)	B	Beta	Changes (95% CI)				
۲/۱۵۵	۰/۹۹۸	۲/۰۸۷	۲/۲۲۳	۴۵/۱۲۵	۲/۳۰۳	۱/۹۳۷	۸۷/۹۴	۱/۹۸۹	۰/۷۴۷	۱/۱۶۳	۲/۸۱۴	مصنوعی
۲/۴۴۷	۰/۹۷	۲/۱۶۰	۲/۷۳۴	-۲/۷۴۲	۰/۰۶۵	-۲۱/۴۲۸	۱۸/۵۹۴	۱/۸۰	۰/۶۵۴	۰/۸۲۸	۲/۷۷۱	واقعی

غلظت های مختلف یون آمونیوم ورودی (NH_4^+) و pH و تاثیر آنها بر روی ARE در فاضلاب مصنوعی و فاضلاب واقعی طی فرایند زدایش توسط هوا در شکل های ۴ و ۵ نشان داده شده است که نشان دهنده افزایش راندمان حذف با افزایش غلظت آمونیوم ورودی (NH_4^+) و pH است. این نتایج مشابه با نتایج مطالعه دیگری است که بیانگر دستیابی به راندمان حذف بالاتر آمونیوم طی فرایند زدایش توسط هوا در pH و غلظت های بالاتر آمونیوم می باشد (۴۰). همچنین در مطالعه دیگری راندمان حذف حداکثری برای حذف آمونیوم طی فرایند زدایش توسط هوا در pH ۱۲ و دمای ۶۰ درجه سانتی گراد معادل ۹۱ درصد بود (۱۵).

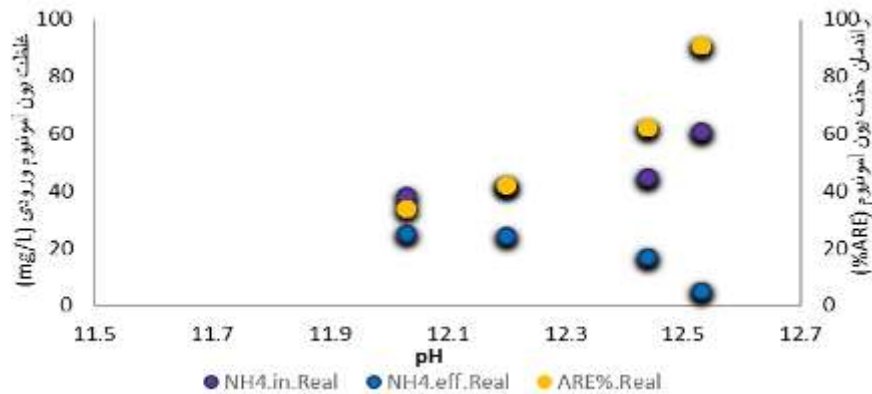
اثر pH بر فرایند زدایش توسط هوا در فاضلاب مصنوعی و واقعی

در این مطالعه برای پساب ها با pH اولیه و تنظیم نشده (۷/۲۵) تا ۹/۳ برای فاضلاب مصنوعی و ۷/۸۹ تا ۹/۱۴ برای فاضلاب واقعی) راندمان حذف مطلوبی (۰/۶ تا ۵/۳ برای فاضلاب مصنوعی و ۰/۲۳ تا ۱/۷ درصد برای فاضلاب واقعی) بدست نیامد. همچنین در این پژوهش رنج حداکثری و حداکثری pH ۱۱/۲ تا ۱۲/۰۵ برای فاضلاب مصنوعی و رنج حداکثری و حداکثری pH ۱۱/۱۸ تا ۱۲/۸ برای فاضلاب واقعی بررسی شد و به ترتیب حداکثر ARE (۰/۹۱) در pH ۱۲/۰۵ برای فاضلاب مصنوعی و حداکثر ARE (۰/۹۱) در pH ۱۲/۵۳ برای فاضلاب واقعی بدست آمد. ماکزیمم



شکل ۴- تاثیر غلظت آمونیوم ورودی (NH_4^+) و pH بر روی ARE طی فرایند زدایش توسط هوا در فاضلاب مصنوعی

Figure 4. The effect of NH_4^+ and pH on ARE in the air stripping process of synthetic wastewater.



شکل ۵- تاثیر غلظت آمونیوم ورودی (NH_4^+) و pH بر روی ARE طی فرایند زدایش توسط هوا در فاضلاب مصنوعی

Figure 5. The effect of NH_4^+ and pH on ARE in the air stripping process of synthetic wastewater.

دارد، نسبت داد. مطالعات بسیاری نشان می دهد در فرآیند زدایش توسط هوا به ویژه به منظور حذف آمونیوم هنگامی که pH حدود ۱۱-۱۲ می باشد، فرایند زدایش توسط هوا بسیار موثرتر است و وقتی pH به ۱۳ افزایش می یابد تاثیر اندکی بر راندمان حذف آمونیوم در فرایند زدایش توسط هوا دارد (۲۸). نتایج مدل رگرسیون تک متغیره به منظور بررسی تاثیر پارمترهای موثر بر روی راندمان حذف نشان داد که غلظت آمونیوم ورودی، دما و pH به ترتیب بیشترین میزان تاثیر را بر ARE در فاضلاب مصنوعی و فاضلاب واقعی دارند که تاثیر غلظت آمونیوم ورودی، دما و pH برای فاضلاب مصنوعی از نوع افزایشی و تاثیر pH بر روی فاضلاب واقعی از نوع کاهش می باشد که ناشی از افزایش pH از رنج مطلوب pH (۱۱-۱۲) برای راندمان حذف یون آمونیوم می باشد. Quan و همکاران گزارش کردند که به منظور تقویت و افزایش تبدیل یون آمونیوم (NH_4^+) در محلول به فرم گازی آمونیاک (NH_3) بین pH ۱۱ تا ۱۲ مطلوب است (۴۳). مطالعات متعددی مقدار pH ۱۱-۱۲ را برای بازیابی بهینه و اقتصادی در فرایند زدایش توسط هوا بیان نمودند (۱۵،۴۴،۴۵).

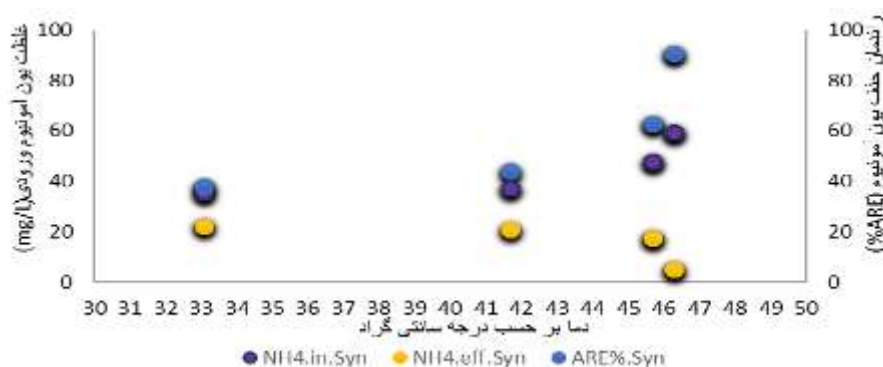
اثر دما بر فرایند زدایش توسط هوا در فاضلاب مصنوعی و واقعی

دما یکی از پارمترهای عملیاتی موثر در فرایند فیزیکی-شیمیایی زدایش توسط هوا نقش مهمی در حذف آمونیوم از محلول ناشی از کاهش حلالیت فرم گازی آن در محلول به دنبال

بر اساس جدول ۴ و نتایج مدل رگرسیون تک متغیره بین pH و میزان ARE در فاضلاب مصنوعی طی فرایند زدایش توسط هوا، ارتباط معنی داری مشاهده شد (P-value : ۰/۰۴). نتیجه این مدل بیانگر آن است که یک واحد افزایش در pH منجر به افزایش میانگین ARE شده است که ناشی از افزایش روند تبدیل یون آمونیوم به فرم گازی در pH های بالاتر با توجه به معادله (۱) است و نشان دهنده آن است که افزایش pH منجر به افزایش تبدیل آمونیوم (NH_4^+) به فرم گازی آن (NH_3) در موازنه $(\text{NH}_4^+) / (\text{NH}_3(\text{aq}))$ می شود (۴۱،۴۲). در حالیکه بر اساس جدول ۴، نتیجه مدل رگرسیون تک متغیره در فاضلاب واقعی نشان داد که بین pH و میزان ARE طی فرایند زدایش توسط هوا ارتباط معنی داری مشاهده نشد (P-value : ۰/۸۸۴). نتیجه این مدل بیانگر آن است که یک واحد افزایش در pH منجر به کاهش میانگین ARE شده است که ناشی از بالا بودن تقریبی میزان ماکزیمم pH فاضلاب واقعی در مقایسه با فاضلاب مصنوعی در بررسی راندمان حذف است. نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش pH از ۱۲/۵۳ به ۱۲/۸ در فاضلاب واقعی نه تنها منجر به افزایش راندمان حذف نشده بلکه باعث افزایش هزینه های اضافی از نظر تامین سود به منظور بالا بردن میزان pH می شود. علت مصرف سود اضافی در فاضلاب واقعی نسبت به فاضلاب مصنوعی را می توان به نقشی که سود در فاضلاب به عنوان یک ماده منعقد کننده برای املاح و جامدات محلول فاضلاب، جدای از افزایش pH فاضلاب

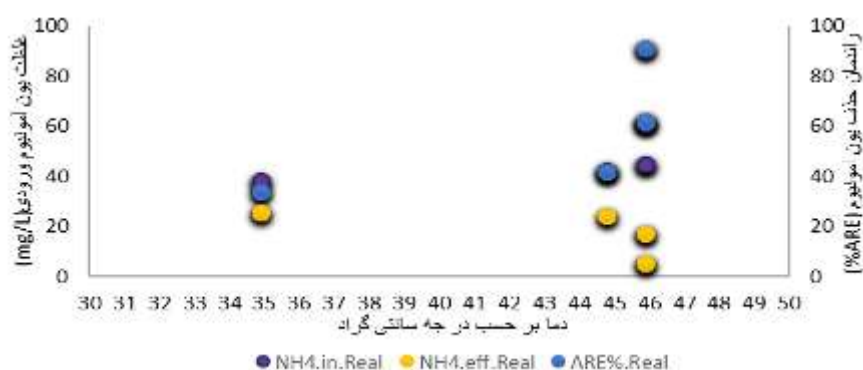
فاضلاب مصنوعی (۹۱٪) در دمای ۴۶/۳ درجه سانتیگراد بدست آمد در حالی که کمترین ARE (۳۸٪) در ۳۳/۱ درجه سانتیگراد بدست آمد. همچنین حداکثر ARE در فاضلاب واقعی (پساب مخزن ته نشینی اولیه) (۹۱٪) در دمای ۴۵/۹ درجه و کمترین ARE (۳۴٪) در ۳۴/۹ درجه مشاهده شد.

افزایش درجه حرارت دارد (۴۶). در این مطالعه اثر دما بین ۱۸/۹ تا ۴۶/۳ و ۲۰/۸ تا ۴۵/۹ بر حسب درجه سانتیگراد بر روی ARE طی فرایند زدایش توسط هوا به ترتیب برای برای فاضلاب مصنوعی و واقعی بررسی شد. شکل های ۶ و ۷ نشان می دهد که ARE با افزایش دما افزایش یافته و تغییرات دما تأثیر آشکاری بر آن دارد. حداکثر ARE در



شکل ۶- تأثیر غلظت آمونیوم ورودی و دما بر روی ARE طی فرایند زدایش توسط هوا در فاضلاب مصنوعی

Figure 6. The effect of NH_4^+ and temperature on ARE in the air stripping process of synthetic wastewater.



شکل ۷- تأثیر غلظت آمونیوم ورودی و دما بر روی ARE طی فرایند زدایش توسط هوا در فاضلاب واقعی

Figure 7. The effect of NH_4^+ and temperature on ARE in the air stripping process of real wastewater.

بیانگر این است که افزایش سریع غلظت آمونیاک گازی در فاضلاب تابعی از افزایش دما است که منجر به کاهش میزان حلالیت گاز مطابق با ثابت هنری شده است (۴۲). سایر مطالعات دیگر نیز گزارش کرده اند که افزایش دمای مخزن فاضلاب منجر به افزایش راندمان فرایند زدایش توسط هوا در محلول ها شده است (۴۷، ۴۸). در پژوهش حاضر برای رنج دمایی ۳۳/۱ تا ۴۶/۳ درجه سانتیگراد حداکثر راندمان حذف برای فاضلاب مصنوعی ۹۱ درصد و برای رنج دمایی ۳۴/۹ تا ۴۵/۹ درجه سانتیگراد

بر اساس جدول ۴ و نتایج مدل رگرسیون تک متغییره بین دما و ARE طی فرایند زدایش توسط هوا، ارتباط معنادار مثبت برای فاضلاب مصنوعی (P value: ۰/۰۰۰) و فاضلاب واقعی (P value: ۰/۰۰۱) مشاهده شد و به ازای یک واحد افزایش دما در فاضلاب مصنوعی، میانگین ARE به میزان ۰/۷۴۷ درصد و به ازای یک واحد افزایش دما در فاضلاب مصنوعی، میانگین ARE به میزان ۰/۶۵۴ درصد افزایش یافت. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش دما، ARE به طور چشمگیری افزایش می یابد که

value). نتایج این مدل نشان می دهد که در مقایسه تاثیر همزمان دو پارامتر pH و دما بر روی ARE ، این تاثیر برای دما افزایشی و برای pH کاهشی می باشد. این نتایج نشان می دهد که در نسبت هوا به آب (G/L) ۸۰ و دماهای بالاتر ARE افزایش یافته در نتیجه کاهش حلالیت گاز آمونیاک در فاضلاب ناشی از افزایش ثابت هنری به دنبال افزایش دما که بیانگر آن است که روش زدایش توسط هوا یک روش بسیار مناسب و کاربردی به منظور حذف آمونیوم از پساب تصفیه خانه های فاضلاب شهری (WWTPs) در مناطق گرمسیری خواهد بود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که طی فرایند زدایش توسط هوا برای حذف آمونیوم در دماهای بالا میزان ARE نسبت به pH حساس نبوده که این نتایج مشابه نتایج سایر مطالعات در خصوص بررسی تاثیر پارامترهای موثر بر راندمان حذف یون آمونیوم در فرایند زدایش توسط هوا است (۴۹).

حداکثر راندمان حذف برای فاضلاب واقعی معادل ۹۱ درصد بود که در مطالعات قبلی هم رنج دمایی مطلوب برای حذف آمونیوم طی فرایند زدایش توسط هوا را ۲۵ تا ۵۵ درجه سانتی گراد گزارش نموده اند (۴۵). بر اساس جدول ۵ در مدل رگرسیون چند متغییره در مقایسه دو پارامتر دما و pH در فاضلاب مصنوعی بر روی ARE اثر هر دو پارامتر معنی دار و به ترتیب برابر است با P-value: ۰/۰۰۰ و P-value: ۰/۰۰۱ است. نتایج این مدل نشان می دهد که در مقایسه تاثیر همزمان دو پارامتر pH و دما بر روی ARE، این تاثیر برای دما افزایشی و برای pH کاهشی می باشد. همچنین در مدل رگرسیون چند متغییره انجام شده به منظور بررسی تاثیر دو پارامتر pH و دما در فاضلاب واقعی (پساب مخزن ته نشینی اولیه) بر روی ARE، نتایج نشان داد که اثر پارامتر دما بر روی ARE معنا دار (P- ۰/۰۰۰) داد که اثر پارامتر pH معنا دار نبوده است (P- ۰/۱۱۲) و بر روی pH

جدول ۵- نتایج مدل رگرسیون چند متغییره در مقایسه دو پارامتر pH و دما در فاضلاب مصنوعی و فاضلاب واقعی

Table 5. Results of multivariate regression model comparing pH and temperature parameters in synthetic wastewater and real wastewater

pH				دما (درجه سانتی گراد)				فاضلاب
B	Beta	Changes (95% CI)		B	Beta	Changes (95% CI)		
ضریب	ضریب			ضریب	ضریب			
-۴۵/۱۱۶	-۰/۵۱۳	-۶۹/۰۹۳	-۲۱/۱۳۹	۲/۶۶۲	۱	۱/۹۳۷	۳/۳۸۷	مصنوعی
-۱۲/۰۰۵	-۰/۲۸۳	-۲۷/۰۹۸	۳/۰۸۴	۲/۰۳	۰/۷۳۷	۱/۰۵۱	۳/۰۰۸	واقعی

نتیجه گیری

متغییره در بررسی پارامترهای عملیاتی موثر بر راندمان حذف یون آمونیوم در فرایند زدایش با هوا نشان داد که:

۱. فرایند زدایش توسط هوا می تواند با موفقیت به منظور حذف یون آمونیوم از پساب تصفیه خانه های فاضلاب (WWTPs) به ویژه برای مناطق گرمسیری به کار رود.
۲. غلظت آمونیوم ورودی (NH_4^+) < دما < pH بر اساس مدل رگرسیون تک متغییره به ترتیب بیشترین میزان تاثیر را بر راندمان حذف آمونیوم در فاضلاب مصنوعی و فاضلاب واقعی دارند.

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه حداکثر راندمان حذف یون آمونیوم در نسبت هوا به آب (G/L) ۸۰ برای فاضلاب مصنوعی و واقعی به ترتیب با غلظت آمونیوم ورودی ۵۹/۶ و ۶۱/۰۴ میلی گرم در لیتر، pH ۱۲/۰۵ و ۱۲/۵۳، دمای ۴۶/۳ و ۴۵/۹ درجه طی مدت ۶ و ۷ ساعت معادل ۹۱٪ بود. نتایج نمودار heat map به ترتیب بیانگر ارتباط و ضریب همبستگی معنادار مثبت بین غلظت آمونیوم ورودی و دما با ARE ، ارتباط خطی بین pH با ARE ، ضریب همبستگی معنا دار منفی بین غلظت آمونیوم خروجی با ARE در فاضلاب مصنوعی و واقعی بود. در این مطالعه نتایج مدل های رگرسیون تک متغییره و چند

- Physicochemical Treatment Processes*. Vol. 4, pp. 47–77.
6. EPA. (2015). *Office of Water*. Washington DC, US-EPA. http://water.epa.gov/polwaste/npdes/stormwater/upload/msgp2015_part8.pdf.
 7. Jeong, H., Park, J., & Kim, H. (2013). Determination of NH₄⁺ in Environmental Water with Interfering Substances Using the Modified Nessler Method *Journal of Chemistry*. doi:<http://dx.doi.org/10.1155/2013/359217>.
 8. Sewage discharge standards by the Environmental Protection Organization of Iran, according to the Regulation on Prevention of Water Pollution.
 9. Capodaglio, A. G., Hlavínek, P., & Raboni, M. (2015). Physico-chemical technologies for nitrogen removal from wastewaters: a review. *Revista Ambiente & Agua*, 10(3), 481–498.
 10. Gupta, V., Sadegh, H., Yari, M., Shahryari-Ghoshekandi, R., Maazinejad, B., & Chahardori, M. (2015). Removal of ammonium ions from wastewater A short review in development of efficient methods. *Global J. Environ. Sci. Manage*, 1(2), 149-158. <https://doi.org/10.7508/gjesm.2015.7502.7007>.
 11. Xie, Z., Duong, T., Hoang, M., Nguyen, C., & Bolto, B. (2009). Ammonia removal by sweep gas membrane distillation. *Water Res*, 43, 1693-1699.
 12. Hasan, H. A., Abdullah, S. R. S., Kamarudin, S. K., & Kofli, N. T. (2011). Problems of ammonia and manganese in Malaysian drinking water treatments. *World Appl. Sci. J.*, 12, 1890–1896.

۳. در مقایسه دو پارمتر دما و pH بر اساس مدل رگرسیون چند متغییره به ترتیب تاثیر دما و pH بر راندمان حذف آمونیوم (ARE) در فاضلاب مصنوعی و فاضلاب واقعی افزایشی و کاهش می باشد.
۴. راندمان حذف آمونیوم طی فرایند زدایش توسط هوا در دمای عملیاتی بالاتر در نتیجه کاهش حلالیت گاز آمونیاک در فاضلاب به سبب افزایش ثابت هنری، افزایش یافت.
۵. راندمان حذف آمونیوم در محدوده های دمایی بالاتر مستقل از pH گزارش شد.

تقدیر و تشکر

مطالعه حاضر مستخرج از پایان نامه مقطع دکترای مهندسی محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز می باشد.

References

1. Urbini, G., Gavasci, R., & Viotti, P. (2015). Oxygen control and improved denitrification efficiency by means of a post-anoxic reactor. *Sustainability*, 7(2), ۱۲۰۱-۱۲۱۲.
2. Deng, Q. (2014). Ammonia Removal and Recovery from Wastewater Using Natural Zeolite: An Integrated System for Regeneration by Air Stripping Followed Ion Exchange. (Dissertation), University of Waterloo Ontario, Canada.
3. Roch, N. (2015). Analysis of Ammonia removal from wastewater market: Feasibility of saltworks introduction new technology. (Dissertation), Simon Fraser University.
4. EPA. (2013). Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria for Ammonia - Freshwater *Office of Water*. Washington DC, US-EPA.
5. Wang, L., Hung, Y., & Shamma, N. (2006). *Air Stripping Handbook of Environmental Engineering, Advanced*

- doi:<https://doi.org/10.1155/2018/3181087>.
19. Zhang, F., Li, X., Wang, Z., Jiang, H., Ren, S., & Peng, Y. (2020). Simultaneous Ammonium oxidation denitrifying (SAD) in an innovative three-stage process for energy-efficient mature landfill leachate treatment with external sludge reduction. *Water research*, 169, 115156.
 20. Campos, J. C., Moura, D., Costa, A. P., Yokoyama, L., Araujo, F. V., Cammarota, M. C., & Cardillo, L. (2013). Evaluation of pH, alkalinity and temperature during air stripping process for ammonia removal from landfill leachate. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 48(9), 1105-1113 . <http://dx.doi.org/1110.1080/10934529.10932013.10774658>
 21. Viotti, P., & Gavasci, R. (2015). Scaling of ammonia stripping towers in the treatment of groundwater polluted by municipal solid waste landfill leachate: study of the causes of scaling and its effects on stripping performance. *Revista Ambiente & Agua*, 10(2), 240-252. doi:10.4136/ambi-agua.1567
 22. Smaoui, Y., Bouzid, J., & Sayadi, S. (2020). Combination of air stripping and biological processes for landfill leachate treatment .
 23. Dos Santos, H. A. P., de Castilhos Júnior, A. B., Nadaleti, W. C., & Lourenço, V. A. (2020). Ammonia recovery from air stripping process applied to landfill leachate treatment. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13.
 24. Jurczyk, Ł., Koc-Jurczyk, J., & Masłoń, A. (2020). Simultaneous Stripping of
 13. Yuan, M. H., Chen, Y. H., Tsai, J. Y., & Chang, C. Y. (2016). Ammonia removal from ammonia-rich wastewater by air stripping using a rotating packed bed. *Process Safety and Environment Protection*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2016.06.021>
 14. El-Gohary, F. A., Khater, M., & Kamel, G. M. (2013). Pretreatment of Landfill Leachate by Ammonia Stripping. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(6), 3905-39
 15. Zhu, L., Dong, D., Hua, X., Xu, Y., Guo, Z & ,Liang, D. (2017). Ammonia nitrogen removal and recovery from acetylene purification wastewater by air stripping. *Water Science and Technology*, 75(11), 2538-2545 .
 16. Hasanoglu, A., Romero, J., Perez, B., & Plaza, A. (2010). Ammonia removal from wastewater streams through membrane contactors: Experimental and theoretical analysis of operation parameters and configuration. *Chem. Eng. J.*, 160, 530-537 .
 17. Kartohardjono, S., Damaiati, G. M., & Rama, C. T. (2015). Effects of Absorbents on Ammonia Removal from Wastewater Through Hollow Fiber Membrane Contactor. *Journal of Environmental Science and Technology* 8(5), 225-231. doi:10.3923/jest.225.231.
 18. Kinidi, L., Wei Tan, I., Abdul Wahab, N., Bin Tamrin, K., Hipolito, C., & Salleh, S. F. (2018). Recent Development in Ammonia Stripping Process for Industrial Wastewater Treatment. *Hindawi International Journal of Chemical Engineering*, 1-14.

31. Hanira NM, Hasfalina CM, Rashid M, Luqman CA, Abdullah AM, editors. *Effect of dilution and operating parameters on ammonia removal from scheduled waste landfill leachate in a lab-scale ammonia stripping reactor. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*; 2016.
32. Sengupta, S., Nawaz, T., & Beaudry, J. (2015). Nitrogen and phosphorus recovery from wastewater. *Current Pollution Reports*, 1, ۱۵۵-۱۶۶, (۳). <https://doi.org/10.1007/s40726-40015-40013-40721>.
33. Alam, R., & Hossain, M. (2009). Effect of packing materials and other parameters on the air stripping process for the removal of ammonia from the wastewater of natural gas fertilizer factory. *Journal of Water Resources and Protection*, 3, 210-215.
34. Blauvelt, A. (2009). *Removal of Ammonia from Landfill Leachate Worcester*. (Dissertation), Worcester MA, United States
35. Association, A. P. H. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*: American Public Health Association. ۲۳rd Edition.
36. Jafari, M. J., Omidi, L., Rezazadeh Azari, M., Massoudi Nejad, M. R., & Namdari, M. (2014). Raschig Rings Versus PVC as a Packed Tower Media in Scrubbing Ammonia from Air. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 5(3), 270-276. doi: 10.5829/idosi.ijee.2014.05.03.06.
37. Taşdemir, A., Cengiz, İ., Yildiz, E., & Bayhan, Y. K. (۲۰۲۰). Investigation of ammonia stripping with a hydrodynamic cavitation reactor. *Ultrasonics sonochemistry*, 60, 104741.
- Ammonia from Leachate: Experimental Insights and Key Microbial Players. *Water*, 12(9), 2494.
25. Folino, A., Calabrò, P. S., & Zema, D. A. (2020). Effects of Ammonia Stripping and Other Physico-Chemical Pretreatments on Anaerobic Digestion of Swine Wastewater. *Energies*, 13(13), 3413.
26. Georgiou, D., Liliopoulos, V., & Aivasidis, A. (2020). Upgrading of biogas by utilizing aqueous ammonia and the alkaline effluent from air-stripping of anaerobically digested animal manure. Application on the design of a semi-industrial plant unit. *Journal of Water Process Engineering*, 36, 101318.
27. Ulu, F., & Kobya, M. (2020). Ammonia removal from wastewater by air stripping and recovery struvite and calcium sulphate precipitations from anesthetic gases manufacturing wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 38, 101641.
28. Guo, J., Abbas, A., Chen, Y., Liu, Z., Fang, F., & Chen, P. (2010). Treatment of landfill leachate using a combined stripping, Fenton, SBR, and coagulation process. *Journal of hazardous materials*, 178, 699-705.
29. Bui H.H, Nguyen L.H, Nguyen X.T. (2020) Removal of ammonia from anaerobic co-digestion effluent of organic fraction of food waste and domestic wastewater using air stripping process. *Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering*. 24;62(2):19-23.
30. Melgaço LA, Meers E, Mota CR. (2020) Ammonia recovery from food waste digestate using solar heat-assisted stripping-absorption. *Waste Management*. 15; 113:244-50.

- Characterisation and Feasibility as a Pre- or Post-treatment to Mesophilic Anaerobis Digestion. *Waste Management*, 23(1), 261-272 .
45. Norddahl B, Christensen KV, Horn V, Larsson M, & A, d. J. (2006). membrane contactor for ammonia stripping, pilot scale experience
46. Liehr, S., Classen, J., Humenik, F., Baird, C., & Rice, M. (2006). *Ammonia Recovery from Swine Belt Separated Liquid*. Paper presented at the 2006 ASAE Annual Meeting.
47. Ding, Z., Liu, L., Li, Z., Ma, R., & Yang, Z. (2006). Experimental study of ammonia removal from water by membrane distillation (MD): The comparison of three configurations. *Journal of membrane Science*, 286(1-2), 93-103. doi:<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.09.015>
48. Mohammed-Nour, A., Al-Sewailem, M., & El-Naggar, A. H. (2019). The Influence of Alkalization and Temperature on Ammonia Recovery from Cow Manure and the Chemical Properties of the Effluents. *Sustainability*, 11(8), 2441 .
49. Guštin, S., & Marinšek-Logar, R. (2011). Effect of pH, temperature and air flow rate on the continuous ammonia stripping of the anaerobi digestion effluent. *Proc. Saf. Environ. Protect*, 89(1), 61–66 .
38. Jenkins, D., McCallum, D., Ruzbacky, R., Saunders, S., & Brent, A. (2007). Air stripping of ammonia and methanol in a bubble-cap column. *Environmental progress*, 26(4), 365-374 .
39. Cotman, M., & Gotvajn, A. (2010). Comparison of different physico-chemical methods for the removal of toxicants from landfill leachate. *Journal of hazardous materials*, 178, 298–305.
40. Hossini, H., Rezaee, A., Ayati, B., & Mahvi, A. H. (2016). Off-gas treatment of ammonia using a diffused air stripper: A kinetic study. *Health Scope*, 5(1).
41. Li, W., Shi, X., Zhang, S., & Qi, G. (2020). Modelling of ammonia recovery from wastewater by air stripping in rotating packed beds. *Science of The Total Environment*, 702, 134971 .
42. Tao, W., & Ukwuani, A. T. (2015). Coupling thermal stripping and acid absorption for ammonia recovery from dairy manure: Ammonia volatilization kinetics and effects of temperature, pH and dissolved solids content. *Chemical Engineering Journal*, 280, 188-196 .
43. Quan X, Wang F, Zhao Q, Zhao T, & J., X. (2009). Air stripping of ammonia in a water-sparged aerocyclone reactor. *J Hazard Mater.*, 170(2), 983–988 .
44. Bonmati, A., & Flotats, X. (2003). Air Stripping of Ammonia from Pig Slurry: