مطالعه اثر بخشی امواج مایکروویو در فرایند درمان و کارایی انرژی در تصفیه فاضلاب صنعتی

زینب امین[1*]، مروه احمد[2]، نزیح کامیل صالیح اوگلو[3]

۱-دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست، گروه علوم فنی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه اولوداغ، بورسا، ترکیه، zeinabamin13@gmail.com
۲-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، گروه علوم فنی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه اولوداغ، بورسا، ترکیه
۳-عضو هیات علمی دانشگاه اولوداغ، بورسا، ترکیه

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۵

چکیده

هدف کلی از این تحقیق بررسی تاثیر درمان تابش مایکروویو در حذف اکسیژن خواهی شیمیایی، رنگ و مواد مغذی موجود در نمونه فاضلاب صنعتی شهر بورسا در کشور ترکیه می باشد، که بدون تولید محصولات فرعی در مدت زمان مطلوب مطابق با روش استاندارد متد مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می دهد طی تابش امواج مایکروویو با قدرت ۹۰۰ وات، راندمان حذف ۷۹٪ اکسیژن خواهی شیمیایی، 23.55% رنگ ، ٦٥٪ فسفر و ٪۹٥ نیترات آمونیوم با نمونه گیری در دوره های زمانی ۰، ٦۰، ۱۲۰، , 150، ۱۸۰، 420,360,300,۲٤۰ ثانیه مشاهده گردید. همچنین میزان انرژی مصرفی به ترتیب 30.8وات، ١٦٤ وات،١٤٣,٥ وات و ۱۰۲,٥وات می باشد. به طوریکه پس از ٥ دقیقه تابش مایکروویو راندمان حذف بالای ٥۰ درصد برای مواد مغذی و اکسیژن خواهی شیمیایی مشاهده گردیده است، و کمترین درصد حذف مربوط رنگ با حداکثر مصرف انرژی می باشد.

واژه های کلیدی : ***فاضلاب، امواج مایکروویو، اکسیژن خواهی شیمیایی، راندمان حذف***

مقدمه

آب مهمترین بخش جدایی ناپذیر زندگی بشری بوده، لذا آلودگی این منابع منجر به آلودگی کل اکوسیستم می شود. استفاده از آب برای مقاصد مختلف موجب ایجاد پساب هایی با ویژگی های متفاوت می گردد، که تمیز نمودن این پساب ها و بهبود آب در شهرها، بر اساس نوع آلاینده حائذ اهمیت می باشد. روش معمولی برای تمیز کردن فاضلاب، قابل شناسایی نیست و بستگی به محتوای کیفیت آب ورودی و خروجی، هزینه و زمان دارد. تکنیک های مختلفی برای تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی ناشی از زباله های کشتارگاه، زباله های کارخانه چرم، کارخانه شیر ، زباله های نساجی و ... استفاده می گردد(Nuchter et al., 2003) . آبهای فاضلاب صنعتی هرگز نباید بدون تصفیه مقدماتی به رودخانه ها، دریاچه ها و دریا ها تخلیه شوند. بهره برداری از امواج مایکروویو در زمینه های مختلف مهندسی محیط زیست، به ویژه برنامه های کاربردی فاضلاب همواره مورد توجه قرار گرفته است.

(Cravotto et al. ; 2010). مایکروویو یک تابش الکترومغناطیس با فرکانس بین ۳۰۰مگاهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتزاست که بنیان آن بر اساس گرمایش مایکروویو و توانایی حرکت مولکول ها می باشد (Lin et al., 2009) امواج مایکروویو در زمینه های

مختلف مهندسی محیط زیست، به ویژه در کاربردهای تصفیه فاضلاب استفاده می شود (Cravotto etal.,2010). امواج مایکروویو، تغییرات قابل ملاحظه ای در خواص شیمیایی و فیزیکی پساب فاضلاب ایجاد می کند که منجر به کیفیت بهتر پساب فاضلاب و افزایش تحرک مولکول های آب می گردد(Wong et al., 2009) . اساس کار تکنولوژی های انتخاب شده در فرایند تصفیه فاضلاب به کارایی بالا، هزینه کم و سهولت کارکرد بستگی دارد (Muler et al., 2003). در اغلب موارد به این روش به عنوان یک سیستم ضد عفونی اشاره شده است. امواج مایکروویو مواد آلی و ذرات را به اندازه های کوچکتر تقسیم و انرژی الکترومغناطیس را به طور تقریبا" یکسان بین ذرات منتقل می کند، این انرژی توسط مولکول ها جذب و بسته به شدت فرکانس، نوع موج و مدت زمان مواجهه اثرات مختلفی ایجاد می کند، که نهایتا" منجر به تخریب ترکیبات مختلف ارگانیک می گردد

(Muler et al., 2003. Fahid et al., 2013).

مطالعات نشان می دهد که امواج مایکروویو به تنهایی دارای توان بالایی برای حذف مواد مغذی در فاضلاب می باشد، همچنین سهولت کنترل گرمایش نمونه ، عدم استفاده از حلال های مصرفی و بهبود بازدهی سبب تمایز استفاده از این روش می گردد. توسعه سریع فعالیت های انسان منجر به افزایش نیتروژن و فسفر در دریاچه ها، رودخانه ها و آب های ساحلی شده است، که امروزه به یک مشکل جهانی تبدیل گشته است و منجر به تخریب محیط زیست و ایجاد فرایند یوتریفیکاسیون می گردد. سازمان جهانی بهداشت (WHO[1]) حد مجاز غلظت نیترات، آمونیوم، فسفر و اکسیژن خواهی شیمیایی استخراجی از فاضلاب ها به آبهای سطحی به ترتیب ۵۰، ۲/۵، ۶ و ۶۰ (لحظه ای ۱۰۰) mg/l را تعیین نموده است.

انرژی مایکروویو[2] به عنوان فرایند تصفیه حرارتی در گرم کردن انتخابی مواد بی نهایت مؤثر می باشد به طوری که هیچ مقدار از حرارت ایجاد شده هدر نمی رود. در مقایسه با فن آوری های گرم کردن متعارف، گرم کردن با مایکروویو دارای مزایایی همچون میزان حرارت دهی بالاتر، عدم تماس مستقیم بین منبع حرارت دهی و مواد گرم شده، و کنترل بیشتر فرایند حرارت دهی می باشد

(Jones et al.,2002). این روش یک از اقتصادی ترین و کاربردی ترین راه ها جهت حذف ترکیبات آلی سمی و میکروارگانیسم ها در آب است.

تابش امواج مایکروویو به عنوان یکی از موثرترین روش های تصفیه حرارتی در حذف و بازیافت نیترات آمونیوم از پساب های شهری و کاهش میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD[3]) می باشد و اخیرا" این انرژی تبدیل به یک فناوری امیدوار کننده برای اهداف متعددی مورد استفاده قرار گرفته است(Jou et al.,2003. et al.,2006 Krzemieniewski) .

طی تحقیقات به عمل آمده ، ۱۰ تا ۳۰ درصد فسفر ورودی در طول تصفیه مکانیکی و بیولوژیکی حذف می شود (Mudler Wentzel et al.,1991 Metcalf and Eddy. ؛ et al.,1987. 1991 Sedlak., Henze.,1996. ,1991)، که درصد حذف با کمک امواج مایکروویو افزایش می یابد.

مزیت اصلی ترکیب روش مایکروویو با اکسیدان ها، القای تشکیل رادیکال آزاد و قطبش سریع مولکول های آلاینده است.

1- World Health Organization
2- Microwave
3- Chemical Oxygen Demand

در ضمن گاهی از مواقع اشعه مایکروویو برای گسستن پیوند های شیمیایی مواد آلاینده آلی نیز کافی نمی باشد، بنابراین استفاده از انواع کاتالیزورها که باعث کاهش کارایی آلاینده ها و مدت زمان واکنش می گردند توصیه می شود. در واقع تصفیه با امواج مایکروویو یک روش رقابتی با توجه به نیاز روز می باشد. طبق مطالعات به انجام رسیده انرژی حاصل از امواج مایکروویو نسبت به روش های تصفیه بیولوژیکی، اکسیداسیون پیشرفته و نسبت به بسیاری از روش های معمول دیگر در مدت زمان کوتاهتر با راندمان تصفیه مطلوب دارای کارایی بسیار بهینه و مناسبی بوده است.

این روش گرمایشی به صورت کلی قابل تنظیم و کنترل به صورت انتخابی و لحظه ای بوده ، همچنین به دلیل پخش گرما به صورت همزمان و یکدست در کل نمونه و بدون استفاده از مواد شیمیایی و عدم تولید محصولات فرعی (جهت تصفیه مجدد) به عنوان یک روش پاک و دوستدار محیط زیست توصیه می شود. این آزمایش برای ۱۰۰ میلی لیتر نمونه فاضلاب صنعتی انجام شده است که می تواند به مقیاس بالاتر تعمیم داده شود. در ضمن این تحقیق را میتوان در مورد حذف آلاینده های دیگر با قدرت مایکروویو متفاوت تری نیز انجام داد، بنابراین همچنان نیاز به بررسی و مطالعات سازمان یافته تری دارد.

مواد و روش کار

اصل فرایند سیستم های مایکروویو این است که مقدار آبی که درون دستگاه قرار می گیرد، در ابعاد مولکولی ارتعاش می یابد و با سایش مولکول ها به هم گرما تولید می شود که شامل امواج رادیویی در طیف مغناطیسی می باشد. امواج مایکروویو در افزایش کارآیی واکنش های شیمیایی بسیار موثرتر می باشند.

اثر ایجاد شده توسط مایکروویو می تواند به دو، اثر حرارتی و غیر حرارتی تقسیم شود. اثرات حرارتی مربوط به اصل گرمایش مایکروویو طبیعی است و اثرات غیر حرارتی اثرات خاصی است که از تعامل بین مایکروویو و لایه بستر بوجود می آید (Muller et al., 2003). گرمایش MW سریع و در سطح مولکولی همگن می باشد، علاوه بر این هیچ افزودنی شیمیایی در طی فرایند مورد استفاده قرار نمی گردد. این مطالعه به صورت کاربردی در مقیاس آزمایشگاهی برگرفته از نمونه فاضلاب صنعتی که نمایانگر خصوصیات واقعی وضعیت موجود کل منبع از نقاط مشخص شده طبق استاندارد TS ISO 5667-10 نمونه گیری شده است(http://csb.gov.tr). لوازم مورد استفاده در آزمایش به شرح زیر می باشد:

۱- فر مایکروویو Siemens HF24G541 (25 Lt 900 Watt Micro oven،)

۲- Stuart cb162 Hotplate Stirrer Heater-Mixer که دارای موتوری با سرعت مخلوط rpm۱۵۰۰ میباشد

۳- ترازوی حساس Mettler Toledo و ترازوی Ohaus Pa 214 Balance Precision

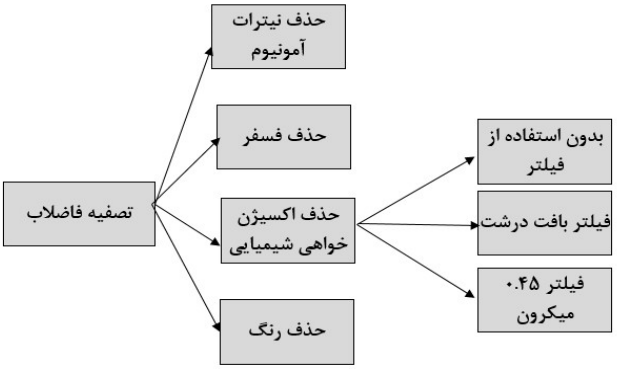
۴- PH سنج Hanna Hı 9812-5 Ph/Conductivity/Temparature/meter

۵- اسپکتروفوتو متر Hach Lange DR 5000

۶- Luna LUN 1 Electricity meter

۷- دستگاه VELP UDK129 جهت تعیین ازت

کلیه مراحل آزمایش به ترتیب شکل زیر صورت گرفته است.



شکل ۱-مراحل فرایند تصفیه

نیترات آمونیوم

۱۰۰میلی لیتر از حجم نمونه را در معر ض ۹۰۰w امواج مایکروویو جهت بررسی بهبود بازده در زمان های۲۴۰،۱۸۰،۱۵۰،۱۲۰،۶۰ ، ۰ ثانیه قرار داده می شوند. کلیه نمونه ها در طی فرایند تصفیه، حجم، دما، چگالی و میزان اسیدیته اولیه و ثانویه قبل و بعد از اعمال امواج مایکروویو محاسبه می گردد. نمونه ها پس از قرار گرفتن در مایکروویو ۲۰ میلی لیتر از محلول شفاف برداشته و وارد بالون تقطیر می نماییم و اسید بوریک ۲٪به محلول اضافه و به ارلن ۲۵۰ میلی لیتر انتقال داده می شود و دو قطره اندیکاتور ازت اضافه و در نهایت با افزودن ۷۰ میلی گرم MgO عمل تقطیر انجام می گیرد. پس از ۵ دقیقه داخل ارلن با اضافه کردن H2SO4 0.01 N عمل تیتراسیون برگشتی انجام و مقدار نهایی آمونیوم نیترات تعیین می گردد (Keeney et al. 1982) .

فسفر

جهت تعیین فسفر نیز ده میلی لیتر از نمونه شفاف بعد از قرار گرفتن تحت امواج مایکروویو برداشته و با استفاده از پودر PhosVer 3 Fosfat Reactif ، وجود فسفر در نمونه پس از یک مدت کوتاه با تغییر رنگ مایل به آبی نمایان می شود. پس از تغییر رنگ نمونه به مدت ۲ ساعت در دمای ۴۰۰ درجه حرارت داده می شود و پس از خروج دوباره عمل تقطیر انجام می گیرد.

اکسیژن خواهی شیمیایی

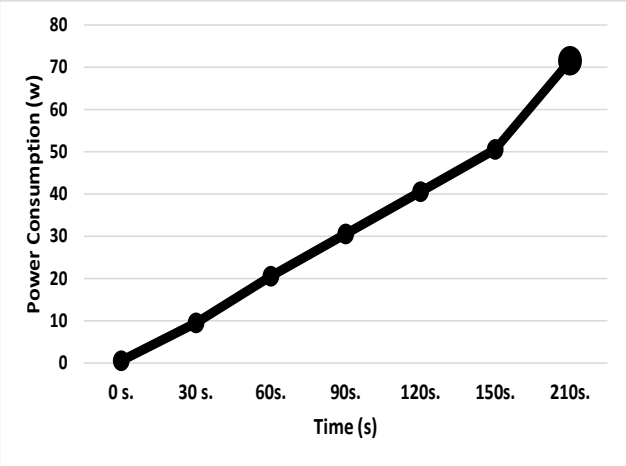
آزمایش تعیین COD در ۳ فرم انجام شده است . نمونه فاضلاب بدون فیلتر،عبور از فیلتر بافت درشت و کاغذ فیلتر ۰,۴۵ میکرون آزمایش شد. نمونه ها درون مایکروفر با قدرت ۹۰۰ وات در زمان های متوالی با هدف تعیین بهبودی بازده بهینه بررسی گردید. سپس طبق پروسه استاندارد شماره 5220B تعیین COD نمونه های مذکور پس از فرایند رقیق سازی با اضافه نمودن K2CrO4 و H2SO4 به مدت دو ساعت در دمای ۱۵۰ درجه حرارت داده و سپس با اضافه نمودن شاخص Ferroin و با کمک FAS عمل تیتراسیون انجام می شود و ظرفیت مقدار COD را مشخص می کند(APHA., 2005).

رنگ

جهت حذف رنگ نمونه ها را در طول دوره های یک دقیقه ای درون مایکروفر گذاشته و میزان حذف رنگ را با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر DR 5000 تعیین می گردد.

نتایج

در اندازه گیری به عمل آمده توسط دستگاه الکتریسیته سنج و همانگونه که در شکل ۱-۱ مشاهده می نمایید، ۱۰۰میلی لیتر از نمونه طی ۹۰۰ وات در دقیقه به میزان ۲۰,۵ وات انرژی مصرف می نماید.



شکل ۲- مصرف انرژی در ثانیه

نیترات آمونیوم

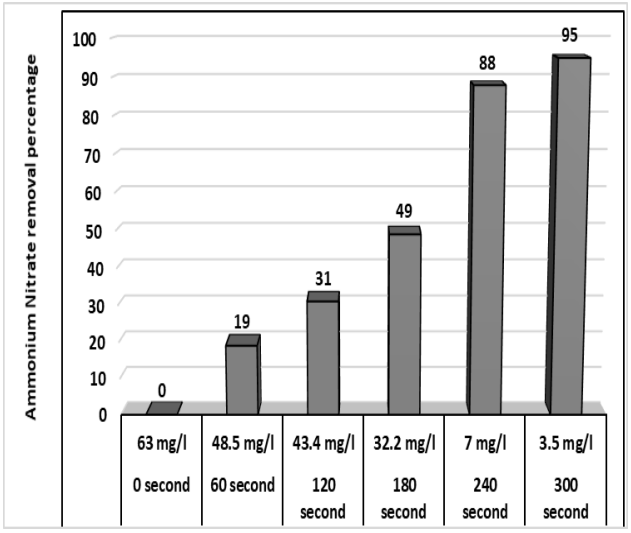
طی آزمایش انجام شده میزان حذف نیترات آمونیوم بعد از قرار گرفتن در معرض امواج مایکروویو بررسی شده است. در شکل ۳. میزان بهینه حذف نیترات آمونیوم را در زمان های مختلف از ۰-۳۰۰ ثانیه پس از قرار گرفتن در مایکروفر مورد آزمایش قرار گرفته است . مدت زمان تابش تاثیر قابل توجهی بر حذف نیترات آمونیوم از فاضلاب دارد. با افزایش میزان گرمایش حاصل از مایکروفر درصد حذف نیترات آمونیوم نیز افزایش می یابد و متناسب با آن در میزان حجم نمونه به دلیل فرایند تبخیر کاهش رخ می دهد.

بعد از مدت زمان ۴ دقیقه حذف ۸۸٪ نیترات آمونیوم مشاهده می شود و در دقیقه پنجم با کاهش روند فرایند حذف تا میزان ۹۵٪ به حداکثر میزان درصد حذف می رسد. در دقیقه چهارم جهت حذف ۸۸٪ میزان

20.5 w □ 4 = 82 Watts انرژی مصرف می گردد.

همچنین در دقیقه پنجم جهت حذف ۹۵ درصد

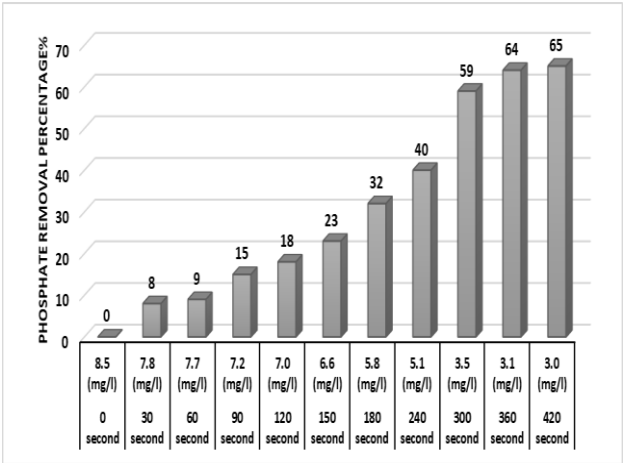
20.5w □ 5=102.5 Watts انرژی مصرف می شود.



شکل ۳-درصد حذف نیترات آمونیوم در ثانیه

فسفر

فسفر در آب در فرم فسفات موجود می باشد. هدف از این آزمایش بررسی راندمان حذف فسفات از فاضلاب صنعتی است. فسفر در آب بسیار محلول است . در مورد حذف فسفر نیز نمونه ها در طول دوره ۰-۷ دقیقه با فاصله های ۳۰ ثانیه از هم در معرض امواج مایکروویو قرار می گیرند. و با افزایش میزان درجه حرارت میزان حذف فسفر افزایش و حجم نمونه کاهش می یابد. به طوری که بعد از مدت ۷ دقیقه میزان حذف فسفر به ۶۵٪ می رسد. البته در طول زمان ۷-۵ دقیقه در میزان افزایش درصد حذف تغییر بسیار کمی ملاحظه می شود. و میزان انرژی لازم جهت حذف بهینه فسفر محاسبه گردیده است.

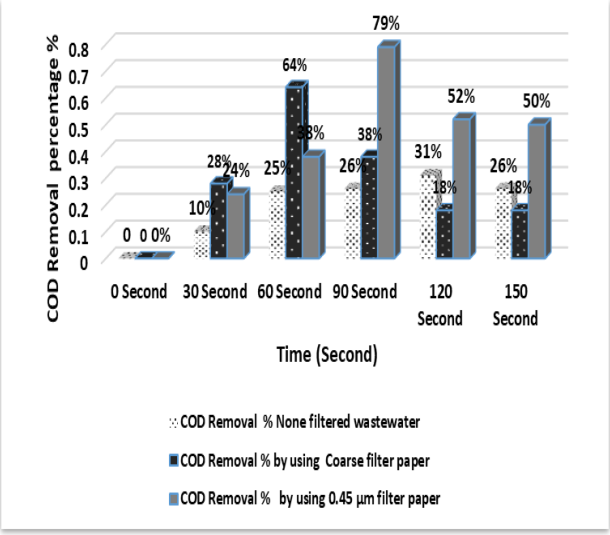


شکل ٤-درصد حذف فسفات در ثانیه

حداکثر انرژی مصرفی حدود 7×20.5 w = 143.5 Watt می باشد .

اکسیژن خواهی شیمیایی

در شکل زیر فرایند حذف COD رادر طول زمان های مختلف مشخص شده است.

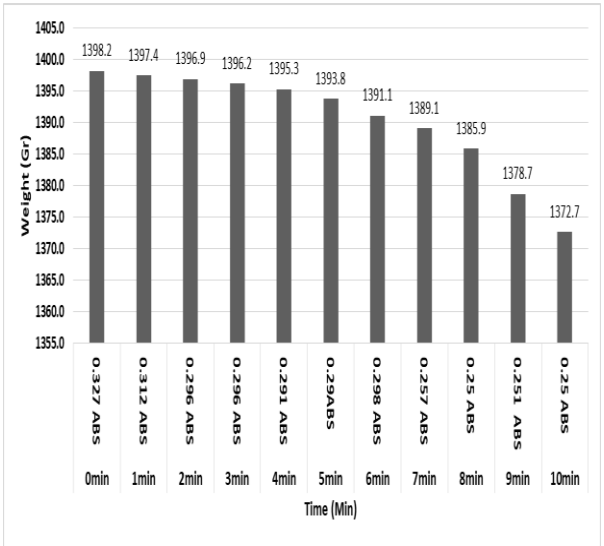


شکل ۵- درصد حذف COD در ثانیه

همانگونه که در شکل نمایان است بیشترین میزان حذف COD توسط نمونه ای که از فیلتر0.45 میکرومتر گذرانده و در زمان ۹۰ ثانیه به میزان ۷۹٪ می رسد . میزان مصرف انرژی برای این مقدار کارایی برابر است با : 1.5 min= 30.8 Watt □ 20.5w

رنگ

آزمایش تعیین رنگ در نمونه یک لیتری در طول دوره های متوالی توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر طبق گرافیک زیر می باشد.



شکل ٦- حذف رنگ در ثانیه

همانطور که از نمودار می بینید، بهترین زمان برای حذف رنگ دقیقه ۸ ام است. در پایان ۸ دقیقه ۱ لیتر نمونه به میزان ۲۳٫۵۵٪ حذف رنگ مشاهده شده است. توجه به این نکته که بعد از دقیقه هشتم تغییر قابل ملاحظه ای در حذف رنگ مشاهده نمیشود حائذ اهمیت است. میزان

انرژی مصرفی برای حداکثر حذف رنگ 20.5 w □ 8min = 164 Watt می باشد.

بحث و نتیجه گیری

مطالعات نشان می دهد که از طریق تابش مایکروویو به تنهایی حذف نیترات آمونیوم، حدود ۹۵٪ ، فسفر ۶۵٪ ، COD ۷۹٪ و رنگ ۲۳,۵۵٪ امکان پذیر می باشد.

در جدول شماره ۱. نتایج بدست آمده از حذف آلاینده های مشابه طی فرایندهای مختلف بررسی شده است. به عنوان مثال در روش ازن زنی در حذف COD استفاده از امواج مایکروویو بیشتر از دو برابر دارای راندمان بالاتری است Asaithambi (etal.,2014). همچنین حذف COD از نظر زمانی دارای نتیجه اثر بخشی بوده است.

جدول ۱- جدول مقایسه ای راندمان حذف آلاینده ها در روش های مختلف

آلاینده	روش حذف	راندمان حذف	رفرانس
نیترات آمونیوم	Advanced A2O-BAF system	81.24%	(Jianhua et al., 2011)
فسفر	Advanced A2O-BAF system	99%	(Jianhua et al., 2011)
اکسیژن خواهی شیمیایی	O3/H2O2	86%	(Beltrán J et al., 2014)
اکسیژن خواهی شیمیایی	UV/H2O2	86.11%	(Manikandan et al., 2016)
اکسیژن خواهی شیمیایی	O3	29.17%	(Asaithambi et al.,2014)
اکسیژن خواهی شیمیایی	UV/O3	41.67%	(Asaithambi et al.,2014)
رنگ	UV/O3	50.92%	(Asaithambi et al.,2014)
رنگ	O3	39.62%	(Asaithambi et al .,2014)
رنگ	UV/H2O2	73.72%	(Asaithambi et al.,2014)

با توجه به این نتایج امواج مایکروویو می تواند در تصفیه فاضلاب به عنوان روشی با ثبات تر، سریع و کارآمدتر نسبت به روش های متعارف تصفیه به خصوص روش های اکسیداسیون پیشرفته (AOP) بدون تولید محصولات خطرناک جانبی با هدف حذف مواد مغذی ، COD و رنگ استفاده شود. در این تحقیق راندمان حذف فقط برای ۴ آلاینده بررسی شده است. نیترات آمونیوم که ماده ای بسیار خطرناک است و بیشتر به عنوان کود شیمیایی استفاده می شود ، توسط امواج مایکروویو از بیشترین میزان حذف برخوردار بوده است. به طور کلی توصیه های زیادی برای تابش امواج مایکروویو در تصفیه آب وجود ندارد در حالیکه که از نظر زمانی و هزینه نسبت به بسیاری از روش های متداول ارجحیت دارد. در مدت زمان ۵ دقیقه اول برای هر سه پارامتر به جز رنگ بالای ۵۰ درصد تصفیه مشاهده شده است.

مزایای استفاده از امواج مایکروویو در حذف آلاینده ها:

- روش گرمایشی سریع
- در آلاینده هایی با غلظت بالا موثر می باشد
- دارای ایمنی بالا
- حذف آلاینده ها بدون استفاد ه از مواد شیمیایی

این روش درمان، که در عرض چند دقیقه اتفاق می افتد، می تواند برای درمان فاضلاب های مختلف در حجم بالا مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

1- APHA, 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater, Washington, DC. USA.

2- Asaithambi,P. Saravanathamizhan,R. Matheswaran,M. 2014. Comparison of treatment and energy efficiency of advanced oxidation processes for the distillery wastewater, Islamic Azad University (IAU)

3- Cravotto, G. Boffa, L. Genzini, L. Garella, D. 2010. "Phytotherapeutics: an evaluation of the potential of 1000 plants", 35(1):11-48. doi: 10.1111/j.1365-2710.2009.01096.x.

4- Fahid, K. J.R. Mohamad ,S.D . 2013. "Using Microwave Energy for the Removal of Ammonia From Municipal Wastewater: Continuous Flow Lab-Scale System, Environment and Natural Resources Research"; Vol. 3, No. 3; ISSN 1927-0488 E- ISSN 1927-0496, doi:10.5539/enrr.v3n3p2

5- George ,T. Franklin, L. Burton , H. David, S. 1991. "Wastewater Engineering Treatment and Reuse" Metcalf and Eddy, 3rd Edition, Chapter 7th, Tata McGraw Hill Edition, New Delhi.

6- Henze,M. 1996."Biological phosphorus removal from wastewater: processes and technology ", Department of Environmental Science and Engineering, Technical University of Denmark, Water Quality International, 32-36

7-Jou,M. Shiau,J.K. Sun,C.C. 2006."Design of a magnetic braking system",Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 304(1). DOI: 10.1016/j.jmmm.

8-۵8- Jone, DA. Lelyveld, TP. Mavrofidis SD, Kingman SW, Miles NJ. Microwave heating applications in environmental engineering-a review. Resources, Conservation and Recycling. ۲۰۰۲; ۳۴)(۲, ۹۰–۷۵.

9-Jianhua ,W. Yongzhen, P. Yongzhi, C.2011. Advanced nitrogen and phosphorus removal in A2O-BAF system treating low carbon-to-nitrogen ratio domestic wastewater. Environ. Sci. Eng. China (2011) 5: 474. doi.org/10.1007/s11783-011-0360-0

10-Krzemieniewski, M. Dębowski,M. Janczukowicz, W. Pesta,J. 2003. "The Influence of Different Intensity Electromagnetic Fields on Phosphorus and COD Removal from Domestic Wastewater in Steel Packing Systems", University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Department of Environment Protection Engineering Institute of Environmental Engineering System, ul. Warszawska 117 A, 10-701 Olsztyn-Kortowo, Poland, Polish Journal of Environmental Studies Vol. 13, No. 4, 381-387

11-Keeney, D.R. Nelson, D.W. 1982."Nitogen-inorganic forms. In: Methods of Soil Analysis, Part2 Chemical and Microbiological Properties", (ed. PAGE, A.L.), SSSA Book Series No 9, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, 643-693

12-La,J. Kim,T. Kyung J,J.2014, "Ammonia Nitrogen Removal and Recovery from Swine Wastewaterby Microwave Radiation", Environ. Eng. Res. 19(4): 381-385, doi.org/10.4491/eer.2014.064.

13-Lin,L. Chen,J. Xu,Zuqun. 2009, "Removal of ammonia nitrogen in wastewater by microwave radiation", a pilot-scale study, 15;168(2-3):862-7. doi: 10.1016/j.jhazmat

14-Mulder, J. W. Rensink, J. H. 1987, " Introduction of biological phosphorus removal to an activated sludge plant with practical limitations", p. 213-224. In R. Ramadori (ed.), Biological phosphate removal from wastewaters. Adv. Water Poll. Control. Pergamon Press, Inc., Elmsford, N.Y.

15-Muler,P. Klan,P. Cirkva, V. 2003, "The electrodeless discharge lamp: a prospective tool for photochemistry". Part 4: Temperature and envelope material dependent emission characteristics, J. Photochem. Photobiol. A 158.

16-Nuchter,M. Muller,U. Ondruschka,B. Tied,A., Lautenschlager,W., 2003, " Microwave assisted- chemical reactions", Chemical engineering and technology, . 26(12), pp 120716
17- Manikandan, P. Palanisamy,P.N. Baskar,R. Sivakumar,P.2016. Sakthisharmila,P. ptimization of treatment efficiency of UV/H2O2 process on simulated textile industry wastewater.P. 27169-27180. doi.org/10.1080/19443994.2016.1172983
18-Sedlak,R.I. 1991, "Phosphorus and Nitrogen Removal from Municipal Wastewater", 3-15, Principles and Practice, Second Edition
19-Wentzel,M.C.Ekama,G.A. Marais,G.R. 1991, "Processes and modelling of nitrification denitrification biological excess phosphorus removal systems"–A review, Water Science and Technology 25 (6), 59-82
20-Wong, T. W. Iskhandar,A. Kamal,M. Jumi,S.J. Kamarudin,N.H. Mohamad Zin,N.Z. and Mohd Salleh,N.H. 2009, "Effects of microwave on water and its influence on drug dissolution", Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 11, 121{136,}
21- http://www.csb.gov.tr