

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)
دانشکده مهندسی آب و محیط زیست

بررسی کارایی تخریب تری هالومتان‌ها (THMs) در آب با استفاده از دی اکسید تیتانیم بر پایه
نانوفتوکاتالیست

پایان نامه کارشناسی ارشد عمران- آب و فاضلاب

صادق پزندى

استاد راهنما

دکتر عبدالله رشیدی مهرآبادی

استاد مشاور

دکتر علی ترابیان



دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)
دانشکده مهندسی آب

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته عمران- آب و فاضلاب آقای صادق پژندی

تحت عنوان

بررسی کارایی تخریب تری هالومتان ها (THMS) از آب با استفاده از دی اکسید تیتانیم بر پایه
نانوفتوکاتالیست

دکتر عبدالله رشیدی مهرآبادی

۱-استاد راهنمای پایان نامه

دکتر علی ترابیان

۲-استاد مشاور پایان نامه

دکتر مجتبی فاضلی

۳-استاد داور

دکتر امیر حسین محوی

۴-استاد داور

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

در اینجا صمیمانه تشکر می کنم از:

- جناب آقای دکتر عبدالله رشیدی مهرآبادی که از راهنمایی و همکاریهای بی دریغ و صمیمانه ایشان در طول این تحقیق و به نتیجه رسیدن آن بهره بسیاری بردم.
- جناب آقای دکتر علی ترابیان که با مشاوره و مساعدت صمیمانه ایشان توانستم این تحقیق را به پایان برسانم.
- سرکار خانم نکودری (مسئول فنی آزمایشگاه جامع آب و فاضلاب) استان تهران که نظارت و راهنمایی بی دریغ ایشان و همچنین ایجاد شرایط مناسب جهت آزمایشهای مورد نیاز این تحقیق را به عهده داشتند.
- بخش پژوهش شرکت آب و فاضلاب استان تهران که با حمایت این شرکت امکان انجام این تحقیق بوجود آمد.
- سرکار خانم مهندس حیدری مسئول فنی آزمایشگاه جامع آب و فاضلاب دانشکده مهندسی آب دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور) که نظارت و ایجاد شرایط مناسب جهت آزمایشهای مورد نیاز این تحقیق را به عهده داشتند.
- دوستان و همکاران عزیزم آقایان مهندس نصیری ، مهندس جعفری، مهندس همتی و سرکار خانم مهندس شفیقی که در طی این مدت همواره مشوق و حامی من بودند.
- سرکار خانم مهندس طاهری که در انجام این پروژه سخاوتمندانه تمامی تجارب خود را در اختیار من قرار دادند.

امیدوارم این تحقیق بتواند نقش موثری در پیشرفت کشور عزیزم ایران داشته باشد .

به نام خدا

تعهدنامه اصالت اثر:

اینجانب صادق پزندی تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه، حاصل کار پژوهشی اینجانب می‌باشد و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است.
این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح، پایین‌تر و بالاتر ارائه نشده است.
کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور) می‌باشد.

تقدیم به

پدر عزیزم

که در تمامی دوران تحصیل مرا حمایت و پشتیبانی کرده است.

مادر مهربانم

که با صبوری و مهربانی امید را در دل من زنده نگه داشته است.

برادر و خواهر نازنینم

که با محبت و روحیه در این راه کنارم بوده است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
هشت	فهرست مطالب.....
۱	چکیده
۲	فصل اول : مقدمه
۳	۱-۱- ضرورت تحقیق
۴	۱-۲- اهداف تحقیق
	۱-۳- فرضیه تحقیق
۵	۱-۴- روش انجام کار
۶	فصل دوم: مقدمه
۷	۱-۲- تخریب ترکیبات تری هالومتان.....
۷	۱-۱-۲- تعریف ترکیبات تری هالومتان.....
۷	۱-۲-۲- اثرات منفی(مخرب) تری هالومتان ها
۸	۱-۲-۱-۲- متابولیسم
۹	۱-۲-۲- سمیت
۱۰	۱-۲-۳- سرطانزایی
۱۱	۱-۳-۱-۲- استانداردهای کیفی آب آشامیدنی
۱۲	۱-۴-۱-۲- روش های متداول تخریب تری هالومتان ها
۱۴	۲-۲- اکسیداسیون پیشرفته
۱۴	۱-۲-۲- تعریف اکسیداسیون پیشرفته
۱۵	۲-۲-۲- فتوکاتالیست ها و خصوصیات آنها
۱۷	۲-۲-۳- مکانیزم عملکرد فتوکاتالیستها
۱۹	۳-۲- دی اکسید تیتانیوم
۱۹	۱-۳-۲- تاریخچه پیدایش TiO_2
۲۰	۲-۳-۲- خلاصه ای از خصوصیات TiO_2
۲۳	۳-۳-۲- کنترل واکنش فتوکاتالیستی
۲۴	۴-۳-۲- محدودیت های استفاده از TiO_2
۲۴	۴-۲- اثر پارامترهای فیزیکی بر سینتیک واکنش فتوکاتالیستی
۲۴	۱-۴-۲- جرم کاتالیست
۲۵	۲-۴-۲- طول موج
۲۵	۳-۴-۲- دما
۲۶	۴-۴-۲- شار تابشی
۲۶	۵-۴-۲- بازده کوانتوم
۲۷	۵-۲- روشهای تثبیت TiO_2 و خصوصیات آنها.....
۲۷	۱-۵-۲- فرایند سل-ژل.....
۲۷	۲-۵-۲- مراحل فرایند سل-ژل.....

۲۹	..... ۲-۶- انرژي خورشیدی.....
۲۹	..... ۲-۶-۱- خورشید بزرگترین منبع پر تودهی.....
۳۰	..... ۲-۶-۲- دامنه طیف الکترومغناطیسی مورد استفاده در فتوشیمی.....
۳۱	..... ۲-۷- اثرات بهداشتی دی اکسید تیتانیوم.....
۳۲	..... ۲-۸- تحقیقات انجام شده مرتبط با موضوع.....
۳۵	..... فصل سوم: مواد و روشها
۳۵	..... ۳-۱- جزئیات مربوط به پایلوت با لوله‌های کوارتز.....
۳۶	..... ۳-۱-۱- لامپ های UV.....
۳۶	..... ۳-۱-۲- لوله‌های کوارتز.....
۳۸	..... ۳-۱-۳- نمای شماتیک پایلوت و جریان.....
۳۹	..... ۳-۱-۴- مواد و ابزار مورد استفاده لایه نشانی.....
۳۹	..... ۳-۱-۵- متغیرهای آزمایشها.....
۴۰	..... ۳-۱-۶- روش انجام آزمایشات.....
۴۰	..... ۳-۳- روش سنجش ترکیبات تری هالومتان.....
۴۱	..... ۳-۴- بررسی میزان تجزیه متیل اورانژ توسط فتوکاتالیست.....
۴۲	..... فصل چهارم: نتایج و بحث
۴۲	..... ۴-۱- تجزیه محلول رنگی متیل اورانژ در لوله‌های کوارتز.....
۴۲	..... ۴-۱-۱- تعیین بیشترین طول موج.....
۴۳	..... ۴-۱-۲- بررسی تغییرات غلظت متیل اورانژ در لوله‌های کوارتز.....
۵۰	..... ۴-۲- بررسی میزان کاهش تری هالومتان ها.....
۵۰	..... ۴-۲-۱- حذف تری هالومتان ها با توجه به تغییر متغیرها در پایلوت.....
۵۷	..... ۴-۳- آنالیز آماری نتایج آزمایش‌های.....
۵۷	..... ۴-۳-۱- آنالیز واریانس برای درصد حذف تری هالومتان ها.....
۶۰	..... فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۶۰	..... ۵-۱- نتیجه گیری.....
۶۱	..... ۵-۲- پیشنهادات.....
۶۲	..... پیوستها.....
۷۰	..... مراجع.....

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۷	شکل ۱-۲- نمای شماتیک مکانیزم عملکرد فتوکاتالیست TiO_2
۱۹	شکل ۲-۲- نحوه عملکرد الکترون‌ها و حفره‌ها در حضور پذیرنده‌های الکترون A و D
۲۲	شکل ۳-۲- خصوصیات نمونه‌های تولید شده A180 و A135
۲۲	شکل ۴-۲- تصاویر TEM کریستال محصولات (a) A110 و (b) A135
۲۳	شکل ۵-۲- طیف بازتاب انتشار (DRS) پودر آاناتاز خالص (ST-21) ، پودر روتایل خالص (PT-101)، ترکیب پودر های آاناتاز و روتایل (۳: ۱) ، پودر P-25
۲۳	شکل ۶-۲- عکس های TEM و الگوی پراش الکترونی پودر P-25 در نواحی (a) فاز آاناتاز (b) فاز روتایل
۲۵	شکل ۷-۲- رابطه سرعت واکنش و جرم فتوکاتالیست
۲۵	شکل ۸-۲- رابطه سرعت واکنش و طول موج UV
۲۶	شکل ۹-۲- رابطه سرعت واکنش و دمای واکنش
۲۶	شکل ۱۰-۲- رابطه سرعت واکنش و شارتابشی
۲۸	شکل ۱۱-۲- مراحل ساخت سل - ژل
۲۹	شکل ۱۲-۲- تصویر AFM مربوط به TiO_2 (a) 1000 rpm (b) 5000 rpm
۳۰	شکل ۱۳-۲- دسته بندی پرتوهای الکترومغناطیسی در طول موجهای زیر 1200 nm
۳۱	شکل ۱۴-۲- تقسیم بندی پرتوهای UV بر اساس اثرات آنها
۳۳	شکل ۱-۳- نمای کلی پایلوت
۳۷	شکل ۲-۳- پایلوت مورد آزمایش و متعلقات جانبی
۳۸	شکل ۳-۳- نمای شماتیک پایلوت و جریان
۳۹	شکل ۴-۳- پودر دی اکسید تیتانیوم
۴۰	شکل ۹-۳- دستگاه سنجش غلظت ترکیبات تری هالومتان و متعلقات جانبی
۴۰	شکل ۹-۳- دستگاه اسپکتروفتومتر
۴۲	شکل ۱-۴- نمودار طیف جذب فرابنفش محلول متیل اورانژ
۴۳	شکل ۲-۴- نمودار کاهش مقدار جذب متیل اورانژ در طول موج ۴۶۰ nm - زمان (غلظت متیل اورانژ ۵ mg/l)
۴۳	شکل ۳-۴- نمودار درصد حذف متیل اورانژ در طول موج ۴۶۰ nm - زمان (غلظت متیل اورانژ ۵ mg/l)
۴۴	شکل ۴-۴- تغییر نمونه متیل اورانژ بعد از ۱۲۰ دقیقه تحت اثر لامپ UV
۴۵	شکل ۵-۴- نمودار کاهش مقدار جذب متیل اورانژ در طول موج ۴۶۰ nm - زمان (غلظت متیل اورانژ ۱۰ mg/l)
۴۵	شکل ۶-۴- نمودار درصد حذف متیل اورانژ در طول موج ۴۶۰ nm - زمان (غلظت متیل اورانژ ۱۰ mg/l)
۴۶	شکل ۷-۴- تغییر رنگ نمونه متیل اورانژ بعد از ۱۲۰ دقیقه تحت اثر لامپ UV
۴۷	شکل ۸-۴- نمودار کاهش مقدار جذب متیل اورانژ در طول موج ۴۶۰ nm - زمان (غلظت متیل اورانژ ۱ mg/l)
۴۷	شکل ۹-۴- نمودار درصد حذف متیل اورانژ در طول موج ۴۶۰ nm - زمان (غلظت متیل اورانژ ۱ mg/l)
۴۸	شکل ۱۰-۴- - تغییر رنگ نمونه های متیل اورانژ بعد از ۱۲۰ دقیقه تحت لامپ UV (غلظت متیل اورانژ ۱ mg/l)

- شکل ۴-۱۱- نمودار کاهش تری هالومتان ها - زمان (غلظت $(\mu\text{g/l})$ ۲۲) ۵۰
- شکل ۴-۱۲- نمودار درصد حذف تری هالومتان ها - زمان (غلظت $(\mu\text{g/l})$ ۲۲) ۵۰
- شکل ۴-۱۳- نمودار کاهش تری هالومتان ها - زمان (غلظت $(\mu\text{g/l})$ ۴۷.۴۱) ۵۲
- شکل ۴-۱۴- نمودار درصد حذف تری هالومتان ها - زمان (غلظت $(\mu\text{g/l})$ ۴۷.۴۱) ۵۲
- شکل ۴-۱۵- نمودار کاهش تری هالومتان ها - زمان (غلظت $(\mu\text{g/l})$ ۷۳) ۵۳
- شکل ۴-۱۶- نمودار درصد حذف تری هالومتان ها - زمان (غلظت $(\mu\text{g/l})$ ۷۳) ۵۴
- شکل ۴-۱۷- نمودار کاهش تری هالومتان - زمان (غلظت $(\mu\text{g/l})$ ۹۶) ۵۵

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۱	جدول ۱-۲-۱: استانداردها و رهنمود های مربوط به (THMs($\mu\text{g/l}$) در نواحی مختلف جهان.....
۱۷	جدول ۲-۲-۲: خصوصیات بعضی از نیمه رساناهای شناخته شده
۲۴	جدول ۳-۲-۳: خصوصیات بعضی از نمونه های تجاری TiO_2
۲۴	جدول ۴-۲-۴: خصوصیات برخی از TiO_2 های تجاری.....
۲۴	جدول ۵-۲-۵: خصوصیات میکرو کریستالهای ساخته شده TiO_2
۴۳	جدول ۱-۴-۱: مقدار جذب متیل اورانژ در طول موج ۴۶۰nm (غلظت متیل اورانژ (mg/l) ۵ و تحت اثر لامپ UV)
۴۵	جدول ۲-۴-۲: مقدار جذب متیل اورانژ در طول موج ۴۶۰nm (غلظت متیل اورانژ (mg/l) ۱۰ و تحت اثر لامپ UV)
۵۱	جدول ۳-۴-۳: مقدار جذب متیل اورانژ در طول موج ۴۶۰nm (غلظت متیل اورانژ (mg/l) ۱۰ و تحت اثر لامپ UV)
۵۲	جدول ۴-۴-۴: در صد حذف ترکیبات تری هالومتان نسبت به زمان (غلظت ($\mu\text{g/l}$) ۲۲)
۵۴	جدول ۵-۴-۵: در صد حذف ترکیبات تری هالومتان نسبت به زمان (غلظت ($\mu\text{g/l}$) ۴۷)
۵۶	جدول ۶-۴-۶: در صد حذف ترکیبات تری هالومتان نسبت به زمان (غلظت ($\mu\text{g/l}$) ۷۳)
۵۵	جدول ۷-۴-۷: در صد حذف ترکیبات تری هالومتان نسبت به زمان (غلظت ($\mu\text{g/l}$) ۹۶)
۵۶	جدول ۸-۴-۸: در صد حذف ترکیبات تری هالومتان نسبت به زمان (غلظت ($\mu\text{g/l}$) ۶۴، ۸۸، ۱۶۴)
۵۷	جدول ۹-۴-۹: آنالیز واریانس غلظت نهایی - غلظت اولیه (ترکیبات تری هالومتان)
۵۸	جدول ۱۰-۴-۱۰: مدل رگرسیون
۵۸	جدول ۱۱-۴-۱۱: نتایج آزمون Anova
۵۸	جدول ۱۲-۴-۱۲: بررسی ضرایب موجود در رابطه
۵۹	جدول ۱۳-۴-۱۳: نتایج آزمون Npar Test
۵۹	جدول ۱۴-۴-۱۴: آنالیز واریانس زمان ماند در بازدهی سیستم

چکیده

حضور ترکیبات تری هالومتان ها (TMHs) در آب آشامیدنی، فاکتوری در میزان کیفیت آن است. یکی از مهمترین دلایل ذکر شده برای حذف این ترکیبات از آب شرب، نقش آن ها به عنوان مواد سرطانزای خطرناکی است که بعد از گندزدایی تشکیل می شوند. در این تحقیق کارایی تخریب ترکیبات تری هالومتان ها با استفاده از سرامیک های پوشش داده شده با TiO_2 که داخل لوله های شیشه ای از جنس کوارتز که پرتو فرابنفش (UV) را از خود عبور می دهند بررسی شده است. هدف از این تحقیق بررسی کارایی تخریب ترکیبات تری هالومتان ها از آب، با توجه به تابش UV و زمان تماس بوده است. TiO_2 می تواند در مقابل نور مرئی یا فرابنفش بعنوان یک فتوکاتالیست عمل نموده و با آزاد کردن رادیکال آزاد هیدروکسیل و یون سوپراکسید باعث تخریب ترکیبات تری هالومتان ها شود. شاخص (TMHs) بعنوان شاخص آلودگی در نظر گرفته شده است. انجام تحقیق مبتنی بر مطالعات پایلوت بوده است.

پایلوتی که مورد آزمایش قرار گرفت شامل ۴ راکتور است. دو راکتور اول لوله هایی از جنس کوارتز با قابلیت عبور پرتو های فرا بنفش می باشند که دارای پوشش دی اکسید تیتانیوم هستند. راکتور سوم لوله کوارتز بدون قابلیت گذردهی نور می باشد که این لوله نیز با سرامیک های که دارای پوشش دی اکسید تیتانیوم هستند، پر شده است. راکتور چهارم لوله ای از جنس کوارتز می باشد که این لوله بر خلاف لوله های قبلی با سرامیک های بدون پوشش دی اکسید تیتانیوم و بدون قابلیت گذردهی نور پر شده اند. لوله آخر به عنوان لوله شاهد مورد بررسی قرار گرفته است.

در مرحله اول عملکرد این لوله ها توسط شاخص رنگی متیل اورانژ بررسی شده است. در مرحله بعدی تخریب ترکیبات تری هالومتان ها در این لوله ها مورد بررسی قرار گرفته است. در آزمایش با شاخص رنگی متیل اورانژ، لوله کوارتز با پوشش TiO_2 توانست متیل اورانژ با غلظت (ppm) ۱۰ را در مدت ۱۲۰ دقیقه به غلظت (ppm) ۱.۴ برساند. در پایلوت با لوله کوارتز با سرامیک های پوشش داده شده بدون TiO_2 ، متیل اورانژ با غلظت (ppm) ۱۰ را در مدت ۱۲۰ دقیقه به غلظت (ppm) ۶/۶ رساند. در این آزمایشها میزان تغییرات غلظت متیل اورانژ توسط دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد.

در مرحله دوم عملکرد این لوله ها توسط شاخص تری هالومتان بررسی شده است، در این مرحله زمان ماند آب در لوله ها بر روی کارایی سیستم بررسی شده است. زمان های ماند آب در لوله ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ دقیقه در نظر گرفته شده است. میزان غلظت تری هالومتان ها اولیه آب بین (۲۲ $\mu g/l$) تا ۱۶۵ متغیر بوده است. راندمان پایلوت زمانی که غلظت اولیه تری هالومتان ها (۲۲ $\mu g/l$) برابر ۹۸٪، در غلظت (۷۳ $\mu g/l$) برابر ۹۸٪ و در غلظت (۱۶۴ $\mu g/l$) برابر ۹۶٪، بعد از ۲ ساعت (زمان ماند آب آلوده در لوله ها) بدست آمد. در این آزمایشها میزان تغییرات غلظت ماده آلی توسط دستگاه GC (varian) به روش گاز کروماتوگرافی قرائت شد.

کلمات کلیدی: تخریب ترکیبات تری هالومتان ها (THMs)، دی اکسید تیتانیوم، لوله کوارتز نورگذر، پرتو فرابنفش، تصفیه آب، نانو فتوکاتالیستی، متیل اورانژ

فصل اول

اهداف و ضرورت تحقیق

مقدمه

در تمدن بشری، آب اهمیت فوق العاده ای دارد. در ایران باستان آب را یکی از چهار رکن اساسی (آب، خاک، باد و آتش) می دانستند. آب تنها ماده ای است که به صورت طبیعی در شکل های جامد (یخ)، مایع و گاز وجود دارد. از آنجایی آشنامیدن و رفع نیازهای فردی، نخستین رویکرد به آب بوده است، تاریخچه استفاده و مهندسی آب به زمان باستان و ایجاد نخستین زندگی گروهی بشر باز می گردد. در زمان های قدیم انسانها بیشتر به کمیت آب توجه داشتند و آلودگی های فعلی آب که ناشی از ارتقاء سطح زندگی، توسعه صنعت و کشاورزی و توسعه فعالیت های اجتماعی، اقتصادی و ... است وجود نداشت. (پیکری، ۱۳۸۵)

ذخایر آب شیرین جهان تنها ۲/۵۳ درصد حجم آب های سطحی کره زمین را تشکیل می دهند که از این مقدار نیز حدود ۶۸/۷ درصد بصورت یخ و برف در قطب ها و یخچال های طبیعی متمرکز بوده و در عمل در دسترسی بشر نیست. به عبارت دیگر از کل آب های موجود در سطح زمین، تنها یک درصد آن قابل بهره برداری توسط بشر می باشد.

رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی، صنعت و کشاورزی در چند سده اخیر، حجم استفاده از منابع آبی را چند چندان نموده و به راه های مختلف، زمینه های کاهش کمی این منابع با ارزش را فراهم آورده است. از سوی دیگر تخلیه پساب های تولید شده از فعالیت بشر باعث کاهش کیفیت منابع آب موجود گشته است. تحقیقات نشان می دهد

که الگوی مصارف آبی در کشورهای گوناگون، متفاوت است و با افزایش توسعه صنعتی، این مصارف بسوی مصارف صنعتی سوق پیدا می کند.

در کشورهای با درآمد پایین، میانگین مصرف آب در بخش کشاورزی ۸۷ درصد، صنعت ۸ درصد و خانگی ۵ درصد می باشد، در حالیکه این نسبت در کشورهای با درآمد متوسط به ترتیب ۷۵، ۱۳ و ۱۲ درصد و در کشورهای با درآمد بالا به ترتیب ۵۹، ۳۰ و ۱۱ درصد است. مطالعات انجام شده نشان می دهد که هر ۲۱ سال نیاز جوامع بشری به آب، دو برابر می شود در حالیکه میزان آب در دسترس بشر ثابت است. منبع اصلی آب قابل استفاده برای انسان را آب شیرین دریاچه ها و رودخانه ها (که تنها ۰/۲۶ درصد (۹۰ هزار کیلومتر مکعب) از کل ذخایر آب شیرین را به خود اختصاص داده است) و آبهای زیر زمینی تشکیل می دهند. (عبداللهی، ۱۳۸۵)

تامین آب آشامیدنی یکی از دغدغه های اصلی مسئولین و سیاست گزاران بویژه در کشورهای در حال توسعه است. در آسیا، آفریقا و آمریکای لاتین و منطقه کارائیب، تقریباً حدود به یک میلیارد انسان در مناطق روستایی دسترسی به منابع آب آشامیدنی سالم ندارند. در طول دهه ۱۹۹۰، کاهش میزان سرانه تامین آب در آفریقا (۲/۸ برابر)، آسیا (۲ برابر) و آمریکای لاتین و منطقه کارائیب (۱/۷ برابر) ثبت شد. (WHO, 2000)

تخمین زده می شود که آب آلوده بر سلامتی بیش از ۱/۲ میلیارد انسان در سراسر دنیا اثر منفی داشته است و به نوعی سالانه منجر به مرگ ۱۵ میلیون کودک می شود. در سال ۱۹۹۴، سازمان بهداشت جهانی اعلام کرد که ۱/۳ میلیارد انسان دسترسی به آب آشامیدنی بهداشتی ندارند. تا سال ۲۰۰۰، نزدیک به ۱/۲ میلیارد انسان فاقد دسترسی به آب سالم بودند. (WHO, 2000)

بنابراین تهیه آب با کیفیت و کمیت مناسب و حفاظت از منابع آب موجود، بویژه برای مناطق روستایی و کم امکانات و تحقیق و پژوهش در این زمینه ها و همچنین یافتن راههای کم هزینه تر با استفاده از انرژیهای پاک و تجدید پذیر ضرورت می یابد.

۱-۱- ضرورت تحقیق

تری هالومتان ها یکی از مهمترین محصولات جانبی آلوده کننده آب به شمار می آیند. آبهای سطحی همواره حاوی مقادیری مواد آلی و معدنی حاصل از فرسایش و شست و شو بستر رودخانه ها، انحلال و تجزیه شاخ و برگ درختان، جلبک ها و دیگر میکروارگانیسم های موجود در مسیر و همچنین مواد ناشی از تخلیه پساب های شهری، صنعتی و کشاورزی می باشند. (طاهری، ۱۳۹۰) حضور ترکیبات آلی در آب آشامیدنی و پس از ترکیب با کلر، باعث تشکیل فرآورده های جانبی خطرناک تری هالومتان ها بعد از گندزدایی می شود، که فاکتوری از لحاظ کیفیت آن است.

بخش عمده ای از مواد آلی موجود در منابع آب را مواد طبیعی تشکیل می دهند و هر چند توجه اولیه در حذف این دسته از مواد، به خاطر رفع رنگ و بوی آب بوده است، اما با توجه به مشکلات ناشی از واکنش میان مواد گندزدا و مواد آلی موجود در آب، که منجر به تشکیل تری هالومتان ها شده و همچنین وجود خطرات ناشی از سرطان زا بودن این ترکیبات، سازمان های جهانی چون EPA^۱ و WHO^۲ را بر آن داشت، حتی برای غلظت های جزئی این مواد، قوانین و مقررات محدود کننده ای وضع کنند. با توجه به مطالب بالا، استاندارد میزان تری هالومتان ها موجود

^۱ - Environmental Protection Agency

^۲ - World Health Organization

در آب شرب حداکثر $(\mu\text{g/l})$ ۲۰۰ توصیه شده است. (طاهری، ۱۳۹۰)

امروزه با توجه به وجود بحران تامین انرژی از یک طرف و از طرف دیگر وجود یک انرژی پاک و تجدیدشدنی و پر قدرت بنام نورانی خورشید باعث شده بشر روز به روز به سمت استفاده بیشتر از این انرژی پیش برود. بخش آب و تامین آب آشامیدنی سالم هم از این قاعده مستثنی نبوده است و در سالهای اخیر با پیشرفت علم، تحقیقات و پژوهشهای زیادی به سمت استفاده هرچه بیشتر از این انرژی در صنعت تصفیه سوق داده شده است.

با توجه به مشکل و هزینه بر بودن حذف تری هالومتان ها در غلظت های کم از منابع آب، بخصوص در مناطق دوردست و کم امکانات روستایی، استفاده از روش های جدید و کم هزینه که می توانند انرژی لازم جهت انجام فرایندهای مورد نیاز خود را از انرژی پاک و تجدید پذیر مانند خورشید تامین کنند بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است. استفاده از فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته یکی از این روشها می باشد.

در حال حاضر فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته موضوع تحقیقات و پژوهشهای فراوانی است. در فرآیند اکسیداسیون با استفاده از اکسیداسیون فتوشیمیایی^۱ و با استفاده از پرتو فرابنفش ترکیبات آلی و مواد آلوده آب و هوا را از بین می برند. این فرایند با ترکیب نور فرابنفش و موادی مانند فتوکاتالیست ها یا مواد اکسیدکننده قوی مانند H_2O_2 و O_3 انجام می شود. دی اکسید تیتانیوم^۲ هم یکی از مواد فتوکاتالیستی است که با گرفتن انرژی خورشید و با آزاد کردن الکترون و به کمک اکسیژن اتمسفر خاصیت اکسیدکنندگی پیدا می کند. در واقع فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته با استفاده بهینه از انرژی خورشیدی روز به روز گسترده تر می شود و نقایص آن برطرف می شود.

با توجه به خواص مفید و عملکرد فتوکاتالیستها و تحقیقات و پیشرفت های صورت گرفته در این زمینه به نظر می رسد با استفاده از لوله هایی که تا حدودی قابلیت عبور دادن اشعه ماورا بنفش^۳ را از خود دارند و با ایجاد لایه ای از دی اکسید تیتانیوم بعنوان یک ماده فتوکاتالیست، بتوان تری هالومتان ها را از منابع آب حذف نمود. در واقع این ماده در اثر جذب انرژی فرابنفش UV، رادیکال آزاد هیدروکسیل و یون سوپراکسید تولید می کند که این مواد به شدت خاصیت اکسیدکنندگی و حذف آلاینده ها را دارند و در نهایت این فرآیند، می توان ترکیبات تری هالومتان ها که مواد سرطانزا هستند را از بین ببرد.

۱-۲- اهداف تحقیق

با توجه به مطالب بررسی شده، هدف نهایی از انجام این تحقیق، بررسی کاربرد همزمان دی اکسید تیتانیوم به عنوان فتوکالیست و نور UV به عنوان منبع انرژی، جهت حذف ترکیبات تری هالومتان ها موجود در منابع آب است. به علت انجام واکنش اکسیداسیون پیشرفته و همچنین امکان استفاده از نور خورشید به جای لامپ های UV مورد بررسی در این تحقیق، امکان استفاده از این روش در آینده وجود دارد. علاوه بر بررسی عملکرد روش بالا، موارد زیر نیز مورد تحقیق قرار خواهند گرفت:

- ✓ بدست آوردن زمان تماس بهینه برای تخریب ترکیبات تری هالومتان ها توسط دی اکسید تیتانیوم
- ✓ تاثیر غلظت مقدار اولیه آلاینده بر کارایی سیستم
- ✓ تاثیر میزان تابش بر کارایی سیستم

¹-Photo Oxidation Processes

²- Titanium Dioxide (TiO_2)

³-Ultra Violet (UV)

۳-۱- فرضیه تحقیق:

فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته در حال حاضر مورد توجه بررسی ها و تحقیقات فراوانی است. در فرآیند نانوفتو کاتالیست با استفاده از یک نانو کاتالیست و با استفاده از پرتو فرابنفش که هم می تواند به صورت مصنوعی (استفاده از لامپ UV) و هم به صورت طبیعی (استفاده از نور خورشید) مورد استفاده قرار گیرد، ترکیبات آلی و مواد آلاینده آب و هوا را می توان از بین برند. این فرایند با ترکیب نور فرابنفش و موادی مانند فتوکاتالیست ها صورت می پذیرد. دی اکسید تیتانیوم هم یکی از مواد فتوکاتالیستی است که با گرفتن انرژی حاصل از نور ماوراء بنفش و با آزاد کردن الکترون و به کمک اکسیژن اتمسفر خاصیت اکسیدکنندگی پیدا می کند. در واقع فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته با استفاده بهینه از انرژی که می تواند انرژی خورشیدی باشد، روز به روز گسترده تر می شود و نقایص آن برطرف می شود.

با توجه به مزیت های فراوان و عملکرد فتوکاتالیستها و بررسی ها و تحقیق های انجام گرفته در این بخش به نظر می رسد با استفاده از لوله هایی کوارتز که قابلیت گذر دادن پرتو ماورا بنفش را از خود دارند و با ایجاد لایه ای از دی اکسید تیتانیوم بر روی سطوحی که توانایی نگهداشتن ذرات دی اکسید تیتانیوم را به خوبی بر روی خود دارند بعنوان یک فتوکاتالیست، بتوان تری هالومتان ها را در آب تخریب نمود. در واقع این ماده در اثر جذب انرژی UV، رادیکال آزاد هیدروکسیل و یون سوپراکسید تولید می سازد که این مواد به شدت خاصیت اکسیدکنندگی و توانایی تخریب آلاینده ها را دارند و در نتیجه این فرآیند، می توان ترکیبات تری هالومتان ها را از آب شهری تخریب نمود.

۴-۱- روش انجام تحقیق:

برای دستیابی به اهداف مورد بحث در این تحقیق، آزمایشها در مقیاس آزمایشگاهی توسط پایلوت (که در بخش سوم به طور کامل شرح داده می شود) انجام شد. برای بررسی نحوه عملکرد سیستم جهت تخریب ترکیبات تری هالومتان ها غلظت های مختلفی از این ترکیبات (به منظور دستیابی به غلظت های حدود ۲۰ تا ۱۶۵ ppb) از آب شهر، مخلوط پروپانول و آب ژاول استفاده گردید) در شرایط محیطی مورد نظر (زمان تابش نور UV و زمان ماند) وارد لوله ها شد و میزان ترکیبات تری هالومتان ها اولیه و نهایی باقی مانده در نمونه های گرفته شده توسط دستگاه GC قرائت گردید و در نهایت نتایج به دست آمده با هم مقایسه شد (که نتایج این مقایسات در فصل چهارم آورده شده است). امید است این تحقیق گامی کوچک برای شروع مطالعات بیشتر و استفاده های علمی از نتایج بررسی ها و تحقیقات باشد تا بتوان با بهبود و افزایش کیفی آب آشامیدنی، سلامت و بهداشت عمومی کشور را فراهم نماید.

فصل دوم

پیشینه علمی موضوع

مقدمه

کلمه فتوکاتالیست از دو کلمه فتو و کاتالیست ترکیب شده است و نقش نور و کاتالیست را هم زمان در سرعت بخشیدن به یک واکنش نشان می‌دهد. (جزایری، ۱۳۸۵) فرآیند فتوکاتالیست در سال های اخیر بعنوان یکی از راهکارهای زیست محیطی در کشورهای صنعتی دنیا بکار می‌رود. طی فرآیندهای اکسایش فتوکاتالیستی مواد آلاینده در اثر تابش اشعه فرا بنفش و در حضور کاتالیزورهای نیمه هادی مثل دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) به طور کامل اکسید شده و به ترکیبات بی زیانی مانند H_2O و CO_2 تبدیل می‌کند. دلیل افزایش کاربرد روش تجزیه فتوکاتالیستی امکان استفاده از اکسیژن اتمسفری بعنوان اکسیدکننده، انجام فرآیند تحت شرایط محیطی و امکان معدنی شدن کامل ترکیبات آلی به آب، دی اکسید کربن و اسیدهای معدنی می‌باشد. با توجه به این خاصیت، فتوکاتالیست بعنوان جایگزین مناسب برای روش‌های متداول تصفیه با هزینه های بالاست که قابلیت استفاده از انرژی پاک و تجدیدشدنی، مانند خورشید را داراست. با توجه به مطالب ارائه شده و پژوهش های که در مورد فتوکاتالیست‌ها و توانایی آنها در تخریب مواد آلاینده آب انجام شده است، می‌توان از آنها بعنوان یک ماده به منظور تخریب ترکیبات تری هالومتان ها استفاده کرد. در این فصل به تفصیل اصول ومبانی فرآیند تخریب ترکیبات تری هالومتان ها توسط فتوکاتالیست TiO_2 بیان می‌گردد.

۲-۱- تخریب ترکیبات تری هالومتان

۲-۱-۱- تعریف انواع ترکیبات تری هالومتان

همان طور که گفته شد، با گسترش فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و افزایش جمعیت، میزان ورود انواع آلاینده‌ها به آب‌های سطحی و زیرزمینی فزونی یافته است. آلاینده‌های آلی یکی از عمده ترین این آلاینده‌ها می‌باشند. (رشیدی، ۱۳۸۰)

ترکیبات THMs در اثر واکنش کلر با برخی از انواع ترکیبات آلی موجود در آب تولید می‌شوند که عمدتاً شامل: برم دی کلرومتان (CHBr₂CL₂)، برموفرم (CHBr₃)، کلروفرم (CHCl₃) و دی بروموکلرومتان (CHBr₂CL) می‌باشند تری هالومتان معمولی ترین محصولات جانبی کلریناسیون آب هستند، که در مقایسه با سایر آلاینده‌های ارگانو هالوژنه در غلظت‌های بالاتری سنجش شده اند. مواد آلی موجود در آب‌های سطحی، مانند اسیدهای ناشی از تجزیه گیاهان (اسیدهای هیومیک و فولویک)، مواد آلی متشرحه از جلبکها و سایر موجودات آبی و نیز مواد آلی حاصل از فعالیت‌های انسانی (مانند فاضلابهای شهری و صنعتی و زه آبهای کشاورزی و شیرابه ناشی از دفع زباله) به عنوان هسته اولیه تولید ترکیبات تری هالومتان محسوب می‌گردند، که به آنها ترکیبات پیش ساز (precursors) اطلاق میشود. رودخانه‌های تغذیه کننده دریاچه‌های پشت سدها و سایر منابع آب سطحی می‌توانند مقادیر قابل توجهی پیش سازهای ترکیبات تری هالومتان (THMs) را وارد منابع مذکور سازند. از عوامل اصلی تشکیل تری هالومتان در آب میتوان اشاره کرد به: غلظت مواد آلی طبیعی، دما، pH، غلظت بروماید و غلظت کلردر مجموع واکنش کلر باقیمانده و مواد آلی عمدتاً به غلظت آن بستگی دارد، روابط زیر را می‌توان در خصوص نحوه تولید THMs در نظر گرفت (معادله ۲-۱): (کاردانی، ۱۳۸۸)

$$d[Cl_2]/dt = -k_1[Cl_2][TOC]$$

معادله (۲-۱)

در این رابطه k_1 سرعت واکنش، $[Cl_2]$ نشانگر غلظت کلر موجود و $[TOC]$ مشخص کننده غلظت کل مواد آلی می‌باشد. اگر فرض شود که واکنش کلر با مود آلی موجب کاهش قابل توجه آن نمی‌گردد، می‌توان از رابطه ۲ برای محاسبه کل ترکیبات تری هالومتان استفاده نمود: (معادله ۲-۲) (احتشامی، ۱۳۸۸)

$$dTHM/dt = -dc/dt = k_1[Cl_2][C]m$$

معادله (۲-۲)

۲-۱-۲- اثرات منفی (مخرب) ترکیبات تری هالومتان

از آنجا که در اغلب تصفیه خانه‌ها از کلر به منظور گندزدایی استفاده می‌شود، در صورت وجود ترکیبات آلی بیش از حد مجاز، کلر باقی مانده با مواد آلی موجود در آب آشامیدنی واکنش داده و تری هالومتان‌ها^۱ که ترکیبات بسیار سمی و سرطانزا هستند را ایجاد می‌کنند. (طاهری، ۱۳۹۰)

مطالعات نشان داده است که تری کلرومتان (کلرو فرم)^۲ و دی برومو کلرو متان^۳ می‌توانند در حیوانات سرطان زا باشند. برخی از مطالعات اپیدمیولوژی مربوط به آب‌های آشامیدنی کلرزی شده، افزایش مرگ و میر ناشی از انواع سرطان‌ها را ناشی از افزایش غلظت تری هالومتان دانسته‌اند. به همین خاطر استاندارد تری هالومتان برای آب آشامیدنی برابر $200 (\mu g/l)$ تنظیم شده است. (طاهری، ۱۳۹۰)

سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA) در سال ۱۹۷۵ طی برنامه ویژه ای نوع تری هالومتانها و غلظت آنها را در آب‌های آشامیدنی بررسی نمود. نتایج این بررسی نشان داد که کلروفرم با غلظت بیش از ۱۰۵

^۱- Trihalomethanes (THM₃)

^۲- Trichloromethane (Chloroform, CHCl₃)

^۳- Dibromochloromethane (CHBr₂Cl)

میکرو گرم بر لیتر در ۱۰ درصد سیستم های آب رسانی وجود داشته است. به طور کلی میزان کلروفورم در بررسی های فوق الذکر در آمریکا بین ۰/۲ تا ۳۱۱ میکروگرم بر لیتر با میانگین ۲۰ میکروگرم بر لیتر بوده است. در آمریکا پیش از ۷۰ سال قبل از کلر به عنوان اولین گندزدای آب استفاده می شد. در سال ۱۸۷۱ در مطالعه کشف شد که تقریباً ۸۵ درصد از تأسیسات آبرسانی با آب سطحی و در حدود ۸۰ درصد از تأسیسات با آبهای زیرزمینی در آمریکا به کلر به عنوان گندزدا تکیه دارد. بقیه گندزداها که در آب آشامیدنی کمتر به کار می روند شامل کلر آمین، دی اکسید کلر، ازن و پرمنگنات پتاسیم است.

در یکی دو دهه اخیر بررسی های متعددی در مورد شناسائی، تعیین حدود و آثار بهداشتی THMs انجام پذیرفته است که در میان آنها نتایج حاصل از بررسی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) و همچنین بررسی سازمان جهانی بهداشت از اهمیت ویژه ای برخوردار هستند.

نتایج بررسی USEPA در مورد تری هالومتانها در سال ۱۹۸۹ انتشار یافت و به صورت پیوستی به مقررات ملی آب آشامیدنی آمریکا ضمیمه شد خلاصه این نتایج به قرار ذیل است: در استفاده از آب آلوده به کلروفورم در غلظت زیاد به مدت طولانی مصرف شده به وسیله موشهای آزمایشگاهی اثر سرطانزایی مشاهده شده است.

چنانچه آب آشامیدنی آلوده به کلروفورم با غلظت بیش از ۰/۱mg/l توسط افراد در مدت زمان طولانی مانند ۷۰ سال به صورت روزمره در حدود دو لیتر در روز مصرف شود، امکان خطر برای سلامت افراد وجود خواهد داشت. در حال حاضر حداکثر غلظت THMs ۰/۱ میلی گرم در لیتر در آب آشامیدنی تعیین می شود. ولی با تحقیقاتی که در جریان است، ممکن است حدود جدیدی برای این منظور تعیین گردد.

در سال ۱۹۸۳ مؤسسه آمریکایی EPA یاد شده برای شهرهایی با جمعیت بیش از ۷۵۰۰۰ نفر، حد غلظت THMs در آب آشامیدنی را معادل ۱۰۰ppb تعیین نمود، ولی این غلظت برای شهرهای ۷۵۰۰۰-۱۰۰۰۰ نفر توصیه نشد و تعیین حد غلظت THMs برای اینگونه شهرها به عهده ارگانهای ذیربط ایالتی گذارده شد. سازمان بهداشت جهانی (WHO) در بررسی های خود چنین نتیجه گرفت:

در میان تری هالومتانها، کلروفورم، برومودی کلرومتان، دی کلروبرومومتان و بالاخره برو موفرم بیش از سایر ترکیبات در آب های آشامیدنی تا میزان ۱۰۰۰ میکروگرم بر لیتر دیده شده ولی غالباً کمتر از ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر است. کلروفورم عامل سرطان در دو گونه از حیوانات آزمایشگاهی است. تری هالومتانهای حاوی مختصر برم در طول مدت حیات حیوانات آزمایشگاهی آثار سرطان زایی نشان داده اند. حد قابل قبول کلروفورم در آب آشامیدنی ۳۰ میکروگرم بر لیتر است. (گنجی دوست، ۱۳۸۷)

۲-۱-۲-۱- متابولیسم

تماس با هوای آلوده به کلروفورم در غلظت ۱۳/۲-۱۱/۸ گرم در هر متر مکعب به مدت ۳ تا ۱۰ دقیقه باعث جذب آن به میزان ۷۳ در صد می شود.

کلروفورم جذب شده به سرعت وارد عروق خونی شده و در بافتها منتشر می شود در موش های خانگی، چربی محل مناسبی برای ذخیره کردن کلروفورم به شمار می رود، همچنین مقادیر کمتری از آن در مغز، ریه ها، کلیه ها، ماهیچه ها و خون ذخیره می شود. متابولیسم کلروفورم در کبد اتفاق می افتد و مطالعات اتو رادیو گرافی انتقال تدریجی رادیو اکتیو را از ذخایر چربی به کبد نشان می دهد. کلروفورم قادر است در جفت ظاهر شود، غلظت کلروفورم در رگهای خونی جفت بیش از کلروفورم موجود در خون مادر است.

در انسان بیش از ۵۰/۶ درصد از دوز خوراکی (۷ میلی گرم به ازاء هر کیلوگرم از وزن بدن) به CO₂ متابولیزه می شود، اما اختلاف قابل ملاحظه ای بین افراد مختلف وجود دارد و بیش از ۶۸/۳ در صد از کلروفورم خورده شده بدون هیچ گونه تغییری از راه بازدم خارج می شود. بیشتر کلروفورم دفع شده از طریق کبد و ریه ها دفع می شود و فقط ۵۰ تا ۶۵ درصد آن (معادل ۵۰۰ میلی گرم) در سیستم گردش خون حرکت می کند. از مقدار ۵۰۰ میلی گرم کلروفورمی که انسان دریافت می کند حدود ۱۸ تا ۶۸ درصد بدون هیچ تغییری در طی ۸ ساعت از راه تنفس خارج می شود. متابولیسم های اصلی کلروفورم از طریق ریه ها یا از طریق کلیه ها به شکل کلرید معدنی خارج میشود. (گنجی دوست، ۱۳۸۷)

۲-۲-۱-۲-سمیت

در این بحث که اثرات بهداشتی تری هالومتانها مطرح می شود، بحث اصلی روی کلروفورم است، زیرا این ترکیب علاوه بر اینکه به عنوان یک ماده بیهوش کننده کاربرد وسیعی دارد، از گروه تری هالومتانهای غالب در منابع آب آشامیدنی است. اثرات سمی دیگر هالومتانها مشابه کلروفورم ها است.

کلروفورم روی سیستم اعصاب مرکزی اثر گذاشته و اختلالاتی را ایجاد می کند. همچنین این ترکیب روی کبد و کلیه تأثیر می گذارد. اثر ناگهانی کلروفورم از دست دادن هوشیاری است که ممکن است به کما یا مرگ منتهی شود. عوارض کلیوی و کبدی به ترتیب ۲۴ تا ۴۸ ساعت و ۲ تا ۵ روز پس از تماس ظاهر می شود.

بنابراین اثرات این سم ممکن است چند روز پس از بیهوشی و به دست آوردن هوشیاری ظاهر شود. مقدار کشنده در انسان حدود ۴۴ گرم یا ۶۳۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن برای یک فرد ۷۰ کیلو گرمی است. هر چند در بعضی از مطالعات آمده است مقدار ۲۵۰ گرم کلروفورم خورده شده در بعضی افراد مرگ و میر ایجاد نکرده است. کمترین مقدار کشنده کلروفورم در انسان ۲۱۰ میلی گرم به ازاء هر کیلوگرم از وزن بدن گزارش شده است. خوردن ۴۴۰ میلی گرم آن سبب تحریک معده و افزایش حرکات دودی آن میگردد. (گنجی دوست، ۱۳۸۷)

بجز مطالعات مربوط به سرطانزایی کلروفورم مطالعات کمی هم روی سمیت مزمن کلروفورم انجام شده است. خوردن ۰/۴ میلی گرم کلروفورم به ازاء هر کیلوگرم از وزن بدن در موشهای صحرایی هیچ گونه تغییرات و عوارضی را به وجود نیاورده است، فقط این مقدار در خوک ها ویتامین ث را در آدرنال افزایش داد. افزودن کلروفورم در خمیر دندان ها و دهان شویه ها در دو مطالعه طولانی مدت مورد ارزیابی قرار گرفت و ۲۲۹ نفر در تماس دراز مدت قرار گرفتند طبق برآوردهای انجام شده مصرف روزانه کلروفورم در یک دوره ۱ تا ۵ ساله ۰/۳۴ تا ۰/۹۶ میلی گرم به ازاء هر کیلو گرم وزن بدن بوده است. نتایج حاصله از این مطالعات نشان داد که هیچ گونه مسمومیتی بر اساس انجام آزمایشهای کبدی وجود نداشته است. مسمومیت کبدی قابل برگشت فقط در یک فرد ۴۷ ساله مشاهده شد که در طی ۱۰ سال روزه ۱۲ تا ۲۰ انس (۳۳۶ تا ۵۶۰ گرم) کلروفورم را از طریق داروی ضد سرفه دریافت میکرد. دوز دریافتی روزانه این فرد بین ۲۳ و ۳۷ میلی گرم به ازاء هر کیلو گرم از وزن بدن بر آورده شده است.

برموفورم نیز علایم مشابهی با کلروفورم دارد. LD50 برموفورم به هنگامی که موشهای خانگی آن را از طریق تزریق زیر جلدی دریافت نمودند ۱۸۲۰ میلی گرم به ازاء هر کیلو گرم از وزن بدن گزارش شده است.

اطلاعات کمی در خصوص سمیت تری هالومتانها وجود دارد. مقدار ماکزیموم و حد تحمل برمودی کلرومتان در موشهای خانگی نر A/SL، ۱۰۰ میلی گرم به ازاء هر کیلوگرم از وزن بدن گزارش شده است. البته نحوه تماس از طریق تزریق داخل صفتی، ۶ بار در طول بیش از ۲ هفته صورت گرفت مقدار ماکزیمم تحمل برموفر هم مطابق برمودی کلرومتان بود که معادل ۱۰۰ میلی گرم به ازاء هر کیلو از وزن بدن گزارش شده است. (گنجی دوست، ۱۳۸۷)