وجود MTBE در منابع آب آشامیدنی ★

(دریافت : ۸۰/۱/۲۱ پذیرش : ۸۰/۷/۳)

ترجمه :

حسین پورمقدس* خلیل ا... معینیان**

چکیده

این مقاله وجودMTBE [1] در منابع آب آشامیدنی را بررسی و کارآیی روش‌های تصفیه برای حذف MTBE را ارزیابی می‌کند.

MTBE از نظر دست‌اندرکاران تأمین آب آشامیدنی دارای اهمیت است چون طعم و بوی شدید ایجاد می‌کند، برای سلامت انسان به طور بالقوه خطرناک است، سریعاً به آب‌های زیرزمینی راه پیدا می‌کند و نسبت به فرآیندهای متداول تصفیه آب مقاوم می‌باشد. این مطالعه در سال ۱۹۹۷ تا ۱۹۹۸ انجام شد تا انتشار MTBE در منابع آب آشامیدنی سطحی و زیرزمینی را مورد ارزیابی قرار دهد. در این مطالعه، ۳۴۲ حلقه چاه در ۱۷ ایالت بررسی و در ۳۰چاه (تقریباً ۸/۸٪) حداقل یکبار MTBE یافت شد. مقدار MTBE همه نمونه‌ها از مقدار ۲۰میکروگرم در لیتری که توسط EPA [2] پیشنهاد شده است کمتر بود. علاوه بر آن، ۹۲منبع آب سطحی در ۱۲ ایالت مورد بررسی و در هشت منبع (تقریباً ۸/۷٪) حداقل یکبار مشاهده شد. بیشترین غلظت (۲۵/۱میکروگرم در لیتر) در پایین دست محلی که نشت بنزین وجود داشته مشاهده شده است. هوادهی تا ۷۶ درصد از غلظت‌های کم MTBE را حذف کرد اما جذب توسط کربن فعال نسبتاً بی‌اثر بود.

مقدمه

MTBE را به عنوان یک افزودنی اکسیژن‌دار به بنزین اضافه می‌کنند. این ماده اولین بار در اواخر دهه ۱۹۷۰ در غلظت تقریباً ۲ تا ۷ درصد حجمی و به عنوان جایگزین سرب به منظور دستیابی به احتراق بهتر و نیز کاهش انتشار منوکسید کربن و محصولات آلی حاصل از احتراق به کار رفته است [۱و ۲].

در مناطق معینی از کشور ایالات متحده آمریکا که در آنها استانداردهای مربوط به کیفیت هوا تشدید می‌شود افزودن ترکیبات اکسیژن‌دار به بنزین نیاز می‌باشد. در پاسخ به اصلاحیه سال ۱۹۹۰ قانون هوای پاک، سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا در سال ۱۹۹۲ برنامه سوخت اکسیژنه شده را آغاز کرد. بر اساس این برنامه، در بعضی از مناطق و در طول ماههای سرد سال (فصل پاییز و زمستان)، مقدار اکسیژن سوخت بایستی ۲/۷ درصد وزنی باشد تا از انتشار منوکسید کربن کاسته شود. برنامه " تجدید فرمول بنزین " که در سال ۱۹۹۵ توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا آغاز شد (همچنین در پاسخ به قانون هوای پاک) مقدار اکسیژن بنزین را ۲ درصد وزنی در سرتاسر سال تعیین کرد تا مقدار ازن و دود در مناطق آلوده‌تر کشور کاهش یابد [۳]. MTBE به دلیل ارزان بودن، سادگی تولید و اختلاط مطلوب با بنزین معمولی، بر دیگر ترکیبات اکسیژن‌دار ترجیح داده شد.

گزارش‌هایی در دست است که نشان می‌دهد در اثر کاربرد سوخت اکسیژنه شده، کیفیت هوا به طور قابل توجهی بهبود یافته است [٤، ٥ و ٦]، اما گزارش‌هایی نیز وجود دارند که بیان کرده‌اند استفاده از این گونه سوخت‌ها، تأثیری در کاهش مقدار ازن نداشته است [۷] اثر سوخت‌های اکسیژنه شده در اتومبیل‌های جدیدی که از دستگاه‌های پیشرفته کنترل آلودگی استفاده می‌کنند کمتر است [۵، ۸ و ۹] و این در حالی است که اثرات مضر سوخت‌های اکسیژنه شده بر منابع آب آشامیدنی رو به افزایش می‌باشد.

در اثر استفاده از MTBE، منابع آب آشامیدنی آلوده شده‌اند. در سال ۱۹۹٦، تعدادی از چاه‌های آب آشامیدنی

* دانشیار گروه بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
** عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

1- Methyl Tertiary Butyl Ether
2- Environmental Protection Agency

شهر سانتامونیکا در ایالت کالیفرنیا به دلیل مشاهده MTBE تا غلظت‌های ۶۱۰ میکروگرم بر لیتر، از مدار استفاده خارج شدند. چاه‌های آب آشامیدنی دیگری نیز در همین ایالت به دلیل وجود MTBE در آنها، از مدار استفاده خارج شدند [۱۰].علاوه بر این، در مطالعه‌ای که بر سفره‌های کم عمق مناطق شهری آمریکا انجام گرفت معلوم گردید که MTBE دومین ترکیب آلی فراری است که در این آب‌ها وجود دارد. در مطالعات دیگر نیز وجود MTBE در منابع آب سطحی و زیرزمینی مناطق مختلف آمریکا گزارش شده است [۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶].

به دلیل ارزانی، سادگی تولید و اختلاط مطلوب با بنزین معمولی، MTBE بر دیگر مواد اکسیژن‌دار ترجیح داده شد.

مشکلات ترکیب MTBE عبارتنداز: پایین بودن آستانه بو و طعم آن، نفوذ سریع به منابع آب زیرزمینی، مشکل حذف در غلظت کم در روش‌های متداول تصفیه و خطرات بهداشتی بالقوه، ..... سازمان حفاظت محیط زیست امریکا MTBE را در فهرست آلاینده‌ها و جزء مواد "**احتمالاً سرطان‌زا برای انسان**" قرار داده است[۱۷]. البته سازمان مذکور اشاره کرده است که در مورد اثرات بهداشتی MTBE، فن‌آوری تصفیه و وجود آن در منابع آب، اطلاعات کافی در دسترس ندارد.

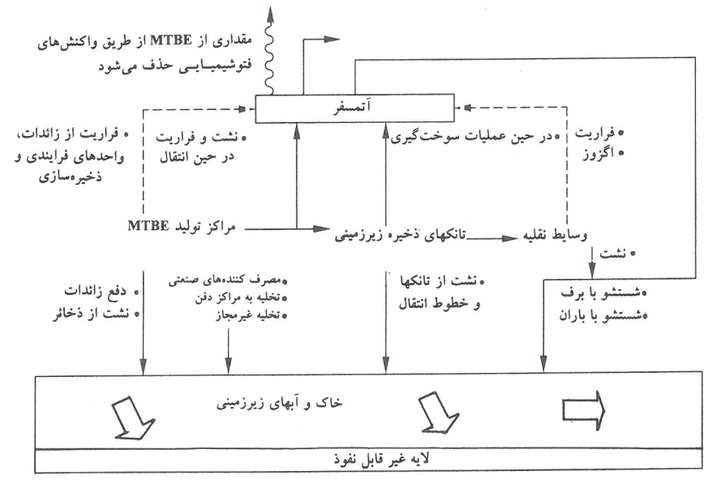
این مقاله، نوشتارهای مربوط به ویژگی‌های MTBE و وجود آن در منابع آب را بررسی و خلاصه نتایج حاصل از مطالعه آب‌های آشامیدنی سطحی و زیرزمینی که توسط "شرکت تأسیسات آبی امریکا" انجام شده است را ارائه می‌کند. مطالعه مذکور تأسیسات آب موجود در ۲۳ ایالت را شامل می‌شود که جمعاً بیشتر از ۷ میلیون نفر را در ۸۷۹ جامعه، تحت پوشش قرار می‌دهد.

تولید و استفاده از MTBE

در حال حاضر، در ۳۲ منطقه در ۱۸ ایالت امریکا، بنزین" **تجدید فرمول شده**" به فروش می‌رسد. بنزین تجدید فرمول شده، ۳۰٪ بنزین فروخته شده در سطح کشور را تشکیل می‌دهد که در حدود ۸۴٪ از بنزین تجدید فرمول شده، ماده MTBE دارد [۴]. در سال ۱۹۹۵، MTBE بعد از اتیلن و پروپیلن، سومین ماده آلی تولیدی در امریکا بوده است (۱۷۶۲۰ میلیون پوند یا ۸×۱۰^{۹}کیلوگرم) [۱۸]. غیر از مقادیر کمی از MTBE که در کارهای آزمایشگاهی به کار می‌رود بقیه MTBE تولید شده در داخل یا وارد شده از خارج، به عنوان ماده اکسیژن‌دار به بنزین اضافه می‌شود.

منابع آلودگی

منابع عمده آلودگی آب زیرزمینی به MTBE شامل نشت از تانک‌های ذخیره زیرزمینی و خطوط انتقال، سرریز شدن از مخازن، محل‌های آلوده شده و محل‌های تولید و ذخیره MTBE می‌باشد. منابع اصلی آلودگی منابع آب سطحی مناطق شهری، قایق‌های تفریحی با سوخت بنزین و بارندگی می‌باشد که بارندگی باعث می‌شود انتشار آلودگی ناشی از وسایل نقلیه و صنایع، به آب‌های



شکل ۱- منابع و راه‌های انتقال MTBE به آب‌های زیرزمینی.

سطحی وارد شود. اتمسفر مناطقی که از MTBE استفاده می‌کنند می‌تواند منبع نامشخص انتقال و راه‌یابی MTBE به آب‌های زیرزمینی کم عمق باشد [۱۹]. سیلاب‌هایی که در اثر بنزین‌های نشت کرده و سرریز شده آلوده شده‌اند نیز می‌توانند باعث آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی شوند. منابع و راه‌های ورود MTBE در شکل ۱ نشان داده شده است.

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی MTBE

MTBE ماده‌ای قطبی و آلی نیمه فرار است. جدول ۱، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مرتبط با بحث را نشان می‌دهد. زیاد بودن فشار بخار و حلالیت آن در آب و کم بودن ثابت هنری و ضریب تفکیک آب-اکتانول، اهمیت ویژه دارند. این ویژگی‌ها در قابلیت MTBE برای راه پیدا کردن به آب‌های زیرزمینی و مشکل بودن حذف مقادیر کم آن از آب، نقش مؤثری دارند. ثابت قانون هنری معیاری است که نشان می‌دهد چه بخشی از یک ماده شیمیایی با غلظت کم، به صورت محلول و چه بخشی به صورت بخار در می‌آید. مواد شیمیایی که ثابت هنری نسبتاً بالایی دارند تمایل تبدیل شدنشان به بخار بیشتر است.

ویژگی‌های MTBE باعث می‌شود که به سادگی از بنزین خارج و وارد هوا شود و به دلیل حلالیت زیاد در آب، در قطرات باران و برف حل گردد [۲۰]. MTBE بسته به غلظتش در آب و هوا، بین این دو فاز جابجا می‌شود. واکنش فتوشیمیایی آب‌های سطحی کم عمق باعث تجزیه MTBE خواهد شد[۲۱].

MTBE پس از ورود به آب‌های زیرزمینی، به دلیل حلالیت بالایی که دارد به سادگی جابجا خواهد شد. MTBE تمایل کمی برای جذب و ماندن در خاک دارد (k_{ow} آن کم است) و از طریق بیولوژیکی به سادگی تجزیه نخواهد شد. به دلایل مذکور، MTBE در مقایسه با اجزای دیگر بنزین؛ مانند بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و گزیلن (ترکیبات BTEX)؛ سریع‌تر و تا مکان‌های دورتری منتشر خواهد شد [۱۲، ۱۶، ۲۲و ۲۳]. در حقیقت گزارش شده است که MTBE همانند عوامل ردیاب با آب‌های زیرزمینی حرکت خواهد کرد [۲۱و ۲۲].

تجزیه بیولوژیکی MTBE محدود می‌باشد چون کربن سوم و پیوند اتر آن، پایدار است. اگرچه شواهد مربوط به سرعت تجزیه بیولوژیکی MTBE در محیط به دلیل گوناگونی شرایط محیطی، قطعی و یقینی نیست اما مشخص است که تجزیه بیولوژیکی MTBE در مقایسه با ترکیبات BTEX، بسیار کندتر است[۲۱]. به هرحال تجزیه نسبتاً سریع MTBE در شرایط کنترل شده امکان‌پذیر است[۸ و ۲۴] و گزارش‌هایی در مورد موفقیت برنامه‌های اصلاح بیولوژیکی در محل آلودگی [۸] و تجزیه هوازی MTBE به وسیله میکروارگانیسم‌های رسوبات بستر جریان ارائه شده است [۲۵].

خطرات بهداشتی و سمیت

تماس با MTBE از طریق نوشیدن آب‌های آشامیدنی و تفریحی و نیز تنفس بخارهای موجود در هوا در مناطقی که این گونه سوخت‌ها مصرف می‌شود رخ می‌دهد، علاوه بر این، هنگام شست و شو با آب‌های آلوده، هم از طریق تنفس و هم از طریق پوست بدن جذب خواهد شد.

هر چند داده‌های حاصل از مطالعه سمیت هیچ مدرکی در مورد سمیت حاد MTBE ارائه نکرده‌اند [۵ و ۱۰] اما در مورد سمیت مزمن بالقوه و اثرات سرطان‌زایی آن اطمینان خاطر وجود دارد به طوری که سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، MTBE را جزء موادی گروه بندی کرده است که به طور بالقوه برای انسان سرطان‌زا هستند. بیشتر آزمایش‌ها و تحقیقات، بر اثرات بهداشتی MTBE جذب شده از طریق تنفس متمرکز بوده است بنابراین نتایج حاصل از آن را نمی‌توان مستقیماً برای MTBE جذب شده از آب آشامیدنی تعمیم داد[۲۱].

آب‌های زیرزمینی به MTBE آلوده شده‌اند

در گزارش‌ها علائم بهداشتی حاد ناشی از استنشاق بنزین دارای MTBE، به طور مفصل ذکر شده‌اند که شامل: سردرد، سرگیجه، حالت تهوع، تحریک چشم، سینوس و گلو می‌باشد [۵ و ۸]. اما این اثرات، در مطالعات کنترل شده، قابل تکرار نبوده‌اند [۵]. احتمال تماس با مقادیر سمیت‌زای MTBE از طریق مصرف آب آشامیدنی منتفی است چون وجود MTBE در آب، طعم و بوی شدید ایجاد می‌کند. مقدار پیشنهادی سازمان حفاظت محیط

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی MTEB

پارامتر	مقدار
فرمول مولکولی	$C_5H_{12}O$
وزن مولکولی، گرم بر مول	۸۸/۱۵
چگالی، گرم بر مول در ۲۰°C	۰/۷٤
حلالیت در آب، میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم آب	٤/۸
فشار بخار، میلی‌متر جیوه در ۲۰°C	۲٤۰
ثابت قانون هنری (KH)، اتمسفر × مترمکعب بر گرم × مول	۰/۰۰۰۵۲۸-۰/۰۰۳
ثابت قانون هنری، بدون بعد	۰/۰۲۲-۰/۱۲
Log K_{OW} (لگاریتم ضریب تفکیک آب- اکتانول)	۰/۹٤-۱/۳
Log K_{OC} (لگاریتم ضریب توزیع نرمال شده کربن آلی)	۰/۵۵-۰/۹۱

زیست امریکا برای MTBE آب آشامیدنی از نظر طعم و بو ۲۰ تا ٤۰ میکروگرم بر لیتر است که برای جلوگیری از ایجاد اثرات سمی، حاشیه امنیت بزرگی است[٤].

فن‌آوری‌های حذف MTBE

حذف MTBE از آب، در مقایسه با اجزای دیگر بنزین، بسیار مشکل‌تر است. راهبردهای رایج‌تر حذف MTBE از آب‌های آشامیدنی شامل هوادهی (خارج کردن با هوا)، جذب (کربن فعال یا جاذب‌های دیگر) و فرایندهای پیشرفته اکسیداسیون (مثلاً فتواکسیداسیون با اشعه ماوراء بنفش و یا اکسیداسیون شیمیایی نظیر ازن-آب اکسیژنه) می‌باشد. یافته‌های اخیر مربوط به کارایی روش‌های تصفیه و تحقیقات مورد نیاز پیشنهاد شده، توسط کلر و همکاران [۸] و سازمان حفاظت محیط زیست امریکا [۲۱]، مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۲، ارزیابی مقایسه‌ای روش‌های هوادهی، کربن فعال گرانولی، اکسیداسیون پیشرفته و فیلتراسیون بیولوژیکی را ارائه کرده است.

چون ثابت قانون هنری برای MTBE نسبتاً کم است، تأثیر هوادهی در حذف MTBE در مقایسه با مواد آلی فراری که معمولاً در آب‌های زیرزمینی یافت می‌شوند کمتر است مگر این که نسبت هوا به آب، بسیار زیاد باشد [۲٦]. مثلاً کینون و دیکسون [۲٦] برای نسبت‌های حجمی هوا به آب، ٤٤، ۷۵، ۱۲۵ و ۲۰۰ به ترتیب درصدهای حذف ٤٤، ۵۱، ٦۳ و ۹۵-۹۳ را گزارش کرده‌اند. برای دست‌یابی به درصدهای حذف مذکور برای ترکیبات فرارتری مانند تری کلرواتیلن، به نسبت‌های حجمی هوا به آب بسیار کمتری نیاز می‌باشد [۲٦]. حذف MTBE با کربن، معمولاً اقتصادی نیست [۸، ۲۱، ۲۳و ۲٦] و کارایی و اقتصادی بودن جاذب‌های دیگر در حال مطالعه و بررسی است [۸ و ۲۷]. اغلب آب‌های آلوده به MTBE، دارای ترکیبات آلی فرار دیگری نیز می‌باشند که برای اشغال جایگاه‌های جذب، به طور موفقیت‌آمیز با MTBE رقابت می‌کنند. بنابراین، در حال حاضر مؤثرترین روش تصفیه می‌تواند هوادهی برای حذف مقداری از MTBE و بیشتر مواد آلی فرار دیگر و سپس جذب بر کربن فعال برای حذف باقیمانده MTBE باشد[۲٦]. گزینه دیگر این است که از نسبت‌های زیاد هوا به آب استفاده گردد.

فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته قابلیت تخریب MTBE را دارد [۸، ۲۱و ۲۸] که البته استفاده از ازن یا ازن-پراکسیدهیدروژن، در بعضی از آب‌ها بروmات تولید خواهد کرد [۲۸]. فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته اغلب گران هستند به ویژه وقتی که دبی کم باشد. البته بعضی از گزارش‌ها نشان می‌دهند که کاربرد آن برای حذف MTBE از کاربرد کربن فعال گرانولی و یا کاربرد هوادهی و پس از آن کنترل گازهای خروجی ارزان‌تر است [۸ و ۲۱].

محصولات جانبی حاصل از اکسیداسیون MTBE، قطبیت کمتر و قابلیت تجزیه بیولوژیکی بیشتری دارند و بعضی از آنها اثرات بهداشتی خاص دارند (مثلاً فرمالدئید). برای کاهش غلظت محصولات جانبی و

جدول ۲- مقایسه روشهای حذف MTBE.

ملاحظات	زدایش با هوا	جذب سطحی با کربن فعال	اکسیداسیون پیشرفته	بیوفیلتراسیون
کارایی	متوسط، بسته به نسبت هوا به آب	ضعیف تا متوسط، ظرفیت جذب محدود برای MTBE	اشعه ماورا بنفش- پراکسید موثر است؛ ازناسیون تنها، از ازناسیون-پراکسید تأثیر کمتری دارد	مقاوم به اکسیداسیون بیولوژیکی، اغلب خیلی مؤثر نیست، کارایی بیشتر اگر با اکسیداسیون همراه باشد
هزینه تصفیه	هزینه بهره‌برداری متوسط تا نسبتاً بالا به علت نسبت بالای هوا به آب مورد نیاز، تصفیه گاز خروجی به مقدار قابل توجهی هزینه را افزایش می‌دهد	بیشتر از زدایش با هوا، هزینه بهره‌برداری نسبتاً بالا به علت نیاز به جایگزینی مکرر GAC	در مورد MTBE، به روش اکسیداسیون بستگی دارد؛ می‌تواند از GAC و یا هوادهی به همراه تصفیه گاز خروجی، ارزان‌تر باشد. برای مواد آلی دیگر معمولاً از GAC و هوادهی گران‌تر خواهد شد	**متوسط، احتمالاً به همراه فرایندهای پیشرفته اکسیداسیون استفاده می‌شود**
مزایا	حذف سایر VOC_S	حذف سایر مواد آلی، می‌تواند باعث تصفیه سایر مواد سبب بو و طعم گردد. پیش تصفیه با زدایش هوا می‌تواند عمر GAC را افزایش دهد	ترکیبات آلی دیگر را هم اکسید می‌کند؛ می‌تواند مشکلات ناشی از طعم و بوهای دیگر را نیز برطرف نماید	**حذف سایر مواد ترغیب کننده رشد بیولوژیکی**
معایب	ممکن است به GAC یا کوره به عنوان تصفیه ثانویه جهت رسیدن به استانداردهای هوا نیاز باشد	احیای GAC یا دفع آن	محصولات جانبی تشکیل می‌شود؛ مشکل امکان رشد بیولوژیکی فراهم می‌شود، پتانسیل تشکیل برمات فراهم می‌گردد	کند؛ نیاز به پایش مرتب و دائم
مشکلات بهره‌برداری	یخ زدگی در فصول سرد سال	نیاز به پایش مرتب	به استفاده بهینه از اکسیدکننده‌ها نیاز می‌باشد	نیاز به حذف گندزدا یا اکسیدان

کمک به کنترل رشد میکروارگانیسم در سیستم توزیع، ممکن است بعد از فرایند اکسیداسیون به فیلتراسیون بیولوژیکی نیاز باشد. با حمایت و تأمین مالی AWWA، یک پروژه تحقیقاتی، امکان‌پذیری فنی و اقتصادی حذف MTBE با روش‌های اکسیداسیون پیشرفته را بررسی خواهد کرد.

جنبه‌های قانونی

MTBE جزء فهرست آلاینده‌های "قانون آب آشامیدنی سالم" نیست اما سازمان حفاظت محیط زیست امریکا MTBE را جزء ترکیبات "احتمالاً سرطان‌زا" برای انسان و در لیست آلاینده‌های پیشنهادی خود [۱۷] قرار داده و خواسته است که از آغاز سال ۲۰۰۱، همه سیستم‌های بزرگ تأمین آب، MTBE را پایش نمایند[۲۹]. علاوه بر آن سازمان حفاظت محیط زیست امریکا برای MTBE موجود در آب (بر اساس طعم و بو) مقدار ۲۰ تا ٤۰ میکروگرم در لیتر را پیشنهاد کرده است [٤].

ایالت کالیفرنیا، در مارس ۱۹۹۹، مقدار پیشنهادی MTBE را از نظر بهداشت عمومی، ۱۳ میکروگرم در لیتر

تعیین کرد و انتظار می‌رود تا پایان سال ۱۹۹۹، یک استاندارد اولیه (از نظر اثرات بهداشتی) وضع نماید [۳۰]. در این ایالت استاندارد ثانویه MTBE از نظر طعم و بو ۵ میکروگرم در لیتر می‌باشد و MTBE را یک ترکیب شیمیایی می‌دانند که اگر چه جزء قانون آب آشامیدنی سالم نیست اما بایستی در بعضی از سیستم‌های تأمین آب پایش شود [۳۰]. چندین ایالت دیگر نیز برای MTBE رهنمود و استاندارد وضع کرده‌اند [۲۲]. مثلاً استاندارد حداکثر غلظت MTBE در آب آشامیدنی ایالت نیوجرسی، ۷۰ میکروگرم بر لیتر است.

موضوعات مورد مطالعه

در حال حاضر در مورد MTBE تحقیقات زیادی در زمینه اثرات بهداشتی، اثر بر کیفیت هوا، وجود در محیط زیست، انتقال و سرنوشت آن، تصفیه در محل آلودگی و نوآوری‌های تصفیه آب در حال انجام است. در دسامبر سال ۱۹۹۸، سازمان حفاظت محیط زیست امریکا، بررسی اطلاعات موجود و تحقیقات مورد نیاز در زمینه MTBE که شامل ۷۷ پروژه تحقیقاتی در حال انجام بود را کامل کرد [۲۱]. این سازمان همچنین پانل مشورتی قانون هوای پاک را تشکیل داد تا نقش سوخت اکسیژنه شده (در رسیدن به اهداف قانون هوای پاک، اثرات بهداشتی آن بر انسان و محیط و اطلاعات مربوط به هزینه تولید و سادگی دسترسی) را مورد بررسی قرار دهد. پانل نتیجه گرفت که کاربرد MTBE بایستی به مقدار زیادی کاهش یابد تا از آلودگی بیشتر منابع آب آشامیدنی جلوگیری شود [٦]. جدول ۳ منابع اطلاعات اینترنتی را در مورد MTBE ارائه می‌کند.

در نتیجه آلودگی آب‌های زیرزمینی، ایالات کالیفرنیا و ماین[1] گام‌هایی را برای توقف کاربرد MTBE برداشته‌اند. این ایالات خواستار خروج از برنامه سوخت پاک سازمان حفاظت محیط زیست امریکا شده و تقاضا کرده‌اند که استانداردهای اجرایی سوخت را خودشان وضع نمایند [۳۱ و ۳۲]. ایالت‌های دیگر، شامل نیوجرسی و تگزاس، در جهت کاهش مصرف MTBE، گام‌هایی برداشته‌اند و یا در نظر دارند که اقداماتی انجام دهند.

[1] Maine

مطالعات قبلی

جامع‌ترین مطالعه‌ای که تاکنون انجام شده است مطالعه‌ای بوده است که به عنوان بخشی از برنامه ارزیابی ملی کیفیت آب در سال ۹٤-۱۹۹۳ به انجام رسیده است [۱۱، ۳۳ و ۳٤]. در این مطالعه مشخص شده است که حضور MTBE در آب‌های زیرزمینی کم عمق مناطق شهری (۱/۳ درصد محل‌ها) و سفره‌های بزرگ و عمیق آب زیرزمینی (یک درصد)، بیشتر است [۱۱]. از ٦۰ ترکیب آلی فرار بررسی شده، MTBE بعد از کلروفرم دومین ترکیبی بوده است که بیشتر از بقیه یافت شده است. اگر چه فقط ۳٪ چاه‌ها و چشمه‌های مناطق شهری غلظت MTBE بیشتر از ۲۰ میکروگرم در لیتر بوده است اما غلظت‌های تا ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر هم مشاهده شده است. بر عکس بیشترین غلظت مشاهده شده در آب‌های زیرزمینی کم عمق مناطق روستایی و سفره‌های عمیق آب زیرزمینی، ۱/۳ میکروگرم بر لیتر بوده است. در این مطالعه MTBE در هشت منطقه شهری مورد مطالعه یافت شد در حالی که تنها در ۳ منطقه از ۲۱ منطقه روستایی تحت مطالعه مشاهده گردید [۱۱].

مطالعات منطقه‌ای دیگر، مطالعه فوق را تکمیل کرده است. مثلاً چندین مطالعه در مورد منابع آب کالیفرنیا توسط چندین سازمان انجام شده است [۲، ۸ و ۱۲]. منابع آب آشامیدنی ماین [۱۳]، آب‌های زیرزمینی نیوانگلند[۱٤]، آب‌های زیرزمینی نیوجرسی [۱۵]، سفره‌های آب جنوب مرکزی پنسیلوانیا [۱٦] و سیلاب‌های مناطق شهری [۳۵]، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. نتایج بعضی از این مطالعات توسط سازمان حفاظت محیط زیست امریکا خلاصه شده است [۲۱]. مطالعات دیگری نیز انجام شده و یا در حال انجام است.

مطالعاتی نیز در مورد وجود MTBE در آب‌های زیرزمینی محل‌هایی که تانک‌های زیرزمینی بنزین نشت داشته‌اند انجام شده است که نشان دهنده پتانسیل آلودگی شدید به MTBE بوده‌اند. باشچک و همکاران [۳٦] گزارش کرده‌اند که در ۸۳ درصد چاه‌های پایش شده در ٤ ایالت در ۷۰۰ پمپ بنزین، MTBE وجود داشته است. در ٤۵ درصد این محل‌ها غلظت MTBE بیشتر از ۱۰۰۰ میکروگرم در لیتر بوده است. به طور مشابه در ۷۸ درصد از آب‌های زیرزمینی ۲۳٦ پمپ بنزین در ایالت کالیفرنیا

جدول ۳- منابع دسترسی به اطلاعات مربوط به MTBE در اینترنت.

Organization	Information Available	Internet Address
USEPA Office of Underground Storage Tanks	Advisories, presentations, policy documents, publications, scientific studies: excellent inks	www.epa.gov/swerust1/mtbe
USEPA Office of Mobile Sources	Links to reports and information on water quality, air quality, health effects, fuel economy, and engine performance	www.epa.gov/omswww/consumer/fuels/mtbe/mtbe.htm
USEPA Office of Ground Water and Drinking Water	Links to reports and information on water quality, occurrence surveys, health effects, and regulatory issues	www.epa.gov/ogwdw/mtbe.html
USEPA Office of Research and Development	Surveys of research needs and current projects	www.epa.gov/ncea/oxyneeds.htm
USEPA Blue Ribbon Panel (Clean Air Act Advisory Committee Panel on Oxygenate Use in Gasoline)	Panel report, meeting agendas, minutes, notes, and presentations; good links	www.epa.gov/oms/consumer/fuels/oxypanel/blueribb.htm
USEPA Integrated Risk Information System	Toxicity studies, reference dose, and reference concentration values	www.epa.gov/iris/subst/0545.htm
US Geological Survey (USGS)	Reports; links List of USGS reports and articles regarding volatile organic chemicals (primarily MTBE) Bibliography of MTBE references, mostly related to water quality	Ca. water. usgs.gov/mtbe wwwsd.cr.usgs.gov/nawqa/pubs wwwsd.cr.usgs.gov/nawqa/vocns/mtbe/bib
California Air Resources Board	Cleaner-Burning Gasoline Program publications, links to reports, fact sheets	www.arb.ca.gov/cbg/pub/pub.htm
California Department of Health Services	Survey of MTBE in drinking water sources, links to other California MTBE sites	www.dhs.cahwnet.gov/org/ps/ddwem/chemicals/mtbe/mtbeindex.htm
Lawrence Livermore National Laboratory	Report on evaluation of MTBE effects on California groundwater	www-erd.llnl.gov/mtbe/pdf/mtbe.pdf
University of California at Davis	General MTBE information, MTBE research report"Health and Environmental Assessment of MTBE"(report to California Legislature and governor)	tsrtp.ucdavis.edu/mtbe tsrtp.ucdavis.edu/mtberpt
National Water Research Institute	Miscellaneous information, numerous links, California MTBE Research Partnership	www.ocwd.com/nwri/mtbe.htm
The Oxygenated Fuels Association	Miscellaneous information, links, responses to reports	www.ofa.net
American Petroleum Institute	Links to numerous sources of information on MTBE and other fule oxygenates	www.api.org/ehs/mtbelink-htm

نیز MTBE یافت شده است که در ۷۰ درصد از محل‌ها غلظت MTBE بیشتر از ۲۰ میکروگرم بر لیتر و در ۱۰ درصد محل‌ها، بیشتر از ۱۰۰۰۰ میکروگرم بر لیتر بوده است[۱۲].

روش نمونه‌برداری و آزمایش

از ویال‌های ۴۰ میلی‌لیتری که کاملاً از نمونه آب پر می‌شده، استفاده شده است. هر ویال حاوی ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید اسکوربیک و دو تا سه قطره اسید کلریدریک ۱+۱ می‌باشد. نمونه‌ها با روش گاز کروماتوگرافی- اسپکترومتری جرمی (روش ۵۲۴/۲ سازمان حفاظت محیط زیست امریکا) آزمایش شده‌اند. این روش تا ۰/۵ میکروگرم بر لیتر MTBE را تشخیص می‌دهد و کمتر از این مقدار، عدم وجود MTBE در نظر گرفته شده است. اگر بخارهای بنزین در محل نمونه‌برداری وجود داشته باشد امکان آلوده شدن نمونه‌ها وجود دارد چون MTBE در آب بسیار محلول است. اثر این نوع آلودگی با استفاده از نمونه‌های عاری از MTBE برطرف خواهد شد. بدین ترتیب که نمونه‌های عاری از MTBE به محل نمونه‌گیری برده شده و پس از بازکردن درب آنها به ویال‌های خالی منتقل می‌شوند.

MTBE فشار بخار نسبتاً بالایی دارد به همین دلیل به سادگی از بنزین خارج و وارد اتمسفر می‌شود و سپس به دلیل حلالیت بالایی که دارد در قطرات باران و برف حل می‌شود.

نتایج و بحث

در ۱۷ ایالت از ۳۴۲ چاه (۲۷۰ آب خام و ۷۲ آب تصفیه شده) طی سال‌های ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸، ۱۳۴۹ نمونه گرفته شد. غلظت MTBE در ۳۰ حلقه چاه (تقریباً ۸/۸ درصد چاه‌ها) حداقل یکبار در حد قابل تشخیص بوده است(۱۳۶ نمونه، تقریباً ۱۰٪ نمونه‌ها). غلظت همه نمونه‌ها کمتر از مقدار پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (۲۰ میکروگرم بر لیتر) و حداکثر مقدار مشاهده شده، ۱۴/۱ میکروگرم بر لیتر بوده است. جدول ۴ خلاصه نتایج را نشان می‌دهد.

همچنین در ۱۲ ایالت از ۹۲ منبع آب سطحی، ۲۰۰ نمونه برداشت و آزمایش گردید. غلظت MTBE در ۸ منبع آب سطحی (تقریباً ۸/۷ درصد) در حد قابل تشخیص بوده است. (۱۲ نمونه، تقریباً ۶٪ نمونه‌ها). بیشترین غلظت MTBE، ۲۵/۱ میکروگرم بر لیتر بوده است. جدول ۵، خلاصه نتایج را نشان می‌دهد.

به طور کلی همچنان که مطالعات دیگر نشان داده‌اند وجود MTBE در آب با استفاده از MTBE در بنزین در مناطق ژئوگرافیک خاص، ارتباط مستقیم دارد [۳۴]. مثلاً بیشترین محل‌های آلوده، در نیوجرسی مشاهده شده است.

MTBE به دلیل حلالیت زیادی که دارد پس از رسیدن به آب‌های زیرزمینی به سادگی حرکت کرده و منتشر خواهد شد.

اگر کاربرد MTBE در بنزین ادامه یابد مشکل آلودگی آب‌ها تشدید خواهد شد.

کارایی سیستم‌های تصفیه موجود در حذف MTBE

برای بررسی کارایی روش‌های نوین تصفیه در حذف غلظت‌های کم MTBE، نویسندگان این مقاله، اطلاعات حاصل از چهار سیستم موجود در ایالات نیوجرسی را مورد مطالعه قرار داده‌اند: دو برج هواده، یک سیستم کربن فعال، یک سیستم ازناسیون-فیلتر کربن فعال. این سیستم‌ها اختصاصاً نه برای حذف MTBE بلکه برای حذف ترکیبات آلی فرار و دیگر ترکیبات آلی طراحی شده بودند.

نویسندگان این مقاله اطلاعات مربوط به غلظت متوسط و درصد حذف MTBE در سیستم‌های مذکور را با هم مقایسه کرده‌اند و غلظت‌های کمتر از ۰/۵ میکروگرم بر لیتر که قابل تشخیص نیست را صفر در نظر گرفته‌اند.

هوادهی

دو سیستم هوادهی مذکور برای حذف ترکیبات BTEX(B: بنزن، T: تولوئن، E: اتیل بنزن و X: گزیلن)، تری کلرواتیلن (TCE) و پرکلرواتیلن (PCE) و یا هر سه آنها از آب زیرزمینی طراحی شده‌اند. این برج‌های هوادهی در حذف ترکیبات فوق بسیار مؤثر بوده‌اند ولی در حذف MTBE که فراریت کمتر و حلالیت بیشتری دارد چندان مؤثر نبوده‌اند.

جدول ۴- وجود MTBE در آب‌های زیرزمینی.

ایالت	تعداد کل محل‌ها (تعداد نمونه‌ها)	تعداد محل‌هایی که در آن‌ها MTBE آشکار شده است (تعداد نمونه‌ها)	درصد محل‌هایی که در آن‌ها MTBE آشکار شده است (تعداد نمونه‌ها)	محدوده غلظت MTBE میکروگرم در لیتر	تعداد محل‌هایی که در آن‌ها در آب‌های زیرزمینی تصفیه نشده MTBE آشکار شده است(تعداد نمونه‌ها)	تعداد محل‌هایی که در آن‌ها در آب‌های زیرزمینی MTBE آشکار نشده است(تعداد نمونه‌ها)	تعداد محل‌هایی که در آن‌ها در آب‌های زیرزمینی تصفیه شده MTBE آشکار شده است (تعداد نمونه‌ها)	تعداد محل‌هایی که در آن‌ها در آب‌های زیرزمینی تصفیه شده MTBE آشکار نشده است
آریزونا	۶(۱۲۲)	۰	۰	ND†	۰	۶(۱۲۲)		
کالیفرنیا	۴۲(۶۷)	۰	۰	ND	۰	۴۲(۶۷)		
کانکتیکات	۱۰(۳۶)	۵(۷)	۵۰(۱۹)	ND-۰/۸	۵(۷)	۹(۲۹)		
لوآ	۴(۲۹)	۰	۰	ND	۰	۴(۲۹)		
ایلینویز	۱۴(۸۸)	۰	۰	ND	۰	۲(۷)	۰	۱۲(۸۱)
ایندیانا	۹۹(۲۴۳)	۱(۱)	۱/۰(۰/۴)	۱/۵وND	۱(۱)	۹۹(۲۴۲)		
ماریلند	۲(۱۰)	۱(۱)	۵۰(۱۰)	۰/۵و ND	۱(۱)	۲(۹)		
ماسوچوست	۱۳(۳۸)	۵(۱۰)	۳۸(۲۶)	ND-۵/۹	۳(۷)	۹(۱۶)	۲(۳)	۴(۱۲)
میشیگان	۳(۶)	۰	۰	ND	۰	۳(۶)		
میسوری	۵(۱۴)	۰	۰	ND	۰	۵(۱۴)		
نیوهامفیر	۱۱(۱۶)	۱(۱)	۹/۱(۶/۲)	ND-۱/۴	۱(۱)	۱۰(۱۵)		
نیوجرسی	۹۲(۶۸۳)	۱۲(۸۷)	۱۳(۱۳)	ND-۱۱/۶	۸(۷۶)	۴۷(۴۵۷)	۴(۱۱)	۴۴(۱۳۹)
نیومکزیکو	۷(۲۸)	۰	۰	ND	۰	۷(۲۸)		
اوهایو	۳۲(۵۴)	۰	۰	ND	۰	۲۰(۲۹)	۰	۱۲(۲۵)
پنسیلوانیا	۴(۳۰)	۴(۲۷)	۱۰۰(۹۰)	ND-۱۴/۲	۴(۲۷)	۱(۳)		
ویرجینیا	۲(۲)	۰	۰	ND	۰	۲(۲)		
ویرجینیای غربی	۲(۵)	۱(۲)	۵۰(۴۰)	ND-۶/۶	۱(۲)	۲(۳)		
کل (مجموع)	۳۴۲(۱۳۴۹)	۳۰(۱۲۶)	۸/۸(۱۰)	ND-۱۴/۲	۲۴(۱۲۲)	۲۶۴(۹۵۶)	۶(۱۴)	۷۲(۲۵۷)

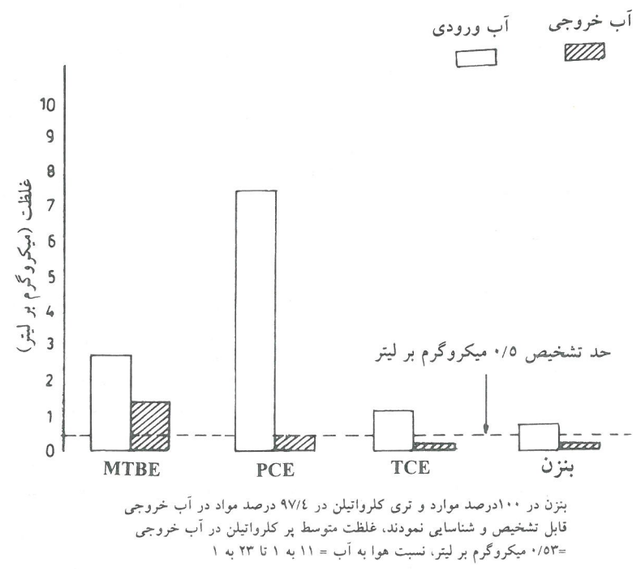
غلظت MTBE در آب ورودی به برج هوادهی اول متغیر بوده است به طوری که در ازای ۲۸ مورد مثبت، ۱۴ مورد منفی (عدم تشخیص MTBE) وجود داشته است. غلظت MTBE ورودی از ۰/۸ تا ۹/۴ میکروگرم بر لیتر و میانگین آن ۲/۸ میکروگرم بر لیتر بوده است. در مقایسه با MTBE، غلظت پرکلرواتیلن، تری کلرواتیلن و بنزن ثبات بیشتری داشته و متوسط غلظت آنها به ترتیب ۸/۷، ۱/۱ و ۰/۷ میکروگرم بر لیتر بوده است. مقادیر مثبت MTBE در طول سال مشاهده شده است اما عدم تشخیص MTBE در ماه‌های گرم سال رخ داده است. مثلاً همه هشت نمونه برداشت شده در دسامبر، ژانویه و فوریه دارای MTBE بوده‌اند اما از یازده نمونه برداشت شده در ژوئن، ژولای و آگوست، تنها ۶ نمونه دارای MTBE بوده است.

شکل ۲، کارایی این برج هوادهی برای حذف ترکیبات آلی فرار از آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. برج هوادهی مذکور ۴/۷ متر طول و ۱/۹ متر قطر دارد که ۳/۴ متر از طول آن توسط پلی پروپیلن پر شده است، دبی

جدول ۵- وجود MTBE در آب‌های سطحی.

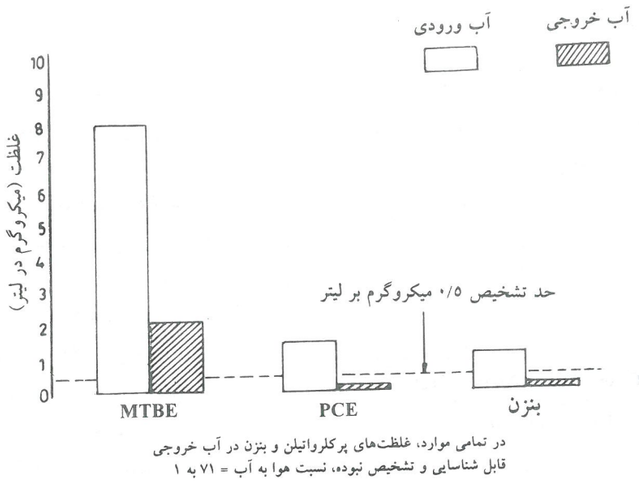
ایالت	تعداد کل محل‌ها (تعداد نمونه‌ها)	تعداد محل‌هایی که در آن‌ها در آب سطحی MTBE آشکار شده است (تعداد نمونه‌ها)	درصد محل‌هایی که در آن‌ها MTBE آشکار شده است (درصد تعداد نمونه‌ها)	تعداد محل‌هایی که در آن‌ها در آب‌های سطحی MTBE آشکار نشده است (تعداد نمونه‌ها)	محدوده غلظت MTBE (میکروگرم در لیتر)
کانکتیکات	۷(۱٤)	۰	۰	۷(۱٤)	ND†
لوآ	۱(۳)	۰	۰	۱(۳)	ND
ایلینویز	۱(۱)	۰	۰	۱(۱)	ND
ایندیانا	۹(۱۷)	۰	۰	۹(۱۷)	ND
کنتاکی	۸(۳۵)	۰	۰	۸(۳۵)	ND
ماسوچوست	۱(۱)	۰	۰	۱(۱)	ND
میسوری	۱(۷)	۰	۰	۱(۷)	ND
نیوجرسی	۱٦(٤۳)	٤(۷)	۲۵(۱٦)	۱۵(۳٦)	ND-۳/۳
نیویورک	۱۸(۲۹)	۳(۳)	۱۷(۱۰)	۱۸(۲٦)	ND-۰/۷
اوهایو	۲(٤)	۰	۰	۲(٤)	ND
پنسیلوانیا	۹(۱٤)	۱(۲)	۱۱(۱٤)	۹(۱۲)	ND-۲۵/۱
ویرجینیای غربی	۱۹(۳۱)	۰	۰	۱۹(۳۱)	ND
کل (مجموع)	۹۲(۲۰۰)	۸(۱۲)	۸/۷(٦/۰)	۹۱(۱۸۷)	ND-۲۵/۱

† مشاهده نشد.



بنزن در ۱۰۰درصد موارد و تری کلرواتیلن در ۹۷/٤ درصد مواد در آب خروجی قابل تشخیص و شناسایی نمودند، غلظت متوسط پر کلرواتیلن در آب خروجی =۰/۵۳ میکروگرم بر لیتر، نسبت هوا به آب = ۱۱ به ۱ تا ۲۳ به ۱

شکل ۲- راندمان حذف MTBE، پرکلرواتیلن، تری‌کلرواتیلن و بنزن توسط برج هوادهی.



در تمامی موارد، غلظت‌های پرکلرواتیلن و بنزن در آب خروجی قابل شناسایی و تشخیص نبوده، نسبت هوا به آب = ۷۱ به ۱

شکل ۳- راندمان حذف MTBE، پرکلرواتیلن و بنزن توسط برج هوادهی.

آب وردی به برج ۵۲۵۷ لیتر بر دقیقه و نسبت هوا به آب، دو مقدار ۱۱ و ۲۳ بوده است. متوسط غلظت MTBE در آب خروجی، ۱/۵ میکروگرم بر لیتر و راندمان حذف ٤٦٪ و حداکثر غلظت خروجی ۵/۷ میکروگرم بر لیتر بوده است. اما غلظت بنزن به کمتر از حد قابل تشخیص (حد تشخیص ۰/۵ میکروگرم بر لیتر برای بنزن، تری کلرواتیلن و پرکلرواتیلن) کاهش داده شد و تری کلرواتیلن تنها در یکی از ۳٤ نمونه آب خروجی شناسایی شد (۰/۷ میکروگرم بر لیتر)، غلظت متوسط پرکلرواتیلن ۰/۵۳ میکروگرم بر لیتر بوده است. تغییر نسبت هوا به آب از ۱۱ به ۲۳، تغییر مهمی در کیفیت آب خروجی ایجاد نکرده است.

غلظت MTBE در آب خام چاه دیگر نیز متغیر بوده است به طوری که در ازای ۱۳ مورد مثبت (۱۱/٦-٦ میکروگرم بر لیتر) ۹ مورد منفی (عدم وجود MTBE در آب خام) وجود داشته است. آب این چاه حاوی پرکلرواتیلن و بنزن (هر دوی آنها کمتر یا مساوی ۲/۲ میکروگرم بر لیتر) نیز بوده است ولی غلظت آنها در مقایسه با MTBE، تغییرات کمی داشته است. دبی برج هوادهی ۱۸۹۳ لیتر در دقیقه و نسبت هوا به آب، ۷۱ بوده است. این نسبت هوا به آب باعث شده است که راندمان حذف ترکیبات آلی فرار بهبود یابد به طوری که پرکلرواتیلن کاملاً حذف شده و راندمان حذف MTBE افزایش یافته است. آب ورودی به این سیستم، به طور متوسط ۸/۰ میکروگرم بر لیتر MTBE (برای روزهایی که MTBE از حد قابل تشخیص بالاتر بوده است) و متوسط غلظت MTBE در آب خروجی ۲/۱ میکروگرم بر لیتر(۷٦ درصد حذف شده است) بوده است در حالی که غلظت بنزن و پرکلرواتیلن در آب خروجی، به کمتر از حد قابل تشخیص کاهش داده شده است (شکل ۳).

کربن فعال

دومین سیستم مورد مطالعه، جذب برکربن فعال گرانولی بوده است که با هدف حذف پرکلرواتیلن و تری کلرواتیلن از آب زیرزمینی طراحی شده بوده است. غلظت‌های زیاد پرکلرواتیلن (با میانگین تقریباً ۱۰ میکروگرم بر لیتر) و تری کلرواتیلن (تقریباً ۱/۵ میکروگرم بر لیتر) توسط کربن فعال به کمتر از حد قابل تشخیص کاهش داده شده است. علاوه بر ترکیبات مذکور، گاهی غلظت‌های کم MTBE (۰/۵ تا ۱/٤ میکروگرم بر لیتر) نیز در آب خام وجود داشته است. هر چند غلظت‌های مذکور ناچیز بوده‌اند اما کربن فعال در

حذف MTBE نسبتاً بی‌اثر بوده و آب خروجی از سیستم تقریباً همان غلظت ورودی را داشته است.

ازناسیون و فیلتراسیون با کربن فعال

آخرین روش تصفیه‌ای که مورد بررسی قرار گرفت یک تصفیه‌خانه آب سطحی شامل مراحل تصفیه متداول، ازناسیون و فیلتر کربن فعال گرانولی بوده است. آب ورودی به این تصفیه‌خانه، آب رودخانه یک منطقه صنعتی که دارای ترافیک قابل توجهی از قایق‌ها و کشتی‌ها می‌باشد بوده است. آب خام رودخانه برای تعیین غلظت MTBE مورد آزمایش قرار گرفت. از ماه می سال ۱۹۹۷ تا فوریه ۱۹۹۸، در چهار نمونه MTBE یافت نشد و در ماه‌های می (۱/۳ میکروگرم بر لیتر) آگوست (۲/۳ میکروگرم بر لیتر) و نوامبر (۰/۸ میکروگرم بر لیتر) سال ۱۹۹۸، MTBE مشاهده گردید. غلظت MTBE در آب تصفیه شده سه مورد اخیر (می، آگوست و نوامبر) به ترتیب کوچک‌تر از ۰/۵، برابر ۱/۱ و ۰/۶ میکروگرم بر لیتر بوده است که راندمان‌های حذف آنها به ترتیب بزرگتر از ۶۲، برابر ۵۲ و ۲۵ درصد می‌باشد. این اطلاعات نشان می‌دهد که سیستم ازناسیون- کربن فعال گرانولی برای حذف غلظت‌های کم MTBE خیلی مؤثر نیست. علاوه بر این ممکن است بیشتر MTBE نه در اثر اکسیداسیون توسط ازن و جذب بر کربن فعال بلکه در اثر هوادهی ناشی از ازناسیون حذف شده باشد.

برج‌های هوادهی، کربن فعال گرانولی و سیستم‌های ازناسیون موجود در حذف غلظت‌های کم MTBE، نسبتاً بی‌اثر هستند.

★Gullick, R.W., LeChevallier, M.W., (2000), *" Occurrence of MTBE in Drinking Water Sources"*, AWWA Jour., Vol.92, ISSUE. 1, pp.100-113.

منابع و مراجع

1- Freed, C.N. April (1997), Natl. *" EPA Fuel Programs "*, Mtg., Amer. Chem. Soc. Div. Envir. Chem, San Francisco.

2- Dale, M.S., et al. April (1997), Natl. *" MTBE : Occurrence and Fate in Source Water Supplies "*, Mtg., Amer. Chem. Soc. Div. Envir. Chem., San Francisco.

3- USEPA, (1998), MTBE Fact Sheet 1, *" Overview. Ofce. Of Solid Waste and Emergency Response "*, Washington. EPA 510-F-97-014.

4- USEPA, (1997), *" Drinking Water Advisory : Consumer Acceptability Advice and Health Effects Analysis on Methyl Tertiary – Butyl Ether (MTBE). Ofce. Of Water "*, EPA-822-F-97-009.

5- National Science and Technology Council Committee on Environment and Natural Resources and Interagency Oxygenated Fuels Assessment Steering Committee. (1997),*" Interagency Assessment of Oxygenated Fuels "*, Washington.

6- Blue Ribbon Panel on Oxygenates in Gasoline. Achieving Clean Air and Clean Water, (1999), *" The Report of the Blue Ribbon Panel on Oxygenates in Gasoline"*, EPA. A20-R-99-021.

7- National Research Council Committee on Ozone-forming Potential of Reformulated Gasoline, (1999), *" Ozone – Forming Potential of Reformulated Gasoline"*, Natl. Res. Council, Natl. Acad. Of Sciences, Washington.

8- Health and Environmental Assessment of MTBE, (1998), *"Report to the Governor and Legislature of the State of California as Sponsored by SB 521"*, <http://tsrtp. ucdavis.edu/mtberpt> .

9-Hooo, J.G., Farna, R. (1995), *" Emissions From Light-duty Vehicles Operating on Oxygenated Fuels at Low Ambient Temperatures : A Review of Published Studies. SAE Technical Paper Series No. 952403, Soc. Automotive Engrs, Warrendale Pa "*.

10- California Environmental Protection Agency, *" MTBE Briefing Paper"*, (April. 24, 1997: updated Sept. 3, 1998).<http://www.arb.ca.gov/cbg/pub>.

11- Squillace, P.J., et al. (1996), *" Preliminary Assessment of the Occurrence and Possible Sources of MTBE in Groundwater in the United States"*, 1993-94 Envir. Sci. and Technol., 30:5:1721.

12- Happei, A.M., Beckenbach, E.H, Halden, G. R.U. (June 11, 1998), *" An Evaluation of MTBE Impacts to California Groundwater"*, Lawrence Livermore Natl, Lab., Livermore. Calif. UCRL-AR-130897.

13- State of Maine Department of Human Services, Department of Environmental Protection, and Department of Conservation, (Oct.13, 1998), *" Presence of MTBE and Other Gasoline Compounds in Maine's Drinking Water: A Preliminary Report"*.

14- Grady, S.J. (April 1997), *" Distribution of MTBE in Ground Water in New England by Aquifer Type and Land Use"*, NatL. Mtg., Amer. Chem. Soc., Div. Envir. Chem., San Francisco.

15- Stackelberg, P.E. O., Brien, A.K., and Terracciano, S.A. (April 1997), *" Occurrence of MTBE in Surface and Ground Water"*, Long Island, New York, and New Jersey. Natl. Mtg., Amer, Chem. Soc.., Div. Envir. Chem., San Francisco.

16- Lindsey, B.D., Breen, K.J., and Daly, M.H. (April 1997), *" MTBE in Water from Fractured – Bedrock Aquifers, South-central Pennsylvania "*, Natl. Mtg., Amer. Chem. Soc., Div. Envir. Chem., San Francisco.

17- *" Announcement of the Drinking Water Contaminant Candidate List "*, (Mar. 2. 1998), Notice. Fed. Reg., 63:40:10273.

18- *" Facts and Figures for the Chemical Industry"*, (1996), Chem. Engrg. News, 74:26:42.

19- Baehr, A., et al. (1999), *" Evaluation of the Atmosphere as a Source of Volatile Organic Compouds in Shallow Water"*, Water Resources Res., 35:1:127.

20- Pankow, J.F., et al. (April 1997), *" Urban Atmosphere as a Non-point Source for the Transport of MTBE and Other Volatile Organic Compounds to shallow Groundwater"*, Natl. Mtg., Amer. Chem. Soc., Div. Envir. Chem., San Francisco.

21- USEPA. (1998), *" Oxygenates in Water : Critical Information and Research Needs"*, Ofce, Of Research and Development, Washington. EPA/600/R-98/048.

22- Bauman, B. (1997), *" MTBE and Groundwater Quality : Bioremediation Research"*, EPA Oust. Natl. Conf., Charlotte, N.C.

23- Garrett, P., Moreau, M., and Lowry, J.D. (1986), *" MTBE as a Ground Water Contamindnt"*, Proc. NWWA/API conf. on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water Prevention, Detection, and Restoration, NWWA, Dublin, Ohio.

24- USEPA. (1998), MTBE Fact Sheet 2: *" Remediation of MTBE-Contaminated Soil and Groundwater Ofce. of Solid Waste and Emergency Response "*, Washington. EPA 510-F-97-015.

25- Bradley, P.M., Landmeyer, J.E. andChapelle, F.H. (1999), *" Aerobic Mineralization of MTBE and Tert-Butyl Alcohol by Stream – Bed Sediment Microorganisms"*, Envir. Sci & Technol., 33:11:1877.

26- McKinnon, R.J., Dyksen, J.E. (May 1984), *" Removing Organics from Groundwater through Aeration Plus GAC"*, Jour. AWWA, 76:5:42.

27- Davis. S.W., Powers, S.E., *" Alternative Sorbents for Removing MTBE from Gasoline – Contaminated Groundwater"*, (Unpubl).

28- Liang, S., et al. (June 1999), *" Oxidation of MTBE by Ozone and Peroxone Processes"*, Jour. AWWA., 91:6:104.

29- *" Revisions to the Unregulated Contaminant Monitoring Regulation for Public Water Systems"*, Final Rule. Fed. Reg. (Sept. 17. 1999).

30- California Department of Health Services, (Updated June 4, 1999), *"California Drinking Water Standards, Action Levels, and Unregulated Chemicals Requiring Monitoring"*,<http://wwwdhs.Cahwnet.gov/org/ps/ddwem/chemicals/mcl/mclindex.htm.>

31- Renner, R. (1999), *" Maine Seeks to Drop MTBE from its Clean Fuels Program"*, Envir. Sci. Technol., 33:1:9A.

32- McCo. M. (Apr. 5,1999), *" California MTBE Ban Hits Chemical Makers"*, Chem, Engr. News. 77:14:9.

33- Zogorski. J.S., et al. (1998), *"MTBE: Summary of Findings and Research by the US Geological Survey Proceedings "*, AWWA Annual Conference, Dallas.

34- Moran, M.J., Zogorski, J.S. and Squillace, P.J. (1999), *" MTBE in Ground Water of the United States Occurrence, Potential Sources, and Long-Range Transport"*, AWWA Water Resources Conf., Norfolk, Va.

35- Delzer, G.C., Zogorski, J.S. and Lopes, T.J. (April 1997), *" Occurrence of the Gasoline Oxygenate MTBE and BTEX Compounds in Municipal Stormwater in the United States"*, 1991-95, Natl. Mtg., Amer. Chem. Soc., Div. Envir. Chem., San Francisco.

36- Buscheck, T.E., et al. (1998), *"Occurrence and Behavior of MTBE in Groundwater"*, Underground Storage Tank Conf., Los Angeles. State of California Water Resources Control Board, Sacramento.