فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل

سال سوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۱، (پیاپی ۱۰): صص ۴۹-۵۶

تهدید منابع آب با عوامل شیمیایی

مهدی اشرفی[۱]

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۲/۱۸
تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۴/۲۷

چکیده

یکی از مهم‌ترین مسائلی که بشر امروزی را مورد تهدید قرار می‌دهد استفاده از عوامل شیمیایی، بیولوژیکی و هسته‌ای توسط گروه‌های تروریستی می‌باشد. دسترسی آسان و هزینه پایین عوامل شیمیایی نسبت به عوامل بیولوژیکی و هسته‌ای موجب شده است که این عوامل، مطلوب استفاده توسط تروریست‌ها قرار گیرند. در این مقاله، تهدید منابع آب توسط عوامل شیمیایی جنگی مورد بررسی قرار گرفته است و بر اساس پارامترهایی از قبیل پایداری در آب، حلالیت در آب، فراریت از آب و مقاومت به کلر، مشخص شدکه دو عامل VX (از عوامل اعصاب) و خردل گوگردی (HD) (از عوامل تاولزا)، بیشترین خطر سمیت آب نوشیدنی شهری را در بین عوامل شمیایی جنگی دارا می‌باشند.

کلیدواژه‌ها: تهدید منابع آب، عوامل جنگی شیمیایی، پایداری در آب، حلالیت در آب، فراریت از آب، مقاومت به کلر

۱- کارشناس ارشد شیمی آلی- سازمان تحقیقات و خودکفایی نیروی زمینی سپاه، mhdashrafi@yahoo.com

مقدمه

تهدید به‌کارگیری عوامل شیمیایی در زمانی غیر از جنگ، توسط گروه‌های نافرمان داخلی و نیز گروه‌های تروریستی می‌تواند متوجه مردم شده و به‌عنوان خطری که در آینده چالش‌هایی را به وجود خواهد آورد مطرح گردد. سیستم‌ها و منابع آب به‌عنوان یک منبع حیاتی که عموم مردم هر لحظه با آن سروکار دارند، اهداف جالبی برای تروریست‌ها هستند. لذا آب ابزار تهدید خوبی برای تروریست‌ها است که به‌وسیله آن بتوانند امنیت، آرامش روانی و سلامت مردم را به خطر بیندازند. جهت انجام هر گونه اقدام پیشگیرانه، ابتدا باید تهدیدهای احتمالی را در حوزه آب شهری شناسایی کرده و بعد در جهت کشف و خنثی‌سازی آن تهدیدها گام برداریم. در این مقاله تهدیدهای شیمیایی آب مورد بررسی قرار گرفته و در چهار بخش ارائه شده است که عبارت‌اند از:

۱- سابقه تهدید آب با مواد شیمیایی

۲- عوامل شیمیایی تهدید کننده منابع آبی

۳- بررسی پارامترهای موثر در انتخاب عوامل آلوده‌کننده آب شهری

۴- نتیجه‌گیری و انتخاب سمی‌ترین و پایدارترین عامل‌های آلوده‌کننده آب و چگونگی به کارگیری آن‌ها در مسیر تهیه و توزیع آب شهری.

۱- سابقه تهدید آب با مواد شیمیایی

استفاده از آب به‌عنوان هدف و ابزار جنگ و تروریسم سابقه طولانی دارد. منابع آب از قدیم یکی از عوامل درگیری و نزاع بوده است. تاریخ حمله به سیستم‌های آبی به ۴۵۰۰ سال پیش برمی‌گردد؛ زمانی که پادشاهی به نام اورلاما ۲۴۰۰ تا ۲۴۵۰ سال قبل از میلاد، مسیر آب یک رودخانه را برای اینکه شهرهای اطراف را از آب محروم کند، منحرف ساخت[۱].

طی سال‌های اخیر نیز آلودگی‌هایی در منابع آبی وجود داشته است. لذا تهدید مواد شیمیایی برای منابع آبی، از جمله تهدیدهایی است که بشر همواره با آن روبرو بوده و در آینده نیز خواهد بود.

جدول (۱) نمونه‌ای از تهدیدهای شیمیایی آب را طی چندین سال اخیر نشان می‌دهد[۱].

جدول ۱- نمونه‌ای از تهدیدهای شیمیایی آب نوشیدنی

سطح تهدید	سال	مکان	توضیحات
انجام شده	۱۷۴۸	آمریکا	آتش گرفتن خانه‌های اطراف ساحل غربی رودخانه بروکلین
	۱۸۴۱	کانادا	نابودی یک مخزن آب توسط اهالی شهر اونتاریو به‌علت این‌که فکر می‌کردند برای سلامتی آن‌ها مضر است.
	۱۸۴۴	آمریکا	نابودی یک مخزن آب در ایالت اوهایو توسط مردم به‌علت اینکه فکر می‌کردند برای سلامتی آن‌ها مضر است.
	۱۸۶۱-۱۸۵۳	آمریکا	آلودگی کانال ویباش در ایالت ایندیانا با مواد نامعلوم
	۱۸۷۷	آمریکا	آلوده شدن کانال آب با دینامیت در ایالت اوهایو
	۱۹۷۷	آمریکا	آلوده کردن آب کارولینای شمالی با مواد شیمیایی ناشناخته
	۱۹۹۲	ترکیه	آلودگی مخزن آب در یک پایگاه نیروی هوایی در استانبول با پتاسیم سیانید
	۱۹۹۹	آفریقای جنوبی	پیدا شدن یک بمب دستی در مخازن آب شهر پریتوریا
	۲۰۰۰	بلژیک	آلوده شدن رودخانه موس با ۵۰۰۰ لیتر اسید سولفوریک
	۲۰۰۳	آمریکا	پیدا شدن وسایل آتش‌زا در سیستم پمپاژ شهر منهتن
	۲۰۰۳	کلمبیا	انفجار یک بمب در تصفیه‌خانه کالی
در حد تهدید روانی	۱۹۷۲	آمریکا	آلوده کردن آب شهر نیویورک با گاز اعصاب
	۱۹۸۵	آمریکا	آلوده کردن آب برخی شهرهای آمریکا با پتاسیم سیانید
	۱۹۹۳	ایران	آلوده کردن آب شهرهای غربی ایران
	۱۹۹۴	مولداوی	آلوده کردن آب ارتش چهاردهم روسیه در مولداوی با جیوه
	۲۰۰۲	ایتالیا	تهدید به آلوده کردن آب شهر رم به مواد شیمیایی سیانیدی

۲- عوامل شیمیایی تهدیدکننده منابع آبی

حملات شیمیایی بر روی سیستم‌های آبی به راحتی قابل درک و تجسم نیستند. برای اینکه این مواد به‌عنوان یک سلاح شیمیایی و ابزار تروریسم آبی قرار بگیرند باید مشخصات زیر را دارا باشند:

۱- به مقدار کافی تولید و منتشر شده باشند تا اثر ویژه خود را داشته باشند.

۲- عامل باید بادوام، قابل حل، پایدار و قابل انتقال در آب باشد.

۳- سمی باشد تا به‌طور مؤثر باعث ناتوانی یا مرگ و میر در یک جمعیت شود.

در جدول (۲) نمونه‌هایی از مواد شیمیایی نام برده شده است که به‌عنوان تهدید سیستم‌های آبی به‌شمار می‌روند[۱].

در جدول (۳) دوز مرگ‌آور برخی از مواد شیمیایی تهدید کننده منابع آبی آورده شده است[۲].

جدول ۲- نمونه‌ای از مواد شیمیایی تهدیدکننده آب

نوع مواد شیمیایی		نمونه	منابع قابل تهیه	محدودیت دسترسی در بازار؟
مواد شیمیایی معدنی	خورنده‌ها و سوزش‌آورها	اسید هیدروکلریک، اسید سولفوریک، هیدروکسید سدیم	خرده‌فروش‌ها، صنعت	خیر
	نمک‌های سیانید	سیانید سدیم، سیانید پتاسیم،آمیگدالین، سیانوژن کلراید، نمک‌های فری سیانید	صنعت، شرکت‌های فروشنده	بلی
	فلزات	جیوه، سرب، اسمیم، نمک‌های آنها، ترکیبات و کمپلکس‌های آلی (حتی نمک‌های آهن،کبالت، مس نیز در غلظت‌های بالا سمی هستند).	صنعت، شرکت‌های فروشنده، آزمایشگاه‌ها	بلی
	اکسی آنیونهای فلزی، ترکیبات آلی فلزی	آرسنات‌ها، آرسنیت‌ها، نمک‌های سلنیت، ارگانو آرسنیک، ترکیبات ارگانو سلنیوم	برخی خرده فروش ها، صنعت، شرکت‌های فروشنده، آزمایشگاه‌ها	بلی
مواد شیمیایی آلی	ترکیبات آلی فلوئوردار شده	سدیم تری فلوئورو استات(یک سم موش)، فلوئورو الکل‌ها، شوینده‌های فلوئوردار شده	صنعت، شرکت‌های فروشنده، آزمایشگاه‌ها	بلی
	هیدرو کربن‌ها و مشتقات اکسیژن‌دار و یا هالوژن‌دار شده آنها	رقیق کننده‌های رنگ، بنزین، نفت، کتون‌ها، الکل‌ها، اترها (مثل متیل ترسیو بوتیل اترMTBE)	خرده فروش‌ها، صنعت، شرکت‌های فروشنده، آزمایشگاه‌ها	خیر
	حشره‌کش‌ها	ارگانو فسفات‌ها (مثل مالاتیون)، مواد آلی کلردارشده (مثل DDT)، کاربامات‌ها (مثل آلدیکارب)، برخی آلکالوئیدها (مثل نیکوتین)	خرده‌فروش‌ها، صنعت، شرکت‌های فروشنده	بلی
	بدبوها/ مواد شیمیایی اشک‌آور	تیول‌ها (مثل مرکاپتواستیک اسید، مرکاپتواتانول)، آمین‌ها، استرهای غیر آلی	شرکت‌های فروشنده، آزمایشگاه‌ها، پلیس، انبارهای مهمات	بلی
	مواد آلی، قابل حل در آب	استون، متانول، اتیلن گلیکول (ضد یخ)، فنول‌ها و شوینده‌ها	خرده فروش‌ها، صنعت، شرکت‌های فروشنده، آزمایشگاه‌ها	خیر
	آفت‌کش‌ها به استثنای حشره‌کش‌ها	علف‌کش‌ها (مثل کلرو فنوکسی یا مشتقات آترازین)، جونده‌کش‌ها (مثل سوپر وارفارین، فسفیدروی، آلفا نفتیل تیو اوره)	خرده‌فروش‌ها، صنعت، کشاورزی، آزمایشگاه‌ها	بلی
	مواد دارویی	گلیکوزیدهای قلبی، تعدادی آلکالوییدها، داروهای شیمی درمانی، داروهای قاچاق مثل LSD، PCP و هروئین	شرکت‌های فروشنده، آزمایشگاه‌ها، داروخانه‌ها، برخی از منابع طبیعی	بلی
	عوامل شیمیایی	عوامل اعصاب ارگانو فسفات (مثل سارین، تابون، VX)، تاولزاها، خردل‌های ازتی و گوگردی (آلکیل آمین‌ها و تیواترهای کلردار شده)، لویزیت	شرکت‌های فروشنده، انبارهای مهمات نظامی، برخی آزمایشگاه‌ها	بلی

جدول ۳- دوز مرگ‌آور برخی مواد شیمیایی تهدیدکننده منابع آبی

نام ماده	دوز مرگ‌آور (LD_{50}:mg/kg)
آلدیکارب (آفت‌کش)	۰/۸
دی‌آزینون(آفت‌کش)	۳۰۰
مالاتیون(آفت‌کش)	۱۰۰۰
آترازین(آفت‌کش)	۱۷۸۰
آسپیرین	۱۷۰۰
نمک	۳۳۲۰
اتیلن گلیکول(ضد یخ)	۴۶۰
مرفین	۵۰-۵
آمفتامین	۵۰۰۰-۵۰۰
اتانول، صابون‌ها	۱۵۰۰۰-۵۰۰۰
تترودوتوکسین (سم)	۰/۰۱
ساکسی توکسین (سم حلزون)	۰/۸
کربوفوران (آفت‌کش)	۱۰
فسفامیدون (حشره‌کش)	۲۴
نیکوتین	۵۰
کافئین	۲۰۰
DDT (حشره‌کش)	۲۰۰
D-۲،۴ (علف‌کش)	۳۷۰
میرکس(حشره‌کش)	۷۴۰
گلی‌فسات (علف‌کش)	۴۳۰۰
اتانول	۱۳۷۰۰

با توجه به موارد ذکر شده بالا، سموم آفت‌کش، علف‌کش و حشره‌کش، یکی از عوامل محتمل برای آلودگی منابع آبی هستند که در جدول (۴) برخی خواص سمیت آن‌ها نشان داده شده است[۲].

جدول ۴- میزان سمیت حاد برای آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها

سمیت حاد	LD_{50}از طریق خوردن (mg/kg)	تخمین اندازه دوز مرگ‌آور برای یک فرد ۷۰ کیلوگرمی (ml)
بالا	کمتر از ۵۰	کمتر از ۰/۳ (یک یا دو قطره)
متوسط	۵۰۰-۵۰	۳ -۰/۳ (چند قطره تا نصف قاشق چایخوری)
پایین	بالای ۵۰۰	۳۰-۳ (نصف قاشق چایخوری تا دو قاشق سوپ خوری)

مواد شیمیایی توضیح داده شده در جدول (۲) همگی دارای دوز سمیت مرگ‌آور هستند، اما از بین همه این مواد، عوامل جنگی شیمیایی، سمیت حاد بالایی دارند و استانداردهای نظامی نیز در مورد سمیت آن‌ها وجود دارد.

برخی عوامل جنگی شیمیایی که برای آلودگی آب به کار برده شده‌اند عبارت‌اند از:

عوامل اعصاب ارگانو فسفر(GA, GB, GD,GF, VX)، عوامل خردل گوگردی (HD,THD,HT)، لویزیت (تاولزای آرسنیکی)، سیانید و ۳- کینوکلیدینیل بنزیلات (BZ) [۳].

برای این عوامل، استاندارد نظامی آب شرب وجود دارد که این استانداردها از سال ۱۹۶۰ تدوین شده‌اند. دفتر ارتش آمریکا به منظور حفظ جان پرسنل خود در برابر نوشیدن آب آلوده به عوامل شیمیایی، این استانداردها را مرتب به‌روزرسانی می‌کند.

در تمامی این استانداردهای نظامی ذکر شده، دو مورد مقدار مصرف آب و دوره مصرف آب آلوده به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

۱- ماکزیمم مقدار آب شربی که هر فرد نظامی بسته به شرایط نبرد، منطقه و شدت فعالیت مصرف می‌کند بین ۵ تا ۱۵ لیتر در روز است.
۲- زمان در معرض قرار گرفتن با عوامل شیمیایی بیشتر از ۷ روز نیست؛ لذا کمترین زمان استاندارد نوشیدن آب آلوده به عوامل شیمیایی برای مدت ۷ روز محاسبه می‌شود. البته این مقدار ۷ روز برای کاربری در مورد جمعیت غیر نظامی به کار نمی‌رود.

جدول (۵) مقدار مجاز مصرف همراه با آب برای برخی عوامل شیمیایی جنگی را طی مصرف ۷ روز نشان می‌دهد[۴].

جدول ۵- مقادیر استاندارد TSS[1] برای عوامل شیمیایی آلوده کننده آب نوشیدنی

نوع و نام عامل		حد مجاز مصرف آب برای یک فرد ۷۰ کیلوگرمی مطابق استاندارد TSS (mg/L)			دوز تشخیص (mg/L)	مقدار مجاز دوز خوراکی روزانه برای انسان (mg/kg/day)	سمیت تخمینی حاد خوراکی برای انسان (LD_{50}: mg/kg)	متوسط سمیت تخمینی حاد خوراکی برای انسان (٪)
		۲ (L/day)	۵ (L/day)	۱۵ (L/day)				
عوامل اعصاب	GA (تابون)	۰/۳۵۰	۰/۱۴۰	۰/۰۴۶	۰/۰۴۶	۰/۰۱	۰/۳۵۷-۰/۷۱۴	۲/۱
	GB (سارین)	۰/۰۷۰	۰/۰۲۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۷۱-۰/۲۸۶	۱/۸
	GD (سومان)	۰/۰۳۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۷۱-۰/۲۸۶	۰/۸
	GF (سیکلوسارین)	۰/۰۳۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۹	۰/۱۴	۰/۶
	VX	۰/۰۳۷	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۴۳-۰/۱۴۳	۱/۵
عامل خون	HCN (هیدروژن سیانید)	۱۵	۶	۲	۲	۰/۴۳	۰/۷۱-۱/۴۳	۴۵
عوامل تاولزا	HD (خردل گوگردی)	۰/۳۵	۰/۱۴	۰/۰۴۷	۰/۰۴۷	۰/۰۱	۱۰۰	۰/۰۱
	HL(HD/L)	۰/۲۰	۰/۰۸	۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	۰/۰۰۶	۳۰	۰/۰۲
	HN_3 (خردل ازتی)	۰/۳۵	۰/۱۴	۰/۰۴۷	۰/۰۴۷	۰/۰۱	۱۰	۰/۱
	(60%HD/40%T)HT	۰/۳۵	۰/۱۴	۰/۰۴۷	۰/۰۴۷	۰/۰۱	۱۰۰	۰/۰۱
	L (لویزیت)	۰/۲۰	۰/۰۸	۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	۰/۰۰۶	۳۰	۰/۰۲
عامل ناتوان کننده	BZ (کینوکلیدینیل بنزیلات)	۰/۰۱۷۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۰۵	۱۰۰	۰/۰۰۰۵

توضیح: لازم به ذکر است که در مورد پتاسیم سیانید از عوامل خون و LSD از عوامل ناتوان کننده، استانداردی موجود نبود تا در گزارش همراه سایر عوامل ذکر شده آورده شود.

1- Tri-Service Standards

۳- بررسی پارامترهای موثر در انتخاب عوامل آلوده کننده آب شهری

باید توجه داشت عدم پایداری، حلالیت کم، فراریت زیاد عوامل شیمیایی از آب و عدم مقاومت آن‌ها در برابر کلر باعث کاهش تأثیرات زیان‌آور آن‌ها در آب می‌شود که در این بخش به بررسی این پارامترها بر روی عوامل جنگی شیمیایی می‌پردازیم [۵،۳].

۳-۱- پایداری در آب

از بین عوامل ارگانو فسفر اعصاب، عامل VX بیشترین پایداری را در آب دارد به‌طوری‌که برای هیدرولیز ۵۰ درصد از این ماده در آب با دمای ۲۰ درجه سانتیگراد و در pH خنثی به چند صد ساعت زمان نیاز است. بعد از VX، عامل GD ساختار پایدارتری در آب دارد و بعد از آن نیز GB و GA می‌باشند، به‌طوری‌که نیمه عمر یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا ۵۰ درصد از یک ترکیب تخریب (هیدرولیز یا اکسید) شود. برای ساختار GA در آب با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد در pH: ۸-۹ تنها ۳-۲ ساعت است. لازم به ذکر است که محصولات ناشی از هیدرولیز عوامل شیمیایی نیز در آب قابل حل بوده و به صورت عادی قابل تصفیه نمی‌باشند ولی تأثیر و سمیت آن‌ها در حد خود عوامل نیست و در این حالت آب آلوده (آب حاوی محصولات هیدرولیز سموم شیمیایی) همانند آب‌های آلوده به پساب‌های صنعتی و یا آلوده به کودهای شیمیایی بوده و دیگر قابل شرب نیست.

۳-۲- حلالیت در آب

بهترین حلالیت از میان عوامل ارگانو فسفر اعصاب مربوط به عامل GB می‌باشد. این ترکیب به‌طور کامل در آب حل می‌شود. در حالی که حلالیت GA ، VX و GD در آب با دمای ۲۰ درجه سانتیگراد به ترتیب g/L ۷۲، g/L ۳۰ و g/L ۲۱ می‌باشد. اما به هر حال این غلظت‌ها خیلی بیشتر از غلظت‌های شناخته شده لازم برای اثر سمیت این عوامل بر روی بدن هستند.

۳-۳- فراریت از آب

فراریت عوامل GB و GD از آب تقریبا با هم یکی است (mg/L ۱۰ در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد) در حالی که فراریت عامل GA از آب ضعیف تر است (mg/L ۰/۶) و عامل VX عملا از محلول‌های آبی تبخیر نمی‌شود (mg/L ۰/۰۱ در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد).

در مورد عوامل تاولزا نیز می‌توان ۳ فاکتور ذکر شده بالا را به‌صورت زیر بررسی کرد:

عوامل تاولزای خردل‌گوگردی(HD) و خردل‌های‌ازتی(HN-1 , HN-3) و لویزیت حلالیت یکسان و ضعیفی در آب دارند (کمتر از یک گرم در لیتر). اما به هر حال این غلظت کم نیز خیلی بیشتر از غلظت لازم برای اثر سمیت آن‌ها بر روی بدن است. هیدرولیز HD و HN-1 و HN-3 در آب خیلی آهسته است(پایداری). تنها HN-2 و لویزیت خیلی سریع هیدرولیز می‌شوند. خردل‌ها و لویزیت به‌طور خالص بدون بو می‌باشند و تهیه آن‌ها بسیار ارزان است. اثر خردلها در تماس با پوست یا از طریق خوردن معمولا یک زمان تاخیر چند ساعتی دارند. تنها برای عامل لویزیت یک پادزهر به نام BAL وجود دارد. بنا به دلایل ذکر شده، از بین خردل‌ها، نوع سمی‌تر آن‌ها یعنی HD پتانسیل خیلی بالایی را برای آلودگی آب دارند[۵].

همچنین در مورد سیانیدها (عوامل خون)، با توجه به فشار بخار زیاد، فراریت زیاد از آب و هیدرولیز سریع آنها، این عوامل درآب ناپایدار بوده و عملاً غیر قابل استفاده می‌باشند. اما نمک جامد سیانید آنها، مانند سیانید پتاسیم و دیگر نمک‌های سیانید در دسترس، قابلیت آلودگی آب را دارند که در بخش نتیجه‌گیری به یک مورد از این نمک‌ها (سیانید پتاسیم) اشاره شده است.

۳-۴- مقاومت به کلر

از کلر برای میکروب‌کشی آب آشامیدنی استفاده می‌شود و مقاومت به کلر فاکتوری است که بیشتر در مورد عوامل بیولوژیک مطرح می‌باشد. اما از آنجایی که کلر در آب ترکیب اکسیدکننده‌ای را به نام هیپوکلریت ایجاد می‌کند (این عامل به‌عنوان یکی از عوامل رفع آلودگی عوامل جنگی شیمیایی به کار می‌رود) فاکتور مقاومت به کلر در بخش شیمیایی نیز قابل بحث است. لذا اکثر عوامل ذکر شده، بسته به ساختار و شرایط محیطی و مقدار دوز کلر به کار رفته در آب (به‌عنوان عامل اکسید کننده)، طی چند دقیقه تا چند ساعت در برابر کلر تخریب شده و اثر سمیت شدید خود را از دست می‌دهند. به‌طور کلی، هرچه قدرت اکسیدکنندگی یک ماده شیمیایی بیشتر باشد، سرعت واکنش آن با عامل سریع‌تر است. سرعت هیدرولیز به متغیرهای زیادی از جمله: ساختمان شیمیایی ماده رفع آلودگی و عامل و شرایطی مانند pH، دما، نوع حلال و کاتالیزور وابسته است. سرعت هیدرولیز در pH بالاتر از هشت، به سرعت افزایش می‌یابد. به‌طور معمول، سرعت واکنش با افزایش هر واحد pH حدود ده برابر افزایش می‌یابد. دما نیز سرعت واکنش را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تخمین زده شده است که برای هر ده درجه سانتیگراد افزایش دما، سرعت واکنش حدود چهار برابر افزایش پیدا می‌کند. نوع حلال نیز می‌تواند سرعت هیدرولیز را تحت تأثیر قرار دهد. عوامل شیمیایی مانند عوامل تاولزا، خون، خفه‌کننده، ناتوان‌کننده و عوامل سری V دارای یک پیوند شیمیایی اشباع نشده و یا یک بخش سولفوردار می‌باشند که به راحتی در معرض اکسیداسیون قرار می‌گیرد. عوامل شیمیایی دیگر مانند عوامل سری V و سریG دارای فسفر و گروه‌های دیگر شیمیایی هستند که قادرند هیدرولیز شوند. به همین

جهت، بیشتر فرایندهای رفع آلودگی از طریق اکسید کردن و یا هیدرولیز عوامل شیمیایی طراحی شده اند. به‌عنوان مثال، عوامل تاولزا و اعصاب در برابر غلظت ۵ درصد از هیپوکلریت طی ۵ دقیقه تخریب می‌شوند ولی این غلظت از کلر در آب خیلی زیاد است و غلظت طبیعی کلر(۰/۲-۱ میلی گرم بر لیتر) به این حد نمی‌رسد که بتواند اثر عوامل را خنثی کند. این فاکتورها به‌طور خلاصه در جدول (۶) گزارش شده است که نشان می‌دهد در دما و pH طبیعی آب، عامل VX بیشترین پایداری و عامل ناتوان‌کننده BZ بیشترین مقاومت در برابر کلر رادارد.

با توجه به توضیحات داده شده، در دما و شرایط pH طبیعی آب و غلظت معمول کلر در آب آشامیدنی (که غلظتی پایین‌تر از حد اکسید کنندگی دارد)، به نظر می‌رسد کلر در کوتاه‌مدت تأثیر چندانی نمی‌تواند روی ساختار عوامل شیمیایی بگذارد. لذا مهم‌ترین فاکتور، پایداری عامل غیر فرار و قابل حل در آب می‌باشد.

از آنجایی که دوز مرگ‌آور عوامل شیمیایی در حد میلی گرم بر لیتر می‌باشد (با توجه به توضیحات جدول (۵)) لذا برای آلوده کردن شبکه تامین آب مثل سدها یا رودخانه‌ها مقدار خیلی زیادی از این عوامل مورد نیاز می‌باشد که جدول (۷) مقدار موثر از عوامل جنگی شیمیایی، برای آلودگی ۱ میلیون متر مکعب از آب شهری را نشان می‌دهد. البته مواد شیمیایی آلوده کننده آب که در بازار نیز در دسترس باشند وجود دارند که در جدول شماره (۳) توضیح داده شده‌اند ولی سمیت حاد آن‌ها نسبت به عوامل جنگی خیلی پایین‌تر است، لذا مقادیر مورد نیاز آن‌ها برای آلودگی آب در حد چند صد کیلوگرم یا چند تن می‌باشد.

جدول ۶- بررسی خواص ویژه فیزیکی عوامل جنگی شیمیایی در آب[۴]

نوع و نام عامل		حلالیت در آب (g/100g)	نیمه عمر(دقیقه=min ,ساعت=h)	مقاومت در برابر کلر؟
عوامل اعصاب	تابون(GA)	۷/۲ در ۲۰°C، ۹/۸ در ۱۰۰°C	۸/۵h در ۲۰°C، pH =۷	خیر
	سارین(GB)	کاملاً محلول	۲۷min در ۲۰°C، pH =۱ ۳/۵h در ۲۰°C، pH =۲ ۸۰h در ۲۰°C، pH =۷ ۵/۴min در ۲۰°C، pH =۱۰ ۰/۶min در ۲۰°C، pH =۱۱	خیر
	سومان(GD)	۲/۱ در ۲۰°C	۳h در ۲۵°C، PH =۲ ۴۵h در ۲۵°C، PH =۶/۶۵ ۶۰h در ۲۵°C، PH =۱۰	خیر
	سیکلوسارین(GF)	۳/۷ در ۲۰°C	۴۲h در ۲۵°C	خیر
	VX	۵ در ۲۱/۵°C	۱/۸min در ۲۲°C در NaOH ۱/۲۵مولار ۱۰/۸min در ۲۲°C در NaOH ۰/۲۵مولار ۳۱min در ۲۲°C در NaOH ۰/۱مولار ۳/۳h در ۲۲°C در NaOH ۰/۰۱مولار ۲۰/۸h در ۲۲°C در NaOH ۰/۰۰۱مولار ۶۰h در ۲۲°C در آب خالص	خیر (نیمه عمر برای تخریب با هیپوکلریت ۱/۵ دقیقه در pH=10)
عامل خون	هیدروژن سیانید (HCN)	کاملاً محلول	خیلی فرار (نیمه عمر گزارش نشده است)	خیر
عوامل تاولزا	خردل گوگردی (HD)	به‌طور جزیی، ۰/۹۲ در ۲۲°C	۵min در ۲۵°C می تواند در آب دریا تا ۵ سال پایدار باشد.	خیر
	خردل/لویزیت (HL)	به مقدار کم	چند دقیقه	خیر
	خردل ازتی (HN_3)	۴ g/L در ۲۵°C	۱/۳min در ۲۵°C	خیر
	HT(HD/T)	به مقدار کم	چند دقیقه	خیر
	لویزیت(L)	به آرامی	طی چند دقیقه در آب به شکل جامد هیدرولیز شده	خیر
عامل ناتوان کننده	BZ	به مقدار کم، ۱/۱۸ g/L	۶/۷h در ۲۵°C، pH =۹/۸ ۱/۸min در ۲۵°C، pH =۱۳ ۳-۴ هفته در ۲۵°C، هوای مرطوب pH =۷ ۱۲min در ۳۴°C، pH =۱۲ ۱/۴h در ۵۰°C، pH =۸/۵ ۹/۵h در ۱۰۰°C، pH =۰	بلی

جدول ۷- تخمین مقدار عوامل مورد نیاز برای آلودگی کشندهٔ یک مخزن ۱ میلیون متر مکعبی

نوع عامل	دوز مرگ‌آور (mg/L)	مقدار عامل برای آلودگی ۱ میلیون متر مکعب آب (Kg)
تابون (GA)	۰/۳۵۷-۰/۷۱۴	۳۵۷-۷۱۴
سارین(GB)	۰/۰۷۱-۰/۲۸۶	۷۱-۲۸۶
سومان(GD)	۰/۰۷۱-۰/۲۸۶	۷۱-۲۸۶
سیکلوسارین(GF)	۰/۱۴	۱۴۰
عامل اعصاب VX	۰/۰۴۳-۰/۱۴۳	۴۳-۱۴۳
عامل تاولزای HD	۱۰۰	۱۰۰۰۰۰
سیانید پتاسیم	۲۰۰	۲۰۰۰۰۰

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس بررسی ۴ فاکتور موثر در انتخاب عوامل آلوده‌کننده آب و با توجه به پتانسیل سمیت حاد و عدم امکانات تکنیکی برای حفاظت یا تصفیه کردن آب نوشیدنی آلوده، VX از عوامل اعصاب و خردل گوگردی(HD) از عوامل تاولزا، بیشترین خطر سمیت آب آشامیدنی شهری را در بین عوامل شمیایی جنگی دارا می‌باشند[۵].

با توجه به توضیحات داده شده و بنا بر دلایل ذیل:

۱- نیاز به مقادیر زیاد از عوامل شیمیایی برای آلودگی مسیرهای تهیه یا مخازن حجیم آب

۲- پایداری نسبتاً کم عوامل در آب

۳- عدم مقاومت زیاد در برابر کلر

احتمال بکارگیری عوامل شیمیایی سمی برای آلوده کردن آب شهری، بیشتر در مسیرهای انتهایی توزیع آب مثل ایستگاه‌های پمپاژ آب، خطوط اصلی و فرعی توزیع و یا مخازن ذخیره با حجم کم، وجود دارد. زیرا در این موارد عامل قبل از هیدرولیز یا تخریب، سریعاً مصرف می‌شود.

مراجع

1. Peter H. Gleick, "Water and terrorism", Water policy, No:8, pp:481- 503, (**2006**).
2. .http://www.scienceclarified.com/PH-Py/Poisons-and-Toxins.html
3. Book Series: The national academy of science. "Guideline for chemical warfare agents in military field drinking water", (**1995**).
4. James A. Romano, Jr. Brian J. Lukey, Harry Salem, Chemical Warfare Agents Chemistry, Pharmacology, Toxicology, and Therapeutics, Chapter 3: Chemical Warfare Agent Threat to Drinking Water, by: Harry Salem, Christopher E. Whalley, Charles H. Wick, Thomas P. Gargan II, and W. Dickinson Burrows, Taylor & Francis Group, pp: 51-70, (**2008**).
5. Book Series: .NATO Security through Science Series "Management of Intentional and Accidental Water Pollution", Chapter: ACUTE AND CHRONIC TOXICITY OF CHEMICAL WARFARE AGENTS AND WARFARE TOXINS IN DRINKING WATER p: 23-41, Springer Netherlands, (**2006**).

Threat of Water Resources By Chemical Agents

M. Ashrafi[1]

Abstract

One of the most important problems threatening modern humans is the usage of chemical, biological and nuclear agents by terrorist groups. Easy availability and low cost of chemical agents compared to biological and nuclear agents make them favorably applicable to terrorists. In this paper, threatening of water resources by chemical warfare agents have been investigated and based on parameters such as stability and solubility in water, volatility from water and chlorine resistance, two agents, VX (nerve agent) and sulfur mustard (HD) have been presented as major threatening agents for water resources.

Key Words: *Threat of Water Resources, Chemical Warfare Agents, Stability in Water, Solubility in Water, Volatility from Water, Chlorine Resistance*

1- MS in Organic Chemistry, Martyer Beheshti University (Email: mhdashrafi@yahoo.com)