مکانیسم حذف آلاینده‌های شیمیایی ناپایدار توسط مواد نانو کامپوزیت موجود بر کربن فعال فیلتر تنفسی

محمدرضا خوشرو[1]، حسن حسینی منفرد[2]

۱- دانشجوی دکتری، دپارتمان شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. (نویسنده مسئول). ۲- استاد، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله

تاریخچه مقاله
دریافت : ۱۳۹۴/۶/۱۶
پذیرش : ۱۳۹۴/۹/۲۶

کلید واژگان
رفع آلودگی، شبه عامل، فتوکاتالیز نانو کامپوزیت، عوامل شیمیایی سمی

نویسنده مسئول
Email:
m.khoshroo@znu.ac.ir

چکیده

مقدمه: تهدید عوامل شیمیایی و میکروبی هم در بعد نظامی و هم غیرنظامی اجتناب‌ناپذیر است. روش های حفاظت تنفسی وقتی افراد نظامی و غیرنظامی در معرض چنین عواملی قرار می گیرند خیلی مهم است.

روش کار: در این تحقیق واکنش‌های سم‌زدایی عوامل شیمیایی سمی بر روی دو نوع کربن فعال نظامی به نام ASC-pyridin حاوی Cu (II), Cr(VI), Ag (I) و pyridine و ASZMT-TEDA- شامل Cu (II), Ag (I), Zn (II), Mo (VI) و TEDA مطالعه شده است.

یافته ها: عوامل شیمیایی ناپایدار مانند سیانوژن کلرید، هیدروژن سیانید، سیانوژن بromید، آرسین، کلر، فسژن و دی فسژن (به علت داشتن فشار بخار بالا و جذب سطحی پایین فیزیکی روی کربن فعال فیلتر تنفسی) تهدید بالقوه به‌حساب می آیند. اضافه شدن نمک‌های عناصر واسطه و آمین ها به کربن فعال، خنثی‌سازی عوامل ناپایدار سمی را بهبود می‌دهد.

نتیجه‌گیری: دو نوع کربن فعال نظامی برای خنثی‌سازی عوامل شیمیایی سمی ناپایدار وجود دارد. کربنASC-pyridinبه علت حضور Cr(VI) ویژگی سرطان‌زایی دارد؛ بنابراین استفاده آن محدود و کربن نظامی ASZMT-TEDAبه‌طور وسیع در پالایه‌های تنفسی استفاده می شود. در این نوع کربن Zn (II), Mo (VI) بجای Cr(VI) جایگزین شده است که بدون کاهش بازدهی مشکلات ذکر شده را نیز مرتفع نموده است.

مقدمه

سمیت‌زدایی عوامل شیمیایی از اماکن، محیط و کارکنان در مهروموم‌های اخیر بسیار موردتوجه قرارگرفته است. به علاوه افزایش حملات تروریستی، رهاسازی مخازن شیمیایی و احتمالات مشابه اهمیت موضوع را افزون نموده است (۱). مواد سمی با فشار بخار پایین به‌صورت جذب فیزیکی توسط میکرو حفره‌های کربن فعال جداسازی می‌شوند و عوامل سمی با فشار بخار بالا توسط آغشته های موجود روی سطح کربن فعال به‌صورت شیمیایی تخریب می شوند. مواد شیمیایی با فشار بخار زیر ۱۰ میلی‌متر جیوه توسط حفره‌ها کربن فعال باراندمان بالا به‌صورت فیزیکی جذب می‌شوند. برای حذف مواد با فشار بخار بالا، حضور کاتالیزور روی کربن فعال لازم و ضروری می باشد. هرچه سرعت جریان هوای عبوری از بستر کربن فعال بیشتر و غلظت بخار عامل بالاتر باشد زمان عبور عامل کمتر می گردد. جداسازی یک گاز سمی از جریان هوا توسط بستر کربن فعال گرانولی آغشته شده، هم توسط جذب فیزیکی و هم حذف شیمیایی طی هفت مرحله پیاپی انجام می شود. این مراحل از زمانی که جریان هوا به اولین لایه بستر کربنی برخورد می کند عبارت اند (۲): جابجایی جرمی، نفوذ سطحی، نفوذ داخل گرانولی، جذب فیزیکی، واجذبش گازی، واکنش شیمیایی، نوسازی سطحی.

چهار مرحله اول با جذب فیزیکی گازها با کربن فعال مرتبط است و جذب فیزیکی برجذب شیمیایی مقدم است. مراحل ۵ تا ۷ با جذب شیمیایی کربن فعال آغشته شده در ارتباط می باشد. در بعضی تقسیم بندی ها مرحله ۱، ۲ و ۳ باهم ادغام که به آن مرحله نفوذ داخلی می گویند. جذب کلی توسط یکی از مراحل و یا ترکیبی از آن‌ها انجام خواهد شد و مرحله آهسته کنترل‌کننده سرعت جذب می باشد. تحت شرایط دینامیکی زمان‌ماند گاز روی بستر کربن در کسری از ثانیه است و به همین منظور در مراحل اولیه جداسازی جذب به‌صورت فیزیکی روی کربن فعال انجام می شود که این می تواند غلظت کمی را جذب کند. برای افزایش جذب از فلزات و نمک های فلزی بر روی بستر کربن فعال استفاده می شود تا با جذب شیمیایی با گاز جذب‌شده عمل جذب را افزایش دهد.

عوامل شیمیایی و بیولوژیک به‌عنوان یک خطر اجتناب‌ناپذیر برای نظامیان و هم غیرنظامیان مطرح است. تهیه هوای تمیز

[Downloaded from npwjm.ajaums.ac.ir on 2026-11-03]

هنگام قرار گرفتن افراد در معرض آلوده‌کننده‌های شیمیایی و میکربی مرگبار می تواند با سطوح مختلف حفاظتی انجام شود. هوا منبع منحصربه‌فرد اکسیژن می باشد که برای سیستم تنفسی بشر موردنیاز هست. آلودگی های سمی هم به صورت عمدی و هم به‌صورت تصادفی ممکن است ایجاد گردد. بسته به میزان انتشار ممکن است زندگی را مختل کند. از جنگ جهانی اول مواد شیمیایی و میکربی با ویژگی سمی به‌عنوان عوامل جنگی شناخته می شوند (۳).

عوامل شیمیایی سمی به دو کلاس پایدار و ناپایدار تقسیم می‌شوند. در کلاس ناپایدار عوامل خون و عوامل خفه‌کننده که دارای نقطه‌جوش پایین و فشار بخار بالا هستند قرار می گیرند و عوامل اعصاب، تاول‌زا و آرسنیک‌ها که نقطه جوش بالا و فراریت پایین دارند در کلاس پایدار قرار می گیرند. تنها راه سلامت ماندن در محیط آلوده عوامل شیمیایی و میکربی جنگی حفاظت مناسب از سیستم تنفسی و بدن می باشد (۴). موضوع حفاظت گسترده است و در یک نگاه به دو طبقه حفاظت تکنیکی و حفاظت تاکتیکی تقسیم می شود. حفاظت تکنیکی به منظرهای مختلف مواد، تجهیزات و شیوه‌های به کارگیری آن‌ها برای حفاظت انفرادی و یا گروهی توجه دارد، درصورتی‌که حفاظت تاکتیکی به حرکت و عملیات نظامی وابسته است که بتواند به سربازان کمک کند تا کمترین آسیب را متحمل گردند.

به‌هرحال میزان حفاظت به‌طور عمده به ویژگی های عوامل شیمیایی و مدت در معرض بودن بستگی دارد. تنفس اولین نیاز هر فرد است و درنتیجه حفاظت تنفسی بسیار مهم می باشد. ماسک و فیلتر مناسب حفاظت از چشم، صورت و هوای پاک قابل‌تنفس را مهیا می سازد. بستر کربنی فیلتر هیبریدی گاز و آئروسل حاوی کربن فعال دارای نمک های معدنی و ذرات کاتالیزوری و فیلتر مکانیکی، سد کننده ذرات ریز است که می توانند هوای پاک مورداستفاده دستگاه تنفسی را برای مدت‌زمان محدود تأمین کند (۵). تأمین هوای پاک توسط جاذب ها با سطح ویژه بالا و غشاهای مکانیکی مانند نمد و هپا انجام می شود. تصفیه هوا با فرایند فیزیک و شیمیایی، شامل جذب فیزیکی و شیمیایی، جداسازی، آئروسل های آلوده و ذرات به‌صورت یکپارچه انجام می شود (۶-۷). هرچند کربن فعال داری سطح جذب بالا است اما در مقابل عوامل شیمیایی ناپایدار مانند $HCN, ClCN, Cl_2CO, Cl_2$ ضعف دارد. علاوه بر این انهدام آن‌ها بعد از استفاده مشکلات زیادی به وجود می آورد (۸-۹).

عامل دیگری که در مدت‌زمان کارایی کربن آغشته شده مؤثر است نوع روش های به‌کارگیری برای آغشته کردن کربن فعال می باشد. اگر نمک های معدنی و کاتالیزورها به‌طور یکنواخت روی سطح قرار نگیرند این توزیع ناهمگن موجب مهار حفرهای کربن شده و سطح ویژه آن را کاهش می دهد. در سال ۱۹۲۸ میلادی آقای وتزل (۱۰) روش پایدار و سخت را برای بارور کردن کربن فعال بنام کربن Whetlerite تهیه کرد. با افزایش نمک مس به کربن فعال اثبات کرد که عوامل ناپایدار $HCN, ClCN, Cl2CO$ و AsH_3 را به نحو چشم‌گیری کاهش می دهد. با کاهش سیانوژن کلرید مقدار دی‌اکسید کربن روی سطح کربن فعال افزایش می یافت (۱۱).

تاکنون کربن فعال با افزودنی های زیادی مانند مس، روی، نقره، کبالت، کروم، منگنز، وانادیم، مولیبدن و از این قبیل عناصر، شامل گروه ۶-۱۲ واسطه تهیه‌شده است. با اصلاحات انجام‌شده مشخص گردید که کربن فعال به نام ASC-pyridin بانمک‌های Cu (II), Cr(VI), Ag (I)و pyridine و به نام ASZMT-TEDA با Cu (II), Ag (I), Zn (II), Mo (VI) و TEDAمی‌تواند خنثی‌سازی عوامل شیمیایی سمی ناپایدار را بهبود دهد.

روش کار

کربن فعال به نام ASC-pyridin حاوی: Cu (II), Cr(VI), pyridin،Ag (I) و به نام ASZMT-TEDA شامل: Cu (II), Ag (I), Zn (II), Mo (VI) و TEDA از شرکت‌های تجاری. عوامل خون مانند $BrCN,HCN\ HCN$و AsH_3 و عوامل خفه‌کننده شامل Cl_2COو $Cl_3COClCO$از مراکز مورد تائید سازمان‌های ذی ربط بین‌المللی.

در این تحقیق واکنش‌های سم‌زدایی عوامل شیمیایی سمی بر روی دو نوع کربن فعال نظامی به نام ASC-pyridin حاوی Cu (II), Cr(VI), Ag (I)و pyridine و ASZMT-TEDA شامل Cu (II), Ag (I), Zn (II), Mo (VI) و TEDA بررسی می شود

یافته‌ها

- عوامل شیمیایی، آغشته های کربنی و میزان حفاظت موردنیاز

عوامل شیمیایی کشنده و ناتوان‌کننده دو گروه از عوامل شیمیایی جنگی می باشند که عوامل کشنده خود به دودسته پایدار و ناپایدار تقسیم می شوند. دسته پایدار شامل عوامل اعصاب و تاول‌زا و دسته ناپایدار شامل عوامل خون و خفه کننده ها می باشد. عوامل پایدار با جذب فیزیکی جداسازی می شوند اما افزودنی های وجود دارد که آن‌ها را به‌صورت شیمیایی سم‌زدایی می کنند (۱۲،۱۳). عوامل ناپایدار به علت ساختار و خواص فیزیکی و شیمیایی با استفاده از روش حذف شیمیایی از هوای آلوده جداسازی می شوند. عوامل خون مانند $BrCN,ClCN, HCN$ و AsH_3 و عوامل خفه‌کننده شامل،Cl_2CO و Cl_2 و $Cl_3COClCO$ هستند که جداسازی آن‌ها با یک چالش عمده

[Downloaded from npwjm.ajaums.ac.ir on 2026-11-03]

روبرو است.

در کربن ASC به علت داشتن Cr(VI) دارای خواص سرطان‌زایی است (۱۴) و از طرفی ناپایدار بوده و عدد اکسایش آن در مجاورت اکسیژن و رطوبت به‌مرور به کروم Cr(III) کاهش می یابد. در حال حاضر به‌کارگیری آن محدود و کربن ASZMT که در آن بجای Cr(VI) دو ماده Zn (II) و Mo (VI) جایگزین شده استفاده می شود. کربن ASZM-TEDA ضمن حفظ کارایی، طول عمر کربن فیلتر نظامی را نیز افزایش می دهد.

بستر کربنی حاوی ASZM-TEDA که می تواند حفاظت خوبی در برابر بخار عوامل شیمیایی جنگی به وجود آورد با درصدهای مندرج در جدول ۱ به کربن فعال با سطح ویژه ۱۲۰۰ g/m^3 طی دو مرحله اضافه می شود. اضافه شدن آغشته ها باید به‌صورت یکنواخت و به مقدار استاندارد با روش های مناسب آغشته سازی باشد تا سطح ویژه کربن را بیش ازاندازه استاندارد کاهش ندهد.

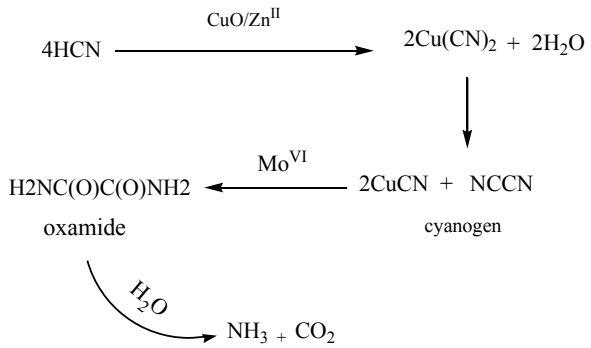
جدول ۱: مقدار درصد آغشته های لازم روی کربن فعال

نام آغشته کننده	مقدار موردنیاز (٪)
Cu^{II} ($CuCO_3$)	۵
Ag (elemental form)	۰/۰۵
Zn^{II} ($ZnCO_3$)	۵
Mo^{VI}(ammonium dimolybdate)	۲
Triethylenediamine	۳

بستر کربنی فیلترهای ش.م.ه حاویASCیا ASZM-TEDA حفاظت خوبی در برابر بخار عوامل شیمیایی جنگی به وجود می آورند. حداقل سطح حفاظتی (C.t) که توسط بستر کربن فعال با فیلترهای ش.م.ه. مطابق استاندارد حاصل می شود برحسب حاصل ضرب غلظت (mg/m^3) در زمان تماس(min برای نماینده عوامل شیمیایی جنگی اعصاب (GB)، تاول‌زا (HD)، خون (CK)، خفه کننده (CG) در جدول ۲ آمده است (۱۵).

- واکنش های سم زدایی عوامل شیمیایی خون‌روی کربن فعال سیانید هیدروژن (HCN)

سیانید هیدروژن بانمک‌های موجود بر روی کربن فعال ASZM-TEDA با نسبت های استوکیومتری واکنش می دهد و مولکول های سمی را به مولکول های غیر سمی و قابل‌جذب تبدیل می کنند (۱۶،۱۷). Cu^{II} حاضر روی کربن فعال نقش کلیدی را در حذف HCN از هوای آلوده دارد (شکل ۱).



شکل ۱: واکنش خنثی‌سازی هیدروژن سیانید روی سطح کربن فعال آغشته شده

اکسید مس (II) با نسبت مولی ۱:۲ با HCN واکنش می دهد و $Cu(CN)_2$ تشکیل می شود. Cu^{II} ناپایدار به Cu^{I} کاهش می یابد و مولکول‌های سیانوژن (CNNC) و CuCNحاصل می شود که در مجاورت با Mo^{VI} ترکیب اکسامید($H_2NC(O)C(O)NH_2$) تشکیل که در حضور رطوبت به دی‌اکسید کربن و آمونیاک تبدیل می گردد.

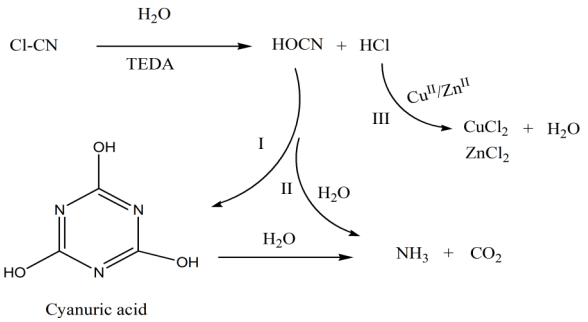
سیانوژن کلرید و سیانوژن برومید (BrCN/ClCN)

سیانوژن کلرید و سیانوژن برومید (ClCN/ BrCN) ابتدا به علت وجود TEDA که یون OH^- ایجاد می کند با آغشته های موجود روی کربن فعال ASZM-TEDA واکنش می دهد و HOCN، HBrو HClحاصل می شود (شکل‌های۲ و ۳).

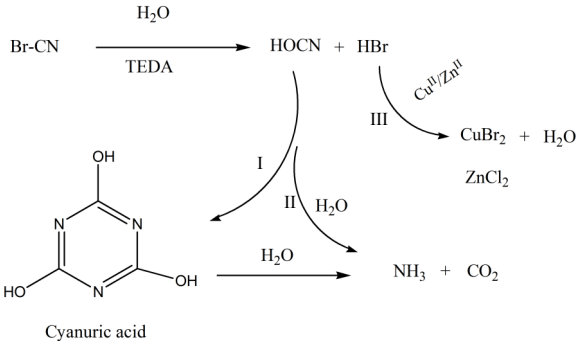
جدول ۲: حداقل سطح حفاظتی که توسط بستر کربن فعال باید حاصل شود

کلاس عامل	نوع عامل	نام عامل	کارایی فیلتر (C.t) (mg/m^3-min)
اعصاب	GB	Isopropyl methylphosphonoflouridate	*۳۰۰،۰۰۰
تاول‌زا	HD	Bis-(2-chloro ethyl) sulfide	۳۰۰،۰۰۰
خون	CK	Cyanogen chloride	۸۰،۰۰۰
خفه‌کننده	CG	Phosgen	۱۲۰،۰۰۰
(۱۰۰ =۳۰۰،۰۰۰*mg /m^3 ×3000 min)			

[Downloaded from npwjm.ajaums.ac.ir on 2026-11-03]

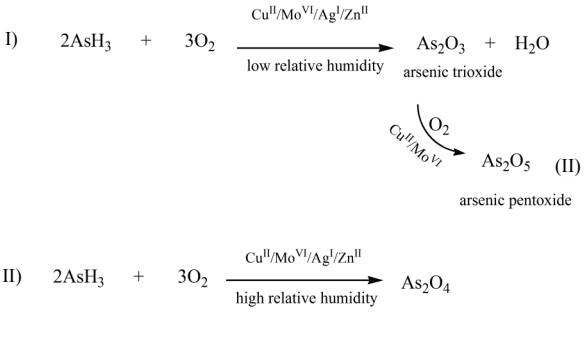


شکل ۲: مراحل واکنش ClCN با تری اتیلن دی آمین، روی (۲+) و مس (۲+) روی سطح کربن فعال آغشته



شکل ۳: با تری اتیلن دی آمین، BrCN مراحل واکنش روی (۲+) و مس (۲+) روی سطح کربن فعال آغشته

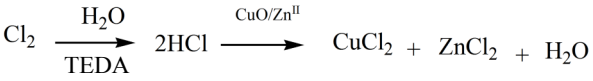
HOCN در حضور رطوبت زغال به سیانوریک اسید و سپس به آمونیاک و دی اکسید کربن تجزیه می شود مسیر I. درصورتی‌که رطوبت در حد کافی باشد مستقیماً به آمونیاک و دی اکسید کربن تبدیل می گردد (مسیر II). هیدروژن کلرید و هیدروژن برومید در حضور یون های مس و روی تولید نـمک های مربوطه ($ZnCl_2/CuCl_2$/ $ZnBr_2/CuBr_2$) را می کنند (مسیر III)(۱۸).آرسین (AsH_3) عامل شیمیایی آرسین (AsH_3) هم در مجاورت Cu^{II}، Ag^{I}، Mo^{VI}، Zn^{II} با یک فرایند کاتالیزوری در مجاورت رطوبت کم تولید محصولات آرسنیک تری اکسید As_2O_3 واکنش I و آرسنیک پنتااکسید (As_2O_5) واکنش I مسیر II و با رطوبت بیشتر آرسنیک دی‌اکسید تولید می کند (واکنش II شکل ۴).



شکل ۴: مراحل واکنش آرسین روی کربن فعال آغشته شده Iرطوبت کمتر II رطوبت بیشتر

گاز کلر (Cl2)

گاز کلر در مجاورت رطوبت و باز تری اتیلن دی آمین به اسیدکلریدریک و با حضور نانو ذرات مس و روی مطابق شمای ۵ به نمک‌های مربوطه تبدیل می‌شود.

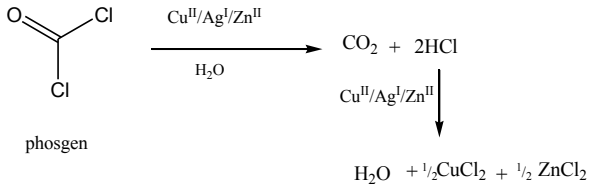


شکل ۵: مراحل واکنش گاز کلر روی کربن فعال آغشته شده

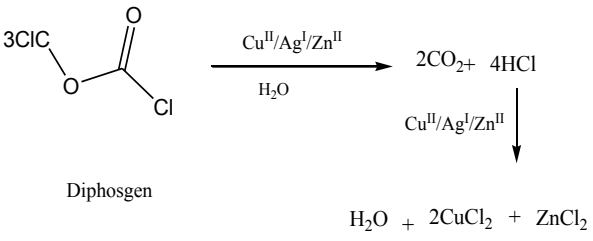
- واکنش های سم زدایی عوامل شیمیایی خفه‌کـنـنـده روی کربن فعال

فسژن و دی فسژن

عوامل سمی خفه‌کننده مانند فسژن و دی فسژن نیز با رطوبت روی کربن آبکافت می شود و تولید دی اکسید کربن و هیدروکلریک اسید می کند. سپس هیدروکلریک اسید با مس و روی واکنش داده و کلرید مس و روی حاصل می شود (شکل‌های ۶ و ۷).



شکل ۶: مسیر واکنش فسژن روی کربن فعال آغشته شده



شکل ۷ : مسیر واکنش دی فسژن روی کربن فعال آغشته شده

بحث و نتیجه‌گیری

کربن فعال گرانولی می‌تواند مقدار ناچیزی از عوامل شیمیـایـی جنگی ناپایدار (فشار بخار بالای ۱۰mmHg) در دمای به کـار گیری فیلتر مانند سیانوژن کلرید، هیدورژن سیانید، سیـانـوژن بروماید، آرسین، فسژن و دی فسژن را بـه صـورت فـیـزیـکـی جداسازی نماید. حضور نمک‌ها و نانو ذرات عناصر واسطه روی کربن فعال می تواند مقدار قابل‌توجهی از این عوامل را به‌صورت شیمیایی خنثی‌سازی و به مولکول‌های غیر سمی یا کمتر سمی تبدیل کند.کربن فعال نظامی بنام ASC-pyridin با آغشته هـای Cu (II), Cr(VI), Ag (I)وpyridineتأثیر خوبی را برای

[Downloaded from npwjm.ajaums.ac.ir on 2026-11-03]

تجزیه شیمیایی مولکول‌های سمی ناپایدار از خود نشان داد. بـه علت ویژگی سرطان‌زایی و ماندگاری کم انبارداری کربن ASC، نمک‌های Zn (II), Mo (VI)جایگزین Cr(VI) گـردیـد و کربن فعال نظامی ASZMT- TEDAبا ترکیباتـی از Cu (II), Ag (I), Zn (II), Mo (VI) و TEDA ایمنی بهتری را برای سیستم تنفسی و پایداری بیشتری را برای ماندگاری بـه وجود آورد.

References

1-Talmage, S. S. Watson, A. P. Hauschild, V. Munro, N. B. King J.Chemical Warfare Agent Degradation and Decontamination Curr. Org. Chem. 2007; 11(3): pp. 285-98

2-Leonard A. Reucroft, P.J. Freeman G. B. gas adsorption by activated and impregnated carbons". US Army Armament Research and Development Command Chemical Systems Laboratory Jonas Chemical Laboratory, Edgewood Arsenal, Aberdeen Proving Ground, Maryland 1977;21010

3-Waitt, A.H. The chemical weapon, its use, and protection against it, edited by Sloan Duell& J.J. Peace. Little & Ives Company, New York, USA.

4-Noyes, W.A. Jr. Military problems with aerosols and non-persistent gases. Summary Technical report of the National Defence Research Committee (NDRC), Division 10. Washington NRDC. 1946;1(1), 40-168.

5-Smisek, M. &Cerny, S. Active carbon, manufacture, properties and applications. Elsevier Publishing Co,New York, 1970.

6-Hart, John A. Collyer, John C. Chemical resistant article.US Patent 1980;4,218,779. August 26.

7-Stockum; Glenn Francis. Medical glove and method.US Patent 1978;4,070,713. January 31.

8-Ehrburger, P. Dentzer, J. Lahaye, J. Dziedzinl. P. &Fangeat, R. Thermal behaviour of chromium rioxide deposited on carbons. Carbon. 1990;28(1): 113-18.

9-Prasad, G.K. Studies on adsorption of toxic chemicals on carbons. Doctoral Thesis, 2003.

10-Wilson, R.E. &Whetzle, J.C. Impregnated carbon for use as gas adsorbent. Chemical Abstracts. 1925; 19,564.

11-Barnir Z. Aharoni C. Adsorption of cyanogen chloride on impregnated active carbon. Carbon, 1975.13 (5) :363–6

12-Sharma A. Saxena A. Singh B. Sharma M. In-situ degradation of sulphur mustard and its simulants on the surface of impregnated carbon systems. J. Hazad. Mat. 2006;133 (1–3): 106–112

13-Gall R. D. Hill C. L. Walker J. E. Carbon Powder and Fiber-Supported Polyoxometalate Catalytic Materials. Preparation, Characterization, and Catalytic Oxidation of Dialkyl Sulfides as Mustard (HD) Analogues. Chem. Mater. 1996;8 (10), :2523–27

14-Szmigielski R. Zietek S. , Swiatkowski A. Palijczuk D. Kielczewski M. Non-arcinogenic carbon sorbents for respiratory protection. J. Hazad. Mat., Volume 2009;163 (2–3) : 471–4

15-Morrison R, Overview W, of current collective protection filtration technology, Guild Associates Inc, Baltimore, Maryland.http:// www.parker.com.

16-Beer, Singh; Madhusudanan, S. Prasad, G.K. A newmethod of preparation of Cu, Cr and Ag impregnated carbon. In Proceedings of National Symposium on Carbon,NPL, Delhi, 1999;28 November.

17-G.K. Prasad, B. Singh, R. Vijayaraghavan. Respiratory Protection Against Chemical and Biological Warfare Agents. Defence Science Journal. 2008;58 (5), : 686-97

18-Doughty, David T. Chromium-free impregnated activated carbon for adsorption of toxic gases and/or vapours. US Patent 1991; 5,063,196,

[Downloaded from npwjm.ajaums.ac.ir on 2026-11-03]

Mechanism of Unstable Chemical Pollutants Removal with Nanocomposite Materials on Activated Carbon of Respiratory Filter

KhoshrouMR (Ph.Ds),Hosseini-Monfared H (Ph.D)

Abstract

Introdution: The threat of chemical and biological agents both in military and in civilian is inevitable. The respiratory protection method for civilian and military people is very important when they expose to such agents.

Methods: This two military activated carbon called ASC-pyridin containing Cu (II), Cr (VI), Ag (I), pyridine and ASZMT-TEDA contains Cu (II), Ag (I), Zn (II), Mo (VI) and TEDA are studied to neutralize the unstable toxic chemical agents.

Results: Unstable chemical agents such as cyanogen chloride, hydrogen cyanide, cyanogen bromide, arsine, chlorine, phosgene and diphosgene (because of high vapor pressure and low physical adsorption on activated carbon of breathing filter) are considered a potential threat. Added transition metals salts and amines to activated carbon, could improve neutralization of unstable agents.

Conclusion: There are two kinds of military activated carbon for neutralized of unstable toxic chemical agents. ASC-pyridin military activated carbon, due to the Cr (VI) has carcinogenic properties.Then its uses has been limited and ASZMT-TEDA carbon is used widely in respiratory filters. In this type Zn (II), Mo (VI) replaced by Cr (VI) that solved the mentioned problems without reducing efficiency

Keywords: Decontamination, Simulant agents, photocatalysts nanocomposite, toxicchemical agents

---

Department of Chemistry, University of Zanjan, Zanjan, Iran. Email: m.khoshroo@znu.ac.ir

[Downloaded from npwjm.ajaums.ac.ir on 2026-11-03]