

# آشکارسازهای طیف‌سنجی تحرک یونی برای عوامل شیمیایی جنگی

عزیز دهپور آتش‌بک<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۸۸/۰۵/۱۷

تاریخ پذیرش: ۸۸/۰۷/۲۸

## چکیده

طیف‌سنجی تحرک یونی<sup>۲</sup> (IMS) یک روش تجزیه‌ای سریع برای آشکارسازی مواد شیمیایی گازی در گستره غلظت قسمت در میلیون و قسمت در تریلیون حجمی (ppbv–pptv) تحت شرایط دما و فشار محیط می‌باشد. به نوعی از این روش در آشکارسازی عوامل شیمیایی جنگی، مواد صنعتی با سمیت زیاد، مواد منفجره و مواد مخدر استفاده می‌شود. حدود آشکارسازی پایین – در حد کمتر از قسمت در میلیون – سرعت پاسخ‌دهی زیاد و دستگاه‌وری ساده به گسترش کاربرد این دستگاه منجر شده است. به ویژه، تقاضای فزاینده‌ای برای دستگاه‌های IMS مینیاتوری دستی و ارزان برای پایش محل‌های عمومی با شبکه‌ای از حسگرها وجود دارد. در این مقاله به موضوع کاربرد روش IMS در آشکارسازی سریع عوامل شیمیایی جنگی نظیر سارین، تابون، سومان، VX و خردل گوگردی پرداخته‌ایم.

**کلیدواژه‌ها:** آشکارساز، طیف‌سنجی تحرک یونی، عوامل شیمیایی جنگی، زمان رانش

۱- پژوهشگر دانشگاه جامع امام حسین (ع) - دانشکده و پژوهشکده علوم پایه

## مقدمه

طیف‌سنجی تحرک یونی (IMS) در سال‌های دهه ۱۹۶۰ تا اوایل دهه ۱۹۷۰ به عنوان یک روش تجزیه‌ای شناخته شد. امروزه از این تکنیک به طور موفقیت‌آمیزی در آشکارسازی آلاینده‌های محیطی، عوامل شیمیایی جنگی، مواد منفجره، مواد مخدر، علف‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و فراورده‌های نفتی استفاده می‌شود. IMS که یک روش تجزیه‌ای الکتروفورزی<sup>۱</sup> فاز گازی است اولین بار در سال ۱۹۷۰ تحت عنوان پلاسما کروماتوگرافی معرفی گردید [۲]. انگیزه اصلی توسعه این روش، کاربرد آن به عنوان یک روش شناسایی کارآمد و فوق حساس برای تعیین مقادیر جزئی ترکیبات آلی در نمونه‌های محیطی، نظامی، صنعتی و بیولوژیکی است. کاربرد موفقیت‌آمیز IMS در آشکارسازی ترکیبات آلی مانند الکل‌ها، الکیل هالیدها، مواد آروماتیک هالوژن‌دار، آلکان‌ها، نیتروژوآمین‌ها، الکیل استات‌ها، الکیل آمین‌ها و نیترو آروماتیک‌ها در محدوده پیکوگرم، یا با حد تشخیصی قسمت در تریلیون گزارش گردیده است [۳]. آشکارسازی عوامل شیمیایی جنگی نظیر سارین (GB)، سومان (GD)، تابون (GA) و وی-ایکس (VX) با غلظت‌هایی در محدوده ppm یا ppb با روش طیف‌سنجی تحرک یونی انجام شده است [۴]. در دستگاه‌های آشکارساز دستی CAM<sup>۲</sup> و ICAM<sup>۳</sup> که برای پایش آلودگی نفرات، تجهیزات و سطوح نسبت به عوامل شیمیایی به کار می‌روند، از فناوری طیف‌سنجی تحرک یونی برای آشکارسازی و تشخیص بخار عوامل اعصاب و تاول‌زا استفاده شده است [۵].

در کشور ما با توجه به حملات شیمیایی گسترده عراق علیه رزمندگان اسلام و نیاز شدید به شناسایی و اعلام خطر عوامل شیمیایی و اعمال محدودیت‌های بین‌المللی و شرکت‌های سازنده تجهیزات و دستگاه‌های آشکارساز، تحقیقات اساسی برای ساخت طیف‌سنج تحرک یونی در سال ۱۳۶۷ در مرکز تحقیقات مهندسی جهاد سازندگی اصفهان آغاز گردید و در سال ۱۳۶۸ اولین نمونه تحقیقاتی آن ساخته شد. این دستگاه در سال ۱۳۷۱ با اصلاح و بهینه‌سازی برای شناسایی مواد مخدر استفاده گردید و سازندگان آن در جشنواره خوارزمی سال ۱۳۷۲ رتبه اول تحقیقات در زمینه شیمی را کسب نمودند. همچنین آشکارسازهای ان دی کم (ND-CAM) و

ایران- کم (IRAN-CAM)، دو نمونه از دستگاه‌های ساخته شده در سازمان صنایع دفاع، بر اساس این فناوری می‌باشند.

## اساس کار طیف‌سنج تحرک یونی (IMS)

دستگاه IMS بر اساس تحرک یونی - که به وزن مولکولی، بار و شکل ذرات یونی بستگی دارد- عمل می‌کند. سرعت جابجایی یون‌ها در میدان الکتریکی با کاهش وزن مولکولی و افزایش بار بیشتر می‌شود. در این دستگاه ابتدا جریانی از هوای محیط به وسیله یک پمپ یا یک گاز حامل بی اثر به ناحیه واکنش وارد می‌شود. نمونه‌های دارای فراریت کم با استفاده از روش‌های واجذب حرارتی و واجذب لیزری وارد دستگاه می‌شوند. با استفاده از یک سیستم غشائی در ورودی دستگاه، برخی مزاحمت‌های ناشی از نمونه‌برداری مستقیم محیطی حذف می‌گردند. همچنین برای آشکارسازی بخارات سمی از روش افزایش استاندارد پیوسته استفاده شده است. در ابتدای ناحیه واکنش، یک منبع رادیواکتیو (<sup>63</sup>Ni یا <sup>241</sup>Am)<sup>۴</sup> قرار دارد که با تابش اشعه رادیواکتیو ( $\alpha$  یا  $\beta$ ) مولکول‌های هوا و نمونه را به یون تبدیل می‌کند. یون‌های حاصل پس از عبور از یک حائل مشبک وارد ناحیه رانش<sup>۵</sup> می‌شوند. حائل مشبک با اعمال یک ولتاژ باز و بسته می‌شود. در لحظه کوتاهی که حائل باز است دسته‌ای از یون‌ها از آن عبور کرده و وارد ناحیه رانش می‌گردند. در ناحیه رانش، یون‌ها تحت تأثیر یک میدان الکتریکی در جریانی از گاز رانش با سرعت‌های مختلف به طرف الکتروود جمع‌کننده واقع در انتهای لوله رانش حرکت می‌کنند. از برخورد یون‌ها با الکتروود جمع‌کننده، یک جریان الکتریکی تولید می‌شود. شکل (۱)، تفکیک یون‌ها را در ناحیه رانش دستگاه IMS نشان می‌دهد.

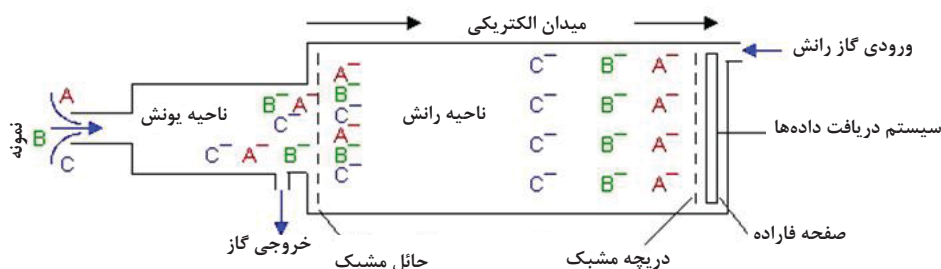
## دستگاه‌وری IMS

اجزای اصلی دستگاه IMS عبارتند از:

- ۱- سیستم ورودی نمونه
- ۲- منبع یونش
- ۳- ناحیه واکنش
- ۴- دریچه یا دریچه‌های یونی<sup>۵</sup>
- ۵- ناحیه رانش
- ۶- الکتروود جمع‌کننده یون

4- Drift Region  
5- Ion Gate(s)

1- Electrophoresis  
2- Chemical Agent Monitor  
3- Improved Chemical Agent Monitor



شکل ۱- تفکیک یون‌ها در ناحیه رانش دستگاه IMS

واجذب لیزری و مکش هوای محیطی به درون دستگاه به طور مستقیم یا از طریق یک غشاء می‌باشند. کوره واجذب حرارتی برای آنالیز آلودگی سطحی قطعات الکترونیکی، و نیز نمونه‌برداری از مواد مخدر به کار می‌رود. در مورد اول، نمونه سطحی در یک کوره ورودی دارای برنامه‌ریزی دمایی قرار می‌گیرد. جریان حاصل از کوره نقش گاز حامل IMS را دارد، به گونه‌ای که با گرم شدن نمونه سطحی، بخارات آن مستقیماً وارد ناحیه یونش می‌شود.

واجذب لیزری برای تبخیر مواد منفجره ناپایدار از نظر حرارتی به منظور آنالیز به وسیله دستگاه‌های IMS به کار می‌رود. واجذب لیزری با توان نسبتاً کم (کمتر از  $10^7$  وات بر سانتی‌متر مربع) انجام می‌گیرد به گونه‌ای که عمده‌تاً مولکول‌های خنثی ایجاد می‌شوند، که سپس از طریق واکنش‌های یون-مولکول القایی با  $^{63}\text{Ni}$  در فشار اتمسفری به یون تبدیل می‌شوند. با استفاده از این روش TNT با حد تشخیص ۲۸۰ پیکوگرم آنالیز شده است [۳].

نمونه‌برداری مستقیم هوای محیطی به دلیل تولید یونهای مختلف ناشی از ورود مواد متنوع موجود در هوای محیط، پیچیده است. بخار آب و آمونیاک موجود در محیط آزمایشگاه منجر به تولید یون‌های خوشه‌ای آمونیوم- که میل زیادی به جذب پروتون دارند- می‌شود. برای جداسازی آب و آمونیاک از بخارات ترکیبات آلی در نمونه هوای محیطی، و کاهش پیچیدگی‌ها در فرایند تولید یون می‌توان از یک غشاء استفاده کرد. با استفاده از غشاء دی‌متیل‌سیلیکون در IMS بخارات TNT در هوای محیطی با حد تشخیص ۵۰۰ قسمت در تریلیون (۵۰۰ ppt) اندازه‌گیری شده است [۳].

شکل‌های (۲) و (۳) اجزای یک دستگاه متداول IMS را با جریان گاز در دو جهت مخالف، و منبع یونش  $^{63}\text{Ni}$  نشان می‌دهند. نمونه هوا به وسیله جریان گاز حامل وارد ناحیه واکنش می‌شود. یونهای حاصل از یونش نمونه با اعمال یک میدان الکتریکی، پس از عبور از دریچه یونی (حائل مشبک) وارد ناحیه رانش می‌گردند. یون‌های مختلف بر اساس بار، جرم و اندازه از یکدیگر جدا می‌شوند. علامت تجزیه‌ای در اثر برخورد یون‌ها به یک صفحه رسانای مسطح (صفحه فاراده) ایجاد می‌شود و جریان حاصل به وسیله یک الکترومتر تقویت می‌گردد.

تجهیزات کمکی لازم برای کارکرد IMS شامل یک منبع تغذیه ولتاژ بالا برای ایجاد میدان الکتریکی در لوله رانش، یک کنترل‌کننده حائل<sup>۱</sup>، یک منبع خارجی حاوی گازهای حامل و رانش، کنترل‌کننده دما، یک الکترومتر سریع، و دستگاه‌های جمع‌آوری داده‌ها شامل کامپیوتر، معدل‌گیر علامت و چاپگر می‌باشند.

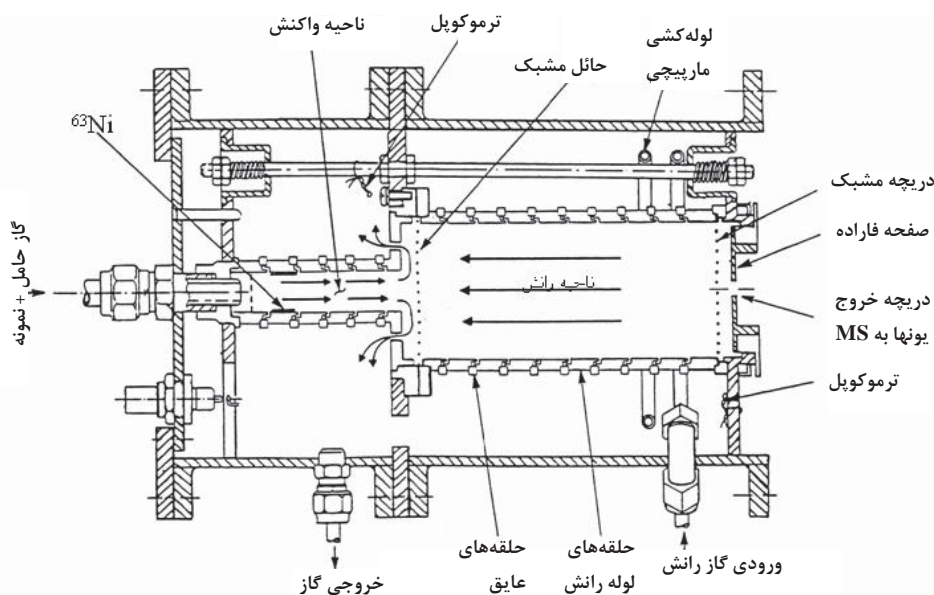
شناسایی یونی را می‌توان با اتصال IMS به یک طیف‌سنج جرمی چهارقطبی از طریق یک روزنه ریز در صفحه جمع‌کننده یون انجام داد.

### سیستم‌های ورودی نمونه

روش‌های مختلفی برای ورود نمونه‌های بخار به درون ناحیه یونش یک دستگاه IMS وجود دارد. این روش‌ها شامل پروب سیمی نمونه، تزریق سرنگی، محفظه رقیق‌سازی نمایی<sup>۲</sup>، لوله‌های تراوش<sup>۳</sup>، لوله‌های نفوذ<sup>۴</sup>، کوره‌های واجذب حرارتی،

1- Shutter Controller  
2- Exponential Dilution Flask  
3- Permeation Tubes

4- Diffusion Tubes



شکل ۲- دستگاه طیف سنج تحرک یونی (جریان گاز در نواحی واکنش و رانش در دو جهت مخالف می باشد) [۳]

## دریچه های یونی

کنترل یون ها از طریق ایجاد یک میدان الکتریکی در بین رشته هایی از سیم های نازک در عرض لوله رانش صورت می گیرد.

## لوله (ناحیه) رانش

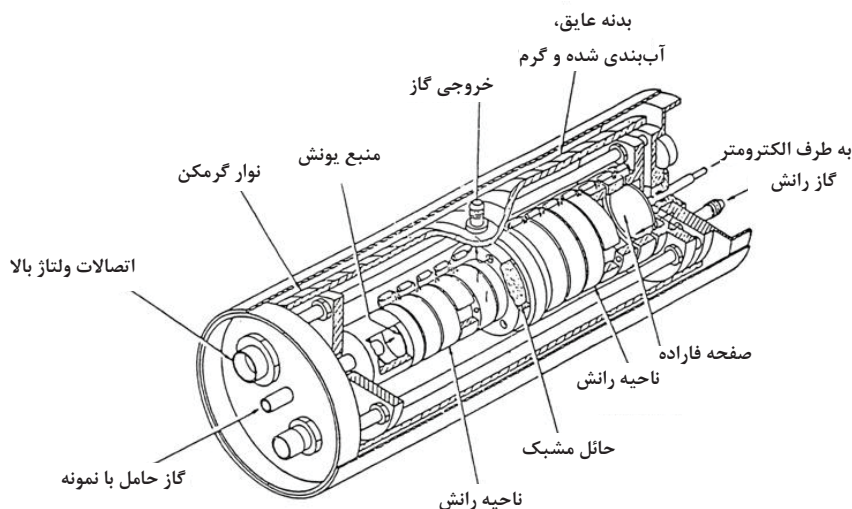
لوله رانش از یک سری حلقه های فلزی تشکیل شده که تقسیم ولتاژ بر روی آنها انجام شده است. ولتاژ بالا به ابتدای لوله وصل گردیده و یک گرادیان میدان الکتریکی در طول لوله ایجاد می شود. طول لوله رانش بین ۵ سانتی متر (برای دستگاه های قابل حمل) تا ۴۰ سانتی متر (برای نمونه های آزمایشگاهی با قدرت تفکیک بالا) می باشد. قطر لوله رانش بین ۱۰-۱/۱ سانتی متر است. ولتاژ لازم در لوله های رانش IMS در حدود ۵۰۰-۱۰۰۰ ولت می باشد که این ولتاژها شدت میدان الکتریکی ۲۵۰-۱۵۰ ولت بر سانتی متر را در لوله رانش ایجاد می کنند.

## جمع کننده یون

جمع کننده یون، یک صفحه گرد فلزی است که در انتهای لوله رانش قرار دارد و معمولاً به پتانسیل زمین وصل می شود. یون هایی که به آن برخورد می کنند بار خود را از دست داده و جریانی را ایجاد می کنند که پس از تقویت قابل ثبت خواهد بود.

## مزایا و معایب IMS

یکی از مزایای IMS نمونه برداری مستقیم هوای محیطی بدون نیاز به فرایند آماده سازی و تغلیظ می باشد. امتیازات دیگر این دستگاه شامل آنالیز نمونه ها - خصوصاً نمونه های هوا- در یک محفظه کوچک بدون نیاز به آماده سازی، استحکام، آسانی کارکرد، پاسخدهی سریع، حد تشخیص پایین، هزینه نسبتاً کم، قابلیت اطمینان بیشتر نسبت به فناوری های دیگر و حساسیت عالی آن می باشد. به عنوان مثال حد تشخیص IMS برای بیشتر بخارات CWA در محدوده ppm تا ppb طی چند ثانیه می باشد. نمونه های مایع یا جامد را تا مقادیر چند نانوگرم ( $10^{-9}$  g) با این دستگاه می توان آشکار نمود.



شکل ۳- طرح سه بعدی یک دستگاه طیفسنج تحرک یونی متداول با منبع یونش  $^{63}\text{Ni}$ ، جریان گاز در دو جهت مخالف و حلقه‌های متصل به هم [۳]

کاربرد IMS است. علاوه بر ترکیبات ارگانوفسفر معروف به عوامل اعصاب (نظیر تابون، سارین، سومان و VX)، عوامل تاول‌زا (نظیر خردل گوگردی، خردل ازتی و لویزیت)، عوامل خفه‌کننده و خون (نظیر فسژن و پرازیک<sup>۲</sup> اسید) را می‌توان با دستگاه‌های IMS آشکار کرد. عوامل اعصاب به دلیل پروتون‌خواهی بسیار بالا به تشکیل یون‌های مثبت تمایل دارند، ولی عوامل تاول‌زا، خون و خفه‌کننده به شدت الکتروفیل بوده و یون منفی تشکیل می‌دهند. بنابراین به منظور اطمینان از آشکارسازی پیوسته کلیه گروه‌های عوامل شیمیایی جنگی، از آشکارسازهای جدید بر مبنای طیفسنجی تحرک یونی، از لوله‌های رانش دو قطبی استفاده می‌شود. در دستگاه‌های خودکار، شناسایی و سنجش عوامل شیمیایی به کمک طیف‌ها و داده‌های ذخیره شده در کتابخانه دستگاه انجام می‌گیرد. حدود تشخیص در گستره، قسمت در بیلیون حجمی (ppbv) می‌باشد. زمان‌های پاسخ دستگاه به غلظت بستگی دارد و در مورد غلظت‌های نزدیک حدود تشخیص در حد چند دقیقه است. غلظت‌های بالاتر پس از چند ثانیه نمایش داده می‌شود [۹-۶].

یکی از معایب IMS وجود اثر معروف به زمینه<sup>۱</sup> در آن است که ناشی از رطوبت نسبی، دما، و اجزای موجود در هوای حاوی ترکیبات مورد سنجش می‌باشد که می‌تواند بر پاسخ آشکارساز تأثیر داشته باشد. این دستگاه انتخابگر نیست ولی به دلیل قابلیت جداسازی یون‌ها در لوله رانش، توانایی خوبی در شناسایی دارد که در مقایسه با سایر روش‌های غیرانتخابگر مزیت خوبی است. در برخی از دستگاه‌های میدانی IMS مواد مزاحم موجود در میدان جنگ، موجب پاسخ‌های مثبت خطا می‌شوند. عیب دیگر این دستگاه استفاده از منابع رادیواکتیو در آن است که در اغلب کشورها نیازمند اخذ مجوز از مراجع صلاحیت‌دار می‌باشد.

### کاربردهای IMS

کاربردهای زیادی برای IMS گزارش شده است. این کاربردها شامل آشکارسازی عوامل شیمیایی جنگی، مواد مخدر و داروها، مواد منفجره، مواد آلاینده محیط و پایش هوای محل کار می‌باشند. آشکارسازی عوامل شیمیایی جنگی مهم‌ترین و متداول‌ترین

2- prussic

1- Matrix effect

می‌باشند که برای آشکارسازی عوامل تاول‌زا و اعصاب به کار می‌روند. قابلیت پایشگرهای CAM و ICAM در آشکارسازی عوامل GB، VX و HD در جدول (۱) و غلظت‌های ناتوان‌کننده و کشنده این عوامل در جدول‌های (۲) و (۳) آمده است.

## مثال‌هایی از دستگاه‌های IMS با کاربردهای

### نظامی

آشکارساز APD2000 (شکل ۴)، پایشگر عامل شیمیایی CAM (شکل ۵) و مدل اصلاح شده آن (ICAM) نمونه‌هایی از دستگاه‌های دستی بر اساس فناوری طیف‌سنجی تحرک یونی



شکل ۵- پایشگر عامل شیمیایی CAM



شکل ۴- آشکارساز APD2000

عامل	پایین‌ترین غلظت قابل آشکارسازی (mg/m <sup>3</sup> )
سارین (GB)	۰/۰۳
VX	۰/۱
خردل (HD)	۰/۱

جدول ۱- حد تشخیص عوامل شیمیایی سارین و خردل با پایشگر CAM [۴]

دستگاه تنفسی (با فرض فعالیت متوسط) (mg.min/m <sup>3</sup> )		پوست			چشم mg.min/m <sup>3</sup>	IDLH mg/m <sup>3</sup>	عامل
		مابع (g/person)	بخار (mg.min/m <sup>3</sup> )				
LC <sub>50</sub>	IC <sub>50</sub>	LD <sub>50</sub>	LC <sub>50</sub>	IC <sub>50</sub>	TC <sub>5</sub>		
۴۰۰	۳۰۰	۱-۱/۵	۲۰۰۰۰-۴۰۰۰۰	-	۳/۲	۰/۲	GA
۷۰	۳۵	۱/۷	۱۵۰۰۰	۸۰۰۰-۸۸۵۰	۴/۰	۰/۲	GB
۱۰۰	۷۵	۴/۰	۲۹۰۰	۱۹۰۰	۲/۰	۰/۰۷	GD
۳۵	۱۸	۵/۰	۵۰	۲۵	۴/۰	۰/۰۲	VX

جدول ۲- میزان سمیت عوامل اعصاب

دستگاه تنفسی (mg.min/m <sup>3</sup> )	پوست				چشم (mg.min/m <sup>3</sup> )		IDLH mg/m <sup>3</sup>	عامل
	بخار (mg.min/m <sup>3</sup> )		مایع (mg)		ICT <sub>50</sub>	TCt <sub>5</sub>		
	ICT <sub>50</sub>	TCt <sub>5</sub>	ID <sub>50</sub>	TCt <sub>5</sub>				
۱۵۰۰	-	۵۰	-	-	۲۰۰	۵۰	۰/۰۰۳	HD
۱۲۰۰-۱۵۰۰	-	-	۱۵۰۰	-	۳۰۰>	-		L
۱۵۰۰	-	-	۱۲۰۰-۱۵۰۰	-	۲۰۰	-		HL
۳۲۰۰	-	۲۰۰-۵۰۰	-	۲۰۰	-	-		CX

جدول ۳- میزان سمیت عوامل تاولزا

زمان پاسخ‌دهی آشکارساز M43A1 کمتر از ۲ دقیقه است [۱۰]. سیستم اخطاردهنده M8A1 بیشتر برای آگاه‌سازی نیروهای مستقر در منطقه نسبت به رسیدن یا نزدیک شدن بخار عامل اعصاب به موقعیت آنها به کار می‌رود. نیروهای نظامی به محض رسیدن به هر منطقه جدید، آشکارساز را در نقاط مناسب بالادست موقعیت استقرار نسبت به جهت وزش باد قرار داده و اخطاردهنده‌های M42 را به وسیله سیستم اتصال استاندارد به آشکارساز وصل می‌کنند. با رسیدن ابرعامل به آشکارساز، اخطاردهنده صوتی به کار افتاده و نیروها را از وجود آلودگی آگاه می‌سازد.

آشکارساز عوامل شیمیایی JCAM07 نمونه‌ای از دستگاه‌های آشکارسازی بر مبنای فناوری IMS است که با همت و تلاش متخصصان کشور عزیزمان (در مرکز تحقیقات مهندسی جهاد اصفهان) ساخته شده است. مشخصات این دستگاه به شرح زیر است [۱]:

۱- قابلیت شناسایی عوامل تاولزا (خردل) و اعصاب (سارین)

۲- حدود تشخیص: خردل ۱۶ و سارین ۰/۰۹ میلی‌گرم بر مترمکعب

۳- ابعاد و وزن: ۲۸×۲۸×۱۰ سانتی‌متر و ۷/۵ کیلوگرم

۴- سرعت پاسخ‌دهی: حدود ۷ ثانیه

۵- نوع اعلام خطر: دیداری و شنیداری

۶- نمونه‌برداری پیوسته از هوای محیطی بدون نیاز به وسایل اضافی

۷- دارای نمایشگر غلظت آلودگی، آمادگی سیستم و وضعیت باتری

دستگاه MAA۱ که یک اخطاردهنده خودکار عامل شیمیایی است مثال دیگری از استفاده IMS در کاربردهای نظامی می‌باشد [۹]. این دستگاه از ترکیب آشکارساز M۴۳A۱ و سیستم اخطاردهنده ۴۲ ساخته شده است. در این دستگاه هوای محیطی به طور پیوسته و با سرعت جریان ۱/۲ لیتر بر دقیقه وارد حسگر داخلی می‌شود. مولکول‌های هوا و عامل ابتدا از مقابل منبع یونش رادیواکتیو آمریسیوم ۲۴۱ (Am<sup>۲۴۱</sup>) عبور می‌کنند و درصد کمی از آنها در اثر برخورد اشعه آلفا (α) به یون تبدیل می‌شود. سپس یون‌های حاصل وارد لوله رانش می‌گردند. یونهای سبکتر هوا در اثر نفوذ به دیواره به سرعت خنثی می‌شوند در حالیکه یونهای سنگین‌تر عامل که اندازه حرکت بزرگ‌تری دارند می‌توانند طول لوله رانش را طی کرده و به الکترود جمع‌کننده برسند. در نتیجه در صورت حضور عوامل اعصاب، الکترود جمع‌کننده جریان بیشتری را نسبت به هوای تمیز دریافت خواهد کرد. یک مبدل الکترونیکی، جریان ایجاد شده به وسیله حسگر را آشکار نموده و با رسیدن جریان به یک حد آستانه بحرانی، آژیر اعلام خطر به کار خواهد افتاد. عواملی که به وسیله آشکارساز M۴۳A۱ آشکار می‌شوند در جدول (۴) نشان داده شده‌اند.

نوع عامل	عامل	حساسیت آشکارسازی (mg/m <sup>3</sup> )
اعصاب	GA و GB, GD	۰/۱-۰/۲
	VX	۰/۴

جدول ۴- عواملی که به وسیله آشکارساز M43A1 آشکار می‌شوند [۶]

خواهد کرد. در صورت لزوم و برای کسب اطلاعات بیشتر می‌توان دستگاه را به یک کامپیوتر خارجی متصل نمود. مهم‌ترین کار نگهداری در مورد این دستگاه فراهم‌سازی شرایط لازم برای جریان یافتن گاز رانش بدون رطوبت می‌باشد که از طریق بازرسی و تعویض کاتریج رطوبت‌گیر امکان‌پذیر می‌شود.

## مراجع

۱. احمد حاج آقا معمار، کورش برهانی؛ مجموعه مقالات همایش سراسری نقش علوم پایه در پدافند جنگ‌های نوین؛ انتشارات دانشگاه امام حسین(ع)، ۳۴۵-۳۳۱، (۱۳۷۹).
2. Cohen MJ. and Karasek FWJ. *Chromatogr. Sci.* 8; 330-337. (1970).
3. Louis RHS., Hill HH. and Crit J. *Rev. Anal. Chem.* 21; 321-354. (1990).
4. Tuovinen K., Paakkanen H. and Hanninen O. *Anal. Chim. Acta*, 440; 151-159. (2001).
5. Brletic NR., Waters MJ., Bowen GW. and Tracy MF. *The Chemical and Biological Defense Information Analysis Center,s (CBIAC) Worldwide Chemical Detection Equipment Handbook*, (1995).
6. Preston JM., Karasek FW. and Kim SH. *Anal. Chem.* 49 1746. (1977).
7. Moye HA. and Chromatogr J. *Sci.* 13; 285. (1975).
8. Kim. SH. and Spangler GE. *Anal. Chem.* 57; 567. (1985).
9. Karpas Z. and Pollevooy Y. *Anal. Chim. Acta* 259; 333. (1992)
10. Alim A., Fatah, et. al. *Guide for the Selection of Chemical Agent and Toxic Industrial Material Detection Equipment for Emergency First Responders*, NIJ Guide 100-00, Volume I, June (2000).

- ۸- قابلیت کالیبره شدن خودکار
- ۹- انتخاب وضعیت شناسایی دستی و خودکار
- ۱۰- قابلیت اتصال به کامپیوتر

## مأموریت‌ها

- ۱- شناسایی عوامل و اعلام وضعیت محیط آلوده
- ۲- آشکارسازی آلودگی و اعلام وضعیت افراد و تجهیزات

## نتیجه‌گیری

نزدیک به سی سال از کاربرد موفقیت‌آمیز آشکارسازهای IMS برای آشکارسازی عوامل شیمیایی جنگی، مواد مخدر، مواد شیمیایی صنعتی و ... سپری شده است. با این حال دستگاه‌های ساخته شده بر پایه این فناوری هنوز هم به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. اولین آشکارسازهای میدانی عوامل شیمیایی جنگی بر اساس این فناوری، به درخواست ارتش آمریکا برای جایگزینی اخطاردهنده الکتروشیمیایی M43 با اخطاردهنده M43A1 مجهز به آشکارساز از نوع IMS در سال ۱۹۸۱ ساخته شد.

آشکارسازهای IMS عمدتاً برای آنالیز مستقیم نمونه‌ها، بدون نیاز به مرحله آماده‌سازی طراحی می‌شوند. زمان پاسخ این آشکارسازها در حدود چند ثانیه و زمان تنظیم آنها حداقل می‌باشد. گرم شدن آشکارساز از چند دقیقه تا یک ربع ساعت زمان نیاز دارد. در اغلب آشکارسازهای موجود از این نوع پارامترهای عملکردی به صورت خودکار و با استفاده از یک کامپیوتر داخلی صورت می‌گیرد. این ویژگی تنظیم خودکار، قابلیت اعتماد لازم نسبت به اعمال پارامترهای عملکردی مناسب، قبل از آماده شدن دستگاه برای استفاده را فراهم می‌سازد. پس از گرم شدن دستگاه، می‌توان آن را با استفاده از مواد شبه‌عامل به راحتی کالیبره نمود.

دستگاه‌های دستی IMS با وزن کمتر از ۱۰ کیلوگرم ساخته شده است که با کمک یک باتری داخلی کار می‌کنند. استفاده و نگهداری آشکارسازهای IMS بسیار آسان است و به آموزش کمی نیاز دارد. به دلیل استفاده از ریزپردازشگر، نتایج حاصل از این دستگاه‌ها نیاز چندانی به تفسیر اپراتور ندارد. پس از شناسایی ماده هدف در نمونه‌ها توسط آشکارساز، حضور آن ماده از طریق علامت‌های ویژه در صفحه نمایش مشاهده گردیده و برای آگاه‌سازی اپراتور دستگاه، شروع به بوق زدن



---

# Ion Mobility Spectrometry Detectors for Chemical Warfare Agents

Aziz Dehpour<sup>1</sup>

## Abstract

Ion mobility spectrometry is a fast and sensitive analysis method for the detection of gas phase analysis in the ppbv–pptv range under ambient conditions (pressure and temperature). Typical applications are the detection of chemical warfare agents, highly toxic industrial compounds, explosives, and drugs of abuse. Detection limits in the low part per billion range, fast response times, and simple instrumentation make this technique more and more popular. In particular, there is an increasing demand for miniaturized low-cost IMS for hand-held devices and air monitoring of public areas by sensor networks. In this paper, we present application of ion mobility spectrometry method for fast detection of chemical warfare agents such as sarin, tabun, soman, VX, and sulfur mustard.

**Key Words:** *Detector, Detection Limit, Chemical Warfare Agents, Ion Spectrometry, Ion Mobility, Drift time*

---

1- Department of Chemistry Faculty Science, Imam Hosein University; Tehran