NAISL
Volume 2, Number 3, 2018
Pages:47-55
Print ISSN: 2588-6401
Online ISSN: 2588-641X
Website: shaajournal.msrt.ir

Ion Mobility Spectrometry;Applications in analyzing chemical compounds

Mohammad-Reza Rezayat[1*],Elham Jazan[2],Mohammad-Taghi Jafari[3]

Abstract

The ion mobility spectrometer (IMS) is a suitable technique for quantitative and qualitative analysis of the trace amount of chemical compounds. Because of high sensitivity and speed, IMS is an acepted method for measuring different explosives, clinical and illicit drugs, environmental pollutants and chemical gases. For analyzing the chemical compound with IMS, there is no need to expensive and time consuming derivatization steps. The most popular ionization sources used in IMS are radioactive source of 63-nickel and non-radioactive sources such as corona discharge and electrospray. The main advantages of IMS in comparison with techniques e.g. mass spectrometry, are no need to vacuum, separation of structural isomers, and low cost. This technique can be used as the detector for gas chromatography, liquid chromatography, supercritical fluid chromatography and electrophoresis instruments. The basic of the IMS performance is the ionization of injected sample and then separation of ions in an electric field. Determining the type and amount of different compounds can be accomplished based on mobility spectra, drift time, and peak(s) area.

Key Words:

Ion Mobility Spectrometry, Instrumental Analysis, Quantification and Qualification Analysis, Volatile and Semi-volatile Compound

(*) Corrosponding Athor
1. PhD student of Chemistry, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
E-mail: m.rezayat@ch.iut.ac.ir
Tel: 03133913259
2. Faculty of Chemistry, Islamic Azad University, Shahreza Branch, Iran.
E-mail: jazan@iaush.ac.ir
Tel: 03153292506
3. Faculty of Chemistry, Isfahan University of Technology,Isfahan, Iran.
E-mail: jafari@cc.iut.ac.ir
Tel: 03133913259

دستگاه طیف سنج تحرک یونی و کاربرد آن در اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی

محمدرضا رضایت[1*]، الهام جازان[2]، محمدتقی جعفری[3]

نشریه رویکردهای نوین در آزمایشگاه‌های علمی ایران
سال دوم، شماره ۳, ۱۳۹۷
صفحات ۵۵-۴۷
شاپای چاپی: ۶۴۰۱-۲۵۸۸
شاپای الکترونیکی: ۶۴۱X-۲۵۸۸
وب‌سایت: shaajournal.msrt.ir

دستگاه طیف‌سنج تحرک یونی (IMS) به عنوان یک تکنیک مناسب برای آنالیز کمی و کیفی ترکیبات شیمیایی در مقادیر بسیار کم می‌باشد. این تکنیک به دلیل ویژگی‌های خاص، از جمله حساسیت بسیار زیاد و سرعت بالا، یک روش بسیار مناسب برای اندازه‌گیری انواع مواد منفجره، داروهای مجاز و غیرمجاز، آلاینده‌های زیست محیطی و سایر گازهای شیمیایی می‌باشد. در مطالعه ترکیبات به کمک دستگاه IMS نیاز به آماده‌سازی‌های خاص، زمان بر و پر هزینه نیست. از منابع یونیزاسیون مورد استفاده در دستگاه طیف‌سنج تحرک یونی می‌توان به منابع یونیزاسیون رادیواکتیو مانند نیکل و غیررادیواکتیو مانند تخلیه کرونا، الکترواسپری، فرابنفش و پلاسمای سرد اشاره کرد. از مزیت اصلی این تکنیک نسبت به دستگاه‌های آنالیز شیمیایی پیشرفته از جمله طیف‌سنج جرمی، عدم نیاز به خلا، قابلیت جداسازی ایزومرهای ساختاری و هزینه بسیار کمتر می‌باشد. این دستگاه می‌تواند به عنوان آشکارساز برای کروماتوگرافی گازی، کروماتوگرافی مایع، کروماتوگرافی با سیال فوق بحرانی و الکتروفورز نیز مورد استفاده قرار گیرد. اساس دستگاه IMS پس از تزریق ترکیبات شیمیایی مختلف، یونیزاسیون و حرکت یون‌ها در یک میدان الکتریکی می‌باشد. دستگاه IMS علاوه بر جداسازی نسبی، توان شناسایی ترکیبات مختلف را نیز دارد و به منظور تعیین نوع و مقدار ترکیبات مختلف از زمان شناوری و سطح زیر پیک سیگنال در طیف تحرک یونی حاصل از دستگاه IMS استفاده می‌شود.

محمدرضا رضایت

الهام جازان

محمدتقی جعفری

واژگان کلیدی:

طیف سنج تحرک یونی،
آنالیز دستگاهی،
آنالیز کمی و کیفی،
منابع یونیزاسیون،
ترکیبات فرار و نیمه فرار

(*) مسئول مکاتبات.
۱. دانشجوی دکتری دانشکده شیمی، دانشگاه صنعتی اصفهان،اصفهان، ایران.
ایمیل: m.rezayat@ch.iut.ac.ir
تلفن: ۰۳۱۳۳۹۱۳۲۵۹
۲. عضو هیات علمی گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا، شهرضا، ایران.
ایمیل: jazan@iaush.ac.ir
تلفن: ۰۳۱۵۳۲۹۲۵۰۶
۳. عضو هیات علمی دانشکده شیمی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
ایمیل: jafari@cc.iut.ac.ir
تلفن: ۰۳۱۳۳۹۱۳۲۵۹

۱ مقدمه

با توجه به پیشرفت‌های اخیر در علوم زیستی و توجه روزافزون انسان به سلامت، شناسایی مقادیر کم ترکیبات شیمیایی فرار و نیمه فرار به میزان بیش‌تری احساس می‌گردد. با تشخیص این نیازها، همواره براي ارائه روش‌های جدید با ویژگی‌های مورد نیاز و کارایی بالاتر نسبت به روش‌های گذشته، تلاش شده و روش‌های نوینی براي اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی متنوع ارائه شده است. روش‌های طیف‌سنجي از جمله روش‌های اندازه‌گیری غلظت مواد در مقادیر کم می‌باشد که در این میان، طیف سنج تحرک یونی[1] به دلیل حساسیت و سرعت آنالیز بالا بسیار مورد توجه قرار گرفته است. طیف‌سنج تحرک یونی برای اندازه‌گیری کمی و کیفی ترکیبات شیمیایی فرار و نیمه فرار و تا حدی غیر فرار از جمله داروها[۱]، مواد بیولوژیکی[۲]، گازهای شیمیایی[۳]، مواد منفجره[٤]، آلاینده‌های زیستی[٥] و سموم[٦] استفاده می‌شود. به منظور افزایش حساسیت، گزینش پذیری و کاهش مزاحمت‌ها در آنالیز ترکیبات با دستگاه IMS، از روش‌های جداسازی از جمله کروماتوگرافی گازی (GC)[۷] یا کروماتوگرافی مایع (LC) [۸] قبل از دستگاه IMS و روش‌های آماده‌سازی نمونه از جمله ریز استخراج مایع-مایع پخشی (DLLME)[۹]، ریز استخراج قطره آویزان (SDME)[۱۰]، ریز استخراج فاز جامد (SPME) [۱۱]، استخراج جذبی میله چرخان (SBSE) [۱۲]، ریز استخراج فیلم نازک (TFME)[۱۳] استفاده می‌شود.

۲- تاریخچه دستگاه طیف سنج تحرک یونی

مطالعات و بررسی‌های اولیه در خصوص شکل‌گیری یون‌ها در فاز گازی مربوط به قرن ۱۸ می‌باشد، هرچند که در سال ۱۹۰۵ لانگوین[2] ، اولین مقاله در خصوص تحرک یون‌ها در میدان الکتریکی را به چاپ رساند[١٤]. در سال ۱۹۷۰ میلادی، دستگاه IMS براي اولین بار توسط کاراسک[3] و کوهن[4] با عنوان پلاسما کروماتوگرافی ابداع شد[۱۵]. محیط عمل حاوی یون‌ها و جدایش یون‌ها بر اساس حرکت‌شان دلایل نام‌گذاری پلاسما کروماتوگرافی بود. هم‌چنین، این تکنیک به علت اعمال میدان الکتریکی برای حرکت یون‌های گازی به نام الکتروفورز گازی نیز شناخته می‌شود. دستگاه طیف‌سنج تحرک یونی، یک تکنیک دستگاهی در فاز گازی و شبیه به اسپکترومتر جرمی زمان پرواز است، با این تفاوت که در فشار اتمسفر کار می‌کند. در سال ۱۳٦۸ هجری شمسی، دستگاه IMS برای اولین بار در ایران توسط المدرسی و همکارانش در دانشکده برق دانشگاه صنعتی اصفهان و مرکز تحقیقات مهندسی وابسته به وزارت جهاد کشاورزی طراحی و ساخته شد[١٦]. تشخیص سریع مقادیر کم مواد منفجره و گازهای شیمیایی خطرناک مورد استفاده در جنگ تحمیلی ۸ ساله، از مهم‌ترین دلایل ساخت دستگاه IMS در ایران بود.

۲-۱ اجزای دستگاه IMS

دستگاه IMS از پنج بخش اصلي تشکیل شده است.

- محفظه تزریق
- منبع یونیزاسیون
- شبکه الکتریکی
- ناحیه شناوری
- سیستم آشکارسازی

پس از تزریق نمونه از محفظه تزریق، نمونه به وسیله گاز حامل یا حلال به ناحیه یونیزاسیون هدایت می‌شود. در منبع یونیزاسیون نمونه به یون در فاز گازی تبدیل می‌شود. در ادامه به عملکرد برخی منابع یونیزاسیون اشاره می‌شود.

شبکه الکتریکی، منجر به انتقال پالسی یون‌ها از منبع یونیزاسیون به ناحیه شناوری می‌شود، سپس یون‌های وارد شده به ناحیه شناوری بر اساس میدان الکتریکي یکنواخت و خطی اعمال شده (۵۰۰ V/Cm-۳۰۰) حرکت کرده و براساس تحرک ذاتی خود (وابسته به جرم، بار، اندازه و شکل یون) به آشکارساز برخورد می‌کنند. با برخورد یون‌ها به آشکارساز سیگنال اولیه‌ای تولید می‌شود که پس از تقویت به کمك تقویت کننده سیگنال، طیف تحرک یوني به وسیله رایانه مشاهده می‌شود[۱۷].

۲-۱-۱ محفظه تزریق

متداول‌ترین محفظه تزریق مورد استفاده در دستگاه IMS، محفظه تزریق گرمایی است که برای تزریق مستقیم نمونه‌های جامد، مایع و گاز با کمترین حجم مرده می‌باشد. در سال ۲۰۱۸ میلادی، به منظور واجذب گرمایی نمونه‌های جذب سطحی شده به وسیله روش استخراج جذبی میله چرخان، محفظه‌ای برای دستگاه IMS طراحی و ساخته شد که به طور مستقیم و با کم‌ترین حجم مرده، آنالیت‌ها از سطح جاذب (در هر شکل) واجذب شده و به منبع یونیزاسیون انتقال می‌یابد[۱۲].

[1] Ion Mobility Spectrometry (IMS)
[2] Langevin
[3] Karasek
[4] Cohen

از معایب محفظه‌های تزریق گرمایی، عدم استفاده آن برای ترکیبات حساس به دما از جمله مواد بیولوژیکی و برخی داروها است. بر این اساس در سال ۲۰۱۸ میلادی به منظور تبخیر کامل ترکیبات شیمیایی حساس به دما، محفظه تزریقی مبنی بر پیزوالکتریک برای دستگاه IMS طراحی و ساخته شد که جهت آنالیز کمی و کیفی برخی ترکیبات شیمیایی از جمله ویتامین B_1، کاربارل[۵] و پروپوکسور[۶] استفاده شد[۱۸].

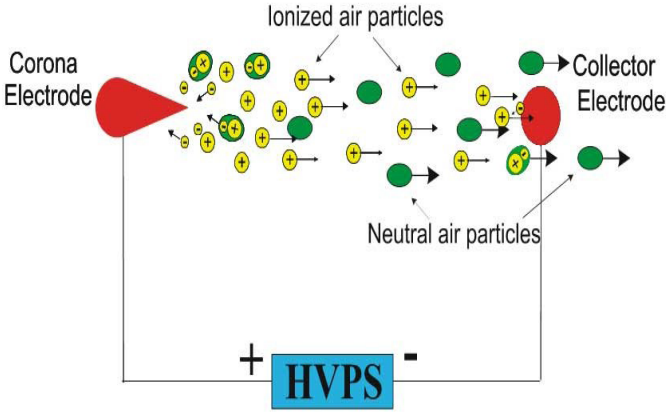
۲-۱-۲- منبع یونیزاسیون

۲-۱-۲-الف- منبع یونیزاسیون رادیواکتیو

متداول‌ترین منبع یونیزاسیون رادیواکتیو در دستگاه IMS، ایزوتوپ Ni^{63} است. که نشر ذرات β (الکترن‌های پرانرژی) عامل یونیزاسیون محسوب می‌شود. الکترون‌هاي پر انرژی نشات گرفته از Ni^{63}، یون‌ها و الکترون‌های ثانویه را تولید می‌کند. $(H_2O)_nH^+$ به عنوان پایدارترین یون واکنش‌گر مثبت، محسوب می‌شود. در اثر واکنش بین مولکول‌هاي آنالیت و یون‌هاي واکنش‌گر، یون‌های دیگري تولید می‌شوند (عموما انتقال پروتون صورت می‌گیرد). $(H_2O)_nO_2^-$ و الکترون‌های نشات گرفته از Ni^{63} به عنوان یون‌های واکنش‌گر منفی هستند که در اثر واکنش آنالیت با آن‌ها، یون منفي از آنالیت تولید خواهد شد. از ویژگی منابع رادیواکتیو می‌توان به عدم نیاز به منبع تغذیه الکتریکي، پایداري و سادگي اشاره کرد. اما با توجه به بازده یونی پائین، سیگنال ضعیف و احتیاج به تست نشت مواد رادیواکتیو، توجه به منابع یونیزاسیون رادیواکتیو کاهش یافت و از منابع یونیزاسیون غیر رادیواکتیو استقبال بیش‌تری شد[۱۹].

۲-۱-۲-ب- منبع یونیزاسیون تخلیه کرونا (CD)

یکی از پرکاربردترین منابع یونیزاسیون غیر رادیوکتیو برای دستگاه IMS منبع یونیزاسیون تخلیه کرونا (CD) است. در این منبع یك سوزن نوک تیز در فاصله ۲ تا ۸ میلی‌متری از یك الکترود حلقه‌ای مخالف قرار دارد و بین سوزن تیز و حلقه مقابل آن یک اختلاف پتانسیل قوی (حدود ۲ تا ۳ کیلو ولت) برقرار می‌شود. به علت عدم تقارن دو الکترود، در نوک سوزن میدان الکتریکی غیر یکنواخت شدیدی ایجاد می‌شود و منجر به شتاب الکترون‌ها (تخلیه الکتریکی) و در برخورد با مولکول‌های گازی، باعث یونیزه شدن مولکول‌های گاز و تشکیل الکترون‌های ثانویه می‌شوند. واکنش مولکول‌های آنالیت با یون‌های واکنش‌گر حاصل از تخلیه کرونا، یون‌هایی از آنالیت را ایجاد می‌نماید. با برخورد الکترون می‌تواند یک الکترون از مولکول آنالیتی که در این ناحیه وجود دارد جدا کند و یون مثبت ایجاد کند و یا یون منفی در اثر اتصال الکترون ایجاد شود. با توجه به خاصیت پروتون‌خواهی یا الکترون‌خواهی مولکول‌ها می‌توان از پلاریته مثبت یا منفی تخلیه کرونا در دستگاه IMS استفاده نمود[۱۹]. شکل ۱ شمایی از منبع یونیزاسیون تخلیه کرونا را نشان می‌دهد.



شکل۱: شمایی از منبع یونیزاسیون تخلیه کرونا[۲۰]

از مهم‌ترین مشکلات استفاده از منبع یونیزاسیون تخلیه کرونا متداول در دستگاه IMS، تولید برخی یون‌های منفی از جمله NOx^- و CO_3^- در پلاریته منفی می‌باشد. مهم‌ترین معایب این گونه‌های منفی در پلاریته منفی دستگاه IMS عبارتند از: الف) هم‌پوشانی پیک آنالیت با پیک‌های حاضر در طیف زمینه دستگاه که امکان اندازه‌گیری یون‌های آنالیت وجود ندارد. ب) با توجه به قدرت الکترون‌خواهی بالای این یون‌های منفی از یونیزاسیون مولکول‌های دیگر جلوگیری می‌شود و منجر به کاهش شدید حساسیت می‌شود. پ) با متصل شدن این یون‌های منفی مزاحم به مولکول‌های آنالیت و تشکیل خوشه‌های یونی مختلف، طیف تحرک یونی حاصل پیچیده شده و تفسیر آن مشکل می‌شود. ت) با وجود سیگنالی مزاحم ناشی از یون‌های منفی در طیف زمینه دستگاه، امکان آنالیز گازهایی همچون NOx و SOx و COx وجود ندارد. برای حل مشکلات تخلیه کرونای منفی در هوا راه‌های مختلفی ارائه شده است الف) استفاده از تخلیه کرونای پالسی به جای پیوسته است[۲۱]. ب) استفاده از نیتروژن خالص به

[۵] Carbaryl
[۶] Propoxur

جای هوا به عنوان گاز غیر رباینده الکترون که سبب تولید حجم زیادی از الکترون می‌شود و حتی اگر مولکول‌های آنالیت الکترون خواهی پایینی داشته باشد می‌توانند در حضور حجم زیادی از الکترون یونیزه و شناسایی شود. طرح‌های ارائه شده در حذف یون‌های منفی مزاحم در طیف زمینه دستگاه IMS در پلاریته منفی، کاملا موفق نبوده و مزاحمت‌ها هم‌چنان باقی است[۲۲]. اما در سال ۱۳۹۲ هجری شمسی به منظور جلوگیری از تشکیل یون‌های منفی از جمله NOx در منبع یونیزاسیون تخلیه کرونا منفی از طراحی منحصر به فردی استفاده شد که منجر به افزایش بی‌نظیر حساسیت دستگاه در حضور گاز نیتروژن و هوا بدون مزاحمت یون‌های منفی می‌گردد که جزئیات این طرح در شماره اختراع ۷۹۲۵۳ در تاریخ ۱۳۹۲/۰۲/۰۲ به ثبت رسیده است[۲۳].

۲-۱-۲-پ- منبع یونیزاسیون الکترواسپری (ESI)

این روش یکی از روش‌های یونیزاسیون نرم می‌باشد. در سال ۱۹۷۲ میلادی، دول[۷] و همکارانش برای اولین‌بار از الکترواسپری به عنوان منبع یونیزاسیون برای دستگاه طیف‌سنج تحرک یونی استفاده کردند[۲۴]. تحقیقات زیادی قابلیت استفاده از این منبع یونیزاسیون برای IMS در آنالیز ترکیبات نیمه فرار و غیر فرار مثل آلاینده‌های محیط زیست[۲۵]، داروها[۱]، مواد بیولوژیکی[۲] و مواد منفجره[۲۶] را اثبات کرد.

در این روش، نمونه مایع به‌وسیله یک پمپ به داخل یک سوزن تزریق می‌شود. در مقابل سوزن یک الکترود با بار مخالف قرار دارد که با اعمال پتانسیل بین آن‌ها، مایع به صورت قطره‌های باردار درآمده و الکترواسپری تشکیل و پایدار می‌شود. در ESI نمونه به صورت مایع و به‌طور مستقیم وارد دستگاه می‌شود. در این منبع، علاوه بر تولید یون‌های مختلف آنالیت، نمونه مورد نظر از فاز مایع به فاز گاز تبدیل می‌شود[۷۲]. شکل ۲ شمایی از دستگاه طیف‌سنج تحرک یونی با منبع یونیزاسیون الکترواسپری را نشان می‌دهد.

۲-۱-۳- شبکه الکتریکی

شبکه الکتریکی، بین ناحیه یونیزاسیون و ناحیه شناوری قرار دارد. کار شبکه ایجاد میدان الکتریکی برای به دام انداختن یون‌ها و جلوگیری از نفوذ آن‌ها به ناحیه شناوری است و به صورت پالسی یون‌ها را از ناحیه یونیزاسیون به ناحیه شناوری منتقل می‌کند. شبکه مورد استفاده در دستگاه از نوع دریچه برادبری و نیلسون[۸]، با قطر داخلی ۲۱ میلی‌متر می‌باشد. شبکه الکتریکی، از ۲۶ سیم با قطر ۵۰ میکرومتر که از نظر الکتریکی از هم جدا شده‌اند. فاصله بین آن‌ها ۰/۷۵ میلی‌متر است. با استفاده از یک دستگاه مولد پالس در لحظاتی کوتاه (به طور میانگین ۲۰۰ میکروثانیه)، پتانسیل اعمالی بین سیم‌های مجاور با پتانسیل مرجع یکسان می‌شود و دریچه باز شده و یون‌ها عبور کنند. هم‌چنین اگر به سیم‌های مجاور پتانسیلی در حد ۸۵ ولت (نسبت به پتانسیل مرجع) اعمال شود، یک میدان الکتریکی با مقدار تقریبی ۲۲۰۰ ولت بر سانتی‌متر به صورت قائم بر میدان شناوری طیف سنج تحرک یونی اعمال می‌گردد و دریچه برای عبور یون‌ها بسته می‌شود. زمان اعمال پالس بین ۴۰ تا ۵۰۰ میکروثانیه قابل تنظیم است. با کاهش زمان پالس، قدرت تفکیک یون‌ها بیش‌تر شده، ولی حساسیت دستگاه کم می‌شود.

۲-۱-۴- ناحیه شناوری

بعد از شبکه الکتریکی که عبور پالسی یون‌ها را هدایت می‌کند، ناحیه شناوری وجود دارد. طول این ناحیه به طور تقریبی ۱۱ تا ۱۸ سانتی‌متر می‌باشد. اختلاف پتانسیلی در حدود ۷۰۰۰ ولت اعمال می‌شود که منجر به تولید میدان الکتریکی یکنواخت و خطی (۳۰۰ تا ۵۰۰ ولت بر سانتی‌متر) در این ناحیه می‌گردد. با ورود یون‌ها به این ناحیه، براساس جرم، بار، اندازه و شکل شتاب گرفته و جداسازی می‌شود.

۲-۱-۵- آشکارساز[۹]

آشکارسازهای مختلفی از جمله فنجانک فارادی و تکثیرکننده الکترونی[۱۰] در دستگاه IMS استفاده می‌شود اما متداول‌ترین آشکارساز مورد استفاده فنجانک فارادی است. صفحه استیل با قطر ۲۱ میلی‌متر که در انتهای ناحیه شناوری قرار دارد و در اثر برخورد گونه‌های یونی به آشکارساز، سیگنالی که حاصل از تخلیه الکتریکی است، به وجود می‌آید. سیگنال آنالوگ اولیه تشکیل شده توسط تقویت کننده سیگنال تقویت شده (10^8 A/V) و با مبدل آنالوگ به دیجیتال[۱۱]، به سیگنال دیجیتال تبدیل و توسط رایانه نمایش داده می‌شود.

۲-۲- مزایای دستگاه IMS

از مهم‌ترین و اصلی‌ترین برتری دستگاه IMS که آن را از دیگر دستگاه‌های آنالیز شیمیایی جدا می‌کند عبارتند از:

الف) زمان پاسخ و سرعت آنالیز بسیار سریع (~۵ S)

ب) امکان آنالیز کیفی و کمی ترکیبات شیمیایی متنوع

ج) قابل حمل بودن

د) حساسیت بالا (در حد پیکوگرم) و دقت بالا

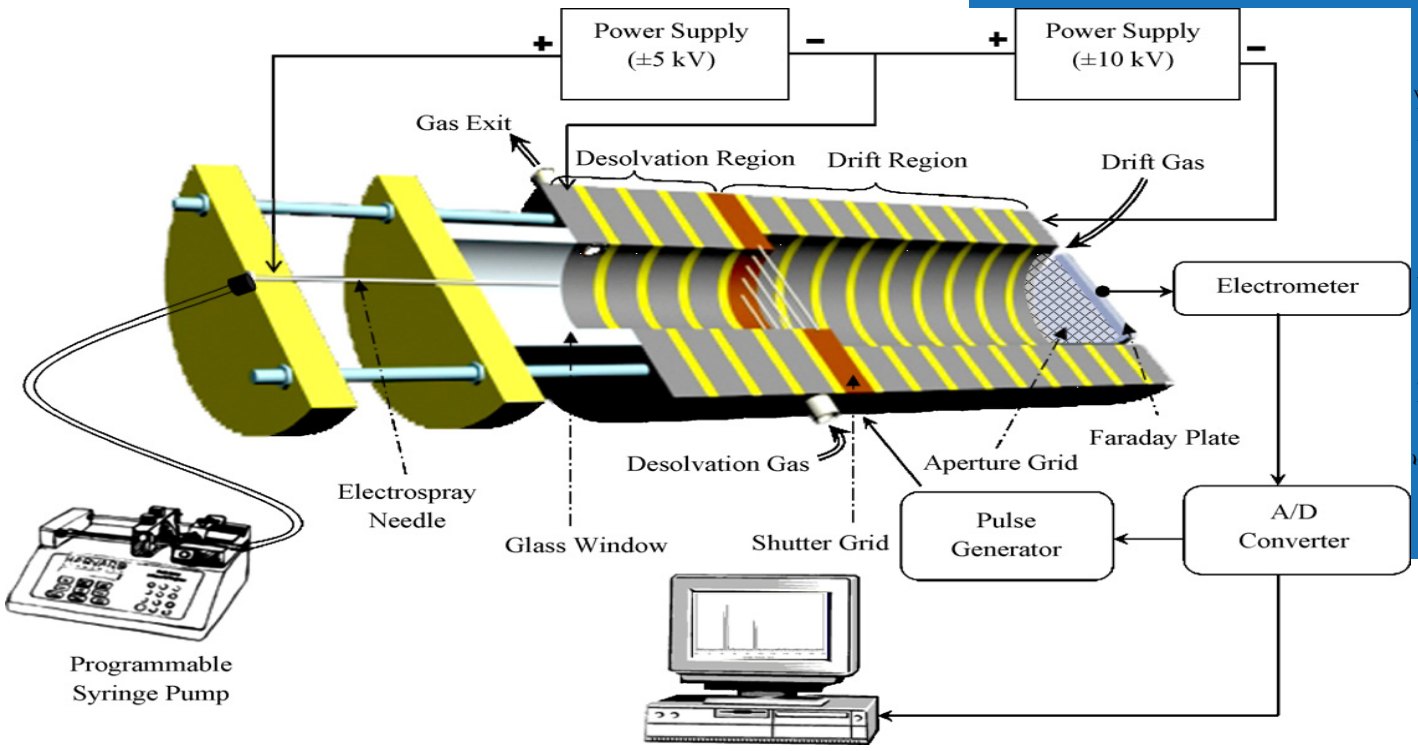
ه) در فشار اتمسفر کار می‌کند و برخلاف طیف سنج جرمی نیاز به خلا ندارد.

و) تزریق مستقیم نمونه‌های جامد، مایع و گاز

ز) امکان آنالیز مواد در پلاریته مثبت و منفی

---

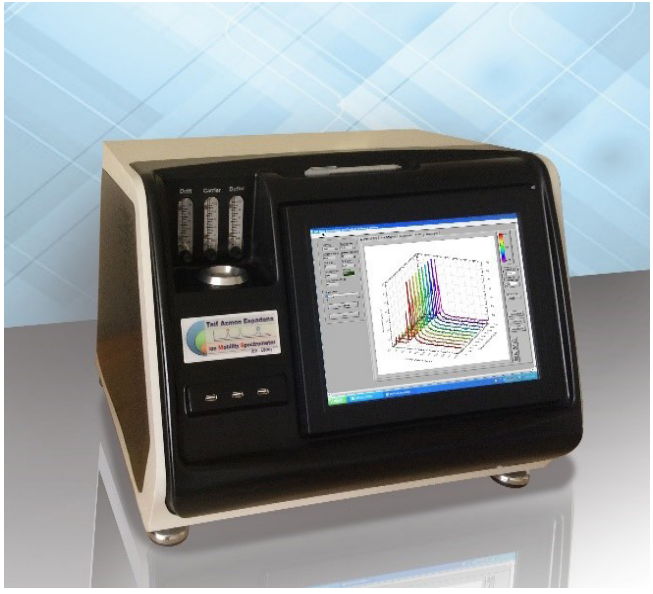
[۷] Dole
[۸] Baradbury and Nielsen's Gate
[۹] Faraday Cup
[۱۰] Electron Multiplier
[۱۱] Analog to Digital Converter



شکل ۲: شمایی از دستگاه طیف سنج تحرک یونی با منبع یونیزاسیون الکترواسپری[۲۷]

شکل ۳ شمایی از دستگاه IMS با منبع یونیزاسیون تخلیه کرونا (CD-IMS) و مجهز به نمایشگر لمسی ۱۵ اینچی است که تمام پارامترهای اعمالی دستگاه به صورت لمسی تنظیم می‌گردد، را نشان می‌دهد.

این دستگاه توسط شرکت ایرانی دانش بنیان طیف آزمون اسپادانا[۱۲] طراحی و ساخته شده است[۲۸] و هم اکنون در برخی از دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی داخل و خارج از کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۳: شمایی از دستگاه CD-IMS طراحی و ساخته شده

توسط شرکت طیف آزمون اسپادانا [۲۸]

[۱۲] Teif Azmon Espadana

۲-۳- کاربرد دستگاه IMS

دستگاه طیف‌سنج تحرک یونی می‌تواند براي آنالیز کمی و کیفی ترکیبات شیمیایی زیر استفاده شود:

-گازهای شیمیایی (NOx، SOx، O_2، CO، CO_2 ، HCN و هالوژن‌ها)

-مواد منفجره (TNT، DNT، PETN، HMX، RDX، NG و...)

-داروهای غیرمجاز (متامفتامین، مورفین، کدئین، کوکائین، هروئین، متادون و...)

-داروهای مجاز (استامینوفن، ایمیپرامین، دسیپرامین، تریمیپرامین، ریواستیگمین، فنازوپیریدین، پیوگلیتازون و...)

-آمین‌های بیولوژیکی (هیستامین، تیرامین و...)

-سموم کشاورزی {آفت‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و کنه‌کش‌ها} (دیازینون، کلروپیریفوس، مالاتیون، پاراتیون، اتیون، مولینیت، پروپوکسور، سوین، دی کلرووس، تری فلورالین، فنیتروتیون و...)

-آنتی‌بیوتیک‌ها (کلرامفنیکل، فورازولیدون، انروفلوکساسین و...)

-آلاینده‌های شیمیایي متنوع در فضای زیست محیطی، آب، مواد غذایی و بافت‌های زیستی مختلف

-جداسازی و شناسایی ایزومرهای ساختاری

۳- نتیجه‌گیری

طیف‌سنج تحرک یونی به عنوان تکنیک مناسب و نوین برای آنالیز کمی و کیفی ترکیبات شیمیایی فرار و نیمه فرار مختلفی از قبیل داروهای مجاز و غیر مجاز، مواد بیولوژیکی، مواد منفجره، آلاینده‌های زیستی، سموم، گازهای شیمیایی می‌باشد. با استفاده از منابع یونیزاسیون مختلف می‌توان، ترکیبات با ویژگی‌های ساختاری مختلف را یونیزه و سپس با دستگاه IMS آنالیز کرد. حساسیت بالا، زمان آنالیز بسیار کوتاه و عدم نیاز به خلا از مزیت‌های اصلی این تکنیک نسبت به دیگر تکنیک‌های آنالیز شیمیایی است. با ترکیب روش‌های آماده‌سازی نمونه یا روش‌های جداسازی از قبیل کروماتوگرافی گازی یا مایع با دستگاه IMS، می‌توان گزینش پذیری آن را افزایش داد.

مراجع

[1] Jafari, M. T., Saraji , M., and Sherafatmand, H., (2010). Hollow fiber-based liquid–liquid–liquid microextraction combined with electrospray ionization-ion mobility spectrometry for the determination of pentazocine in biological samples. Journal of Chromatography A, (1217), 5173–5178.

[2] Beegle, L. W., Kanik, L., Hill Jr, H. H., and Matz, L. (2002) Effects of drift-gas polarizability on glycine peptides in ion mobility spectrometry. International Journal of Mass Spectrometry, (216)3, 257-268.

[3] Azadkish, K., Ghaziaskar, H. S., and Jafari, M. T. (2017) Performance evaluation of oxygen adsorbents using negative corona discharge–ion mobility spectrometry. Analytica Chimica Acta, (953), 32-39.

[4] Jafari, M. T., Khayamian, T., and Tabrizchi, M. (2003) Analysis of 2, 4, 6-trinitrotoluene, pentaerythritol tetranitrate and cyclo-1, 3, 5-trimethylene-2, 4, 6-trinitramine using negative corona discharge ion mobility spectrometry. Talanta, (59)2, 327-333.

[5] Khademi, S. M. S., Tabrizchi, M., Telgheder, U., Valadbeigi, Y., and Ilbeigi, V. (2017) Determination of MTBE in drinking water using corona discharge ion mobility spectrometry. International Journal for Ion Mobility Spectrometry, (20)1-2, 15-21.

[6] Jafari, M. T., Rahmanian, F., and Rezayat, M. R. (2019) Thin film nanofibers containing ZnTiO3 nanoparticles for rapid evaporation of extraction solvent: application to the preconcentration of chlorpyrifos prior to its quantification by ion mobility spectrometry. Microchimica Acta, (186), 35.

[7] Cavanna, D., Dall'Asta, C., Zanardi, S., and Suman, M. (2019) Ion mobility spectrometry coupled to gas chromatography: a rapid tool to assess eggs freshness. Food Chem, (271), 691–696.

[8] Guo, J., Guo, J., Jia, X., Liu, W., Lu, Y., Tian, P., and Yu, J. (2019) Two-dimensional analysis of phenolic acids in seedling roots by high performance liquid chromatography-electrospray ionization-ion mobility spectrometry. Analytical Methods, (11), 610-617.

[9] Ebrahimi, A., and Jafari, M. T (2015) Negative corona discharge-ion mobilityspectrometry as a detection system for low density extraction solvent-based dispersive liquid–liquid microextraction. Talanta, (134), 724–731.

[10] Aguilera-Herrador, E., Cárdenas, S., Márquez-Sillero, I., Valcárcel, M. (2011) Determination of 2,4,6-tricholoroanisole in water and wine samples by ionic liquid-based single-drop microextraction and ion mobility spectrometry. Anal Chim Acta, (702), 199–204.

[11] Jafari M. T., Mossaddegh, M., and Saraji, M. (2016) Halloysite nanotubes-titanium dioxide as a solid-phase microextraction coating combined with negative corona discharge-ion mobility spectrometry for the determination of parathion. Analytica chimica acta, (926), 55-62.

[12] Jafari, M. T., Mossaddegh., M., and Rezayat, M. R. (2018) Design and construction of an injection port for coupling stir-bar sorptive extraction with ion mobility spectrometry. Talanta, (178), 369-376.

[13] Hashemian, Z., Khayamian, T., and Saraji, M., (2015) Anticodeine aptamer immobilized on a Whatman cellulose paper for thin-film microextraction of codeine from urine followed by electrospray ionization ion mobility spectrometry. Analytical and Bioanalytical Chemistry, (407), 1615–1623.

[14] Stach, J., Baumbach, J. I. (2002) Ion Mobility Spectrometry - Basic Elements and Applications, International Journal for Ion Mobility Spectrometry,)5), 1-21.

[15] Cohen, M. J., Karasek, F. W. (1970) Plasma chromatography-a new dimension for gas chromatography and mass spectrometry. Journal of Chromatographic Science, (8), 330-337.

[۱۶] الحسيني المدرسي، سيدمحمدتقي. (۱۳۶۸) طراحي سيستم بازشناخت نماد طيف تحرك يون. پايان‌نامه كارشناسى ارشد. دانشكده برق و كامپيوتر. دانشگاه صنعتي اصفهان. اصفهان. ايران

[17] Jafari, M. T., and Riahi, F. (2014) Feasibility of corona discharge ion mobility spectrometry for direct analysis of samples extracted by dispersive liquid–liquid microextraction. Journal of Chromatography A, (1343), 63–68.

[18] Jafari, M. T., and Ramazani, S. (2018) Design of an ultrasonic piezoelectric injection port for analysis of thermally unstable compounds using corona discharge ion mobility spectrometry. Analytica Chimica Acta, (1038), 79-86.

[19] Eiceman, G. A., Hill Jr, H. H., and Karpas, Z. (2016) Ion Mobility Spectrometry, third ed., CRC Press, Taylor & Francis Group.

[20] https://labs.ece.uw.edu/seal/projects/EFAproject/mb&t.html.

[21] Hill, C. A., and Thomas, C. L. P. (2003) A pulsed corona discharge switchable high resolution ion mobility spectrometer-mass spectrometer. Analyst, (128), 55–60.

[22] Ewing, R.G., and Waltman, M.J. (2009) Mechanisms for negative reactant ion formation in an atmospheric pressure corona discharge, International Journal for Ion Mobility Spectrometry, (12), 65-72.

[23] Jafari, M.T. (2013) Iranian Patent 79253.

[24] Cox Jr, J., Dole, M., Gieniec, M. L., and Teer, D., (1972) 20th Annual Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics, Dallas, TX, June 4–9.

[25] Atkinson, D. A., Dwivedi, P., Hill Jr, H. H ., and Matz, L.

a rapid analytical method for aqueous nitrate and nitrite analysis. Analyst, (129), 139-144.

[26] Hilton, C. K., Krueger, C. A., Midey, A. J., Osgood, M., Wu, J., and Wu, C. (2010) Improved analysis of explosives samples with electrospray ionization-high resolution ion mobility spectrometry (ESI-HRIMS). International journal of mass spectrometry, (298), 64-71.

[27] Jafari, M. T. (2009) Improved design for high resolution electrospray ionization ion mobility spectrometry. Talanta, (77)5, 1632-1639.

[28] Teif Azmon Espadana Company, Isfahan science and technology town, Isfahan city, Isfahan province, Iran, Website: www.teifazmon.com, E-mail: teifazmon@gmail.com, Tel: 031-33913259.