کاربردهای فن آوری طیف سنجی جرمی در آزمایشگاه‌های تشخیص طبی



● دکتر اسماعیل صدرالدینی

دکتـــرای تخصصـــی بیوتکنولوژی پزشـــکی

عضو هیات علمی دانشگاه علوم پزشکی تهران

sadroddiny@sina.tums.ac.ir

❑ خلاصه

آزمایشـــگاه‌های تشـــخیصی بالینـــی در جهـــت افزایش بهره‌وری و توســـعه کیفیت خدمات آزمایشـــگاهی ناچارند پا بـــه پای فن آوری هـــای روز دنیا پیـــش بروند. در این راستا اســـتفاده از فن آوری طیف ســـنجی جرمی می‌تواند یک نقطه عطف باشد. پیشرفت‌های اخیر در حوزه تجهیزات طیف ســـنجی جرمی و ســـازگار کردن آن‌ها با کاربردهای تشـــخیصی سبب شـــده تا تعداد قابل توجهی از تست‌های آزمایشـــگاهی بر مبنای این فن آوری توسعه یابند. افزایش دقت و حساسیت بالا این تجهیزات می‌تواند به سرعت آن‌ها را جایگزین روش‌های مرسوم آزمایشگاهی کند. لذا آشنایی متخصصین آزمایشـــگاهی با این فن آوری و کاربردهای آن می‌تواند این فرآیند را تسهیل نماید.

در این مقاله به معرفی این فن آوری پرداخته و کاربردها و چالش‌های آن در حوزه تشـــخیص آزمایشگاهی را مطرح خواهیم کرد.

کلمـــات کلیـــدی: طیـــف ســـنجی جرمـــی، Mass spectrometry، تشخیص آزمایشگاهی، کاربرد

❑ مقدمه

فن آوری طیف سنجی جرمی (Mass Spectrometry (MS)) سال‌هاســـت که به عنوان یک فن آوری برتـــر در حوزه آنالیز مولکولی مورد استفاده واقع می‌شـــود (۱). MS یک تکنیک تحلیلی پیچیده اســـت که در آن اجزای یک نمونه بر اســـاس نســـبت جرم به بار الکتریکی (m/z) از هم جدا می‌شوند. این روش برای تجزیه و تحلیل شـــیمیایی کمی و کیفی ترکیبات نمونه استفاده می‌شـــود. طیف سنجی جرمی همچنین برای شناسایی ترکیبات ناشـــناخته با تعیین وزن مولکولی، تعیین کمیت ترکیبات شناخته شده و روشن کردن خواص ساختاری و شیمیایی اجزای مولکولی استفاده می‌شود.

این تکنیک در طول ســـالیان تغییرات فراوانی داشته، به نحـــوی که می‌توان طیف کاربـــری آن را به تمام مولکول‌ها از جمله مولکول‌هـــای بیولوژیک مانند پروتئین‌ها، لیپیدها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک نیز تعمیم داد. در حال حاضـــر فرم LC-MS/MS که تلفیقی از تکنیک HPLC و طیف سنجی جرمی است کاربرد فراوانی در آزمایشگاه‌های تشخیصی یافته است (۵-۲). برای آن که یک زمینه فکری اولیه درباره این تکنیک داشـــته باشیم ابتدا بخش‌های کلی یک دســـتگاه طیف ســـنج جرمی را توضیح داده و ســـپس به طـــور خلاصه برخی از انـــواع آن را توضیح می‌دهیم. در نهایت با توجه به هدف این مقاله در تشریح کاربردهای این فن‌آوری در آزمایشگاه‌های تشخیص طبی به کاربردها، مزایا و برخی از محدودیت‌های این فن آوری پرداخته می‌شود.

❑ بخش‌های کلی دستگاه طیف سنج جرمی

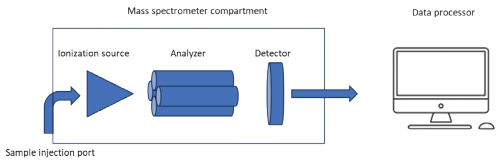
یک طیف سنج جرمی با دارا بودن بخش‌های زیر با تبدیل نمونه به یون (یون‌ها) در منبع یونیزاســـیون، جداسازی این یون‌ها بر اســـاس نســـبت m/z، قطعه قطعه کردن یون‌ها و

[Downloaded from labdiagnosis.ir on 2026-11-13]

تجزیه و تحلیل آن‌ها در آنالیزور جرمی کار می‌کند. سپس سیستم آشکار ساز، سیگنال‌های الکتریکی را شناسایی و پردازش کرده و فراوانی آن‌ها را اندازه گیری می‌کند. اجزای مرتبط عبارتند از:

۱- منبع یونیزاسیون

منبع یونیزاسیون به عنوان اولین بخش طیف سنج جرمی شناخته می‌شود. در اینجا یا یک الکترون حذف می‌شود یا پروتون اضافه می‌شود و در نتیجه مولکول به صورت منفی یا مثبت باردار می‌گردد. یونیزاسیون در یک فاز گازی انجام می‌شود تا بتوان آن‌ها را در میدان الکتریکی و مغناطیسی به حرکت درآورد و جداسازی کرد. روش‌های مختلفی برای یونیزه کردن مولکول‌ها در دستگاه طیف سنج جرمی به کار گرفته می‌شود و بر همین اساس این بخش نام های مختلفی ممکن است به خود بگیرد. برای مثال یک نوع رایج از انواع روش‌های یونیزاسیون، یونیزاسیون بر مبنای اسپری در میدان الکتریکی است که به آن Electrospray ionization و یا به طور مخفف ES گفته می‌شود. ممکن است یونیزاسیون با واسطه تاباندن لیزر به مولکول اتفاق بیافتد که نوع MALDI با این روش کار می‌کند.



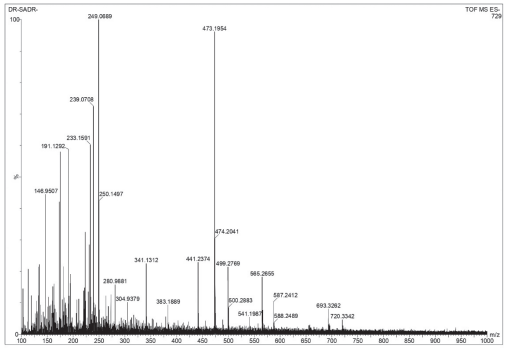
تصویر ۱: بخش‌های اصلی دستگاه طیف سنج جرمی به صورت شماتیک

۲- آنالیزور

پس از یونیزه شدن، یون‌ها بر اساس نسبت جرم به بار الکتریکی‌شان (m/z) در آنالایز جداسازی می‌شوند. انواع آنالیزورهای جرمی موجود است. دو نوع از آنالیزورها که کاربرد فراوانی در آزمایشگاه‌های تشخیصی یافته است نوع چهار قطبی (Quadropole) و زمان پرواز (Time of flight (TOF)) هستند. آنالیزورهای جرمی از نظر الزامات عملیاتی مانند سرعت عملکرد و وضوح جداسازی متفاوت خواهند بود. گاهی برای افزایش کارایی آنالایزرها به صورت تلفیقی از دو آنالایزر پشت سر هم استفاده می‌شود که به طور مخفف به دستگاه‌های طیف سنج جرمی حاوی این نوع از آنالایزرها MS/MS گفته می‌شود.

۳- سیستم آشکارساز

آشکارساز با ثبت یون‌های عبوری از آنالایزر، آن‌ها را شناسایی کرده و کمی سازی می‌کند. آشکار ساز معمولاً این کار را در ارتباط با یک سیستم پردازشگر کامپیوتری انجام می‌دهد. در برنامه کامپیوتری یک نمودار طیف جرمی (Mass spectrum) ایجاد می‌شود که نسبت m/z یون‌های موجود در نمونه را در برابر شدت آن‌ها (فراوانی نسبی) رسم می‌کند. هر پیک مربوط به یک نسبت m/z منحصر به فرد در نمونه است و ارتفاع پیک، فراوانی نسبی اجزای موجود در نمونه را نشان می‌دهد.



تصویر ۲: طیف جرمی یا Mass Spectrum: در این تصویر محور X جرم‌های شناسایی شده و محور Y شدت هر جرم را نشان می‌دهد که البته به صورت درصد نرمالایز شده است.

❑ تلفیق دو فن آوری های کروماتوگرافی و طیف سنجی جرمی

با توجه به قابلیت فوق العاده فن آوری طیف سنجی جرمی در شناسایی مولکول‌های بر اساس جرم مولکولی و نیز بررسی ساختاری مولکول‌ها، می‌توان این روش را به عنوان یک روش بسیار دقیق و اختصاصی برای شناسایی

[Downloaded from labdiagnosis.ir on 2026-11-13]

مولکول‌ها در نظر گرفت. به عبارتی در این روش مولکول‌ها به اجزای سازنده خود تقسیم شده و سپس از آن‌ها به عنوان اثر انگشت اختصاصی استفاده می‌شود که احتمال تشخیص غلط را به حداقل می‌رساند. با این حال این روش یک نقطه ضعف اساسی نیز دارد. به عبارتی اگر تمام مولکول‌ها به یکباره وارد بخش یونیزان شوند و تبدیل به یون گردند آنقدر تعداد یون‌ها زیاد بوده که گاها حضور یون‌های مشابه می‌تواند شناسایی مولکول‌های اولیه را دشوار نماید. برای حل این مشکل باید مولکول‌های خالص وارد دستگاه شوند و یا از یک روش مانند کروماتوگرافی (کروماتوگرافی گاز-GC یا کروماتوگرافی مایع-HPLC) برای ورود تدریجی مولکول‌ها به دستگاه استفاده گردد. بر این اساس دستگاه‌های GC-MS و LC-MS طراحی و ساخته شده‌اند. در عین حال اگر دستگاه طیف سنج جرمی به کار گرفته در این روش دارای دو آنالایزر باشد به آن GC-MS/MS یا LC-MS/MS گفته می‌شود.

❑ کاربرد طیف سنجی جرمی در آزمایشگاه‌های تشخیصی

با توضیحاتی که در خصوص اساس عملکرد دستگاه طیف سنج جرمی داده شده می‌توان حدس زد که این دستگاه می‌تواند کاربرد وسیعی در آزمایشگاه‌های تشخیصی داشته باشد. در حال حاضر آنالیزهای مولکولی در آزمایشگاه‌های تشخیصی عمدتاً بر مبنای طیف سنجی نوری و ارزیابی‌های ایمنی (Immunoassay) انجام می‌شود. به عبارتی در این روش‌ها معمولاً مولکول مورد نظر یک طیف جذبی اختصاصی داشته و یا در واکنش با ترکیبات شیمیایی دیگر و یا در اتصال به آنتی بادی اختصاصی که آن هم یک نشانگر نوری دارد مورد شناسایی و اندازه گیری واقع می‌گردد. واضح هست که این روش‌ها می‌تواند به دلایل متعدد مانند غیر اختصاصی بودن طیف نوری، واکنش‌های تداخلی و گران بودن آنتی بادی محدودیت داشته باشد. در مقابل روش طیف سنجی جرمی به دلیل اختصاصیت فوق‌العاده بالا و نیز عدم نیاز به ترکیبات گران قیمت یک روش برتر محسوب می‌گردد. علاوه بر این در این مقاله می‌خواهم بر روی یک قابلیت استثنایی این روش نیز تاکید نمایم.

این قابلیت "امکان تشخیص با کارآیی بالا" یا به عبارتی High throughput بودن روش طیف سنجی جرمی است.

❑ چرا تشخیص‌های با کارایی بالا اهمیت دارند؟

آزمایشگاه‌های تشخیصی بخش زیادی از درآمد خود را صرف خرید کیت‌های تشخیصی می‌نمایند. این کیت‌ها معمولاً برای ایجاد واکنش‌های اختصاصی با مولکول مورد آنالیز طراحی و ساخته شده‌اند. برای مثال کیت‌های بخش بیوشیمی و یا کیت‌های بخش سرولوژی و ایمونولوژی از جمله این کیت‌ها هستند. دستگاه‌های اتوآنالایزر موجود در بخش بیوشیمی و هورمون شناسی طوری طراحی شده‌اند تا این کیت‌ها با یک برنامه اجرایی مشخص بر روی آن‌هاست آپ گردند و بنابراین برای مثال برای شناسایی ۳۰ مولکول مختلف حداقل ۳۰ نوع کیت و برنامه مجزا برای هر کدام باید موجود باشد. این مشکل در طیف سنجی جرمی به شکل قابل توجه ای حل شده و متدهای طراحی شده می‌توانند چندین مولکول را در یک برنامه اجرایی و پس از یک بار تزریق نمونه در دستگاه شناسایی و اندازه‌گیری نمایند. ضمن آن که مواد به کار رفته در این روش معمولاً مواد نه چندان گران قیمتی از جمله حلال‌ها و بافرها هستند. این قابلیت دستگاه‌های طیف سنج جرمی سبب شده تا حوزه‌های جدیدی در تحقیقات مولکول‌های بیولوژیک ایجاد گردد که به طور کلی به آن حوزه اومیکس (OMICs) می گویند (۶).

استفاده از دستگاه‌های طیف سنج جرمی این امکان را برای آزمایشگاه‌ها فراهم کرده که بتوانند آنالیز همزمان چندین ترکیب مورد سنجش را در یک ران دستگاه انجام دهند. برای مثال ممکن است تمام آنتی بیوتیک های مورد سنجش در خون بیمار فقط با یکبار تزریق نمونه در دستگاه مورد سنجش قرار گیرند یا در مورد دیگر تمام اسیدهای آمینه را می‌توان با یک بار تزریق آنالیز کرد.

❑ کدام بخش‌های آزمایشگاه تشخیصی بیشتر می‌توانند از دستگاه طیف سنج جرمی استفاده کنند؟

همان طور که گفته شد دستگاه طیف سنج جرمی بر مبنای آنالیز مولکولی کار می‌کند. از آنجا که می‌توان تمام

[Downloaded from labdiagnosis.ir on 2026-11-13]

بخش‌های آزمایشـــگاه را به صورت مستقیم یا غیر مستقیم به بحث‌های مولکولی نسبت داد بنابراین می‌توان تصور کرد که این دســـتگاه می‌تواند کاربرد وسیعی در آزمایشگاه‌های تشـــخیصی داشته باشـــد. برخی از این کاربردها از مدت‌ها قبل در آزمایشگاه‌های مرجع و پیشرفته جایگاه خودشان را یافته‌اند. برای مثال به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

۱- تست‌های تشخیص اعتیاد

در آزمایش‌هـــای ســـوء مصرف مواد مخـــدر، GC-MS مدت‌هاســـت که اســـتاندارد طلایی نســـبت به روش‌های بر مبنای ســـنجش‌های ایمنی بوده اســـت. در حال حاضر روش‌های LC-MS/MS نیز با کارایی بالا برای شناسایی و اندازه گیری انواع مواد مخدر به کار گرفته می‌شود. با توجه به تنوع زیاد مواد مخدر، استفاده از روش‌های ارزیابی ایمنی می‌تواند بسیار گران دربیاید. طیف سنجی جرمی شناسایی داروهای ناشـــناخته مورد ســـوء مصـــرف را در نمونه‌های بیولوژیک، از جمله ادرار و ســـرم امکان پذیر می‌کند. با این حال، برای دستیابی به حساسیت و وضوح تحلیلی مطلوب، اکثر ترکیبات مورد نظر نیاز به مشتق سازی دارند تا سازگار با آنالیز GC شوند.

۲- آزمایش‌های غربالگری

تجزیـــه و تحلیل متابولیت ها در مایعات بدن انســـان به دلیـــل تنوع شـــیمیایی و نیز به دلیل پویا بـــودن محدوده غلظـــت آن‌ها، چالش مهمـــی را برای دانشـــمندان بالینی ایجاد کرده است. با این حال، پیشرفت‌های تکنولوژیکی در LC-MS/MS انقلابـــی در تجزیـــه و تحلیل متابولومیک ایجاد کرده اســـت و امکان بررســـی عمیق‌تر متابولوم ها و کشف نشـــانگرهای زیســـتی کلیدی متابولیت های جدید بیماری را فراهم کرده است.

در حـــال حاضـــر بســـیاری از آزمایشـــگاه‌های غرباگری بیماری‌هـــای متابولیک نـــوزادان از این روش بـــرای آنالیز متابولیـــت ها اســـتفاده می‌کننـــد. قریب بـــه ۵۰ بیماری متابولیک در چرخه غربالگری کشورهای توسعه یافته مورد توجه و تشـــخیص قرار می‌گیرند. در ایران متاســـفانه هنوز غربالگـــری به صورت مقررات عمومی و اجباری در نیامده و تعداد بیماری‌های تشـــخیصی نیز حدود ۱۰ بیماری است. حدود یک میلیون نوزاد ســـالانه در کشور متولد می‌شوند و تعداد معدودی آزمایشگاه تشخیصی مجوز غربالگری دارند. به نظر می‌رســـد در صورت اجباری شدن غربالگری نوزادان و نیز افزایش بیماری‌های مورد هدف تا ســـطح جهانی نیاز کشور به این آزمایشگاه‌ها به شدت بیشتر شود.

به طور روتین در این آزمایشـــگاه‌ها سطح خونی/ادراری اســـیدهای آمینه، اسیدهای چرب، آســـیل کارنیتین ها و ارگانیک اســـیدها مورد اندازه گیری واقع می‌شـــود. کارایی بالا روش‌های طیف ســـنجی جرمی این تکنیک را به عنوان تکنیـــک برگزیده در برنامه‌های غربالگری کرده اســـت. لذا می‌توان تصور کرد در سایر برنامه‌های غربالگری- برای مثال غربالگری سرطان- که در برخی از کشورها در حال پیگیری و اجراســـت نیز بتوان از مزایای این روش به راحتی استفاده کرد.

۳- بخش هورمون شناسی

استفاده از این روش در بخش هورمون شناسی نیز جایگاه خود را یافته است. هر چند بسیاری از آزمایشگاه‌های داخلی هنـــوز از روش‌های قدیمی مانند رادیو ایمونواســـی، الایزا و روش‌های کمی لومینسانس اســـتفاده می‌کنند اما به دلیل پر خطر بودن، هزینه بالای کیت‌ها و حساســـیت پایین، این روش‌ها می‌توانند به راحتی با طیف سنجی جرمی جایگزین گردند. همچنین به کارگیری روش طیف ســـنجی جرمی تا حدود زیادی می‌توانـــد از واکنش‌های تداخلی مولکول‌های مشـــابه جلوگیری کند، موضوعی که در روش‌های بر مبنای ایمنی به کرات ممکن است اتفاق بیافتد.

۴- بخش میکروب شناسی

یک بخش دیگر از آزمایشـــگاه‌های تشخیصی که ارتباط خوبی با این روش دارد بخش میکروب شناســـی اســـت. هر چند در آزمایشـــگاه‌های داخلی می‌تـــوان گفت هنوز هیچ آزمایشـــگاهی از مزایای طیف سنجی جرمی برای شناسایی میکروبی اســـتفاده نمی‌کنـــد، اما با تولید و بـــه کارگیری دســـتگاه‌های MALDI-TOF رومیزی به زودی شـــاهد تحولـــی بزرگ در شناســـایی مولکولی و ســـریع باکتری‌ها

[Downloaded from labdiagnosis.ir on 2026-11-13]

خواهیم بود. اساس این تشـخیص بر مبنای شناسایی یک مولکول کاملاً اختصاصی سویه و گونه در باکتری است (۷). به ایـن روش می‌توان بدون آن که نیاز به کشـت باکتری باشد و تنها بر اسـاس حضور تعداد اندک باکتری در نمونه و شناسـایی این مولکول‌ها در عرض چنـد دقیقه باکتری بیماری زا را شناسـایی کرد. این فرآیند از نظر نیروی کار و هزینه‌های مربوطه مقرون به صرفه بوده و یک روش سـریع و حساس است.

در حال حاضر، میکرو ارگانیسم‌ها با استفاده از روش‌های متنوعی مانند کشـت و شناسـایی بر مبنـای واکنش‌های شیمیایی، روش‌های بر مبنای واکنش‌های ایمنی، توالی یابی ژن‌های 16S rRNA و 18S rRNA و روش‌های مولکولی بر مبنای PCR شناسایی می‌شوند. با این حال، در سال‌های اخیر، طیف سنجی جرمی (MALDI-TOF MS) به عنوان ابزاری بالقوه برای شناسایی و تشخیص میکروبی ظهور کرده است. در طول فرآیند MALDI-TOF MS، میکروب‌ها با استفاده از سلول‌های سـالم یا عصاره‌های سلولی شناسایی می‌شـوند. این فناوری به راحتی توسط میکروبیولوژیست‌ها برای اهداف مختلفی مانند شناسـایی میکروبی و تایپینگ سـویه‌ها، مطالعات اپیدمیولوژیک، تشخیص عوامل جنگ بیولوژیکی، تشـخیص پاتـوژن های منتقلـه از آب و غذا، تشـخیص مقاومت آنتی بیوتیکی و تشـخیص پاتوژن های خون و دستگاه ادراری مورد استفاده است.

۵ - آنالیز دارویی

تسـت‌های مانیتورینگ دارویی نیز از جمله تسـت‌های روتیـن در آزمایشگاه‌هاسـت. این تسـت‌ها اغلـب برای کنترل دوز داروی مصرفی توسـط پزشک بسیار با اهمیت بـوده و باید در مدت زمان کوتاهـی انجام گردد. در پایش داروهـای درمانـی، ماننـد داروهای ضد صـرع، داروهای سرکوب‌کننده های سیستم ایمنی و عوامل آلکیله کننده، از LC-MS/MS به خوبی اسـتفاده می‌شود. حتی در برخی موارد، برای تعییـن مقدار داروهای بـدون کروموفورها یا فلوروفورهـای طبیعـی این روش ممکن اسـت تنها روش مناسب باشد.

بـا ایـن حـال، LC-MS/MS تکنیکـی پیچیده‌تر از جایگزین‌هایـی مانند سـنجش‌های ایمنی اسـت و مانند سایر حوزه‌های تشـخیصی، آزمایشـگاه‌ها ملزم به رعایت دستورالعمل‌های نظارتی محلی و استانداردهای بین المللی هنگام توسـعه و اعتبارسـنجی این فناوری به عنوان یک آزمایش توسعه یافته آزمایشگاهی هستند.

داروهایـی که معمولاً توسـط GC-MS کمی سـازی می‌شـوند عبارتند از: باربیتورات ها، مواد مخدر، محرک‌ها، داروهای بیهوشی، داروهای ضد تشنج، داروهای ضد صرع، داروهای خواب آور آرام بخش و آنتی هیستامین‌ها.

دسـتگاه طیف سـنج جرمی در این خصـوص می‌تواند ضمن آنالیز همزمان چندین دارو، زمان پاسخ دهی را بسیار کاهش دهد و با حساسـیت بسیار بالا مقادیر بسیار کم دارو را نیز آنالیز نماید. بسیاری از شرکت‌های دارویی در مرحله آنالیز عملکردی دارو و تعیین دوز مؤثر و نیز تعیین کینتیک دارو از این روش اسـتفاده می‌کنند. با توجه به حساسـیت بالای این روش نسبت به HPLC به نظر می‌رسد به سرعت مقررات سـازمان غذا و دارو برای صـدور مجوزات مصرف دارویی تنها بر مبنای تست‌های LC-MS موکول گردد.

۶- سم شناسی

حدود مجاز سموم برای بدن معمولاً بسیار پایین است. به همین دلیل تشـخیص و اندازه گیری سموم در مواد غذایی و یا نمونه‌های بیولوژیک برای تعیین دلایل مسـمومیت و مرگ در بسـیاری از مواقع با اسـتفاده از روش‌های مرسوم آزمایشـگاهی امکان پذیر نیست. در این مواقع روش طیف سنجی جرمی یک روش گلد اسـتاندارد به حساب می‌آید. در حال حاضر اسـتفاده از این فن آوری در آزمایشگاه‌های پزشـکی قانونی و نیز آزمایشـگاه‌های مواد غذایی بسـیار مرسوم است.

در سـم شناسـی محیطی، GC-MS بـرای غربالگری طیف وسیعی از ترکیبات سمی مانند: کلروفنل ها در آب و خاک یـا هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAH)، دیوکسین ها، دی‌بنزوفوران ها، آفت کش های آلی کلردار، علف‌کش‌ها، فنل ها، آفت‌کش‌های هالوژنه و آنالیز گوگرد در هوا استفاده می‌شود.

در آزمایشگاه‌های تشـخیصی به دلیل اختصاصیت بالاتر

[Downloaded from labdiagnosis.ir on 2026-11-13]

تشخیص MS در مقایسه با سنجش‌های اسپکتروفتومتری آنزیمی، GC-MS گاهی اوقات برای شناسایی و تعیین مقدار مواد فرار (مانند اتانول، متانول، استون، ایزوپروپانول و اتیلن گلیکول) در مایعات بدن مانند خون و ادرار استفاده می‌شود.

۷- شناسایی فلزات سنگین و عناصر

شناسایی و اندازه گیری عناصر از جمله فلزات سنگین در نمونه‌های بیولوژیک می‌تواند با نوع خاصی از طیف سنجی جرمی انجام شود که به آن طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) گفته می‌شود. این روش قادر به تشخیص فلزات در غلظت‌های بسیار پایین، به کوچکی ۱ ppq (یک قسمت در هر کوادریلیون) است. بخش اول این دستگاه (ICP) نمونه را با استفاده از پلاسمای جفت شده القایی یونیزه می‌کند. در این مورد، پلاسما با گرم کردن گاز آرگون تا ۱۰۰۰۰ درجه سانتیگراد ایجاد می‌شود که باعث افزایش خواص رسانایی الکتریکی گاز آرگون و در نهایت تبدیل آرگون از حالت گاز به حالت پلاسما می‌شود. در این حالت عناصر موجود در نمونه یونیزه شده و پس از یونیزه شدن، مولکول‌های تشکیل دهنده نمونه بر اساس نسبت جرم به بار در بخش MS جدا شده و اندازه گیری می‌شوند.

❑ محدودیت‌ها و چالش‌ها

با وجود کاربردهای متعدد و متنوع طیف سنجی جرمی و توسعه کاربری این فن آوری در آزمایشگاه‌های تشخیصی، برخی محدودیت‌ها و چالش‌ها همچنان به کارگیری این روش را تحت تأثیر قرار داده است.

❑ تحریم‌های اقتصادی

تجهیزات طیف سنجی جرمی عمدتاً جزو تجهیزات تحت تأثیر تحریم‌های اقتصادی هستند. متاسفانه با وجود پتانسیل بسیار بالای به کارگیری این تجهیزات در بخش تشخیص و درمان که می‌تواند کیفیت تشخیص را به شدت افزایش دهد، هنوز این تجهیزات در لیست تحریم هستند و شرکت‌های تولید کننده هیچ گونه خدمات تأمین و نگهداری برای ایران ندارند. تأمین برخی از مواد مصرفی این حوزه از جمله استانداردها نیز ممکن است در عمل با مشکلاتی مواجه باشد.

❑ قیمت تجهیزات و هزینه نگهداری

متاسفانه تجهیزات طیف سنجی جرمی هنوز از جمله تجهیزات بسیار گران قیمت آزمایشگاهی به حساب می‌آیند. در زمان نگارش این مقاله و بر اساس گزارش‌های میدانی خرید یک دستگاه LC-MS/MS دست دوم در بازار ایران مبلغی افزون بر ۱۰۰ هزار دلار نیاز خواهد داشت. علاوه بر این هزینه‌های تعمیرات و نگهداری این تجهیزات در ایران علاوه بر مشکلات ناشی از تحریم‌ها و عدم پشتیبانی توسط شرکت‌های سازنده ممکن است هزینه‌های گزافی را به مصرف کننده تحمیل نمایند. لوازم مصرفی و قطعات قابل تعویض دستگاه عمدتاً وارداتی بوده و متأثر از قیمت دلار می‌باشند.

❑ نیازمندی به نیروی انسانی ماهر

اگر چه تقریباً تمام تجهیزات آزمایشگاهی نیازمند نیروی انسانی با مهارت بالا هستند، اما تجهیزات طیف سنجی جرمی به دلیل وابستگی مستقیم به دانش کاربر برای ست آپ کردن متدهای جدید و نیز کنترل کیفی متدهای موجود نیازمند نیروهای انسانی با سطح دانشی و تجربی بالا می‌باشند. این مساله ممکن است هزینه‌های استخدامی آزمایشگاه‌ها را بالاتر ببرد.

علاوه بر این متاسفانه در کشور هنوز سیستم آموزشی مناسبی برای تربیت کاربران حرفه‌ای طیف سنجی جرمی راه اندازی نشده و تنها تعداد معدودی مرکز خصوصی یا دولتی به صورت منفرد آموزش‌های لازم را ارائه می‌دهند.

❑ اتومات نبودن

آزمایشگاه‌های تشخیصی تمایل زیادی به استفاده از تجهیزات تمام اتومات دارند. با توجه به لود زیاد نمونه‌های

[Downloaded from labdiagnosis.ir on 2026-11-13]

بیماران این یک امر طبیعی است. اما متاسفانه هنوز برخی از مراحل کار در طیف سنجی جرمی مانند آماده سازی نمونه به صورت دستی می‌باشد. البته اقدامات زیادی برای اتومات کردن کل فرآیند در شرکت‌های بزرگ دنیا در حال انجام است و این مسئله ممکن است به زودی تا حدود زیادی رفع گردد.

❑ پیش بینی آینده

با توسعه فن آوری MS و افزایش دقت و تکرار پذیری دستگاه‌ها و از طرفی ست آپ کردن متدهای آنالیز بیومارکرهای مهم بر روی دستگاه‌های MS، این فن آوری به زودی جایگاه ویژه‌ای در آزمایشگاه‌های تشخیصی خواهد یافت. هر چند که در حال حاضر نیز این فن آوری در آزمایشگاه‌های کشورهای توسعه یافته به صورت روتین و گسترده مورد استفاده است با این حال در کشورهای کمتر توسعه یافته، از جمله ایران، گران بودن دستگاه یک مانع اصلی و بازدارنده در گسترش خدمات تشخیصی بر پایه این فن آوری به حساب می‌آید. از طرفی به دلیل تحریم‌های موجود، واردات دستگاه دارای معضلات زیادی است و حتی پس از واردات هم نمی‌توان از بسیاری از کاربری‌های دستگاه استفاده مؤثر کرد. همچنین به همین دلیل مجبوریم این دستگاه‌ها را به صورت آفلاین استفاده کنیم که نهایتاً به دلیل عدم اتصال به شبکه‌های جهانی در آنالیز دیتا ممکن است دچار مشکل شویم. پیش بینی می‌شود در صورت برداشته شدن تحریم‌ها، این تکنولوژی به سرعت جایگاه واقعی خود را در آزمایشگاه‌های کشور یافته و تعداد زیادی از آزمایشگاه‌های تشخیصی متدهای خودشان را بر روی این دستگاه تعریف کنند.

فن آوری MS فی نفسه قدرت تفکیک و حساسیت بسیار بالایی داشته و می‌تواند حدود تشخیص و اندازه گیری را به مقدار قابل توجه ای کاهش دهد. همین امر ممکن است نیازمند تدوین استانداردهای جدید برای گزارش دهی نتایج به پزشک باشد.

در مقابل بسیاری از متدها را می‌توان به صورت شخصی‌سازی شده بر روی این دستگاه اجرا نمود و در موارد کمی واقعاً نیاز به کیت‌های تجاری است. در عین حال برخی از کیت‌ها که حاوی استانداردهای داخلی بوده و ترکیبات مشتق سازی را در بردارند به صورت تجاری موجود بوده و سبب تسهیل در ست آپ متد می‌گردند. این کیت‌ها هم اگر چه در واحد کیت ممکن است گران به نظر برسند اما در واحد تعداد تست‌های قابل انجام در مقایسه با روش‌های مرسوم آزمایشگاه که نیازمند تعدد کیت‌ها می‌باشند، بسیار ارزان‌تر خواهند بود.

در مجموع به نظر می‌رسد با توسعه فناوری و رفع برخی مشکلات داخلی از جمله تحریم‌ها و با توجه به مزیت این فن آوری در افزایش دقت آزمایش‌ها و نیز با توجه به مقرون به صرفه بودن این فن آوری به زودی شاهد افزایش درخواست آزمایشگاه‌های تشخیصی برای استفاده از این فن آوری خواهیم بود.

References:

1- Kuril AK. Navigating mass spectrometry: a comprehensive guide to basic concepts and techniques. Available at SSRN 4879107. 2024.

2- Chace DH. Mass spectrometry in the clinical laboratory. Chemical reviews. 2001;101(2):445-78.

3- Strathmann FG, Hoofnagle AN. Current and future applications of mass spectrometry to the clinical laboratory. American journal of clinical pathology. 2011;136(4):609-16.

4- Birhanu AG. Mass spectrometry-based proteomics as an emerging tool in clinical laboratories. Clinical proteomics. 2023;20(1):32.

5- Zhang H, Yang Y, Jiang Y, Zhang M, Xu Z, Wang X, et al. Mass spectrometry analysis for clinical applications: a review. Critical Reviews in Analytical Chemistry. 2025;55(1):213-32.

6- Castaldo G, Scorza M, Elce A, Giordano S, Liguori R, Guerra G. Omics in laboratory medicine. The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine. 2013;26(sup2):13-6.

7- Schubert S, Kostrzewa M. MALDI-TOF MS in the microbiology laboratory: current trends. Current issues in molecular biology. 2017;23 (1):20-17.

[Downloaded from labdiagnosis.ir on 2026-11-13]