



## طیف‌بینی اتمی تجزیه‌ای

دکتر عبدالمحمد عطاران      دکتر محمود پایه‌قدر  
دکتر محمدعلی کریمی      دکتر سهراب ارشاد

امروز کتابخوانی و علم‌آموزی نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.<sup>۱</sup>

### مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتابخوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پر بار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه مطالعه هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین سوره‌ای که بر آن فرستاده عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد

1. <https://farsi.khamenei.ir/message-content?id=2696>

شده است: «إِقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده اند.

دانشگاه پیام نور با گستره جغرافیایی ایران شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه جا و همه وقت، به عنوان دانشگاهی کتاب محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره گیری از تجربه های گرانقدر استادان و صاحب نظران برجسته کشورمان، کتاب ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه مهم و خطیر یاری رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه خطیر یاری می رسانند، سپاسگزاری می نمایم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام نور را منزلگاه اندیشه سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام نور

## فهرست مطالب

|                                               |        |
|-----------------------------------------------|--------|
| پیشگفتار.....                                 | پانزده |
| فصل اول. اصول و نظریه طیف‌بینی اتمی.....      | ۱      |
| هدف کلی.....                                  | ۱      |
| هدف‌های یادگیری.....                          | ۱      |
| مقدمه.....                                    | ۱      |
| ۱-۱ تاریخچه.....                              | ۲      |
| ۲-۱ وضعیت فعلی روش‌های طیف‌سنجی اتمی.....     | ۶      |
| ۳-۱ عبارت‌ها و تعریف آن‌ها.....               | ۱۳     |
| ۴-۱ تئوری طیف‌بینی اتمی.....                  | ۱۶     |
| ۱-۴-۱ طیف‌های جذب، نشر و فلوئورسانس اتمی..... | ۱۶     |
| ۲-۴-۱ اعداد کوانتومی و حالت‌های اتمی.....     | ۲۰     |
| ۳-۴-۱ طرح‌های جفت‌شدگی.....                   | ۲۲     |
| ۴-۴-۱ علائم جمله‌های طیفی.....                | ۲۵     |
| ۵-۴-۱ انرژی نشر و جذب.....                    | ۲۹     |
| ۶-۴-۱ قانون ماکسول - بولتزمان.....            | ۳۳     |
| ۷-۴-۱ پهنای خطوط طیفی.....                    | ۳۵     |
| ۱-۷-۴-۱ پهن‌شدگی طبیعی خط.....                | ۳۶     |
| ۲-۷-۴-۱ پهن‌شدگی داپلری.....                  | ۳۷     |
| ۳-۷-۴-۱ پهن‌شدگی فشاری.....                   | ۳۸     |
| ۸-۴-۱ اثر زیمان.....                          | ۳۹     |
| ۹-۴-۱ ضریب جذب.....                           | ۴۲     |
| ۱۰-۴-۱ مفاهیم پایه پلاسما.....                | ۴۳     |

|     |                                                                        |
|-----|------------------------------------------------------------------------|
| ۴۵  | خلاصه فصل اول.....                                                     |
| ۴۵  | خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول.....                                    |
| ۴۷  | خودآزمایی تشریحی فصل اول.....                                          |
| ۴۹  | فصل دوم. مقدمه‌ای بر روش‌های طیف‌سنجی اتمی.....                        |
| ۴۹  | هدف کلی.....                                                           |
| ۴۹  | هدف‌های یادگیری.....                                                   |
| ۴۹  | مقدمه.....                                                             |
| ۵۰  | ۱-۲ اجزای طیف‌سنج‌های اتمی.....                                        |
| ۵۰  | ۱-۱-۲ منابع تابش.....                                                  |
| ۵۰  | ۱-۱-۲ لامپ با کاتد توخالی.....                                         |
| ۵۵  | ۲-۱-۲ لامپ‌های تخلیه بدون الکتروود (EDLs).....                         |
| ۵۷  | ۳-۱-۲ لامپ با کاتد توخالی تقویت شده (BHCL).....                        |
| ۵۷  | ۲-۱-۲ تک‌فام‌ساز.....                                                  |
| ۵۹  | ۱-۲-۱ منشور و شبکه پراش.....                                           |
| ۶۱  | ۳-۱-۲ آشکارسازها.....                                                  |
| ۶۶  | ۲-۲ ورود نمونه در طیف‌سنجی اتمی.....                                   |
| ۶۸  | ۱-۲-۲ ورود محلول‌ها.....                                               |
| ۶۸  | ۱-۱-۲-۲ مهپاش‌های بادی.....                                            |
| ۷۲  | ۲-۱-۲-۲ مهپاش‌های فراصوت.....                                          |
| ۷۴  | ۳-۱-۲-۲ مهپاش‌های توری.....                                            |
| ۷۵  | ۴-۱-۲-۲ اتاقک افشانه و سیستم‌های تبخیر حلال.....                       |
| ۷۶  | ۵-۱-۲-۲ مهپاش‌ها برای حجم‌های کم نمونه.....                            |
| ۷۶  | ۲-۲-۲ ورود نمونه‌های گازی.....                                         |
| ۷۷  | ۱-۲-۲-۲ روش تولید هیدرید.....                                          |
| ۸۷  | ۲-۲-۲-۲ روش بخار سرد.....                                              |
| ۹۱  | ۳-۲-۲-۲ تولید سایر گونه‌های گازی.....                                  |
| ۹۱  | ۳-۲-۲ تجزیه تزریق جریانی (FIA).....                                    |
| ۹۲  | ۱-۳-۲-۲ طیف‌سنج جذب اتمی شعله‌ای با تجزیه تزریق جریانی (FIA-FAAS)..... |
| ۹۳  | ۲-۳-۲-۲ روش‌های تولید هیدرید و بخار سرد با FIA.....                    |
| ۹۴  | ۳-۳-۲-۲ ملغمه‌سازی.....                                                |
| ۹۵  | ۴-۲-۲ ورود نمونه‌های جامد.....                                         |
| ۹۵  | ۱-۴-۲-۲ ورود مستقیم نمونه‌های جامد.....                                |
| ۹۷  | ۲-۴-۲-۲ تبدیل نمونه‌های جامد به ائروسول یا بخار.....                   |
| ۹۹  | ۳-۴-۲-۲ افروزش قوس و جرقه.....                                         |
| ۱۰۱ | ۴-۴-۲-۲ افروزش لیزری.....                                              |

|         |                                                         |     |
|---------|---------------------------------------------------------|-----|
| ۳-۲     | درجه بندی.....                                          | ۱۰۲ |
| ۳-۲-۱   | روش منحنی درجه بندی.....                                | ۱۰۲ |
| ۳-۲-۲   | روش پرائتزی.....                                        | ۱۰۷ |
| ۳-۳-۲   | روش افزایش استاندارد.....                               | ۱۰۷ |
| ۳-۲-۴   | استانداردهای درونی.....                                 | ۱۰۸ |
| ۳-۲-۵   | استانداردهای درجه بندی.....                             | ۱۰۹ |
| ۳-۲-۵-۱ | محللول های استاندارد.....                               | ۱۰۹ |
| ۳-۲-۵-۲ | استانداردهای غیرآبی.....                                | ۱۱۰ |
| ۳-۲-۶   | صحت و دقت.....                                          | ۱۱۰ |
|         | خلاصه فصل دوم.....                                      | ۱۱۲ |
|         | خودآزمایی چهارگزینه ای فصل دوم.....                     | ۱۱۳ |
|         | خودآزمایی تشریحی فصل دوم.....                           | ۱۱۴ |
|         | فصل سوم. طیف سنجی جذب اتمی شعله ای.....                 | ۱۱۷ |
|         | هدف کلی.....                                            | ۱۱۷ |
|         | هدف های یادگیری.....                                    | ۱۱۷ |
|         | مقدمه.....                                              | ۱۱۷ |
| ۳-۱     | جنبه های پایه طیف سنج های جذب اتمی.....                 | ۱۱۸ |
| ۳-۱-۱   | قانون بیر- لامبرت در طیف سنجی جذب اتمی.....             | ۱۱۹ |
| ۳-۱-۲   | گسترش مقیاس.....                                        | ۱۲۱ |
| ۳-۱-۳   | دستگاه های تک پرتوی و دو پرتوی.....                     | ۱۲۱ |
| ۳-۱-۴   | دستگاه های چندکانالی.....                               | ۱۲۳ |
| ۳-۱-۵   | دستگاه های جذب اتمی منبع پیوسته با قدرت تفکیک زیاد..... | ۱۲۴ |
| ۳-۱-۶   | تعدیل یا اصلاح علامت.....                               | ۱۲۴ |
| ۳-۱-۷   | وسيله های خواندن.....                                   | ۱۲۵ |
| ۳-۲     | بهینه سازی عوامل عملیاتی.....                           | ۱۲۶ |
| ۳-۳     | خودکار سازی.....                                        | ۱۲۶ |
| ۳-۳-۱   | آماده سازی نمونه.....                                   | ۱۲۶ |
| ۳-۳-۲   | رقیق سازی نمونه.....                                    | ۱۲۷ |
| ۳-۳-۳   | ورود نمونه.....                                         | ۱۲۷ |
| ۳-۳-۴   | تجزیه چندعنصری.....                                     | ۱۲۸ |
| ۳-۴     | خطایابی.....                                            | ۱۲۸ |
| ۳-۵     | اتم سازی شعله ای.....                                   | ۱۲۹ |
| ۳-۵-۱   | شعله ها.....                                            | ۱۳۰ |
| ۳-۵-۱-۱ | شعله های احتراقی.....                                   | ۱۳۱ |
| ۳-۵-۱-۲ | شعله نفوذی.....                                         | ۱۳۳ |

|     |                                                              |
|-----|--------------------------------------------------------------|
| ۱۳۴ | ۳-۵-۲ سیستم‌های مه‌پاش - مشعل.....                           |
| ۱۳۸ | ۳-۵-۳ ورود مستقیم نمونه‌های جامد.....                        |
| ۱۳۸ | ۳-۵-۴ مشعل‌ها.....                                           |
| ۱۳۹ | ۳-۶ فرایند اتم‌سازی در شعله.....                             |
| ۱۴۲ | ۳-۷ مزاحمت‌ها در اتم‌سازی شعله‌ای.....                       |
| ۱۴۲ | ۳-۷-۱ مزاحمت‌های شیمیایی.....                                |
| ۱۴۶ | ۳-۷-۲ مزاحمت‌های یونش.....                                   |
| ۱۴۶ | ۳-۷-۳ مزاحمت‌های فیزیکی.....                                 |
| ۱۴۷ | ۳-۷-۴ مزاحمت‌های طیفی.....                                   |
| ۱۴۸ | ۳-۸-۱ تصحیح زمینه.....                                       |
| ۱۴۸ | ۳-۸-۱-۱ روش دوخطی.....                                       |
| ۱۴۹ | ۳-۸-۲ روش منبع تابش پیوسته.....                              |
| ۱۵۱ | ۳-۸-۲-۱ منابع تابش پیوسته.....                               |
| ۱۵۱ | ۳-۸-۲-۲ معایب تصحیح زمینه با منبع پیوسته.....                |
| ۱۵۳ | ۳-۸-۳ روش اسمیت - هیفته.....                                 |
| ۱۵۴ | ۳-۹ روش‌شناسی و کاربردهای طیف نورسنجی جذب اتمی.....          |
| ۱۶۰ | ۳-۱۰ کاربردهایی از AAS.....                                  |
| ۱۶۱ | خلاصه فصل سوم.....                                           |
| ۱۶۲ | خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل سوم.....                          |
| ۱۶۴ | خودآزمایی تشریحی فصل سوم.....                                |
| ۱۶۷ | فصل چهارم. طیف‌سنجی جذب اتمی کوره گرافیت و روش‌های ویژه..... |
| ۱۶۷ | هدف کلی.....                                                 |
| ۱۶۷ | هدف‌های یادگیری.....                                         |
| ۱۶۷ | مقدمه.....                                                   |
| ۱۶۸ | ۴-۱ طیف‌سنجی جذب اتمی الکتروگرمایی.....                      |
| ۱۶۹ | ۴-۲ طیف‌سنج‌های جذب اتمی الکتروگرمایی چندکانالی.....         |
| ۱۶۹ | ۴-۳ بهینه‌سازی عوامل عملیاتی.....                            |
| ۱۷۰ | ۴-۴ اتم‌سازهای الکتروگرمایی.....                             |
| ۱۷۱ | ۴-۴-۱ اتم‌سازهای کوره گرافیتی.....                           |
| ۱۷۳ | ۴-۴-۱-۱ کوره سکودار با دمای تثبیت‌شده (STPF).....            |
| ۱۷۶ | ۴-۴-۱-۲ اتم‌سازی ردیاب.....                                  |
| ۱۷۷ | ۴-۴-۲ اتم‌سازهای رشته‌ای باز.....                            |
| ۱۷۸ | ۴-۴-۳ اتم‌سازهای کوره بوت‌های عمودی.....                     |
| ۱۷۸ | ۴-۴-۴ سلول‌های گرافیتی.....                                  |
| ۱۷۹ | ۴-۵ فرایند اتم‌سازی.....                                     |

|     |                                              |
|-----|----------------------------------------------|
| ۱۸۰ | ۴-۵-۱ خشکاندن                                |
| ۱۸۱ | ۴-۵-۲ پیش عمل‌آوری گرمایی                    |
| ۱۸۲ | ۴-۵-۳ اتم‌سازی                               |
| ۱۸۴ | ۴-۶ تجزیه نمونه‌های جامد                     |
| ۱۸۶ | ۴-۷ تعدیل یا اصلاح بافت نمونه                |
| ۱۹۰ | ۴-۸ مزاحمت‌ها در اتم‌سازی با کوره گرافیت     |
| ۱۹۰ | ۴-۸-۱ مزاحمت‌های فیزیکی                      |
| ۱۹۱ | ۴-۸-۲ مزاحمت‌های شیمیایی                     |
| ۱۹۲ | ۴-۹ تصحیح زمینه                              |
| ۱۹۲ | ۴-۹-۱ طیف‌سنجی جذب اتمی زیمنان مستقیم        |
| ۱۹۴ | ۴-۹-۲ طیف‌سنجی جذب اتمی زیمنان معکوس         |
| ۱۹۵ | ۴-۱۰ روش‌های جذب اتمی ویژه                   |
| ۱۹۵ | ۴-۱۰-۱ تله اتمی لوله شکافدار                 |
| ۱۹۶ | ۴-۱۰-۲ روش‌های نیمه‌شعله‌ای                  |
| ۱۹۶ | ۴-۱۰-۲-۱ فنجان دِلوس                         |
| ۱۹۷ | ۴-۱۰-۲-۲ قایق نمونه‌برداری                   |
| ۱۹۸ | ۴-۱۰-۳ سایر روش‌ها                           |
| ۱۹۸ | خلاصه فصل چهارم                              |
| ۱۹۸ | خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم             |
| ۱۹۹ | خودآزمایی تشریحی فصل چهارم                   |
| ۲۰۱ | فصل پنجم. طیف‌سنجی نشر اتمی شعله‌ای و پلاسما |
| ۲۰۱ | هدف کلی                                      |
| ۲۰۱ | هدف‌های یادگیری                              |
| ۲۰۱ | مقدمه                                        |
| ۲۰۲ | ۵-۱ طیف‌سنجی نشر اتمی شعله‌ای (FAES)         |
| ۲۰۳ | ۵-۱-۱ سیستم طیف‌سنجی نشر اتمی ایده‌آل        |
| ۲۰۴ | ۵-۲ طیف‌سنجی نشر اتمی پلاسمایی               |
| ۲۰۵ | ۵-۲-۱ دستگاه‌وری طیف‌سنجی اتمی پلاسمایی      |
| ۲۰۶ | ۵-۲-۲ پلاسمای جفت شده القایی                 |
| ۲۱۱ | ۵-۲-۳ پلاسمای ریزموج                         |
| ۲۱۳ | ۵-۲-۳-۱ پلاسمای القایی ریزموج                |
| ۲۱۴ | ۵-۲-۳-۲ پلاسمای ریزموج جفت شده خازنی (CCMP)  |
| ۲۱۵ | ۵-۲-۴ پلاسماهای جریان مستقیم (DCPs)          |
| ۲۱۵ | ۵-۲-۴-۱ پلاسماهای DC حامل جریان              |
| ۲۱۶ | ۵-۲-۴-۲ جت‌های پلاسما                        |



|                                                 |                                                               |     |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----|
| ۳-۵                                             | سیستم ورود نمونه.....                                         | ۲۱۸ |
| ۴-۵                                             | طیف‌سنج‌های نشری پلاسما.....                                  | ۲۱۸ |
| ۱-۴-۵                                           | طیف‌سنج‌های با ساختار پاشن-رونک.....                          | ۲۱۹ |
| ۲-۴-۵                                           | طیف‌سنج‌های اشل.....                                          | ۲۱۹ |
| ۳-۴-۵                                           | طیف‌سنج‌های با ساختار ابرت و زرني-ترنر.....                   | ۲۲۲ |
| ۴-۴-۵                                           | طیف‌سنج‌های با ساختار سیا-نامیوکا.....                        | ۲۲۳ |
| ۵-۴-۵                                           | طیف‌سنج‌های ICP-AES تبدیل فوریه.....                          | ۲۲۴ |
| ۵-۵                                             | اثرات مزاحمت و تصحیح زمینه.....                               | ۲۲۵ |
| ۱-۵-۵                                           | مزاحمت‌های مپاشی.....                                         | ۲۲۶ |
| ۲-۵-۵                                           | مزاحمت‌های شیمیایی.....                                       | ۲۲۶ |
| ۳-۵-۵                                           | مزاحمت‌های یونش.....                                          | ۲۲۷ |
| ۴-۵-۵                                           | مزاحمت‌های طیفی.....                                          | ۲۲۷ |
| ۱-۴-۵-۵                                         | روی هم افتادن خطوط طیفی.....                                  | ۲۲۸ |
| ۲-۴-۵-۵                                         | همپوشانی با زائده خط طیفی پهن مجاور.....                      | ۲۲۸ |
| ۳-۴-۵-۵                                         | طیف پیوسته.....                                               | ۲۲۹ |
| ۶-۵                                             | تصحیح زمینه.....                                              | ۲۳۰ |
| ۷-۵                                             | روش‌های ویژه.....                                             | ۲۳۲ |
| ۸-۵                                             | روش‌شناسی و کاربردهای طیف‌سنجی نشر اتمی شعله‌ای و پلاسما..... | ۲۳۳ |
| ۱-۸-۵                                           | شناسایی طول‌موج.....                                          | ۲۳۴ |
| ۲-۸-۵                                           | گزینش خطوط طیفی تجزیه‌ای.....                                 | ۲۳۴ |
| ۳-۸-۵                                           | روندهای تجزیه‌ای.....                                         | ۲۳۵ |
| ۴-۸-۵                                           | روش استانداردهای داخلی.....                                   | ۲۳۶ |
| ۵-۸-۵                                           | افزایش استاندارد.....                                         | ۲۳۷ |
| ۶-۸-۵                                           | کاربردهایی از طیف‌سنجی نشری.....                              | ۲۳۸ |
| ۱-۶-۸-۵                                         | اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم در سرم خون.....                     | ۲۳۸ |
| ۲-۶-۸-۵                                         | تجزیه آب با طیف‌سنج ICP.....                                  | ۲۳۹ |
| ۳-۶-۸-۵                                         | تجزیه رسوبات دریایی با یک طیف‌سنج DCP.....                    | ۲۳۹ |
| خلاصه فصل پنجم.....                             |                                                               | ۲۴۰ |
| خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل پنجم.....            |                                                               | ۲۴۰ |
| خودآزمایی تشریحی فصل پنجم.....                  |                                                               | ۲۴۱ |
| فصل ششم. طیف‌سنجی نشری قوس و جرقه الکتریکی..... |                                                               | ۲۴۳ |
| هدف کلی.....                                    |                                                               | ۲۴۳ |
| هدف‌های یادگیری.....                            |                                                               | ۲۴۳ |
| مقدمه.....                                      |                                                               | ۲۴۳ |
| ۱-۶ قوس‌های الکتریکی.....                       |                                                               | ۲۴۵ |

|     |                                                          |
|-----|----------------------------------------------------------|
| ۲۴۵ | ۱-۱-۶ قوس های dc آزادسوز.....                            |
| ۲۵۱ | ۲-۱-۶ انواع دیگر قوس.....                                |
| ۲۵۱ | ۱-۲-۱-۶ قوس با اتمسفر کنترل شده و پایدار شده با گاز..... |
| ۲۵۲ | ۲-۲-۱-۶ قوس های ac و نوبتی.....                          |
| ۲۵۳ | ۳-۱-۶ قوس ها به عنوان منابع نشری ایده آل.....            |
| ۲۵۴ | ۲-۶ جرقه های الکتریکی و دیگر منابع نشری.....             |
| ۲۵۵ | ۱-۲-۶ تخلیه جرقه با ولتاژ زیاد.....                      |
| ۲۵۶ | ۲-۲-۶ منابع جرقه.....                                    |
| ۲۵۹ | ۳-۲-۶ فرایندهای تشکیل و واپاشی جرقه.....                 |
| ۲۶۱ | ۴-۲-۶ طیف بینی با تفکیک زمان.....                        |
| ۲۶۱ | ۳-۶ سایر منابع برانگیختگی نشری.....                      |
| ۲۶۲ | ۱-۳-۶ ریزردیاب لیزری.....                                |
| ۲۶۲ | ۲-۳-۶ شکست القا شده با لیزر.....                         |
| ۲۶۳ | ۳-۳-۶ تخلیه در فشار کاهش یافته.....                      |
| ۲۶۴ | ۴-۳-۶ تخلیه کاتد توخالی.....                             |
| ۲۶۵ | ۵-۳-۶ فیلم های نازک منفجرشونده.....                      |
| ۲۶۵ | ۶-۳-۶ تخلیه فشردگی تتا.....                              |
| ۲۶۵ | ۴-۶ دستگاهوری طیف سنجی قوس و جرقه.....                   |
| ۲۶۶ | ۱-۴-۶ آشکارسازی عکاسی برای طیف سنجی نشر قوس و جرقه.....  |
| ۲۶۸ | ۵-۶ روش شناسی و کاربردهای طیف سنجی نشری قوس و جرقه.....  |
| ۲۶۸ | ۱-۵-۶ روش های کیفی و نیمه کمی.....                       |
| ۲۶۹ | ۲-۵-۶ روش های کمی.....                                   |
| ۲۷۰ | ۳-۵-۶ کاربردهایی از طیف سنجی جرقه.....                   |
| ۲۷۲ | ۱-۳-۵-۶ تجزیه سنگ ها و کانه های سیلیکاتی.....            |
| ۲۷۳ | ۲-۳-۵-۶ تجزیه فولاد.....                                 |
| ۲۷۳ | خلاصه فصل ششم.....                                       |
| ۲۷۴ | خودآزمایی چهارگزینه ای فصل ششم.....                      |
| ۲۷۵ | خودآزمایی تشریحی فصل ششم.....                            |
| ۲۷۷ | فصل هفتم. طیف سنجی فلوئورسانس اتمی.....                  |
| ۲۷۷ | هدف کلی.....                                             |
| ۲۷۷ | هدف های یادگیری.....                                     |
| ۲۷۷ | مقدمه.....                                               |
| ۲۷۹ | ۱-۷ رابطه بین فلوئورسانس و غلظت.....                     |
| ۲۸۰ | ۲-۷ دستگاهوری طیف سنجی فلوئورسانس اتمی.....              |
| ۲۸۰ | ۱-۲-۷ منابع تحریک کننده.....                             |

|     |                                                                 |
|-----|-----------------------------------------------------------------|
| ۲۸۲ | ۲-۲-۷ سلول‌های اتم‌ساز.....                                     |
| ۲۸۴ | ۳-۲-۷ واحد انتخاب طول‌موج.....                                  |
| ۲۸۵ | ۳-۷ مزاحمت‌ها در طیف‌سنجی فلئوئورسانس اتمی.....                 |
| ۲۸۶ | ۴-۷ مشخصه‌های عملکرد و کاربردهای طیف‌سنجی فلئوئورسانس اتمی..... |
| ۲۸۶ | ۱-۴-۷ خطی بودن.....                                             |
| ۲۸۷ | ۲-۴-۷ دقت و صحت در AFS.....                                     |
| ۲۸۷ | ۳-۴-۷ حد آشکارسازی در AFS.....                                  |
| ۲۹۰ | ۴-۴-۷ کاربردهایی از AFS.....                                    |
| ۲۹۰ | ۱-۴-۴-۷ کاربردهای تجزیه‌ای.....                                 |
| ۲۹۰ | ۲-۴-۴-۷ تشخیص موضعی.....                                        |
| ۲۹۰ | ۳-۴-۴-۷ آشکارساز رزونانسی.....                                  |
| ۲۹۳ | خلاصه فصل هفتم.....                                             |
| ۲۹۳ | خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هفتم.....                            |
| ۲۹۴ | خودآزمایی تشریحی فصل هفتم.....                                  |
| ۲۹۷ | فصل هشتم. طیف‌سنجی پرتو ایکس اتمی.....                          |
| ۲۹۷ | هدف کلی.....                                                    |
| ۲۹۷ | هدف‌های یادگیری.....                                            |
| ۲۹۷ | مقدمه.....                                                      |
| ۲۹۸ | ۱-۸ مروری بر طیف‌بینی فلئوئورسانس پرتو ایکس (XRF).....          |
| ۳۰۱ | ۱-۱-۸ طیف فلئوئورسانس پرتو ایکس.....                            |
| ۳۰۳ | ۲-۸ طیف‌سنج‌های فلئوئورسانس پرتو ایکس.....                      |
| ۳۰۳ | ۱-۲-۸ طیف‌بینی پرتو ایکس پاشنده طول‌موج (WDS).....              |
| ۳۰۶ | ۲-۲-۸ طیف‌بینی پرتو ایکس پاشنده انرژی (EDS).....                |
| ۳۰۷ | ۳-۸ تجزیه کمی با XRF.....                                       |
| ۳۰۹ | ۱-۳-۸ استفاده از استانداردهای درونی.....                        |
| ۳۰۹ | ۲-۳-۸ روش‌های افزایش استاندارد.....                             |
| ۳۱۰ | ۳-۳-۸ رقیق کردن نمونه و استانداردها.....                        |
| ۳۱۰ | ۴-۸ کاربردهایی از XRF.....                                      |
| ۳۱۱ | ۵-۸ روش‌های پراش پرتو ایکس، XRD.....                            |
| ۳۱۲ | ۶-۸ جذب پرتو ایکس.....                                          |
| ۳۱۴ | ۱-۶-۸ روش‌های تجزیه‌ای جذب پرتو ایکس.....                       |
| ۳۱۵ | خلاصه فصل هشتم.....                                             |
| ۳۱۵ | خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هشتم.....                            |
| ۳۱۶ | خودآزمایی تشریحی فصل هشتم.....                                  |

|                                                 |     |
|-------------------------------------------------|-----|
| فصل نهم. آماده‌سازی نمونه در طیف‌سنجی اتمی..... | ۳۱۹ |
| هدف کلی.....                                    | ۳۱۹ |
| هدف‌های یادگیری.....                            | ۳۱۹ |
| مقدمه.....                                      | ۳۱۹ |
| ۱-۹ جمع‌آوری و ذخیره نمونه.....                 | ۳۲۰ |
| ۲-۹ آلودگی و جذب سطحی نمونه.....                | ۳۲۱ |
| ۳-۹ روش‌های آماده‌سازی نمونه.....               | ۳۲۲ |
| ۱-۳-۹ نمونه‌های مایع.....                       | ۳۲۲ |
| ۱-۱-۳-۹ محلول‌های آبی.....                      | ۳۲۲ |
| ۲-۱-۳-۹ محلول‌های غیرآبی.....                   | ۳۲۳ |
| ۳-۱-۳-۹ امولسیون‌ها.....                        | ۳۲۴ |
| ۲-۳-۹ نمونه‌های جامد.....                       | ۳۲۴ |
| ۱-۲-۳-۹ خاکستر کردن خشک.....                    | ۳۲۵ |
| ۲-۲-۳-۹ هضم مرطوب.....                          | ۳۲۶ |
| ۳-۲-۳-۹ هضم در ظروف بسته (هضم تحت فشار).....    | ۳۲۷ |
| ۴-۲-۳-۹ ذوب.....                                | ۳۲۸ |
| خلاصه فصل نهم.....                              | ۳۲۹ |
| خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل نهم.....             | ۳۲۹ |
| خودآزمایی تشریحی فصل نهم.....                   | ۳۳۰ |
| پاسخنامه.....                                   | ۳۳۳ |
| منابع.....                                      | ۳۳۵ |



## پیشگفتار

خداوند متعال را سپاس که به اینجانبان فرصت داد تا با تألیف کتاب طیف‌بینی تجزیه‌ای اتمی، خدمت کوچکی به جامعه علمی کشور، به‌ویژه دانشجویان عزیز انجام دهیم.

در کتاب حاضر اصول طیف‌بینی تجزیه‌ای اتمی با زبانی ساده، در ۹ فصل برای دانشجویان کارشناسی ارشد شیمی تجزیه نگارش شده است. در فصل اول، کلیاتی در مورد اصول و نظریه طیف‌بینی اتمی به‌منظور درک دانشجویان گرامی از علت طیف‌های اتمی و قواعد حاکم بر آن شرح داده شده است. در فصل دوم مروری بر روش‌های طیف‌سنجی اتمی، مبتنی بر نشر، جذب و فلوئورسانس اتمی شرح داده شده است. در فصل سوم، طیف‌سنجی جذب اتمی شعله‌ای، از نظر اصول و دستگاهوری شرح داده شده است. در فصل چهارم، طیف‌سنجی جذب اتمی کوره گرافیت و روش‌های ویژه، با تکیه بر نوآوری‌های دستگاهی و اصول روش تصحیح زمینه با اثر زیمان نیز شرح داده شده است. در فصل‌های پنجم، ششم و هفتم به‌ترتیب طیف‌سنجی نشر اتمی شعله‌ای و پلاسما، طیف‌سنجی فلوئورسانس اتمی و طیف‌سنجی قوس و جرقه الکتریکی آورده شده است. در فصل هشتم، آماده‌سازی انواع نمونه برای تجزیه توسط روش‌های طیف‌سنجی اتمی و روش‌شناسی و کاربردهای هریک از این روش‌ها در شیمی تجزیه شرح داده شده است.

به‌منظور آشنایی دانشجویان با نحوه سؤال‌های آزمون‌های چهارگزینه‌ای و تشریحی از این درس، در پایان هر فصل چند سؤال چهارگزینه‌ای و چند سؤال

تشریحی برای نمونه آورده شده است. هرچند به زعم خود کتابی بی عیب تألیف کرده ایم، ولی مطمئناً ایراداتی دارد. لذا خواهشمند است با ارسال نظرات ارزشمند خود به یکی از پست‌های الکترونیکی زیر اینجانبان را در رفع این اشکالات در چاپ‌های بعدی یاری فرمایید.

عبدالمحمد عطاران، محمود پایه قدر، محمد علی کریمی، سهراب ارشاد

**am.attaran@yahoo.com**

**mahmoodpayehghadr@gmail.com**

**ma.Karimi43@gmail.com**

**Sohrabsd@yahoo.com**

# فصل اول

## اصول و نظریه طیف‌بینی اتمی

### هدف کلی

در این فصل دانشجویان باید اصول و نظریه‌های طیف‌بینی اتمی را شرح دهند.

### هدف‌های یادگیری

دانشجویان عزیز، بعد از مطالعه این فصل باید توانایی‌های زیر را به دست آورید:

۱. سیر تکامل طیف‌سنجی اتمی را شرح دهید.
۲. منشأ طیف‌های نشر، جذب و فلوئورسانس اتمی را شرح دهید.
۳. نظریه اینشتین برای نشر خودبه‌خودی، جذب و نشر القایی را شرح دهید.
۴. قانون ماکسول-بولتزمن را برای شدت نسبی خطوط طیف اتمی شرح دهید.
۵. پهنای خطوط طیفی اتمی، انواع پهن‌شدگی و روش کاهش آن‌ها را شرح دهید.
۶. اثر زیمن در شکافتگی خطوط طیف اتمی را شرح دهید.
۷. مفاهیم پایه پلاسما را شرح دهید.

### مقدمه

طیف‌بینی نشر، جذب و فلوئورسانس اتمی، از متداول‌ترین روش‌های تجزیه عناصر فلزی در نمونه‌های مختلف مصنوعی، طبیعی و زیستی است. اساس تمام این روش‌ها، تبدیل نمونه به بخار اتمی و بررسی نشر، جذب و فلوئورسانس آن است؛ بنابراین، مهم‌ترین قسمت در هر روش طیف‌سنجی اتمی، منبع تولید بخار اتمی (اتم‌ها یا یون‌های گازی آزاد) از نمونه است. منابع و روش‌های متعددی، مانند شعله‌ها،



قوس‌های مستقیم و پیوسته الکتریکی، جرقه‌های الکتریکی متناوب، اتم‌ساز الکتروحرارتی، پلاسماهای ریزموج، پلاسماهای رادیویی و لیزرها، برای تولید بخار اتمی وجود دارند. روش‌های طیف‌بینی اتمی به دو طبقه نشری و جذبی تقسیم می‌شود که فصل مشترک هر دو، تبدیل نمونه به بخاری از اتم‌ها در وسیله‌ای به نام اتم‌ساز<sup>۱</sup> است.

در روش‌های نشری، تابش نشر شده از اتم‌های موجود در نمونه، تجزیه و تحلیل شده و در تجزیه کیفی و کمی آن‌ها استفاده می‌شود. در روش‌های جذبی، بخار اتم‌های موجود در نمونه در معرض تابش ساطع شده از یک منبع مناسب قرار گرفته و میزان جذب تابش، در اندازه‌گیری آن‌ها استفاده می‌شود. هرکدام از روش‌های نشری و جذبی، شامل انواع مختلف است، ولی همه آن‌ها از دو ویژگی مهم، ویژه بودن و حساس بودن برخوردار هستند. به‌طوری‌که در روش‌های معمول، تا حدود ۱ ppm (قسمت در میلیون یا  $\text{mg.L}^{-1}$ ) و در روش‌های پیشرفته‌تر کمتر از ۰/۰۰۱ ppm را می‌توان اندازه گرفت. طیف‌بینی اتمی (جذبی و نشری) بیشتر در محدوده فرابنفش-مرئی طیف الکترومغناطیس قرار دارد (متکالف ۱۹۸۷). در این فصل، اصول کلی طیف‌سنجی اتمی و نظریه‌های مربوط به آن شرح داده می‌شود.

## ۱-۱ تاریخچه

اولین مشاهدات طیف‌بینی در سال ۱۷۴۰ توسط نیوتن انجام شده است. او تفکیک نور سفید به رنگ‌های مختلف را با عبور آن از منشور کشف کرد. در اواسط قرن نوزدهم نمک‌های فلزات با رنگ آن‌ها در شعله شناسایی شد. اولین شبکه پراش در سال ۱۷۸۶ توسط ریتنهاوس<sup>۲</sup> ارائه شد. در سال ۱۸۰۲ ولاستون<sup>۳</sup>، طیف نشری پیوسته نور خورشید را به‌صورت خطوط تاریک کشف کرد، که بعداً با جزئیات بیشتری توسط فرانیهوفر<sup>۴</sup>، مطالعه شد. او حدود ۶۰۰ خط در طیف خورشید مشاهده کرد و آن‌ها را با حروف A تا H نام‌گذاری کرد. در سال ۱۸۲۰، بروستر<sup>۵</sup> وجود این خطوط را از فرایندهای جذب در اتمسفر خورشید، تفسیر کرد. مشاهدات مشابهی در طیف ستاره‌ها، شعله‌ها و

1. Atomizer  
2. Rittenhouse  
3. Wollaston  
4. Fraunhofer  
5. Brewster

جرقه‌های الکتریکی، توسط پژوهشگران دیگری ارائه شد. در سال ۱۸۳۴، وتسون<sup>۱</sup> مشاهده کرد که طیف ایجاد شده توسط جرقه الکتریکی به ماده مورد استفاده در الکترود، بستگی دارد. همچنین، آنگسترم<sup>۲</sup> مشاهده کرد که طیف جرقه الکتریکی به گاز اطراف الکترودها نیز بستگی دارد. بعد از کشف مشعل بونزن<sup>۳</sup> در سال ۱۸۵۶، بررسی طیف اتمی شعله بسیار ساده‌تر شد. در سال ۱۸۵۹ توسط کیرشوف<sup>۴</sup> و بونزن یک طیف‌بین شعله‌ای ساخته شد. با این وسیله جدید امکان مطالعه غلظت کم عناصر که با روش‌های موجود آن زمان امکان نداشت فراهم شد. آن‌ها همچنین، نشان دادند که خطوط طیف شعله از ترکیبات نیست و از عناصر ناشی می‌شود. این روش جدید به سرعت در اخترشناسی و شیمی تجزیه به کار گرفته شد، به طوری که پنج سال بعد، عناصر Cs, Rb, Tl و In با طیف‌بینی نشر شعله‌ای تجزیه شدند.

اولین تجزیه کمی با روش نشر شعله‌ای توسط چامپیون، پلت و گرنیر<sup>۵</sup> در سال ۱۸۷۳ انجام شد. آن‌ها سدیم را با استفاده از دو شعله اندازه‌گیری کردند. درون یکی از این شعله‌ها محلول استاندارد کلرید سدیم و درون دیگری محلول نمونه با سیم پلاتینی قرار داده می‌شد. سپس، اندازه‌گیری براساس مقایسه شدت دو شعله، با تیره کردن شعله زردتر، توسط یک گوه شیشه‌ای آبی، انجام می‌شد. شبکه‌های پراش انعکاسی، توسط دانشمندان زیادی در قرن نوزدهم مورد پژوهش قرار گرفت و با مطالعات رولاند<sup>۶</sup>، در اواخر این قرن، بهبود قابل توجهی یافت. در طیف‌نگار رولاند، همه اجزا (دریچه‌ها، شبکه پراش و دوربین) روی یک دایره قرار داشتند (دایره رولاند). مهم‌ترین نکات قابل توجه طیف‌بینی در قرن نوزدهم عبارت‌اند از: ۱. وقتی گازهای تک‌اتمی به اندازه کافی گرم شوند، از خود طیف نشری دارای خطوط مجزا نشر می‌کنند. طیف نشری گازهای چنداتمی، از خطوط زیاد و نزدیک یکدیگر تشکیل شده است. درحالی که مواد جامد و گازهای متراکم طیف پیوسته نشر می‌کنند. ۲. گاز سرد، تابشی با بسامد تابش نشر شده را جذب می‌کند. اگر نشر پیوسته به درون بخار گازی سرد وارد شود، طیف ثبت شده شامل خطوط جذبی (نوارها) خواهد بود. ۳. بسامد (یا طول موج) خطوط، مشخصه هر اتم یا مولکول است و شدت آن‌ها به غلظت اتم یا مولکول بستگی دارد.

1. Wheatstone

2. Angstrom

3. Bunsen

4. Kirchhoff

5. Champion, Pellet, and Grenier

6. Rowland

تجزیه کیفی (با تعیین طول‌موج خطوط) و تجزیه کمی (با تعیین شدت خطوط)، براساس این پدیده‌ها است. آشکارسازی طیف نشری نسبت به طیف جذبی ساده‌تر است و لذا، ابتدا برای استفاده در شیمی تجزیه استفاده شد. لانداگارد<sup>۱</sup> اولین کسی بود که مهپاش بادی و شعله هوا-استیلن را به کار برد و به موازات آن، دستگاه‌های دارای منشور و شبکه پراش، توسعه یافت. همچنین، از عکس‌برداری برای آشکارسازی خطوط طیفی استفاده شد. اولین نورسنج شعله‌ای تجاری در سال ۱۹۳۷ به بازار عرضه شد. درجه‌بندی طول‌موج با استفاده از خط قرمز کادمیوم ( $643/\text{nm}$ ) در سال ۱۹۰۷ انجام شده بود. بعداً درجه‌بندی مطابق خط سبز جیوه در  $546/0 \text{ nm}$  انجام شد.

مفاهیم اصلی طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS)<sup>۲</sup> اولین بار در سال ۱۹۵۵ توسط والش<sup>۳</sup> منتشر شد، که می‌توان آن را سال تولد واقعی این روش تلقی کرد. در همان زمان، آلکمید و میلانز<sup>۴</sup> طیف‌سنج جذب اتمی طراحی کردند که در آن شعله‌ها هم به عنوان منبع تابش و هم به عنوان اتم‌ساز به کار می‌رفت. ولی، تولید انبوه دستگاه‌های طیف‌سنج جذب اتمی ۱۰ سال بعد شروع شد. از این زمان، توسعه طیف‌سنجی جذب اتمی سرعت زیادی گرفت و دستگاه‌های جذب اتمی به سرعت رایج شدند. استفاده از اکسید نیتروژن ( $\text{N}_2\text{O}$ ) به عنوان اکسنده و روش‌های اتم‌سازی الکتروگرمایی، باعث گسترش زیاد AAS در تجزیه شیمیایی شد. این روش‌ها تعداد عناصر قابل اندازه‌گیری را افزایش داد و حد تشخیص آن‌ها را کم کرد. استفاده از طیف‌سنجی نشر اتمی (AES)<sup>۵</sup> با ورود طیف‌سنج‌های نشر اتمی پلاسما به بازار، توسعه زیادی یافت. اصول پلاسمای جریان مستقیم (DCP)<sup>۶</sup> در دهه ۱۹۵۰ گزارش شد و بعد از ۲۰ سال اولین دستگاه DCP ساخته شد. اولین منبع پلاسمای ریزموج<sup>۷</sup> در سال ۱۹۵۰ معرفی شد و اولین منبع پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP)<sup>۸</sup> در سال ۱۹۶۳ به صورت پتنت ثبت شد. فلونورسانس اتمی در شعله‌ها، اولین بار توسط نیکولز و هاوز<sup>۹</sup>، مطالعه شد. آن‌ها فلونورسانس  $\text{Ca}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Li}$  و  $\text{Na}$  را در شعله بونزن در سال ۱۹۲۳ گزارش کردند.

1. Lundegårdh

2. AAS: Atomic Absorption Spectrometry

3. Walsh

4. Alkemade and Milatz

5. AES: Atomic Emission Spectrometry

6. DCP: Direct Current Plasma

7. MWP: Microwave Plasma

8. ICP: Inductively Coupled Plasma

9. Nichols and Howes

سپس، اولین طیف‌سنج فلوئورسانس اتمی تجزیه‌ای، براساس مطالعات بگدر<sup>۱</sup> و آلکمید، در سال ۱۹۶۴ توسط واینفوردنر<sup>۲</sup> و همکاران ساخته شد. اولین بار اتصال منبع پلاسما و طیف‌سنج جرمی به یکدیگر، در سال ۱۹۷۵ توسط آلن گری<sup>۳</sup> پیشنهاد شد. در این روش جدید، ابتدا جت پلاسمای جریان مستقیم به کار برده شد. بعداً مشخص شد که ICP نسبت به DCP به عنوان منبع یونش طیف‌سنج جرمی، بهتر است. لذا، سیستم تجزیه‌ای ICP-MS توسط سه گروه پژوهشی (فاسل، گری و دیت<sup>۴</sup>)، معرفی شد. مراحل مهم توسعه AAS و AES در جدول (۱-۱)، خلاصه شده است.

جدول ۱-۱. مراحل مهم تاریخچه طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS)، نشر اتمی پلاسمایی (PAES)<sup>۵</sup>، فلورسانس اتمی (AFS)<sup>۶</sup> و طیف‌سنجی جرمی پلاسمایی (PMS)<sup>۷</sup>.

| سال  | AAS                                                                     | PMS, AFS, PAES            |
|------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| ۱۹۱۶ | لامپ با کاتد توخالی (HCL) (پاشن <sup>۸</sup> )                          |                           |
| ۱۹۲۲ |                                                                         | اصول DCP                  |
| ۱۹۲۸ | شعله هوا-استیلن، پیش مخلوط‌کن، مهپاش بادی و محفظه اسپری.                |                           |
| ۱۹۴۱ | تعیین Hg در هوا با AAS                                                  |                           |
| ۱۹۵۰ |                                                                         | اولین منبع پلاسمای ریزموج |
| ۱۹۵۳ | اولین پتنت در AAS (والش)                                                |                           |
| ۱۹۵۵ | اصول AAS (والش، آلکمید و میلانز)                                        |                           |
| ۱۹۵۸ | اولین کاربردها                                                          |                           |
| ۱۹۵۹ | کوره گرافیتی (لوو)                                                      | منبع DCP تجزیه‌ای         |
| ۱۹۶۱ | اولین کتاب در مورد AAS                                                  |                           |
| ۱۹۶۲ | اولین دستگاه‌های تجاری AAS                                              |                           |
| ۱۹۶۳ |                                                                         | اولین منبع ICP تجزیه‌ای   |
| ۱۹۶۴ |                                                                         | اولین AFS تجزیه‌ای        |
| ۱۹۶۵ | شعله N <sub>2</sub> O-استیلن، تصحیح زمینه با لامپ پیوسته D <sub>2</sub> |                           |
| ۱۹۶۷ | کوره گرافیت - روش بخار سرد                                              |                           |
| ۱۹۶۹ | روش‌های تولید هیدرید                                                    |                           |

1. Bagder
2. Winefordner
3. Alan Gray
4. Fassel, Gray, and Date
5. PAES: Plasma Atomic Emission Spectrometry
6. AFS: Atomic Fluorescence Spectrometry
7. PMS: Plasma Mass Spectrometry
8. Paschen

| سال  | AAS                                           | PMS, AFS, PAES                              |
|------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| ۱۹۷۰ | روش فنجان دِلوس <sup>۱</sup>                  | اولین دستگاه‌های PAES تجاری                 |
| ۱۹۷۱ | تصحیح زمینه براساس اثر زیمان <sup>۲</sup>     |                                             |
| ۱۹۷۵ | تعدیل بافت نمونه                              | DCP-MS                                      |
| ۱۹۷۷ | کوره گرافیتی با دمای ثابت تجاری               |                                             |
| ۱۹۷۸ | سکوی اتم‌سازی و ردیاب اتم‌سازی                |                                             |
| ۱۹۸۰ |                                               | ورود لیزرهای IR (۱۰۶۴ nm)                   |
| ۱۹۸۳ | تصحیح زمینه با روش اسمیت - هیفته <sup>۳</sup> | اولین دستگاه ICP-MS تجاری                   |
| ۱۹۸۴ | کوره دارای صفحه تخت با دمای پایدار            |                                             |
| ۱۹۹۰ | کوره گرافیتی گرم شده افقی                     |                                             |
| ۱۹۹۵ |                                               | اولین دستگاه ICP-AES تجاری با پلاسمای محوری |
| ۱۹۹۵ |                                               | اولین دستگاه ICP-MS تجاری زمان پرواز        |
| ۱۹۹۷ |                                               | سلول برخوردی در دستگاه‌های ICP-MS تجاری     |
| ۱۹۹۹ |                                               | ورود لیزر UV با طول‌موج کوتاه (۲۱۳nm)       |

## ۱-۲ وضعیت فعلی روش‌های طیف‌سنجی اتمی

طیف‌سنجی جذب اتمی، نشر اتمی پلاسمایی و فلوئورسانس اتمی، در سال‌های گذشته به سرعت توسعه یافته‌اند. اساس همه این روش‌ها، جذب، نشر یا فلوئورسانس ایجاد شده از اتم‌های آزاد و یونیده نشده یا یون‌های اتمی در فاز گاز است. اختلاف اجزای تشکیل‌دهنده دستگاه و خواص آن‌ها، در این روش‌ها بسیار کم است و به طول‌موج ناحیه کاربرد آن‌ها مربوط است. آشکارسازها و تک‌فام‌سازهای مورد استفاده در این دستگاه‌ها، مشابه است. نمونه‌ها معمولاً به صورت مایع از طریق مهپاشی محلول، وارد می‌شوند. قسمت اصلی یا قلب هر کدام از این سیستم‌ها، واحد اتم‌ساز-برانگیختگی (شکل ۱-۱)، است.

در طیف‌سنجی جذب و فلوئورسانس اتمی، اتم‌ساز باید تعداد زیادی از اتم‌های نمونه را در حالت پایه ایجاد کند. بافت نمونه نباید تأثیری بر اتم‌سازی داشته باشد، یا به عبارت دیگر، مزاحمت‌های شیمیایی نباید پیش آید. شعله‌های احتراقی مختلفی به عنوان وسیله اتم‌سازی رایج هستند. به علاوه، کوره‌های گرافیتی و لوله‌های کوارتز

1. Delves Cup Method  
2. Zeeman-Based Background Correction  
3. Smith-Hieftj