

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



پایان نامه  
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته

فیزیک

گرایش اتمی ملکولی

عنوان

بررسی تأثیر اثر خودجذبی در پارامترهای پلاسمایی

در پلاسمای القایی لیزری

استاد راهنما

دکتر سیده زهرا شورشینی

استاد مشاور

دکتر فاطمه شهشهانی

دانشجو

وجیهه فرتاج

اسفند ۱۳۹۱

کلیه دستاوردهای این تحقیق متعلق به

دانشگاه الزهرا (س)

است.

رهبرم! وقتی فرمان به تقویت علوم پایه دادی و قدرت کشور را منوط به علم آن م‌دانستی،

به خاطر لیک به فرمان تو، پس از سال م‌دوباره راهی دانشگاه شدم.

این کار اگر در راستای تحقق امر تو نباشد اما

به عشق تو است

و

تقدیم به تو

بارالها حمد از آن تو ست

یا قریب! تو را شکر که آرامش مراد جوار امام رونم رضا قرار دادی

باز خوان نعمت را بر من بنیسه، مراد آغوش پدر و مادری مهربان پروراندی؛ جایی که توانستم استقلال  
را بیاموزم و بر مدار علم دوستی و شوق دانستن بزرگ شوم

و یار رفیق! تو را سپاس که همیشه دوستانی راستین بر سر راهم نشاندی که هدایتگرم بودند به سوی زیباییها

و یا علیم! تو را شکر می گویم که استادانی فهیم و راسخ را همراه من کردی که با واکاوی اسرار خلقت  
روح مرا آبیاری کنند.

و با سپاس از

استاد راهنمای عزیزم: دکتر سیده زهرا شورشینی

و استاد مشاور ارجمند: دکتر فاطمه شهشمانی

بالهای ملائک کجک کار دستانان باد

## چکیده

پلاسمای القایی لیزری معمولاً با پارامترهای اصلی آن نظیر دما، چگالی الکترونی و چگالی گونه‌های مختلف موجود در آن شناخته و بررسی می‌شود. اثرات خودجذبی در بیناب‌نگاری نشری در سال‌های اخیر به دلیل اهمیت آن به ویژه در تعیین دمای پلاسما و بنابراین غلظت‌سنجی موضوع بسیاری از بررسی‌ها است و روش‌های گونه‌گونی برای تصحیح این اثر در شدت خط گسیلی به کار برده شده است. لذا محسوب نمودن و تصحیح اثرات خودجذبی بسیار مورد توجه و ضروری است.

در کار حاضر، اثر خودجذبی در شدت مشخصه خطوط گسیلی و بنابراین دمای میکروپلاسمای حاصل از دو نمونه سکه طلا و پوست دباغی شده محاسبه و تصحیح شده است.

به علاوه در این پروژه مقایسه‌ای بین بیناب گسیلی القایی لیزری حاصل از چند نوع پوست دباغی مربوط به دام‌هایی با سن‌های مختلف مورد استفاده در صنعت چرم به منظور تعیین کیفیت انجام شد. هم‌چنین توانستیم با توجه به این که پوست یک نمونه زیستی است، در بیناب حاصل از آن، خطوط ملکولی سیانید  $CN$  و ملکول کربن  $C_2$  که شناسه نمونه‌های زیستی می‌باشند را نیز مشخص کنیم.

نتایج این پروژه به صورت سه مقاله در همایش‌های داخلی شامل

- بررسی کیفی مواد در صنعت به روش بیناب‌نمایی شکست لیزری و مادون قرمز

- محاسبه اثر خودجذبی در اندازه‌گیری‌های فروشکست القایی لیزری

- بررسی و تشخیص کیفیت پوست دباغی شده در صنعت چرم به روش اپتیکی

و یک مقاله *ISI* در حال ارسال می‌باشد.

# فهرست مطالب

|     |                                                |
|-----|------------------------------------------------|
| پنج | چکیده                                          |
| ۱   | ۱ بیناب‌نمای فروشکست القایی لیزری              |
| ۲   | ۱.۱ مقدمه                                      |
| ۳   | ۲.۱ تاریخچه                                    |
| ۴   | ۳.۱ مزایا و معایب LIBS                         |
| ۶   | ۴.۱ فرآیند تشکیل پلاسمای حاصل از لیزر          |
| ۹   | ۵.۱ چیدمان آزمایشگاهی LIBS                     |
| ۱۱  | ۶.۱ حفاظ پلاسما                                |
| ۱۲  | ۷.۱ بررسی و تحلیل خطوط گسیلی در بیناب‌های LIBS |
| ۱۴  | ۱.۷.۱ تعادل ترمودینامیکی موضعی                 |
| ۱۵  | ۲.۷.۱ اندازه‌گیری دمای پلاسما                  |
| ۱۷  | ۳.۷.۱ محاسبه چگالی الکترونی پلاسما             |
| ۲۳  | ۲ خودجذبی                                      |
| ۲۴  | ۱.۲ آنالیز کمی در LIBS                         |
| ۲۴  | ۱.۱.۲ منحنی کالیبراسیون                        |
| ۲۶  | ۲.۱.۲ روش استاندارد داخلی                      |
| ۲۷  | ۳.۱.۲ روش بدون کالیبراسیون                     |

|    |                                                     |       |
|----|-----------------------------------------------------|-------|
| ۲۹ | خود جذبی                                            | ۲.۲   |
| ۲۹ | تاریخچه                                             | ۱.۲.۲ |
| ۳۱ | تعریف                                               | ۲.۲.۲ |
| ۳۳ | چند روش محاسبه خودجذبی                              | ۳.۲   |
| ۳۴ | محاسبه ضریب خودجذبی با استفاده از پهنای خط          | ۱.۳.۲ |
| ۳۸ | بررسی ضریب خودجذبی با محاسبه چگالی الکترونی         | ۲.۳.۲ |
| ۳۹ | بررسی ضریب خودجذبی با محاسبه عمق نوری               | ۳.۳.۲ |
| ۴۲ | روش <i>IRSAC</i>                                    | ۴.۳.۲ |
| ۴۴ | محاسبه ضریب خودجذبی با استفاده از منحنی کالیبراسیون | ۵.۳.۲ |
| ۴۵ | استفاده از آینه دوبرابرکننده                        | ۶.۳.۲ |

### ۳ آرایه‌های آزمایش گاهی *LIBS*

|    |                                                   |       |
|----|---------------------------------------------------|-------|
| ۴۷ | و مراحل آماده‌سازی چرم                            |       |
| ۴۸ | تجهیزات آزمایش گاهی                               | ۱.۳   |
| ۴۸ | لیزر                                              | ۱.۱.۳ |
| ۵۰ | سیستم‌های اپتیکی                                  | ۲.۱.۳ |
| ۵۳ | سیستم شناسایی                                     | ۳.۱.۳ |
| ۵۵ | تجهیزات فرعی مورد استفاده در آزمایش               | ۴.۱.۳ |
| ۵۶ | ابزار و دستگاه‌های به کار گرفته شده در پروژه حاضر | ۲.۳   |
| ۵۹ | چرم                                               | ۳.۳   |
| ۶۰ | اجزای تشکیل دهنده پوست خام:                       | ۱.۳.۳ |
| ۶۰ | مواد تشکیل دهنده پوست:                            | ۲.۳.۳ |
| ۶۱ | تقسیم‌بندی پوست و جنبه‌های اصلی نگهداری آن        | ۳.۳.۳ |
| ۶۱ | مراحل چرم‌سازی                                    | ۴.۳.۳ |



|    |       |                              |
|----|-------|------------------------------|
| ۶۹ | ۴     | مواد، چیدمان و روش‌های تجربی |
| ۷۰ | ۱.۴   | مواد مورد آزمایش             |
| ۷۰ | ۲.۴   | آرایه آزمایشگاهی LIBS        |
| ۷۲ | ۳.۴   | شرح آزمایش                   |
| ۷۲ | ۱.۳.۴ | نمونه آلیاژ طلا              |
| ۷۶ | ۲.۳.۴ | نمونه‌های پوست دباغی         |
| ۹۵ | ۵     | جمع‌بندی نتایج               |
| ۹۶ | ۱.۵   | نتیجه‌گیری                   |
| ۹۷ | ۲.۵   | پیشنهادها                    |
| ۹۹ |       | مراجع و منابع                |

# فهرست جداول

|    |                                                                                    |      |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ۷۳ | مشخصات خطوط گسیلی بیناب مس <i>CuI</i> . . . . .                                    | ۱۰۴  |
| ۷۴ | ضریب خودجذبی و تصحیح لگاریتم بولتزمان خطوط گسیلی بیناب مس برای تصحیح دما . . . . . | ۲۰۴  |
| ۸۱ | مشخصات خطوط گسیلی کلسیم یکبار یونیزه . . . . .                                     | ۳۰۴  |
| ۸۲ | ضریب خودجذبی و تصحیح لگاریتم بولتزمان خطوط گسیلی کلسیم برای تصحیح دما . . . . .    | ۴۰۴  |
| ۸۳ | مشخصات خطوط گسیلی اتم کلسیم . . . . .                                              | ۵۰۴  |
| ۸۶ | مشخصات خطوط گسیلی کلسیم . . . . .                                                  | ۶۰۴  |
| ۸۷ | ضریب خودجذبی و تصحیح لگاریتم بولتزمان خطوط گسیلی کلسیم برای تصحیح دما . . . . .    | ۷۰۴  |
| ۸۸ | مشخصات خطوط گسیلی کروم . . . . .                                                   | ۸۰۴  |
| ۸۹ | مشخصات خطوط گسیلی هیدروژن . . . . .                                                | ۹۰۴  |
| ۹۰ | مشخصات خطوط گسیلی سدیم . . . . .                                                   | ۱۰۰۴ |
| ۹۱ | ضریب خودجذبی برای تصحیح دما در خطوط گسیلی سدیم . . . . .                           | ۱۱۰۴ |

# فهرست شکل‌ها

|    |       |     |                                                                                                                                                                                             |
|----|-------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۷  | ..... | ۱.۱ | مراحل تولید پلاسمای حاصل از LIBS                                                                                                                                                            |
| ۸  | ..... | ۲.۱ | نمودار فاصله شدت سیگنال بر حسب زمان بعد از تپ فرودی لیزر                                                                                                                                    |
| ۱۰ | ..... | ۳.۱ | طرح‌واره آزمایش LIBS                                                                                                                                                                        |
| ۱۱ | ..... | ۴.۱ | چند نمونه چیدمان آماده                                                                                                                                                                      |
| ۱۷ | ..... | ۵.۱ | یک نمونه نمودار بولتزمن                                                                                                                                                                     |
| ۲۲ | ..... | ۶.۱ | سری‌های اتم هیدروژن                                                                                                                                                                         |
| ۲۵ | ..... | ۱.۲ | منحنی کالیبراسیون شدت بر حسب غلظت                                                                                                                                                           |
| ۲۶ | ..... | ۲.۲ | الف) منحنی کالیبراسیون شدت مس و ب) نسبت شدت مس به عنصر مرجع آهن بر حسب غلظت                                                                                                                 |
| ۳۲ | ..... | ۳.۲ | خودواژگونی                                                                                                                                                                                  |
| ۳۳ | ..... | ۴.۲ | الف) منحنی بولتزمن همه خطوط گسیلی گونه و ب) خطوط دارای خودجذبی کم‌تر                                                                                                                        |
| ۳۷ | ..... | ۵.۲ | تابع $\frac{\Delta\lambda}{\Delta\lambda_0}$ بر حسب ضریب خودجذبی. دایره‌ها: حل عددی معادله (۲.۲۲)؛ خط پر: پیش‌بینی معادله (۲.۲۳)؛ خط فاصله: پیش‌بینی معادله (۲.۲۳) با مقدار $\alpha = -0.5$ |
| ۳۷ | ..... | ۶.۲ | تابع $\frac{\bar{I}}{I_0}$ بر حسب ضریب خودجذبی. دایره‌ها: حل عددی معادله (۲.۲۴)؛ خط پر: پیش‌بینی حل پارامتری معادله (۲.۲۴)؛ خط فاصله: پیش‌بینی معادله (۲.۲۵)                                |
| ۴۴ | ..... | ۷.۲ | اثر خودجذبی بر منحنی کالیبراسیون                                                                                                                                                            |
| ۴۵ | ..... | ۸.۲ | منحنی کالیبراسیون برای محاسبه ضریب خودجذبی                                                                                                                                                  |

|      |                                                                                         |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| ۹۰.۲ | شمایی از تصویر پلاسما روی دریچه ورودی بیناب‌نگار در حضور و عدم حضور آینه‌ای که به فاصله |
| ۴۵   | شعاع انحنایش از پلاسما قرار دارد . . . . .                                              |
| ۱.۳  | ترازهای انرژی الکترونی اصلی مربوط به $Nd^{+3}$ . . . . .                                |
| ۲.۳  | نمودار تراز انرژی یون $Nd^{+3}$ در یاگ که گذارهای اصلی لیزری را نشان می‌دهد. . . . .    |
| ۳.۳  | تأثیر فاصله کانونی عدسی در گسترش پلاسما . . . . .                                       |
| ۴.۳  | تار نوری . . . . .                                                                      |
| ۵.۳  | بخش‌های مختلف کابل نوری . . . . .                                                       |
| ۶.۳  | زاویه فرودی فیبر نوری . . . . .                                                         |
| ۷.۳  | نمایی از ساختار داخلی بیناب‌نگار . . . . .                                              |
| ۸.۳  | لیزر یاگ آزمایشگاه فوتونیک الزهرا . . . . .                                             |
| ۹.۳  | لیزر هلیوم- نئون آزمایشگاه فوتونیک الزهرا . . . . .                                     |
| ۱۰.۳ | مینی عدسی مورد استفاده در آزمایش . . . . .                                              |
| ۱۱.۳ | بیناب‌نگار آزمایشگاه فوتونیک الزهرا . . . . .                                           |
| ۱۲.۳ | تأخیرساز آزمایشگاه فوتونیک دانشگاه الزهرا . . . . .                                     |
| ۱۳.۳ | پایه $xyz$ میکرومتری . . . . .                                                          |
| ۱.۴  | طرح‌واره مربوط به آزمایش انجام یافته . . . . .                                          |
| ۲.۴  | نمایه مربوط به آزمایش انجام شده . . . . .                                               |
| ۳.۴  | بیناب گسیلی $LIBS$ سکه طلا . . . . .                                                    |
| ۴.۴  | نمودار بولتزنم خطوط مس برای تعیین دما . . . . .                                         |
| ۵.۴  | نمودار بولتزنم بیناب پس از تصحیح خودجذبی با استفاده از تمام خطوط مس مشاهده شده در بیناب |
| ۶.۴  | خط $427/51$ مس در نرم‌افزار $CCD$ . . . . .                                             |
| ۷.۴  | نمودار بولتزنم بیناب با استفاده از پنج خط مس مشاهده شده در بیناب . . . . .              |
| ۸.۴  | نمودار بولتزنم بیناب پس از تصحیح خودجذبی با استفاده از پنج خط بیناب . . . . .           |
| ۹.۴  | بیناب ضعیف پلت . . . . .                                                                |

|    |                                                                                      |      |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ۷۸ | بیناب <i>LIBS</i> سالامبور گاوی ۳ در محدوده طول موجی ۳۸۰ تا ۳۹۰ نانومتر . . . . .    | ۱۰.۴ |
| ۷۹ | بیناب <i>LIBS</i> سالامبور گاوی ۱ و ۲ . . . . .                                      | ۱۱.۴ |
| ۸۰ | بیناب <i>LIBS</i> سالامبور گوساله‌ای ۱ و ۲ . . . . .                                 | ۱۲.۴ |
| ۸۱ | نمودار بولتزمان خطوط کلسیم برای محاسبه دما . . . . .                                 | ۱۳.۴ |
| ۸۲ | نمودار بولتزمان با استفاده از شدت‌های تصحیح شده خطوط کلسیم برای محاسبه دما . . . . . | ۱۴.۴ |
| ۸۴ | بیناب <i>LIBS</i> وتبلوهای گاوی . . . . .                                            | ۱۵.۴ |
| ۸۵ | بیناب <i>LIBS</i> وتبلوهای گوساله‌ای . . . . .                                       | ۱۶.۴ |
| ۸۶ | نمودار بولتزمان خطوط کلسیم . . . . .                                                 | ۱۷.۴ |
| ۸۷ | نمودار بولتزمان خطوط گسیلی کلسیم پس از تصحیح خودجذبی . . . . .                       | ۱۸.۴ |
| ۸۸ | نمودار بولتزمان خطوط گسیلی کروم . . . . .                                            | ۱۹.۴ |
| ۸۹ | نمودار بولتزمان خطوط هیدروژن . . . . .                                               | ۲۰.۴ |
| ۹۰ | نمودار بولتزمان خطوط گسیلی اتم سدیم . . . . .                                        | ۲۱.۴ |
| ۹۱ | نمودار بولتزمان خطوط سدیم پس از آخرین تصحیح . . . . .                                | ۲۲.۴ |
| ۹۲ | نمودار بولتزمان سه خط هیدروژن، کلسیم و سدیم . . . . .                                | ۲۳.۴ |
| ۹۳ | مقایسه بین خطوط گسیلی کروم . . . . .                                                 | ۲۴.۴ |
| ۹۴ | مقایسه بین خطوط گسیلی ملکولی سیانید . . . . .                                        | ۲۵.۴ |

## فصل ۱

# بیناب‌نمای فروشکست القایی لیزری

## ۱.۱ مقدمه

*LIBS* مخفف کلمات *Laser Induced Breakdown Spectroscopy* به معنای بیناب‌نگاری فروشکست القایی لیزری می‌باشد. در این عبارت فروشکست به طور کلی پدیده‌ای است که در آن ماده در اثر بالا رفتن دما یا اعمال میدان از حالت نارسانا به حالت رسانا می‌رود. این پدیده یعنی زمانی که بین  $10^{-8}$  -  $10^{-4}$  ثانیه به طول می‌انجامد، همان لحظه آغاز تبدیل ماده از نارسانا به رسانا می‌باشد. و باعث افزایش یونیزاسیون داخل ماده می‌گردد تا جایی که در نهایت نور سفیدی دیده می‌شود. *LIBS* از اصابت آسان یک پرتو لیزر پالسی با هر نمونه و تشکیل یک پلاسمای درخشان بسیار کوچک حاصل از توده نمونه جداشده، آغاز می‌گردد و به اندازه‌گیری طیف نوری حاصل از پلاسمای می‌پردازد. طیف پلاسمای نشان‌دهنده‌ای از گونه شیمیایی درنمونه است. تجزیه اطلاعات طیفی، اجزای سازنده گونه شیمیایی و فراوانی نسبی آن را مشخص می‌کند. به دلیل این که یک پرتو لیزر پالسی، پلاسمای *LIBS* را بوجود می‌آورد، پس در این روش هیچ ارتباط فیزیکی با نمونه وجود ندارد و در نتیجه به آسانی در آزمایشگاه و فضای باز خارج از آزمایشگاه بکار می‌رود. پدیده *LIBS*، موتوری مؤثر در تبدیل اطلاعات شیمیایی ماده هدف به اطلاعات نوری است که توسط دستگاه طیف‌سنجی مدرن و نرم‌افزار تجزیه آنالیز می‌شود. توجه به *LIBS* به دلیل قابلیت اندازه‌گیری هم‌زمان چند عنصری، کاربرد در مورد همه‌ی مواد، تجهیزات و امکانات حداقل، آزمایش تقریباً غیرتجربی، سرعت اندازه‌گیری‌ها و عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه بوده است. از *LIBS* می‌توان در فشار اتمسفری، خلأ، در اعماق اقیانوس یا بیرون از محیط زمین استفاده نمود. *LIBS* در کمتر از یک ثانیه پاسخ می‌دهد زیرا که *LIBS* با استفاده از یک شات لیزری منفرد می‌تواند در کمتر از یک ثانیه رخ دهد. یکی از نشانه‌های منحصر به فرد *LIBS* آن است که نمونه‌ها به فعال بودن فلوئورسانت، رامان یا *IR* نیاز ندارند، این امر باعث سادگی استفاده از *LIBS* است که باعث تنوع در کاربردهای آن می‌شود. استفاده از طیف‌سنج‌های با حد آشکارسازی بالای باند پهن، اخیراً کاربردهای *LIBS* را در تعیین گونه ملکولی نیز گسترش داده است. توانایی آشکارسازی اجزای ملکولی و عنصری با یک پالس تک لیزری باعث کاربردهای جدید در زمینه دارویی، زیستی، محیطی و امنیتی می‌شود [۱]. هم‌چنین همراه با رشد و تکامل فهم و کاربرد پدیده *LIBS* توسط مهندسی و دانشمندان، این پدیده باعث ایجاد شغل و همین‌طور رشد در فعالیت‌های تجاری *LIBS*، شامل ساخت دستگاه‌ها و کاربردهای اجاره‌ای آن‌ها بعلاوه

موارد کاربردی بسیار زیاد دیگر، شده است.

## ۲.۱ تاریخچه

مهم‌ترین حوادث رخ داده در چهار دهه اخیر در زمینه بیناب‌نگاری اتمی مربوط به اختراع لیزر و توسعه آشکارساز های آرایه‌ای بوده است. این رویدادها منجر به پیدایش بیناب‌نگاری فروشکست القایی لیزری (*LIBS*) در ۲۵ سال گذشته شده است. *LIBS* به نام‌های دیگری همچون طیف‌سنجی پلاسمایی القایی لیزری (*LIPS*)<sup>۱</sup> ، بیناب‌نگاری اسپارک لیزر (*LSS*)<sup>۲</sup> و بیناب‌نگاری گسیل نوری لیزر (*LOES*)<sup>۳</sup> [۲] معروف است. این شیوه در دهه گذشته رشد روزافزونی داشته است. پیشرفت *LIBS* به عنوان یک روش تجزیه‌ای به تحقیقات کرامرز<sup>۴</sup> و رادزیمسکی<sup>۵</sup> مربوط می‌شود. مقاله‌های ارائه شده توسط این گروه در ۱۹۸۱ به طور قطع انقلابی در به کارگیری *LIBS* آغاز کرد. توجه بسیار زیاد به *LIBS* با توجه به فراوانی مقاله‌های منتشر شده در این زمینه مشهود است. افزایش سریع در مقالات منتشر شده از سال ۱۹۶۵ تا حدود ۱۹۹۵ در مدت کمتر از ۵۰ سال و از آن زمان به بعد، افزایش نمایی تعداد مقاله‌ها با بیش از صد مورد در ۱۹۹۷، بیش از ۲۰۰ مورد در ۱۹۹۹، بیش از ۳۰۰ مورد در ۲۰۰۳ و حدود ۴۰۰ مورد در ۲۰۰۴ بیان‌گر کارایی و علاقه عمومی به این روش می‌باشد [۳]. همچنین ارائه کنفرانس‌های مختص *LIBS* و جلسات *LIBS* در پیتکون<sup>۶</sup> و فکس<sup>۷</sup> در مقایسه با سایر روش‌های بیناب‌نگاری اتمی تا کنون بسیار معدود بوده است. به طوری که دکتر جیمز وین فوردنر<sup>۸</sup> ، طیف‌شناس تجزیه‌ای مشهور جهان، در سال ۲۰۰۴ *LIBS* را به عنوان سوپراستار آینده معرفی کرده است. نخستین گزارش‌ها درباره *LIBS* با کشف لیزر یاقوت سرخ در ۱۹۶۲ ظهور یافت. این تکنولوژی به صورت

---

<sup>۱</sup> *Laser Induced Plasma Spectroscopy*

<sup>۲</sup> *Laser Spark Spectroscopy*

<sup>۳</sup> *Laser Optical Emission Spectroscopy*

<sup>۴</sup> *David Cremers*

<sup>۵</sup> *Leon Radziemski*

<sup>۶</sup> *PITTCON*

<sup>۷</sup> *FACSS*

<sup>۸</sup> *Dr. James Winefordner*



تجزیه عنصری طبقه بندی می شود و مقاله های بنیادین در این زمینه عبارتند از: اندازه گیری ویژگی های میکروپلاسمای تولیدی (چگالی الکترون و دمای پلاسما)، بررسی نزدیک شدن به تعادل ترمودینامیکی موضعی، جنبه های تجربی و نظری فروشکست لیزر در گازها، مایعات، جامدات و مایعات معلق در هوا، مدل سازی فروشکست القایی لیزری در جامدات، مدل سازی پس از فروشکست جامدات و استفاده از پالس های لیزری متعدد در *LIBS* که همگی در گزارش هایی در مجلات فیزیک و شیمی به چاپ رسیده است [۴].

به دلیل کاربردهای متعدد و وسیع *LIBS*، توجه زیادی به جنبه های نظری *LIBS* معطوف شده است. *LIBS* تنها تکنولوژی است که می تواند ویژگی های طیفی مشخصی برای همه گونه های شیمیایی در تمامی محیطها فراهم نماید. از شیوه *LIBS* برای شناسایی شیمیایی نمونه های جامد، مایع، گاز، مایعات و جامدات معلق در هوا و بویژه فلزات و ذرات موجود در محیط مانند آلودگی آب، پودرها، مواد خطرناک، گیاهان [۵]، مواد بیولوژیکی، پلیمرها [۶]، و غیره می توان استفاده کرد. کاربردهای این روش از قبیل مطالعات وابسته به صنعت [۷، ۸]، زمین شناسی [۹]، کشاورزی [۱۰]، نجوم، باستان شناسی، تعیین قدمت و مرمت کردن آثار هنری [۱۱]، پزشکی (از قبیل تشخیص سرطان پوست با سنجش میزان اوملانین در رنگدانه ها که در نسوج سرطانی زیاد است و شناسایی آسم با تجزیه نفس که وجود بیش از حد اکسید نیتریک در بازدم نشانه احتمال ابتلا به آسم، وجود زیاد گاز آمونیاک بواسطه عدم فعالیت کلیه و استون نشانه دیابت می باشد)، نمونه برداری از مواد بیولوژیکی (زیستی) [۱۲] شامل باکتری ها [۱۳] و هاگ ها، در زمینه امنیت کشور شامل تجزیه مواد قابل انفجار و عوامل جنگی [۱۴] و شیمیایی می باشد [۳، ۴].

### ۳.۱ مزایا و معایب *LIBS*

به طور کلی مزایای *LIBS* را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- در طی فرآیند *LIBS* مقدار کمی از نمونه (۰/۱ میکروگرم تا ۱ میلی گرم) استفاده می شود بدون این که کل ماده تخریب گردد، این تکنیک اساسا غیر تخریبی یا به طور جزئی تخریبی نامیده می شود و تقریبا گرم شدن نمونه در اطراف مکان کندگی وجود ندارد.
- نیاز به آماده سازی مختصر یا عدم نیاز به آماده سازی نمونه، باعث افزایش عمل کرد، آلودگی کم تر نمونه و

کاهش روش های زمان بر و خسته کننده می شود [۱۵].

- انواع تطبیق پذیر ماتریس ها نظیر جامد، مایع، گاز، ذرات ریز مایع یا جامد معلق در هوا و غیره، چه رسانا و چه نارسانای الکتریکی، همگی می توانند آنالیز شوند [۱۶، ۱۷].

- امکان تحلیل مواد بسیار سخت که به سختی هضم یا حل می شوند مانند سرامیک ها، شیشه ها و ابر رساناها [۱۸].

- تحلیل هم زمان چند عنصری می تواند انجام گیرد [۱۵].

- تحلیل ساده و با سرعت بالاست. *LIBS* در ظرف چند ثانیه پاسخ می دهد که به ویژه برای آنالیز مقادیر زیاد مفید است [۱۹].

- *LIBS* یک تکنیک کاملا اپتیکی است. بنابراین تنها به دسترسی نوری به نمونه نیاز دارد. این یکی از مزایای مهم است چون فیبر نوری برای آنالیز از راه دور می تواند استفاده گردد و این امکان قابلیت دریافت از راه دور برای استفاده در مناطقی از محیط های خطرناک گرفته تا کاوش های فضایی دارای اهمیت است. همچنین سیستم های *LIBS* به راحتی می توانند به میکروسکوپ نوری با نمونه گیری در حد میکرو متصل و کوپل شوند که بعدی جدید به انعطاف پذیری تحلیلی می افزایند [۲۰، ۴].

- استفاده از آن در زیر آب امکان پذیر است.

- محدوده دینامیکی بزرگ برای تحلیل مقادیر کم.

- یکی از مزایای اصلی روش *LIBS* توانائی آن در بررسی پروفایل عمق یک نمونه با کندگی مکرر در موقعیت یکسان است، که به طور مؤثر با هر تپ در نمونه عمیق تر می گردد.

علاوه بر این روش *LIBS* با مشکلات و کمبودهایی همراه می باشد. برخی از این کاستی ها عبارتند از:

- بدست آوردن استانداردهای مطابق با ماتریس مناسب دشوار است که باعث کیفی بودن یا نیمه کیفی بودن این روش می شود.

- آثار تداخلی زیاد است (شامل تداخل ماتریس و در مورد *LIBS* ذرات ریز مایع یا جامد معلق در هوا، تداخل بالقوه اندازه ذره).

- معمولا حدود آشکارسازی ۱-۱۰۰ بار ضعیف تر از شیوه های قراردادی است. حدود آشکارسازی برای *LIBS* بسته به نوع نمونه و دستگاه های تجربی مورد استفاده، از عنصری به عنصر دیگر متفاوت است. حدود

آشکارسازی ۱ تا ۳۰ ppm از توده نمونه رایج بوده اما می‌توانند در محدوده بیشتر از ۱۰۰ تا کمتر از ۱ ppm قرار گیرند.

- دقت کم، معمولاً ۵-۱ درصد، که بستگی به همگنی و یکنواختی نمونه، ماتریس نمونه و خواص تهییج لیزر دارد.

- محاسبات امنیتی برای جلوگیری از آسیب چشمی توسط پالس‌های لیزر با انرژی زیاد لازم است.

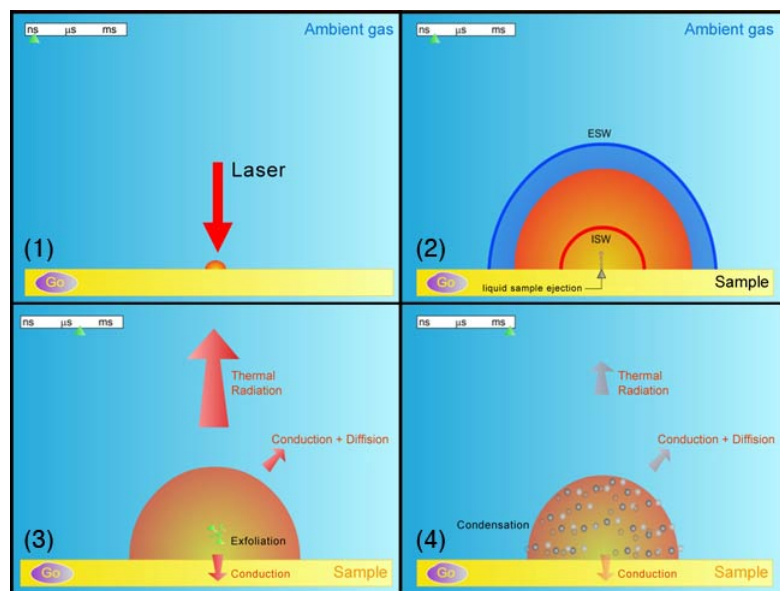
- تکرارپذیر نبودن طوری که در هر بار بیناب گرفتن، خطوط بیناب دارای شدت‌های متفاوتی نسبت به قبل هستند [۴].

- همان‌طور که پیش‌تر نیز بیان شد، بیناب‌نگاری به روش LIBS برای همه فازهای ماده یعنی جامد، مایع و گاز قابل انجام می‌باشد لیکن LIBS برای مایعات به دلیل پاشیده شدن و تشکیل حباب در مایع در هنگام تبخیر ماده، با خاموش شدگی سریع پلاسما همراه است و در نتیجه شدت خطوط گسیلی کاهش یافته و دقت اندازه‌گیری پایین می‌آید [۲۱]. هم‌چنین حباب‌های تشکیل شده در مایع بر روی سطح مایع آمده و سبب اختلال در پلاسمای مورد بررسی و هم‌چنین مانع رسیدن پرتو به فیبر می‌شوند، به این ترتیب دقت و حساسیت آزمایش کاهش می‌یابد [۲۲].

## ۴.۱ فرآیند تشکیل پلاسمای حاصل از لیزر

بیناب‌نگاری فروشکست القایی لیزری یک روش بیناب‌نگاری اتمی است که در آن یک تپ کوتاه لیزری با چگالی انرژی بالا به طور لحظه‌ای بر روی سطح هدف متمرکز می‌شود [۲۳]. این امر باعث جذب انرژی و افزایش تعداد برخوردها در سطح هدف گشته و در نتیجه انرژی جنبشی درونی ملکول‌های تشکیل‌دهنده ماده بالا می‌رود و از آن‌جا که انرژی درونی رابطه مستقیم با دما دارد، دمای سطح به سرعت افزایش می‌یابد تا جایی که به بیش از دمای تبخیر می‌رسد که البته اگر توان لیزر بالا باشد، احتمال بروز تصعید بیش‌تر از تبخیر است [۲۴، ۲۵]. با توجه به این‌که انرژی لیزر بسیار بالاست هم‌زمان به لایه‌های سطحی و زیرین انرژی بسیاری وارد می‌شود اما از آن‌جا که لایه سطحی، فضا برای انبساط اولیه دارد ولی این امکان برای لایه‌های زیرین سطح وجود ندارد، لایه‌های زیرین سطح به دما و فشار بحرانی می‌رسد و انفجار رخ می‌دهد. در نتیجه تکه‌ای از نمونه کنده شده

و در نزدیکی سطح قرار می‌گیرد. البته تنها بخشی از انرژی تپ لیزر صرف کندگی و تبخیر می‌شود و فوتون‌های پراثرژی زیادی از تپ لیزر هنوز باقی است که برهم‌کنش این بخش‌های باریکه لیزر با مواد کنده شده در مجاورت سطح هدف، سبب یونش بخار و تشکیل پلازما می‌گردد [۲۶]. بدین گونه اولین الکترون‌ها توسط یونش چند فوتونی یا تابش گرمایی سطح تولید می‌شود. سپس این الکترون‌ها از دنباله تپ لیزر فوتون‌های بیشتری را به روش تابش ترمزی وارون جذب می‌کنند و پراثرژی می‌شوند، آن‌گاه از طریق فرآیندهای برخوردی انرژی خود را به اتم‌ها و یون‌های دیگر موجود در پلازما انتقال می‌دهند. در نتیجه یون‌های یک‌بار و چندبار یونیزه بوجود می‌آید و هم‌چنین الکترون‌های بیش‌تری تولید می‌شود [۲۷]. پس از قطع تابش لیزر، تابش ترمزی و بازترکیب یون-الکترون در پلازما صورت می‌گیرد. در نتیجه الکترون‌ها انرژی خود را از دست داده و پلازما رفته رفته سردتر می‌شود. سپس اتم‌ها و یون‌ها که در تراز برانگیخته هستند دچار گسیل خود به خودی خواهند شد و در این هنگام نور پلازما که حاوی گسیل بیناب یونی، اتمی و ملکولی است، جمع‌آوری می‌شود [۲۸]. چرخه تولید این پلازما در شکل ۱.۱ آورده شده است.



شکل ۱.۱: مراحل تولید پلازما حاصل از LIBS

هر عنصر دارای خطوط طیفی منحصر به فرد است که همانند یک اثر انگشت برای آن عنصر عمل می‌کند. بنابراین با شناسایی طول‌موج‌های گذار می‌توان عناصر تشکیل‌دهنده نمونه را ارزیابی کرد [۲۹]. بدین منظور