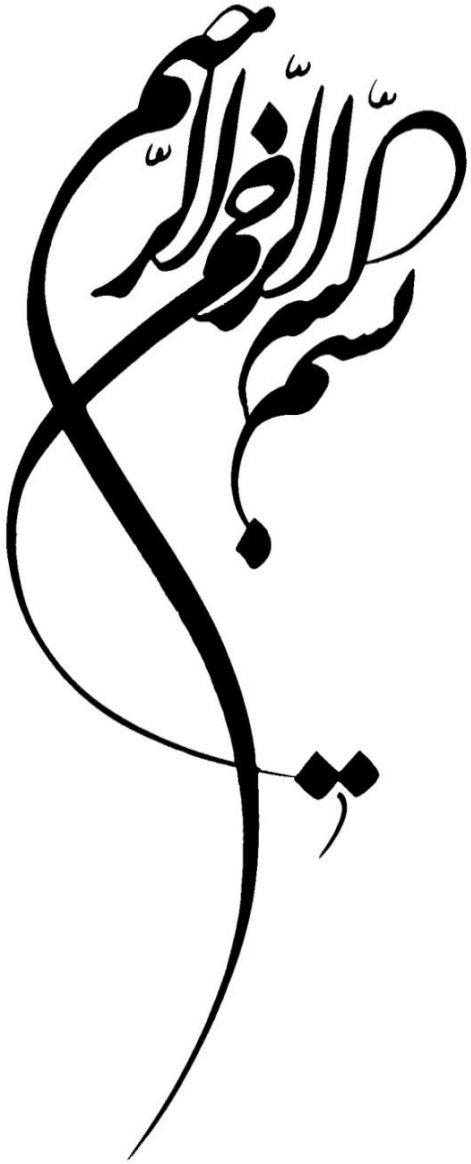
بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد(M.Sc)

گرایش: اتمی مولکولی

عنوان:

شناسایی عناصر فلزی سنگین با استفاده از بیناب‌نگاری شکست القایی لیزری

استاد راهنما:

دکتر حمیدرضا شیروانی‌مهدوی

استاد مشاور:

دکتر سیده زهرا شورشینی

پژوهشگر:

حمید غلامی

تابستان ۱۳۹۲

تقدیم به:

دو ستاره تابناک زندگیم

دو شمعی که در شبستان جانم فروزانند

پدر و مادرم

که شمع وجودشان گرما بخش حیات من است

پدر و مادر عزیز و مهربانم

شما که با سعی و تلاش و زحمات بسیار از هیچ‌گونه کمکی نه تنها در دوران تحصیل بلکه در تمام دوران زندگیم دریغ نکردید و فانوس راهم بودید تا نیکو زیستن را بیاموزم. تقدیم به شما که هر چه داشتید به پایم ریختید و آنچه دارم از سخاوت خالصانه شماست. بنابراین این ثمره‌ی کوچک فکر و دستانم را، ارزانی شما می‌کنم.

تقدیم به پدر عزیزم، به پایت بوسه می‌زنم شاید غباری از گرد و خاک راه تلاش و کوشش شما را بکاهد.

تقدیم به مادرم، که مسئولیت پاک مادری را در همیشه تاریخ فراموش نکرده است.

تشکر و قدردانی:

سپاس بیکران خداوند بزرگ را که قطره‌ای از اقیانوس بی‌انتهای علم را به من عنایت فرمود تا همواره نیازمند بهره‌ای دیگر باشم و توفیق تعلم در محضر اساتید گرانقدری که مقام علمی و شخصیت والای آنان همواره مشعل هدایت دانشجویان بوده است، فراهم شود.

این پایان‌نامه به خواست باری‌تعالی و راهنمایی استاد فاضل و اندیشمند جناب آقای دکترحمیدرضا شیروانی‌مهدوی، توشیح شد. بی‌شک تدبیر و هدایت شما اگر نبود، اندیشه‌ام در این دفتر شکوفا نمی‌شد، جا دارد از لطف سرمدیت، در به ثمرنشستن تاک کیمیایم، تشکر کنم.

اثر حاضر به سعی و بشکوه، استاد فرزانه‌ام، سرکار خانم دکتر سیده زهرا شورشینی به اتمام رسید الحمدالله، و به زیور اندیشه جامه حقیقت پوشید.

همچنین از کلیه اساتید و دوستانی که مرا در راستای انجام این پروژه یاری رسانده اند، تشکر می‌نمایم.

تعهد نامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

اینجانب حمید غلامی دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته به شماره دانشجویی ۸۹۰۹٤۲٦٥۰۰۰ در رشته فیزیک گرایش اتمی مولکولی که در تاریخ ۱۳۹۲/۰۵/۳۰ از پایان نامه خود تحت عنوان شناسایی عناصر فلزی سنگین با استفاده از بیناب‌نگاری شکست القایی لیزری با کسب نمره‌ی ۲۰ و درجه عالی دفاع نموده ام بدین‌وسیله متعهد می شوم:

۱- این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه ،کتاب ،مقاله و...) استفاده نموده ام ، مطابق ضوابط و رویه های موجود ، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست ذکر و درج کرده ام.

۲- این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح ،پایین تر یا بالاتر)در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

۳- چنانچه بعد از فراغت ازتحصیل ، قصد استفاده و هر گونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب، ثبت اختراع و .... از این پایان نامه داشته باشم ، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.

٤- چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود ، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی :

تاریخ و امضاء

بسمه تعالی

در تاریخ : ۱۳۹۲/۰۵/۳۰

دانشجوی کارشناسی ارشد آقای حمید غلامی از پایان نامه خود دفاع نموده و با نمره ۲۰ بحروف بیست و با درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت .

امضاء استاد راهنما :

چکیده

بیناب‌سنجی شکست القایی لیزری یک روش بیناب‌سنجی گسیل اتمی است که به‌منظور بررسی کیفی و کمی عناصر تشکیل‌دهنده‌ی مواد از جمله فلزات سنگین، مورداستفاده قرار می‌گیرد. در این روش، ابتدا تپ لیزری بر روی سطح هدف متمرکزشده و میکروپلاسمای لیزری تشکیل می‌شود. از آن‌جا که طول‌موج‌های هر عنصر مانند اثر انگشت یکتا و منحصربه‌فرد است، پس از ثبت تعداد زیادی بیناب و نیز اندازه‌گیری و محاسبه‌ی داده‌های خط‌های اتمی و یونی هر بیناب، عناصر هر نمونه شناسایی شده و غلظت آن‌ها با استفاده از روش‌های مختلف فراکافت کمی به‌دست می‌آید. مزیت‌هایی از قبیل ابزار و تجهیزات نسبتاً ارزان، صرف زمان و هزینه‌ی کم به منظور آماده‌سازی نمونه، فراکافت بی‌درنگ و درجا، عدم آماده‌سازی نمونه، طبیعت غیرمخرب و غیر تماسی آن سبب شده که استفاده از این روش جهت تجزیه و تحلیل کمی و کیفی عنصری مواد مختلف بسیار مورد توجه قرار گیرد. همان‌طور که می‌دانیم به غیر از تعداد محدودی از فلزات سنگین (مانند آهن، روی، منیزیم و...) که به مقدار ناچیزی برای فعالیت‌های بیولوژیکی سلول‌ها و عملکرد طبیعی بدن ضروری می‌باشند، سایر فلزات سنگین (مانند جیوه، سرب، آرسنیک و...) حتی به مقدار کم، برای بدن مضر می‌باشند. در آلیاژهای برنج عناصری از قبیل مس، روی، سرب و غیره می‌باشد که مقدار عناصر فلزی سنگین در آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین با فراکافت کمی از طریق روش بیناب‌نگاری شکست القایی بدون واسنجی، مقدار این عناصر مشخص می‌شود. در این پروژه به شناسایی و بررسی کمی فلزات سنگین در نمونه‌ی آلیاژهای برنج شیرآلات می‌پردازیم. همچنین به منظور فراکافت کمی از عناصر تشکیل‌دهنده، پارامترهای چگالی الکترون و دمای پلاسما، محاسبه گردید .از نتایج به دست‌آمده می‌توان استنباط کرد عوامل مختلفی از جمله ناهمگنی نمونه، خودجذبی و شرط تعادل ترمودینامیکی موضعی (LTE) درستی و دقت محاسبات را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از درجه اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند.

کلید واژه: بیناب‌سنجی شکست القایی لیزری، خودجذبی، فلزات سنگین، فراکافت کمی و کیفی

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مروری تحلیلی بر روند پیشرفت بیناب‌نگاری شکست القای لیزری

۱-۱ تاریخچه وکشف LIBS ۲

۱-۲ معرفی روش LIBS ۳

۱-۳ بیناب‌سنجی ٤

۱-٤ اساس بیناب‌سنجی گسیل اتمی (AES) ٦

۱-۵ بیناب‌سنجی گسیل اتمی در LIBS: ۸

۱-٦ تشکیل پلاسما ۹

۱-۷ پلاسمای القائیده لیزری ۱۱

۱-۷-۱ گذارها در پلاسما ۱۱

۱-۸ چرخه‌ی فیزیک و شیمی تشکیل پلاسما در LIBS ۱۲

۱-۸-۱ یونیزاسیون: ۱۳

۱-۸-۲ فروشکست: ۱٤

۱-۸-۳ پدیده بهمنی تکثیر الکترون ۱٤

۱-۸-٤ پدیده چندفوتونی ۱۵

۱-۸-۵ تشکیل موج شوک: ۱۷

۱-۹ رفتار زمانی شدت بیناب پلاسمای القای لیزری: ۱۸

۱-۱۰ تشکیل پلاسمای LIBS در نمونه‌ها..... ۲۰
۱-۱۰-۱ جامد:..... ۲۱
۱-۱۰-۲ مایع:..... ۲۱
۱-۱۰-۳ گاز:..... ۲۱
۱-۱۰-٤ ذرات معلق:..... ۲۲
۱-۱۱ روش‌های متفاوت برای اندازه‌گیری ۲۳
۱-۱۱-۱ بررسی مستقیم:..... ۲۳
۱-۱۱-۲ ارسال نور از طریق فیبرنوری:..... ۲۳
۱-۱۱-۳ کاوش‌گر فشرده:..... ۲٤
۱-۱۱-٤ بررسی از راه دور: ۲٥
۱-۱۲ مزایای روش LIBS: ۲٦
۱-۱۲-۱ تجزیه و تحلیل بی‌درنگ:..... ۲۷
۱-۱۲-۲ تجزیه وتحلیل درجا:..... ۲۷
۱-۱۲-۳ عدم آماده‌سازی نمونه:..... ۲۷
۱-۱۲-٤ توانایی آشکارسازی چند عنصر به‌طور هم‌زمان: ۲۷

فصل دوم:بررسی نظری بیناب‌نگاری شکست القای لیزری

۲-۱ نکات مهم در اندازه‌گیری LIBS..... ۲۹
۱-۲-۱ همگنی نمونه:..... ۲۹
۱-۲-۲ اثرات ماتریس:..... ۳۰

اثر فیزیکی ماتریس: ۳۰
اثر شیمیایی ماتریس: ۳۰
۱-۲-۳ اثر خودجذبی: ۳۰
۲-۲ تعادل ترمودینامیکی موضعی (LTE) ۳۱
۲-۳ بررسی شرط LTE در فراکافت کمی: ۳۳
۲-٤ شکل و نمایه‌ی خط‌های بینابی ۳٤
۲-۵ پهن‌شدگی‌ها ۳٦
۲-۵-۱ پهن‌شدگی طبیعی ۳٦
۲-۵-۲ پهن‌شدگی دوپلری ۳۷
۲-۵-۳ پهن‌شدگی فشاری ۳۸
۲-۵-٤ پهن‌شدگی استارک ۳۹
۲-٦ پارامترهای پلاسما ۳۹
۲-۷ دمای پلاسما: ۳۹
۲-۷-۱ تأثیر زمان در دمای پلاسما: ۳۹
۲-۷-۲ محاسبه‌ی دمای پلاسما: ٤۰
الف) روش نسبت جفت‌خط: ٤۰
ب) روش رسم و نمودار بولتزمن ٤۲
۲-۸ چگالی الکترونی پلاسما: ٤۳
۲-۸-۱ تأثیر زمان در چگالی الکترون: ٤۳
۲-۸-۲ محاسبه‌ی چگالی الکترون: ٤۵

۲-۸-۳ اندازه‌گیری چگالی الکترون از طریق پهن‌شدگی استارک: ٤٥

۲-۸-٤ اندازه‌گیری چگالی الکترون با استفاده از روش ساها- بولتزمن: ٤٧

۲-۹ اثر خودجذبی در پلاسمای LIBS ٤٨

۲-۱۰ محاسبه ضریب خودجذبی با استفاده از پهنای خط با در نظرگرفتن پلاسمای همگن: ٥٠

۲-۱۱ محاسبه‌ی ضریب خودجذبی با استفاده از عمق نفوذ نوری با در نظرگرفتن تقریب
α و **β**: ٥٤

۲-۱۲ محاسبه‌ی ضریب خودجذبی با استفاده از چگالی الکترون: ٥٦

۲-۱۳ محاسبه ضریب خودجذبی به روش مرجع داخلی (IRSAC) ٥٧

۲-۱٤ تحلیل و بررسی بیناب گسیلی پلاسما.....٥٩

۲-۱٥ بررسی کیفی.....٦٠

۲-۱٦ شدت خط‌های بینابی عناصر.....٦٢

۲-۱۷ بررسی کمی ٦٢

۲-۱۷-۱ روش منحنی واسنجی.....٦٣

۲-۱۷-۲ روش استاندارد داخلی.....٦٤

۳-۱۷-۳ روش بدون واسنجی (CF-LIBS) ٦٤

فصل سوم: آزمایش‌ها، چیدمان تجربی و تجزیه و تحلیل کمی و کیفی نتایج

۳-۱ مقدمه.....٦٩

۳-۲ لیزر ٧٠

۳-۳ قطعات اپتیکی..... ٧٤

۳-٤ فاصله نمونه تا عدسی ۷۵
۳-۵ نگهدارنده‌ی نمونه ۷٦
۳-٦ فیبرنوری ۷٦
۳-۷ تکفام‌سازها ۷۹
۳-۸ بیناب‌سنج‌ها ۷۹
۳-۹ رایانه ۸۲
۳-۱۰ تأخیرساز ۸۳
۳-۱۱ نوسان‌نما ۸۳
۳-۱۲ انواع کابل‌های سیم ۸٤
۳-۱۳ فلزات سنگین ۸۵
۳-۱٤ مضرات فلزات سنگین ۸٦
۳-۱۵ آلیاژهای برنج ۸۸
۳-۱٦ نمونه ۹۰
۳-۱۷ شرح آزمایش ۹۲
۳-۱۸ بررسی بیناب ۹۳
۳-۱۹ بررسی پارامترهای پلاسمایی ۹۵
۳-۱۹-۱ محاسبه دمای پلاسما ۹۵
۳-۱۹-۲ محاسبه چگالی الکترون ۱۰۱
۳-۲۰ بررسی شرط LTE ۱۰۳
۳-۲۱ بررسی آنالیز کمی ۱۰۵

فصل چهارم: نتیجه‌گیری

٤-١ نتیجه‌گیری ١٠٩

٤-٢ پیشنهادها ١١١

مراجع و منابع

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

فصل اول:

شکل ۱-۱: تعداد مقالات چاپ‌شده از سال ۱۹٦۵ تا ۲۰۰۵ [۲] ٤
شکل ۱-۲: روش آنالیز مواد بر پایه بیناب‌سنجی ٦
شکل ۱-۳: منحنی ماکسول- بولتزمن در دو دمای متفاوت ۷
شکل ۱-٤: چگونگی فرآیند تولید پلاسما ۱۰
شکل ۱-۵ : گذارهای نوعی در اتم یا یون ازچپ به راست: تراز به تراز، پیوستار به تراز، پیوستار به پیوستار (برمشترلانگ و معکوس برمشترلانگ)، تراز به پیوستار(یونیزاسیون از حالت پایه، یونیزاسیون از حالت برانگیخته) [۲] ۱۲
شکل ۱-٦: چرخه‌ی شکل‌گیری تولید و نابودی پلاسما [۱] ۱۳
شکل ۱-۷: بهمن یونیزاسیون [۱٤] ۱۵
شکل ۱-۸: سه ناحیه مهم در گسترش و توسعه پلاسما [۲] ۱۷
شکل ۱-۹: هندسه تولید موج شوک [۱٤] ۱۸
شکل ۱-۱۰: شماتیک کلی از تحول زمانی پلاسمای LIBS [۱] ۱۹
شکل ۱-۱۱: جرقه‌ی لیزری در حالت a) گاز b) مایع c) جامد d) ذرات معلق [۲] ۲۰
شکل ۱-۱۲: جرقه‌ی ایجادشده روی فیلتر با استفاده از یک لنز استوانه‌ای [۱] ۲۲
شکل ۱-۱۳: بررسی مستقیم [۲]. ۲٤
شکل ۱-۱٤: ارسال نور از طریق فیبرنوری [۱] ۲٤
شکل ۱-۱۵: کاوش‌گر فشرده [۲] ۲۵
شکل ۱-۱٦: بررسی از راه دور [۲] ۲٦

فصل دوم:

شکل ۲-۱: نمودار شدت بر حسب زمان تأخیرهای مختلف برای برقراری شرط LTE [۳۱].....۳٤
شکل ۲-۲: مشخصات پروفایل فوگت در مقایسه با شکل خط لورنتسی و گاوسی [۲] ۳٦
شکل ۲-۳: نمودارتغییرات دمای پلاسما نسبت به زمان [۲].....٤۰
شکل ۲-٤: نمودار بولتزمن برای خط‌های گسیلی آهن [۱].....٤٤
شکل ۲-۵: نمودار تغییرات چگالی الکترون نسبت به زمان [۲] ٤٤
شکل ۲-٦: خودواژگونی [۲].....٤۹
شکل ۲-۷: الگوریتم روش IRSAC ٦۰

فصل سوم:

شکل ۳-۱: لیزر Nd-YAG به همراه کنترل لیزر ۷۳
شکل ۳-۲: توان‌سنج.....۷۳
شکل ۳-۳: عدسی متمرکزکننده.....۷۵
شکل ۳-٤: عدسی جمع‌کننده فیبرنوری ۷۵
شکل ۳-۵: پایه‌ی نگهدارنده میکرومتری قابل تنظیم در سه راستای XYZ ۷٦
شکل ۳-٦: طرحی از فیبر نوری [۲].....۷۷
شکل ۳-۷: نمونه‌ای از زاویه پذیرش برای عبور پرتوهای نور از داخل تار نوری [۲].....۷۸
شکل ۳-۸: فیبرنوری ۷۸
شکل ۳-۹: ساختار آشکارساز CCD [۲].....۸۱
شکل ۳-۱۰: بیناب‌سنج.....۸۲
شکل ۳-۱۱: رایانه جهت ثبت بیناب ۸۲
شکل ۳-۱۲: تأخیرانداز ۸۳
شکل ۳-۱۳: نوسان‌نما.....۸٤
شکل ۳-۱٤: کابل BNC.....۸۵
شکل ۳-۱۵: کابل BNC به همراه رابط بیناب‌سنج.....۸۵

شکل ۳-۱۶: عوارض اختلال در بدن انسان در اثر تجمع فلزات سنگین ۸۷
شکل ۳-۱۷: نمونه آلیاژ برنج a) شیر آب، b) مفتول.....۹۱
شکل ۳-۱۸: چیدمان آزمایش [۲۸] ۹۲
شکل ۳-۱۹: بیناب آلیاژ برنج (a) شیرآب، (b) مفتول ۹٤
شکل ۳-۲۰: نمودار بولتزمن نمونه آلیاژ شیرآب برای خطوط a) مس خنثی، b) روی خنثی،
c) سرب خنثی، d) مقایسه ۳ گونه‌ی مس، روی و سرب خنثی ۹۹
شکل ۳-۲۱: نمودار بولتزمن نمونه آلیاژ مفتول برای خطوط a) مس خنثی، b) روی خنثی،
c) سرب خنثی، d) مقایسه ۳ گونه‌ی مس، روی و سرب خنثی ۱۰۱
شکل ۳-۲۲: بیناب خط هیدروژن برای a) آلیاژ شیرآب b) آلیاژ مفتول ۱۰۳
شکل ۳-۲۳: خط ٤٧٢/٢١٥٦٩ nm عنصر روی در بیناب نمونه مفتول.....۱۰٦

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

فصل سوم:

جدول ۳-۱: مشخصات لیزرهای استفاده شده در LIBS.....۷۱
جدول ۳-۲: مشخصات پارامتری خط‌های گسیلی Cu I.....۹٤
جدول ۳-۳: مشخصات پارامتری خط‌های گسیلی Pb I ۹۵
جدول ۳-٤: مشخصات پارامتری خط‌های گسیلی Zn I ۹۵
جدول ۳-۵: مشخصات طول‌موج و شدت پیک عناصر در نمونه شیرآب و مفتول ۹٦
جدول ۳-٦: مشخصات طول‌موج و دمای محاسبه شده برای هرگونه در نمونه شیرآب ۹۷
جدول ۳-۷: محاسبه چگالی الکترون آلیاژهای شیرآب و مفتول ۱۰۲
جدول ۳-۸: بررسی شرط LTE با مقیاس مک‌وایتر برای گونه مس خط‌های *nm* ۵۱۰/۵۵٤
و ۵۱۵/۳۲٤ در آلیاژ شیر آب ۱۰۳
جدول ۳-۹: بررسی شرط LTE با مقیاس مک‌وایتر برای گونه مس خطوط ۵۱۰/۵۵٤ و
۵۱۵/۳۲٤ در آلیاژ مفتول.....۱۰٤
جدول ۳-۱۰: بررسی شرط LTE با نسبت شدت پیک و پارامترهای پایگاه داده برای گونه
مس خطوط ۵۱۰/۵۵٤ و ۵۲۱/۸۲۰ در آلیاژ شیر آب.....۱۰٤
جدول۳ -۱۱: بررسی شرط LTE با نسبت شدت پیک و پارامترهای پایگاه داده برای گونه
مس خطوط ۵۱۰/۵۵٤ و ۵۲۱/۸۲۰ در آلیاژ شیر آب.....۱۰٤
جدول ۳-۱۲: نتایج آنالیز کمی در نمونه آلیاژ شیرآب.....۱۰٦
جدول ۳-۱۳: نتایج آنالیز کمی در نمونه آلیاژ مفتول ۱۰٦
جدول ۳-۱٤: نتایج آنالیز کمی در نمونه آلیاژ مفتول با حذف خط nm ٤۷۲/۲۱۵٦۹ عنصر روی..۱۰۷

۱ فصل اول:

مروری تحلیلی بر روند پیشرفت بیناب‌نگاری شکست القای لیزری

۱-۱ تاریخچه وکشف LIBS

تاریخچه بیناب‌سنجی فروشکست القاییده لیزری [1](LIBS) به کمی بعد از ابداع لیزر در دهه ٦٠ میلادی می‌باشد. در سال‌های اولیه قبل از سال ١٩٦٠ شکست دی الکتریک در گازها در فشار پایین لوله گاز با الکترود و یا بدون الکترود در فرکانس‌هایی در گستره صدها کیلوهرتز تا چند ده مگاهرتز صورت می‌گرفت. در سال‌های بعد شکست گازها در فشار کم با فرکانس‌هایی از مرتبه گیگاهرتز در گستره‌ی امواج میکروویو میدان‌های الکترومغناطیسی ایجاد شد. برای شکست به میدان الکتریکی میکروموج و مانا از مرتبه‌ی ده‌ها کیلووات در سانتی‌متر و در فرکانس‌های اپتیکی (نوری) به میدان‌های بسیار قوی از مرتبه‌ی $\frac{mV}{cm}$ ١٠ نیاز است. لیزر پایه اصلی تکنیک LIBS می‌باشد، بعد از ساخت اولین لیزر یاقوت در سال ١٩٦٠ تحقیقات زیادی در زمینه لیزر صورت گرفت. به دنبال آن در سال ١٩٦٣ لیزرهای کیوسوئیچ[2] توسعه یافتند. این نوع لیزرها توانایی تولید پالس با چگالی انرژی بالا و طول پالس کوتاه برای شکست اولیه وایجاد پلاسمای لیزری را دارا بودند که به آن جرقه‌ی لیزری نیز گفته می‌شود. در این سال‌ها هم‌زمان با اختراع لیزر، رشد و پیشرفت روش LIBS و افزایش تقاضا برای این روش در بررسی مواد گوناگون آغاز شد. در سال ١٩٦٣ اولین گزارش‌ها در مورد ایجاد پلاسمای لیزر در گازها داده شد . در ادامه درسال ١٩٦٦ فراکافت فلزات داغ توسط تکنیک LIBS صورت گرفت و می‌توان این دوران را زمان تولد تکنیک LIBS در عرصه علم دانست. در سالیان متمادی تحقیقات زیادی روی گرفت و امروزه این تکنیک، یک روش شناخته شده در زمینه

[1] Laser-Induced Breakdown Spectroscopy
[2] Q-switched Laser

بیناب‌سنجی می‌باشد. هم‌اکنون LIBS، تنها روشی است که با استفاده از آن به راحتی می‌توان در هر محیطی به ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی مواد از روی مشخصات بینابی آن‌ها پی برد [۱].

۱-۲ معرفی روش LIBS

بیناب‌سنجی فروشکست القای لیزری (LIBS) که همان بیناب‌سنجی پلاسمای لیزری [۱](LIPS) نامیده می‌شود هم‌زمان با اختراع لیزر در سال ۱۹۶۳ وارد عرصه بیناب‌سنجی پلاسمای گسیل اتمی [۲](P-AES) شد [۲]. اساس این تکنیک، بیناب‌سنجی پلاسمای ایجاد شده در اثر برهم‌کنش لیزر با نمونه است. در این روش با متمرکز کردن پالس لیزری روی نمونه مجهول، حجم کوچکی از آن به شکل پلاسمای تابشی بسیار داغ که ناپایدار است، کنده می‌شود. پلاسما یک گاز یونیزه با دمای بالا شامل اتم‌ها، یون‌ها و الکترونهای آزاد است. عامل ایجاد پلاسما برخورد پی‌درپی الکترون‌ها با مولکول‌ها و اتم‌های نمونه و برانگیختگی آن‌ها است. تعداد این برخوردها آنقدر زیاد است که دمای پلاسما را بالا می‌برد. در حقیقت پلاسما را می توان یک شعله الکتریکی دانست که در مقایسه با شعله شیمیایی از پایداری، صحت و حساسیت بالاتری برخوردار است. عناصر مختلف در پلاسما پس از سرد شدن، بیناب‌های اتمی، یونی و گاهی مولکولی مخصوص به خود را ساطع می‌کنند. از آن‌جایی که پلاسمای ایجاد شده دارای طول عمر بسیار کوتاهی است، لذا استفاده از تکنیک تفکیک زمانی به منظور انتخاب بیناب‌های اتمی، بسیار مهم است. نور گسیلی به وسیله یک بیناب‌نگار به مؤلفه‌های طول‌موجی تجزیه شده و توسط آشکارساز ثبت می‌شود. با پردازش طول موج‌های ثبت شده، می‌توان به اطلاعاتی در مورد مقدار و نوع عناصر موجود در نمونه پی‌برد. بیناب‌سنجی فروشکست القای لیزری را می‌توان برای آنالیز مواد در هر سه فاز جامد، مایع و گاز به کار گرفت [۱]. در چند دهه‌ی گذشته، LIBS قابلیت‌ها و توانایی‌هایی در آنالیز مواد، کنترل تولید صنعتی [۳ و٤]، تضمین کیفیت [۵]، حفاظت محیط زیست [٦ و۷]، شناسایی فضای بیرونی [۸]، حفاظت از میراث فرهنگی [۹]، مطالعات دارویی [۱۰]، پزشکی، دندان‌پزشکی وغیره کاربرد قابل‌توجهی داشته است. امروزه تحقیقات بسیاری به‌منظور ارتقاء و بهبود قابلیت‌های این تکنیک انجام گرفته است. شکل ۱-۱ نشان‌دهنده‌ی

[1] Laser-Induced Plasma Spectroscopy
[2] Plasma Atomic Emition Spectroscopy