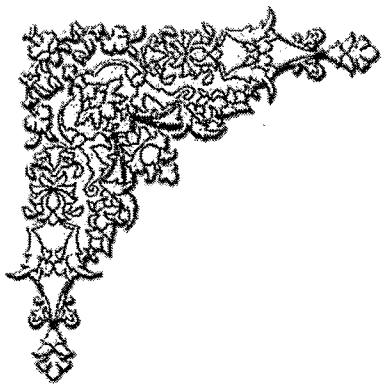
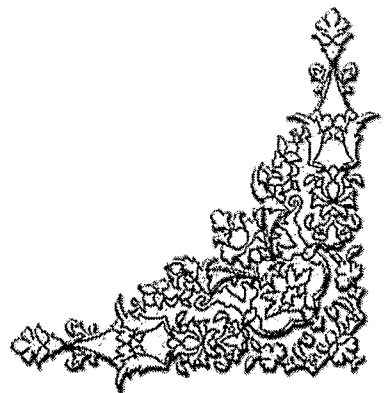
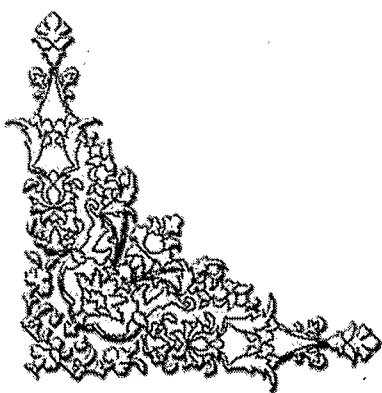


۸۵، ۱، ۱، ۸۵.

۸۵، ۱، ۱



کتابخانه



۱. ۸۵۸



دانشگاه شهید بهشتی

پژوهشکده لیزر و پلاسما

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد فوتونیک

عنوان:

ساخت بیناب سنج تخلیه القائی الکتریکی برای تعیین میزان ذرات معلق در هوا

دانشجو:

استاد زاهداعات لارک علی بزرگ  
حسین لارک

مرتضی خلجی

۱۳۸۷ / ۱۰ / ۶

استاد راهنما:

دکتر سید حسن توسلی

شهریور ۱۳۸۷

۱۰۸۳۳۸



بسمه تعالی

« صور تجلسه دفاع از پایان نامه دانشجویان دوره کارشناسی ارشد »

بازگشت به مجوز دفاع شماره ۴۵۶/۲۰۰ مورخ ۸۷/۷/۲۲ جلسه هیأت داوران ارزیابی پایان نامه آقای مرتضی خلجی به شناسنامه شماره ۵۷۲ صادره از تهران متولد ۱۳۳۶+ دانشجوی دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته رشته فوتونیک

با عنوان: " ساخت بیناب سنج تخلیه القایی الکتریکی برای تعیین میزان ذرات معلق در هوا به راهنمایی: دکتر توسلی

طبق دعوت قبلی در تاریخ ۸۷/۶/۲۰ تشکیل گردید و براساس رأی هیأت داورى و با عنایت به ماده ۲۰ آئین نامه کارشناسی ارشد مورخ ۷۵/۱۰/۲۵ پایان نامه مزبور با نمره ۱۹۶۰ و درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت.

۱- استاد راهنما: دکتر توسلی

۲- استاد داور داخلی: دکتر قمی

۳- استاد داور خارجی: دکتر ملک فر

۸۷-۶-۲۷

۴- نماینده تحصیلات تکمیلی پژوهشکده: دکتر مهاجرانی

## فهرست مطالب

### فصل اول: مقدمه

- ۱-۱ کوانتائی بودن انرژی- اساس طیف سنجی جذبی و نشری..... ۱
- ۲-۱ معرفی تکنیک SIBS..... ۲
- ۱-۲-۱ بررسی تاریخچه موضوع از لحاظ تجربی..... ۳
- ۳-۱ معرفی هواویزها..... ۵
- ۱-۳-۱ تکنیکهای اندازه گیری هواویزها..... ۸
- ۴-۱ اهداف پایان نامه..... ۱۲

### فصل دوم: اصول SIBS

- ۱-۲ اصول SIBS..... ۱۳
- ۱-۱-۲ تشکیل پلاسما..... ۱۵
- ۲-۱-۲ گسیل پلاسما..... ۲۲
- ۲-۲ ابزار و تجهیزات لازم در SIBS..... ۲۶
- ۱-۲-۲ طیف سنجها و آشکار سازها..... ۲۶
- ۲-۲-۲ المانهای اپتیکی..... ۳۰

### فصل سوم: طراحی و ساخت

- ۱-۳ ساخت مدار ایجاد جرقه برای تحلیل عنصری مواد..... ۳۲
- ۲-۳ طراحی و ساخت سوئیچ فشار قوی الکتریکی..... ۳۶
- ۳-۳ ساخت تریگر برای دوربین ICCD..... ۴۱
- ۴-۳ تصاویر گرفته شده از قسمتهای مختلف دستگاه ساخته شده..... ۴۵

### فصل چهارم: نتایج

- ۱-۴ آشکار سازی لحظه ای گردوغبار محلی..... ۵۰
- ۱-۱-۴ چیدمان آزمایش..... ۵۰
- ۲-۱-۴ بحث و نتایج..... ۵۱
- ۲-۴ تعیین ترکیبات بودر سیمان..... ۶۱
- ۱-۲-۴ چیدمان آزمایش..... ۶۲
- ۲-۲-۴ بحث و نتایج..... ۶۳
- نتیجه گیری..... ۷۱
- پیشنهادات..... ۷۲
- مراجع..... ۷۳

## فهرست شکلها

- شکل ۱-۱: نمایش قیاسی قیمت‌های نسبی ابزار بر پایه SIBS و تکنولوژیهای قابل رقابت..... ۱۱
- شکل ۱-۲: طرحواره‌ای نمایشی از شروع یونیزاسیون در هوای مابین الکترودها، ایجاد تخلیه الکتریکی (جرقه) و تشکیل پلاسمای داغ و سرد شدن تدریجی پلاسما و شروع گسیل اتمی..... ۱۴
- شکل ۲-۲: احتمال یونیزاسیون اتم بر حسب انرژی الکترون برخوردی..... ۱۸
- شکل ۲-۳: منحنی مراحل مختلف یونیزاسیون به کمک منحنی ولتاژ- جریان الکتریکی..... ۲۱
- شکل ۲-۴: گذارهای نوعی در اتم یا یون. از چپ به راست: تراز به تراز، پیوستار به تراز، پیوستار به پیوستار (برامشترلانگ و معکوس برامشترلانگ)، تراز به پیوستار (یونیزاسیون از حالت پایه، یونیزاسیون از حالت برانگیخته)..... ۲۴
- شکل ۲-۵: شماتیک کلی از تحول زمانی پلاسما SIBS پنجره آشکار سازی همراه با دو پارامتر  $t_g$  و  $t_d$  نشان داده شده است..... ۲۵
- شکل ۲-۶: طرحی نمادین از نحوه تفکیک نور در طیف سنجهای مبنی بر زرنی- ترنر..... ۲۷
- شکل ۲-۷: طرحی نمادین از نحوه تفکیک نور در طیف سنجهای مبنی بر اشل..... ۲۸
- شکل ۲-۸: طیف سنج اشل و دوربین ICCD در آزمایشگاه..... ۲۹
- شکل ۳-۱: طرح کلی مدار ایجاد جرقه برای طیف سنجی تخلیه القائی الکتریکی..... ۳۳
- شکل ۳-۲: رد اسیلوسکپ در هنگام تخلیه خازنی نشان می دهد که چطور به علت مقاومت و القائیدگی ذاتی مدار نوسانات همچون نوسان یک مدار RLC واقعی از بین می رود..... ۳۵
- شکل ۳-۳: گاف جرقه گازی (سوئیچ گازی) و سه نوع از طرحهای متداول برای تریگ پذیر شدن آنها..... ۳۷
- شکل ۳-۴: طرح نمادین مدار ساخته شده برای تولید پالس فشار قوی الکتریکی درالکتروود تریگر..... ۳۸
- شکل ۳-۵: دو نمونه از کاربردهای مدار مجتمع ۷۴۱۴..... ۴۲
- شکل ۳-۶: طرح نمادین مدار ساخته شده برای تولید پالس مربعی جهت تریگ دوربین آشکارساز..... ۴۳
- شکل ۳-۷: مراحل مختلف برای ایجاد پالس ورودی به مدار مجتمع ۷۴۱۴ توسط مدار ساخته شده..... ۴۴
- شکل ۳-۸: مدار تجربی ساخته شده برای تخلیه خازن ۲۵ ولتی در دوسر کویل جهت تولید پالس فشار قوی الکتریکی در الکتروود تریگر..... ۴۵
- شکل ۳-۹: سوئیچ فشار قوی الکتریکی. الکترودهای گوی شکل به همراه الکتروود تریگر (شمع ماشین) و کویل نشان داده شده اند..... ۴۶
- شکل ۳-۱۰: مدار تجربی ساخته شده برای تریگ دوربین آشکارساز..... ۴۶
- شکل ۳-۱۱: نمای داخلی از دستگاه ساخته شده (دید از روبرو)..... ۴۷
- شکل ۳-۱۲: نمایی از قسمت جلویی دستگاه..... ۴۸
- شکل ۴-۱: چیدمان آزمایش..... ۵۰
- شکل ۴-۲a, b: مقایسه خطوط طیفی Ca و Mg به ترتیب برای (a) هوای طوفانی و (b) خاک، نسبت به هوای مرجع داخل آزمایشگاه..... ۵۲
- شکل ۴-۳: تاثیر کارهای روزمره در آزمایشگاه و بالا رفتن میزان گردوغبار..... ۵۳

شکل ۴-۴: نسبت شدت خطوط طیفی (a)  $\frac{Ca}{N}$  و (b)  $\frac{Mg}{N}$  برای هوای طوفانی شبیه سازی شده در آزمایشگاه، برای یک نوع خاک با اندازه های ۴۰، ۱۵۰، ۴۰۰ و ۷۰۰ میکرون..... ۵۵

شکل ۴-۵: افزایش نسبی نسبتهای  $\frac{Ca}{N}$  و  $\frac{Mg}{N}$  در هوای طوفانی نسبت به حالت مرجع (P/B)، بر حسب قطر ذرات خاک. ۵۷

شکل ۴-۶: طیف SIBS هوای آزمایشگاه که در تاخیر زمانی یک میکرو ثانیه ای توسط طیف سنج اشل اندازه گیری شده است. تمام طیفهای مشخص شده مربوط به طیفهای یونی هستند..... ۵۸

شکل ۴-۷: طیف SIBS هوای آزمایشگاه که در تاخیر زمانی یک میکرو ثانیه ای توسط طیف سنج اشل اندازه گیری شده است..... ۶۰

شکل ۴-۸: نحوه قرار گرفتن پودر سیمان در زیر الکترودها برای گرفتن طیف SIBS..... ۶۲

شکل ۴-۹: طیفهای حاصل از SIBS (a) هوا، (b) خاک، (c) سیمان. زمان تاخیری و زمان نورگیری برای هوا و خاک یکسان و به ترتیب برابر ۳ و ۴/۶ میکروثانیه و برای سیمان زمان تاخیری مناسب ۵۰ میکروثانیه و زمان نورگیری برابر ۲۰ میکروثانیه تعیین شد..... ۶۴

شکل ۴-۱۰: خطوط طیفی منیزیم در خاک و سیمان (a) طیف SIBS خاک در زمان تاخیری ۲ و زمان نورگیری ۵۰ میکروثانیه (b) طیف SIBS سیمان، بدون تاخیر زمانی و زمان نورگیری ۲۰  $\mu s$ ..... ۶۵

شکل ۴-۱۱: (a) طیف حاصل از پلاسمای هوا، (b) طیف حاصل از پودر سیمان..... ۶۶

شکل ۴-۱۲: مشاهده همزمان عناصر اصلی و فرعی در سیمان، زمان تاخیری ۲۰ و زمان نورگیری ۵۰ میکروثانیه می باشد..... ۶۸

شکل ۴-۱۳: طیف SIBS نمونه های (a) مس با زمان تاخیری ۲۰ و زمان نورگیری ۲۰ میکروثانیه و (b) آلومینیوم با زمان تاخیری ۱۰ و زمان نورگیری ۲۰ میکروثانیه..... ۷۰

## چکیده پایان نامه

تکنیک طیف سنجی تخلیه القائی الکتريکی (SIBS) در واقع اندازه‌گیری ترکیب مواد بر پایه طیف‌سنجی گسیل اتمی از پلاسمایی است که مابین دو الکتروود (ناشی از اعمال ولتاژ بالا) ایجاد شده است. به دلیل انرژی بالای تخلیه الکتريکی ایجاد شده در این تکنیک ( $5J$ )، و به خاطر مزیت‌هایی از قبیل ارزان بودن، حساسیت بالا (تا حد ppm) و آنی بودن تجزیه و تحلیل مواد، این تکنیک رشد روز افزونی را به خصوص در تجزیه و تحلیل طیفی خاک، مواد پودری و همچنین ذرات معلق در هوا پیدا کرده است.

هدف از این پروژه طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی احساسگر SIBS جهت آشکارسازی ترکیبات عنصری هوا می‌باشد. یکی از قسمت‌های اصلی دستگاه SIBS بخش تولید کننده پلاسمای می‌باشد که در همین راستا در این پروژه ساخت مدار ایجاد کننده جرقه، ساخت سوئیچ فشار قوی الکتريکی برای ثابت کردن انرژی جرقه و همچنین ساخت تریگر برای دوربین آشکارساز مد نظر قرار گرفته است. با استفاده از دستگاه تولید کننده جرقه و چیدمان آزمایشگاهی برای طیف‌سنجی، گردوغبار موجود در هوا در شرایط مختلف آزمایشگاهی و به طور کیفی آشکارسازی شد. شدت خطوط طیفی Ca (II) به عنوان عنصری اصلی و همچنین Mg (II) (نمونه‌ای از عناصر فرعی) در گردوغبار، نسبت به خط طیفی N (II) موجود در هوا (خط مرجع)، به طور کیفی با هم مقایسه شده و از نتایج تجربی، معیاری برای تشخیص هوای غبار آلود بدست می‌آید.

همچنین نتایج تجربی طیف‌سنجی بدست آمده از پلاسمای پودر سیمان و خاک نشان می‌دهد که دستگاه قابلیت آشکارسازی مواد پودری را نیز دارد.

کلمات کلیدی: طیف سنجی، تخلیه الکتريکی، گردوغبار، سیمان.

# فصل اول

## ۱- مقدمه

### ۱-۱- کوانتائی بودن انرژی - اساس طیف سنجی جذبی و نشری:

هر مولکول یا اتم در فضا می تواند دارای انواع مختلفی از انرژی باشد، انرژی چرخشی ناشی از چرخش کل مولکول حول مرکز ثقل، انرژی ارتعاشی ناشی از جابجایی تناوبی اتم ها از مواضع تعادلی شان، انرژی الکترونی به علت آنکه الکترون های هر اتم یا پیوند در حرکت وقفه ناپذیر هستند، و انواع دیگر انرژی. بر اساس نظریه پلانک انرژی هر یک از این حرکات مربوط به مولکول یا اتم کوانتائی یا گسسته<sup>۱</sup> بوده و مولکول می تواند در ترازهای متفاوتی از انرژی چرخشی و ارتعاشی و غیره باشد و تنها با یک جهش ناگهانی، که مستلزم مقدار معینی از انرژی است، از یک تراز به تراز دیگر می رود. دو حالت ممکن انرژی یک سیستم مثلاً دو تراز انرژی الکترونی اتم را، که با  $E_1$  و  $E_2$  ( $E_2 > E_1$ ) نشان می دهیم در نظر می گیریم. به شرط آنکه انرژی به مقدار لازم، یعنی  $\Delta E = E_2 - E_1$  بتواند توسط سیستم جذب یا نشر گردد، جهش بین تراز های  $E_1$  و  $E_2$

<sup>۱</sup> Discrete



انجام می‌گیرد. بنابر پیشنهاد پلانک، چنین جذب یا نشر انرژی می‌تواند به شکل تابش الکترومغناطیسی انجام پذیرد که فرکانس این تابش دارای شکل ساده زیر می‌باشد:  $\nu = \frac{\Delta E}{h}$  که در این رابطه  $h$  به ثابت پلانک معروف است.

اهمیت این موضوع در این است که اگر اتمی در حالت  $E_1$  در معرض تابش تک فرکانس  $\nu$  (تابش تک‌رنگ) قرار گیرد، به شرط آنکه  $\nu = \frac{\Delta E}{h}$  باشد انرژی این تابش جذب شده و اتم به حالت انرژی بالاتر  $E_2$  جهش می‌یابد. حال اگر تابش بعد از تأثیر روی اتم وارد آشکارسازی شود ملاحظه می‌گردد که از شدت تابش کاسته شده است بدین ترتیب است که یک طیف که طیف جذبی<sup>۱</sup> نامیده می‌شود، به وجود می‌آید. همینطور اتمی که در حالت  $E_2$  یعنی تراز بالا، که تراز تحریکی نامیده می‌شود، قرار دارد می‌تواند در نتیجه‌ی نشر انرژی به حالت پایدار تر  $E_1$ ، رجوع کند. آشکارساز در این حالت نشان می‌دهد که فرکانس تابش گسیلی برابر با  $\nu = \frac{\Delta E}{h}$  بوده و طیف گسیلی<sup>۲</sup> از اتم نامیده می‌شود که کاملاً مکمل طیف جذبی در قسمت قبل است [۱].

## ۱-۲- معرفی تکنیک SIBS:

طیف سنجی تخلیه القائی الکتریکی<sup>۳</sup> تکنیکی است بر پایه‌ی طیف سنجی گسیل اتمی از پلاسما، که جهت تجزیه و تحلیل عنصری مواد به کار می‌رود. در این تکنیک با استفاده از تخلیه الکتریکی، پلاسمائی از نمونه مجهول قرار گرفته بین دو الکترود ایجاد می‌شود. عناصر مختلف در پلاسما پس از سرد شدن، طیف‌های اتمی و یونی مخصوص به خود را ساطع می‌کنند. نور گسیلی به وسیله‌ی یک طیف‌سنج به مولفه‌های طول موجی 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 پی برد.

<sup>1</sup> Absorption spectrum

<sup>2</sup> Emission spectrum

<sup>3</sup> Spark Induced Breakdown Spectroscopy (SIBS)

در سالهای اخیر با استفاده از این روش، نمونه های زیادی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است که می توان به نمونه هائی از قبیل استیل، آلیاژ آلومینیوم، نمونه های وابسته به زمین شناسی، زیست محیطی و نمونه های بیولوژیکی اشاره کرد. این تکنیک به خصوص برای آنالیز مستقیم نمونه های جامد فلزی مناسب است اما برای نمونه های گازی و مایع نیز به کار برده می شود.

ابزار و وسایل SIBS نسبت به دیگر روشهای متداول ساده تر و ارزاتر است به گونه ای که می توان وسیله قابل حمل و قدرتمند را که در هر شرایط محیطی سازگار باشد ساخت. در تکنیک SIBS احتیاج نداشتن به آماده سازی نمونه از قبیل استفاده از حلالها، فیلترها و ...، پتانسیل بالایی را برای این روش جهت تجزیه و تحلیل کمی و کیفی عنصری مواد مختلف ایجاد نموده است. آنالیز مواد در این روش می تواند به طور آنی<sup>۱</sup> و در محل<sup>۲</sup> انجام گیرد و عملکرد آن به طور خودکار کنترل شود. این روش قابلیت آشکارسازی عناصر کمینه و اصلی را به طور همزمان و با حساسیتی بالا تا حد ppm<sup>۳</sup> دارد. بنا به این دلایل SIBS رشد روز افزونی را به خصوص در تجزیه و تحلیل طیفی خاک و مواد پودری و همچنین ذرات معلق در هوا داشته است [۲-۷].

### ۱-۲-۱- بررسی تاریخچه موضوع از لحاظ تجربی :

طیف سنجی گسیل نوری<sup>۴</sup> روشی نسبتاً قدیمی در تجزیه و تحلیل نور است که بر پایه طیف سنجی گسیل اتمی<sup>۵</sup> استوار است. اغلب اصطلاح OES به جای AES برای تمایز از تکنیک طیف سنجی الکترونی اوژه<sup>۶</sup> مورد استفاده قرار می گیرد. در آغاز، برای طیف سنجی گسیل نوری از شعله<sup>۷</sup> به عنوان منبع نوری استفاده می شد. و در سال ۱۹۵۰ جرقه یا قوس الکتریکی به عنوان یک منبع نوری مناسب معرفی شد. این روش اغلب در آنالیز فلزات و آلیاژها در صنعت متالورژی و دیگر نمونه های متغیر از قبیل اکتشافات سنگهای معدنی در زمین شناسی و همچنین نمایش پیوسته زباله سوزهای

<sup>1</sup> Real timer

<sup>2</sup> In- situ

<sup>3</sup> Part per million

<sup>4</sup> Optical Emission Spectroscopy (OES)

<sup>5</sup> Atomic Emission Spectroscopy (AES)

<sup>6</sup> Auger Electron Spectroscopy (AES)

<sup>7</sup> flame

محیطی کاربرد دارد. به طوری که طیف سنجی گسیل نوری از جرقه الکتریکی<sup>۱</sup> بیش از ۵۰ سال است که برای آنالیز مستقیم آلیاژها در صنعت آلومینیوم به کار می‌رود [۸]. با توجه به این که در طیف سنجی گسیل اتمی، اتم‌ها و یون‌ها باید به تراز بالا تحریک شوند، لازم است که از منابع تحریکی با انرژی بالا استفاده شود. از جمله روش‌هایی که در چند دهه‌ی اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است روش طیف سنجی تخلیه القائی الکتریکی (SIBS) است که همانند روش‌های قدیمی، از پلاسمایی که به صورت الکتریکی تولید شده به عنوان منبع نوری مناسب و همچنین برای تحریک نمونه استفاده می‌شود. نحوه‌ی تولید پلازما در این روش به مشخصات ماده‌ی نمونه بستگی دارد. در ابتدا این روش فقط برای تحلیل عنصری نمونه‌های رسانا به کار می‌رفته که امروزه هم کاربرد زیادی در کنترل و تعیین مقدار عناصر ترکیبات و هم چنین تشخیص ناخالصی‌ها در فرایند تولید انواع آلیاژها دارد.

برای تحلیل آلیاژهایی همانند مس و آلومینیوم به دلیل رسانا بودن ماده، مشابه با روش‌های قدیمی، خود نمونه به عنوان الکترود کاتد قرار داده می‌شود و تخلیه‌ی الکتریکی بین این الکترود و یک الکترود آند از جنسی که در مقابل خوردگی و ذوب مقاوم است و در فاصله‌ی نزدیکی از سطح کاتد قرار داده می‌شود ایجاد می‌گردد. پس از ایجاد تخلیه‌ی الکتریکی، هم زمان با تشکیل پلازما مقداری از ماده‌ی نمونه کنده شده و به درون پلازما می‌رود. امروزه یکی از مزیت‌های SIBS کاربرد آن برای تحلیل نمونه‌های نارسانا، از جمله نمونه‌های پودری مثل سیمان، خاک و هوا است. تعیین عناصر مختلف مثل سرب، کرم، باریوم، جیوه، کادمیم و اورانیوم در بررسی انواع خاک و تعیین غلظت عناصر اصلی و عناصر کمیاب در پودر سیمان نتایج حاصل از استفاده از این روش بوده است. در این موارد جرقه بین دو الکترود، که در هوا و در فاصله‌ی نزدیکی از هم قرار می‌گیرند، تولید می‌شود و ماده‌ی نمونه در فاصله‌ی مناسبی زیر الکترودها قرار داده می‌شود.

از سال ۱۹۹۳، SIBS به عنوان یک تکنیک کارآمد و ارزان نسبت به دیگر روش‌های طیف‌سنجی همچون LIBS، XRF و ... برای تجزیه و تحلیل ذرات معلق در هوا به کار گرفته شده است. در سال‌های اخیر با ظهور و ورود طیف نگارها و دوربین‌های بسیار حساس این روش رشد روز

<sup>۱</sup> Electrical spark-OES

افزونی را در کاربردهای صنعتی و بیولوژیکی داشته است. یکی از کاربردهای اساسی این تکنیک تعیین غلظت فلزات سمی موجود در ذرات هوا است. که با این روش با استفاده از ایجاد پلاسما در هوای محیط، غلظت عناصر سمی ای مثل سرب، باریم، جیوه و کرم را در هوا اندازه گیری کرده اند. هانتر و همکارانش<sup>۱</sup> دستگاهی را بر مبنای تکنیک SIBS ساخته اند که قابل حمل بوده و می تواند گونه های خطرناک را در محل<sup>۲</sup> و به طور آنی<sup>۳</sup> نمایش دهد. طراحی این دستگاه طوری انجام گرفته که مخصوصاً برای نمایش فلزات سنگینی همچون سرب، کادمیوم، کروم، آرسنیک، جیوه، باریم و مواد رادیواکتیوی همچون اورانیم، توریوم و تکنیتیوم<sup>۴</sup> قابل استفاده است [۱-۸].

### ۱-۳- معرفی هواویزها<sup>۵</sup>:

علم مربوط به هواویزها دایره وسیعی از نواحی دانش از قبیل علم هواشناسی، سلامتی عمومی و شغلی و نانو تکنولوژی را در بر می گیرد. ذرات جامد یا قطرات کوچک مایع معلق در گاز را هواویز می نامیم و به طور ساده تر می توان آنها را ذرات نامید. در اینجا باید به این نکته اشاره شود که کلمه هواویز اشاره به سیستمی چگال همراه با یک فاز گازی دارد اما معمولاً در محدوده های مورد توجه، اشاره به ذرات خواهد داشت. در ادامه چند نوع از هواویزها با ذکر خصوصیات جالب توجه شان توضیح داده خواهد شد.

اگر به ترکیب طبیعی هوای تمیز و خشک نزدیک سطح دریا که از ۷۸/۰۹ درصد نیتروژن، ۲۰/۹۴ درصد اکسیژن، ۰/۹۳ درصد آرگن، ۰/۰۳۱۸ درصد دی اکسید کربن و مقادیر ناچیز گازهای دیگر تشکیل شده، توجه نماییم مشخص می گردد که آلاینده های مهم نظیر منواکسید کربن، ذرات معلق، هیدروکربونها، ترکیبات گوگرددار، گرد و غبار و ... جزء ترکیب های طبیعی هوا محسوب نمی شوند به طوری که هر کدام از آنها در مکانهای نظیر بیمارستانها، اتاقهای تمیز، آزمایشگاههای

<sup>۱</sup> Hunter et al.

<sup>۲</sup> In situ

<sup>۳</sup> Real time

<sup>۴</sup> Technetium (Tc)

<sup>۵</sup> Aerosols

حساس الکترونیکی و اپتیکی و ... به نوبه خود دارای معضلات و آسیب‌هایی هستند که هم برای سلامتی انسان و هم برای دستگاه‌های حساس آزمایشگاهی، نامطلوب خواهد بود.

هوایزهای اتمسفر تأثیر مهمی بر روی آب و هوای جهانی و سلامت عمومی دارند. این هوایزها می‌توانند اثر مستقیمی بر تابش اتمسفری و متوازن شدن آن توسط پخش‌شدگی و جذب نور داشته باشند و یا به طور مستقیم آلبدوی<sup>۱</sup> زمین را (نسبت نور بازتاب شده‌ی پخش‌شدگی<sup>۲</sup> به نور فرودی را آلبدو می‌نامیم) را تغییر دهند به این صورت که قطرات کوچک آب از این ذرات کوچک به عنوان ناحیه‌هایی برای آغاز گذار فازی<sup>۳</sup> استفاده کرده و در تشکیل ابر اثر گذار می‌شوند [۹-۱۲]. هوایزهای اتمسفر ترکیبات پیچیده و مختلفی از ذرات را شامل می‌شوند که بعضی از ترکیبات مهم در آنها عبارت است از مواد آلی و عناصر و گونه‌های کربن‌دار، سولفات‌ها، نیترات‌ها، آمونیوم، نمک‌های دریا، فلزات سنگین و مواد بیولوژیکی. هوایزها به طور طبیعی و یا به طور مصنوعی توسط انسان تولید می‌شوند و می‌توانند به طور مستقیم وارد اتمسفر شده (هوایزهای اولیه<sup>۴</sup>) و یا از گازهای پیشرو<sup>۵</sup> در خود اتمسفر تشکیل شوند (هوایزهای ثانویه<sup>۶</sup>) [۱۳-۱۵].

در هنگام اندازه‌گیری هوایزهای اتمسفریک، غلظت و ترکیبات عنصری از مهمترین مشخصه‌های آنها به حساب می‌آیند. دو معیار متداول برای غلظت وجود دارد: جرم کل ذرات بر جرم یا حجم گاز حامل (غلظت جرمی)، یا تعداد ذرات بر حجم گاز (غلظت عددی). همچنین چندین پارامتر که می‌توانند در تعیین اندازه ذرات مورد استفاده قرار گیرند عبارتند از جرم، بعد فیزیکی<sup>۷</sup>، قطر جنبشی یا جنبایی الکتریکی<sup>۸</sup> و قطر آیرودینامیکی<sup>۹</sup>. سرعت یک ذره باردار، هنگام عبور از یک سیال در حضور میدان الکتریکی، توصیف‌کننده قطر جنبایی است، از طرف دیگر پاسخ ذرات به شتاب داده شده به سیال احاطه‌کننده آنها، قطر آیرودینامیکی را تعیین می‌کند. قطر جنبایی تابعی از شکل ذره است و قطر آیرودینامیکی هم وابسته به شکل ذره و هم وابسته به

<sup>1</sup> Albedo

<sup>2</sup> Diffusely reflected

<sup>3</sup> Nucleation sites

<sup>4</sup> Primary aerosols

<sup>5</sup> Gaseous precursors

<sup>6</sup> Secondary aerosols

<sup>7</sup> Physical dimension

<sup>8</sup> Electrical mobility diameter

<sup>9</sup> Aerodynamic diameter

چگالی آن می‌باشد. بنابراین برای ذرات کروی با چگالی واحد، این قطرها با هم برابرند. هواویزها اغلب دارای اشکال پیچیده‌ای هستند و چگالی به طور قابل توجهی از یک ذره به ذره دیگر تغییر می‌کند. بنابراین باید اندازه آنها با دقت لازم اندازه‌گیری گردد. قطر آیرودینامیکی اغلب از مهمترین پارامترهای اندازه‌ای حاکم بر حرکت هواویزها می‌باشد. از دیگر خصوصیات مهم هواویزهای اتمسفریک عبارتند از شکل، خصوصیات سطحی و خصوصیات اپتیکی.

دومین دسته از هواویزهای قابل توجه، هواویزهای بیولوژیکی هستند. از سال ۲۰۰۱ به دنبال شیوع سیاه زخم توجه ویژه‌ای در گسترش سیستم‌هایی که بتوانند به طور پیوسته و سریع هواویزهای بیولوژیکی را آشکارسازی کنند صورت گرفته است. به طور ویژه این وسیله‌ها باید توانایی نمایش ذرات موجود در هوا و تشخیص و تمایز بین هواویزهای بیماری‌زا و هواویزهای اتمسفریک را داشته باشند. آشکارسازی هواویزهای بیویی<sup>۱</sup> همچنین شامل نمایش باکتری‌های عامل بیماری در بیمارستان‌ها یا گرده‌ها و قارچ‌های انگلی عامل آلرژی نیز می‌باشد. خصوصیات مربوط به هواویزهای بیولوژیکی خیلی متفاوت با دیگر هواویزهاست. مشخصه‌های مهم بیولوژیکی از قبیل ساختارهای پروتئینی و رشته‌های ژنتیکی<sup>۲</sup> عامل سمی بودن و واگیردار بودن هواویزهای بیولوژیکی است.

در نهایت هواویزها در بعضی از محیط‌های صنعتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. در فرایندهای ساخت فیبرهای نوری، پودرهای سرامیکی، وسیله‌های نیمه رسانا و دیگر تولیدات پیشرفته، مواد از میان یک مرحله هواویز عبور می‌کنند. در بعضی از موارد، کیفیت نهایی محصول، وابسته به دقت کنترل خصوصیات هواویز در خلال فرایندهای ساخت است. اندازه‌گیری‌های هواویز برای مشخص کردن متدهای تولید هواویزها در اینگونه فرایندها یا برای کنترل فرایندهای آبی، بسیار مهم است [۱۶-۱۸].

<sup>1</sup> Bio-aerosols

<sup>2</sup> Genetic sequences

### ۱-۳-۱- تکنیک‌های اندازه‌گیری هواویز:

انواع زیادی از هواویزها با خصوصیات متفاوت و جالب توجهی وجود دارند. به طوری که برای اندازه‌گیری آنها، تکنیک‌ها و روشهای زیادی به کار گرفته شده و دستگاههای زیادی متناظر با آنها ساخته شده است که جزئیات آن در کتابها و مقالات مروری به طور کامل آورده شده است. [۱۹-۲۶] از طرفی دیگر، در بعضی از محیطهای کاری همچون معادن زغال سنگ، کارخانجات ذوب فلزات و غیره، به طور طبیعی آلودگی هوا بالا است. بنابراین آشکار سازی سریع و تحلیل عنصری آلودگی هوا می‌تواند در پیشگویی اثرات سلامتی و آسیبهای ناشی از آن، امری مهم تلقی گردد. بحث اصلی در اینجا به تکنیک‌های آنالیز ترکیبهای عنصری محدود می‌شود.

در حالی که تکنیکهای متفاوتی برای اندازه‌گیری محتویات هوا از قبیل آنالیزهای شیمیائی، روشهای بیولوژیک، پراکندگی نور، روشهای فیلترینگ و ... در دسترس هستند اما بسیاری از آنها مستلزم صرف وقت بوده و احتیاج به پیش آماده‌سازی نمونه دارند [۲۷-۲۹]. هنگام اندازه‌گیری هواویزها ذرات می‌توانند بر اساس اندازه‌شان دسته‌بندی شده و اندازه‌گیری شوند در این صورت ترکیبات عنصری ذرات می‌توانند به صورت تک تک و یا کلی اندازه‌گیری شوند. در هر کدام از این دو مورد، ذرات نوعاً روی یک لایه یا فیلتر جمع شده و یا در داخل حلال قرار می‌گیرند و سپس به یک ابزار یا دستگاه تجزیه‌ای سپرده می‌شوند. با این استراتژی تکنیک‌های تحلیلی زیادی وجود خواهند داشت که بتوانند ترکیبات عنصری ذرات را تشخیص دهند.

انواع زیادی از طیف‌سنجها مانند طیف‌سنج جرمی<sup>۱</sup>، رنگ‌نگاری<sup>۲</sup>، طیف‌سنجی اپتیکی و طیف‌سنجی اشعه ایکس می‌توانند در اندازه‌گیری هواویزها به عنوان تکنیک‌های تحلیلی مورد استفاده قرار گیرند. در این مورد، چالش اصلی کنترل و چگونگی نمونه‌برداری از هواویزها می‌باشد. در روشهای فیلترینگ<sup>۳</sup> جذب ذرات، تبخیر یا برهم‌کنش آنها با گونه‌هایی که در روی فیلتر قرار دارند اشکالاتی را ایجاد می‌کند. از طرفی دیگر به خاطر صرف زمان برای نمونه‌گیری و جمع

<sup>1</sup> Mass spectrometer

<sup>2</sup> Chromatography

<sup>3</sup> Filter-based methods

شدن تعدادی کافی از ذرات، محدودیتی را در دقت زمانی<sup>۱</sup> خواهند داشت. همچنین آنالیز ذرات به آهستگی صورت می‌گیرد زیرا نمونه به طور فیزیکی حرکت می‌کند و یا در بعضی از مواقع به طور شیمیایی آماده‌سازی می‌شود.

در بسیاری از کاربردها، آنی بودن<sup>۲</sup> و اندازه‌گیری ترکیبات عنصری یک ذره منفرد<sup>۳</sup> مورد توجه می‌باشد. اندازه‌گیری آنی متناسب به متدهایی است که با دقت زمانی بالایی آنالیز مواد را انجام می‌دهند و احتیاج به پیش آماده‌سازی نمونه نداشته و در حداقل زمان به پردازش می‌پردازند.

از طرف دیگر، تکنیک ذره منفرد برای به دست آوردن اطلاعات ریز درباره ارتباط بین اندازه و ترکیبات عنصری ذره مفید بوده و بدین ترتیب ردیابی ذره و شناسایی آن در منبع امکان پذیر خواهد بود. یک دسته بندی اصلی از ابزارهای اندازه‌گیری آنی بر پایه طیف سنج‌های جرمی می‌باشد. انواع مختلفی از طیف‌سنج‌های جرمی تک ذره<sup>۴</sup> وجود دارند که اساساً به خاطر تکنیک مورد استفاده‌شان در یونیزه کردن ذرات از هم متمایز می‌شوند به طور مثال یونیزاسیون لیزری، یونیزاسیون گرمایی و یونیزاسیون شیمیایی از انواع تکنیک‌هایی هستند که در آنها استفاده می‌شود. این ابزار توانایی اندازه‌گیری گونه‌های تک ذره‌ای، آلی و غیرآلی، با سرعتی مناسب و حد آشکارسازی<sup>۵</sup> خوبی را دارند. علم طیف‌سنجی جرمی علمی شناخته شده و بالغ است و ابزار مربوط به آن، به سرعت توسعه یافته و موفقیت‌های زیادی پیدا کرده است [۲۷-۲۹]. با این حال دارای محدودیتهایی نیز می‌باشند. طیف‌سنج‌های جرمی باید ذرات را قبل از یونیزه کردن وارد یک محفظه خلأ کنند که به خاطر همین سیستم پمپاژ، این گونه طیف‌سنج‌ها، دارای پیچیدگی‌هایی در ساخت و همچنین اندازه می‌باشند و در نتیجه قیمت قابل توجهی نیز دارند.

در محدوده تکنیک‌های طیف‌سنجی اپتیکی، تکنیک طیف سنجی تخلیه القایی لیزری<sup>۶</sup> بسیار شبیه به SIBS می‌باشد و در اندازه‌گیری هواویزها مورد استفاده قرار گرفته است. تفاوت اساسی

<sup>1</sup> Time resolution

<sup>2</sup> Real time

<sup>3</sup> Single particle

<sup>4</sup> Single Particle Mass Spectrometer (SPMS)

<sup>5</sup> Limit of detection

<sup>6</sup> Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)



این دو تکنیک در منبع تحریکی آنها، برای ایجاد پلاسما است. در حالی که SIBS از تخلیه الکتریکی برای ایجاد پلاسما استفاده می‌کند اساس تکنیک LIBS عموماً بر استفاده از پالس‌های لیزری، با انرژی چندین میلی‌ژول و پهنای پالس چندین نانوثانیه استوار است. این پالس لیزری در نقطه‌ای از نمونه مورد نظر متمرکز شده و چگالی توان در این نقطه می‌تواند از یک گیگا وات بر سانتی متر مربع ( $1\text{GW}/\text{cm}^2$ ) تجاوز نماید. توان نوری در این حد می‌تواند باعث گرم شدن، متمیزه شدن و یونیزاسیون نمونه و ایجاد پلاسما گردد. اساس سیستم آشکارسازی و تحلیل داده‌های هر دو تکنیک کاملاً مشابه یکدیگر است. بدین ترتیب، همچون روش SIBS، عناصر مختلف در پلاسما پس از سرد شدن، طیفهای اتمی و یونی مخصوص به خود را ساطع می‌کنند که با طیف-سنجی تابش حاصل از پلاسما می‌توان به اطلاعاتی از ترکیب عناصر در نمونه و مقدار آن پی برد. اولین اندازه‌گیری در زمینه هواویزها به روش LIBS توسط کرمرز و همکارانش<sup>۱</sup> انجام شده است که برای ایمنی محیط کار کارگران به شناسایی و اندازه‌گیری ذرات سمی فلزی<sup>۲</sup> پرداختند [۳۰، ۳۱]. دیگر تحقیقات انجام شده در این زمینه از قبیل مراجع [۳۲-۳۵] در واقع توصیف بهینه‌سازی و پتانسیل LIBS برای اندازه‌گیری هواویز و مفید بودن این روش در کاربردهای صنعتی و محیطی می‌باشد.

یکی دیگر از تکنیک‌های طیف‌سنجی که می‌تواند به طور آنی و به صورت تک ذره‌ای، ذرات هواویز را اندازه‌گیری کند فلورسانس القایی لیزری<sup>۳</sup> است. در LIF یک لیزر با طول موج کوتاه (انرژی بالا) برای برانگیخته کردن عنصر استفاده می‌شود و هنگامی که آنها به حالت پایه خود رجوع می‌کنند از خود نور گسیل خواهند کرد. باید توجه شود که بر خلاف LIBS که در آن لیزر باعث تولید پلاسما می‌شود در LIF نور لیزر به طور مستقیم توسط عناصر جذب می‌شوند. LIF خیلی شبیه به تکنیک LIBS است و می‌تواند مکمل یکدیگر باشند. LIF به طور عمده برای گونه‌های مولکولی و به خصوص مواد آلی به کار می‌رود در حالی که LIBS در اندازه‌گیری

<sup>1</sup> Cremers et al.

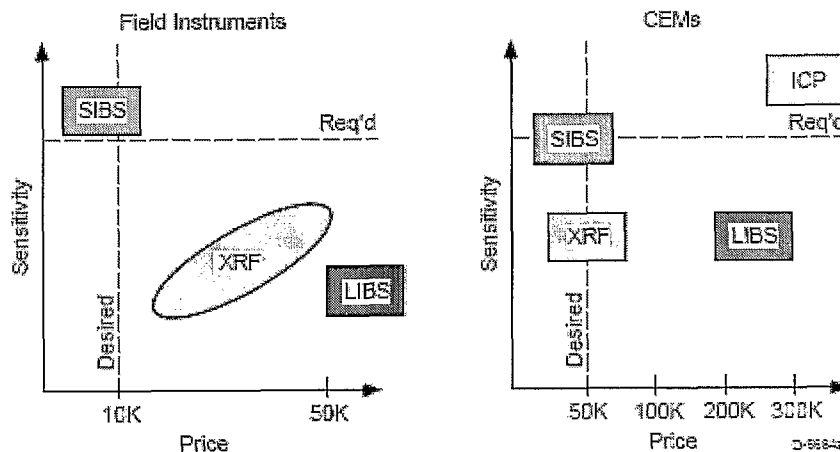
<sup>2</sup> Toxic metal particles

<sup>3</sup> Laser Induced Fluorescence (LIF)

ترکیبات اتمی به کار می‌آید. به خاطر شباهت‌های ساختاری و طبیعت مکملی آنها در آنالیز مواد، امکان تلفیق LIF و LIBS در یک دستگاه منفرد وجود دارد [۳۶].

تکنیک‌هایی از قبیل XRF<sup>۱</sup> و ICP<sup>۲</sup> برای آنالیز ذرات معلق در هوا به خوبی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ستلز و همکارانش<sup>۳</sup> با استفاده از روش ICP در کوره‌های زباله سوز به تشخیص و نمایش فلزات موجود در هوا پرداخته‌اند [۳۷]. آزمایشات مشابه دیگری از نمایش گسیل پیوسته از فلزات بر پایه روش پلاسمای میکروویو<sup>۴</sup> توسط وسکو و همکارانش<sup>۵</sup> انجام شده است [۳۸].

شکل (۱-۱) طرح‌واره‌ای قیاسی از قیمت‌های نسبی و حساسیت تعدادی از تکنیک‌های قابل رقابت با SIBS را در نمایش گسیل‌های پیوسته<sup>۶</sup> و لوازم مورد نیاز نشان داده است. همانطور که مشاهده می‌گردد قیمت و حساسیت مربوط به روش SIBS نسبت به دیگر روشها، از مزایای آن به حساب می‌آید [۴].



شکل ۱-۱: نمایش قیاسی قیمت‌های نسبی ابزار بر پایه SIBS و تکنولوژیهای قابل رقابت [۴].

- <sup>۱</sup> X-Ray Fluorescence
- <sup>۲</sup> Inductively Coupled Plasma
- <sup>۳</sup> Seltzer et al.
- <sup>۴</sup> Microwave Plasma
- <sup>۵</sup> Woskov et al.
- <sup>۶</sup> Continues emission monitoring (CEM)

## ۱-۴- اهداف پایان نامه

هدف از این پروژه طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی احساسگر SIBS برای آشکارسازی بعضی از ذرات معلق در هوا (گرد و غبار) می‌باشد. در همین راستا، قبل از بیان جزئیات ساخت لازم است با جزئیات تکنیک SIBS بیشتر آشنا شویم زیرا با دانستن جزئیاتی که در این نوع طیف سنجی وجود دارد می‌توان به طور هدفمندتری به دنبال ساخت وسیله بود. لذا در فصل دوم توصیفی تقریباً جامع از اصول طیف‌سنجی SIBS، چگونگی تشکیل و گسیل پلاسما و همچنین ابزار و وسایل لازم در این تکنیک آورده شده است. در فصل سوم، به تشریح جزئیات ساخت مدار تجربی ایجاد جرقه، که پلاسمای لازم برای طیف‌سنجی در هوا را ایجاد نماید، چگونگی نحوه‌ی پایدار کردن انرژی جرقه و ساخت مداری برای تریگ کردن دوربین آشکارساز آورده شده است. در نهایت با ساخت نمونه آزمایشگاهی ایجاد کننده جرقه به طیف سنجی گردوغبار موجود در هوا پرداختیم و بعضی از خطوط طیفی مهم را طیف نگاری کردیم همچنین نتایج طیف سنجی از سیمان برای تعیین ترکیبات عنصری آن که به وسیله دستگاه ساخته شده انجام گرفته در بخش آخر آورده شده است.

## فصل دوم

### ۲-۱- اصول SIBS

اساس تکنیک SIBS طیف سنجی گسیل اتمی از پلاسمایی است که توسط تخلیه ولتاژ بالای الکتریکی<sup>۱</sup> بین دو سر الکتروود تولید می‌شود. قسمت اصلی دستگاه SIBS بخش تولید کننده‌ی جرقه یا همان پلازما است که به طور ساده، از یک منبع تغذیه ولتاژ بالا، یک سری مقاومت و بانک خازنی تشکیل شده است. بانک خازنی به دو سردو الکتروود میله‌ای شکل از جنس تنگستن وصل است که پس از شارژ کامل، یک مسیر با مقاومت کم بین الکتروودها ایجاد شده و مجموعه‌ی خازنی از طریق آن تخلیه می‌شود. فرایندهای مربوط به شروع تخلیه الکریکی مابین الکتروودها، ایجاد پلاسمای داغ و شروع گسیل اتمی بعد از سرد شدن آن، در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. تمام این فرایندها در کمتر از چند صد میکرو ثانیه رخ داده و به اتمام می‌رسند.

<sup>۱</sup> High voltage discharge