

دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

مطالعه اثر فشار و رقیق کننده بر ساختار سلولی تراک در مخلوط های گازی

استیلن-اکسیژن

نگارنده

مجید ظهراب نیا

استاد راهنما

دکتر کیومرث مظاهری

## چکیده

در تحقیق حاضر ساختار سلولی تشکیل شده بر روی ورق های دوده اندود، برای مخلوط های استوکیو متری استیلن-اکسیژن، که با درصدهای مختلف نیتروژن و آرگن (۶۶٪ تا ۷۶٪) رقیق شده اند، مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار از یک لوله تراک با طول ۴ متر و قطر داخلی ۹ سانتی متر استفاده شده است. همچنین از دو مکانیزم DDT و آغازش مستقیم برای آغازش تراک استفاده شده است. در پژوهش حاضر، به بررسی اثر میزان رقیق کننده و تغییر فشار اولیه بر اندازه سلولی پرداخته شده است. همچنین اثر طول لوله تراک و اثر نوع مکانیزم آغازش تراک در تشکیل ساختار سلولی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین به بررسی ساختار سلولی تشکیل شده توسط تراک متمرکز پرداخته شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد، با افزایش میزان رقیق کننده و همچنین کاهش فشار اولیه، اندازه سلوی بزرگتر می شود. همچنین با بلند بودن طول لوله تراک، با توجه به مکانیزم آغازش تراک و شرایط اولیه، امکان تشکیل تراک توسعه یافته و همچنین ساختار سلولی معتبر بیشتر می باشد. با توجه به نتایج بدست آمده به نظر می رسد هنگامی که از مکانیزم مستقیم جهت آغازش تراک استفاده می شود، نسبت به حالتی که از مکانیزم DDT استفاده شده است، برای رسیدن به تراک توسعه یافته به طول کمتری نیاز است. نتایج حاصل از ساختار سلولی تراک متمرکز نیز با نتایج مراجع موجود، تطابق نسبتاً خوبی را نشان می دهد.

## واژگان کلیدی:

تراک گازی، اندازه سلولی، ساختار سلولی، لوله تراک، DDT، تراک همگرا

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ج.....	فهرست جداول.....
د.....	فهرست شکل‌ها.....
۱.....	فصل ۱.....
۲.....	۱-۱- مقدمه.....
۴.....	۲-۱- مروری بر تاریخچه کارهای انجام شده.....
۸.....	۳-۱- امواج تراک همگرا (Converging Detonation Waves).....
۱۰.....	۴-۱- معرفی پژوهش حاضر.....
۱۲.....	فصل ۲.....
۱۳.....	۱-۲- مقدمه.....
۱۳.....	۲-۲- لوله تراک (Detonation tube).....
۱۵.....	۳-۲- شیرهای ورود و خروج گازها.....
۱۶.....	۴-۲- پمپ خلا.....
۱۷.....	۵-۲- فشار سنج خلاء دیجیتال.....
۱۸.....	۶-۲- حس گرهای فشار.....
۲۰.....	۷-۲- تجهیزات ثبت سیگنال‌ها.....
۲۲.....	۸-۲- سیستم جرقه.....
۲۲.....	۹-۲- آب بندی دستگاه.....
۲۳.....	۱۰-۲- تعیین فشار جزیی گازهای مخلوط.....

۲۳	۱۱-۲- روش انجام آزمایش.....
۲۵	۱۲-۲- طراحی لوله تراک حلقوی.....
۲۸	فصل ۳.....
۲۹	۱-۳- مقدمه.....
۲۹	۲-۳- اثر زمان اختلاط بر تشکیل ساختار سلولی.....
۳۳	۳-۳- اثر رقیق کننده بر اندازه سلولی.....
۴۰	۴-۳- اثر فشار اولیه بر اندازه سلولی.....
۴۳	۵-۳- اثر طول لوله تراک بر اندازه سلولی.....
۴۶	۶-۳- ساختار سلولی تراک استوانه ای همگرا.....
۵۰	۷-۳- جمع بندی.....
۵۲	فصل ۴.....
۵۳	۱-۴- جمع بندی.....
۵۵	۲-۴- پیشنهادات.....
۵۹	واژه نامه.....
۶۱	ضمیمه الف.....
۶۱	کالیبره کردن حسگر های فشار.....

## فهرست جداول

صفحه

عنوان

جدول ۱-۲ مشخصات حس گرهای فشار *KISTLER* مدل ۲۱۱B۱، ۲۱۱B۲، ۲۱۱B۴ ..... ۲۰

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ طرحواره جبهه تراک برای انتشار از چپ به راست [۲].....	۳
شکل ۲-۱ (الف) ساختار نامنظم دتونیشن در مخلوط گازی $C_3H_8+5O_2+9N_2$ در فشار اولیه 20 kPa (ب) ساختار منظم دتونیشن در مخلوط گازی $2H_2-O_2-17Ar$ و فشار اولیه 20 kPa [۱۰] ۷	۸
شکل ۳-۱ لوله شاک پری برای ایجاد موج تراک همگرا [۱۴].....	۱۳
شکل ۱-۲ طرحواره لوله تراک.....	۱۵
شکل ۲-۲ موانع (مارپیچ) استفاده شده جهت ایجاد اغتشاش در جریان.....	۱۵
شکل ۳-۲ نمای کلی لوله تراک استفاده شده در کار حاضر.....	۱۶
شکل ۴-۲ شیر سوزنی به همراه شیر توپی نصب شده بر روی لوله چهارم جهت ورود گازها.....	۱۷
شکل ۵-۲ پمپ تخلیه RZ6.....	۱۸
شکل ۶-۲ سمت چپ فشار سنج خلاء سمت راست نمای پشت فشار سنج و اتصالات مربوطه.....	۱۸
شکل ۷-۲ یک نمونه از حس گر فشار KISTLER مورد استفاده در کار حاضر.....	۱۹
شکل ۸-۲ حس گر نصب شده بر روی لوله تراک و کابل مخصوص.....	۲۱
شکل ۹-۲ سمت چپ شارژ امپلی فایر Coupler ، سمت راست صفحه اتصال (مدل BNC-2110).....	۲۱
شکل ۱۰-۲ نمودار فشا- زمان مربوط به حس گر های فشار (خروجی سیستم ثبت سیگنال ها).....	۲۵
شکل ۱۱-۲ تخریب ورق دوده انود در اثر ثابت نبودن ورق به بدنه لوله.....	۲۶
شکل ۱۲-۲ طرحواره از لوله تراک حلقوی طراحی شده.....	۲۷
شکل ۱۳-۲ یک نمونه ساختار سلولی ثبت شده در کار حاضر ( $C_2H_2+2.5O_2+11.1 N_2$ ) $P_{total}=1000mbar$ .....	۳۰
شکل ۱-۳ اثر احتراق مخلوط استیلن- هوا و زمان اختلاط ۳ ساعت.....	۳۱
شکل ۲-۳ اطلاعات ثبت شده توسط سیستم ثبت اطلاعات موج تراک مخلوط استیلن- هوا و زمان اختلاط ۲۴ ساعت.....	۳۲
شکل ۳-۳ اثر عبور موج تراک مخلوط استوکيومتری استیلن، هوا در فشار ۱ اتمسفر بر روی ورق دوده اندود شده.....	۳۴
شکل ۴-۳ ساختار سلولی مخلوط $C_2H_2+2.5O_2+11.1N_2$ , $P = 800 mbar$ .....	۳۵
شکل ۵-۳ ساختار سلولی مخلوط استوکيو متری استیلن-اکسیژن با ۷۳٪ نیتروژن (الف)، و ۷۰٪ نیتروژن (ب)، به عنوان رقیق کننده.....	۳۶
شکل ۶-۳ نمودار تغییرات اندازه سلولی با مقدار رقیق کننده برای مخلوط استوکيو متری استیلن- اکسیژن و نیتروژن در فشار ۸۰۰ میلی بار و دمای محیط (۲۵ درجه سانتی گراد).....	۳۶

- شکل ۳-۷ طرحواره ساختار تراک با یک و دو نقطه سه‌گانه [۲]..... ۳۸
- شکل ۳-۸ مقایسه اندازه سولی مخلوط های استوکيو متری استیلن-اکسیژن و نیتروژن در فشار ۸۰۰ و ۱۰۰۰ میلی بار..... ۴۱
- شکل ۳-۹ نمودار تغییرات اندازه سلولی با مقدار رقیق کننده برای مخلوط استوکيو متری استیلن-اکسیژن و نیتروژن در فشار ۱۰۰۰ میلی بار و دمای محیط (۲۵ درجه سانتی گراد)..... ۴۲
- شکل ۳-۱۰ اثر تراک مخلوط استیلن-اکسیژن-۷۶٪ نیتروژن در لوله ۳ متری با مکانیزم آغازش شمع جرقه..... ۴۳
- شکل ۳-۱۱ اثر تراک مخلوط استیلن-اکسیژن-۷۶٪ نیتروژن در لوله ۴ متری با مکانیزم آغازش شمع جرقه..... ۴۴
- شکل ۳-۱۲ اثر تراک مخلوط استیلن-اکسیژن-۷۶٪ نیتروژن در لوله ۳ متری با مکانیزم آغازش با شاک قوی..... ۴۵
- شکل ۳-۱۳ تشکیل ساختار سلولی در مخلوط استیلن-اکسیژن-۷۶٪ آرگن در ورق به طول ۲۰ سانتی متری (آغازش با استفاده از شاک قوی)..... ۴۶
- شکل ۳-۱۴ طرحواره از لوله تراک حلقوی طراحی شده..... ۴۷
- شکل ۳-۱۵ اطلاعات ثبت شده توسط سیستم ثبت اطلاعات موج تراک برای مخلوط استوکيو متری  $C_2H_2+2.5O_2+6.8N_2$  در فشار ۸۰۰ میلی بار و دمای محیط محور افقی، زمان بر حسب ثانیه و محور عمودی، فشار بر حسب بار می باشد. همانطور که در شکل مشاهده می شود..... ۴۸
- شکل ۳-۱۶ اثر تراک متمرکز بر روی ورق دوده اندود برای مخلوط  $C_2H_2+2.5O_2+3.47N_2$ ..... ۴۹
- شکل ۳-۱۷ اثر تراک متمرکز بر روی ورق دوده اندود از مرجع [۱۵]..... ۴۹

# فصل ۱

---

---

## مقدمه



استفاده از انرژی حاصل از انفجار گازی و تحت کنترل در آوردن و استفاده از آن امروزه مورد علاقه بسیاری از محققان قرار گرفته است. یکی از موارد استفاده از انرژی های حاصل از انفجار، شکل دهی انفجاری است. با توجه به پیشرفت هایی که در تکنولوژی ساخت و تولید قطعات بوجود آمده، کلیه فرآیندها به سمت کاهش تجهیزات و در نتیجه کاهش هزینه حرکت کرده اند. در این میان روشهای شکل دادن سریع، با توجه به خصوصیات منحصر به فرد خود مانند: هزینه کم، سرعت بالا، توانایی در ساخت قطعات به تعداد بالا و . . . مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به اینکه فشار حاصل از انفجار ناشی از گاز بالاست انتظار می رود در دستگاه های ساده قابل استفاده باشد. برای استفاده از مخلوط های گازی و تامین فشار لازم برای فرم دادن ورق، یکی از روش های پیشنهادی، انفجار مخلوط ها در هندسه های همگرا می باشد [۱]. برای انتخاب روش مناسب، بررسی، شناخت و اندازه گیری پارامترهای مهم امواج تراک از اهمیت ویژه ای برخوردار است. یکی از پارامتر های قابل مشاهده و اندازه گیری که از مشخصه های انفجار مخلوط های گازی می باشد، اندازه سلولی است. شکل سلولی<sup>۱</sup> که امواج تراک روی یک ورق دوده اندود شده بر جای می گذارد، نتیجه برخورد امواج ضربه ای<sup>۲</sup> ورودی، امواج اصلی ماخ<sup>۳</sup> و امواج عرضی<sup>۴</sup> می باشد. همانطور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، نقطه برخورد این سه موج را نقطه سه گانه<sup>۵</sup> می گویند. حرکت نقطه سه گانه روی فویل دود اندود شده شکلی شبیه پولک های ماهی ایجاد می کند که ساختار سلولی<sup>۶</sup> نامیده می شود. عرض سلول

---

<sup>۱</sup> Cellular Pattern

<sup>۲</sup> Incident shock

<sup>۳</sup> Mach Stem

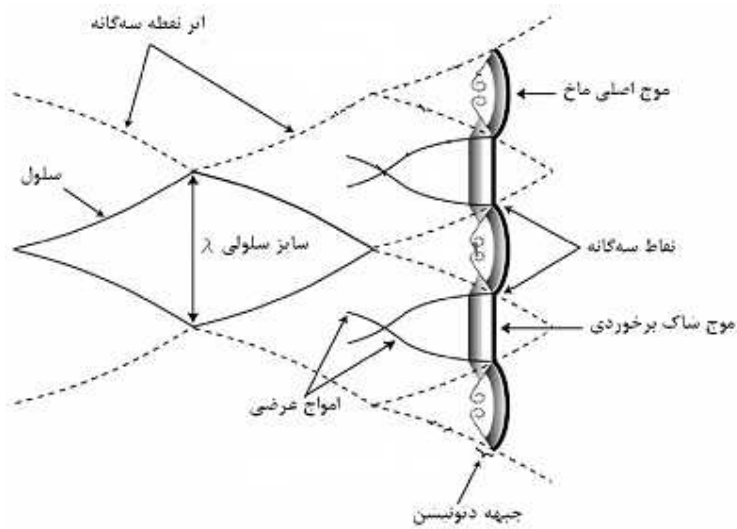
<sup>۴</sup> Transverse wave

<sup>۵</sup> Triple Point

<sup>۶</sup> Cellular Structure

( $\lambda$ ) یک شاخص طولی مهم در امواج تراک می باشد که بستگی به تقابل دینامیک گاز و سینتیک شیمیایی دارد.

هر چند تا کنون بطور واضح مکانیزم تشکیل ساختار سلولی روی فویل دوده اندود روشن نشده است اما حدس زده می شود که اثر نیروی برشی قوی در نقطه سه گانه است که ساختار سلولی تراک را ایجاد می کند [۲].



شکل ۱-۱ طرحواره جبهه تراک برای انتشار از چپ به راست [۲]

طبیعت جبهه تراک گازی با روشهای مختلف از صد سال پیش تاکنون مورد بررسی محققین بوده است. با این حال هنوز پرسش های کلیدی متعددی در مورد مکانیزم وجود دارد که بی پاسخ مانده است.

## ۱-۲- مروری بر تاریخچه کارهای انجام شده

همه امواج تراک گازی که در تستهای تجربی مشاهده شده اند، طبیعت غیر دایم سه بعدی دارند. این موضوع اولین بار با استفاده از تکنیک ورق دوده اندود توسط دنیسوف و تروشین<sup>۱</sup>، در سال ۱۹۵۹ مشاهده شده است [۳].

با تحقیقات بیشتر روی تراک، ساختار آن و پدیده هایی از قبیل آغازش تراک<sup>۲</sup>، انتقال شعله به تراک<sup>۳</sup>، انتشار تراک در کانالهای مانع دار<sup>۴</sup> مورد بررسی قرار گرفت. در این پدیده ها پارامترهایی نظیر قطر بحرانی کانال<sup>۵</sup> انرژی آغازش بحرانی<sup>۶</sup>، کمترین قطر کانال<sup>۷</sup> و اندازه سلولی<sup>۸</sup> مورد بررسی قرار گرفتند. در این مطالعات، قطر بحرانی لوله  $d_c$ ، که در آن تراک میتواند با موفقیت، با عبور از لوله در فضای باز نیز انتشار یابد، مورد بررسی قرار گرفت. اولین مطالعات در مورد قطر بحرانی لوله و ارتباط آن با اندازه سلولی توسط میتروانوف و سولوکین<sup>۹</sup> انجام شد که به حدود ۴۰ سال پیش بر می گردد. در این بررسی یک موج تراک تخت که در محیط باز مانند داخل لوله می تواند انتشار یابد، مورد مطالعه قرار گرفت و نتیجه بدست آمده این بود که برای بیشتر مخلوط های قابل انفجار،  $d_c = 13\lambda$  است [۴].

لی<sup>۱۰</sup> در سال ۱۹۷۷ با مطالعات گسترده ای که بر روی مکانیزمهای مختلف آغازش تراک انجام داد. کمترین انرژی لازم جهت آغازش مستقیم تراک، که انرژی آغازش بحرانی نام دارد را وابسته به

---

<sup>۱</sup> Denisov & Troshin

<sup>۲</sup> Initiation

<sup>۳</sup> Deflagration to Detonation Transition

<sup>۴</sup> Failure

<sup>۵</sup> Critical Tube Diameter

<sup>۶</sup> Critical Initiation Energy

<sup>۷</sup> Minimum Tube Diameter

<sup>۸</sup> Cell size

<sup>۹</sup> Mitrofanov and Solouhkin

<sup>۱۰</sup> Lee

اندازه سلولی دانست [۵]. موفقیت در ارزیابی این پارامترها که پارامترهای دینامیکی<sup>۱</sup> امواج تراک نام گرفته اند، و وابستگی آنها به اندازه سلولی، اندازه سلولی را به عنوان یک مقیاس بنیادی در امواج تراک مطرح کرد [۶].

یکی دیگر از پارامترهای دینامیکی تراکهای گازی، قطر یا پهنای کمینه است. نتایج تجربی نشان داده‌اند که اگر قطر لوله یا پهنای کانال از یک مقدار کمینه‌ای کمتر باشند، تراک در نهایت پس از طی مسافتی میرا می‌شود. لی بیان داشته است که برای اینکه تراک در یک لوله منتشر گردد، حداقل قطر استوانه باید بصورت  $D = \lambda / \pi$  باشد. برای تراک‌هایی که در کانال‌ها ایجاد می‌گردند، حداقل پهنای کانال برای انتشار پایدار تراک برابر با اندازه سلول ( $W = \lambda$ ) می‌باشد [۶].

گلفاند و همکاران<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۱ علت این پدیده را انتقال حرارت از دیواره‌های لوله و افت ممنوم بخاطر وجود لایه مرزی دانسته‌اند [۷]. به دلیل اهمیت اندازه سلولی به عنوان یک معیار اساسی جهت ارزیابی تراک، نیستاتاس<sup>۳</sup> در سال ۱۹۸۴ اقدام به تهیه پایگاه داده‌هایی از اندازه سلولی مختلف مخلوط هیدروژن و هوا نمود. با استفاده از یک لوله به قطر داخلی ۳۰ سانتی متر، اندازه‌گیری سلول‌ها انجام شد و بعد از مقایسه نتایج مشاهده شد، برای تمام مخلوط‌ها کمترین اندازه سلولی تقریباً در ترکیب استوکیومتری مخلوط (نسبت هم ارزی ۱) رخ می‌دهد [۷]. در مخلوط‌های رقیق، نشان داده شده است، اندازه سلولی نسبت به اجزای مخلوط بسیار حساس است [۸]. نیستاتاس به کمک تیزن<sup>۴</sup> در سال ۱۹۸۷، اثرات بخار آب را به عنوان رقیق‌کننده در مخلوط و اثر فشار اولیه و دمای اولیه را روی اندازه سلولی مخلوط هیدروژن و هوا مورد بررسی قرار دادند. آنها بخار آب را با دمای بسیار بالا (۳۷۳

---

<sup>۱</sup> پارامترهایی دینامیکی به پارامترهایی گفته می‌شود که به نرخ واکنش شیمیایی بستگی دارند.

<sup>۲</sup> Gelfand et. al.

<sup>۳</sup> Knystautas

<sup>۴</sup> Tieszen

درجه کلونین) وارد مخلوط کردند و بعد از ایجاد تراک اندازه سلولی را برای مخلوطهای مختلف، گزارش دادند.

در فشار های کمتر از اتمسفر، برای مخلوط سوخت واکسیژن و رقیق کنندهایی مانند: آرگون، هلیوم و نیتروژن، و با سوختههای مختلفی از جمله متان، استیلن، اتیلن و اتان، آزمایشات مختلفی برای بدست آوردن اندازه سلولی و همچنین تاثیر رقیق کننده های مختلف بر اندازه سلولی انجام شده است که نشان می دهد با اضافه کردن رقیق کننده های مختلف به مخلوط، ساختار سلولی در بعضی از مخلوطها و رقیق کننده ها منظم تر می شود [۹].

با توجه به درجه منظمی ساختار سلولی تشکیل شده روی ورق دوده اندود، تراک گازی را به دو نوع تراک منظم<sup>۱</sup> و تراک نامنظم<sup>۲</sup> تقسیم بندی نموده اند [۲]. اگر تعداد امواج عرضی (و یا تعداد نقاط سه گانه) در عرض کانال، در مقاطع مختلف از مسیر انتشار تراک در طول کانال ثابت بماند، تراک کاملاً منظم است. در این صورت ابعاد و اندازه سلولهای تشکیل شده روی ورق دوده اندود بسیار مشابه یکدیگر می باشند. هرچه تعداد امواج عرضی در مقاطع مختلف کانال با یکدیگر تفاوت بیشتری داشته باشند، درجه نامنظمی تراک بیشتر می گردد. نمونه ای از دو نوع ساختار منظم و نامنظم تراک تشکیل شده روی ورق دوده اندود در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. نتایج تجربی نشان می دهند که مخلوط های که با آرگون رقیق شده اند، ساختار سلولی تراک برای آن ها منظم تر می باشد [۱۰].

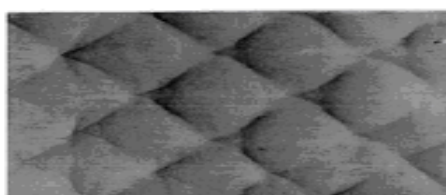
---

<sup>۱</sup>Regular

<sup>۲</sup>Irregular



(الف)



(ب)

شکل ۱-۲ (الف) ساختار نامنظم دتونیشن در مخلوط گازی  $C_3H_8+5O_2+9N_2$  در فشار اولیه 20 kPa (ب) ساختار نامنظم دتونیشن در مخلوط گازی  $2H_2-O_2-17Ar$  و فشار اولیه 20 kPa [۱۰]

با نامنظم شدن ساختار سلولی، اندازه سلولهای تشکیل شده روی ورق تفاوت بیشتری پیدا می-کنند. تلاش هایی برای مرتبط ساختن نامنظمی ساختار سلولی با پارامترهای پایداری دتونیشن انجام شده است. منزهالی در سال ۱۹۷۷ و همچنین گمزو و همکاران<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۹ یک رابطه کیفی بین درجه نامنظمی سلول و پارامتر  $Ea/RT_s$  (که در آن  $Ea$  انرژی فعال سازی<sup>۲</sup> کلی،  $R$  ثابت گاز، و  $T_s$  دمای پشت موج ضربه‌ای در ساختار ZND است) گزارش کردند [۱۱]. منزهالی مشاهده نمود که برای مقادیر  $Ea/RT_s < 6/4$ ، ساختار سلولی نسبتاً منظم است. در مقادیر بزرگتر  $Ea/RT_s$ ، ساختار سلولی نامنظم‌تر می‌شود. برای تراک‌های دما بالا (مخلوط‌های سوخت-اکسیژن، تراک‌های فوق-رانشی<sup>۳</sup> و مخلوط‌های رقیق شده زیاد با آرگون)، مقدار  $Ea/RT_s$  کم است و بنابراین با توجه به رابطه منزهالی ساختار سلولی منظم‌تر مورد انتظار است. مشاهدات تجربی بوسیله موئن و همکاران<sup>۴</sup> در سال ۱۹۸۶ درستی این فرضیه را نشان داده‌اند [۱۲]. مشاهدات تجربی نشان داده‌اند که در تراک‌های نامنظم، امکان ایجاد تراک قوی با دو نقطه سه‌گانه بیشتر وجود دارد. وجود نقطه سه‌گانه دوم باعث افزایش نرخ واکنش می‌گردد. بنابراین می‌توان تاثیر امواج عرضی در انتشار تراک با ساختار نامنظم را بیشتر دانست.

<sup>۱</sup> Gamezo et. al.

<sup>۲</sup> Activation Energy

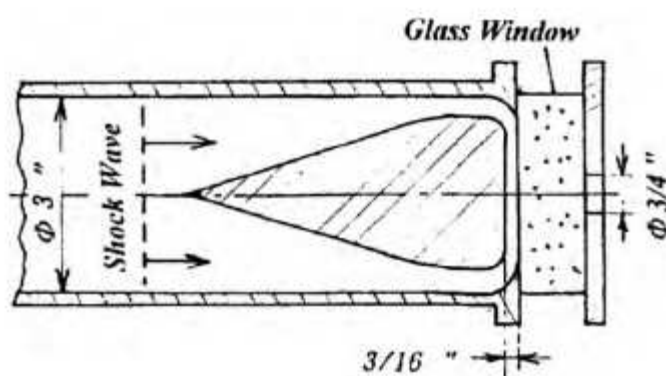
<sup>۳</sup> Overdriven

<sup>۴</sup> Moen et. al.

پینتگن و همکاران<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۳ به آشکارسازی رادیکال OH در مخلوط‌های گازی  $2H_2+O_2+12Ar$  و  $2H_2+O_2+4.5N_2$  در فشار اولیه ۲۰ کیلوپاسکال پرداختند [۱۳]. نتایج آنها نشان داد که مخلوط رقیق شده با آرگون ساختار سلولی بسیار منظم و مخلوط رقیق شده با نیتروژن ساختار سلولی نسبتاً نامنظم را بوجود می‌آورد. آنها نتیجه گرفتند که نامنظمی بخاطر تولید و تضعیف نقاط سه‌گانه است و امواج عرضی در هر دو مخلوط یک نقش را ایفا می‌کنند.

### ۳-۱- امواج تراک همگرا (Converging Detonation Waves)

امواج تراک همگرا تا کنون بوسیله دانشمندان زیادی، برای بدست آوردن دما و فشار بسیار بالا و به منظور تولید مواد بسیار سخت مانند الماس و یا ایجاد گداخت هسته ای<sup>۲</sup>، مورد بررسی قرار گرفته است. پری<sup>۳</sup> و همکارانش برای اولین بار در سال ۱۹۵۱ سعی کردند تراک همگرا را، بوسیله یک لوله تراک، که طرحواره ساده آن در شکل ۳-۱ آمده است، تولید کنند. ایجاد شاک قویتر، دما و فشار خیلی بالاتر از آنچه تاکنون تولید شده بود، بوسیله ایجاد تراک همگرا، را می‌توان از اهداف مطالعات آنها نام برد [۱۴].



شکل ۳-۱ لوله شاک پری برای ایجاد موج تراک همگرا [۱۴]

<sup>۱</sup>Pintgen et. al.

<sup>۲</sup> Nuclear Fusion

<sup>۳</sup> Perry

به گفته مرجع [۱۵] اولین تئوری که برای تراکهای همگرا به رسمیت شناخته شده، توسط گودرلی<sup>۱</sup> می باشد که در سال ۱۹۴۲ ارایه شده است. تئوری اساسی که او ارائه داد، بر مبنای روش تشابهی<sup>۲</sup> برای حل معادلات دیفرانسیل جزئی بیان شده است. لی در سال ۱۹۶۷ تراک همگرا را به صورت تجربی تولید و مورد بررسی قرار داد. او دریافت در شروع همگرایی تراک، حرارت احتراق نقش مهمی دارد و همچنین فشار در مرکز همگرایی بصورت نمایی افزایش می یابد [۱۵].

به گفته مرجع [۱۶] لی همراه نیستاتاس با دیدن نور بسیار زیادی بصورت فلاش در مرکز همگرایی حدس زدند که دمای بسیار بالایی در این نقطه پدید آمده است. آنها با آنالیز طیف نما<sup>۳</sup> دمای این نقطه را بسیار بالا تر از مقدار واقعی تخمین زده بودند [۱۶]. پایداری این امواج نیز در سال ۱۹۷۱ توسط لی و نیستاتاس مورد بررسی قرار گرفت. آنها با استفاده از دو لوله هم محور<sup>۴</sup> و همچنین ایجاد اغتشاش بوسیله قرار دادن مواعی در بدنه محفظه احتراق، موج تراک را تولید کردند. آنها نتیجه گرفتند که در امواج تراک همگرایی که پایدار شده اند، محل تشکیل نقطه نورانی در تمام آزمایشات در مرکز همگرایی می باشد همچنین آنها مشاهده کردند که مکان و نوع اغتشاشاتی که در مسیر جریان ایجاد می شوند، بر محل تشکیل نقطه کانونی موثر است. آنها با دیدن نقاط نورانی در مرکز کانونی، در همه آزمایشات با شرایط مشابه، نتیجه گرفتند که در موج های تراک همگرایی استوانه ای، علی رغم وجود موانع در مسیر، اغتشاشات میرا می گردند [۱۶].

رویگ و گلاس<sup>۵</sup> در سال ۱۹۷۷ برای اولین بار روی امواج تراک همگرا، در یک محفظه نیم کره ای، تحقیق و مطالعه کردند. آنها برای ایجاد تراک همگرا، از یک موج بلاست در مرکز محفظه استفاده کردند که با پیشروی به سمت دیواره به موج دتونیشن تبدیل می گردد و بعد از برخورد به دیواره

---

<sup>۱</sup> Guderley

<sup>۲</sup> Self- similarity

<sup>۳</sup> Spectroscopic analysis

<sup>۴</sup> Coaxial Tube

<sup>۵</sup> Roig & Glass



منعکس می شود که نتیجه آن یک موج شاک بازگشتی همگرا است [۱۷]. آنها با اندازه گیری هایی که انجام دادند بیشینه دما را حدود ۵۰۰۰ درجه کلوین اندازه گیری کردند و همچنین نشان دادند که دمای اندازه گیری شده توسط نیستاتاس در سال ۱۹۶۹، بیش از حد تخمین زده شده بود.

گلاس و سایتو<sup>۱</sup> در سال های ۱۹۸۲ تا ۱۹۸۵ مطالعات گسترده ای را در مورد اندازه گیری فشار و دمای بیشینه در امواج تراک انجام دادند. آنها بوسیله اندازه گیری طیف نمایی دما، بیشینه دمای امواج تراک را اندازه گیری کردند که ۱۵۰۰۰-۱۷۰۰۰ درجه کلوین گزارش شده است [۱۸].

به علت اهمیت تولید فشار و دمای بسیار بالا، مطالعه در مورد امواج تراک همگرا، فشار و دمای بیشینه آنها مورد توجه محققان می باشد. در کار حاضر به بررسی مقدماتی امواج تراک همگرا پرداخته شده است و سعی شده امواج تراک همگرا بصورت پایدار تشکیل گردد.

#### ۴-۱- معرفی پژوهش حاضر

در کار حاضر تغییرات اندازه سلولی برای مخلوط های گازی با نسبت های هم ارزی مختلف، درصد های رقیق کننده متفاوت و در فشار های گوناگون مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین اثر طول لوله تراک و نیز اثر مارپیچ شلکین بر تشکیل تراک و ساختار سلولی مطالعه شده است. در ادامه نیز تراک های متمرکز مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

برای ایجاد تراک از یک لوله موج ضربه ای با طول حد اکثر ۴متری با قطر داخلی ۹سانتی متر استفاده شده است.

در فصل دوم به بررسی تفصیلی دستگاه های استفاده شده در آزمایشات، مراحل مختلف انجام آزمایش و همچنین جزئیات مربوط به سیستمهای اندازه گیری و نحوه ثبت ساختار سلولی روی ورق های آلومینیومی پرداخته شده است. در فصل سوم به ارائه نتایج آزمایشات انجام شده، بحث در مورد صحت انجام آنها و مقایسه نتایج با مراجع پرداخته می شود. در فصل چهارم جمع بندی و نتیجه

---

<sup>۱</sup> Saito

گیری مطالب ارائه شده و همچنین ارائه پیشنهادات و کارهای قابل اجرا در ادامه روند پروژه، آورده شده است.

## فصل ۲

---

---

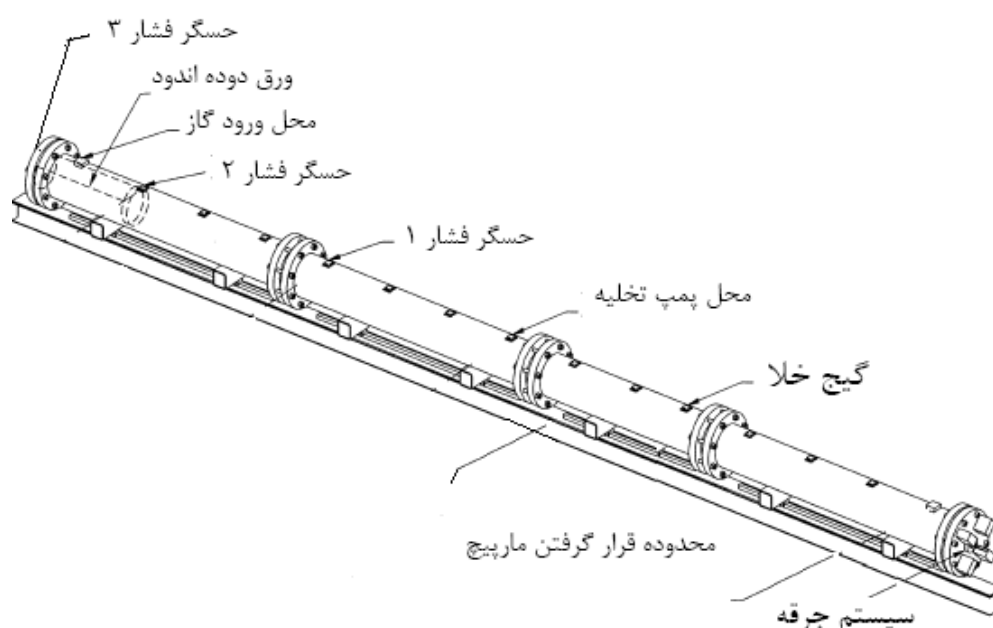
# بررسی دستگاه های آزمایش

## ۲-۱- مقدمه

برای انجام آزمایشات تولید تراک و بدست آوردن ساختار سلولی، به تجهیزات مخصوصی نیاز است. در این فصل به بررسی این تجهیزات پرداخته می شود. اصلی ترین دستگاه هایی که در انجام آزمایشات مورد استفاده قرار گرفته اند عبارت اند از: لوله شاک، فشار سنج دیجیتال، حس گر های پیزو الکتریک، تجهیزات ثبت سیگنال، شیرهای ورودی و خروجی و پمپ خلاء. در زیر به بررسی تفصیلی هر کدام از آنها پرداخته خواهد شد.

## ۲-۲- لوله تراک (Detonation tube)

لوله های تراک از دستگاههای آزمایشی هستند که در مطالعه موج تراک از آنها استفاده می شود. برای انجام آزمایشات تجربی و تعیین سرعت موج تراک، اندازه سلولی و بسیاری از خواص دیگر امواج تراک، در مخلوط های گازی، از این دستگاه استفاده می شود. در کار حاضر از یک لوله چهار تکه به طول نهایی چهار متر برای مطالعات مورد نظر استفاده شده است (شکل ۲-۱).



شکل ۲-۱ طرحواره لوله تراک