

بررسی تجربی طیف تابش شعله به منظور تشخیص گونه‌های احتراقی و اندازه‌گیری توزیع دما در شعله غیر پیش‌آمیخته و پیش‌آمیخته

سید عرفان حسینی دوست
دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس
s.hosseindoost@modares.ac.ir

محمد ضابطیان طرقي
استادیار مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس
zabetian@modares.ac.ir

هادی پاسدار شهری
استادیار مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس
pasdar@modares.ac.ir

حسین سلطانیان
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس
soltanian.h@gmail.com

مهدی نجارنیکو
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس
mahdinajarnikoo@yahoo.com

چکیده

غیر تداخلی است. ظهور طیف‌سنج‌های مدرن با دستگاه‌های آشکارساز سیگنال داخلی در دهه‌های اخیر، محققین را تشویق کرده است تا این فناوری را برای نظارت بر عملکرد احتراق شعله‌های مقیاس کوچک و نیز شعله‌های صنعتی در مقیاس بزرگ استفاده کنند [۳].

اندازه‌گیری‌های غیرتداخلی شامل روش غیر فعال^۱ (غیر لیزری) و فعال (لیزری) است. با وجود مزایای آن‌ها در اندازه‌گیری دقیق، آن‌ها نیاز به دستگاه‌های گران قیمت (مانند لیزر، دوربین‌های با سرعت بالا، لنزها، فیلترها و نظایر آن) دارند. طیف‌سنجی تابشی شعله (FES)، یک روش غیرفعال حساس به نور است که براساس دریافت تابش از شعله در یک منطقه طیف گسترده عمل می‌کند. از جمله مزیت‌های این روش، هزینه کم و مقاومت در برابر اغتشاشات محیطی است [۴].

روش FES که بر اساس مشخصه‌ی نوری فرایند احتراق است، به عنوان جایگزینی مناسب برای اندازه‌گیری احتراق شناخته می‌شود به علت سادگی تجربی و ماهیت اپتیکی غیر فعال آن در مقایسه با تشخیص لیزر، برای کاربردهای تجربی مناسب است [۵]. FES یک روش نوری معمولی برای ثبت پرتو طیفی از شعله است. در دو دهه‌ی اخیر، دسترسی به طیف‌سنج‌های ترکیبی فیبر قابل حمل، FES را به یک روش مناسب برای مطالعه آزمایشگاهی و همچنین شعله‌های بزرگ مقیاس تبدیل کرده است.

در سال ۱۹۹۵ سامانیکو و همکاران [۵] به بررسی عددی تابش CO₂ در شعله‌های آرام و مغشوش پرداختند. آن‌ها دریافتند میان تابش CO₂ و غلظت اتم‌های H رابطه تنگاتنگ وجود دارد که آن را حاکی از تعادل میان O، CO و H دانستند. همچنین دریافتند افزایش تابش CO₂ نشان‌دهنده افزایش تریق سوخت و تولید حرارت است. در سال ۲۰۰۰، کوچیما و همکاران [۶] به بررسی تابش OH*، CH* و C₂* در شعله پیش‌مخلوط متان با هوا در نسبت‌های هم‌ارزی ۰/۹ الی ۱/۵ پرداختند. آن‌ها دریافتند رابطه برجسته‌ای میان شدت تابش OH*/CH*، C₂*/CH* و C₂*/OH* با نسبت هم‌ارزی در ناحیه واکنش وجود دارد. در سال ۲۰۰۴، هاردالوپاس و اورین [۷] به بررسی تابش رادیکال‌ها و طیف پیوسته CO₂ در اشتعال پیش مخلوط گاز طبیعی با نسبت هم‌ارزی ۰/۷ الی ۱/۳ پرداختند. آن‌ها دریافتند تابش OH*، CH* و تابش پس‌زمینه CO₂ شاخص خوبی برای تولید حرارت است. همچنین آن‌ها به رابطه مستقیم نسبت تابش OH*/CH* با نسبت هم‌ارزی پی بردند. ارین و هاردالوپاس [۸] در سال ۲۰۱۰ به بررسی نورتابی شیمیایی رادیکال‌های OH*، CH* و C₂* در احتراق پروپان و دیگر سوخت‌های تجزیه شده نظیر ایزواکتان، اتانول و متانول در نسبت هم‌ارزی‌های مختلف پرداختند. آن‌ها نیز دریافتند که با کاهش نسبت هم‌ارزی،

یک روش برای اندازه‌گیری دما و تشخیص گونه‌های احتراقی در شعله‌ی متان- هوا که بر پایه‌ی طیف تابش طبیعی دریافت شده از شعله می‌باشد، ارائه شده است. بر این اساس، یک چینش آزمون شامل طیف‌سنج جهت دریافت تابش شعله از سرمشعل سوراخ‌دار و مشعل بانسن برای به دست آوردن طیف تابشی شعله، ساخته و آماده شده است. برای به دست آوردن دمای قسمت‌های مختلف مشعل بانسن، از روش نسبت شدت کالیبره شده، استفاده شده است. همچنین نورتابی شیمیایی گونه‌های احتراقی شعله در سرمشعل سوراخ‌دار (که شامل گونه‌های برانگیخته‌ی OH*، CH* و C₂* است)، ملاک تشخیص این گونه‌ها قرار گرفته است. شعله مشعل بانسن به صورت غیر پیش‌آمیخته و شعله سرمشعل اصلی به صورت پیش‌آمیخته می‌باشد. تغییرات گونه‌ی اصلی OH* که نقش اساسی در تعیین نرخ حرارت آزاد شده از شعله دارد، برای نسبت‌های مختلف هم‌ارزی و به ازای ظرفیت‌های مختلف سرمشعل سوراخ‌دار با روش طیفی اندازه‌گیری شده است که نمایانگر محدوده‌ی نسبت هم‌ارزی از ۰/۷۷ تا ۰/۸۵ برای بیشترین حرارت آزاد شده از این سرمشعل و برای تمامی مقادیر ظرفیت مشعل می‌باشد.

کلمات کلیدی: طیف‌سنج، طیف تابشی، سرمشعل سوراخ‌دار، گونه‌های احتراقی، دمای شعله

مقدمه

تحلیل نور تابیده شده (که به صورت خود به خودی و یا در نتیجه تحریک یک منبع انرژی خارجی) یا جذب شده به وسیله شعله، اساس بسیاری از روش‌های اندازه‌گیری دما و غلظت در احتراق است. که برای تعیین محدوده وسیعی از متغیرهای احتراقی تجزیه و تحلیل نور منتشر شده (به صورت تابش طبیعی یا در نتیجه تحریک خارجی)، اساس بسیاری از تکنیک‌های اندازه‌گیری برای تعیین طیف گسترده‌ای از متغیرهای احتراقی، در برخی موارد با حد تفکیک فضایی یا زمانی بسیار خوبی طراحی شده است [۱]. روش‌های تجربی مختلفی برای بررسی دمای شعله و تشخیص گونه‌ها، از جمله تکنیک‌های تداخلی و غیر تداخلی استفاده می‌شود. روش‌های تداخلی برای تشخیص احتراق معمولاً بر اساس تکنیک‌هایی است که حسگر اندازه‌گیری به طور مستقیم به یک منطقه‌ی اندازه‌گیری مورد توجه قرار می‌گیرد. مهم‌ترین ویژگی نامطلوب حسگرهای اندازه‌گیری تداخلی که تداخل با سیستم اندازه‌گیری در محل اندازه‌گیری است، غیرقابل اجتناب می‌باشد [۲]. این تداخل محلی منجر به واکنش‌های ناخواسته و اختلال در شکل شعله می‌شود. طیف‌سنجی شعله پایه‌ی روش‌های

¹ Passive

² Flame Emission Spectroscopy

صدور متوسط گازهای در حال سوختن، λ طول موج، T دمای مطلق گازهای احتراقی و I_λ شدت تابش شعله است. نسبت شدت I_R به عنوان نسبت سیگنال در یک دمای اندازه‌گیری به یک سیگنال در دمای مرجع تعریف می‌شود. ضریب صدور در گستره‌ی طیف ثابت فرض می‌شود (رفتار جسم خاکستری). با استفاده از فیلترهای محدوده باریک، می‌توان معادله را به صورت مستقل از ضریب صدور بازویسی کرد [۱۲].

$$I_R = \frac{\varepsilon I_b(\lambda, T)}{\varepsilon I_b(\lambda, T_0)} = \frac{(e^{\frac{hc}{\lambda k T_0}} - 1)}{(e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1)} \approx e^{\frac{hc}{\lambda k} (\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T})} \quad (2)$$

که در آن $I_b(\lambda, T)$ شدت تابش جسم سیاه محاسبه شده توسط پلانک در طول موج λ و دمای گاز T است. c و h به ترتیب ثابت پلانک ($J \cdot s$) و سرعت نور (3×10^8 m/s) و ثابت بولتزمن (1.38×10^{-23} J/K) است. T_0 دمای مرجع است که از طریق روش کالیبراسیون مشخص شده و با یک ترموکوپل اندازه‌گیری می‌شود. در نهایت، دمای احتراق گاز با معادله (۳) محاسبه می‌شود.

$$T_f = \frac{1}{\left(\frac{1}{T_0} - \frac{\lambda k}{hc} \ln I_R\right)} \quad (3)$$

همچنین در بخش تشخیص گونه‌ها، بانک داده‌های طیفی مربوط به طیف‌های تابشی گونه‌ها موجود است که با استفاده از آن‌ها، تشخیص گونه‌ها انجام می‌شود. به طور کلی طیف‌های تابشی، به دو شکل طیف تابش گرمایی (ناشی از تشعشع برانگیختگی به علت دمای بالای گونه‌ها) و طیف تابشی نورتایی شیمیایی گونه‌ها (ناشی از برانگیختگی گونه‌ها به علت شرکت آن‌ها در واکنش‌های شیمیایی) تقسیم می‌شوند. در این مقاله طیف ناشی از نورتایی شیمیایی مد نظر است.

تجهیزات آزمایشگاهی و روند انجام آزمایش

یک مشعل سوراخ‌دار که به طور گسترده‌ای در صنایع احتراق (دیگ‌های چگالشی) استفاده می‌شود، در این مطالعه استفاده شده است. نصب و راه‌اندازی تجربی شامل موارد زیر است: یک دمنده‌ی یک طرفه با قدرت ۰/۷۵ کیلو وات و ۲۸۳۰ دور در دقیقه، یک مشعل با ظرفیت ۲۴-۲۸ کیلو وات و قطر ۷ سانتی‌متر، طیف‌سنج، شیر کنترل، تنظیم‌کننده، روتامتر هوا و دماسنج دو فلزی است و دارای دقت یک درجه سلسیوس و محدوده ۰-۶۰ درجه سلسیوس است. فشارسنج دارای دقت یک میلی بار و محدوده‌ی اندازه‌گیری ۰-۴۰ میلی بار است و یک مخلوط‌کننده‌ی از نوع ونتوری مدل در شکل ۴ نشان داده شده است [۱۳].

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، گاز طبیعی از یک خط گاز (۱) با فشار نسبی ۹،۶۵ کیلو پاسکال به مخلوط‌کننده (۴) از طریق یک تنظیم‌کننده (۲) که فشار را تنظیم می‌کند، وارد می‌شود. سرعت جریان سوخت قبل از ورود به مخلوط‌کننده با یک روتامتر (۳) اندازه‌گیری می‌شود. جریان هوا توسط دمنده (۵) به مخلوط‌کننده با تنظیم‌کننده در مسیر خود و یک روتامتر^۵ برای اندازه‌گیری جریان آن دمیده می‌شود. دو دماسنج و دو فشارسنج در هر مسیر برای کنترل این پارامترها قبل از مخلوط استفاده می‌شود. پس از اختلاط، جریان چندجزئی به سمت مشعل سوراخ‌دار هدایت

نسبت تابش OH^*/CH^* کاهش می‌یابد. همچنین آن‌ها گونه C_2^* را به عنوان نمایان‌گر نرخ آزادسازی حرارت در احتراق سوخت پروپان دانستند. پارامسورام و همکاران [۳] در سال ۲۰۱۴ با طیف‌سنجی تابش شعله، دمای شعله را محاسبه کردند. نتایج حاصله از محاسبه‌ی دما با استفاده از طیف‌سنجی، مشابه دمای به دست آمده از ترموکوپل بود. آن‌ها توانایی اندازه‌گیری دماهای بالا را به عنوان یکی از مزیت‌های روش استخراج دما با استفاده از طیف تابشی مطرح کردند. جاکلین و همکاران [۹] در سال ۲۰۱۶ با استفاده از طیف‌سنجی تابش شعله به تعیین اکتان در بنزین پرداختند. آن‌ها به دلیل سادگی، سرعت و کم هزینه بودن این روش، آن را جایگزین مناسبی برای روش استاندارد مورد استفاده در کنترل کیفیت بنزین خودرو معرفی کردند. جزا و ازتانکو [۱۰] به طیف‌سنجی در مشعل‌های جریان بخار و هوا پرداختند. آن‌ها دریافتند رادیکال C_2^* با افزایش بخار کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده کردند با افزایش فاصله از سرمشعل نسبت‌های OH^*/CH^* و OH^*/C_2^* افزایش و CH^*/C_2^* کاهش می‌یابد.

در این مقاله، استفاده از روش FES برای اندازه‌گیری دمای شعله و تشخیص گونه‌های احتراق در یک مشعل بانسن و سرمشعل اصلی سوراخ‌دار گزارش شده است. تجزیه و تحلیل تکرارپذیری و عدم قطعیت داده‌های تجربی برای اطمینان از صحت و صحت اندازه‌گیری‌ها انجام شده است. روش‌های مختلفی جهت اندازه‌گیری دما در شعله با استفاده از تابش طبیعی آن وجود دارد که از آن جمله می‌توان روش نسبت شدت، پلانک^۱، وین^۲ و دماسنجی با استفاده از نسبت دو طول موج (پایرومتری دورنگی^۳) را نام برد. در مقاله‌ی حاضر از روش نسبت شدت استفاده شده است تا دما در نقاط مختلف شعله بانسن به دست آمده و گونه‌های احتراقی مهم در سرمشعل سوراخ‌دار شناسایی و تحلیل می‌شوند.

تئوری حاکم بر مسأله

به منظور اندازه‌گیری دمای گازهای احتراق، از روش نسبت شدت استفاده شده است که به طور گسترده‌ای در تحقیقات اخیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. علت انتخاب روش نسبت شدت بر سایر روش‌های دماسنجی گفته شده در قسمت مقدمه آن است که در روش پلانک با استفاده از برآزش منحنی طیف و تطابق آن با منحنی‌های موجود، می‌توان دما را به دست آورد که این روش دقت خوبی ندارد؛ روش وین نیز با درنظر گرفتن تابش مربوط به طول موج با بیشینه شدت، دما را به دست می‌آورد که دقت آن از پلانک هم کمتر است؛ و بالاخره روش نسبت دو طول موج احتیاج به دو فیلتر برای مهار کردن طیف‌های مزاحم جانبی دارد که با توجه به پیچیدگی اجزاء، مورد استفاده قرار نرفته است.

روش نسبت شدت بر اساس قانون پلانک است که به یک رابطه بین تابش شعله، دما و طول موج مربوطه اشاره دارد که در رابطه ۱ ارائه شده است [۱۱].

$$I_\lambda = \frac{c_1 \varepsilon_\lambda}{\lambda^5 (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)} \quad (1)$$

که در رابطه فوق c_1 و c_2 ثابت اول و دوم قانون پلانک است، ε_λ ضریب

¹ Intensity ratio

² Planck

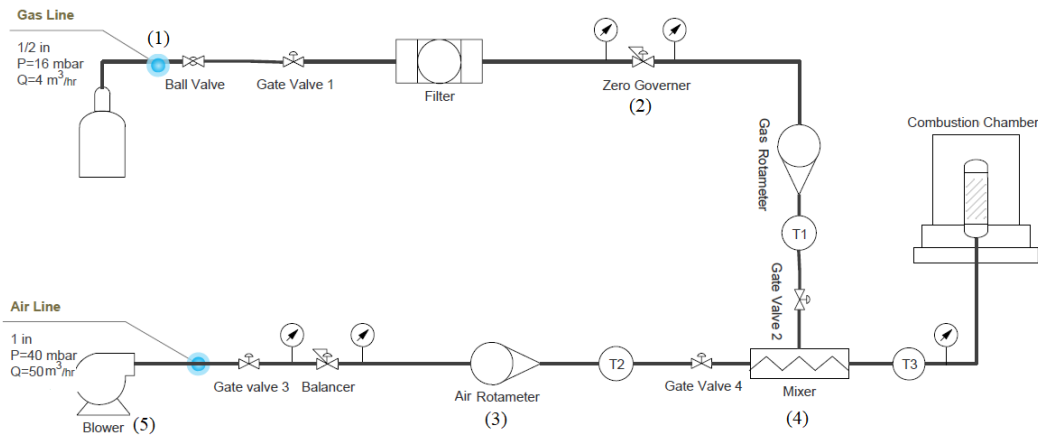
³ Wien

⁴ Two color pyrometry

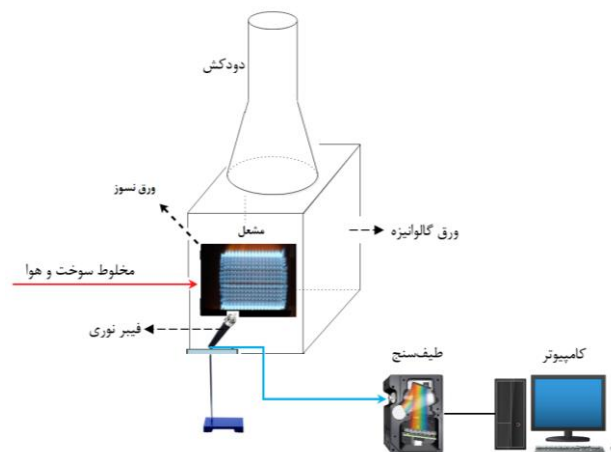
⁵ Rotameter

که نمودار شدت بر حسب طول موج را با یک نرم افزار نصب شده بر روی آن فراهم می کند. شکل ۴ مشخصات دقیق لوله کشی خطوط گاز و هوا را نشان می دهد.

می شود و دمای آن با یک دماسنج اندازه گیری می شود. مطابق شکل ۲ فیبر نوری در فاصله ۵۰ سانتی متری مقابل شعله به منظور سنجش تابش آن نصب شده است. فیبر، تابش را از شعله دریافت می کند و آن را به طیف سنج می فرستد. طیف سنج به یک رایانه مجهز است



شکل (۱) نقشه لوله کشی مسیر هوا و سوخت به همراه تجهیزات کنترلی و اندازه گیری



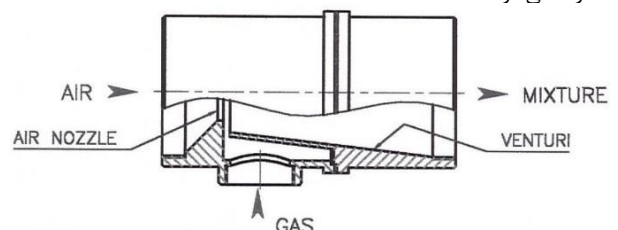
شکل (۲) سامانه‌ی اندازه‌گیری طیف تابشی شعله‌ی مشعل سوراخ‌دار

ظرفیت نامی مشعل ۳۰ kW می باشد. در جدول ۱ تجهیزات اندازه‌گیری به همراه محدوده‌های آن‌ها به صورت مختصر آورده شده است.

جدول (۱) محدوده و دقت تجهیزات اندازه‌گیری

تجهیز	محدوده	دقت
دماسنج مسیر هوا	0-60 °C	±1 °C
دماسنج مسیر گاز	0-60 °C	±1 °C
روتامتر هوا	0.5-45 m³/h	±1 m³/h
روتامتر گاز	0.3-3 m³/h	±0.05 m³/h
حسگر فشار نسبی مسیرهای گاز و هوا	0-100 mbar	±1mbar

اختلاط سوخت و هوا قبل از ورود به سرمشعل انجام شده و توسط تجهیزاتی به نام مخلوط کننده^۱ انجام می شود. شکل ۳ نمایی از نحوه‌ی اختلاط سوخت و هوا را در مخلوط کننده نمایش می دهد. با توجه به شکل زیر با سرعت گرفتن هوا، سوخت به واسطه‌ی فشار کم حاصل شده، به داخل محفظه مکش شده و با حرکت در طول لوله ونتوری، به طور کامل با هوا مخلوط می شود.

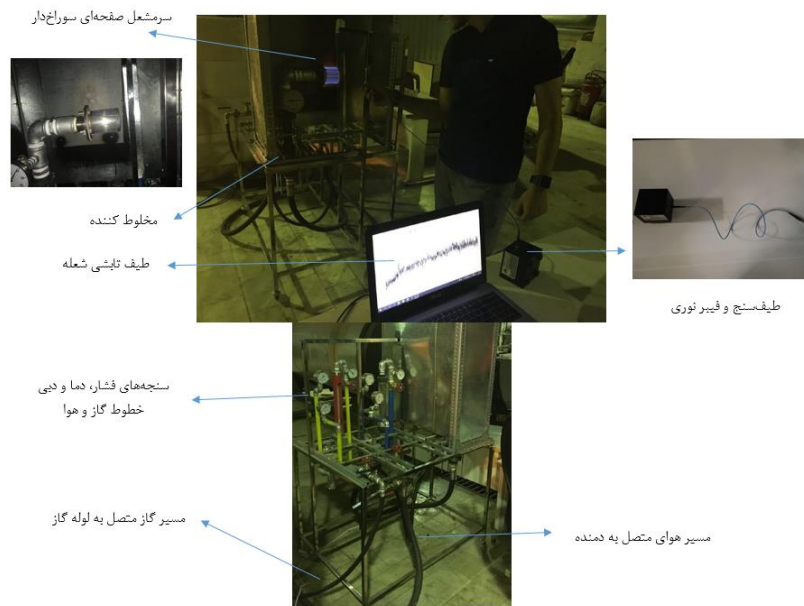


شکل (۳) سامانه‌ی اندازه‌گیری طیف تابشی شعله‌ی مشعل سوراخ‌دار [۱۳]

^۱ Mixer

شده بودند، در شکل مشخص هستند.

شکل ۴ نمایی کلی از دستگاه آزمون ساخته شده مربوط به سرمشعل سوراخ‌دار را نشان می‌دهد. قسمت‌های مختلف دستگاه که پیش‌تر معرفی



شکل ۴) دستگاه سرمشعل سوراخ‌دار به همراه اجزا تشکیل دهنده آن

نتایج

در این قسمت، نتایج مربوط به تغییرات دما در ارتفاع‌های مختلف شعله با استفاده از طیف‌سنج و روش نسبت شدت که در قسمت تئوری ارائه شده است و در ادامه به گزارش نتایج حاصل از طیف تابشی گرفته شده به منظور بررسی عملکرد مشعل سوراخ‌دار پرداخته می‌شود. شکل ۵ طیف تابشی حاصله از شعله‌ی غیر پیش آمیخته گاز طبیعی را از مشعل بانسن نمایش می‌دهد.

در شکل ۶ نمودار تغییرات دما برای ارتفاعات مختلف شعله‌ی غیر پیش‌آمیخته گاز طبیعی در مشعل بانسن نمایش داده شده است. با توجه به این شکل، دمای شعله از ابتدای قسمت مخروط داخلی شروع به افزایش کرده و در انتهای شعله روند کاهشی می‌یابد. داده‌های شکل ۶ با قرار دادن مقادیر طول موج و دمای مرجع به ترتیب برابر با 650 نانومتر (طول موج مرتبط با بیشینه نمودار در این مشعل) و 10 ± 1000 K (دما در نقطه‌ی سوم ارتفاعی کالیبره شده است) به دست آمده‌اند. با تحلیل عدم قطعیت روی دمای مرجع، دماهای به دست آمده با عدم قطعیت متناظر نشان داده شده‌اند.

از شکل ۶ مشخص است که نقطه چهارم که در نزدیکی انتهای شعله قرار دارد ($Z=4$ cm) دارای بیشه دما است. در شکل ۷ طیف تابشی مربوط به مشعل سوراخ‌دار که در حالت پیش‌آمیخته بوده برای نسبت هم‌ارزی یک، ارائه شده است. پیک‌های نمودار مربوط به گونه‌های اصلی نورتاب^۴ شیمیایی در شعله می‌باشد که شامل OH، CH و C_2 است. تابش این گونه‌ها همان‌طور که در شکل نشان داده شده است در طول موج‌های 311 و 431 و 516 و 471 نانومتر رخ داده است [۱۴].

در جدول ۲ مشخصات فنی طیف‌سنج مورد استفاده، ارائه شده است. حسگر CCD مورد استفاده در طیف‌سنج از مدل TCD1304AP متعلق به شرکت توشیبا^۱ است.

جدول ۲) داده‌های فنی طیف‌سنج

مشخصات	محدوده
محدوده طول موج	200-1100 nm
حد تفکیک ^۲	1.8 nm
تعداد پیکسل	3648
اندازه پیکسل	$8\mu m \times 200\mu m$
نسبت سیگنال به نویز	800:1
زمان نوردهی	$10\mu s - 60s$

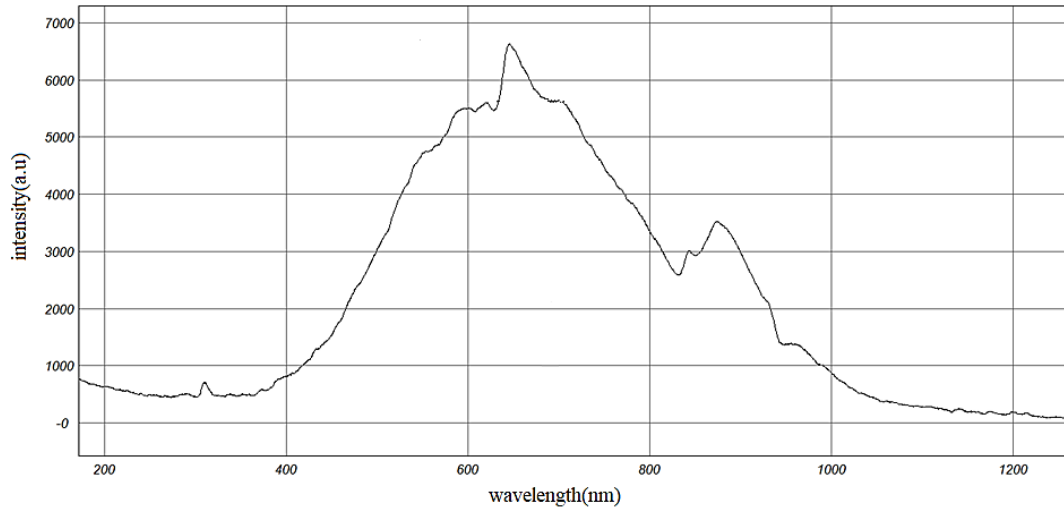
روند آزمایش تجربی به شرح زیر است: به عنوان اولین گام در پیچه‌ی گاز باز شده و دمنده روشن می‌شود تا سوخت و هوا به مخلوط‌کننده برسند. بعد از اینکه سیستم وضعیت ثابت و پایداری را به دست آورد، فیبر نوری در موقعیت‌های تعریف شده (در مکان‌های مختلف قرار گرفته است تا جابجایی تمام مشعل در گام یک سانتی‌متری به صورت افقی و عمودی) و طیف مربوطه به دست می‌آید. در نهایت، گونه‌ها با طول موج خود تشخیص داده می‌شوند و دما با معادله‌ی پلانک^۳ محاسبه می‌شود. آزمایش‌ها در دمای محیط 27 درجه سلسیوس، فشار محیطی 88.5 کیلو پاسکال، محدوده‌ی دبی معادل $0.3-1.5$ متر مکعب بر ساعت و ظرفیت محدوده‌ی مشعل $10-30$ کیلووات انجام می‌شود. تجزیه و تحلیل عدم قطعیت داده‌های تجربی انجام شده و سطح قابل قبول زیر انحراف استاندارد نسبی 10% داده‌ها محاسبه شده است.

¹ Toshiba

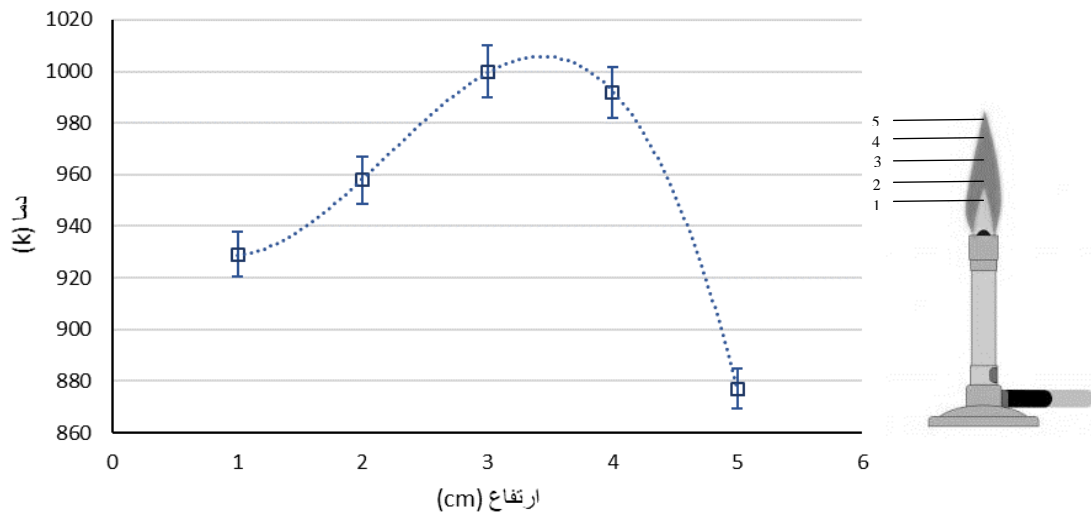
² Resolution

³ Planck

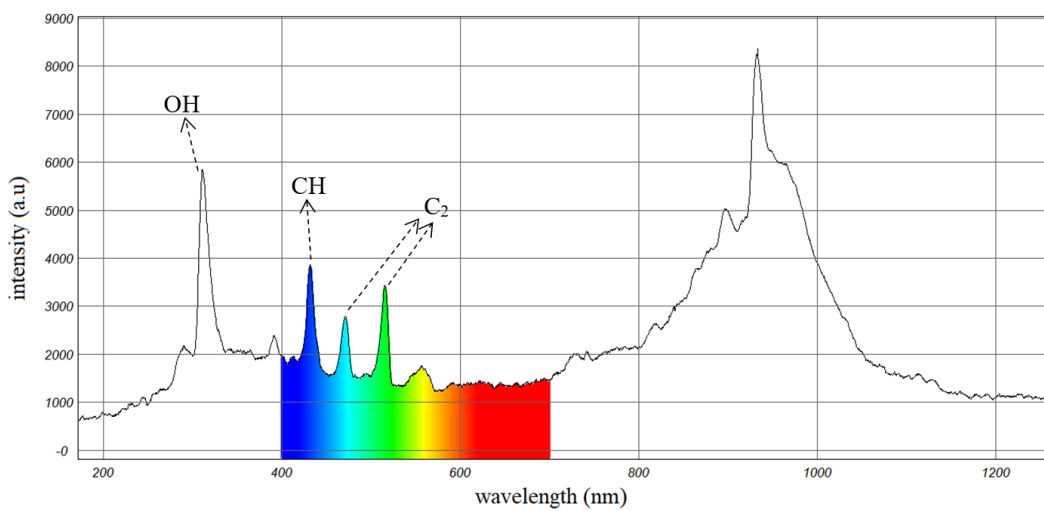
⁴ Chemiluminescent



شکل ۵) طیف تابشی حاصله از شعله غیر پیش آمیخته گاز طبیعی در مشعل بانسن



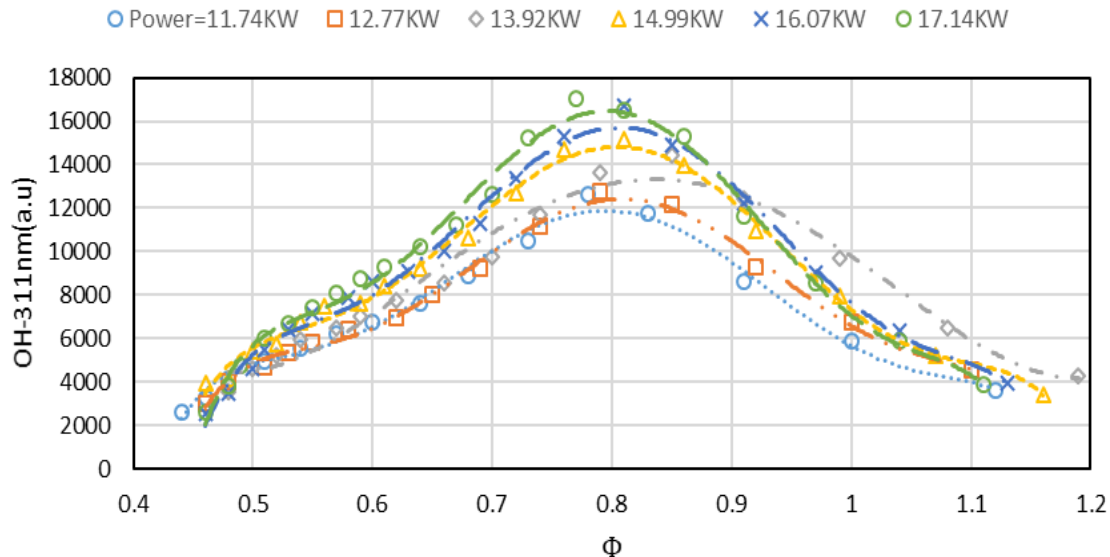
شکل ۶) نمودار تغییرات دمای به دست آمده برای ارتفاعات مختلف شعله‌ی غیر پیش آمیخته گاز طبیعی



شکل ۷) نمودار طیف تابش شعله پیش آمیخته مشعل سوراخ دار در نسبت هم‌ارزی $\Phi=1.00$ و ظرفیت مشعل $P=11.74$ kW

بیشینه است که در محدوده‌ی نسبت هم‌ارزی ۰٫۸۵-۰٫۷۷ قرار می‌گیرد. همچنین با افزایش ظرفیت مشعل، مقدار تابش OH برای تمامی حالات افزایش نشان می‌دهد که میزان ۴۵٪ افزایش از کمترین تا بیشترین ظرفیت (در نسبت هم‌ارزی ۰٫۸) می‌باشد و این امر حاکی از بالاتر بودن نرخ حرارت آزاد شده از شعله است که به ازای افزایش مقدار سوخت حاصل می‌شود.

در شکل ۸ تغییرات شدت تابش گونه‌ی OH* بر حسب نسبت هم‌ارزی در ظرفیت‌های مختلف مشعل رسم شده است. گونه‌ی هیدروکسیل (OH) در تعیین نرخ حرارت آزاد شده نقش کلیدی دارد چرا که زنجیره‌ی واکنش‌های دما بالا را فعال می‌کند [۱۵] و به همین دلیل، در این بخش تحلیل شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش نسبت هم‌ارزی، شدت گونه‌ی OH در مقادیر نسبتاً رقیق‌سوز (برای تمامی ظرفیت‌های مشعل)،



شکل ۸ تغییرات گونه OH بر حسب نسبت‌ها مختلف هم‌ارزی و در ظرفیت‌ها مختلف مشعل

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این مقاله، طیف تابش طبیعی شعله در سرمشعل صفحه‌ای سوراخ‌دار و همچنین مشعل بانسن به عنوان ابزاری برای تشخیص و اندازه‌گیری در شعله به کار گرفته شد به نحوی که تکنیک به کار گرفته شده در خصوص ارزیابی عملکرد مشعل کارایی ویژه‌ای دارد و می‌توان از روی نتیجه‌ی آن، نسبت هم‌ارزی مناسب را تشخیص داد و همچنین به کمک این روش غیر تماسی می‌توان توزیع دما را که عاملی مهم در محاسبه راندمان شعله است را به دست آورد. بر این اساس گونه‌های نورتاب مهم احتراقی در دستگاه مشعل سوراخ‌دار با احتراق پیش‌آمیخته شناسایی شده و برای احتراق غیر پیش‌آمیخته نیز دمای شعله مشعل بانسن با استفاده طیف تابشی آن به دست آمد. علاوه بر اندازه‌گیری‌های غیر تماسی ذکر شده، تغییرات شدت تابش گونه‌ی OH در سرمشعل سوراخ‌دار برای نسبت‌های مختلف هم‌ارزی و ظرفیت‌های مختلف مشعل به دست آمد که برای مقادیر نسبت هم‌ارزی بین ۰٫۷۷ تا ۰٫۸۵ و مستقل از ظرفیت مشعل، بیشترین شدت این گونه که معرف بالاترین میزان نرخ حرارت آزاد شده از مشعل است، اندازه‌گیری شد. کار حاضر ابزاری را به منظور بررسی غیر تماسی ویژگی‌های عملکردی مشعل‌های مورد استفاده در دیگ‌های چگالشی مورد توجه قرار داده است در عین حال روش به کار گرفته شده قابل توسعه به سایر سامانه‌های احتراق صنعتی می‌باشد.

فهرست علائم

c_1	ثابت اول قانون پلانک
c_2	ثابت دوم قانون پلانک
c	سرعت نور، m/s
k	ثابت بولتزمن، J/K
h	ثابت پلانک، $J.s$
I_b	تابش جسم سیاه
I_R	نسبت شدت تابش شعله
I_λ	شدت تابش شعله
P	فشار، $mbar$
T	دمای مطلق، K
فهرست علائم یونانی	
Φ	نسبت هم‌ارزی
ε_λ	ضریب صدور گازها
λ	طول موج
زیرنویس‌ها	
b	جسم سیاه

- [1] J. Ballester and T. Garcı, "Progress in Energy and Combustion Science," vol. 36, pp. 375–411, 2010.
- [2] A. Leipertz, S. Pfadler, and R. Schiebl, *Handbook of Combustion: An Overview of Combustion Diagnostics*, vol. 2. 2010.
- [3] T. Parameswaran, R. Hughes, P. Gogolek, and P. Hughes, "Gasification temperature measurement with flame emission spectroscopy," *Fuel*, vol. 134, no. June, pp. 579–587, 2014.
- [4] V. Józsa, "Application of lean premixed prevaporized burner for renewable fuels," 2016.
- [5] J.-M. SAMANIEGO, F. N. EGOLFOPOULOS, and C. T. BOWMAN, "CO₂* Chemiluminescence in Premixed Flames," *Combust. Sci. Technol.*, vol. 109, no. 1–6, pp. 183–203, 1995.
- [6] J. Kojima, Y. Ikeda, and T. Nakajima, "Spatially resolved measurement of OH*, CH*, and C₂* chemiluminescence in the reaction zone of laminar methane/air premixed flames," *Proc. Combust. Inst.*, vol. 28, pp. 1757–1764, 2000.
- [7] Y. Hardalupas and M. Orain, "Local measurements of the time-dependent heat release rate and equivalence ratio using chemiluminescent emission from a flame," *Combust. Flame*, vol. 139, no. 3, pp. 188–207, 2004.
- [8] M. Orain and Y. Hardalupas, "Influence du combustible sur la mesure de richesse par chimiluminescence dans les flammes prémélangées," *Comptes Rendus Mec.*, vol. 338, no. 5, pp. 241–254, 2010.
- [9] J. M. De Paulo, J. E. M. Barros, and P. J. S. Barbeira, "A PLS regression model using flame spectroscopy emission for determination of octane numbers in gasoline," *FUEL*, vol. 176, pp. 216–221, 2016.
- [10] V. JOZSA and K. SZTANKO, "FLAME EMISSION SPECTROSCOPY MEASUREMENT OF A STEAM BLAST AND AIR BLAST BURNER," *Therm. Sci.*, vol. 21, no. 2, pp. 1021–1030, 2017.
- [11] C. E. Baukal, *Industrial Combustion Testing*. Taylor & Francis, 2010.
- [12] B. Ma and M. Long, "pyrometry : Uncertainties and accuracy," *Combust. Flame*, vol. 161, no. 4, pp. 908–916, 2014.
- [13] [Online]. Available: <http://sholehsanat.ir/fa/>. [Accessed: 01-Dec-2017].
- [14] J. Ballester and T. García-Armingol, "Diagnostic techniques for the monitoring and control of practical flames," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 36, no. 4, pp. 375–411, 2010.
- [15] "Stephen R. Turns-An Introduction to Combustion_Concepts and Applications-McGraw-Hill (2000).pdf." .