



تحلیل پارامتریک میدان دما مشعل متقاطع گاز سنتز با روش اینترفرومتری ماخ-زندر

مهرداد کیانی^۱، جواد واشهری^۱، کاظم اسماعیل پور^{۲*}

^۱ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، تهران، ایران

چکیده: در این مطالعه دما و ساختار شعله گاز سنتز دو مشعل شیاری متقاطع به صورت تجربی با روش اینترفرومتری ماخ-زندر

بررسی شده است. هدف اصلی بررسی پارامترهای کلیدی شامل عدد رینولدز جریان هوا و سوخت ورودی و نسبت هم‌ارزی آن‌ها

بر روی احتراق بوده است. در ابتدا نتایج تجربی توزیع دما در شعله با نتایج استخراج شده از ترموکوپل باهم مقایسه شده‌اند و

ماکزیمم و مینیمم خطا به ترتیب ۸٪ و ۳٪ مشاهده شده است. کانتور و توزیع دما در مقاطع مختلف استخراج و مورد تحلیل

قرار گرفته‌اند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند اگرچه عدد رینولدز تأثیری بر بیشینه دما ندارد، اما تأثیر بسیار زیادی بر روی

ساختار شعله دارد. بدین صورت که افزایش عدد رینولدز باعث بالا رفتن ناحیه واکنش در خط تقارن، افزایش تعداد خطوط فرینج

و گسترش ناحیه گرم شده می‌گردد. تغییرات نسبت هم‌ارزی مستقیماً ساختار شعله را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بدین صورت که با

افزایش آن محل شکل‌گیری شعله به پایین دست انتقال پیدا می‌کند و پایداری شعله کاهش می‌یابد.

تاریخچه داوری:

دریافت:

بازنگری:

پذیرش:

ارائه آنلاین:

کلمات کلیدی:

مشعل‌های شیاری متقاطع

ساختار شعله

روش ماخ-زندر

احتراق گاز سنتز

۱- مقدمه

گاز سنتز، که به عنوان جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی در ادبیات تحقیق در نظر گرفته شده است، به طور طبیعی تحت شرایط مخصوص به‌وسیله جدا شدن ترکیب شیمیایی چوب و ذرت به وجود می‌آید و شامل ترکیب هیدروژن و منوکسیدکربن و مقادیر کمتری از متان و سایر هیدروکربن‌ها است. در گاز سنتز مقدار نسبت هیدروژن به منوکسیدکربن مقدار آزادسازی انرژی را مشخص می‌کند. از سوی دیگر، نوع و شکل مشعل‌ها (مستطیلی، حلقوی و ...) بر کیفیت احتراق تأثیر زیادی دارد. مشعل‌های پیش‌ترکیب کاربرد فراوانی در صنعت مانند واحدهای ذوب فلزات، اجاق‌های صنعتی و مصارف خانگی دارند. برای افزایش نرخ انتقال حرارت، روش‌های گوناگونی اعم از مشعل‌های موازی^۱، جریان مخالف^۲ و جریان متقاطع^۳ به صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته است.

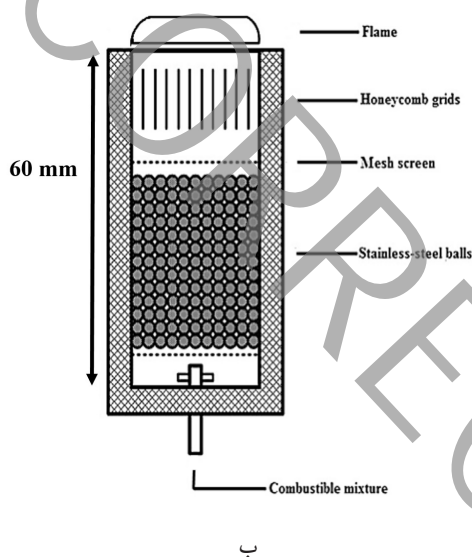
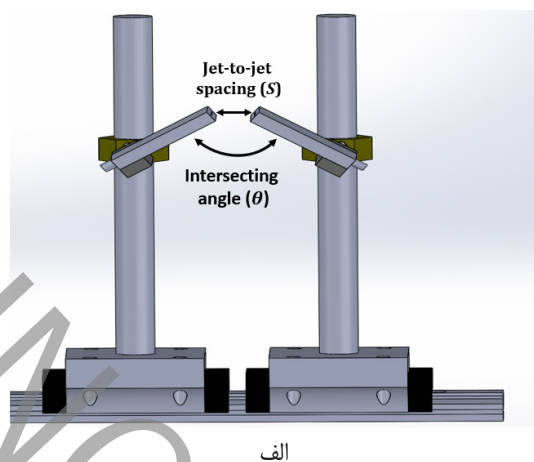
دانگ و همکاران [۱]، اثر نسبت ابعاد مشعل و فاصله تا صفحه هدف و عدد رینولدز را برای دو جریان موازی با مقطع‌های مستطیلی و دایره‌ای مورد بررسی قرار داده‌اند. یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد که در مشعل‌هایی

با مقطع مستطیلی نسبت به مقاطع دایره‌ای شار گرمایی بیشتر و شعله‌ای با پایداری بیشتر، قابل دست‌یابی است. ساختار جریان لایه‌ای مخالف شعله‌های نفوذی^۴ با گاز سنتز به‌وسیله دراک و بلینک [۲] در گستره وسیعی از نرخ کرنش^۵ موردتحقیق قرار گرفته است. نتایج آن‌ها حاکی از آن است که حتی در $\alpha = 0.1 - 5.00 \text{ s}^{-1}$ (نرخ کرنش می‌باشد) اثرات غیر تعادلی قابل مشاهده است. این اثرات به رشد بیشتر کرنش‌ها منجر می‌شود. دیسمایل و همکاران [۳]، گزارش کرده‌اند که برای اختلاط بیشتر سوخت و هوا، جریان مشعل‌ها، به‌جای برخورد دایره‌ای هم‌مرکز، تحت یک زاویه مشخص می‌تواند صورت پذیرد. برای موتورهای راکت، ساختار شعله برخوردی بسیار موردتوجه قرار گرفته است [۴]. اثر مشعل‌های V شکل متقاطع با زاویه ۴۵ درجه برای مشعل‌های شیاری توسط لی و همکاران به‌وسیله روش سرعت‌سنجی تصویری ذرات^۶ با سوخت پروپان موردبررسی قرار گرفته است. چن و همکاران [۵]، اثر اضافه کردن هیدروژن و منوکسیدکربن بر مشخصات شعله پروپان را به‌وسیله آزمایش‌های سرعت‌سنجی تصویری ذرات موردتحقیق قرار داده‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که با افزایش سرعت سوختن^۷، شکل شعله از تپه‌ای شکل به M شکل تغییر پیدا می‌کند. کیانی و همکاران [۶]

- 4 Diffusion
- 5 Stretch rate
- 6 Particle Image Velocimetry (PIV)
- 7 Burning velocity

- 1 Parallel burners
- 2 Counter flow burners
- 3 Intersecting burners

نویسنده عهده‌دار مکاتبات: esmailpour@damavandiau.ac.ir



شکل ۱: الف) نگاه دارنده و مکانیزم تنظیم شعله
ب) ساختار داخلی مشعل

استفاده از روش‌های اینترفرومتری از این جهت قابل توصیه برای کاربردهای عملی هستند که تغییر و تأثیری در میدان جریان ندارند و می‌توانند بدون برهم زدن شرایط جریان و از دور، میدان دمایی را محاسبه کنند. همچنین، روش‌های اینترفرومتری به صورت لحظه‌ای قادر به تخمین میزان میدان دمایی هستند، زیرا دما در هر نقطه‌ای از میدان به وسیله تغییر در میزان ضریب شکست شعله معین می‌گردد. در این مطالعه، روش اینترفرومتری ماخ-زندر برای تعیین میزان ضریب شکست محصولات احتراق مورد استفاده قرار گرفته است. اطلاعات بیشتر در مورد این روش در مرجع [۷] ذکر شده است. همان گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، باریکه نوری خارج شده از لیزر هلیوم-نئون، با توان حداکثر ۵ میلی‌وات و طول موج ۶۳۲/۸ نانومتر با گذشتن از میکروولنرها پراکنده می‌شود. با عبور از موازی‌ساز^۴، جداکننده باریکه نوری^۵ ۵۰ درصدی، باریکه نور را به دو بخش مساوی تقسیم می‌کند.

میدان دما و ساختار شعله احتراق گاز لندفیل در مشعل‌های شیاری را با استفاده از روش تجربی ماخ-زندر مطالعه کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که احتراق این گاز در این هندسه وابستگی بسیار زیادی با شرایط هندسی مشعل‌ها و شرایط جریان‌های ورودی دارد.

با توجه به پیشینه تحقیق ذکر شده، ساختار شعله در مشعل‌های متقاطع تابعی از شرایط کاری و پارامترهای هندسی مختلف است. اگرچه رفتار مشعل‌های چندتایی در تحقیقات گذشته مورد بررسی قرار گرفته است، اما هنوز اثر عدد رینولدز و نسبت هم ارزی بر میدان دمایی در مشعل‌های شیاری برخورداری مورد بررسی قرار گرفته است. در حالی اثرات عدد رینولدز و نسبت هم ارزی شعله مورد بررسی قرار گرفته است که عدد رینولدز پارامترها به صورت تجربی به وسیله روش اینترفرومتری ماخ-زندر مورد بررسی قرار گرفته است. برای صحت‌گذاری نتایج به همراه استفاده از ترموکوپل مورد استفاده قرار گرفته است.

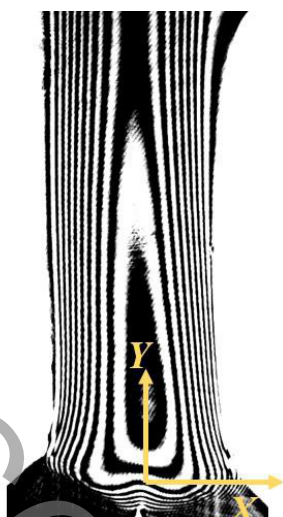
۲- تجهیزات آزمایشگاهی

مشعل‌های برخوردی به صورتی که از نظر ارتفاع، فاصله و زاویه برخورد قابل تنظیم باشند همانند شکل ۱-الف طراحی شده‌اند. هر شیاری از دو صفحه فولاد زنگ نزن بریده شده با عمق ۶۰ میلی‌متر، که به وسیله نوار مسی و ضخامت ۰/۱ میلی‌متر آب‌بندی شده است، به وجود آمده است که یک مقطع $۲۰ \times ۰/۷$ میلی‌متر را تولید می‌کند. برای رسیدن به جریان کاملاً توسعه یافته در خروجی مشعل، یک لانه‌زنبوری^۱ در وسط مشعل تعبیه شده است. (شکل ۱-ب)

برای انتقال سوخت، یک شلنگ بسیار بلند، بین مخلوط کننده و مشعل‌های شیاری قرار گرفته است که اختلاط سوخت را به صورت کامل تضمین می‌کند. برای تهیه گاز سنتز، هیدروژن و منوکسید کربن از دو کپسول جداگانه به محفظه اختلاط به وسیله دو عدد دبی سنچ فیشر^۲ با فشار ۱۰۰ بار و خلوص ۹۹/۹۹ درصد برای هیدروژن و ۱۸۰ بار برای منوکسید کربن و با خلوص ۹۹/۹۹ درصد انتقال پیدا می‌کنند. در محفظه اختلاط، جت سوخت با هوای تزریق شده، که از یک کمپرسور هوا با فشار ۵ بار تغذیه می‌گردد، اختلاط پیدا می‌کند. میزان دبی جریان هوا به وسیله دبی سنچ دوایر^۳ اندازه‌گیری می‌شود. بعد از محفظه اختلاط، به وسیله دو دبی سنچ فیشر، سوخت به دو بخش مساوی برای دو محفظه احتراق تقسیم می‌گردد که در شکل ۲ نشان داده شده است. برای صحت‌گذاری روش اینترفرومتری، از ترموکوپل نوع K در تجهیزات به کاررفته استفاده شده است. همچنین لازم به ذکر است که فشار هوا و رطوبت نسبی آزمایشگاه در زمان آزمون ضبط شده‌اند. در روش‌های معمول برای اندازه‌گیری میدان دما، ترموکوپل‌ها در نقاط مختلف شعله برای اندازه‌گیری دما در دامنه میدان شعله قرار می‌گیرند.

- 1 Honeycomb
- 2 Fischer
- 3 Dwyer

- 4 Compiler
- 5 Beam Splitter



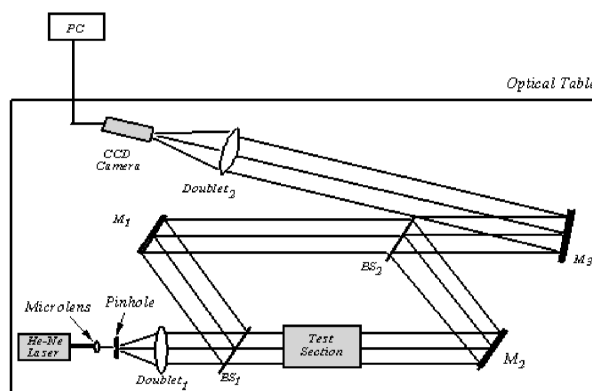
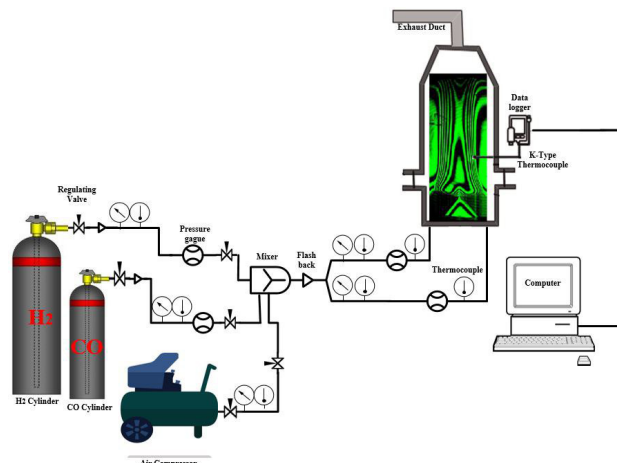
شکل ۳: فرینج شعله گاز سنتز در مشعل متقاطع

$$\frac{\Delta\phi(x, y)}{2\pi} = \frac{1}{\lambda} \int_0^L [n_\infty - n(x, y, z)] dz \quad (1)$$

در معادله (۱)، $\Delta\phi$ معرف اختلاف فاز، λ معرف طول موج لیزر، L طول بخش آزمون، n_∞ اندیس شکست محیط شعله و n اندیس شکست هوا (متغیر در مکان‌های جغرافیایی مختلف) هستند. اثر نسبت شکل ۱ نازل (نسبت طول به عرض دهانه خروجی نازل مستطیلی شکل)، بر دقت روش اینترفرومتری توسط کی و همکاران [۸] مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج آن‌ها حاکی از آن است که با افزایش نسبت شکلی نازل، اثر ابتدا و انتهای مقطع مستطیلی نازل بر روی ساختار شعله و میدان دمایی کاهش پیدا می‌کند. بنابراین نازل‌هایی با نسبت شکلی بیشتر، برای مطالعه حاضر مطلوبیت بیشتری دارند. به همین دلیل نازل‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که نتایج آزمایش کمترین میزان تأثیرپذیری را در ابتدا و انتهای نازل را داشته باشد. لذا ضریب شکست در مسیر باریکه لیزر می‌تواند ثابت فرض گردد. در نتیجه، الگوی یافت شده برای کل طول شعله معتبر است. لذا با فرض ناچیز بودن تغییرات در ضریب شکست در طول مسیر باریکه نوری معادله (۱) به معادله (۲) قابل تقلیل و ساده‌سازی است.

$$\frac{\Delta\phi(x, y)}{2\pi} = [n_\infty - n(x, y)] \frac{L}{\lambda} \quad (2)$$

هر خط تیره و روشن (فرینج) اطلاعات فاز یکسانی دارد. در نتیجه، برای هر خط، عدد صحیح غیر منفی FN (معادله (۳) را ببینید) اختصاص پیدا می‌کند. اعداد صحیح تعداد خطوط روشن را نشان می‌دهد و عدد صحیح دیگر تعداد خطوط سیاه را نشان می‌دهد. $FN = 0$ برای گاز محیط در فاصله مشخصی از خط اول استفاده می‌شود. با استفاده از ماژول پردازش



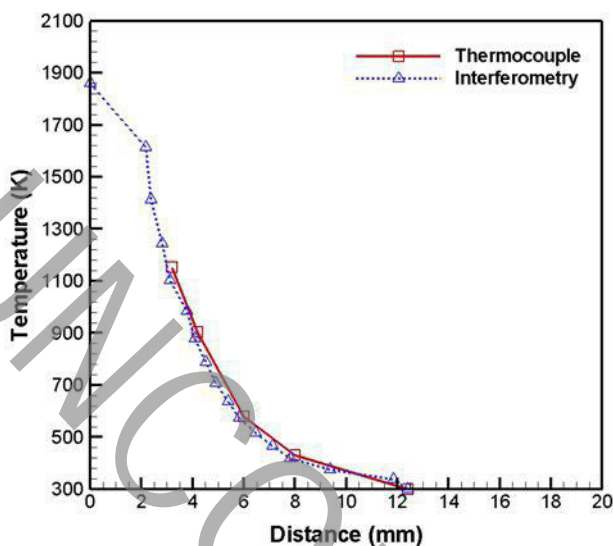
شکل ۲: بالا) شماتیک تجهیزات تغذیه سوخت
پایین) شماتیک میز اینترفرومتری

باریکه نوری اول به آینه دوم ۵۰ درصدی می‌رسد و در همین حال بخش دوم باریکه نوری از روی شعله عبور کرده و باز به همین آینه می‌رسد. باریکه‌های نوری همگرا می‌شوند و در نهایت به یک دوربین دیجیتالی CCD می‌رسند که با سرعت ۳۰ فریم بر ثانیه تصاویر را ضبط کرده و به سیستم کامپیوتری ارسال می‌کند. همه آزمایش‌ها در دمای ۳۰۰ کلوین و فشار ۰/۸۷ بار انجام پذیرفته است.

همان‌گونه که در بالاتر مورد اشاره قرار گرفت، وقتی که باریکه نوری منتشر شده از منبع لیزر هلیوم-نئون به جداکننده می‌رسد، به دو باریکه نوری مجزا تبدیل می‌گردد. یکی از آن‌ها از مسیری که در آن تغییری در ضریب شکست نوری نیست عبور داده می‌شود و دیگری از میان محصولات احتراق عبور می‌گذرد. تغییر در میزان ضریب شکست بین دو باریکه نوری یک تغییر فاز محسوس را در دو باریکه نوری را پدید می‌آورد که به خطوط روشن و تاریک (فرینج) در تصویر (شکل ۳) منجر می‌شود.

رابطه بین اختلاف فاز و ضریب شکست در معادله ۱ ارائه شده است. با در نظر گرفتن مبدأ مختصات بر روی خط

تقارن با ارتفاع برابر از خروجی شعله خواهیم داشت:



شکل ۶: اعتبار‌سنجی نتایج در صفحه $\frac{H}{D}=8$ راست: مقایسه توزیع دمای عددی و تجربی، چپ: مقایسه نمودار دمای حاصل از روش اینترفرومتری و اندازه‌گیری‌های ترموکوپل

با نسبت استوکیمتری یکسان، بیشترین اختلاف دما از ۴۰ کلون (در $x = 3/56$ mm) بیشتر نشده است (شکل ۶). از آنجایی که دامنه صحت ترموکوپل‌های نوع K بین ۲۷۳ و ۱۴۰۰ کلون است، برای صحت‌گذاری، مقایسه نتایج برای دماهای کمتر از ۱۴۰۰ کلون انجام گرفته است.

اولین منبع خطا می‌تواند از خود روش صحت‌گذاری منتج گردد. نتایج به‌دست‌آمده از روش اینترفرومتری مختص مرکز هر فرینج است، درحالی‌که ترموکوپل نمی‌تواند در مکان دقیق قرار بگیرد. منبع دیگر خطا محصولات احتراق است که ممکن است بر روی ضریب شکست تأثیرگذار باشند. اجزای تجهیزات آزمایشگاهی، مثل دی‌سنج^۳، نیز می‌تواند منبع خطا باشند. با توجه به اطلاعات سازنده دی‌سنج، خطای به‌دست‌آمده برای نرخ جریان از این وسیله اندازه‌گیری ۴ درصد است. این خطا ممکن است به خطا در محاسبه عدد رینولدز و نسبت هم ارزی منجر شود. در روش ماخ-زندر، ضریب شکست هوا برابر با محصولات احتراق فرض می‌شود. با توجه به مرجع [۱۵]، خطای ایجادشده توسط این فرض بیش از ۲/۳ درصد برای نسبت هم ارزی ۲ نخواهد بود. این خطا برای نسبت‌های هم‌ارزی کوچک‌تر به زیر ۲ درصد می‌رسد. و درنهایت، فرض اصلی در این روش بر ثابت بودن دما در کل باریکه نوری است، درحالی‌که رژیم جریان در جلو و عقب شکاف شکل گرفته است.

تصویر متلب^۱ توزیع عدد فرینج مشخص می‌گردد. از سوی دیگر رابطه عدد فرینج با شاخص شکست به‌وسیله معادله (۴) ارتباط پیدا می‌کند.

$$FN = \frac{j-1}{2}, j = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

$$FN = \frac{\Delta\varphi(x, y)}{2\pi} \quad (4)$$

رابطه دو بعدی عدد شکست و عدد فرینج محلی در صفحه x, y به‌وسیله معادله (۵) بیان شده است.

$$n(x, y) = n_{\infty} - \frac{FN \cdot \lambda}{L} \quad (5)$$

شاخص شکست تابعی از دما است. بدین ترتیب، با اعمال تقریب‌های گلدستون-دال^۲ میدان دمایی به‌وسیله معادله (۶) قابل استخراج است. این رابطه برای دماهایی تا حداکثر ۶۰۰۰ کلون معتبر است [۹].

$$T(x, y) = \left[\frac{n_{\infty} - 1}{n(x, y) - 1} \right] T_{\infty} \quad (6)$$

در معادله (۶)، $T(x, y)$ دمای محلی در نقاط مختلف و T_{∞} دمای محیط شعله است. برای آسانی مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از نازل شیاری با سایر مطالعات انجام‌گرفته، قطر هیدرولیک به وسیله معادله (۷) تعریف می‌گردد.

$$D_H = \frac{4Lt}{2(L+t)} \quad (7)$$

که در آن L و t به ترتیب طول و عرض شکاف هستند. حال عدد رینولدز به کمک رابطه (۸) قابل محاسبه است.

$$Re = \frac{\rho_{mix} V_{exit} D_H}{\mu_{mix}} \quad (8)$$

ρ_{mix} چگالی مخلوط گازی، V_{exit} سرعت خروج و μ_{mix} لزجت دینامیک مخلوط است که به‌وسیله معادله (۹) بیان شده است.

$$\mu_{mix} = \frac{\sum (\mu_i Y_i \sqrt{M_i})}{\sum (Y_i \sqrt{M_i})} \quad (9)$$

در معادله (۹)، i اندیس شمارش ترکیبات گازی، Y_i جز مولی و M_i وزن مولکولی است.

۲-۱- صحت‌گذاری و منابع خطا

برای صحت‌گذاری روش اینترفرومتری، نتایج به‌دست‌آمده با داده‌های به‌دست‌آمده از روش ترموکوپل‌های نوع K مورد مقایسه قرار گرفته است. در صفحه مشخص شده $\frac{H}{D_H}=8$ ، عدد رینولدز ۱۰۰ و سوخت گاز سنتز

1 MATLAB

2 Gladstone-Dale approximations

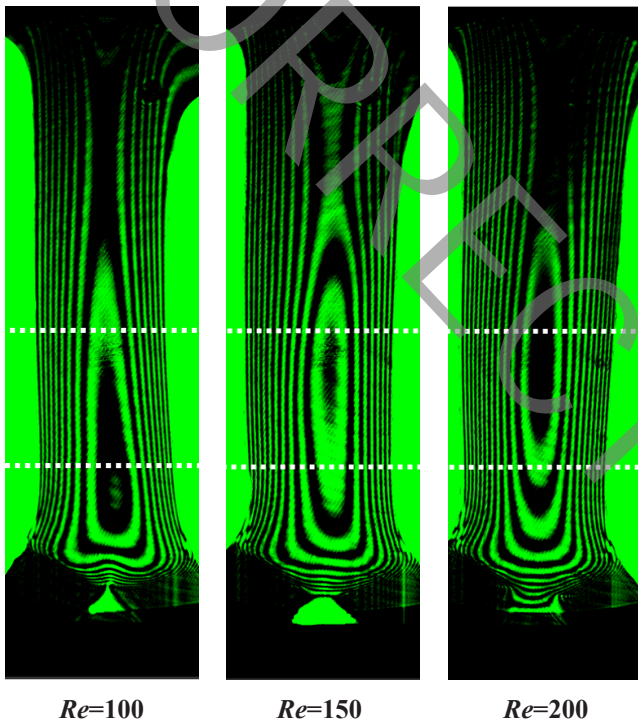
۳- نتایج آزمایش‌ها

همان‌گونه که در شکل ۷ نشان داده شده است، رژیم جریان به چهار ناحیه اصلی تقسیم می‌گردد: ناحیه داخلی، ناحیه گردابه حلقوی، ناحیه فلاشبک^۲ و ناحیه بازگردش^۴. ناحیه داخلی شامل گونه‌های از پیش مخلوط شده است که هنوز وارد روند احتراق نشده‌اند و دقیقاً در خروجی نازل‌ها قرار دارد. نتیجه گرفته شده است که اندازه این ناحیه با افزایش نسبت هم‌ارزی افزایش پیدا می‌کند. با توجه به جهت روبه بالای جریان، ورتکس‌های حلقوی در نواحی بیرونی شعله خارج می‌شوند و در نتیجه باعث کشیده شدن هوا به محیط احتراق می‌گردند. ناحیه فلاشبک شامل مقادیری از جریان است که به نواحی پایین‌تر شعله رانده می‌شوند. ناحیه بازگردش از جریان‌های متقاطع به وجود می‌آیند که منجر به بازدهی بیشتر در ناحیه مشترک شعله (که شعله‌ها بر هم دیگر تأثیر می‌گذارند) می‌گردد. با توجه به بازگشت‌های مجدد جریان، گرما به گونه‌های نسوخته رسیده که به بازدهی بالاتر احتراق و شعله‌هایی پایدارتر منجر می‌شود. با توجه به مطالب بیان شده می‌توان نتیجه گرفت که آثار ذکر شده تابعی از عدد رینولدز، نسبت هم‌ارزی، زاویه و فاصله بین مشعل‌ها هستند.

سوخت به هوا، اثر زاویه برخورد و فاصله و زاویه مشعل‌ها نیز اندازه‌گیری می‌شود. برای فهم کامل از ساختار شعله دو صفحه ۱ و ۲ به صورت عمود بر خط تقارن مشعل‌ها در $\frac{y}{D_H} = 8$ و $\frac{y}{D_H} = 28$ انتخاب شده‌اند.

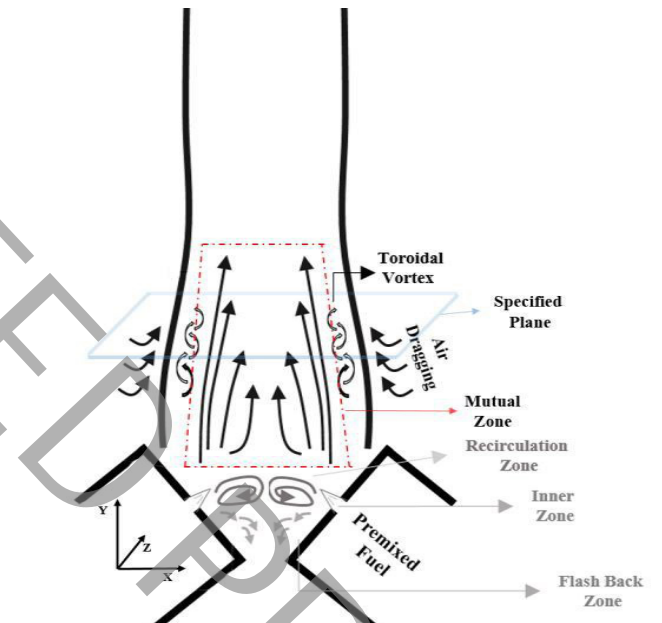
۳-۱- تأثیر عدد رینولدز بر روی میدان دما

در خط تقارن مشعل‌های با جریان متقاطع، فشار و نوسانات در محل برخورد دو جت شعله افزایش پیدا می‌کند، در صورتی که برخورد موجب خستگی شدن سرعت افقی و در نتیجه موجب به وجود آمدن شعله‌ای پایدارتر می‌گردد. هنگامی که نرخ جریان بسیار بیشتر از سرعت احتراق باشد، شعله‌ها بلوآف^۵ و شرایط برعکس منجر به پدیده فلاشبک می‌گردد. در نتیجه، عدد رینولدز جریان به سه عدد $Re = 100 \left(Q = 1/24 \frac{\text{lit}}{\text{min}} \right)$ و $Re = 150 \left(Q = 1/18 \frac{\text{lit}}{\text{min}} \right)$ و $Re = 200 \left(Q = 2/48 \frac{\text{lit}}{\text{min}} \right)$ در نسبت هم‌ارزی واحد محدود شده است، که در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸: تصاویر اینترفرومتری شعله در (الف) $Re=100$ (ب) $Re=150$ (ج) $Re=200$

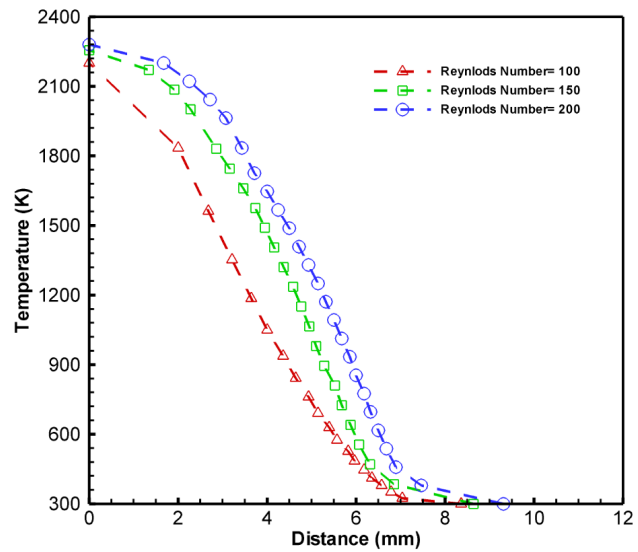
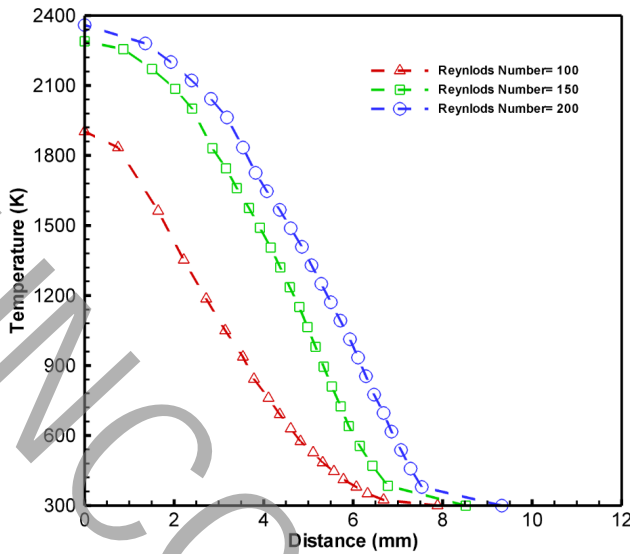
از آنجایی که سرعت متوسط جریان ورودی متناسب با عدد رینولدز است، نشان داده شده است که افزایش عدد رینولدز باعث بالا رفتن ناحیه واکنش در خط تقارن، افزایش تعداد خطوط فرینج و گسترش ناحیه گرم‌شده می‌گردد. در شکل ۹، ناحیه گرم شده در $Re=150$ با اعداد رینولدز کوچک‌تر و با نسبت هم‌ارزی برابر با یک مقایسه شده است. نتیجه گرفته شده است که بالاترین دمای $T = 2144 \text{ K}$ (۹۰ درصد دمای شعله آدیاباتیک



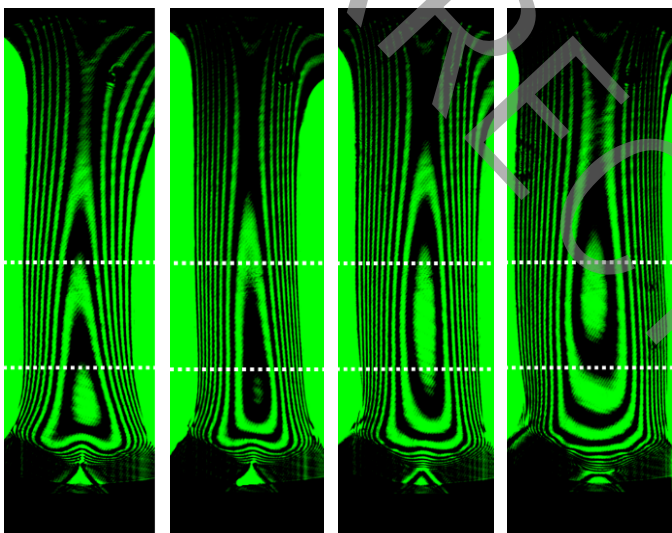
شکل ۷: الگوی جریان حاصل از برخورد دو شعله متقاطع، ناحیه گردابه حلقوی، ناحیه مشترک و ناحیه داخلی

با توجه به مشخصه‌های برخورد جریان، مشعل‌های با جریان متقاطع به مکان مشعل حساس هستند. بنابراین همانند عدد رینولدز و نسبت هم‌ارزی

- 1 Inner zone
- 2 Toroidal vortex zone
- 3 Flashback zone
- 4 Recirculation zone



شکل ۹: توزیع دما بر حسب فاصله برای رینولدزهای مختلف، راست) در صفحه ۱؛ $\frac{y}{D_H} = ۰.۸$ ، چپ) در صفحه ۲؛ $\frac{y}{D_H} = ۰.۲۸$



$ERFA=0.18$ $ERFA=1$ $ERFA=1.5$ $ERFA=2.5$

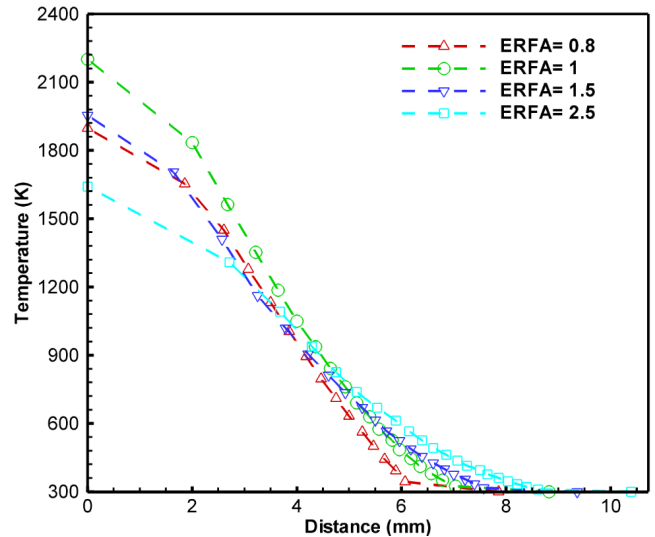
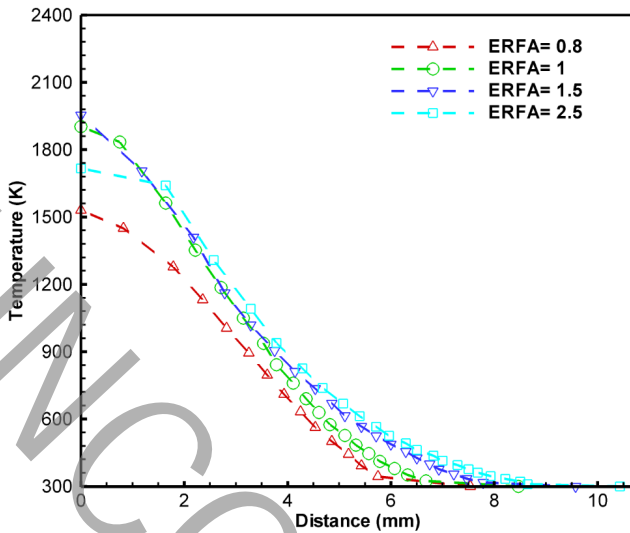
شکل ۱۰: تصاویر اینترفرومتری شعله در نسبت هم ارزیهای مختلف

هنگامی که نسبت سوخت به هوا^۲ افزایش پیدا کند، احتراق کامل دیرتر و دورتر از سر مشعل رخ می‌دهد، زیرا مقدار زیادتری از سوخت برای سوختن موجود است. در نتیجه، احتراق ناکارآمد ممکن است بر اثر کمبود اکسیژن برای مقادیر خاصی از سوخت صورت پذیرد. برای رسیدن به موقعیت تعادلی، شعله هوای محیط را می‌کشد که در نتیجه آن، ناحیه فرینج افزایش و پایداری شعله کاهش پیدا می‌کند. همچنین این پدیده باعث کشیده شدن ناحیه گرم شده در طول x

هیدروژن و هوا) در $Re=150$ ، در محل خط تقارن به وقوع پیوسته است. انتقال حرارت و کشش ۱ هوا به نواحی پیرامونی به عنوان دو پارامتر مهم‌تر در تعیین مقدار دمای شعله آدیاباتیک و حالت آزمایشگاهی هستند. اگرچه که تغییر عدد رینولدز از ۷۰ به ۱۵۰ به تغییر بیش از ۱۲۵ کلین در دمای شعله ایجاد نمی‌کند اما، افزایش عدد رینولدز در دمای ثابت به معنای افزایش شار حرارتی است. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش فاصله از خط تقارن، تغییر دما در اثر عدد رینولدز کاهش پیدا می‌کند. با حرکت در جهت y از صفحه ۱ به صفحه ۲، بیشینه و کمینه کاهش دما به ترتیب در رینولدز ۷۰ و ۱۵۰ به وقوع می‌پیوندد. در اعداد رینولدز پایین‌تر، بیشینه دما به علت کوچک‌تر شدن ناحیه تداخل، سریع‌تر دچار افت می‌گردد. علاوه بر این، مشاهده شده است که عدد رینولدز تأثیر بسیار زیادی بر روی ساختار جت شعله شیاری برخوردار دارد.

۳-۲- اثر نسبت هم‌ارزی

حساسیت میدان دما در نسبت‌های تعادلی $\phi = 0.18$ ، 1 ، 1.5 و 2.5 مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به الگوی توزیع هم‌دما در جریان لایه‌ای، با نسبت هم ارزی بالا، آزمایش‌های برای نسبت هم ارزی کمتر از 2.5 ترتیب داده شده است. شکل ۱۰، میدان دما برای نسبت‌های تعادلی مختلف در عدد رینولدز ۱۰۰ را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱: توزیع دما بر حسب فاصله، راست) در صفحه ۱؛ $\frac{y}{D_H} = 1$ ، چپ) در صفحه ۲؛ $\frac{y}{D_H} = 2.8$

به درون شعله است. اثر نیروی شناوری هوا باعث پدیدار شدن ناپایداری در صفحات بالایی می‌گردد.

با آنالیز داده‌های تجربی این توصیه قابل ذکر است که بیشترین نرخ انتقال حرارت در مشعل‌های شیاری با جریان متقاطع، با افزایش عدد رینولدز و زاویه تداخل، با کمینه کردن فاصله مشعل‌ها از یکدیگر و ثابت نگه‌داشتن نسبت سوخت به هوا تعادلی برابر با یک قابل دسترسی است. واضح است که افزایش بیش از اندازه زاویه تداخل نزدیک به جریان روبرو به هم باعث کاهش نرخ انتقال حرارت در راستای عمودی می‌شود.

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم که از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی بابت حمایت از این پژوهش کمال تشکر را داشته باشم.

فهرست علائم

علائم انگلیسی

d	قطر مشعل (m)
H	فاصله از لبه مشعل در راستای y (m)
l	طول شیار مشعل (m)
L	طول جت در راستای نور لیزر (m)
N	بزرگی مرتبه فرینج
Re	عدد رینولدز
s	فاصله دو مشعل از یکدیگر (m)
T	دما (K)
w	عرض شیار مشعل (m)
X	مختصات در راستای محور عمود بر صفحه (m)

در قسمت‌های بالایی می‌گردد. شکل ۱۱ توزیع دما برای جت‌های با شعله برخوردی را نشان می‌دهد.

افزایش ERFA در هر صفحه باعث می‌شود که (در نسبت هم ارزی استوکیومتری برابر) بیشینه دمایی ۲۰۶۵ کلوین در صفحه پایینی رخ دهد. در هر دو صفحه، همه پروفایل‌های دمایی روند مشابهی نزدیک به خط تقارن دارند. همچنین در صفحه پایینی برای X ثابت و مشخص، مشاهده می‌شود که دمای ERFA=۱ بزرگ‌تر از سایر نسبت‌های هم‌ارزی (۰/۸ و ۱/۲ و ۱/۵) است. هوای اضافی در نسبت‌های هم‌ارزی پایین‌تر نقش اصلی را در کم کردن ارتفاع ناحیه داخلی شعله نسبت به مقادیر بالاتر این کمیت را بازی می‌کند. در شرایط رقیق (ERFA=۰/۸)، بیشینه دمایی کمتر از سایر نسبت‌های هم‌ارزی است. علت این پدیده آن است که بخشی از گرمای تولیدشده صرف گرم کردن هوای اضافی می‌گردد.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله اثر تغییرات در عدد رینولدز ($Re = 100, 150, 200$)، نسبت هم ارزی سوخت به هوا ($ERFA = 0.1, 1, 1.5, 2$) در ساختار شعله به صورت آزمایشگاهی و به روش اینترفرومتری ماخ-زندر بررسی شده است. نتایج آزمایشگاهی به خوبی صحت‌گذاری شده است. مهم‌ترین یافته‌ها به شرح زیر است:

۱- اگرچه عدد رینولدز تأثیر چندانی بر روی بیشترین دمای شعله ندارد ولی بر روی ساختار شعله بسیار مؤثر است. افزایش عدد رینولدز به رشد عمودی ناحیه تداخل می‌انجامد. در اعداد رینولدز پایین دما به شدت در محور عمودی کاسته می‌شود.

۲- افزایش نسبت هم ارزی به گسترش شعله در هر دو بعد می‌انجامد، زیرا که در نسبت سوخت به هوای بیشتر تمایل زیادتری برای کشیدن هوا

- hydrogen energy, 17.6 (2017): 233-240.
- [7] R. D. Flack, "Mach-Zehnder interferometer errors resulting from test section misalignment", *Applied Optics*, 17.7 (1978): 985-987.
- [8] J. Qi, W. Wong, C. Leung, D. Yuen, "Temperature field measurement of a premixed butane/air slot laminar flame jet with Mach-Zehnder Interferometry", *Applied Thermal Engineering*, 28.14 (2008): 1806-1812.
- [9] X. Qin, X. Xiao, I. K. Puri, S. K. Aggarwal, "Effect of varying composition on temperature reconstructions obtained from refractive index measurements in flames", *Combustion and Flame*, 128.1 (2002): 121-132.
- [10] D. Lysenko, I. S. Ertesvåg, K. E. Rian, B. Lilleberg, D. Christ, "Numerical simulation of turbulent flames using the Eddy Dissipation Concept with detailed chemistry", *Seventh National Conference on Computational mechanics*, Trondheim, 2013.
- [11] Parham, K., Esmailzadeh, E., Atikol, U. and Aldabbagh, L.B.Y., "A numerical study of turbulent opposed impinging jets issuing from triangular nozzles with different geometries", *Heat and Mass Transfer*, 47.4 (2011): 427-437.
- [12] Sharif, M.A.R. and Mothe, K.K., "Parametric study of turbulent slot-jet impingement heat transfer form concave cylindrical surfaces", *International Journal of Thermal Science*, 49.2 (2009): 428-442.
- [13] I.S. Ertesvåg, B.F. Magnussen, "The eddy dissipation turbulence energy cascade model", *Combustion science and technology*, 159.1 (2000): 213-235.
- [14] B. F. Magnussen, "Modeling of NO_x and soot formation by the Eddy Dissipation Concept", *International Flame Research Foundation*, Amsterdam 1989.
- [15] C.-C. Chen, K.-C. Chang, S.-M. Tieng, "Effect of composition change on temperature measurements in a premixed flame by holographic interferometry", *Optical Engineering*, 31.2 (1992): 353-362.

Y مختصات در راستای محور موازی با صفحه (m)
Z مختصات در راستای محور موازی با صفحه (m)

علائم یونانی

Δ اختلاف
 θ زاویه دو سر مشعل با یکدیگر
 λ طول موج نور لیزر ساطع شده (nm)
 φ اختلاف فاز دو باریکه نور و نسبت هم‌ارزی

زیر نویس‌ها
H هیدرولیکی
O حالت مرجع
 ∞ حالت بی‌نهایت

مراجع

- [1] L. Dong, C. Cheung, C. Leung, "Heat transfer from an impinging premixed butane/air slot flame jet", *International journal of heat and mass transfer*, 45.5 (2002): 979-992.
- [2] M. C. Drake, R. J. Blint, "Structure of laminar opposed-flow diffusion flames with CO/H₂/N₂ fuel", *Combustion science and technology*, 61.4 (1988): 187-224.
- [3] P. Disimile, E. Savory, N. Toy, "Mixing characteristics of twin impinging circular jets", *Journal of Propulsion and Power*, 11.6 (1995): 1118-1124.
- [4] A. Su, M. Wen, C. Lai, "A study on impinging flames with pulsation enhancement", *Experimental heat transfer*, 17.4 (2004): 281-297.
- [5] J.-W. Chen, C.-P. Chiu, S.-H. Mo, J.-T. Yang, "Combustion characteristics of premixed propane flame with added H₂ and CO on a V-shaped impinging burner", *international journal of hydrogen energy*, 40.2 (2015): 1244-1255.
- [6] M. Kiani, P. Amiri, K. Esmailpour, "Investigation of Temperature Field and Laminar Flame Structure of Inclined Impinging Jets by Interferometry Mach-Zehnder Experimental Method", *international journal of*

Please cite this article using:

M. kiani, J. Vashahri, K. Emailpour, Parametric Analysis of Temperature Field of Syngas Impinging Burners, *Amirkabir J. Mech. Eng.*, 51(4) (2019) 1-8.

DOI:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

