

تاثیر افزایش تعداد پره های چرخاننده کم چرخش بر میدان جریان و رژیم شعله در یک شعله پیش آمیخته فقیر از سوخت

فراز ناصری پورطوسی^۱ و سید مهدی میرساجدی^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد، مهندسی هوافضا، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، F.naseripourtoosi@mail.sbu.ac.ir

۲- استادیار، مهندسی هوافضا، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، m_mirsajedi@sbu.ac.ir

* نویسنده مخاطب

چکیده:

در این مطالعه به بررسی تاثیر افزایش تعداد پره های چرخاننده با نسبت انسداد یکسان بر نحوه تشکیل شعله کم چرخش پرداخته می شود. قطر مشعل مورد استفاده در این تحقیق ۱۴ میلی متر می باشد. همچنین از سه نوع چرخاننده به تعداد پره به ترتیب ۴، ۸ و ۱۲ با زاویه ۴۰ درجه استفاده شده است. فاصله قرارگیری چرخاننده ها از مرز ورودی برابر ۵ میلی متر می باشد. شبیه سازی میدان جریان با استفاده از نرم افزار فلوئنت و بر اساس معادلات ناویر استوکس و به صورت سه بعدی انجام شده و با استفاده از مدل $k-\epsilon$ ، آشفته گی میدان شبیه سازی شده است. از متان به عنوان سوخت و هوا به عنوان اکسیدکننده استفاده شده است. نسبت هم آری سوخت به اکسید در این شبیه سازی برابر ۰.۶ می باشد. نتایج به دست آمده نشان دهنده آن است که افزایش تعداد پره چرخاننده ها تاثیر بسزایی بر روی سرعت گردابه ای، سرعت چرخشی هندسی، شکل و مکان قرارگیری شعله و همچنین تاثیر چشم گیری بر کاهش آلاینده های اکسید نیتروژن دارد.

کلمات کلیدی: چرخاننده کم چرخش - شبیه سازی عددی - شعله ی V شکل - احتراق پیش آمیخته - کاهش NOx

۱- مقدمه:

با توجه به اهمیت منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی باد یا انرژی الکتریسته تولید شده توسط صفحات خورشیدی^۱ برای تولید برق، موضوع تولید چگونگی نیرو مهم تر می شود. یک رویکرد برای جبران تناوب این منابع، استفاده از توربین های گازی است. یکی از مسائل مهم در طراحی محفظه احتراق تشکیل شعله پایدار با بازده احتراقی بالا می باشد. افزایش بازده احتراقی موجب صرفه جویی انرژی و کاهش تولید آلاینده ها می شود. اختلاط مناسب سوخت و اکسید کننده می تواند بازده احتراقی و پایداری شعله را افزایش دهد. همچنین ایجاد چرخش بر سر مسیر جریان واکنش دهنده ها یکی از روش های موثر در بهبود اختلاط سوخت و اکسید می باشد که می تواند بر پایداری شعله و بازده احتراق تاثیر گذار باشد. روش متداول برای احتراق متان در کاربردهای صنعتی، مانند توربین های

گازی، با استفاده از چرخاننده های با چرخش بالا است. این فناوری معایبی دارد، مانند افت فشار و دمای احتراق بالا و در نتیجه انتشار بالای اکسید های نیتروژن بنابراین، یک تکنولوژی جدید، با استفاده از چرخاننده های کم چرخش^۲، پیشنهاد شده است. [۱] وجه تمایز مخلوط غنی و فقیر از سوخت در وجود هوای اضافی می باشد. در مخلوط فقیر از سوخت با توجه به وجود این هوای اضافی، حداکثر دمای احتراق پیش مخلوط، کمتر از حالت مخلوط غنی از سوخت می باشد. در نتیجه انتشار اکسیدهای نیتروژن (NOx) در این حالت به میزان کمتری است. [۲] برگشت^۳ و خفگی شعله^۴ را می توان به عنوان دو نقطه ضعف احتراق پیش مخلوط غنی از سوخت در نظر گرفت. به این دلیل است که اولاً مخلوط پیش آمیخته در بالا دست به خوبی نسوخته و ثانیاً به این دلیل رخ می دهد که معمولاً هیچ جریان در مسیر شعله وجود ندارد. [۲] یکی از قوی ترین روش ها برای غلبه بر این مشکلات استفاده از جریان چرخشی است. در جریان چرخشی، مولفه شعاعی سرعت معمولاً باعث ایجاد نواحی گردش مجدد می شود و محصولات احتراق داغ را به بالادست باز می گرداند و به پایداری شعله کمک می کند. [۳] در سال ۱۹۹۲ هنگامی که برای نخستین بار رابرت چنگ و همکاران بر روی پایدار سازی شعله های پیش آمیخته مطالعه می کردند، چرخاننده با هندسه متفاوتی را طراحی کردند که در این چرخاننده خاص یک جریان چرخشی ضعیف بر سر راه جریان محوری اصلی وارد می گردید و باعث می شد شعله در بالای چرخاننده به صورت معلق پایدار بماند. این چرخاننده دارای یک جریان پیش آمیخته محوری بود که در مسیر آن چهار جت مماسی تعبیه شده بود. این چهار جت وظیفه ایجاد یک جریان مماسی سرعت داشت و باعث ایجاد یک سرعت چرخشی ضعیف در جریان محوری اصلی می گردید. چنگ و همکاران مشاهده کردند شعله در این نوع از چرخاننده ها شعله در بالای مشعل پایدار ماند و به دلیل عدم اتصال و جدایی شعله با دهانه خروجی نازل، بدنه مشعل دائماً سرد باقی می ماند. [۴] به دلیل گرادیان سرعت، محصولات احتراق داغ توسط ناحیه چرخش داخلی^۵ به گردش در می آیند که حداکثر دمای منطقه احتراق معمولاً در آن قرار دارد. [۵] به دلیل پدیده شکست گردابه ایی در این ناحیه چرخشی، فلش یک محتمل است، علاوه بر این، NOx حرارتی به دلیل زمان ماندگاری طولانی محصولات احتراق داغ افزایش می یابد. [۶] به منظور حل این مشکل در سال ۱۹۹۶ رابرت چنگ و همکاران بار دیگر یک هندسه

¹ Photovoltaics (PV)

² Low swirl burners (LSB)

³ Flash back

⁴ Blow off

⁵ inner recirculation zone (IRZ)

در رابطه (۲)، R برابر با نسبت شعاع کانال مرکزی چرخانده r_c به شعاع چرخانده r_i و α زاویه پره های چرخانده و m نسبت دبی جرمی گذرنده از بخش چرخشی به بخش غیر چرخشی یا محوری چرخانده است. عدد چرخش هندسی همواره تابعی از پارامتر های هندسی چرخانده است که این سه پارامتر اصلی چرخانده عبارتند از: نسبت شعاع R ، زاویه پره α و نسبت انسداد صفحه مغشوش کننده B ، می باشد. تغییر هر کدام از این پارامتر ها سبب تغییر در عدد چرخش و مشخصات عملکردی شعله می شود. نسبت انسداد برابر با نسبت مساحت پوشیده شده صفحه مغشوش کننده به مساحت کل آن است. صفحه مغشوش کننده در چرخانده وظیفه تنظیم دبی عبوری بین بخش محوری مرکزی و چرخشی را دارد. این نسبت که در رابطه (۳) با m نشان داده شده است، تحت تاثیر میزان نسبت انسداد صفحه مغشوش کننده است و با تغییر این میزان می توان نسبت دبی گذرنده از بخش چرخشی به بخش غیر چرخشی را تنظیم کرد. نسبت انسداد از طریق رابطه (۳) محاسبه می شود که برای چرخانده های مورد استفاده در این مطالعه برابر با مساحت کل صفحه به جزء مجموع مساحت حفره های صفحه مغشوش کننده، به مساحت کل این صفحه می باشد که با نماد A_p ، نشان داده شده است. در این رابطه A_h ، مجموع مساحت حفره های صفحه مغشوش کننده و N_h ، برابر با تعداد حفره ها است. r_h و r_p هم به ترتیب برابر شعاع صفحه مغشوش کننده و شعاع حفره ها می باشد.

$$B = \frac{A_p - A_h}{A_p} \quad (3)$$

$$B = \frac{\pi r_p^2 - N_h (\pi r_h^2)}{\pi r_p^2}$$

حدود پایداری شعله توسط کمترین و بیشترین نسبت هم ارزی، که در آن احتراق به صورت پایدار امکان پذیر است محدود می شود. کمترین نسبت هم ارزی شعله پایدار خاموشی و بیشترین نسبت هم ارزی شعله پایدار حد برگشت شعله می باشد. در نتیجه حدود پایداری و رفتار شعله در رژیم های احتراقی متفاوت، تحت الشعاع نسبت های هم ارزی در نظر گرفته شده، است. نسبت هم ارزی به صورت نسبت سوخت به هوای واقعی به نسبت سوخت به هوای استوکیومتری تعریف می شود.

$$\phi = \frac{\left(\frac{m_{fuel}}{m_{air}}\right)_{actual}}{\left(\frac{m_{fuel}}{m_{air}}\right)_{stoichiometric}} \quad (4)$$

در رابطه (۴)، m_{fuel} جرم سوخت و m_{air} جرم هواست. اگر ϕ بیشتر از ۱ باشد، مخلوط سوخت و هوا اصطلاحاً مخلوط غنی از سوخت^۶ نامیده می شود و اگر ϕ کوچکتر از یک باشد، مخلوط فقیر از سوخت^۷ نام دارد. که در این تحقیق مخلوط پیش آمیخته از نوع فقیر از سوخت می باشد.

۲- فیزیک مسئله و شرایط مرزی:

چرخانده های کم چرخش مطالعه شده در این شبیه سازی از تعداد ۴، ۸ و ۱۲ پره به زاویه ۴۰ درجه و ارتفاع ۱۳ میلی متر تشکیل شده است

چرخانده متفاوتی را معرفی کردند که در مسیر اصلی جریان محوری سوخت و اکسید قرار می گرفت و میدان جریانی مشابه به میدان جریان ایجاد شده توسط جت های مماسی که در سال ۱۹۹۲ اختراع شده بود را همراه داشت. این چرخانده از مجموع چند المان به هم متصل تشکیل شده بود که عبارتند از صفحه مغشوش کننده جریان و تعدادی پره راهنما برای به چرخش در آوردن جریان سوخت و اکسید. آن ها این دو بخش را به نام چرخانده کم چرخش نام گذاری کردند. [۷] جریان محوری ناحیه چرخش داخلی را از بین می برد و زمان ماند محصولات احتراق داغ را کاهش می دهد. در نتیجه، انتشار NO_x حرارتی کمتری در مشعل های کم چرخش انتظار می رود. [۸] آن ها در ادامه در سال ۱۹۹۶ مطالعه دیگری بر روی توسعه این نوع از چرخانده ها انجام دادند و با بهینه سازی های هندسه چرخانده نتایج به دست آمده میزان آلاینده های اکسید های نیتروژن را کمتر از ۴۰ میلیون واحد گزارش داد. [۹] در سال ۱۹۹۸ چنگ و یگیان مطالعه دیگر بر روی سرعت جریان های متفاوت و ابعاد محفظه احتراق بزرگ تر انجام دادند و نتایج نشان داد که میزان تولید اکسید های نیتروژن در نسبت های هم ارزی ۰.۸ کمتر از ۱۵ واحد در میلیون می باشد و در تمامی سرعت های جریان میزان تولید اکسید های نیتروژن در همین محدوده و مقیاس خواهد بود. [۱۰] این نوع از چرخانده های کم چرخش اساساً دارای دو بخش می باشند، که عبارتند از پره های راهنما و صفحه انسداد کننده جریان، به طوری که یک سری پره با زاویه و تعداد مشخص متحد المکز دور یک کانال مرکزی کشیده شده اند. وظیفه این پره ها چرخاندن جریان محوری سوخت و اکسید از قبل پیش آمیخته می باشد، این چرخش متناسب با زاویه پره های چرخانده است. کانال مرکزی از یک صفحه سوراخ دار با اشکال و چینش گوناگون تشکیل شده است که نقش مغشوش کننده جریان را دارد. همچنین امکان تغییر نسبت دبی عبوری از بخش مرکزی، نسبت به بخش چرخشی را می تواند فراهم کند. برای توصیف اندازه چرخش در یک میدان جریان چرخشی رایج ترین پارامتر بیان شده عدد بی بعد چرخش می باشد که اولین بار توسط بیبر و همکاران در سال ۱۹۷۲ بیان شد. [۱۱]

$$S = \frac{\int_0^R U W r^2 dr}{R \int_0^R U^2 r dr} \quad (1)$$

در این رابطه، U میانگین سرعت مولفه محوری و W میانگین سرعت مولفه مماسی است. در تعیین عدد چرخش چرخانده کم چرخش، با توجه به اینکه میدان جریان و ویژگی های میزان تکانه چرخشی و محوری توسط چرخانده ها ایجاد می شود، می توان با اعمال کردن هندسه چرخانده در رابطه (۱)، رابطه عدد چرخش مربوط به چرخانده کم چرخش را محاسبه کرد. عدد چرخش هندسی توسط پارامتر های هندسی چرخانده محاسبه شده و به صورت زیر است.

$$S = \frac{2}{3} \tan \alpha \frac{1 - R^3}{1 - R^2 + \left[m^2 \left(\frac{1}{R^2 - 1} \right)^2 \right] R^2} \quad (2)$$

⁶ Fuel Rich

⁷ Fuel Lean

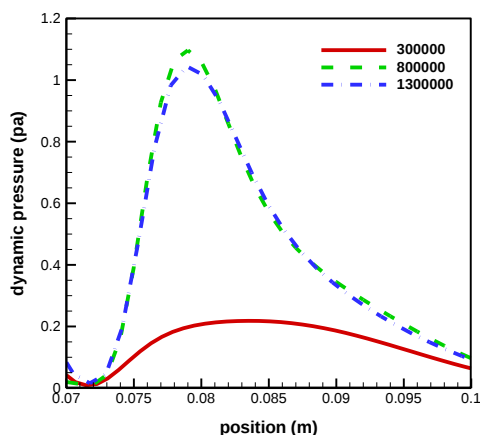
همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، شرایط مرزی مسئله در ورودی، خروجی و دیواره چرخاننده به ترتیب از نوع velocity inlet و pressure outlet و wall می باشد. همچنین در جدول ۱ مقادیر در نظر گرفته شده برای حل جریان در نرم افزار انسیس فلوئنت آورده شده است. لازم به ذکر است که گاز متان به عنوان سوخت و هوا به عنوان اکسید کننده به صورت پیش آمیخته در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- پارامتر های حل جریان

Parameter	Value	Symbol
Equivalence ratio	0.6	ϕ
Fuel	100%	CH ₄
Oxidizer	(79% N ₂ + 21% O ₂)	Air
Mean mixture fraction	0.034	Z
Operating pressure	101325	Pa
Inlet Velocity	5	m/s
Inlet temperature of fuel-air mixture	300	K

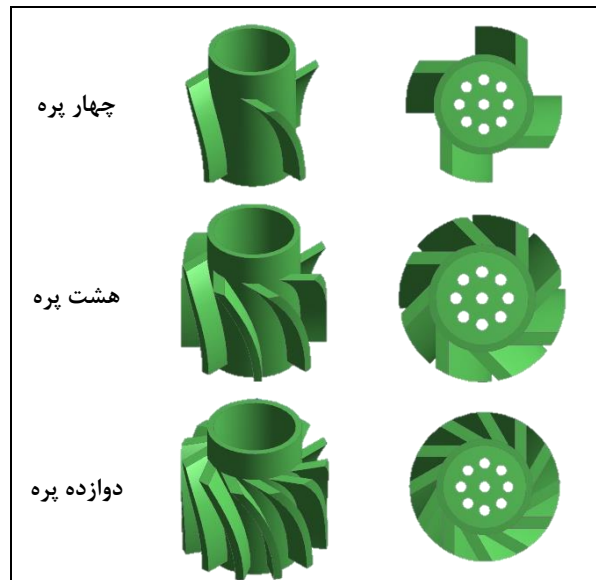
۳- مطالعه شبکه و روش حل:

برای شبکه بندی میدان از دو برنامه انسیس مشینگ و گمبیت استفاده شده است که این شبکه دارای دو نوع سازمان یافته و بی سازمان می باشد. شبکه بی سازمان مربوط به پره و هندسه چرخاننده است. در شبکه سازمان یافته از المان های شش وجهی و در شبکه هندسه چرخاننده از المان های سه وجهی استفاده شده است. برای مطالعه شبکه^۸، از سه نوع شبکه با تعداد مختلف بهره گرفته شد. مشاهده شد مقادیر فشار دینامیکی در دو شبکه متوسط و شبکه ریز یکسان می باشد. به همین دلیل برای کاهش خطا و کاهش هزینه محاسباتی از شبکه متوسط استفاده شد. همانطور که در شکل (۳) مشاهده می شود، شبکه درشت از دقت خوبی برخوردار نمی باشد.

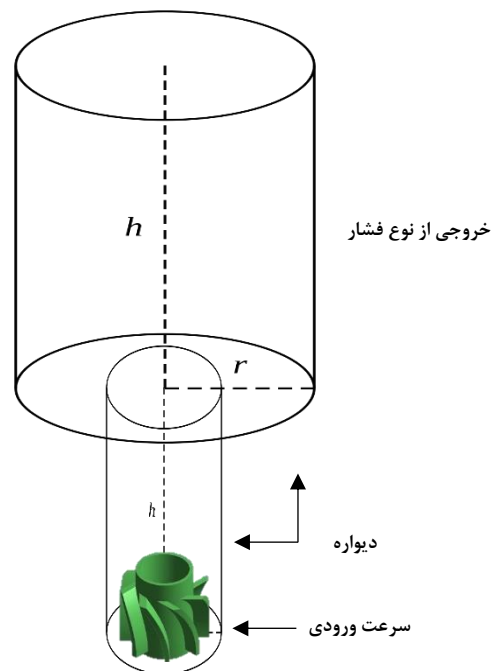


شکل ۳- نمودار تطبیق شبکه

(شکل ۱) قطر داخلی و خارجی چرخاننده به ترتیب ۳.۹ و ۴.۵ میلی متر می باشد. همچنین صفحه مغشوش کننده دارای تعداد ۹ حفره به شعاع ۰.۵ و ضخامت صفحه ۱ میلی متر می باشد. نسبت انسداد بر اساس اندازه های در نظر گرفته شده و رابطه (۳) برابر ۰.۸۸ می باشد. این چرخاننده در یک استوانه به شعاع ۷ میلی متر و فاصله درنگ^۸ به طول ۷۰ میلی متر قرار داده شده است.



شکل ۱- چرخاننده کم چرخش



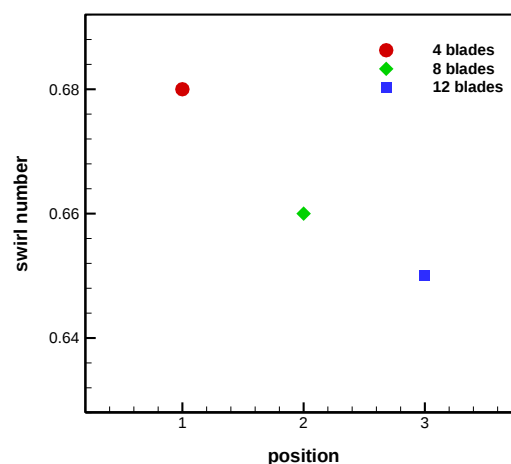
شکل ۲- شرایط مرزی مسئله

⁸ Recess Length

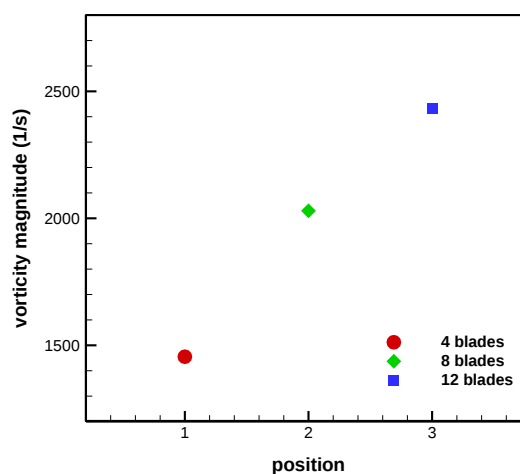
⁹ Grid Study

۴- نتایج:

هدف از تغییر در تعداد پره های چرخاننده از ۴ به ۸ و سپس ۱۲، بررسی رفتار و مکان پایداری شعله، محاسبه سرعت چرخشی، افت فشار و قدرت گردابه‌ای تشکیل شده همچنین بررسی اثرات آلاینده های احتراق می باشد. اساساً جریان چرخشی به دو دسته کلی کم چرخش و پر چرخش تقسیم می شود. از عدد چرخش صفر تا ۰.۶ جریان از نوع کم چرخش و بالای ۰.۶ پر چرخش در نظر گرفته می شود [۱۲]. میانگین سرعت چرخش هندسی در این بررسی برابر ۰.۶ می باشد که با توجه به محدوده در نظر گرفته شده جزء جریان های کم چرخش محسوب می شود. از نکات قابل توجه در این بررسی آن است که در محاسبه عدد چرخش هندسی و بر مبنای رابطه (۲)، با افزایش تعداد پره های چرخاننده، عدد چرخش روندی نزولی را طی می کند که می توان این کاهش در عدد هندسی چرخش را ناشی از کاهش دبی گذرنده از قسمت پره ها دانست. زیرا با افزایش تعداد پره حد فاصل بین دو پره کم شده و به مانند سدی بر سر جریان چرخشی گذرنده از قسمت پره ها می باشد. به صورت کلی این تغییر در عدد چرخش را می توان ناشی از تغییرات دبی گذرنده از هندسه چرخاننده ها دانست.



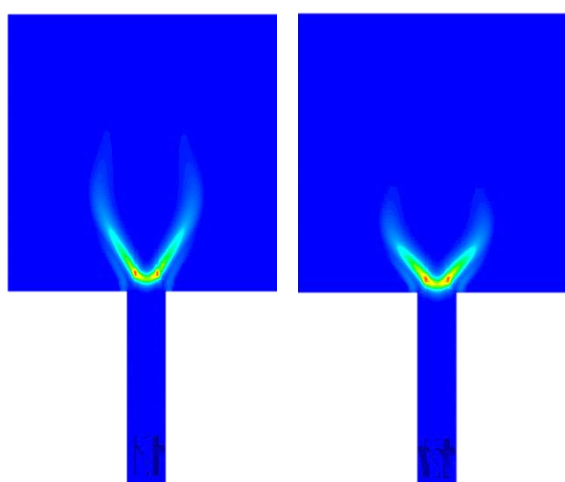
شکل ۴- عدد چرخش هندسی



شکل ۵- میزان قدرت گردابه ای

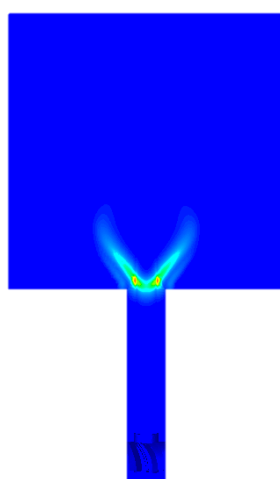
از دیگر نتایج بدست آمده، تاثیر بر شدت میزان چرخش جریان^{۱۰} درون کانال است. همانگونه که در شکل (۵) مشاهده می شود با افزایش تعداد پره چرخاننده ها میزان بیشینه چرخش در خروجی نیز افزایش می یابد.

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل (۶) مشاهده می شود با افزایش تعداد پره چرخاننده، شعله به پایین کشیده شده است. این بدان معنی است که ثابت نگه داشتن شعله و پایداری آن جدا از رابطه شعله با نسبت های هم ارزی سوخت و اکسید، رابطه مهمی با تعداد پره های چرخاننده دارد. شایان ذکر است، بر خلاف مطالعات چنگ و همکاران که بر روی کانال با قطر بزرگ تر صورت گرفته و تشکیل شعله درون مجرای کانال به صورت ناپایا می باشد [۱۳]، در این حالت و بر اساس شکل (۶) بخش (ج)، شعله در اثر کشیده شدن به داخل کانال همچنان پایدار باقی می ماند که این مساله از ویژگی های مهم کوچک شدن ابعاد کانال می باشد.



الف: چهار پره

ب: هشت پره



ج: دوازده پره

شکل ۶- نرخ تشکیل محصولات در حالات مختلف چرخاننده

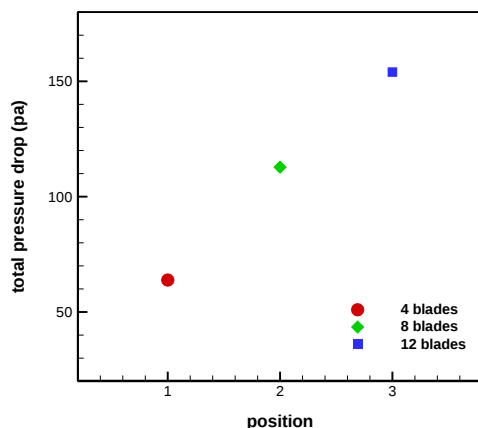
¹⁰ Vorticity magnitude

جدول ۲- مقایسه نتایج به دست آمده از تغییر در تعداد پره چرخاننده ها

تعداد پره چرخاننده	زاویه شعله با دیواره (درجه)	اندازه فاصله مکانی پایدار شدن شعله از ورودی (میلی متر)
۴	$67^{\circ} \pm 0.5$	۷۰
۸	$58^{\circ} \pm 0.5$	۶۷
۱۲	$53^{\circ} \pm 0.5$	۶۴

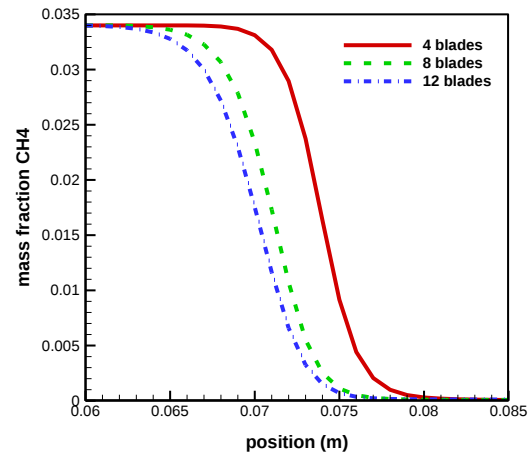
ناصری و میرساجدی [۱۴] در مطالعات خود پیرامون تاثیر محل قرارگیری هندسه چرخاننده بر مکان قرارگیری شعله، یک چرخاننده با تعداد ۴ پره را در چهار موقعیت مکانی مختلف از ورودی به ترتیب ۵، ۲۵، ۳۵ و ۴۵ میلی متری قرار دادند. ایشان دریافتند با تغییر در فاصله چرخاننده از ورودی، شعله به داخل کشیده شده و در مکان پایین تری پایدار می شود. ایشان در موقعیت ۳۵ میلی متری از ورودی توانستند شعله را در فاصله ۱۹ میلی متری از چرخاننده پایدار سازند. در صنعت به دلیل اهمیت تجهیزات و جلوگیری از حوادث، همواره از سیستم هایی با احتمال خطای کمتر بهره گرفته می شود. در احتراق کم چرخش دارای چرخاننده نیز یکی از احتمالات خرابی گسترده در سیستم، کشیدگی شعله به داخل و از بین رفتن چرخاننده در اثر ایجاد شعله در داخل کانال می باشد. در این تحقیق دیده شد در ازای افزودن تعداد پره های چرخاننده و بدون تغییر در موقعیت مکانی چرخاننده، شعله در مکان یکسان یعنی ۶۷ میلی متری از ورودی در ازای فاصله ۴۹ میلی متری از چرخاننده پایدار می شود. این یکی از نکات بسیار قابل توجه در تاثیر افزودن پره چرخاننده می باشد.

از نظر افت فشار ناشی از چرخاننده در سه چرخاننده با تعداد به ترتیب ۴، ۸ و ۱۲ دیده شد، با افزایش تعداد پره های چرخاننده افت فشار قبل و بعد از پره به میزان قابل توجهی افزایش پیدا کرده است. این افزایش فشار را می توان ناشی از کم شدن سطح چرخشی به مرکزی دانست. همان طور که در شکل (۹) دیده می شود افت فشار قبل و بعد چرخاننده در چرخاننده با تعداد ۱۲ پره بیشترین میزان افت فشار می باشد.

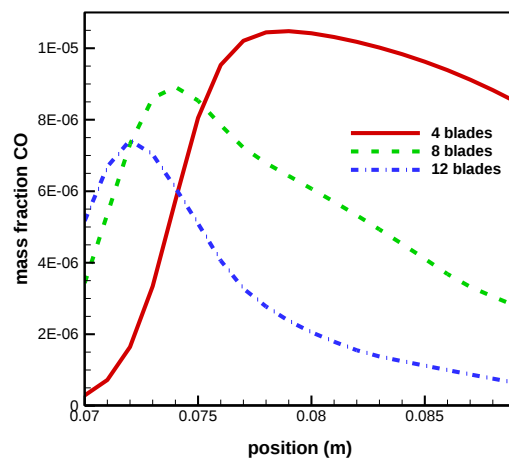


شکل ۹- میزان افت فشار کل ناشی از چرخاننده ها

محل تشکیل شعله در سه حالت اخیر را می توان با مطالعه کسر جرمی متان و کربن مونو اکسید نیز بررسی نمود. در این حالت و بر اساس شکل (۷) و (۸)، شعله در چرخاننده با ۱۲ پره، در مکان پایین تری تشکیل می شود در این حالت، نرخ مصرف متان و کربن مونو اکسید از سایر حالات کمتر است.

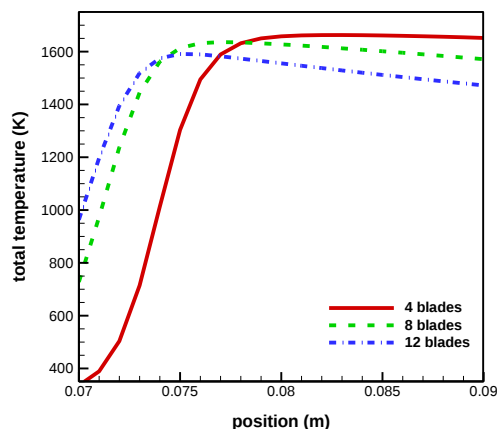


شکل ۷- کسر جرمی متان

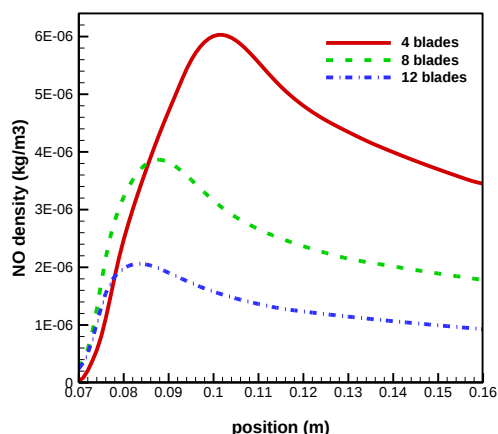


شکل ۸- کسر جرمی کربن مونو اکسید

داده های مربوط به کانتورهای شکل (۶) در جدول (۲) ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می شود شعله در چرخاننده با تعداد ۴ پره در دهانه خروجی کانال تشکیل شده و با افزایش تعداد پره های چرخاننده، شعله به صورت پایدار و تا میزان ۶ میلی متر به درون کانال نفوذ کرده است که نشان دهنده تاثیر کاهش ابعاد کانال در مقایسه با تحقیقات چنگ می باشد. [۱۴ و ۳] همچنین مقادیر زوایای داخلی و بیرونی شعله با دقت مناسبی نیز اندازه گیری شده است.



شکل ۱۱- تغییرات دمای کل در چرخانده ها



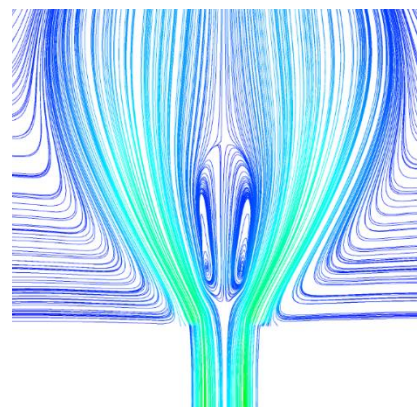
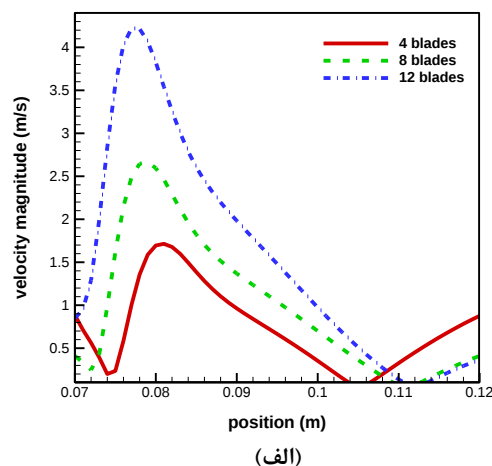
شکل ۱۲- میزان آلایندة اکسید نیتروژن در چرخانده ها

همانطور که از شکل (۱۱) و (۱۲) نتیجه می شود چرخانده با تعداد دوازده پره دارای دمای کل کمتری نسبت به دو چرخانده دیگر می باشد و در اثر همین کاهش بیشینه دمای کل دارای مقدار آلایندگی کمتری نیز می باشد. در جدول (۳) مقدار بیشینه ی آلایندة های اکسید نیتروژن در سه چرخانده مذکور گزارش شده می باشد.

جدول ۳- میزان بیشینه ی تولید آلایندة اکسید نیتروژن

تعداد پره های چرخانده	میزان بیشینه آلایندة اکسید نیتروژن (ppm)
۴	۶.۱
۸	۳.۹
۱۲	۲.۱

با توجه به فیزیک میدان جریان و مطالعات پیشین، انتظار می رود که یک جریان گردابه ای درون شعله ۷ شکل تشکیل شود. این گردابه برای حالت اول چرخانده با تعداد ۴ پره در شکل (۱۰.الف) مشاهده می شود. با مطالعه سایر گردابه های تشکیل شده در سه چرخانده دیگر و بر اساس شکل (۱۰.ب) مشخص گردید که با افزایش تعداد پره ها، طول گردابه افزایش و شیب تغییرات سرعت که نشان دهنده قدرت آن است، افزایش یافته است.



(ب)

شکل ۱۰- الف: میزان اندازه گیری شده سرعت بر روی یک خط مرکزی در میدان در حالات مختلف موقعیت چرخانده ب: خطوط جریان سرعت

از دیگر نتایج به دست آمده تأثیرات بر کاهش آلایندة ی اکسید نیتروژن می باشد. همانطور که در شکل (۱۱) دیده می شود میزان بیشینه دمای کل در سه حالت مختلف چرخانده به ترتیب ۴، ۸ و ۱۲ روندی کاهشی را طی کرده است. این بدان معنی است احتراق در جایی که با دمای بالاتری صورت پذیرفته است دارای آلایندة اکسید نیتروژن بیشتری می باشد.

[12] Yinli Xiao, Zhibo Cao and Changwu Wang, "Flame stability limits of premixed low-swirl combustion" 2018, Vol. 10(9).

[13] Cheng, R.k., D.T. Yegian, "Scaling and development of low-swirl burners for low-emission furnaces and boilers" 2007.

[14] Naseripourtoosi, F., Mirsajedi SM., "Effects of the low-swirl burner geometry location in a premixed flame" Proceedings of 21th International Conference of Iranian Aerospace Association, 21-26 February 2022, Tehran, Iran. Tehran: Shahid Beheshti University; 2022. [Persian]

۵- نتیجه گیری:

از مشاهدات به دست آمده نتیجه شد که تعداد پره های چرخاننده تاثیر بسزایی در موقعیت و زاویه تشکیل شعله دارد. همچنین به اثرات افزایش تعداد پره های چرخاننده بر پارامتر های مرتبط با جریان های چرخشی اعم از سرعت چرخش هندسی و میزان قدرت گردابه تولید شده اشاره شد. شایان ذکر است که تغییر در تعداد پره چرخاننده تاثیر چشم گیری بر افت فشار کل چرخاننده دارد. در این بررسی مشاهده شد که به ازای افزایش تعداد پره های چرخاننده، عدد چرخش روندی نزولی را طی خواهد کرد. و نتیجه شد در چرخاننده با تعداد پره دوازده، سرعت چرخشی نسبت به دیگر حالات کمتر می باشد. از دیگر نتایج بدست آمده کاهش آلاینده های اکسید نیتروژن می باشد. در این مطالعه مشاهده گردید با افزایش تعداد پره های چرخاننده میزان انتشار آلاینده اکسید نیتروژن در ازای تعداد دوازده پره چیزی حدود ۳۳ درصد نسبت به تعداد چهار پره کاهش یافته است.

۶- مراجع:

[1] Mathias Neumayer, 2013, Rans simulation of methane combustion in a Low Swirl Burner.

[2] T. C. Lieuwen., 2012, Unsteady combustor physics, Cambridge University Press.

[3] Y. M. Al-Abdeli and A. R. Masri., 2015, Review of laboratory swirl burners and experiments for model validation, Experimental Thermal and Fluid Science, vol. 69, pp. 178-196.

[4] C. Chan, K. Lau, W. Chin, and R. Cheng., 1992, Freely propagating open premixed turbulent flames stabilized by swirl, Symposium (International) on Combustion, vol. 24, pp. 511-518.

[5] R. K. Cheng., 2006, Low swirl combustion, The Gas Turbine Handbook, pp. 241-255.

[6] T. Plessing, C. Kortschik, N. Peters, M. Mansour, and R. Cheng., 2000, Measurements of the turbulent burning velocity and the structure of premixed flames on a low-swirl burner, Proceedings of the Combustion Institute, vol. 28, pp. 359-366.

[7] Cheng, R.K., and Yegian, D.T., Mechanical Swirler for a Low-NOx weak-swirl burner, U.S. patent 5879148, 1999.

[8] B. Bedat and R. Cheng., 1995, Experimental study of premixed flames in intense isotropic turbulence, Combustion and Flame, vol. 100, pp. 485-494.

[9] Yegian, D.T., and Cheng, R.K, Development of a vane-swirler for use in a Low-Nox weak-swirl burner. American flame research comittiee International Symposium, Baltimore, MD, sept.30- oct2, 1996.

[10] Yegian, D.T. and Cheng, R.k. (1998), "Scaling the Low Swirl Burner from 15kw to 600kw" in American Japanese Flame Research Committee International symposium, 1998

[11] Beer, J.M., and N.A. Chigier. 1972. Combustion Aerodynamics. London: Krieger Pub Co.