

شبیه سازی شعله های برج سوزا

فاطمه ... دادی خیری^۱، محسن دوازده امامی^۲، ارجمند مهربانی^۱

۱- دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

۲- دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

پست الکترونیکی: Arjomand@cc.iut.ac.ir

چکیده

یکی از موضوعات مهم در طراحی برج های سوزا تعیین شکل و ساختار شعله است. در این مقاله طول شعله و انحراف آن نسبت به محور برج سوزا که توسط جریان عرضی هوا ایجاد می شود، در نسبت های مختلف سرعت هوا به سرعت جت سوخت برای سوخت هایی با ارزش حرارتی متفاوت توسط نرم افزار فلوننت شبیه سازی و بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که در یک نسبت ثابت سرعت هوا به سرعت جت سوخت، طول شعله با افزایش ارزش حرارتی حجمی گاز افزایش می یابد. با افزایش سرعت عرضی هوا، به علت افزایش ورود هوا به شعله و ایجاد توربولانس، طول شعله کاهش یافته و به یک حداقل می رسد. با افزایش بیشتر سرعت هوا، قسمت اعظمی از جریان گاز، موازی جریان هوا می شود و اختلاف سرعت و در نتیجه میزان اختلاط بین جت سوخت و هوا کمتر شده و در نتیجه ورود هوا به جت سوخت کاهش، و طول شعله افزایش می یابد. رابطه ای برای انحراف شعله در دو جهت مختصات به عنوان تابعی از سرعت هوا به سرعت جت ارائه شده است.

واژگان کلیدی: برج سوزا، شعله پیش مخلوط، انحراف شعله

۱- مقدمه

محیط زیست است [۲،۱].

برج های سوزا به طور کلی به دو فرم افقی و افراشته (عمودی) بنا می شوند که نوع افراشته اغلب در تأسیسات ساکن بر خشکی و نوع افقی به طور عمده در تأسیسات دریایی مورد استفاده قرار می گیرد [۳]. احتراق در یک برج سوزا افراشته متعارف توسط شعله نفوذی (غیر پیش مخلوط)^۲ آشفته انجام می شود که موقعیت شعله تحت تاثیر جریان عرضی هوا^۳ تغییر می کند. در رابطه با این شعله ها مسائل متعددی مانند اثر جریان عرضی هوا روی شکل و طول شعله، میدان تابشی اطراف آن، تشکیل و پخش مواد آلاینده، اثر بخار آب در جلوگیری از تشکیل دود، آلودگی های صوتی و غیره وجود دارد که توجه محققین زیادی را به خود

عملیات احتراق در برج های سوزا^۱ به طور گسترده در صنایع انرژی و نفت برای دفع گازهای قابل اشتعال نامطلوب و اضافی فرایند از طریق سوزاندن آن ها استفاده می شود. وظیفه اصلی یک برج سوزا استفاده از فرایند احتراق برای تبدیل گازها و بخارات قابل اشتعال، سمی و خورنده ورودی به موادی با آلودگی کمتر و کم خطرتر برای تخلیه به اتمسفر است. برج های سوزا همچنین برای کنترل و دفع جریان پیوسته گازهای اضافی فرایند و نیز برای دفع گازها به اتمسفر در مواقع اضطراری به کار می روند. انتخاب برج سوزا و نیازهای طراحی تحت تاثیر عوامل متعددی از جمله ویژگی های گاز ورودی به برج سوزا (دما، فشار، ترکیب مواد، شدت جریان گاز ورودی و غیره)، فضای در دسترس، و جنبه های اقتصادی شامل سرمایه گذاری اولیه و هزینه های جاری و همچنین مسائل حفاظت از

1-Flare

2-Non-Premixed

3-Cross-Flow

تحقیق نشان می‌دهد که حداقل طول شعله در نسبت سرعت هوا به سرعت جت ۰/۴ روی می‌دهد که مطابق با داده‌های گالا‌هالی^۸ است. پیش بینی کانتورهای کسر مخلوط استوکیومتریکی مطابقت خوبی با داده‌های آزمایشگاهی دارد. ولی طول شعله قابل مشاهده را کوتاه‌تر پیش بینی می‌کند که این امر به علت عدم اطمینان اساسی در ایجاد رابطه بین طول شعله قابل مشاهده و معیار سطح استوکیومتریکی است [۱۰]. این نویسندگان در تحقیق دیگری مدل مقاله فوق را با مدل‌هایی برای پیش بینی تشکیل دوده و اکسیداسیون گسترش دادند [۱۱].

بسط و گسترش شعله‌های نفوذی جت آشفته گاز طبیعی در جریان عرضی هوا با استفاده از روش حل حجم محدود توسط هرناندز^{۱۱} [۱۲] انجام شده است. مدل جریان سه بعدی، معادلات بیضوی و مدل احتراقی بر اساس روش اسکالر بقایی^{۱۱} و مفهوم فلیمنت آرام است. مدل توربولنت k-ε-g برای توزیع تنش رینولدز و توابع چگالی احتمال برای اسکالر بقایی مورد استفاده قرار گرفته است. این روش برای شعله‌های رژیم انتقالی شناوری- مومنتم جت‌های سوختی افقی و عمودی در جریان عرضی هوا به کار برده شده است.

زو^{۱۲} و همکاران [۱۳] در تحقیقی جریان جت آزاد را با استفاده از مدل k-ε برای توربولانس و شرایط مرزی فشار برای سطح ورودی اتمسفری مورد بررسی قرار دادند. بر اساس مدل به کار رفته برای جریان جت هم‌دما، جریان‌های جت احتراقی شعله نفوذی و شعله‌های پیش مخلوط جزئی با فرض واکنش شیمیایی سریع و مدل استهلاک ادی‌ها^{۱۳} (EDC) شبیه‌سازی شدند. نتایج عددی با نتایج تئوری و آزمایشگاهی مقایسه شده است. نتایج عددی جت هم‌دما و شعله غیر پیش مخلوط با آزمایشات پنچاپاکسان^{۱۴} [۱۴] تطابق قابل قبولی دارد. همچنین نشان داده شده است که مدل EDC مقداری خطا در مدل کردن شعله‌های پیش مخلوط جزئی دارد.

در سال ۲۰۰۲ میلادی کلور^{۱۵} و کامبر^{۱۶} [۱۵] جت‌های صوتی گاز طبیعی را مورد بررسی قرار دادند و یک مدل عددی برای پیش بینی ساختار و انتقال حرارت در این جت‌ها ارائه دادند. مدل بر اساس معادلات متوسط‌گیری شده وزنی^{۱۷} معادلات جریان سیال است و از یک مدل اصلاح شده k-ε برای وارد کردن اثرات تراکم پذیری استفاده شده است. فرایند احتراق مغشوش غیر پیش مخلوط با استفاده از تابع چگالی احتمال همراه با مدل فلیمنت آرام مدل سازی شده و محاسبات تابش حرارتی با استفاده از روش انتقال مجزا^{۱۸} انجام شده است. مدل پیش بینی قابل قبولی از ساختار غیرواکنشی نزدیک میدان^{۱۹}، نواحی احتراقی فروصوتی در شعله‌های تحت تأثیر جریان عرضی و ارتفاع پرش^{۲۰} شعله ارائه می‌دهد.

جلب کرده است. از میان این مسائل تعیین شکل و طول شعله نقش مهمی در طراحی ارتفاع برج سوزا دارد و مقدار حریم مجاز اطراف برج سوزا بستگی به طول و شکل شعله و مقدار شدت تابش آن در شرایط دفع و آزادسازی اضطراری دارد. بنابراین شکل و ابعاد شعله و میزان کشیدگی و وضع قرارگیری (افقی / قائم) شعله تأثیر زیادی بر سطح تبادل حرارتی با محیط و به خصوص سطح انتقال حرارت تابشی با تأسیسات و ساختمان‌های مجاور دارد. از این نظر تخمین صحیح از شکل و ابعاد شعله در شرایط مختلف برای طراحی برج سوزا از اهمیت زیادی برخوردار است [۴].

۱-۱- مدل سازی عددی

تحقیقات گسترده‌ای در زمینه مدل سازی شعله‌های جت در جریان عرضی با پیچیدگی‌های متفاوت انجام شده است. در تحقیقات اولیه از مدل‌های ساده انتگرالی [۵، ۶] و اخیراً از روش‌های عددی مبتنی بر معادلات k-ε استفاده می‌شود.

برزوستوفسکی [۵] و اسکولر^۱ [۶] بر اساس مورب شدن^۲ جت‌های مدور با توزیع یکنواخت^۳، طول شعله در مواردی که جریان عرضی به جت سوخت برخورد می‌کند را به طور تحلیلی بررسی کردند.

برزوستوفسکی و بتروس^۴ [۷] نیز ساختار احتراقی مغشوش در جریان عرضی هوا را با استفاده از حل اختلاف محدود معادلات بیضوی جریان سه بعدی سیال به دست آوردند. در این مدل از مدل توربولانس k-ε و مدل شعله نازک مسطح^۵ برای فرایند احتراق غیر پیش مخلوط با فرض واکنش شیمیایی یک مرحله ای بسیار سریع و برگشت ناپذیر استفاده شده است.

فرودر^۶ و همکاران [۸] در مقاله ای یک جت احتراقی مغشوش در یک جریان عرضی هوا را مورد بررسی قرار دادند. مدل ریاضی شامل معادلات متوسط‌گیری شده مومنتم، انرژی، جرم، نسبت مخلوط و معادله k-ε استاندارد برای محاسبه توزیع تنش رینولدز و روش تابع چگالی احتمال برای فرایند احتراق غیر پیش مخلوط مغشوش است و از مفهوم فلیمنت آرام^۷ برای تعیین حالت شیمیایی آنی مخلوط احتراق استفاده شده است. برای بررسی صحت مدل، نتایج به دست آمده از مدل با نتایج آزمایشگاهی شعله‌های گاز طبیعی که از تونل باد به دست آمده مقایسه شده است. در گستره وسیعی از نسبت‌های سرعت هوا به سرعت جت، (۰/۵-۰) پیش بینی مسیر و طول شعله با داده‌های تجربی مطابقت دارد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد در ابتدا با افزایش سرعت هوای عرضی (باد) به دلیل افزایش اختلاط، طول شعله کاهش می‌یابد ولی با افزایش بیشتر سرعت باد قسمت اعظمی از جریان سوخت موازی جریان باد می‌شود که باعث کاهش ورود هوا و افزایش طول شعله می‌شود. این

8-Gallahalli	9-Visible	10-Hernandes
11-Conserved-Scalar	12- Zhou	13- Eddy Dissipation Concept
14-Panchapakesan	15-Clever	16-Cumber
17-Density-Weighted	18-Discrete Transfer Method	
19- Near-field	20-Lift-off	

1- Esculier	2- Deflection	3- Top-hat
4- Botros	5-Flamesheet	6-Fairweather
7-Laminar Flamelet		

می شود ولی در سرعت های بالاتر هوا باعث افزایش طول شعله می شود [۹].

۳- مدل احتراق غیر پیش مخلوط

احتراق معمولاً فقط در یک واکنش شیمیایی صورت نمی گیرد، بلکه ترکیبات سوخت و اکسیدکننده ها در طول یک سری واکنش عمل می کنند. بنابراین در حالت کلی علاوه بر کلیه معادلات جریان، معادله انتقال برای کسر جرمی هر یک از اجزاء نیز باید حل شود. اما این روش از نظر زمان محاسبات، مقرون به صرفه نیست، بنابراین از مدل کسر مخلوط استفاده می شود. البته لازمه استفاده از کسر مخلوط استفاده از فرض واکنش یک مرحله ای است. علاوه بر آن فرض می شود سرعت واکنش شیمیایی نسبت به سرعت اختلاط سوخت و هوا بیشتر است. در این حالت لازم نیست مکانیزم های واکنش (که ناشناخته یا بسیار پیچیده هستند) تعریف شوند. همچنین اندرکنش توربولانس به وسیله تابع چگالی احتمال مورد بررسی قرار می گیرد. مدل کسر مخلوط فقط در شعله های غیرپیش مخلوط قابل استفاده است. با استفاده از مقدار کسر مخلوط در هر نقطه در میدان سیال می توان مقادیر کسر جرمی نمونه های جرمی، چگالی و دما را به دست آورد. این مقادیر با فرضی که برای ماهیت شیمیایی سیستم می شود، تعیین می شود. فرضی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، تقریب تعادل شیمیایی است [۲۰].

۴- تقریب تعادل شیمیایی

در این مدل فرض می شود به محض ورود سوخت و هوا به محفظه احتراق یک مخلوط تعادلی از سوخت، اکسیدکننده و محصولات به وجود آید. به بیان دیگر سرعت واکنش باید در حدی باشد که تعادل شیمیایی وجود داشته باشد. با این فرض اولاً نیازی به تعیین سرعت واکنش ها نیست و ثانیاً برای مخلوط در حال تعادل، مواد تشکیل دهنده آن، دما و چگالی مخلوط از مینیمم کردن انرژی آزاد (گیسی) به دست می آید. از مزایای مهم این مدل احتراقی، امکان تعیین مقدار تعداد زیادی از گونه های میانی و محصولات احتراق است.

۵- معادلات حاکم بر جریان های احتراقی

معادلات جرم، مومنتوم، انرژی جنبشی توربولانس و اتلاف آن، کسرهای مخلوط و واریانس آن ها در حالت تراکم ناپذیر و پایدار در نظر گرفته می شود. معادلات فوق را می توان به شکل عمومی به فرم زیر نوشت:

$$\nabla \cdot (\bar{\rho} \tilde{u} \phi - \Gamma_{\phi} \nabla \phi) = S_{\phi}$$

که در آن ϕ نماینگر متغیر اصلی در معادلات انتقال است. Γ_{ϕ} ضریب

در این مقاله از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای آنالیز کمی شعله های سوخت های مختلف در سرعت های متفاوت جریان عرضی هوا استفاده شده است؛ که بدین منظور بسته نرم افزاری متداول فلونت به کار گرفته شده است.

۲- تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده در زمینه شعله های جت نفوذی

مقالات زیادی در زمینه مطالعات آزمایشگاهی جت های نفوذی در جریان عرضی هوا انجام شده است که به صورت خلاصه در مرجع [۱۶] آمده است. در اکثر این مقاله ها، هندسه شعله مورد بررسی قرار گرفته است و تحقیقاتی نیز در زمینه اندازه گیری میدان های سرعت و دما، تعیین شارهای تابشی و ضریب نشر انجام شده است.

در سال های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ مدل هایی برای تخمین اندازه و شکل شعله های نفوذی در جریان عرضی هوا پیشنهاد شده است [۹، ۱۷، ۱۸]. داده هایی که برای این مدل ها استفاده شده است از آزمایشات تونل باد در مقیاس کوچک برای شعله های هیدروکربنی در یک جریان عرضی به دست آمده است.

از میان این تحقیقات، برزوستوفسکی^۱ و سومر^۲ [۱۷] یک روش قابل اطمینان برای طول شعله در جریان عرضی را ارائه کردند. در این مدل رابطه ارائه شده برای جت های هیدروکربنی بدون واکنش شیمیایی (cold-flow) در جریان عرضی هوا، با فرض این که انتهای شعله جای است که غلظت گاز برج سوزا به حد پایین اشتعال در هوا می رسد، مورد استفاده قرار گرفته است. پیش بینی این مدل با برخی از داده های اندازه گیری برج سوزای بیابان لیبی مطابقت دارد [۴]. با این وجود گستره کاربرد این مدل محدود است، مطالعات آزمایشگاهی بر روی شعله های پروپان و هیدروژن در جریان عرضی هوا برای بررسی صحت مدل فوق انجام شده است [۱۹]. برای هیدروژن در مقادیر بالای نسبت مومنتم جت به مومنتم باد، مدل شکل شعله را درست ولی طول شعله را دو برابر پیش بینی می کند. در مورد پروپان مدل طول شعله را پایین (تقریباً نصف) پیش بینی می کند.

مسیر خط مرکزی و طول شعله برای نسبت های سرعت جت به سرعت هوا بزرگ تر از چهار در مراجع [۹، ۱۸] گزارش شده است. در این شرایط، مومنتم جت سوختی در مقایسه با نیروی شناوری ایجاد شده توسط محصولات احتراق، مسیر و طول شعله را تعیین می کند. این بررسی ها نشان می دهد که با استفاده از نسبت سرعت جت به سرعت هوا می توان پارامترهای مهمی مانند طول، شکل و عرض شعله را تعیین کرد. همچنین مشاهده شده است که اثر اولیه افزایش باد باعث کوتاه شدن طول شعله

3-Chemical Equilibrium Model

1- Brzustowski

2- Sommer

در نظر گرفتن این اثرات از تابع دانسیته احتمال بتا (β-Pdf) استفاده شده است، که به صورت زیر مشخص شده است:

$$\beta(f) = \frac{f^{a-1}(1-f)^{-1}}{\int f^{a-1}(1-f)^{b-1} df} \quad (3)$$

که در آن f کسر جرمی مخلوط در نظر گرفته می‌شود و a و b از روابط زیر به مقدار متوسط نسبت مخلوط \bar{f} و واریانس آن g، مربوط می‌شود.

$$a = \bar{f} \left(\frac{\bar{f}(1-\bar{f})}{g^2} - 1 \right) \quad (4)$$

$$b = (1-\bar{f}) \left(\frac{\bar{f}(1-\bar{f})}{g^2} - 1 \right) \quad (5)$$

۴- اطلاعات کلی مربوط به شبیه سازی عددی

در این تحقیق برای در نظر گرفتن گستره وسیعی از شعله‌های صنعتی که در برج‌های سوزا استفاده می‌شوند، ۶ سوخت با نمونه‌های جرمی متفاوت مورد بررسی قرار گرفته اند. جدول (۲) مشخصات این سوخت‌ها را نشان می‌دهد. این شعله‌ها با استفاده از اطلاعات مراجع [۲۳، ۲۴] به دست آمده‌اند.

شکل (۱) شماتیک دامنه محاسباتی در جریان عرضی که در نرم افزار مدل شده است را نشان می‌دهد. شرایط مرزی مورد استفاده در محاسبات نیز بر روی شکل مشخص شده است. به دلیل تقارن استوانه در جهت عمود بر کاغذ، تنها نیمی از دامنه محاسباتی در این جهت در نظر گرفته شده است و از شرایط تقارن برای این وجه استفاده شده است.

جدول ۲- مشخصات شعله‌های شبیه سازی شده [۲۳، ۲۲]

نام شعله	کد شعله	CH4	CO	CO2	H2	N2	O2	HeatValue (Mj/m ³)
شعله گاز طبیعی	na	۴	۰	۳	۰	۳	۰	۳۵
شعله A	A	۲۲/	۰	۰	۳۳/۲	۴۴/۷	۰	۱۲
شعله D	D	۲	۰	۰	۰	۵۹	۱۶	۹
شعله S	S		۴۰	۰	۳۰	۳۰	۰	۸
شعله C	f 35	۰	۰	۰	۵۰	۲۰	۰	۱۶
شعله E	f 100	۰	۰	۰	۹۰	۰	۰	۱۴

دیفیوژن مؤثر و S_ϕ ترم منبع است. جدول (۱) خلاصه‌ای از متغیرها و ضرایب دیفیوژن و ترم منبع را که در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفته‌اند، نشان می‌دهد.

جدول ۱- ضرایب دیفیوژن و ترم منبع برای معادله انتقال

معادله	S_ϕ	Γ_ϕ	ϕ
پیوستگی	0	0	1
مومنتوم	$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu_{eff} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) - \frac{\partial p}{\partial x_i}$	μ_{eff}	ui
انرژی جنبشی توربولانس	$G^* - \rho \epsilon$	$\mu + \mu_t / \sigma_k$	k
انرژی اتلاف توربولانس	$(C_{\epsilon 1} G - C_{\epsilon 2} \rho \epsilon) \epsilon / k$	$\mu + \mu_t / \sigma_\epsilon$	ϵ
کسر مخلوط	0	$\mu + \mu_t / \sigma_i$	f
واریانس کسر مخلوط	$\frac{2\mu_t}{\sigma_i} \left(\frac{\partial f}{\partial x_m} \right) \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \right) - C_g \rho g \epsilon / k$	$\mu + \mu_t / \sigma_i$	g
انتالپی کل	$-S_{rad}^{**}$	$\mu + \mu_t / \sigma_i$	h

* $G = 2\mu_t S_{ij} S_{ij}$ که $S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$ ، $C_{\epsilon 1}$ ، $C_{\epsilon 2}$ ، σ_k ، σ_ϵ ثابت‌های مدل هستند. * S_{rad}^{**} جمله مربوط به منبع انرژی تابشی است.

در جریان مغشوش تأثیرات متقابل اغتشاش و سینتیک شیمیایی بر نرخ تشکیل و نابودی نمونه‌های جرمی و همچنین بر سایر کمیات ترمو شیمیایی (نظیر دما) بسیار مؤثر است. برای در نظر گرفتن این اثرات، اغلب از تابع دانسیته احتمال استفاده می‌شود [۲۱، ۲۲]. در تحقیق حاضر برای

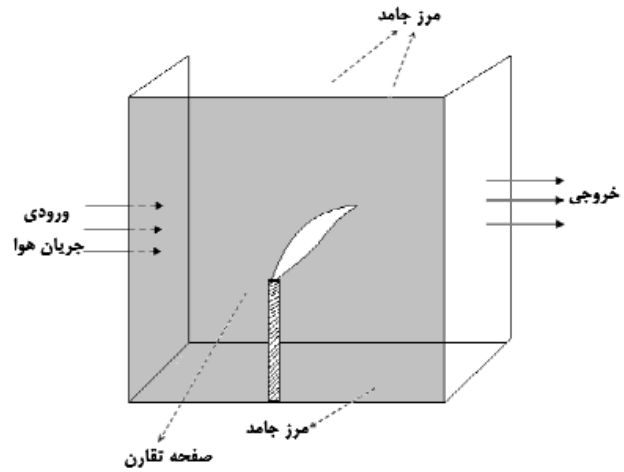
مشخصات شعله در برج‌های سوزا است. بنابراین در تحقیق حاضر بر مبنای این پارامتر بدون بعد بر طول شعله و انحنای آن نسبت به حالت قائم پرداخته است.

نتایج ارائه شده برای سرعت جت ۴۰ متر بر ثانیه و نسبت سرعت هوا به سرعت جت از ۰ تا ۱ است. در این مدل سعی شده است که ابعاد مدل نزدیک به ابعاد صنعتی باشد بنابراین ارتفاع برج سوزا ۴۵ متر و قطر آن ۰/۴۶ متر انتخاب شده است. بدیهی است اثر قطر متغیر بر سرعت جت سوخت تأثیر خواهد داشت.

شکل ۲، طول شعله استوکیومتریکی حاصل از شبیه سازی برای سوخت‌های مختلف با ارزش حرارتی متفاوت را نشان می‌دهد. محدوده شعله، مرزی از ناحیه محاسباتی است که نسبت مخلوط در آن مساوی استوکیومتریکی شود. همان‌طور که از شکل مشاهده می‌شود، برای کلیه شعله‌ها طول شعله با افزایش نسبت سرعت جریان عرضی هوا به سرعت جت ابتدا کاهش یافته و سپس افزایش می‌یابد. دلیل عمده این تغییرات ایجاد اختلاط بهتر در شعله با افزایش نسبت سرعت جریان عرضی هوا به سرعت جت (Ua/U_j) در ابتدا تا حدود 0.25 است ولی پس از آن با افزایش سرعت هوا در حقیقت، قسمت اعظمی از جریان‌گاز موازی جریان هوا می‌شود و اختلاف سرعت و در نتیجه میزان اختلاط بین جت سوخت و هوا کم تر شده و در نتیجه ورود هوا به جت سوخت کاهش و طول شعله افزایش می‌یابد. این روند در مراجع [۸، ۹] گزارش شده است.

همان‌طور که از شکل ۲ دیده می‌شود در یک نسبت ثابت سرعت هوا به سرعت جت، با افزایش ارزش حرارتی سوخت، طول شعله افزایش می‌یابد و شعله‌گاز طبیعی با بیشترین ارزش حرارتی، دارای بزرگ‌ترین طول است.

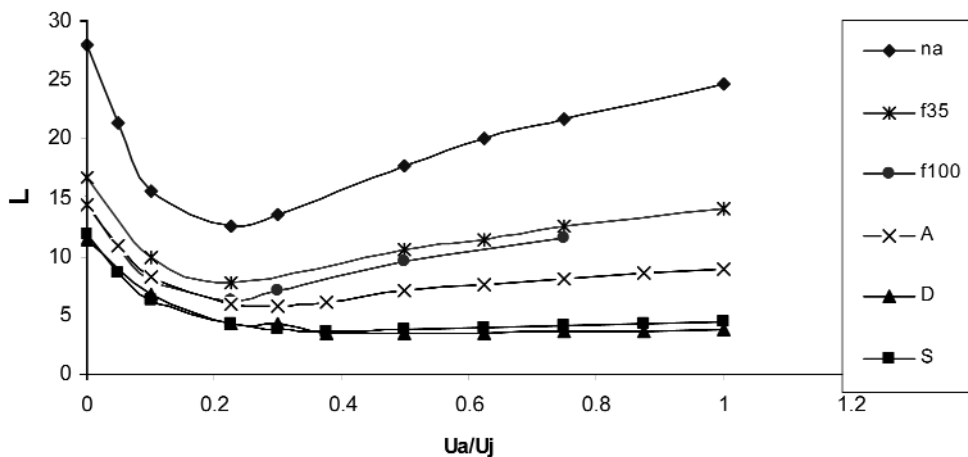
شبکه محاسباتی غیر یکنواخت و بدون سازمان^۱ استفاده شده است. معادلات جرم، مومنتم، $k-\epsilon$ استاندارد، انرژی، کسر مخلوط و نوسانات آن حل شده و از مدل فلیمت آرام با تقریب تعادل شیمیایی استفاده شده است. اثر توربولانس بر ساختار شعله توسط تابع دانسیته احتمال پیش فرض بتا اعمال شده است. معادلات به روش تکرار برای حالت پایا با استفاده از الگوریتم PISO حل شده است. روش گسسته سازی تفاضل مرکزی برای جملات دیفیوژن معادلات و تقریب بالادست مرتبه دوم برای جملات جابه‌جایی استفاده شده است.



شکل ۱- دامنه محاسباتی در جریان عرضی

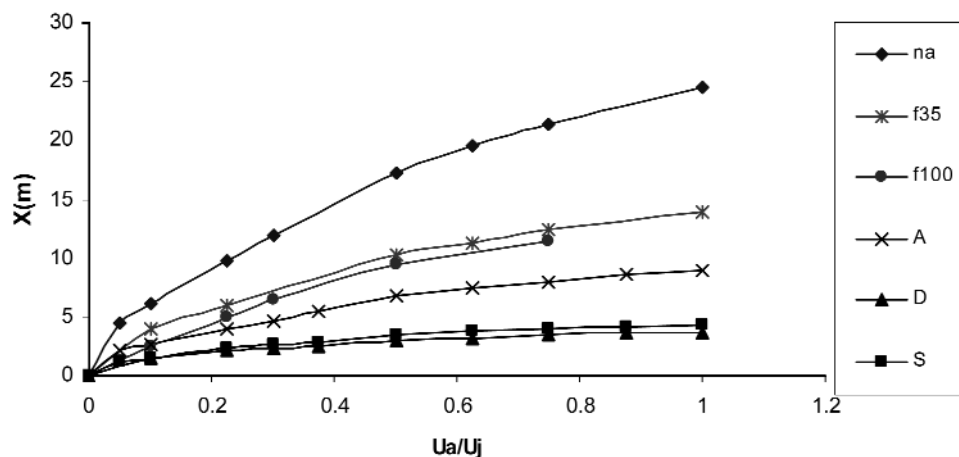
۵- نتایج شبیه سازی

همان‌گونه که نتایج بررسی‌های دیگران نشان داده است، اثر نسبت سرعت هوا به سرعت جت سوخت پارامتر بسیار مهمی در تعیین

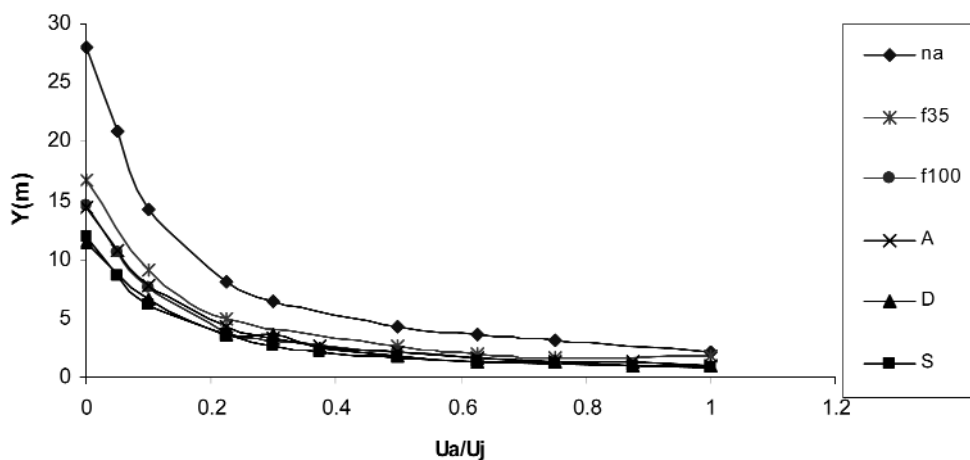


شکل ۲- طول شعله‌های مختلف بر حسب نسبت سرعت هوا و سرعت جت

شکل های (۳) و (۴) میزان انحراف شعله در جهت X (موازی با سطح زمین) و Y (راستای محور برج سوزا) را نشان می دهند. در شکل های (۵) و (۶)



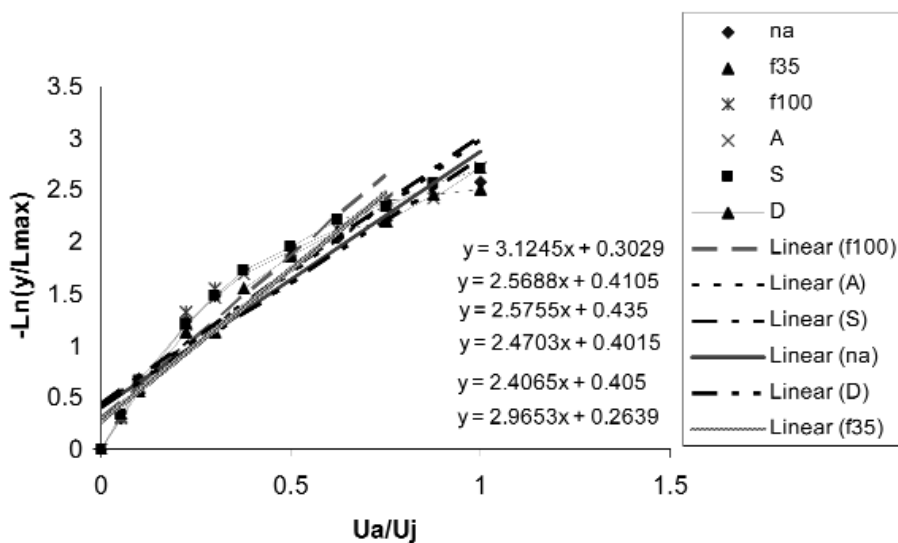
شکل ۳- انحراف طول شعله های مختلف در جهت X بر حسب نسبت سرعت هوا و سرعت جت



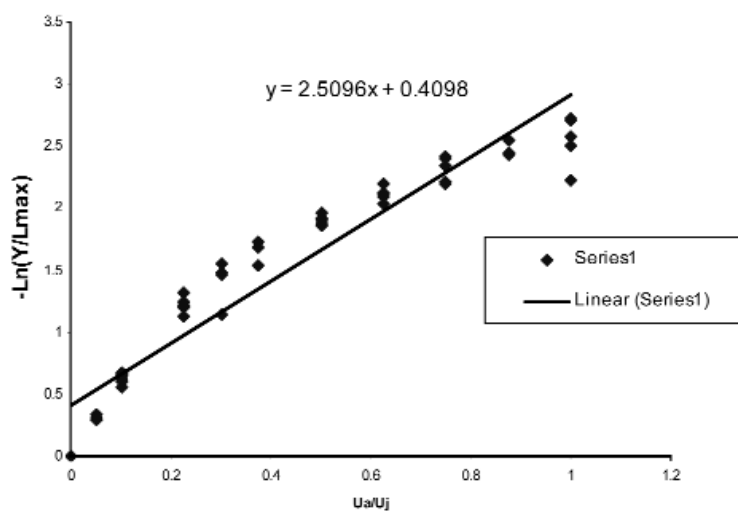
شکل ۴- انحراف شعله های مختلف در جهت Y بر حسب نسبت سرعت هوا و سرعت جت

مختلف به طور تقریبی ثابت است (شکل (۵)). در شکل (۶) یک معادله کلی به صورت معادله فوق برای Y ارائه شده و مقادیر C و D به ترتیب برابر ۲/۵۰۹۶ و ۰/۶۶۳۸ است. لازم به توضیح است که اثر نوع سوخت بر شکل شعله در مقدار L_{max} وارد می شود که در ادامه ارتباط این طول با ارزش حرارتی سوخت مشخص خواهد شد.

منحنی های برازش لگاریتم طبیعی میزان انحراف شعله در جهت Y که با طول شعله بیشینه (در سرعت صفر جریان عرضی) بدون بعد شده اند، را نشان می دهد. یک معادله کلی برای انحراف شعله بدون بعد در جهت Y بر حسب نسبت سرعت جت به سرعت هوا پیشنهاد شده است. شکل کلی معادله به صورت $\frac{Y}{L_{Max}} = D.e^{-C\frac{U_a}{U_j}}$ است که مقادیر D و C برای گازهای

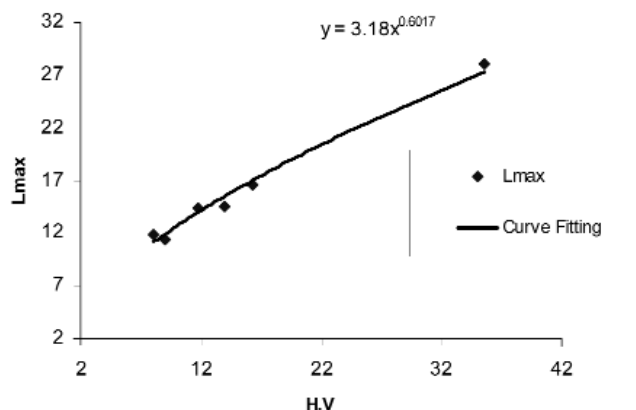


شکل ۵- منحنی‌های برازش انحراف شعله‌های مختلف در جهت Y بر حسب نسبت سرعت هوا به سرعت جت برای سوخت‌های مختلف



شکل ۶- منحنی برازش کلی انحراف شعله در جهت Y بر حسب نسبت سرعت هوا به سرعت جت

طول شعله بیشینه در سرعت عرضی صفر به صورت تابعی از ارزش حرارتی سوخت ارائه شده است. در شکل (۵-۸) یک معادله کلی برای طول بیشینه (L_{Max}) به عنوان تابعی از ارزش حرارتی ارائه شده است و رابطه‌ای به صورت $L_{max} = 3.18(H.V.)^{0.6017}$ (ارزش حرارتی سوخت) به دست آمده است که L_{max} بر حسب متر و ارزش حرارتی سوخت بر حسب Mj/m^3 است.



شکل ۷- منحنی برازش طول بیشینه شعله بر حسب ارزش حرارتی سوخت

۶- بحث و نتیجه گیری

افزایش ورود هوا به شعله و ایجاد توربولانس، طول شعله کاهش می یابد و به یک مقدار حداقل می رسد ولی با افزایش بیشتر سرعت هوا قسمت اعظمی از جریان گاز موازی جریان هوا می شود و اختلاف سرعت بین قسمت های موازی و جریان عرضی هوا کم تر شده و در نتیجه ورود هوا کاهش و طول شعله افزایش می یابد. رابطه ای برای انحراف شعله در دو جهت مختصات به عنوان تابعی از سرعت هوا به سرعت جت ارائه شده است.

در این مقاله طول و انحراف شعله توسط جریان عرضی هوا در نسبت های مختلف سرعت هوا به سرعت جت سوخت هایی با ارزش حرارتی متفاوت توسط نرم افزار فلوئنت شبیه سازی و بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که در یک نسبت ثابت سرعت هوا به سرعت جت، طول شعله با افزایش ارزش حرارتی حجمی گاز افزایش می یابد. همچنین با افزایش سرعت عرضی هوا، مشاهده شد که در ابتدا به علت

مراجع

- [1] "Guide for Pressure-Relieving and Depressuring Systems", API Recommended Practice 521, 4th Edition, (1997).
- [2] "Safe Flare System Design", John Zink Company Catalogue, (1993).
- [3] Diana K.S., K.L. Susan, R.F. Pandullo, "EPA Air Pollution Control Cost Manual", 6th Edition, EPA/452/B-02-001, (2002).
- [4] Brzustowski, T.A., "Flaring in the Energy Industry", Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 2, No. 3, pp. 129-141, (1976)
- [5] Brzustowski, T.A., "Turbulent Diffusion Models III: The Buoyant Flame in a Crosswind", 5th Canadian Congress of Applied Mechanics, Fredericton, (1975).
- [6] Escudier, M.P., "Aerodynamics of a Burning Turbulent Gas Jet in a Crossflow", Combustion Science and Technology, Vol. 4, pp. 293-301, (1972).
- [7] Botros, P.E., T.A. Brzustowski, "An Experimental and Theoretical Study of the Turbulent Flame in Cross-Flow", 17th Symposium (International) on Combustion, University of Leeds, pp. 389-398, (1978).
- [8] Fairweather, M., W.P. Jones, R.P. Lindstedt, A.J. Marquis, "Predictions of a Turbulent Reacting Jet in a Cross-flow", Combustion and Flame, Vol. 84, No. 4, pp. 361-375, (1991).
- [9] Gollahalli, S.R., T.A. Brzustowski, H.F. Sullivan, "Characteristics of a Turbulent Propane Diffusion Flame in a Cross-Wind", Transactions of the CSME, Vol. 3, pp. 205-214, (1975).
- [10] Williams, F.A., "Asymptotic Methods in Turbulent Combustion", AIAA Journal, Vol. 24, No. 6, pp. 867-875, (1986).
- [11] Fairweather, M., W.P. Jones, R.P. Lindstedt, A.J. Marquis, "Predictions of Radiative Transfer from a Turbulent Reacting Jet in a Cross-wind", Combustion and Flame, Vol. 89, No. 1, pp. 45-63, (1992).
- [12] Hernandez, J., A. Crespo, N.J. Duijm, "Numerical Modeling of Turbulent Jet Diffusion Flames in the Atmospheric Surface Layer", Combustion and Flame, Vol. 101, pp. 113-131, (1995).
- [13] Zhou, X., Z. Sun, "Numerical Simulation of Turbulent Jet Flow and Combustion", Computers & Mathematics with Applications, Vol. 38, No. 9-10, pp.

- 179-191, (1999).
- [14] Panchapakesan, N.R., J.L. Lumley, "Turbulence Measurements in Axisymmetric Jets of Air and Helium. Part 1. Air Jet", *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 246, pp. 197-223, (1993).
- [15] Cleaver, R.P., P.S. Cumber, M. Fairweather, "Predictions of Free Jet Fires from High Pressure, Sonic Releases", *Combustion and Flame*, Vol. 132, No. 3, pp. 463-474, (2003).
- [16] Ramarao, V.B, R.T. Stephen, "Turbulent Jet Flames in a Crossflow: Effects of Some Jet, Crossflow, and Pilot-Flame Parameters on Emissions", *Combustion and Flame*, Vol. 121, No. 1, pp. 137-151, (2000).
- [17] Brzustowski, T.A., E.C. Sommer, "Predicting Radiant Heating from Flares", *American Petroleum Institute Proceedings, API Division of Refining*, Vol. 53, pp. 865-893, (1973).
- [18] Kalghatgi, G.T., "The Visible Shape and Size of a Turbulent Hydrocarbon Jet Diffusion Flame in a Cross-Wind", *Combustion and Flame*, Vol. 52, pp. 91-106, (1983).
- [19] Majeski, A.J, D.J. Wilson, L.W. Kostiuk, "Size and Trajectory of a Flare in Cross Flow", *Combustion Canada '99, Calgary, Alberta*, (1999).
- [20] Heyl, A., H. Bockhorn, "Flamelet Modeling of NO Formation in Laminar and Turbulent Diffusion Flames", *Chemosphere*, Vol. 42, pp. 449-462, (2001).
- [21] Bilger, R.W., *Turbulent Diffusion Flame Annual Rev. Fluid Mech.*, Vol. 21, pp. 101-135, (1989).
- [22] Masri, A.R.,
<http://www.mech.eng.usyd.edu.au/research/energy/#data>
- [23] Castiñeira, D., T.F. Edgar, "CFD for Simulation of Steam-Assisted and Air-Assisted Flare Combustion Systems", *Energy Fuels*, Vol. 20, No. 3, pp. 1044 - 1056, (2006).
- [24] Johnson, M.R., L.W. Kostiuk, "Efficiencies of Low-Momentum Jet Diffusion Flames in Crosswinds", *Combustion and Flame*, Vol. 123, pp. 189-200, (2000).