

تأثیر ساختار انژکتور از دیدگاه شعاع انحنای ورودی نازل و زاویه نازل ها بر احتراق و آلاینده‌گی

هادی تقوی فر^{۱*}، شهرام خلیل آریا^۲

ایران- آذربایجان غربی- ارومیه- دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه ارومیه- دپارتمان مهندسی مکانیک- کدپستی: ۱۵۳۱۱-۵۷۵۶۱
(* نویسنده مخاطب: haditaghavifar@yahoo.com)

چکیده

در این مطالعه انژکتور گروه-سوراخه با دو سوراخ که زوایای نزدیک به هم ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ درجه دارند، مدل سازی گردید و شبیه سازی سه بعدی نیز در رابطه با شعاع انحنای نازل برای انژکتور تک سوراخه لحاظ گردید. بر اساس نتایج به دست آمده، انژکتور با زاویه ۱۰ درجه باعث طول نفوذ بالاتر افشانه داخل محفظه گردیده و طول برخاست (lift-off) شعله و تأخیر در اشتعال بیشتری در احتراق ایجاد می شود. این امر به نوبه ی خود موجب کاهش همزمان آلاینده های دوده و اکسید نیتروژن می شود. در مورد تأثیر شعاع انحنای نازل، با کاهش شعاع انحنای ورودی نازل، میزان کاویتاسیون داخل نازل بیشتر شده و توربولانس حاصله از کاویتاسیون، افشانه ی با قطرات ریزتر ایجاد می کند، بنابراین گرمای حاصل از احتراق زیاده تر می شود. بدین ترتیب با افزایش گرمای احتراق، آلاینده اکسید نیتروژن بیشتر می شود، درحالیکه به موجب ایجاد قطرات ریز افشانه، میزان دوده منتشره بطرز قابل توجهی کاهش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی- زاویه انحنای انژکتور گروه سوراخه-طول برخاست شعله-تأخیر در اشتعال

۱- مقدمه

به دلیل کاهش ذخایر سوخت فسیلی و تقاضای فزاینده محافل محیط زیستی مبنی بر کاهش آلاینده ها، تحقیقات موتور در رابطه با افزایش راندمان و کاهش آلاینده ها از اهمیت فزاینده ای برخوردار شده است. به همین منظور، مطالعات موتور عمدتاً حول دو محور اصلی متمرکز می باشد: اولاً حداکثر میزان توان و گشتاور باید ایجاد گردد در حالیکه کمترین میزان سوخت مصرف شود. ثانياً محصولات احتراق باید تا حد ممکن کاهش یابد. مخلوط هوا-سوخت و رفتار افشانه در دوره پسا تزریق عمدتاً به مشخصات جریان سوخت در انژکتور بستگی دارد در حالیکه احتراق از کیفیت افشانه پاشش شده (طول نفوذ و قطر قطرات) تأثیر می پذیرد [۲و۱]. حباب بخار سیال سوخت ایجاد شده در ورودی به نازل به عنوان مهمترین عامل فروپاشی جت سیال خروجی از نازل شناخته شده است [۳-۶]. مطالعات مختلفی با تمرکز بر اتمیزاسیون بهتر سوخت در نتیجه افزایش فشار تزریق و سوراخ های نازل در حد میکرومتر انجام گردیده است [۷-۱۰].

اخیراً Som و همکاران [۱۱] هندسه نازل را از لحاظ فاکتور k بر روی افشانه، احتراق و آلاینده‌گی مورد بررسی قرار داده اند و به این نتیجه گیری رسیده اند که میزان مخروطی بودن نازل (همگرایی) می تواند شدیداً نرخ تبخیر و اختلاط سوخت- هوا را کاهش دهد. تبخیر و احتراق افشانه های سوخت دیزل و بنزینی که به داخل محفظه با حجم ثابت تزریق می شود در

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه ارومیه

۲- دکترای مکانیک، دانشگاه ارومیه

یکی دیگر از مطالعات مدل سازی شده است [۱۲]. بر اساس تحقیقات صورت گرفته، افزایش دمای محیط موجب افزایش توزیع دوده می شود در حالیکه طول برخاست شعله کوتاهتری حاصل می شود. تحقیقات بیشتری در رابطه با ساختار شعله و احتراق افشانه به وسیله Kutli و همکاران [۱۳] صورت گرفته است. آنها تاثیر قطر سوراخ نازل و فشار تزریقی را بر روی بدنبال کشی هوا (air entrainment) و طول برخاست شعله مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که کاهش قطر نازل و افزایش فشار تزریقی باعث کاهش دوده، زمان تاخیر کوتاهتر، و فاصله کوتاهتر مکان قرارگیری شعله خواهد شد. بر اساس تحقیقات Taskiran و همکاران [۱۴] نازل های واگرا طول برخاست شعله را کوتاهتر می کنند که می تواند ناشی از میزان کم سوخت پاششی باشد. علاوه بر این تاثیر ناچیز عدد ستان سوخت بر روی ساختار شعله نیز گزارش شده است. داده های تجربی نازل گروه سوراخه با دو نازل متقارن از کار تجربی Gao و همکاران [۱۵] استخراج شده است. مطالعه موردی اول در شرایط تبخیری ۷۶۰ درجه کلوین و فشار محفظه ۴ مگاپاسکال مطابق با شرایط واقعی صورت گرفته است. با این حال مطالعه عددی به فشارهای محفظه در ۳ و ۵ مگاپاسکال نیز گسترش یافته است. مطالعه موردی دوم ناظر بر آنالیز تیزی ورودی نازل (r/d) بر روی احتراق و آلاینده می باشد. مجموعه داده های مورد دوم برای اعتباردهی بر گرفته از [۱۶] می باشد که نتایج شبیه سازی شده نشانگر ارتباط نزدیک بین مدلسازی و نتایج تجربی است. شرایط حاکم بر مورد مطالعاتی دوم بصورت افشانه متراکم با چگالی محفظه ۵۹/۹ کیلوگرم بر متر مکعب و فشار ۵ مگاپاسکال طی پروسه تجربی می باشد. مطالعه حاضر حاوی نکات جدید پیرامون برهم کنش بین کاویتاسیون و احتراق می باشد.

۲- مواد و روشها و نحوه شبیه سازی عددی

شبیه سازی سه بعدی با استفاده از روش حجم محدود برای حل معادلات اساسی حاکم بر مسئله در انژکتور و محفظه احتراق مورد استفاده قرار گرفته است. محفظه احتراق دارای شرایط تبخیری فشار و دمای بالا بوده و به منظور جلوگیری از پیچیدگی های موتور و تمرکز بر پدیده احتراق و گسیلش آلاینده ها، محفظه احتراق با حجم ثابت در نظر گرفته شده است. تکنیک پراکندگی جذب لیزر (LAS) برای اندازه گیری مشخصات افشانه پاشش شده به روش تجربی مورد استفاده قرار گرفته است. اطلاعات مورد نیاز به صورت مفصل در مقالات [۱۷ و ۱۸] قابل دستیابی می باشد. شرایط کاری آزمایش و نحوه اندازه گیری افشانه به همراه مشخصات سوخت مورد استفاده در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- شرایط کاری تجربی مطالعه موردی حالت اول

مقادیر	کمیت ها
۴MPa	Pressure P_a
۷۶۰ K	Temperature T_a
$۲ \cdot \text{Kg}/\text{m}^3$	Density a
۱۰/۶	Nozzle's length to diameter ratio l/d
۱۲۰ MPa	Injection pressure P_{inj}
۳/۴mg	Injection quantity Q_{inj}
۰/۶ms	Injection duration t_{inj}
۱۲۰ mm	Cylinder length L_c
۱۰۰ mm	Cylinder diameter D_c

جدول ۲- مشخصات سوخت استفاده شده در آزمایش

Liquid phase		Vapor phase		Saturation pressure(Pa)
Density(kg/m ³)	Dynamic viscosity(Pa s)	Density(kg/m ³)	Dynamic viscosity(Pa s)	
۸۲۸	۰/۰۰۲۱۴	۷	۱۰-۵	۸۹۲

بخاطر تبخیر و ایجاد کاویتاسیون در نازل، شبیه سازی جریان سیال بصورت چندفازه در داخل انژکتور صورت می گیرد. فازه های بخار و سیال به صورت جداگانه و به روش ناهمگن در نظر گرفته می شوند. مدل سازی توربولانس بر اساس $k-f$ صورت می گیرد در حالیکه رفتار دیواره بر اساس مدل تابع دیواره تحلیلی (analytical wall function) صورت گرفته است. فرآیند فروپاشی افشانه در دو مرحله متوالی صورت می گیرد: فروپاشی اولیه و فروپاشی ثانویه. فروپاشی اولیه مسئول گسیختگی ستون جت اولیه سوخت پاشش شده می باشد ولی فروپاشی ثانویه در رابطه با ریز کردن بیشتر قطرات افشانه است. مشخصات نازل در خروجی به صورت یک فایل که حاوی اطلاعات مربوط به آشفتگی، سرعت، چگالی، و... می باشد، ذخیره شده و به عنوان شرایط مرزی در شبیه سازی محفظه احتراق بکار می رود و اطلاعات در هر مرحله از فایلی با فرمت "noz" خوانده می شود. فروپاشی ثانویه بر طبق ناپایداری رشد سطحی Kelvin-Helmholtz می باشد. برهم کنش ذرات افشانه با در نظر گرفتن مدل O'Rourke بوده که روش کار آن بیشتر بصورت آماری است تا اینکه منطبق بر اصول جبری باشد [۱۹]. مدل احتراقی PDF برای مدل سازی احتراق به کار رفته است چرا که قادر به در نظر گرفتن توأم خواص شیمیایی و توربولانس در طی تشکیل مخلوط در مرحله احتراق می باشد. این روش با معرفی C به عنوان متغیر پیشروی واکنش، جزء مخلوط f ، و آنتالپی h ارائه می گردد. معادله انتقال PDF به صورت زیر معرفی می گردد:

$$\dots \frac{\partial P(\mathbb{E})}{\partial t} + \dots U_k \frac{\partial P(\mathbb{E})}{\partial x_k} + \dots \sum_{r=1}^N \frac{\partial}{\partial \mathbb{E}_r} \{ \dot{S}_r(\mathbb{E}) P(\mathbb{E}) \} = - \frac{\partial}{\partial x_k} \{ \dots \langle u_k^* @ W = \mathbb{E} \rangle P(\mathbb{E}) \} + \sum_{r=1}^N \frac{\partial}{\partial \mathbb{E}_r} \left\{ \left\langle \frac{\partial J_{i,r}}{\partial x_i} @ W = \mathbb{E} \right\rangle P(\mathbb{E}) \right\} \quad (1)$$

که در آن $P(\)$ تابع روش PDF می باشد. نرخ مصرف فرآورده ها و پیشروی واکنش از دو رابطه ذیل حاصل می شود:

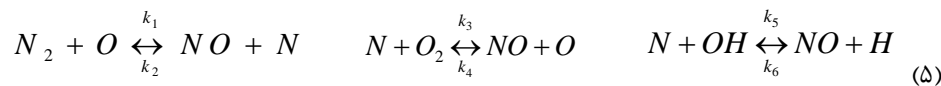
$$\dot{S}_p = A [C_n H_m]^x [O_2]^y \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (2)$$

$$\frac{dc(x,t)}{dt} = \frac{\dot{S}_p(x,t)}{\dots(x,t) Y_p(x,t)} \quad (3)$$

انتقال حرارت جابجایی با کمک گرادیان نفوذ از رابطه پایین به دست می آید:

$$- \frac{\partial}{\partial x_k} \left\{ \dots \langle u_k^* @ W = \mathbb{E} \rangle P(\mathbb{E}) \right\} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\frac{-}{\dagger} \frac{\partial P(\mathbb{E})}{\partial x_k} \right] \quad (4)$$

روابط حاکم بر شبیه سازی آلاینده های گسیلی از مکانیزم zeldovich [۲۰] تبعیت می کند:



بر اساس بیان Hiroyasu and Magnusson [۲۱] از شکل گیری دوده در طی احتراق، نرخ دوده ایجاد شده ماحصل تفاوت بین دوده تشکیل یافته و دوده اکسید شده می باشد مه مطابق فرمول بندی ذیل می باشد:

$$\frac{dm_{soot}}{dt} = \frac{dm_{formation}}{dt} - \frac{dm_{oxidation}}{dt} \quad (6)$$

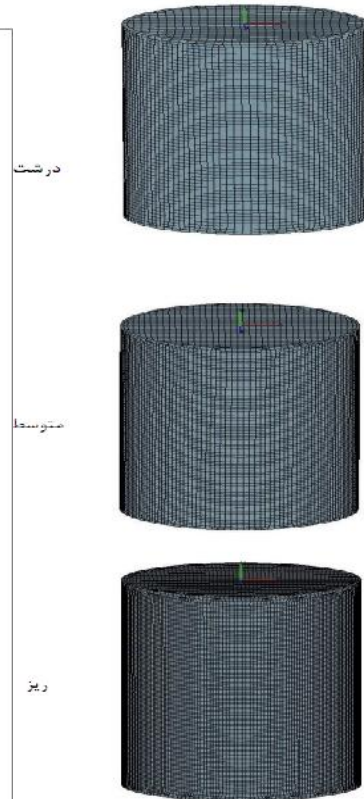
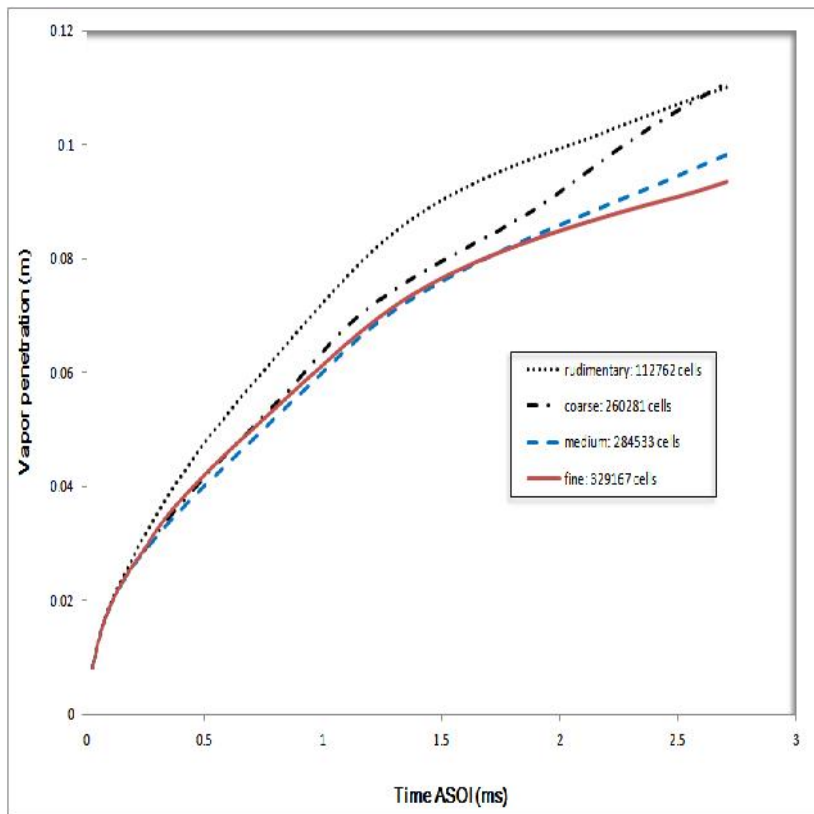
که در آن نرخ جرم دوده تشکیل یافته و اکسید شده بر اساس روابط زیر است:

$$\frac{dm_{formation}}{dt} = A_f m_{fv} p^{0.5} \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (7)$$

$$\frac{dm_{oxidation}}{dt} = \frac{6 M_c}{\dots d_s} m_s R_{tot} \quad (8)$$

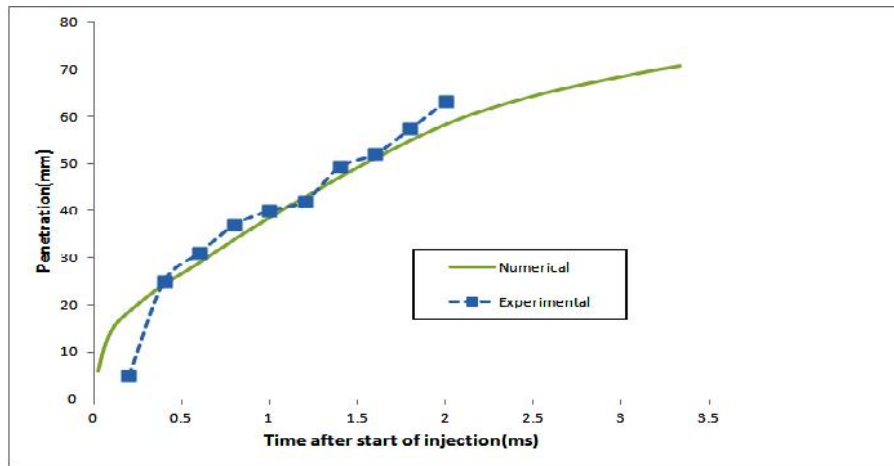
۳- استقلال نتایج از مش زنی و اعتباردهی به نتایج

وضوح شبکه بندی و تعداد سلول های دامنه بر روی صحت نتایج عددی شبیه سازی شده تأثیر گذار است. با افزایش تعداد سلول ها جواب های به دست آمده رفته رفته همگرا می شوند تا اینکه به ازای تعداد خاصی از سلول ها و افزایش وضوح بیشتر، تأثیری در جواب های به دست آمده مشاهده نمی شود. بدین منظور چهار شبکه بندی از هندسه مورد نظر فراهم شده است که تعداد سلول ۲۸۴۵۳۳ برای محفظه احتراق حالت بهینه می باشد چرا که کمترین تعداد سلول شبکه بندی برای پایداری نتایج طول نفوذ بخار در محفظه احتراق می باشد (شکل ۱). شکل ۲-الف نشانگر تطابق نتایج عملی و عددی از حیث نفوذ بخار در محفظه برای زوایای ۵، ۱۰، ۱۵ می باشد که اعتبار نتایج را برای مورد مطالعاتی اول نشان می دهد. شکل ۲-ب به واسطه نزدیکی نتایج تئوری و تجربی برای طول نفوذ افشانه مؤید اعتبار نتایج برای احتراق اسپری در شرایط متراکم می باشد.

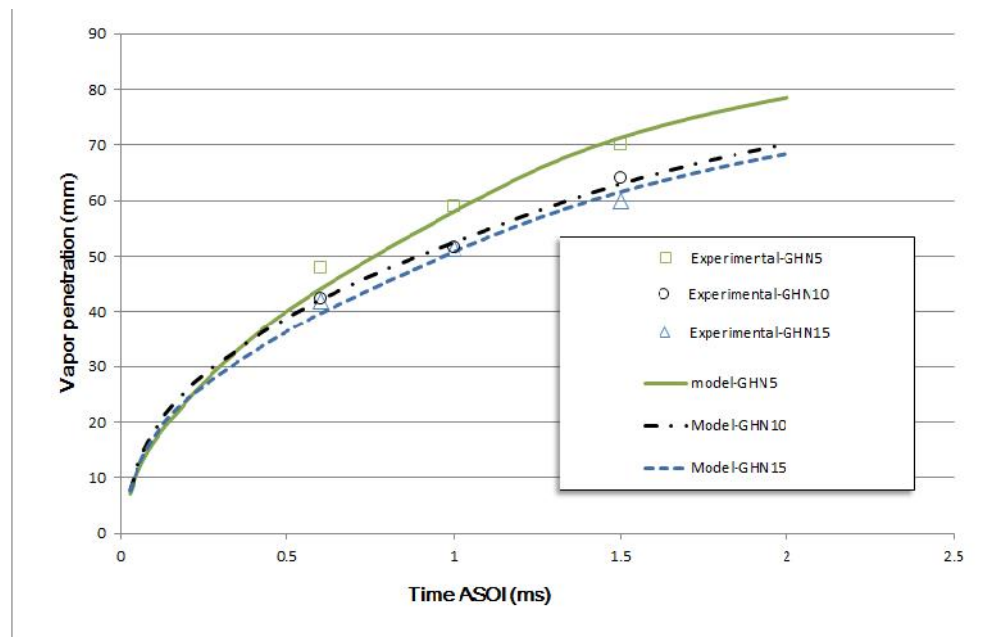


شکل ۱- استقلال شبکه بندی ایجاد شده برای دامنه هندسه از جواب ها

(الف)



(ب)



شکل ۲- اعتباردهی به نتایج مطالعه موردی اول (الف) و دوم (ب)

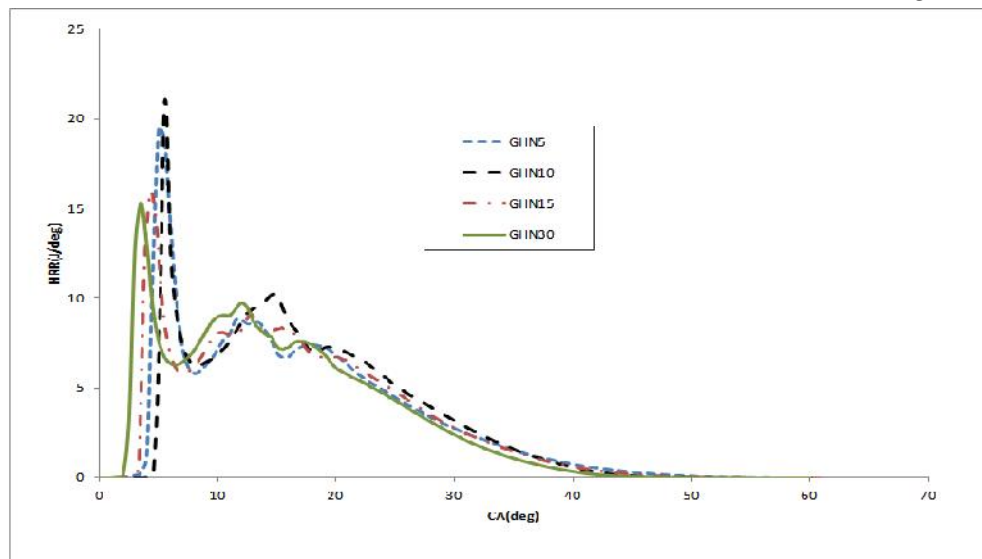
۴- بحث و بررسی روی نتایج

۴-۱- تأثیر زاویه نازل ها

دو نازل با زوایای واگرا بر طبق مفهوم انژکتورهای گروه سوراخه (group-hole) برای توضیح احتراق افشانه های پاشش شده از نوک نازل ها مورد بررسی قرار گرفته است. همگرایی شاخه های افشانه باعث برخورد قطرات و در نتیجه موجب ایجاد قطرات با چگالی بالا می شود که توانایی رسوخ بیشتر داخل محفظه را دارند. از سوی دیگر، در زوایای نزدیک نازل ها، منبع تقویتی و موازی مومنتوم برای نازل ها وجود دارد که باعث سرعت گرفتن بیشتر جت پاشش شده می شود. اختلاط بهتر سوخت و هوا قبل از برخورد به دیواره در زاویه ۳۰ درجه مشاهده می شود، که از آنجا قطرات ریزتر افشانه سریعتر تبخیر شده و منجر به اشتعال سریعتر و کاهش فاصله برخاست شعله از انژکتور در زمان های ابتدایی پاشش می شود. تبخیر قطرات و

لگامنت های (ligament) چگال پاشش شده از زوایای نزدیک نازل ها باعث تأخیر در اشتعال می شود که به وضوح در

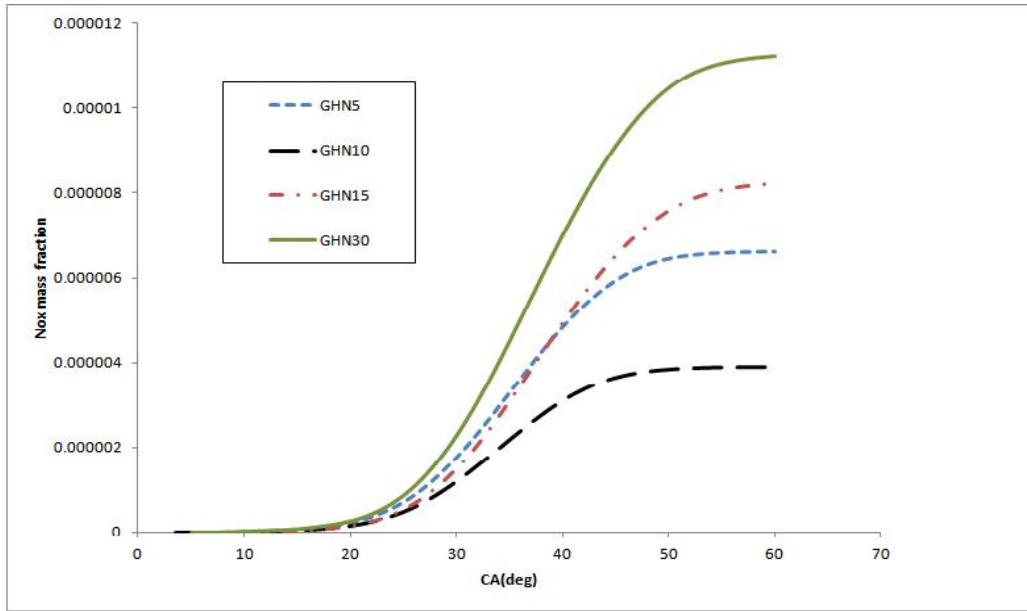
شکل ۳ نمایش داده شده است.



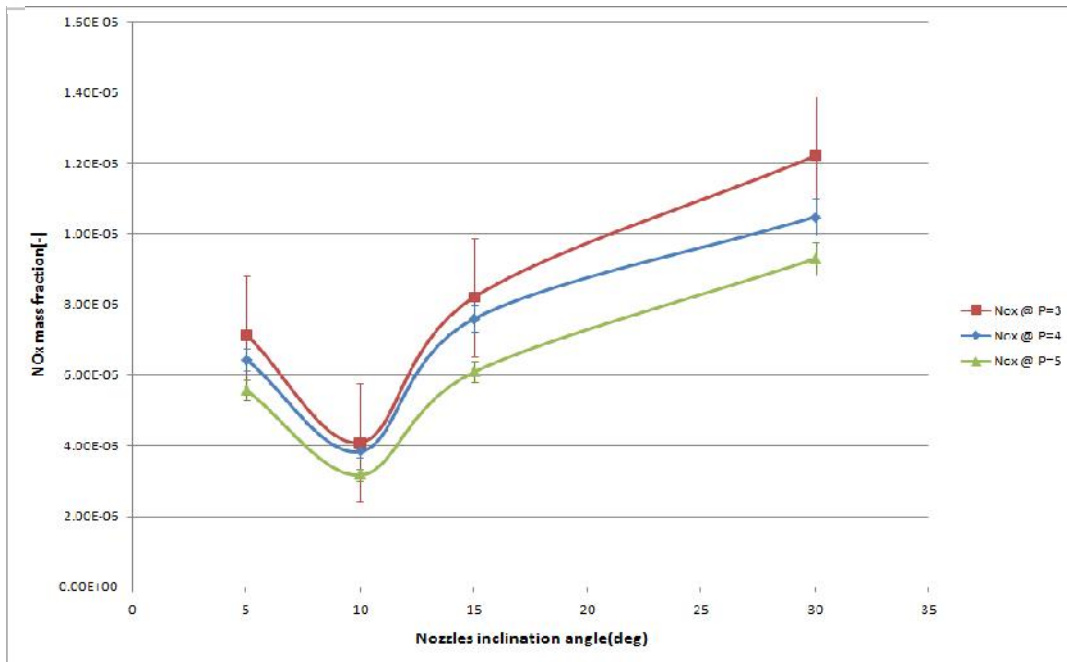
شکل ۳- نرخ گرمای آزاد شده بر حسب زاویه میل لنگ تحت زوایای مختلف مابین نازل ها

شکل شماره ۳ نرخ تولید گرما را تحت زوایای مختلف نازل بر حسب زاویه لنگ نمایش می دهد. با دقت در این شکل مشخص می شود که با کاهش زاویه، تأخیر در اشتعال زیادتر می شود و میزان بیشینه گرمای احتراق فاز پیش-آمیخته نیز زیادتر می شود. مقادیر بالای احتراق پیش-آمیخته در کاهش فشار و دمای بیشینه تأثیر گذار می باشد و این امر نیز به نوبه ی خود باعث کاهش تشکیل اکسید نیتروژن خواهد شد [۲۲]. شکل ۴-الف نمایش دهنده جزء جرمی اکسید نیتروژن بر حسب زاویه لنگ تحت زوایای مختلف ما بین نازل ها می باشد که اولاً با گذشت زمان روند صعودی دارند و ثانیاً کمترین میزان ایجاد اکسید نیتروژن طبق انتظار مربوط به زاویه ۱۰ درجه نازل ها می باشد. در زاویه ۱۰ درجه بیشترین میزان نرخ تولید گرما و تأخیر در اشتعال مشاهده می شود. شکل ۴-ب نمودار کسر جرمی اکسید نیتروژن بر حسب زوایای نازل تحت فشارهای محفظه مختلف می باشد که در لحظه ۲/۷۸ میلی ثانیه بعد از پاشش افشانه ثبت شده است. با افزایش زاویه نازل ها به طور کلی کسر جرمی اکسید نیتروژن بصورت چند جمله ای با درجه ی $(P < 0.01)$ افزایش می یابد. بر طبق این شکل افزایش فشار و چگالی محفظه احتراق باعث کاهش تشکیل اکسید نیتروژن می شود چراکه مقدار ظرفیت حرارتی در این حالت افزایش یافته که کاهش دمای محفظه را در پی خواهد داشت.

(الف)



(ب)

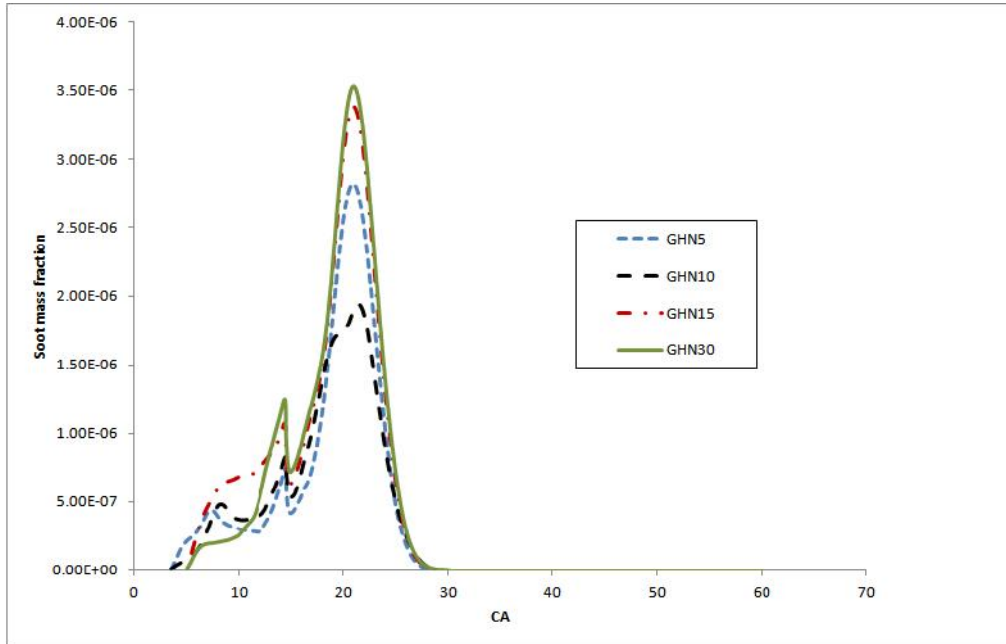


شکل ۴- کسر جرمی ناکس بر حسب زاویه میل لنگ(الف) و کسر جرمی ناکس بر حسب زاویه نازل در فشارهای ۳، ۴ و ۵ مگاپاسکال (ب) محفظه

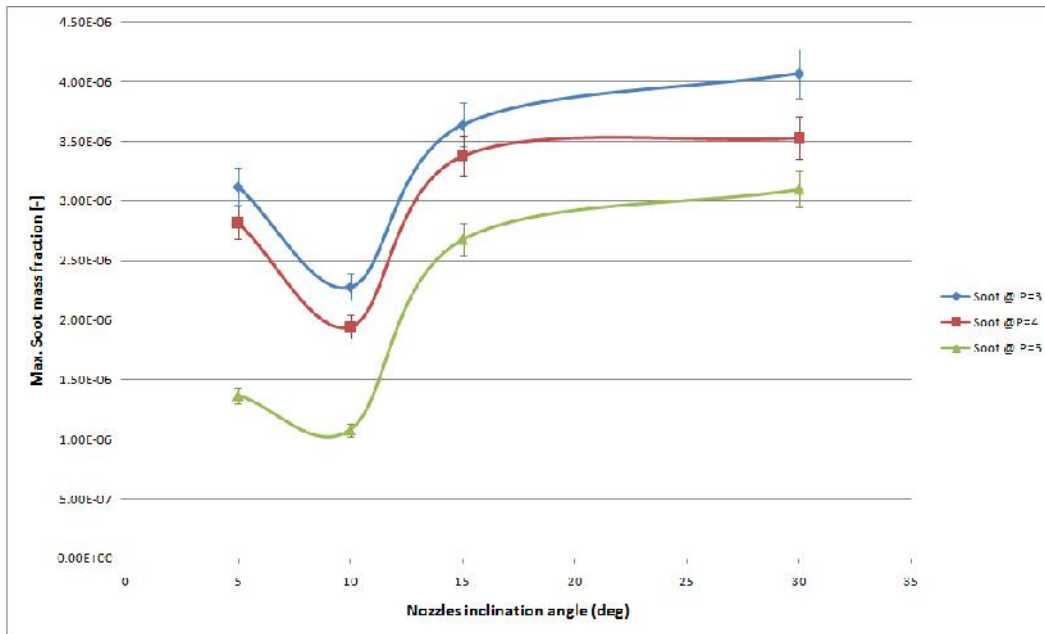
شکل ۵ در رابطه با تولید دوده در محفظه احتراق تحت زوایای مختلف نازل ها می باشد. افزایش زاویه نازل ها همزمان باعث کاهش قطر قطرات افشانه (SMD) و از طرف دیگر افزایش احتمال برخورد افشانه به دیواره می شود که اثر متضادی بر روی میزان کسر جرمی دوده تولید شده دارد. به همین منظور، با دقت در شکل ۵-الف مشخص می شود که زاویه ۳۰ درجه

نازل ها در لحظات ابتدایی پاشش، قطر قطرات افشانه کوچکتری تولید می کند ولی روی هم رفته به دلیل برخورد افشانه به دیواره و ایجاد لایه فیلم روغنی بیشترین میزان دوده ایجاد شده در زاویه ۳۰ درجه از نازل ها رخ خواهد داد. شکل ۵-ب نشان دهنده بیشینه مقدار دوده در لحظه ۱/۲۳ میلی ثانیه بعد از پاشش می باشد که بر حسب زوایای نازل در فشارهای محفظه متفاوت ۴،۳ و ۵ مگاپاسکال رسم شده است. در تمامی موارد، زاویه ۱۰ درجه منجر به ایجاد کمترین میزان دوده می شود و با افزایش فشار محیط، دوده کاهش می یابد چراکه چگالی بالا و مقاومت بالای گاز داخل محفظه باعث متلاشی شدن هر چه بیشتر افشانه و تولید قطرات ریزتر می شود.

(الف)

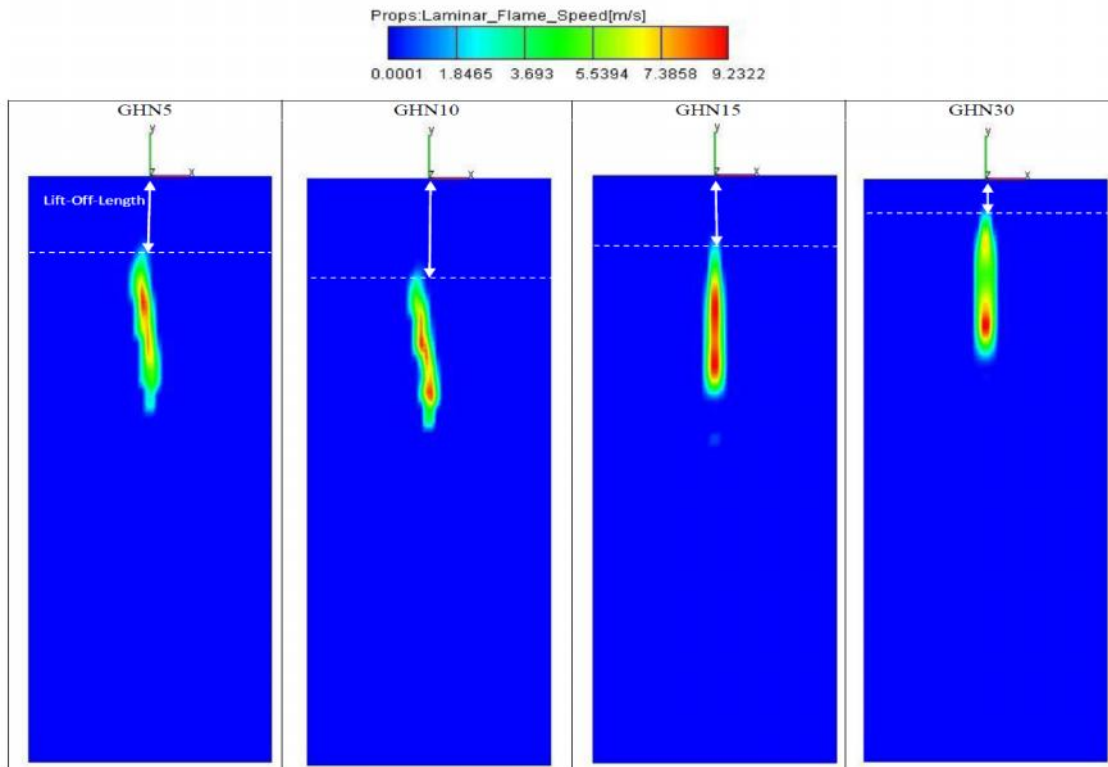


(ب)

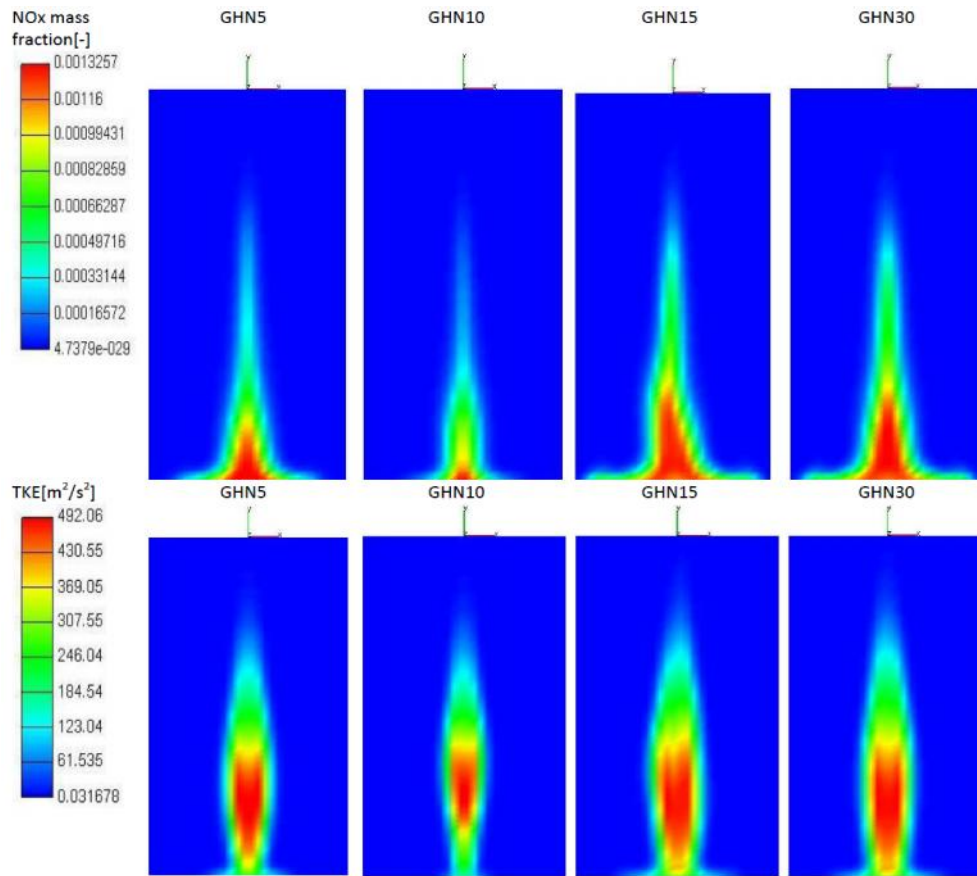


شکل ۵- کسر جرمی دوده بر حسب زاویه میل لنگ (الف) و کسر جرمی دوده بر حسب زاویه نازل در فشارهای ۳، ۴ و ۵ مگاپاسکال (محفظه ب)

شکل ۶، برش طولی از محفظه را بصورت کننتوری از سرعت آرام (laminar) شعله نشان می دهد که میزان فاصله برخاست شعله را نیز نمایان می کند. بر این اساس زاویه ۱۰ درجه ما بین نازل ها بیشترین طول برخاست شعله را ایجاد می کند و بیشترین میزان سرعت به میزان ۹/۱۵ متر بر ثانیه در هسته شعله قابل رویت است. نتایج این مطالعه مؤید تحقیقات قبلی مبنی بر رابطه مستقیم طول برخاست شعله و اشتعال در تأخیر می باشد [۲۳ و ۲۴]. توزیع تراکم کمیت های اکسید نیتروژن و انرژی توربولانس در محفظه با حجم ثابت در شکل ۷ برای زوایای مختلف نازل در موقعیت ۳۰ درجه زاویه لنگ نمایش داده شده است. منطقه با تراکم بالا برای ناکس ها (NO_x) در دیواره پایینی سیلندر متمرکز شده است. توزیع مکانی ناکس در محدوده مقدار جزء جرمی $10^{-5} \times 33/14$ تا $10^{-5} \times 132/57$ می باشد که از دیواره تحتانی سیلندر با بیشترین مقدار آغاز شده و به تدریج به سمت دیواره بالایی کاهش می یابد تا در دیواره بالایی کاملاً محو شود. توزیع مکانی و شدت اکسید نیتروژن در حالت زاویه ۱۰ درجه کمترین مقدار است. کننتور آشفستگی در مورد زاویه ۱۰ درجه نازل ها بطور قابل ملاحظه ای کمتر است در حالیکه برای سایر زوایا توزیع آشفستگی کمابیش از روند یکسانی تبعیت می کند. آشفستگی بیشتر داخل محفظه باعث نرخ انتشار افشانه بالاتر در داخل محفظه شده و تولید گرمای بیشتر و طبعاً دمای بالا و تولید ناکس بیشتر ایجاد می شود.



شکل ۶- توزیع سرعت لامینار شعله در محفظه استوانه ای و طول برخاست شعله برای افشانه های پاششی از زوایای مختلف

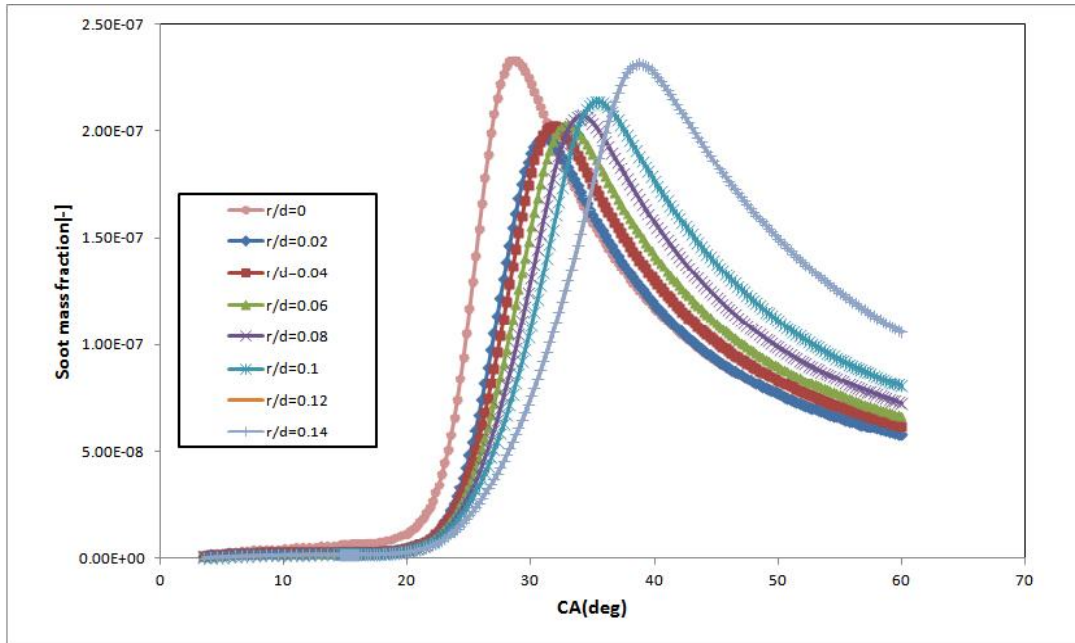


شکل ۷- توزیع مکانی آلاینده ناکس و انرژی توربولانس برای زوایای مختلف نازل با برش طولی از محفظه

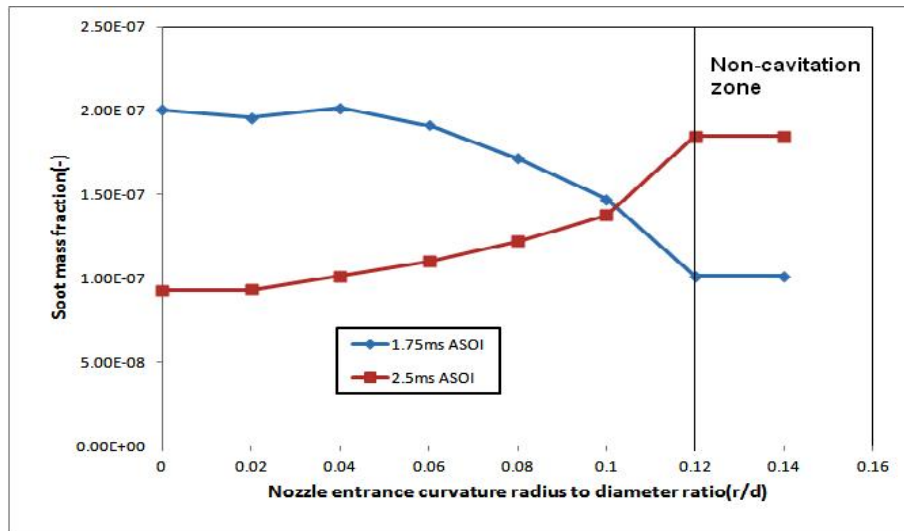
۲-۴- تأثیر شعاع انحنای ورودی نازل

نازل تک سوراخه برای مورد مطالعاتی دوم بصورت شرایط محفظه با گاز متراکم (چگالی ۵۹/۹ کیلو گرم بر مترمکعب) فشار تزریق ۱۲۰ مگاپاسکال شبیه سازی شده است. کاهش شعاع انحنای ورودی نازل باعث افت فشار بیشتر و شدت گرفتن پدیده کاویتاسیون در دیواره نازل می شود. تشکیل بخار سیال در نازل باعث سرعت گرفتن جریان سیال می شود [۲۵] و از سوی دیگر ترکیدن حباب های بخار موجب اغتشاش در جریان و پراکندگی قطرات و در نتیجه افزایش زاویه مخروط افشانه می شود. شکل ۸-الف نمایش دهنده کسر جرمی دوده بر اساس زاویه لنگ برای مقادیر شعاع انحنای ۰/۰۲، ۰/۰۴، ۰/۰۶، ۰/۰۸، ۰/۱، ۰/۱۲ و ۰/۱۴ می باشد که روند افزایشی و سپس کاهشی دوده با گذشت زمان مشهود است. شکل ۸-ب مقادیر دوده را در دو مقطع زمانی ۱/۷۵ و ۲/۵ میلی ثانیه (قبل و بعد از ۳۲ درجه زاویه میل لنگ) براساس زاویه انحنای نازل نشان می دهد و بر این اساس دو روند معکوس برای دوده با تیزی ورودی نازل مشاهده می شود. در مقادیر بعد از ۰/۱۲ شعاع انحناء، روند یکنواخت در میزان کسر جرمی مشاهده می شود که حاکی از ورود به منطقه بدون ایجاد کاویتاسیون در نازل می باشد.

(الف)

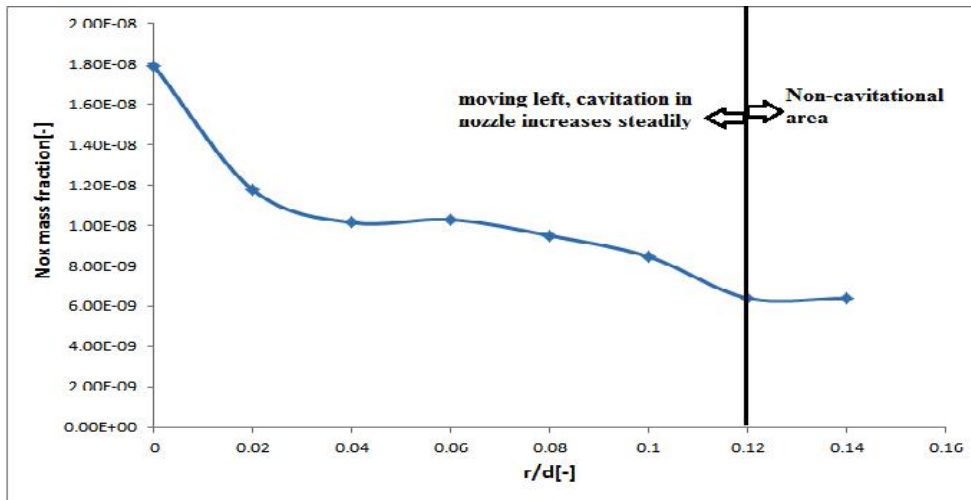


(ب)



شکل ۸- توزیع دوده نسبت به زاویه میل لنگ برای نازل با تیزی نازل های مختلف (الف) و کسر جرمی دوده در دو مقطع زمانی مختلف (ب)

شکل ۹ رابطه بین اکسید نیتروژن با شعاع انحنای ورودی نازل بیان گر رابطه معکوسی می باشد که با افزایش نسبت (r/d) میزان اکسید نیتروژن کاهش می یابد زیرا با کاهش نسبت r/d و افزایش تیزی میزان تلاشی اسپری افزایش یافته و قطرات ریزتر که امکان تبخیر و احتراق بالاتری داشته و نهایتاً با افزایش دما، میزان ناکس نیز افزایش می یابد.



شکل ۹- کسر جرمی ناکس ایجاد شده در مطالعه موردی دوم بر حسب نسبت r/d

۵- نتیجه گیری

در کار حاضر با استفاده از شبیه سازی سه بعدی مدل جدید انژکتور گروه-سوراخه با دو نازل (که زاویه بسیار کمی نسبت به هم دارند) و محفظه احتراق استوانه ای با حجم ثابت مدل سازی گردید و با اعمال شرایط مرزی منطبق بر شرایط واقعی، نتایج جدیدی استحصال گردید. در این مطالعه اثر همزمان زاویه نازل ها و فشار محفظه برای حالت اول و میزان شعاع انحنای ورودی نازل تک سوراخه برای حالت دوم بر روی پدیده احتراق و آلاینده‌گی بررسی شد و نتایج زیر به صورت خلاصه استنتاج شد:

۱- زاویه ۱۰ درجه مابین نازل ها منجر به ایجاد بیشترین فاصله منطقه تثبیت شعله از انژکتور و تأخیر در اشتعال می شود و اعمال زاویه کم ۱۰ درجه برای انژکتور گروه-سوراخه می تواند بطور همزمان هم میزان گسیلش آلاینده اکسید نیتروژن و هم دوده را کاهش دهد.

۲- میزان انرژی آزاد شده از احتراق افشانه پاشش شده از زاویه ۳۰ درجه نازل ها کمترین میزان می باشد چرا که افشانه پاشش شده به دیواره جانبی سیلندر برخورد کرده و امکان احتراق مؤثر برای این سوخت از بین می رود ولی چنانچه از محفظه ای با ابعاد بزرگتر استفاده می شد میزان نرخ گرمای آزاد شده شدیداً افزایش پیدا می کرد.

۳- میزان کاپیتاسیون تشکیل یافته در نازل با حرارت تولید شده در اثر احتراق افشانه پاششی از این نوع نازل رابطه مستقیم دارد. در $r/d=0$ کاپیتاسیون حداکثری در نازل وجود دارد و لذا مقدار بیشینه تلاشی افشانه (بهترین کیفیت افشانه) مشاهده می شود که میزان دوده تولید شده را کاهش می دهد ولی به دلیل افزایش دمای محفظه، میزان اکسید نیتروژن تولید شده را افزایش می دهد.

مراجع

- 1- Ando H, Arcoumanis C. Flow and combustion in reciprocating engines e ch.3.Mixture preparation and combustion in four-stroke direct-injection gasoline engines. Springer; Experimental Fluid Mechanics; 2009. pp. 1e35.
- 2- Heywood JB. Internal combustion engine fundamentals. McGraw Hill; 1988. p.517-39.
- 3- F. Payri, V. Bermudez, R. Payri, F.J. Salvador, The influence of cavitation on the internal flow and spray characteristics in diesel injection nozzles, Fuel J. (Sep.) (2004) 419-431.
- 4- Payri F, Payri R, Salvador FJ, Martinez-Lopez J. A contribution to the understanding of cavitation effects in Diesel injector nozzles through a combined experimental and computational investigation. Computers&Fluids 2012; 58:88-101.

- 5- Payri F, Bermudez V, Payri R, Salvador FJ. The influence of cavitation on the internal flow and the spray characteristics in diesel injection nozzles. *Fuel* 2004;83:419-431.
- 6- Lee HK, Russell MF, Bae CS, Shin HD. Development of cavitation and enhanced injector models for diesel fuel injection system simulation. *Journal of Automobile Engineering* 2002;216:607-618.
- 7- Tao F, Bergstand P. Effect of ultra-high injection pressure on diesel ignition and flame under high-boost conditions. SAE paper 2008-01-1603; 2008.
- 8- Minato A, Tanaka T, Nishimura T. Investigation of premixed lean diesel combustion with ultra-high-pressure injection. SAE paper 2005-01-0914;2005.
- 9- Som S, Aggarwal SK, El-Hannouny EM, Longman DE. Investigation of nozzle flow and cavitation characteristics in a diesel injector. *J Eng Gas Turbine Power* 2010;132:1-12.
- 10- Nishida K, Zhang W, Manabe T. Effects of micro-hole and ultra-high injection pressure on mixture properties of D.I. diesel spray. SAE paper 2007-01-1890;2007.
- 11- Som S, Ramirez I, Longman DE, Aggarwal SK. Effect of nozzle orifice geometry on spray, combustion, and emission characteristics under diesel engine conditions. *Fuel* 2011;90:1267-1276.
- 12- Zhang L, Kong SC. Modeling of multi-component fuel vaporization and combustion for gasoline and diesel spray. *Chemical Engineering Science* 2009;64:3688-3696.
- 13- Kuti OA, Zhu J, Nishida K, Wang X, Huang Z. Characterization of spray and combustion processes of biodiesel fuel injected by diesel engine common rail system. *Fuel*. DOI: 10.1016/j.fuel.2012.05.014.
- 14- Taskiran O, Ergeneman M. Effect of Nozzle dimensions and fuel type on flame lift off length. *Fuel* 2013. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.03.005.
- 15- Gao J, Matsumoto Y, Nishida K. An experimental study on spray and mixture properties of group-hole nozzle for direct-injection diesel engines part I: a comparative analysis with single-hole nozzle. *Atomiz Sprays* 2009;19:321-37.
- 16- Changyuan W, Fushui L, Xiangrong L. Experimental researches on the characteristics of dense spray of diesel engine. *International Conference on Digital Manufacturing & Automation* 2011;428-432. DOI: 10.1109/CDCIEM.2011.531.
- 17- Suzuki S, Nishida K, Hiroyasu H. Simultaneous concentration measurement of vapor and liquid in an evaporating diesel spray. SAE Paper No. 930863;1993.
- 18- Zhang YY, Yoshizaki T, Nishida K. Imaging of droplets and vapor distributions in a diesel fuel spray by means of a laser absorption-scattering technique. *Appl. Opt.* 2000;39(33):6221-9.
- 19- O'Rourke PJ. Statistical Properties and Numerical Implementation of a Model for Droplet Dispersion in Turbulent Gas. *J. Comput. Physics* ;1989:83.
- 20- Dukowicz JK. Quasi-steady droplet change in the presence of convection. Informal report Los Alamos Scientific Laboratory. LA7997-MS.
- 21- AVL FIRE user manual, Vol.3, 2006.
- 22- Graboski MS, McCormick RL, Alleman TL, Herring AM. The effect of biodiesel composition on engine emissions from a DDC series 60 diesel engine. National Renewable Energy Laboratory 2003 NREL/SR-510-31461
- 23- Pickett LM, Siebers DL, Idicheria CA. Relationship between ignition and the lift-off length of diesel fuel jets. SAE paper 2005-01-3843; 2005.
- 24- Venugopal R, Abraham J. A review of fundamental studies relevant to flame lift-off in diesel jets. SAE paper 2007-01-0134; 2007.
- 25- Payri R, García JM, Salvador FJ, Gimeno J. Using spray momentum flux measurements to understand the influence of diesel nozzle geometry on spray characteristics. *Fuel* 2005;84:551-61.