

تأثیر زاویه‌ی پاشش سوخت‌پاش، بر روی اندازه قطرات خروجی سوخت در یک محفظه احتراق با ورودی‌های جانبی

محمد مهدی دوستدار^۱، محمد وادی زاده^{*۲}

دانشگاه امام حسین (ع) - مرکز تحقیقات موتور

^{*}m_wadizade@yahoo.com

چکیده

موتورهای رم جت بعنوان عامل تولید نیرو محرکه در پروازهای فراصوتی از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند. در بین اجزاء تشکیل دهنده موتور رمجت، نقش محفظه احتراق بدلیل پیچیدگی‌های ناشی از فیزیک سیال داخل آن از حساسیت خاصی برخوردار است.

محفظه‌های احتراق با ورودی جانبی در سیستم پیشران‌ش راکت - رمجت درون‌سوز به کار گرفته می‌شود. ساختار سیال در این محفظه‌های احتراق شامل اثرات متقابل دو جت هوای ورودی، مخالف هم به درون یک استوانه می‌باشد که این اثر در بسیاری از کاربردهای صنعتی اتفاق می‌افتد. در این محفظه احتراق‌ها دو جت ورودی با یکدیگر برخورد می‌کنند و به دلیل اینکه جریان هوای ورودی مسیر منحنی مانند را طی می‌کند و ورودی دارای سطح مقطع مربعی است، جریان هوا قبل از ورود به استوانه تخریب می‌شود.

در این اثر با استفاده از کد اصلاح شده‌ی KIVA-3V به مطالعه‌ی پارامتریک عوامل تأثیرگذار بر روی کسر جرمی موثر و همچنین بر روی قطر متوسط قطرات خروجی سوخت در استوانه‌ی شبیه ساز رم جت با ورودی جانبی پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: کسر جرمی موثر - محفظه احتراق با ورودی جانبی - رمجت - قطر متوسط قطرات سوخت

۱- مقدمه

موتورهای رم جت بعنوان عامل تولید نیرو محرکه در پروازهای فراصوتی از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند. تحقیقات زیاد انجام گرفته روی این موتورها، اهمیت بررسی پارامترهای موثر در رانندگی آنها را روشن می‌سازد. در بین اجزاء تشکیل دهنده موتور رمجت، نقش محفظه احتراق بدلیل پیچیدگی‌های ناشی از فیزیک سیال داخل آن از حساسیت خاصی برخوردار است. پدیده احتراق شامل فرآیند فوق‌العاده پیچیده‌ای است و به همین دلیل شبیه‌سازی کامل جریان در این فرآیند با صرف زمان و هزینه زیاد همراه است.

محفظه‌های احتراق با ورودی جانبی در سیستم پیشران‌ش راکت - رمجت درون‌سوز به کار گرفته می‌شود. ساختار سیال در این محفظه‌های احتراق شامل اثرات متقابل دو جت هوای ورودی، مخالف هم به درون یک استوانه می‌باشد که این اثر در بسیاری از کاربردهای صنعتی اتفاق می‌افتد. در این محفظه احتراق‌ها دو جت ورودی با یکدیگر برخورد می‌کنند و به دلیل اینکه جریان هوای ورودی با عبور از داکت‌های جانبی مسیر منحنی مانند را طی نموده، شتاب گرفته و جریان هوا قبل از ورود به استوانه تخریب می‌شود.

۱- استادیار، دانشگاه امام حسین (ع)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، هوا فضا، دانشگاه امام حسین (ع)

با توجه به کاربرد و اهمیت استفاده از این گونه موتورها، از دیرباز تحقیقات گسترده‌ای در زمینه‌ی این موتورها صورت پذیرفته است که در ادامه به برخی از تحقیقات انجام شده در دهه اخیر اشاره شده است. در جدیدترین تحقیقات دوستدار و مجتهدپور به بررسی پارامترهای مختلف از جمله سرعت پاشش سوخت، نسبت طول به قطر، سرعت هوای ورودی و زاویه‌ی پاشش بر روی کسرجرمی موثر و بر روی قطر متوسط قطرات خروجی سوخت در داکت شبیه‌ساز رم جت پرداخته‌اند [۱-۳]. در یکی دیگر از تحقیقات دوستدار و مجتهدپور به بررسی اثر سرعت هوای ورودی بر روی گردابه‌های بوجود آمده در رم جت با ورودی جانبی پرداخته‌اند [۴].^۱ کو^۱ در دو تحقیق مجزا به بررسی اثر زاویه‌ی ورودی جانبی جریان هوا بر روی پدیده‌ی اختلاط سوخت و هوا در یک محفظه‌ی احتراق با ورودی جانبی کرده است [۵-۶]. در تحقیقی دیگر میو^۲ و همکارانش به بررسی روش‌های آشکارسازی جریان در محفظه احتراق موتور رم جت به صورت عددی و تجربی پرداخته‌اند [۷]. در این اثر با استفاده از کد اصلاح شده‌ی KIVA-3V به مطالعه‌ی پارامتریک عوامل تاثیرگذار بر روی کسر جرمی موثر و همچنین بر روی قطر متوسط قطرات خروجی سوخت در استوانه‌ی شبیه‌ساز رم جت با ورودی جانبی پرداخته شده است. (جرم بخار سوخت در محدوده‌ی اشتعال‌پذیری به عنوان کسر جرمی موثر نامیده شده است.)

۲- مدل‌سازی عددی

- برنامه کامپیوتری

برنامه مورد استفاده در این مطالعه، کد KIVA-3V می‌باشد. فرآیند شبیه‌سازی در این کد، مبتنی بر مدل قطره مجزا می‌باشد. در روش قطره‌ی جدا، کل اسپری به تعدادی محدود از بسته‌های حاوی ذرات تقسیم می‌شود که حرکت و انتقال این بسته‌ها در میدان جریان با فرمول لاگرانژی محاسبه می‌شود که از اینجا تاریخچه‌ی عمر قطرات تعیین می‌گردد. برای حل معادلات حاکم بر فاز گازی نیز از فرمول اویلری استفاده می‌شود. تأثیر خواص قطرات بر خواص فاز گازی توسط عبارت چشمه مناسب در معادلات بقاء فاز گازی لحاظ می‌گردد. محققین مختلف از این مدل در تحلیل احتراق اسپری در توربین‌های گاز، موتورهای دیزل پاشش مستقیم، سیستم‌های اطفاء حریق، کوره‌ها و غیره استفاده کرده‌اند. فرآیند حل فاز گازی نیز مبتنی بر روش حجم محدود^۳ ALE می‌باشد. در این روش رئوس سلول‌ها را که شش گوشه هستند می‌توان بصورت تابعی دلخواه از زمان تعریف نمود تا در نتیجه بتوان به روش لاگرانژی یا اویلری و یا مخلوط، مسئله را تحلیل نمود. شبکه‌ی تولیدی می‌تواند بر مرزهای منحنی‌الشکل تطبیق یافته و با هندسه‌های پیچیده‌ی محفظه‌های احتراق منطبق گردد و نیازی به عمودی بودن خطوط آن وجود ندارد. فرم بقایی معادلات تا حد ممکن در گسسته‌سازی‌ها حفظ می‌شود. از معادلات حاکم، قبل از گسسته‌سازی روی سلول محاسباتی انتگرال‌گیری شده و از قضیه دیورژانس برای تبدیل انتگرال‌های حجمی به انتگرال‌های سطحی استفاده می‌گردد. مؤلفه‌های کارتیزین بردار سرعت در رئوس سلول‌ها در هر قدم محاسبه و ذخیره شده و معادلات ممنوم به فرم کاملاً بقایی گسسته می‌شوند. به علاوه از سرعت وجوه سلول نیز در هر سیکل محاسباتی به ویژه در تعیین تغییر حجم سلول استفاده می‌شود که این امر بطرز محسوسی تمایل روش ALE به مودهای پارازیت سرعت را کاهش می‌دهد. حل گذرای معادلات به روش مارچینگ در قدم‌های متوالی زمانی صورت می‌گیرد.

- تولید شبکه

¹ T. H. Ko

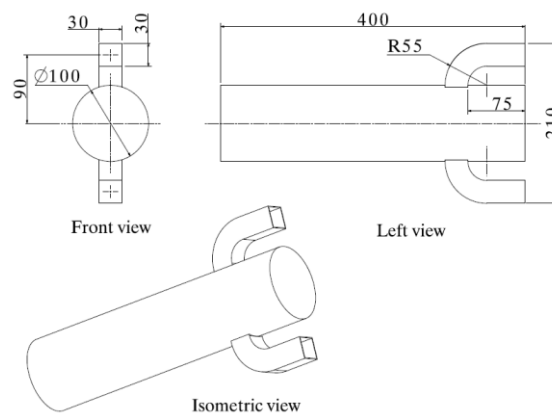
² Tong-Miin Liou

³ Arbitrary Lagrangian-Eulerian

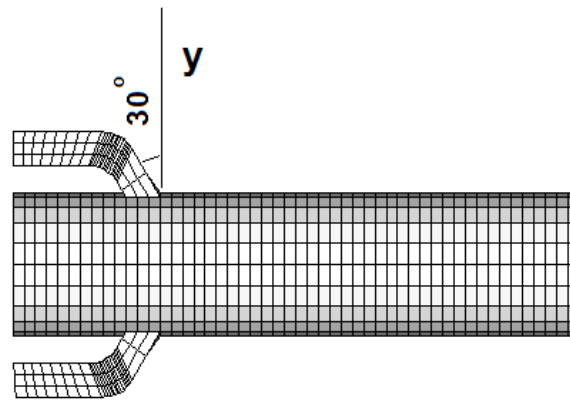
فرمولبندی کد KIVA-3V بر مبنای محورها مختصات کارتیزین (X, Y, Z) می باشد و به جای محدود بودن یک بلوک منطقی، از سلول ها در فضای (i, j, k) برای در برگرفتن تمام منطقه استفاده شده است، هرچند باید توجه داشت که هندسه شبکه KIVA-3V از هر تعداد دلخواه بلوک های منطقی تشکیل شده است که به صورت کاملاً یکپارچه به یکدیگر متصل شده اند که با توجه به شرایط اولیه پاشش و ابعاد دامنه‌ی محاسبات انتخاب می شود. همانطور که سرعت پاشش یا جرم کل سوخت افزایش می یابد، دامنه‌ی بزرگتری از محاسبات باید در نظر گرفته شود.

- شرایط مرزی

در این تحقیق یک استوانه با دو ورودی منحنی شکل مخالف هم در نظر گرفته شده است. جریان هوای ورودی از درون این دو ورودی عبور کرده و پس از پاشش سوخت، هوا و سوخت در درون استوانه با یکدیگر مخلوط شده و جریان از انتهای استوانه تخلیه می شود. طول محفظه احتراق ۴۰ و قطر آن ۱۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. برای حالت اول، مطابق شکل فوق یک استوانه با قطر ۱۰ سانتی متر و طول ۴۰ سانتی متر در نظر گرفته شده است. دو نازل درون دو ورودی جانبی قرار گرفته‌اند. سوخت بنزین بوده و دمای هوای ورودی به استوانه برابر ۳۰۰ درجه کلوین و فشار یک اتمسفر می باشد. به عنوان شرایط مرزی، برای سطح ورودی هوا "فشار ورودی"، "صلب" برای دیواره استوانه و "فشار خروجی" برای سطح خروجی در نظر گرفته شده است. شرایط مرزی اولیه بر مبنای جدول (۱) و مشابه حالت قبل است با این تفاوت که سرعت ورودی هوا ۳۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. برای بررسی تاثیر زاویه‌ی نازل‌های سوخت پاش بر روی اندازه‌ی خروجی قطرات سوخت، مساله به دو قسمت تقسیم شده است. در مرحله‌ی اول؛ پاشش تحت زاویه‌ی ۳۰ درجه نسبت به خط عمود، موافق با جریان هوای به سمت خروجی انجام گرفته است و سپس این زاویه از ۳۰ به ۴۵^o و در نهایت به ۶۰^o افزایش پیدا کرده است. در مرحله‌ی دوم، پاشش در حالت عمود بر جریان انجام گرفته است و سپس این زاویه از حالت عمودی (صفر درجه نسبت به محور Y ها) به ۳۰^o، ۴۵^o و ۶۰^o مخالف جریان هوای به سمت خروجی، افزایش پیدا کرده است و نتایج بدست آمده از این دو حالت با یکدیگر مقایسه شده و مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. مشابه حالت قبل، زمان انجام محاسبات ۰/۲ ثانیه پس از شروع حل صورت می گیرد تا جریان درون استوانه فراگیر شود. اطلاعات دقیقتری از این شرایط در جدول (۱) آمده است.



شکل (۱) مختصات و ابعاد محفظه احتراق مورد نظر



نمودار (۲) محفظه احتراق با ورودی جانبی با زاویه ۳۰

جدول (۱) شرایط مرزی

۱ atm	فشار سیال ورودی به محفظه (فشار محیط)
۳۰۰ K	دمای سوخت پاشیده شده
۳۰۰ K	دمای سیال ورودی
۲۰ - ۵۰ m/s	سرعت ورودی سیال به مرز
۱۵ g/s	دبی جرمی سوخت
۰/۰۱cm	شعاع اولیه قطرات سوخت
۳۰ m/s	سرعت پاشش سوخت

- الگوی حل

حل مساله در طی مدت زمان ۱ ثانیه و با استفاده از کد کیوا انجام می گیرد، زمان پاشش سوخت ۰/۰۲ ثانیه بعد از شروع حل می باشد تا جریان داخل محفظه فراگیر گردد.

۳- بحث و بررسی

همانطور که گفته شده، در بخش اول عملیات پاشش تحت زوایای 30° ، 45° و 60° و حل مساله با استفاده از کد کامپیوتری KIVA-3V انجام گرفت، نتایج منتج شده از این حالات در جدول (۲) تا (۳) آمده است:

جدول (۲): اندازه‌ی قطرات خروجی سوخت تحت زوایای مختلف پاشش

کسر جرمی موثر (درصد)	قطر متوسط قطرات (μm)	زاویه‌ی پاشش (درجه)
۸۱/۲	۲۰/۶	۳۰
۶۳/۷	۲۶/۴	۴۵
۴۱/۱	۳۱/۳۲	۶۰

در این بخش، به بررسی قطر متوسط قطرات خروجی و همچنین کسر جرمی موثر در زاویه‌ی پاشش عمود بر هوای ورودی و زوایای مخالف جریان هوای ورودی پرداخته شده است. نتایج حاصل از این آزمایش در جدول (۳) آمده است:

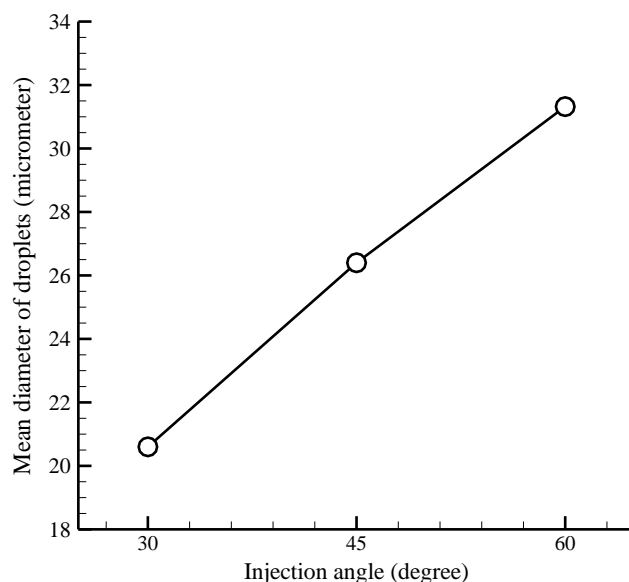
جدول (۳): اندازه‌ی قطرات خروجی سوخت تحت زوایای مختلف پاشش

کسر جرمی موثر (درصد)	قطر متوسط قطرات (μm)	زاویه‌ی پاشش (درجه)
۹۷/۵	۱۹/۴	صفر
۲۷/۱	۱۸/۷۸	۳۰
۱۵/۹	۱۳/۲۶	۴۵
۱۲/۳	۱۰/۱۲	۶۰

۴- نتایج بررسی

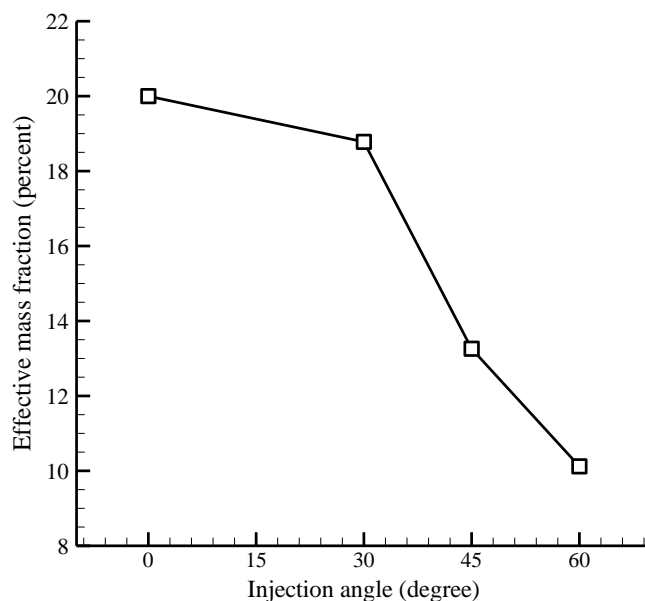
الف) اندازه‌ی قطرات خروجی سوخت

با توجه به نتایج بدست آمده از جدول (۲)، مشخص است که با افزایش زاویه‌ی پاشش از 30° موافق با جهت جریان ورودی هوا به سمت خروجی به 45° و 60° ، قطر متوسط قطرات خروجی سوخت به طور قابل توجهی افزایش پیدا کرده است. نمودار مقایسه‌ای از نتایج بدست آمده در نمودار (۱) آمده است.



نمودار (۱): قطر متوسط قطرات خروجی در زاویه‌های مختلف پاشش (در جهت جریان هوای ورودی به سمت خروجی)

با توجه به نمودار (۱) مشخص است که، با توجه به شرایط مرزی اولیه، با افزایش زاویه‌ی پاشش، قطر متوسط قطرات خروجی سوخت به طور فزاینده‌ای افزایش پیدا می‌کند. در این مطالعه همچنین به بررسی اثرات زاویه‌ی پاشش سوخت‌پاش در خلاف جهت جریان پرداخته شد، که نمودار حاصله در نمودار (۲) آمده است.

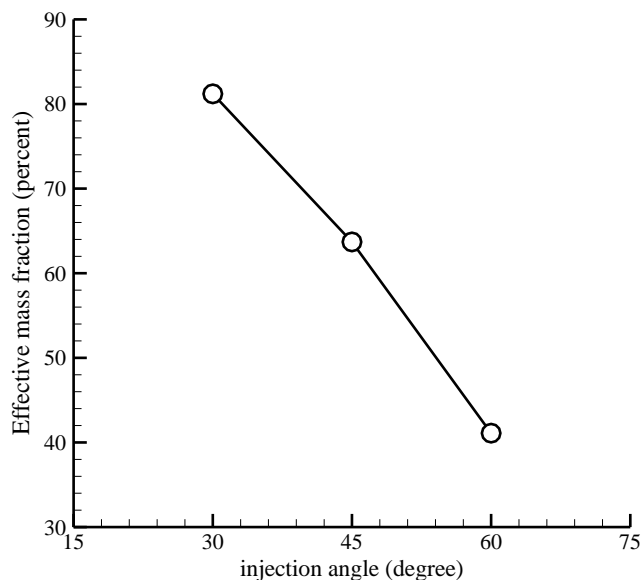


نمودار (۲): قطر متوسط قطرات خروجی در زاویه‌های مختلف پاشش (مخالف با جریان هوای ورودی به سمت خروجی)

با استناد به نمودار (۲) می‌توان دریافت که با افزایش زاویه‌ی سوخت‌پاش‌ها از صفر درجه، موازی با جریان ورودی هوا به 30° ، 45° و 60° در خلاف جهت جریان ورودی به سمت خروجی، قطر قطرات کاهش پیدا می‌کند.

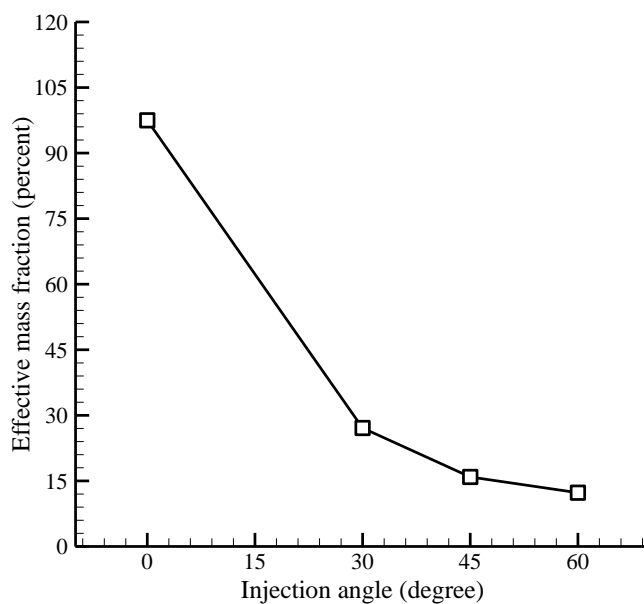
ب) کسر جرمی موثر

همانگونه که در جدول‌های (۲) و (۳) مشخص است، در پاشش موافق با جریان ورودی به سمت خروجی، با افزایش زاویه‌ی پاشش سوخت پاش از 30° به 45° و نهایتاً 60° ، کسر جرمی موثر به طور یکنواخت کاهش پیدا کرده است، نمودار مقایسه‌ای از این حالت در نمودار (۱) آمده است.



نمودار (۳): کسر جرمی موثر در زاویه‌های مختلف پاشش (موافق با جریان هوای ورودی به سمت خروجی)

با توجه به نمودار (۳)، با افزایش زاویه‌ی پاشش سوخت پاش‌ها، کسر جرمی موثر به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرده است، بطوریکه از مقدار تقریبی ۸۰ درصد در زاویه‌ی پاشش 30° درجه، به مقدار کمتر از ۴۰ درصد در زاویه‌ی پاشش 60° درجه رسیده است. نمودارهای منتج شده از پاشش سوخت در خلاف جهت جریان هوای ورودی در نمودار (۴) آمده است.



نمودار (۴): کسر جرمی موثر در زاویه‌های مختلف پاشش (مخالف با جریان هوای ورودی به سمت خروجی)

۵- نتیجه گیری

با ملاحظه به جداول (۲) و (۳) و همچنین نمودار (۱) تا (۴)، مشهود است که؛ در پاشش سوخت موافق با جریان هوای ورودی، با افزایش زاویه پاشش سوخت، قطر متوسط قطرات افزایش پیدا می‌کند، در حالیکه در پاشش مخالف با جریان هوای ورودی، با افزایش این زاویه، قطر متوسط قطرات کاهش می‌یابد و به طور کلی در پاشش موافق، قطر متوسط قطرات با زاویه پاش سوخت رابطه مستقیم دارد در حالیکه در پاشش مخالف جریان هوای ورودی، قطر متوسط قطرات با زاویه پاش سوخت رابطه معکوس دارد.

در مورد کسر جرمی موثر نیز، در پاشش سوخت موافق با جریان هوای ورودی، با افزایش زاویه پاشش، کسر جرمی موثر کاهش می‌یابد، که علت این امر پاشش در خارج ناحیه گردابه‌های بوجود آمده می‌باشد. در حالت پاشش سوخت، مخالف جریان هوای ورودی نیز، با افزایش زاویه، افزایش کسر جرمی موثر کاهش می‌یابد، علت این امر نیز حضور قطرات سوخت در سقف محفظه احتراق و بالای گردابه‌های تولیدی می‌باشد. با توجه به شرایط مرزی اولیه، و زاویه ورودی هوای جانبی صفر درجه، عمود بر محفظه احتراق، بالاترین مقدار کسر جرمی موثر در حالت پاشش سوخت هم جهت و موازی با زاویه ورودی جانبی و در زاویه صفر درجه پدیدار می‌گردد.

مراجع

- 1- M. Mojtahedpoor, *Effects of Injection Velocity and Entrance Air Flow Velocity on Droplet Sizing in a Duct*, world academy of science, technology and engineering journal, March 2011.
- 2- M. M. Doustdar, M. Mojtahedpoor, *A Numerical Study on the Effects of Injection Spray Cone and Pressure on Propulsive Droplets in A Ramjet*, World Academy of Science, Engineering and Technology Journal, pp. 383-386, April 2011.
- 3- M. M. Doustdar, M. Mojtahedpoor, M Wadizadeh, *Effects of Injection Initial Conditions and Length-To-Diameter Ratio on Fuel Propulsive Droplets Sizing in A Duct*, International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering, New Delhi, India, March 2011.
- 4- M. M. Doustdar, M. Mojtahedpoor, *A Numerical Study of the Effect of Injection Velocity on Fuel Droplets Sizing In A Three-Dimensional Side-Dump Combustor*, Applied Mechanics And Materials, Vol 52-54, pp. 2045-2050, March 2011.
- 5- T. H. Ko, *A Numerical Study on the Effects of Side-Inlet Angle on the Mixing Phenomena in A Three-Dimensional Side-Dump Combustor*, International Communications In Heat And Mass Transfer, Vol 33, Issue 7, pp. 853-862, August 2006.
- 6- T.H. Ko, *Three-Dimensional Fuel-Air Mixing Phenomena in A Side-Dump Combustor: A Numerical Study*, International Communications in Heat And Mass Transfer, Vol 32, Issue 10, pp. 1360-1374, November 2005.
- 7- Tong-Miin Liou, "Some Applications of Experimental and Numerical Visualization in Fluid Flow, Heat Transfer, And Combustion", Experimental Thermal And Fluid Science, Vol 25, Issue 6, pp. 359-375, December 2001.