

بررسی تجربی تاثیر زاویه نازل بر رفتار یک خانواده از انژکتورهای پیچشی

مهدی اشجعی

استادیار گروه مهندسی مکانیک - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

ایرج طنابیان

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۷۶/۱۱/۲۸، تاریخ تصویب ۷۷/۶/۲۸)

چکیده

پودرکردن سوخته‌های مایع به منظور بالابردن بازدهی احتراق در موتورهای همواره مورد توجه صنعتگران بوده است. آنچه در این پژوهش به عنوان هدف دنبال می‌گردد عبارت است از در نظر گرفتن یکی از پارامترهای هندسی انژکتور، زاویه نازل و سپس تاثیر تغییر این پارامتر بر مشخصه های میدان پاشش (از قبیل سرعت مطلق، قطر قطرات [۱]، سرعت محوری، سرعت مماسی سرعت شعاعی) مورد بررسی قرار گرفته است.

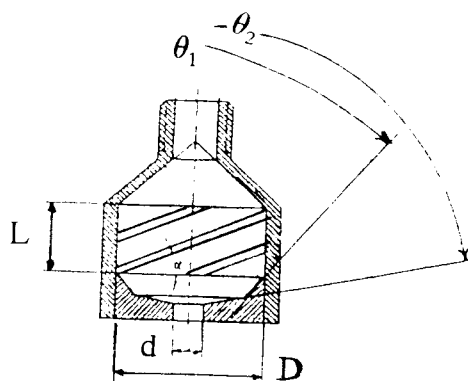
برای اندازه گیری سرعت و قطر قطرات در مخروط پاشش روشهای متفاوتی، تئوری [۲] و تجربی وجود دارد. در آزمایشگاه از طریق اشعه لیزر این کار انجام می‌شود. در این آزمایش از دستگاههای PDA^(۱) استفاده گردیده است. با برخورد نور لیزر، به قطرات آب خارج شده از انژکتور نور متفرق شده و منحرف می‌گردد. این انحراف متناسب با قطر قطره خواهد بود. لذا انژکتورهایی با زاویه نازل متفاوت ساخته شده و در دستگاه PDA قرار داده و مولفه های سرعت و قطر قطرات اندازه گیری می‌شود.

همچنانکه مشاهده خواهد شد با افزایش زاویه کوچک نازل مقدار ماگزیمم سرعت و قطر قطرات آب کاهش می یابد ولی با افزایش زاویه بزرگ نازل، انژکتور با زاویه ۱۴۴ درجه دارای یک ماگزیمم سرعت و قطر نسبت به دیگر انژکتورها خواهد بود.

کلید واژه‌ها: انژکتور پیچشی، نازل، قطر قطره، سرعت، مخروط پاشش، لیزر

مقدمه

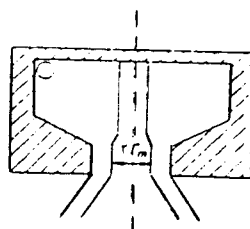
انژکتورهای پیچشی کاربرد وسیعی در محفظه احتراق راکت های سوخت مایع دارند. در این نوع انژکتورها سیال از یک مسیر ماریپیج عبور کرده و یا اینکه بطور شعاعی وارد یک محفظه شده و در داخل محفظه حالت چرخش پیدا می‌کند. پس از آنکه سیال چرخش لازم را انجام داد از نازل به اطراف احتراق یا هوای آزاد پاشیده می‌شود. این انژکتورها خود به دو نوع اصلی تقسیم می‌شوند؛ دسته اول انژکتورهای ماریپیج دار می‌باشند (شکل ۱). در این انژکتور، ورودی سیال (سوخت یا اکسیدکننده) به صورت محوری است. نوع دوم انژکتورها بدون ماریپیج بوده و ورودی سیال در آن به صورت مماسی است (شکل ۲).



شکل ۱: انژکتور پیچشی با ورودی محوری.

پارامترهای مهمی که بر رفتار انژکتورهای پیچشی موثرند شامل مشخصات هندسی انژکتور (قطر ماریپیج D ،

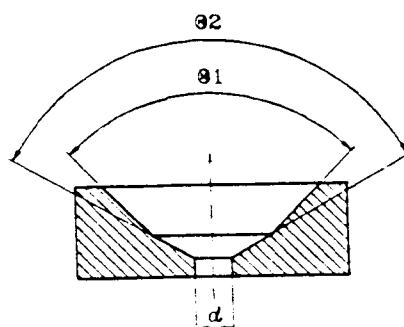
طول ماریچ L ، زاویه ماریچ α قطر سوراخ نازل d [۳]،
 زوایای کوچک و بزرگ همگرایی نازل $\theta_{1,2}$ تعداد راهگانه
 ماریچ N [۴] و نوع سیال (ρ, μ, σ) می باشد.
 در بررسی حاضر، تاثیر زاویه های کوچک و بزرگ
 همگرایی نازل بر رفتار انژکتور پیچشی مورد مطالعه قرار
 گرفته است.



شکل ۲: انژکتور پیچشی با ورودی مماسی.

تاثیر زوایای نازل بر سرعت خروجی از نازل

در زیر شکل شماتیکی از درپوش انژکتور مشاهده
 می فرمایید.



شکل ۳: درپوش انژکتور پیچشی با ورودی محوری.

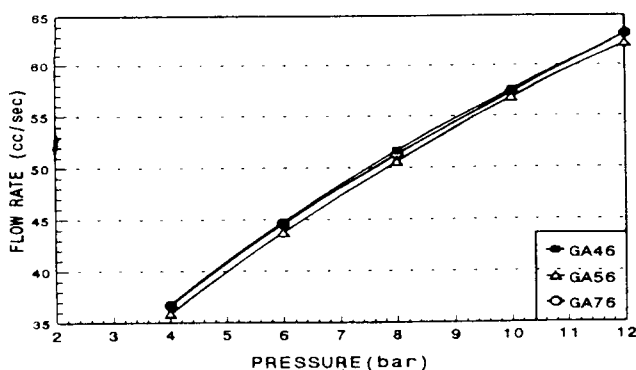
همانطور که در شکل مشخص است با تغییر زوایای
 نازل، سطح مقطع عبوری تغییر می کند، لذا سرعت سیال
 در داخل نازل متفاوت می باشد. از این رو تست
 انژکتورهایی با دبی ثابت و زوایای مختلف بسیار سودمند
 خواهد بود و می توان تاثیر این پارامترها را بر روی رفتار
 انژکتورهای پیچشی سنجید.

مشخصات هندسی انژکتورهای تست شده

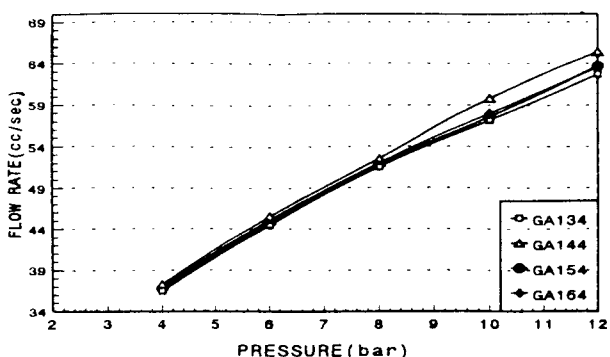
برای انجام این آزمایش دو گروه انژکتور ساخته شده
 است. مشخصات زیر برای همه انژکتورها یکسان هستند:

منحنی های دبی انژکتور برحسب افت فشار

انژکتورهای انتخابی ابتدا تست دبی شده و نتایج آن را
 به صورت نمودارهای تغییردبی برحسب فشار در
 شکل های ۴ و ۵ ملاحظه می کنید. توجه داشته باشید که
 تقریباً تمام منحنی ها بر هم منطبق اند.



شکل ۴: منحنی تغییرات دبی انژکتور با فشار در گروه اول انژکتورها.

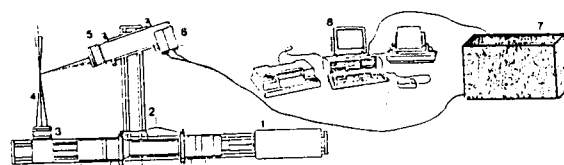


شکل ۵: منحنی تغییرات دبی انژکتور با فشار در گروه دوم انژکتور.

همانطور که مشاهده میشود طبق تئوریهای موجود در
 همه انژکتورها با افزایش فشار ورودی دبی سیال نیز
 افزایش می یابد.

تعیین مشخصه پاشش

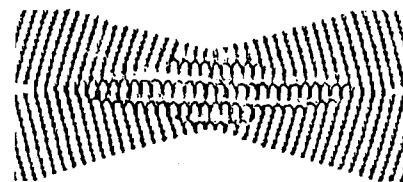
برای تعیین مشخصه پاشش انژکتورهای ساخته شده، از دستگاه PDA (Phase Doppler Anemometry) استفاده شده است (شکل ۶). این دستگاه قادر است دو مولفه سرعت (بطور همزمان) و قطر قطرات را در نقطه‌ای که پرتوهای لیزر به هم برخورد می‌کنند، تعیین نماید [۵].



شکل ۶: شمای دستگاه PDA

- ۱- مولد لیزر
- ۲- انتقال دهنده
- ۳- همگراکننده پرتوها
- ۴- پرتوهای لیزر
- ۵- گیرنده
- ۶- آشکار ساز نوری
- ۷- پردازنده سیگنال
- ۸- کامپیوتر و تجهیزات جانبی

از برخورد دو پرتو لیزر یک بیضی گون (شکل ۷) تشکیل می‌شود که از صفحات تاریک و روشن تشکیل یافته است [۶]. هرگاه قطره‌ای این صفحات تاریک و روشن را قطع نماید فرکانس نور منعکس شده که بوسیله گیرنده دستگاه دریافت می‌شود بیانگر سرعت ذره خواهد بود. هرگاه فرکانس دو پرتور لیزر یکسان باشد صفحات تاریک و روشن ساکن خواهند بود و لذا جهت حرکت ذره با سرعت یکسان لیکن در جهت متقابل، قابل تشخیص نخواهد بود. حال اگر فرکانس یکی از پرتوها را تغییر دهیم صفحات تاریک و روشن، متحرک خواهند شد و جهت حرکت ذره برای دستگاه قابل تشخیص خواهد بود.

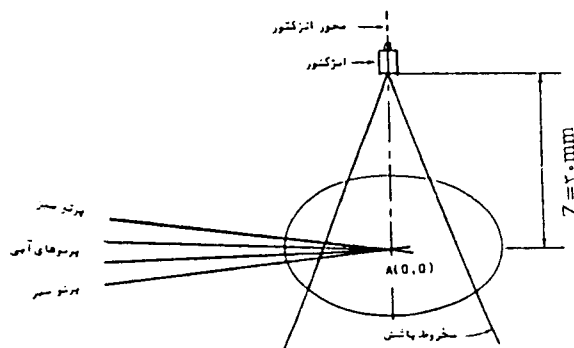


شکل ۷: صفحات تاریک و روشن ناشی از برخورد پرتوهای لیزری

هرگاه در مسیر پرتوهایی که گیرنده دریافت می‌کند دو آشکار ساز نوری در موقعیت زاویه‌ای متفاوت قرار دهیم، هردو آشکار ساز پرتوهایی را از یک ذره دریافت خواهند کرد که دارای فرکانس یکسان بوده لیکن هم‌فاز نیستند. این اختلاف فاز متناسب با قطر قطره است و به این ترتیب دستگاه قادر به تعیین قطر خواهد بود.

روش انجام آزمایش

در هنگام انجام آزمایش تجهیزات ثابت هستند، لیکن انژکتور توسط وسیله‌ای به نام Traversing System در مختصات کارتزین که بوسیله کاربر در ابتدای کار وارد کامپیوتر شده است حرکت می‌کند. در این آزمایش تمام اندازه‌گیریها در فاصله $Z=30\text{mm}$ از محل خروج سیال از انژکتور انجام شده است. در این فاصله قطر دایره اندازه‌گیری در حدود 90mm در نظر گرفته شده تا تمامی مخروط پاشش را دربرگیرد.



شکل ۸: محل تلاقی پرتوهای لیزر، ثابت بوده و انژکتور در صفحه افق جابجا می‌شود.

مشخصه‌های پاشش نسبت به مرکز تقارن A قرینه است، لیکن برای افزایش دقت اندازه‌گیری، برای نقطه‌ای معین روی یک شعاع، میانگین مقادیر مربوط به نقاطی که فاصله شان تا نقطه A به یک اندازه است را به عنوان مشخصه مربوط به آن نقطه در نظر می‌گیریم.

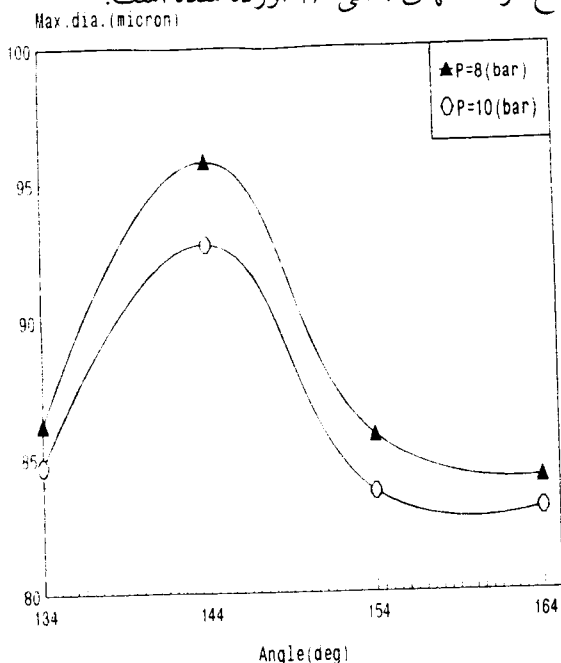
دستگاه مورد نظر دو مولفه سرعت را تعیین می‌نماید. چون این دستگاه در هر لحظه دو مولفه عمود برهم را اندازه‌گیری می‌کند، لذا برای آنکه بتوان مولفه سوم

انژکتور را ۷۲° در یک جهت می چرخانیم و مجدداً مراحل ۱ تا ۶ را تکرار می کنیم.

۸- این عملیات را آنقدر ادامه می دهیم تا انژکتور یک دور کامل چرخیده باشد.

توجه داشته باشید که انژکتور را با زاویه ۷۲° ، پنج مرحله می چرخانیم و در هر مرحله در امتداد دو قطر اندازه گیری انجام می شود تا بتوان برای هر پارامتر اندازه گیری شده، میانگینی از چند عدد داشته باشیم. در هر مرحله اندازه گیری اطلاعات در فایل با نام مشخص ثبت می شود. سپس از مجموعه اطلاعات ثبت شده، برای هر انژکتور و هر مشخصه پاشش، مقادیر مربوط به نقاط همانند (نقاطی که روی دو ایر هم مرکز قرار دارند) را با یکدیگر جمع کرده و میانگین گیری می کنیم.

منحنی تغییرات مشخصه های پاشش در امتداد یک شعاع در شکل های ۹ الی ۲۶ آورده شده است.



شکل ۱۰: منحنی تغییرات ماکزیمم قطر در امتداد شعاع برحسب زاویه θ_2

نتایج

منحنی های مربوط به سرعت شعاعی، محوری و مطلق در صفحات قبل رسم شده اند. به طور کلی این منحنی ها برای ۲ گروه انژکتورها در فشار ۸ و ۱۰ بار رسم شده اند. محور افقی این نمودارها فاصله از مرکز پاشش

سرعت را نیز اندازه گیری کرد انژکتور را توسط سیستم Traverse در دو جهت x و y حرکت می دهیم و روی یک قطر سرعت محوری و سرعت مماسی و روی قطر عمود بر آن سرعت محوری و سرعت شعاعی را اندازه گیری می کنیم.

روش زیر جهت این اندازه گیری تدوین شده است:

۱- ابتدا Traverse را تراز نموده و محور x آن را به موازات پرتوهای لیزر تنظیم می کنیم.

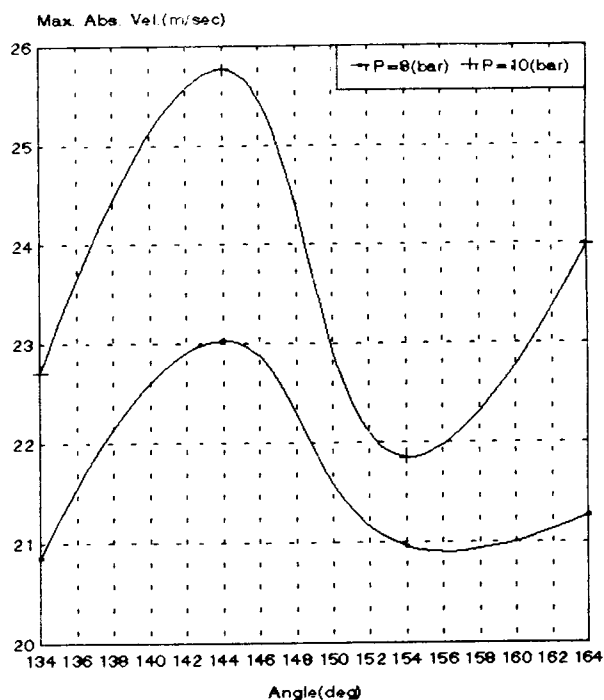
۲- انژکتور مورد نظر را در جای خود می بندیم.

۳- تنظیمات لازم از نظر سخت افزاری و نرم افزاری را روی دستگاه PDA اعمال می کنیم. [۷] و [۸]

۴- توسط یک مخزن آب و کپسول نیتروژن فشار مورد نظر را تنظیم کرده و پاشش را تشکیل می دهیم.

۵- محل تقاطع پرتوهای لیزر را در فاصله ۳۰mm از خروجی انژکتور تنظیم می کنیم.

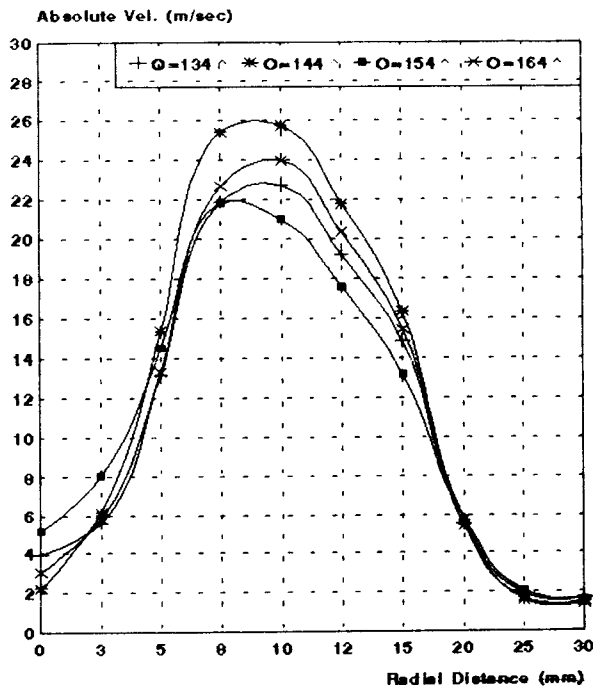
۶- برای ۳۸ نقطه واقع روی قطرهای عمود بر هم (هر قطر ۱۹ نقطه) اندازه گیری را برای ۱۰۰۰ نمونه قطره با هر نقطه انجام می دهیم.



شکل ۹: منحنی تغییرات ماکزیمم سرعت مطلق در امتداد شعاع برحسب زاویه θ_2

۷- پیچ تنظیم نگهدارنده انژکتور را اندکی شل کرده و

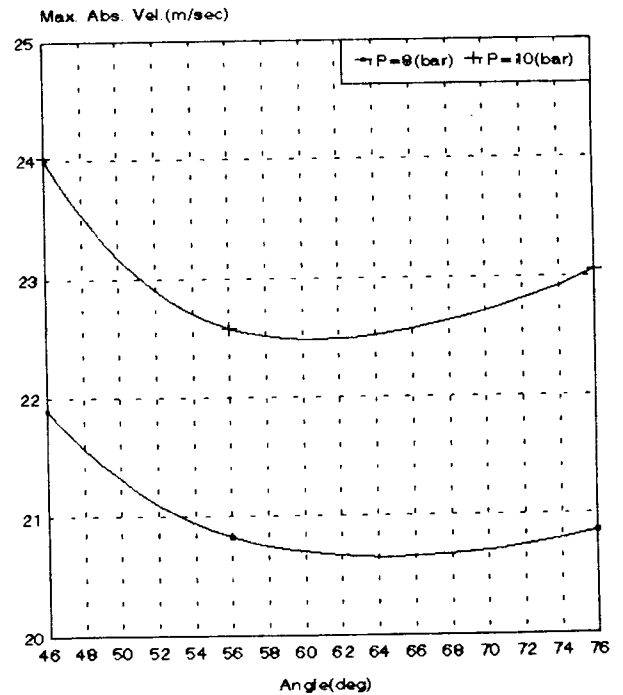
همچنانکه شما در این شکلها مشاهده می فرمایید اولاً مقادیر سرعت شعاعی، مقدار سرعت محوری و سرعت مطلق دارای تغییرات مشابه ای می باشد. ثانیاً در بین انژکتورهای گروه دوم انژکتوری که زاویه θ_2 در آن ۱۴۴ درجه می باشد دارای میدان پاشش با سرعت مطلق (محوری) بیشتری می باشد. این موضوع در شکلهای ۷ و ۸ که نمایشگر تغییرات قطر می باشند نیز مشخص است و انژکتور GA۱۴۴ دارای ذرات با قطر بیشتر می باشد. البته توجه داشته باشید که اکثر تغییرات در نزدیکی یال مخروط پاشش می باشد. در انژکتورهای پیچشی تمرکز ذرات بر روی یال مخروط پاشش بسیار بالا بوده و عملاً تمرکز ذرات در وسط مخروط خیلی کم است. و قطر در مرکز پاشش در حدود ۲۰ میکرون ولی در نزدیکی یال مخروط قطرات درشت تر شده و به حدود ۹۰ میکرون می رسد.



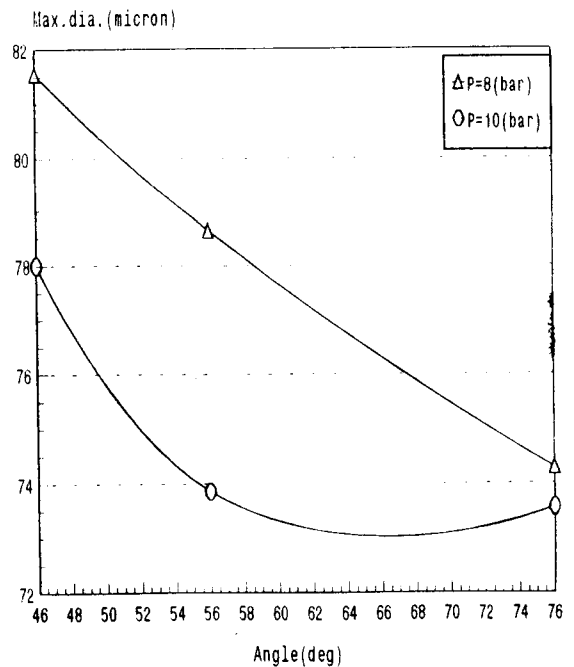
شکل ۱۳: منحنی تغییرات سرعت مطلق در امتداد شعاع برای گروه دوم در فشار ۱۰ بار.

مسئلاً ذرات بزرگتر دارای جرم بیشتری بوده و در اثر چرخش (نیروی گریز از مرکز) به نزدیکی یال میروند. در نزدیک مرکز بعلت وجود منطقه کم فشار هوا و درجه توربولانس بالا مقادیر سرعت نوسان دارد و گاه سرعت (مطلق و محوری) منفی یا مثبت می شود.

روی شعاع می باشد و محور عمودی مقدار سرعت یا قطر در آن نقطه می باشد. نکته قابل اهمیت دیگر آن است که سرعت مطلق از جذر مجموع مربعات سرعت شعاعی و محوری و مماسی بدست آمده است.

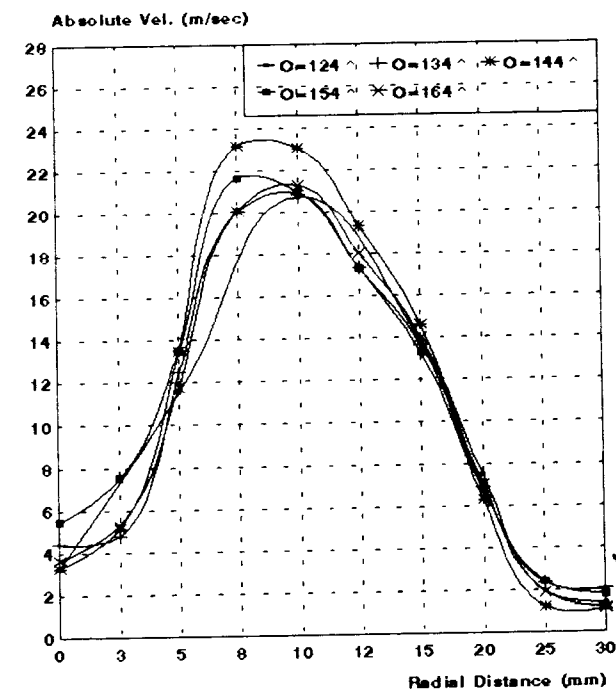
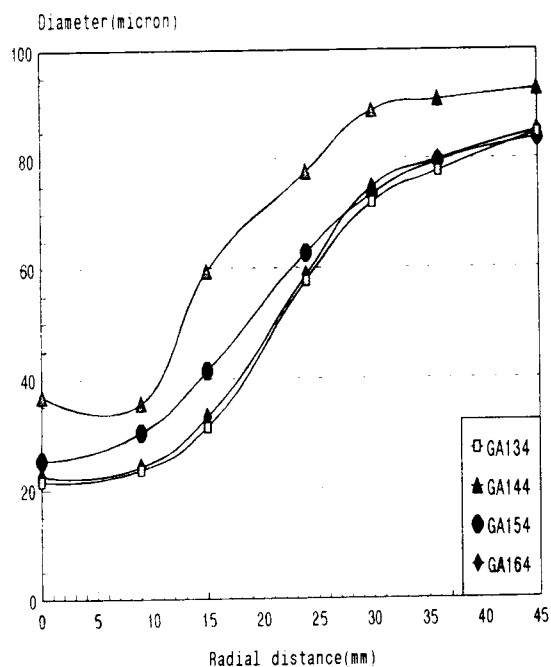


شکل ۱۱: منحنی تغییرات ماکزیمم سرعت مطلق در امتداد شعاع بر حسب زاویه θ_1 .



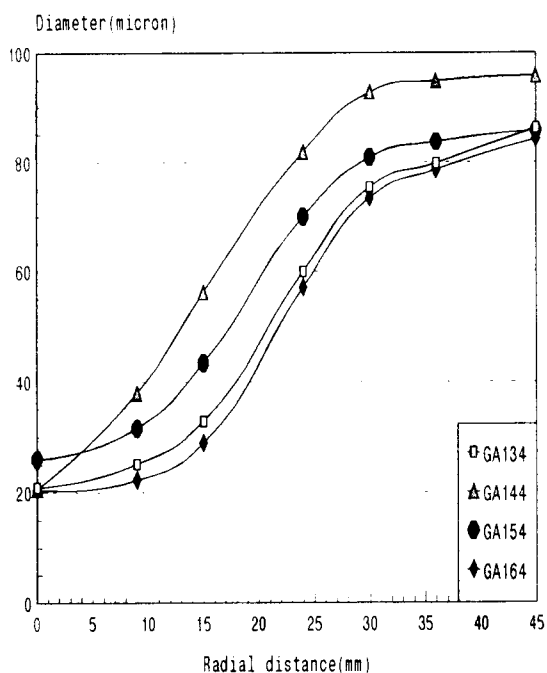
شکل ۱۲: منحنی تغییرات ماکزیمم قطر در امتداد شعاع بر حسب زاویه θ_1 .

می‌یابد. این امر به علت افزایش قدرت گردابه‌ای و گردادیان بیشتر سرعت در مقطع سوراخ می‌باشد.



شکل ۱۴: منحنی تغییرات سرعت مطلق در امتداد شعاع برای گروه دوم در فشار ۸ بار.

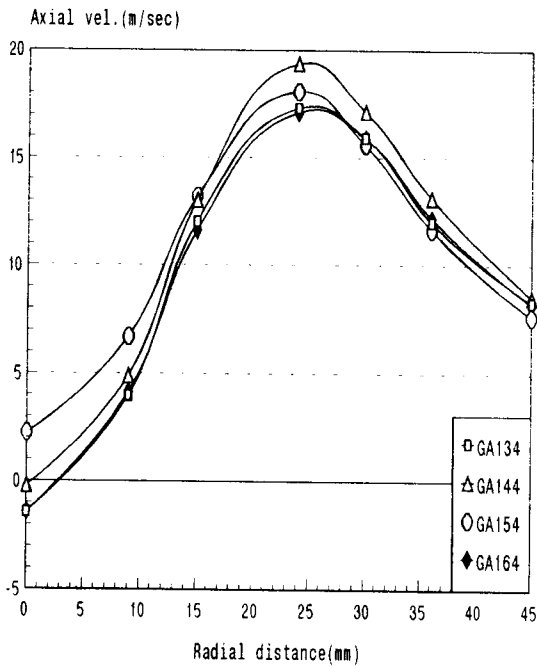
شکل ۱۵: منحنی تغییرات قطر قطرات در امتداد شعاع برای گروه دوم در فشار ۱۰ بار.



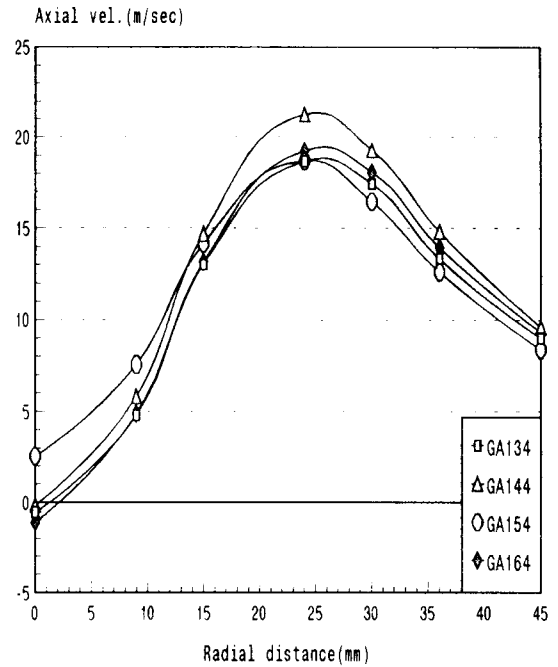
شکل ۱۶: منحنی تغییرات قطر قطرات در امتداد شعاع برای گروه دوم در فشار ۸ بار.

تغییرات ماکزیمم سرعت مطلق و ماکزیمم قطر موجود در طول شعاع برحسب تغییر زاویه برای گروه دوم انژکتورها در شکل‌های ۹ و ۱۰ و گروه اول انژکتورها در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ رسم شده‌اند. در واقع در این منحنی‌ها آنچه که مشخص است زاویه‌ای که دارای ذرات با قطر بیشتر می‌باشد، این قطرات دارای سرعت بیشتری هم می‌باشند (بعلت جرم زیاد و نیروی وزن بیشتر و در نتیجه سرعت در جهت محور بیشتر می‌باشد).

همچنانکه برای گروه دوم بحث و بررسی شد می‌توان در مورد گروه اول انژکتورها نیز بحث و بررسی انجام داد. در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ و ۲۳ و ۲۴ مشاهده می‌فرمایید سرعت مطلق (محوری) در نزدیکی یال مخروط پاشش دارای مقادیر بیشتری است و با تغییر زاویه θ_1 مقدار آن در زاویه ۴۶ درجه ماکزیمم می‌شود. در مورد قطر قطرات نیز در شکل‌های ۲۱ و ۲۲ نیز این موضوع برقرار است و در زاویه ۴۶ دارای قطر قطرات بیشتری هستیم. تغییرات ماکزیمم سرعت و قطر برحسب تغییر زاویه θ_1 در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ رسم شده‌اند. مشاهده می‌شود که با افزایش زاویه θ_1 مقدار ماکزیمم سرعت و قطر قطرات نیز کاهش



شکل ۱۸: منحنی تغییرات سرعت محوری در امتداد شعاع برای گروه دوم در فشار ۸ بار.

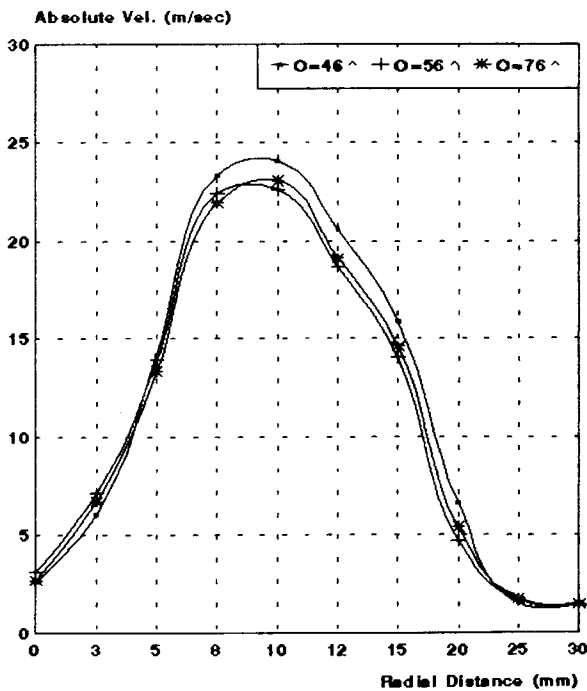


شکل ۱۷: منحنی تغییرات سرعت محوری در امتداد شعاع برای گروه دوم در فشار ۱۰ بار.

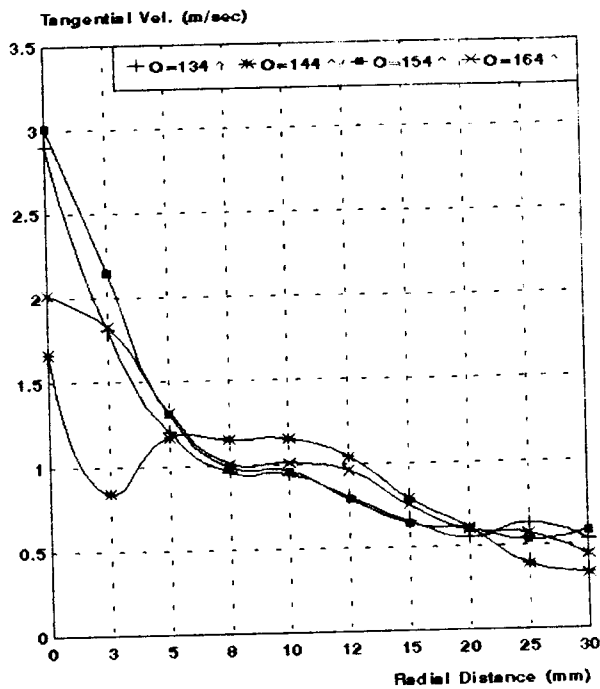
نتیجه گیری کلی

همچنانکه از نمودارها و نتایج مشخص است برای بدست آوردن یک نتیجه محکم و استوار باید محدوده تغییرات در این محدوده را بیشتر کرده و سپس توانست روند پدیده تغییرات سرعت و قطر قطرات را مشاهده کرد. ولی با توجه به همین نتایج می توان گفت که در مقدار سرعت مطلق سهم سرعت محوری، بیشتر از دیگر سرعتهاست.

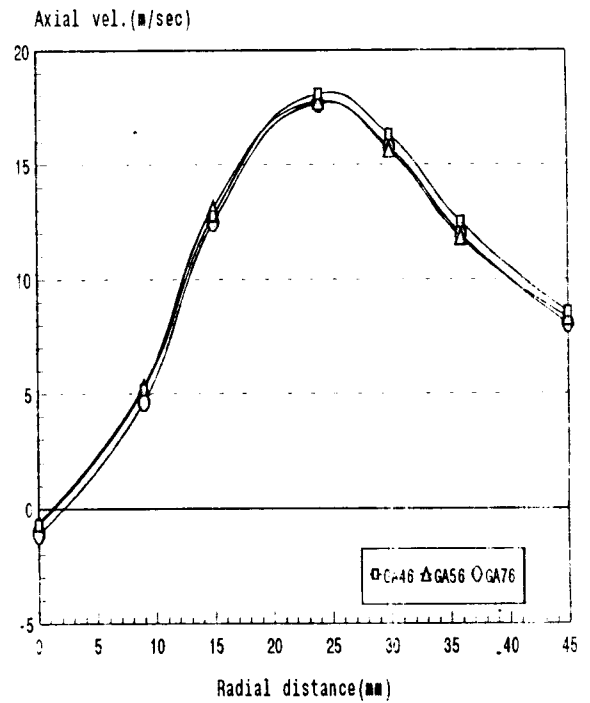
تأثیر تغییرات زاویه θ_2 (زاویه بزرگ) نسبت به زاویه θ_1 (زاویه کوچکتر) خیلی بیشتر میشود. بطور مثال تغییرات ماگزیمم سرعت مطلق بر حسب زاویه θ_2 در حدود ۴ متر بر ثانیه ولی در مورد زاویه θ_1 ، ۱/۵ متر بر ثانیه است. با توجه به مطالب گفته شده، اگر موضوع انتخاب انژکتور مناسب برای استفاده در طراحیها باشد، بستگی به نظر طراح دارد زیرا یا باید از نظر سرعت بیشتر و قطر بزرگتر و کار ساخت کمتر و یا از نظر قطر ریزتر و سرعت کمتر و کار ساخت بیشتر، انژکتورها را مقایسه کرد.



شکل ۱۹: منحنی تغییرات سرعت مطلق در امتداد شعاع برای گروه اول در فشار ۱۰ بار.



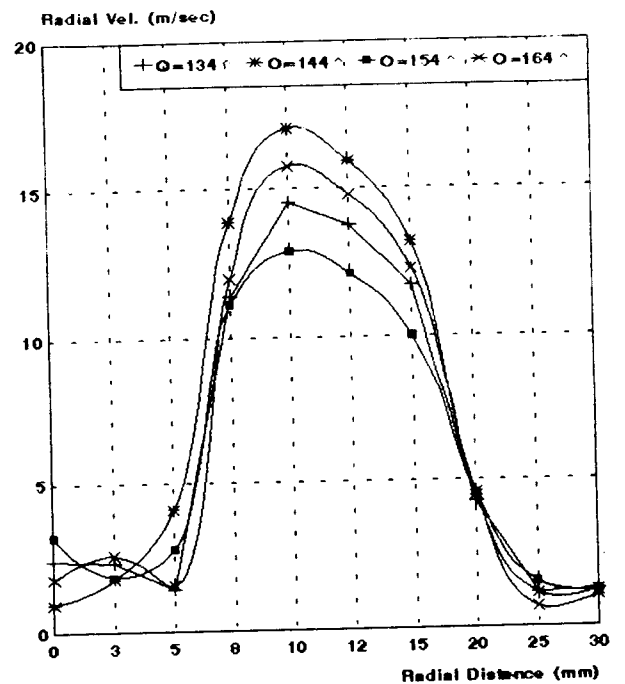
شکل ۲۶: منحنی تغییرات سرعت مماسی در امتداد شعاع برای گروه دوم در فشار ۱۰ بار.



شکل ۲۴: منحنی تغییرات سرعت محوری در امتداد شعاع برای گروه اول در فشار ۸ بار.

فهرست علائم

- D قطر ماریچ (میلیمتر)
- α زاویه ماریچ (درجه)
- d قطر سوراخ نازل (میلیمتر)
- θ_1 زاویه کوچک همگرایی نازل (درجه)
- L طول ماریچ (میلیمتر)
- θ_2 زاویه بزرگ همگرایی نازل (درجه)
- N تعداد راهگاه ماریچ
- ρ دانسیته سیال (kg/m^3)
- q دبی سیال (سانتیمتر مکعب بر ثانیه)
- μ ویسکوزیته سیال ($N \cdot Sec/m^2$)
- r_m شعاع حفره هوایی (میلیمتر)
- σ کشش سطحی سیال (N.m)
- Z فاصله صفحه اندازه گیری از خروجی انژکتور (میلیمتر)



شکل ۲۵: منحنی تغییرات سرعت شعاعی در امتداد شعاع برای گروه دوم در فشار ۱۰ بار.

مراجع

Liquid Atomization and Spray System, June 20-24.

- 2 - Ashgriz, N. "Performance Characteristics of Centrifugal or Swirl - Type Pressure Nozzles." Buffalo NY 14260
- ۳ - اشجعی، م. دادرس، ح. "بررسی تجربی تأثیر قطر سوراخ بر میدان پاشش در انژکتورهای پیچشی." چهارمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک، دومین کنفرانس بین المللی مهندسی مکانیک، شیراز اردیبهشت، (۱۳۷۵)، ۱۳۵ - ۱۴۲، مجموعه مقالات.
- ۴ - افشارزاده، ن. "بررسی تجربی تأثیر تعداد راهگاه و طول مارپیچ بر میدان پاشش، در انژکتورهای پیچشی." دانشگاه تهران (۱۳۷۶ - ۱۳۷۵).
- 2- PDA User's Manual, Dontec Measurement Technology (1992).
- ۶ - دادرس، ح. "بررسی تجربی تأثیر پارامترهای هندسی انژکتورهای پیچشی بر میدان پاشش بوسیله دستگاه لیزری PDA." (۱۳۷۴ - ۱۳۷۵).
- 7- SIZE Ware. (1992). "Instalation and User Guide, Dontec Measurement Technology."
- 8- FIBER Flow. (1992). "Instalation and User Guide, Dontec Measurement Technology."