نشریه بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، شماره ۳، جلد ۱۹، پاییز ۱۳۸۷، صفحه ۱۲۱-۱۱۳
ویژه‌نامه مهندسی مکانیک

بررسی تجربی تاثیر پارامترهای هندسی انژکتور پیچشی بر عملکرد آن با استفاده از سیستم PDA

کریم کاظمی و کریم مظاهری

چکیده: کیفیت اسپری به خواص سیال، شرایط محیطی و نوع پودرکننده بستگی دارد. در این مقاله با استفاده از سیستم PDA (Phase Doppler Anemometer) تأثیر پارامترهای هندسی یک انژکتور پیچشی بر روی اندازه و سرعت قطرات اسپری مورد مطالعه قرار گرفته و با اندازه‌گیری‌های انجام یافته مشخص می‌شود که تغییر هر یک از اندازه‌های ابعادی انژکتور پیچشی چه تأثیری بر سرعت و اندازه قطرات می‌گذارد. بدین ترتیب می‌توان در طراحی و آزمایشهای عملکردی، راهکاری برای انجام اصلاحات در دست داشت و همچنین بانک اطلاعات تدوین شده می‌تواند برای کالیبراسیون نرم‌افزارهای طراحی انژکتور مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اسپری، انژکتور پیچشی، PDA ، قطر، سرعت، پارامترهای هندسی، قطرات

۱. مقدمه

برای داشتن یک احتراق کامل در موتورهای موشک و توربینی لازم است سوخت به صورت کامل پودر شده و یک مخلوط همگن سوخت و اکسیدکننده داشته باشیم. انژکتور پیچشی از جمله پودرکننده‌هایی است که یک پاشش مطلوب و همگنی را به وجود می‌آورد. یک نمونه از این انژکتور در شکل ۱ دیده میشود .مطالعه مشخصات اسپری با استفاده از فیزیک لیزر یکی از پیشرفته‌ترین روشها به شمار می‌رود و با استفاده از سیستم PDA می‌توان دینامیک قطرات را مورد مطالعه قرار داد[۱،۲،۳]. از آنجاییکه این روش هیچگونه اغتشاشی روی میدان پاشش به وجود نمی‌آورد .هنوز یکی از بهترین و مطلوبترین روشهای اندازه‌گیری دینامیک ذرات و بررسی کیفیت میدان اسپری محسوب می‌شود. بررسی‌های زیادی روی انواع پودرکننده به خصوص پودرکننده پیچشی انجام گرفته که می‌توان به مطالعات C. J. Bates [۴] در بررسی تأثیر فشار بر پودر شدن سیال و مطالعات Zhao, Li & Chin [۵] بصورت تجربی و تحلیلی دینامیک قطرات با انژکتور پیچشی با استفاده از PDA ، اشاره نمود. همچنین Dorfner [۶] تأثیر لزجت در انژکتورهای پیچشی را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفت که افزایش لزجت، باعث افزایش اندازه قطرات می‌شود. از بین محققین کسانی مثل Hay, Jones [۷] تأثیر قطر نازل بر روی نفوذ را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که با افزایش قطر نازل، نفوذ افزایش پیدا می‌کند زیرا قطر قطرات زیاد شده و قطرات بزرگتر دارای انرژی جنبشی بیشتری هستند. همچنین Bucco و Reitz[۸] روی طراحی بهینه نازل تحقیقاتی انجام داده و پارامترهای مؤثر بر کیفیت بهتر اسپری را مورد بررسی قرار داده‌اند Yule و همکارانش [۹] بررسی مشابه تحقیق صورت گرفته در این مقاله انجام داده‌اند، اگرچه انژکتور مورد استفاده ایشان از نوع پیچشی بوده است ولی نوع آن با نوع انژکتور مورد استفاده در این تحقیق تفاوت دارد ولی نتایج کلی کاملا همخوانی دارد. Ramamuthi و همکاران [۱۰] نیز دو نوع انژکتور پیچشی سیلندری (Angular Orifice) را مورد بررسی قرار داده که مقایسه دو نوع انژکتور پیچشی با مارپیچ و انژکتور پیچشی محوری بوده و افت فشاری که هر کدام ایجاد می‌کنند بیشتر مد نظر بوده است. Wany و همکارش Lefebvre [۱۱] کارهای زیادی به صورت تجربی انجام

این مقاله در تاریخ ۸۵/۲/۱۰ دریافت و در تاریخ ۸۶/۸/۲۳ به تصویب نهایی رسیده است.

کریم کاظمی، دانشجوی دکتری رشته هوافضا دانشگاه صنعتی شریف
kazemi_phd@yahoo.com
دکتر کریم مظاهری، استاد دانشگاه صنعتی شریف، mazaheri@sharif.ir

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

داده اند، که عمدتاً ارتباط قطر متوسط قطرات با افت فشار و خواص سیال را بیان نموده‌اند.

Mao و همکارانش [۱۲] نزدیک نیم قرن است که روی اتمیزاسیون انواع سیال کار می‌کنند. این افراد را می‌توان جزء پیشکسوتان این تحقیقات به شمار آورد. بررسی انجام پذیرفته توسط افراد زیر نیز کمک زیادی برای آزمایشات و نتایج به دست آمده این تحقیق نموده است. Chaney و همکاران ایشان [۱۳] که در رابطه با مدل‌کردن اسپری فعالیت نموده‌اند، J. Ortman و همکار ایشان H Lefebvre[۱۴] در زمینه توزیع ذرات سوخت و آقای ک. قربانیان و تیم همراهش [۱۵] در رابطه با انژکتور پیچشی کارهای مختلفی انجام داده‌اند. در تحقیقات و بررسی‌های انجام شده فوق عمدتاً به بررسی مکانیزم تأثیر فشار، خواص سیال، شرایط محیطی، تغییر قطر نازل و ... پرداخته شده است ولی تأثیر تغییر تمام پارامترهای هندسی یک انژکتور کمتر بررسی شده است. هر چند مطالعات فوق در طراحی سامانه های کنترلی موتورهای مربوطه بسیار مفید می‌باشند و می‌توان با تغییرات هندسی مناسب راه حل‌های بهینه‌ای در طراحی سامانه کلی موتور از نظر اندازه کلی، راندمان و پایداری احتراق ایجاد نمود.

۲. آزمایش و تجهیزات بکارگرفته شده

در این تحقیق، پارامترهای هندسی شکل ۱ تک تک تغییر داده و تأثیر آن را در اندازه و سرعت قطرات بررسی شده است. در شکل ۱ انژکتور مورد بررسی شامل ۳ قسمت بدنه، قطعه مارپیچ و نازل خروجی نشان داده شده است. نتایج تغییرات انجام شده در قطر نازل، زاویه آن و عمق شیار قطعه مارپیچ در بخش ۶ مقاله آورده شده است. پارامترهایی که تغییر داده شده و مورد آزمایش قرار گرفته‌اند عبارتند از:

جدول۱. بررسی تأثیر قطر خروجی انژکتور بر سرعت و اندازه قطرات

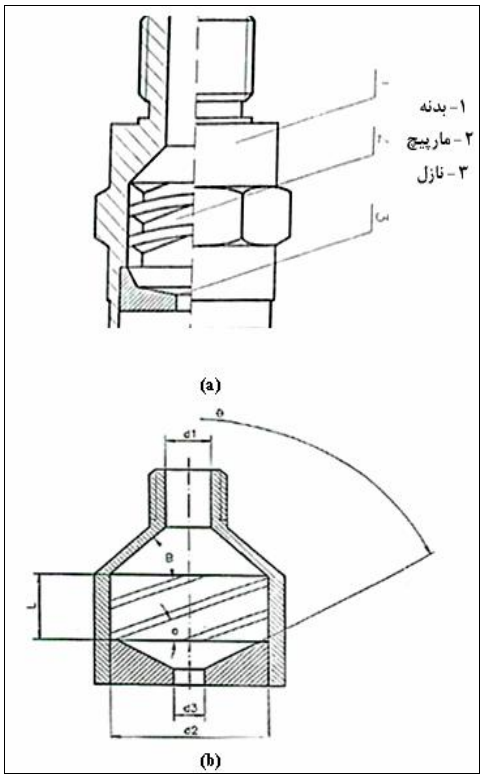
شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵
پارامتر تغییر داده شده[mm] d_3	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۴

جدول۲. بررسی تأثیر تغییر عمق شیار مارپیچ بر سرعت و اندازه قطرات

شماره آزمایش	۱	۲	۳
پارامتر تغییر داده شده [mm] h	۰/۵	۱	۱/۵

جدول ۳. بررسی تاثیر زاویه ورودی نازل

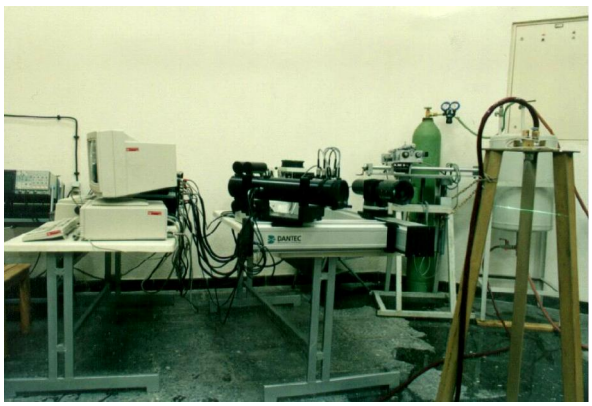
شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴
پارامتر تغییر داده شده $2\theta^o$	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰



شکل ۱. انژکتور پیچشی

a) نمای بیرونی و برش خورده b) شمای داخلی

در ابتدا برای انژکتور تغییر داده شده دبی‌سنجی شده و سپس زاویه مخروط پاشش با دوربین عکس‌برداری دیجیتال اندازه‌گیری می‌گردد و در آزمایش انتهایی، قطر و سرعت قطرات با سیستم PDA اندازه‌گیری شده‌اند که در اینجا به خاطر اهمیت موضوع، سیستم PDA توضیح داده می‌شود. در شکل ۲ نمایی از چیدمان آزمایشگاه و در شکل ۳ شماتیک آن نشان داده شده است.



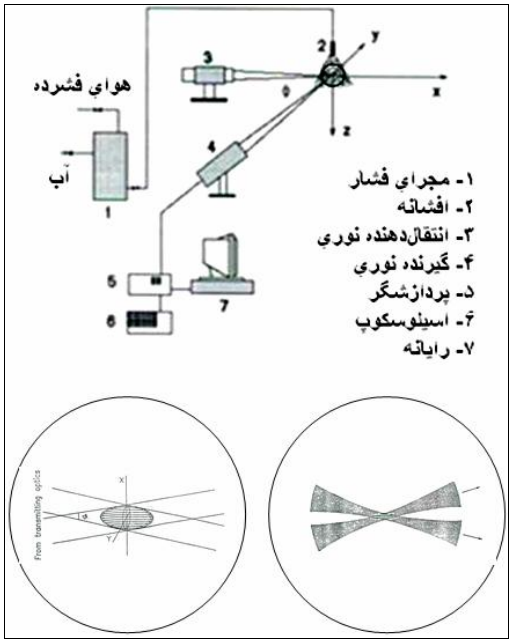
شکل۲. چیدمان آزمایشگاه و سیستم PDA

۲-۱. اجزاء سیستم PDA

اجزاء سیستم PDA شامل ۳ قسمت اصلی به علاوه متعلقات اضافی به شرح زیر می‌باشد:

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

a) اجزاء اپتیکی شامل تولیدکننده و انتقال‌دهنده نور لیزر[1] و قسمت دریافت‌کننده[2]
b) پردازنده سیگنال[3]
c) کامپیوتر
d) متعلقات



شکل ۳. چیدمان شماتیک سیستم PDA

منبع نوری سه دسته نور متفاوت به صورت زیر تولید می‌کند:

- نور سبز با طول موج 514.5 میکرون برای اندازه‌گیری سرعت محوری و قطر قطرات
- نور آبی با طول موج 408 میکرون برای اندازه‌گیری سرعت شعاعی
- نور بنفش با طول موج 476.5 میکرون برای تنظیمات لازم از جمله تشکیل حجم اندازه‌گیری و مقطع آزمایش

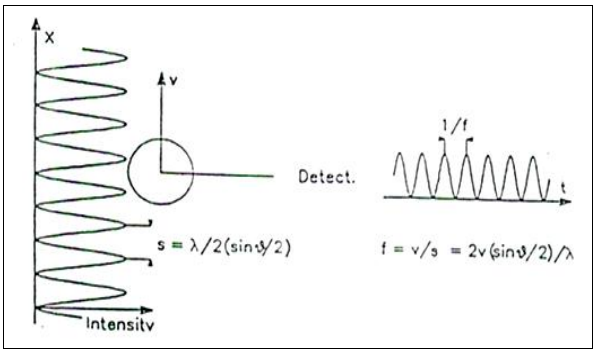
نورهای سبز و آبی رنگ با گذشتن از تقسیم‌کننده به دو دسته تقسیم می‌شوند و با گذر از یک عدسی، همدیگر را در یک نقطه قطع کرده و تشکیل حجم اندازه‌گیری (fringe) را می‌دهند. (شکل۳) با گذشتن ذره از این حجم اندازه‌گیری، سرعت و قطر آن اندازه‌گیری می‌شود.

۳. اندازه‌گیری سرعت قطره

مطابق شکل۴ وقتی قطره از حجم اندازه‌گیری عبور می‌کند، آشکار کننده انعکاس نور انرا دریافت می‌کند. فرکانس نور منعکس شده از قطره، با سرعت آن متناسب است و این تناسب با رابطه زیر بیان می‌گردد:

$$V = f.s = f.\lambda / 2Sin(\gamma/2) \qquad (۱)$$

که در رابطه (۱)، (v) سرعت قطره ، f فرکانس انعکاس یافته، s ضخامت لایه‌های تاریک و روشن، λ طول موج نور لیزر و γ زاویه برخورد دو پرتو نور لیزر می‌باشد. جهت حرکت قطره با شیفت دادن یکی از پرتوهای نور که باعث حرکت فرنچها می‌شود، قابل تشخیص است.



شکل۴. روش اندازه‌گیری سرعت قطره

۴. اندازه‌گیری قطر قطره

سیستم PDA پیشرفته‌تر از سیستم LDA[4] بوده و توانایی اندازه‌گیری قطر قطرات را نیز دارد که روش آن به شرح زیر می‌باشد:

مطابق شکل ۵ اگر دریافت‌کننده‌های نورهای انعکاس یافته را در دو زاویه مختلف قرار داده شود، دو پرتو دریافت شده توسط دو آشکارکننده، اختلاف مسیر اپتیکی خواهند داشت و این اختلاف مسیر اپتیکی باعث ایجاد اختلاف فاز مطابق رابطه (۲) می‌شود.

$$\phi_{12} = 2\pi\, f\, \Delta t \qquad (۲)$$

این اختلاف فاز متناسب با قطر قطره خواهد بود. هرچه قطر قطره بزرگتر باشد، اختلاف فاز ایجاد شده بیشتر خواهد بود، رابطه (۲) را به صورت زیر می‌نویسیم:

$$\phi_i = \alpha B_i \qquad (۳)$$

که در آن:

$$\alpha = \left(n_1/\lambda\right) D \qquad (۴)$$

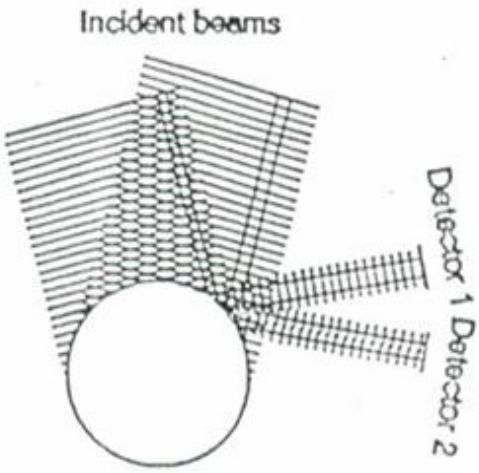
در رابطه ۴، D قطر قطره و n_1 ضریب پراکندگی محیط و λ طول موج نور لیزر در خلأ می‌باشد و B_i فاکتور هندسی انعکاس اول است که با رابطه زیر مشخص می‌شود [۲]:

[1] *Laser and Transmitter System*
[2] *Receiving System*
[3] *Signal Processing*
[4] *Laser Doppler Anemometer*

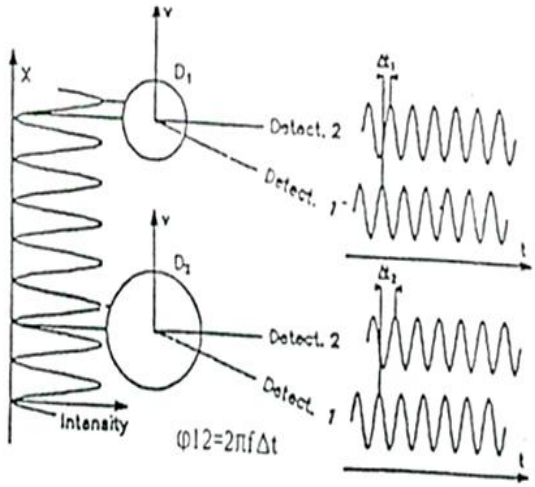
[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

$$B_i = \sqrt{2}.\left\{\sqrt{1+Sin\frac{\gamma}{2}.Sin\varphi_i.Sin\psi_1 - Cos\frac{\gamma}{2}.Cos\varphi_i} - \sqrt{1-Sin\frac{\gamma}{2}.Sin\varphi_i.Sin\psi_1 - Cos\frac{\gamma}{2}.Cos\varphi_i}\right\} \quad (۵)$$

در رابطه (۵)، φ_i زاویه پراکندگی، ψ_i زاویه چرخش دریافت‌کننده نور و γ زاویه برخورد دو نورکه تشکیل فرنج را می‌دهند، می‌باشد.



a) انعکاس و دریافت نور از دو آشکارساز در دو موقعیت مختلف



b) اختلاف فاز مختلف برای دو قطره با اندازه‌های مختلف

شکل ۵. چگونگی اندازه‌گیری قطر قطره

۵. روش انجام آزمایش

انژکتور مورد نظر به فیکسچری که ساخته شده است بسته و ابتدا سلامت و صحت کارکرد مسیرهای جریان مورد بررسی قرار می‌گیرد، سپس دمای آب، محیط، فشار تانک و فشار محیط ثبت می‌گردد که این مقادیر لازم است در طول آزمایش ثابت بماند. مرحله بعدی تنظیم دستگاه است که تشکیل حجم اندازه‌گیری (fringe) مهم‌ترین تنظیم در این آزمایش می‌باشد. مقطع اندازه‌گیری با استفاده از میز خودکار تنظیم‌شده، پس از آن اسپری مورد نظر تشکیل و اندازه‌گیری شروع می‌شود.

برای اندازه‌گیری بهتر است چندین بار یک آزمایش تکرار شود و اطلاعات به دست آمده با همدیگر مقایسه گردد و در شرایط یکسان نباید اختلاف زیادی در اطلاعات وجود داشته باشد. پس از اطمینان از تمام موارد، فشار مورد نظر را تنظیم و توسط میز متحرک سه بعدی نمونه‌برداری طی چند مرحله انجام و در کامپیوتر ذخیره شده و پس از اطمینان از نمونه‌برداری، آزمایش خاتمه یافته و انژکتور را عوض کرده و آزمایش با انژکتور دیگر که تمام ابعاد آن بجز یک پارامتر ثابت مانده است، تکرار می‌شود. هدف اندازگیری در این آزمایش، بررسی تاثیر تغییر پارامترهای هندسی بر کیفیت میدان پاشش می‌باشد، لذا در تمام انژکتورها تمام شرایط دیگر به خصوص فشار و مقطع اندازه‌گیری باید ثابت باشد. در این آزمایش‌ها فشار 2.5 (bar) و مقطع اندازه‌گیری 3.5 سانتیمتر از نوک نازل انتخاب شده است که البته در تحقیقات بعدی آزمایشات در فشارها و در مقاطع مختلف انجام پذیرفته که به خاطر حجم زیاد در این مقاله ارائه نشده است.

۶. نتایج آزمایشات

با توجه به توضیحات داده شده، سه دسته آزمایش انجام گرفته که نتایج آنها در اینجا بررسی می‌شود.

دسته اول، ۵ انژکتور که قطر ورودی آنان متفاوت بوده است، مطالعه شده‌اند. نتایج مطالعات در شکل۶ آمده است. با توجه به شکل۶ ملاحظه می شود که با افزایش قطر خروجی نازل:

- قطر قطرات زیادتر می‌شود (فشار ثابت). با توجه به شکل ۶-e ازدیاد قطر نازل به اندازه قطرات خطی بوده ولی هر چه قطر نازل زیادتر میشود شیب منحنی زیاد شدن قطرات بیشتر می‌شود.
- سرعت محوری کم و سرعت شعاعی زیاد می‌شود.
- دبی خروجی زیاد شده ولی ازدیاد قطر خروجی با زیاد شدن اندازه قطرات خطی نیست.
- زاویه پاشش زیادتر شده و در قطرهای بالای نازل، شیب منحنی زیاد شدن زاویه پاشش تندتر است.
- اگر نتایج به دست آمده را با رابطه تجربی ارائه شده در مرجع [۹] مقایسه کنیم، مشاهده می‌شود با نتایج همخوانی دارد.

دسته دوم، آزمایش تغییر زاویه ورودی ارفیس با توجه به شکل ۷ با افزایش زاویه θ نتایج زیر حاصل می‌گردد:

- قطر قطرات زیاد می‌شود.
- دبی خروجی زیاد می‌شود.
- زاویه پاشش تا زاویه $2\theta = 100$ زیاد می‌شود و پس از آن کاهش می یابد و به عبارتی در زاویه $\theta = 50$ ماکزیمم زاویه مخروط پاشش را دارد.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

- سرعت محوری و شعاعی زیاد می‌شود.
- در فواصل دور از دهانه، سرعت محوری مستقل از زاویه θ می‌باشد. برای سرعت شعاعی، در نزدیکی دهانه مستقل از θ و در نواحی دور با ازدیاد θ، زیاد می‌شود.

دسته سوم، افزایش عمق شیار مارپیچ، (شکل ۸) که نتایج زیر حاصل شد:

- دبی افزایش پیدا می‌کند.
- قطر قطرات زیاد می‌شود.
- سرعت محوری و شعاعی زیاد می‌شود.
- زاویه پاشش تا عمق $h = 1mm$ زیاد می‌شود و پس از آن کاهش می یابد.

با توجه به اینکه با افزایش طول مارپیچ افت زیاد و دبی به شدت کم می‌شد، لذا پیش‌بینی می‌شود که با افزایش طول مارپیچ، دبی، قطر قطرات، سرعت‌های محوری و شعاعی و همچنین زاویه مخروط پاشش کم می‌شوند.

۷. نتایج کلی

با توجه به مطالب بخش ۶، می توان نتایج کلی را به شرح جدول۱ نشان داد.

جدول ۱. خلاصه‌ای از نتایج تمام آزمایشات

مشخصات / ازدیاد پارامتر هندسی	دبی	قطر قطرات	زاویه مخروط پاشش	سرعت محوری	سرعت شعاعی	نفوذ اسپری
قطر خروجی نازل (d_3)	Up	Up	Up	down	Up	Up
زاویه داخلی خروجی θ	Up	Up	Up-down	Up	Up	Up
عمق شیار (h)	Up	Up	Up-down	Up	Up	Up

بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت:

- قطر قطرات از مرکز اسپری به خارج آن افزایش دارد.

سرعت محوری در مرکز اسپری زیاد و در کناره‌های اسپری کمتر می‌شود.

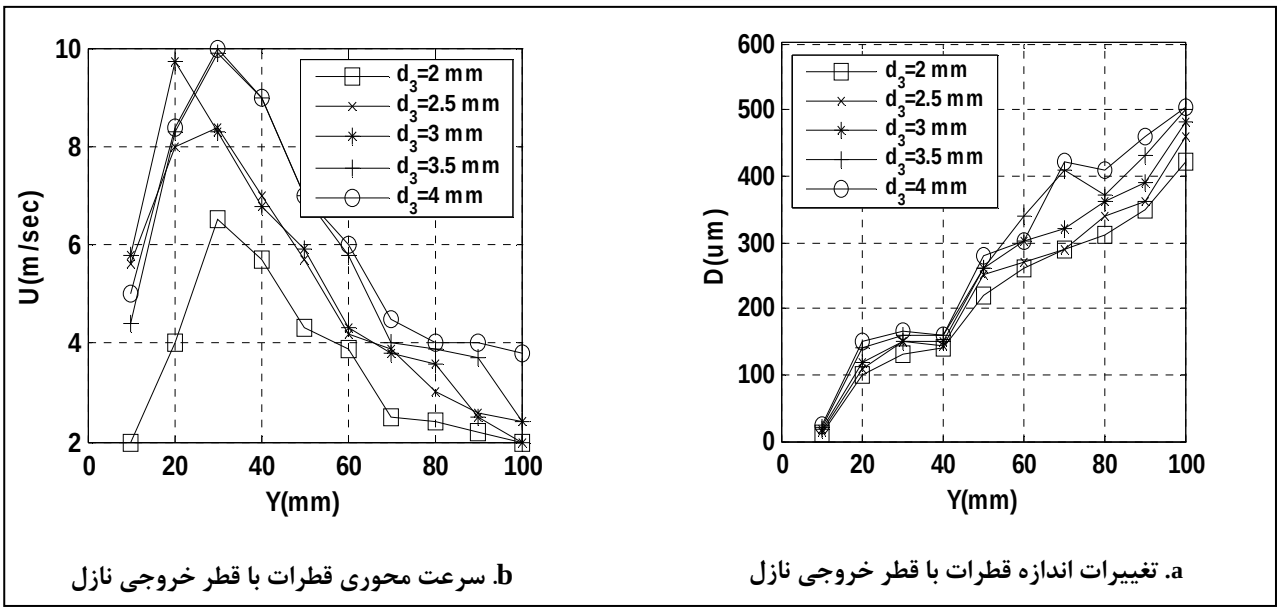
- سرعت شعاعی در مرکز اسپری زیاد و در کناره‌ها تقریباً ثابت است.
- قطر قطرات با ازدیاد فشار کمتر می‌گردد.
- زاویه پاشش با ازدیاد فشار زیادتر می‌شود.

۸. جمع بندی

در این مقاله اثر سه پارامتر هندسی بر عملکرد یک پاشنده پیچشی که در موتورهای هوافضایی کاربرد دارد حول شرایط نامی مرسوم در صنعت هوافضا بررسی شده است.

این مطالعات از چند جهت دارای اهمیت می‌باشند که به آنها اشاره می‌شود:

- در طراحی موتورهای هوافضایی می‌توان به کمک اطلاعات تدوین شده به سهولت پیشنهاداتی برای اصلاح عملکرد موتور در راستای بهینه سازی یا رفع مشکلات ارایه نمود.
- در صورتی که در آزمایشات عملکردی مشکلاتی مشاهده شود می‌توان به علل هندسی یا ساختمانی احتمالی (خطاهای ساخت) آن پی برد.
- مجموعه اطلاعاتی حاضر می‌تواند به عنوان یک پایگاه داده برای مقایسه نتایج شبیه سازی‌ها و تأیید آن مورد استفاده قرار گیرد.
- با توجه به اطلاعات فوق و استفاده از روش شبکه‌های عصبی[1] می‌توان رفتار انژکتور را پیش‌بینی کرد.

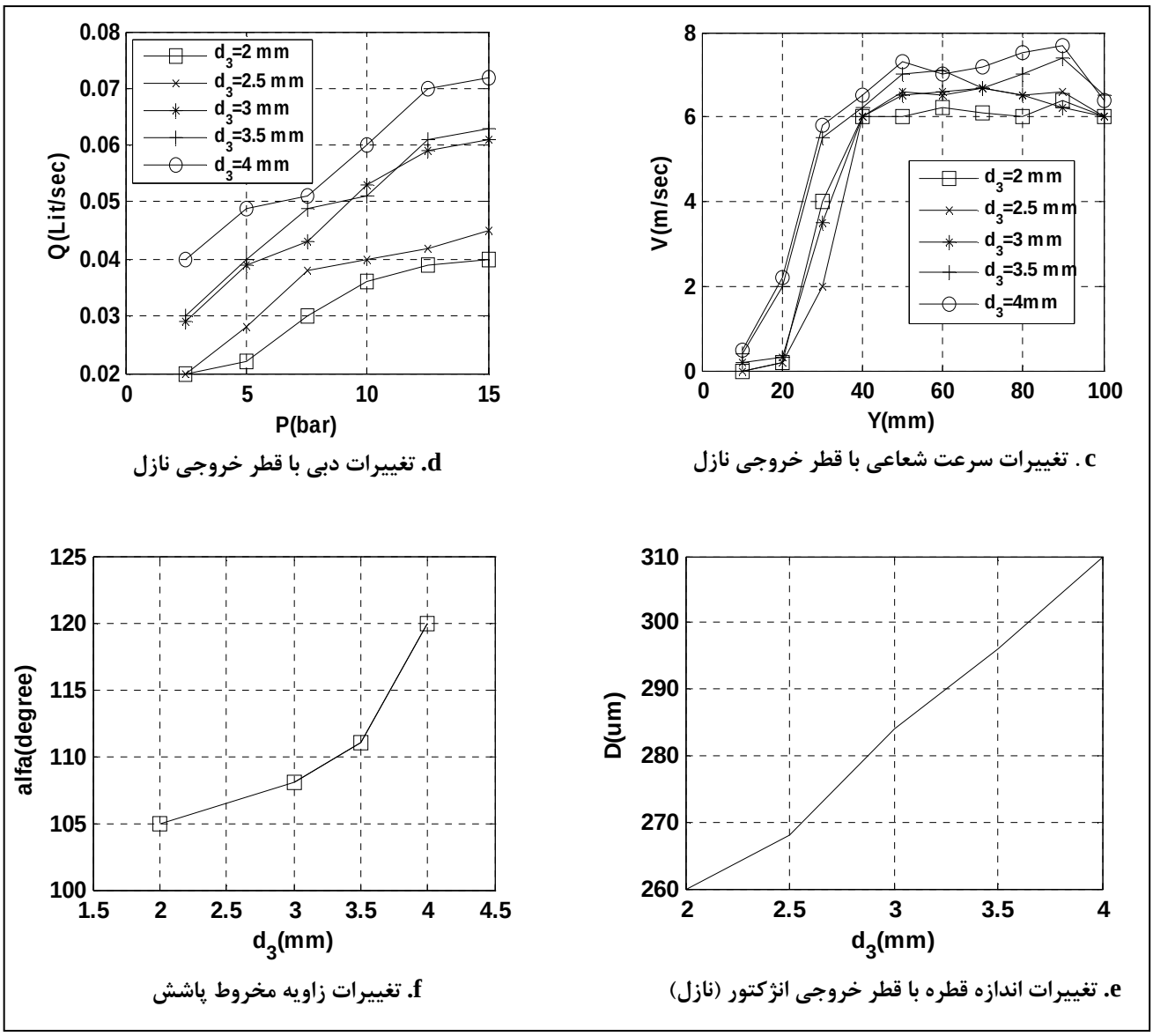


a. تغییرات اندازه قطرات با قطر خروجی نازل

b. سرعت محوری قطرات با قطر خروجی نازل

[1] *Neural Network Prediction*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]



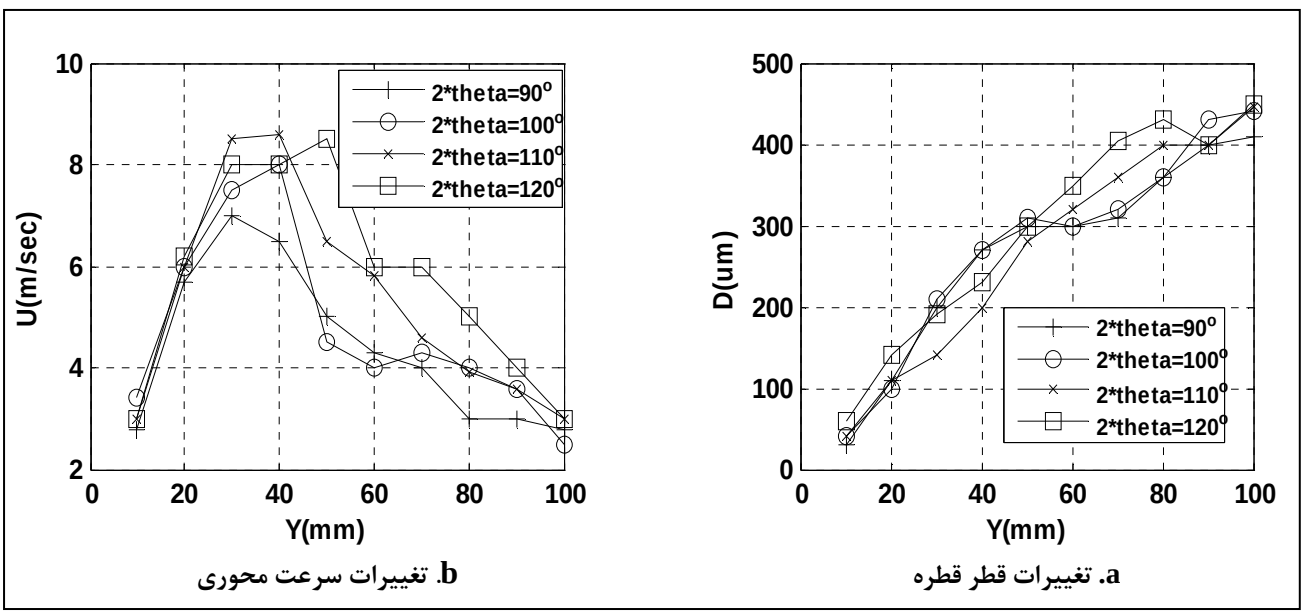
d. تغییرات دبی با قطر خروجی نازل

c . تغییرات سرعت شعاعی با قطر خروجی نازل

f. تغییرات زاویه مخروط پاشش

e. تغییرات اندازه قطره با قطر خروجی انژکتور (نازل)

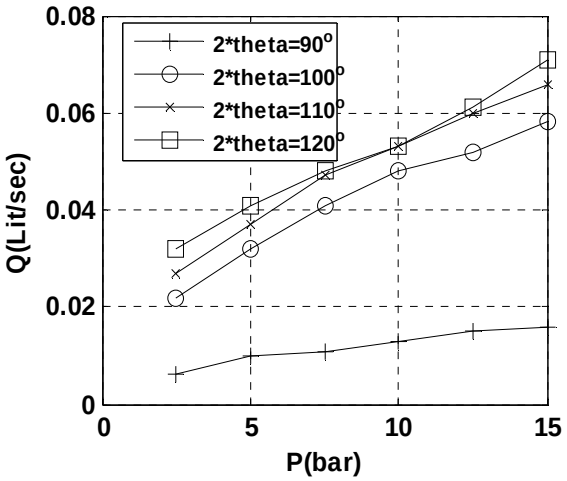
شکل ۶. تغییرات اندازه، سرعت محوری و شعاعی قطرات و دبی خروجی برحسب تغییرات قطر خروجی نازل



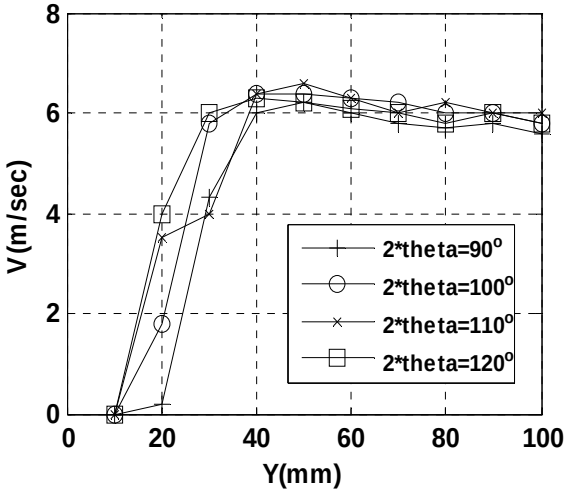
b. تغییرات سرعت محوری

a. تغییرات قطره

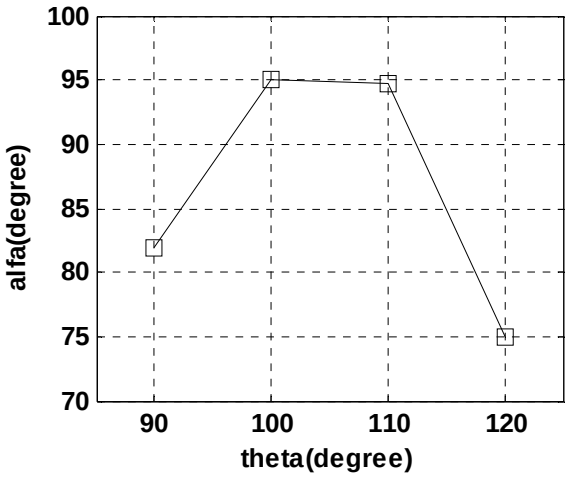
[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]



d. تغییرات دبی با فشار و زاویه θ

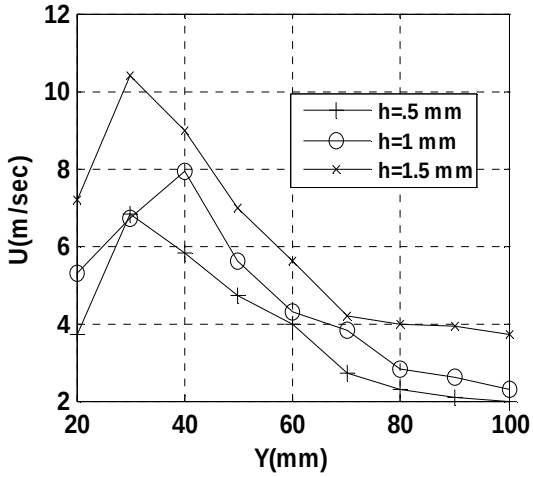


c. تغییرات سرعت شعاعی

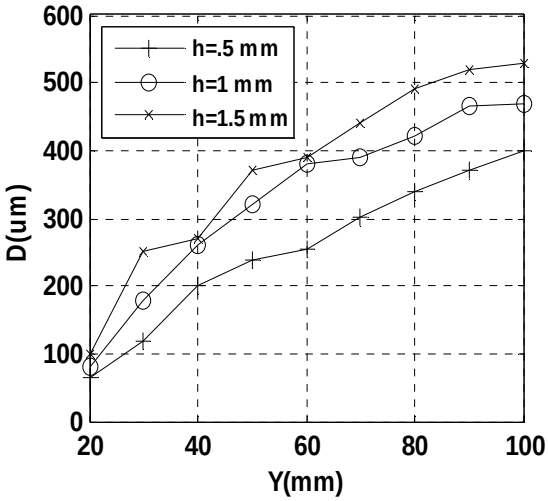


e. تغییرات زاویه مخروط پاشش

شکل ۷. تغییرات مشخصات اسپری با زاویه θ

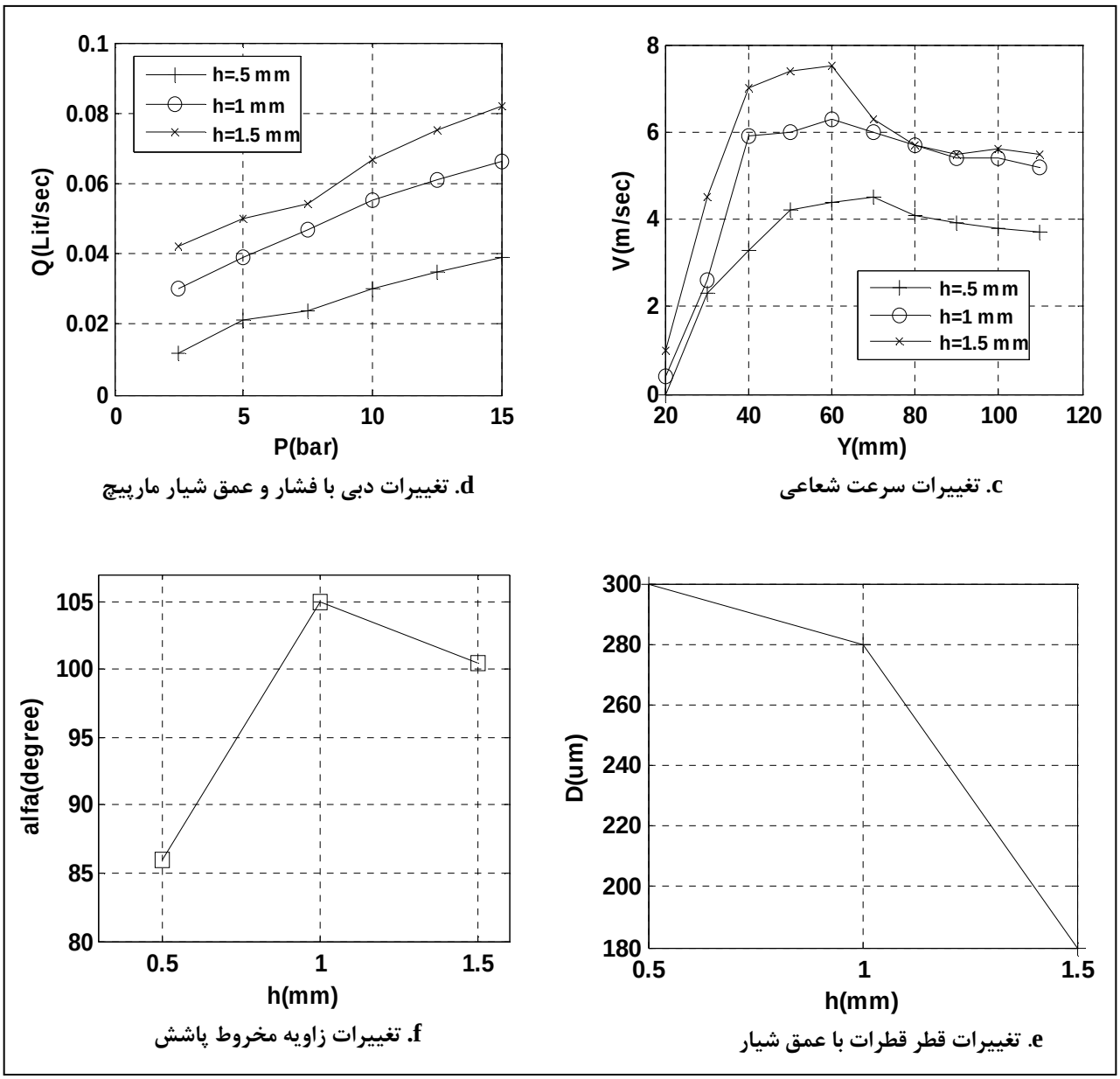


b. تغییرات سرعت محوری



a. تغییرات قطر قطره

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]



d. تغییرات دبی با فشار و عمق شیار مارپیچ

c. تغییرات سرعت شعاعی

f. تغییرات زاویه مخروط پاشش

e. تغییرات قطر قطرات با عمق شیار

شکل ۸. تغییرات مشخصات اسپری با عمق شیار مارپیچ

علائم بکار رفته در مقاله

$d_1 =$ قطر سوراخ ورودی انژکتور

$d_2 =$ قطر قطعه مارپیچ انژکتور

$d_3 =$ قطر سوراخ خروجی انژکتور (قطر ارفیس)

$L =$ طول قطعه مارپیچ انژکتور

$\theta =$ زاویه داخلی ارفیس

$\alpha = (n_1/\lambda)D$ (ضریب B)

$B =$ ضریب هندسی انعکاس اول

Alfa = زاویه مخروط پاشش

$\beta =$ زاویه ورودی محفظه انژکتور

$D =$ قطر متوسط قطره

$v =$ سرعت شعاعی قطرات

$u =$ سرعت محوری قطرات

$Q =$ دبی حجمی

$h =$ عمق شیار قطعه مارپیچ

$f =$ فرکانس

$\varphi =$ فاز

$t =$ زمان

$s =$ ضخامت لایه باریک یک فرنچ

$\gamma =$ زاویه تابش نور

$V =$ سرعت

$Up =$ زیاد میشود

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

$down =$ کم می‌شود

مراجع

[1] Dantec measurement technology *"PDA User's Manual*" 1992.

[2] Dantec measurement technology *"Size Wave Installation user's guide*", 1993.

[3] Dantec measurement technology "*Fiber Flow 60 x Series*", 1997.

[4] Bates, C.J., School of Eng. Un. Of wales, college of cardrff wales *"Pressure Atomizer PDA Measurement"* Dantec information No. 11 June, 1992.

[5] Zano, Y. H., M.li, W., Chin, J.S, "*Experimental and Analytical Investigation on the Variation of Spray Characteristics Along Radial Distance Downstream a Pressure Swirl Atomizer*" J. of engineering for gas turbines and power July 1986, Vol. 108/473.

[6] Dorfner, V., Domnick, J., Darst, F., Kohler, R., *"Viscosity and Surface Tension Effects in Pressure Swirl Atomization"* atomization and sprays. Vol. 5, 1996, PP. 261-28.

[7] Hay, N., Jones, P.L., *"Comparison of the Various Relations for Pray Penetration*." SAE Technical paper series 720776, 1995.

[8] Bucco, F.B., Reitz, R.D., *"On the Dependence of Sprays Angle and Other Spray Parameters on Nozzle Design and Operating Conditions*." ASE Technical paper series 790794, 1994.

[9] Yule, A.J., Sharif, R.A., Jeong, J.R., Nasr, G.G., James, D.D., *"The Performance Characteristics of Solid – Cone – Spray Pressure–Swirl Atomizers*" atomization and sprays, Vol, 10, 1990, PP. 627-646.

[10] Ramamurthi, K., John Tharakan, T., *"Experimental Study of Liquid Sheets Formed in Coaxial Swirl Injector*" journal of propulsion and power vol. 11 No 6 November–December 1995.

[11] Wany, X.F., Lefebvret, A.H., *"Mean Drop Size From Pressure–Swirl Nozzles*" J. propulsion Vol.3, No. 1, JAN–FEB, 1987.

[12] Mao, C.P., Wang, G., Chigier, N., *"The Structure and Characterization of Air-Assisted Swirl Atomizer Sprays*" Atomization and Spray Technology 2, 1986, PP.151-169.

[13] Chany, H., Nelson, D., Ssipperley, C., Edwards, C., *"Development of a Temporally Modulated Fuel Injector with Controlled Spray Dynamics*" 284, Vol. 125, JANUARY 2003, copyright c2003 by AZME .

[14] Ortman, J., Lefebrre, A.H., *"Fuel Distributions From Pressure–Swirl Atomizer"*, J. propulsion, Vol. I, No.1, JAN-FEB,1985.

[15] Ghorbanian, K., *"Eperi Mental Flow Visualization of Single Swirl Spray Pattern at Various Pressure Drops"*, 1995.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]