

## بررسی تجربی برخورد دو مخروط پاشش حاصل از انژکتورهای پیچشی

### در صفحه انژکتور ۱

سید محمد حسین مصباحی

عضو هیئت علمی دانشگاه شهید رجائی

مهدی اشجعی

دانشیار گروه مهندسی مکانیک - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

سید عبدالرضا سید ریحانی

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

(تاریخ دریافت ۷۷/۹/۱۱، تاریخ تصویب ۷۹/۹/۵)

### چکیده

یک نوع از انژکتورهای نایکه برای پودر سازی سوخت و اکسیدکننده استفاده می‌شود، انژکتور پیچشی است. این انژکتورها، علیرغم شکل پیچیده تر آنها نسبت به انژکتورهای دیگر، بدلیل پاشش مخروطی (که مشخصه عمومی آنها می‌باشد) و راندمان یودر شدن بالا، برای اتمیزه کردن سوخت و اکسیدکننده در محفظه احتراق موشکهای با سوخت مایع، استفاده می‌شوند. چون درجه اتمساز، سرعت و قطر ذرات خروجی سوخت و اکسیدکننده در کیفیت و راندمان احتراق مؤثر هستند، این انگیزه را ایجاد می‌کند که آرایشها و گامهای مختلف انژکتورها (فاصله دو انژکتور از یکدیگر در صفحه انژکتور)، جهت بالابردن کیفیت و راندمان احتراق مورد بررسی واقع شود. بدین منظور در این پروژه (تحقیقی - تجربی) ناحیه‌ای که از تلاقی دو مخروط پاشش در صفحه انژکتور بدست آمده را توسط دستگاه PDA بررسی کرده‌ایم. در این بررسی از آب بعنوان سیال پاشش استفاده گردیده و فشار تزریق انژکتورها بین ۸ تا ۱۰ بار، تغییر کرده است. گامهای صفحه انژکتور در فواصل دو میلی‌متری (۱۴، ۱۶ و ۱۸ میلی‌متر) که شامل گام اسمی نیز می‌باشد تغییر کرده است. پس از آزمایش با مطالعه میدانهای سرعت، قطر و تمرکز ذرات بعد از تقاطع مخروطهای پاشش، وضعیت بهینه از نظر پاشش بررسی شده است.

### واژه‌های کلیدی: انژکتور پیچشی، پاشش، اتمیزه شدن

### مقدمه

هندسی انژکتور [۳ و ۱] و گام انژکتورها بگونه‌ای انتخاب شوند که تا حد امکان پاشش ظریفتر گردد.

فاکتوری که تعیین کننده درجه ظرافت پاشش است قطر متوسط ساوتر (Sauter Mean Diameter) می‌باشد. مقدار کمتر (SMD) اشاره به پاشش ظریفتر دارد [۱ و ۲].

در اکثر موتورهای موشک با سوخت مایع، دو مولفه سوخت و اکسیدکننده به کار می‌روند. بنابراین ابتدا برخورد مخروطهای پاشش حاصل از انژکتورهای سوخت و اکسیدکننده را بررسی می‌کنیم.

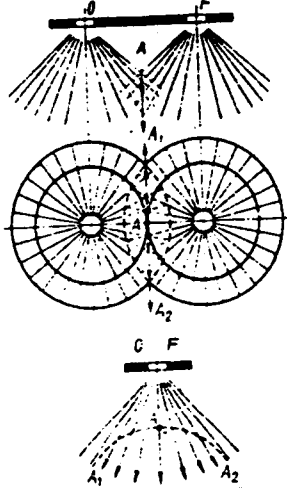
طبق شکل (۲) مخروطهای پاشش انژکتورهای سوخت و اکسیدکننده در نقطه (A) یکدیگر را قطع می‌کنند. بخش کمی از قطرات در همان جهات اولیه (AB) و (AC) حرکت کرده و در

اتمیزه شدن سوختهای مایع فرآیندی است که طی آن یک جت پیوسته مایع به تعداد بسیار زیادی قطره که قطر آنها بسیار کوچکتر از قطر خود جت مایع است تقسیم می‌شود. این عمل همراه با افزایش زیاد سطح جانبی بوده که تبخیر و احتراق سوخت مایع را راحت تر می‌سازد. [۱].

انژکتورهای پیچشی به دلیل پاشش مخروطی آنها و ایجاد یک سطح تماس زیاد بین سیال و محیط بیرون برای این منظور بسیار مناسب می‌باشند (شکل ۱).

هر قدر قطر قطرات خروجی از انژکتور کوچکتر باشد (پاشش ظریف)، تبخیر و احتراق قطرات راحت تر انجام شده و در فاصله محوری کمتری از صفحه انژکتور این دو فرآیند کامل می‌شوند و نیز طول محفظه احتراق کمتر می‌گردد. بنابراین بهتر است مشخصات

سریعتر موزون و یکنواخت می‌شوند. در صورتی که دو مخروط پاشش سوخت و اکسیدکننده که دارای زاویه پاشش یکسان هستند به هم برخورد کنند محل تلاقی دو مخروط یک هذلولی می‌شود (A1AA2 در شکل (۳) که از نمای بالای صفحه انژکتور بصورت خط راست دیده می‌شود) در صورت برابری اندازه حرکت قطرات سوخت و اکسیدکننده، قطرات پس از برخورد مخروطهای پاشش در جهت صفحه عمود بر صفحه انژکتور حرکت می‌کنند.



شکل ۳: برخورد دو مخروط پاشش.

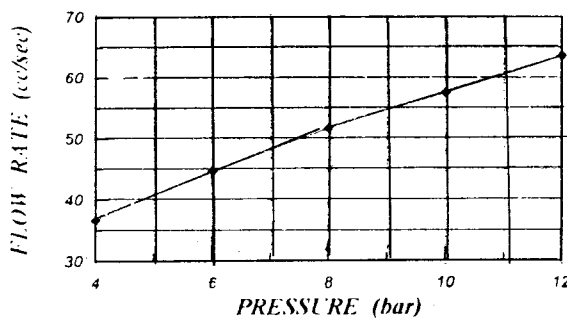
### مشخصات هندسی انژکتورهای آزمایش شده

تمام انژکتورهایی که در آزمایشات استفاده شده است. یکسان بوده و دارای مشخصات هندسی زیر می‌باشد:

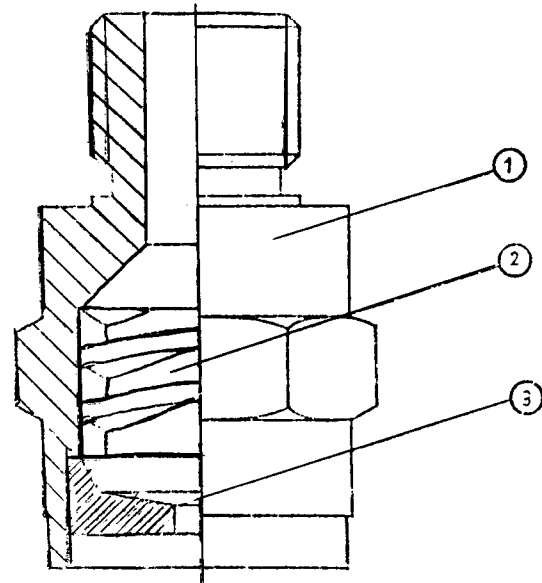
$$N=3, D=9 \text{ mm}, d=6 \text{ mm}, \theta_1=56^\circ, \theta_2=154^\circ$$

### منحنی دبی انژکتور

انژکتور مورد استفاده در این تحقیق ابتدا تست دبی شده و نتیجه آن بصورت شکل (۴) که تغییر دبی برحسب فشار تزریقی انژکتور است، مشاهده می‌شود.

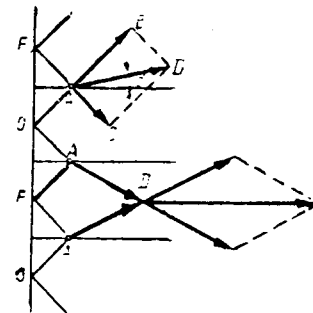


شکل ۴: منحنی دبی انژکتور برحسب فشار تزریقی.



شکل ۱: اجزاء تشکیل دهنده انژکتور.

۱- پوسته ۲- ماریج ۳- نازل

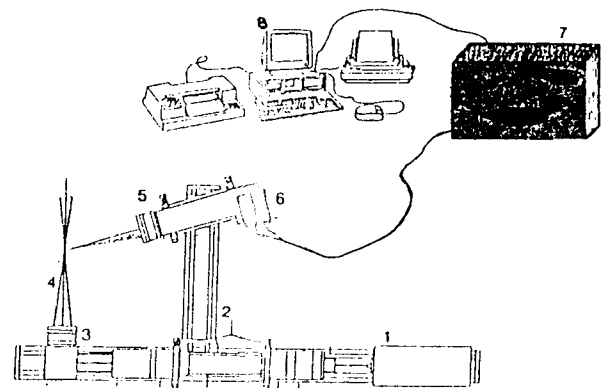


شکل ۲: تأثیر متقابل مخروطهای پاشش سوخت و اکسیدکننده.

برخورد شرکت نمی‌کنند. بخش دیگر قطرات با یکدیگر برخورد کرده و اکثراً در جهت (AD) حرکت می‌کنند. اگرچه تعدادی از قطرات می‌توانند در منطقه‌ای بین (AB) و (AC) حرکت کنند. زمانیکه یک جت سوخت و یک جت اکسیدکننده باهم برخورد کنند، مومنتم برآیند می‌تواند از اصل بقای مومنتم محاسبه شود. جهت (AD) بستگی به اندازه حرکت قطرات سوخت و اکسیدکننده دارد. از آنجائیکه معمولاً دبی اکسیدکننده بطور چشمگیری بیشتر از دبی سوخت است جهت دسته قطرات حاصله به طرف انژکتورهای سوخت منحرف می‌شود. در ادامه دسته قطرات (AD) یکدیگر را قطع کرده و به طور موازی با محور محفظه حرکت می‌کنند. لازم به ذکر است که بهتر است پارامترهای محفظه بگونه‌ای انتخاب شوند که دسته قطرات هرچه سریعتر باهم موازی شوند، در اینحالت ترکیب مؤلفه‌های سوخت و اکسیدکننده هرچه

## تعیین مشخصه‌های پاشش

برای تعیین مشخصه‌های پاشش انژکتور از دستگاه PDA استفاده کرده‌ایم (شکل ۵). این دستگاه براساس پدیده تغییر فرکانس داپلر کار می‌کند. در این دستگاه چهار پرتو لیزر (۲ پرتو سبز و ۲ پرتو آبی) با هم برخورد کرده و محل برخورد آنها که یک بیضی گون در ابعاد میکرون است درون پاشش انژکتور قرار می‌گیرد. نرم‌افزار موجود در رایانه‌ای که متصل به دستگاه PDA است به کمک روابط فیزیکی و اپتیکی می‌تواند سرعت قطرات (روی هر محور یک مولفه سرعت)، قطر و تمرکز قطرات و دیگر مشخصات را در محل برخورد پرتوهای لیزر با دقت بالایی بدست آورد.

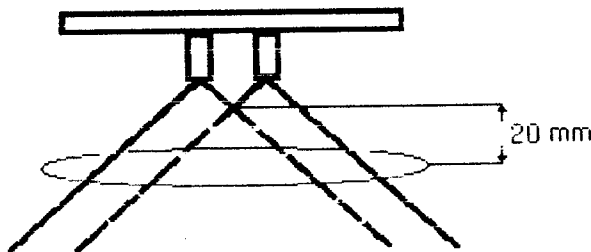


شکل ۵: شمای دستگاه PDA. ۱- مولد لیزر ۲- فرستنده  
۳- همگرآکننده پرتوها ۴- پرتوهای لیزری ۵- گیرنده  
۶- آشکار ساز نوری ۷- پردازش گر سیگنال ۸- رایانه و تجهیزات جانبی.

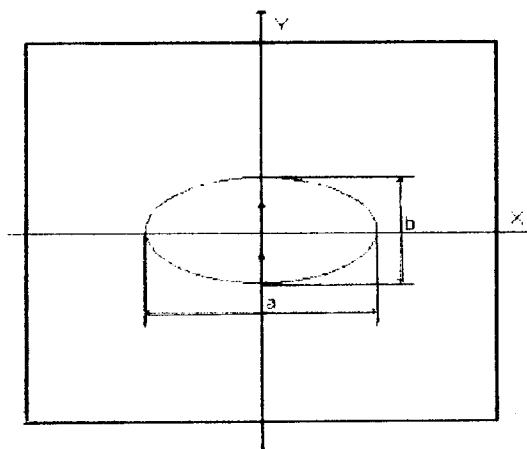
بصورت مربع مستطیل) اندازه‌گیریها (دو مولفه سرعت، قطر قطرات، تمرکز قطرات، ...)

انجام می‌شود. برای بدست آوردن مولفه سوم سرعت، انژکتورها را در جهت عقربه‌های ساعت ۹۰ درجه می‌چرخانیم بطوریکه انژکتورها در جهت X قرار می‌گیرند و در همان تعداد نقاط قبلی اندازه‌گیری‌ها را انجام می‌دهیم. کلیه اندازه‌گیریها در هر دو مرحله در یک صفحه به فاصله ۲۰ میلی‌متر از محل برخورد دو انژکتور انجام شده است (شکل ۶). شکل (۷) منحنی محل تلاقی دو اسپری را نشان می‌دهد. شکل تقریباً بفرم بیضی می‌باشد. مشخصات این بیضی گون برای گامها و فشارهای مختلف در جدول (۱) ذکر شده است.

۵- اطلاعات بدست آمده در دو مرحله و ۲۲۵ نقطه، پردازش شده و اطلاعات لازمه استخراج می‌شوند. همانطور که قبلاً گفته شد کلیه آزمایشات در دو فشار (۸ و ۱۰ بار) انجام شده است.



شکل ۶: محل اندازه‌گیری مشخصه‌های پاشش.



شکل ۷: منحنی محل تلاقی دو اسپری.

## نحوه انجام آزمایش

- ۱- ابتدا صفحه انژکتور مورد نظر (دوتایی) را با گام مشخص (۱۴، ۱۶ یا ۱۸ میلی‌متر) بر روی فیکسچر می‌بندیم.
- ۲- مخزن آب مورد استفاده را بر روی فشار لازم برای آزمایش، تنظیم می‌کنیم. این فشار بوسیله یک کپسول نیتروژن یا اکسیژن فراهم می‌شود.
- ۳- با استفاده از نرم‌افزار مربوط به دستگاه PDA، فایلی را که برای سیستم حرکت صفحه انژکتور لازم است وارد می‌کنیم و بقیه قسمتهای نرم‌افزار از قبیل: نام فایل ذخیره اطلاعات، ولتاژ و اطلاعات اپتیکی را جهت انجام آزمایش آماده می‌کنیم.
- ۴- در حالت اول انژکتورها در جهت Y (در راستای عمود بر پرتوهای سبز) می‌باشند. در این موقعیت در ۲۲۵ نقطه (یک میدان

## نتایج تجربی

مشخصات مربوط به محل تلاقی دو اسپری برای گامها و فشارهای مختلف در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱: مشخصات منحنی تلاقی دو اسپری.

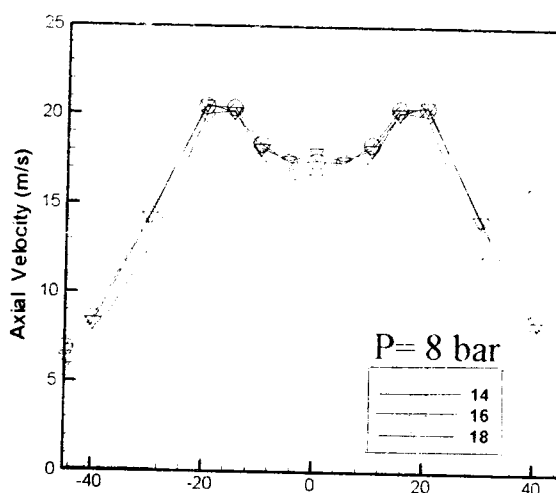
10		8		فشار (bar)
a	b	a	b	
60	40	60	40	14
64	35	64	35	16
70	63	70	36	18

پس از بررسی میدانهای پاشش برای هر سه گام و در هر دو فشار 8، 10bar محور شد که میدانهای پاشش دارای مرکز تقارن بوده و مرکز تقارن مبدأ مختصات می باشد که این مطلب را می توان در شکلها و کانتورها ملاحظه نمود. منحنی مربوط به سرعت محوری. سرعت مطلق (جذر مربعات سه مؤلفه سرعت) و قطر در صفحات بعد رسم شده است. از شکلهای (۸) تا (۱۵) می توان مطالب زیر را بیان نمود:

- به ازای گام ثابت، با افزایش فشار، مقدار سرعت محوری و مطلق روی محورهای X و Y افزایش یافته است.

- به ازای فشار ثابت، برای هر سه گام، روی هر دو محور X و Y سرعت محوری و مطلق تغییری ندارد.

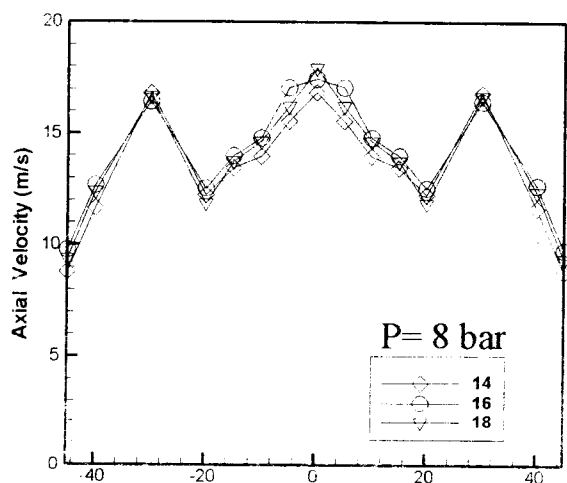
در مورد شکلهای (۱۶) تا (۱۹) مربوط به قطر قطرات می توان مطالب زیر را بیان نمود:



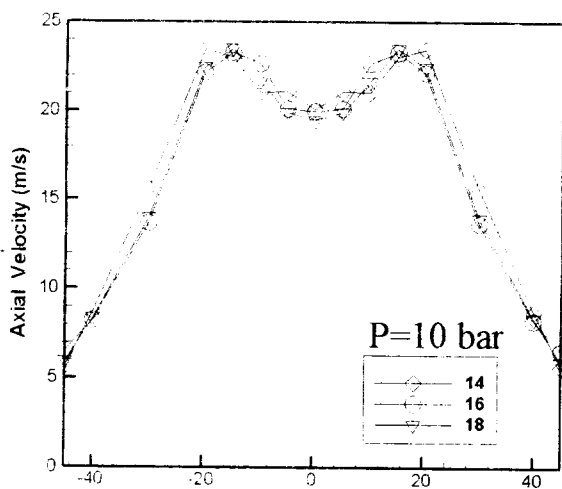
کل ۸: منحنی تغییرات سرعت محوری در راستای x در فشار ۸ بار.

- به ازای گام ثابت روی هر دو محور X و Y، با افزایش فشار،

مقدار قطر قطرات کاهش یافته است (پاشش ظریفتر شده است).  
- به ازای فشار ثابت، برای هر سه گام، روی هر دو محور X و Y تغییری در قطر قطرات مشاهده نمی شود. شکل (۲۰) تغییرات SMD برحسب گام بین دو انژکتور و در فشارهای مختلف را نشان می دهد. ملاحظه می شود که با افزایش فشار SMD کاهش یافته است، همچنین به ازای تغییر گام در یک فشار ثابت SMD تغییری نکرده است.

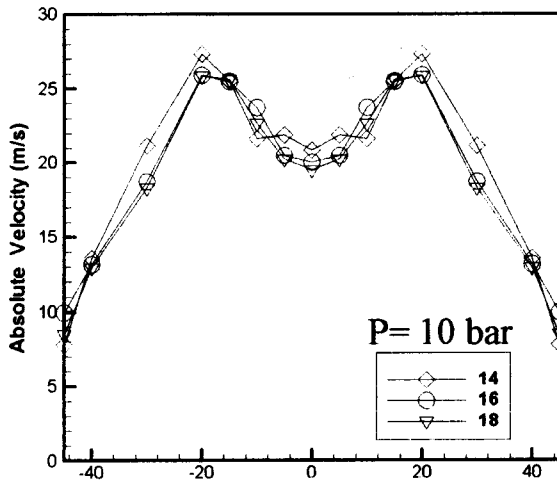


شکل ۹: منحنی تغییرات سرعت محوری در راستای y در فشار ۸ بار.

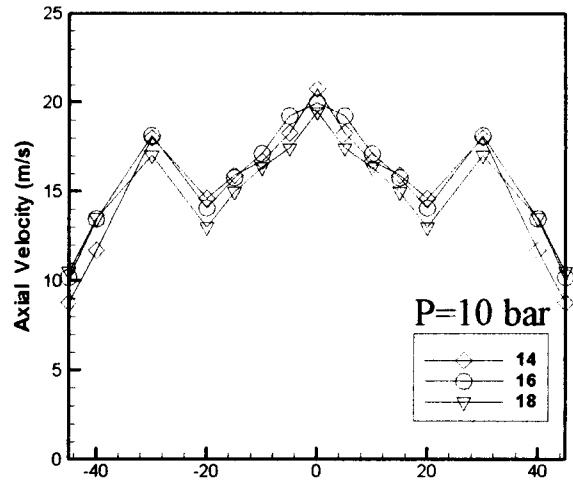


شکل ۱۰: منحنی تغییرات سرعت محوری در راستای x در فشار ۱۰ بار.

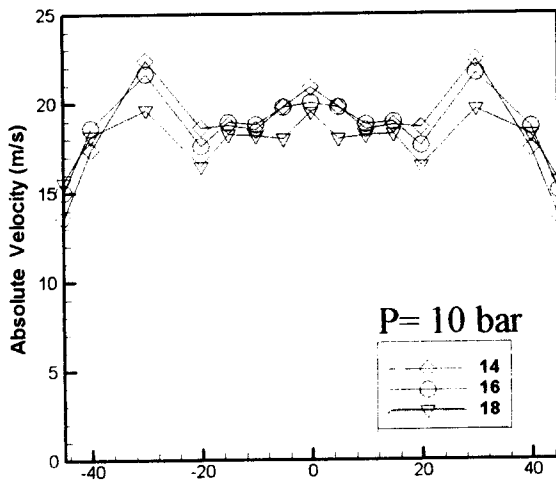
شکلهای (۲۱) تا (۲۴) منحنی تغییرات مولفه های دوم و سوم سرعت در فشار 8 bar می باشد. اولاً اندازه مؤلفه های سرعت برای هر سه گام در یک فشار ثابت تغییری نکرده و ثانیاً مقدار آنها در مقایسه با سرعت محوری کم نمی باشد.



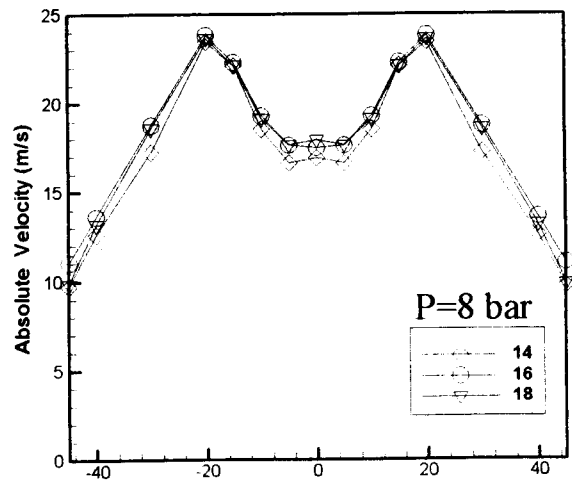
شکل ۱۴: منحنی تغییرات سرعت مطلق در راستای x در فشار ۱۰ بار.



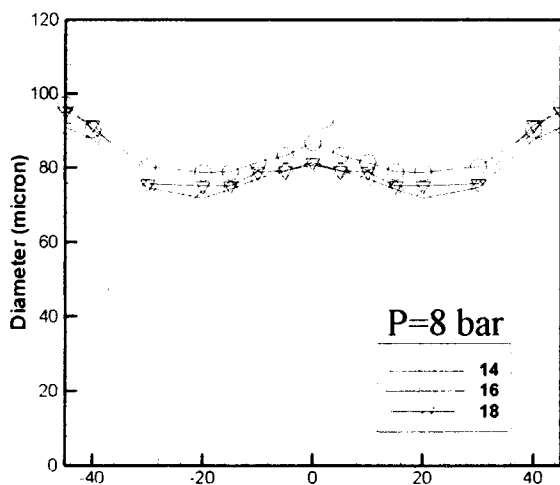
شکل ۱۱: منحنی تغییرات سرعت محوری در راستای y در فشار ۱۰ بار.



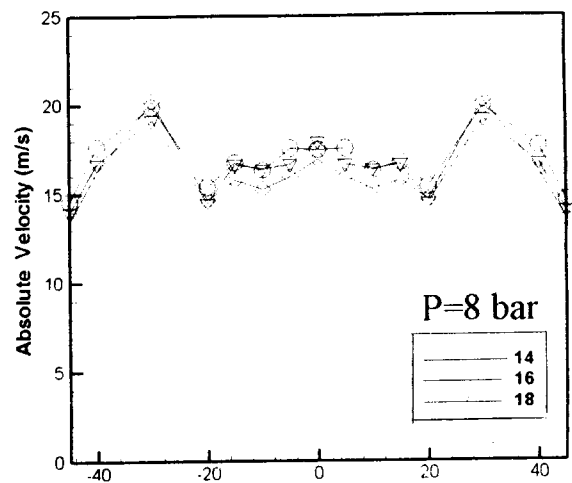
شکل ۱۵: منحنی تغییرات سرعت مطلق در راستای y در فشار ۱۰ بار.



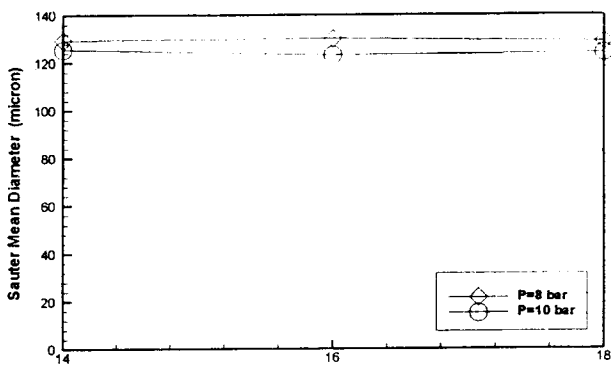
شکل ۱۲: منحنی تغییرات سرعت مطلق در راستای x در فشار ۸ بار.



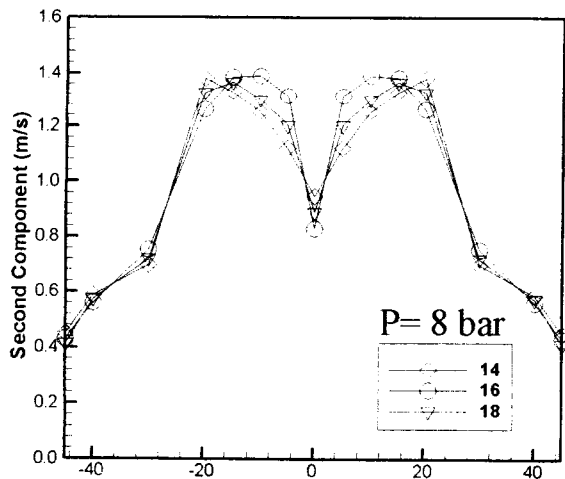
شکل ۱۶: منحنی تغییرات قطر در راستای x در فشار ۸ بار.



شکل ۱۳: منحنی تغییرات سرعت مطلق در راستای y در فشار ۸ بار.



شکل ۲۰: منحنی تغییرات SMD برحسب گام در فشارهای مختلف.

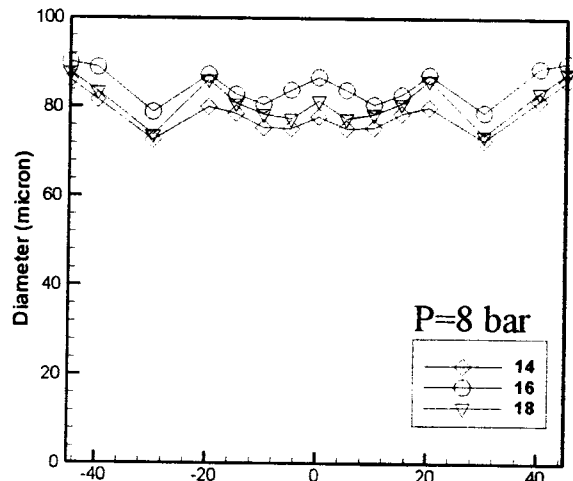


شکل ۲۱: منحنی تغییرات مؤلفه دوم سرعت در راستای x در فشار ۸ بار.

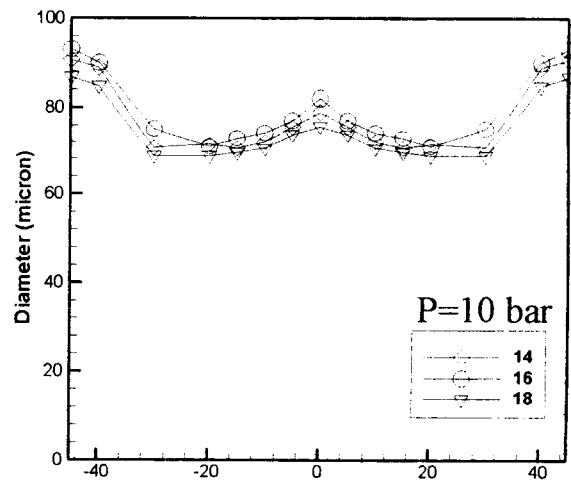
در شکلهای (۲۵) تا (۳۳) کانتورهای سرعت محوری، سرعت مطلق و قطر قطرات در سه گام مختلف و در فشار ۸ bar رسم شده است. در نواحی کناری، کانتورها یکنواخت شده و به فرم دایره درمی آیند و سرعت محوری کمتر شده و قطر قطرات افزایش می یابد که در اشکال بالا هم روی محورهای X و Y می توان این مطلب را دید. وجود مرکز تقارن در کانتورها کاملاً مشخص است.

### نتیجه گیری کلی

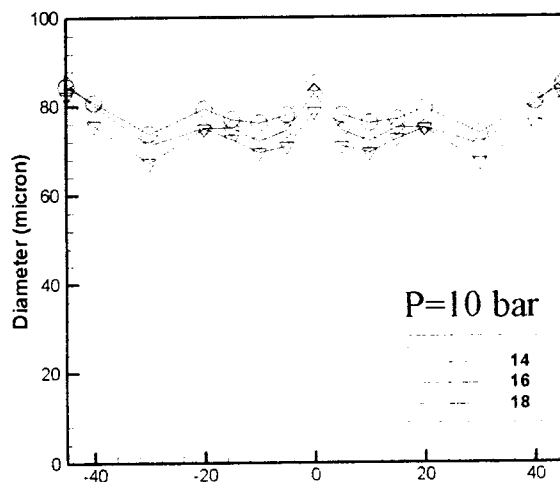
همچنان که از نمودارها برمی آید برای بدست آوردن یک نتیجه



شکل ۱۷: منحنی تغییرات قطر در راستای y در فشار ۸ بار.

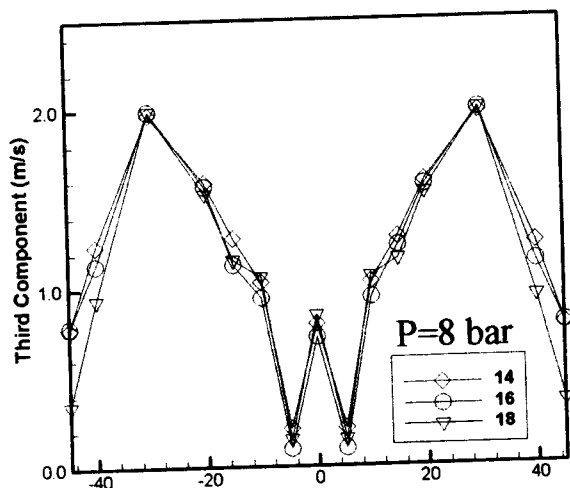


شکل ۱۸: منحنی تغییرات قطر در راستای x در فشار ۱۰ بار.

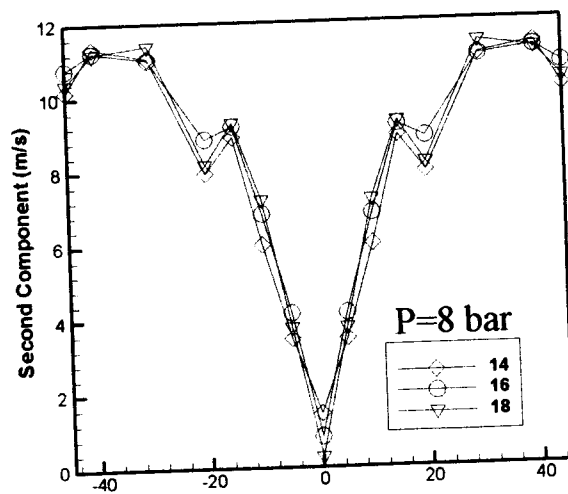


شکل ۱۹: منحنی تغییرات قطر در راستای y در فشار ۱۰ بار.

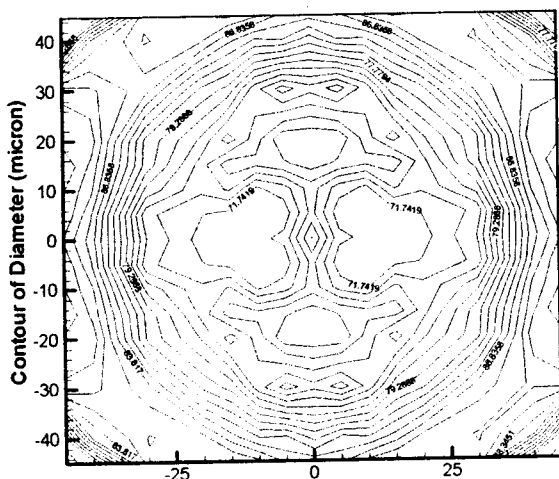
محکم و استوار باید محدوده تغییرات را بیشتر کرده و سپس توانست روند تغییرات سرعت و قطر قطرات را بطور دقیق مشاهده کرد. ولی آنچه در تمامی آزمایشات محرز بود هر چند مقدار سرعت محوری از سایر مولفه‌های سرعت بیشتر می‌باشد ولی نمی‌توان از دیگر مولفه‌ها صرف‌نظر نمود، همچنین با افزایش فشار، قطر قطرات کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج بدست آمده نمی‌توان یک گام را گام بهینه نامید. چراکه گام تأثیری در سرعت و اندازه قطر قطرات ندارد و انتخاب آن به نظر طراح بستگی دارد.



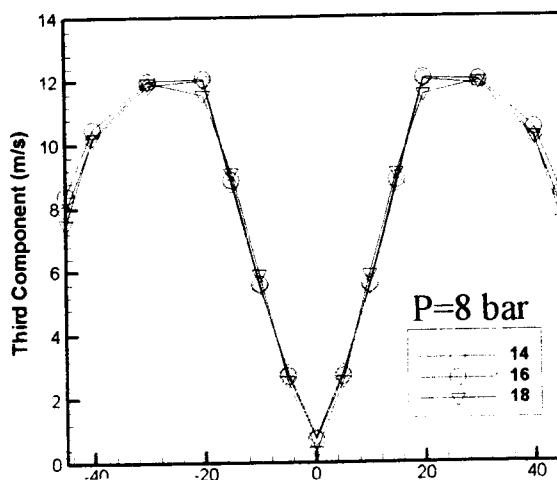
شکل ۲۴: منحنی تغییرات مؤلفه سوم سرعت در راستای y در فشار ۸ بار.



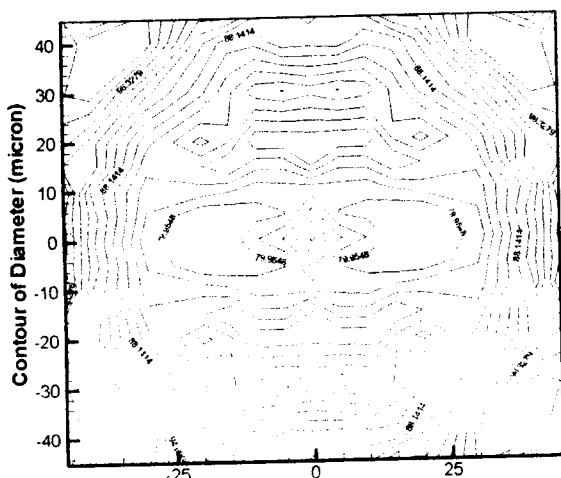
شکل ۲۲: منحنی تغییرات مؤلفه دوم سرعت در راستای y در فشار ۸ بار.



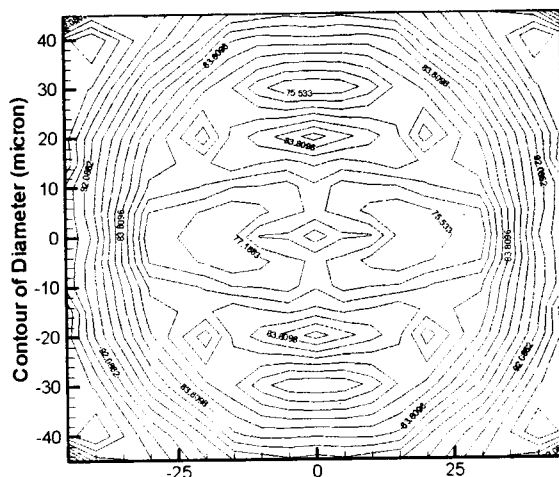
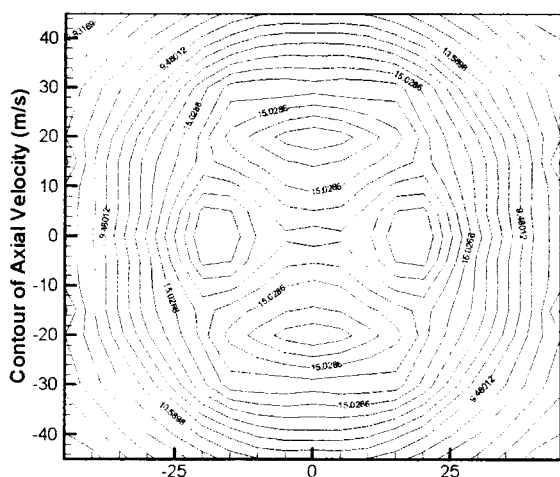
شکل ۲۵: کانتورهای قطر در فشار ۸ بار با گام ۱۴ میلیمتر.



شکل ۲۳: منحنی تغییرات مؤلفه سوم سرعت در راستای x در فشار ۸ بار.

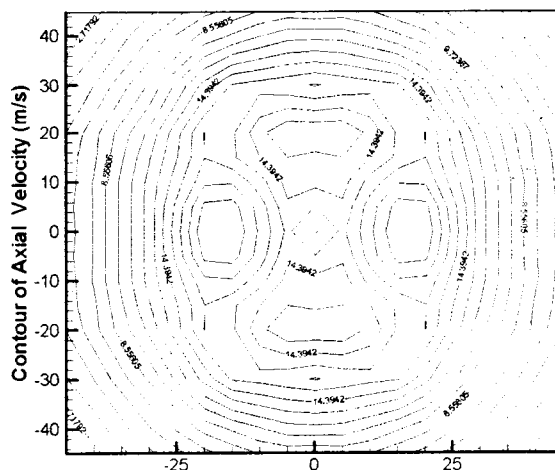
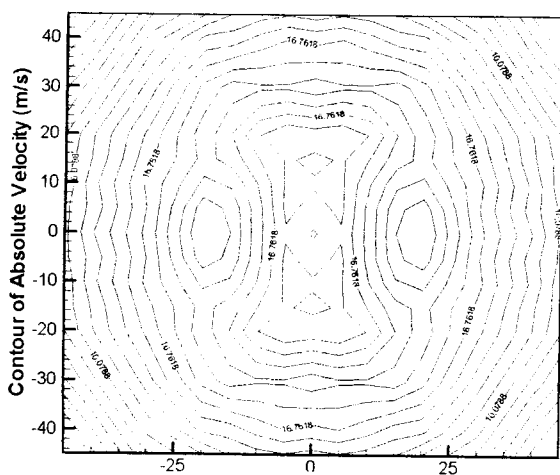


شکل ۲۶: کانتورهای قطر در فشار ۸ بار با گام ۱۶ میلیمتر.



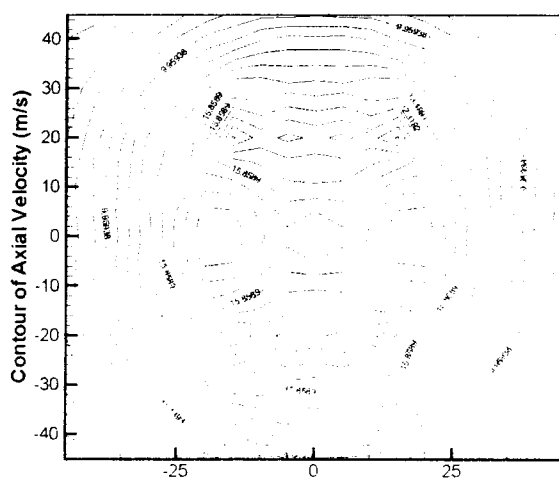
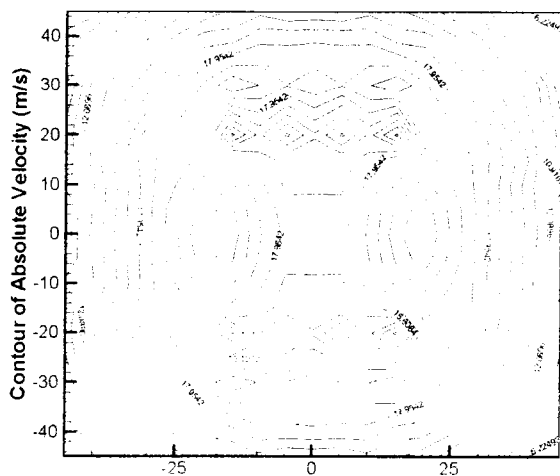
شکل ۳۰: کانتورهای سرعت محوری در فشار ۸ بار با گام ۱۸ میلیمتر.

شکل ۲۷: کانتورهای قطر در فشار ۸ بار با گام ۱۸ میلیمتر.



شکل ۳۱: کانتورهای سرعت مطلق در فشار ۸ بار با گام ۱۴ میلیمتر.

شکل ۲۸: کانتورهای سرعت محوری در فشار ۸ بار با گام ۱۴ میلیمتر.



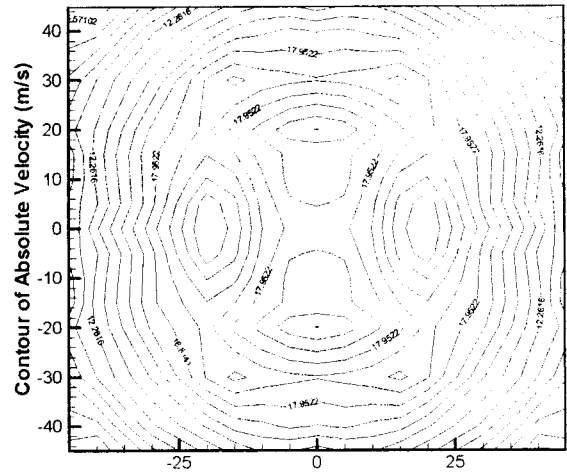
شکل ۳۲: کانتورهای سرعت مطلق در فشار ۸ بار با گام ۱۶ میلیمتر.

شکل ۲۹: کانتورهای سرعت محوری در فشار ۸ بار با گام ۱۶ میلیمتر.



### فهرست علائم

D :	قطر ماریچ (mm)
N :	تعداد راهگاه ماریچ
d :	قطر اریفیس (mm)
$\theta_1$ :	زاویه کوچک نازل
L :	طول ماریچ (mm)
$\theta_2$ :	زاویه بزرگ نازل
SMD :	قطر متوسط ساوتر ( $\mu\text{m}$ )
D :	قطر قطرات (میکرون)
V :	حجم مخروط پاشش
A :	سطح جانبی مخروط پاشش



شکل ۳۳: کانتورهای سرعت مطلق در فشار ۸ بار با گام ۱۸ میلیمتر.

### مراجع

- 1 - Giffen, E. and Muraszew, A. (1953). *The atomization of liquid fuels*. John Wiley and Sons, New York.
- 2 - Pai, B. U. and Nijaguana, B. T. (1982). "The characterization of sprays." *The 2nd International Conference on Liquid Atomization and Spray System*, Paper No. 1-4, P. 29,
- 3 - Ranganadha, Babu, K., Narasimhan, M. V. and Narayanaswamy, K. (1982). "Prediction of mean drop size of fuel spray from swirl spray atomizer." *The 2nd International Conference on Liquid Atomization and Spray System*, Paper No. 3-4, P. 99.
- 4 - *Size Ware, Installation & User's Guide*, Dantec measurement technology, 1992.
- 5 - *FIBER FLOW, Installation & User's Guide*, Dantec Measurement technology, 1992.

