

بررسی تجربی تاثیر زاویه مارپیچ بر رفتار انژکتورهای پیچشی

مهدی اشجعی

استادیار گروه مهندسی مکانیک - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

محمد حسین مصباحی

مجتمع صنعتی شهید همت

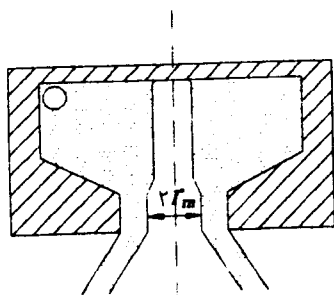
چکیده:

به علت اهمیت زیاد راندمان بالای محفظه احتراق درموشکهای سوخت مایع از انژکتورهای پیچشی که باعث متمیزه شده ذرات سوخت و اکسیدکننده قبل از عمل احتراق می گردند استفاده می شود. این انژکتورها از سه قسمت عمده تشکیل شده اند که عبارتند از: مارپیچ، شیبپوره (نازل)، واریفیس، مارپیچ که عمدتاً باعث تولید گردابه در نازل می گردد از سه راهگاه تشکیل شده است. به علت مشکلات در زمان تولید یک مارپیچ که می تواند گلوگاه در امر تولید تلقی شود، در این مقاله اثر زاویه مارپیچ (زاویه مارپیچ کوچک زمان برداره برداری بیشتر و استهلاک بالای ابزار ایجاد می کند) بر میدان پاشش (سرعت و قطر ذرات) به طور تجربی با استفاده از دستگاه PDA مطالعه گردید. باید توجه داشت که زوایای کوچکتر α در مارپیچ باعث افزایش زمان تولید در این قطعه می گردند. مشاهده گردید که با افزایش زاویه α از ۱۵ به ۳۵ درجه سرعت مطلق ذرات به مقدار کمی کاهش پیدا می کنند که این موضوع را می توان به علت تشکیل گردابه های ضعیف تر در نازل دانست. همچنین با افزایش زاویه α قطر ذرات نیز بر روی یال مخروط پاشش که بالاترین تمرکز قطرات در آنجاست کاهش پیدا می کند، در ضمن ملاحظه گردید که پارامترهای سرعت و قطر با هم در ارتباط بوده و ذرات با قطر بزرگتر از سرعت بالاتری برخوردارند. ولی تغییرات ملاحظه شده در قطر ذرات با تغییر زوایای راهگاه از ۱۵ درجه به ۳۵ درجه حدود ۷٪ است که زیاد قابل توجه نیست.

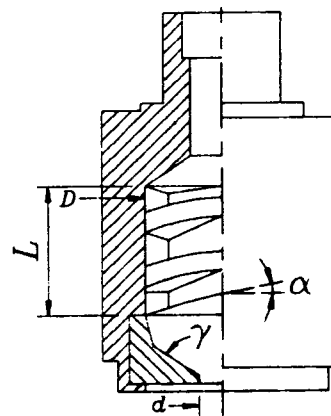
۱- مقدمه

در این انژکتور، ورودی سیال (سوخت یا اکسید کننده) بصورت محوری است. دسته دوم انژکتورهای انژکتورهای بدون مارپیچ است (شکل ۲) که ورودی سیال در آن بصورت مماسی است.

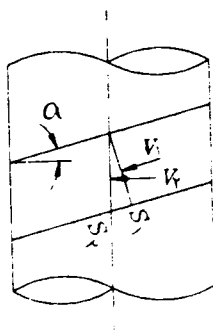
انژکتورهای پیچشی کاربرد وسیعی در محفظه احتراق راکت های سوخت مایع دارند. این انژکتورها خود به دو دسته تقسیم می شوند. دسته اول انژکتورهای مارپیچ دار میباشند (شکل ۱).



شکل ۲: انژکتور پیچشی با ورودی مماسی.



شکل ۱: انژکتور پیچشی با ورودی محوری.



شکل ۳: راهگاه مارپیچ.

که V_1 سرعت سیال در راهگاه می باشد.

مؤلفه مماسی سرعت سیال از رابطه $V_2 = V_1 \cos \alpha$ بدست می آید که زاویه α زاویه مارپیچ (راهگاه) میباشد. و داریم:

$$S_1 = S_2 \cos \alpha$$

که در آن S_2 سطح مقطع جریان عمود بر بردار سرعت مماسی است.

$$V_2 = V_1 \cos \alpha = \frac{q}{S_1} \cos \alpha, \frac{S_1}{\cos \alpha} = S_2 \rightarrow V_2 = \frac{q}{S_2}$$

رابطه اخیر مستقل از زاویه α میباشد. از آنجا که S_2 بوسیله ابزار تراشکاری ایجاد می گردد بنابراین مارپیچ های گوناگون با زوایای مارپیچ^(۱) متفاوت که

پارامترهای مهم که بر رفتار انژکتورهای دسته اول تاثیر دارند عبارتند از:

- ۱- قطر مارپیچ D
- ۲- طول مارپیچ L
- ۳- زاویه مارپیچ α
- ۴- قطر اوریفیس نازل d
- ۵- زاویه همگرایی نازل γ
- ۶- سطح مقطع راهگاه مارپیچ S
- ۷- تعداد راهگاه مارپیچ N
- ۸- جنس سیال (ρ, μ, σ)

در بررسی حاضر، تاثیر زاویه مارپیچ بر رفتار انژکتور پیچشی مورد مطالعه قرار گرفته است.

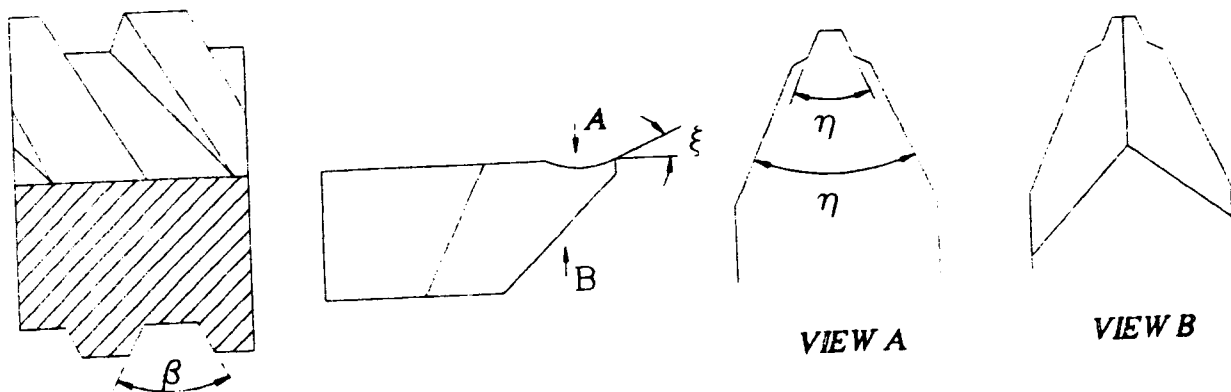
۲- تاثیر زاویه مارپیچ بر مؤلفه مماسی سرعت سیال در راهگاه

در شکل ۳ شماتیک راهگاه انژکتور کشیده شده است.

اگر دبی سیال در راهگاه q و سطح مقطع عمود بر راهگاه S_1 باشد داریم:

$$V_1 = \frac{q}{S_1}$$

۱- راهگاه مارپیچ انژکتور بوسیله ابزار تراشکاری مطابق شکل ایجاد می گردد. نقش زاویه ξ در این است که براده برداری را بهبود می بخشد. هنگام آماده سازی ابزار، باید دقت شود تا زاویه ξ برابر با زاویه β گردد. اگر در ابتدا زاویه ξ را مساوی β در نظر بگیریم و آنگاه روی نوک ابزار زاویه ξ را تولید نمائیم، در آن صورت بعلت شبیهای اطراف ابزار (که در VIEW B نشان داده شده است) دیگر زاویه ξ برابر با ξ (و در نتیجه β) نخواهد بود و حدود ۴-۵ درجه کوچکتر از آن خواهد بود. مارپیچی که با این ابزار تولید شود هیچگاه راهگاه مطلوب را ایجاد نخواهد کرد و بعلت کوچک بودن مقطع راهگاه، در تست دبی مورد قبول واقع نخواهد گردید. لذا باید ابتدا زاویه ξ را حداقل ۵ درجه بزرگتر از زاویه β روی ابزار ایجاد نمائیم و آنگاه پس از ایجاد زاویه ξ را دقیقاً برابر β روی ماشین ابزار تیزکن ایجاد نمائیم.



منحنی دبی بر حسب افت فشار در شکل ۱۶ رسم شده است. دیده می‌شود که این سه منحنی کاملاً بر هم منطبق هستند. همچنانکه گفته شد با افزایش زاویه مارپیچ، طول راهگاه کاهش می‌یابد. سطح مقطع عبور جریان نیز کاهش می‌یابد (و لذا سرعت در راهگاه افزایش می‌یابد). انحراف سیال در ورود به مارپیچ کاهش یافته و در خروج از آن (ورود به نازل) افزایش می‌یابد. همچنین انحنای سیال کم می‌شود. تأثیر تمامی این عوامل طوری است که روی افت فشار در انژکتور تأثیری ایجاد نمی‌شود.

نتیجه فوق از آن جهت حائز اهمیت است که نتیجه می‌گیریم، تغییر زاویه مارپیچ روی افت فشار انژکتورها و نیز سیستم تغذیه راکت تأثیری نمی‌گذارد.

۵ - تعیین مشخصه پاشش

برای تعیین مشخصه پاشش انژکتورهای ساخته شده، از دستگاه PDA (Phase Doppler Anemometry) استفاده شده است (شکل ۴). این دستگاه قادر است سرعت - قطر و تعداد در واحد حجم قطرات را در نقطه‌ای که پرتوهای لیزر بهم برخورد میکنند تعیین نماید.

از برخورد دو پرتو لیزر یک بیضی گون (شکل ۵) تشکیل میشود که از صفحات تاریک و روشن تشکیل یافته است. 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 پرتو لیزر یکسان باشد صفحات تاریک و روشن ساکن خواهند بود و لذا جهت حرکت دو 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. هرگاه در مسیر پرتوهایی که گیرنده (receiver) دریافت میکند دو آشکارساز نوری مطابق شکل ۶ در موقعیت‌های

بوسیله یک ابزار ایجاد شده باشند، دارای S_p یکسان خواهند بود و اگر دبی برای تمامی آنها یکسان باشد بنابراین مؤلفه سرعت مماسی برای همه یکسان خواهد بود.

لذا بررسی تاثیر زاویه α روی مشخصه پاشش انژکتورهایی که در تمامی ابعاد هندسی (بجز زاویه α) یکسان هستند، می‌تواند نتایج کاربردی سودمندی را حاصل گرداند. لازم به توضیح است که با افزایش زاویه α و S_1 و V_1 بترتیب کاهش و افزایش می‌یابند و طول راهگاه نیز کم میشود لیکن V_2 بازاء q ثابت، بلا تغییر میماند.

۳ - مشخصات هندسی انژکتورهای تست شده

برای انجام آزمایش، سه عدد انژکتور با مشخصات زیر ساخته شده:

$$d = 2/1 \text{ mm}$$

$$D = 9 \text{ mm}$$

$$L = 6 \text{ mm}$$

$$S_p = 1/66 \text{ mm}^2$$

$$N = 2$$

ابعاد فوق برای هر سه انژکتور یکسان هستند. زاویه مارپیچ برای انژکتورها 15° ، 25° و 35° انتخاب شده است^(۱) دقت بسیار زیادی در ساخت این انژکتورها اعمال گردیده است تا خطاهای ناشی از ساخت در نتایج آزمایش مینیم گردد.

از آنجا که انژکتورهای فوق‌الذکر، با زاویه مارپیچ از یکدیگر متمایز میگردند لذا آنها را با کدهای $\alpha 15$ ، $\alpha 25$ و $\alpha 35$ نامگذاری کرده‌ایم.

۴ - منحنی های دبی انژکتور بر حسب افت فشار

ابتدا سه انژکتور را تست دبی مینمائیم. نتایج حاصل از تست دبی در جدول ۱ آورده شده است.

۱ - زاویه مارپیچ 35° ماکزیمم زاویه‌ای است که بعلا محدودیت‌های ساخت میتوان روی مارپیچ انژکتور تولید نمود.

جدول ۱: نتایج حاصل از تست دبی برای انژکتورهای $\alpha 15$ و $\alpha 25$ و $\alpha 35$

فشار قبل از انژکتور bar	دبی $\frac{cm^3}{Sec}$	فشار قبل از اریفیس bar	زاویه ماریچ
۲	۱۰/۹۸	۲/۱	۱۵۰
۴	۱۵/۲۴	۴/۱۵	
۶	۱۸/۵۸	۶/۲	
۸	۲۱/۴۳	۸/۴	
۱۰	۲۳/۹۴	۱۰/۴۳	
۱۲	۲۶/۰۸	۱۲/۵	
۱۴	۲۸/۱۸	۱۴/۶	
۲	۱۱/۲۰	۲/۱	۲۵۰
۴	۱۵/۴۶	۴/۱	
۶	۱۸/۸۸	۶/۲	
۸	۲۱/۶۹	۸/۴	
۱۰	۲۴/۲	۱۰/۴۵	
۱۲	۲۶/۳۹	۱۲/۵۳	
۱۴	۲۸/۴۱	۱۴/۶۵	
۲	۱۱/۲۱	۲/۱	۲۵۰
۴	۱۵/۴۳	۴/۱۵	
۶	۱۸/۷۸	۶/۲	
۸	۲۱/۵۲	۸/۴	
۱۰	۲۳/۹۳	۱۰/۵	
۱۲	۲۶/۱۶	۱۲/۵۵	
۱۴	۲۸/۱۳	۱۴/۶۵	

توسط یک بازو به Traversing System متصل است و بوسیله آن در مختصات کارتیزین جابجا میشود. انژکتور را در صفحه افق ($Z = cte$) جابجا می‌نمائیم. تمامی اندازه گیریها در $z = 45mm$ از محل خروج سیال از انژکتور انجام شده است و وسعت میدان^(۱) اندازه‌گیری $Z = 45mm$ ، دایره‌ای به قطر $110mm$ است که تمامی مخروط پاشش را در بر می‌گیرد و حدود یک سانتی متر از مخروط پاشش فراتر می‌رود. مرکز این دایره، تقاطع محور انژکتور با صفحه $z = 45$ ، میباشد که برای آن مختصات $(0, 0, A)$ را انتخاب می‌کنیم.

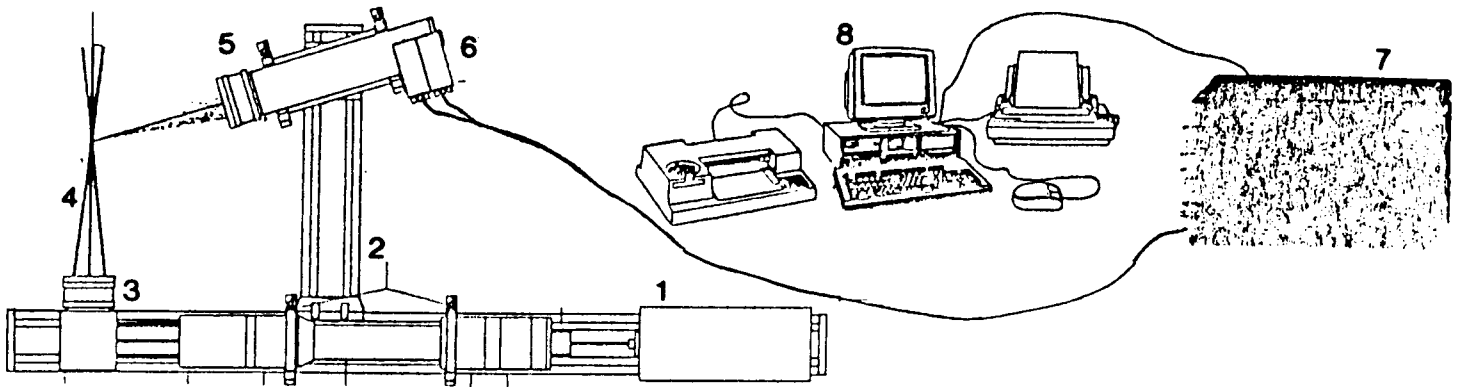
زاویه‌ای متفاوت قرار دهیم هر دو آشکارساز پرتوهای را از یک ذره دریافت خواهند کرد که دارای فرکانس یکسان بوده لیکن هم فاز نیستند (شکل ۷). مطابق شکل ۸ این اختلاف فاز متناسب با قطر قطره است و به این ترتیب دستگاه قادر به تعیین قطر خواهد بود.

۶- روش انجام آزمایش

در حین آزمایش، دستگاه PDA (و در نتیجه موقعیت محل برخورد پرتوهای لیزر) ثابت است لیکن انژکتور که بوسیله گیره مخصوصی نگهداری میشود،

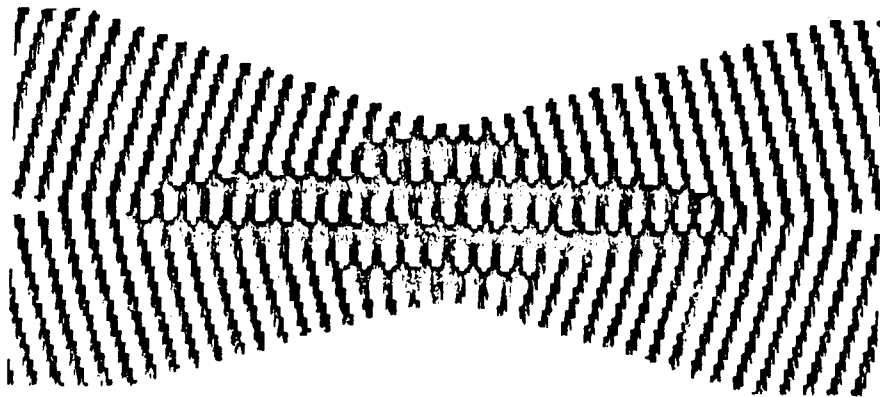
۱- اگر با چراغ استروپوسکوپ از خروجی انژکتور به فاصله $Z = 45mm$ به پاشش نگاه کنیم، امواج میراشده‌اند و قطرات بصورت

یکنواخت عبور می‌کنند.

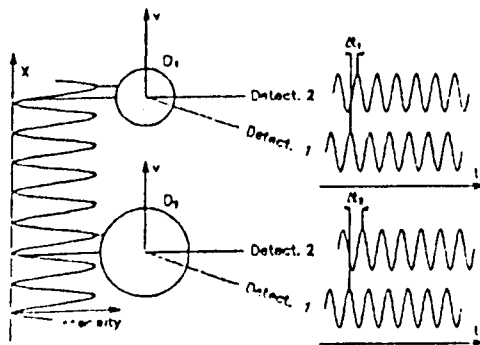


شکل ۴: شمای دستگاه PDA.

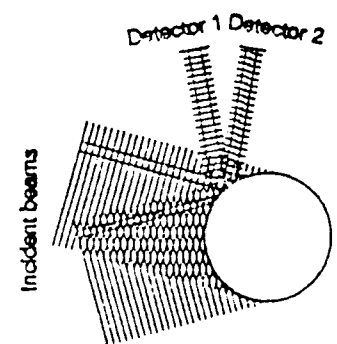
(۱- مولد لیزر ۲- انتقال دهنده ۳- همگرا کننده پرتوها ۴- پرتوهای لیزر ۵- گیرنده ۶- آشکار ساز نوری ۷- پردازنده سیگنال ۸- کامپیوتر و تجهیزات جانبی).



شکل ۵: صفحات تاریک و روشن ناشی از برخورد پرتوهای لیزر.



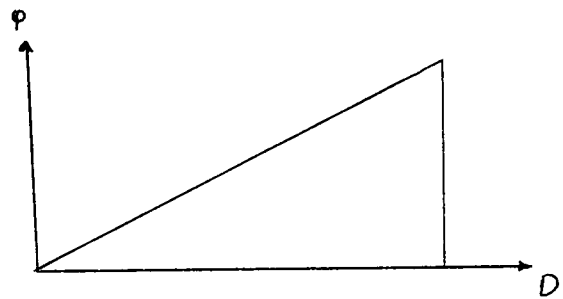
شکل ۷: تاثیر اندازه قطر روی اختلاف فاز.



شکل ۶: موقعیت آشکار سازهای نوری.

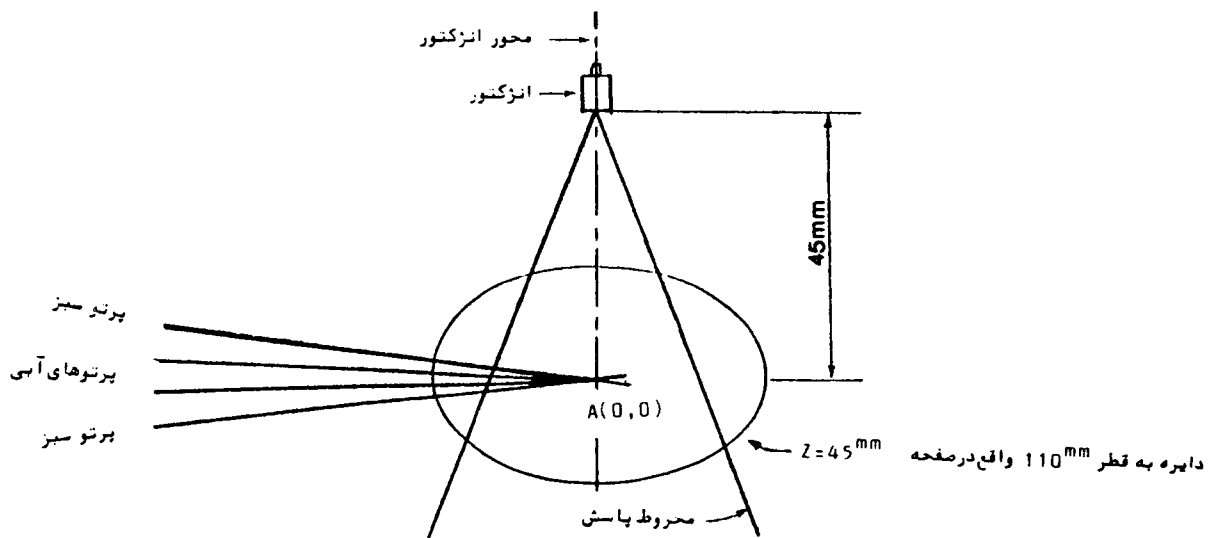
خواهد بود. لیکن برای افزایش دقت اندازه‌گیری، برای نقطه‌ای معین روی یک شعاع، میانگین مقادیر مربوط به نقاطی که فاصله‌شان تا نقطه A به یک اندازه است را بعنوان مشخصه مربوط به آن نقطه در نظر می‌گیریم. بعنوان مثال اگر منحنی تغییرات مربوط به قطر قطرات در امتداد یک شعاع را بخواهیم رسم کنیم، برای هر نقطه روی شعاع، میانگین قطر قطراتی که روی دایره‌ای به مرکز A مار بر آن نقطه قرار دارند را بعنوان قطر قطره در آن نقطه در نظر می‌گیریم (شکل ۱۰).

حال، چه تدبیری بیندیشیم که هم برای اندازه‌گیری دقیق‌تر، مورد فوق رعایت شده باشد و هم بتوانیم سه مؤلفه سرعت را از دستگاهی که در آن واحد دو مؤلفه سرعت را میدهد استخراج نمائیم؟^(۱) روش زیر به این منظور تدوین شده است:



شکل ۸: تغییرات اختلاف فاز نسبت به قطر.

آزمایشات مکرر نشان داده است که مشخصه‌های پاشش (قطر، سرعت، تعداد قطرات در واحد حجم) نسبت به مرکز تقارن A قرینه است یعنی اگر هرکدام از صفحه‌های پاشش را در امتداد یک شعاع رسم نمائیم، مرکز دایره، مرکز تقارن برای آن مشخصه

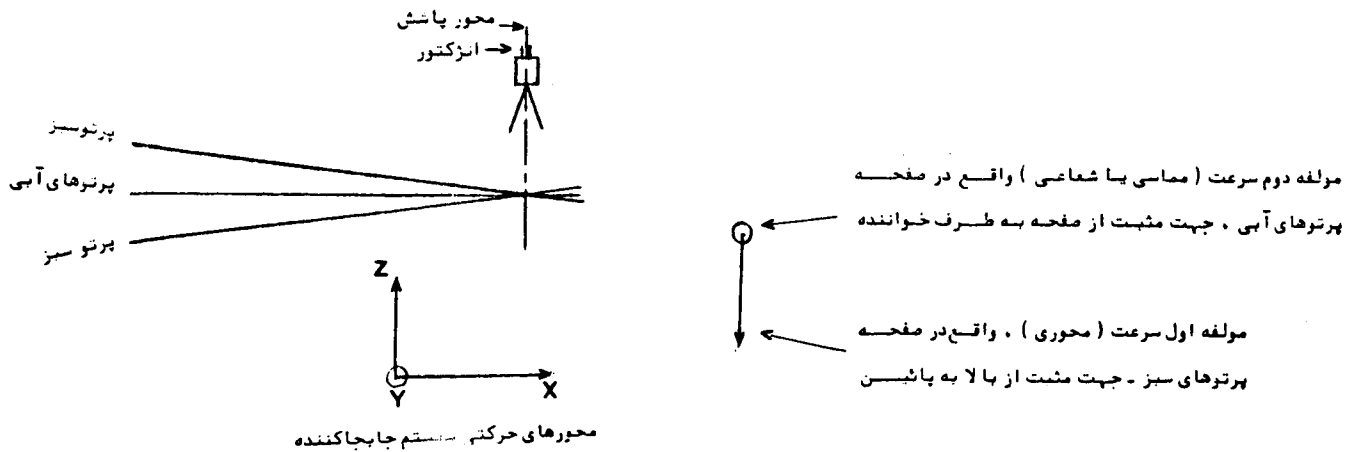


شکل ۹: محل تلاقی پرتوهای لیزر، ثابت بوده و انزکتور در صفحه افق جابجا می‌شود.

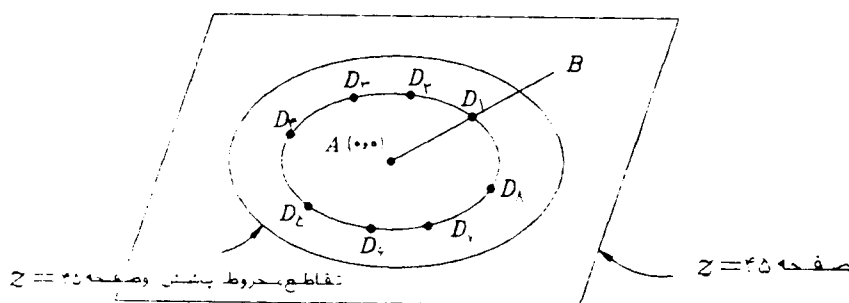
- ۱ - ابتدا Traverse را تراز نموده و محور X آنرا به موازات صفحه پرتوهای سبز تنظیم می کنیم^(۱).
- ۲ - انژکتور $\alpha 15$ را در جای خود می بندیم .
- ۳ - تنظیمات لازم را روی دستگاه PDA برای انجام آزمایش اعمال می کنیم^(۲) و دستگاه را برای انجام تست آماده می کنیم .
- ۴ - فشار مخزن آب را روی ۱۰ bar تنظیم می کنیم و پاشش را تشکیل می دهیم.
- ۵ - صفحه پرتوهای آبی را به فاصله ۴۵ mm از خروجی انژکتور تنظیم می کنیم (با استفاده از

- محور Z).
- ۶ - با استفاده از محورهای X و Y ، محل برخورد پرتوهای لیزر را روی محور پاشش قرار می دهیم و این نقطه را بعنوان (۰ ، ۰) به سیستم معرفی می کنیم .
- ۷ - برای ۴۲ نقطه واقع روی قطرهای عمود برهم $X = 0$ و $Y = 0$ (برای هر قطر ۲۱ نقطه) اندازه گیری را برای ۱۵۰۰ نمونه قطره برای هر نقطه انجام می دهیم^(۳)
- ۸ - پیچ تنظیم نگهدارنده انژکتور را اندکی شل کرده و انژکتور را 72° در یک جهت می چرخانیم و مجدداً

۱ - موقعیت پرتوهای لیزر، انژکتور و محورهای سیستم جابجا کننده بطور شماتیک



- پرتوهای سبز مولفه محوری سرعت (در امتداد جاذبه) و پرتوهای آبی مولفه دوم سرعت را میدهند. اگر محور X مربوط به سیستم جابجا کننده مطابق شکل به موازات صفحه پرتوهای سبز باشد، آنگاه در صفحه $Z = 45\text{mm}$ اگر در امتداد یک قطر $(y=cte)$ حرکت کنیم آنگاه مولفه دوم سرعت مولفه مماسی سرعت خواهد بود. برعکس، اگر در صفحه $Z = 45\text{mm}$ در امتداد قطری عمود بر قطر فوق $(x=cte)$ حرکت کنیم، آنگاه مولفه دوم سرعت، مولفه شعاعی خواهد بود.
- بنابراین اگر محور X موازی صفحه پرتوهای سبز بوده و همیشه در امتداد قطرهای $x=cte$ و $y=cte$ حرکت کنیم، سه مولفه سرعت را خواهیم داشت .
- ۲ - این تنظیمات شامل تنظیمات سخت افزاری (از قبیل تنظیم دقیق همگراشدن پرتوهای لیزر در یک نقطه، بالا بردن قدرت لیزر بوسیله تنظیمات صحیح اپتیک و ...) و نیز تنظیمات نرم افزاری (از قبیل دادن مشخصه های اپتیک به کامپیوتر، ایجاد فایل Traverse، انتخاب ولتاژ و bandwidth صحیح بوسیله کامپیوتر متناسب با سایز و سرعت قطرات و ...) میباشد. برای اطلاع بیشتر می توان به کتابچه های user's manual 1-PDA و 2-sizeware که بوسیله کمپانی سازنده تدوین شده است مراجعه نمود.
 - ۳ - از آنجا که پس از گذشتن از هر نقطه مقادیر مشخصه ها تغییر می کند بنابراین باید تنظیمات نرم افزاری را برای سیستم ، از قبیل ولتاژ و band width پس از عبور از چند نقطه ، مطابق با وضعیت جدید تغییر دهیم تا اندازه گیری دقیق صورت گیرد.



شکل ۱۰: هر مشخصه برای نقطه‌ای مثل D_1 واقع بر امتداد شعاع AB برابر است با میانگین مشخصه مربوط به نقاط D_1, D_7 و D_8 که روی یک محیط دایره قرار گرفته اند.

اطلاعات آنها (مشخصه پاشش در نقاط مختلف)) در صفحات ۱۱ تا ۲۵ آورده شده است و هر صفحه مربوط به یک فایل است که کد مربوطه در پائین هر صفحه آورده شده است.

حال از مجموعه اطلاعات ثبت شده برای هر انژکتور و هر مشخصه پاشش، مقادیر مربوط به نقاط همانند (که همچنانکه گفته شد، روی دواير هم مرکز قرار دارند) را با یکدیگر جمع کرده و میانگین‌گیری می‌کنیم. نتیجه حاصل در جدول ۲ آورده شده است.

منحنی تغییرات مشخصه‌های پاشش در امتداد یک شعاع در شکل‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۷ آورده شده است.

۷ - بحث در مورد منحنی‌ها

منحنی‌های مربوط به سرعت شعاعی، محوری و مطلق در صفحات ... و ... رسم شده‌اند. سرعت شعاعی (شکل ۱۲) در حوالی یال مخروط ماکزیمم بوده و حدود ده متر بر ثانیه است. این سه منحنی با اختلاف کمی بر هم منطبق هستند. هرچه از کناره‌ها به مرکز پاشش نزدیک می‌شویم سرعت شعاعی کاهش می‌یابد تا در نزدیکی‌های مرکز صفر شده و از آن پس به مقدار ناچیز کم (و منفی) می‌شود یعنی قطرات در نزدیک مرکز پاشش بجای دفع از مرکز، با سرعت

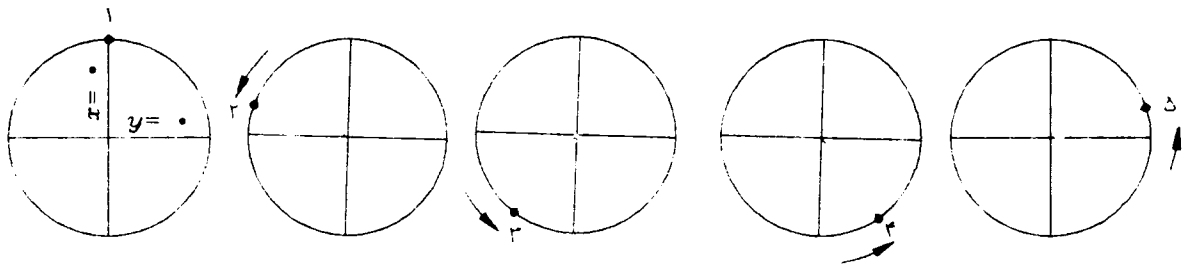
مراحل بالا را در امتداد دو قطر عمود برهم $X = 0$ و $Y = 0$ تکرار می‌کنیم.

۹ - مجدداً انژکتور را 72° در جهت قبلی می‌چرخانیم و اندازه‌گیری را در امتداد اقطار $X = 0$ و $Y = 0$ انجام می‌دهیم. این عمل را تا آنجا تکرار می‌کنیم تا انژکتور یک دور کامل چرخیده باشد.

۱۰ - مراحل فوق را برای انژکتورهای α_{25} و α_{35} تکرار می‌کنیم.

بنابراین برای هر انژکتور اندازه‌گیری در پنج مرحله انجام می‌شود ($360^\circ = 72 \times 5$) و در هر مرحله در امتداد دو قطر که حرکت کنیم جمعاً در امتداد ۱۰ قطر که زاویه دو قطر مجاور 18 درجه است اندازه‌گیری انجام شده است (به شکل ۱۱-b نگاه کنید) و مجموع نقاطی که مشخصه پاشش برای آنها ثبت و استخراج شده است $21 \times 10 = 210$ نقطه برای هر انژکتور است. ضمناً در هر نقطه، اندازه‌گیری برای 1500 قطره انجام می‌گیرد.

بازاء هر بار موقعیت انژکتور (موقعیتهای ۱ تا ۵ در شکل ۱۱-a)، اطلاعات مربوطه را در فایلی ذخیره می‌کنیم که نام فایل، کدی بصورت $LAabc$ است که در آن حرف c یکی از اعداد ۱ تا ۵ است که موقعیت انژکتور را نشان می‌دهد و ab یک عدد دو رقمی (۱۵ یا ۲۵ یا ۳۵) است که نوع انژکتور را نشان میدهد. بنابراین مجموعاً پانزده فایل خواهیم داشت که



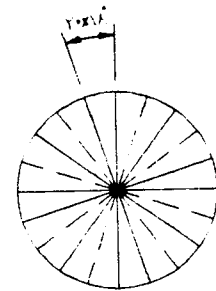
شکل a-۱۱: چرخش انژکتور هر بار 72° و موقعیت قطرهای عمود بر هم $x = 0$ و $y = 0$.

در این نواحی مشابه حالت قبل با افزایش زاویه مارپیچ ، به مقدار کم، سرعت محوری کاهش می یابد (از ۱۲ متر بر ثانیه به ۱۱ متر بر ثانیه میرسد).

منحنی تغییرات سرعت مماسی برای هر سه انژکتور در شکل ۱۴ منحنی تغییرات سرعت مطلق ذرات آورده شده است. از آنجا که مؤلفه سرعت مماسی در مقایسه با دو مؤلفه دیگر خیلی اندک است ، هیچ اثری در اندازه سرعت مطلق ندارد و لذا سرعت مطلق را از جذر مجموع مربعات سرعت شعاعی و محوری بدست آورده ایم. دیده میشود که در کناره ها سرعت حدود ۱۴ متر بر ثانیه بوده و با نزدیک شدن به مرکز پس از گذشتن از ماکزیمم ، کاهش می یابد تا اینکه در مرکز به حدود $6/5$ متر بر ثانیه میرسد. مجدداً دیده میشود که در حوالی مخروط پاشش (کناره ها) با افزایش زاویه مارپیچ ، سرعت مطلق به مقدار کمی کاهش می یابد.

علت کاهش سرعت در اثر افزایش زاویه α را می توان با مراجعه به شکل ۱۹ دریافت . در این شکل سه بردار سرعت که از مارپیچ های با زوایای ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درجه خارج شده اند نشان داده شده است که در نقطه A از مارپیچ جدا شده و به درپوش انژکتور برخورد میکنند.

از نقطه A تا خروجی انژکتور ابعاد هندسی برای هر سه انژکتور دقیقاً یکسان است. اگر دبی برای هر سه انژکتور یکسان باشد، گرچه مؤلفه مماسی سرعت (مؤلفه V_2 در شکل ۳) برای هر سه انژکتور یکسان است لیکن بردار سرعتی که با زاویه کمتر به درپوش برخورد نماید بعلافت کمتر گردابه قویتری در نازل



شکل b-۱۱: تلفیق تمامی حالت های پنج گانه .

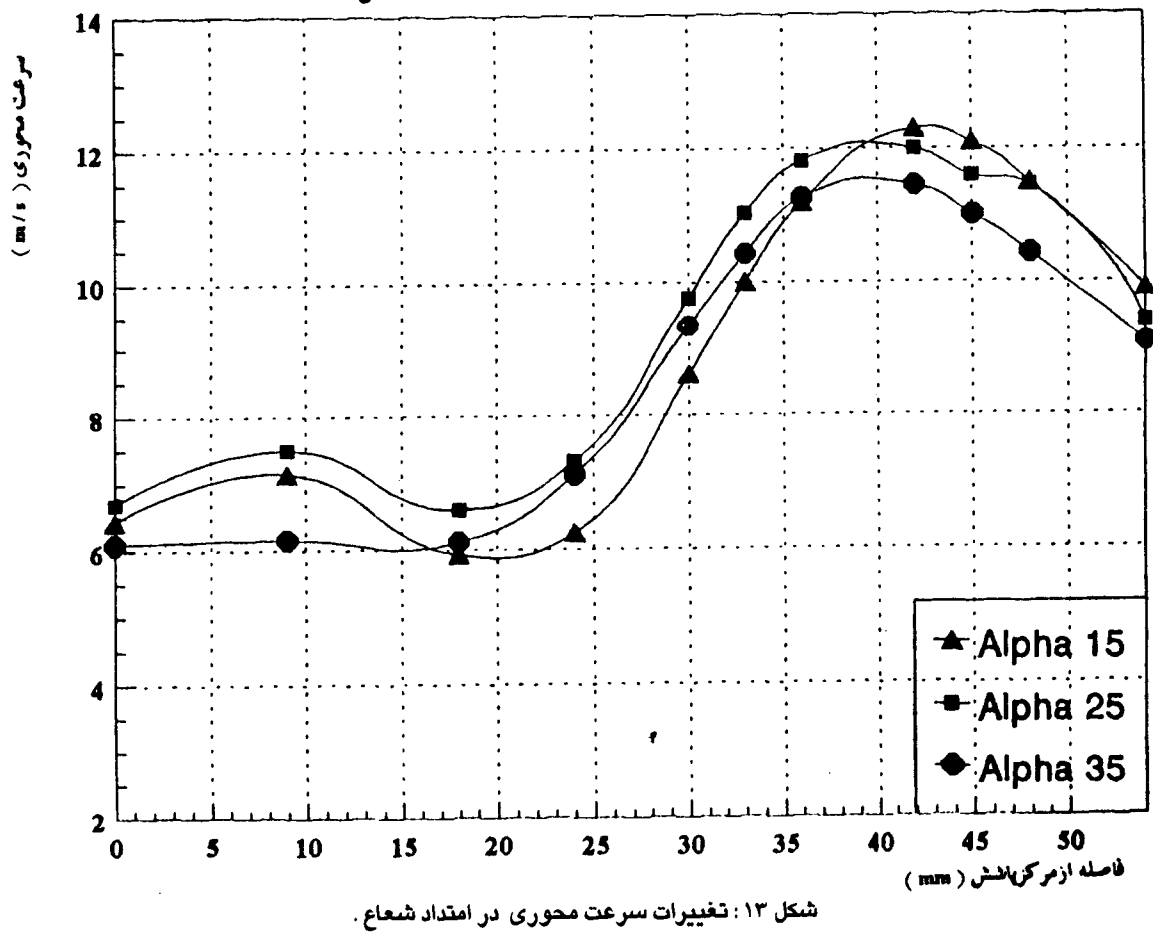
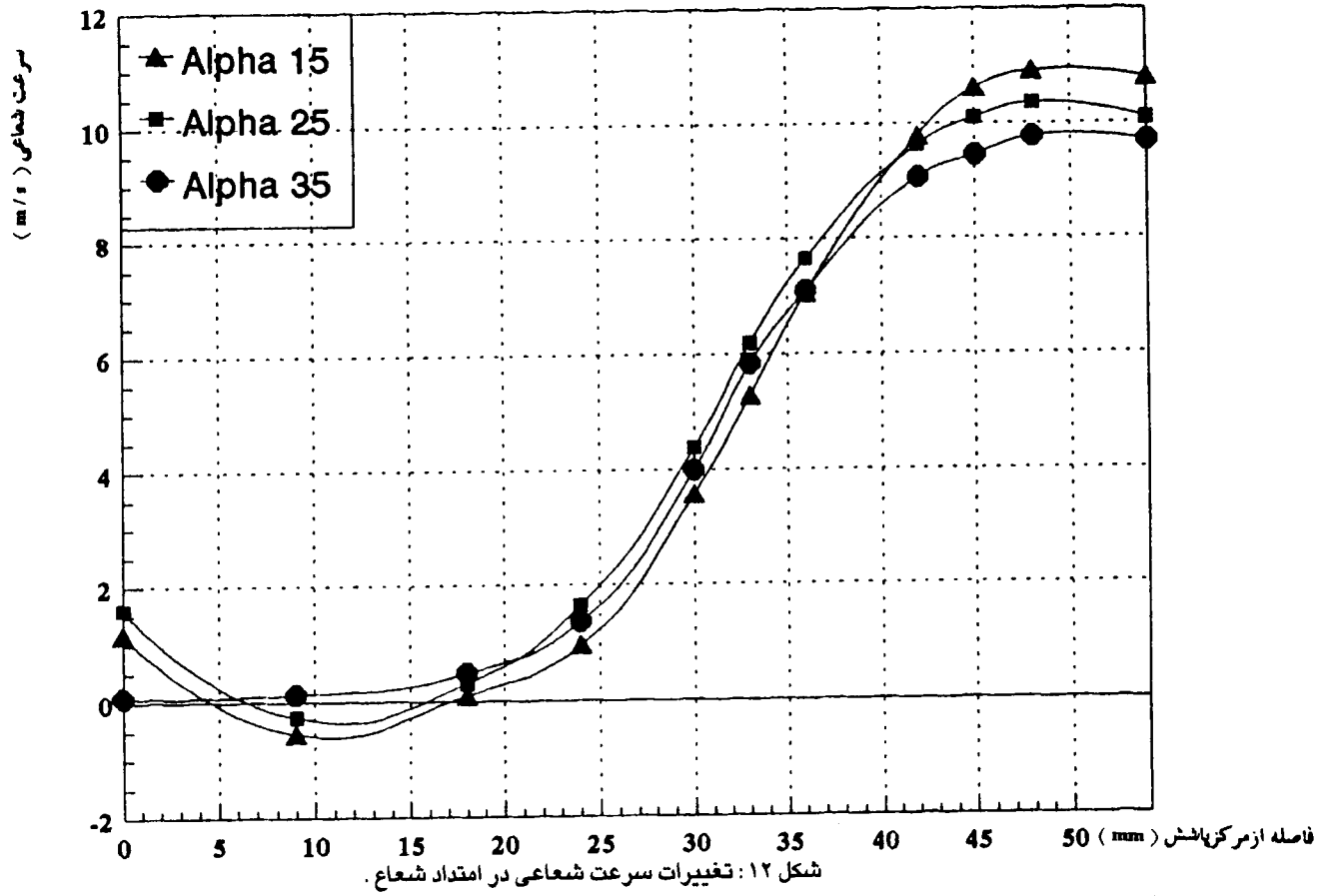
خیلی کم به مرکز جذب می شوند. و مجدداً در مرکز پاشش، سرعت صفر می شود. علت تغییر جهت حرکت قطره ها در نزدیک مرکز، بعلافت ناحیه کم فشاری است که در مرکز وجود دارد و قطرات نزدیک آن با سرعت کمی به طرف مرکز جذب میشوند.

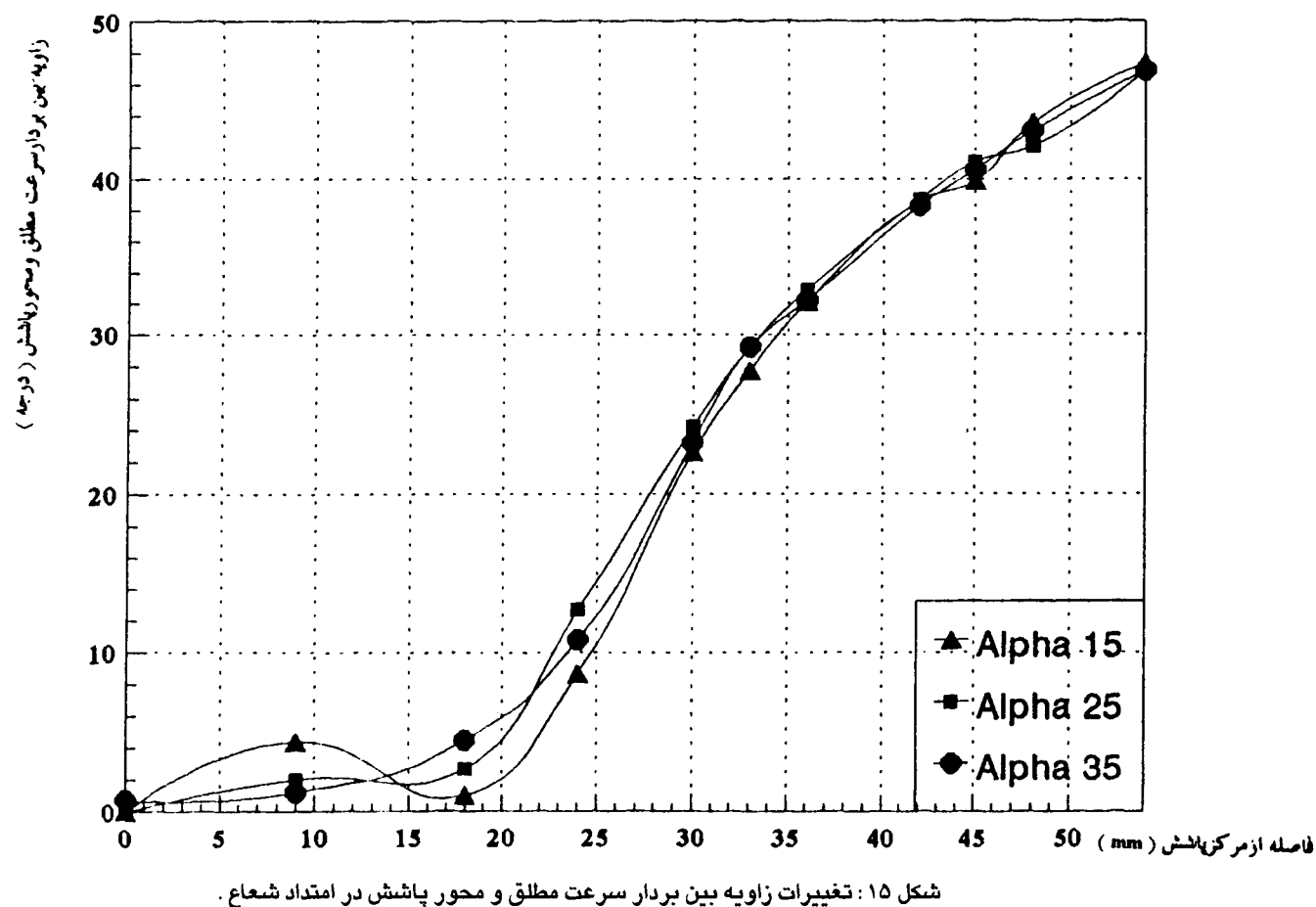
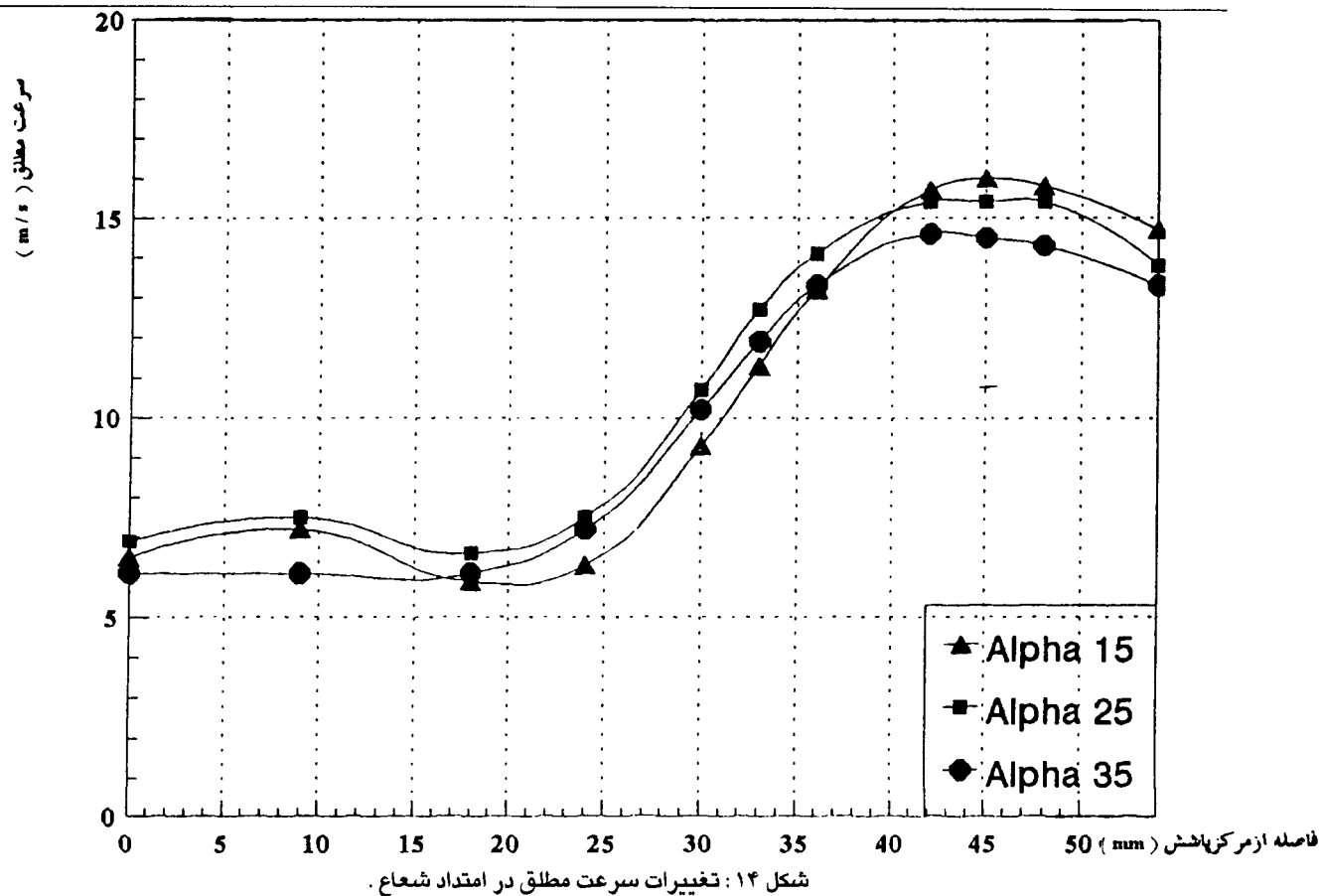
اگر چه این منحنی ها اختلاف ناچیزی باهم دارند لیکن برای ناحیه ای که دبی پاشش ماکزیمم است (نزدیک کناره ها)، هرچه زاویه α بیشتر میشود سرعت شعاعی اندکی کاهش می یابد (از ۱۱ متر بر ثانیه تا ۱۰ متر بر ثانیه کاهش می یابد). علت این پدیده را در ادامه بحث خواهیم دید.

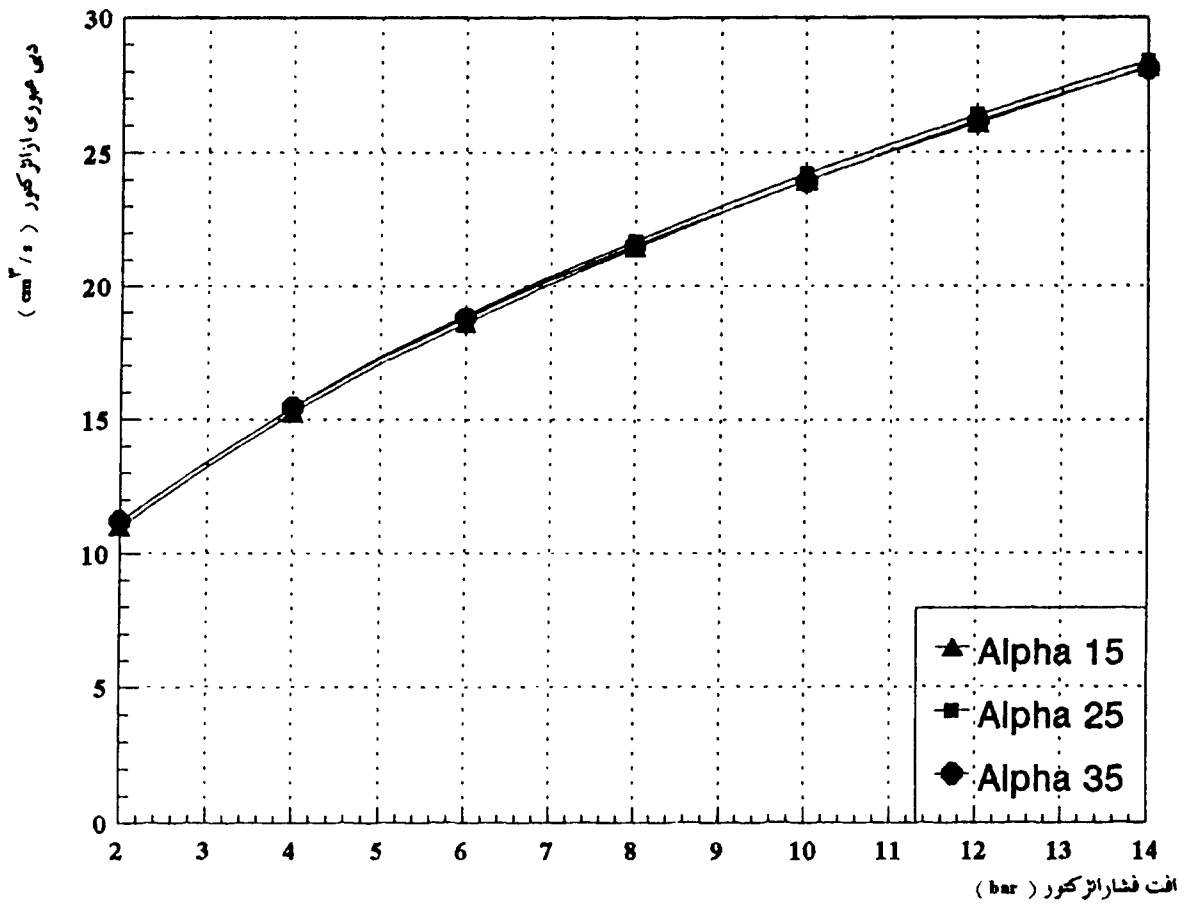
در شکل ۱۳ منحنی تغییرات سرعت محوری در امتداد شعاع آورده شده است . سرعت در کناره های پاشش حدود ده متر بر ثانیه است . هرچه به مرکز نزدیک می شویم ابتدا سرعت محوری افزایش یافته و به حدود $11/5$ متر بر ثانیه می رسد و از آن پس کاهش می یابد و در مرکز پاشش حدود $6/5$ متر بر ثانیه است. دیده میشود که سرعت محوری در نزدیکی های کناره که مخروط پاشش وجود دارد ماکزیمم بوده و

جدول ۲: مشخصه‌های پایش مربوط به آنژکتورها.

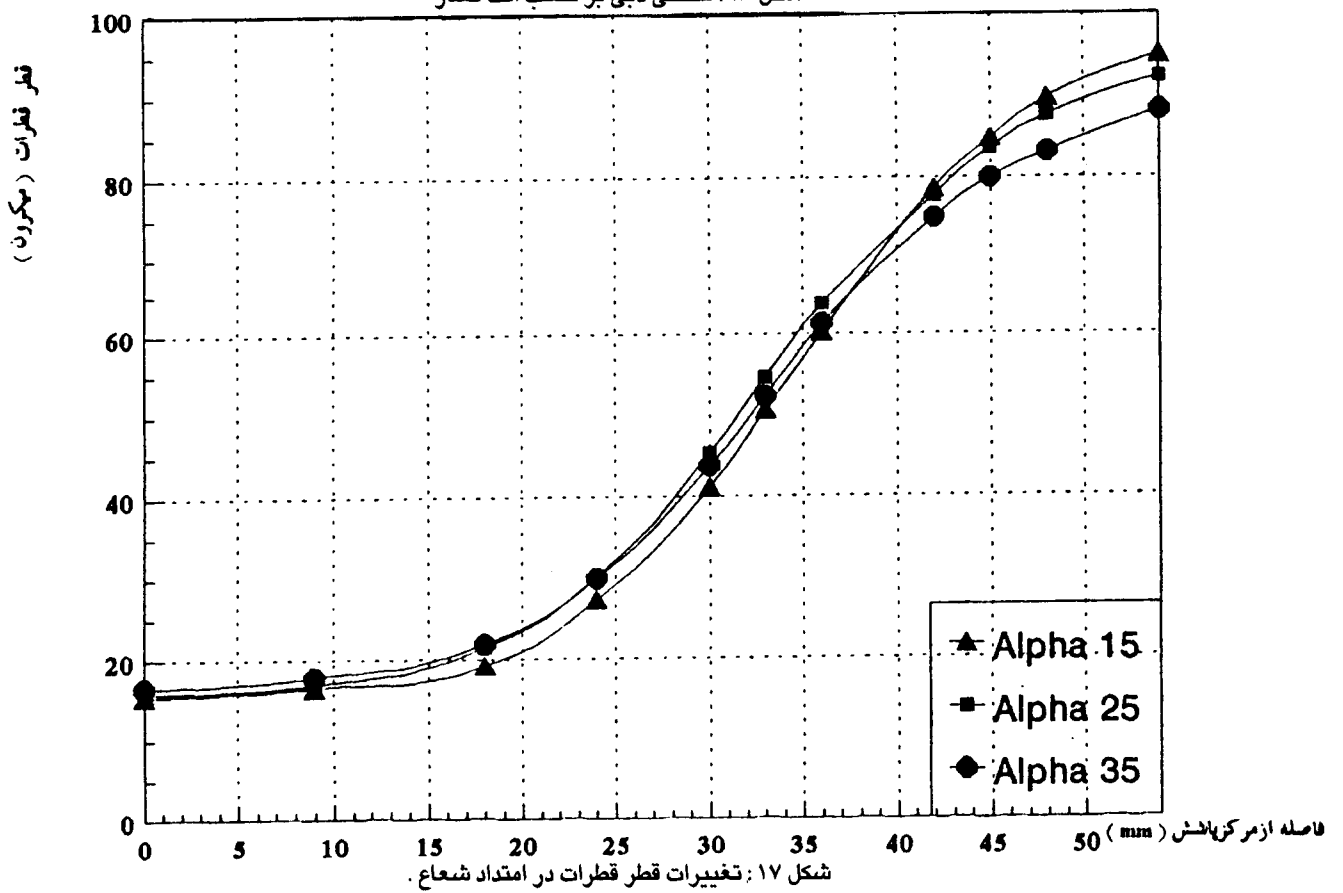
فاصله از محور پایش در امتداد شعاع (mm)	سرعت محوری $\frac{m}{s}$			سرعت شعاعی $\frac{m}{s}$			قطر قطرات (میکرون)			$\frac{m}{s}$			زاویه بردار سرعت مطلق قطره نسبت به محور پایش (درجه)			تعداد قطرات در امتداد شعاع		
	$\alpha 15$	$\alpha 25$	$\alpha 35$	$\alpha 15$	$\alpha 25$	$\alpha 35$	$\alpha 15$	$\alpha 25$	$\alpha 35$	$\alpha 15$	$\alpha 25$	$\alpha 35$	$\alpha 15$	$\alpha 25$	$\alpha 35$	$\alpha 15$	$\alpha 25$	$\alpha 35$
۰	۶/۲۲	۶/۶۸	۶/۱	۱/۱۷	۱/۵۹	۰/۰۸	۱۵/۵	۱۶/۶	۱۶/۶	۶/۵	۶/۸	۶/۱	۰	۰	۱۱۳۰	۱۴۷۸	۲۳۲۷	
۹	۷/۸۵	۷/۴۵	۶/۱۶	-۰/۵۵	-۰/۲۶۵	۰/۱۳	۱۶/۵	۱۷/۸	۱۶/۸	۷/۲	۷/۵	۶/۱	۲	۲/۴	۱۲۷۰	۱۶۶۴	۲۵۲۷	
۱۸	۵/۸۳	۶/۵۹	۶/۱۲	۰/۱	۰/۳۱	۰/۲۸	۱۹/۲	۲۱/۹	۲۱/۹	۵/۹	۶/۶	۶/۱	۱	۱	۱۸۴۰	۲۲۳۰	۳۵۰۲	
۲۲	۶/۳۵	۷/۳۲	۷/۱۲	۰/۹۶	۱/۶۵	۱/۳۶	۲۷/۳	۲۹/۹	۲۹/۹	۶/۳	۷/۵	۷/۲	۸/۷	۸/۷	۲۱۵۰	۲۳۳۰	۳۳۳۱	
۳۰	۸/۶	۹/۷۶	۹/۳۳	۳/۵۸	۴/۳۹	۲	۳۱/۱	۳۳/۷	۳۳/۷	۹/۳	۱۰/۷	۱۰/۲	۲۲/۶	۲۲/۶	۱۸۱۰	۲۱۶۰	۳۳۷۹	
۳۳	۱۰/۰۴	۱۱/۰۴	۱۰/۲۲	۵/۲۸	۶/۱۸	۵/۸۳	۵۰/۶	۵۲/۳	۵۲/۳	۱۱/۳	۱۲/۷	۱۱/۹	۲۷/۷	۲۹/۲	۱۷۷۰	۲۱۱۰	۳۲۲۰	
۳۶	۱۱/۲۱	۱۱/۸۲	۱۱/۲۷	۷/۰۴	۷/۶۲	۷/۰۹	۶۰/۲	۶۱/۳	۶۱/۳	۱۳/۲	۱۴/۱	۱۳/۳	۳۲/۱	۳۲/۹	۱۷۵۰	۱۹۹۰	۲۲۲۸	
۴۲	۱۲/۲۶	۱۲/۰۲	۱۱/۴۶	۹/۷۸	۹/۶۳	۹/۰۶	۷۸/۷	۷۷/۸	۷۷/۸	۱۵/۷	۱۵/۴	۱۲/۶	۳۸/۶	۳۸/۷	۱۲۱۰	۱۵۱۰	۱۷۰۲	
۴۵	۱۲/۰۷	۱۱/۵۹	۱۱/۰۲	۱۰/۶۲	۱۰/۱	۹/۴۵	۸۴/۹	۸۳/۷	۸۰	۱۶	۱۵/۴	۱۴/۵	۳۹/۹	۳۱/۱	۱۲۳۰	۱۲۳۰	۱۳۵۳	
۴۸	۱۱/۲۶	۱۱/۴۶	۱۰/۳۳	۱۰/۲۲	۱۰/۳۶	۹/۷۷	۸۹/۸	۸۷/۷	۸۱/۲	۱۵/۸	۱۵/۴	۱۲/۳	۳۳/۶	۲۲/۱	۹۶۰	۹۳۰	۱۰۸۰	
۵۳	۹/۹۲	۹/۴	۹/۰۷	۱۰/۸	۱۰/۰۸	۹/۶۹	۹۵	۹۲/۳	۸۸/۲	۱۴/۷	۱۳/۸	۱۳/۳	۲۷/۲	۲۷	۵۸۰	۵۷۰	۶۸۱	







شکل ۱۶: منحنی دبی بر حسب افت فشار



شکل ۱۷: تغییرات قطر قطرات در امتداد شعاع

نمی‌کند.

در شکل ۱۷ منحنی تغییرات قطر ذرات در امتداد شعاع آورده شده است. دیده میشود قطر در مرکز مینیمم و برابر $16 \mu\text{m}$ بوده و در کناره‌ها ماکزیمم و برابر $90 \mu\text{m}$ است یعنی هرچه از مرکز به کناره‌ها می‌رویم قطرات درشتتر میشوند. در روی یال مخروط پاشش، هرچه زاویه مارپیچ افزایش می‌یابد. مثلاً برای نقطه $R = 54 \text{ mm}$ ، قطر از 95 میکرون به 88 میکرون کاهش می‌یابد (کاهش به میزان $7/5\%$). تغییرات قطر برای سه انژکتور در هر نقطه حدود 7% است. از مقایسه منحنی‌های مربوط به سرعت و قطر، نتیجه می‌گیریم که قطرات درشتتر دارای سرعت بیشتری هستند.

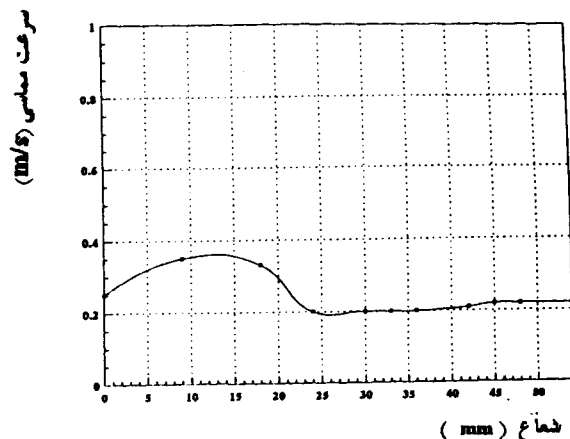
تأثیر زاویه مارپیچ بر تعداد در واحد حجم قطرات: از بخشی که در ضمیمه آمده است دیده میشود که تعداد در واحد حجم قطرات تابعی از تعداد و سرعت آنها می‌باشد. برای جرم معینی از سیال، قطر قطرات نیز روی آن اثر می‌گذارد و با کاهش قطر، تعداد آن افزایش می‌یابد.

بطور کلی، تعداد در واحد حجم قطرات، با تعداد آنها نسبت مستقیم و با سرعت آنها نسبت عکس دارد. در صفحات قبل دیدیم که افزایش زاویه مارپیچ، کاهش قطر و کاهش سرعت را بدنبال دارد که هر دو این عوامل باعث افزایش تعداد در واحد حجم قطرات میشود. این موضوع را میتوان در جدول ۲ مشاهده کرد.

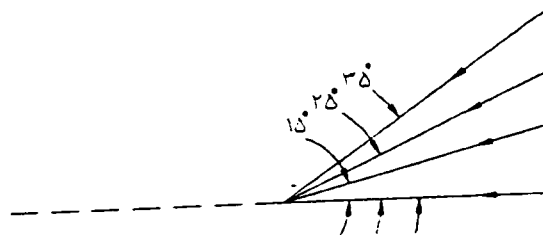
در کناره مخروط پاشش تعداد در واحد حجم قطرات حدود 620 قطره در سانتی‌متر مکعب است. حال اگر از کناره مخروط به مرکز نزدیک شویم، بعلت کاهش قطر و کاهش سرعت، تعداد در واحد حجم قطرات افزایش می‌یابد. بنابراین در مرکز پاشش تعداد در واحد حجم قطرات ماکزیمم است.

۸ - خلاصه نتایج

۱ - تغییر زاویه مارپیچ تأثیری در افت فشار انژکتور (وسیستم تغذیه راکت) ایجاد نمی‌کند.



شکل ۱۸: تغییرات سرعت محوری در امتداد شعاع.



شکل ۱۹: موقعیت زاویه‌ای سیال خروجی از مارپیچ نسبت به درپوش انژکتور.

(درپوش) ایجاد خواهد کرد. با افزایش قدرت گردابه، در شکل ۲ افزایش می‌یابد و لذا سطح مقطع مؤثر عبور جریان از اریفیس کاهش می‌یابد و در نتیجه سرعت جریان خروجی از انژکتور زیاد میشود. منحنی تغییرات زاویه θ (زاویه‌ای که بردار سرعت مطلق با محور پاشش می‌سازد) در شکل ۱۵ آورده شده است.

$$\theta = \text{tg}^{-1} \frac{\text{Radial Velocity}}{\text{axial velocity}}$$
 زاویه مارپیچ، بخصوص برای نواحی دارای دبی ماکزیمم (نزدیکی کناره‌ها) زاویه θ تغییر نمی‌کند و بنابراین زاویه مخروط پاشش تغییر محسوسی

را زیاد می کند و باعث استهلاک ابزار و بالا رفتن زمان ماشین کاری میشود. و از آنجا که پروسه ایجاد راهگاہ ، وقت کثیر است بنابراین ایجاد راهگاہی با زاویه بیشتر، سبب صرفه جوئی در وقت و کم کردن هزینه ماشین کاری خواهد شد و علاوه بر آن همچنانکه ملاحظه گردید تفاوت چندانی در مشخصه پاشش ایجاد نمی شود.

فهرست علائم

D	قطر مارپیچ (میلیمتر)
d	قطر اریفیس نازل (میلیمتر)
L	طول مارپیچ (میلیمتر)
N	تعداد راهگاہ مارپیچ
q	دبی سیال (سانتیمترمکعب بر ثانیه)
r _m	شعاع حفره هوائی (میلیمتر)
	سطح مقطع جریان در مقطع عمود بر
S ₁	راهگاہ (میلیمتر مربع)
	سطح مقطع جریان عمود بر بردار
S ₂	سرعت مماسی (میلیمترمربع)
V ₁	سرعت سیال در راهگاہ مارپیچ (متر بر ثانیه)
	مولفه مماسی سرعت سیال در راهگاہ مارپیچ
V ₂	(متر بر ثانیه)
	فاصله صفحه اندازه گیری از خروجی
Z	انژکتور (میلیمتر)
α	زاویه مارپیچ (درجه)
γ	زاویه همگرایی نازل (درجه)
ρ	دانسیته سیال (Kg/m ³)
μ	ویسکوزیته سیال $\frac{N \cdot Sec}{m^2}$
σ	کشش سطحی سیال (N/m)

۲- در مرکز پاشش سرعت شعاعی برابر صفر است .
 ۳- هرچه از مرکز دور میشویم سرعت شعاعی ابتدا افزایش یافته و در کناره ها تقریباً ثابت باقی می ماند، و این روند ارتباطی به زاویه مارپیچ ندارد.

۴- در حوالی مخروط پاشش، با افزایش زاویه مارپیچ سرعت شعاعی به مقدار کمی کاهش می یابد.

۵- سرعت محوری در مرکز پاشش مینیمم است .

۶- هر چه از مرکز دور میشویم، سرعت محوری ابتدا افزایش می یابد و پس از گذشتن از ماکزیمم (در مخروط پاشش) به مقدار کمی کاهش می یابد و این روند ارتباطی به زاویه مارپیچ ندارد.

۷- در حوالی مخروط پاشش، با افزایش زاویه مارپیچ ، سرعت محوری کمی کاهش می یابد.

۸- قطر قطرات در مرکز پاشش مینیمم است .

۹- هرچه از مرکز دور میشویم قطر قطرات افزایش می یابد.

۱۰- با افزایش زاویه مارپیچ ، قطر قطرات کمی کاهش می یابد.

۱۱- قطرات درشتتر دارای سرعت بیشتری هستند.

۱۲- زاویه مارپیچ تأثیری در زاویه بردار سرعت مطلق نسبت به محور پاشش ایجاد نمی کند.

۱۳- تعداد در واحد حجم قطرات در کناره ها مینیمم و در وسط ماکزیمم است .

۹- نتیجه کاربردی

کاهش زاویه مارپیچ ، طول راهگاہ و نیز سطح مقطع راهگاہ را افزایش داده و لذا حجم براده برداری

مراجع

- 1 - Sutoon, G. P.(1986). *Rocket Propulsion Elemens*. 5th ed. John Willey and Sons, Inc., NewYork.
- 2 - Parkin jr, C. M.(1959). *The Rocket Handbook for Amateurs*. The John Day Company, NewYork.
- 3 - Ring, E., editor.(1964). *Rocket Propellant and Pressurization Systems*. Prentice - Hall, Inc., Englewood cliffs, New Jersey.

-
- 4 - Ingebo, R. D., *Drop Size Distributions for Impinging Jet Breakup in Airstreams Simulating The Velocity Conditions in Rocket Combustors*. NACA TN 4222.
 - 5 - Hirai, T., Inomora, T., Mori, T., Okamoto, K., and Nagai, N., *A Study on Dynamic Characteristics of Spray Droplets*. Dept. of Precision Engineering, Faculty of Engineering, TOHOKOU University.
 - 6 - Haugen, P., *Particle Sizing and Velocity Measurements Using Laser Doppler Technique*. Dantes Electronic Medicinsk of Videnskabeligt Maleudstryr A/S. Tonsbakken 16-18, DK-2740 Skovlunde, Denmark.
 - 7 - Pitcher, D., and Wigley, G., *Sensitivity of Dropsiz Measurements by Phase Doppler Anemometry to Refractive Index Changes in Combusting Fule Spray*. Avl-List GmbH., Graz - Austria.
 - 8 - Pitcher, E., and Wigley, G., *A Study of the Breakup and Atomization of a Combusting Diesel Fuel Spray by Phase Doppler Anemometry*. Avl - List GmbH GRRAZ, Austria.
-