

# طراحی و ساخت اتمایزری جدید برای فرآیند FCC و ارزیابی عملکرد آن بر اساس اندازه گیری جریان توسط لیزر

علی جبرئیلی جلودار<sup>۱</sup>، محمد مهدی اکبرنژاد<sup>۲</sup>، مجید تقی زاده<sup>۳\*</sup>، مهدی احمدی مروست<sup>۲</sup>

۱- دانشگاه علوم و فنون، گروه مهندسی شیمی ۲- پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشگاه توسعه فرآیند  
۳\*- دانشگاه مازندران، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی E-mail: taghizadehfr@yahoo.com

## چکیده

طراحی و ساخت اتمایزر دو فازی برای اتمایز کردن خوراک سنگین نفتی به کمک بخار آب در افت فشار پایین در فرآیند شکست کاتالیستی سیال (Fluid Catalytic Cracking (FCC)) مورد مطالعه فرار گرفته است. اتمایزر طراحی شده در سیستم سرد (آب و هوا) با استفاده از دستگاه تحلیل دینامیکی ذرات بطور کمی مورد آزمایش قرار گرفت. جهت بهینه سازی عملکرد اتمایزر دو فازی براساس توزیع مناسب اندازه قطرات از روش طراحی آزمایشها (تاگوچی) استفاده شد. در این بررسی منحنی توزیع اندازه و سرعت قطرات ایجاد شده در فواصل مختلف از اتمایزر بهینه در دو وضعیت رو به پایین و بالا تعیین و عملکرد آن با یک اتمایزر دیگر مقایسه گردید.

**واژه های کلیدی:** اتمایزر، شکست کاتالیستی بستر سیال، قطر متوسط ساوتر (SMD)، توزیع اندازه و سرعت ذرات، اسپری رو به بالا و پایین.

## مقدمه

شکست کاتالیستی بستر سیال فرآیندی است که برای تبدیل برشهای سنگین نفتی مانند گازوئیل برج خلاء (Vacuum Gas-Oil) به فرآورده های سبک و با ارزش تر (بنزین) بکار می رود. این فرآیند در مجاورت کاتالیست پودری شکل صورت می گیرد. به منظور افزایش سطح تماس کاتالیست با خوراک، خوراک را باید توسط اتمایزرهای دو فازی بصورت اسپری درآورد. این امر باعث افزایش راندمان، انتخاب پذیری و خواص محصولات واحد FCC میگردد. علاوه بر این، اتمایزیشن یکنواخت خوراک باعث افزایش واکنش شکست کاتالیستی ابتدائی هیدروکربن- کاتالیست و کاهش واکنش شکست مجدد کاتالیست- محصولات می شود [۱و۲]. توزیع یکنواخت خوراک در

واحد FCC، افزایش محصولات مطلوب (بنزین) و کاهش محصولات نا مطلوب (کک و گازخشک) را در پی دارد [۳ و ۴]. در طراحی چنین اتمایزرهایی توزیع مناسب اندازه ذرات در افت فشار پائین از اهمیت به سزایی برخوردار است [۵]. با استفاده از روش طراحی آزمایشها (تاگوچی) میتوان قسمتهای مختلف اتمایزر را براساس قطر متوسط قطرات تولید شده بهینه سازی نمود. با توجه به اینکه کاتالیست در فرآیند FCC در فواصل مختلف از محل تزریق خوراک با آن برخورد می کند و اتمایزر در راکتور بالا برنده (Riser Reactor) در وضعیت رو به بالا قرار دارد، از این رو تاثیر فاصله بر روی توزیع اندازه و سرعت قطرات در اسپری تولید شده در دو حالت رو به بالا و رو به پایین متفاوت است.

## طراحی و ساخت نازل

اتمایزر طراحی شده یک اتمایزر دو فازی است که از سه بخش تشکیل شده است (شکل ۱):

۱- اتمایزیشن اولیه (a) ۲- اختلاط شدید (b) ۳- اتمایزیشن نهایی (c)

بخش اتمایزیشن اولیه از دو لوله متحد المركز تشکیل شده که در طول لوله داخلی سوراخ هایی جهت اختلاط خوراک و گاز تعبیه شده است. خوراک مایع (آب) به درون لوله داخلی و گاز اتمایز کننده (هوا) به فضای حلقوی بین دو لوله وارد شده و بوسیله سوراخهای موجود بر روی لوله داخلی با یکدیگر مخلوط می شوند. سپس مخلوط دو فازی از انتها به بخش اختلاط شدید وارد می گردد.

بخش اختلاط شدید از یک ماریچ استوانه ای تشکیل شده (d) که توسط یک لوله رابط احاطه شده است. این ماریچ، بر اثر حرکت دورانی و اختلاط شدید یک مخلوط همگن دو فازی قبل از اسپری شدن در دهانه اوریفیس ایجاد می کند [۶ و ۷ و ۸].

در بخش اتمایزیشن نهایی، مخلوط همگن ایجاد شده پس از عبور از یک اوریفیس دایره ای به صورت یک اسپری مخروطی توپر اتمایز می شود. بخش بیرونی اوریفیس به شکل مخروط (Conical) می باشد.

## طراحی آزمایشها به روش تاگوچی

طراحی آزمایشها یک روش قدرتمند آماری برای مطالعه همزمان چندین عامل است. روش تاگوچی یکی از روشهای طراحی آزمایشها است که برای اولین بار در سال ۱۹۸۰ در آمریکا معرفی شد [۹]. از این روش اغلب در تولید محصول و بهینه سازی فرآیندها استفاده می شود. اساس این روش بر آرایه های متعامد استوار بوده و دارای سه فاز برنامه ریزی، اجرا و تحلیل داده ها است.

## سیستم آزمایشگاهی

دیاگرام کلی جریان سیستم آزمایشگاهی در شکل ۲ نشان داده شده است. آب توسط پمپ  $P_1$  از مخزن  $T_1$  پمپ شده، جهت حذف نوسانات پمپ از یک ضربه گیر

(Knock Out Drum) استفاده می شود. دبی و فشار آب ورودی به ترتیب از روی فلومتر  $FI_1$  و فشارسنج  $PI_1$  قرائت شده و توسط شیر  $V_1$  کنترل می شود. جریان هوای ورودی به سیستم پس از عبور از رگولاتور PIC و شیر سوزنی  $V_2$  توسط فلومتر هوا  $FI_2$  و فشارسنج  $PI_2$  اندازه گیری می شود. به منظور جلوگیری از جریان برگشتی در خطوط آب و هوا به ترتیب بعد از فشارسنج های  $PI_1$  و  $PI_2$  از شیرهای یکطرفه  $CV_1$  و  $CV_2$  استفاده شده است که جریانهای خروجی از شیرها توسط دو خط مجزا به نازل متصل می شوند. فشار مخلوط آب و هوا پس از اختلاط در ناحیه اتمایزیشن اولیه، قبل از ورود به ناحیه اختلاط شدید توسط فشارسنج  $PI_3$  اندازه گیری میگردد. جهت اندازه گیری اندازه و سرعت ذرات تولید شده توسط اتمایزر از دستگاه تحلیل دینامیکی ذره (PDA) که قابلیت اندازه گیری همزمان قطر و سرعت ذرات کروی را در محیطهای گاز و مایع داراست استفاده می شود [۱۰]. این دستگاه میتواند قطر ذرات کروی بین ۰/۵ میکرون تا چند میلی متر را اندازه گیری نماید. همچنین ماکزیمم سرعت قابل اندازه گیری ذرات توسط آن  $500 \text{ m/sec}$  است. اندازه گیری همزمان قطر و سرعت ذرات، قابلیت ایجاد روابط بین این کمیتها را ممکن می سازد.

این دستگاه بر مبنای اصل جهت سنجی فاز داپلر (Phase Doppler anemometry) که مدل توسعه یافته جهت سنجی لیزر داپلر (Laser Doppler anemometry) می باشد پایه ریزی گردیده است. نحوه کار دستگاه بدین گونه است که بعد از تولید نور توسط منبع لیزر، این نور بوسیله Bragg Cell به دو پرتو با شدت یکسان تبدیل می شود. این دو پرتو پس از عبور از دوربین فرستنده (Transmitting Optic) در فاصله کانونی عدسی (۴۰ cm) با یکدیگر تلاقی می کنند. دوربین گیرنده (Receiving optic)، نورهایی را که بر اثر برخورد با قطرات منعکس شده اند دریافت نموده و آنها را به ترتیب به آشکارساز نور (Photo Detector) و پردازشگر (Signal Processor) می فرستد و سپس اطلاعات

پردازش شده به کامپیوتر منتقل شده و توسط نرم افزار "BSA Flow" تجزیه و تحلیل می شود. این دستگاه اندازه گیری همزمان سرعت و قطر ذرات را در هر نقطه از اسپری امکان پذیر می سازد. اندازه گیری سرعت ذرات بر اساس تغییر فرکانس بین "منبع تولید نور" و "تور دریافت شده توسط دوربین دریافت کننده" می باشد، در حالی که اندازه گیری قطر ذرات بر اساس اختلاف فاز بین نور های انعکاس یافته است که توسط دو دکتور دریافت می شود. این اختلاف فاز با قطر ذرات نسبت مستقیم دارد.

جهت مطالعه نقاط مختلف اسپری، دستگاه جابجا کننده ای (Traverse) در نظر گرفته شده، که قادر است نازل را در مختصات قطبی و کارتزین در سه جهت  $X, Y, Z$  با دقت یک دهم میلی متر جابجا نماید. دستگاه تحلیل دینامیکی مورد استفاده ساخت کمپانی Dantec Dynamics دانمارک می باشد.

### روش انجام آزمایشات

نازل طراحی شده دارای ۹ فاکتور دو سطحی است (جدول ۱) که برای بهینه کردن عملکرد آن از روش طراحی آزمایشها (تاگوچی) استفاده شده است. در این طراحی آرایه ای مناسب بصورت  $L_{12}$  انتخاب (جدول ۲) و آزمایشات مربوطه در دو سری تکرار گردید که معیار اندازه گیری آزمایشات متوسط حسابی قطر ( $\bar{D}$ ) بوده است.

در این آزمایشات، اندازه گیری ها در سطح مقطعی دایروی به فاصله ۱۴ cm از نوک نازل انجام گرفت. جهت بررسی نحوه توزیع قطر ذرات در این مقطع،  $131$  نقطه بصورت دایروی با مشخصات  $\Delta r = 2 \text{ mm}$  و  $\Delta \theta = 30^\circ$  انتخاب شدند که زاویه نقاط انتخاب شده نسبت به یکدیگر و  $\Delta r$  فاصله نقاط در جهت شعاعی می باشد (شکل ۳). جهت اندازه گیری قطر و سرعت ذرات در نقاط مورد نظر توسط دستگاه PDA، اتمایزر بوسیله دستگاه جابجا کننده با دقت 0.1 mm حرکت داده می شد.

با اعمال آنالیز S/N بر روی داده های تجربی بدست آمده بر اساس جدول ۲ مقدار  $\bar{D}$  برابر با ۱۶/۶۲۸ میکرون

محاسبه گردید. سپس فاکتورهای اصلی موثر در طراحی و ساخت اتمایزر از برنامه استخراج و تاثیر هر یک بر روی نتایج تجربی به روش ANOVA تعیین شد. بر اساس فاکتورهای بدست آمده نازل بهینه ای ساخته شد و قطر متوسط ذرات در این حالت بار دیگر در دو سری اندازه گیری گردید که مقدار آن ۱۸/۲۱ میکرون بود که با مقدار محاسباتی به روش تاگوچی ۹/۵٪ اختلاف داشت. علت این اختلاف، خطای موجود در طراحی و یا احتمالاً وجود اثرات متقابل بین فاکتورها می باشد که در طراحی منظور نشده است.

نتایج بدست آمده از روش ANOVA حاکی از آن است که فاکتور قطر سوراخ لوله توزیع کننده تنها فاکتور بی اثر در طراحی است و عمق سوراخ اوریفیس و فشار مخلوط در مقایسه با بقیه فاکتورها تاثیر بیشتری در شرایط بهینه نازل دارد.

### بهینه سازی نازل بر حسب دبی

در طراحی آزمایشها به روش تاگوچی اثر دبی آب و هوا بعنوان دو فاکتور مجزا منظور نگردید زیرا با تغییر سیستم اتمایزر در هر آزمایش (بر اساس آرایه  $L_{12}$ )، امکان رسیدن به سطوح مورد نظر برای دبی آب و هوا بطور مجزا وجود نداشت. لذا از فاکتور فشار مخلوط بجای فاکتورهای دبی آب و هوا در طراحی استفاده گردید. پس از مشخص شدن آرایش بهینه نازل در فشار مخلوط ثابت نوبت به بهینه کردن دبی های آب و هوا رسید. برای اینکار درصد جرمی های مختلف هوا نسبت به آب (۲/۲، ۳، ۴/۱، ۵٪) در نظر گرفته شد و قطر متوسط قطرات در فاصله ۱۴ cm از نوک نازل اندازه گیری گردید.

شکل ۴ و ۵ نمودار تغییرات قطر متوسط ذرات را در نسبتهای مختلف دبی آب و هوا برای اتمایزر بهینه نشان میدهد.

نتایج فوق نشان میدهند که با افزودن ۴/۱ درصد هوا به آب میتوان به توزیع یکنواختی از اسپری تولیدی دست یافت که در این حالت مقدار دبی آب ۶/۵ lit/hr و فشار مخلوط

۳۰ Psig می باشد. مشخصات نهایی نازل بهینه در جدول ۳ نشان داده شده است.

قطر متوسط ساوتر توسط معادله زیر محاسبه می گردد:

$$(D_{32})_j = \frac{\sum_{i=1}^{N_j} D^3}{\sum_{i=1}^{N_j} D^2} \quad (1)$$

که در آن  $j$  نقاط اندازه گیری شده در سطح مقطع اسپری و  $i$  قطر نمونه ها در هر نقطه از سطح مقطع که توسط دستگاه نمونه گیری شده و  $N_j$  تعداد کل قطرات نمونه گیری شده در نقطه  $j$ ام می باشد.  $\bar{D}_{32}$  کل اسپری از طریق متوسط حسابی  $D_{32}$  نقاط در همان سطح مقطع بدست می آید که این مقدار برای نازل بهینه در حالت رو به پایین برابر با ۷۸/۴۸ میکرون می باشد.

شکل ۶ هیستوگرام قطر متوسط و قطر ساوتر قطرات تولید شده در سطح مقطع مورد نظر توسط نازل بهینه رو به پایین را نشان میدهد. همانگونه که در شکل مشاهده می گردد اکثر قطرات دارای قطر متوسط حدود ۲۰-۱۵ میکرون و قطر ساوتری حدود ۹۵-۶۵ میکرون می باشند.

چگونگی توزیع قطرات تولید شده توسط نازل بهینه بر حسب قطر متوسط و قطر ساوتر که توسط دستگاه PDA رسم شده در شکل ۷ نشان داده شده است. این توزیع بیانگر یکنواختی نسبتاً خوب قطرات در سطح مقطع اسپری است. شکل ۸ چگونگی توزیع سرعت قطرات را در وضعیت مورد نظر نشان میدهد.

### اتمیزی با لوله توزیع کننده متفاوت و مقایسه عملکرد آن با اتمایزر بهینه

به منظور بهبود عمل توزیع قطرات، اتمایزر جدیدی ساخته شد که در آن آرایش سوراخها در بخش اتمایزیشن اولیه نازل تغییر یافته تا عمل اختلاط آب و هوا بهتر انجام پذیرد. لوله توزیع کننده این نازل دارای ۶ سوراخ یک میلی متری در انتها می باشد که بر روی یک حلقه دایره ای قرار گرفته اند (شکل ۹). بقیه فاکتورها همانند فاکتورهای نازل بهینه می باشند. با انجام آزمایشاتی مشابه حالت قبل و این بار در

فاصله ۸ و ۱۴ و ۲۰ سانتیمتری از نوک نازل ( $Z$ )، هر دو نازل در وضعیت رو به پایین مورد مطالعه قرار گرفته و اندازه و سرعت در طول اسپری اندازه گیری گردید. هر یک از آزمایشات دو بار تکرار و قطرهای محاسبه گردید که نتایج مربوط به قطر متوسط و ساوتر ( $\bar{D}_{32}$ ) در هر مقطع اسپری برای نازلهای بهینه و جدید در جدول ۴ و شکلهای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ ارائه شده اند. تغییرات سرعت متوسط و سرعت RMS نسبت به فاصله از نوک نازلها ( $Z$ ) در شکلهای ۱۴ و ۱۵ نشان داده شده است.

### بررسی اسپری در حالت رو به بالا

جهت انجام آزمایشات رو به بالای اتمایزر از یک محفظه فایبر گلس استفاده گردید تا ضمن عبور نور لیزر از آن از پخش قطرات آب در محیط جلوگیری شود، ضمناً این محفظه به نحوی ساخته شد تا قطرات برگشتی روی جداره، تداخلی در سیستم اندازه گیری بوجود نیاورند.

جهت بررسی نحوه تغییرات اندازه قطرات برای نازل بهینه و جدید در وضعیت رو به بالا آزمایشات همانند قبل در سه فاصله ۸، ۱۴، و ۲۰ سانتیمتر از نوک نازل انجام شد که نتایج بدست آمده برای هر دو نازل در جدول ۵ ارائه شده است. شکل ۱۶ تغییرات قطر متوسط و  $\bar{D}_{32}$  را برای نازل بهینه در وضعیت رو به بالا نسبت به فاصله نشان می دهد. همچنین تغییرات قطر و سرعت متوسط در فاصله ۱۴ سانتیمتری به ترتیب در شکلهای ۱۷ و ۱۸ رسم شده است.

مقایسه تغییرات قطر متوسط بر حسب فاصله در دو وضعیت روبه بالا و پایین نازل بهینه در شکل ۱۹ نشان می دهد که نحوه تغییرات در هر دو وضعیت یکسان بوده با این تفاوت که نازل در حالت رو به بالا قطرات درشت تری ایجاد می کند که علت آن نیروی ثقل وارد شده به قطرات می باشد. قطر ساوتر متوسط قطرات تولید شده در این حالت ۱۶۵ میکرون می باشد. شکل ۲۰ و ۲۱ منحنی تغییرات اندازه و سرعت قطرات ایجاد شده توسط نازل بهینه در وضعیت رو به بالا را بر حسب فاصله نشان میدهد.

## نتیجه گیری

اتمایزر طراحی شده نسبت به اجزاء تشکیل دهنده آن به منظور تولید قطرات با قطر کمتر، بهینه گردید. حالت اورفیس، عمق اورفیس و فشار مخلوط پارامترهای مهم تاثیر گذار در طراحی اتمایزر می باشند. متوسط قطر ساوتر بدست آمده توسط نازل بهینه در وضعیت رو به پایین برابر با  $78/48$  میکرون و در وضعیت رو به بالا برابر با  $166/68$  میکرون می باشد. نسبت هوا به آب مصرفی در اتمایزر برای حالت بهینه  $4/1$  وزنی است که مقداری مناسب برای فرآیند FCC است.

متوسط قطر ساوتر قطرات تولید شده توسط نازل جدید در وضعیت رو به پایین و بالا در فاصله  $14\text{cm}$  از نوک نازل به ترتیب  $84/07$  و  $189/52$  میکرون بوده که نسبت به نازل بهینه بزرگتر است اما در این حالت توزیع قطرات در داخل اسپری بصورت یکنواخت تری در می آید.

منحنی تغییرات قطر متوسط در وضعیت رو به پایین برای نازل جدید در مقایسه با نازل بهینه تغییر چندانی نکرده، مقدار قطر متوسط ذرات بدست آمده در فاصله  $14$  سانتیمتر برای نازل بهینه در وضعیت رو به پایین و بالا به ترتیب  $18/21$  میکرون و  $66/84$  میکرون می باشد.

تغییرات سرعت متوسط و سرعت RMS بر حسب فاصله از نوک نازل در وضعیت رو به پایین برای نازل جدید در مقایسه با نازل بهینه بهبود یافته است.

نحوه تغییرات قطر متوسط و قطر ساوتر برای نازل بهینه در وضعیت رو به بالا مشابه رو به پایین بوده اما اندازه قطرات در مقایسه با رو به پایین بزرگتر است.

## تقدیر و تشکر

بدین وسیله از مدیریت پژوهشگاه صنعت نفت که با در اختیار گذاشتن امکانات خود ما را در انجام این پروژه یاری نمودند صمیمانه تشکر و قدرانی میگردد.

## منابع و ماخذ

1. "Fcc Feed injection system", Hydrocarbon Engineering. Oct. 2000, P (67)
2. K.N. Theologos, A.I. Lygeros, N.C. Makatos, "Feed stock atomization effects on Fcc riser reactors selectivity", chemical Engineering Science 54(1999),p 5617- 5925
3. David L. Johnson, Amos' A. Avidan, Poul H. Schipper, Rik B. Miller, Tiffin E. Johnson, "New nozzle improves Fcc feed atomization, unit yield patterns", Oil & Gas Journal, Oct.24, 80,1994
4. B.F. Dahlstrom, Kevin Ham, Myron E. Becker, Tom q. Hum, Regina, Sask. Larry Locijan, Tom Lorsbach, "Feed injection, riser – termination system replaced in fast- track revamp", Oil & Gas Journal, July, 29,3,1996
5. Rick Miller, yang- Lin yang, Eusebius Gbordzoe, David L. Johnson, Skill leader, Tim Mallo, "New Development in Fcc feed Injection and Stripping technologies", NPRA, 2000 Annual Meeting. March 26–28, 2000, convention center San Antonio, Texas
6. Kean, Lawrence E., "FCC process using feed atomization Nozzle", U.S. Patent No.5, 108, 58, April 28, 1992
7. Dau; Saisheng M., Hansen: Allen R., Haidenreich: Steven C., Hillier: William J., Niccum: Phillip, Schlosman: Maury I., "Heavy hydrocarbon feed atomization", U.S. patent No.5, 306, 418, April 26, 1994
8. Hartley owen, "Orifice plate Feed nozzle and atomization Process", U.S.Patent No.5, 948, 241, Sep.7, 1999
9. Alberto Garcia and Dont. Phillips, Principles of experimental Design and analysis, Chapman & Hall, 1995
10. Haugen, P. "Particle sizing and velocity measurements using laser Doppler technique", 9th Symp. of the American Meteorological Society on Turbulence and Diffusion, Roskilde, Denmark (1990)

### جدول ۱- فاکتورهای اصلی اتمایزر بکار رفته در روش تاگوجی

| فاکتورها                         | سطح ۱              | سطح ۲             |
|----------------------------------|--------------------|-------------------|
| طول لوله توزیع کننده (A)         | ۱۴Cm               | ۲۰Cm              |
| تعداد سوراخ لوله توزیع کننده (B) | ۱۰ عدد             | ۱۵ عدد            |
| قطر سوراخ لوله توزیع کننده (C)   | ۰/۷۵mm             | ۱mm               |
| طول لوله رابط (D)                | ۴Cm                | ۸Cm               |
| طول ماریپیچ (E)                  | تمام طول لوله رابط | نصف طول لوله رابط |
| حالت اوریفیس (F)                 | بدون cone          | با cone           |
| قطر سوراخ اوریفیس (G)            | ۰/۷۵ mm            | ۱ mm              |
| عمق سوراخ اوریفیس (H)            | ۵ mm               | ۸ mm              |
| فشار مخلوط (I)                   | ۳۰Psig             | ۴۰ Psig           |

### جدول ۲- آرایه L<sub>12</sub> در طراحی آزمایشها

| Trial No. | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3         | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 4         | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 5         | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 6         | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 7         | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 8         | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 9         | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 10        | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 11        | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 12        | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |

### جدول ۳ - فاکتورهای نازل بهینه در حالت کلی

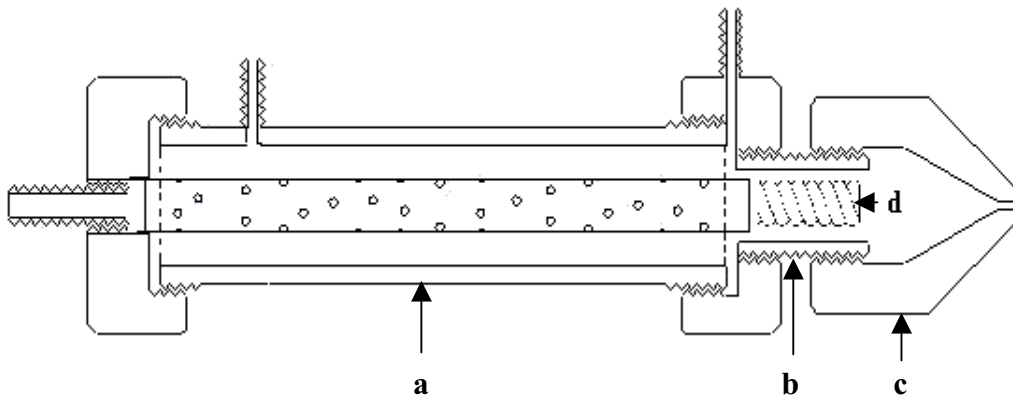
| Factor                           | Optimum level |
|----------------------------------|---------------|
| طول لوله توزیع کننده (A)         | ۱۴ Cm         |
| تعداد سوراخ لوله توزیع کننده (B) | ۱۵ عدد        |
| قطر سوراخ لوله توزیع کننده (C)   | ۰/۷۵ mm       |
| طول لوله رابط (D)                | ۸ Cm          |
| طول ماریپیچ (E)                  | ۸ Cm          |
| حالت اوریفیس (F)                 | With Cone     |
| قطر سوراخ اوریفیس (G)            | ۱ mm          |
| عمق سوراخ اوریفیس (H)            | ۵ mm          |
| فشار مخلوط (I)                   | ۳۰ psig       |
| دبی آب                           | ۶/۵ lit/hr    |
| دبی هوا                          | ۴/۱٪ وزنی آب  |

جدول ۴- نتایج مربوط به قطر متوسط و  $\bar{D}_{32}$  در فواصل مختلف از نوک نازلها در حالت رو به پایین

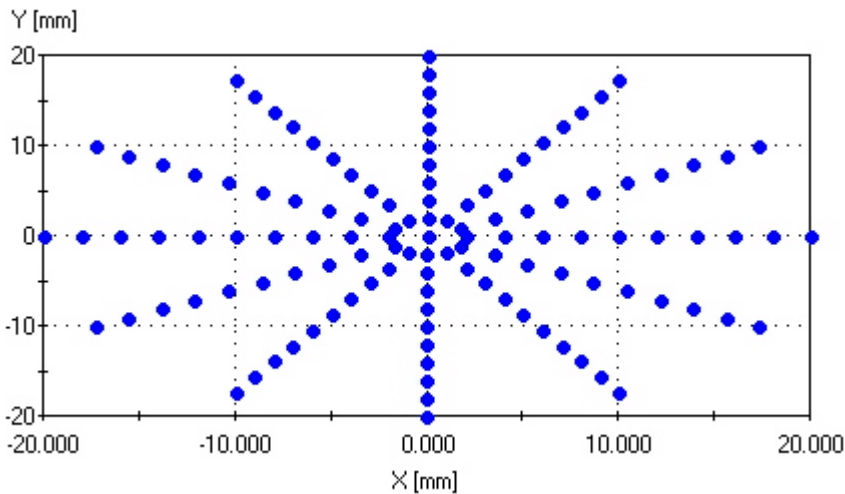
| قطر متوسط (میکرون) |         |            |         | $\bar{D}_{32}$ (میکرون) |         |            |         | فاصله از نوک نازل (cm) |
|--------------------|---------|------------|---------|-------------------------|---------|------------|---------|------------------------|
| نازل جدید          |         | نازل بهینه |         | نازل جدید               |         | نازل بهینه |         |                        |
| سری دوم            | سری اول | سری دوم    | سری اول | سری دوم                 | سری اول | سری دوم    | سری اول |                        |
| 27.43              | 33.04   | 27.70      | 27.34   | 86.06                   | 95.91   | 85.73      | 86.18   | 8                      |
| 27.43              | 28.73   | 22.42      | 21.83   | 86.06                   | 82.08   | 79.16      | 77.80   | 14                     |
| 30.19              | 30.92   | 23.33      | 22.46   | 86.89                   | 87.83   | 86.69      | 81.57   | 20                     |

جدول ۵- نتایج قطر متوسط و  $\bar{D}_{32}$  نازلهای بهینه و جدید در وضعیت روبه بالا

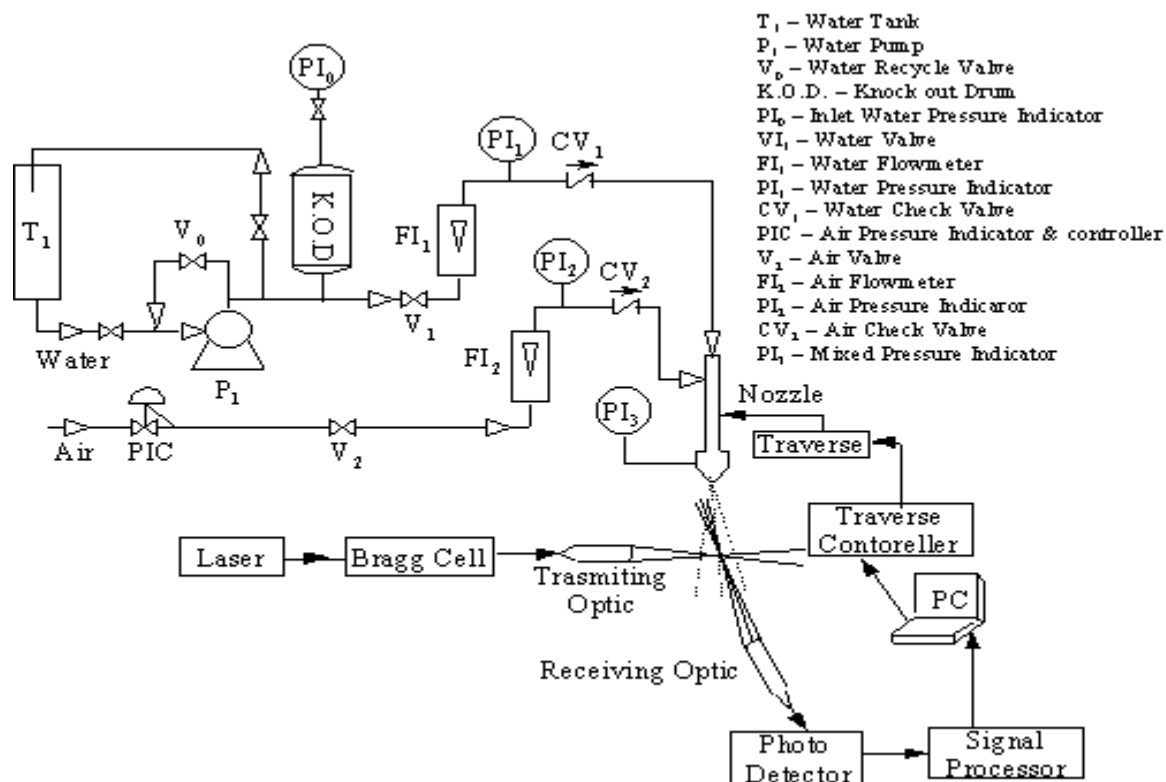
| قطر متوسط (میکرون) |            | $\bar{D}_{32}$ (میکرون) |            | فاصله از نوک نازل (cm) |
|--------------------|------------|-------------------------|------------|------------------------|
| نازل جدید          | نازل بهینه | نازل جدید               | نازل بهینه |                        |
| -                  | 82.05      | -                       | 188.23     | 8                      |
| 89.57              | 66.84      | 189.52                  | 166.68     | 14                     |
| -                  | 68.25      | -                       | 160.69     | 20                     |



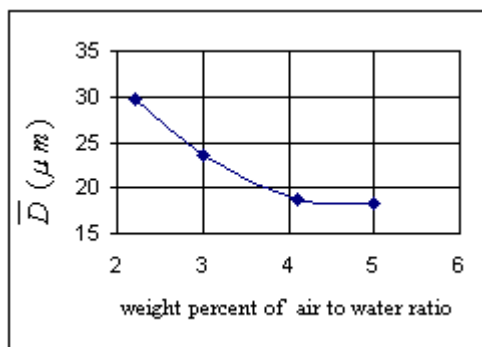
شکل ۱- برش طولی از نازل طراحی شده



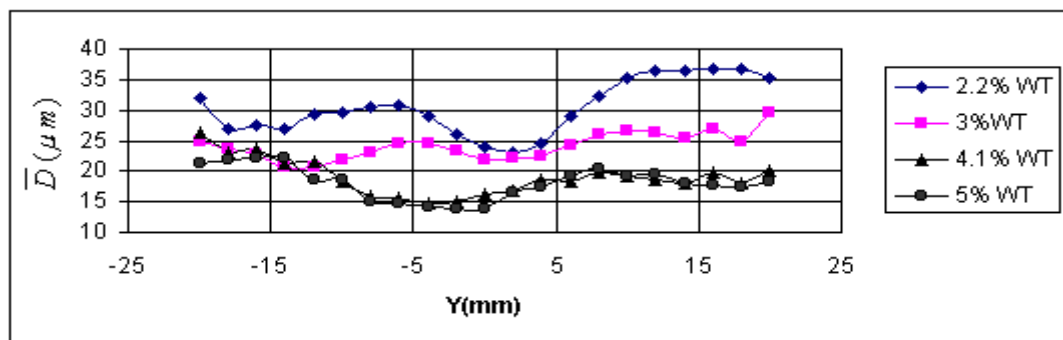
شکل ۳- آرایش نقاط اندازه گیری شده در سطح مقطع اسپری



شکل ۲- دیاگرام جریان سیستم آزمایشگاهی



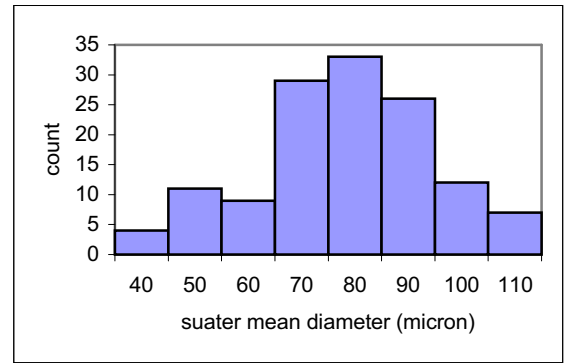
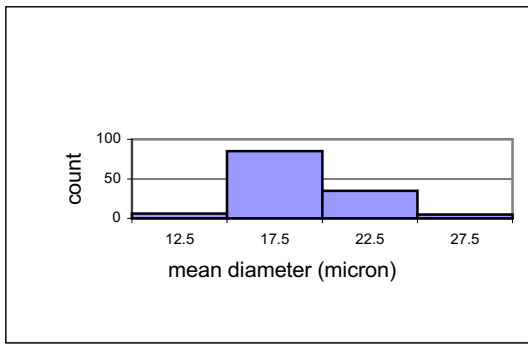
شکل ۴- نمودار قطر متوسط قطرات تولید شده بر حسب نسبت در صد وزنی هوا به آب برای نازل بهینه



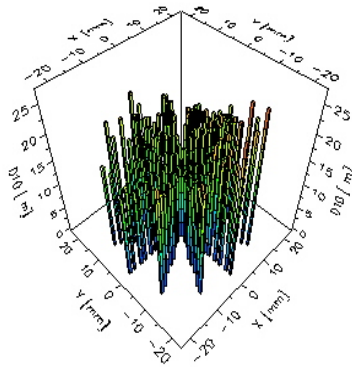
شکل ۵- توزیع قطر متوسط قطرات در اسپری با درصد مختلف هوا در فاصله ۱۴ cm از نوک نازل برای

حالت بهینه

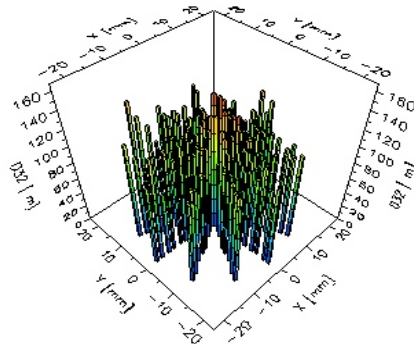




شکل ۶- هیستوگرام قطر متوسط و ساوتر قطرات تولید شده توسط نازل بهینه در وضعیت رو به پایین در مقطع ۱۴cm

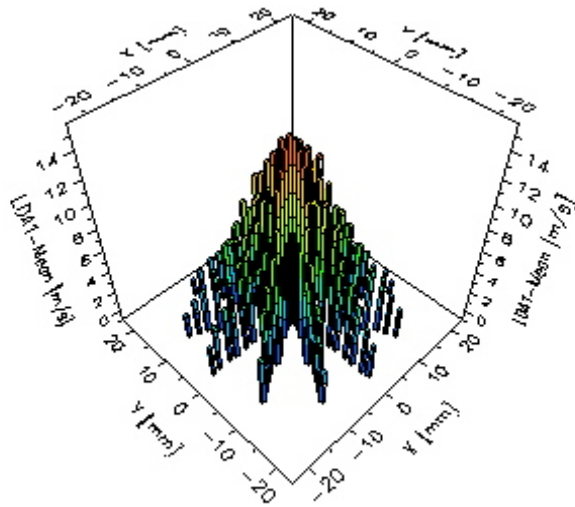


Pos: 0.00;0.00;0.00 Date/Time: 04:13:14 E.Ü



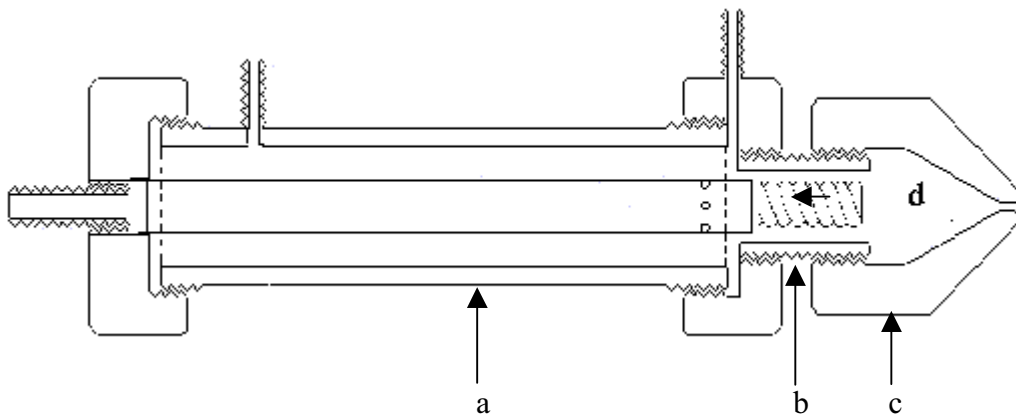
Pos: 0.00;0.00;0.00 Date/Time: 02:17:13 E.Ü

شکل ۷- نمودار میله ای توزیع قطر متوسط و قطر ساوتر اسپری برای نازل بهینه در وضعیت رو به پایین در مقطع ۱۴cm

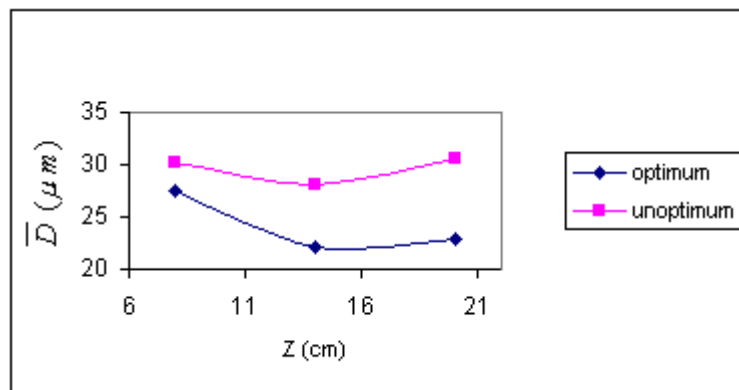


Pos: 0.00;0.00;0.00 Date/Time: 02:17:13 E.U

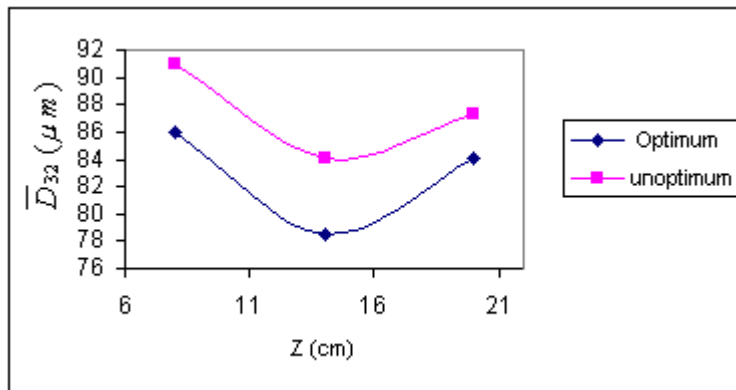
شکل ۸- نمودار میله ای توزیع سرعت متوسط برای نازل بهینه در وضعیت رو به پایین در مقطع ۱۴cm



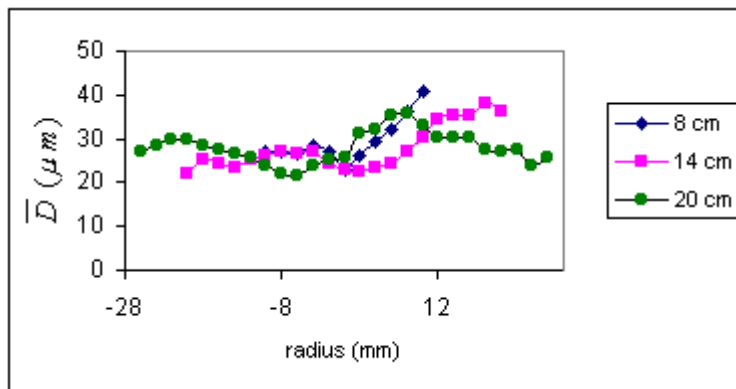
شکل ۹- برش طولی از نازل طراحی شده جدید



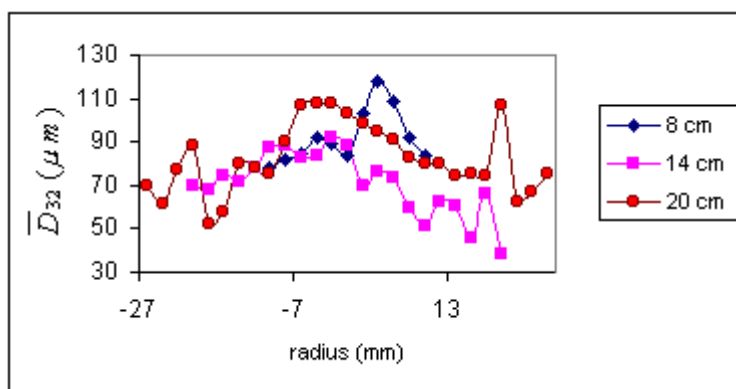
شکل ۱۰- تغییرات قطر متوسط بر حسب فاصله از نوک نازل در وضعیت رو به پایین



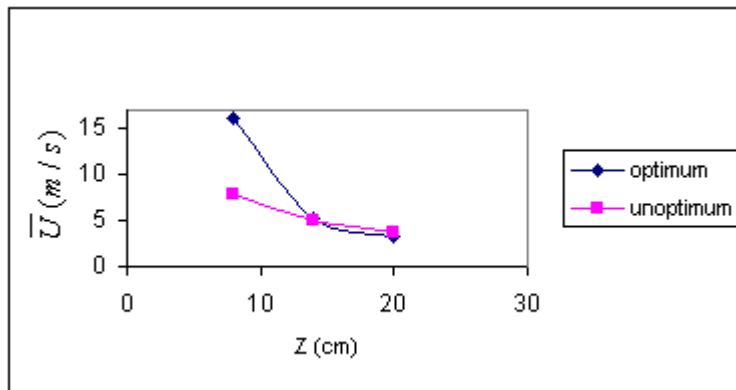
شکل ۱۱- تغییرات قطر ساوتر متوسط ( $\bar{D}_{32}$ ) بر حسب فاصله از نوک نازل در وضعیت رو به پایین



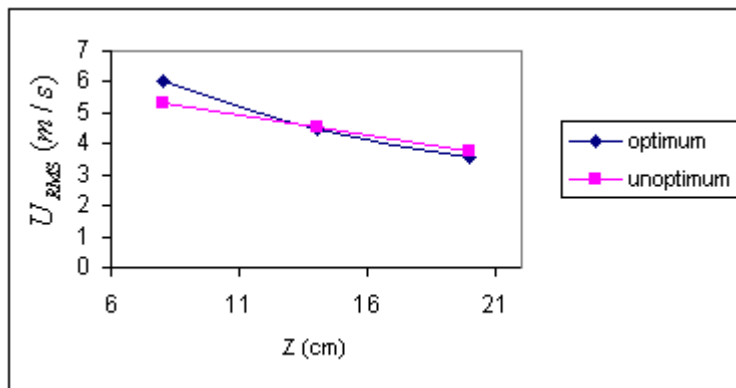
شکل ۱۲- منحنی تغییرات قطر متوسط نازل جدید در وضعیت رو به پایین



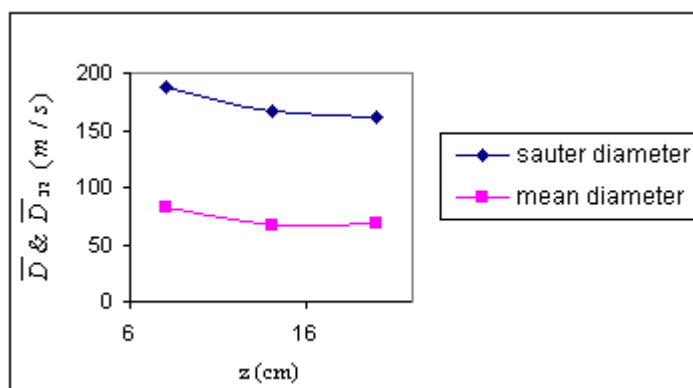
شکل ۱۳- منحنی تغییرات قطر ساوتر متوسط نازل بهینه در وضعیت رو به پایین



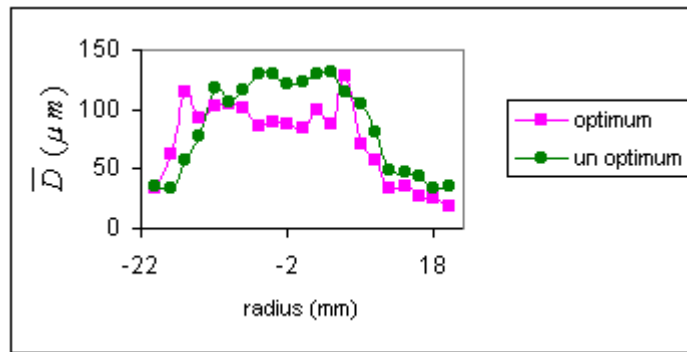
شکل ۱۴- تغییرات سرعت متوسط بر حسب فاصله از نوک نازل در وضعیت رو به پایین



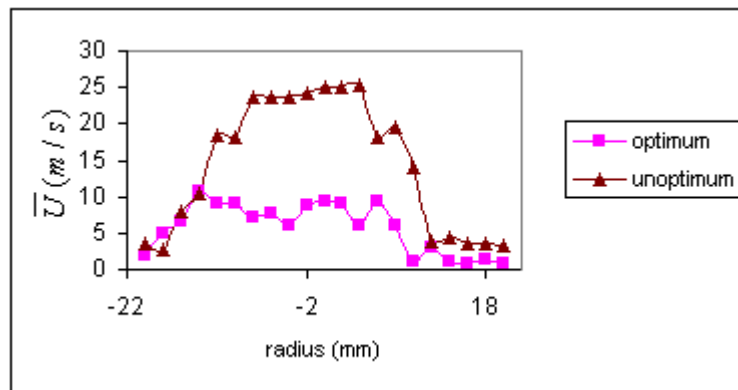
شکل ۱۵- تغییرات سرعت RMS بر حسب فاصله از نوک نازل در وضعیت رو به پایین



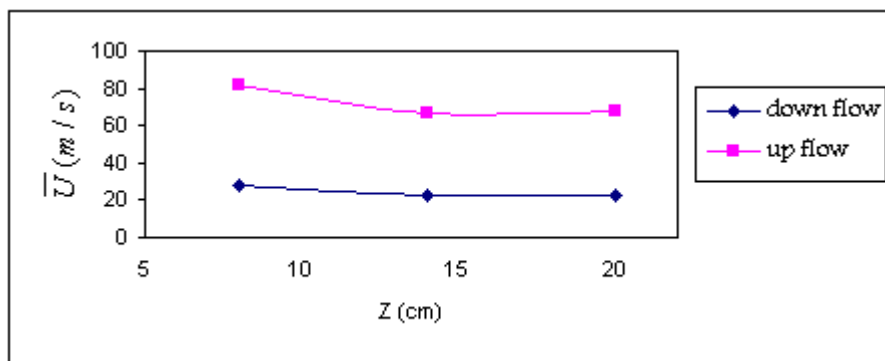
شکل ۱۶- تغییرات قطر متوسط و ساوتر نازل بهینه در وضعیت رو به بالا



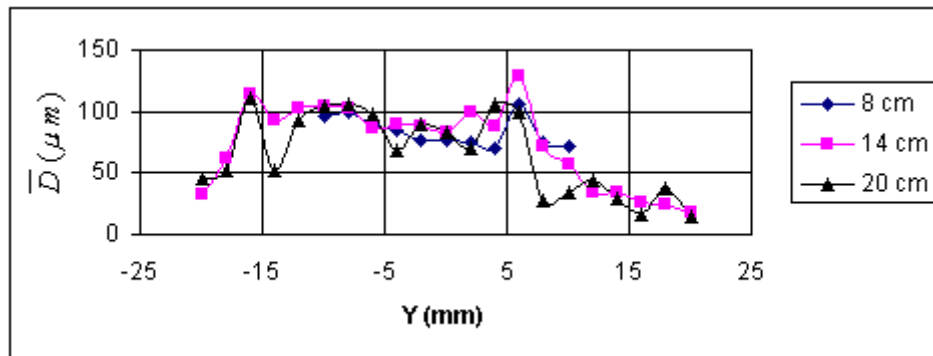
شکل ۱۷- پروفایل تغییرات قطر متوسط در فاصله ۱۴cm از نوک نازل برای نازلها در وضعیت رو به بالا



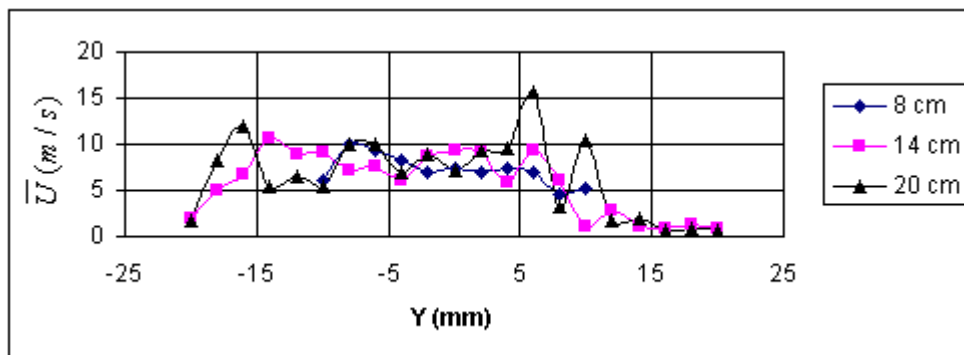
شکل ۱۸- پروفایل تغییرات سرعت متوسط در فاصله ۱۴cm از نوک نازل برای نازلها در وضعیت رو به بالا



شکل ۱۹- منحنی تغییرات  $\bar{D}$  بر حسب فاصله برای نازل بهینه در دو وضعیت رو به بالا و پایین



شکل ۲۰- منحنی تغییرات اندازه قطرات نازل بهینه بر حسب فاصله در وضعیت رو به بالا



شکل ۲۱- منحنی تغییرات سرعت قطرات نازل بهینه بر حسب فاصله در وضعیت رو به بالا

