

بررسی تجربی عملکرد نازل دوسیاله نیوماتیکی اختلاط داخلی

امیر حیدری نسب^۱، مجید حسن زادگان رودسری^{۱*} و عظیم اکبرزاده خیایوی^۲

۱- گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

۲- بخش پایلوت نانو بیوتکنولوژی، انستیتو پاستور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۱۸

چکیده

این مقاله به بررسی عملکرد افشانه دو سیاله می‌پردازد. این افشانه از نوع نیوماتیک است که با فشار هوا و نرخ جریان کار می‌نماید و بیشتر به عنوان پوشش دهنده محلول در سیستم‌های پاششی و پوشش دهنده در صنعت رنگ و داروسازی استفاده می‌شود. مشخصات این افشانه، توسط روش عکس‌برداری بررسی و آزموده می‌شود. روش عکس‌برداری به روش اندازه‌گیری لیزر، کم هزینه‌تر می‌باشد. در پژوهش حاضر، ابتدا با دوربین دیجیتال از پاشش اسپری عکس‌برداری می‌شود. سپس تصاویر مورد نظر اصلاح شده و برای پردازش آماده می‌شوند که برای این منظور از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. نتایج به دست آمده، با استفاده از روش عکس‌برداری شامل زاویه پاشش است و علاوه بر آن مقدار حجم مایع پاشش شده بر حسب تغییرات دبی هوا و مایع مورد محاسبه قرار گرفته است. نکات حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که افزایش دبی هوا تاثیر بیشتری نسبت به افزایش دبی مایع بر روی تغییر زاویه پاشش دارد و با تغییرات نسبت دبی هوا و مایع، زاویه پاشش تغییر می‌کند. همچنین تاثیر دبی هوا در فرآیند اتومایز نمودن قطرات مایع در افشانه‌ها بسیار بیشتر از تاثیر دبی مایع می‌باشد. در این مقاله کاربرد یک نازل نیوماتیک دو سیاله که در صنعت داروسازی و خشک‌کن‌های بستر سیال کاربرد دارد، بررسی شده است. زیرا زاویه پاشش و شرایط عملیاتی این نوع نازل‌ها، برای تولید محصول مطلوب بسیار حائز اهمیت است.

کلمات کلیدی: افشانه دوسیاله، افشان کردن، روش عکس‌برداری، پردازش تصویر، زاویه پاشش

مقدمه

و در صنایع مختلف نظیر باغبانی، کشاورزی، احتراق سوخت کوره‌ها در سیستم‌های گازویلی و دیزلی، توربین‌های گازی و سیستم‌های پوشش‌دهی بستر سیال، (صنعت داروسازی و تولید پودرهای شیمیایی) کاربرد وسیعی دارد [۱ و ۲]. محققین بسیاری نظیر، جانز و لفر در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ میلادی، روی ساخت و بهینه‌سازی افشانه دو سیاله، مطالعاتی انجام دادند.

پدیده افشان کردن مایع، برای اهداف مختلفی استفاده می‌شود. در صنعت، افشانه دو سیاله^۱، که توسط جریان هوا کنترل می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم‌های پاششی مانند افشانه‌ها یا ایجاد کننده‌های قطرات ریز مایع، در زندگی روزمره

1. Two-Fluid Nozzle.

majidhasanzadegan@gmail.com

*مسئول مکاتبات
آدرس الکترونیکی

این روش بهبود یافته است [۱۰-۱۲].

در این پژوهش هدف محاسبه زاویه پاشش اسپری به کمک روش پردازش تصویر و بررسی تاثیر متغیرهای دبی هوا، دبی مایع و ویسکوزیته سیال روی زاویه پاشش، در نازل دو سیاله می‌باشد. همچنین روی پارامتر ALR^۱ و تاثیر آن روی زاویه اسپری، مطالعه تجربی صورت گرفته است.

مشخصات افشانه مورد مطالعه:

در این تحقیق نازل دو سیاله نیوماتیک^۲، مورد آزمایش قرار گرفت. نازل نیوماتیک نوع اسپری تفنگی اتوماتیک^۳، مدل Prona, RA-C11، ساخت کشور تایوان می‌باشد که شامل چند قسمت پیچ کنترل دبی و خروجی نوک تیز از جنس استیل ضد زنگ می‌باشد [۱ و ۲]. در جدول ۱ مشخصات عملیاتی و ظاهری نازل افشان کننده نشان داده شده است. نمای کلی دستگاه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

دستگاه آزمایشگاهی

در این سیستم با اتصال تابلو برق و روشن شدن کمپرسور، هوا از طریق لوله لاستیکی وارد مخزن تحت فشار مایع با (ظرفیت ۲ L) می‌شود. در اثر فشار هوا، در خروجی مخزن تحت فشار، از یک مسیر مایع و از مسیر دیگر، هوا از مخزن خارج می‌شود. سپس هر جریان وارد روتامتر (دبی سنج) گاز و مایع شده و به نازل مورد نظر می‌رسد. پس از رسیدن به نازل، پاشش انجام می‌شود.

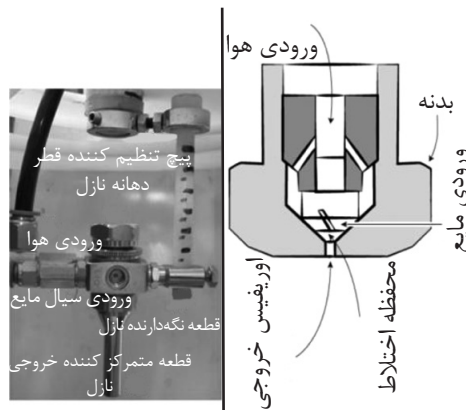
ریتز و براکو نیز، در مورد کاربرد و تاثیر هندسه این افشانه‌ها، در شکل‌گیری قطرات خروجی، تحقیقات فراوانی کردند [۳]. تکنیک عکس‌برداری پر سرعت در اندازه‌گیری خواص افشانه‌ها، از اواسط دهه ۷۰ میلادی، مورد استفاده قرار گرفت و با پیشرفت تجهیزات، توسعه یافت. این روش ابتدا در صنعت احتراق، برای بررسی افشانه‌های پاشش سوخت به کار گرفته شد. ولی در سال‌های اخیر، در بخش کشاورزی نیز از آن استفاده می‌شود [۴]. هویت و تیلور با این روش، جریان اسپری آب گرم خارج شده از سر افشانه را مطالعه کردند و در دهه ۹۰ میلادی، محققین برزیلی تکنیک‌های مختلف اندازه‌گیری خواص افشانه‌ها، را ارزیابی نمودند [۵]. در سال ۲۰۰۹، چیوفانگ، آتوچی اوگاتا و همکارانشان، تغییر زاویه اسپری افشانه پاششی سوخت با زمان و فشار عملیاتی محفظه احتراق را با روش تصویربرداری پرسرعت بررسی کردند و داده‌های به‌دست آمده را با داده‌های شبیه‌سازی CFD مقایسه نمودند [۶-۸]. در سال ۲۰۰۵ محققین هندی با استفاده از روش‌های اصلاح تصویر مورفولوژی، اندازه متوسط قطرات را در اسپری‌های سرد کننده نیتروژن مایع، محاسبه نمودند [۹].

البته در روش شبیه‌سازی، شرایط عملیاتی ایده‌آل و ابزار مورد نظر بی نقص فرض می‌شود، در حالی که در واقعیت چنین نیست و خطاهایی در روند آزمایش وجود دارد. پس روش پردازش تصویر، ایده خوبی در مورد الگوی زاویه پاشش، توزیع اندازه و سرعت قطرات می‌دهد. با پیشرفت تکنیک‌های عکس‌برداری و تجهیزات مورد نیاز، کیفیت نتایج در

جدول ۱- مشخصات عملیاتی نازل مدل RA-C11.

فشار هوا (kPa)	قطر روزنه نازل (mm)	الگوی اسپری	نوع خوراک دهی
۳	۱/۳	مدور	فشاری
گستره پاشش (mm)	عرض پاشش (mm)	مصرف هوا (L/min)	خروجی مایع (mL/min)
۲۵۰	۸۰	۱۰۰	۵۰

1. Air Liquid Ratio
2. Pneumatic.
3. Automatic Spray Gun



شکل ۱- تصویر نازل دو سیاله و طرح شماتیک تولید اسپری مایع [۱۳]

برای عکس برداری مناسب از پاشش اسپری، نیاز به یک نور پردازی ویژه است. زیرا قطرات، برخی از پرتوهای نور را از خود عبور داده و برخی را منعکس می نمایند. برای این منظور، منبع نور در نقاط مختلف قرار گرفت، تا بهترین تصویر گرفته شود. در مواقعی که منبع نور در پشت افشان قرار می گیرد، برای آنکه تصویر اسپری نازل به خوبی دیده شود، از یک پارچه یا نایلون سیاه، در پشت نازل استفاده گردید. همچنین از ۲ خط کش پلاستیکی شفاف عمود برهم، برای بررسی گستره پاشش و محاسبه زاویه اسپری استفاده شد. در شکل ۳ نمایشی از اسپری در هنگام پاشش نازل، نشان داده شده است. در این آزمایش ها، تعداد پیکسل ها در راستای طول و عرض پاشش اسپری متفاوت می باشد. هر آزمایش ۳ بار تکرار شد و محل قرار گرفتن دوربین روبروی اسپری نازل بوده و سرعت شاتر دوربین، ۳۰ فریم بر ثانیه بود.

کنترل فرآیند پاشش اسپری

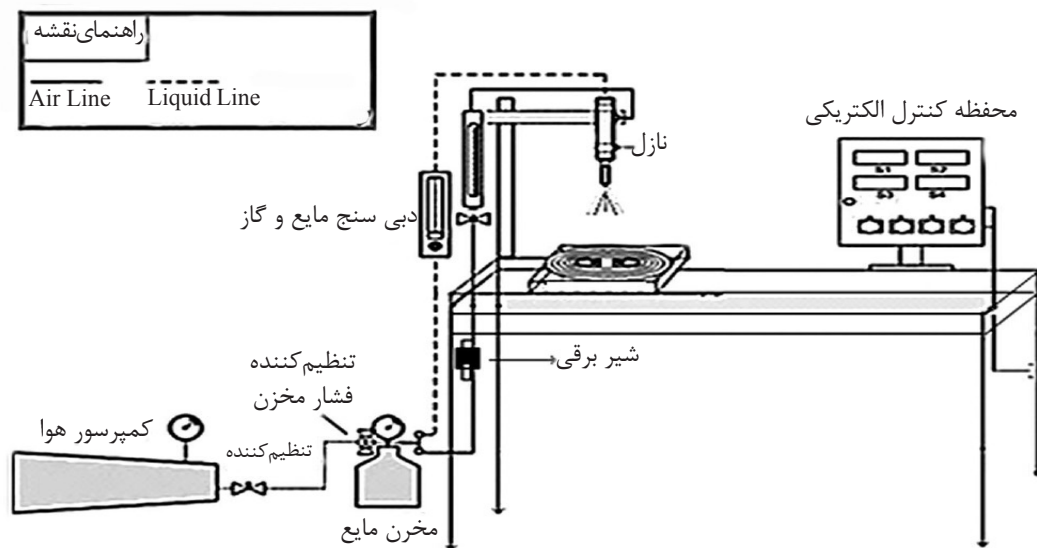
برای کنترل بهتر فرآیند پاشش از دو روتامتر (دبی سنج) هوا و مایع و نیز یک شیر برقی که قابلیت کنترل ورود و خروج هوا را دارد، استفاده شد. بدین صورت که دبی هوا و مایع ورودی به نازل تنظیم شده و قطع و وصل جریان، توسط یک شیر برقی که با زمان سنج دیجیتالی کار می کند، انجام می شود.

همچنین کنترل پاشش نازل توسط شیر برقی انجام می شود که در مسیر جریان هوا قبل از روتامتر هوا قرار دارد. در شکل ۲ تصویر شماتیک دستگاه آزمایشگاهی مورد استفاده، نشان داده شده است. لازم به ذکر است که نیروی محرکه نازل دو سیاله، جریان هوای کمپرسور می باشد. بنابراین کنترل جریان هوا توسط یک شیر برقی، عملکرد پاششی نازل را نیز کنترل می نماید.

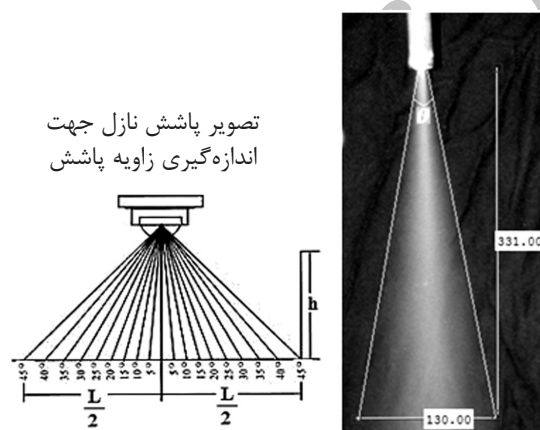
طریقه بررسی و انجام محاسبات زاویه پاشش نازل

برای این کار، ابتدا یک عکس با کیفیت، از نحوه پاشش افشان گرفته می شود. برای افزایش وضوح تصویر، از ابزار تصحیح عکس Microsoft Picture Manager و یا نرم افزار فتوشاپ می توان استفاده کرد. البته قبل از تصویربرداری به منظور بهبود روشنایی تصویر و بهتر دیده شدن قطرات از یک پارچه سیاه پشت نازل و یک لامپ نور در کنار آن استفاده شد. در ادامه می توان با استفاده از زبانه جعبه ابزار پردازش تصویر^۱ نرم افزار MATLAB، زاویه پاشش را محاسبه نمود. برای تعیین زاویه پاشش، ابتدا تعداد پیکسل ها در جهت ارتفاع و عرض مخروط پاشش، توسط نرم افزار MATLAB حساب شده و از رابطه تانژانت زاویه، می توان مقدار زاویه فوق را محاسبه نمود. مقدار زاویه پاشش برای این افشانه، حداکثر حدود ۳۰ درجه می باشد.

$$\square = 2 \times \arcsin^{-1} \left(\frac{L}{2h} \right) = 2 \arcsin \left(\frac{L}{2h} \right) \quad (1)$$



شکل ۲- تصویر شماتیک از سیستم پاششی نازل دو سیاله



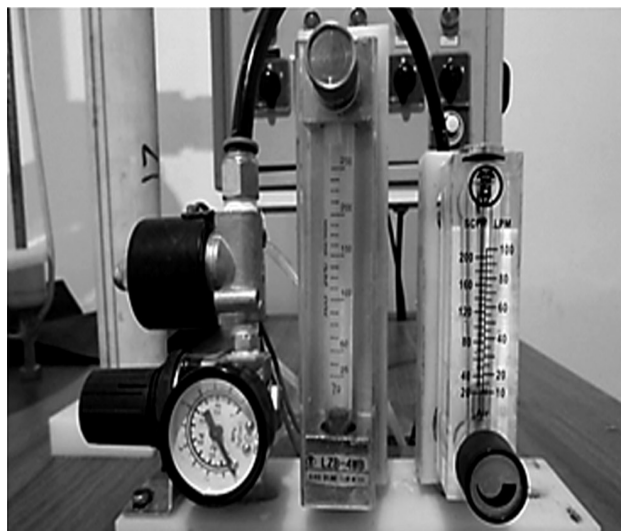
شکل ۳- تعیین زاویه اسپری با اندازه گیری تعداد پیکسل‌های مخروط پاشش توسط نرم افزار MATLAB

تغییرات زاویه و حجم مایع پاشش شده بر حسب دبی هوا و مایع و نسبت آنها اندازه‌گیری شد. تشریح فرآیند طراحی آزمایش طراحی آزمایش بر اساس سطوح (میزان تغییرات داده‌ها) کمترین، حد وسط، بیشترین و تعداد متغیرها انجام شد. در جدول ۲ نمونه‌ای از سطوح متغیرها، برای انجام طراحی آزمایش معرفی می‌شود. در این جدول ۳ متغیر و ۳ سطح داریم. این سه سطح براساس دقت روماتر مایع برای نشان دادن دبی مایع عبوری در مجاورت با فشار هوای عملیاتی $3/3 \text{ bar}$ ، انتخاب شده است. پس از تعیین تعداد متغیرهای آزمایش و تعداد سطوح، نوبت به انجام آزمایش‌ها و محاسبات مربوطه برای تعیین نتایج می‌رسد.

در نازل‌های دو سیاله، هوا فاز پیوسته و کنترل کننده بوده و با قطع هوای پشت نازل توسط شیر برقی، سوزن خروج جریان در نازل بسته می‌شود و از خروج مایع جلوگیری کرده و جریان قطع می‌شود. مقدار فشار هوای مورد نیاز در پشت نازل نیز در کنار شیر برقی توسط فشارسنج، تنظیم می‌شود. در شکل ۴، تصویری از تجهیزات کنترل جریان نشان داده شده است.

مواد مورد استفاده و کاربرد آنها

در انجام آزمایشات آب خالص (بدون مواد افزودنی و ترکیبات رنگی) و آب همراه با موادی مانند هیدروکسی پروپیل متیل سلولز برای تغییر ویسکوزیته مورد استفاده قرار گرفت. سپس



دبی سنج هوا
دبی سنج مایع
شیر برقی و فشار سنج

شکل ۴ - تصویری از تجهیزات کنترل کننده میزان پاشش

جدول ۲- جدول تعیین سطوح آزمایش.

ویسکوزیته مایع (cP)	دبی مایع (mL/min)	دبی هوا (L/min)	سطح متغیر
۱۴/۸	کمتر از ۲۵	۴۰	۱
۲۵/۲	۲۵	۴۵	۲
۳۷/۴	بیشتر از ۲۵	۵۰	۳

جدول ۳- حجم مایع پاشش شده بر حسب پالس‌های زمانی مختلف

زمان (s)	۱	۳	۵	۱۰	۱۵
حجم مایع اسپری (mL)	۹/۰	۱۷/۵	۲۷/۰	۵۰/۰	۹۰/۰

بر حسب پالس‌های زمانی مختلف پاشش که توسط زمان سنج برای شیر برقی تنظیم می‌شود، اندازه گرفته می‌شود. مقادیر داده‌های آزمایش در جدول ۳ آورده شده است. این آزمایشات در دبی هوای ۵۰ L/min، دبی مایع ۱۰۰ mL/min و فشار ۳/۳ bar انجام شده است.

آزمایش مقدار حجم و زاویه پاشش بر حسب نسبت دبی هوا به مایع

در این آزمایش‌ها مقدار حجم مایع و زاویه اسپری، بر حسب پارامتر نسبت دبی هوا به دبی مایع (ALR)، اندازه‌گیری گردید که داده‌های آزمایش‌ها در جداول ۴ و ۵ نشان داده شده است.

در جداول ۳ تا ۵ آزمایش‌های مختلف طرح شده و پاسخ آنها (زاویه پاشش) برای هر مایع ارائه شده است. برای تولید مواد دلخواه، مواد مختلف را در حد ۱ mg در ۱۰۰ mL آب حل کرده و ویسکوزیته مایع به دست آمده، اندازه‌گیری شد. البته با افزایش مقدار ماده، ویسکوزیته مایع افزایش می‌یابد. بنابراین برای هر مایع، ۳ سطح از ویسکوزیته متناسب با غلظت مایع حل شده در محلول در نظر گرفته شد.

آزمایش مقدار حجم پاشش در پالس زمانی

در این آزمایش مقدار حجم مایع (آب معمولی در شرایط محیطی) خارج شده از اسپری توسط ابزارهای آزمایشگاهی مانند ارلن کوچک و بشر،

جدول ۴- زاویه پاشش اسپری برحسب ALR (فشار عملیاتی ۳,۳ bar و دمای عملیاتی ۲۵ °C)

۸۵	۷۵	۵۰	۴۰	۳۵	دبی هوا (mL/min)
۲۵۰	۶۵	۵۰	۲۵	۱۵	دبی مایع (mL/min)
۳۴۰	۱۱۵۴	۱۰۰۰	۱۶۰۰	۲۳۳۳	ALR
۳۰/۰	۲۷/۵	۲۶/۲	۲۲/۶	۲۰/۹	زاویه اسپری (درجه)

جدول ۵- مقدار مایع پاشش شده برحسب ALR (فشار عملیاتی ۳/۳ bar دمای عملیاتی ۲۵ °C)

۵۰	۵۰	۵۰	۴۰	۴۰	۴۰	دبی هوا (L/min)
۶۰	۲۵	۵۰	۶۰	۲۵	۵۰	دبی مایع (mL/min)
۸۴۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۶۷۰	۱۶۰۰	۸۰۰	ALR
۱/۸	۱/۲	۱/۶	۲/۴	۱/۴	۲/۰	حجم مایع اسپری (mL)

ریز^۲ در سر نازل و در نهایت اتمایز شدن^۳ به قطرات ریز، پس از خروج از روزنه نازل احتیاج دارد. در دبی هوای ۵۰ mL/mim، نتایج در شکل ۵ به یکدیگر نزدیکتر است. زیرا مقدار دبی هوا نسبتاً زیاد بوده و بر دبی مایع غلبه کرده است.

هر آزمایش برای دقت بیشتر، حدود سه مرتبه تکرار شد و مقادیر دبی مایع ۲۳، ۲۵ و ۲۸ mL/mim با مقدار میانگین ۲۵/۳۳ mL/mim و مقدار انحراف معیار داده‌های پاشش مایع، برابر ۲/۵۱۷ می‌باشد.

سه متغیر دبی هوا، دبی مایع و ویسکوزیته مایع روی زاویه پاشش موثر هستند. البته پارامترهای دیگری نظیر خواص فیزیکی مایع (کشش سطحی و چگالی)، شکل و قطر روزنه^۴ خروجی نازل نیز در این زمینه موثر می‌باشند. ولی کشش سطحی و چگالی برای مایعات تراکم‌پذیر و دارای سطح کشسان قوی، مهم است و در اعداد رینولد پایین که سرعت یا دبی جریان مایع و هوا کم است، تأثیر بیشتری دارد. نوع روزنه خروجی از متغیرهای طراحی نازل قبل از آزمایش است که پس از طراحی قابل تغییر نیست. به علت تأثیر بیشتر دبی هوا روی زاویه پاشش اسپری، نمودارها بر حسب زاویه پاشش و با تغییر دو پارامتر دبی مایع و ویسکوزیته مایع، رسم شد.

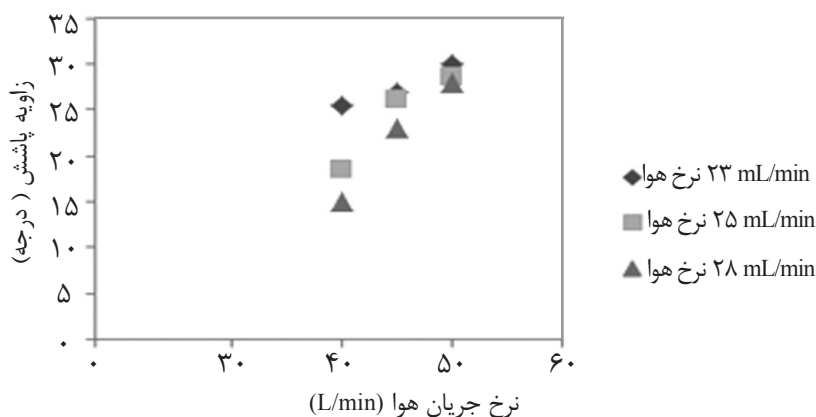
آزمایش زاویه پاشش برحسب نسبت دبی هوا به مایع، در فشار ۳/۳ bar انجام شده است. مقدار زوایای پاشش اسپری بر حسب درجه، محاسبه و اندازه‌گیری شد. آزمایش محاسبه مقدار حجم مایع پاشش شده بر حسب نسبت دبی هوا به مایع، در پالس‌های زمانی ۳ ثانیه و فشار حدود ۳/۳ bar، انجام شده است. در آزمایش محاسبه حجم پاشش مایع برحسب ALR، ابتدا در زیر نازل یک ارلن مدرج قرار داده و پس از هربار پاشش، حجم مایع داخل ظرف اندازه‌گیری گردید. در دو آزمایش فوق، از آب در شرایط عملیاتی محیطی به‌عنوان مایع استفاده شد.

بررسی تغییرات زاویه پاشش اسپری

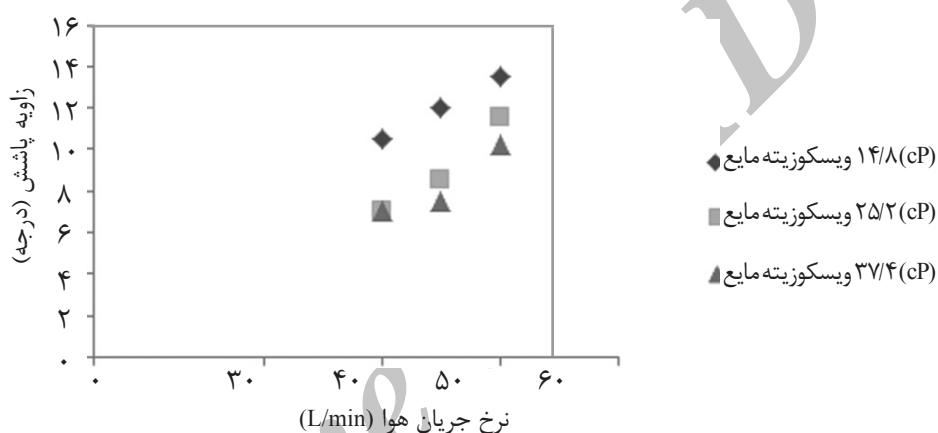
در شکل‌های ۵ و ۶ تغییرات زاویه اسپری بر حسب دبی هوا رسم شده است. در شکل ۵ مقدار زاویه پاشش با افزایش دبی جریان هوا، افزایش می‌یابد. زیرا جریان گاز مقدار مومنتم و انرژی لازم را برای شکستن جت مایع در سر نازل فراهم می‌کند. این اصول نازل‌های دو سیاله نیوماتیک می‌باشد و انرژی فشاری از طریق یک سیال گازی شکل، تامین می‌شود.

در شکل ۶، با افزایش دبی هوا، زاویه پاشش اسپری افزایش یافته است. ولی در دبی‌های پایین مایع (کمتر از ۲۵ mL/min) این افزایش بیشتر است. زیرا در این حالت، نازل دو سیاله، به انرژی فشاری کمتری از هوا برای شکستن فیلم مایع^۱ و تبدیل آن به رشته‌های

1. Liquid Film Break up
2. Ligaments
3. Atomization
4. Nozzle Orifice



شکل ۵- تغییر زاویه پاشش اسپری بر حسب دبی هوا در سه دبی مختلف از مایع



شکل ۶- تغییرات زاویه پاشش اسپری برای مایع هیدروکسی پروپیل متیل سلولز

زاویه پاشش اسپری دارد. ولی در زمانی که تغییرات ویسکوزیته مایع زیاد است، به علت کاهش سرعت مایع و افزایش نیروهای بین مولکولی مایع، متغیر ویسکوزیته تاثیر بیشتری روی زاویه پاشش اسپری خواهد داشت. ویسکوزیته در مایعات باعث مقاومت در مقابل جریان گاز شده و فرآیند شکست فیلم مایع به قطرات با غلبه بر نیروهای ویسکوز انجام می‌شود. البته در انجام آزمایشات فوق زاویه پاشش به صورت تقریبی به دست آمده است و با خطاهای عملیاتی، دستگاه و همچنین عکس برداری به میزان ۵ تا ۶٪ همراه بوده است.

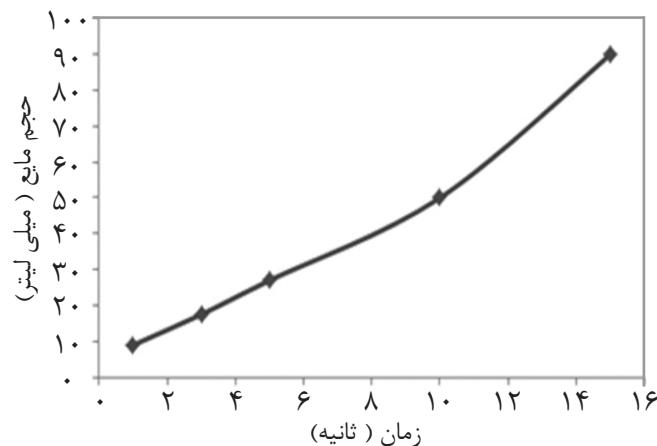
نتایج آزمایش مقدار حجم پاشش در پالس زمانی

در این آزمایش مقدار حجم مایع توسط یک بشر مدرج کوچک در زیر نازل، پس از خروج مایع از سر نازل، بر حسب پالس‌های زمانی مختلف پاشش که توسط زمان‌سنج شیر برقی تنظیم گردیده، اندازه گرفته شد که در شکل ۷ مشاهده می‌شود.

در شکل ۶ نیز تغییرات زاویه پاشش اسپری با دبی هوا نشان داده شده است. با این تفاوت که در این نمودار با افزایش مقدار ویسکوزیته مایع، مقدار زاویه پاشش کاهش یافته است. زیرا افزایش مقدار ویسکوزیته، باعث افزایش نیروهای چسبندگی بین مولکولی و در نتیجه کاهش زاویه پاشش می‌شود. در این حالت لازم است انرژی فشاری بیشتری از طرف جریان گاز یا هوا به مایع اعمال گردد تا اسپری یا افشان مایع، از قطرات تولید شود.

همچنین در دبی هوای ۴۰ L/min زاویه پاشش اسپری، برای دو محلول با ویسکوزیته ۲۵/۲ و ۳۵/۴ cP نزدیک به هم است. زیرا تاثیر دبی هوا در این دو حالت کمتر است.

از نمودارهای فوق می‌توان دریافت که اگر ویسکوزیته مایع، (مانند آب) خیلی کم باشد، دبی مایع بعد از شدت جریان هوای متمایز کننده، تاثیر بیشتری روی



شکل ۷- میزان حجم مایع پاشش شده برحسب زمان

باعث ایجاد بیشترین زاویه پاشش (30°) شده است. در حالی که افزایش دبی مایع، باعث کاهش شدید پارامتر ALR به مقدار ۳۴۰ شده است. انحنای نقطه سوم به دلیل افزایش ناگهانی دبی هوا نسبت به مایع ایجاد شده است. زیرا با افزایش ناگهانی فشار هوا، زاویه پاشش به طور مقطعی زیاد شده که آن را می‌توان به عنوان خطای آزمایش در نظر گرفت.

دبی هوا، عامل اصلی افزایش زاویه پاشش در نازل است. تغییرات افزایش تدریجی زاویه پاشش با دبی هوا در شکل ۹ نشان داده شده است. افزایش مقدار پارامتر ALR با افزایش دبی هوا و کاهش دبی مایع همراه است. بنابراین با کاهش دبی مایع، مقدار حجم مایع خروجی از نازل کاهش می‌یابد. یعنی هرچه مقدار دبی مایع کم و دبی هوا زیاد شده است، مقدار ALR زیاد شده و حجم مایع خروجی کاهش می‌یابد. این تغییرات در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

ارائه رابطه تجربی برای محاسبه زاویه پاشش

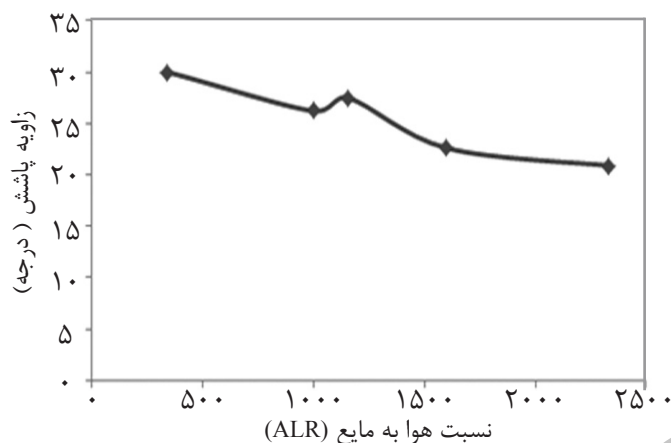
در این پژوهش، یک رابطه تجربی برای محاسبه زاویه پاشش در نازل دو سیاله برحسب متغیرهای دبی هوا، دبی مایع و ویسکوزیته برای مایعات رقیق مشابه مایع هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با استفاده از نرم‌افزار MATLAB، به دست آمد.

در این آزمایشات با افزایش زمان پاشش اسپری، حجم مایع خروجی به صورت خطی در نمودار افزایش می‌یابد که نشان دهنده منظم بودن عملکرد نازل است. زیرا با افزایش مدت زمان پاشش نازل، عموماً حجم مایع بیشتری از نازل خارج می‌شود و این روند افزایش حجم به طور متناسب و معین زیاد شده است.

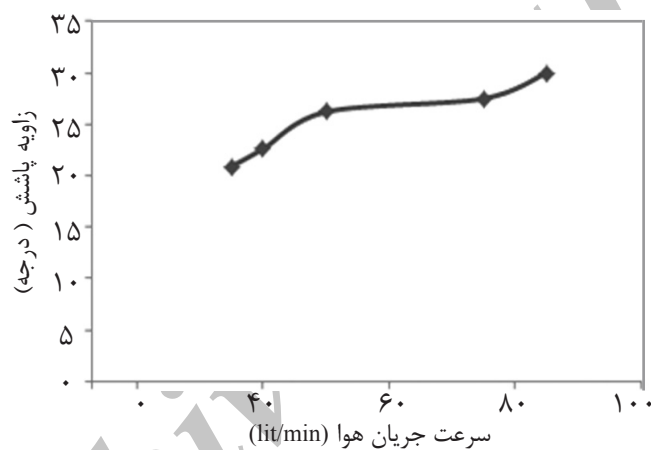
نتایج آزمایش مقدار حجم و زاویه پاشش برحسب ALR

در شکل ۸ تغییرات زاویه پاشش با ALR، نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل ۸ مشخص است، با افزایش نسبت ALR، میزان زاویه پاشش در ابتدا کمی افزایش داشته و سپس با شیب کمی کاهش می‌یابد. علت این امر، افزایش تدریجی میزان دبی مایع، همراه با دبی هوا می‌باشد. زیرا دبی هوا، باعث افزایش پارامتر ALR شده و دبی مایع، اثر کاهش روی این پارامتر دارد. چون زاویه پاشش بیشتر تحت تاثیر دبی هوا قرار می‌گیرد.

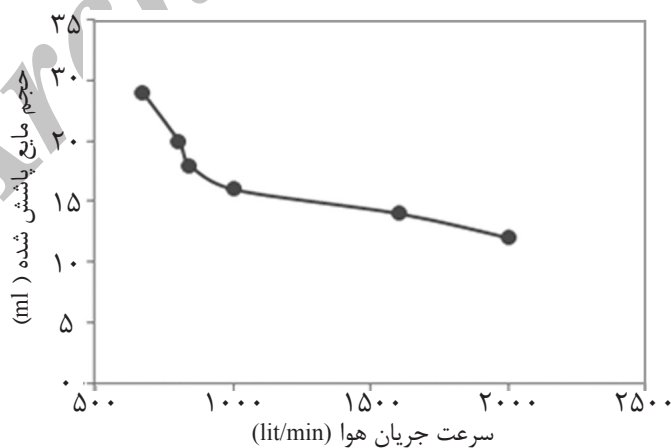
در ابتدای نمودار به دلیل روند افزایش بیشتر دبی هوا در مقابل دبی مایع، زاویه پاشش افزایش می‌یابد. علت کاهش پارامتر ALR، افزایش تدریجی و همزمان دبی مایع با دبی هوا می‌باشد. در بیشترین مقدار دبی هوا (85 L/min)، مقدار دبی مایع هم افزایش زیادی دارد (250 mL/min) و افزایش دبی هوا



شکل ۸- تغییرات زاویه پاشش اسپری نازل با پارامتر ALR



شکل ۹- تغییرات زاویه پاشش اسپری با دبی هوا (دبی جریان مایع ۲۵ ml/min)



شکل ۱۰- تغییرات حجم مایع خروجی از نازل با نسبت ALR

تفاوت زیاد میان نتایج نظری مکانیک سیالات و شبیه‌سازی با نرم‌افزارهای موجود، به علت وجود روابط مختلف و متنوع برای افشانه‌های دو سیاله گوناگون است.

این رابطه با حدود ۶/۱۲٪ خطا، برای این نازل خاص کاربرد دارد و علت وجود خطا، تعداد کم آزمایش‌ها و منابع دیگر خطا، می‌باشد.

$$\theta = 2.4849 ALR^{4.9296} Q_{Air}^{0.3905} \mu^{-1.0657} \quad (2)$$

$$\theta_{Opt} = 8.34^\circ, \text{Error} = 6.12\%$$

نشان داد که فشار هوا، تاثیر بسزایی روی زاویه افشان دارد. زیرا با افزایش دبی هوای اتمایز کننده در فضای بسته، مقدار فشار هوا در داخل نازل نیز افزایش می‌یابد. با افزایش فشار و نسبت دبی هوا و آب، زاویه افشان نیز افزایش می‌یابد که در آزمایش‌های مربوط به توزیع پروفایل پاشش افشان، این موضوع به اثبات رسیده بود. همچنین در آزمایش ALR مشخص شد که تاثیر دبی هوا، در فرآیند اتمایز نمودن قطرات مایع در افشانه‌ها، بسیار بیشتر از تاثیر دبی مایع می‌باشد روش عکس‌برداری، به دلیل نزدیکی به واقعیت و در نظر گرفتن خطاهای کار آزمایشگاهی، نسبت به روش شبیه‌سازی و همچنین به دلیل کم هزینه‌تر بودن نسبت به روش اندازه‌گیری توسط لیزر، روش مناسبی است.

تشکر و قدردانی

با تشکر فراوان از مدیریت و کارکنان گروه پژوهشی فرآوری مواد فلزی جهاد دانشگاهی واحد تهران به دلیل ساخت و راه‌اندازی سیستم و فراهم نمودن فضا و امکانات لازم جهت انجام پروژه و انستیتو پاستور ایران برای در اختیار قراردادن مواد آزمایش، ساخت و راه‌اندازی این سیستم که کمال همکاری را با ما داشتند.

همچنین نمی‌توان به طور مستقیم مقدار دبی جرمی مایع را از رابطه برنولی و رابطه پیوستگی در سیالات، به دست آورد. زیرا جریان خروجی از سر افشانه، دو فازی است و در این حالت بخشی از روزه افشانه، توسط مایع اشغال می‌شود. بنابراین، روابط پیچیده مربوط به جریان دو فازی، مطرح می‌گردد و نمی‌توان مقدار دبی جرمی و ضریب تخلیه نازل را به سادگی حساب نمود. همچنین برای مایعات گوناگون با شرایط فیزیکی مختلف، نتایج بسیار متفاوت است. البته خطاهای محاسباتی و تجهیزات نیز، باعث تفاوت زیاد میان نتایج نظری و تجربی می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق بر روی یک افشانه دو سیاله، با شرایط ساختاری و خصوصیات متفاوت، آزمایشاتی انجام شد و عملکرد آن مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. آزمایش‌های انجام شده روی افشانه، برخی از خصوصیات آن را نشان داد. افشانه مورد بررسی یک افشانه دو سیاله اختلاط خارجی از جنس استیل ضد زنگ است که دارای اندازه قطرات خیلی ریز (کمتر از $100 \mu\text{m}$) و گستره پاشش کم (حدود ۱۵ درجه)، با قابلیت تنظیم زاویه پاشش و نسبت دبی هوا و آب می‌باشد. در این آزمایش‌ها مشخص شد که افزایش دبی هوا، تاثیر بیشتری نسبت به دبی مایع، روی زاویه پاشش افشان دارد. این آزمایش‌ها

مراجع

- [1]. Jebraieli Jolodar A., Akbarnejad M. M., Taghizadeh M., Ahmadi Marvast M. "Laser-based flow measurement in performance assessment of FCC atomizer," Chemical Engineering Journal. 108, pp. 109–115, Jan. 2005.
- [2]. Jose Joaquim de Souza E. and Medina Dubois A., "Cost effective evaluation techniques for FCC atomizing nozzles," Journal of Science, University of Sul-PR, Brazil, 83900-00.
- [3]. Reitz R. and Bracco F., "On the dependence of spray angle and other spray parameters on nozzle design and operating conditions," SAE Technical Paper 790494, 1979, DOI. 10.4271/790494.
- [4]. Clint Hoffmann W., "Designing technology to minimize environmental," Part of Crop Production, Agricultural Research, September 2010.

- [5]. Hoyt J. W. and Taylor J. J., "Flow at exit of an electrically-heated water nozzle discharging in air," Naval Undersea Center San Diego, USA, 1976.
- [6]. Kim H. H., Ogata A. and Kim J. H., "High speed camera observation of electrospray," National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan, 2009.
- [7]. Chiu Fung M., Inthavong K., Yang 2 W. and Tu J., "External characteristics of spray atomisation from a nasal spray device, school of aerospace," Mechanical and Manufacturing Engineering, RMIT University, Australia, December 2009.
- [8]. Gandhi A. H., Meinhart M. A., "A comparison of cone angle measurement techniques for the fuel spray from a port fuel injector," Ford Motor Co, USA, 2009.
- [9]. Gan H., Raghunandan B. N., "A morphological technique for direct drop size measurement of cryogenic sprays," Research Scholar, Indian Institute of Science, India, 2005.
- [10]. Jiang Y., Young Jeon H., Tian L., Loren E. Bode, "Measuring particle size distribution using led-Illumination," University of Illinois at Urbana-Champaign, USA, 2009.
- [۱۱]. دانشجو م. ا.، عباس پور فرد م. ح.، آق خانی م. ح. و آرین م.، "طراحی و ارزیابی نرم افزار مناسب سنجش تراکم و اندازه قطرات سم در سمپاش ها"، دانشگاه فردوسی مشهد، مجله حفاظت گیاهان، علوم و صنایع کشاورزی، جلد ۲۲، شماره ۲، سال ۱۳۸۷.
- [۱۲]. عبدالکریمی و.، مدل سازی CFD جریان سه فازی گاز، ذرات جامد، قطرات مایع داخل بستر سیال، پایان نامه کارشناسی ارشد در مهندسی شیمی، دانشگاه سمنان، ۱۳۸۸.

Archive of SID