

## بررسی تجربی ناپایداری هیدرودینامیکی در مجرای خروجی آتمایزر گازی با استفاده از دوربین سرعت بالا

زهرا فرید<sup>۱</sup>، محمدرضا انصاری<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، f\_zahra@modares.ac.ir

۲- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، mra\_1330@modares.ac.ir

\* نویسنده مخاطب

### چکیده

جریان دوفازی آب و هوا در مجرای خروجی یک آتمایزر گازدار با استفاده از تکنیک نور پس‌زمینه تو سط یک دوربین سرعت‌بالا (۹۶۰ fps) آشکار سازی شد. نمودار الگوی جریان در دبی‌های مختلف آب و هوا به‌دست آمد و سپس محدوده ناپایداری‌های موجود در مجرای خروجی آتمایزر گازی تعیین شد. زاویه همگرایی آتمایزر ۱۵ درجه، مقطع محفظه اختلاط شفاف با ابعاد  $4 \text{ mm} * 6 \text{ mm}$  و مقطع مجرای خروجی به‌صورت مستطیل با ابعاد  $4 \text{ mm} * 2 \text{ mm}$  و طول  $40 \text{ mm}$  می‌باشد. از آب به عنوان سیال مایع و از هوا به عنوان گاز اتمی ساز استفاده شد. چهار نوع رژیم حبابی، اسلاگ، متلاطم و حلقوی در مجرای خروجی آتمایزر مشاهده شد. تاثیر تغییر در میزان دبی حجمی آب و هوا به روی ناپایداری اسلاگ موجود در مجرای خروجی آتمایزر بررسی شد. طبق نتایج ضریب تخلیه آتمایزر تابع غیرخطی از نسبت دبی حجمی گاز به مایع است، که با افزایش نسبت دبی حجمی گاز به مایع از ۰ تا ۰/۵ به سرعت و با افزایش بیش‌تر در نسبت دبی حجمی گاز به مایع با سرعت کم‌تری کاهش پیدا می‌کند. هدف از این مطالعه بررسی محدوده ناپایداری هیدرودینامیکی تشکیل شده در آتمایزر گازی با توجه به دبی حجمی گاز و مایع می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** آتمایزر گازی، اسلاگ، دوربین سرعت بالا، ناپایداری هیدرودینامیکی، جریان دوفازی

### مقدمه

جامد، مایع و بخار سه فاز طبیعی مواد هستند. یک سیستم چند فازی شامل ماده با اختلاط دو یا چند فاز است. مایعات با چگالی‌های متفاوت و جامدات با سیستم‌های کریستالی<sup>۱</sup> گوناگون اغلب به‌عنوان فازهای مجزا در نظر گرفته می‌شوند [۱]. موضوع سیستم‌های دو یا چند فازی در یک محدوده وسیع از کاربردهای مختلف مهندسی برای طراحی مطلوب و عملیات ایمن، به‌طور فزاینده‌ای اهمیت پیدا کرده است. واضح است با پیشرفت‌های سریع در فناوری مهندسی، تقاضاها برای پیش‌بینی دقیق سیستم‌های موردعلاقه، افزایش می‌یابد. همان‌طور که اندازه‌ی سیستم‌های مهندسی بزرگ‌تر و شرایط عملیاتی به محدودیت‌های جدید منتهی می‌شود، درک دقیقی از فیزیک حاکم بر این سیستم‌ها برای عملیات ایمن و صحیح ضروری است [۲،۳]. یکی از مهم‌ترین و وسیع‌ترین کاربردهای سیستم‌های چندفازی، آتمایزاسیون است. به‌طور کلی آتمایزاسیون به‌صورت فروپاشی حجمی مایع به قطره‌های کوچک به کمک آتمایزر تعریف می‌شود. مرسوم‌ترین اقدام برای تعیین اصول آتمایزاسیون، ایجاد یک تقسیم‌بندی بر اساس نوع انرژی به‌کاربرده شده جهت گسسته‌سازی مایع است. آتمایزرهای مختلفی با توجه به نوع انرژی به‌کاربرده شده برای انجام آتمایزاسیون وجود دارند [۱]. تکنیک آتمایزاسیون گازدار<sup>۲</sup> در اواخر دهه ۱۹۸۰ تو سط لوفور و همکارانش توسعه یافت. اگرچه اصطلاح آتمایزاسیون گازدار از ابتدا مورد استفاده قرار می‌گرفت، اما تا زمانی که باکتر و همکارانش در سال ۱۹۹۰ از آن استفاده کردند، در هیچ مقاله‌ای بیان نمی‌شد. قبل از آن، این تکنیک به‌صورت رسمی با عنوان آتمایزاسیون مایع هوادهی<sup>۳</sup> شده<sup>۳</sup> توسط لوفور توصیف گردید. یک انگیزه برای توسعه‌ی آتمایزاسیون گازدار، نقض‌های

مربوط به آتمایزاسیون فلاشینگ<sup>۴</sup> و آتمایزاسیون گاز محلول<sup>۵</sup> بود. این تکنیک‌ها تنها به یک محدوده از مایعات که بسیار فرار هستند یا می‌توانند مقدار قابل توجهی از گاز محلول را در خود نگه‌دارند، اعمال می‌شود [۴]. آتمایزرهای گازی نسبت به دیگر انواع مختلف آتمایزرها در بسیاری از شرایط، اسپری‌هایی با اندازه قطره‌های کوچک‌تر تولید می‌کنند. آتمایزرهای گازی به دلیل توانایی در تولید اسپری‌های بهتر نسبت به اسپری‌های حاصل از آتمایزرهای معمولی در یک فشار تزریق مشابه، می‌توانند منجر به کاهش انتشار آلاینده‌ها در موتورهای احتراق داخلی شوند. هم‌چنین پایین بودن فشار تزریق می‌تواند باعث افزایش کارایی موتور با کاهش تلفات شود. آتمایزرهای گازی برای تعدادی از موارد کاربردی شامل توربین‌های گاز، کاربردهای صنعتی و موتورهای دیزلی طراحی و مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۵]. در یک محیط دو فاز گاز-مایع، سرعت صوت خیلی کم‌تر از هر یک از فازها به صورت مجزا است. به‌عنوان مثال، حداقل سرعت صوت در مخلوط آب و هوا در دما و فشار استاندارد، بین ۲۰ تا ۳۰ متر بر ثانیه است، درحالی‌که تقریباً سرعت صوت در هوا و آب به ترتیب ۳۰۰ و ۱۵۰۰ متر بر ثانیه است که منجر به عملکرد بهتر اتمی‌سازی تکنیک‌های دو سیالی می‌شود [۶]. طبق مطالعه لین و همکاران [۷] پدیده‌های جریان دو فازی در داخل محفظه اختلاط نقش عمده‌ای در کنترل خواص اسپری خارجی دارند. طبق نتایج مطالعه مارش و همکاران [۸] اندازه حباب‌هایی که به دهانه خروجی نزدیک می‌شوند به شرایط بالادست بستگی دارد که شامل تشکیل حباب در دهانه ورودی گاز و انتقال حباب در امتداد محفظه اختلاط است. لیو و همکاران [۹] مطالعه‌ای با هدف بررسی وابستگی ناپایداری‌های اسپری گازدار به شرایط عملیاتی و طراحی داخلی آتمایزر ارائه کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد ناپایداری‌های اسپری در ناحیه مرکزی اسپری با افزایش فشار تزریق افزایش پیدا می‌کند. اسپری ناپایدار منجر به سر و صدای احتراق شده و همین‌طور فشار محفظه احتراق را افزایش می‌دهد. مالدونادو و همکاران [۱۰] از تجسم جریان و داده‌های نوسان فشار برای مشخص کردن پایداری اسپری خود استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که الگوی جریان ورودی به دهانه خروجی نقش عمده‌ای در پایداری اسپری ایفا می‌کند. یک الگوی حباب پراکنده منجر به یک الگوی اسپری پایدارتر و یک جریان متناوب حباب‌ها منجر به اسپری ناپایدار شد. کیم و لی [۱۱] و هوانگ و همکاران [۱۲] جریان داخلی و خارجی را در دهانه خروجی آتمایزر مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها سه رژیم جریان متفاوت را شناسایی کردند که به عنوان جریان حبابی، متناوب و حلقوی مشخص می‌شوند. با افزایش GLR<sup>۶</sup>، گزارش شده است که رژیم جریان از حبابی به متناوب و سپس به حلقوی تغییر می‌کند. رژیم جریان حلقوی منجر به اسپری با کوچک‌ترین اندازه قطرات و رژیم جریان حبابی و متناوب منجر به اسپری با اندازه قطرات بزرگ‌تر شد. اندازه قطره بستگی به ضخامت لایه مایعی دارد که هنگام فشرده‌شدن حباب در دهانه خروجی تشکیل می‌شود. اندازه حباب بزرگ‌تر، لایه مایع نازک‌تری تولید و از این‌رو

<sup>4</sup> Flashing atomization

<sup>5</sup> Dissolved gas atomization

<sup>6</sup> Gas Liquid Ratio

<sup>1</sup> Solids crystalline systems

<sup>2</sup> Effervescent atomizer

<sup>3</sup> Aerated-liquid atomization

در این پژوهش به دلیل این که نرخ فریم بالا و زمان شاترهای بسیار کوتاه مد نظر است از تکنیک نور پس زمینه<sup>۳</sup> استفاده شد. این تکنیک میزان شدت نور بالایی را در مرحله داده برداری برای آشکار سازی رژیم جریان دوفازی موجود در مجرای خروجی اتمایزر فراهم می کند. از یک دوربین سرعت بالا (Sony RX 100 mark 6) با فرکانس  $960 \text{ fps}$  برای آشکار سازی جریان درون مجرای خروجی با سرعت شاتر  $1/12000$  ثانیه استفاده شد که در هر بار آزمایش ویدئوی  $3/925$  ثانیه را ارائه می کند. هر ویدئو توسط نرم افزار به  $3379$  تصویر تبدیل می شود. منبع نور مورد استفاده در این پژوهش برای آشکار سازی رژیم جریان موجود در مجرای خروجی یک لامپ هالوژنی با توان  $5$  وات با شار نور  $400$  لومن با ابعاد  $5/1$  \*  $5/1$  سانتی متر می باشد. در شکل ۲ تجهیزات لازم برای تصویربرداری نشان داده شده است.



شکل ۲: دوربین، لنز و منبع نور مورد استفاده در این پژوهش

نور لامپ از طریق یک صفحه یکنواخت که پس زمینهی روشنی برای مجرای اتمایزر گازی ایجاد کرده، پخش شده است. منبع نور مورد استفاده دارای ابعاد کوچکی بود، که محدوده روشنایی کمتری با شدت نور بیش تر فراهم می کرد. همچنین نور را به صورت یکسان ساطع می کرد. در شکل ۳ شماتیکی از سیستم تصویربرداری و منبع نور مورد استفاده در آزمایش نشان داده شده است.



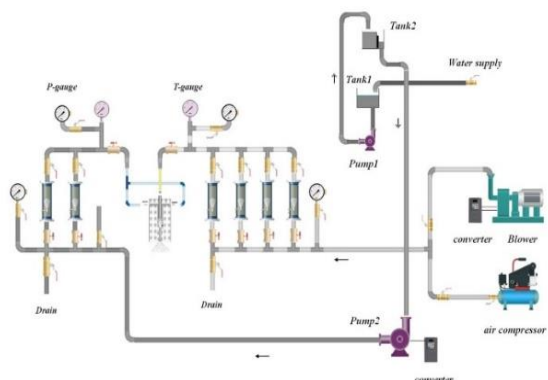
شکل ۳: پیکربندی آزمایشگاهی جهت آشکار سازی جریان دوفازی داخل مجرای اتمایزر گازدار

نمونه ای از دبی سنج های مورد استفاده در این آزمایش در شکل ۴ نشان داده شده است. این دبی سنج ها از نوع VA40 می باشند، که دبی سیال های مایع و گاز را اندازه می گیرند. دبی سنج های موجود برای آب در دمای  $20^\circ\text{C}$  و چگالی  $997/0.3 \text{ kg/m}^3$  و دبی سنج های مورد استفاده برای هوا در دمای استاندارد و چگالی  $1/297 \text{ kg/m}^3$  کالیبره شده اند. حداکثر فشاری که این

هنگام انفجار حباب، قطرات کوچک تری تولید می کند. با این حال، حباب های بزرگ تر که از دهانه خروجی عبور می کنند، می توانند باعث ناپایداری در اسپری شوند. یک اسپری ناپایدار تأثیر منفی در کاربرد احتراق دارد که منجر به امتیزه شدن نامناسب و افزایش اختلال و نویز در احتراق می شود. همچنین، ناپایداری اسپری می تواند نرخ حباب هوا را در برخی از محصولات مصرفی صنعت افزایش دهد. مطالعات در مورد ناپایداری اسپری تا زمانی که تئوری اسپری ایده آل توسط ادواردز و مارکس<sup>۱</sup> ایجاد شد شناخته شده نبود [۱۴، ۱۳]. جدلسکی و همکاران [۱۵] با استفاده از ترکیب دو تکنیک PIV-PLIF<sup>۲</sup> ناپایداری اسپری حاصل از یک اتمایزر گازی را اندازه گرفتند. ناپایداری اسپری در این روش امتیزه سیون به شرایط عملیاتی اتمایزر گازدار وابسته است. اسپری در مقادیر GLR زیاد نسبتاً پایدار است، در حالی که در GLR های پایین تر، ناپایداری افزایش می یابد. تأثیر فشار هوا روی ناپایداری اسپری به اندازه ی قابل توجهی نیست. جدلسکی و همکاران [۱۶] یک مدل جدید برای تعیین ناپایداری اسپری در یک اتمایزر گازدار ارائه کردند، این مدل بر پایه ی اندازه گیری نوسانات فشار داخل محفظه ی اختلاط اتمایزر است. اندازه گیری ها و شرایط متفاوت عملیاتی نشان می دهد که کاهش GLR باعث ناپایداری اسپری می شود. همچنین ناپایداری اسپری به شدت وابسته به رژیم جریان دوفازی داخل اتمایزر است هرگاه این رژیم تمایل به غیر همگن شدن داشته باشد، ناپایداری افزایش می یابد.

### تعریف سیستم اندازه گیری و روش انجام آزمایش

تمامی آزمایش ها در اتمایزر با محفظه اختلاط شفاف با ابعاد  $6\text{mm} \times 4\text{mm}$  زاویه همگرایی  $15$  درجه و مقطع مجرای خروجی به صورت مستطیل با ابعاد  $2\text{mm} \times 4\text{mm}$  و طول  $40\text{mm}$  انجام شده است. پیکربندی اجزای آزمایش مدنظر در این پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است. تجهیزات استفاده شده در این آزمایش شامل دو قسمت تامین سیال آب و هوا می باشد. لیست تجهیزات استفاده شده در این آزمایش شامل کمپرسور و دمنده جهت تامین سیال هوا، مخزن آب، پمپ جهت تامین سیال آب، اتمایزر، دبی سنج برای تعیین و تنظیم سیال های ورودی، انواع لوله های پلاستیکی و فولادی، انواع شیر، منبع نور و صفحه روشن، دوربین سرعت بالا جهت آشکار سازی، لنز و لپتاپ می باشد. نحوه ی چیدمان اجزای مدنظر، برای بهینه سازی اجزاء مورد نیاز سیستم، کارکرد درست و جلوگیری از به وجود آمدن خطا در سیستم بسیار مهم است. تمامی تجهیزات مطرح شده برای انجام پژوهش مدنظر در آزمایشگاه دوفازی دانشگاه تربیت مدرس موجود می باشند.

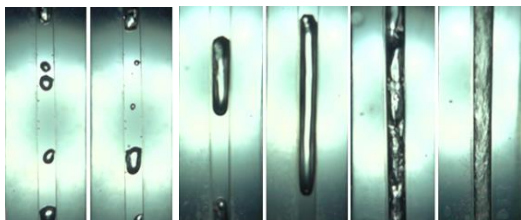


شکل ۱: پیکربندی تجهیزات مورد استفاده در آزمایش

<sup>3</sup> Backlighting technique  
<sup>4</sup> Frame per second

<sup>1</sup> Edward & Marx  
<sup>2</sup> Particle image velocimetry-Planar Laser Induced Fluorescence

محدوده دبی‌های مورد بررسی به دست آمد، سپس محدوده ناپایداری در مجرای خروجی اتمایزر تعیین و به بررسی مشخصات اسلاگ مانند طول، سرعت و مساحت اسلاگ پرداخته شد. نمودار ضریب تخلیه بر اساس GLR در محدوده دبی‌های مورد بررسی نیز به دست آمد. در شکل ۷ چهار نوع رژیم که شامل رژیم حبابی، دو اسلاگ با ابعاد مختلف، رژیم متلاطم و حلقوی است، مشاهده می‌شود.



شکل ۷: رژیم‌های جریان مشاهده شده در مجرای خروجی اتمایزر گازی

با استفاده از دبی حجمی روتامتر و مساحت ورودی سیال آب و هوا طبق فرمول ۱ سرعت ظاهری آب و هوا به دست آمد. با توجه به این که سیال آب دارای دو ورودی با قطر یکسان است، برای محاسبه سرعت ظاهری آب در فرمول ۱ باید مساحت دوبرابر شود. برای محاسبه دبی حجمی آب، عدد خوانده شده از روتامتر که بر حسب لیتر بر ساعت است باید به مترمکعب بر ساعت تبدیل شود. نکته قابل توجه دیگر این است که روتامترهای مورد استفاده برای اندازه‌گیری دبی حجمی هوا در شرایط دما و فشار آزمایشگاه کالیبره نشده و قابل استفاده نیست و با استفاده از فرمول ۲ نرمال شده است. در این فرمول فشار و دمای ورودی هوا با استفاده از گج‌های موجود برای فشار و دمای هوا به دست آمده است.

$$v \left( \frac{m}{s} \right) = \frac{Q \left( \frac{m^3}{h} \right)}{3600 * A(m^2)} \quad (1)$$

$$Q \left( \frac{m^3}{h} \right) = \frac{\left( Q \left( \frac{NL}{h} \right) \right) * \sqrt{\left( \left[ \frac{P_{air}(mbar)}{3000} \right] * \left[ \frac{297.15}{273.15 + T_{air}} \right] \right)}}{1000} \quad (2)$$

در فرمول ۲ واحد دما درجه سلسیوس و واحد فشار میلی‌بار است. در نهایت طبق این فرمول دبی حجمی نرمال شده برای هوا بر حسب مترمکعب بر ساعت محاسبه شده است.

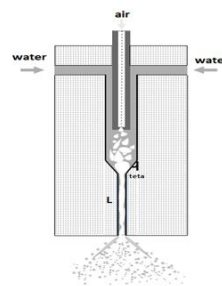
بعد از تبدیل فیلم‌های ثبت شده به تصویر برای بدست آوردن مشخصات اسلاگ مانند سرعت، طول و مساحت از بین ۳۳۷۹ تصویر ۵ نمونه را برای طول و ۱۰ نمونه را برای سرعت انتخاب و با استفاده از نرم افزار Image J طول و سرعت اسلاگ هر نمونه محاسبه و در نهایت میانگین گرفته شد. برای به دست آوردن مساحت نیز از نرم افزار Image J برای محاسبات استفاده شد. با توجه به فاصله زمانی ۰/۰۱۰۴ ثانیه برای هر دو فریم متوالی برای محاسبه سرعت اسلاگ، ۸ الی ۱۰ فریم متوالی انتخاب و سرعت هر حالت با توجه به میزان جایجایی اسلاگ محاسبه و در نهایت از بین داده‌های موجود میانگین‌گیری صورت گرفت. در شکل ۸ یک اسلاگ در چند فریم متوالی نشان داده شده است.

نوع دبی‌سنج‌ها می‌توانند تحمل کنند ۱۰ بار و خطای اندازه‌گیری آن‌ها کم‌تر از ۱ درصد است.



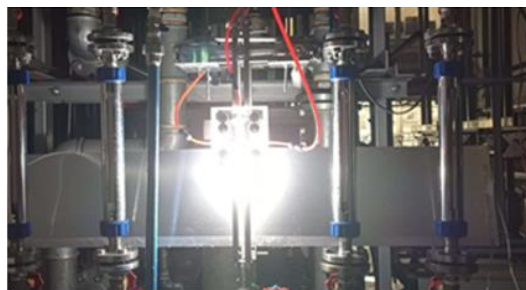
شکل ۴: دبی‌سنج روتامتر جهت اندازه‌گیری دبی سیال‌های آب و هوا

برای ساخت اتمایزر گازی از پلکسی گلس شفاف استفاده شد. برای هدایت بهتر سیال آب و هوا باید زاویه همگرایی مناسبی انتخاب شود. مطابق پژوهش فتحی و همکاران [۱۷] هر چه زاویه همگرایی کوچک‌تر باشد آب، هوا را بهتر هدایت می‌کند و در نهایت طول حباب افزایش و انتقال رژیم جریان از حبابی به سمت حلقوی می‌شود. در این پژوهش زاویه همگرایی اتمایزر ۱۵ درجه می‌باشد. در شکل ۵ شماتیک اتمایزر مورد استفاده نشان داده شده است. سیال آب دارای دو ورودی و سیال هوا دارای یک ورودی با قطر داخلی ۲ میلی‌متر می‌باشد.



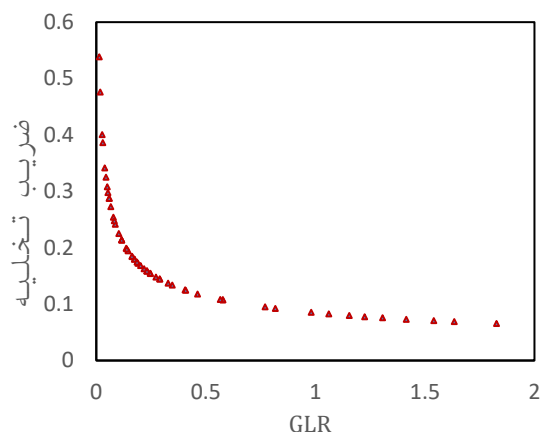
شکل ۵: طرح‌واره‌ی اتمایزر گازدار مورد استفاده در این مطالعه

چگونگی چیدمان تجهیزات مورد نیاز برای آشکارسازی جریان دوفازی داخل مجرای اتمایزر گازدار در شکل ۶ نشان داده شده است.



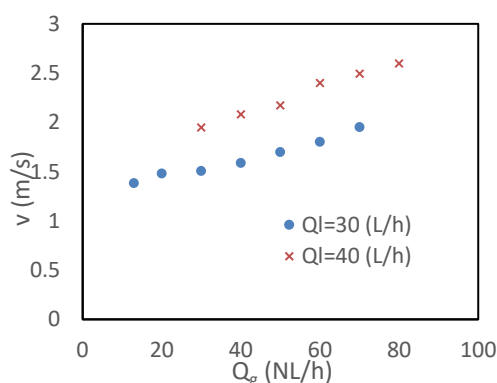
شکل ۶: چیدمان تجهیزات آزمایشگاه

ابتدا فیلم‌های ثبت شده از جریان دوفازی تشکیل شده در مجرای خروجی اتمایزر با استفاده از نرم افزار Free Video to JPG Converter به ۳۳۷۹ تصویر تبدیل و سپس با استفاده از نرم افزار Image J به بررسی و پردازش تصاویر پرداخته شد. برای اتمایزر مورد نظر ابتدا نمودار الگوی جریان در



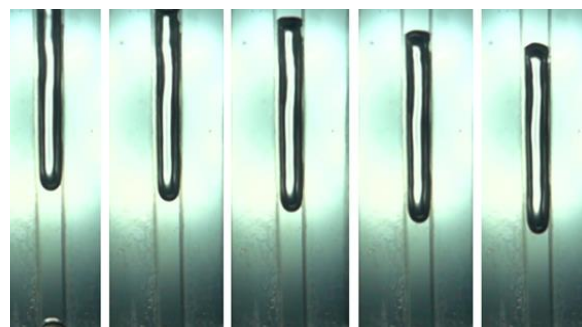
شکل ۱۰: نمودار تغییرات ضریب تخلیه بر حسب GLR

شکل ۱۱ سرعت اسلاگ تشکیل شده در مجرای خروجی اتمایزر را بر حسب سرعت گاز در دبی‌های مایع ۳۰ و ۴۰ لیتر بر ساعت نشان می‌دهد.



شکل ۱۱: نمودار تغییرات سرعت اسلاگ بر حسب دبی حجمی گاز و مایع

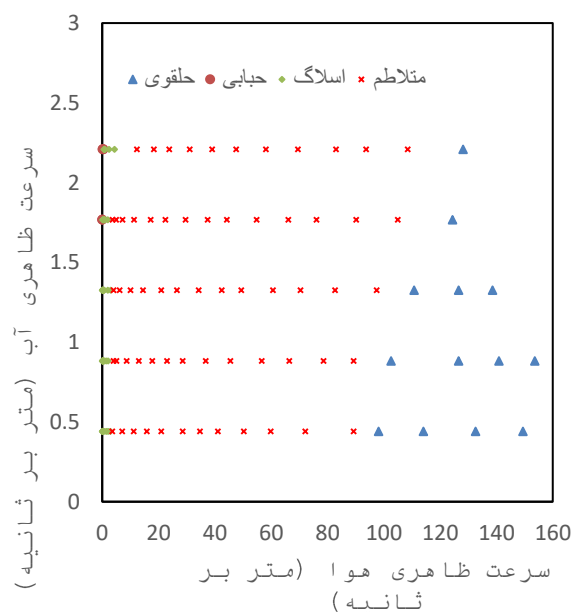
با افزایش دبی حجمی گاز در هر دبی ثابت مایع، سرعت اسلاگ افزایش یافته است. همچنین در هر دبی حجمی ثابت گاز با افزایش دبی مایع نیز سرعت اسلاگ افزایش یافته است. با افزایش گاز تزریقی سرعت حباب‌ها افزایش می‌یابد. که در این حالت انرژی جنبشی سیال مایع افزایش و در نهایت به علت برهم‌کنش بین سیال مایع و حباب‌های گاز در مجرای خروجی اتمایزر، این افزایش اتفاق افتاده است. با افزایش GLR سرعت حباب بیشتر شده که این افزایش تقریباً به صورت خطی است. همچنین می‌توان گفت با افزایش تزریق گاز، فشار گاز نیز افزایش می‌یابد. همچنین می‌توان گفت افزایش فشار سیال گاز انرژی حباب را افزایش می‌دهد و در نهایت سرعت حباب افزایش می‌یابد. شکل ۱۲ تغییرات طول اسلاگ را بر حسب دبی گاز و دبی مایع نشان می‌دهد.



شکل ۸: یک نمونه اسلاگ مشاهده شده در مجرای خروجی اتمایزر در چند فریم متوالی

### بحث بر روی نتایج

در محدوده دبی مایع ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ لیتر بر ساعت و دبی هوای ۱۳ الی ۳۵۰۰ نرمال لیتر بر ساعت تصویربرداری صورت گرفت و نمودار الگوی جریان (شکل ۹) به دست آمد. در هر مرحله از تصویربرداری برای یک دبی مایع ثابت، دبی گاز از ۱۳ الی ۳۵۰۰ متغیر بود. برای هر دبی مایع حد بالایی دبی هوا تغییر می‌کرد و با افزایش دبی مایع، حداکثر دبی هوا مقداری کاهش پیدا می‌کرد. با افزایش دبی مایع در دبی‌های کم رژیم حبابی در مجرای خروجی اتمایزر تشکیل شد. طبق شکل ۹ نیز با افزایش دبی هوا در یک دبی مایع ثابت، رژیم حبابی به اسلاگ، اسلاگ به متلاطم و در نهایت متلاطم به حلقوی تبدیل می‌شد. در نمودار الگوی جریان بدست آمده مرز بین رژیم‌های حبابی و اسلاگ، اسلاگ و متلاطم و همچنین متلاطم و حلقوی در یک بازه متغیر از دبی هوا و مایع صورت می‌گیرد و بطور دقیق نمی‌توان نوع رژیم را تعیین کرد. با افزایش دبی هوا، فشار تزریقی هوا نیز در هر حالت افزایش می‌یابد.



شکل ۹: نمودار الگوی جریان در مجرای خروجی اتمایزر

با توجه به نمودار الگوی جریان بدست آمده، محدوده سرعت و دبی حجمی مربوط به رژیم اسلاگ تعیین و به بررسی آن پرداخته شد. شکل ۱۰ ضریب تخلیه را برای اتمایزر مورد بررسی نشان می‌دهد. در این نمودار مشاهده می‌شود که با افزایش GLR، ضریب تخلیه ابتدا به سرعت و سپس به آرامی کاهش پیدا می‌کند.

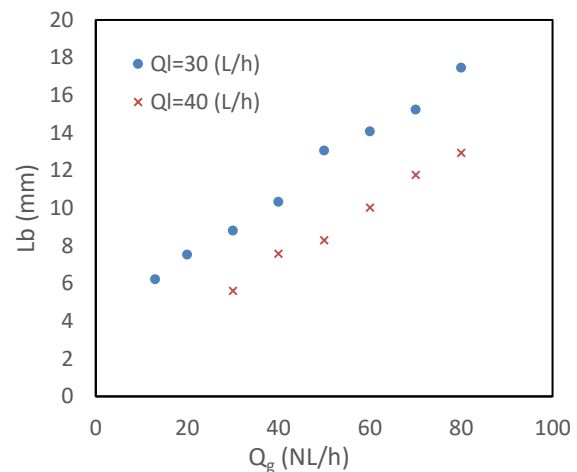
دبی حجمی گاز ثابت، طول و مساحت حباب‌های تیلور کاهش پیدا کردند. هم‌چنین با افزایش دبی حجمی گاز در دبی حجمی ثابت مایع، طول و مساحت حباب‌های تیلور افزایش یافت.

#### فهرست علائم

A	مساحت ورودی سیال، $m^2$
Ab	مساحت اسلاگ، $mm^2$
Cd	ضریب تخلیه
GLR	Gas Liquid Ratio
L	طول مجرای خروجی اتمایزر، mm
Lb	طول اسلاگ، mm
P	فشار، mbar
Q	دبی حجمی سیال، $m^3h^{-1}$
T	دما، $^{\circ}C$
v	سرعت، $ms^{-1}$
<b>زیرنویس‌ها</b>	
air	هوا
g	گاز
l	مایع

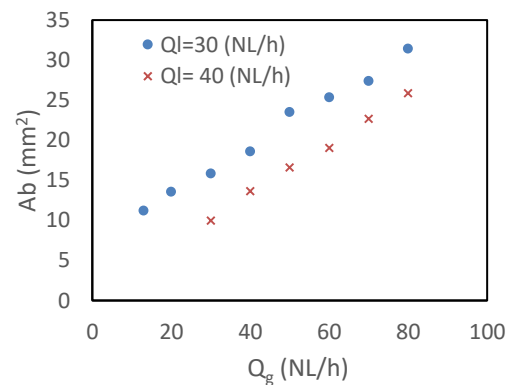
#### مراجع

- 1- E. Michaelides, C. Crowe, and J. Schwarzkopf., 2016, Multiphase Flow Handbook, 2nd Edition.
- 2- M. Ishii and T. Hibiki., 2011, Thermo-Fluid Dynamics of Two-Phase Flow, Second Edition.
- 3- G. H. Yeoh and J. Tu., 2014, Multiphase Flow Analysis Using Population Balance Modeling.
- 4- S. D. Sovani, P. E. Sojka, and A. H. Lefebvre., 2001 "Effervescent atomization," Prog. Energy Combust. Sci., vol. 27, no. 4, pp. 483–521.
- 5- A. Lefebvre and V. McDonell., 2017, "Atomization and sprays".
- 6- H. Liu., 1999, "Science and Engineering of Droplets: Fundamentals and Applications," Elsevier Sci.
- 7- K. Lin, P. J. Kennedy, O. Ct, and T. A. Jackson., 2001 "Corresponding Spray for Aerated- Liquid Injectors," .
- 8- D. Konstantinov, R. Marsh, P. Bowen, and A. Crayford., 2010, "Effervescent atomization for industrial energy-technology review," At. Sprays, vol. 20, no. 6, pp. 525–552.
- 9- M. Liu, Y. Duan, and T. Zhang., 2010, "Evaluation of effervescent atomizer internal design on the spray unsteadiness using a phase / Doppler particle analyzer," Exp. Therm. Fluid Sci., vol. 34, no. 6, pp. 657–665.
- 10- S. Maldonado, B. Fleck, T. Heidrick, A. Amirfazli, E. Chan, and B. Knapper., 2008, "Development of an experimental method to evaluate the stability of gas-liquid sprays" Atom Sprays 18699–722.
- 11- J. Kim and S. Lee., 2001, "Dependence of spraying performance on the internal flow pattern in effervescent atomizers," Atom, Sprays 11:735–756.
- 12- X. Huang, X. Wang, and G. Liao., 2008, "Visualization of two phase flow inside an effervescent atomizer," J. Vis., vol. 11, no. 4, pp. 299–308.
- 13- H. Chanson., 2013 "Hydraulics of aerated flows" J. Hydraul. Res., vol. 51, no. 3, pp. 223–243.
- 14- H. Chanson., 2007, "Bubbly flow structure in hydraulic jump," Eur. J. Mech. B/Fluids, vol. 26, no. 3, pp. 367–384.
- 15- J. Jedelsky and M. Jicha., 2006 "Unsteadiness in Effervescent Sprays - Measurement and Evaluation Using Combined PIV-PLIF Technique," 13th Int. Symp Appl. Laser Tech. to Fluid Mech., vol. 18, no, p. 12.
- 16- J. Jedelsky and M. Jicha., 2008, "Unsteadiness in



شکل ۱۲: تغییرات طول اسلاگ تشکیل شده در مجرای خروجی بر حسب دبی حجمی آب و هوا

همان‌طور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، با افزایش دبی حجمی گاز طول اسلاگ نیز افزایش یافته است. اما با افزایش دبی حجمی مایع در یک دبی حجمی ثابت گاز طول اسلاگ کاهش پیدا می‌کند. برای دبی‌های گاز بیش‌تر اندازه‌گیری طول اسلاگ صورت نگرفته است، زیرا اندازه اسلاگ به اندازه مجرای خروجی طولانی می‌شد و در محدوده دوربین قابل اندازه‌گیری نبود. شکل ۱۳ مساحت اسلاگ را بر حسب دبی حجمی آب و هوا در دبی‌های مایع ۳۰ و ۴۰ لیتر بر ساعت نشان می‌دهد. با افزایش دبی حجمی گاز در دبی حجمی ثابت مایع مساحت اسلاگ نیز افزایش می‌یابد. اما با افزایش دبی حجمی مایع در دبی ثابت گاز اندازه اسلاگ‌ها رفته رفته کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۱۳: تغییرات مساحت اسلاگ تشکیل شده در مجرای خروجی اتمایزر بر حسب دبی حجمی آب و هوا

#### نتیجه‌گیری

جریان دوفازی آب و هوا در مجرای خروجی اتمایزر گازی با استفاده از یک دوربین سرعت بالا ( ۹۶۰ fps ) با روش تکنیک نور پس زمینه آشکارسازی شد. در مجرای خروجی اتمایزر گازدار رژیم‌های جریان حبابی، لخته‌ای (اسلاگ)، متلاطم و حلقوی با افزایش GLR مشاهده شد. مرز بین چهار رژیم مشخص شده به صورت دبی ثابتی نبود بلکه در یک محدوده‌ای از دبی‌های آب و هوا متغیر بود. سرعت حباب‌های تیلور با افزایش دبی حجمی گاز و مایع افزایش می‌یابد. در GLR های پایین با افزایش GLR ضریب تخلیه‌ی سیال مایع با شیب تندی کاهش یافته اما برای GLR های بالاتر، شیب کاهش ضریب تخلیه ملایم‌تر می‌شود. با افزایش دبی حجمی مایع در

effervescent sprays: A new evaluation method and the influence of operational conditions” At. Sprays, vol. 18, pp. 49-83.

17- E. Fathi and M. R. Ansari, 2018, “Effect of mixing chamber convergence angle in an effervescent atomizer on the two phase flow regimes in the nozzle passage of atomizer”. (in persian)