

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و پیشینه تحقیق

- ۱-۱) مقدمه: ۲
- ۲-۱) پیشینه تحقیق: ۳
- ۳-۱) انواع نازل تزریق سوخت: ۱۲
- ۴-۱) سیستمهای تزریق موتورهای دیزل پاشش مستقیم: ۱۳
- ۵-۱) رژیم های فروپاشی قطرات مایع ۱۶
- ۶-۱) ساختار افشانه درموتورهای دیزل پاشش مستقیم: ۱۷
- ۱-۶-۱) طول نفوذ افشانه ۱۹
- ۲-۶-۱) زاویه مخروط افشانه ۲۰
- ۳-۶-۱) میانگین اندازه قطرات افشانه SMD ۲۰
- ۸-۱) پدیده کاویتاسیون و شکل گیری آن در روزنه انژکتور دیزل: ۲۳
- ۹-۱) تأثیر پدیده کاویتاسیون بر پارامترهای جریان داخلی: ۲۴
- ۱-۹-۱) ضریب تخلیه (C_d): ۲۵
- ۲-۹-۱) شار مومنتم (\dot{M}_f): ۲۶
- ۳-۹-۱) ضریب محیط (C_a): ۲۶
- ۴-۹-۱) سرعت جریان خروجی روزنه (U_0): ۲۶
- ۵-۹-۱) زاویه مخروط (Φ): ۲۷
- ۱۰-۱) تأثیر هندسه اریفیس در جریان کاویته: ۲۷
- ۱۱-۱) تأثیر کاویتاسیون و پارامترهای جریان داخلی بر خصوصیات افشانه: ۲۸

فصل دوم: مواد و روشها

- ۱-۲) مقدمه ۳۲
- ۲-۲) کاربردهای دینامیک سیالات محاسباتی CFD (۳۶) ۳۳

۳۴	..... (۳۶) ساختار برنامه CFD
۳۴	..... (۱-۳-۲) پیش پردازنده
۳۴	..... (۱-۱-۳-۲) تعریف هندسه نازل انژکتور به عنوان میدان محاسباتی اول
۳۶	..... (۲-۱-۳-۲) تعریف هندسه محفظه احتراق به عنوان میدان محاسباتی دوم
۳۷	..... (۳-۱-۳-۲) شبکه بندی و خواص آن
۴۲	..... (۴-۱-۳-۲) خواص سیال
۴۲	..... (۵-۱-۳-۲) تعیین شرایط مرزی
۴۴	..... (۶-۱-۳-۲) شرایط اولیه
۴۴	..... (۲-۳-۲) حل گر (۳۶)
۴۵	..... (۱-۲-۳-۲) روش گسسته سازی حجم محدود (۳۶)
۴۶	..... (۴-۲) مدل سازی افشانه سوخت
۴۶	..... (۱-۴-۲) مدل کردن فروپاشی اولیه
۴۸	..... (۲-۴-۲) مدل کردن فروپاشی ثانویه
۴۸	..... (۵-۲) معادلات اندازه حرکت برای بسته ذرات

فصل سوم: بحث و نتیجه گیری

۵۱	..... (۱-۳) مقدمه
۵۴	..... (۲-۳) تأثیر تغییرات فشار بر الگوی کاویتاسیون
۵۶	..... (۳-۳) تأثیر تغییرات فشار بر میزان نفوذ افشانه
۵۷	..... (۴-۳) تأثیر تغییرات فشار بر میانگین اندازه قطر قطرات
۶۱	..... (۶-۳) تأثیر تغییرات فشار بر نحوه توزیع سوخت پاشیده شده در محفظه احتراق
۶۴	..... (۷-۳) تأثیر تغییرات فشار بر سرعت افشانه
۶۷	..... (۸-۳) تأثیر تغییرات فشار بر دانسیته افشانه
۷۱	..... (۸-۳) تأثیر تغییرات فشار بر زاویه مخروط افشانه
۷۲	..... (۹-۳) اعتباردهی به نتایج (۳۸)
۷۳	..... نتیجه گیری کلی

۷۴.....پیشنهادات

۷۵.....مراجع

فصل اول

مقدمه و پیشینه تحقیق

۱-۱) مقدمه:

در اواخر قرن ۱۹ میلادی (۱۸۳۲-۱۸۹۱) Nicolaus A. Otto توانست اولین موتور احتراق داخلی چهار زمانه را با گسترش زحمات دانشمندی چون (۱۸۲۲-۱۹۰۰) Jean Joseph Etienne Lenoir اختراع کند که کاهش زیادی در حجم و وزن موتورهای پیش ساخته بوجود آورد. این موتورها تقریباً اولین موتورهای تجاری بودند که در دسترس بشر قرار گرفتند. در سال ۱۸۹۲ (۱۸۵۳-۱۹۱۳) Rudolf Diesel آلمانی نوع دیگری از موتورهای احتراق داخلی را تحت عنوان موتورهای احتراق تراکمی اختراع کرد. هر چند که ۵ سال طول کشید تا اولین نوع این موتورها به بازار ارائه شود.

موتورهای دیزل منبع ایجاد دو آلودگی بسیار مهم می‌باشند: اکسیدهای نیتروژن (NO_x) و اجسام بسیار ریز یا دوده ها (Soot)، که هر دو تأثیر بسیار ناگواری در سلامت عمومی و محیط زیست دارند. یکی از روشهای کاهش آلودگی‌های ناشی از اکسیدهای نیتروژن و ذرات ریز بهبود کارایی سیستم سوخت رسانی است. تغییر در سیستم سوخت رسانی می‌تواند آلودگی‌ها را بشدت کاهش دهد، اما هنوز جزئیات این رابطه به طور قابل ملاحظه‌ای ناشناخته مانده است، همانطور که رابطه بین انژکتور نازل و مشخصات اسپری بطور کامل تشریح نشده است. درک و فهم جزئیات جریان داخل انژکتورها و ارتباط آن با اسپری می‌تواند کمکی مؤثر به محققین در کاهش آلودگی‌ها داشته باشد. نازلها معمولاً دارای طول و قطر بسیار کوچکی هستند و جریان داخل روزنه انژکتور با سرعت بسیار بالا حرکت می‌کند، به علاوه جریان در نازلها گذرا بوده و مدت زمان تزریق بسیار کوتاه می‌باشد و اگر جریان داخل روزنه انژکتور دوفازی باشد، این پیچیدگی‌ها به طوری افزایش خواهند یافت که مشاهده مستقیم نازلها و در نتیجه مطالعه تجربی آنها بسیار مشکل و تا حدودی ناممکن باشد.

با توجه به مطالب بالا گفتنی است که بهبود رفتار افشانه سوخت باعث بهبود عملکرد موتور دیزل می‌شود. علاوه بر این افشانه سوخت تأثیر قابل ملاحظه‌ای در عملکرد موتور و آلاینده‌های خروجی آن دارد. اگر افشانه سوخت به قطرات ریزتری منجر شود، احتراق بهتر و سریعتر اتفاق افتاده و راندمان و گشتاور افزایش یافته و آلاینده‌های خروجی کاهش خواهند یافت. همچنان که گفته شد ویژگی‌های افشانه ایجاد شده شدیداً تحت تأثیر الگوی جریان سوخت داخل روزنه انژکتور است و چنانچه مشخصات جریان سوخت در خروجی نازل تعیین شوند، می‌توان رفتار افشانه را پیش بینی کرد. جریان سوخت داخل روزنه نازل بعد از خروج از روزنه نازل با سرعت بسیار زیاد وارد محفظه احتراق می‌شود، افشانه پس از خروج از روزنه باید بصورتی متمایز شود که این ذرات قابلیت تبخیر بالایی داشته باشند و بتوانند در مدت زمان بسیار کوتاهی محفظه احتراق را طی کنند و از همه هوای موجود در محفظه استفاده کنند. شواهد تجربی نشان می‌دهند که کاویتاسیون درون روزنه نازل مشخصه‌های افشانه خروجی نازل و طول شکست افشانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاویتاسیون در نواحی از جریان که در آنجا فشار استاتیکی سوخت مایع به پایین تر از فشار بخار سوخت افت

می‌کند، تعریف می‌شود. اگرچه تحقیقات زیادی در رابطه با وجود کاویتاسیون و وابستگی آن به فشار تزریق انجام یافته است ولی ساختار و چگونگی شکل‌گیری آن هنوز به طور کامل شناخته نشده است (۱).

در این فصل ابتدا پیشینه‌ای از تحقیقات انجام گرفته در سالهای اخیر که چگونگی و پیشرفت مطالعات انجام گرفته در این زمینه را نشان می‌دهد، بررسی شده و سپس کلیاتی در مورد سیستم سوخت رسانی موتور دیزل توضیح داده شده و در نهایت مشخصات اسپری و چگونگی تأثیر هندسه‌های مختلف روزنه نازل تحت تأثیر پدیده‌های کاویتاسیون بر اسپری بررسی خواهد شد

۲-۱) پیشینه تحقیق:

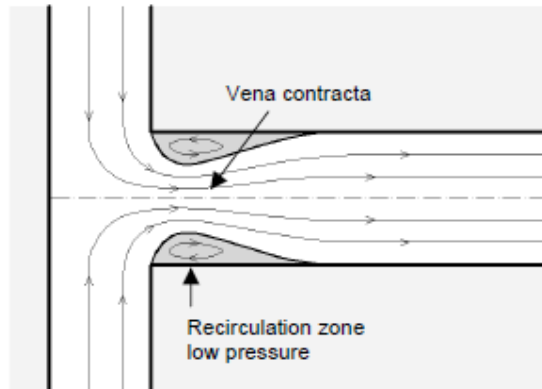
تجزیه و ناپایداری جت مایع خروجی از روزنه انژکتور بعلاوه اهمیت تکنولوژیکی آن در بیش از یکصد سال اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. چالشهای اخیر در مورد موتور دیزل مواردی چون فشار بالای تزریق، قطر کوچک اریفیس و زود گذر بودن تزریقهای چند گانه را برای بدست آوردن اتمیزاسیون بهتر اسپری سوخت مورد مطالعه و بررسی قرار داده است. این موارد انگیزه بشر را برای فهم دینامیک سیال جریان داخل اریفیس و اسپری سوختی که بلافاصله بعد از خروج از روزنه انژکتور شکل می‌گیرد و بستگی آنها به هندسه نازل را فراهم آورده است (۲).

در این مطالعه رفتار اسپری سوخت موتورهای دیزل تحت تأثیر وقوع پدیده کاویتاسیون در روزنه انژکتور با فشارهای مختلف ورودی مجرا و ثابت نگه داشتن فشار خروجی مجرا در فشار ۲ MPa که همان فشار داخل محفظه احتراق می‌باشد به صورت عددی و با استفاده از نرم افزار FIRE مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. در این راستا تأثیر این پارامتر بر روی مشخصات اسپری، پارامترهای احتراقی - عملکردی و آلاینده‌گی یک موتور دیزل مورد بررسی قرار خواهد گرفت. پروسه تجزیه جت مایع بسیار پیچیده بوده و می‌تواند تحت تأثیر بسیاری از پارامترها از جمله جزئیات طراحی انژکتور، کاویتاسیون، جریان آشفته و حالات فیزیکی و ترمودینامیکی گاز و مایع باشد. برای سیستم تزریق پرفشار دیزل، هندسه داخلی اریفیس می‌تواند تأثیر بسیار مهمی در تجزیه اولیه اتمیزاسیون کل اسپری بعلاوه کاویتاسیون احتمالی داخل نازل داشته باشد (۲).

بنابراین بهبود مخلوط هوا - سوخت منجر به احتراق بهتر و در نتیجه راندمان بالاتر شده و همچنین باعث کاهش آلاینده‌های خروجی خواهد شد (۳).

در نازل بخاطر تغییر ناگهانی جهت جریان، لایه مرزی تمایل به جدایی از دیواره در قسمت ورودی دارد. که منجر به شکل‌گیری ناحیه ای موسوم به Vena Contracta می‌شود. باتوجه به جدایش در منطقه ورودی یک ناحیه

چرخشی بین دیواره اریفیس و Vena Contracta وجود می‌آید. در این ناحیه بعلت شتاب سیال، افت فشار خواهیم داشت که اگر فشار استاتیک سوخت مایع به پایین‌تر از فشار بخار سوخت برسد، پدیده کاویتاسیون اتفاق خواهد افتاد. طرح ساده‌ای از این شرایط در شکل (۱-۱) دیده می‌شود:



شکل (۱-۱): جدایش جریان در روزه نازل

این طرح توسط Bergwerk در سال ۱۹۵۹ ارائه شد که برای مطالعه آن، پارامترهای بی بعد متعددی تعریف شده است. با معادله برنولی و نادیده گرفتن سرعت ورودی می‌توان سرعت خروجی را بدست آورد:

$$p_i = p_b + \frac{1}{2} \rho_l u_{th}^2 \quad (1-1)$$

$$u_{th} = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_l}} \quad (2-1)$$

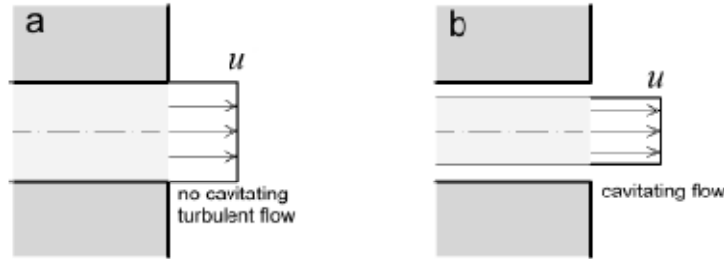
با استفاده از این سرعت خروجی و با ثابت فرض کردن سطح مقطع و چگالی، جریان جرم نظری بدست می‌آید. اولین پارامتر بی بعد که ضریب تخلیه (C_d) می‌باشد، با تقسیم جریان جرم واقعی به جریان جرم نظری بدست می‌آید:

$$C_d = \frac{\dot{m}_f}{A_{geo} \cdot \rho_l \cdot u_{th}} = \frac{\dot{m}_f}{A_{geo} \sqrt{2 \cdot \rho_l \cdot \Delta p}} \quad (3-1)$$

و با استفاده از شار مومنتم تئوری یک پارامتر بی بعد دیگر به نام ضریب مومنتم (C_m) بدست می‌آید:

$$C_M = \frac{\dot{M}_f}{A_{geo} \cdot \rho_l \cdot u_{th}^2} = \frac{\dot{M}_f}{2 \cdot A_{geo} \cdot \Delta p} \quad (4-1)$$

اگر جریان آشفته بدون کاویتاسیون در نظر گرفته شود، پروفیل سرعت خروجی را می‌توان در منطقه خروجی یکنواخت در نظر گرفت. با این فرض تخمین سرعت خروجی مؤثر، با تقسیم شار مومنتم به شار جرمی امکان پذیر است. این فرض برای جریان کاویته نیز معتبر است. این شرایط در شکل (۲-۱) نشان داده شده است:



شکل (۲-۱): پروفیل سرعت خروجی

$$u_{ef} = \frac{\dot{M}_f}{\dot{m}_f} \quad (5-1)$$

Bergwerk برای مطالعه بیشتر ضریب تخلیه، آن را به دو قسمت ضریب سرعت و ضریب محیط تقسیم کرد:

$$C_d = C_v \cdot C_a \quad (6-1)$$

که هریک از این دو ضریب را به صورت زیر تعریف نمود:

$$C_v = \frac{u_{ef}}{u_{th}} \quad (7-1)$$

$$C_a = \frac{A \cdot \rho}{A_{geo} \cdot \rho_l} \quad (8-1)$$

و در نهایت رابطه بین ضریب مومنتم و تخلیه را با ترکیب روابط ۳، ۴، ۵ و ۷ به صورت زیر تعریف نمود: (۷)

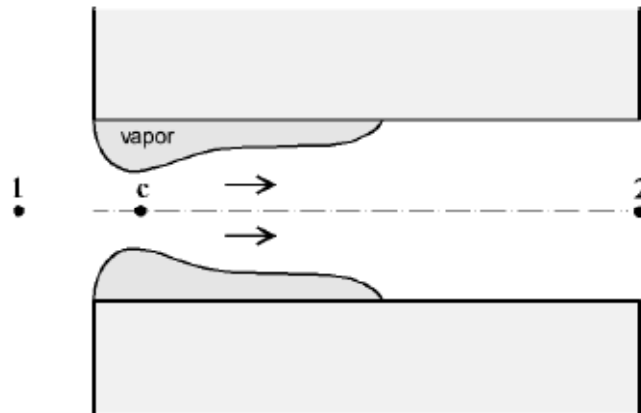
$$C_M = C_d \cdot C_v \quad (9-1)$$

در اریفیس هدف از فشار ورودی بالا تولید سرعت تزریق بالا می‌باشد که فرآیند اتمیزاسیون مؤثر را با قطرات سوخت کوچک و پراکنده نتیجه می‌دهد، که این خود باعث اختلاط سریع قطرات با هوای موجود در محفظه احتراق شده و روند تبخیر را بهبود می‌بخشد. شواهد تجربی بسیاری موجود است که نشان می‌دهد کاویتاسیون در طول روزنه انژکتور مشخصات جریان را در خروجی تعدیل نموده و اتمیزاسیون سوخت را بهبود می‌بخشد. فروپاشی حبابهای

کاویتاسیون شدت آشفته‌گی را در خروجی اریفیس تحت تأثیر قرار می‌دهد. البته باید توجه داشت که پیش بینی دقیق ناحیه کاویتاسیون در اریفیس برای جلوگیری از فرسایش سطح داخلی آن بعلت فروپاشی حبابهای نزدیک دیواره نازل بسیار ضروری است. معمولاً مشاهده حالت جریان در اریفیس برای انژکتورها با اندازه واقعی تحت شرایط عملی بسیار مشکل می‌باشد. بنابراین محاسبات عددی چند بعدی (CFD) ابزاری مناسب برای درک چهره سه بعدی جریان داخل و خارج نازل می‌باشد (۷).

در اریفیس با ورود حبابهای بخار داخل جریان حداکثر سرعت در مرکز هسته مایع بوجود می‌آید. این افزایش سرعت به دو علت است: وقتی کاویتاسیون اتفاق می‌افتد، اگر بخار در طول دیواره وجود داشته باشد مایع دارای شرایط مرزی لغزشی خواهد بود که این باعث افزایش سرعت می‌شود، از طرفی بخاطر شکل‌گیری حبابهای بخار، مایع نمی‌تواند تمام اریفیس را پر کند، بنابراین قطر مؤثر جت به قطر هندسی کاهش می‌یابد (۶).

اولین مدل تئوری برای پیش بینی جریان داخل نازل تحت تأثیر کاویتاسیون در سال ۱۹۷۶ توسط Nurick ارائه شد. وی تمام تحلیل‌ها را بر اساس شکل (۱-۳) انجام داد. در این مدل نقطه ۱ بالادست، جایی است که سرعت تقریباً صفر در نظر گرفته می‌شود و نقطه ۲ خروجی اریفیس تعریف شده است. وی برای ساده سازی تحلیل خود یک ناحیه معین را که با فاز بخار اشغال شده است در نظر گرفت، بنابراین سطح مقطع در جایی که بخار وجود دارد، کاهش می‌یابد. وی برای این ناحیه ضریبی تحت عنوان ضریب انقباض (C_c) تعریف کرده که این ضریب به هندسه نازل بستگی دارد.



شکل (۱-۳): مدل کاویتاسیون نوریکی

بنابراین سطح مقطع انقباض یافته را با استفاده از معادله (۱۰-۱) بدست آورد:

$$A_c = C_c \cdot A \quad (10-1)$$

اگر فرض کنیم که هیچ سرعت شعاعی وجود ندارد و دانسیته مایع ثابت است، آنگاه شار جرمی بصورت زیر تعریف می شود:

$$\dot{m}_f = \rho_l \cdot A_c \cdot u_c \quad (11-1)$$

با استفاده از معادله برنولی بین نقاط ۱ و C و با فرض فشار بخار برای نقطه C فشار در این نقطه مانند زیر تعریف می شود:

$$p_1 = p_v + \frac{1}{2} \rho_l \cdot u_c^2 \quad (12-1)$$

و با ترکیب معادلات ۱۰، ۱۱ و ۱۲ جریان جرمی بدست می آید:

$$\dot{m}_f = A \cdot C_c \sqrt{2\rho(p_1 - p_v)} \quad (13-1)$$

و ضریب تخلیه برای این جریان جرمی مانند زیر بدست می آید:

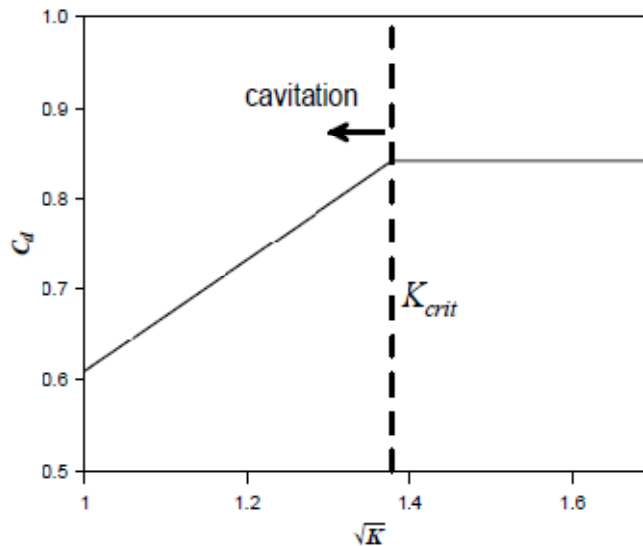
$$C_d = C_c \sqrt{\frac{p_1 - p_v}{p_1 - p_2}} \quad (14-1)$$

براساس مطالعه Nurick (۹)، عدد کاویتاسیون با کاهش فشار ورودی افزایش می یابد و با افزایش فشار ورودی کاهش می یابد. برای مقادیر بسیار کم عدد کاویتاسیون تأثیرات بسیار مهم کاویتاسیون وجود دارد:

$$K = \frac{p_1 - p_v}{p_1 - p_2} \quad (15-1)$$

$$C_d = C_c \sqrt{K} \quad (16-1)$$

و با افزایش عدد کاویتاسیون لحظه‌ای وجود دارد که جابجایی کاویتاسیون ناپدید می‌شوند. مقداری که جابجایی کاویتاسیون در آن عدد ناپدید می‌شوند، عدد کاویتاسیون بحرانی نام دارد. برای اعداد بزرگتر از این عدد جریان فقط در فاز مایع خواهد بود که شدت به عدد رینولدز وابسته می‌باشد. این پدیده در شکل (۴-۱) مشخص است:



شکل (۴-۱): مدل نوریك

این مدل یک بعدی بر این دلالت دارد که در اریفیس، جریان جرمی از فشار پایین دست مستقل خواهد بود. این رفتار در بسیاری از تحقیقات تجربی دیده شده است (۳-۱۰-۱۱-۱۲-۱۳).

پس از مدل یک بعدی Nurick دامنه مطالعات انجام گرفته در این زمینه گسترش یافت. Hiroyasu در سال ۱۹۹۱ مطالعه تجربی طول شکست جت مایع و جریان داخل نازل را انجام داد و به این نتیجه رسید که اتمیزاسیون جت مایع وقتی که کاویتاسیون تا خروجی نازل اتفاق می‌افتد، ترقی می‌کند. Chaves نیز در سال ۱۹۹۵ در یک نازل شیشه‌ای رفتار کاویتاسیون را در داخل اریفیس به صورت تجربی مطالعه نمود، مطابق تحقیقات وی کاویتاسیون یک افزایش در زاویه اسپری، درست زمانی که کاویتاسیون اتفاق می‌افتد، ایجاد می‌کند و این افزایش با تشدید کاویتاسیون بیشتر شده و هنگامی که کاویتاسیون تا خروجی ادامه دارد (سوپر کاویتاسیون) مقدار این زاویه ثابت می‌ماند. این مطالعات در سالهای بعد به پیشرفتهای قابل ملاحظه‌ای رسید هر چند که هنوز هیچ نظریه مشخصی برای روشن کردن تأثیر جریان داخلی اریفیس بر روی اسپری بیان نشده است (۱۲). در مطالعه Arcoumani در سال ۱۹۹۸ عدد رینولدز و عدد کاویتاسیون مهمترین فاکتورهایی هستند که جریان کاویتاسیون را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۱۴).

مطالعاتی که در سالهای اولیه در مورد مدلسازی سیستم تزریق سوخت انجام شد، بیشتر در مورد فشار تزریق و کنترل زمانی تزریق بود، مانند مطالعات براون (۱۹۶۷) و وایلی (۱۹۷۱) ولی در سالهای اخیر مطالعات در مورد جزئیات

جریان داخل نازل و هندسه نازل و ارتباط این دو با اتمیزاسیون سوخت و مشخصات اسپری فزونی یافته است (۱۵-۱۶).

Nbar در سال ۱۹۹۶ نفوذ اسپری را به دو قسمت تقسیم کرد: (۱) اولیه یا گذرا که رفتار خطی داشته و با زمان رابطه خطی دارد و (۲) اسپری کاملاً گسترش یافته که طول نفوذ اسپری با جذر زمان رابطه مستقیم دارد. Hiroyasu قسمت اول را به این صورت توضیح می دهد که در این قسمت اسپری به صورت کامل اتمیزه نشده و ستون مایع هنوز نشکسته است و اسپری شکل مخروطی به خود نگرفته است. در نتیجه اسپری با سرعت ثابت نفوذ می کند. Nbar نیز به این صورت توضیح می دهد که در قسمت اول نفوذ اسپری بوسیله سوخت تزریق شده مشخص می شود، در حالی که در فاز بعدی با هوای ورودی مشخص می شود. وی شار مومنتم و سرعت مؤثر را برای بیان فاز اسپری کاملاً گسترش یافته و فاز اسپری اولیه بکار برده است. البته هر دو در نهایت به این نتیجه رسیده اند که در هر دو ناحیه گذار و کاملاً توسعه یافته با افزایش فشار، طول نفوذ اسپری افزایش می یابد (۱۷).

Nishimura در سال ۲۰۰۰ مدلی را برای اتمیزاسیون اولیه سوخت دیزل بر اساس انرژی آزاد شده ناشی از فروپاشی حبابهای کایتاسیون ارائه داد. مدل مورد نظر در کد دینامیک سیالات KIVA-3V نوشته شده و با نتایج تجربی به تأیید رسیده است. این مدل برای انرژی فروپاشی حباب کایتاسیون، انرژی جنبشی توربولانت و نیروی آیرودینامیکی در هسته مایع محاسبه شده است. زمان شکست اولیه با تعادل بین تنش سطحی هسته مایع، نیروی آیرودینامیکی و انرژی توربولانت ایجاد شده توسط نیروی شکست محاسبه شده است. آنها ثابت کردند که انرژی شکست فروپاشی حبابهای کایتاسیون توانایی پیش بینی زاویه مخروط اسپری را دارد. تولید قطرات کوچک بعنوان نتیجه ای از شکست اولیه در داخل هسته مایع تا هنگامی که همه حبابهای کایتاسیون از هم پاشیده شوند، ادامه می یابد. پیش بینی مدل آنها برای طول نفوذ اسپری و زاویه اسپری و SMD (میانگین اندازه قطرات) مطابقت خوبی با داده های تجربی برای اسپری های غیر قابل تبخیر در فشارهای تزریق متفاوت داشت (۱۸).

Paupri و همکارانش در سال ۲۰۰۳ اندازه گیری مومنتم اسپری را برای مطالعه کایتاسیون در نازل انژکتور دیزل انجام دادند. آنها برای این منظور ۲ پارامتر اساسی اسپری یعنی شار جرمی و شار مومنتم را در فشارهای مختلف اندازه گیری کردند و برای تحلیل داده ها تنها مقادیر اصلی را وقتی که سوزن کاملاً باز است، در نظر گرفتند. آنها به این نتیجه رسیدند که در شرایط بدون کایتاسیون شار جرمی با ریشه $\frac{1}{2}$ ، ΔP متناسب است و هنگامیکه کایتاسیون ظاهر می شود شار جرمی دچار فروپاشی شده و دیگر تابعی از ΔP نیست و در این نقطه شار جرمی افزایش نمی یابد (۳).

Payri و همکارانش در ادامه مطالعات متعدد خود در سال ۲۰۰۳ تأثیر کایتاسیون را بر جریان داخلی و مشخصات اسپری در نازل‌های تزریق دیزل مورد بررسی قرار دادند. آنها در این مطالعه ۲ نوع اریفیس استوانه‌ای و همگرا را انتخاب نمودند که با توجه به نتایج تحقیقات آنها اولی مستعد ایجاد کایتاسیون بوده و دومی هیچ گونه کایتاسیونی را تجربه نمی‌کند. از دیدگاه رفتار ماکروسکوپی اسپری، نتیجه اصلی مطالعه تجربی آنها این بود که کایتاسیون منجر به افزایش زاویه اسپری می‌شود. از طرف دیگر از دیدگاه جریان داخلی، سرعت خروجی روزنه با ظهور کایتاسیون افزایش می‌یابد. آنها این پدیده را نتیجه کاهش سطح مقطع در فاز مایع در ناحیه خروجی روزنه گزارش داده‌اند. در این مطالعه عدد کایتاسیونی که توسط Nurick تعریف شده است، استفاده شده و همچنین لوازم آزمون کایتاسیون نیز بر پایه نظریه جریان یک بعدی وی می‌باشد. گفتنی است که Nurick لوازم تست کایتاسیون را برای تعیین مشخصات نازل از لحاظ هیدرولیکی و برای تعیین ضریب تخلیه در شرایط کایتا یا بدون کایتا استفاده نمود و Payri و همکارانش علاوه بر این برای مشاهده اسپری از لوازم تست نیتروژن استفاده نمودند. آنها از دوربین CCD و از تکنیک سیلیکون، الگوی هر دو نازل را یافته و در نهایت برای تعیین ابعاد اریفیس از نرم افزار CAD استفاده نمودند (۱۰).

Payri و همکارانش با استفاده از سنجش شار مومنتم اسپری، سعی در درک تأثیر هندسه نازل دیزل در مشخصات اسپری داشتند. آنها مجدداً با استفاده از دو نوع اریفیس استوانه‌ای و همگرا و با استفاده از ۲ پارامتر اساسی اسپری یعنی شار جرمی و شار مومنتم ۵ مقدار فشار تزریق و ۵ مقدار فشار تخلیه را اندازه‌گیری کردند تا تغییر رژیم کایتاسیون در داخل اریفیس را مشاهده نمایند. آنها برای حل معادله ناویراستوکس گسسته سازی شده از نرم افزار FLUENT استفاده کردند و برای حل روش تصحیح فشار از الگوریتم SIMPLE استفاده نمودند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که برای تمام فشارهای تزریق به جز $P_i=30\text{Mpa}$ جریان جرمی دچار خفگی می‌شود. البته در $P_i=30\text{Mpa}$ جریان بدون کایتا به شرایط کایتا تغییر رژیم می‌دهد و از طرف دیگر برای نازل همگرا، جریان جرمی با ریشه $\frac{1}{2}$ فشار همواره رابطه مستقیم داشته و هیچ گونه خفگی را تجربه نمی‌کند. این نتیجه با نتیجه تحقیقات قبلی آنها کاملاً همخوانی داشت (۵).

Akira Sou و همکارانش در سال ۲۰۰۷ تأثیر کایتاسیون در نازل را بر روی اتمیزاسیون جت مایع مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق تأثیر عدد کایتاسیون و عدد رینولدز در کایتاسیون داخلی و جت مایع با نرخهای جریان متفاوت مطالعه شده است. آنها به این نتیجه رسیدند که فروپاشی کایتاسیون مکانیزم غالب در شکل‌گیری پیوستگی ذرات حاصل از اتمیزاسیون جت مایع می‌باشد. با این حال این پیوستگی همیشه بعد از فروپاشی اتفاق نمی‌افتد و گاهی

اوقات وقتی که کاویتاسیون وجود ندارد نیز امکان ایجاد آن وجود دارد. ولی توربولانس قوی شکل گرفته بوسیله فروپاشی حبابهای کاویتاسیون نزدیک خروجی نازل نقش بسیار مهمی در شکل گیری این پیوستگی دارد (۱۹).

تأثیر هندسه نازل دیزل در نفوذ مایع اسپری در شرایط تبخیر موضوع تحقیق بعدی Pavg و همکارانش می باشد. آنها در این مطالعه تجربی ۳ نازل نوع Sac دارای ۶ روزنه با زوایای مختلف مخروطی را به صورت هندسی و هیدرولیکی مشخص کردند و در نهایت یک مدل مناسب برای نفوذ جت مایع سوخت بر اساس پارامترهای جریان شرایط محیطی پیشنهاد و تأیید نمودند که این باعث شد ارتباط بین هندسه نازل و طول مایع مشخص بشود (۲۰). البته تحقیقاتی نیز در مورد اثر مخرب پدیده کاویتاسیون بر نازل انژکتور انجام شده است که از آن جمله می توان به مطالعه Asi اشاره نمود. نتایج مطالعه وی نشان می دهد که سطح داخلی نازل به علت آسیب ناشی از کاویتاسیون دچار شکست خستگی می شود. وقتی حبابهای کاویتاسیون با ناحیه پر فشار روبرو می شوند، دچار فروپاشی شده و باعث یک شوک انفجاری در سطح می شوند که این شوک باعث ایجاد حفره در سطح داخلی نازل شده و با شکل گیری حفره ها سطح زیر می شود، به این پروسه فرسایش کاویتاسیون گفته می شود. این پدیده نه تنها منجر به تمرکز تنش بالا می شود، بلکه باعث ایجاد خستگی در طول زمان می شود. به این علت نازل انژکتورهای دیزل در زمان کوتاهی نسبت به حد دوام معمول خود دچار شکستگی می شوند (۲۱).

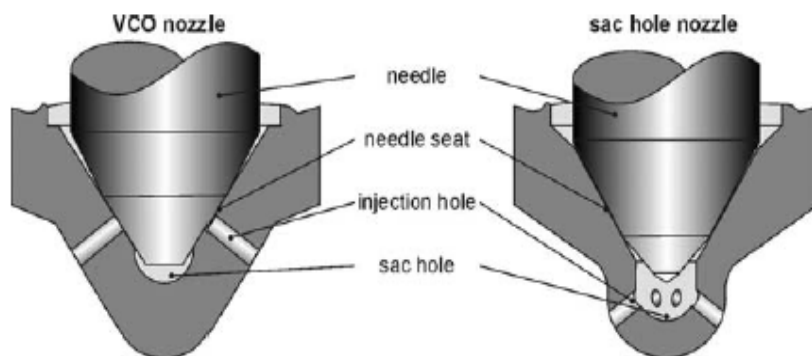
Su Han Park و همکارانش در سال ۲۰۰۸ تأثیر جریان کاویته را بر مشخصات اتمیزاسیون جریان داخل اریفیس و سوخت بیودیزل و دیزل مورد بررسی قرار دادند. آنها برای این منظور ۲ نازل با مقادیر مختلف نسبت طول به قطر انتخاب نموده و نحوه شکل گیری کاویتاسیون در داخل اریفیس و مشخصات جریان داخلی را با استفاده از اعداد بی بعد رینولدز، عدد وبر و عدد کاویتاسیون و ضریب تخلیه مورد بررسی قرار دادند. آنها همچنین با اندازه گیری قطرات، تأثیر شکل گیری کاویتاسیون بر اتمیزاسیون سوخت را مورد مطالعه قرار دادند. مهمترین نتیجه حاصله برای این تحقیق این بود که اندازه میانگین قطرات در بیودیزل بزرگتر از سوخت دیزل است. اندازه قطرات وقتی که کاویتاسیون در داخل اریفیس شکل می گیرد، کوچکتر می شود. همچنین برای نسبت طول به قطر بزرگتر سایز قطرات بزرگتر است (۲۲).

Som و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در تحقیقی مقایسه جریان انژکتور و مشخصات اسپری بیودیزل با پترودیزل را بررسی کردند. آنها باز هم با استفاده از روش توسعه یافته KH-ACT که تأثیر کاویتاسیون و توربولانس را علاوه بر تجزیه آیرودینامیکی بررسی می کند، جریان داخل اریفیس را شبیه سازی نمودند. آنها به این نتیجه رسیدند که طول نفوذ اسپری برای بیودیزل کمی بیشتر است، در حالیکه زاویه کمتر می باشد و این باعث کاهش مشخصات اتمیزاسیون می شود. طول مایع برای بیودیزل بخاطر دمای بالای جوش آن بیشتر است (۱۳).

Payri و همکارانش در سال ۲۰۱۰ تأثیر رژیم جریان در رفتار جریان داخلی و چگونگی تأثیر آن در گسترش اسپری را در نازل‌های دیزل مطالعه کردند. با توجه به این نتایج، جریان داخلی براساس آهنگ جریان جرمی و شار مومنتم در سه نازل مخروطی مختلف انجام شده تا رژیم جریان بدست آید. در طول اندازه گیری شار جرمی پارامترهای دیگری از جمله سرعت، مساحت موثر خروجی اریفیس و ... مشخص شده که این باعث می‌شود تا رژیم جریان در هر نقطه مشخص شود. آنها برای تحلیل زاویه اسپری از ۳ پارامتر قطر اریفیس، چگالی گاز و فشار تزریق بطور جداگانه استفاده نمودند و نشان دادند که قطر نازل تأثیر زیادی روی زاویه اسپری ندارد و افزایش در چگالی هوا افزایش بسزایی در زاویه اسپری دارد و همچنین برای فشارهای تزریق بالا، زاویه اسپری بشدت افزایش می‌یابد (۱۲).

۳-۱) انواع نازل تزریق سوخت:

مهمترین بخش سیستم تزریق نازل آن می‌باشد که سوخت از طریق روزنه نازل به داخل محفظه احتراق پاشیده می‌شود. اندازه و تعداد روزنه‌های نازل بستگی به مقدار سوخت پاشیده شده، هندسه محفظه احتراق و حرکت چرخشی هوای سیلندر دارد. در موتورهای دیزلی پاشش مستقیم دو نوع اصلی نازل موسوم به Sac و نازل VCO که در شکل (۵-۱) مشاهده می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. درمقایسه با نازل VCO نازل Sac دارای یک حجم اضافی در زیر سوزن می‌باشد. به دلیل افزایش فاصله بین سوزن و روزنه تزریق حرکت گریز از مرکز یا شعاعی سوزن، جریان سوخت در روزنه را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. بنابراین یک اسپری بسیار متقارن حاصل می‌گردد. هر چند وجود حجم زیاد مایع بین سوزن و محفظه احتراق می‌تواند باعث بروز مشکلاتی گردد. بنابراین باید سعی شود که این حجم تا حد ممکن کاهش پیدا کند زیرا این مقدار مایع موجود می‌تواند وارد سیلندر شود و باعث افزایش دوده گردد.

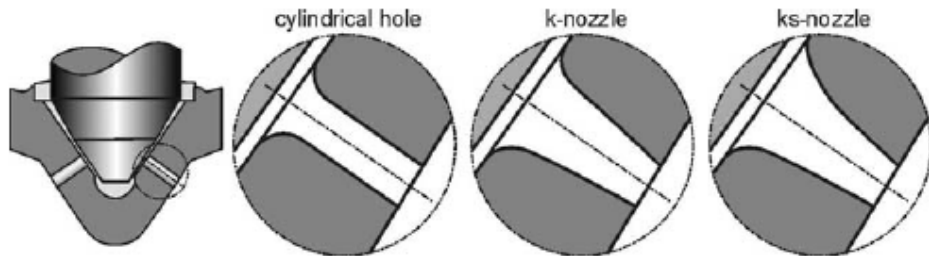


شکل (۵-۱): نازل Sac Hole و نازل VCO (۲۹)

به دلیل شیب تند روزنه نازل VCO نسبت به نازل Sac، شدت کاویتاسیون در جریان داخل روزنه نازل VCO بیشتر است ولی در این پایاننامه به منظور تحلیل دقیق‌تر جریان داخل نازل و خصوصیات افشانه، از نازل VCO به

دلیل متقارن بودن شکل افشانه استفاده می‌شود چون مدل شبیه سازی شده برای تحلیل نیز یک مدل متقارن است و بایستی افشانه نیز متقارن باشد تا خصوصیات آن در هر دو مدل متقارن یکسان باشد.

ورودی روزنه نازل معمولاً به صورت دایره‌ای می‌باشد و امروزه بنا به کاربردهای مختلف از هندسه‌های متفاوتی برای روزنه نازل استفاده می‌گردد. شکل (۶-۱) نشان‌دهنده سه نوع سطح مقطع متفاوت ورودی نازل می‌باشد که در این پایاننامه از نوع cylindrical hole (دایره‌ای) استفاده شده است:



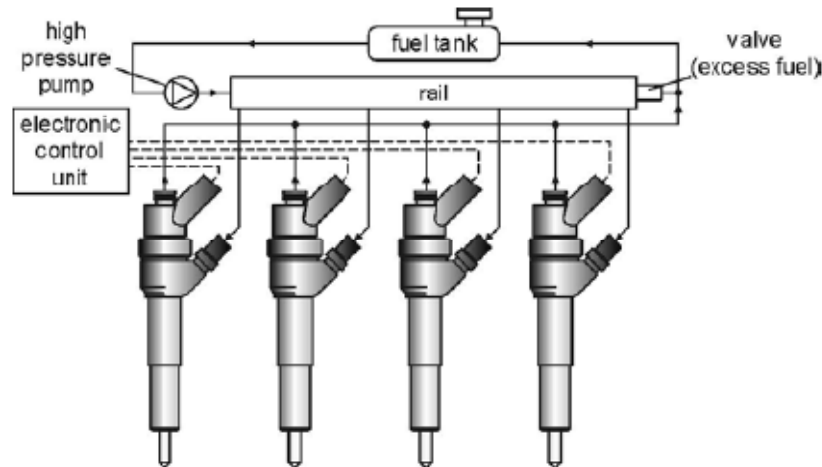
شکل (۶-۱): سطح مقطع سه نوع نازل متفاوت (۲۹)

۴-۱) سیستم‌های تزریق موتورهای دیزل پاشش مستقیم:

وظیفه سیستم تزریق دست یافتن به درجه بالایی از اتمیزاسیون است که توانایی سرعت تبخیر کافی در زمان بسیار کوتاه را داشته باشد و همچنین می‌بایستی که اسپری به اندازه کافی به داخل محفظه احتراق نفوذ کند تا بتواند از تمامی هوای وارد شده به داخل محفظه احتراق استفاده کند. سیستم تزریق سوخت بایستی قادر به سنجیدن مقدار سوخت لازم و مناسب در دورها و بارهای مختلف موتور باشد. همچنین سوخت را در زمانی مناسب و صحیح و با نرخ قابل قبول تزریق کند. بعلاوه اینکه با در نظر گرفتن خصوصیات محفظه احتراق بایستی شکل و ساختار اسپری مناسب با محفظه احتراق تولید شود. معمولاً یک پمپ اولیه، سوخت را از مخزن سوخت کشیده و آن را از فیلتر گذرانده و به سمت پمپ تزریق فشار بالا هدایت می‌کند. بسته به نوع کاربرد و اندازه موتور، فشاری بین ۱۰۰ Mpa تا ۲۰۰ Mpa تولید می‌شود. پمپ تزریق فشار بالا سوخت را از لوله‌های پر فشار گذرانده و به نازل‌های تزریق قرار گرفته در سیلندر می‌رساند. سوخت اضافی به مخزن سوخت برگردانده می‌شود. امروزه دو گروه اصلی سیستم تزریق فشار بالا وجود دارد. گروه اول، سیستم‌های تزریق انباره ریلی مشترک^۱ نامیده می‌شوند. (شکل (۷-۱)) در این روش تولید فشار و فرایند تزریق با هم جفت نبوده و فشار تزریق به سرعت موتور بستگی ندارد. درمقایسه با سیستم‌های تزریق که توسط یک محور بادامک به کار می‌افتند، این سیستم قابلیت انعطاف بیشتری در تزریق و تشکیل مخلوط دارد. سوخت تحت فشار زیاد داخل انباره ریلی که معمولاً شامل یک لوله بسته دیوار ضخیم است، ذخیره می‌شود و یک پمپ سوخت پرفشار به

^۱ -Common Rail System (CR)

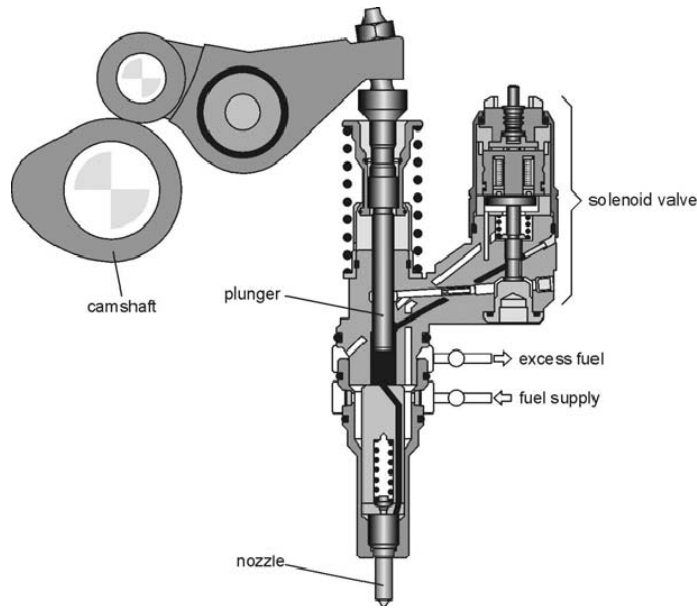
طور پیوسته انباره ریلی را تغذیه می‌کند. یک سنسور، فشار مطلوب انباره ریلی را از طریق یک شیر اضافه که دبی جرمی جریان را کنترل می‌کند، تنظیم می‌کند. از این رو فشار انباره ریلی به سرعت موتور وابسته نیست. لوله‌های کوتاه انباره ریلی را به انژکتورها متصل می‌کنند. حجم انباره ریلی به اندازه کافی بزرگ است که نوسانات فشار ناشی از تزریق را از بین ببرد. مدت و زمان تزریق بوسیله متغیرهای سلونوئید کنترل می‌شوند و به تولید فشار وابسته نیستند. از این رو، سیستم تزریق انباره ریلی مشترک قادر به نگهداری فشار تزریق در حد مطلوب و همچنین انجام عملیات پیش تزریق و تزریق اصلی و پس تزریق با مدت و زمان متغیر بر طبق نیازهای نقطه واقعی کارکرد می‌باشد.



شکل (۷-۱): سیستم تزریق انباره ریلی مشترک (۲۹)

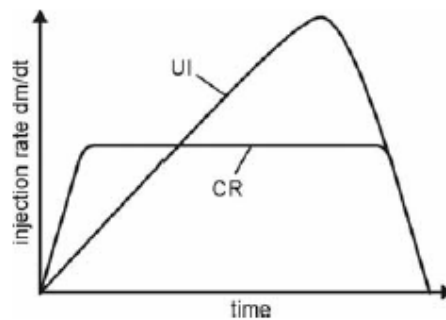
گروه دوم سیستم‌های پاشش واحد^۱ نامیده می‌شوند. (شکل (۸-۱)) در این روش پمپ انژکتور و نازل انژکتور یک واحد را تشکیل می‌دهند که برای هر سیلندر به صورت جداگانه نصب می‌شود. سوپاپ سلونوئیدی شروع و خاتمه پاشش را کنترل می‌کند. این دریچه، سیگنال مربوط به حرکت خود را از واحد کنترل الکترونیکی می‌گیرد. در سیستم UI، فشار پاشش تا ۲۰۰۰ bar قابل دسترسی است و موجب مصرف سوخت کمتر و کاهش میزان آلاینده‌گی می‌شود. شکل (۱-۹) دیاگرام سیستم UI را نشان می‌دهد.

¹ -Unit Injector System (UI)



شکل (۱-۸): سیستم پاشش واحد (۲۹)

در شکل (۱-۹) پروفیل نسبت تزریق به زمان برای دو نوع سیستم تزریق گفته شده در بالا مشاهده می‌گردد. به دلیل افزایش ناگهانی فشار در سیستم انژکتور واحد (UI) شکل پروفیل آن مثلی می‌باشد. در مقایسه با سیستم انباره ریلی مشترک (CR) که بیشینه فشار از ابتدای شروع تزریق فراهم می‌شود (در نتیجه مستطیلی بودن پروفیل نسبت تزریق، حداکثر اتمیزه شدن افشانه در طی تزریق رخ می‌دهد)، اتمیزه شدن افشانه در سیستم انژکتور واحد به طور قابل ملاحظه ای آهسته‌تر است و زمان تزریق را بالا می‌برد. به دلیل آن که حرکت پیستون شناور مستقیماً با موتور کوپل می‌باشد، بیشینه فشار تزریق با افزایش سرعت موتور افزایش می‌یابد. هر چند به دلیل تولید متناوب فشار در سیستم UI انعطاف پذیری آن در مقایسه با سیستم های CR کمتر است ولی با توجه به تولید فشار ماکزیمم بالا در انتهای تزریق دارای مزیت هایی می باشند (از جمله بهبود کیفیت مخلوط و کاهش آلاینده ها) که سیستم های رایج CR قادر به تولید چنین فشاری نمی باشند.



شکل (۱-۹): پروفیل تزریق سوخت برای سیستم‌های UI و CRI (۲۹)

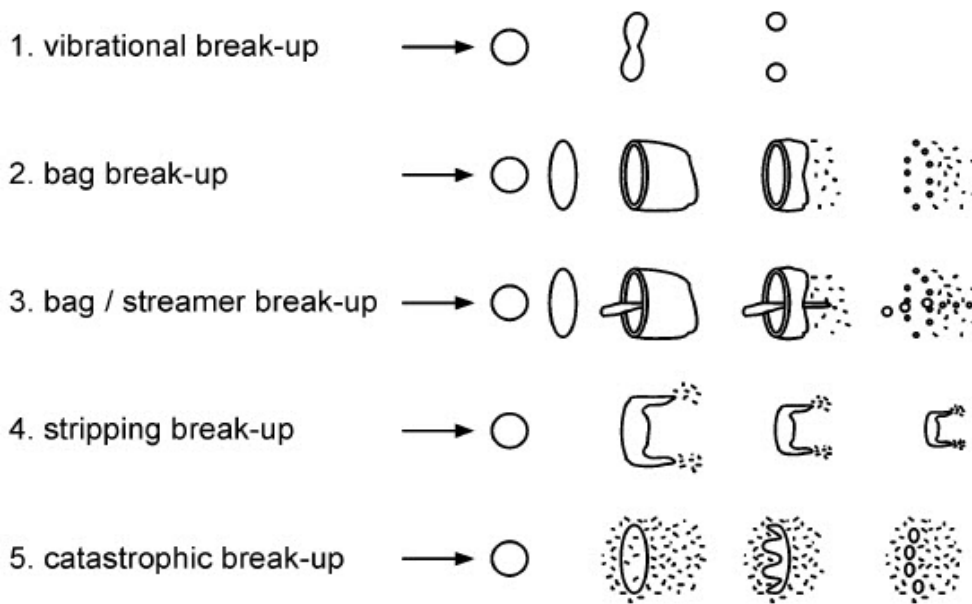
۵-۱) رژیم های فروپاشی قطرات مایع

فروپاشی قطره‌ها در یک افشانه به وسیله نیروهای آیرودینامیک (اصطکاک و فشار) که در اثر سرعت نسبی (u_{rel}) بین قطره و گاز محیط تقویت می‌شود انجام می‌گیرد. نیروهای آیرودینامیک باعث رشد ناپایدار امواج در سطح تماس بین قطره و گاز می‌گردد که سرانجام منجر به فروپاشی قطره و تبدیل آن به قطرات ریزتر می‌شود. از طرف دیگر نیروی کشش سطحی سعی در حفظ حالت کروی قطره و خنثی کردن اثر نیروهای آیرودینامیکی دارد. هر چقدر قطره کوچکتر باشد نیروی کشش سطحی بزرگتر می‌شود و بر عکس. برای نشان دادن این رفتار قطره، عددی به نام عدد وبر گاز به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$We_g = \frac{(\rho_g \cdot u_{rel}^2 \cdot d)}{\sigma} \quad (17-1)$$

که در آن d قطر قطره، σ کشش سطحی بین مایع و گاز، u_{rel} سرعت نسبی بین گاز و قطره و ρ_g چگالی گاز می‌باشد. عدد وبر نسبت نیروهای اینرسی به نیروهای کشش سطحی را نشان می‌دهد.

تحقیقات تجربی با توجه به عدد وبر مدل‌های متفاوتی را برای فروپاشی قطره پیش بینی می‌کند که در شکل (۱-۱۰) می‌توان این مکانیسم‌های فروپاشی قطره را مشاهده کرد.



شکل (۱-۱۰): رژیم های فروپاشی قطره مطابق Wierzb (۲۹)

در جدول زیر می توان عدد وبر متناظر هر یک از مکانیسم های بالا را مشاهده کرد.

جدول (۱-۱): اعداد وبر گذار برای رژیم های متفاوت فروپاشی قطره (۲۹)

رژیم فروپاشی	عدد وبر
Vibrational	≈ 12
Bag	< 20
Bag-streamer	< 50
Stripping	< 100
Catastrophic	> 100

در افشانه موتورها همه این مکانیسم ها اتفاق می افتد. بیشتر فرآیند فروپاشی به دلیل وبر زیاد در نزدیکی نازل رخ می دهد، زیرا هر چه از نازل دورتر شویم عدد وبر به دلیل کاهش قطر قطرات در نتیجه تبخیر و کاهش سرعت نسبی کم تر می گردد.

۱-۶) ساختار افشانه در موتورهای دیزل پاشش مستقیم:

طرحواره ای از یک اسپری تمام مخروطی فشار بالا در شکل (۱-۱۱) نشان داده شده است. این شکل قسمت پایینی یک نازل پاشش با سوزن Sac Hole و سوراخ پاشش را نشان می دهد. به محض خروج از نازل، جت مایع شروع به فروپاشی و تبدیل به یک افشانه مخروطی می نماید. این حالت در اصطلاح فروپاشی اولیه نامیده می شود که سبب ایجاد قطرات بزرگ در نزدیکی نازل می گردد. کاپیتاسیون و آشفتگی، که در نتیجه تزریق فشار بالا در روزنه نازل به وجود می آیند مهمترین مکانیسم های فروپاشی اولیه می باشند. بعد از این مرحله فرآیند شکست قطرات به واحدهای کوچکتر در اثر نیروهای آیرودینامیکی حاصل از سرعت نسبی بین مایع و گاز رخ می دهد که به آن فروپاشی ثانویه می گویند.

در اثر این شرایط یک افشانه مخروطی حاصل می گردد که هر چه در جهت پایین دست آن پیش برویم از تراکم آن کاسته می گردد. بیشترین جرم مایع در نزدیکی محور مخروط دیده می شود و هر چه از آن به طرف بیرون مخروط دور شویم از مقدار مایع کاسته می شود و به مقدار بخار افزوده می شود. در شکل (۱-۱۱) می توان این حالت را مشاهده کرد