

اثر زاویه تزریق در اختلاط جتی

علی صادق زاده نامور^{*}، جعفر صادق مقدس⁺

تبریز، دانشگاه صنعتی سهند، دانشکده مهندسی شیمی، مرکز تحقیقات پدیده‌های انتقال، صندوق پستی ۱۹۹۶ - ۵۱۳۳۵

چکیده: امروزه مخلوط‌کننده‌های جتی به علت داشتن برتری‌هایی در حال جایگزینی با سایر مخلوط‌کننده‌ها در بعضی از کاربردهای صنایع شیمیایی می‌باشند. از این رو بررسی پارامترهای تأثیرگذار در این مخلوط‌کننده‌ها دارای اهمیت می‌باشد. در این پژوهش، تأثیر قطر نازل در شدت‌های حجمی متفاوت جریان جت شونده و تأثیر زاویه تزریق جت، به‌طور آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. نتیجه‌های آزمایشگاهی نشان‌دهنده آن است که برای یک مخزن استوانه‌ای با ضریب شکل برابر یک ($h/D=1$) و تزریق جت از مرکز سقف مخزن، افزایش قطر نازل در یک جریان حجمی ثابت منجر به افزایش زمان اختلاط می‌شود، ولی روند بیشتر شدن با افزایش شدت حجمی جریان جت شونده، تضعیف می‌شود. همچنین نتیجه‌ها نشان می‌دهند که زمان اختلاط به زاویه تزریق جت بستگی دارد. تزریق با زاویه ۲۰ و ۳۰ درجه از مرکز سقف مخزن، دارای بلندترین طول‌های جت می‌باشند، که بر اساس پژوهش‌های انجام شده قبلی، مبنی بر کاهش زمان اختلاط با افزایش طول جت، کوتاه‌ترین زمان‌های اختلاط را نتیجه نمی‌دهند. این درحالی است که زاویه‌های تزریق ۱۰ و ۴۵ درجه دارای کمترین زمان اختلاط می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: اختلاط، مخلوط‌کننده‌های جتی، زمان اختلاط، زاویه تزریق.

KEY WORDS: Mixing, Jet mixers, Mixing time, Angle of injection.

مقدمه

به‌علت نبود قسمت‌های متحرک درون مخزن) در بعضی از موارد به سایر مخلوط‌کننده‌ها برتری داده می‌شوند [۲، ۳].
مخلوط‌کننده‌های جتی نسبت به سایر مخلوط‌کننده‌ها از بیشینه کوتاه‌تری برخوردارند و با پیدایش آنها مجموعه‌ای از تحولات در زمینه اختلاط مایع‌ها صورت گرفته است. این مخلوط‌کننده‌ها به‌طور عموم از یک ساختار ساده شامل یک مخزن حاوی یک یا چند نازل در قسمت‌های مختلف که جریان جت از طریق آنها به مخزن وارد می‌شود، یک پمپ که جریان جت را تولید می‌کند و یک مجموعه لوله‌کشی‌های ساده تشکیل شده‌اند. در نتیجه، این مخلوط‌کننده‌ها نسبت به مخزن‌های همزن‌دار ارزان‌تر بوده

اختلاط^(۱) یکی از فرایندهای مهم در صنایع شیمیایی می‌باشد. عمل اختلاط بیشتر برای تولید یک مخلوط همگن از دو یا چند بخش غیرمشابه انجام می‌شود، که فرآورده‌ی نهایی باید دارای حد دلخواهی از یکنواختی شیمیایی یا فیزیکی باشد [۱].
فرایند اختلاط سیالات بیشتر به‌وسیله همزن‌های مکانیکی^(۲)، مخلوط‌کننده‌های ایستایی^(۳) و مخلوط‌کننده‌های جتی^(۴) انجام می‌شود. آنچه که مسلم است هر یک از این مخلوط‌کننده‌ها بر حسب شرایط فرایندی و ویژگی‌های فیزیکی سیالات مخلوط شونده، مناسب و مؤثر خواهند بود. ولی مخلوط‌کننده‌های جتی به علت داشتن برتری‌هایی مانند هزینه‌های ساخت، نگهداری و عملیاتی پایین‌تر

⁺E-mail: jafar.moghaddas@sut.ac.ir

*عهده دار مکاتبات

• نشانی فعلی: اراک، شرکت پالایش نفت امام خمینی (ره) شازند، صندوق پستی ۴۱۱۱۱ - ۳۸۶۷۱

(۱) Mixing

(۳) Static mixers

(۲) Mechanical mixers

(۴) Jet mixers

و دید که محل میله حسگر^(۱) نقطه تزریق ردیاب تأثیر چندانی بر روی زمان‌های اختلاط نهایی ندارد [۲]. Grenvill & Tilton نشان دادند که زمان اختلاط توسط نرخ اتلاف انرژی در ناحیه‌های دور از جت که سرعت‌ها و شدت درهم بودن ضعیف می‌شوند، کنترل می‌شود [۱۰]. Simon & Fonade جت‌های پیوسته و تناوبی را به کار بردند و پی بردند که جت‌های تناوبی کارایی انرژی بیشتری نسبت به جت‌های پیوسته دارند [۲]. Lalane و همکاران دریافتند که زمان اختلاط با افزایش ویسکوزیته مایع، افزایش می‌یابد. آنها همچنین گزارش کردند که جت‌های تناوبی نسبت به جت‌های پیوسته در یک توان ورودی برابر، زمان اختلاط را ۱۵ درصد کاهش می‌دهند [۲]. Rahimi & Parvareh اختلاط در یک مخزن نیمه صنعتی را با تزریق جت مایل از گوشه کف مخزن، مورد مطالعه قرار دادند. نتیجه‌های آزمایشگاهی ایشان برای سه زاویه ۰، ۲۲/۵ و ۴۵ درجه نشان‌دهنده آن است که زاویه ۴۵ درجه دارای کمترین زمان اختلاط می‌باشد [۴]. این دو همچنین با مطالعه CFD اختلاط در یک مخزن صنعتی مجهز به یک همزن و یک جت نشان دادند زوج همزن - جت کارایی بهتری نسبت به ترکیب چند همزن (حتی ۵ همزن) دارد. این بدان علت است که در حالت اول یک جریان گردشی اضافی به علت انتقال سیال از قسمت مکش به نازل جت، به اختلاط بهتر کمک می‌کند. نتیجه‌های آنها با نتیجه‌های آزمایشگاهی توافق به نسبت خوبی داشتند [۱۱].

پدیده‌های انتقال حاکم بر سیستم‌های اختلاط، پدیده‌های انتقال جرم و مومنت هستند، که به واسطه سه مکانیسم نفوذ مولکولی، نفوذ گردابه^(۳) و جابه‌جایی توده‌ای انجام می‌شود. در سیستم‌هایی که تلاطم شدیدی وجود دارد، از نفوذ مولکولی در مقایسه با دو مکانیسم دیگر صرف‌نظر می‌شود. برای اختلاط مؤثرتر و سریع‌تر، توان مصرفی برای اختلاط باید چنان اعمال شود که همزمان هر دو مکانیسم تقویت شود. بنابراین برای یک کاربرد خاص باید مکانیسم کنترل‌کننده (کنترل) شناسایی و تقویت شود [۲]. البته در این پژوهش به طور مستقیم به این مورد پرداخته نشده است، بلکه در یک توان مصرفی برابر، پارامترهای تأثیرگذار بر روی زمان اختلاط مورد بررسی قرار گرفتند. به نحوی که اختلاط مؤثرتر و سریع‌تر، با تقویت هر دو مکانیسم به دست آید. برای این منظور باید روش لازم

و نصب و راه‌اندازی آنها راحت‌تر می‌باشد [۴]. این نوع سامانه‌های اختلاط، ممکن است دارای یک منبع تغذیه جداگانه‌ای بوده باشند، ولی به طور معمول پمپ کردن از درون مخزن اختلاط انجام می‌شود و جریان جت شونده دارای یک مسیر گردشی است [۲].

در مخلوط‌کننده‌های جتی حرکت سریع جریان جت تزریق شده به درون مخزن که منجر به "همراه برده شدن" توده مایع توسط جریان جت و ایجاد تنش‌های برشی پرتوانی در مرز میان جت و مایع اطراف می‌شود، باعث اختلاط می‌شود [۵]. در واقع تفاوت سرعت جریان جت به سرعت توده مایع، یک لایه درهم را تولید می‌کند. این لایه که خطوط پرسرعت جریان را در بردارد در جهت جریان جت رشد کرده و با برخورد به دیواره مخزن و شکل‌گیری میدان‌های جریان برگشتی، باعث حرکت و اختلاط توده مایع می‌شود. این بدان معناست که طول‌های بلندتر جت، اختلاط بهتر را نتیجه می‌دهند. طول جت به طور معمول به مسیر آزاد جت گفته می‌شود و با بیشینه فاصله‌ای که جت طی می‌کند تا به دیوار مقابل برخورد کند، تعیین می‌شود. پس برای یک جت در ته مخزن تزریق در طول قطر مخزن بلندترین طول جت را نتیجه می‌دهد. یعنی برای یک ضریب شکلی برابر یک زاویه تزریق ۴۵ درجه بلندترین طول جت را دارد [۳].

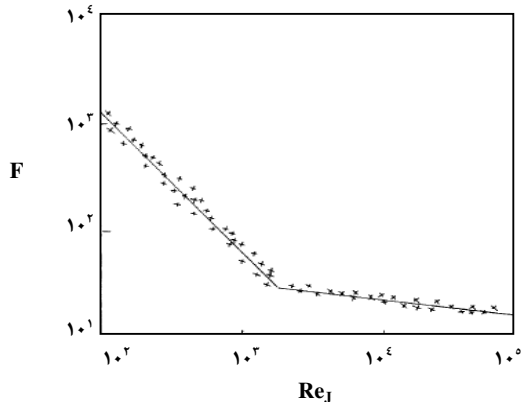
یکی از قدیمی‌ترین مطالعه‌ها بر روی این مخلوط‌کننده‌ها توسط Fosset انجام شد. او مشاهده کرد که اختلاط توسط جت‌های ساده در زمان کوتاه‌تری نسبت به سایر تجهیزات معمول اختلاط، انجام می‌شود [۶]. Fox & Gex بررسی بر روی هر دو الگوی آرام و درهم، جریان جت را توسعه دادند و همچنین مطالعه‌های مقایسه‌ای بین این مخلوط‌کننده‌ها و مخزن‌های همزن‌دار را انجام دادند [۲]. Lane & Rice یک جت عمودی در یک مخزن با پایه نیم کروی را بررسی کردند و دریافتند که زمان اختلاط در الگوی آرام جریان جت به شدت به رینولدز جت ورودی (Re_j) وابسته است و در الگوی درهم فقط یک وابستگی ضعیفی وجود دارد [۷]. این دو همچنین مطالعه‌های خود را در راستای طراحی‌های متفاوت مخلوط‌کننده‌های جتی گسترش دادند و به این نتیجه رسیدند که نیم کروی بودن ته مخزن باعث کاهش زمان اختلاط می‌شود [۸]. Maruyama, Ban & Mizushima پی بردند که زمان اختلاط به عمق مایع، ارتفاع نازل، زاویه نازل و رینولدز جت ورودی (Re_j) وابسته است [۹]. Yanneskis اثر زمان تزریق ردیاب^(۱) را بررسی کرد

(۱) Tracer

(۲) Probe

(۳) Eddy

(۴) Jet Sensor

شکل ۱- نمودار تغییرهای F بر حسب Re_j [۶].

$$F = 65381 Re_j^{-1/2.891} \quad \text{الگوی آرام} \quad (3)$$

$$F = 887878 Re_j^{-1/5.07} \quad \text{الگوی درهم}$$

با تعریف پارامتر A به عنوان دامنه بی بعد نوسان‌های غلظت ردیاب در مخزن به صورت زیر، زمان اختلاط را به عنوان زمانی که مقدار این پارامتر به کمتر از ۰/۰۱ می‌رسد، بیان کردند [۹]:

$$A = 2 \exp\{-2\pi^2 \sigma_c^2 k (t/t_R)(L_j/d_n)\} \quad (4)$$

که σ_c واریانس بی بعد زمان گردش، t_R زمان ماند متوسط، L_j طول جت، d_n قطر نازل و k یک عدد ثابت است. ایشان با استفاده از تعریف‌های بالا، رابطه‌های سایر پژوهش‌گران را اصلاح کرده و به صورت زیر ارائه نمودند [۹]:

$$\begin{cases} \text{Fossett \& Prosser: } (t_M/t_R)(d_n/H) = 9 \\ \text{Van de Vusse: } (t_M/t_R)(d_n \sin \theta/H) = 8.7 \\ \text{Okita \& Oyama: } (t_M/t_R)(d_n/(HD))^{1/5} = 5.5 \\ \text{Fox \& Gex: } (t_M/t_R)(d_n/(HD))^{1/5} = 2.6 \end{cases} \quad (5)$$

که در اینجا t_M ، زمان اختلاط، H ، ارتفاع ستون مایع، D ، قطر مخزن و θ زاویه جت می‌باشند.

روش‌های هدایت‌سنجی برای اندازه‌گیری زمان اختلاط (t_{95}) درون یک مخلوط‌کننده جتی با جت مایل از گوشه کف مخزن استوانه‌ای توسط *Fossett & Prosser* به کار برده شد. رابطه ایشان فقط شامل قطر مخزن (D)، قطر جت (d_n) و سرعت جت (v_j) می‌باشد که هیچ وابستگی به رینولدز جت ندارد [۶]:

را برای سنجش سرعت انتقال مومنتم و جرم و یا به عبارتی سنجش کیفیت و سرعت اختلاط به کار برد.

روش‌های مختلفی از جمله روش‌های نوری و اندازه‌گیری‌های هدایت‌سنجی و دماسنجی توسط پژوهش‌گران برای امتحان‌کارایی مخلوط‌کننده‌های جتی و رسیدن به یک درک اساسی از این سیستم‌ها به کار برده شده است. روشی که در این کار برای سنجش کارایی اختلاط به کار برده شده است، سنجش هدایت الکتریکی سیال درون مخزن با استفاده از یک دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی می‌باشد. به این روش که با تزریق یک ردیاب با هدایت الکتریکی بسیار بالا به درون مخزن و با ثبت تغییرات هدایت الکتریکی سیال درون مخزن نسبت به زمان به کمک یک حسگر^(۱)، زمان اختلاط اندازه‌گیری می‌شود. بر طبق پیشنهاد بسیاری از کارهای انجام شده، زمان اختلاط به صورت زمان لازم برای رسیدن غلظت ردیاب به ۹۵٪ غلظت نهایی در مخزن، تعریف می‌شود [۲].

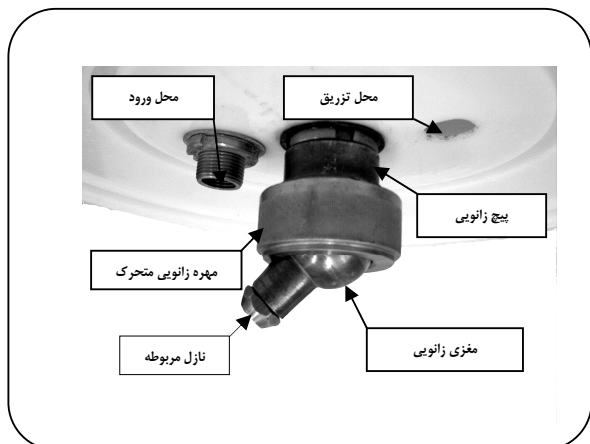
پژوهش‌گران رابطه‌های بسیار زیادی برای محاسبه زمان اختلاط برای مخلوط‌کننده‌های جتی پیشنهاد داده‌اند. یک دسته از این رابطه‌ها، رابطه‌هایی هستند که زمان اختلاط را به طور مستقیم به رینولدز جت ورودی (Re_j) مرتبط می‌کنند، و دسته دیگر رابطه‌هایی هستند که هیچ وابستگی به رینولدز جت ندارند. رینولدز جت ورودی (Re_j) از معادله (۱) محاسبه می‌شود [۳]:

$$Re_j = \rho v_j d_n / \mu \quad (1)$$

که در این معادله ρ دانسیته سیال جت شونده، v_j سرعت جت، d_n قطر نازل و μ ، ویسکوزیته سیال جت شونده می‌باشند. یک حالت کلی زمان اختلاط برای تزریق عمودی جت از مرکز کف تخت مخزن استوانه‌ای با پارامترهای ارتفاع ستون مایع (h)، قطر مخزن (D)، و ویژگی‌های سیال، توسط *Lane & Rice* ارائه شد [۸]:

$$t_{95} = F (h^{1/5} D^{1/9.75}) / (v_j d_n)^{1/6.5} g^{1/7.5} \quad (2)$$

که g همان شتاب جاذبه می‌باشد و ضریب تصحیح F تابعی از عدد رینولدز جت ورودی (Re_j) می‌باشد که دو روند متفاوت در ناحیه‌های آرام و درهم دارد. به طوری که وابستگی F به Re_j در ناحیه آرام مشهودتر است، درحالی‌که در ناحیه درهم F تابع ضعیفی از Re_j می‌باشد. نمودار تغییرات F بر حسب Re_j در شکل ۱ آمده است [۸]. تابعیت F نسبت به Re_j را با استفاده از نمودار شکل ۱ در دو الگوی آرام و درهم جریان جت به صورت معادله‌های (۳) می‌توان به دست آورد:

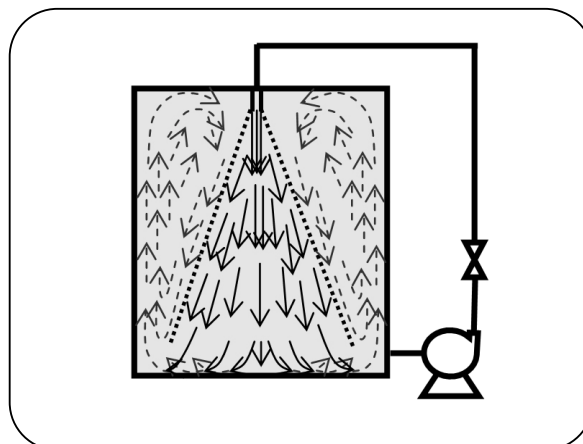


شکل ۳- نمای کلی زانویی متحرک طراحی شده در این کار و قسمت‌های مختلف آن.

مهم‌ترین بخش سامانه، یک زانویی متحرک با قابلیت سوار کردن نازل‌هایی با قطرهای مختلف و ایجاد زاویه‌های متفاوت برای جهت‌های گوناگون تزریق جریان جت می‌باشد. قسمت‌های مختلف این قطعه در شکل ۳ آورده شده است. این قطعه از چهار قسمت تشکیل شده است، که عبارتند از پیچ، مهره، مغزی با پایه کروی شکل و نازل. مغزی در درون این پیچ و مهره، جهت ایجاد زاویه‌های مورد نظر، قابلیت چرخش دارد و با محکم کردن پیچ، در زاویه مورد نظر ثابت می‌ماند. همچنین مغزی دارای سر لوله‌ای شکل است که نازل‌هایی با قطرهای گوناگون بر روی آن پیچ می‌شوند. قطر نازل‌های به کار برده شده در این پژوهش ۵mm و ۱۰mm و ۱۵mm می‌باشند.

همانطور که گفته شد روش به کار برده شده برای سنجش اختلاط، روش هدایت‌سنجی الکتریکی است. در این پژوهش از دستگاه HI9812 شرکت HANNA استفاده شده است. این دستگاه دارای یک حسگر حساس به هدایت الکتریکی است که باید میلیه ویژه‌ی آن درون مخزن قرار داده شود. پس از انجام تعدادی آزمایش‌های اولیه مناسب‌ترین محل برای قرار دادن حسگر، کنار نازل جت ساز در ارتفاعی بالاتر از خروجی نازل، تعیین شد. این مکان دیرتر از قسمت‌های دیگر مخزن تحت تأثیر میدان‌های جریان ایجاد شده توسط جریان جت قرار می‌گیرد. در این پژوهش، ردیاب به کار برده شده برای بررسی تغییرهای هدایت الکتریکی^(۱) سیال درون مخزن با زمان، محلول آب نمک

(۱) Electrical conductivity



شکل ۲- نمای کلی سیستم مخلوط‌کننده جتی و میدان‌های جریان شکل گرفته در مخزن: (←) خطوط جریان ناشی از توسعه جریان جت و (---) میدان‌های جریان شکل گرفته توسط دیواره‌ها.

$$t_{95} = 9.7 \cdot D^2 / v_j d_n \quad (6)$$

بر طبق پیشنهاد تعدادی از پژوهش‌گران یک طول جت (L_j) طولانی‌تر موجب اختلاط موثرتری شده و زمان اختلاط را برآورد زمان اختلاط برای مخلوط‌کننده‌های جتی توسط Grenville & Tilton پیشنهاد شده است. در این معادله سرعت در انتهای مسیر آزاد جت، میزان اختلاط در سراسر مخزن را کنترل می‌کند [۱۰]:

$$t_{99} = 3.7 \cdot (L_j / d_n)^2 / (d_n / v_j) \quad (7)$$

نتیجه‌های کار حاضر با این معادله توافق به نسبت خوبی را نشان می‌دهد.

بخش تجربی

دستگاه آزمایشگاهی به کار برده شده در این کار از یک مخزن با ضریب شکل برابر یک ($H/D = 1$) و ابعاد $H = D = 0.53 \text{ cm}$ تشکیل شده است. یک پمپ سانتریفیوژ از ته مخزن، سیال درون مخزن را مکش کرده و برای ایجاد جریان جت به سمت نازل پمپ می‌کند و جریان سیال جت شونده دارای یک مسیر گردشی است. یک شیر رابط بعد از پمپ برای تنظیم شدت حجمی جریان (سرعت جریان جت) گمارده شده است. شمای کلی سامانه در شکل ۲ نشان داده شده است.

که طول جت افزایش یافته، دیرتر به دیواره کف مخزن برخورد می‌کند و میدان‌های جریان برگشتی (حاصل از برخورد جت به دیواره) که دارای ذرات ردیاب می‌باشند، دیرتر تشکیل شده و هدایت الکتریکی مربوط به آنها دیرتر توسط حسگر حس می‌شود. اما شیب و پیک‌های منحنی زاویه ۳۰ درجه نسبت به زاویه ۲۰ درجه به شدت تقویت شده‌اند که در اثر تغییر منطقه برخورد جت از دیواره کف مخزن به دیواره جانبی مخزن و شکل‌گیری سریع میدان‌های جریان می‌باشد. با افزایش زاویه از ۳۰ تا ۶۰ درجه، این روند شدیدتر می‌شود که ناشی از کاهش طول جت، برخورد زودتر جریان جت به دیواره جانبی مخزن و شکل‌گیری سریع‌تر میدان‌های جریان می‌باشد.

بر اساس نمودارهای شکل‌های ۸ و ۹، زمان اختلاط برای زاویه‌های مختلف تزریق جت، در جدول ۲ آمده است.

شکل ۱۰ نمودار تغییرهای زمان اختلاط برحسب زاویه تزریق جت را نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود ابتدا با افزایش زاویه از صفر درجه به ۱۰ درجه، به علت افزایش طول جت که موجب می‌شود تا جریان جت فرصت بیشتری برای توسعه داشته باشد و دیرتر به دیواره مخزن برخورد کند، زمان اختلاط تا حدودی کاهش یافته است. در زاویه ۲۰ درجه با وجود اینکه طول جت نسبت به زاویه ۱۰ درجه افزایش یافته ولی زمان اختلاط نه تنها کاهش نیافته بلکه افزایش نیز یافته است که به نظر می‌رسد به دلیل برخورد جت در انتهای مسیر به نزدیکی گوشه‌های مخزن (محل اتصال دیواره جانبی و کف مخزن استوانه‌ای) و پیدایش میادین جریان نامنظم و ناخواسته که باعث به هدر رفتن انرژی جت می‌شوند، باشد. این اشکال برای زاویه ۳۰ درجه نیز مطرح است، ولی به علت تمایل جت به دیواره جانبی در این زاویه و برخورد مایل جت به دیواره مقابل به جای برخورد قائم و شکل‌گیری میدان‌های جریان منظم‌تر نسبت به زاویه ۲۰ درجه، زمان اختلاط کاهش یافته است. در زاویه ۴۵ درجه، این اشکال به طور کامل برطرف شده و با وجود اینکه طول جت کاهش یافته ولی به دلیل برخورد مایل جت به دیواره مقابل، محدودیت کاهش طول جت تأثیر چندانی نداشته و زمان اختلاط به‌طور چشمگیری کاهش یافته است. در زاویه ۶۰ درجه زمان اختلاط به شدت افزایش یافته است که می‌تواند به علت برخورد زود هنگام و به تقریب قائم جت با دیواره جانبی مخزن و هدر رفتن انرژی جت، باشد.

غلیظ با هدایت الکتریکی $Ec_i = 200000 (\mu\text{s}/\text{cm})$ می‌باشد. که در هر آزمایش حجم ۶۰ cc از آن توسط سرنگ به صورت آنی در قالب یک ورودی به صورت تابع ضربه‌ای (پالسی) از بالای مخزن به درون آن که حاوی ۱۱۵ لیتر آب شهری با هدایت الکتریکی $Ec_v = 400 (\mu\text{s}/\text{cm})$ می‌باشد، تزریق می‌شود.

در این پژوهش قطر جت، سرعت جت و ساختار میدان‌های جریان^(۱) متأثر از زاویه تزریق جت (A_j) به عنوان پارامترهای تأثیرگذار بر روی زمان اختلاط، به طور آزمایشگاهی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند.

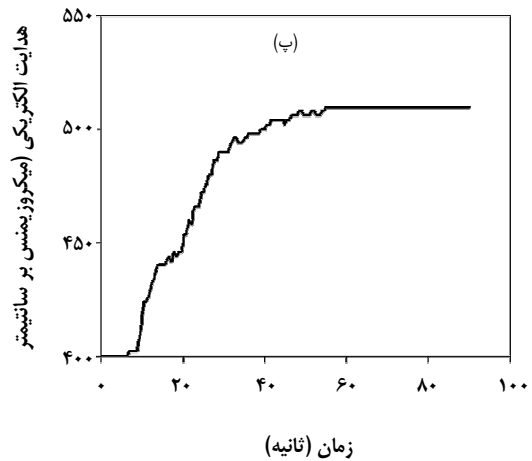
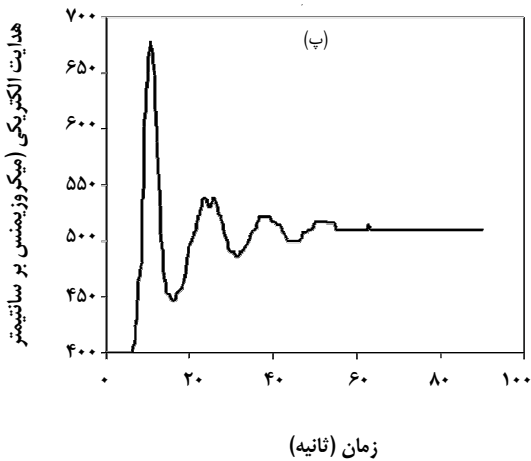
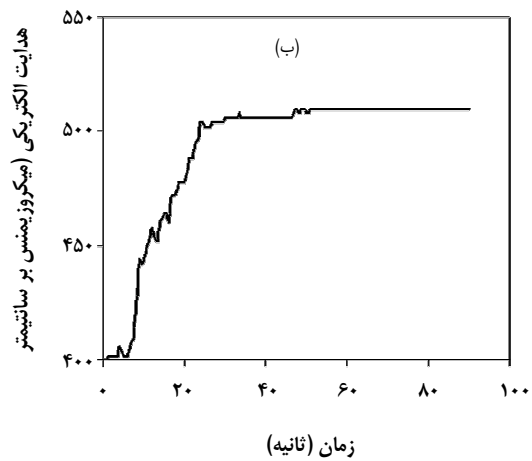
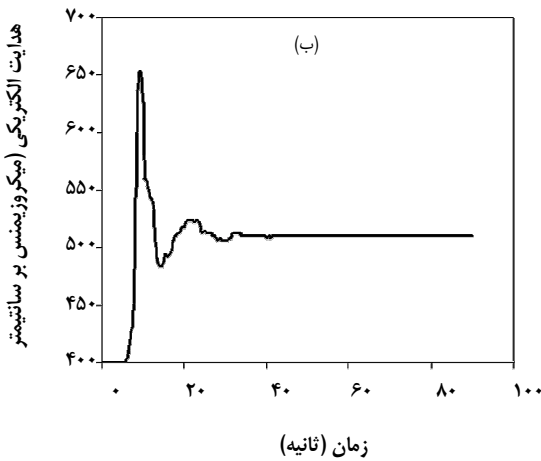
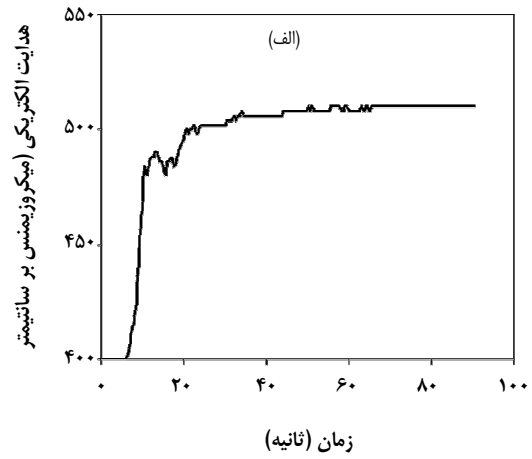
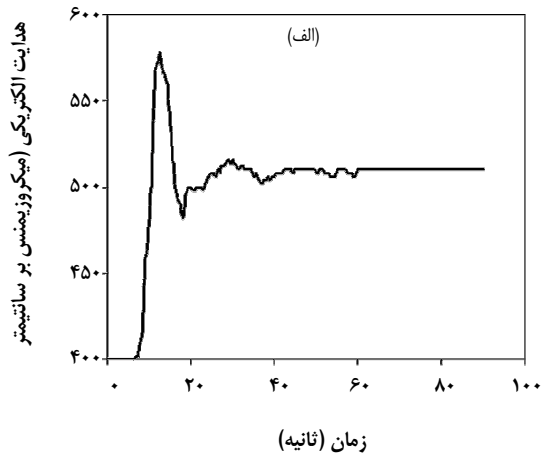
برای انجام هر آزمایش، ابتدا مخزن از آب شهری پر شده و پمپ روشن می‌شود تا سیال به صورت جریان جت به درون مخزن تزریق شود. بعد از راه اندازی سیستم اجازه داده می‌شود تا سامانه به حالت پایا برسد و میدان‌های جریان شکل بگیرند. سپس ردیاب توسط سرنگ به صورت آنی (تابع ضربه‌ای) به درون مخزن تزریق شده و تغییرات هدایت الکتریکی سیال درون مخزن نسبت به زمان ثبت می‌شود. این کار در حالت زاویه تزریق صفر درجه نسبت به محور مخزن و برای نازل‌های متفاوت با قطرهای گفته شده در شدت حجمی‌های مختلف جریان جت انجام شد. همچنین این کار برای زاویه‌های تزریق ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه نسبت به محور مخزن در قطر نازل ۵ میلی‌متر و شدت حجمی برابر 0.136 L/s تکرار شد. پس از پایان هر آزمایش سیال داخل مخزن تخلیه و از آب تازه شهری برای انجام آزمایش بعدی پر می‌شد. شایان گفتن است که در تمام آزمایش‌های این پژوهش تزریق جت از مرکز سقف مخزن انجام شده است. همچنین زانویی متحرک در جهت عکس خروجی جریان از مخزن برای ایجاد زاویه‌های لازم چرخش داده شده است.

نتیجه‌ها و بحث

اثر زاویه تزریق جت بر روی زمان اختلاط

شکل‌های ۸ و ۹ نمودار تغییرهای هدایت الکتریکی سیال درون مخزن بر حسب زمان، در یک جریان حجمی ثابت ($Q_j = 0.136 \text{ L/s}$) و قطر نازل مشخص ($d_n = 5 \text{ mm}$)، برای زاویه‌های مختلف تزریق نسبت به محور مخزن را نشان می‌دهند. همانطور که از نمودارها مشخص است، با افزایش زاویه از ۰ تا ۲۰ درجه، شیب نمودار و پیک‌های مربوط به آن (پاسخ به تابع ضربه‌ای تزریق ردیاب) تضعیف می‌شوند. این می‌تواند بدان علت باشد

(۱) Flow pattern



شکل ۹- نمودار تغییرهای هدایت الکتریکی بر حسب زمان برای زاویه‌های گوناگون جت: (الف) 30° ، (ب) 45° ، (پ) 60° .

شکل ۸- نمودار تغییرهای هدایت الکتریکی بر حسب زمان برای زاویه‌های گوناگون جت: (الف) 0° ، (ب) 10° ، (پ) 20° .

بنابراین بر طبق نتایج آزمایشگاهی می‌توان گفت که زاویه تزریق باید به گونه‌ای باشد، که برای جلوگیری از هدررفت انرژی جت، برخورد مایل جت را به جای برخورد قائم به دیواره مقابل در انتهای مسیر جت منجر شود، از برخورد جت در انتهای مسیر به گوشه‌های مخزن جلوگیری به عمل آید و برای داشتن جت با طول بلندتر، به برخورد زود هنگام جریان جت به دیواره‌های مخزن را منجر نشود.

نتیجه‌گیری

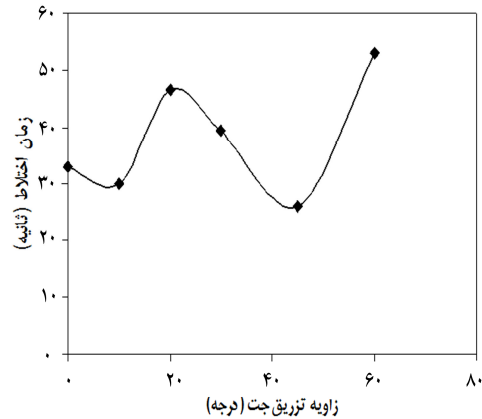
امروزه مخلوط‌کنندهای جتی به دلیل داشتن برتری‌هایی، در بعضی از موارد جایگزین سایر مخلوط‌کنندها در صنایع شیمیایی شده‌اند.

یکی از پارامترهای بسیار تأثیر گذار بر روی زمان اختلاط در مخلوط‌کنندهای جتی، زاویه تزریق جت می‌باشد که زمان اختلاط به شدت به آن وابسته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که به غیر از پارامترهایی که در رابطه‌های بسیاری از پژوهش‌گران منظور شده است، پارامترهای دیگری مانند چگونگی برخورد جت در انتهای مسیر و چگونگی تشکیل میدان‌های جریان که توسط زاویه تزریق جت رقم می‌خورند، نیز می‌توانند بر روی زمان اختلاط مؤثر باشند. بر اساس همین اصل، نتیجه‌های آزمایشگاهی نشان دادند که زاویه‌های تزریق ۱۰ و ۴۵ درجه به عنوان زاویه‌های بهینه می‌باشند. درحالی که زاویه‌های ۲۰ و ۳۰ درجه که طولانی‌ترین طول‌های جت را تشکیل می‌دهند، کمترین زمان‌های اختلاط را نتیجه نمی‌دهند.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۴/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۲۵

جدول ۲- زمان اختلاط برای زاویه‌های مختلف تزریق جت.

زاویه تزریق جت (درجه)	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۵	۶۰
زمان اختلاط (ثانیه)	۳۳	۳۰	۴۶/۵	۳۹	۲۶	۵۳



شکل ۱۰- نمودار تغییرهای زمان اختلاط بر حسب زاویه تزریق جت.

بنابراین می‌توان گفت که در اینجا زاویه‌های تزریق ۱۰ و ۴۵ درجه دارای کمترین زمان‌های اختلاط می‌باشند. این در حالی است که زاویه‌های ۲۰ و ۳۰ درجه که طولانی‌ترین طول‌های جت را تشکیل می‌دهند، نه تنها کمترین زمان‌های اختلاط را نتیجه نمی‌دهند، بلکه دارای یکی از بزرگترین زمان‌های اختلاط می‌باشند. این مسأله با نتیجه‌های تعدادی از پژوهش‌گران [۱۰] مبنی بر کاهش زمان اختلاط با افزایش طول جت مغایر می‌باشد.

مراجع

- [۱] شریعتی نیاسر، مجتبی؛ "مکانیک سیالات برای مهندسان شیمی"، انتشارات دانشگاه تهران، تابستان ۱۳۸۰، فصل ۵، صفحه‌های ۱۹۱ و ۱۹۲.
- [2] Patwardhan A.W., Pandit A.B., Joshi J.B., The Role of Convection And Turbulent Dispersion in Blending, *Chemical Engineering Science*, **58**, p. 2951 (2003).
- [3] Zughbi H.D., Rakib M.A., Mixing In a Fluid Jet Agitated Tank Effect of angle And Elevation And Number of Jets, *Chemical Engineering Science*, **59**, p. 829 (2004).
- [4] Rahimi M., Parvareh A., Experimental and CFD Investigation on Mixing by a Jet in a Semi-Industrial Stirred Tank, *Chemical Engineering Journal*, **115**, p. 85 (2005).

- [۵] حمیدی، علی اصغر؛ رشتچیان، داود؛ منتظر رحمتی، محمد مهدی؛ "عملیات واحد در مهندسی شیمی"، جلد اول، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول ۱۳۸۰، فصل ۹، صفحه ۳۱۶-۳۱۸.
- [6] Fossett H., Prosser L.E., The Application of Free Jets to Mixing of Fluid in Bulk, *Journal of Institute of Mechanical Engineering*, **160**, p. 224 (1949).
- [7] Lane A.G.C., Rice P., "An Experimental Investigation of Liquid jet Mixing Employing a Vertical Submerged Jet", *Industrial Chemistry Engineering Symposium Series No. 64*, k1-k14, 1981.
- [8] Lane A.G.C., Rice P., Comparative Assessment of the Performance of the Three Designs for Liquid Jet Mixing, *ind. Eng. Chem. Process des. Dev.*, **21** (4), (1982).
- [9] Maruyama T., Ban Y., Mizushina T., Jet Mixing of Fluids in Tanks, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, **15**(5), (1982).
- [10] Grenville R.K. , Tilton J.N., A New Theory Improves the Correlation of Blend Time Data From Turbulent Jet Mixed, *Transaction of the Institution of Chemical Engineers*, **74A**, p. 390 (1996).
- [11] Rahimi M., Parvareh A., CFD Study on Mixing by Coupled Jet-Impeller Mixers in a Large Crude Oil Storage Tank, *Computers and Chemical Engineering*, (2006).