

## شبیه سازی توزیع زمان ماند مواد در دستگاه میکسر-ستلر آزمایشگاهی

مصطفی حسین زاده<sup>۱\*</sup> ، مهدی علیزاده<sup>۲</sup>

۱. کارشناس ارشد فرآوری مواد معدنی، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، ایران (mostafac12@yahoo.com)

۲. استادیار مهندسی مواد، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، ایران

### چکیده

در این تحقیق شبیه سازی توزیع زمان ماند مواد در دستگاه میکسر-ستلر آزمایشگاهی جهت رسیدن به زمان استخراج و دبی بهینه عملیاتی در مقیاس پیوسته انجام شد. به عنوان فاز آبی و آلی به ترتیب از آب و کرومیزین و جهت ردیابی فاز آبی از معرف نمک طعام استفاده گردید. ثبت تغییرات ردیاب به کار رفته به صورت پیوسته، توسط دستگاه هدایت سنج الکتریکی انجام گرفت. آنالیز نتایج با استفاده از نرم افزار RTDWEN با دو مدل ولر و n مخلوط کننده کامل و همچنین نرم افزار Matlab انجام شد. مشخص شد که در مدت زمان اختلاط ۵ دقیقه، متوسط زمان ماند برای مدل های ولر و n مخلوط کننده کامل به ترتیب ۶/۴۴ و ۶/۶۲ دقیقه بدست آمد. با افزایش تعداد ظروف واکنش کاملاً مخلوط نیز مشخص شد متوسط زمان ماند بدست آمده به زمان استخراج حالت ناپیوسته نزدیکتر و الگوی حرکت سیال مشابه با جریان پیستونی گردید.

### مشخصات مقاله

#### تاریخچه مقاله

دریافت: ۶ بهمن ۹۱

دریافت پس از اصلاح: ۵ شهریور ۹۲

پذیرش نهایی: ۷ شهریور ۹۲

#### کلمات کلیدی:

توزیع زمان ماند

شبیه سازی

میکسر-ستلر

RTDWEN

Matlab

## ۱- مقدمه

دادند. در این تحقیق یک کوره سرد نگهدار چرخشی با به کار بردن آب و حلال آلی شامل کروزین و LIX 973N مورد مطالعه قرار گرفت. مشاهده چشمی و تابع توزیع زمان ماند بدست آمده نشان داد که جریان خوراک سبک تر (آب) مشابه با یک جریان لایه‌ای بوده است. در مقیاس تجاری، شرایط جریان پیستونی مطلوب در نظر گرفته شد در حالی که اختلاط یا میان بر زدن نامطلوب بوده است. جریان در مدل سرمایایی با یک جریان پیستونی و سه واحد CSTR که همگی به صورت سری قرار داشته‌اند، برازش داده شد.

در این تحقیق جهت بررسی توزیع زمان ماند مواد در دستگاه میکسر-ستلر آزمایشگاهی مورد بررسی، از دو مدل ریاضی ولر<sup>۴</sup> و n مخلوط کننده کامل<sup>۵</sup> [۱۰،۱۱] استفاده شد.

## ۱-۱- مدل ولر

این مدل توسط شخصی به همین نام در سال ۱۹۷۹ معرفی شد. در این مدل یک ظرف پیستونی با زمان پر شدن  $\tau_{PF}$ ، دو ظرف کاملاً مخلوط کوچک با زمان پر شدن  $\tau_S$  و یک ظرف کاملاً مخلوط بزرگ با زمان پر شدن  $\tau_L$  به صورت سری قرار گرفته‌اند [۱۰،۱۱].

در مدل ولر متوسط زمان ماند برابر است با:

$$MRT = \tau_{PF} + \tau_L + 2\tau_S \quad (1)$$

و واریانس توزیع نیز به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\sigma^2 = \tau_L^2 + 2\tau_S^2 \quad (2)$$

معادله توزیع زمان ماند در این مدل به صورت زیر می‌باشد:

$$RID(t) = \left[ \frac{t - \tau_{PF}}{\tau_S} \exp\left(-\frac{t - \tau_{PF}}{\tau_S}\right) - A \exp\left(-\frac{t - \tau_{PF}}{\tau_S}\right) + A \exp\left(-\frac{t - \tau_{PF}}{\tau_L}\right) \right] \left( \frac{A}{\tau_L} \right)$$

$$A = \frac{\tau_L}{\tau_L - \tau_S} \quad (3)$$

## ۱-۲- مدل n مخلوط کننده کامل

مدل n مخلوط کننده کامل از یک ظرف پیستونی با زمان پر شدن  $\tau_{PF}$  و n ظرف مخلوط کامل با زمان پر شدن  $\tau$  تشکیل شده است [۱۰،۱۱].

در این مدل نیز متوسط زمان ماند و واریانس توزیع به ترتیب با استفاده از روابط (۴) و (۵) به صورت زیر بدست می‌آید:

بررسی زمان ماند یکی از مسائل بسیار مهم در طرح‌های صنعتی و مهندسی همچون شیمی، فرآوری مواد معدنی، متالورژی و... می‌باشد [۱]. در واقع منظور از زمان ماند متوسط<sup>۱</sup>، مدت زمان میانگین اقامت ذرات سیال در داخل ظرف واکنش می‌باشد [۲-۴]. داشتن اطلاعاتی از الگوی جریان سیال و تعیین توزیع زمان ماند<sup>۲</sup> ذرات در داخل ظرف واکنش، از عوامل اساسی در طراحی و کنترل ظروف واکنش می‌باشد [۱]. در فرآیندهای مختلف عملیات هیدرومتالورژی همانند فرآیندهای استخراج حلالی در دستگاه‌های جداکننده مایع-مایع همچون میکسر-ستلرها، بررسی توزیع زمان ماند مواد نیز در آنها در طراحی تجهیزات استخراج حلالی و عملکرد بهینه آنها تاثیر بسزایی دارد.

هانسون و ژریف [۵] نتایجی برای میکسر-ستلرهای تک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای منتشر کردند و نتیجه گرفتند که جریان در یک میکسر-ستلر آزمایشگاهی ما بین جریان پیستونی و مخلوط کامل است.

توزیع زمان ماند در یک سلول الکترووینینگ مس در اندازه کامل توسط راولینگ و کاستلو مورد مطالعه قرار گرفت [۶]. آنها نتیجه گرفتند که سلول الکترووینینگ می‌تواند با ۹۶ ظرف میکسر عملیاتی به صورت موازی مدلسازی شود. بارتن و اسکات [۷] نیز توزیع زمان ماند یک سلول الکترووینینگ روی در مقیاس پایلوت را با دو ظرف مخلوط کامل به صورت موازی مدلسازی کردند.

امینیان و همکارانش [۸] توابع توزیع زمان ماند را برای یک پایلوت میکسر-ستلر و یک سلول الکترووینینگ، مشخص و مدلسازی کردند. تابع توزیع زمان ماند میکسر توسط یک ظرف واکنش کوچک با جریان پیستونی، یک ظرف کاملاً مخلوط کوچک و یک ظرف کاملاً مخلوط بزرگ مدلسازی شد. تابع توزیع زمان ماند ستلر نیز توسط واحدهای کلتو-کلاتیر<sup>۳</sup> که به صورت موازی با یک سری واحدهای ظروف کاملاً مخلوط کوچک قرار گرفته‌اند، مدلسازی شد. در نهایت تابع توزیع زمان ماند سلول الکترووینینگ رفتاری بسیار نزدیک به یک ظرف کاملاً مخلوط داشت.

باروز و همکارانش [۹] نیز مطالعه زمان ماند دو فاز مخلوط در یک ظرف استوانه‌ای افقی را مورد بررسی قرار

۱- Mean Residence Time (MRT)

۲- Residence Time Distribution (RTD)

۳- Choletto-Cloutier

۴- Weller

۵- N-Mixer.

مخلوط با استفاده از یک سرریز ساده وارد بخش ستلر گردیده و با حرکت در طول ستلر و عبور از بافل<sup>۱</sup> های قرار داده شده تحت جداسازی قرار می گیرند. برای اندازه گیری شدت تغییرات نمک خروجی از میکسر از یک دستگاه هدایت سنج الکتریکی مدل ۷۱۲ ساخت شرکت مترآهم<sup>۲</sup> سوئیس استفاده شد.

برای انجام آزمایشها ابتدا با تنظیم دبی های ورودی دو فاز آبی و آلی در نسبت فازی ۱:۱ توسط پمپ های پرستالتیک، دستگاه میکسر-ستلر را روشن کرده و بعد از مدتی که دستگاه به حالت پایا رسید، دو سی سی از محلول نمک اشباع را در یک لحظه به ورودی فاز آبی اضافه کرده و اندازه گیری هدایت الکتریکی فاز آبی خروجی از میکسر توسط الکتروود دستگاه هدایت سنج که در بخش خروجی میکسر قرار داده شده بود به صورت پیوسته انجام شد. مقدار نمک اضافه شده به نحوی انتخاب گردید که تغییرات حاصل در هدایت الکتریکی ۵ تا ۶ برابر هدایت الکتریکی فاز آبی (آب) باشد. برای اطمینان از اندازه گیری تمام معرف موجود در بخش میکسر، هدایت الکتریکی فاز آبی خروجی ۲ تا ۳ برابر زمان اختلاط در نظر گرفته شده برای هر آزمایش، اندازه گیری شد. تمامی آزمایشها بدون در نظر گرفتن جریان برگشتی و به صورت مدار باز انجام شد. در شکل ۲ تصویری شماتیک از روش ردیابی به کار گرفته شده برای اندازه گیری توزیع زمان ماند در میکسر، نشان داده شده است. از آنجایی که زمان استخراج آزمایشگاهی بدست آمده در حالت ناپیوسته طبق کار قبلی انجام شده [۱۲]، در زمانی پس از گذشت حدود ۳۰ ثانیه از شروع فرآیند اختلاط دو فاز، درصد استخراج بالای ۹۰٪ را بدست داده است، لذا این روند انجام آزمایشها برای زمان های اختلاط مختلف انجام شد تا اینکه در یک دبی مناسب که زمان ماند متوسط آن بهترین مطابقت را با زمان استخراج آزمایشگاهی بدست آمده داشته، به عنوان دبی و زمان بهینه استخراج در مقیاس پیوسته عملیاتی در نظر گرفته شد. در تمامی آزمایشها با در دست داشتن مقادیر هدایت الکتریکی در زمان های مختلف، با استفاده از نرم افزارهای RTDWIN، زمان ماند مواد در میکسر با دو مدل ولر و n مخلوط کننده کامل موجود در آن و همچنین نرم افزار Matlab شبیه سازی شد و نتایج به صورت پارامترهای آماری ارائه و تحلیل گردید.

$$MRT = \tau_{PF} + n\tau \quad (4)$$

$$\sigma^2 = n\tau^2 \quad (5)$$

معادله توزیع زمان ماند در این مدل برابر است با:

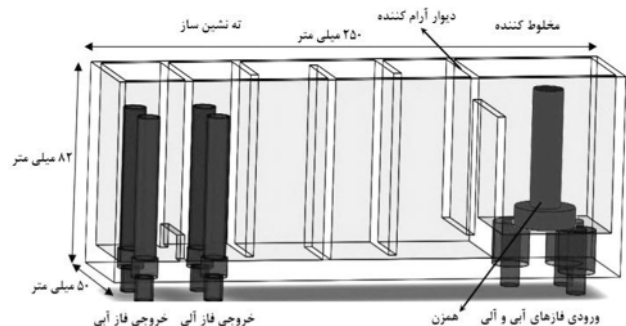
$$RTD(t) = \frac{n^n (t - \tau_{PF})^{n-1} \exp\left(\frac{-n(t - \tau_{PF})}{\tau_{\Sigma}}\right)}{(\tau_{\Sigma})^n (n-1)!}; \tau_{\Sigma} = n\tau \quad (6)$$

بر این اساس در این تحقیق شبیه سازی توزیع زمان ماند مواد در دستگاه میکسر-ستلر آزمایشگاهی در یک نسبت فازی آلی به آبی ۱:۱ مورد مطالعه قرار گرفت و مدت زمان ماند ماده معرف در ظرف واکنش در زمان های اختلاط مختلف بررسی شد. در نهایت زمان اختلاط و دبی که بهترین بازدهی عملیاتی و بیشترین مطابقت را با نتایج آزمایشگاهی بدست آمده از کار قبلی انجام شده داشت [۱۲] به عنوان زمان و دبی بهینه برای استخراج در حالت پیوسته در دستگاه میکسر-ستلر در نظر گرفته شد.

## ۲- مواد، تجهیزات و روش تحقیق

برای بدست آوردن توزیع زمان ماند مواد در دستگاه میکسر-ستلر آزمایشگاهی مورد بررسی از معرف نمک طعام به عنوان ردیاب فاز آبی استفاده شد. فازهای آبی و آلی مورد استفاده در آزمایشها به ترتیب آب و کرومیزین بوده است. میکسر-ستلر آزمایشگاهی مورد مطالعه در این تحقیق از نوع افقی و جعبه ای بوده که تصویری شماتیک از آن در شکل ۱ آورده شده است.

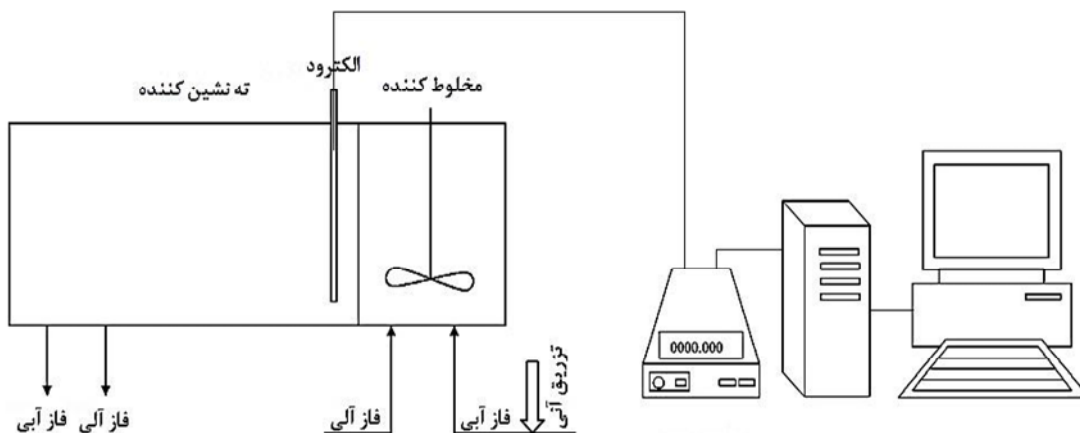
فازهای آبی و آلی توسط پمپ وارد بخش میکسر شده و در آنجا با همزن مکانیکی قرار داده شده مخلوط می شوند، فاز



شکل (۱) تصویری شماتیک از میکسر-ستلر آزمایشگاهی مورد استفاده در آزمایشها

۱-Baffle

۲-Metrohm



شکل (۲) تصویری شماتیک از روش ردیابی به کار گرفته شده برای اندازه‌گیری توزیع زمان ماند ماده معرف در میکسر

جدول (۱) نتایج آنالیز توزیع زمان ماند ماده معرف در زمان‌های اختلاط مختلف در دو مدل ولر و n مخلوط کننده کامل در نرم افزار RTDWIN

RTDWIN																			
مدل ولر							مدل n مخلوط کننده کامل												
پارامترها	زمان (دقیقه)	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	پارامترها	زمان (دقیقه)	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
زمان ماند در ظرف بیستونی	۰	۰	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	زمان ماند در ظرف بیستونی	۰	۰/۱۵	۰	۰	۰/۶۷	۰/۶۷	۰	۰	۱/۲۵
زمان ماند در ظرف مخلوط کامل بزرگ	۰/۵۹	۱/۱۱	۱/۱	۳/۲۴	۴/۵۳	۵/۹۹	۷/۱۸	۸/۵۲		تعداد ظروف	۳	۱/۲۵	۱/۱	۱/۰۳	۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۱۳	۱/۰۱	۱/۰۱
زمان ماند در ظرف مخلوط کامل کوچک	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲	۰/۲۳	۰/۳۳		زمان ماند در ظرف مخلوط کامل	۰/۵۶	۰/۹۹	۲/۱	۳/۳۱	۴/۵۲	۵/۹۶	۷/۰۹	۸/۶	۹/۸۵
متوسط زمان ماند	۰/۶۴	۱/۲	۲/۳۵	۳/۵۸	۴/۹۵	۶/۴۴	۷/۸۸	۹/۱۹		متوسط زمان ماند	۰/۵۶	۱/۱۵	۲/۱۱	۳/۳۱	۵/۲	۶/۶۲	۷/۰۹	۸/۶	۹/۸۵
پراکندگی <sup>۱</sup>	۰/۳۵	۱/۲۴	۴/۰۲	۱۰/۵	۲۰/۶	۳۵/۹	۵۱/۷	۷۲/۸		پراکندگی	۰/۹۳	۱/۲۳	۴/۷۸	۱۱/۳	۲۰/۷	۳۵/۹	۵۷	۷۵/۱	۷۵/۱
پراکندگی باقیمانده <sup>۲</sup>	۰/۸۴	۰/۸۶	۰/۷۲	۰/۸۲	۰/۸۴	۰/۸۷	۰/۸۳	۰/۸۶		پراکندگی باقیمانده	۰/۳۳	۰/۶۳	۰/۹۳	۰/۹۷	۰/۷۵	۰/۸	۰/۸۸	۰/۷۵	۰/۷۵
خطای رگرسیون نسبی <sup>۳</sup>	۰/۱	۰/۱	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱	۰/۰۹		خطای رگرسیون نسبی	۰/۳	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۰۴	۰/۰۴
مجموع مربعات خطا <sup>۴</sup>	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۰۷		مجموع مربعات خطا	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴

جدول (۲) نتایج آنالیز توزیع زمان ماند ماده معرف در زمان‌های اختلاط مختلف در نرم افزار Matlab

Matlab									
پارامترها	زمان (دقیقه)	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
متوسط زمان ماند	۰/۷	۱/۲۸	۲/۳	۳/۰۸	۳/۴	۴/۸۶	۶/۰۲	۶/۵۴	۶/۵۴
پراکندگی	۰/۲۶	۰/۸۵	۳/۱۳	۶/۱	۸/۲۴	۱۱/۵۶	۲۹/۴	۳۴/۷	۳۴/۷
مجموع مربعات خطا	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۵
مربعات باقیمانده <sup>۵</sup>	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸
مربعات باقیمانده تصحیح شده <sup>۶</sup>	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۸
ریشه میانگین مربع خطا <sup>۷</sup>	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۵

<sup>1</sup> Variance

<sup>2</sup> Residual Variance

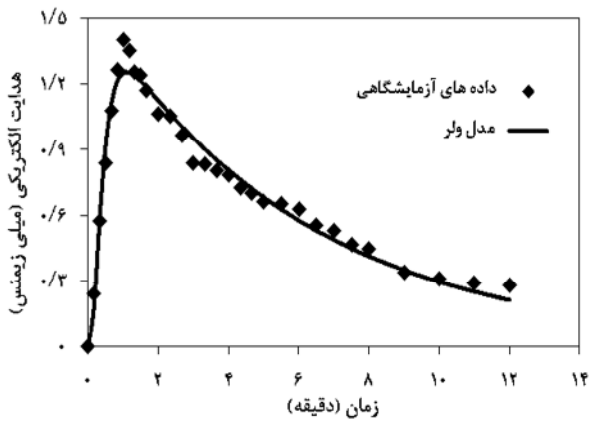
<sup>3</sup> Relative Regression Error

<sup>4</sup> Sum of Squares of Error

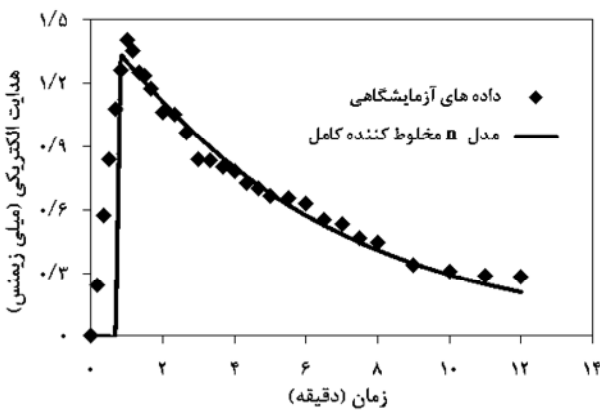
<sup>5</sup> Residual Squares

<sup>6</sup> Adjusted Residual Squares

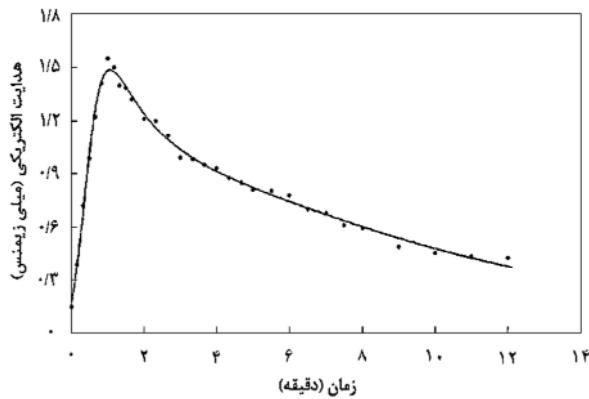
<sup>7</sup> Root Mean Square Error



شکل (۳) توزیع زمان ماند ماده معرف در میکسر-ستلر به روش ولر در  $t=5\text{min}$



شکل (۴) توزیع زمان ماند ماده معرف در میکسر-ستلر به روش n مخلوط کننده کامل در  $t=5\text{min}$



شکل (۵) توزیع زمان ماند ماده معرف در نرم افزار Matlab در  $t=5\text{min}$

بدین ترتیب با توجه به حجم عملیاتی میکسر که برابر با ۱۲۰ ml می باشد و با استفاده از رابطه دبی حجمی، دبی کل بهینه بدست آمده برای شرایط عملیاتی پیوسته به صورت زیر بدست آمد:

$$Q = \frac{V}{\tau} = 18/13 \text{ ml/min} \quad (8)$$

با تعیین زمان اختلاط بهینه و زمان ماند متوسط مربوط به آن، در ادامه با استفاده از روابط توزیع زمان ماند هر دو مدل، عملکرد میکسر در بازه های زمانی مختلف مورد بررسی واقع شد. همچنین تاثیر تعداد واحدهای میکسر-ستلر توسط مدل n مخلوط کننده (به دلیل داشتن ظروف کاملاً مخلوط متعدد و پیشگویی مناسب آن) جهت رسیدن به شرایط جریان پیستونی و دستیابی به شرایط لازم جهت کاهش تشکیل امولسیون تقریباً پایدار به روش مشابه مورد مطالعه قرار گرفت.

### ۳- ارائه نتایج و تحلیل

#### ۳-۱- توزیع زمان ماند در میکسر-ستلر

نتایج حاصل از آنالیز داده های هدایت الکتریکی نسبت به زمان در آزمایش های مختلف در هر دو مدل ولر و n مخلوط کننده کامل در نرم افزار RTDWEN و همچنین برازش حاصل از این نتایج در نرم افزار Matlab در جدول های ۱ و ۲ آورده شده است. بدین ترتیب مشخص شد که در زمان اختلاط ۵ دقیقه، متوسط زمان ماند بدست آمده در هر دو مدل می تواند زمان کافی را برای انجام عملیات استخراج و انتقال جرم از فاز آبی به آلی در میکسر فراهم سازد (شکل های ۳، ۴).

همچنین نرم افزار Matlab با برازش بسیار عالی تابع  $f(x)$  با معادله زیر:

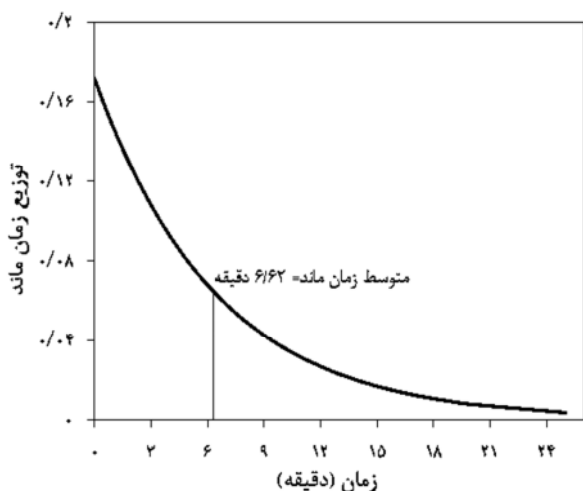
$$f(x) = \frac{(51/36x^2 + 67/44x + 13/09)}{(x^4 - 7/987x^3 + 110/2x^2 - 93/83x + 79/68)} \quad (7)$$

با درصد برازش ۹۹٪ بر روی نتایج حاصل زمان اختلاط ۵ دقیقه و با مجموع مربعات خطای ۰/۰۲ و انحراف معیار ۳/۴ شرایط مناسبی را برای اختلاط دو فاز آبی و آلی در میکسر در مدت زمان ۵ دقیقه نشان داد (شکل ۵).

مجموع مربعات خطای حاصل از هر دو مدل در نرم افزار RTDWEN نیز نشان داد که روند ورود و خروج ماده معرف به میکسر، توزیع زمان ماند مناسبی را برای فاز آبی نشان می دهد.

با توجه به اینکه در مدت زمان اختلاط ۵ دقیقه، متوسط زمان ماند برای هر دو مدل به یکدیگر نزدیک بوده و اختلاف چندانی با همدیگر ندارند و با در نظر گرفتن سایر پارامترهای آماری در دو مدل، مدل n مخلوط کننده کامل جهت نشان دادن الگوی حرکت جریان سیال در داخل دستگاه میکسر-ستلر انتخاب شد.

است، در نتیجه می توان انتظار داشت که واکنش شیمیایی مد نظر انجام شده و عملیات انتقال جرم صورت گرفته است.



شکل (۷) توزیع زمان ماند ماده معرف در مدل n مخلوط کننده کامل به ازای n=1 در t=5min

برای زمانی تا ۴ برابر زمان ماند متوسط، میزان مواد خروجی از میکسر در n=1 برابر خواهد شد با:

$$\int_{6.62\text{min}}^{27\text{min}} \text{RTD}(\text{NMixer}) = 0.3884 \quad (10)$$

تحت این شرایط ۳۸/۸۴٪ مواد از ظرف واکنش خارج شده‌اند که در مقایسه با ۶۹/۸۸٪ مواد خارج شده در بازه زمانی قبل از متوسط زمان ماند، به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است.

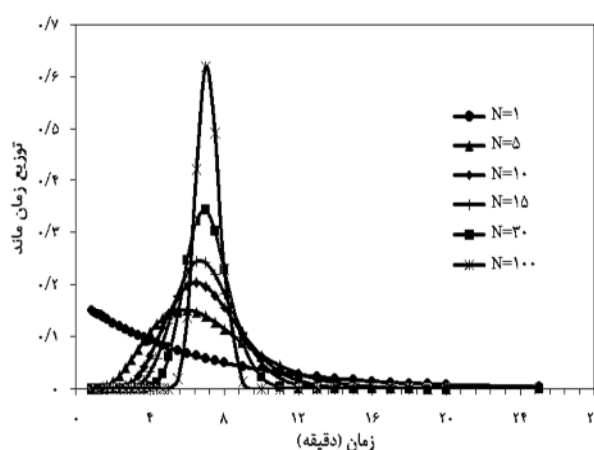
در کار قبلی انجام شده (نتایج منتشر نشده) در زمان اختلاط حدود ۲ دقیقه برای دو فاز، در هنگام جداسازی، محلول امولسیون تقریباً پایداری تشکیل گردید که نیازمند به چند ساعت زمان برای جداسازی و ته نشینی کامل بوده است. بنابراین در صورتی که میزان مواد خروجی از میکسر در این محدوده زمانی بیشتر باشد، طول و ضخامت باند پراکنده در داخل ستلر بیشتر خواهد شد و زمان و فضای بیشتری برای جداسازی کامل دو فاز مورد نیاز می‌گردد. در مدل n مخلوط کننده میزان این مواد خروجی برابر خواهد شد با:

$$\int_0^{2\text{min}} \text{RTD}(\text{NMixer}) = 0.2882 \quad (11)$$

در نتیجه ۲۸/۸۲٪ مواد خروجی از میکسر نیاز به زمان بیشتری برای ته نشینی و جداسازی کامل دارند. برای حالتی که n=4 در نظر گرفته شود این مقدار به ۰/۷۸٪ کاهش می‌یابد. بدین ترتیب هر چقدر میزان مواد خروجی در زمانی کمتر از ۲ دقیقه از شروع فرایند اختلاط کمتر باشد امولسیون پایدار

### ۳-۲- تاثیر تعداد واحدهای میکسر-ستلر

شکل ۶ تاثیر تعداد ظروف واکنش کاملاً مخلوط را در رفتار جریان ورودی و خروجی به میکسر-ستلر توسط مدل n مخلوط کننده کامل نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در زمان ماند ۶/۶۲ دقیقه و با افزایش تعداد ظروف کاملاً مخلوط، جریان به حالت پیستونی نزدیکتر شده و مدت زمان ماند ماده معرف در داخل ظرف واکنش به یکدیگر نزدیکتر گردید. در واقع می‌توان دریافت افزایش تعداد سلولهای میکسر-ستلر باعث بهبود عملکرد دستگاه و شرایط استخراج می‌شود. همچنین در طی این شرایط مسئله میان بر زدن مواد کاهش یافته و ظرفیت عملیاتی و بازدهی دستگاه افزایش می‌یابد.



شکل (۶) تاثیر تعداد ظروف کاملاً مخلوط در مدل n مخلوط کننده کامل در توزیع زمان ماند ماده معرف در میکسر-ستلر

### ۳-۳- عملکرد دستگاه میکسر-ستلر

#### ۳-۳-۱- مدل n مخلوط کننده کامل

شکل ۷ میزان مواد زودتر و یا دیرتر خارج شده از میکسر را در متوسط زمان ماند حاصل از مدل n مخلوط کننده کامل در n=1 نشان می‌دهد:

$$\int_0^{6.62\text{min}} \text{RTD}(\text{NMixer}) = 0.6988 \quad (9)$$

از رابطه فوق مشخص می‌باشد از زمان شروع عملیات تا زمانی معادل با متوسط زمان ماند، ۶۹/۸۸٪ مواد از ظرف واکنش خارج شده‌اند. در صورتی که n=4 لحاظ شود، این مقدار برابر با ۴۸/۲۰٪ خواهد شد. با توجه به کار قبلی انجام شده [۱۲]، از آنجایی که بعد از گذشت زمانی حدود ۳۰ ثانیه از شروع اختلاط دو فاز، استخراج بالای ۹۰٪ بدست آمده

حاصل از زمان اختلاط بدست آمده در نرم افزار Matlab مؤید نتایج حاصله از نرم افزار RTDWEN بوده است. همچنین جهت بررسی تاثیر تعداد واحدهای میکسر-ستلر برای یکسان سازی زمان ورود و خروج مواد به میکسر، مشخص شد که در مدل n مخلوط کننده کامل، افزایش ظروف کاملاً مخلوط شرایط مناسبی را برای ایجاد جریان پیستونی برقرار کرد و متوسط زمان ماند به زمان استخراج ۶ دقیقه نزدیکتر گردید. همچنین تحت این شرایط مقدار موادی که باعث تشکیل امولسیون پایدار و افزایش زمان جداسازی و ته نشینی دو فاز شدند به مقدار قابل توجهی کاهش پیدا کرد.

## مراجع

- [۱] آکتاو لونشپیل (۱۳۸۰) "طراحی راکتورهای شیمیایی"، ترجمه مهندس یوسف معتمد هاشمی، دانشگاه هرمزگان، چاپ اول
- [2] R. Dell Villar, L. A. Vieyra and A. R. Laplante (1984) "Residence time distributions in closed circuit ball mills", *23rd Annual Conference of Meterial*, Quebec, Canada, 19-22.
- [3] E. G. Kelly and D. J. Spattiswood (1989) *Introduction to Mineral processing*, 152, 52-57.
- [4] J. E. Nasset (1988) "The application of residence time distributions to flotation and mixing circuits", *Mineral Processing*, 81, 75-78.
- [5] C. Hanson and M. Sherif (1970) "Hydrodynamic studies on two multistage mixer-settler", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 48, 2, 132-134
- [6] J. R. Rawling and L. O. Costello (1969) "Mixing characteristics of a copper refining tank house cell", *Journal of Metals*, 21, 49-52.
- [7] G. W. Barton and A. C. Scott (1992) "Scale-up effects in modeling a full-size zinc electrowinning cell", *Journal of Applied Electrochemistry*, 22, 687-692.
- [8] H. Aminian, C. Bazin and D. Hodouin (1998) "Residence time distributions in SX-EW equipment", *International Journal of Mineral Processing*, 54, 235-242
- [9] A. S. Burrows, J. L. Liow and K. Brady (2012) "Residence time study of a two-phase mixture in a horizontal cylindrical vessel", *Chemical Engineering Research and Design*, 90, 2155-2163.
- [10] R. P. King (2001) *Modeling and simulation of mineral processing systems*, Butterworth-Heinemann.
- [11] O. Levenspiel (1972) *Chemical reaction engineering*, 3<sup>rd</sup> ed., John Wiley and Sons.
- [۱۲] مصطفی حسین زاده، محمد رنجبر و مهدی علیزاده (۱۳۹۱) "بررسی عوامل مؤثر در استخراج با حلال رنیوم از محلول لیچینگ غبار کوره تشویه مولیبدنیت"، همایش ملی مهندسی مواد، ملایر، ایران

کمتری تشکیل شده و زمان جداسازی دو فاز در ستلر، کمتر و مواد ته نشین شده در فاز آبی کاهش پیدا خواهد کرد.

## ۳-۳-۲- مدل ولر

در مدل ولر نیز ۶۳/۱۸٪ مواد در بازه زمانی کمتر از متوسط زمان ماند از میکسر خارج شدند:

$$\int_{1.33\text{min}}^{6.44\text{min}} \text{RTD(weller)} = 0.6318 \quad (12)$$

و برای زمانی تا ۴ برابر زمان ماند متوسط این مقدار به ۳۵/۴۲٪ رسید:

$$\int_{6.44\text{min}}^{26\text{min}} \text{RTD(weller)} = 0.3542 \quad (13)$$

همچنین بخشی از مواد خروجی از میکسر که موجب تشکیل امولسیون پایدار گردیدند، ۲۷/۷۲٪ را به خود اختصاص داده است:

$$\int_0^{2\text{min}} \text{RTD(weller)} = 0.2272 \quad (14)$$

از آنجایی که در مدل n مخلوط کننده کامل می توان از تعداد نامتنهایی ظرف کاملاً مخلوط برای شبیه سازی استفاده کرد لذا با استفاده از این مدل می توان میزان مواد خروجی در بازه زمانی کمتر از دو دقیقه را بهتر به تصویر کشید. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شد که مدل n مخلوط کننده کامل دیدگاه بهتری از شرایط مورد نیاز جهت رساندن الگوی حرکت جریان سیال به حالت جریان پیستونی را نسبت به مدل ولر در اختیار قرار داد، که به موجب آن می توان شرایط بهتری را برای افزایش بازدهی و بهبود وضعیت عملیاتی دستگاه میکسر-ستلر ایجاد کرد.

## ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق توزیع زمان ماند مواد در دستگاه میکسر-ستلر آزمایشگاهی برای بهینه سازی زمان استخراج و دبی عملیاتی در مقیاس پیوسته، شبیه سازی شد. در این راستا از دو نرم افزار RTDWEN و Matlab استفاده شد. برآزش نتایج

# Residence Time Distribution of Materials Simulation in a Mixer-Settler System

Mostafa Hosseinzadeh<sup>1,\*</sup>, Mehdi Alizadeh<sup>2</sup>

1. M.Sc. of Mineral Processing Engineering, Materials and Energy Research Center, Karaj, Iran  
(mostafac12@yahoo.com)
2. Assistance Professor of Materials Engineering, Materials and Energy Research Center, Karaj, Iran

---

## ABSTRACT

In this study, simulation of residence time distribution of materials in a mixer-settler system was investigated in order to achieve the optimum extraction time and flow rate in the pilot plant. The liquid and organic phases were water and kerosene, respectively; and salt was used as a tracer reagent in the liquid phase. The salt tracer changes were recorded continuously by using a conductivity meter. The results were analyzed applying Matlab software and Weller and N-Mixer models in RTDWEN software. It was found for the mixing period of 5 min, the mean residence time was obtained 6.44 and 6.62 min by RTDWEN, respectively for Weller and N-Mixer models. Also, it was found to increase the number of perfect mixer vessels, set the mean residence time close to extraction time in the batch scale. Under these conditions, the fluid flow pattern in the mixer was similar to the plug flow.

---

## ARTICLE INFO

Article history:

Received: 25 Jan 2013

Revised: 27 Aug 2013

Accepted: 29 Aug 2013

---

Key words:

Residence Time Distribution

Simulation

Mixer-Settler

RTDWEN

Matlab

---

All right reserved.

---

\* Corresponding author