

# طراحی مشاهده گر برای تخمین توزیع اندازه ذرات در پلیمریزاسیون امولسیون استایرن

پژوهش‌نفت

سال هجدهم  
شماره ۵۷  
صفحه ۹-۳، ۱۳۸۷

حسین عابدینی و محمد شاهرخی\*

دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت

shahrokhi@sharif.edu

## چکیده

وسایل اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات، عموماً off-line بوده و دارای پاسخ بسیار کندی می‌باشند و در ضمن بسیار گران قیمت هستند. بنابراین ارایه یک مشاهده گر، که توزیع اندازه ذرات در پلیمریزاسیون امولسیونی را به خوبی پیش‌بینی کند از اهمیت خاصی برخوردار است. در این مقاله، ابتدا یک مدل دقیق غیرهمدمما بر مبنای معادلات موازنه جمعیتی (مدل صفر- یک) که در برگیرنده پدیده‌های هسته زایی، رشد ذره و انعقاد می‌باشد برای پیش‌بینی توزیع اندازه ذرات انتخاب شده است. سپس یک مشاهده گر تقلیل یافته با فرض داشتن غلظت ماده فعال سطحی آزاد برای تخمین توزیع اندازه ذرات ارایه شده و نشان داده شده است که عملکرد آن در حضور اغتشاشات غیر قابل اندازه‌گیری و خطای مدل‌سازی از مشاهده گر مدار باز با درجه کامل بهتر است. همچنین با اندازه‌گیری درصد تبدیل که از طریق اندازه‌گیری دانسیته امکان پذیر است عملکرد مشاهده گر مزبور بهبود می‌یابد. از آنجایی که در حال حاضر اندازه‌گیری غلظت ماده فعال سطحی آزاد به‌طور مستقیم مشکل است، با استفاده از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، غلظت ماده فعال سطحی آزاد محاسبه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که عملکرد مشاهده گر با استفاده از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در حضور بعضی

اغتشاشات غیر قابل اندازه‌گیری از مشاهده گر مدار باز درجه کامل، بهتر است ولی در حضور خطای مدل‌سازی، بهبود قابل ملاحظه‌ای نسبت به مشاهده گر مدار باز درجه کامل مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: پلیمریزاسیون امولسیونی، هدایت الکتریکی، توزیع اندازه ذرات، شبیه سازی، مشاهده گر

## مقدمه

مقالات بسیار کمی در رابطه با طراحی مشاهده گر توزیع اندازه ذرات در سیستم‌های توصیف شده با معادلات موازنه جمعیتی وجود دارد [۱ و ۲]. هدف از این مقاله بررسی چند مشاهده گر مدار باز کاهش یافته برای تخمین توزیع اندازه ذرات در پلیمریزاسیون امولسیونی استایرن می‌باشد. یک مشاهده گر، ترکیبی از مدل فرایند (توصیف کننده واکنش‌های شیمیایی و پدیده‌های فیزیکی) و حالت‌های قابل اندازه‌گیری سیستم است که برای تخمین پارامترهای ناشناخته و حالت‌های غیر قابل اندازه‌گیری استفاده می‌شود. طراحی مشاهده گر برای طراحی کنترلرهای مبتنی بر مدل که به همه حالت‌ها نیاز دارد از اهمیت خاصی برخوردار است. همچنین از مشاهده گر به عنوان سنسورهای نرم

در صورت گسسته‌سازی این معادلات، دستگاه معادلات دیفرانسیل معمولی غیرخطی با ابعاد بسیار بزرگ به دست می‌آید که طراحی مشاهده‌گر غیرخطی برای آن بسیار مشکل است. بر این اساس تاکنون مطالعات اندکی در مورد طراحی مشاهده‌گر برای این سیستم‌ها ارایه شده است.

برای سیستم کریستالیزاسیون ناپیوسته، یک مشاهده‌گر غیرخطی با بهره بالا توسط باکیر<sup>۳</sup> و همکاران ارایه شده است [۲]. در این مقاله بر مبنای معادلات گسسته موازنه جمعیتی که شامل تعداد زیادی معادله دیفرانسیل غیرخطی معمولی است مشاهده‌گر با بهره بالا طراحی شده است. ادورد<sup>۴</sup> و همکارانش برای سیستم امولسیون استایرن یک مشاهده‌گر طراحی نمودند [۱]. آنها در این مطالعه ابتدا برای مدل موازنه جمعیتی صفر-یک برای پلیمریزاسیون امولسیون استایرن را ساده‌تر کردند و سپس یک مشاهده‌گر بهره بالا برای تخمین تعداد کل رادیکال‌های موجود در ذرات با اندازه‌گیری درصد تبدیل ارایه دادند. بر اساس این تخمین و داشتن مدل محاسبه تعداد رادیکال‌ها در هر ذره، مشاهده‌گر دیگری برای تخمین سرعت هسته‌زایی ارایه کرده و در نهایت با این تخمین‌ها، توزیع اندازه ذرات به صورت مدار باز پیش بینی شده است.

### مدل‌سازی توزیع اندازه ذرات در پلیمریزاسیون امولسیونی استایرن

در این مقاله، ابتدا یک مدل دقیق غیر همدم بر مبنای معادلات موازنه جمعیتی (مدل صفر-یک) که دربرگیرنده پدیده‌های هسته‌زایی، رشد ذره و انعقاد می‌باشد برای پیش بینی توزیع اندازه ذرات انتخاب شده است و سپس سیستم شبیه‌سازی شده است. جزئیات مربوط به مدل‌سازی و تصدیق مدل در مطالعه قبلی مولفین [۸] آورده شده است. معادلات موازنه جمعیتی برای ذرات نوع اول، دوم و سوم به صورت زیر می‌باشند [۸]:

برای مونیتورینگ و کنترل کیفیت و تشخیص شرایط خطرناک استفاده می‌شود. مدل‌های موازنه جمعیتی برای پیش بینی توزیع اندازه ذرات غیرخطی کاربرد دارند و دارای ساختار توزیعی می‌باشند. در حالت کلی مشاهده‌گرهای خطی برای سیستم‌های غیرخطی جوابگو نمی‌باشند، بنابراین طراحی مشاهده‌گرهای غیرخطی مورد نیاز است. برای سیستم‌های غیرخطی، روشی عمومی برای طراحی تخمین‌زننده‌های آن وجود ندارد و روش‌های ارایه شده اغلب کلاس خاصی از سیستم‌های غیرخطی را در برمی‌گیرد. در ضمن ارایه اثباتی تحلیلی برای تحلیل پایداری کلی این مشاهده‌گرها مشکل است. بنابراین هنوز بحث طراحی مشاهده‌گرهای غیرخطی جزء مسائل کنترلی است که نیاز به تحقیق دارد [۲-۷]. بعضی از طراحی مشاهده‌گرهای غیرخطی در ادامه شرح داده شده است. یکی از این روش‌ها، طراحی روش تزریق خروجی<sup>۱</sup> است [۳]. در این روش، پایداری مجانبی کلی برای دینامیک خطا اثبات می‌شود ولی برای کلاس‌های خاصی از فرایندهای غیرخطی کاربرد دارد.

مشاهده‌گرهای غیرخطی مدار باز مجموعه‌ای دیگر از تخمین‌زننده‌ها می‌باشد که به دو دسته با درجه کامل و کاهش یافته تقسیم می‌شوند. مشاهده‌گرهای مدار باز درجه کامل فقط در محدوده نقاط تعادلی حالت پایا که سیستم پایدار مجانبی می‌باشد کاربرد دارند. مشاهده‌گرهای تقلیل درجه یافته مدار باز ممکن است حتی برای نقاط تعادلی ناپایدار نیز قابل کاربرد باشند. مهمترین مشکل مشاهده‌گرهای درجه باز این است که سرعت کاهش خطا قابل تنظیم نبوده و بستگی به مشخصه‌های فرایند دارد [۳]. فیلتر کالمن بهبود یافته که بر مبنای سیستم خطی شده از فرایند غیرخطی طراحی می‌شود نیز یکی از روش‌های طراحی مدار بسته مشاهده‌گر می‌باشد. مشاهده‌گرهای لونیبرگر غیرخطی و تخمین‌زننده بهره بالا<sup>۲</sup> از دیگر روش‌های طراحی است [۳]. طراحی مشاهده‌گرهای غیرخطی برای پیش بینی توزیع اندازه ذرات دارای مشکلات زیادی است زیرا مدل‌سازی آن دارای ساختار معادلات موازنه جمعیتی بوده و جزء سیستم‌های توزیعی می‌باشند. معادلات آنها از نوع دیفرانسیل جزئی-انتگرالی می‌باشد.

1. input injection  
2. High gain  
3. Bakir  
4. Edourd

مایسلی از رابطه زیر به دست می آید [۸]:

$$R_{micellar} = \sum_{l=0}^{j_{cr}-1} e^l [P_W]^l C_{micelle} V_{aq} \quad (۸)$$

هنگامی که طول زنجیره الیگومرها در فاز آبی به طول بحرانی می رسد، الیگومرها در فاز آبی به صورت غیر آب دوست در می آیند. بنابراین در فاز آبی رسوب می کنند و مولکول های تعلیق کننده اطراف آن جمع می شوند و تشکیل یک ذره می دهند. این پدیده هسته زایی هموژن نامیده می شود. سرعت هسته زایی هموژن به صورت زیر بیان می شود:

$$R_{Homogenous} = k_p^w [P_W]^{j_{cr}-1} [M_W] V_{aq} \quad (۹)$$

سرعت کلی هسته زایی، مجموع سرعت هسته زایی مایسلی و هموژن می باشد.

موازنه ماده فعال سطحی به صورت زیر است:

$$V_{aq} [S]_W + \frac{A_p^s}{a_s N_A} \frac{b_s [S]_W}{1 + b_s [S]_W} + \frac{V_d}{a_{ed} N_A r_d} = S_T \quad (۱۰)$$

که در آن  $S_T$  تعداد کل مول های ماده فعال سطحی اضافه شده به راکتور و  $[S]_W$  غلظت ماده فعال سطحی آزاد می باشد [۸].

### طراحی مشاهده گر

طراحی مشاهده گر تقلیل درجه یافته مدار باز با فرض

اندازه گیری غلظت ماده فعال سطحی آزاد

در پلیمریزاسیون امولسیون، هسته زایی ذرات تابع غلظت مایسل ها بوده و آن هم به نوبه خود بستگی به سطح غلظت ماده فعال سطحی آزاد نسبت به غلظت بحرانی مایسلی دارد. در نتیجه غلظت ماده فعال سطحی آزاد به پدیده های موثر روی توزیع اندازه ذرات بسیار نزدیک است. بنابراین در صورت اندازه گیری غلظت ماده فعال سطحی آزاد می توان پدیده هسته زایی مایسلی (مکانیسم غالب) را بهتر تخمین زده و در نهایت توزیع را بهتر پیش بینی کنیم. اگر فرض شود که غلظت ماده فعال سطحی آزاد اندازه گیری شود در این صورت معادله (۱۰) برای محاسبه غلظت ماده فعال سطحی آزاد که در آن پارامترها و ثوابت متعددی وجود دارد را از

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (f_1^P(r, t)) &= k_p^1 [M]_P f_1^M + \rho_{init} f_0 \\ &- \rho f_1^P - k_r [M]_P f_1^P - \frac{\partial (dr f_1^P)}{\partial r} \\ &+ R_{mic} \delta(r - r_{mic}) + R_{coag}^1 \end{aligned} \quad (۱)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (f_0(r, t)) = \rho (f_1^M + f_1^P - f_0) + k_{dM} f_1^M + R_{coag}^0 \quad (۲)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (f_1^M(r, t)) &= k_r [M]_P f_1^P - (k_p^1 [M]_P + k_{dM} + \rho) f_1^M \\ &+ e^0 f_0 [P_W]^0 \end{aligned} \quad (۳)$$

$$f(r, t) = f_1^P + f_1^M + f_0 \quad (۴)$$

سرعت رشد ذرات پلیمری در این حالت از رابطه زیر به دست می آید:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{1}{4\pi r^2 \rho_p N_A} k_p [M]_P M_w \quad (۵)$$

سرعت کلی ورود رادیکال ها به داخل ذرات پلیمری از رابطه زیر محاسبه می شود [۸]:

$$\rho = e^0 [P_W]^0 + \rho_{init} \quad , \quad \rho_{init} = \sum_{l=z}^{j_{cr}-1} e^l [P_W]^l \quad (۶)$$

ضریب سرعت دفع رادیکال های منومری از ذرات پلیمر،  $k_{dM}$ ، تابعی از ضرایب نفوذ منومر در فاز آبی و ذرات پلیمری، غلظت منومر در این دو فاز و همچنین شعاع ذره متورم بوده و از رابطه زیر محاسبه می گردد [۸]:

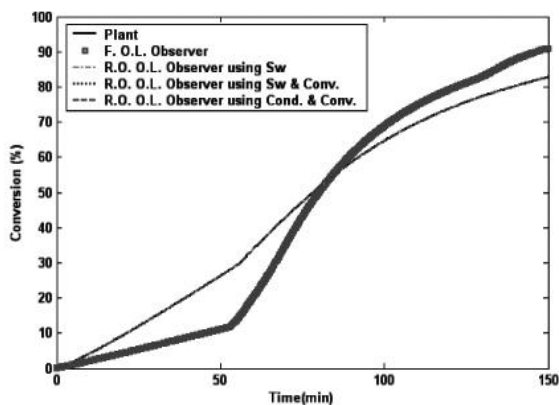
$$k_{dM} = \frac{3D_w D_{mon}}{r_s^2 \left( \left( \frac{[M]_P}{[M]_W} \right) D_{mon} + D_w \right)} \quad (۷)$$

$D_{mon}$  ضریب نفوذ منومر در فاز ذرات می باشد. مکانیسم ایجاد ذره عمدتاً به دو صورت مایسلی و هموژن انجام می گیرد. رادیکال های الیگومر در فاز آبی وارد مایسل شده و به ذرات پلیمری تبدیل می شوند. به این پدیده هسته زایی مایسلی گویند. سرعت هسته زایی

پیش بینی شده و واقعی، خطا وجود دارد.

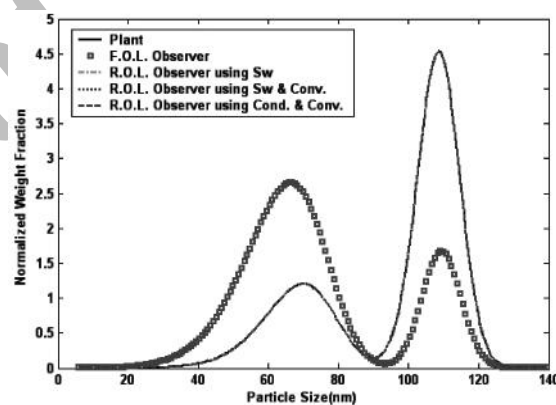
شکل ۲ نتایج مشاهده گر با اندازه گیری غلظت ماده فعال سطحی آزاد ( $S_w$ ) و مشاهده گر مدار باز (مدل سیستم) برای ۱۰٪- تغییر در مقدار اولیه منومر، به عنوان اغتشاش غیر قابل اندازه گیری را نشان می دهد. در شکل ۲- الف توزیع اندازه ذرات نهایی مربوط به استراتژی های مختلف و توزیع واقعی داده شده است. همان طور که مشاهده می شود عملکرد مشاهده گر با اندازه گیری غلظت ماده فعال سطحی آزاد بسیار بهتر از استراتژی مدار باز می باشد و تقریباً به طور کامل به توزیع واقعی ختم می شود.

در شکل ۲- ب تغییرات درصد تبدیل با زمان نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود درصد تبدیل در این حالت خوب پیش بینی نشده است.



مدل مشاهده گر مدار باز حذف می کنیم.

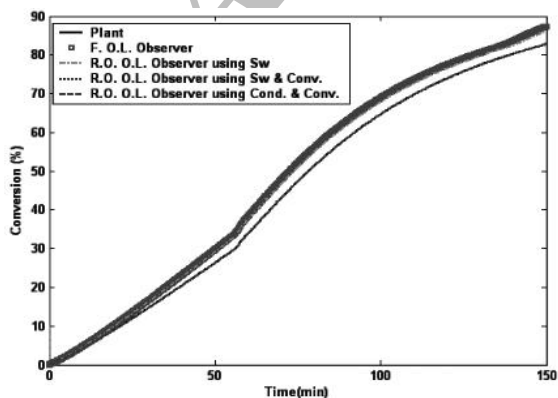
شکل ۱ نتایج مشاهده گر با اندازه گیری غلظت ماده فعال سطحی آزاد (مشاهده گر نوع اول) و مشاهده گر مدار باز (مدل سیستم) برای ۱۰٪- تغییر در خلوص ماده فعال سطحی به عنوان اغتشاش غیر قابل اندازه گیری را نشان می دهد. در شکل ۱- الف توزیع اندازه ذرات نهایی مربوط به استراتژی های مختلف و توزیع واقعی داده شده است. همان طور که مشاهده می شود عملکرد مشاهده گر با اندازه گیری غلظت ماده فعال سطحی آزاد بسیار بهتر از استراتژی مدار باز می باشد و به طور کامل به توزیع واقعی ختم می شود. در شکل ۱- ب تغییرات درصد تبدیل برای این دو روش با زمان نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود درصد تبدیل نیز به خوبی در این حالت پیش بینی می شود ولی در حالت مدار باز کامل، بین مقدار



ب

الف

شکل ۱- توزیع اندازه ذرات نهایی (الف) و تغییرات درصد تبدیل (ب) واقعی و تخمین مشاهده گرهای پیشنهادی برای ۱۰٪- تغییر در خلوص ماده فعال سطحی به عنوان اغتشاش غیر قابل اندازه گیری



ب

الف

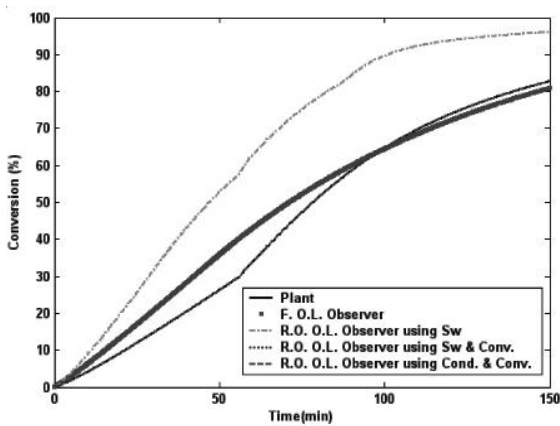
شکل ۲- توزیع اندازه ذرات نهایی (الف) و تغییرات درصد تبدیل (ب) واقعی و تخمین مشاهده گرهای پیشنهادی برای ۱۰٪- تغییر در مقدار اولیه منومر به عنوان اغتشاش غیر قابل اندازه گیری

نسبت به حالت مدار باز کامل بهتر است. به عنوان یک خطای مدل سازی دیگر اثر  $+20\%$  خطا در پارامتر  $\alpha_{m,s}$  روی سطح احاطه شده با یک مولکول ماده فعال سطحی، روی عملکرد، مشاهده گرهای پیشنهادی بررسی شده است. نتایج این شبیه سازی ها در شکل ۴ نشان داده شده است.

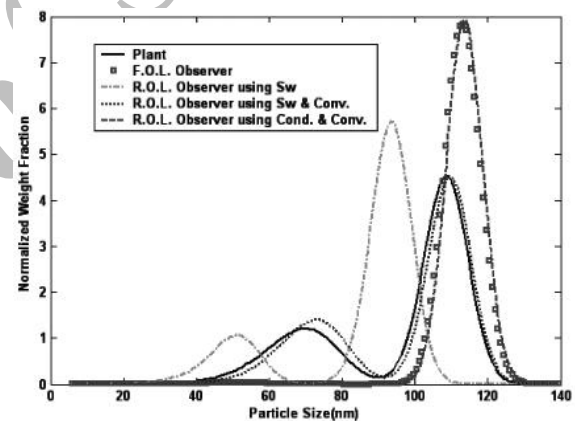
همان طور که در شکل ۴- الف نشان داده شده است توزیع اندازه ذرات نهایی به دست آمده برای استراتژی مشاهده گر با اندازه گیری غلظت ماده فعال سطحی آزاد نزدیکتر به استراتژی واقعی از توزیع به دست آمده از استراتژی مدار باز می باشد. شکل ۴- ب تغییرات درصد تبدیل و مقدار واقعی آن را نشان می دهد. درصد تبدیل در این حالت نیز خوب پیش بینی نمی شود ولی نسبت به حالت مدار باز کامل بهتر است.

برای بررسی اثر خطای مدل سازی، حساسیت نتایج شبیه سازی به تغییر ثابت سرعت واکنش اختتام پلیمریزاسیون در فاز آبی بررسی شده است. در شکل ۳ نتایج مشاهده گر با اندازه گیری غلظت ماده فعال سطحی آزاد ( $S_w$ ) و مشاهده گر مدار باز (مدل سیستم) برای  $-90\%$  خطا در ثابت سرعت اختتام فاز آبی بررسی شده است.

همان طور که در شکل ۳- الف نشان داده شده است توزیع اندازه ذرات نهایی به دست آمده برای استراتژی مشاهده گر با اندازه گیری غلظت ماده فعال سطحی آزاد نزدیکتر به استراتژی واقعی از توزیع به دست آمده از استراتژی کاملاً مدار باز می باشد. شکل ۳- ب تغییرات درصد تبدیل و مقدار واقعی آن را نشان می دهد. درصد تبدیل در این حالت خوب پیش بینی نمی شود ولی

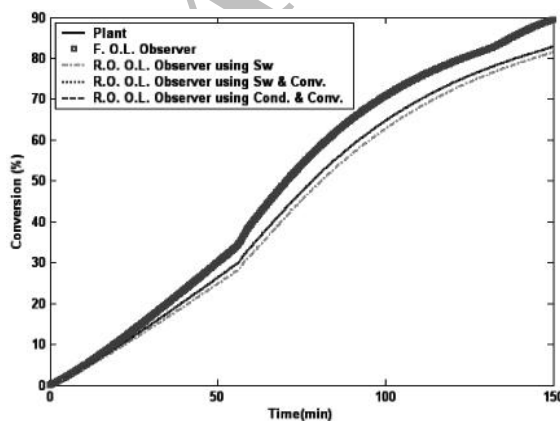


ب

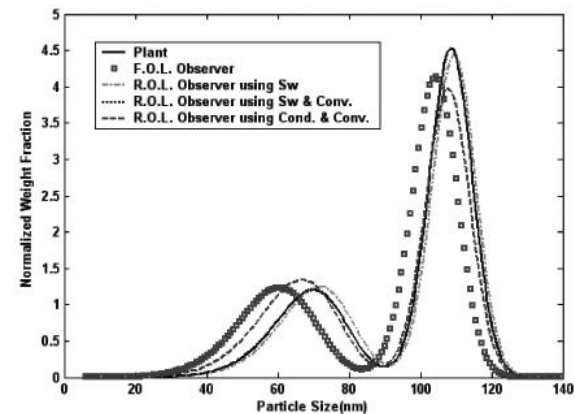


الف

شکل ۳- توزیع اندازه ذرات نهایی (الف) و تغییرات درصد تبدیل (ب) واقعی و تخمین مشاهده گرهای پیشنهادی برای  $-90\%$  خطا در ثابت سرعت اختتام فاز آبی



ب



الف

شکل ۴- توزیع اندازه ذرات نهایی (الف) و تغییرات درصد تبدیل (ب) واقعی و تخمین مشاهده گرهای پیشنهادی برای  $+20\%$  خطا در پارامتر  $\alpha_m$

به دست می‌آید (مشاهده‌گر نوع دوم). عملکرد این مشاهده‌گر در حضور اغتشاشات غیر قابل اندازه‌گیری و خطاهای مدل‌سازی بیان شده در بخش قبل مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج آن برای مقایسه در شکل‌های ۱ تا ۴ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود به دلیل داشتن درصد تبدیل در مشاهده‌گر نوع دوم، عملکرد آن در همه موارد نسبت به روش‌های قبلی بهتر است.

#### طراحی مشاهده‌گر تقلیل درجه یافته مدار باز با فرض

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و اندازه‌گیری درصد تبدیل همان‌طور که در بخش قبلی بحث شد، با استفاده از مشاهده‌گر مدار باز با اندازه‌گیری غلظت ماده فعال سطحی و درصد تبدیل، می‌توان توزیع اندازه ذرات را در حضور اغتشاشات غیر قابل اندازه‌گیری و خطای مدل‌سازی در حد قابل قبولی به خوبی پیش‌بینی کرد. اما باید توجه داشت که اندازه‌گیری غلظت ماده فعال سطحی آزاد،  $k_w$  ساده نیست. از طرف دیگر هدایت الکتریکی،  $\sigma$ ، که تابعی از غلظت ماده فعال سطحی آزاد است، به راحتی قابل اندازه‌گیری می‌باشد. در مطالعه قبلی مولفین [۸] ارتباط بین غلظت ماده فعال سطحی و هدایت الکتریکی مورد بررسی قرار گرفت و روابط بین آن‌ها به صورت زیر به دست آمد:

$$\sigma_{calc} = (\lambda_{Na^+} + \lambda_{DS^-})[S_{aq}] + \frac{([S_a] + [S_{mic}])}{a} \lambda_{Na^+} + \sigma_0 \quad (13)$$

$$[S_a] = \frac{A_p}{V_{aq} a_s N_A} \frac{b_s [S_w]}{1 + b_s [S_w]}$$

$$[S_{aq}] = \begin{cases} [S_w] & , [S_w] < CMC \\ CMC & , [S_w] > CMC \end{cases}$$

$$[S_{mic}] = \begin{cases} 0 & , [S_w] < CMC \\ [S_w] - CMC & , [S_w] > CMC \end{cases} \quad (14)$$

در این مقاله تخمین غلظت ماده فعال سطحی از روی سیگنال اندازه‌گیری شده هدایت الکتریکی به دست می‌آید. بر این اساس از معکوس روابط ۱۳ و ۱۴ برای تخمین غلظت ماده فعال سطحی آزاد از روی سیگنال هدایت الکتریکی استفاده می‌شود. با استفاده از این تخمین غلظت

#### طراحی مشاهده‌گر تقلیل درجه یافته مدار باز با فرض اندازه‌گیری غلظت ماده فعال سطحی آزاد و اندازه‌گیری درصد تبدیل

در فرایندهای پلیمریزاسیون امولسیون، اندازه‌گیری میزان تبدیل منومر از طریق کالریمتری و یا اندازه‌گیری دانسیته امکان‌پذیر است. در صورت مشخص بودن میزان تبدیل، مقدار منومر در هر زمان در راکتور قابل محاسبه می‌باشد. با اطلاعات حاصله از درصد تبدیل می‌توان از طریق تخمین‌زننده، پارامترهای ناشناخته را به دست آورد [۴-۷]. معادله موازنه منومر [۱] به شکل زیر بازنویسی می‌شود:

$$\frac{dM}{dt} = v_M - (k_p^w + k_{tr}^w)[Olig][M]_w V_{aq} - (k_p + k_{tr})[M]_p \mu \quad (11)$$

$$\mu = \int_{r=r_{muc}}^{r_{max}} \bar{n}(r,t) f(r,t) dr$$

در رابطه فوق  $\mu$  برابر با تعداد مول‌های رادیکال در کل ذرات و یا در مدل صفر- یک تعداد مول‌های ذرات حاوی رادیکال (منومری و پلیمری) است. در صورت داشتن درصد تبدیل می‌توان  $\mu$  را تخمین زد. برای تخمین  $\mu$  از یک مشاهده‌گر غیرخطی با بهره بالا استفاده می‌شود. مشاهده‌گر غیرخطی با بهره بالا برای سیستم‌های دارای ساختار مثلثی کاربرد دارد. مهمترین مزیت آن این است که برای محاسبه بهره آن نیاز به حل معادلات دیفرانسیل نبوده و تنظیم آن راحت انجام می‌شود [۱]. شرایط و اثبات پایداری این نوع مشاهده‌گر غیرخطی در مطالعات مختلفی بررسی شده است [۲-۷]. مشاهده‌گر غیرخطی با بهره بالا برای تخمین  $\mu$  به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{d\hat{M}}{dt} = v_M - (k_p^w + k_{tr}^w)[Olig][M]_w V_{aq} - (k_p + k_{tr})[M]_p \hat{\mu} - 2\theta(\hat{M} - M) \quad (12)$$

$$\frac{d\hat{\mu}}{dt} = \frac{\theta^2}{(k_p + k_{tr})[M]_p} (\hat{M} - M)$$

حال به کمک روابط ۱۲ و دیگر معادلات موازنه جمعیتی به صورت مدار باز و با فرض اندازه‌گیری غلظت ماده فعال سطحی آزاد، مشاهده‌گر مدار باز تقلیل درجه یافته‌ای



حضور اغتشاشات غیر قابل اندازه گیری و خطای مدل سازی از مشاهده گر مدار باز با درجه کامل بهتر است. همچنین با اندازه گیری درصد تبدیل که از طریق اندازه گیری دانسیته امکان پذیر است، عملکرد مشاهده گر مزبور بهبود یافت. از آنجایی که در حال حاضر اندازه گیری غلظت ماده فعال سطحی آزاد به طور مستقیم مشکل است، از اندازه گیری هدایت الکتریکی استفاده شده و سپس غلظت ماده فعال سطحی آزاد محاسبه می شود. نتایج نشان می دهد که عملکرد آن در حضور بعضی اغتشاشات غیر قابل اندازه گیری از مشاهده گر مدار باز با درجه کامل بهتر است ولی با وجود خطای مدل سازی، دارای مزیتی نمی باشد.

#### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی که این پروژه را حمایت مالی کرده اند، تشکر و قدردانی می شود.

ماده فعال سطحی آزاد و اندازه گیری درصد تبدیل مشاهده گر مدار باز تقلیل یافته ای (نوع سوم) ارایه می شود. عملکرد این مشاهده گر نیز در حضور اغتشاشات غیر قابل اندازه گیری و خطاهای مدل سازی بیان شده در بخش قبل مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج آن برای مقایسه در شکل های ۱ تا ۴ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود عملکرد آن در حضور اغتشاشات غیر قابل اندازه گیری بسیار مطلوب می باشد و از مشاهده گر مدار باز درجه کامل بسیار بهتر است ولی در حضور خطای مدل سازی (خیلی زیاد) عملکرد این کنترلر مناسب نبوده و بهبودی نسبت به حالت مدار باز کامل مشاهده نمی شود.

#### نتیجه گیری

در این مقاله یک مشاهده گر تقلیل یافته با فرض داشتن غلظت ماده فعال سطحی آزاد برای تخمین توزیع اندازه ذرات ارایه گردید و نشان داده شد که عملکرد آن در

#### منابع

- [1] Edouard D., Sheibat-Othman N. and Hammouri H., Observer design for particle size distribution in emulsion polymerization, *AIChE Journal*, Vol. 51, pp. 3167-3185, 2005.
- [2] Bakir T., Othman S., Fevotte G. and Hammouri H., Nonlinear observer of crystal-size distribution during batch crystallization, *AIChE Journal*, Vol. 52, pp. 2188-2197, 2006.
- [3] Soroush M., Nonlinear state-observer design with application to reactors, *Chemical Engineering Science*, Vol. 52, pp. 387-398, 1997.
- [4] Farza M., Busawon K. and Hammouri H., Simple nonlinear observers for estimation of kinetic rates in bioreactors, *Automatica*, Vol. 34, pp. 301-318, 1998.
- [5] Farza M., Hammouri H., Jallut C. and LiLeto J., State observation of a nonlinear system: Application to (bio) chemical processes, *AIChE Journal*, Vol. 45, pp. 93-106, 1999.
- [6] Hammouri T., Targui B. and Armanet F., High gain observer based on a triangular structure, *Int. J. Robust Nonlinear Control*, Vol. 12, pp. 497-518, 2002.
- [7] Busawon K., Farza M. and Hammouri H., A simple observer for a class of nonlinear systems, *Appl. Math. Lett.* Vol. 11, pp. 27-31, 1998.
- [8] Abedini H. and Shahrokh M., Inferential closed-loop control of particle size distribution for styrene emulsion polymerization, *Chemical Engineering Science*, Vol. 63, pp. 2378-2390, 2008.