

ارزیابی کارایی روابط ارائه شده برای محاسبه افت فشار در برجهای آکنده جداکننده استایرن مونومر و اتیل بنزن

حامد شکرکار، امین سالم*، سیروس شفیعی

تبریز، دانشگاه صنعتی سهند، دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه: salem@sut.ac.ir

چکیده

تشکیل پلیمر در بسترهای آکنه یکی از مشکلات مهم در برجهای آکنده می باشد. به منظور کاهش اثر این پدیده مخرب، راهکارهایی مانند کاهش افت فشار بستر و یا استفاده از مواد بازدارنده پدیده پلیمریزاسیون ارائه شده است. به دلیل ارتباط بسیار عمیق پدیده پلیمریزاسیون، مواد بازدارنده و افت فشار، این تحقیق در سه بخش مجزا ارائه شده است. در اولین بخش، خلاصه ای درباره انواع آکنه های منظم مورد استفاده در برجهای جداکننده استایرن مونومر و اتیل بنزن ارائه می شود. آکنه های ملاپک^۱ و ملاپک- پلاس^۲ از رایج ترین آکنه های مورد استفاده در این گونه برجها می باشند. در بخش دوم انواع بازدارنده های پدیده پلیمریزاسیون که در صنعت و در برجهای جداکننده استایرن مونومر و اتیل بنزن مورد استفاده قرار می گیرند، ارائه شده است. در بخش سوم دو رابطه بسیار معتبر برای محاسبه افت فشار به همراه محدوده کارایی آنها ارائه می گردد.

در این تحقیق، برای محاسبه افت فشار دو برج مختلف جداکننده استایرن مونومر و اتیل بنزن از روابط براوو^۳ یا استیچمایلر^۴ استفاده شده و محدوده کارایی آنها ارائه شده است. بنابر محاسبات بعمل آمده، روابط براوو و استیچمایلر، در برجهایی با افت فشار پایین، قطر بالا و ارتفاع کمتری از بستر، با دقت بسیار بالایی افت فشار واقعی برج را تخمین می زنند و برای شرایط غیر از این، رابطه استیچمایلر دقت مناسبی دارد و خطای بکارگیری رابطه براوو بالاست.

کلمات کلیدی: استایرن مونومر، اتیل بنزن، برجهای آکنه، مواد بازدارنده پدیده پلیمریزاسیون، افت فشار

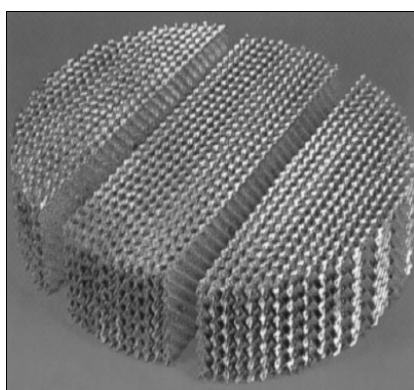
۱- مقدمه

افتادن واحد شود. نرخ تولید پلیمر و رسوب در بستر آکنه، متناسب با زمان بوده و با دما به صورت نمایی افزایش می یابد. زمان ماند جریان در بستر آکنه و نیز دمای برج، باید تا حد امکان، مینیمم و بهینه گردد تا تولید پلیمر در بستر برج کاهش یابد [۱]. به منظور جلوگیری و یا کاهش پدیده پلیمریزاسیون از راهکارهای مختلفی استفاده می گردد. یکی از راههای کاهش پدیده پلیمریزاسیون، استفاده از مواد بازدارنده است. این مواد بازدارنده با مکانیزمهای خاص خود پدیده های

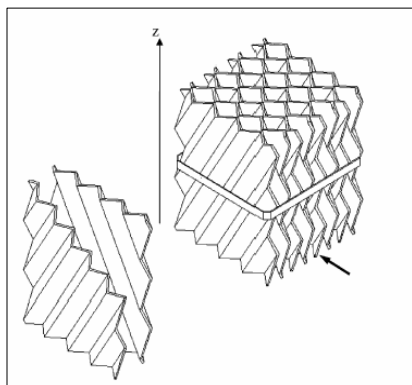
تشکیل پلیمر به عنوان مواد نامطلوب در ستونهای تقطیر استایرن مونومر محسوب می شود که می تواند منجر به گرفتگی (انسداد) آکنه ها، گرفتگی توزیع کنندگان مایع و بخار و یا افزایش مدت از کار

1. Mellapak
2. Mellapak Plus
3. Bravo
4. Stichmaier

ستون تقطیر مربوط به جداسازی استایرن مونومر از اتیل بنزن، از این نوع آکنه‌ها استفاده می‌شود. این مقدار، حدود ۷۰٪ کل ظرفیت ستونهای تقطیر مربوط به این جداسازیها را تشکیل می‌دهد [۹]. در شکل (۱)، طرحهای اجمالی گوناگون از آکنه‌های ملاپک ارائه شده است [۹ و ۱۰]. ساختار ویژه سطح این آکنه‌ها، می‌تواند باعث انجام عملیات جداسازی در محدوده وسیعی از تجمع مایع شود. این آکنه‌ها از صفحات موجدار و نازک تشکیل شده‌اند که می‌توانند فلزی یا پلاستیکی باشند. آکنه‌ها می‌توانند بر روی هم انباشته شده و کانالهای باز و به شکل متقاطع را که با محور برج زاویه معینی می‌سازند، تشکیل دهند. آکنه ملاپک معمولاً به فرم‌های X ۱۲۵، ۲۵۷، X ۲۵۰، ۲۵۰Y، ۳۵۰X، ۵۰۰Y و ۷۵۰Y وجود دارند [۱۰].



(الف)



(ب)

شکل ۱- طرح‌های اجمالی مختلف آکنه ملاپک. (الف) نمای کلی از

آکنه ملاپک (ب) نحوه قرار گرفتن دو صفحه چین خورده

متوالی در این نوع آکنه‌ها [۹ و ۱۰]

پلیمریزاسیون را تا حد امکان کاهش می‌دهند. البته برخی از این مواد بازدارنده بسیار گران قیمت‌اند و استفاده ناچیز از آنها نیز صرفه اقتصادی ندارد [۲]. از این نوع مواد بازدارنده می‌توان به DNBP [۳]، استایرکس^۱ [۴] و بوتیل کاتگل [۵] اشاره کرد. از راهکارهای دیگر، کاهش دمای پایین برج است. شرایط عملیاتی برج باید به گونه‌ای باشد که افت فشار برج مناسب باشد و دمای عملیاتی پایین برج زیر ۱۲۰°C حفظ شود، زیرا به علت وابستگی نمایی تشکیل پلیمر نسبت به دما، نرخ تولید پلیمر در دماهای بالاتر از ۱۲۰°C به سرعت افزایش می‌یابد [۱]. به منظور محاسبه و تخمین افت فشار برج بهتر است از مدل‌سازی برج استفاده شود. مدل‌سازی یک واحد، روش کم هزینه‌ای است که می‌توان به کمک آن تخمینی از کارایی را بدست آورد. در صورتیکه اگر بخواهیم داده‌ها را از طریق ساخت پایلوت یا واحد واقعی بدست آوریم، مجبور به صرف هزینه‌های گزافی خواهیم شد [۶]. برای محاسبه افت فشار برج در شرایط عملیاتی مختلف به منظور تخمین شرایط پلیمریزاسیون روابط بسیاری ارائه شده است. دو رابطه براوو [۷] و استیچمایلر [۸] از معتبرترین روابطی هستند که برای محاسبه افت فشار در برج‌های جداکننده استایرن مونومر و اتیل بنزن ارائه شده‌اند. هر یک از این روابط، ویژگیها و محدودیتهایی دارند که در این تحقیق ارائه خواهند شد.

۲- آکنه‌های مورد استفاده در برج‌های جداکننده استایرن مونومر و اتیل بنزن

در طول سالهای قبل، برج‌های سینی دار به منظور انجام عملیات جداسازی استایرن مونومر از اتیل بنزن مورد استفاده قرار می‌گرفت. در حالیکه امروزه آکنه‌های منظم با ظرفیت تولید بالا به عنوان جایگزین مناسب برای ستونهای سینی دار مطرح می‌باشند. از این نوع آکنه‌ها می‌توان ملاپک و ملاپک-پلاس را نام برد [۱].

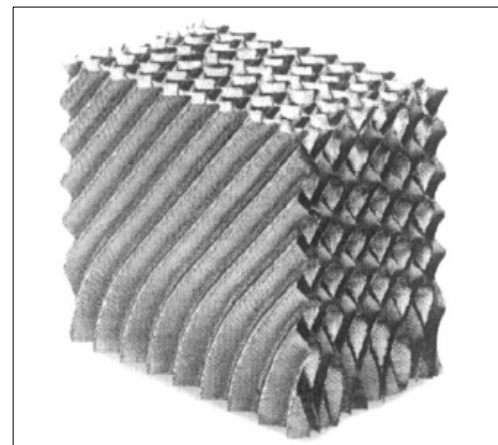
۲-۱ آکنه‌های ملاپک

استفاده از آکنه‌های ملاپک از اواسط دهه ۷۰ آغاز شده است. این آکنه‌ها به نام تجاری Flexipac معروف می‌باشند. استفاده از این نوع آکنه‌ها، به علت بازدهی و عملکرد بالای آنها و نیز ایجاد افت فشار پایین، با رشد روزافزونی مواجه بوده است. امروزه در بیش از ۱۰۰

1. Styrex

۲-۲ آکنه‌های ملاپک-پلاس

آکنه‌های ملاپک-پلاس از آکنه‌های نسل دوم می‌باشند که از سال ۱۹۹۹ به بعد توسعه یافته‌اند. ظرفیت این نوع آکنه‌ها ۳۰-۲۵٪ بیشتر از سایر آکنه‌هاست. این آکنه‌ها می‌توانند جایگزین مناسبی برای آکنه‌های ملاپک باشند که اکنون در ستونهای جداسازی استاتیرن مونومر از اتیل بنزن مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۱]. آکنه‌های ملاپک-پلاس می‌توانند به‌فرمهای ۲۵۲۷، ۴۵۲۷ و ۷۵۲۷ وجود داشته باشند. شکل (۲) ساختار اصلاح شده ملاپک-پلاس را، در مقایسه با ملاپک، نشان می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌شود، جهت گیری چین خوردگیها، در انتهای بالا و پایین هر آکنه، بتدریج به سوی محورهای عمودی میل می‌کند.



شکل ۲- ساختار اصلاح شده ملاپک-پلاس در مقایسه با ملاپک. جهت چین خوردگیها در ابتدا و انتهای آکنه به سمت محور قائم سوق داده شده است [۱۰]

اصلاح هندسه سطح آکنه، مزایای زیر را دارد:

الف- جریان بخار به صورت پایا و روان، مسیر حرکت خود را در فاصله بین دو آکنه تغییر می‌دهد. در نتیجه خطر رسوب کاهش می‌یابد.

ب- تجمع مایع در تقاطع بین دو لایه کاهش می‌یابد. در نتیجه افت فشار در بستر آکنه تا ۲ برابر کمتر می‌شود که این امر منجر به کاهش پدیده پلیمریزاسیون خواهد شد. [۱۰].

ایجاد پلیمر در بستر و روی صفحه‌های آکنه، باعث کاهش سطح مقطع عبور جریان می‌شود که در نتیجه افت فشار در بستر به دلیل کاهش

سطح مقطع، افزایش می‌یابد. استفاده از بازدارندگان، باعث کاهش روند تشکیل پلیمر روی بستر و در نتیجه کاهش افت فشار که پارامتر مطلوبتری است، می‌شود. اهمیت این موضوع نویسندگان مقاله را بر آن داشته که ابتدا بحث مختصری درباره بازدارندگان ارائه کنند، سپس کارایی دو رابطه معتبر برای محاسبه افت فشار را بررسی نمایند.

۳- بازدارندگان پدیده پلیمریزاسیون در برج جداکننده استاتیرن مونومر و اتیل بنزن

هنگامی که استاتیرن مونومر در شرایط عملیاتی با دمای بالا قرار می‌گیرد، رادیکالهای استاتیرن تشکیل می‌شوند. رادیکالهای استاتیرن دو حق انتخاب دارند: ۱- یا واکنش با اکسیژن که منجر به تشکیل رادیکالهای پروکسید^۱ می‌شود. ۲- یا واکنش با استاتیرن که زنجیره‌های پلیمری تولید می‌کنند.

اگر مقدار اکسیژن حل شده در استاتیرن مونومر ppm ۱۵-۱۰ باشد، به مقدار قابل توجهی پروکسید تولید خواهد شد. چون در این شرایط، واکنش رادیکالهای استاتیرن با اکسیژن، بسیار سریعتر از واکنش رادیکالهای استاتیرن با استاتیرن مونومر خواهد بود، در مرحله بعد رادیکالهای پروکسید دو حق انتخاب خواهند داشت:

الف) اگر مقدار بازدارنده بیشتر از ppm ۱۰ باشد، رادیکالهای پروکسید عمدتاً توسط بازدارنده‌ها احاطه و خنثی شده و کارایی خود را از دست می‌دهند.

ب) اگر مقدار بازدارنده کمتر از حد مینیمم باشد، رادیکالهای پروکسید دوباره با استاتیرن واکنش می‌دهند و رادیکالهای دیگری تولید می‌کنند. بنابراین مقدار مواد بازدارنده مورد استفاده در برج جداکننده باید در حد استاندارد (۱۰-۵ ppm) باشد [۲]. در ادامه، مواد بازدارنده مورد استفاده در برجهای جداکننده استاتیرن مونومر و اتیل بنزن ارائه خواهند شد.

۳-۱ بوتیل کاتکل نوع سوم^۲ (TBC)

یکی از بازدارنده‌های معروف که در برجهای جداکننده استاتیرن مونومر مورد استفاده قرار می‌گیرد، ۴- بوتیل کاتکل نوع سوم (TBC) است. در صورت عدم وجود بازدارنده TBC به مقدار کافی، رادیکالهای پروکسی تا زمانی که اکسیژن وجود داشته باشد با استاتیرن مونومر

1. Peroxide Radical
2. Tert. Butyl Catechol

پلیمریزاسیون، از ایجاد رسوب و نیز خوردگی جلوگیری کرده هزینه عملیاتی مربوط به این پدیده نامطلوب را کم می‌کند [۴]. در شکل (۳) محل ورود استایرکس به برج جداکننده استایرین مونومر و اتیل بنزن ارائه شده است. استایرین مونومر از دو محل وارد برج می‌شود.

الف) جریان برگشتی به برج: از آنجاکه میل به تشکیل پلیمر در اتیل بنزن بیشتر از استایرین مونومر است قسمتی از مواد بازدارنده از این مکان تزریق می‌شود. علاوه بر این استایرکس تزریق شده به برج از این مکان، پلیمریزاسیون بالای برج را کنترل می‌کند.

ب) خوراک ورودی به برج: استایرکس تزریق شده به برج از این مکان، پلیمریزاسیون پایین برج را کنترل می‌کند [۴].

۳-۳ دی نیترو بوتیل فنول

این ترکیب ماده ای حل شونده در اتیل بنزن و استایرین مونومر است که به عنوان یک عامل کنترل کننده پدیده پلیمریزاسیون در برجهای خالص سازی استایرین مونومر مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳]. در جدول (۱) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این ماده بازدارنده ارائه شده است.

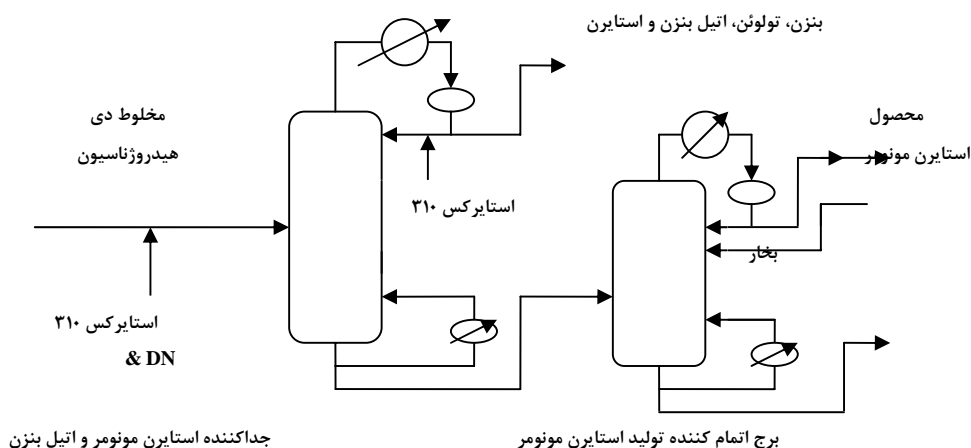
واکنش می‌دهند. در نتیجه ممکن است در طول انجام عملیات تقطیر، پروکسیدهای ناپایا بوجود آمده و توسعه یابند و منجر به انجام واکنش‌های کنترل نشده شوند. در این صورت، حتی با افزایش ناگهانی دما به مدت بسیار کوتاه، رادیکالهای بسیار زیادی تولید خواهند شد که خلوص استایرین مونومر را به مخاطره خواهند انداخت. مقدار مجاز این مواد بازدارنده ppm ۱۰-۵ است [۲و۵].

۲-۳ استایرکس

به منظور کاهش پدیده پلیمریزاسیون، از بازدارندگان دیگری نیز استفاده می‌شود. یکی از آنها که به ثبت هم رسیده استایرکس است که نقش مهمی در کاهش تشکیل پلیمر در ستون تقطیر دارد. اگر این ماده ارزشمند با ماده بازدارنده دی نیترو فنیک^۱ ترکیب شود، مزایای دیگری را در کنار کاهش پلیمریزاسیون خواهد داشت.

الف) هزینه تصفیه استایرین مونومر توسط استایرکس و در حضور بازدارنده دی نیترو فنیک، بسیار کمتر از هزینه کاهش پلیمریزاسیون به کمک استایرکس است.

ب) تولید NO_x حاصل از سوختن مواد سنگین یکی از مواد نامطلوب در برج است. دی نیترو فنیک به همراه استایرکس، از تولید این ترکیب نامطلوب می‌کاهد. استایرکس علاوه بر کاهش



شکل ۳- محل ورود استایرکس به برج جداکننده استایرین مونومر و اتیل بنزن [۴]

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ماده

بازدارنده DNBP [۳]

مقدار	خواص
زرد تا قهوه ای	رنگ
۱/۲۷۷	چگالی در ۳۰°C
۳۴	نقطه ذوب (°C)
۳۳۲	نقطه جوش (°C)
۳۷	گرانروی در ۴۰°C (cp)
۲۴۰	وزن مولکولی (g/mol)

جدول ۲- مقادیر ثابت C برای آکنه‌هایی با قطر هیدرولیکی معین [۷]

C	قطر هیدرولیکی
۳/۳۸	۰/۳۵۳
۳/۸۷	۰/۵۳۰
۳/۰۹	۰/۷۰۷
۴/۵۰	۱/۴۱۴
۷/۲۶	۲/۸۲۸

ظاهری گاز است [۷].

رابطه استیچمایر: رابطه مهم دیگری که برای محاسبه افت فشار در آکنه‌های منظم و نامنظم ارائه شده رابطه استیچمایر به صورت رابطه (۳) است.

$$\frac{\Delta P_{irr}}{z} = 0.75 f_0 \left(\frac{1-\varepsilon+h}{1-\varepsilon} \right)^{0.666} \frac{a_p}{6(\varepsilon-h)^{4.65}} \rho_u u_v^2 \quad (3)$$

F_0 ضریب اصطکاک^۳ است که بصورت زیر بیان می‌شود [۸].

$$f_0 = \frac{C_1}{Re} + \frac{C_2}{Re^{0.5}} + C_3 \quad (4)$$

مقادیر ثابت C_1 و C_2 و C_3 برای آکنه‌های مورد استفاده در جدول (۳) ارائه شده‌اند.

جدول ۳- ضرایب برخی از پرکننده‌ها جهت محاسبه

ضریب اصطکاک [۱۲]

C_3	C_2	C_1	نوع آکنه
۰/۲۸	۴	۲۴	کره
۲/۰	۸	۴۸	حلقه راشینگ (فلزی)
۷/۵	۱	۶۰	حلقه راشینگ (سرامیکی)
۱/۴	۷	۳۳	حلقه پال
۱/۰	۷	۳۲	نعل اسبی
۰/۲	۴	۱۸	آکنه منظم

۴- کارایی روابط ارائه شده برای محاسبه افت فشار در برجهای آکنده

در این بخش، ابتدا روابط معتبر برای محاسبه افت فشار ارائه می‌شود. در نهایت، افت فشار در دو برج مختلف جداکننده استایرن مونومر و اتیل بنزن با استفاده از این روابط محاسبه می‌شود و با مقایسه نتایج محاسباتی با نتایج واقعی، کارایی دو رابطه بررسی می‌گردد.

۴-۱ روابط ارائه شده برای محاسبه افت فشار

غالباً برای محاسبه افت فشار از دو رابطه معتبر براوو و استیچمایر استفاده می‌گردد.

رابطه براوو: افت فشار در آکنه‌های منظم، توسط رابطه براوو (رابطه ۱) ارائه می‌شود. رابطه مذکور برای آکنه‌های چین خورده که در شرایط زیر نقطه انباشتگی کار می‌کنند، صادق است.

$$\Delta P = \Delta P_0 \left(\frac{1}{1 - CFI^{0.5}} \right)^5 \quad (1)$$

ΔP_0 از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

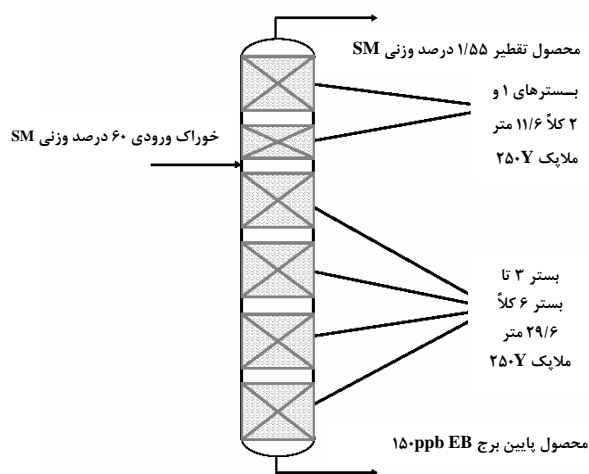
$$\Delta P_0 = \frac{f \rho_G U_g^2}{d_h g_e} \quad (2)$$

جدول (۲) مقدار C را برای آکنه‌های مختلف نشان می‌دهد. θ زاویه شیار^۱ جریان، g_e فاکتور تبدیل، u_1 سرعت ظاهری^۲ مایع و u_g سرعت

3. Friction Factor

1. Corrugation Angle
2. Superficial Velocity

آمده از نرم افزار اسپن (با استفاده از رابطه استیچمایر) را با نتایج حاصل از رابطه هیدرولیکی براو مقایسه می‌کند. چنانکه مشاهده می‌شود، افت فشار واقعی بستر ۴۰ mbar (۱۶/۰۵۹ inH₂O) و افت فشار محاسباتی توسط رابطه استیچمایر ۳۷/۲ mbar (۱۴/۹۳۸ inH₂O) و افت فشار بدست آمده از رابطه براو ۳۸ mbar (۱۵/۲۶۷ inH₂O) است. نتایج محاسباتی بدست آمده از این برج با استفاده از دو رابطه، در حدود یکدیگر بوده و دورابطه با دقت مناسبی افت فشار برج را تخمین می‌زند.



شکل ۴- مشخصات برج جداکننده استایرن مونومر

و اتیل بنزن [۱۳]

برای محاسبه افت فشار در برجهای مورد نظر از دو نرم افزار اسپن^۱ و مطلب استفاده شده است. نرم افزار اسپن برای محاسبه افت فشار از رابطه استیچمایر استفاده می‌کند. برای محاسبه افت فشار بوسیله رابطه براو نیز از نرم افزار مطلب استفاده شده است.

۲-۴ محاسبه افت فشار برج جداکننده استایرن مونومر و اتیل بنزن مورد تحقیق اسپینگل و همکارانش

به منظور افزایش ظرفیت برج آکنده جداکننده استایرن مونومر و اتیل بنزن در آلمان، تحقیقاتی توسط شرکت سولزر^۲ بوسیله اسپینگل^۳ و همکارانش انجام گرفت. ارتفاع بستر آکنه این برج ۴۲ متر و شامل ۶ بستر بود. ۲ بستر به ارتفاع کلی ۱۱/۶ بالای نقطه ریزش خوراک و ۴ بستر به ارتفاع کلی ۲۹/۶ در پایین نقطه ریزش خوراک قرار داشت. فشار بالای برج ۱۰۶ mbar، قطر برج ۶ m و حداکثر مقدار اتیل بنزن در پایین برج حدود ۱۵۰ ppm و حداکثر درصد وزنی S.M. در بالای برج حدود ۱/۵۵ درصد وزنی بود. آکنه‌های مورد استفاده در برج ۲۵۰۷ ملاپک بودند. افت فشار برج مذکور ۴۰ mbar گزارش شده بود [۱۳]. در شکل (۴) نمای کلی برج مورد تحقیق ارائه شده است.

جدول (۴) مقدار پارامترهای لازم دیگر برای محاسبه افت فشار برج توسط دو رابطه براو و استیچمایر را نشان می‌دهد.

افت فشار هر ۶ بستر توسط دو نرم افزار مطلب و اسپن محاسبه شده و نتایج بدست آمده در جدول (۵) ارائه شده‌اند. این جدول نتایج بدست

جدول ۴- پارامترهای لازم^۴ به منظور محاسبه افت فشار بوسیله رابطه براو و استیچمایر برای

برج جداکننده مورد تحقیق اسپینگل و همکاران.

شماره بستر	قطر برج (ft)	شدت جریان گاز (lb/hr)	چگالی گاز (lb/ft ³)	تخلخل آکنه	قطر هیدرولیکی (ft)	گرانروی گاز (cp)	شدت جریان مایع (lb/hr)	چگالی مایع (lb/ft ³)	ثابت C
۱	۱۹/۶۹	۲۵۳۴۹۴	۰/۰۲۵	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۰۰۷	۲۲۵۴۱۰	۵۱/۶۴	۳/۵۶
۲	۱۹/۶۹	۲۴۹۳۷۱	۰/۰۲۶	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۰۰۸	۲۲۱۳۲۹	۵۱/۶۹	۳/۵۶
۳	۱۹/۶۹	۲۶۶۵۱۹	۰/۰۲۷	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۰۰۸	۳۲۱۷۶۹	۵۱/۴۲	۳/۵۶
۴	۱۹/۶۹	۲۶۴۵۹۶	۰/۰۲۸	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۰۰۸	۳۱۹۸۸۸	۵۱/۳۹	۳/۵۶
۵	۱۹/۶۹	۲۶۴۰۲۰	۰/۰۲۹	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۰۰۸	۳۱۹۳۱۲	۵۱/۳۵	۳/۵۶
۶	۱۹/۶۹	۲۶۴۸۹۸	۰/۰۳۱	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۰۰۸	۳۲۰۱۹۰	۵۱/۱۴	۳/۵۶

* - مقادیر پارامترهای هر بستر، توسط نرم افزار اسپن و از طریق وارد کردن داده‌های ورودی بدست آمده است.

1. Aspen
2. Sulzer
3. Spiegel

جدول ۵- افت فشار محاسبه شده بوسیله روابط براوو و استیچمایر برای برج جداکننده مورد تحقیق اشیپگل و همکاران.

مقدار صنعتی (in H ₂ O)	محاسبه افت فشار با رابطه براوو (in H ₂ O)	محاسبه افت فشار با رابطه استیچمایر (in H ₂ O)	شماره بستر
—	۲/۲۶۶	۲/۲۳۷	۱
—	۱/۹۵۲	۱/۹۴۵	۲
—	۳/۰۴۵	۲/۹۶۲	۳
—	۲/۹۰۱	۲/۸۰۷	۴
—	۲/۶۲۵	۲/۵۳۶	۵
—	۲/۴۷۸	۲/۴۵۱	۶
۱۶/۰۵۹	۱۵/۲۶۷	۱۴/۹۳۸	افت فشار کل
—	۴/۹۳	۶/۹۸	مقدار خطا (%)

برای محاسبه افت فشار، مقادیر سایر پارامترهای محاسباتی نیز لازم‌اند. در جدول (۷) برخی از پارامترها ارائه شده‌اند. جدول (۸) مقادیر پارامترهای لازم دیگر برای محاسبه افت فشار برج مذکور توسط دو رابطه براوو و استیچمایر را نشان می‌دهد.

۳-۴ محاسبه افت فشار برج آکنده جداکننده استایرن مونومر و اتیل بنزن پتروشیمی تبریز^۱

درصد ترکیب خوراک ورودی به این برج در جدول (۶) بیان شده است. ستون آخر جدول، درصد پلیمریزه شدن ترکیبات را نشان می‌دهد.

جدول ۶- ترکیب درصد خوراک ورودی به برج جداکننده استایرن مونومر و اتیل بنزن

پارامتر	خوراک (mol. %)	بازدارنده	تشکیل پلیمر
آب	۰/۰۰۶	—	—
استایرن مونومر	۰/۷۲۳	۰/۹۲۱	۰/۰۰۳
اتیل بنزن	۰/۲۳۱	—	۰/۰۰۲
هیدروژن	۰/۰۲۲	—	—
تولون	۰/۰۰۹	—	—
NDBP	۰/۰۰۰	—	—
اتیلن	۰/۰۰۱	—	—
ترکیبات سنگین	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	—
شدت جریان خوراک (kmol/hr)	۱۵۸/۷۴۶	۰/۴۰۶	—

۱. داده‌های مورد ارائه در این تحقیق، داده‌های عملیاتی واحد در بهمن ماه ۱۳۸۵ بوده است.

جدول ۷- مشخصات برج جداکننده استایرن مونومر و اتیل بنزن پتروشیمی تبریز

پارامتر	
مقدار جریان برگشتی (m ³ /hr)	۸۹
نسبت جریان برگشتی	۱۶
افت فشار کل (mmHg)	۲۹۰
دمای جریان برگشتی (°C)	۹۴
نوع آکنه	ملاپک Y ۲۵۰
تعداد بسترها	۷
تعداد بسترهای خوراک	۴
شماره بستر ورودی بازدارنده	۳
ارتفاع معادل هر سینی تئوریک (m)	۰/۳۸۵
قطر برج (m)	۳/۳
معادله حالت	Uniquac

جدول ۸- پارامترهای لازم به منظور محاسبه افت فشار بوسیله رابطه براوو و استیچمایر برای برج جداکننده پتروشیمی تبریز

شماره بستر	قطر برج (ft)	شدت جریان گاز (lb/hr)	چگالی گاز (lb/ft ³)	تخلخل آکنه	قطر هیدرولیکی (ft)	گرانروی گاز (cp)	شدت جریان مایع (lb/hr)	چگالی مایع (lb/ft ³)	ثابت C
۱	۱۰/۸۳	۱۷۷۴۸۳	۰/۰۸۲	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۰۰۷	۱۶۸۴۳۰	۴۹/۵۹	۳/۵۶
۲	۱۰/۸۳	۱۷۵۲۰۵	۰/۰۸۲	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۰۰۸	۱۶۶۱۵۱	۴۹/۶۴	۳/۵۶
۳	۱۰/۸۳	۱۷۱۶۹۸	۰/۰۸۲	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۰۰۸	۱۶۲۷۴۲	۴۹/۷۵	۳/۵۶
۴	۱۰/۸۳	۱۷۹۸۱۱	۰/۰۸۲	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۰۰۸	۲۰۶۶۴۷	۴۹/۷۹	۳/۵۶
۵	۱۰/۸۳	۱۷۹۲۷۷	۰/۰۸۲	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۰۰۸	۲۰۶۱۲۰	۴۹/۷۶	۳/۵۶
۶	۱۰/۸۳	۱۷۹۵۴۵	۰/۰۸۲	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۰۰۸	۲۰۶۳۸۱	۴۹/۷۱	۳/۵۶
۷	۱۰/۸۳	۱۷۹۹۷۷	۰/۰۸۲	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۰۰۸	۲۰۶۸۱۳	۴۹/۶۵	۳/۵۶

رابطه مطلوب تری (رابطه استیچمایر) استفاده کرده است. چنانکه مشاهده می‌شود رابطه براوو نمی‌تواند برای بسترهایی با ارتفاع بالا و افت فشار بالا، تخمین مناسبی از افت فشار واقعی را محاسبه کند و این امر یکی از معایب بزرگ رابطه براوو، در مقایسه با رابطه استیچمایر، است. محدوده استفاده از این دو رابطه در مراجع خاصی به طور غیر مستقیم اشاره شده که از بین آنها می‌توان مراجع [۱۲] و [۱۴] و [۱۵] را نام برد.

نتایج محاسباتی مربوط به هر هفت بستر که با نرم افزارهای آسپن و مطلب بدست آمده اند، در جدول (۹) ارائه شده‌اند. این جدول نتایج بدست آمده از نرم افزار آسپن (با استفاده از رابطه استیچمایر) را با نتایج حاصل از رابطه هیدرولیکی براوو مقایسه می‌کند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که افت فشار محاسبه شده توسط رابطه استیچمایر از دقت بسیار بالاتری در مقایسه با رابطه براوو برخوردار است. بنابراین نرم افزار آسپن برای محاسبه افت فشار برج مذکور از

جدول ۹- افت فشار محاسبه شده بوسیله روابط براوو و استیچمایر برای برج جداکننده پتروشیمی تبریز.

مقدار صنعتی (in H ₂ O)	محاسبه افت فشار با رابطه براوو (in H ₂ O)	محاسبه افت فشار با رابطه استیچمایر (in H ₂ O)	شماره بستر
—	۲/۴۲۶	۳/۰۲۹	۱
—	۲/۳۳۳	۲/۸۴۰	۲
—	۲/۴۶۲	۲/۸۴۲	۳
—	۴/۲۲۲	۶/۴۰۶	۴
—	۴/۰۹۹	۶/۳۰۴	۵
—	۴/۰۲۴	۵/۷۴۰	۶
—	۳/۸۷۲	۶/۱۰۹	۷
۳۶/۱۳۲	۲۳/۴۳۶	۳۳/۲۷	افت فشار کل
—	۳۵/۱۴	۷/۹۲	مقدار خطا (%)

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق، افت فشار دو برج مختلف جداکننده با استفاده از دو رابطه براوو و استیچمایر محاسبه و با مقدار واقعی مقایسه شد. نتایج به دست آمده از محاسبات نشان داد که روابط براوو و استیچمایر، برای برجهایی با افت فشار پایین، قطر بالا و ارتفاع کم بسترهای آکنه (بسترهای آکنه تشکیل دهنده برج ارتفاع کمی داشته باشند)، با دقت بسیار بالایی قادرند تخمین مناسبی از افت فشار واقعی برج را ارائه دهند. برای شرایط دیگر، رابطه استیچمایر پاسخگوست و خطای بکارگیری رابطه براوو بالاست، بطوریکه خطای محاسباتی رابطه براوو برای برج مورد تحقیق اشپیگل (برجهای قطور) ۴/۹۳٪ و برای پتروشیمی تبریز (برجهای کم قطر) برابر ۳۵/۱۴٪ است که مقداری زیادی است. باید گفت مقادیر خطاهای بدست آمده از رابطه استیچمایر برای هر دو برج، بسیار پایین و قابل قبول است (۶/۹۸ و ۷/۹۲).

۶- تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی شرکت پتروشیمی تبریز انجام شده است لذا بدین وسیله از زحمات شرکت مذکور قدردانی می‌گردد.

۷- علائم اختصاری

C	ثابت در رابطه براوو
C ₁ , C ₂ , C ₃	ثابتهای رابطه استیچمایر
d _h	قطر هیدرولیکی آکنه (m)
$Fr = \frac{u_1^2}{d_h g_c}$	عدد بدون بعد گرانشی فرود (-)
$f = 0.171 + \frac{92.7}{Re_g}$	ضریب اصطکاک برای جریان (-)
g _c	فاکتور تبدیل
h	مانند مایع عملیاتی (m ³ /m ³)
P	فشار عملیاتی بالای برج (mmHg)
P _{irr} Δ	افت فشار در بستر تر شده (N/m ²)
$Re_g = \frac{d_h U_g \rho_g}{\mu_g}$	عدد بی بعد رینولدز برای فاز بخار (-)
$U_g = \frac{u_g}{\varepsilon \sin(\theta)}$	سرعت ظاهری فاز گاز (m/s)
U ₁	سرعت ظاهری فاز مایع (m/s)
Z	ارتفاع بستر پر شده (m)
ε	تخلخل (m ³ /m ³)
θ	زاویه تماس (°)
ρ _G	چگالی فاز بخار (Kg/m ³)
μ _G	گرانروی فاز گاز (cp)

- [1] Faessler, P.W, Kalmetz.K., Ng, W. K., Senthil, K., Lim, T. Y., Sloley, A. W., Zygula, T. M.; "Design GuideLines for Distillation Columns in Ethylbenzene and Styrene Monomer Service", Sulzer Chemtech, prepared for Distillation, (2005).
- [2] Cefic Comp, "Styrene Monomer: Environmental, Health AND Safety Guide Lines", (2003).
- [3] chemtura comp., "MSDS-English Product Data Sheet", (2001).
- [4] General Electric Componey, "Styrene Process Treatments", Water & process Tecnologies, (2006).
- [5] Safriet, "Locating and Estimating Air Emissions from source of Styrene", United State Environmental protection agency(EPA), (1994).
- [6] Davidson, B., Shah. M. J., "Simulation of the Catalytic Cracking Process for Styrene Production", simulation and calculation, (1955).
- [7] Fair, J. R., "Absorption, Gas-Liquid Contacting", Hand Book Perry, Section 14, American Institute of Chemical Engineering, (2001).
- [8] Wagner, I., Stichlmair, J., Fair, J. R., "Mass Transfer in Beds of Modern, High-Efficiency Random Packings", Ind. Eng. Chem. Res, 36, 227-237, (1997).
- [9] Sulzer Componey, "Separation Technology for the chemical engineering", (2001).
- [10] Road, P. N., Shirur, T., "Structured Packings for Distillation absorption", Sulzer India.
- [11].Faesler, P., Kolmetz, K, Seng. K. W., Lee, S. H.; "Advanced Fraction Technology For The Olechemical Industry", Sulzer Chemtech; Singapore, (2004).
- [12] "Packed Column design", Makketa, (1992).
- [13] "Successful Revamp with Mellapak", Sulzer Chemtech. Inc, (2006)
- [14] Carillo, F., Martin, A., Rosello, A. "A Shortcut Method for Estimation of structured packings HETP in Distillation", Chem. Eng. Technol, 23, 5, 425-428, (2000).
- [15] Wagner, I., Stichlmair, J., Fair, J. R., "Mass Transfer in Beds of Modern, High-Efficiency Random Packings", Ind. Eng. Chem. Res, 36, 227-237, (1997).