

شبیه سازی جایگزینی دو برج تقطیر پروپان زدا و بوتان زدا واحد الفین پتروشیمی ها با یک برج تقطیر دیوار میانی با نرم افزار Aspen Plus

گلناز ویس کرمی^۱، رهبر رحیمی^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی شیمی، گرایش فرآیندهای جداسازی، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه

سیستان و بلوچستان، سیستان و بلوچستان، ایران

۲. استاد، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، سیستان و بلوچستان، ایران

دریافت: ۹۲/۱۲/۱۲ پذیرش: ۹۳/۲/۲۸

چکیده

تقطیر از رایج ترین روش های جداسازی در صنایع شیمیایی بوده و حدود ۹۵٪ جداسازی مایعات و حدود ۳٪ از کل انرژی مصرفی جهان را به خود اختصاص داده است. در سال های اخیر پیشرفت های زیادی در زمینه افزایش راندمان برج های تقطیر انجام گرفته که در این میان برج های تقطیر پتلیوک و دیوار میانی جایگاه ویژه ای دارند. برج دیوار میانی تا ۲۵٪ کاهش سرمایه اولیه، تا ۳۵٪ کاهش هزینه عملیاتی و تا ۴۰٪ کاهش در فضای مورد نیاز واحد را سبب شده و نیز نشر گازهای گلخانه ای را کاهش می دهد. در این مقاله با استفاده از نرم افزار Aspen Plus امکان جایگزینی دو برج معمولی پروپان زدا و بوتان زدا در واحد های پتروشیمی با یک برج تقطیر دیوار میانی به منظور کاهش مصرف انرژی شبیه سازی و بررسی شده است. نتیجه شبیه سازی مطلوب بوده و قابل پیشنهاد است.

کلمات کلیدی: تقطیر، برج دیوار میانی، برج پتلیوک، چیدمان برج های تقطیر، باز آرای

مقدمه

تقطیر به عنوان یکی از اساسی ترین روش های جداسازی که ۹۵٪ جداسازی مایعات به این روش انجام می شود سهمی حدود ۳٪ از انرژی مصرفی کل جهان را در اختیار دارد [۱]. امروزه رقابت صنایع بر سر بالا بردن خلوص محصولات و به طور همزمان کاهش هزینه ها می باشد. این هزینه ها شامل سرمایه اولیه و هزینه های جاری از جمله هزینه تامین انرژی است. از طرفی امروزه فرآیندها به سمتی رفته که سازگار با محیط زیست نیز باشند. بنابراین رقابت کنونی بر سر طراحی برج های تقطیر با خلوص بالا،

* rahimi@hamoon.usb.ac.ir

انعطاف پذیر، مقاوم و همچنین بهینه از نقطه نظر اقتصادی است [۲]. برج تقطیر دیوار میانی^۱ نمونه ای از ستون های زوج گرمایی^۲ است که به علت بالا بودن خلوص محصولات، کاهش در هزینه ها و نیز کاهش نشر گازهای گلخانه ای در دهه های اخیر بسیار از طرف صنایع مورد توجه قرار گرفته است.

در واقع می توان گفت برج دیوار میانی همان برج پتلیوک^۳ می باشد. طرحواره ای از این برج ها در شکل ۱ نشان داده شده است. هر دوی این برج ها تنها یک چگالنده (کندانسور) و یک باز جوش آور (ریبویلر) دارند. با این تفاوت که در برج دیوار میانی پیش جداساز و برج اصلی در یک بدنه قرار دارند. اگر چه در برج های دیوار میانی پیش جداساز^۴ و برج اصلی در یک پوسته قرار گرفته و یک دیواره بین این دو بخش است اما برج دیوار میانی و برج پتلیوک به لحاظ ترمودینامیکی با یکدیگر معادل هستند و تنها اختلاف بین این دو مدل محدود به انتقال حرارت از بدنه برج می شود که اگر این مقدار ناچیز فرض شود این دو مدل را می توان برابر دانست [۳]. خوراک برج دیوار میانی به طور معمول سه جزئی و یا چهار جزئی است. در این برج ها خوراک به سه محصول با درصد جداسازی بالا تقطیر می شود. از آن جا که در این برج ها تنها یک باز جوش آور وجود دارد خوراک تنها یک بار به جوش آورده می شود؛ بنابراین تنش گرمایی کاهش یافته و این برای خوراکی که به دمای بالا حساس است، بسیار مناسب می باشد. این امر به خصوص در مورد مواد حساس به گرما و گران قیمت تر از قبیل مواد دارویی از اهمیت بیش تری برخوردار است [۴]. تاکنون تعداد بسیار زیادی از برج های دیوار میانی در سراسر دنیا ساخته و نصب شده است. ساخت این برج ها به دلیل پیچیدگی های مکانیکی و کنترل نسبت های برگشتی از دشواری های زیادی برخوردار است. شرکت هایی از قبیل BASF و Montz قادر به طراحی، ساخت، نصب و بهره برداری از این برج ها هستند. شرکت BASF تاکنون و به تنهایی بیش از ۸۰ عدد برج دیوار میانی را به بهره برداری رسانده است [۵]. از پژوهش های دانشگاهی در ایران نیز می توان به پایان نامه های سودمند [۶]، البرزی [۷] و باژوند [۸] اشاره نمود.

در این مقاله به مطالعه، مدل سازی و شبیه سازی برج های دیوار میانی به روش میان بر با استفاده از نرم افزار Aspen Plus پرداخته شده و امکان جایگزینی برج های تقطیر معمولی در پتروشیمی ها با این نوع از برج ها سنجیده شده است. نتایج شبیه سازی حاکی از آن است که این جایگزینی به لحاظ صرفه جویی در هزینه ها، کاهش مصرف انرژی و سازگاری با محیط زیست می تواند در حد بسیار زیادی مورد توجه قرار گیرد.

مدل سازی برج دیوار میانی

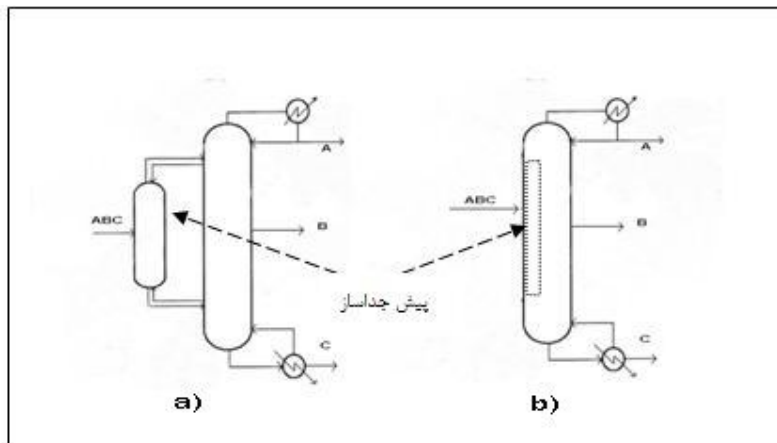
مدل سازی برج دیوار میانی از این لحاظ مورد توجه می باشد که تا کنون در بسته های نرم افزاری موجود مدل استاندارد برای این برج ارائه نشده است. هر چند البرزی [۷] کوشش نموده است که مدلی از این برج ها را ارائه و با برنامه MATLAB آن را حل نماید اما فرضیات اعمال شده فراگیری مدل را محدود کرده است.

¹Divided Wall Column

²Thermally coupled

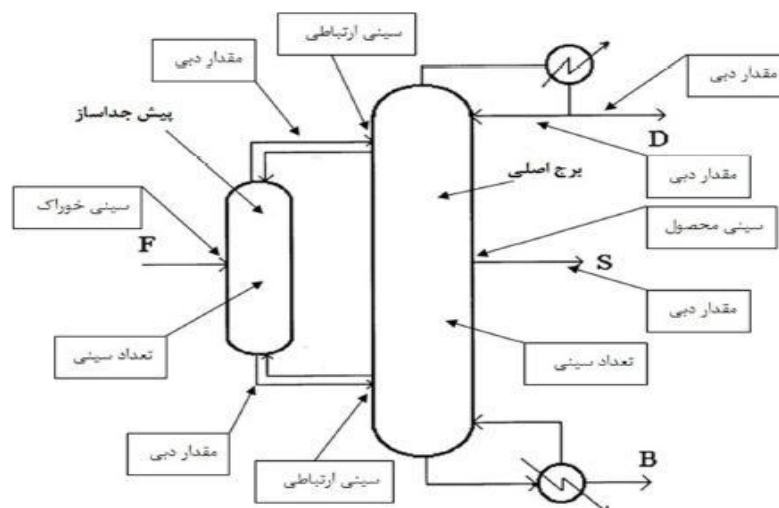
³Petlyuk

⁴Prefractionator



شکل ۱. الگوهای برج های زوج گرمایی: (a) برج پتلیوک با پیش جداساز مجزا، (b) برج دیوار میانی همراه با پیش جداساز داخلی [۹].

در مقدمه توضیح داده شد که برج دیوار میانی به لحاظ ترمودینامیکی معادل با برج پتلیوک می باشد. بنابراین به دست آوردن پارامترهای طراحی برج پتلیوک و شبیه سازی آن معادل با طراحی برج دیوار میانی است. در طراحی برج پتلیوک درجه آزادی برابر با ۱۱ می باشد که نشان از پیچیدگی طراحی این نوع برج دارد [۱۰]. شکل ۲ پارامترهای مورد نیاز برای طراحی برج پتلیوک را نشان می دهد. برای به دست آوردن این ۱۱ پارامتر و شبیه سازی برج پتلیوک باید از مدل دیگری استفاده کرد. بدین منظور مدل ساده تری از این نوع برج ارائه داده شده است که به نام مدل برج های سه گانه شناخته می شود. در این مدل با توجه به شکل ۳ قسمت پیش جداساز، یک برج معمولی است و ستون اصلی به دو برج معمولی مجزا تقسیم می شود [۱۱]. محصول پایین برج دوم و محصول بالایی برج سوم با هم مخلوط شده و محصول میانی برج را تشکیل می دهند [۱۲].



شکل ۲. متغیرهای طراحی برای شبیه سازی برج پتلیوک [۱۳].

برای این که بتوان مدل برج های سه گانه را برای مدل سازی برج دیوار میانی مورد استفاده قرار داد باید دو شرط رعایت گردد؛ اول آن که باید دبی بخار در قسمت عاری ساز برج دوم با دبی بخار در قسمت غنی ساز برج سوم برابر شود. در این حالت بار حرارتی جوش آور برج دوم با بار حرارتی چگالنده برج سوم برابر می شود [۱۴]. بنابراین در محل سینی محصول میانی برج دیوار میانی تبادل خالص حرارتی با بیرون وجود ندارد.

از شرط دوم برای سادگی ساختار برج استفاده شده است. این شرط فرض را بر این قرار می دهد که تعداد سینی های دو طرف دیواره در برج دیوار میانی با هم برابر هستند. این فرض برای سادگی ساخت برج به کار می رود و از نظر طراحی فرآیند لزومی ندارد که همیشه برقرار باشد. فرض فوق عبارت است از:

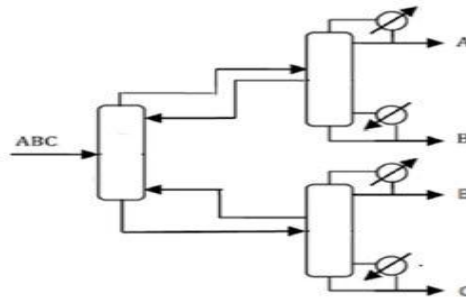
$$N_1 = S_r + R_r$$

N_1 : تعداد سینی های برج اول

S_r : تعداد سینی های قسمت عاری سازی در برج دوم

R_r : تعداد سینی های قسمت غنی سازی در برج سوم

شبیه سازی برج دیوار میانی از شبیه سازی برج های سه گانه آغاز خواهد شد. شبیه سازی برج های سه گانه ابتدا به روش میانبر انجام می گیرد که تخمینی اولیه از نتایج را به دست می دهد. سپس مدل برج های سه گانه با داشتن تخمین های اولیه به صورت دقیق شبیه سازی می شود. در نهایت از نتایج شبیه سازی دقیق مدل برج های سه گانه برای شبیه سازی برج پتلیوک استفاده می شود.



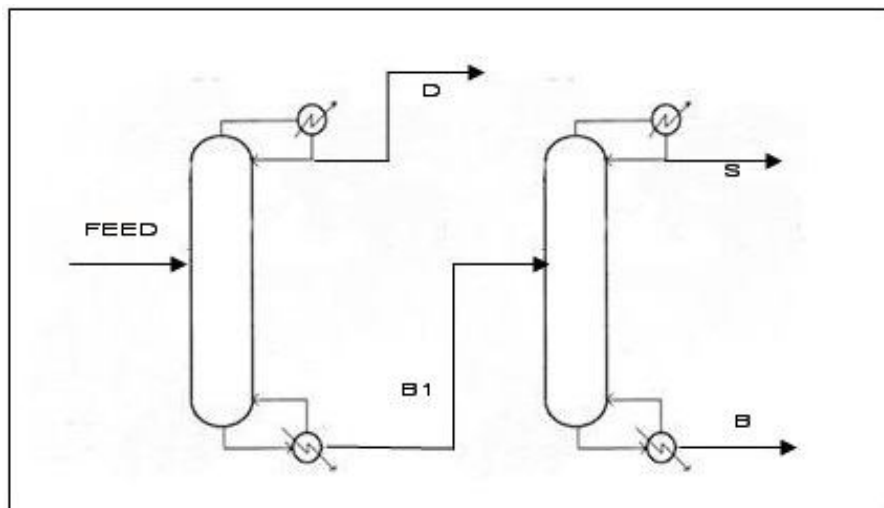
شکل ۳. مدل برج های سه گانه [۱۵].

شبیه سازی توسط نرم افزار Aspen Plus

در جداسازی به روش تقطیر برای جدا نمودن خوراک سه جزئی احتیاج به دو برج می باشد که چینش این برج ها به روش های متعددی امکان پذیر است. اما تعداد چینش های متفاوت برای جداسازی یک ترکیب n جزئی از معادله (۱) به دست می آید [۱۶]. با قرار دان n برابر با ۳ برای این ترکیب دو نوع چیدمان متفاوت به دست می آید.

$$N_s = \frac{[2(n-1)]!}{n!(n-1)!} \quad (1)$$

بنابراین برای جداسازی یک ترکیب سه جزئی چیدمان های متفاوت وجود دارد. چیدمان دو برج پروپان زدا و بوتان زدا موجود در واحد الفین به صورت مستقیم می باشد که این چیدمان در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. دو برج معمولی پروپان زدا و بوتان زدا موجود در واحد الفین

در طی فرآیند صورت گرفته در این برج ها خوراک که تماما شامل هیدروکربن ها می باشد ابتدا وارد برج پروپان زدا شده و هیدرو کربن های سبک تر از C_4 از بالای برج خارج می شوند. محصول پایینی که شامل هیدرو کربن های سنگین تر موجود در خوراک می باشد به عنوان خوراک وارد برج بوتان زدا می شود. در طی فرآیندی که در برج بوتان زدا صورت می گیرد محصول بالاسری شامل هیدروکربن های سبک تر از C_5 می باشد و هیدروکربن های سنگین تر نیز محصول پایینی برج را تشکیل می دهند. به منظور تایید مدل، کیفیت خوراک و مشخصات جریانات موجود در این دو برج از دو برج پروپان زدا و بوتان زدا واحد الفین پتروشیمی سازند استخراج گردیده اند. این مقادیر در جدول ۱ نشان داده شده است.

انتخاب مدل ترمودینامیکی مناسب یکی از مهم ترین پارامترها در موفقیت شبیه سازی فرآیند است. گستره فشار و دما، نوع ترکیبات و نوع مواد موجود در محلول، قطبی و غیر قطبی بودن مواد و تعداد فازهای موجود در فرایند از مهم ترین پارامتر هایی است که باید در انتخاب معادلات ترمودینامیکی در نظر گرفته شوند. برای شبیه سازی دو برج پروپان زدا و بوتان زدا با توجه به غیر قطبی بودن و هیدروکربنی بودن مواد موجود در خوراک، مدل های Peng-Robinson و SRK بررسی شدند و در نهایت با توجه به نزدیکی بیش تر داده های طراحی و مدل Peng-Robinson این مدل برای شبیه سازی انتخاب شد [۱۷]. با انتخاب مدل ترمودینامیکی مناسب شبیه سازی برج دیوار میانی برای جایگزینی با این دو برج بررسی گردید.

در جدول ۲ خلوص مورد نظر محصولات در دو برج با توجه به داده های واحد الفین پتروشیمی نشان داده شده است. این خلوص با درصد تغییرات بسیار کم نیز قابل قبول می باشد.

جدول ۱. اطلاعات خوراک و محصولات دو برج پروپان زدا و بوتان زدا (پارامترها در شکل ۴ داده شده اند)

شدت جریان جرمی (kg/hr)					اجزاء موجود در خوراک
Feed	D	B ₁	S	B	
۰/۱	۰/۱	۰	۰	۰	C ₇ H ₁₆
۰/۹	۰/۹	۰	۰	۰	C ₇ H ₁₆
۷	۷	۰	۰	۰	C ₇ H ₁₆
۵۸۴/۸	۵۸۴/۸	۰/۸	۰/۴	۰	C ₇ H ₁₆ (متیل استیلن)
۳۸۹/۸	۳۸۹/۸	۰	۰	۰	C ₇ H ₁₆ (پروپان دی ان)
۱۵۶۷۴/۱	۱۵۶۷۴	۰	۰	۰	C ₇ H ₁₆
۱۰۲۷	۱۰۲۷	۰	۰	۰	C ₇ H ₁₆
۹۹/۹	۰	۹۹/۹	۸۷/۴	۱۲/۵	C ₇ H ₁₆ (وینیل استیلن)
۵۶۴۹/۱	۴/۱	۵۶۴۴/۹	۵۶۴۰/۵	۴/۴	C ₇ H ₁₆ (۳ و ۱ بوتادیان)
۴۰۷۲/۹	۴/۷	۴۰۶۸/۲	۴۰۶۶/۹	۱/۳	C ₇ H ₁₆
۹۶/۶	۰	۹۶/۶	۹۶/۳	۰/۲	C ₇ H ₁₆
۵۴۱۶	۰	۵۴۱۵/۹	۹/۹	۵۴۰۶	C ₅ +

جدول ۲. خلوص مورد نظر محصولات دو برج پروپان زدا و بوتان زدا در داده های پتروشیمی

جزء کلیدی موجود در جریان	جزء کلیدی مورد نظر جزء کلیدی موجود در جریان (درصد جرمی)	جریان محصول
C ₇ H ₁₆	۰/۸۷۵	محصول بالا سری برج پروپان زدا
C ₇ H ₁₆	۰/۴۱	محصول بالاسری برج بوتان زدا
C ₅ +	۰/۹۹۲	محصول پایینی برج بوتان زدا

برای طراحی مقدماتی و به دست آوردن تعداد مراحل جداسازی از روش میانبر^۱ استفاده می شود [۱۸]. متداول ترین روش میان بر برای به دست آوردن تعداد سینی ها و حداقل مایع برگشتی، روش فنسک-آندروود-گیلیند^۲ می باشد [۱۹]. در این روش قسمت اعظم یکی از مواد میانی خوراک در بالا و مقدار کمی

¹Shortcut method

²Fenske-Underwood-Gilliland

از آن در پایین وجود دارد که به آن سازنده کلیدی سبک^۱ گفته می شود. جزء دیگری که قسمت اعظم آن در پایین و مقدار کمی در بالا وجود دارد نیز سازنده کلیدی سنگین^۲ نامیده می شود. بر اساس روش میان بر تمام مواد سبک تر از جزء کلیدی سبک در محصول بالاسری و تمام مواد سنگین تر از جزء کلیدی سنگین در محصول پایینی حضور دارند [۱۶]. فرارایت نسبی، نسبت به سازنده کلیدی سنگین محاسبه می شود و به صورت معادله ۲ بیان می شود.

$$\alpha_j = \frac{m_j}{m_{HK}} \quad (2)$$

m ضریب تعادلی، j نشانگر هر سازنده و HK سازنده کلیدی سنگین است؛ بنابراین α_{HK} برابر یک می باشد. در نسبت برگشتی کامل^۳ کم ترین مراحل تعادلی بین دو سازنده کلیدی یک مخلوط چند جزئی صورت می گیرد. معادله فنسک بر طبق رابطه ۳ با فرض شماره گذاری سینی های درون برج از پایین به بالا و فرض ثابت بودن فرارایت نسبی در تمام طول برج این مقدار را به دست می دهد.

$$N_{min} = \frac{\log \left\{ \left[\frac{x_{i,n+1}}{x_{i,1}} \right] \left[\frac{x_{j,1}}{x_{j,n+1}} \right] \right\}}{\log \alpha_{i,j}} \quad (3)$$

در این معادله i سازنده کلیدی سبک و j سازنده کلیدی سنگین است. همان طور که دیده می شود تعداد حداقل مراحل تعادلی مستقل از شرایط خوراک بوده و فقط به فرارایت نسبی دو سازنده کلیدی وابسته است. با استفاده از حداقل تعداد مراحل به دست آمده توسط معادله فنسک توزیع سازندگان غیر کلیدی توسط معادلات (۴) و (۵) محاسبه می شوند. در این معادلات اندیس i برای یک سازنده غیر کلیدی و اندیس r برای جزء کلیدی سنگین به کار می رود و α_m نیز میانگین هندسی مقدار α در بالا و پایین برج است.

$$w_i = \frac{f_i}{1 + \left(\frac{d_r}{w_r}\right) (\alpha_{i,r})^{N_{min}}} \quad (4)$$

$$d_i = \frac{f_i \left(\frac{d_r}{w_r}\right) (\alpha_{i,r})^{N_{min}}}{1 + \left(\frac{d_r}{w_r}\right) (\alpha_{i,r})^{N_{min}}} \quad (5)$$

حداقل مایع برگشتی بر اساس درجه جدایی بین دو سازنده کلیدی استوار است. مقدار حداقل مایع برگشتی یک حد پایین برای مایع برگشتی است که برج در کم تر از این مقدار نمی تواند کار کند زیرا در این حالت تعداد مراحل مورد نیاز بی نهایت می شود. معادله آندروود برای پیدا کردن میزان کمینه جریان برگشتی به صورت معادله (۶) بیان می شود.

$$\sum \frac{\alpha_{i,r} z_{i,f}}{\alpha_{i,r} - \theta} = 1 - q \quad (6)$$

در این معادله q شرایط گرمایی خوراک است که از معادله (۷) محاسبه می شود.

$$q = \frac{h_{sat,vap} - h_f}{h_{sat,vap} - h_{sat,liq}} \quad (7)$$

¹Light key

²Heavy key

³Total reflux

معادله برای کلیه اجزاء i در خوراک نوشته می شود. θ در این معادله ریشه آندروود خوانده می شود. تعداد ریشه ها مورد نیاز برای θ یکی کم تر از تعداد سازندگان موجود بین دو سازنده کلیدی است. از حل همزمان معادلات نوشته شده برای کلیه اجزاء میزان مایع برگشتی کمینه به دست می آید.

مقدار مایع برگشتی واقعی و تعداد مراحل نظری باید بیش تر از مقدار حداقل به دست آمده باشد. میزان مایع برگشتی واقعی به صورت ضربی از مقدار مایع برگشتی مینیمم و تعداد مراحل نظری مربوط به وسیله یک معادله تجربی تعیین می شود. موفق ترین و ساده ترین روش تصحیح تجربی استفاده از منحنی ارائه شده توسط گیلیند و رابطه (۸) - رابطه مولوکانف^۱ - است [۱۶].

$$Y = \frac{N-N_{min}}{N+1} = 1 - \exp \left[\left(\frac{1+54/4X}{11+117/2X} \right) \left(\frac{X-1}{X^{.5}} \right) \right] \quad (8)$$

در این معادله، $X = \frac{R-R_{min}}{R+1}$ می باشد.

برای پیدا کردن موقعیت سینی خوراک یک تقریب خوب و معقول، استفاده از معادله تجربی کربراید^۲ (معادله ۹) است [۱۶].

$$\frac{N_R}{N_S} = \left[\left(\frac{z_{HK,F}}{z_{LK,F}} \right) \left(\frac{x_{LK,F}}{x_{HK,D}} \right)^2 \left(\frac{W}{D} \right) \right]^{0/206} \quad (9)$$

در طراحی برج های سه گانه باید دقت داشت که همواره دو شرط ذکر شده برای این مدل سازی رعایت شوند. نتایج نهایی طراحی اولیه بر اساس مدل سه ستون و با استفاده از روش میانبر در جدول ۳ آورده شده است. از نتایج به دست آمده توسط روش میانبر برای شبیه سازی دقیق برج های سه گانه به روش سینی به سینی^۳ استفاده می شود. در روش سینی به سینی تمام سینی ها به عنوان سیستم در نظر گرفته می شوند و حول آن ها موازنه های جرم و انرژی نوشته می شود که در نتیجه تابع توزیع دما، فشار و غلظت در دو فاز مایع و بخار به دست می آید. در این حالت نیز رعایت دو شرط گفته شده لازم است.

جدول ۳. نتایج به دست آمده از شبیه سازی برج های سه گانه با روش میانبر

برج سوم	برج دوم	برج اول (برج پیش جداساز)	
۰/۹۹۸۲	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۸	بازیابی جزء سبک
۰/۰۰۰۰۱	۰/۲۳۵	۰/۰۰۰۰۱	بازیابی جزء سنگین
۱/۱۹	۰/۲۳	۰/۲۶	حداقل نسبت جریان برگشتی
۱۹/۸	۱۸/۵	۱۱/۸	حداقل تعداد مراحل
۲/۴	۰/۵	۰/۴	نسبت جریان برگشتی واقعی
۳۰	۳۴	۲۵	تعداد مراحل واقعی
۱۹	۵	۱۳	سینی خوراک

¹Molokanov

²Kirkbride

³Tray by Tray

پس از شبیه سازی سینی به سینی مدل برج های سه گانه نتایج به دست آمده برای شبیه سازی برج پتلیوک استفاده می شود. از جمله اطلاعات به دست آمده در شبیه سازی سینی به سینی تخمین دمای سینی های برج می باشد که برای شبیه سازی برج پتلیوک استفاده می شود. برج پتلیوک دارای دو برج پیش جداساز و اصلی می باشد (شکل ۱.a). برج ۱ به عنوان برج اصلی در نظر گرفته می شود. این برج دارای ۶۳ مرحله تعادلی می باشد و چون محصول به صورت مایع است، چگالنده به صورت کامل انتخاب می شود. برای تکمیل شبیه سازی این برج دو مشخصه ی دیگر لازم است که از میزان نسبت جریان برگشتی و مقدار محصول بالایی استفاده می شود. این اطلاعات نیز از مدل سه ستون به دست آمده اند. برج ۲ یا پیش جداساز دارای ۲۵ مرحله تعادلی می باشد. این برج جریان جانبی، چگالنده و جوش آور ندارد. خوراک وارد سینی شماره ۱۳ برج پیش جداساز می شود و محصول میانی نیز به صورت مایع از سینی شماره ۳۴ برج اصلی خارج می شود. این اطلاعات نیز از شبیه سازی مدل برج های سه گانه به دست می آیند. همان طور که گفته شد برج پتلیوک دارای چهار جریان داخلی است که میزان این چهار جریان و مکان ورود و خروج آن ها نیز باید مشخص گردند. این اطلاعات که از مدل برج های سه گانه به دست آمده اند عبارتند از:

- ۱) جریان بخار بالایی پیش جداساز که وارد مرحله ۴ برج اصلی می شود.
 - ۲) جریان پایینی مایع پیش جداساز که وارد مرحله ۵۳ برج اصلی می شود.
 - ۳) جریان مایع برج اصلی که از مرحله ۴ برج اصلی خارج و وارد مرحله اول برج پیش جداساز می شود که مقدار آن معادل دبی جریان برگشتی در برج پیش جداساز در مدل برج های سه گانه می باشد.
 - ۴) جریان بخار برج اصلی که از مرحله ۵۳ برج اصلی خارج و وارد مرحله ۲۵ برج پیش جداساز که مقدار آن نیز برابر با جریان بخار بالا رونده^۱ مدل برج های سه گانه می باشد.
- پس از شبیه سازی برج پتلیوک باید حالت بهینه عملکرد این برج که در آن دو پارامتر خلوص محصولات و بار حرارتی روی باز جوش آور و چگالنده در بهترین حالت خود قرار دارند تعیین گردد. بدین منظور باید مقدار جریان برگشتی در حالت بهینه عملکرد برج یافته شود. در جدول ۴ با استفاده از شبیه سازی نرم افزاری، این مقادیر و بهترین مقدار انتخاب شده از میان آن ها نمایش داده شده است. میزان جریان برگشتی بهینه ۱/۹۷ است. پس از تعیین مقدار بهینه تعداد مراحل، شبیه سازی انجام می شود.

بحث و بررسی نتایج

بررسی غلظت سازنده های کلیدی در شبیه سازی دو برج معمولی و برج پتلیوک در تقطیر، تفاوت در نقطه جوش و فراریت نسبی باعث می شود که غلظت اجزا در سینی ها متفاوت باشد. بررسی غلظت سازنده ها روی سینی ها از این جهت می تواند مفید باشد که در غلظت بیشینه یک سازنده می توان یک جریان جانبی از آن سازنده را از سینی مربوطه خارج نمود. بنابراین غلظت سازنده های کلیدی

¹Boil up

که عبارتند از C_2H_6 ، C_2H_4 و C_2H_2 در دو برج پروپان زدا و بوتان زدای معمولی و نیز در برج پتلیوک ارائه و بررسی می شوند.

جدول ۴. اثر میزان جریان برگشتی بر خلوص محصولات و میزان بار حرارتی چگالنده و جوش آور و انتخاب مناسب ترین میزان جریان برگشتی از آن میان برای ادامه شبیه سازی

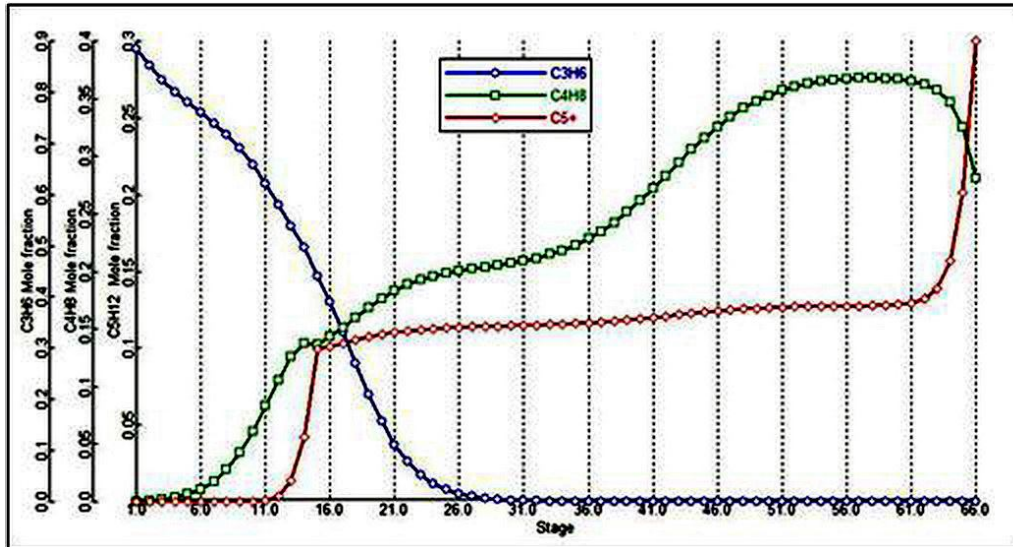
میزان جریان بازگشتی	خلوص جزء سبک (%)	خلوص جزء میانی (%)	خلوص جزء سنگین (%)	بار حرارتی جوش آور (مگا وات)	بار حرارتی چگالنده (مگا وات)
۱/۳	۰/۸۲	۰/۳۱۳	۰/۸۱۱	۱/۳	۴/۲
۱/۴	۰/۸۳۲	۰/۳۳۶	۰/۸۷۳	۱/۵	۴/۳
۱/۵	۰/۸۴۳	۰/۳۵۶	۰/۹۳۱	۱/۷	۴/۵
۱/۶	۰/۸۵۴	۰/۳۷۲	۰/۹۷۳	۱/۹	۴/۷
۱/۷	۰/۸۶۵	۰/۳۸۲	۰/۹۸۷	۲/۲	۴/۹
۱/۸۱	۰/۸۷	۰/۳۹	۰/۹۹	۲/۴۷	۵/۱
۱/۹۷*	۰/۸۷۱	۰/۴۰۹	۰/۹۹۲	۲/۵۵	۵/۳۹
۲/۱۴	۰/۸۷۱	۰/۳۹	۰/۹۹۲	۳	۵/۷
۲/۲	۰/۸۷۱	۰/۴۰۳	۰/۹۹۲	۲/۴	۵/۸
۲/۳	۰/۸۷۱	۰/۴۰۴	۰/۹۹۲	۲/۵۴	۶
۲/۴۱	۰/۸۷۱	۰/۴۰۶	۰/۹۹۲	۲/۷	۶/۲
۲/۵	۰/۸۷۱	۰/۴۰۷	۰/۹۹۲	۲/۸۸	۶/۳۶
۲/۷۳	۰/۸۷۱	۰/۴۰۹	۰/۹۹۲	۳/۲۸	۶/۷۸
۲/۸۳	۰/۸۷۱	۰/۴۰۹	۰/۹۹۲	۲/۴۵	۶/۹۶
۳/۰۱	۰/۸۷۱	۰/۴۰۹	۰/۹۹۲	۳/۷۸	۷/۳۱

* داده های استفاده شده در شبیه سازی

ابتدا غلظت سازنده ها را در دو برج معمولی بررسی می کنیم. در برج پروپان زدا C_2H_6 جزء سازنده کلیدی سبک می باشد که از بالای برج خارج می شود. بنابراین انتظار می رود که غلظت آن در بالای برج بیش تر باشد. همان طور که در شکل ۵ دیده می شود غلظت آن در بالای برج به مراتب بیش تر از پایین برج است. در این برج C_2H_6 سازنده کلیدی میانی است و دارای ضریب فراریت متوسط است. غلظت این جزء از بالا به پایین برج افزایش می یابد و در نهایت جزء C_2H_2 سازنده کلیدی سنگین می باشد و به عنوان سازنده سنگین در سینی های پایینی برج غلظت بیش تری دارد. غلظت این جزء از بالا به پایین برج به صورت صعودی است و به دلیل این که جزء غیر فرار است از پایین برج خارج می شود.

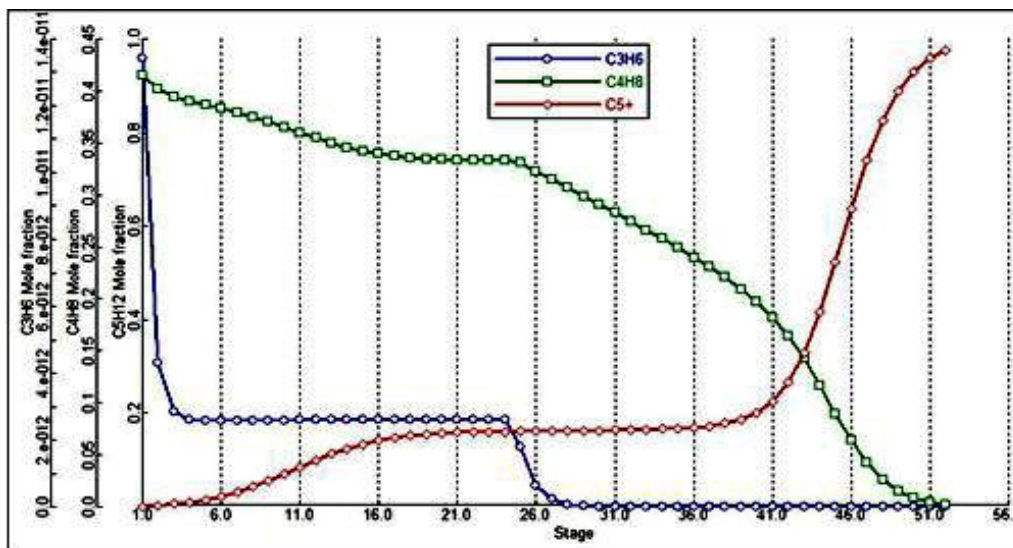
در مورد برج بوتان زدا همان طور که در شکل ۶ دیده می شود می توان گفت میزان C_2H_6 در خوراکی که وارد برج بوتان زدا می شود بسیار کم است و همان مقدار کمی هم که وارد برج دوم می شود به سمت بالای برج رفته و غلظت آن در سینی های پایینی برج تقریباً به صفر می رسد. از طرفی این خوراک دارای میزان

بسیار زیادی از C_7H_8 می باشد. این سازنده به سمت بالای برج حرکت کرده و میزان آن در سینی های بالایی برج زیاد بوده تا در محصول بالایی برج به میزان مطلوب خواسته شده برسد؛ ولی میزان آن در سینی های پایین کاهش یافته و به صفر می رسد و تقریباً تمامی C_6+ موجود در خوراک وارد محصول پایینی برج بوتان زدا می شود و در سینی های بالایی برج میزان این جزء به صفر می رسد.



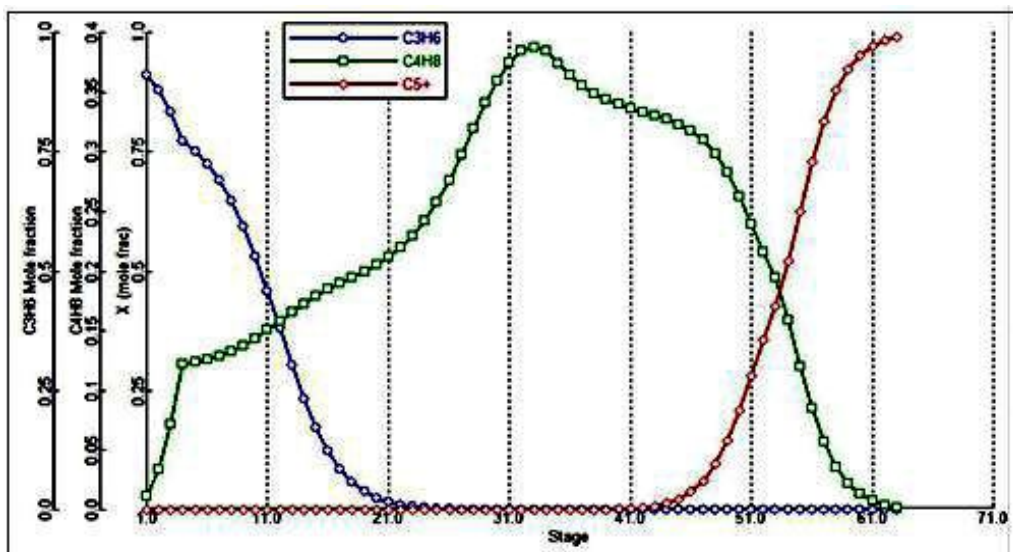
شکل ۵. تغییرات غلظت C_3H_6 ، C_4H_6 ، C_7H_8 و C_6+ در برج پروپان زدا حاصل از شبیه سازی برج های معمولی

اکنون غلظت سه جزء کلیدی در برج پتلیوک شبیه سازی شده، برای مدل برج دیوار میانی بررسی می شود.



شکل ۶. تغییرات غلظت C_3H_6 ، C_4H_6 ، C_7H_8 و C_6+ در برج بوتان زدا حاصل از شبیه سازی برج های معمولی

شکل ۷ توزیع غلظت سه جزء کلیدی C_7H_8 ، C_7H_6 و C_8^+ را در برج پتلیوک نشان می دهد. در این برج C_7H_8 به طور طبیعی به دلیل سبک تر بودن به سمت بالای برج حرکت کرده و میزان آن در سینی های بالای برج به میزان مطلوب رسیده و در محصول بالاسری خارج می شود و هر چه به سمت پایین برج حرکت می کنیم غلظت این جزء کم شده تا به صفر می رسد. C_7H_8 از سینی های میانی برج گرفته می شود؛ بنابراین طبیعتاً میزان غلظت این جزء در سینی های میانی به بیشینه خود می رسد و در سینی های بالایی و پایینی برج به سمت صفر میل می کند. اجزاء C_8^+ به عنوان ماده سنگین در برج به سمت سینی های پایینی برج حرکت کرده تا به غلظت خواسته شده در پایین ترین سینی می رسند. اما میزان آن ها در سینی های بالایی برج کم شده تا به صفر می رسد.



شکل ۷. تغییرات غلظت C_7H_8 ، C_7H_6 و C_8^+ در برج اصلی پتلیوک حاصل از شبیه سازی

مقایسه خلوص مورد نظر سازندگان کلیدی

جدول ۵ خلوص مورد نظر سازندگان کلیدی برج دیوار میانی با خلوص مطلوب در اجزاء کلیدی در چینش دو برج معمولی را جهت مقایسه نشان می دهد.

جدول ۵. مقایسه خلوص سازندگان کلیدی حاصل از شبیه سازی چیدمان دو برج معمولی و برج پتلیوک

برج دیوار میانی	چینش دو برج معمولی	خلوص مورد نظر (جزء جرمی)
۰/۸۷۱۱	۰/۸۸۰۰	C_7H_6
۰/۴۰۱	۰/۴۱۰	C_7H_8
۰/۹۹۲۵	۰/۹۹۳۰	C_8^+

چنان که از جدول مشخص است خلوص سازندگان کلیدی تطابق خوبی با خلوص مطلوب واحد پتروشیمی (جدول ۲) دارد.

مقایسه مقدار مصرف انرژی

یکی از اساسی ترین مزایای برج دیوار میانی صرفه جویی در میزان مصرف انرژی است. جدول ۵ میزان بار حرارتی چگالنده و جوش آور در برج دیوار میانی را با مجموع بار حرارتی دو چگالنده و دو جوش آور در چینش مستقیم دو برج معمولی پروپان زدا و بوتان زدا و واحد پتروشیمی مقایسه می کند.

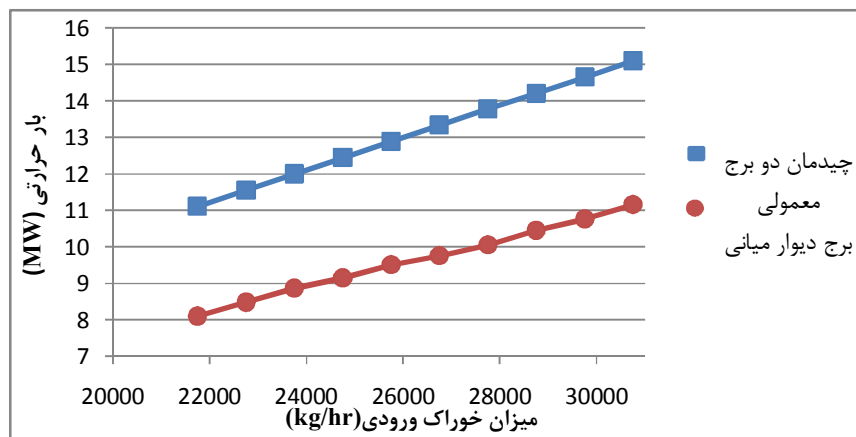
جدول ۶. مقایسه میزان مصرف انرژی حاصل از شبیه سازی چیدمان دو برج معمولی و برج پتلیوک

بار حرارتی (مگاوات)	چینش دو برج معمولی	برج دیوار میانی
چگالنده	۶/۰۳	۵/۳۹
جوش آور	۵/۰۴	۲/۲۱
کل بار (مگاوات)	۱۱/۰۷	۸/۱
میزان صرفه جویی (%) ۲۶/۸		

جدول ۶ نشان می دهد که استفاده از برج پتلیوک یا دیوار میانی باعث صرفه جویی ۲۶/۸۲ درصدی در مصرف انرژی می شود.

اثر افزایش میزان خوراک ورودی در چیدمان دو برج معمولی و برج پتلیوک

همان طور که در جدول ۷ نشان داده شده است با افزایش میزان خوراک ورودی به برج های تقطیر از ۲۱۷۵۳ تا ۲۰۷۵۲ کیلوگرم در ساعت میزان بار حرارتی روی چگالنده و جوش آور افزایش می یابد؛ اما با افزایش میزان خوراک ورودی به برج ها همواره بار حرارتی چگالنده و باز جوش آور برج پتلیوک نسبت به چیدمان دو برج معمولی با دو چگالنده و دو باز جوش آور از میزان کم تری برخوردار است که این امر موجب صرفه جویی ۲۶٪ تا ۲۷٪ ای در مصرف انرژی گردیده است. شکل ۸ میزان افزایش در مصرف انرژی با افزایش میزان خوراک ورودی را در دو چیدمان معمولی و برج پتلیوک نشان می دهد.



شکل ۸. اثر افزایش میزان خوراک ورودی بر میزان مصرف انرژی در دو حالت چیدمان دو برج معمولی و برج پتلیوک

جدول ۷. اثر افزایش میزان خوراک ورودی در چیدمان دو برج معمولی و برج پتلیوک

میزان صرفه جویی (%)	میزان بار حرارتی چگالنده و جوش آور برج دیوار میانی (مگا وات)	بار حرارتی دو چگالنده و دو جوش آور در چینش دو برج معمولی (مگا وات)	میزان خوراک ورودی (kg/hr)
۲۷	۸/۱	۱۱/۱	۲۱۷۵۳
۲۶/۵۰	۸/۴۸	۱۱/۵۵	۲۲۷۵۳
۲۶	۸/۸۷	۱۱/۹۹	۲۳۷۵۳
۲۶/۴۰	۹/۱۵	۱۲/۴۲	۲۴۷۵۳
۲۶/۱۰	۹/۵۱	۱۲/۸۸	۲۵۷۵۳
۲۶/۲۰	۹/۷۵	۱۳/۳۳	۲۶۷۵۳
۲۷	۱۰/۰۵	۱۳/۷۷	۲۷۷۵۳
۲۶/۴۰	۱۰/۴۵	۱۴/۲	۲۸۷۵۳
۲۶/۵۰	۱۰/۷۶	۱۴/۶۵	۲۹۷۵۳
۲۶/۰۴	۱۱/۱۶	۱۵/۰۹	۳۰۷۵۳

نتیجه گیری

این مطالعه امکان جایگزینی یک برج دیوار میانی با دو برج پروپان زدا و بوتان زدای موجود را نشان می دهد. با این جایگزینی سرمایه اولیه مورد نیاز برای خرید تجهیزات فرآیندی از جمله برج ها، باز جوش آور ها و کندانسور ها کاهش می یابد. چرا که با این جایگزینی تنها یک برج و یک باز جوش آور به جای دو باز جوش آور موجود و یک چگالنده به جای دو چگالنده موجود نیاز است که به همین دلیل است که فضای مورد نیاز کم تری مورد نیاز می باشد. به علاوه چگالنده و باز جوش آور مورد نیاز در جایگزینی بار حرارتی پایین تری نیز دارند؛ همان طور که گفته شد این کاهش در میزان مصرف انرژی ۲۶/۸۲ درصد می باشد. ماده مصرفی جهت گرمایش، سوخت های فسیلی می باشند؛ بنابراین این کاهش مصرف انرژی منجر به کاهش آلودگی محیط زیست خواهد شد. علاوه بر این در دیگر هزینه های جاری مانند تمیز کاری برج و مبدل ها و... نیز صرفه جویی خواهد شد. باید گفت که مدل سازی این گونه برج ها و شبیه سازی آن ها بسیار ضروری به نظر می رسد؛ چرا که این جایگزینی نه تنها امکان پذیر است که امروزه بسیار ضروری نیز به نظر می رسد و با توجه به افزایش قیمت حامل های انرژی و کاهش سود دهی واحد این جایگزینی توصیه می شود.

تشکر و قدردانی

لازم است از همکاری صمیمانه مجتمع پتروشیمی شازند به ویژه ریاست مجتمع و واحد خدمات فنی تشکر شود.

فهرست علائم و نشانه ها

α	فراریت نسبی دو جزء
θ	ریشه آندروود
D	میزان محصول بالاسری
d_i	میزان جزء i در محصول بالاسری
f_i	میزان جزء i در خوراک
h	آنتالپی ویژه
m_i	ضریب تعادلی جزء i
N_{min}	تعداد مراحل تعادلی کمینه
N_R	تعداد سینی های بخش غنی سازی
N_s	تعداد سینی های بخش عاری سازی
q	شرایط گرمایی خوراک
R	جریان مایع برگشتی
R_{min}	جریان مایع برگشتی کمینه
W	میزان محصول تحتانی
w_i	میزان جزء i در محصول تحتانی
x_i	جزء مولی i
$Z_{i,f}$	غلظت سازنده i در خوراک

منابع

- 1.Szabo',L, Analyzing Divided Wall Columns,Clean Technologies and Environmental Policy,2011,pp. 1-4.
- 2.Dejanovic',I , Matijasevic',L and Olujic',Z.,Dividing Wall Column-A Breakthrough towards sustainable distilling, Chemical Engineering and Processing:Process Intensification,2010, pp. 559-580.
- 3.Premkumar,R , Rangaiah,G.P.,Retrofitting Conventional column systems to Dividing-Wall Column, Chemical Engineering Research and Design ,2009(87),pp. 47-60.
- 4.ASprion,N., Kaibel,G., Dividing Wall Columns:Fundamentals and recent advances, Chemical Engineering and Processing, 49(2010), pp.139-146.
- 5.Olujic',Z , Jodecke,M ,Shilkin,A , Schuch,G ,Kaibel,B ,Equipment improvement trends distillation, Chemical Engineering and Processing:Process Intensification, 48(2009),pp.1089-1104.
۶. سودمند،م، مدل سازی و شبیه سازی برج تقطیر دیوار میانی، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۱
۷. البرزی،ا، بررسی طراحی و مدل سازی برج تقطیر دیوار میانی، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۱



۸. باژوند، شبيه سازى ديناميك برج پتليوك، پايان نامه كارشناسى ارشد دانشگاه سيستان و بلوچستان، ۱۳۹۲
9. Gomez-Castro, F., Rodriguez-Angeles, M., Segovia-Hernandez, J., Optimal design of multiple dividing wall columns based on genetic programming, 21st European Symposium on Computer Aided Process Engineering-Escape 21, 2011, Elsevier B.V. Pistikopoulos, M.C. Editor.
۱۰. رحيمى، ر. البرزى، ا. سودمند، م. زيودار، م. شناختى از برج هاى ديوار ميانى و تاثير آن بر کاهش انرژى مورد نياز در فرآيندهاى تقطير، ماهنامه تخصصى علمى ترويجى فرآيند نو، سال هفتم/شماره ۳۸ / صفحه ۶۹-۸۰، سال ۱۳۹۱.
11. Ramirez-Corona, N, Jimenez-Gutierrez, A, Costro-Aguero, A, Rico-Ramirez, V., Optimum Design of Petlyuk and Divided-Wall Distillation Systems using a Shortcut Model, Chemical Engineering Research and Design, 2010(88), pp. 1405-1418.
12. Halvorsen, I., Dejanovic, I., Skogestad, S., Olijic, Z., Internal Configurations for a multi-product dividing wall column, Chemical Engineering Research and Design, 2013, Elsevier.
13. Pantelides, G.D. A.C.C., Optimal Design of Thermally Coupled Distillation Columns. Ind. Eng. Chem. Res, 1999.38, pp. 162-176
14. Emtir, M., Rev, E., Fonyo, Z., Rigorous Simulation of Energy Integrated and Thermally Coupled Distillation Schemes for Ternary Mixture, Applied Thermal Engineering, 2001(21), pp. 1299-1317.
15. Guang Rong, B, Synthesis of Dividing Wall Columns for multicomponent distillations-A systematic approach, Chemical Engineering Research and Design, 2011(89), pp. 1281-1294.
16. Seader, J.D, Henley, E.J, Equilibrium Stage Separation Operation in Chemical Engineering, John Wiley & Sons Inc, 1981.
۱۷. رحيمى، ر. موسويان، م. صدر زاده مقدم، ف. بررسى ترموديناميكى برج هاى تقطير خالص سازى ۱ و ۳ بوتادين چهاردهمين كنگره ملي مهندسى شيمى ايران، دانشگاه صنعتى شريف، ۱۳۹۱
18. Abushwireb, F, Elakrami, H, Emtir, M. Recovery of Aromatics from Pyrolysis Gasoline by conventional and Energy-Integrated extractive distillation. 17th European Symposium on Computer Aided Process Engineering-ESCAPE 17. Plesue, V and Agachi, P.S (Editors), 2007 Elsevier B.V.
19. Trybal, R.E., Mass Transfer Operation 3rd ed., McGraw-Hill, 1980.
۲۰. باغميشه، م. درستى، غ. خدايارى، ع. بولحسنى، ح. مرورى بر شبيه سازى فرآيندهاى شيميائى پايان توسط نرم افزار Aspen Plus، انتشارات اندیشه سرا، ۱۳۸۹.