

روشی جدید و انعطاف پذیر برای مدل سازی برج های تقطیر استخراجی

نوراله کثیری، علی یوسفی مقدم

آزمایشگاه تحقیقاتی مهندسی فرایند به کمک کامپیوتر، دانشکده مهندسی شیمی،

دانشگاه علم و صنعت ایران

Email: Kasiri@iust.ac.ir

چکیده

تقطیر استخراجی یک روش مهم برای جداسازی مخلوطهایی که نقطه جوش آنها به هم نزدیک بوده و یا تشکیل آزنوتروپ می دهند می باشد. شبیه سازی این فرایند امکان بررسی اثر پارامترهای مختلف را بر عملکرد آن فراهم می کند. در این تحقیق یک مدل جدید بسیار انعطاف پذیر جهت شبیه سازی انواع برج های تقطیر از جمله تقطیر استخراجی ارائه شده است. معادلات مدل با روش برویدن (Broyden) به صورت توأم حل شده و به منظور افزایش همگرایی این روش تغییراتی در آن داده شده است.

بررسی مدل نشان می دهد بر خلاف اکثر روشهای موجود، با این روش می توان برج های تقطیر را با مشخصه های (Specifications) مختلف دلخواه شبیه سازی کرد. مقایسه نتایج حاصل از مدل اخیر با نتایج تجربی و شبیه سازی شده موجود در مقالات نشان می دهد که مدل ارائه شده از دقت خوبی برخوردار است.

واژه های کلیدی: مدل سازی؛ شبیه سازی؛ تقطیر؛ تقطیر استخراجی

مقدمه

معمولاً مایعی با نقطه جوش بالا انتخاب شده و از نزدیکی های بالای برج وارد برج تقطیر می شود. هدف از شبیه سازی برج تقطیر تعیین مشخصات و شدت جریانهای محصولات برج می باشد. معادلاتی که رفتار یک برج تقطیر تعادلی را توصیف می کنند به چهار دسته معادلات موازنه جرم، روابط تعادل، معادلات مجموع اجزای مولی در هر فاز و معادلات موازنه انرژی تقسیم می شوند که به طور مختصر به آنها معادلات MESH گفته می شود. متغیرهایی که تعیین آنها در برج مطلوب می باشد دمای سینی ها، غلظت هر جزء در مایع و بخار خروجی از هر سینی، شدت جریانهای مایع و بخار خروجی از هر سینی، فشار برج و بار حرارتی جوش آور و کندانسور هستند که در یک برج تقطیر ساده تعداد آنها سه عدد از تعداد معادلات بیشتر است بنابراین

تقطیر یک روش جداسازی پر کاربرد در صنایع شیمیایی می باشد اما اجزایی که نقطه جوش آنها به هم نزدیک باشد به سختی به وسیله تقطیر معمولی از هم جدا می شوند. همچنین جداسازی اجزای یک مخلوط آزنوتروپ به وسیله تقطیر معمولی غیر ممکن است. این مخلوطها به طور معمول در صنایع شیمیایی وجود دارند. بعنوان مثال می توان به تهیه اتانل خالص و جداسازی هیدروکربنهای آروماتیک از غیر آروماتیک اشاره کرد. در این موارد ممکن است با افزایش ماده سومی به نام حلال یا حامل فراریت نسبی اجزای مخلوط تغییر کند به طوری که بعضی از اجزای مخلوط تبخیر شده و بعضی همراه با حلال به پایین برج انتقال پیدا کنند به چنین فرایندی تقطیر استخراجی گفته می شود. حلال یا حامل

۳- فشار هر مرحله معلوم فرض شده است فشار مراحل مختلف می تواند متفاوت باشد.

با استفاده از مدل و الگوریتم ارائه شده در این تحقیق برای هر برج می توان به تعداد مراحل تعادلی، خوراک، محصول جانبی مایع، محصول جانبی بخار و ورود یا خروج حرارت در نظر گرفت. جریان جانبی مایع یا بخار خارج شده از هر مرحله می تواند خوراک مرحله دیگری باشد.

در مدل حاضر متغیرهای برج تقطیر می توانند از بین دمای مراحل، غلظت اجزا در مایع و بخار خروجی از مراحل، شدت جریانهای مایع و بخار خروجی از مراحل، شدت جریانهای جانبی مایع و بخار خروجی از مراحل و گرمای داده شده به هر مرحله یا گرفته شده از هر مرحله انتخاب شوند. در این مدل مایع روی هر مرحله یک فازی در نظر گرفته می شود.

معادلات مدل به قرار زیر است:

موازنه جرم اجزا:

$$V_{j+1}y_{i,j+1} + L_{j-1}x_{i,j-1} + f_{i,j} - L_jx_{i,j} - V_jy_{i,j} - L_j^s x_{i,j} - V_j^s y_{i,j} = 0 \quad (1)$$

موازنه انرژی:

$$V_{j+1}H_{j+1}^v + L_{j-1}H_{j-1}^l + F_jH_j^f - L_jH_j^l - V_jH_j^v - L_j^s H_j^l - V_j^s H_j^v + Q_j = 0 \quad (2)$$

معادله تعادل مایع و بخار برای هر جزء در هر مرحله:

$$\frac{\eta_j f_{i,j}^l}{P \phi_{i,j}^v} - y_{i,j} + (1 - \eta_j) y_{i,j+1} = 0 \quad (3)$$

معادلات مجموع مولی اجزا در هر مرحله:

$$\sum_{i=1}^m x_{i,j} = 0 \quad \text{و} \quad \sum_{i=1}^m y_{i,j} = 0 \quad (4)$$

معادلات تعریف کننده مشخصه ها:

$$\text{مقدار ثابت} = (\text{کمیت ۳}) / (\text{کمیت ۲}) \times (\text{کمیت ۱}) \quad (5)$$

پارامترهایی مانند نسبت برگشت، نسبت جوش، شدت جریان جزئی اجزا در سینی ها و در جریانهای خروجی از برج در لیست متغیرهای مدل حاضر وجود ندارند. هر یک از این پارامترها را می توان به صورت حاصل ضرب یا نسبت دو

با تعیین مقدار سه متغیر از متغیرهای فوق (مشخصه های برج) مقادیر سایر متغیرها قابل محاسبه خواهد بود.

مروری بر مطالعات انجام شده قبلی نشان می دهد که مدل های ارائه شده برای شبیه سازی فرایند تقطیر استخراجی معدود بوده و اکثر آنها نیز فاقد قابلیت های لازم برای شبیه سازی کارآمد برج های تقطیر استخراجی می باشند. نفتالی (Naphtali) یکی از اولین کسانی بود که حل توأم معادلات برج را برای مخلوط های به شدت غیر ایده آل پیشنهاد کرد. او معادلات مجموع مولی اجزا را در سایر معادلات ادغام کرده و برای هر سینی $2m+1$ معادله در نظر گرفت و معادلات کل برج را به صورت توأم حل نمود. [۱] برانو (Bruno) و همکارانش پس از ادغام معادلات موازنه جرم و مجموع مولی اجزا در معادلات تعادل و موازنه انرژی، دستگاه معادلات به دست آمده را به روش نیوتن حل نمودند. [۲] گالان (Gallun) و هولند (Holland) نیز روشی شبیه به روش نفتالی برای حل معادلات برج های تقطیر به شدت غیر ایده آل ارائه کرده اند. [۳] ایشی (Ishii) و اُتو (Otto) نیز روشی برای حل معادلات برج های تقطیر غیر ایده آل ارائه نموده اند. آنها معادلات تعادل و مجموع مولی اجزا را در معادلات موازنه جرم و انرژی ادغام کرده و الگوریتمی برای حل دستگاه معادلات حاصل ارائه نموده اند. [۴]

مدل حاضر

در مدل جدید ارائه شده در این تحقیق فرضیات زیر در نظر گرفته شده اند:

۱- برای هر مرحله از برج تقطیر یک جریان خوراک، یک جریان مایع به مرحله پایینی، یک جریان بخار به مرحله بالایی یک جریان جانبی مایع، یک جریان جانبی بخار و تبادل حرارت با محیط در نظر گرفته شده است (شکل ۱) مدل کندانسور و جوش آور نیز به همین صورت در نظر گرفته شده است.

۲- برای هر سینی از برج یک بازده مورفری (Murphree) در نظر گرفته شده است.

مرحله ۴- محاسبه s به نحوی که نرم بردار $F(X'^k)$ مینیمم گردد که هر مؤلفه از بردار X'^k به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{اگر } x_i^{\min} \leq x_i^k + s\Delta x_i^k \leq x_i^{\max} \text{ آنگاه:}$$

$$x_i'^k = x_i^k + s\Delta x_i^k \quad (7\text{-الف})$$

$$\text{اگر } x_i^k + s\Delta x_i^k < x_i^{\min} \text{ آنگاه:}$$

$$x_i'^k = x_i^{\min} + (x_i^k - x_i^{\min}) \exp(\Delta x_i^k / x_i^k) \quad (7\text{-ب})$$

$$\text{اگر } x_i^k + s\Delta x_i^k > x_i^{\max} \text{ آنگاه:}$$

$$x_i'^k = x_i^{\max} + (x_i^{\max} - x_i^k) \exp(-\Delta x_i^k / x_i^k) \quad (7\text{-ج})$$

مرحله ۵- محاسبه مقادیر جدید متغیرها و مقدار جدید بردار توابع:

$$X^{k+1} = X'^k \quad \text{و} \quad F^{k+1} = F(X^{k+1}) \quad (8)$$

مرحله ۶- چنانچه $\text{Norm}(X^{k+1}) < 10^{-8}$ جواب بدست آمده است و محاسبات متوقف می‌شود در غیر این صورت:

$$Y^k = F^{k+1} - F^k \quad (9)$$

مرحله ۷- محاسبه مقدار تقریبی H در نقطه جدید از رابطه زیر:

$$H^{k+1} = H^k - \frac{(H^k Y^k + s^k \Delta X^k)(\Delta X^k)^T H^k}{(\Delta X^k)^T H^k Y^k} \quad (10)$$

و تکرار از مرحله ۳ تا رسیدن به جواب.

در رابطه فوق بالانویس T نشان دهنده ترانهاده (Transpose) ماتریس می‌باشد.

محاسبه ماتریس ژاکوبین از تقریب مرتبه دوم و روش محاسبه s در مرحله چهارم از اختصاصات روش ارائه شده بوده و در الگوریتم برویدن به چشم نمی‌خورند.

نتایج

جهت ارزیابی مدل ارائه شده نتایج شبیه‌سازی دو برج تقطیر استخراجی به عنوان نمونه در اینجا آورده می‌شود. مثال اول یک برج تقطیر استخراجی استن و متانل با حلال آب می‌باشد که با احتساب کندانسور و جوش آور دارای ۱۵ مرحله تعادلی

متغیر از متغیرهای برج در نظر گرفت مثلاً نسبت برگشت (Reflux) به صورت نسبت شدت جریان مایعی که از سینی بالای برج به پایین می‌ریزد به شدت جریان مایعی که از این سینی خارج می‌شود تعریف می‌شود. در بسیاری از مواقع حل برج تقطیر به گونه‌ای که بعضی از این پارامترها به مقدار مورد نظر برسند مطلوب می‌باشد در مدل حاضر معادلاتی به شکل معادله ۵ به منظور تخصیص مقادیر ثابت به این پارامترها در نظر گرفته شده‌اند در این مدل می‌توان بسته به مشخصه‌های مورد نظر در صورت لزوم یک یا چند معادله از این نوع به دستگاه معادلات اضافه کرد. در معادله‌های تعریف کننده مشخصه‌ها هر کدام از کمتهای ۱ و ۲ و ۳ ممکن است یکی از کمتهایی که می‌توان به عنوان متغیر انتخاب کرد باشند. به این ترتیب در این مدل امکان تعریف مشخصه‌هایی غیر از متغیرهای برج وجود دارد.

در مدل حاضر هیچکدام از معادلات برج ادغام نشده و حذف نشده‌اند و تمام معادلات موجود به صورت توأم حل می‌شوند.

الگوریتم حل معادلات

الگوریتم حل ارائه شده در این تحقیق که بر اساس روش برویدن [۵] بوده و اصلاحاتی نیز در آن انجام شده است، دارای مراحل زیر می‌باشد:

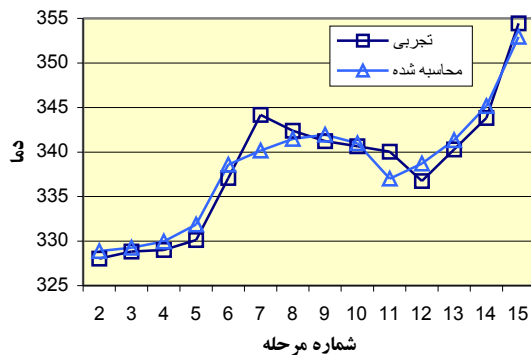
مرحله ۱- حدس اولیه‌ای برای بردار متغیرها (X^0) و یافتن مقدار عبارت سمت چپ معادلات ۱ تا ۵ (بردار توابع) برای تمام مواد و تمام مراحل.

مرحله ۲- محاسبه $H^0 = -(J^0)^{-1}$ که J ماتریس ژاکوبین بردار توابع می‌باشد. برای محاسبه مشتقات توابع در ماتریس ژاکوبین از تقریب درجه دوم زیر استفاده شده است:

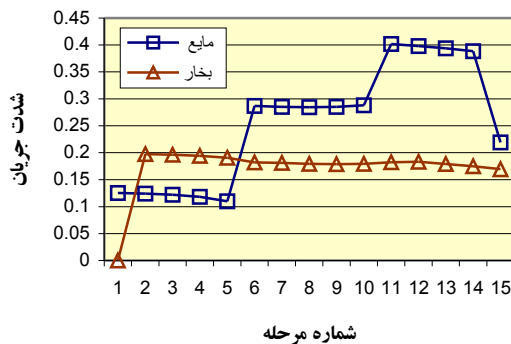
$$\frac{\partial f_i}{\partial x_j} = \frac{4f_i(x_j + h) - 3f_i(x_j) - f_i(x_j + 2h)}{2h} \quad (6)$$

مرحله ۳- محاسبه $\Delta X = H^k F^k$ از طریق:

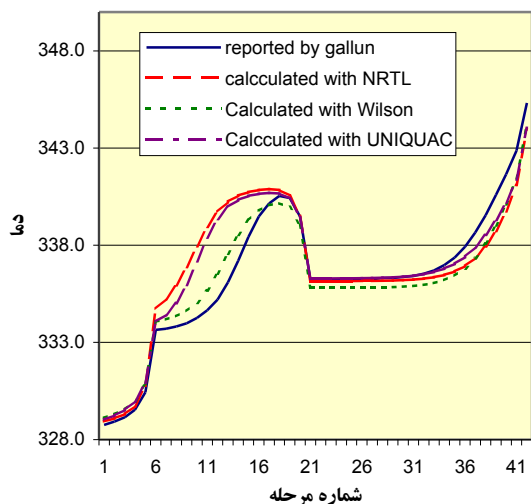
همچنین توزیع شدت جریانهای مایع و بخار حاصل از شبیه‌سازی این برج در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲- توزیع دمای تجربی و شبیه‌سازی شده در مثال ۱



شکل ۳- توزیع شدت جریانهای مایع و بخار در مثال ۱



شکل ۴- توزیع دما در مثال ۲

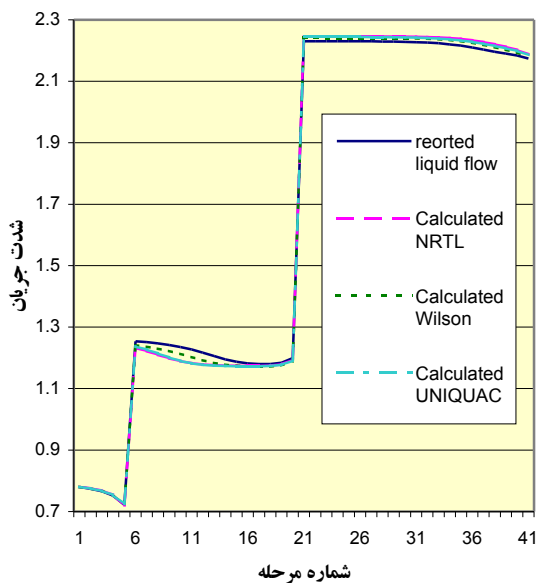
توزیع دمای حاصل از شبیه‌سازی حاضر با سه مدل اکتیویته مختلف و شبیه‌سازی گالان و هولند با مدل اکتیویته ویلسون

بوده و مشخصات کامل و نتایج تجربی به دست آمده از آن توسط کومار (Kumar) گزارش شده است. [۶] مثال دوم یک برج تقطیر استخراجی جهت جدا کردن استن از متانل و اتانل با حلال آب می‌باشد که دارای ۴۲ مرحله تعادلی بوده و گالان و هولند آن را شبیه‌سازی کرده‌اند. [۳] مشخصات این دو برج در جدول ۱ آمده است.

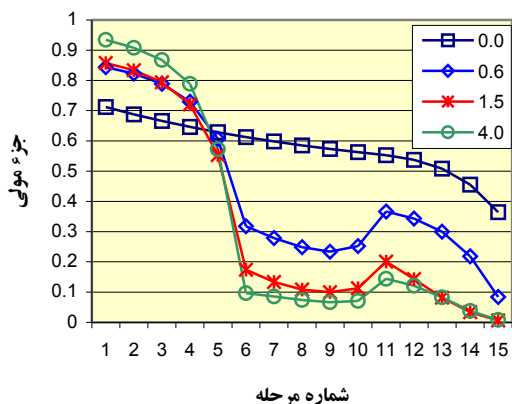
جدول ۱- مشخصات برجهای شبیه‌سازی شده

مثال ۲	مثال ۱	شرح
مرحله ۴۲	مرحله ۱۵	تعداد مراحل تعادلی
۰/۲۵	۰/۵۵۷۸	ترکیب مولی خوراک { استن متانل اتانل آب }
۰/۶۵	۰/۴۴۲۲	
۰/۰۵	۰/۰	
۰/۰۵	۰/۰	
۳۱۰/۹۲۸	۳۱۳	دمای خوراک (K)
۱۰۱/۳	۱۰۰	فشار خوراک (kPa)
۱/۰	۰/۱۱۳۲	شدت جریان خوراک (mol/hr)
مرحله ۲۱	مرحله ۱۰	محل ورود خوراک
آب: ۱/۰	آب: ۱/۰	ترکیب حلال
۳۲۲/۰۴	۳۳۷	دمای حلال (K)
۱۰۱/۳	۱۰۰	فشار حلال (kPa)
۰/۵	۰/۱۱۷۸	شدت جریان حلال (mol/hr)
مرحله ۶	مرحله ۵	محل ورود حلال
۳/۰	۱/۷۴۲	نسبت برگشت
۰/۲۶	۰/۰۷۲	شدت جریان محصول بالای برج (mol/hr)

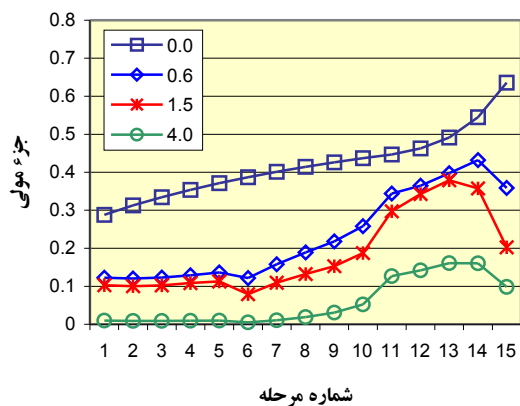
دمای حاصل از شبیه‌سازی و دمای تجربی اندازه گیری شده توسط کومار برای مثال ۱ در شکل ۲ نشان داده شده است



شکل ۵- توزیع شدت جریان مایع در مثال ۲



شکل ۶- توزیع غلظت استن در مثال ۱ در نسبتهای مختلف حلال به خوراک



شکل ۷- توزیع غلظت متانل در مثال ۱ در نسبتهای مختلف حلال به خوراک

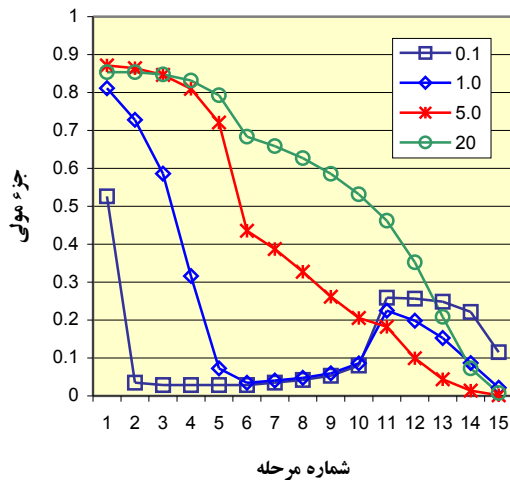
(Wilson) برای مثال ۲ در شکل ۴ مشاهده می‌شود. شکل ۵ توزیع شدت جریان مایع را در چهار حالت فوق در برج مثال ۲ نشان می‌دهد. در جدول ۲ نیز نتایج تجربی گزارش شده توسط کومار و شبیه‌سازی شده با مدل حاضر برای غلظت اجزا در محصولات بالا و پایین برج نشان داده شده است.

نتایج شبیه‌سازی حاضر نسبت به نتایج تجربی دمای سینی‌ها در مثال اول ۰/۴۳ درصد خطا دارد. همانطور که در جدول ۲ دیده می‌شود میزان تفکیک محاسبه شده با سینیهای ایده‌آل مقداری بیشتر از تفکیک واقعی انجام یافته در برج است. اختلافی که بین نتایج شبیه‌سازی حاضر و شبیه‌سازی گالان و هولند مشاهده می‌شود بدلیل اختلاف در ثوابت ترمودینامیکی به کار رفته می‌باشد.

جدول ۲ - مقایسه غلظت تجربی و شبیه‌سازی شده اجزا در محصول بالا و پایین برج مثال ۱

شرح	تجربی	محاسبه شده
غلظت استن در بالای برج	۰/۸۱۸۸۲	۰/۸۶۲۴۶
غلظت متانل در بالای برج	۰/۱۵۲۰۱	۰/۰۹۹۴۲۳
غلظت آب در بالای برج	۰/۰۲۹۱۶	۰/۰۳۸۱۱۷
غلظت استن در پایین برج	۰/۰۰۱۲۳	۰/۰۰۴۷۷۶
غلظت متانل در پایین برج	۰/۱۲۵۵۰	۰/۱۹۵۸۸۴
غلظت آب در پایین برج	۰/۸۷۳۲۹	۰/۷۹۹۳۴۱

توزیع غلظت اجزا در فاز مایع برای مثال اول در نسبتهای مختلف حلال به خوراک در شکل‌های ۶ تا ۸ نشان داده شده است همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش نسبت حلال به خوراک غلظت استن در بالای برج تقطیر افزایش یافته و در پایین برج تقطیر کاهش می‌یابد. در شکل‌های ۹ تا ۱۱ توزیع غلظت اجزا در فاز مایع برای همین برج در نسبتهای برگشت مختلف آورده شده است مشاهده می‌شود که با افزایش نسبت حلال به خوراک غلظت استن در بالای برج ابتدا افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. این امر به دلیل نقش دوگانه برگشت محصول بالای برج به داخل برج در تقطیر



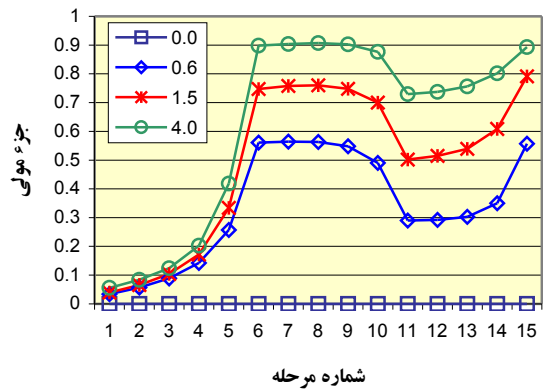
شکل ۱۱- توزیع غلظت آب در مثال ۱ در نسبتهای برگشت مختلف

استخراجی می‌باشد. در تقطیر استخراجی برگشت محصول بالای برج به داخل برج از یک طرف باعث جداسازی اجزای با فراریت کمتر از محصول بالای برج شده و از طرف دیگر با رقیق نمودن حلال باعث می‌شود که اثر حلال تضعیف شده و جداسازی بدتر شود در نسبتهای برگشت کم اثر اول و در نسبتهای برگشت زیاد اثر دوم غالب است.

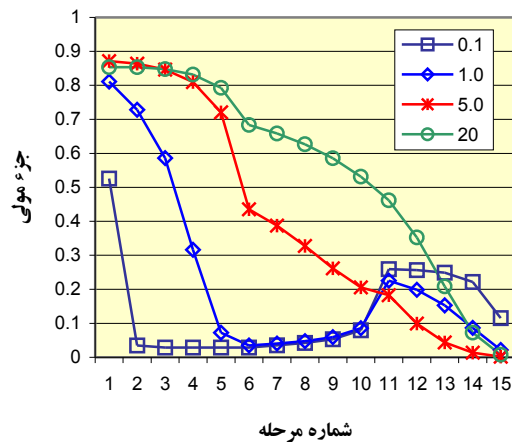
در شکل ۱۲ و ۱۳ شدت جریانهای مایع و بخار در سینی‌های برج تقطیر مثال ۲ در نسبتهای برگشت مختلف نشان داده شده‌اند. همانطور که انتظار می‌رود با افزایش نسبت برگشت شدت جریانهای داخلی مایع و بخار نیز زیاد شده‌اند.

به دلیل اصلاح اعمال شده در مرحله چهارم الگوریتم برویدن و پردازش خطای مناسب در برنامه نویسی پایداری مدل و روش حل ارائه شده زیاد بوده و حتی با حدسهای اولیه نسبتاً دور از جواب نیز رسیدن به جواب ممکن است. طبیعی است که نامناسب بودن حدس اولیه زمان لازم برای رسیدن به جواب را افزایش خواهد داد.

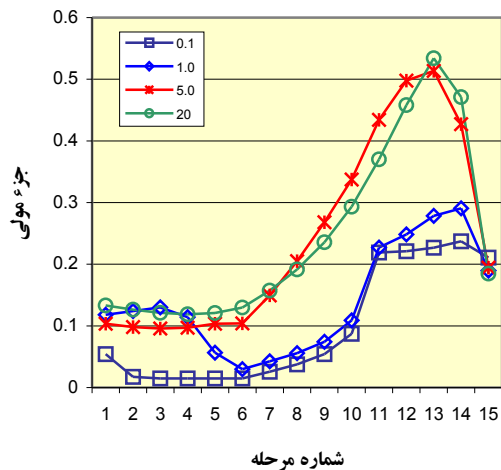
گالان و هولند زمان اجرای کمتر از ۱ دقیقه را برای شبیه‌سازی مثال دوم در کامپیوتر IBM360-65 گزارش نموده‌اند. برای همان مثال و با همان حدسهای اولیه الگوریتم حاضر روی کامپیوتر پنتیوم III با سرعت پردازنده ۵۰۰ مگاهرتز در مدت زمان حدود ۱۵ دقیقه به جواب می‌رسد.



شکل ۸- توزیع غلظت آب در مثال ۱ در نسبتهای مختلف حلال به خوراک



شکل ۹- توزیع غلظت استن در مثال ۱ در نسبتهای برگشت مختلف



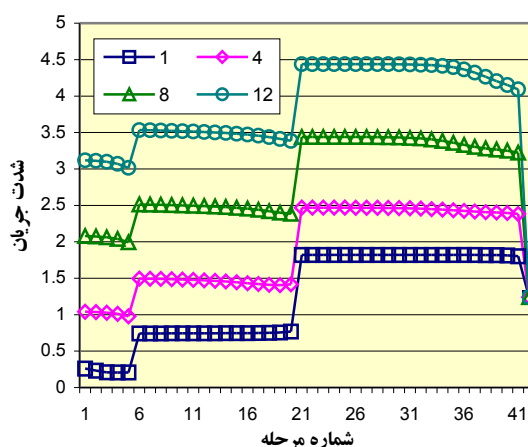
شکل ۱۰- توزیع غلظت متانل در مثال ۱ در نسبتهای برگشت مختلف

برگشت، نسبت جوش، شدت جریان جزئی اجزاء و ... را تعریف نمود به منظور نشان دادن انعطاف پذیری مدل در انتخاب مشخصه‌ها برج مثال ۱ با مشخصه‌های دیگری غیر از شدت جریان محصول مقطر و نسبت برگشت شبیه‌سازی شد که بعضی از مشخصه‌های به کار رفته در جدول 3 دیده می‌شود در تمام حالات مشخصه سوم فشار برج می‌باشد.

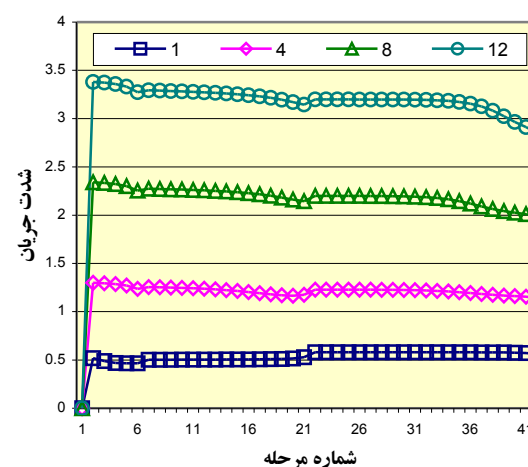
جدول ۳ - نمونه‌ای از مشخصه‌های قابل انتخاب

جهت شبیه‌سازی برج تقطیر استخراجی

مشخصه ۲	مشخصه ۱
نسبت برگشت	شدت جریان محصول مقطر
نسبت جوش	شدت جریان محصول مقطر
نسبت جوش	شدت جریان محصول مقطر
شدت جریان محصول مقطر	جزء مولی استن در محصول مقطر
نسبت برگشت	شدت جریان جزئی متانل در محصول مقطر
دمای مرحله هفتم	شدت جریان محصول مقطر
دمای مرحله اول	شدت جریان محصول مقطر
بار حرارتی کندانسور	شدت جریان محصول مقطر
بار حرارتی کندانسور	شدت جریان جزئی استن در محصول مقطر



شکل ۱۲- توزیع شدت جریان مایع در مثال ۲ در نسبت‌های برگشت مختلف



شکل ۱۳- توزیع شدت جریان بخار در مثال ۲ در نسبت‌های برگشت مختلف

یکی از مزایای روش جدید انعطاف پذیری بسیار خوب آن می‌باشد. همانگونه که قبلاً ذکر شد در مدل جدید ارائه شده متغیرهای برج از بین تعداد زیادی از پارامترها به دلخواه انتخاب می‌شوند. چون اینکه کدام پارامتر به عنوان متغیر انتخاب شوند، تأثیری در روش حل پرویدن ندارد حل برج تقطیر با هر مجموعه درست از متغیرهای انتخاب شده ممکن بوده و در تمام موارد روش حل یکسان می‌باشد همچنین در نظر گرفتن معادلات تعریف کننده مشخصه‌ها یعنی معادلاتی به شکل معادله ۵ بر انعطاف پذیری این الگوریتم افزوده است به کمک این معادلات می‌توان مشخصه‌هایی مانند نسبت

ادامه جدول 3

شدت جریان جزئی استن	شدت جریان بخار خروجی
در محصول پایین برج	از سینی ششم
شدت جریان محصول	بار حرارتی جوش آور
مقطر	
جزء مولی آب در محصول	شدت جریان محصول
پایین برج	مقطر
شدت جریان جزئی متانل	شدت جریان محصول
در بخار مرحله دهم	مقطر

نتیجه گیری

مدل جدید ارائه شده در این تحقیق جهت شبیه سازی برجهای تقطیر کارآیی مناسبی داشته و از بسیاری از مدل‌های سابق بهتر می باشد مدل و روش حل ارائه شده ضمن داشتن پایداری بسیار زیاد و سرعت همگرایی نسبتاً مناسب از بسیاری از مدل‌های دیگر ساده تر و انعطاف پذیرتر بوده و نتایج حاصل از آن به خوبی با نتایج گزارش شده توسط دیگران تطبیق می نماید.

علائم و نشانه‌ها

F_j : شدت جریان مولی خوراک ورودی به مرحله j ام

F^k : بردار توابع در مرحله k ام محاسبات

f_i : عضو i ام بردار توابع F در روش برویدن

$f_{i,j}$: شدت جریان جزئی جزء i در خوراک ورودی به مرحله

تعادلی j ام

$f_{i,j}^1$: فوگاسیته جزء i در مایع مرحله تعادلی j ام

h : طول گام در محاسبه عددی مشتق

H_j^f : آنتالپی مولی خوراک ورودی به مرحله j ام

H_j^l : آنتالپی مولی مایع خروجی از مرحله تعادلی j ام

H_j^v : آنتالپی مولی بخار خروجی از مرحله تعادلی j ام

L_j : شدت جریان مولی مایع خروجی از مرحله j ام و ورودی

به مرحله $j+1$ ام

L_j^s : شدت جریان محصول مایع خروجی از مرحله j ام

m : تعداد اجزای موجود در برج تقطیر

Q_j : گرمای ورودی به مرحله j ام

s^k : ضریب s در مرحله k ام محاسبات

V_j : شدت جریان مولی بخار خروجی از مرحله j ام و

ورودی به مرحله $j-1$ ام

V_j^s : شدت جریان محصول بخار خروجی از مرحله j ام

X^k : بردار متغیرها در مرحله k ام محاسبات

x_i : عضو i ام بردار متغیرها (X) در روش برویدن

x_i^k : عضو i ام بردار متغیرها (X) در روش برویدن در مرحله

k ام محاسبات

$x_{i,j}$: جزء مولی جزء i ام در مایع مرحله تعادلی j ام

x_i^{\max} : ماکزیمم عضو i ام در بردار X

x_i^{\min} : مینیمم عضو i ام در بردار X

$y_{i,j}$: جزء مولی جزء i ام در بخار مرحله تعادلی j ام

η_j : بازده مورفری برای مرحله تعادلی j ام

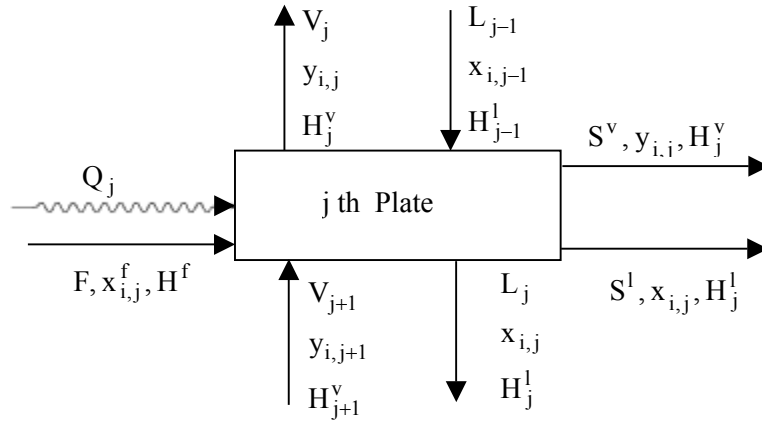
$\varphi_{i,j}^v$: ضریب فوگاسیته جزء i در بخار مرحله j ام

مراجع

1. Leonard M. Naphtali, Donald P. Sandholm, "Multicomponent separation calculations by linearization", AICHE Journal, v 17, n 1, 1971, p 148-153
2. J. A. Bruno, J.L. Yanosik, J. W. Tierney, "Distillation calculation with nonideal mixtures", Extractive and Azeotropic Distillation, Advances in Chemistry Series 115, American chemical society, Washington 1972
3. S. E. Gallun, C. D. Holland, "Solve more distillation problems part 5-for highly nonideal solutions", Hydrocarbon processing, v 55, n 1, Jan, 1976, p 137-144
4. Yoshikazu Ishii, Fred D. Otto, "An efficient simultaneous correction procedure for multicomponent multistage separation calculations for non-ideal systems", Computers and chemical engineering, v 25, n 9-10, Sep, 2001, p 1285-1298

distillation column" , Canadian Journal of Chemical Engineering , v 62, n 6, Dec, 1983, p 780-789

5. Charles D. Holland, "Fundamentals of multicomponent distillation", McGraw-Hill, 1981
6. S. Kumar, J. D. Wright, P. A. Taylor, "Modelling and dynamics of an extractive



شکل ۱- مدل سینی J ام یک برج تقطیر