

بررسی تئوری و تجربی اثر پارامترهای عملیاتی در مدل دینامیکی و استاتیکی برجهای تقطیر

زرین نصری

دانشجوی فوق لیسانس دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

بهرام دبیر

استادیار دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

محمدرضا گلکار

استادیار دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده:

هدف از این مقاله بررسی آزمایشگاهی و تئوریک برج تقطیر در حالت دینامیکی و استاتیکی برای مطالعه پارامترهای عملیاتی تقطیر شامل آثار راندمان، میزان موجودی، شدت جریان، خوراک، نسبت برگشتی، درجه حرارت خوراک و ترکیب درصد خوراک می باشد. در این مقاله دو برنامه کامپیوتری براساس مدل‌های ارائه شده توسط هلند و Economopoulos با استفاده از روش ضمنی برای حل معادلات دیفرانسیل و با توانایی‌های محاسباتی نظیر هیدرولیک، بکارگیری معادلات حالت مختلف تهیه گردیده است. نتایج بدست آمده در مورد آثار ترکیب درصد خوراک با نتایج تجربی مقایسه شده که نتایج کاملاً رضایتبخش است. پس از اطمینان از صحت مدلها آثار تغییرات میزان موجودی، شدت جریان خوراک، نسبت برگشتی، و درجه حرارت خوراک پیش بینی شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

Experimental and Theoretical Study of Effective Operating Parameters on Performance of Static and Dynamic Distillation Tower

Z. Nasri, B.Sc.

Graduate Student Chem. Eng. Dept. Amirkabir University

B. Dabir, Ph.D.

Assistant Prof. Chem. Eng. Dept. Amirkabir University

M.R. Golkar Narenji, Ph.D.

Assistant Prof. Chem. Eng. Dept. Amirkabir University

ABSTRACT

An experimental and theoretical study of efficiency, hold up, feed flow rate, reflux ratio, feed temperature, and feed composition in static and dynamic distillation tower is presented. Computer programs, based on models presented by Holand and

Economopoulos are prepared. In this simulation the implicit numerical solution of differential equations with capability of calculating the Hydraulic of trays with different equations of state is applied.

مقدمه

تقطیر فرآیندی است که در آن با توجه به قابلیت توزیع اجزاء بین فاز مایع و فاز بخاری که در اثر گرما دادن مایع ایجاد می‌شود، اجزاء موجود در یک محلول مایع از یکدیگر تفکیک می‌گردد در واقع تنها عامل جداکننده در تقطیر گرم است که در نتیجه اعمال آن، فاز بخاری که حاصل می‌شود از لحاظ نوع اجزاء تشکیل دهنده کاملاً مشابه با مایع است و تفاوت آنها در غلظتها می‌باشد. محاسبات استاتیک هیچ چیز غیر معمولی درباره رفتار برج تقطیر نشان نمی‌دهد و برای پیش‌بینی اجرای سینی‌های برج تقطیر مطالعه دینامیکی آن ضروری است. مدل دینامیکی پیش‌بینی می‌کند که برج تمایل به پدیده‌های مختلف دارد و با تغییرات طراحی مناسب برج و سیستمهای کنترل این تمایل می‌تواند حذف گردد.

شروع بررسی کمی عمل حالت ناپایدار یک ستون تقطیر بوسیله *Pigford* و *Marshall* (۱۹۴۷) صورت گرفت که معادلات دیفرانسیل را برای شرح رفتار گذرا منتشر نمودند. آنها روابط تعادل خطی به فرم $y=mx+b$ را استفاده کردند. در این مطالعه شدت جریانهای مواد مستقل از شماره صفحه و زمان بوده و در هر بخش ستون (بالا و پایین خوراک) ثابت فرض شده‌اند. *Rose* و همکاران (۱۹۵۰) نیز پروسه تقطیر غیر مداوم را برای سیستم دوتایی بررسی کردند. آنها معادلات موازنه جزء به جزء مواد را بوسیله روش اولر حل کردند، و فرارتهای نسبی، شدت جریان مواد و موجودی را مستقل از زمان و شماره سینی فرض کردند. استفاده از روش ضمنی برای اولین بار جهت حل معادلات حالت ناپایدار مخلوط دوتایی بوسیله *Rosenbrock* در سال ۱۹۵۷ ارائه شد. همچنین یک روش عمل برای کاهش خطای این روش با انتخاب کردن یک مقدار متفاوت μ برای هر پرورد زمانی ارائه شد.

هلند و همکارانش بیشترین کار را روی مدلسازی کامپیوتری برجهای تقطیر انجام داده‌اند. (۱۹۸۲-۱۹۶۶) آنها روش همگرایی تتا را به همراه روش ضمنی در محاسبات حالت پایدار برای مسائل حالت ناپایدار استفاده نمودند. سپس مدلی ارائه دادند که می‌تواند اثر کانالیزه شدن، اختلاط را روی انتقال جرم هر صفحه با در نظر گرفتن موجودی مجزا برای هر کدام بررسی نماید. در نهایت آنها مدل کامل برج تقطیر را با در نظر گرفتن هیدرولیک سینی با استفاده از روش *Gear* حل کردند. *Ballard* و همکاران (۱۹۷۸) یک ستون تقطیر را برای حل توسط روش *SIRK (Semi-implicit-Runge-Kutta)* فرموله

کردند

برای آشنائی بیشتر با مدل‌های ارائه شده، مشخصات تعدادی از آنها در جدول ۱ نشان داده شده است. چنانکه در این جدول مشاهده می‌شود در کلیه مدسا فرضیات زیر به کار می‌رود:

- ۱ - از موجودی مولی بخار در مقایسه با موجودی مولی مایع صرف نظر می‌شود.
- ۲ - فرض می‌شود که مایع و بخار خروجی از هر سینی در تعادل حرارتی هستند.
- ۳ - مایع و بخار در روی هر سینی کاملاً مخلوط شده و از راندمان مورفری استفاده می‌شود.

۱ - مسئله سختی در مدل‌های دینامیکی برج تقطیر

(stiffness) [۱،۲،۳]

در مدلسازی دینامیکی برج تقطیر، گروه زیادی از معادلات دیفرانسیل غیرخطی معمولی از موازنه‌های انرژی و ماده حول هر سینی بدست می‌آید. انتخاب صحیح روش حل اهمیت زیادی برای یک مدلسازی سریع و دقیق دارد. سیستم معادلات دیفرانسیل معمولی خطی حاصل از خطی کردن گروه غیرخطی موازنه جرم حول هر سینی را در نظر می‌گیریم:

$$\frac{dy}{dt} = Jy + b$$

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ FX_F \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

ماتریس J ژاکوبین سیستم بصورت زیر تعریف شده است:

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial y_j} \quad i, j = 1, \dots, N$$

مقادیر مشخصه ماتریس ژاکوبین بصورت ریشه‌های معادله $Det[\lambda I - J]$ می‌باشد. بررسیها نشان می‌دهد که در برج تقطیر مقادیر مشخصه ژاکوبین، λ معمولاً کمپلکس و مقادیر مشخصه ماتریس ضرائب معمولاً حقیقی هستند. از آنجایی که مقادیر مشخصه ژاکوبین دارای قسمت حقیقی منفی هستند، ثابتهای

نام محقق / مشخصات	Peiser	Holland	Howard	Osborne	Ibrahimilla	Economopoulos	Morris	Holland, Grahun	R. Berber	Gani	Ranzi	R. Berber
نماد اجزاء	چند جزئی	چند جزئی	چند جزئی	چند جزئی	چند جزئی	چند جزئی	چند جزئی	چند جزئی	چند جزئی	چند جزئی	چند جزئی	چند جزئی
نوع ستون	پیچیده	پیچیده	پیچیده	Conv.	پیچیده	پیچیده	Conv.	پیچیده	پیچیده	پیچیده	پیچیده	Conv.
موجودی مایع	متغیر	متغیر	ثابت	ثابت	متغیر	متغیر	ثابت	متغیر	ثابت	متغیر	متغیر	ثابت
موجودی بخار	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ثابت	ناچیز
فشار	متغیر	ثابت	ثابت	متغیر	متغیر	متغیر	ثابت	متغیر	ثابت	متغیر	متغیر	ثابت
دربش	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-
ماندگی	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-
اختلاط مایع	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ظفیان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
راندمان	-	متغیر	-	-	متغیر	متغیر	ثابت	متغیر	-	متغیر	ثابت	-
معادله انتالی	ذکر کرده	پلی نیما	-	پلی نیما	پلی نیما	-	-	ویرال	رابطه خطی	-	-	رابطه خطی
تبادل فازی	ذکر کرده	توانی	-	توانی	پلی نیما	-	PR	ویلسون	داتون وراثت	-	-	آنتوان
کار تجربی	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+
روش ریاضی	-	ضمنی	RKH	RKG	اولر	ضمنی	صریح	Gear	RKG	AM,BDF, DIRK	ضمنی	اولر
سال	۱۹۶۲	۱۹۶۶	۱۹۷۰	۱۹۷۱	۱۹۷۵	۱۹۷۸	۱۹۸۱	۱۹۸۲	۱۹۸۵	۱۹۸۶	-	۱۹۸۹
شماره مرجع	(۱۱)	(۲۱, ۲۳)	(۱۰)	(۱۲)	(۲)	(۵)	(۹)	(۶)	(۷)	(۱۳, ۱۴, ۱۵)	(۸)	(۴)

زمانی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\tau_j = \frac{1}{|Re(\lambda_j)|} \quad j = 1, 2, \dots, N$$

بزرگترین ثابت زمانی (مربوط به کوچکترین مقدار مشخصه) معمولاً به عنوان ثابت زمانی سیستم فرض می‌شود. همواره بزرگترین مقدار مشخصه $|\lambda_{max}|$ ، اندازه گام را در روش حل عددی به منظور پایداری و دقت تعیین می‌کند. (روش اولر: عددی به منظور پایداری و دقت تعیین می‌کند. (روش اولر: بزرگترین آن نسبت سختی نامیده می‌شود (ratio Stiffness) این نسبت نقش مهمی در انتخاب روش حل عددی دارد.

$$SR = \frac{|Re(\lambda_{max})|}{|Re(\lambda_{min})|}$$

اگر روش مناسب انتخاب نشود، سیستمی با ثابتهای زمانی پراکنده (سیستم سخت) نیاز به اندازه‌های گام کوچک در فواصل زمانی بزرگ دارد. نسبت سختی بستگی به فراربت نسبی و ترکیبات محصول دارد. بطور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت که در معادلات سخت که سیستم برج تقطیر از آن جمله است، به هیچ وجه از روشهای صریح نایستی استفاده کرد. در صورت استفاده از این دسته روشها دو محدودیت ایجاد می‌شود:

۱ - محدودیت در میزان Δt

۲ - محدودیت در میزان تغییرات

به دلایل فوق از روش ضمنی دوقطه‌ای (یا بطور ساده ضمنی) که دارای یک پارامتر قابل تنظیم است، استفاده شده است.

$$y_{n+1} = y_n + h[\alpha y'_{n+1} + (1 - \alpha) y'_n]$$

اگر $\alpha = 0$ روش اولر

$\alpha = \frac{1}{2}$ قاعده ذوزنقه‌ای

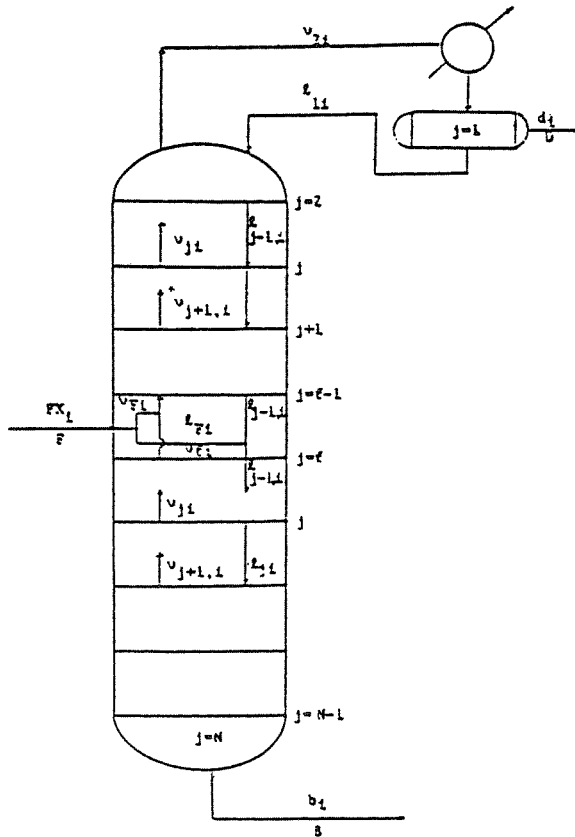
این روش برای $\frac{1}{2} \leq \alpha \leq 1$ همواره پایدار یا A-stable است.

۲- مدل ارائه شده توسط هلند [۲۵-۲۲]

در این برنامه یک برج تقطیر Conventional در نظر گرفته شده است. یک ستون تقطیر Conv. ستونی است که فقط دارای یک جریان خوراک و دو محصول Distillate و Bottoms باشد، هر ستونی که متفاوت از این ستون با داشتن بیشتر از یک جریان خوراک و یا جریانات ورودی و خروجی در طول ستون باشد، ستون پیچیده (Complex) نامیده می‌شود.

شکل ۱ شمایی از ستون مورد استفاده در این مدل را نشان می‌دهد. معادلات موازنه انرژی و جرم برای این برج بصورت زیر است:

معادله موازنه جزء به جزء مواد:



شکل ۱ - شمای ستون مورد استفاده در مدل هلند.

$$\int_{t_n}^{t_n + \Delta t} (v_{j+1,i} + l_{j-1,i} - v_{ji} - l_{ji}) dt = \quad (1)$$

$$(u_{ji}^V + u_{ji}^L) \Big|_{t_n + \Delta t} - (u_{ji}^V + u_{ji}^L) \Big|_{t_n}$$

موازنه کلی مواد

$$\int_{t_n}^{t_n + \Delta t} (V_{j+1} + L_{j-1} - V_j - L_j) dt = \quad (2)$$

$$(U_j^V + U_j^L) \Big|_{t_n + \Delta t} - (U_j^V + U_j^L) \Big|_{t_n} \quad (j \neq i, f, N)$$

موازنه انرژی

$$\int_{t_n}^{t_n + \Delta t} \sum_{i=1}^C (v_{j+1,i} H_{j+1,i} + l_{j-1,i} h_{j-1,i} - v_{ji} H_{ji}) \quad (3)$$

۳ - مدل ارائه شده توسط Economopoulos [۵]

در این مدل يك حل تكراری مدل همراه با خطی کردن روابط تعادل بخار- مایع در نقاط معینی در طول مسیر تقطیر استفاده می‌شود. این مدل توانایی شرح حالت پایدار و حالت گذرای برجهای تقطیر پیچیده را با هر تعداد خوراك، محصول جانبی و جریانهای حرارتی دارد. جریان حرارتی شامل همه عوامل خارجی است که بر روی معادلات موازنه انتالپی اثر می‌گذارد. این عوامل خارجی اتلاف حرارتی سینی‌ها یا حرارت مربوط به كندانسور پاره‌ای و ری‌بویلر است. شكل ۲ برج تقطیر استفاده شده در این مدل را که شامل يك كندانسور كامل و N مرحله تعمیم یافته است نشان می‌دهد.

مدل ریاضی

موازنه جزء به جزء مواد برای جزء j حول مرحله i

$$V_{i-1} y_{j,i-1} - V_i y_{j,i} + L_{i+1} x_{j,i+1} - L_i x_{j,i} + F_i C_{j,i} - (SV)_i y_{j,i} - (SL)_i x_{j,i} = \frac{d(U_i x_{j,i})}{dt} \quad (11)$$

موازنه کلی مواد

$$V_{i-1} - V_i + L_{i+1} - L_i + F_i - (SV)_i - (SL)_i = \frac{dU_i}{dt} \quad (12)$$

موازنه انتالپی مواد

$$V_{i-1}(HV)_{i-1} - V_i(HV)_i + L_{i+1}(HL)_{i+1} - L_i(HL)_i + (F_i)(HF)_i - (SV)_i(HV)_i - (SL)_i(HL)_i = \frac{d[U_i(HL)_i]}{dt} \quad (13)$$

كندانسور كامل

معادلات موازنه کلی و موازنه جزء به جزء مواد به صورت زیر است:

$$V_N - L_{N+1} - d = \frac{dU_D}{dt} \quad (14)$$

$$V_N y_{j,N} - (L_{N+1} + d)x_{j,N+1} = \frac{d(U_D x_{j,N+1})}{dt} \quad (15)$$

نسبت ریفلکس

$$R = L_{N+1}/d \quad (16)$$

با حذف d، با استفاده از معادله (۱۶) معادلات (۱۴) و (۱۵) به

$$- l_j h_{ji} dt = \sum_i (u_{ji}^V H_{ji} + u_{ji}^L h_{ji}) \Big|_{t_n}^{t_n + \Delta t} - \sum_i (u_{ji}^V H_{ji} + u_{ji}^L h_{ji}) \Big|_{t_n}$$

$$H_{ji} = H_{ji}^o + \Omega_j^V(P, T, \{y_{ji}\})$$

$$h_{ji} = H_{ji}^o + \Omega_j^L(P, T, \{x_{ji}\})$$

$$\sum_{i=1}^C l_{ji} - L_j = 0 \quad (4)$$

$$\sum_i v_{ji} - V_j = 0 \quad (5)$$

$$\sum_i u_{ji}^L - U_j^L = 0 \quad (6)$$

$$\sum_i u_{ji}^V - U_j^V = 0 \quad (7)$$

(j=1, 2, ..., N)

روابط تعادل:

$$y_{ji} = K_{ji} x_{ji} \quad (8)$$

مجموع اجزاء مولی رابطه زیر را می‌دهد:

$$f(T) = \sum_{i=1}^C K_{ji} x_{ji}^{-1} \quad (9)$$

$$F(T) = \sum_{i=1}^C \frac{y_{ji}}{K_{ji}} - 1 \quad (10)$$

به طور اختصار روش حل بصورت زیر است:

۱ - حل معادلات موازنه جزء به جزء مواد جهت محاسبه ترکیب درصد اجزاء در فاز مایع.

در این مرحله از روش همگرایی تا استفاده می‌شود. روش همگرایی تا يك روش مستقیم برای انتخاب يك گروه درجه حرارت براساس نتایج آخرین درجه حرارتهای محاسبه شده است.

۲ - محاسبه ترکیب درصد اجزاء در فاز بخار و درجه حرارت سینی با استفاده از روابط تعادل فازی.

۳ - حل توأم معادلات موازنه انرژی و موازنه کلی مواد برای محاسبه شدت جریانهای بخار و مایع.

برای محاسبه شدت جریان کلی مواد از روش ترکیب درصد ثابت استفاده می‌گردد. حذف یکی از شدت جریانهای کلی در معادله موازنه انتالپی با استفاده از موازنه جزء به جزء مواد برای محاسبه شدت جریان کلی به کار می‌رود. این فرم موازنه انتالپی، روش ترکیب درصد ثابت نامیده می‌شود.

از معادله (۱۷):

$$L_{N+1} = \frac{R}{R+1} [V_N + (ol)_{N+1} - \frac{U_D}{\mu \Delta t}] \quad (21)$$

از معادله (۱۲):

$$L_i = V_{i-1} - |V_i(SV)_i| - (SL)_i + L_{i+1} + F_i(ol)_i - \frac{U_i}{\mu \Delta t} \quad (22)$$

از معادله (۱۸):

$$x_{j,N+1} = \left| \frac{V_N y_{j,N} + (ox)_{j,N+1}}{(R+1)L_{N+1} + \frac{U_D}{\mu \Delta t}} \right| \quad (23)$$

و از معادله (۱۱):

$$V_{i-1} y_{j,i-1} - |V_i(SV)_i| y_{j,i} - |L_i + (SL)_i| + \frac{U_i}{\mu \Delta t} |x_{j,i} + L_{i+1} x_{j,i+1} = -F_i C_{j,i} - (ox)_{j,i} \quad (24)$$

در این روابط (ov) و (ol) و (ox) تنها متغیرهایی هستند که بایستی در حافظه از زمان قبل ذخیره شوند. برای حل حالت پایدار بایستی این مقادیر برابر با صفر قرار داده شوند که معادل با مقدار Δt بزرگ است یا می توان مقادیر U_i را برابر با صفر اختیار نمود.

۴ - محاسبات اساسی تعادل فازي

محاسبات اساسی تعادل شامل تعیین فشار و دمای نقاط حباب و شبنم، و محاسبه تبخیر ناگهانی است. در محاسبات نقاط حباب و شبنم، تبخیر ناگهانی V/F (یا L/F) ثابت، درجه حرارت یا فشار به عنوان متغیر مستقل بوده و دیگری (فشار یا درجه حرارت) متغیر وابسته است. در محاسبه معمولی تبخیر ناگهانی، درجه حرارت و فشار ثابت بوده و V/F (یا L/F) متغیر وابسته است. همه محاسبات تعادل براساس تعریف ضریب توزیع به شکل زیر است:

$$K_i = y_i / x_i$$

در این مقاله تنها مواد هیدروکربنی و غیرقطبی در نظر گرفته شده است. روشهای محاسبه ضریب فوگاسیته که در این برنامه استفاده شده به ترتیب زیر است:

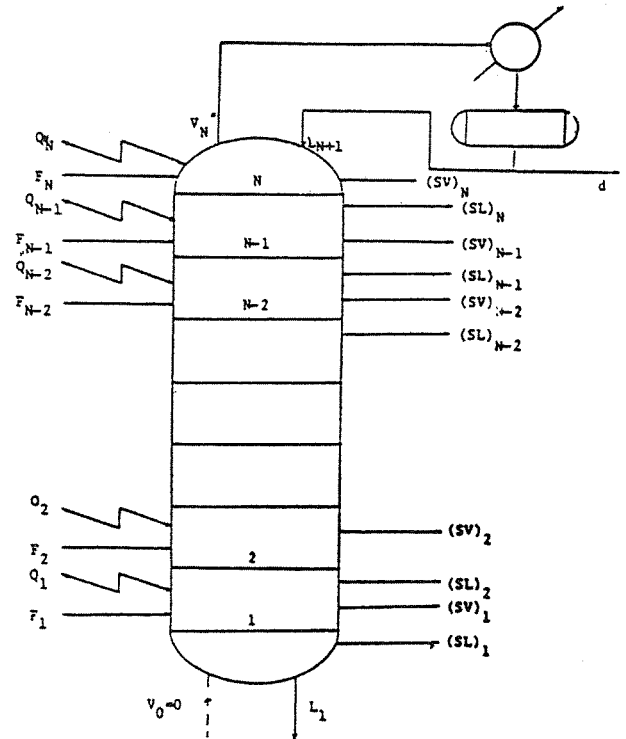
- معادله حالت Soave

- معادله حالت PR

- معادله حالت BWRS

- معادله حالت Grayson-Streed

(برای اطلاع بیشتر در ارتباط با معادلات حالت و محاسبات مربوط



شکل ۲ - برج تقطیر استفاده شده در مدل Economopoulos

صورت زیر درمی آید:

$$V_N - \left(\frac{R+1}{R} \right) L_{N+1} = \frac{dU_D}{dt} \quad (17)$$

$$V_N y_{j,N} - \left(\frac{R+1}{R} \right) L_{N+1} x_{j,N+1} = \frac{d(U_D x_{j,N+1})}{dt} \quad (18)$$

ری به یلر - با توجه به اینکه هیچگونه جریان بخار به ری بویلر وارد نمی شود: داریم:

$$V_0 = 0 \quad (19)$$

فرم عددی مدل ریاضی

با استفاده از فرمول ضمنی دونقطه‌ای برای تخمین معادلات دیفرانسیل مدل ریاضی، روابط زیر بدست می آید:

$$V_i = \frac{1}{(HV)_i} \{ (HV)_{i-1} V_{i-1} - (HV)_i (SV)_i - (HL)_i \} \quad (20)$$

$$\{ [L_i + (SL)_i] + (HL)_{i+1} L_{i+1} + (HF)_i F_i + (OV)_i - \frac{U_i (HL)_i}{\mu \Delta t} \}$$

به تعادل فازی به مرجع (۲۹) مراجعه گردد.)

۵- بررسی هیدرولیکی

در این قسمت دو نوع سینی‌های غربالی و سینی کلاهکی مورد بررسی قرار گرفته است. در مورد سینی‌های غربالی پدیده‌های طغیان، ماندگی، ریزش و طغیان ناودان مورد بررسی قرار گرفته و افت فشار و موجودی هر سینی با استفاده از روشهای متفاوت محاسبه شده است. در مورد سینی‌های کلاهکی نیز پدیده‌های طغیان، ماندگی، درصد باز بودن روزنه‌ها مورد بررسی قرار گرفته و افت فشار و موجودی هر سینی با استفاده از روشهای متفاوت محاسبه شده است. در مورد هر دو نوع سینی زمانی که میزان ماندگی، ریزش، طغیان، طغیان ناودان (و در مورد سینی‌های کلاهکی: درصد باز بودن روزنه‌ها) از حد مجاز بیشتر باشد اختطار داده می‌شود. (برای اطلاع بیشتر در مورد پدیده‌ها و روابط مورد استفاده و همچنین شکلها به مرجع [۲۹] مراجعه گردد). خلاصه روابط مربوط به پدیده‌های مختلف که در سینی‌های غربالی و کلاهکی در برنامه کامپیوتری شبیه‌سازی دینامیکی برج تقطیر امکان استفاده از آنها وجود دارد، در ضمیمه آورده شده است. نظر به اینکه نتایج آزمایشگاهی بدون در نظر گرفتن هیدرولیک سینی‌ها می‌باشد لذا نتایج (علی‌رغم توانایی مدل) بدون اعمال شرایط هیدرولیکی ارائه شده است.

۶- شرح آزمایش و نتایج

برای بررسی مدلها و مقایسه بین آنها یکسری آزمایش انجام گرفت که برای انجام آزمایش‌ها از مخلوط سه جزئی هگزان،

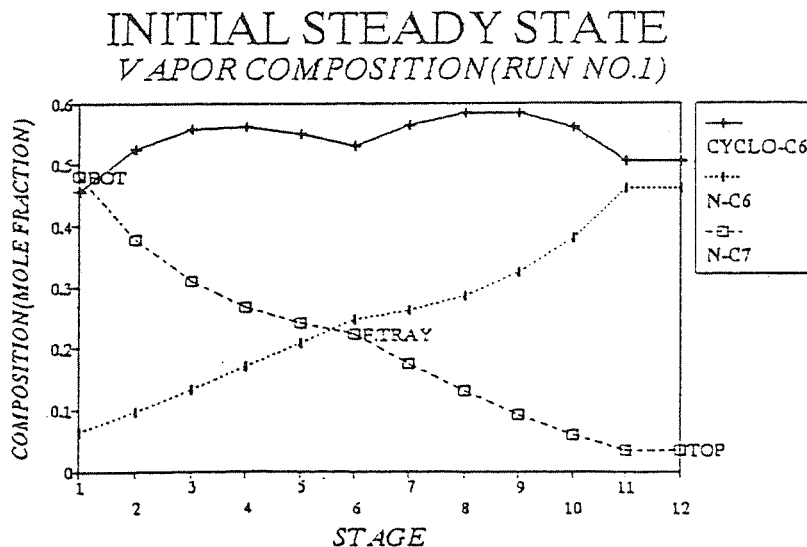
سیکلو هگزان و هپتان استفاده گردید. برج استفاده شده در این مورد برجی با سینی‌های غربالی و تعداد ده سینی به همراه کندانسور و ری‌بویلر جمعاً دوازده مرحله می‌باشد. آزمایش به این ترتیب صورت گرفت که ابتدا دو خوراک با غلظتهای متفاوت تهیه شده، سپس برج با خوراک اول به مدت یک ساعت در حالت ریفلکس کامل عمل کرد پس از آن خوراک اول در سینی پنجم به صورت مایع وارد شده و به مدت یک ساعت عمل کرد تا به حالت پایدار رسید. سپس در زمان صفر (0^+) خوراک دوم به برج وارد شده و آزمایش ادامه پیدا کرد تا برج با خوراک دوم نیز به حالت پایدار برسد. این عمل نیز سه ساعت به طول انجامید. (مشخصات کامل اجرای برنامه در ضمیمه دوم آمده است).

حالت استاتیک

حالت استاتیک، حالتی از برج تقطیر است که برج به حالت پایدار رسیده و هیچکدام از پارامترها با زمان تغییر نمی‌کند. این وضعیت تنها برای محاسبه تعداد سینی‌های برج تقطیر مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

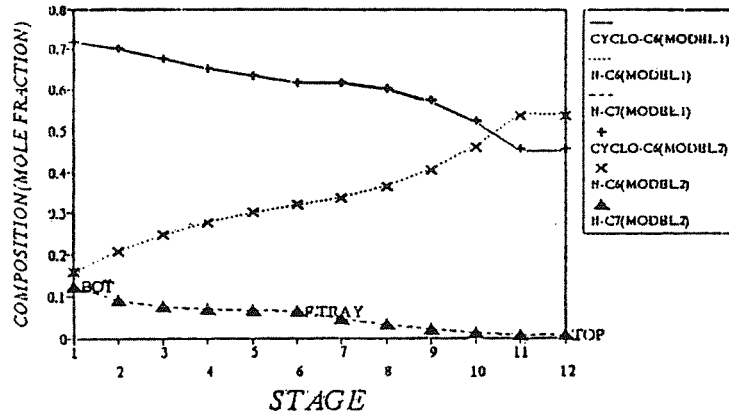
شکل ۳ بیانگر تغییرات درصد فاز بخار مربوط به حالت پایدار اولیه است. چنانکه در این شکل مشاهده می‌شود، با افزایش شماره مرحله (مرحله (۱) مربوط به ری‌بویلر است) غلظت جزء سنگین تر (نرمال هپتان) کاهش و غلظت اجزاء سبکتر (نرمال هگزان و سیکلو هگزان) افزایش پیدا کرده است. در سینی خوراک (مرحله ششم، سینی پنجم) در مورد هر سه جزء شکست مشاهده می‌شود.

شکل ۴ ترکیب درصد مواد را در فاز بخار در حالت پایدار



شکل ۳ - تغییرات ترکیب درصد سه جزء روی سینی‌ها در حالت پایدار اولیه (فاز بخار).

FINAL STEADY STATE VAPOR COMPOSITION (RUN NO.1)



شکل ۴ - تغییرات ترکیب درصد سه جزء در فاز بخار روی سینی‌ها در حالت پایدار نهایی برای دو مدل دینامیکی.

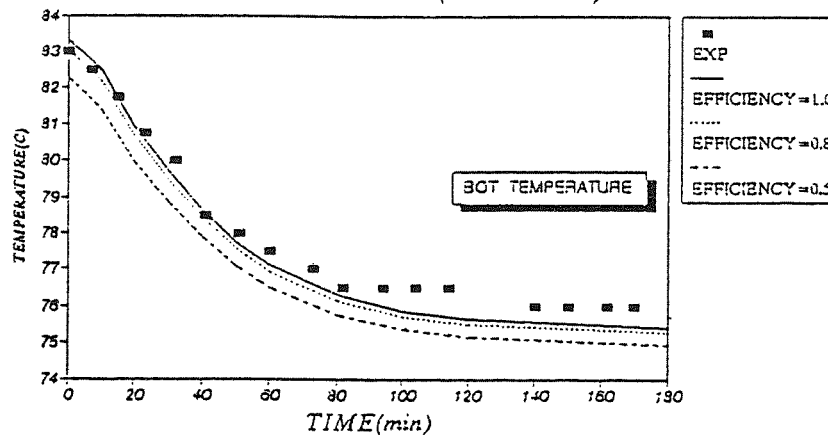
در این مقاله تنها حالت مداوم مورد بررسی قرار گرفته است. اثر راندمان در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است، کاهش راندمان درجه حرارت سینی‌های بالای خوراک را زیاد می‌کند و درجه حرارت صفحات پایین خوراک را کاهش می‌دهد. زیرا با کاهش راندمان جداسازی کم می‌شود. بنابراین در سینی‌های بالای خوراک اجزاء سنگین در فاز بخار زیادتر شده و درجه حرارت بالا می‌رود و در سینی‌های زیر خوراک نیز اجزاء سبک در فاز بخار زیادتر شده و درجه حرارت کاهش می‌یابد.

شکل ۷ اثر راندمان را بر محصول پایین برج نشان می‌دهد. با کاهش راندمان جزء سبک‌تر افزایش و جزء سنگین‌تر کاهش پیدا کرده است که ناشی از کاهش جداسازی است. شکل ۸ تغییرات

نهایی نشان می‌دهد. کیفیت تغییرات نظیر حالت پایدار اولیه است. ولی میزان این تغییرات متفاوت است که علت آن متفاوت بودن غلظت‌های دو خوراک است. تغییرات ماده سنگین‌تر (نرمال هپتان) با افزایش شماره مرحله کاهش کمتری را نسبت به حالت اول نشان می‌دهد. زیرا ترکیب درصد آن در خوراک دوم نسبت به حالت اول کاهش عمده‌ای داراست و به جای آن غلظت سیکلو هگزان افزایش پیدا کرده است.

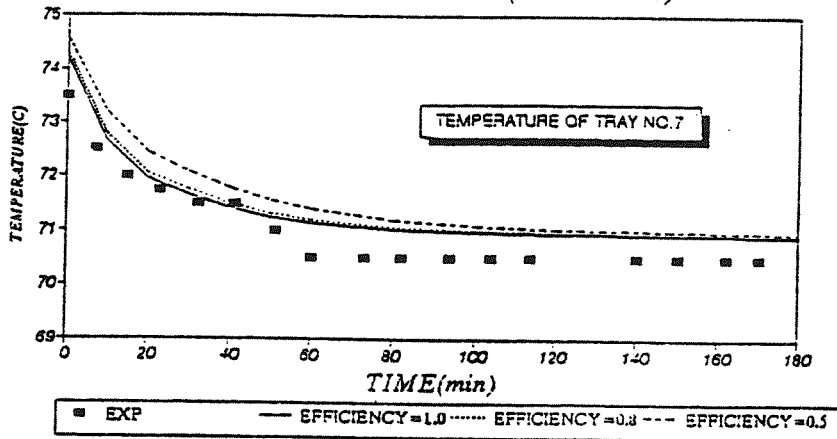
اثر پارامترهای مختلف بر دینامیک برج تقطیر حالت دینامیک یا ناپایدار برج تقطیر، وضعیتی است که پارامترها با زمان تغییر می‌کنند که می‌تواند به صورت *Batch* و یا مداوم باشد.

EFFECT OF EFFICIENCY RUN NO.1&14&15 (MODEL1)



شکل ۵ - تغییرات درجه حرارت محصول زیرین برج با زمان برای سه حالت راندمان و مقایسه آن با نتایج تجربی.

EFFECT OF EFFICIENCY RUN NO.1&14&15(MODEL1)

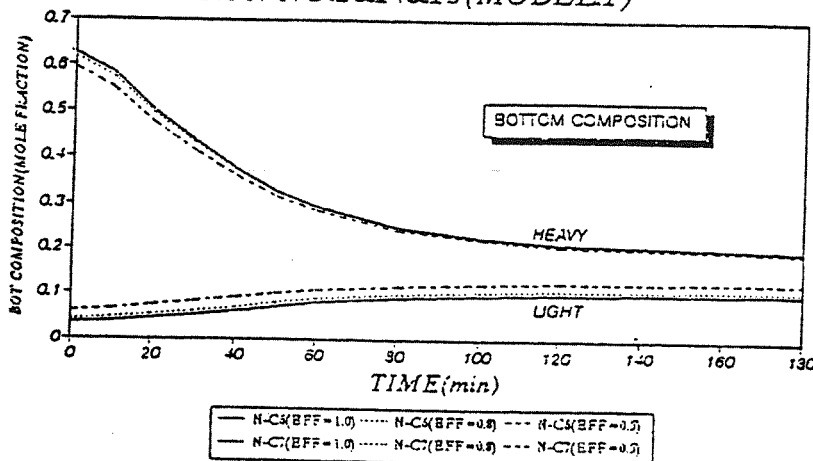


شکل ۶ - تغییرات درجه حرارت سینی شماره ۷ با زمان برای سه حالت راندمان و مقایسه آن با نتایج تجربی.

زیادتر باشد مقدار کل ماده در دسترس برای توزیع حول ستون زیادتر و در نتیجه باعث می شود زمان افزایش می یابد. تغییرات چندمرحله ای ترکیب درصد خوراک در شبیه سازی دینامیکی برج تقطیر مورد مطالعه قرار گرفته است. برای نشان دادن میزان توانایی برنامه سه تغییر متوالی در ترکیب درصد خوراک داده شده که این تغییرات در زمانهای ۰، ۳۰، ۶۰ دقیقه بوده و به طریقی است که شرایط خوراک در زمان ۶۰ دقیقه همان شرایط در زمان ۰ را داراست. در کلیه شکلها مشخص است حالات پایدار نهایی کاملاً برحالت پایدار اولیه منطبق است (شکلهای ۱۱ و ۱۲).

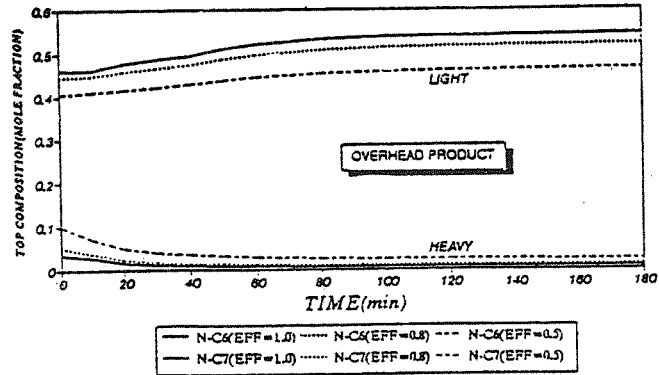
ترکیب درصد اجزاء را در محصول بالای برج نشان می دهد. چنانکه مشاهده می شود با کاهش راندمان، غلظت جزء سبکتر در محصول بالای برج کاهش یافته است. اثر میزان موجودی بر پارامتر مختلف نظیر ترکیب درصد سه جزء در شکلهای ۹ و ۱۰ مشاهده می شود. حالات پایدار اولیه و نهایی مستقل از میزان موجودی بوده و برای دو اجرا بریکدیگر منطبق هستند. کیفیت تغییرات در همه موارد در دو اجرا یکسان می باشد. تغییر عمده ای که میزان موجودی ایجاد می نماید زمان پاسخ است. با افزایش میزان موجودی، زمان پاسخ افزایش پیدا کرده است که علت آن کاملاً واضح است و هرچه میزان موجودی

EFFECT OF EFFICIENCY RUN NO.1&14&15(MODEL1)



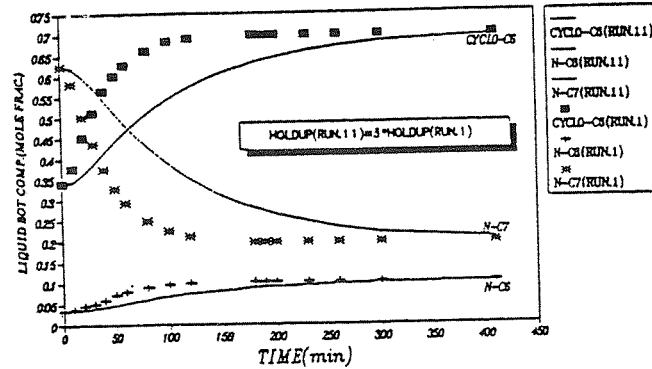
شکل ۷ - تأثیر راندمان در تغییرات غلظت با زمان برای دو جزء سبک و سنگین در محصول زیرین برج.

EFFECT OF EFFICIENCY RUN NO.1&14&15(MODEL1)



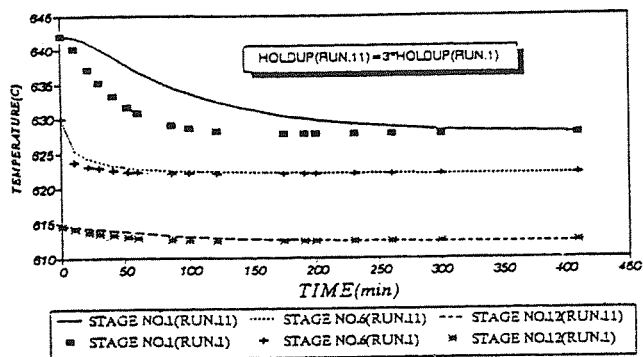
شکل ۸ - تأثیر راندمان در تغییرات غلظت با زمان برای دو جزء سبک و سنگین در محصول بالای برج.

EFFECT OF HOLDUP RUN NO.1 & RUN NO.11(MODEL1)



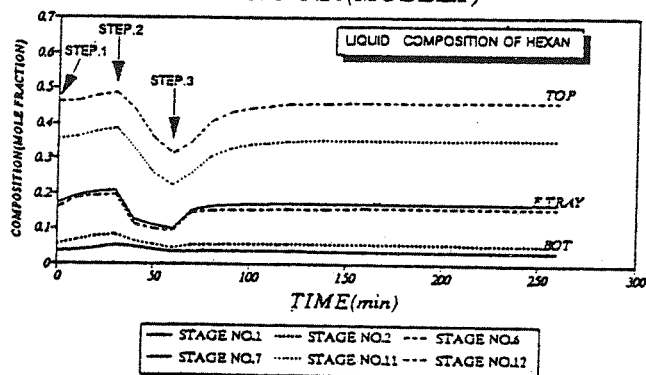
شکل ۹ - تأثیر مقدار موجودی در تغییرات ترکیب درصد سه جزء در محصول زیرین برج با زمان.

EFFECT OF HOLDUP RUN NO.1&11(MODEL1)



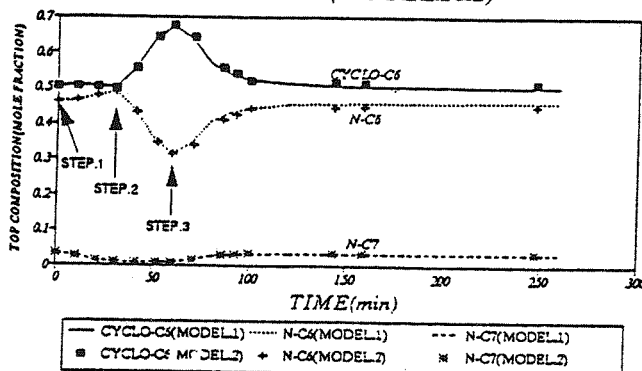
شکل ۱۰ - تأثیر مقدار موجودی روی تغییرات درجه حرارت با زمان برای مراحل مختلف برج تقطیر.

MULTISTEP: FEED COMPOSITION RUN NO.10(MODEL1)



شکل ۱۱ - اثر تغییرات چندمرحله‌ای خوراک روی ترکیب درصد هگزان (فاز مایع) با زمان در روی مراحل مختلف برج تقطیر.

MULTISTEP: FEED COMPOSITION RUN NO.10(MODEL1&2)



شکل ۱۲ - اثر تغییرات چندمرحله‌ای خوراک روی ترکیب درصد محصول بالای برج با زمان.

اثر نسبت برگشتی در این مقاله بعنوان یکی از پارامترها در برج تقطیر مورد مطالعه قرار گرفته است. چنانکه در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود با افزایش نسبت برگشتی درجه حرارت در کلیه مراحل به یک میزان کاهش پیدا کرده است. همچنین چنانکه در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود غلظت جزء سبکتر افزایش پیدا کرده است (جداسازی بهتر صورت گرفته است).

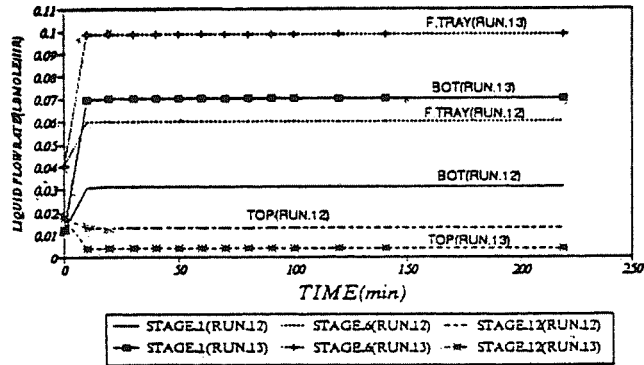
۴- نتیجه گیری کلی

اثر تغییر ترکیب درصد مواد در خوراک با تغییر ترکیب درصد مواد در خوراک، تغییرات مشابه در کلیه مراحل مشاهده می‌گردد. این تغییرات در مرحله اول (ری بویلر) به علت موجودی بیشتر مشهودتر می‌باشد. همچنین اگر دانسیته اجزاء به یکدیگر نزدیک باشد، تغییرات ترکیب درصد خوراک بر شدت جریان بخار و مایع اثر ناچیزی دارد. با افزایش ترکیب درصد جزء سنگین، درجه حرارت مراحل زیر خوراک افزایش می‌یابد.

اثر شدت جریان خوراک بعنوان یکی از مهمترین پارامترهای تغییر در برج تقطیر در حالت دینامیکی مورد مطالعه قرار گرفته است. چنانکه در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود با افزایش شدت جریان خوراک، شدت جریان مایع در کلیه سینی‌ها افزایش یافته است. شکل ۱۴ تغییرات شدت جریان بخار را نشان می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌شود شدت جریان بخار کاهش یافته است و این تغییرات در سینی‌های اطراف خوراک محسوستر است. علت کاهش شدت جریان محصول بالای برج کاهش در سینی دهم می‌باشد.

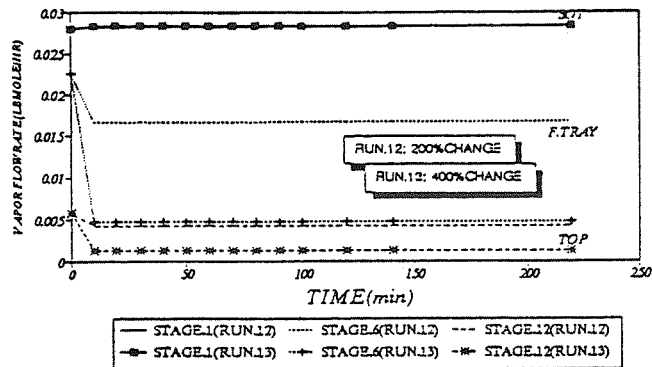
اثر درجه حرارت خوراک شکل ۱۵ اثر افزایش درجه حرارت خوراک را نشان می‌دهد. در این اجرا درجه حرارت خوراک، به میزان ۱۰۰ درجه فارنهایت افزایش یافته است. چنانکه مشاهده می‌شود، با افزایش درجه حرارت خوراک، غلظت جزء سنگین‌تر افزایش و غلظت اجزاء سبکتر کاهش یافته است (جداسازی بهتر صورت گرفته است).

STEP:FEED RATE
RUN NO.12&13(MODEL1)



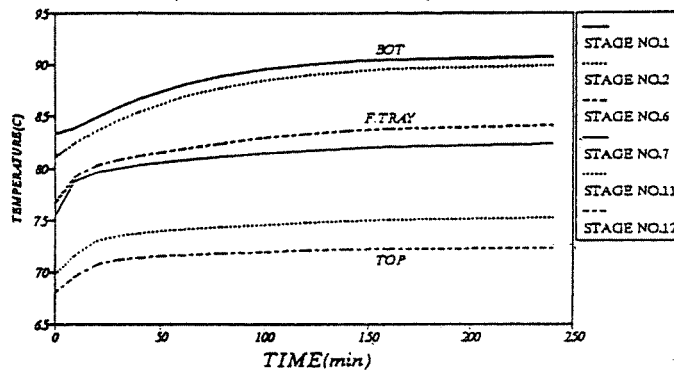
شکل ۱۳ - اثر تغییر شدت جریان خوراک روی شدت جریان مایع در مراحل مختلف برج تقطیر.

STEP:FEED RATE
RUN NO.12&13(MODEL1)



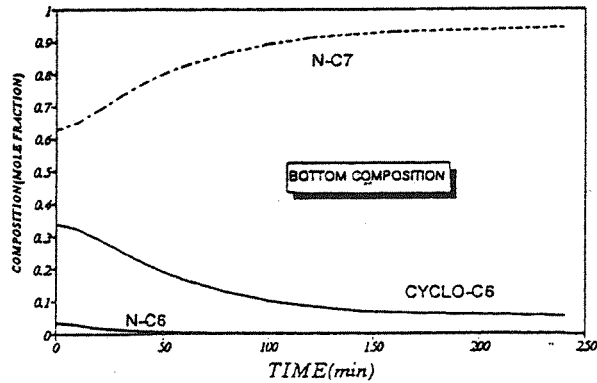
شکل ۱۴ - اثر تغییر شدت جریان خوراک روی شدت جریان بخار در مراحل مختلف برج تقطیر.

STEP:FEED TEMPERATURE
(RUN NO.7-MODEL1)



شکل ۱۵ - تأثیر افزایش درجه حرارت خوراک روی تغییرات درجه حرارت در سینی‌های مختلف با زمان.

STEP:FEED TEMPERATURE (RUN NO.7-MODEL1)



شکل ۱۶ - تأثیر افزایش درجه حرارت خوراک روی تغییرات ترکیب درصد اجزاء با زمان در محصول زیرین برج تقطیر.

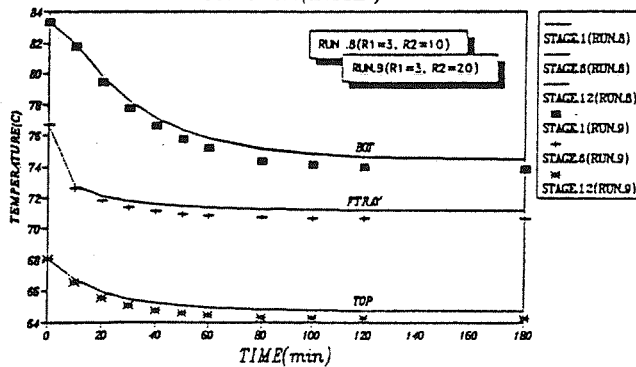
شدت جریان مایع در کلیه مراحل افزایش می‌یابد. افزایش شدت جریان خوراک در حالی که خوراک به صورت مایع و سرد وارد شود (در این مقاله باعث کاهش شدت جریان بخار می‌گردد): هرچه درجه حرارت آن افزایش یابد، میزان این کاهش کمتر خواهد شد. این تغییرات در سینی‌های اطراف خوراک محسوستر است. اگر خوراک بیشتر حاوی مواد سبک باشد، افزایش شدت جریان خوراک باعث افزایش میزان جداسازی در بالای برج و کاهش جداسازی در پایین برج می‌گردد. در این حالت تغییرات ترکیب درصد در سینی خوراک به طریقی است که به سمت یکساخت شدن با ترکیب درصد خوراک پیش می‌رود.

Brambilla [۲] و همکاران (۱۹۷۵) نیز اثر شدت جریان خوراک را به صورت تعویک بررسی کردند. آنها مخلوط شش جزئی بنزن، تولوئن، زایلنها و اتیل بنزن را مورد استفاده قرار دادند. خوراک آنها بیشتر حاوی بنزن بوده و افزایش ۳۰ درصد در شدت جریان خوراک باعث افزایش جزء سبکتر (بنزن) در بالای

اثر راندمان کاهش راندمان درجه حرارت صفحات بالای خوراک را زیاد و درجه حرارت صفحات پایین خوراک را کم می‌کند. راندمان تأثیر چندانی بر شدت جریان مایع ندارد. (اگر دانسته اجزاء تفاوت چندانی نکند). با کاهش راندمان، جزء سبک‌تر در پایین برج افزایش و جزء سنگین‌تر کاهش پیدا می‌کند که ناشی از کاهش جداسازی است. با کاهش راندمان، غلظت جزء سبک‌تر در محصول بالای برج کاهش و غلظت جزء سنگین‌تر افزایش پیدا می‌کند که این نیز ناشی از کاهش جداسازی در منطقه بالای خوراک است.

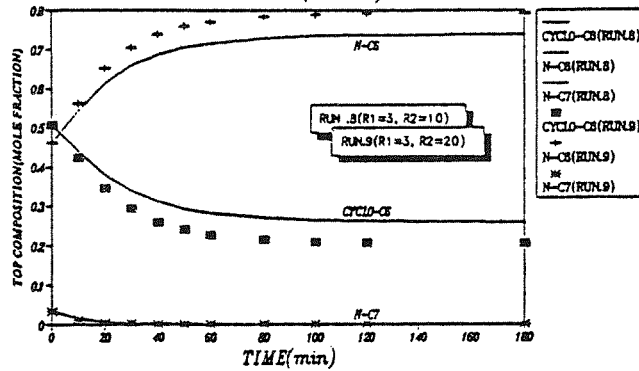
تغییرات میزان موجودی تغییرات میزان موجودی هیچگونه اثری برحالات پایدار اولیه و نهایی در هیچ پارامتری ندارد. با افزایش میزان موجودی، زمان پاسخ افزایش پیدا می‌کند. زیرا هرچه موجودی زیادتر باشد، مقدار کل ماده‌ای که بایستی توزیع شود، بیشتر می‌شود و ستون دیرتر به حالت پایدار خواهد رسید. اثر شدت جریان خوراک مایع با افزایش شدت جریان خوراک

STEP:REFLUX RATIO+FEED COM. RUN NO8&9(MODEL1)



شکل ۱۷ - تأثیر نسبت برگشتی روی تغییرات درجه حرارت با زمان در قسمت‌های مختلف برج تقطیر.

STEP-REFLUX RATIO+FEED COM.
RUN NO8&9(MODEL1)



شکل ۱۸ - تأثیر نسبت برگشتی روی تغییرات ترکیب درصد محصول بالای برج با زمان برای هر سه جزء.

البته در این مورد نتایج مدل وی با نتایج تجربی مطابقت ندارد. آنها فرض کردند که انتالپی بخار و مایع رابطه خطی با غلظت دارد. همچنین روش اولر را برای حل معادلات دیفرانسیل استفاده کردند.

بررسیهای Berber و همکاران [۷] (۱۹۸۵) نیز نشان می‌دهد که افزایش نسبت برگشتی باعث افزایش جداسازی محصول بالای برج می‌شود. همچنین درجه حرارت کلیه سینی‌ها را کاهش می‌دهد.

Gani و همکاران [۱۵-۱۳] نیز افزایش نسبت برگشتی را بررسی کردند. نتایج آنها نیز نشان می‌دهد که افزایش نسبت برگشتی باعث کاهش درجه حرارت بالای برج، افزایش شدت جریان محصول پایین برج، افزایش جزء سبکتر در پایین برج می‌شود. آنها روش BDF (تفاضل پسرو)، DIRK (Diagonally implicit Rung-kutta) و AM (آدامز-مولتون) را جهت حل به کار بردند.

ضمیمه ۱

۱ - سینی‌های غریالی [۲۷، ۲۶، ۱۷، ۱۶]

الف - افت فشار سینی خشک

بر اساس معادلات ارائه شده توسط O'Connell و Hughmark و Hunt و همکاران، Leibson و همکاران.

ب - افت فشار مربوط به کشش سطحی

بر اساس نتایج Hutchinson و همکاران، Mayfield و همکاران، Zenz

ج - قوس مایع روی بند

بر اساس رابطه بند فرانسویس.

برج و کاهش اجزاء سنگین تر (زایلنها) در پایین برج بوده است. آنها روش اولر را برای حل معادلات دیفرانسیل استفاده کردند. Berber [۷] و همکاران (۱۹۸۵) نیز اثر شدت جریان خوراک را بصورت تئوریک بررسی کرد. نتایج وی نشان می‌دهد که افزایش شدت جریان خوراک باعث افزایش جداسازی در بالای برج شده است. همچنین کاهش شدت جریان خوراک جداسازی در بالای برج را کاهش می‌دهد. (این محقق روش Rung-Kutta-Gill را برای حل معادلات دیفرانسیل استفاده کرد. همچنین قانون دالتون را برای فشار جزئی فاز بخار و قانون راؤولت را برای محتویات سینی به کار برد).

اثر درجه حرارت خوراک با افزایش درجه حرارت خوراک، درجه حرارت کلیه مراحل افزایش می‌یابد. افزایش درجه حرارت خوراک باعث افزایش شدت جریان بخار و کاهش جریان مایع در سینی‌ها می‌گردد. افزایش درجه حرارت خوراک میزان جداسازی را در پایین برج افزایش و در بالای برج کاهش می‌دهد. از اینجا می‌توان نتیجه گرفت که اگر محصول مورد نظر از پایین برج بدست آید افزایش درجه حرارت خوراک مناسب است.

اثر نسبت برگشتی با افزایش نسبت برگشتی، شدت جریان مایع در کلیه مراحل افزایش پیدا می‌کند. افزایش برگشتی تأثیری بر شدت جریان بخار ندارد و درجه حرارت را در کلیه مراحل کاهش می‌دهد. همچنین میزان جداسازی محصول بالای برج را افزایش و میزان جداسازی محصول پایین برج را کاهش می‌دهد. از اینجا می‌توان نتیجه گرفت که اگر هدف محصول بالای برج باشد، افزایش نسبت برگشتی مطلوب است.

شکلهای ارائه شده توسط Berber [۴] و همکاران (۱۹۸۹) که اثر نسبت برگشتی را مورد بررسی قرار دادند نشان می‌دهد که افزایش نسبت برگشتی باعث کاهش جداسازی در پایین برج شده است. همچنین نتایج تجربی وی نشان می‌دهد که این افزایش، باعث افزایش جداسازی در سینی‌های بالای برج گردیده است.

د - محاسبه افت فشار مایع روی سینی

بر اساس معادلات ارائه شده توسط *Fair*، معادله *Foss* و *Gerster* و معادله *Hughmark* و *O'Connell*

ه - دینامیک ناودان

در این مورد چهار فاکتور اساسی وجود دارد:

- افت فشار مربوط به جریان خروجی ناودان

- مایع در ناودان

- زمان اقامت در ناودان

- مایع روی بند

افت فشار مربوط به جریان خروجی ناودان از رابطه اوریفیس بدست می آید. سپس میزان مایع در ناودان محاسبه می شود که بایستی کمتر از نصف فواصل بین سینی ها باشد. زمان اقامت در ناودان بایستی به اندازه ای باشد تا مایع به طور کامل عاری از بخار گردد. در غیر اینصورت پدیده طغیان در ناودان صورت می گیرد. در حالتی که ارتفاع مایع صاف در ناودان از نصف فواصل بین سینی بیشتر باشد، احتضار داده می شود. به این ترتیب افت فشار کل سینی از مجموع افت فشار سینی خشک، افت فشار مایع و افت فشار مربوط به کشش سطحی بدست می آید.

$$h_t = h_d + h_l + h_\sigma \quad \Delta P = h_t(\rho/\lambda 228)$$

h_t برحسب ارتفاع مایع صاف (*in*) و ΔP افت فشار برحسب *Psia* می باشد. موجودی هر صفحه نیز از رابطه زیر بدست می آید:

$$U = (h_l A_a + h_{ld} A_d)(\rho/\lambda 2)$$

و - پدیده طغیان

بر اساس معادلات ارائه شده توسط *Koch*، *Glitch manual*، *Fair*، *manual* در حالتی که فاکتور طغیان از حد مجاز بیشتر باشد احتضار داده می شود.

ز - پدیده ماندگی

بر اساس روش *Matthews* و *Thiele* در حالتی که میزان ماندگی از ۰/۱۵ تجاوز نماید احتضار داده می شود.

ح - ریزش

برای جلوگیری از ریزش بایستی آثار کشش سطحی و افت فشار بخار (بعنوان مانع ریزش) از ارتفاع مایع صاف در بند خروجی (که می تواند بعنوان نیروی محرکه برای ریزش مایع در نظر گرفته شود) بیشتر باشد.

۲ - سینی های کلاهکی [۲۶، ۲۷]

الف - پدیده طغیان

بر اساس روش *Fair* و *Matthews*.

ب - پدیده ماندگی

بر اساس روش *Fair* و *Matthews*.

ج - درصد باز بودن روزنه ها

بر اساس روش *Rogers* و *Thiele*

د - قوس مایع روی بند

بر اساس رابطه بند فرانسویس؛

ه - افت فشار بخار

بر اساس روش طراحی *Bolles*

و - دینامیک ناودان

محاسبات دقیقاً مانند محاسبات مربوط به سینی های غربالی است.

۳- روشهای ترمودینامیکی در خواص فیزیکی

محاسبه انتالپی [۲۸]

با استفاده از معادلات حالت *BWRS*، *SRK*، *PR*

محاسبه ظرفیت حرارتی گاز ایده آل [۱۸، ۲۸]

با استفاده از معادلات *Lee-Kesler* (با و بدون استفاده از ضریب غیر تقارن) و معادلات *Passut-Danner*

معادلات تجربی محاسبه خواص بحرانی و جرم مولکولی و ضریب

غیر تقارن [۱۸، ۲۱]

با استفاده از معادلات ریاضی (۱۹۸۰)، معادله *Lee-Kesler* معادله *Starling*، معادله ریاضی (۱۹۸۷).

محاسبه ضریب تراکم پذیری و حجم مولی [۲۸]

بر اساس معادلات حالت *BWRS*، *SRK*، *PR* و رابطه *Yen-Woods*

محاسبه گرمای نهان تبخیر [۲۸]

بر اساس رابطه *Reid* و همکاران.

محاسبه پارامتر حلالیت و کشش سطحی [۲۸]

بر اساس معادلات ارائه شده توسط *Brock* و *Bird*

شماره اجرا	۱	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
مشخصات										
EFF	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
F1	$\sqrt{4V^2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$	$\sqrt{4V^2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$	$\sqrt{4V^2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$	$\sqrt{4V^2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$	-	$\sqrt{4V^2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$	$\sqrt{4V^2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$	$\sqrt{4V^2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$	$\sqrt{4V^2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$	$\sqrt{4V^2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$
F2	$\sqrt{2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$	$\sqrt{4V^2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$	$\sqrt{2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$	$\sqrt{2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$	-	$\sqrt{2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$	$0.9 \sqrt{4V^2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$	$1.1 \sqrt{4V^2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$	$\sqrt{2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$	$\sqrt{2 \times 1.0 \times 1.0}^{-F}$
Q0	۱/۸	۱	۱	۱	۱	۱/۸	۱	۱	۱/۸	۱/۸
R1	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
R2	۳	۳	۱۰	۲۰	۳	۳	۳	۳	۳	۳
TF1	۵TV	۵TV	۵TV	۵TV	-	۵TV	۵TV	۵TV	۵TV	۵TV
TF2	۵TV	۶TV	۵TV	۵TV	-	۵TV	۵TV	۵TV	۵TV	۵TV
X1(1)	۰/۳۹۲۳	۰/۳۹۲۳	۰/۳۹۲۳	۰/۳۹۲۳	-	۰/۳۹۲۳	۰/۳۹۲۳	۰/۳۹۲۳	۰/۳۹۲۳	۰/۳۹۲۳
X1(2)	۰/۱۷۳	۰/۱۷۳	۰/۱۷۳	۰/۱۷۳	-	۰/۱۷۳	۰/۱۷۳	۰/۱۷۳	۰/۱۷۳	۰/۱۷۳
X1(3)	۰/۴۳۳۴	۰/۴۳۳۴	۰/۴۳۳۴	۰/۴۳۳۴	-	۰/۴۳۳۴	۰/۴۳۳۴	۰/۴۳۳۴	۰/۴۳۳۴	۰/۴۳۳۴
X2(1)	۰/۶۴۲۹	۰/۳۹۲۳	۰/۶۴۲۹	۰/۶۴۲۹	-	۰/۶۴۲۹	۰/۳۹۲۳	۰/۳۹۲۳	۰/۶۴۲۹	۰/۶۴۲۹
X2(2)	۰/۲۰۶۶	۰/۱۷۳	۰/۲۰۶۶	۰/۲۰۶۶	-	۰/۲۰۶۶	۰/۱۷۳	۰/۱۷۳	۰/۲۰۶۶	۰/۲۰۶۶
X2(3)	۰/۱۵۰۰	۰/۴۳۳۴	۰/۱۵۰۰	۰/۱۵۰۰	-	۰/۱۵۰۰	۰/۴۳۳۴	۰/۴۳۳۴	۰/۱۵۰۰	۰/۱۵۰۰
CPU (min)	۸	۵	-	-	۱۲	-	۵	-	۱۰	۱۲
TIME (min)	۱۸۰	۱۰۰	۱۶۰	۱۶۰	۲۴۰	۴۱۰	۱۲۰	۲۲۰	۱۸۰	۱۸۰

ضمیمه ۲

جدول (۱-۲) مشخصات اجرای برنامه‌ها را نشان می‌دهد. در کلیه اجراها از معادله حالت SRK برای محاسبات نقطه حباب، شبنم، تبخیر ناگهانی، انحراف انتالپی و از معادله Passut-Danner جهت محاسبات انتالپی گاز ایده آل استفاده شده است. کدهای استفاده شده در این جدول به صورت زیر می‌باشد.	h_i	: افت فشار کل سینی، اینچ مایع
EFF : راندمان مورفوری که برای کلیه مراحل و کلیه اجزاء ثابت فرض شده است.	h_{σ}	: افت فشار کشش سطحی، اینچ مایع
	$(HF)_i$: انتالپی خوراک مرحله i (مدل ۱)، بی‌تی‌یو برمول
F_{ν}, F_{τ} : شدت جریان خوراک اول و دوم، پوند مول بر دقیقه	$(HL)_i$: انتالپی مایع مرحله i (مدل ۱)، بی‌تی‌یو برمول
	$(HV)_i$: انتالپی بخار مرحله i (مدل ۱)، بی‌تی‌یو برمول
QQ : ضریب تغییر در توان حرارتی در دقیقه ۳۳ (به علت مشاهده طغیان در عینی)	I	: ماتریس واحد
	J	: ماتریس ژاکوبین
R_{ν}, R_{τ} : نسبت برگشتی	K_{ji}	: ثابت تعادل جزء i در درجه حرارت و فشار مایع مرحله j (مدل ۲)
	L_i	: شدت جریان مایع مرحله i مول بر زمان (مدل ۲)
TF_{ν}, TF_{τ} : درجه حرارت خوراک اول و دوم، R	L_j	: شدت جریان مایع مرحله j مول بر زمان (مدل ۱)
	l_{ji}	: شدت جریان جزء i در فاز مایع مرحله j مول بر زمان (مدل ۲)
X_{ν}, X_{τ} : ترکیب درصد اجزاء در خوراک اول و دوم (به ترتیب سیکلو هگزان، هگزان، هپتان).	M	: تعداد کل اجزاء (مدل ۱)
	N	: تعداد کل مراحل شامل ری‌بویلر و کندانسور پاره‌ای
$TIME$: زمان رسیدن به حالت پایدار، پیش‌بینی شده توسط برنامه	$(ov)_i, (ol)_i$: متغیرهای تعریف شده در مرجع (۵)
	$(ox)_{j,i}$: فشار
نشانه‌ها	P	: انرژی خالص خارج شده بوسیله کندانسور، بی‌تی‌یو بر زمان (مدل ۲)
	Q_c	: حرارت منتقل شده از مرحله i بی‌تی‌یو بر زمان (مدل ۱)
A_a : سطح فعال یا حبابی سینی، فوت مربع	Q_i	: حرارت منتقل شده از مرحله i بی‌تی‌یو بر زمان (مدل ۱)
	R	: نسبت برگشتی
A_d : سطح ناودان، فوت مربع	SR	: نسبت سختی
	$(\Delta L)_i$: جریان محصول جانبی مایع مرحله i (مدل ۱)، مول بر زمان
B : شدت جریان کلی محصول زیرین ستون، مول بر زمان (مدل ۲)	$(\Delta V)_i$: جریان محصول جانبی بخار مرحله i (مدل ۱)، مول بر زمان
	b_i	: شدت جریان جزء i در محصول زیرین ستون، مول بر زمان (مدل ۲)
$C_{j,i}$: جزء مولی جزء i در خوراک مرحله j (مدل ۱)	T	: درجه حرارت
	C	: تعداد اجزاء (مدل ۲)
D : شدت جریان کلی محصول تقطیر شده، مول بر زمان (مدل ۲)	t	: زمان (t_n و n شماره حدس)
	d	: شدت جریان محصول تقطیر شده، مول بر زمان (مدل ۱)
F_i : شدت مولی خوراک مرحله i (مدل ۱)	U	: موجودی مایع، پوند مول.
	f	: موجودی مایع در کندانسور، پوند مول (مدل ۱)
$f(T_j)$: تابع نقطه حباب برای مرحله j	U_D	: موجودی مایع در کندانسور، پوند مول (مدل ۱)
	$F(T_j)$: موجودی مایع برای مرحله j
H_{ji} : انتالپی جزء i در حالت بخار در درجه حرارت مرحله j ، بی‌تی‌یو برمول (مدل ۲)	U_i	: موجودی مایع مرحله i (مدل ۱)
	h	: موجودی بخار و مایع مربوط به جزء i روی سینی i (مدل ۲)
h : اندازه گام	U_j^L, U_j^V	: موجودی بخار و مایع مربوط به جزء i روی سینی i (مدل ۲)
	h_a	: افت فشار بخار از میان منافذ، اینچ مایع
h_{ji} : انتالپی جزء i در حالت مایع در درجه حرارت مرحله j ، بی‌تی‌یو برمول (مدل ۲)	u_{ji}^L, u_{ji}^V	: موجودی بخار و مایع مربوط به جزء i روی سینی i (مدل ۲)
	h_L	: ارتفاع مایع صاف روی سینی، اینچ
h_{il} : ارتفاع مایع صاف در ناودان، اینچ	V_i	: شدت جریان بخار مرحله i (مدل ۱)، مول بر زمان
	V_j	: شدت جریان بخار مرحله j (مدل ۲)، مول بر زمان
v_{ji} : مول بر زمان	v_{ji}	: شدت جریان جزء i در فاز بخار مرحله j (مدل ۲)، مول بر زمان
	x_{ji}	: جزء مولی جزء i در مایع مرحله j (مدل ۱)

ρV : دانسیته بخار، پوند بر فوت مکعب
 τ_j : ثابت زمانی
 Ω_j : تابع انحراف انتالپی (مدل ۲)

x_{ji} : جزء مولی جزء i در مایع مرحله j (مدل ۲)
 y_{ji} : جزء مولی جزء i در مایع مرحله i (مدل ۱)
 y_{ji} : جزء مولی جزء i در مایع مرحله j (مدل ۲)

بالانویس

O : مقدار متغیر در شروع فاصله زمانی مورد نظر
 O : حالت ایده آل در محاسبه انتالپی
 L : فاز مایع
 V : فاز بخار

حروف یونانی

α : فاکتور وزنی
 ΔP : افت فشار کل سینی، پوند بر اینچ مربع
 Δt : افزایش زمان
 μ : فاکتور وزنی
 ρ_l : دانسیته مایع، پوند بر فوت مکعب

مراجع :

- 1- G.Lagar, J. Paloschi & J.A. Romagnoli: "numerical studies in solving dynamic distillation problems." *Comput. Chem. Eng.* Vol. 11, No.4, pp. 383-394, 1987.
- 2- A. Brambilla, J.H. Kardasz: "Dynamic mathematical model and digital simulation of multicomponent distillation columns." *Ing. Chim. Ital.* Vol. 11, No. 3, Marzo, 1975.
- 3- E.F. Wahl and P. Harriott: "Understanding and prediction of the dynamic behavior of distillation columns." *Ind. Eng. Chem. Process. Des. Develop.*, Vol. 9, No.3, 1970.
- 4- R. Berber & E. Karadurmus: "dynamic simulation of a distillation column separating a multicomponent mixture." *Chem. Eng. Comm.* 1989, Vol. 84, pp. 113-127.
- 5- A.p. Economopoulos: "A fast computer method for distillation calculations." *Chem. Eng. April.* 24, 1978.
- 6- S.E. Gallun, C.D. Holland: "Gear's procedure for the simultaneous solution of differential and algebraic equations with application to unsteady state distillation problems." *Comput. and Chem. Eng.* Vol. 6, No. 3, pp: 231-244, 1982.
- 7- R. Berber: "Dynamic modelling of a multicomponent distillation column." *Chimica Acta Turcica* 13 (1985).
- 8- E. Ranzi and et al.: "A general program for dynamic simulation of multicomponent distillation columns." *I. Chem. E. Sym. Ser. No.* 104.
- 9- C.G. Morris & W.Y. Svrcek: "Dynamic simulation of multicomponent distillation." *The Can. J. of Chem. Eng.* Vol. 59, June 1981.
- 10- G.M. Howard: "Unsteady state behavior multicomponent distillation columns." *AICHE. J.* Nov. 1970, Page 1022.
- 11- A.M. Peiser & et al.: "Dynamic simulation of a distillation tower." *Chem. Eng. Prog. (Vol. 58, No.9)* Sept. 1962 page. 65.
- 12- A. Osborne: "The calculation of unsteady state multi- component distillation using partial differential equations." *AICHE. J.* May, 1971 Page 696.
- 13- R. Gani, C.A. Ruiz & I.T. Cameron: "A generalized model for distillation columns-I". *Comp. & Chem. Eng.* Vol. 10, No.3, pp. 181-198, 1986.
- 14- I.T. Cameron, C.A. Ruiz & R. Gani: "A generalized model for distillation columns-II." *Comp. & Chem. Eng.*, Vol. 10, No.3, pp. 199-211, 1986.
- 15- C.A. Ruiz, I.T. Cameron and R. Gani: "A generalized dynamic model for distillation columns-III. Study of start up operations." *Comput. Chem. Eng.* Vol. 12, No.1, pp. 1-14, 1988.
- 16- S.D. Barnicki & J.F. Davis: "Designing sieve tray columns." *Chem. Eng. Oct.* 1989, Page. 140.
- 17- A.P. Economopoulos: "Computer design of sieve trays and tray columns." *Chem. Eng. Dec.*

- 4, 1978, pp. 109.
- 18- M.G. Kesler & B.K. Lee: "Improve prediction of enthalpy of fractions." *Hydro. Proc.* March 1976, Page. 153.
- 19- M.R. Riazi & T.E. Daubert: "Simplify property predictions." *Hydro. Process.* March 1980, Page. 115.
- 20- S. Watanasiri & et al.: "Correlations for estimating critical constants, acentric factor." *Ind. Eng. Chem. process. Des. Dev.* 1985, 24, 294-296.
- 21- M.R. Riazi & T.E. Daubert: "Characterization parameters for petroleum fractions." *Ind. Eng. Chem. Res.* 1987, 26, 755-759.
- 22- C.D. Holland: "Unsteady state processes with applications in multicomponent distillation." 1966.
- 23- C.D. Holland & A.I. Liapis: "Computer methods for solving dynamic separation problems." 1983.
- 24- C.D. Holland: "Fundamentals of multicomponent distillation." 1981.
- 25- C.D. Holland: "Multicomponent distillation." 1963.
- 26- Smith: "Design of equilibrium stage processes." 1963.
- 27- E.E. Ludwig: "Applied process design for chemical & petrochemical plants." 1977.
- 28- Edmister: "Applied hydrocarbon thermodynamics."
- ۲۹- مدلسازی دینامیکی برج تقطیر زیر نظر دکتر محمدرضا گلکار، دکتر بهرام دبیر، پایان نامه کارشناسی ارشد زرین نصری (۱۳۷۱)، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.