

طراحی کامپیوتری برج های سینی دار از نوع کلاهکی

طاهره کاغذچی

محمد علی بحرینی زارچ

استاد دانشکده مهندسی شیمی
دانشگاه صنعتی امیرکبیردانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

در این مقاله طراحی هیدرولیکی برج های کلاهکی با استفاده از کامپیوتر مورد بررسی قرار گرفته است. این برنامه که با زبان QBASIC نوشته شده است، از دو قسمت طراحی استاتیکی و طراحی دینامیکی تشکیل شده که با استفاده از داده های نظیر خواص مایع و بخار، فاصله بین سینی ها، درصد طغیان و مشخصات کلاهک مورد نظر، طراحی انجام شده و تعداد کلاهک ها روی هر سینی، گرادیان مایع، افت فشار، ماندگی و ... محاسبه می شوند. برای استفاده از یک نمودار قبلاً آن را با استفاده از نرم افزار MATLAB به صورت یک معادله در آورده، سپس از معادله مورد نظر در برنامه استفاده شده است. (بیست نمودار توسط بیست برنامه MATLAB به معادله تبدیل شده است.)^{*} در ضمن در چندین مورد نیز از میان یابی لاگرانژ استفاده شده است.

Design of Bubble-Cap Tray Cloumns

M.A. Bahraini

T. Kaghazchi

Master of chemical Engineering
Amirkabir UniversityProfessor of chemical Engineering
Amirkabir University

Abstract

In this work a computer programme has been presented for Bubble-Cap tray and column design. The design consists of two major sections: Static design and Dynamic design. It is based on Bolle's method.

In this simulation Matlab language and Lagrange's interpolation have been applied for the diagrams involved. Finally a comparison between the results of our work with the results of usual design methods have been made. The main advantage of this programme is that the design could be done in few seconds.

کامپیوترها به علت سرعت، دقت و توانائی‌های بسیار بالا هر روزه نقش بیشتری در علوم مهندسی از جمله مهندسی شیمی بازی می‌کنند. حضور نرم افزارهای فراوانی مثل PROII, CHEMCAD, PROCESS, ASPEN+9, CHEMASIM و غیره نشان دهنده حضور فعال کامپیوتر در قلب مهندسی شیمی می‌باشد. بسیاری از عملیات فرایندی پیچیده، بدون کامپیوتر قابل تحلیل نبوده و بسیاری از مدل‌های ترمودینامیکی و معادلات حالت فقط به دست توانای کامپیوتر حل می‌شوند. رد پای کامپیوتر امروزه در موازنه انرژی و جرم، طراحی مبدل‌ها و برج‌ها، کنترل و غیره هر روز پر رنگ تر و پر فروغ تر می‌گردد [۱]. در این مقاله نیز در همین راستا، به طراحی برج‌های کلاهی از نوع Single cross flow پرداخته شده است. از آنجا که برج‌های کلاهی بیشتر جنبه پایه‌ای دارند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند و طراحی برج‌های سینی دار مشبک که بیشتر مورد توجه واقع شده و کاربرد بیشتری دارند نیز در دست اقدام می‌باشد. امید است در آینده‌ی نه چندان دور بتوانیم بسته‌های نرم‌افزاری مناسبی را در زمینه طراحی، تهیه و ارائه کنیم تا مجبور نباشیم با هزینه‌های گزاف آنها را از خارج تهیه نماییم. به هر حال طراحی زیر در دو قسمت استاتیکی و دینامیکی که هر کدام شامل چندین مرحله می‌باشند، ارائه می‌گردد.

۲- منوی برنامه

هنگامی که برنامه اجرا می‌گردد بر روی صفحه، منوئی بوجود می‌آید که شامل چهار قسمت Design (طراحی) Procedure (روش) Dosshell (پوسته داس) و Quit (خروج) می‌باشد. با Design طراحی شروع شده و با ارائه توضیحاتی همراه با شکل یک برج ادامه می‌یابد و مراحل اصلی برنامه با پرسیدن داده‌ها شروع می‌شود. با Procedure روش طراحی که روش Bolle's با تغییرات جزئی می‌باشد، توضیح داده شده تا کاربر بتواند با مطالعه این توضیحات آشنائی بیشتری با این روش پیدا کند.

با Dosshell وارد محیط داس شده تا بتوان از دستورات داس استفاده کرد و نهایتاً با Quit از محیط طراحی خارج می‌شویم [۷].

۳- طراحی استاتیکی

۳-۱- داده‌ها

بعد از انتخاب طراحی، برنامه با استفاده از زیربرنامه‌ای با نام DATA1 خواص مایع و بخار و فاصله سینی‌ها و درصد طغیان را می‌پرسد و بعد با زیربرنامه SHAPE شکل شکاف کلاک (Slot) را سؤال کرده، سپس با زیربرنامه DATA2 مشخصات کلاک مورد نظر را سؤال می‌کند [۷].

۳-۲- قطر برج

برنامه پارامتر جریان را محاسبه کرده و بعد از زیربرنامه COEF مقدار C_f را به دست می‌آورد. ضریب C_f از منحنی Fair به دست می‌آید [۳]. این منحنی با استفاده از چهار برنامه MATLAB به صورت چهار معادله در آمده است. این معادلات در زیربرنامه COEF نوشته شده‌اند. چهاربرنامه MATLAB به نام‌های زیر می‌باشند:

Tray 12.M (فاصله بین دو سینی ۱۲ in)، Tray 24.M، Tray 18.M و Tray 36.M.

حال سرعت طغیان از معادله (۱) حساب شده و با استفاده از معادله (۲) سرعت بخار به دست می‌آید.

$$V_f = C_f / \left(\sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_l - \rho_v}} \right) \quad (1)$$

$$\frac{V}{V_f} = \% \text{ Flooding} = \text{درصد طغیان} \quad (2)$$

نسبت سطح ناودانی به سطح کل را از داده‌ها داریم پس از معادله (۳) قطر D به دست می‌آید [۲ و ۴].

$$A_t = Q_l / [(1 - A_d / A_t) V] = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3)$$

این قطر در زیربرنامه‌ای به نام STANDARD بر روی صفحه نمایش، نشان داده می‌شود و قطر استاندارد مورد نظر را سؤال می‌کند. اکنون قطر استاندارد برج تعیین شده و برنامه با این قطر A_t و A_d را حساب می‌کند [۳].

۳-۳- عرض بند (Weir length)

حال با زیربرنامه WEIRLENGTH عرض بند از معادلات زیر محاسبه می‌شود: ابتدا معادله (۴) با روش عددی نیوتن - رافسون حل می‌شود و θ حساب شده،

سپس طول وتر از معادله (۵) به دست می‌آید.

$$A_d = \frac{1}{2} r^2 (\theta - \sin \theta) \quad (4)$$

$$\text{طول وتر} = L = 2r \sin \left(\frac{\theta}{2} \right) \quad (5)$$

حال مقدار Hei از معادله (۶) به دست آمده و با استفاده از قضیه فیثاغورث $Weir / 2$ به دست می‌آید. اکنون عرض بند از معادله (۷) حاصل می‌گردد [۲].

$$Hei = \frac{1}{2} L \cot \left(\frac{\theta}{2} \right) \quad (6)$$

$$Weir = 2 \sqrt{r^2 - Hei^2} \quad (7)$$

در اینجا سطح دامنه (apron) با معادله (۸) محاسبه می‌شود [۴].

$$\text{apron} = Weir * (h_w - h_{sh}) / 12 \quad (8)$$

۴-۲- افت فشار

برای محاسبه افت فشار، برنامه در ابتدا h_{so} و W را محاسبه کرده و سپس F_w را از معادله به دست می‌آورد. F_w نیز نمودار تصحیح بوده که توسط برنامه $fw.m$ به معادله تبدیل شده است [۲، ۳ و ۵]. حال ارتفاع قوس مایع روی بند از معادله (۱۰) به دست می‌آید.

$$h_{ow} = 0.092 F_w \left(\frac{Q_f}{W} \right)^2 \quad (10)$$

اکنون مقدار K_c را حساب می‌کنیم. معادله K_c از برنامه $hc.m$ به دست آمده است. در اینجا مقدار h_{rc} از معادله (۱۱) به دست می‌آید و h_c نیز از معادله (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$h_{rc} = k_c \frac{\rho_v}{\rho_l} \left(\frac{Q_f}{A_r} \right)^2 \quad (11)$$

$$h_c = h_{rc} + h_{so} \quad (12)$$

۴-۳- گرادیان مایع

برای محاسبه گرادیان مایع معادله (۱۳) را با حدس و خطا حل کرده و نهایتاً از این معادله Δ_r که گرادیان مایع تصحیح نشده بر ردیف کلاک هاست، به دست می‌آید [۲].

$$\frac{Q_f / W_a}{C_d} = 25.8 \frac{\gamma}{1 + \gamma} (\Delta_r)^{\frac{1}{2}} \left[1.6 \Delta_r + 3 \left(h_c + \frac{0.3 h_{sk}}{\gamma} \right) \right] \quad (13)$$

مقدار W_a از معادله (۱۴) و C_d نیز از معادله ای که حاصل برنامه $cd.m$ است، محاسبه می‌گردد و γ نسبت بین کلاک‌ها به قطر کلاک است که جزء داده‌های طراحی است.

$$W_a = \frac{D + Weir}{2} \quad (14)$$

Δ_r را در ردیف کلاک‌ها ضرب کرده تا گرادیان مایع تصحیح شده به دست آید.

۴-۴- نسبت توزیع بخار

اکنون R_v از معادله (۱۵) به دست می‌آید و h_{ds} نیز از معادله (۱۶) حاصل می‌شود.

$$R_v = \frac{\Delta}{h_{rc} + h_{so}} \quad (15)$$

۴-۴- تعداد کلاک‌ها

حال با داشتن Hei و قطر کلاک و فاصله بین کلاک‌ها، تعداد ردیف کلاک‌های عمود بر مسیر جریان به دست می‌آید. سپس با محاسبه $Allocated\ area$ و تقسیم آن بر سطح کلاک و سطح اطراف کلاک، تعداد کلاک‌های روی هر سینی به دست می‌آید [۲]. در اینجا قسمت استاتیکی طراحی تمام شده و قسمت دینامیکی آن شروع می‌شود.

۴- طراحی دینامیکی

۴-۱- روزه شکاف کلاک

در ابتدا Q_{max} از رابطه (۹) حساب می‌شود [۲].

$$Q_{max} = C_s A_s \sqrt{h_{sk} \left(\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v} \right)} \quad (9)$$

سپس درصد نسبت شدت حجمی بخار به ماکزیمم شدت بخار به دست می‌آید. اکنون برنامه با داشتن این نسبت و از نمودار شکاف روزه، میزان شکاف روزه بر حسب درصد ارتفاع شکاف را محاسبه می‌کند. این نمودار برحسب R_s های مختلف توسط سه برنامه $slot0.m$ ، $slot05.m$ و $slot1.m$ به سه معادله تبدیل شده‌اند که این معادلات در زیر برنامه SLOTT بوده و در آن زیر برنامه محاسبه می‌شوند [۷].

اکنون تمامی مراحل طراحی به پایان رسیده است و نتیجه برنامه در دو صفحه نمایش داده می شود. در ضمن در اینجا چهار کلید A, C, D, و Q معرفی شده اند [۷]. با فشردن کلید A می توان دوباره با داده های جدید طراحی دیگری انجام داد. همچنین با فشردن کلید C می توان با تغییر مشخصات کلاک طراحی را ادامه داد. با فشردن کلید D قطر استاندارد را می توان عوض کرد و نهایتاً با فشردن کلید Q یا Esc از برنامه طراحی خارج می شویم.

۵- نتیجه گیری

شایان ذکر است طراحی با این برنامه کمتر از چند ثانیه وقت می برد. (بستگی به سرعت کامپیوتر مورد نظر دارد.) در حالی که همین طراحی با استفاده از روش های معمول بیش از چند روز وقت خواهد گرفت، به خصوص وقتی که نتایج دلخواه نباشند و بخواهیم داده های اولیه را تغییر دهیم، که این کار با استفاده از روش های دستی واقعاً سخت و طاقت فرسا می باشد، اما با این برنامه، با فشردن چند کلید انجام پذیر است. حال با یک مثال و مقایسه نتایج برنامه با نتایج روش معمول آن، مقاله را به پایان می رسانیم.

برای این منظور مثال زیر را در نظر می گیریم:

برج تقطیری برای جداسازی بنزن (۸/۹۹٪) از چند حلال دیگر در نظر گرفته شده است. حلال از ترکیب های زیر تشکیل شده است:

بنزن (۵/۲۳٪)، سیکلو هگزان (۱۰٪)، اتیل سیکلو هگزان (۵/۱٪)، اتیل بنزن (۶۰٪) و از چهار دی اتیل بنزن (۵٪).

تعداد سینی های برج ۴۳ عدد بوده و داده های مورد نظر به شرح زیر است:

داده	سینی پایینی	سینی بالایی
F° درجه حرارت	۲۹۱	۱۸۱
psi فشار	۲۰ حدوداً	۱۵/۷
نسبت برگشتی	۰/۶۴	۰/۶۴
شدت حجمی مایع ft ³ /sec	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹
شدت حجمی بخار ft ³ /sec	۷/۵۲	۷/۵۲
دانسیته مایع lb/ft ³	۵۰/۷	۵۰/۷
دانسیته بخار lb/ft ³	۰/۱۷۸	۰/۱۷۸
تنش سطحی dyn/cm	۲۱	۲۱
درصد طغیان	٪۶۰	٪۶۰
فاصله بین دو سینی in	۱۸	۱۸
راندمان سینی خشک	٪۴۵	٪۴۵

$$h_{ds} = h_{ss} + h_{ow} + \frac{\Delta}{2} \quad (16)$$

۴-۵- ضریب توده کف آلود

نمودار β را با برنامه b.m به معادله تبدیل کرده و ضریب توده کف آلود (β) را به دست می آوریم. حال h_t از معادله (۱۷) محاسبه می شود [۳ و ۴].

$$h_t = h_c + \beta * h_{ds} \quad (17)$$

۴-۶- افت فشار کل

اکنون سطح دامنه (apron) را با سطح جریان در ناودان مقایسه کرده و هر کدام که کوچکتر باشد را در نظر گرفته و h_d را از معادله (۱۸) و h_t را از معادله (۱۹) به دست می آوریم.

$$h_d = 0.3 + (ql / \text{Minarea} * 100)^2 \quad (18)$$

$$h_t = h_w + h_{ow} + h_d + \Delta + h_t \quad (19)$$

۴-۷- ماندگی

اکنون افت فشار کل، گرادیان مایع و نسبت توزیع بخار به دست آمده است و فقط مقدار ماندگی باید حساب شود. در اینجا منحنی های ماندگی با میان یابی لاگرانژ (با چهارده داده در هر درصد طغیان و کلاً ۵۶ داده) ارائه شده، پس برای هر درصد طغیان با پارامتر جریان مقدار ماندگی به دست می آید. داده ها در مازول اصلی برنامه خوانده شده و برنامه میان یابی لاگرانژ در زیر برنامه ENTRAIN می باشد [۲ و ۴ و ۶].

کلاک	داده ها
۳	in قطر کلاک
۱	in ارتفاع شکاف
دورزنه ای	شکل روزنه کلاک
۲/۶۵	in ² /cap سطح بالابرنده
۳/۰۵	سطح annular
۰/۰۸	سطح ناودانی به سطح کل
۰/۲۵	فاصله بین کلاک ها به قطر کلاک

حال با توجه به این داده‌ها مقایسه نتایج طراحی از طریق کامپیوتر با روش معمول کلاسیک آن به شرح زیر است:

نتایج	روش معمولی	برنامه کامپیوتری
تعداد کلاهک‌ها روی هر سینی	۲۲	۲۲
نسبت توزیع بخار	۰/۱۳	۰/۲
in گرادیان مایع روی هر سینی	۰/۲۲	۰/۳۲
ماندگی	۲/۷	۴/۳
in افت فشار	۲/۵۰	۲/۹
درصد شکاف باز روزنه برحسب ارتفاع روزنه	۹۰	۸۷
Dynamic slot seal in	۱/۴	۱/۴

همان طوری که دیده می‌شود دقت برنامه بسیار بالا بوده و ارجحیت آن کاملاً آشکار است. اختلافات بسیار جزئی که در نتایج دیده می‌شود نیز بر اثر تبدیل نمودارها به معادله با میان‌یابی و امثال آن بوده و بدیهی است که خطای این برنامه از خطای مهندس طراح اگر کمتر نباشد، ابدأ بیشتر نیست. امید است این کار مورد نظر اساتید، محققین و دانشجویان قرار گرفته و ما را از انتقادات و پیشنهادات خویش بهره‌مند سازند.

نشانه‌ها

k_c : ثابت معادله روش بولز
 L : شدت مایع، فوت مکعب بر ثانیه
 Q_1 : شدت مایع، گالن بر دقیقه
 Q_{max} : ماکزیم شدت مایع، فوت مکعب بر ثانیه
 R_s : نسبت ضلع بالا به پایین شکاف کلاهک
 R_v : نسبت توزیع بخار
 T : فاصله بین دو سینی، اینچ
 V : شدت بخار، فوت مکعب بر ثانیه
 W : ماکزیم سرعت جرمی مجاز در برج، پوند بر ساعت بر فوت مربع برج

A_a : سطح فعال، فوت مربع
 A_d : سطح ناودان، فوت مربع
 A_n : سطح خالص، فوت مربع
 A_s : سطح کل شکاف‌ها، فوت مربع
 A_t : سطح کل، فوت مربع
 C_f : ضریب تصحیح سرعت طغیان
 C_s : ضریب شکاف
 D : قطر برج، فوت
 D_c : قطر کلاهک، اینچ
 F : ضریب طغیان
 F_p : پارامتر جریان
 F_w : ضریب تصحیح فرمول بند
 h_c : افت فشار کلاهک، اینچ مایع
 h_d : افت فشار در ناودان، اینچ مایع
 h_{ds} : Dynamic slot seal، اینچ مایع
 h_{ow} : ارتفاع مایع روی بند، اینچ
 h_{rc} : افت فشار بالا برنده، اینچ مایع
 Hei : فاصله بند تا مرکز سینی، اینچ
 h_s : ارتفاع شکاف، اینچ
 h_{sh} : ارتفاع پایه کلاهک‌ها، اینچ
 h_{so} : افت فشار روزنه شکاف، اینچ مایع
 h_{sr} : ارتفاع حلقه محافظ کلاهک، اینچ
 h_{ss} : Static slot seal، اینچ
 h_t : افت فشار هر سینی، اینچ مایع
 h_w : ارتفاع بند از سینی، اینچ

حروف یونانی

β : ضریب هوادهی
 Δ : گرادیان مایع، اینچ
 ρ_l : دانسیته متوسط مایع، پوند بر فوت مکعب
 ρ_v : دانسیته متوسط بخار، پوند بر فوت مکعب
 σ : تنش سطحی مایع، دین بر سانتیمتر
 τ : ماندگی
 θ : زاویه مقابل به بند، رادیان

زیرنویس

C : کلاهک
 L : مایع
 V : بخار

* چهاربرنامه MATLAB در مرجع [7] می باشد.
همچنین چهار نمودار MATLAB نیز در مرجع [7] آورده شده است. در این نمودارها میزان تطبیق داده ها با معادله مورد نظر در محدوده طراحی نشان داده شده است.

منابع

- [5] Treybal, R.E "Mass Transfer Operations"
3rd Ed. McGraw-Hill New York (1980).
- [6] CHANG, H-Y Hyd. Proc. 59 (Aug.) 79.
Computer aids Short-cut distillation design, (1980).
- [7] بحرینی زارچ . محمد علی : طراحی هیدرولیکی
برجهای سینی دار از نوع کلاهی، پروژه کارشناسی
ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (۱۳۷۳).
- [1] Peter Winter "Computer-Aided Process Engineering" Chem. Eng. Progress P. 76 (FEBRUARY 1992).
- [2] VAN WINKLE "DISTILLATION" McGraw-Hill New York (1967).
- [3] "PERRY'S Chemical Engineers' Handbook" R. H. Perry and D. Green McGraw-Hill New York (1984).
- [4] E.E. Ludwig "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants" Vol.2 (1979).