

شبیه سازی تقطیر چند جزئی پیوسته مواد موثره اسانس زیره سبز و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی

سعید اسدی*

استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه پیام نور، (s_asadi@pnu.ac.ir)

چکیده

در این پژوهش غنی سازی ماده موثره اسانس زیره سبز به وسیله شبیه سازی عملیات تقطیر چند جزئی پیوسته، مورد مطالعه قرار گرفته است. در شبیه سازی از روش نقطه حباب و الگوریتم Wang-Henke استفاده گردیده است. در این روش روابط MESH (روابط موازنه جرم و تعادل فازی برای هر جزء، مجموع اجزاء مولی و موازنه انرژی برای هر مرحله تعادلی) توسط روش ماتریس سه قطری حل شده است. همزمان با به دست آوردن نتایج شبیه سازی، نسبت به آزمایش با ستون تقطیر اقدام گردیده است. در آزمایشها، از ستون تقطیر پیوسته با تعداد سینیهای یک عدد تا پنج عدد استفاده شده و تاثیر تعداد سینیها در غنی سازی ماده موثره اسانس زیره سبز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج حاصل از شبیه سازی به همراه نتایج حاصل از آزمایشها نشان می دهد که توسط ستون تقطیر دارای پنج عدد سینی، مقدار ماده موثره اسانس زیره سبز از ۲۵٪ به بیش از ۵۰٪ رسانیده می شود. نتایج نشان می دهد که افزایش نسبت برگشت خارجی به ستون تقطیر از ۲ به ۳ باعث افزایش جداسازی ماده موثره می گردد. این افزایش نسبت برگشت، برای ستون تقطیر با ۵ سینی، باعث افزایش ۹/۸٪ وزنی ماده موثره در محصول خروجی می شود.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله :

دریافت ۱۶ آذر ۱۳۸۸

دریافت پس از اصلاحات ۱۸ خرداد ۱۳۸۹

پذیرش نهایی ۱ آذر ۱۳۸۹

کلمات کلیدی :

اسانس زیره سبز

جداسازی

غنی سازی

تقطیر پیوسته

شبیه سازی

روش نقطه حباب

۱- مقدمه

اسانس روغنی گیاهان به وسیله استخراج با آب، بخار آب و یا حلال از اندام‌های مختلف گیاهی به دست می‌آید [۱،۲]. اسانس روغنی دارای عناصر و اجزاء تشکیل دهنده گوناگونی است که مهمترین آنها را مونوترپن‌ها و سسکویی ترپن‌ها تشکیل می‌دهند. اسانس‌ها، مصارف وسیعی در صنایع دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی دارند [۱،۲]. برای مثال کیومین آلدئید^۱ ماده موثره اسانس زیره سبز^۲ و کارون^۳ ماده موثره اسانس زیره سیاه^۴ می‌باشند که در صنایع نامبرده خصوصاً صنایع دارویی، استفاده می‌شوند [۴، ۳، ۱]. در بسیاری از موارد، ضروری است که درصد یک ترکیب خاص در اسانس افزایش یابد تا قابل استفاده در صنعت مورد نظر باشد [۳-۱]. غنی سازی ماده موثره، و همچنین کاهش مواد اضافی اسانس که در بعضی موارد مضر بوده و یا کیفیت محصول را کاهش می‌دهد، توسط روش‌های گوناگونی انجام می‌شود. یکی از مهمترین و پر کاربردترین روش‌ها، استفاده از برج و یا ستون تقطیر می‌باشد [۴، ۲، ۱]. به دلیل اینکه اسانس روغنی از ترکیب‌های گوناگونی تشکیل گردیده است که در مواردی به بیش از ۴۰ نوع ترکیب می‌رسد، باید از روش تقطیر چند جزئی برای جداسازی و یا غنی سازی ترکیب‌های اسانس استفاده کرد. تحقیقات زیادی بر روی شبیه سازی تقطیر چند جزئی صورت گرفته است [۶، ۵]. یکی از بهترین روش‌هایی که برای جداسازی موادی با دامنه نزدیک نقطه جوش بکار برده می‌شود، روش BP^۵ یا نقطه حباب است [۷، ۵]. با توجه به محدود بودن دامنه جوش اسانس زیره سبز و نزدیک بودن نقطه آغاز جوشش به نقطه پایانی آن، روش نقطه حباب یکی از روش‌های مناسب برای شبیه سازی تقطیر چند جزئی این اسانس می‌باشد. روش نقطه حباب ابتدا

توسط Amundson و Pontinen [۸] به کار برده شد. آنها از ماتریس معکوس برای حل معادلات استفاده کردند. اصلاح قابل توجه معادلات نقطه حباب توسط Wang و Henke [۹] صورت گرفت. آنها از الگوریتم توماس، برای حل ماتریس سه قطری به دست آمده از موازنه جرم، استفاده کردند.

Holland و همکاران [۱۰] روش اصلاح شده تتا^۶ را با آمیختن بعضی از ایده‌های روش نقطه حباب با روش معمولی تتا، به دست آورده و توسعه دادند. پس از آنها روش نقطه حباب توسط Lucia و Sridhar [۱۱] توسعه داده شد. آنها از اصول مشابه که در روش SR^۷ توسط Lucia و Sridhar [۱۲] به کار برده شده بود، استفاده کردند. در ادامه Loperena [۵] از ماتریس دو قطری برای حل معادلات استفاده نمود. وی با الگوریتم ساده و کارآمدی که از روش حذف گوسین^۸ به دست آورد، ماتریس دو قطری را حل نمود.

بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که شبیه سازی فرآیند غنی‌سازی اسانس زیره سبز به وسیله روش نقطه حباب و با استفاده از الگوریتم Wang-Henke، به همراه مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی تا کنون صورت نگرفته است. بنابراین در این مطالعه، ابتدا غنی سازی اسانس زیره سبز به وسیله ستون تقطیر ساخته و نصب شده در پایلوت صنایع شیمیایی پژوهشکده علوم و صنایع غذایی خراسان، انجام گردیده و نتایج آن بدست آمده است. در حین آزمایش‌ها، با استفاده از کُد کامپیوتری نوشته شده که در آن از روش نقطه حباب و الگوریتم Wang-Henke استفاده شده است، عمل تقطیر چند جزئی، شبیه سازی شده است. در انتها نتایج حاصل از شبیه سازی با داده های آزمایشگاهی مقایسه گردیده و بر روی نتایج به دست آمده بحث گردیده است.

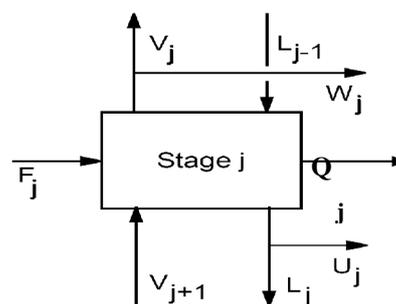
^۱Cumin aldehyde^۲Cumin^۳(S)-(+)-Carvone^۴Caraway^۵Bubble point^۶Modified theta-method^۷Sum rates^۸Gaussian elimination method

۲- شبیه سازی

اسانس روغنی گیاهان دامنه جوش محدودی دارند و نقطه آغاز جوشش با نقطه پایانی جوشش، فاصله زیادی ندارد. برای مثال نقطه جوش اسانس زیره سبز در دامنه 150°C الی 237°C می باشد. بهترین روش محاسباتی که می تواند برای تقطیر موادی با دامنه نزدیک نقطه جوش بکار برده شود، روش BP است [5,7]. در این روش دسته ای جدید از دمای سینی ها در طول هر بار تکرار معادلات نقطه حباب، محاسبه گردیده و به دست می آید [7].

۲-۱- معادلات حاکم

معادلات اصلی مورد استفاده در این روش معادلات MESH بوده که طبق شکل (۱)، به صورت زیر نوشته می شوند [7]:



شکل (۱): طرح کلی از یک مرحله تعادلی.

۱- معادلات M یا موازنه جرم برای هر جزء. اگر تعداد اجزاء برابر C باشد، برای هر مرحله تعادلی، C معادله داریم. معادلات M به شکل زیر است:

$$M_{i,j} = L_{j-1}x_{i,j-1} + V_{j+1}y_{i,j+1} + F_i z_{i,j} (L_j + U_j)x_{ij} - (V_j + W_j)y_{i,j} = 0 \quad (1)$$

که $i, j, L, x, V, y, F, z, U, W$ به ترتیب نشان دهنده جزء i ام، مرحله تعادلی، نرخ جریان مایع، جزء مولی در فاز مایع، نرخ جریان بخار، جزء مولی در فاز بخار، نرخ جریان خوراک، جزء مولی، نرخ جریان جانبی مایع، نرخ جریان بخار و نرخ جریان جانبی بخار می باشند.

۲- معادلات E یا روابط تعادلی فازها برای هر جزء

که شامل C معادله برای هر مرحله بوده و به شکل زیر است:

$$E_{i,j} = y_{i,j} - K_{i,j}x_{ij} = 0 \quad (2)$$

که K نشان دهنده نسبت تعادلی بخار مایع است.

۳- معادلات S یا جمع جزء مولی ها که برای هر مرحله، یکی از دو معادله زیر استفاده می شود:

$$(S_y)_j = \sum_{j=1}^C y_{i,j} - 1.0 = 0 \quad (3)$$

$$(S_x)_j = \sum_{j=1}^C x_{i,j} - 1.0 = 0 \quad (4)$$

۴- معادله H یا موازنه انرژی که برای هر مرحله تعادلی یک معادله به شکل زیر نوشته می شود:

$$H_j = L_{j-1}H_{L_{j-1}} + V_{j+1}H_{V_{j+1}} + F_i H_{F_i} - (L_j + U_j)H_{L_j} - (V_j + W_j)H_{V_j} - Q_j = 0 \quad (5)$$

که Q نشان دهنده نرخ انتقال حرارت است. در معادله انرژی از تغییرات انرژی پتانسیل و حرکتی صرف نظر شده است.

از معادله موازنه کل مواد نیز به جای معادلات ۳ و ۴ می توان استفاده کرد. این معادله از معادلات ۱، ۳ و ۴ به همراه معادله $\sum Z_{i,j} = 1.0$ به دست آمده و به شکل زیر نوشته می شود:

$$L_j = V_{j+1} \sum_{m=1}^j (F_m - U_m - W_m) - V_j \quad (6)$$

۲-۲- حل معادلات حاکم

به وسیله الگوریتم Wang-Henke معادلات حاکم حل گردیده است [7, 10, 11]. برای حل معادلات نیاز به داده های اولیه می باشد. داده های اولیه عبارت از تعداد مراحل تعادلی؛ محل سینی خوراک؛ ترکیب درصد اجزاء خوراک؛ فشار در هر مرحله؛ میزان انتقال حرارت به ریپویلر؛ جریان خروجی از کندانسور و مقدار جریان برگشتی می باشند. به دلیل نیاز به مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی با نتایج آزمایشگاهی، داده های اولیه مورد نیاز شبیه سازی، دقیقاً معادل شرایط آزمایش، مشخصات ستون تقطیر و مشخصات خوراک ورودی به آن، در نظر گرفته شده است. برای اجرای کد کامپیوتری نیاز به داده های دیگری نیز مانند مقدار

به شکل زیر است [۷]:

$$K_i = \frac{\gamma_{iL} \Phi_{iL}^o}{\hat{\Phi}_{iV}^o} \quad (۸)$$

که γ_{iL} و $\hat{\Phi}_{iV}^o$ به ترتیب نشان‌دهنده ضریب فعالیت جزء i در فاز مایع و ضریب فوگاسیته جزء i در فاز گاز می‌باشند. ضریب فوگاسیته جزء i خالص i در فاز مایع و ضریب فوگاسیته جزء i در فاز گاز، از معادلات SRK به دست آمده است. ضریب اکتیویته جزء i در فاز مایع (γ_{iL}) نشان‌دهنده غیر ایده‌آل بودن محلول مایع بوده و با توجه به اندازه متفاوت مولکول‌ها از ضریب اکتیویته با تصحیح فلوری-هاگین^۷ استفاده شده است که به شکل زیر است [۷]:

$$\gamma_{iL} = \exp \left[\frac{v_{iL} (\delta_i - \sum_{i=1}^C \Phi_i \delta_i)^2}{RT} + \ln \left(\frac{v_{iL}}{v_L} \right) + 1 - \frac{v_{iL}}{v_L} \right] \quad (۹)$$

که v_{iL} ، δ_i ، Φ_i ، R و T به ترتیب نشان‌دهنده حجم مولی جزء i در فاز مایع، پارامتر حلالیت (هیلدبراند) در ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای جزء i ، حجمی i ، حجم مولی مایع، ثابت جهانی گازها و دما می‌باشند.

۲-۲-۲- هم‌گرایی شبیه‌سازی

در روش BP، محدوده هم‌گرایی به شکل رابطه زیر توسط Wang and Henke پیشنهاد گردیده است [۷، ۵]. در شبیه‌سازی، از این رابطه برای تعیین هم‌گرایی، استفاده شده است.

$$\tau = \sum_{j=1}^N [T_j^{(k)} - T_j^{(k-1)}]^2 \leq 0.01N \quad (۱۰)$$

که τ و N به ترتیب نشان‌دهنده مجموع مربع اختلاف و تعداد مراحل تعادلی می‌باشند.

کد کامپیوتری به زبان پاسکال نوشته شده و محاسبات با کامپیوتر پنتیوم ۴ انجام گردیده است. برای نمونه، زمان تقریبی CPU برای غنی‌سازی ماده موثره اسانس زیره سبز از مقدار ۲۵٪ ماده موثره در خوراک تا ۶۷٪ در محصول نهایی، به وسیله ستون تقطیری با ۵

جریان بخار و دمای هر مرحله تعادلی می‌باشد که از مقادیر حدس زده شده، استفاده می‌گردد. این مقادیر در طول اجرای برنامه با توجه حل معادلات حاکم و به وسیله الگوریتم Wang-Henke تصحیح شده است [۷، ۱۰].

در محاسبات تعداد اجزاء اسانس زیره سبز، پنج جزء در نظر گرفته شده است زیرا اسانس زیره سبز از پنج ماده اصلی به نام‌های کیومن آلدئید^۱، گاما ترپینن^۲، بتا پینن^۳، پی سیمن^۴ و سه-دین-هفت-آل^۵ تشکیل گردیده است که بیش از ۹۰ الی ۹۵ درصد وزنی اسانس را تشکیل می‌دهند. ترکیبات غیر اصلی اسانس زیره سبز بین ۵ الی ۱۰ درصد آن را تشکیل داده که تعداد آنها به بیش از ۱۵ ماده مختلف، می‌رسد. خواص فیزیکی و ترمودینامیکی این پنج جزء اصلی، در منابع آمده است [۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶].

۲-۲-۱- روش محاسبه ثابت تعادل

معادلات M به وسیله تکنیک ماتریس سه قطری حل می‌شوند. در این تکنیک از روش توماس استفاده شده که به K_{ij} های اولیه نیاز می‌باشد [۷]. برای اولین تکرار به دلیل در دسترس نبودن x_i و y_j ها از K محلول-های ایده‌آل استفاده می‌گردد که از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$K_{ideal} = \frac{\Phi_{iL}^o}{\Phi_{iV}^o} \quad (۷)$$

که در آن Φ_{iL}^o و Φ_{iV}^o ضریب فوگاسیته جزء خالص در فاز مایع و گاز است. برای یافتن فوگاسیته جزء خالص در فاز مایع و گاز، از معادلات SRK استفاده گردیده است [۷، ۱۲، ۱۷]. معادلات SRK برای هیدروکربورها دارای اعتبار و کارایی لازم بوده و فرض شده است برای اجزاء اسانس زیره سبز، که از انواع ترکیبات آلی هستند نیز، معتبر باشند. برای تکرارهای بعدی لازم است از ثابت تعادلی دقیقتر استفاده شود. بنابراین از ثابت تعادل چائو-سیدر^۶ استفاده شده که

^۱ Cuminaldehyde

^۲ γ -Terpinene

^۳ β -Pinene

^۴ P-Cymene

^۵ 3-dien-7-ol

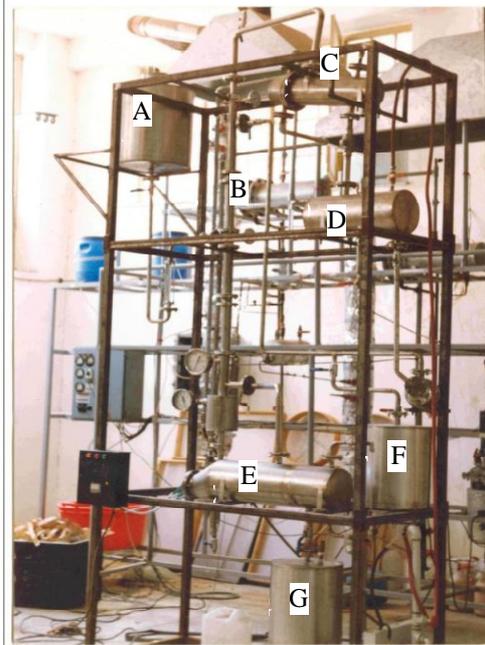
^۶ Chao - Seader

^۷ Flory - Huggins

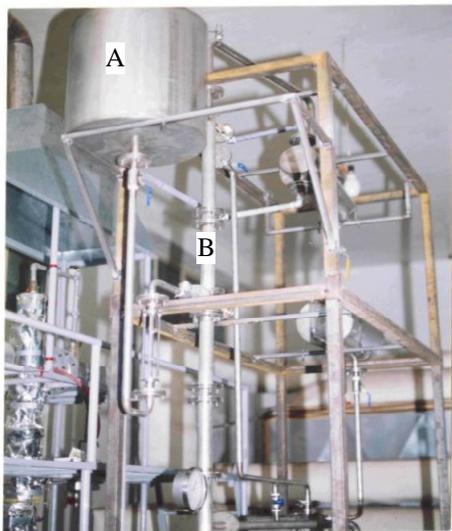
مرحله تعادلی، در حدود ۷ دقیقه می باشد.

۳- مواد و روشها

۳-۱- واحد تقطیر



شکل (۲): تصویر کامل از واحد تقطیر شامل A - مخزن خوراک، B - ستون تقطیر، C - کندانسور، D - دکانتور، E - ریویولر، F - مخزن جمع آوری محصول از بالای برج، G - مخزن جمع آوری محصول از پایین برج.



شکل (۳): تصویر جانبی از واحد تقطیر شامل A - مخزن خوراک، B - ستون تقطیر.

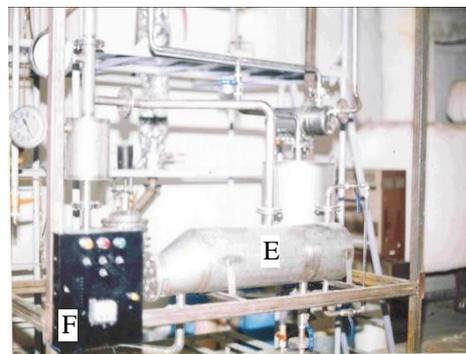
برای انجام آزمایشات از واحد تقطیر پیوسته که در پژوهشکده علوم و صنایع غذایی خراسان طراحی، ساخته، نصب و راه اندازی گردیده، استفاده شده است. واحد تقطیر دارای قسمتهایی مانند ستون تقطیر سینی دار، کندانسور، ریویولر، دکانتور، مخازن ماده اولیه و محصولات تولیدی، پمپ جریان برگشتی از کندانسور به بالای ستون، و تجهیزات نشاندهنده فشار و دما می باشد. کل تجهیزات از فولاد ضد زنگ ۳۱۶ ساخته شده است. حرارت ریویولر توسط المنتهای حرارتی تامین می گردد. دمای ریویولر، مقدار خوراک ورودی به سیستم و مقدار مایع برگشتی از کندانسور به بالای ستون تقطیر، قابل کنترل است. ارتفاع ستون تقطیر ۲۰۷ cm و قطر آن ۲۰cm بوده و دارای ۵ سینی مشبک می باشد. فلانچ سینیها به گونهای طراحی شده است که هر کدام از سینیها قابل برداشته شدن بوده و به این ترتیب تعداد سینیهای داخل ستون قابل کاهش است. ستون کاملاً عایق کاری شده و عملیات تقطیر به صورت آدیاباتیک (بی دررو) می باشد. شکل (۲) نشان دهنده کل واحد تقطیر می باشد که بر روی یک اسکلت فلزی قابل حمل، نصب شده است. جزئیات شکل در زیر آن ذکر شده است. شکل (۳) نمای جانبی و قسمت بالای واحد تقطیر را نشان می دهد که شامل مخزن خوراک و ستون تقطیر می باشد. شکل (۴) نشان دهنده نمایی از جلو و قسمت پایین واحد تقطیر می باشد. در این شکل ریویولر و جعبه الکتریکی کنترل بار حرارتی ریویولر، نشان داده شده است.

حاوی ۲۵٪ کیومین آلدئید است که با دبی ۲۵ lit/hr به وسط ستون تقطیر وارد گردید. بار حرارتی ریویولر ۲/۹ کیلو وات تنظیم گردید. کندانسور در حالت کامل بود و تمامی بخار ورودی به کندانسور، به حالت مایع در آمد و پس از جمع آوری در مخزن زیر کندانسور، قسمتی از آن توسط پمپ استیل به داخل ستون برگشت داده شد. نسبت برگشت خارجی در دو حالت ۲ و ۳ تنظیم گردید و کلیه آزمایش‌ها در این دو حالت انجام شد.

نسبت برگشت ۲ نشان‌دهنده این است که از محصول به دست آمده از کندانسور، دو قسمت آن به داخل ستون برگشت داده شده و یک قسمت به مخزن محصول نهایی فرستاده می‌شود. به عبارت دیگر، بخار خروجی از بالای ستون، در کندانسور به صورت مایع در آمده که ۶۷٪ این مایع به داخل ستون برگشت داده شده و بقیه به مخزن محصول نهایی فرستاده می‌شود. این تعریف در مورد نسبت برگشت ۳ نیز مشابه می‌باشد. این نسبت‌ها براساس نسبت برگشت معمول در برج‌ها و یا ستون‌های تقطیر پالایشگاهی در نظر گرفته شده است [۷].

قسمتی از مایع خروجی از کندانسور که به ستون تقطیر باز گردانده نشده بود از طریق دکانتور به مخزن جمع آوری هدایت گردید. این محصول که از بالای ستون تقطیر به دست آمد، حاوی مواد سبک بود. از طرفی دیگر، مایع خروجی از ریویولر که حاوی مواد سنگین بود، به مخزن جمع آوری دیگری منتقل گردید.

ستون تقطیر دارای ۵ سینی بود که یک سینی در وسط ستون نصب گردید و دو سینی در بالای آن و دو سینی در زیر آن قرار داشت. خوراک به سینی نصب شده در وسط ستون وارد گردید. در حالت آزمایش با یک سینی، دو سینی بالایی و دو سینی پایینی (در مجموع چهار سینی) از داخل ستون برداشته شد. در حالت آزمایش با ستون تقطیر دو سینی، سینی وسط و سینی بالایی آن نصب گردید. در حالت آزمایش با سه سینی، سینی وسطی، سینی بالایی و سینی پایینی آن نصب شد. در آزمایش‌ها با چهار سینی، سینی وسطی و دو سینی بالایی و یک سینی پایینی آن نصب گردید. در آزمایش‌ها با پنج سینی، سینی وسطی با دو سینی بالایی به همراه دو سینی پایینی نصب شد، یا در مجموع هر پنج سینی ستون تقطیر نصب گردید.



شکل (۴): تصویر از روبرو و قسمت پایین واحد تقطیر. E - ریویولر، F - جعبه الکتریکی کنترل بار حرارتی ریویولر.

۲-۳- آنالیز مواد اولیه و محصولات

آنالیز مواد اولیه و محصولات نهایی توسط واحد آنالیز دستگاهی آزمایشگاه شیمی پژوهشکده علوم و صنایع غذایی خراسان انجام پذیرفته است. برای آنالیز خوراک ورودی و محصولات نهایی از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC). مدل pu4500 ساخت Pye-unicam philips استفاده گردیده است. ستون دستگاه از نوع ستون شیشه‌ای $1.52m \times 4mm$ Packed SE-30 (۶ دقیقه در $55^\circ C$ در $55^\circ C$ ثابت است. برنامه دمایی از $55^\circ C$ تا $250^\circ C$ با آهنگ $4^\circ C/min$ تنظیم شده است.

برای اندازه گیری مقدار ماده موثره اسانس زیره سبز (کیومین آلدئید)، ابتدا استانداردهای آن ساخته شده و سپس مقدار آن در خوراک و محصولات نهایی، با توجه به طیف‌های به دست آمده از دستگاه، تعیین گردیده است. از این روش برای تعیین ترکیب درصد پنج ماده اصلی موجود در اسانس زیره سبز، استفاده شده است.

۴ - نتایج

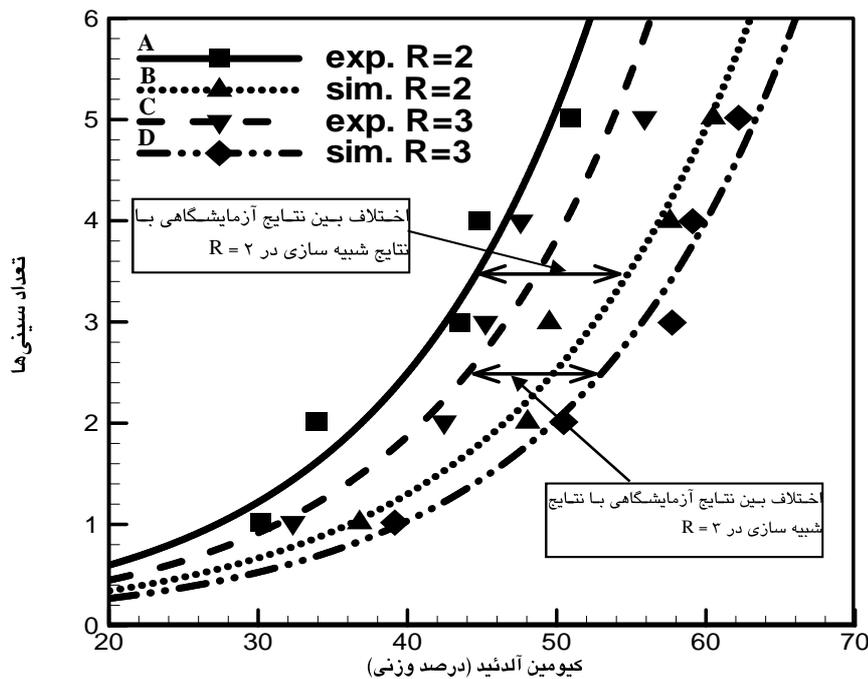
آزمایش‌ها توسط ستون تقطیر پیوسته‌ای انجام پذیرفته که مشخصات آن در قسمت قبل ذکر شد. خوراک ورودی به ستون، اسانس زیره سبز خریداری شده از شرکت کشت و صنعت نادر بود. این اسانس

(۱) نشان داده شده است. همچنین براساس کُد نوشته شده، شبیه سازی انجام پذیرفته است که جواب‌های به دست آمده از شبیه سازی نیز در جدول (۱) و در سطر زیرین نتایج آزمایش‌ها آورده شده است. برای مقایسه و نتیجه‌گیری بهتر، نتایج حاصل که در جدول (۱) نشان داده شده است، در شکل (۵)، رسم گردیده است.

در آزمایش‌ها، دبی خوراک، بار حرارتی ریپویلر و دمای آب ورودی به کندانسور ثابت بود. نتایج آنالیز مواد حاصل از ستون تقطیر نشان داد که اختلاف میزان مواد حاصله از تکرارهای مختلف کمتر از ۲/۵٪ است، بنابراین با تکرار آزمایش تأثیری چندانی در نتایج رخ نداد. نتیجه آزمایش‌ها که نشان‌دهنده مقدار کیومین آلدئید در محصول خروجی از ریپویلر می‌باشد در جدول

جدول (۱): نتایج حاصل از آزمایش‌ها به همراه نتایج حاصل از شبیه سازی برای غنی سازی کیومین آلدئید در اسانس زیره سبز برحسب درصد وزنی، توسط ستون تقطیر دارای یک تا پنج عدد سینی با دو نسبت برگشت ۲ و ۳

نسبت برگشت	نتایج برحسب درصد وزنی	یک عدد سینی	دو عدد سینی	سه عدد سینی	چهار عدد سینی	پنج عدد سینی
۲	آزمایش‌ها	۳۰/۱۶	۳۳/۸۹	۴۳/۵۴	۴۴/۸۱	۵۰/۹۱
	شبیه سازی	۳۶/۷۹	۴۸/۰۵	۴۹/۵۱	۵۷/۵۹	۶۰/۴۸
۳	آزمایش‌ها	۳۲/۳۲	۴۲/۴۶	۴۵/۲۳	۴۷/۵۸	۵۵/۸۹
	شبیه سازی	۳۹/۱۵	۵۰/۴۷	۵۷/۷۳	۵۹/۱۱	۶۲/۱۹



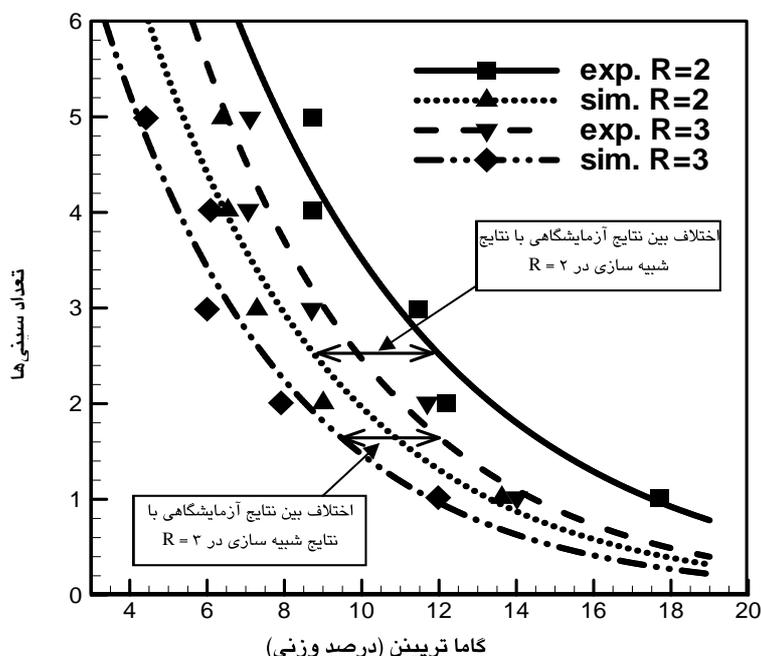
شکل (۵): آهنگ افزایش درصد وزنی کیومین آلدئید نسبت به افزایش تعداد سینی‌های برج تقطیر. A - نتایج آزمایش‌ها (exp.) در نسبت برگشت ۲، B - نتایج شبیه سازی (sim.) در نسبت برگشت ۲، C - نتایج آزمایش‌ها (exp.) در نسبت برگشت ۳، D - نتایج شبیه سازی (sim.) در نسبت برگشت ۳.

خروجی از ریویلر، در تعداد سینی‌های یک تا پنج عدد، در جدول ۲ آورده شده است. برای مقایسه بهتر، نتایج حاصل که در جدول (۲) آورده شده است، در شکل (۶)، رسم گردیده است.

یکی دیگر از مواد مهم در ترکیب اسانس زیره سبز، گاما ترپینن است. این ماده جزء ترکیبات ناخواسته آن می‌باشد. گاما ترپینن جزء ترکیبات سبک بوده و از بالای ستون تقطیر خارج گردید. بنابراین مقدار آن در محصول خروجی از ریویلر کاهش یافت. مقدار گاما ترپینن حاصل از آزمایش‌ها و شبیه‌سازی برای محصول

جدول (۲): نتایج حاصل از آزمایش‌ها به همراه نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای کاهش گاما ترپینن در اسانس زیره سبز برحسب درصد وزنی، توسط ستون تقطیر دارای یک تا پنج عدد سینی با دو نسبت برگشت

نسبت برگشت	نتایج برحسب درصد وزنی	یک عدد سینی	دو عدد سینی	سه عدد سینی	چهار عدد سینی	پنج عدد سینی
۲	آزمایش‌ها	۱۷/۷۱	۱۲/۲۰	۱۱/۴۷	۸/۷۲	۸/۷۴
۲	شبیه‌سازی	۱۲/۶۳	۹/۰۱	۷/۲۹	۶/۵۴	۶/۳۹
۳	آزمایش‌ها	۱۴/۰۲	۱۱/۶۹	۸/۷۱	۷/۰۶	۷/۱۱
۳	شبیه‌سازی	۱۱/۹۸	۷/۹۱	۶/۰۰	۶/۰۹	۴/۴۲



شکل (۶): آهنگ کاهش درصد وزنی گاما ترپینن نسبت به افزایش تعداد سینی‌های برج تقطیر. A - نتایج آزمایش‌ها (exp.) در نسبت برگشت ۲، B - نتایج شبیه‌سازی (sim.) در نسبت برگشت ۲، C - نتایج آزمایش‌ها (exp.) در نسبت برگشت ۳، D - نتایج شبیه‌سازی (sim.) در نسبت برگشت ۳.

دهد که با افزایش تعداد سینی‌ها، مقدار جداسازی کیومین آلدئید افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که در تعداد سینی‌های کمتر، مقدار شیب منحنی‌های شکل (۵) کم

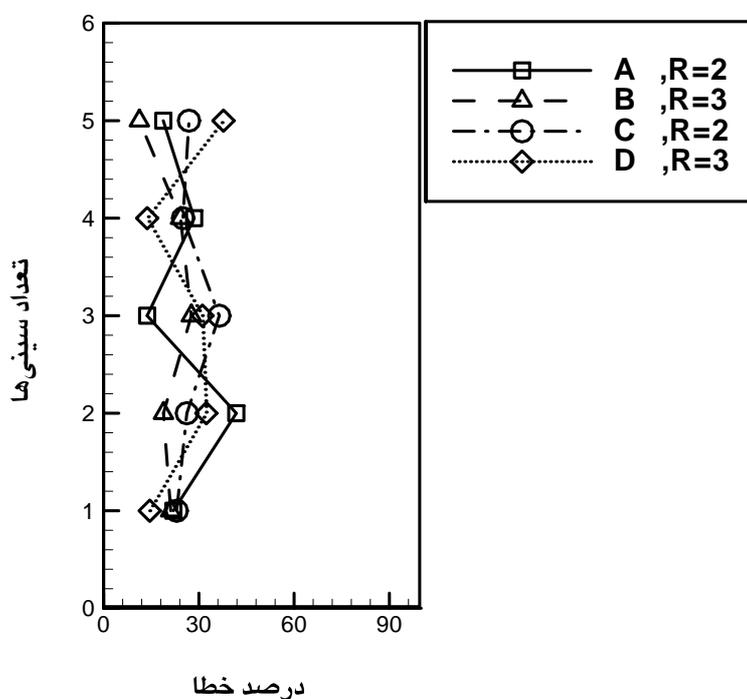
۵ - بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آزمایش‌ها و شبیه‌سازی نشان می‌-

می باشد. اصلاح این معادلات باعث کاهش مقدار خطا در شبیه سازی می شود.

نتایج حاصل از نتایج آزمایشگاهی و شبیه سازی مشخص می کند که به وسیله ستون تقطیر دارای ۵ عدد سینی، درصد ماده موثره اسانس زیره سبز از ۲۵٪ به بیش از ۵۰٪ می رسد. از شکل (۵) مشاهده می گردد که با افزایش نسبت برگشت در تعداد سینی یکسان، مقدار جداسازی هم در مورد نتایج آزمایشگاهی و هم شبیه سازی، افزایش می یابد. شیب و روند صعودی منحنی ها در این دو نسبت مشابه می باشند. نتایج نشان می دهد که با افزایش نسبت برگشت ستون تقطیر از ۲ به ۳، افزایش مقدار جداسازی ماده موثره، برای ستون تقطیر با ۵ عدد سینی، در حدود ۹/۸٪ وزنی است.

بوده، با افزایش سینی ها شیب منحنی ها زیاد می گردد. به عبارتی در تعداد سینی های بیشتر، با افزایش هر یک سینی، مقدار جداسازی کمتری نسبت به افزایش یک سینی در تعداد سینی های کمتر، صورت می گیرد. همچنین از شیب و روند منحنی ها مشخص می گردد که در تعداد سینی های بسیار زیاد، مقدار جداسازی به سمت یک عدد ثابت میل می کند. که نشان می دهد در تعداد سینی های بسیار زیاد با اضافه کردن یک سینی تغییر چندانی در جداسازی رخ نخواهد داد. مقدار به دست آمده از آزمایش برای یک سینی مشخص با مقدار به دست آمده توسط شبیه سازی، در شرایط یکسان، برابر نبوده و با افزایش تعداد سینی ها، این اختلاف بیشتر می شود. خطای بین نتایج شبیه سازی با نتایج آزمایشگاهی در شکل (۷) نشان داده شده است. یکی از دلایل مهم وجود خطا، استفاده از معادلات حالت SRK



شکل (۷) : مقدار درصد خطا بین نتایج حاصل از شبیه سازی با نتایج حاصل آزمایشها. A - غنی سازی کیومین آلدئید در اسانس زیره سبز، در نسبت برگشت ۲، B - غنی سازی کیومین آلدئید در اسانس زیره سبز، در نسبت برگشت ۳، C - کاهش گاما ترپینن در اسانس زیره سبز، در نسبت برگشت ۲، D - کاهش گاما ترپینن در اسانس زیره سبز، در نسبت برگشت ۳.

کم، مقدار شیب منحنی های شکل (۶) کم بوده، با افزایش سینی ها شیب منحنی ها زیاد می گردد. به عبارتی با افزایش هر یک سینی در تعداد سینی های بیشتر، مقدار جداسازی کمتری نسبت به افزایش یک سینی در تعداد

همچنین نتایج به دست آمده از آزمایشها و شبیه سازی نشان می دهد که با افزایش تعداد سینی ها، مقدار درصد گاما ترپینن در محصول خروجی از ریپویلر کاهش می یابد. مشاهده می شود که در تعداد سینی های

- [6] C. Lizhong, H. Yongyou, S. Hongye, and C. Jian, (2004), "A comparative study for solution methods of a multicomponent distillation model", *IEEE International Conference*, 5: 4249-4253.
- [7] J. Henley, and J. D. Seader (1981), *Equilibrium-stage Separation Operations in Chemical Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., 742-745.
- [8] N. R. Amundson, and A. J. Pontinen (1958), "Multicomponent Distillation Calculations on a Large Digital Computer", *Industrial and Engineering Chemistry*, 50: 730-736.
- [9] J. C. Wang, and G. E. Henke (1966), *Tridiagonal Matrix for Distillation*, Hydrocarbon Processing, 45: 155-163.
- [10] C. D. Holland, G. P. Pendon, and S. E. Gallun (1975), *Solve More Distillation Problems Part III: Application to Absorbers*, Hydrocarbon Processing, 54: 101-111.
- [11] L. N. Sridhar, and A. Lucia (1990), "Analysis and Algorithms of Multicomponent Separation Processes", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 29: 793-803.
- [12] L. N. Sridhar, and A. Lucia (1990), "Tearing Algorithms for Separation Process Simulation", *Computer and Chemical Engineering*, 14: 901-905.
- [13] J. O. Valderrama, and A. Silva (2003), "Modified Soave-Redlich-Kwong Equations of State Applied to Mixtures Containing Supercritical Carbon Dioxide", *Korean Journal of Chemical Engineering*, 20(4): 709-715.
- [14] B. E. Poling, and J. M. Prausnitz, and J. P. O'Connell (2001) *The Properties of Gases and Liquids*, McGraw-Hill., 701-702.
- [15] T. E. Daubert, R. D. Danner, H. M. Sibul, and C. C. Stebbins (1996), *Physical and Thermodynamic Properties of Pure Chemical Data Compilations*, Taylor and Francis, Washington DC-USA. 2030.
- [16] Chemstations, ChemCAD (2000), *User Guide*, Chemstations Inc. Houston, TX-USA, 189-190.

سینی‌های کمتر، صورت می‌گیرد. مشاهده می‌گردد که شیب و گرایش منحنی‌ها به گونه ای است که در تعداد سینی‌های بسیار زیاد، مقدار جداسازی به سمت یک عدد ثابت میل می‌کند. بنابراین در تعداد سینی‌های بسیار زیاد با اضافه کردن یک سینی تغییر چندانی در جداسازی رخ نخواهد داد. خطای بین نتایج شبیه‌سازی با نتایج آزمایشگاهی در شکل (۷) نشان داده شده است. از نتایج آزمایشگاهی و نتایج شبیه‌سازی مشاهده می‌گردد که با افزایش نسبت برگشت در تعداد سینی یکسان، مقدار درصد گاما ترپین در محصول خروجی از ریویولر، کاهش می‌یابد. در هر دو نسبت برگشت، شیب و روند منحنی‌ها مشابه می‌باشند.

۶- سپاسگزاری

از آقای مهندس فرهاد ترکمان اسدی برای همکاری در نصب و راه اندازی واحد تقطیر پیوسته، از آقای دکتر دانشور حسینی به خاطر آنالیز اسانس خام اولیه و محصولات به دست آمده از واحد تقطیر و از دیگر همکاران برای کمک و همکاری در نوشتن و تصحیح کد کامپیوتری شبیه‌سازی تقطیر چند جزئی، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

مراجع

- [1] J.B. Harborne, and H. Baxter (2001), *Chemical dictionary of economic plants*, John Wiley and Sons Ltd, 217-225.
- [2] P. R. Ashurst (1999), *Food Flavorings*, Aspen Publishers Inc., 460-465.
- [3] K.V. Peter (2001), *Handbook of herbs and spices*, CRC Press, 164-167.
- [4] M. Kafi, M. H. Rashed Mohassel, and A. Kooche (2006), *Cumin (Cuminum cyminum): production and processing*, Science Publishers, 215-217.
- [5] R. M. Loperena (2003), "Simulation of Multicomponent Multistage Vapor-Liquid Separations. An Improved Algorithm Using the Wang-Henke Tridiagonal Matrix Method", *Industrial & Engineering Chemistry Eeearch*, 42: 175-182.

- [17] Z. Nasri, and H. Binous (2007), "Applications of the Soave-redlich-Kwong equation of state using Mathematica", *Journal of Chemical Engineering Of Japan*, Vol. 40, No. 6, 534-538.

Study of enrichment of cumin essential oil by simulation of a continuous multicomponent distillation and comparison with experiments

Saeed Asadi

Asistant Professor of Engineering College, Payame Noor University, Tehran

ARTICLE INFO

Article history :

Received 7 December 2009

Received in revised form 8 June. 2010

Accepted 22 November 2010

Keywords:

Cumin essential oil
Separation
Enriching
Continuos distillation
Simulation
Bubble point method

ABSTRACT

In this paper, the enriching of the main component of cumin essential oil is studied by simulation of a continuous multicomponent distillation. The simulation is based on a bubble point method and Wang-Henke algorithm. The MESH equations are solved using three diagonal matrices (Thomas method) in each iteration. The results of the experiment are obtained along with the simulation. These experiments were carried out in a continuous distillation column with one to five sieve trays. The effect of tray numbers on the main component enriching is analyzed. The results of the simulation are compared with those of the experiments. The results show that the main component of cumin essential oil enriched from 25% to 50% by a distillation column with five trays. The results show that the effect of one tray adding to low tray numbers column makes the further influence on the main component enriching respect to adding one tray to high tray numbers column. The results show that the main component separation increased by the increasing of the external reflux ratio from two to three. Increasing the external reflux ratio causes 9.8 percent improvement of the main component extraction in the column with five trays.

All rights reserved.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.