

محاكاة برج تقطير جوي في مصفاة نפט

*م. بشرى رستم

(تاريخ الإيداع 30 / 6 / 2020 . قبل للنشر 21 / 12 / 2020)

□ الملخص □

تم في هذا البحث إجراء محاكاة لبرج تقطير جوي في مصفاة نפט، ثم درس كل من أثر تغيير كمية بخار الماء المستخدم في كسح المازوت الخفيف على منحنى غليان القطفة وكمية إنتاجها، وأثر تغيير كمية بخار الماء المستخدم في كسح الكيروسين على منحنى غليان القطفة وكمية إنتاجها وذلك بهدف إيجاد كميّتي بخار الكسح اللتين يتحقق عندهما مقدار الفجوات (gaps) بين القطفات الذي يُنصح به تبعاً لـ واتكينز (Watkins)، نتيجة لذلك وجد أن تغيير قيم معدل تدفق بخار الماء المستخدم في كسح المازوت (CU-STM2) بما يحقق شروط واتكينز أظهر انحراف القيم الواجب استخدامها عن القيم المفروضة، كما أوضحت النتائج أن تغيير معدل التدفق سواء لبخار الماء المستخدم في كسح المازوت الخفيف أو بخار الماء المستخدم في كسح الكيروسين لا يؤثر على كمية إنتاج القطفة الموافقة، وتم الحصول على نتائج دقيقة من خلال النمذجة باستخدام نظام الـ (MATLAB) وإثبات الحالة.

الكلمات المفتاحية: محاكاة ، تقطير جوي ، كسح

Simulation of an Atmospheric Distillation Column in a Refinery

Eng: Bushra Rustom*

(Received 30 / 6 / 2020 . Accepted 21 / 12/ 2020)

□ ABSTRACT □

A simulation of an atmospheric distillation column of a refinery was worked then it followed by studying the effect of changing the amount of steam used to strip light gas oil and kerosene on the True Boiling Point (TBP) curve of the cut and on its amount. The aim is to find the optimal amounts of stripping steam in both cases that achieve the gap specifications recommended by Watkins, as a result, it's found that changing of stripping steam flow rate CU-STM2 to meet Watkins recommendations showed a deviation from the proposed flow rate value used at the refinery. On other side, the simulation results showed that changing of flow rate of stripping steam used to strip light gas oil and to strip kerosene did not change the corresponding amounts of the cut produced, accurate results were obtained by modeling using the Matlab system and proving the case.

Keywords: simulation, atmospheric distillation, stripping.

*Master in chemical engineering, Faculty of chemical and petroleum engineering, AL-Ba'ath University.

مقدمة

تجري عمليات التقطير في الصناعة النفطية في أبراج خاصة تدعى أبراج التقطير، يدعى القسم العلوي المخصص لفصل المركبات سهلة البخر بقسم التركيز، والقسم السفلي المخصص لفصل المركبات صعبة البخر بقسم الكسح، وتقع ما بين القسمين منطقة دخول التغذية. تُقسم أبراج التقطير إلى أبراج بسيطة وأخرى مركبة، حيث تحقق الأبراج البسيطة فصل المزيغ الأولي إلى مُنتجين، فُطارة غنية بالمركبات الخفيفة وفضالة غنية بالمركبات الثقيلة، أما الأبراج المركبة فتفصل المزيغ الأولي إلى عدة منتجات قطارة وفضالة وقطارات جانبية، تسحب القطارات الجانبية من البرج مباشرة أو تؤخذ عبر أبراج الكسح ببخار الماء، كما تصادف عملياً حالات يُلقم فيها البرج بأكثر من تغذية وتسحب منه منتجات جانبية [11].

تُبدي طريقة تحقيق التماس داخل البرج تأثيراً ملموساً على درجة الفصل في البرج وعلى طرق حساب العملية ككل، ويمكن تحقيق التماس عملياً بأشكال متعددة أهمها عن طريق وجود صوان مرتبة داخل البرج ويدعى هذا النوع من الأبراج بالأبراج ذات الصواني، أو عن طريق وجود حشوات، وفي هذه الحالة تدعى أبراج التقطير بالأبراج ذات الحشوة، يكون تبادل التأثير في الأبراج ذات الحشوة مستمراً على سطح الحشوة، ويحصل انتقال المادة بشكل مستمر نتيجة تغير تراكيز التيارات على طول سطح التماس، وهذا ما يميزها عن الأبراج ذات الصواني التي تتغير فيها التراكيز على شكل قفزات عند الانتقال من صينية إلى أخرى [11].

إن التعامل مع المعدات على أرض الواقع وإجراء الاختبارات عليها صعب ومكلف ويتطلب الكثير من الوقت والجهد مما أدى لإيجاد طرق تتغلب على ذلك، توجد عمليتان أساسيتان لتمثيل أي عملية في الصناعات التكنولوجية، وهما:

1. النمذجة (Modeling) : بناء النموذج أي تصميم برنامج يقوم على أساس المعادلات الرياضية اللازمة لوصف العملية ككل.

2. المحاكاة (Simulation) : استخدام النموذج الذي تمت برمجته للقيام بمحاكاة العملية.

ازداد الاهتمام بالمحاكاة والنمذجة منذ منتصف الستينات من القرن العشرين نتيجة ظهور الحواسيب، ومن الشركات الرائدة في هذا المجال شركة (Aspen Tech) التي تعتبر مزوداً رئيساً للبرامج التي تهتم بعمليات التصنيع بفعالية عالية، ويُعد البرنامجان (Aspen HYSYS و Aspen Plus) المقدمان من هذه الشركة من أكثر برامج المحاكاة انتشاراً حيث يستخدم (Aspen Plus) بين العاملين في مجال أجهزة العمليات الكيميائية فيما يستخدم (Aspen HYSYS) من قبل العاملين في مجالي النفط والغاز، وتبعاً لمجال دراستنا سيكون استخدام (Aspen Plus) هو الأنسب في عملية المحاكاة [4].

أُجريت دراسة من قبل أنيسا (Anitha, 2011) وآخرين في قسم الهندسة الكيميائية في الكلية التقنية بجامعة (Osmania) في الهند، تتضمن محاكاة وحدتي تقطير جوي وفراغي افتراضيتين باستخدام برنامج المحاكاة (ASPEN PLUS)، بهدف إجراء مقارنة بين كميات نواتج التقطير لمزيغ من نفطي دبي وبومباي ومزيغ آخر من نفطي دبي والبصرة، وبينت النتائج حينها أن استخدام مزيغ من نفطي دبي وبومباي يعطي كميات مقطرة من النفط والكبروسين والمازوت أكبر من التي يعطيها مزيغ نفطي دبي والبصرة [2].

ذكر (Anitha) ورفاقه أن (Sotjic, 2004) وآخرون، قاموا بإجراء محاكاة لعملية تقطير جوي باستخدام نوعين من النفط الخام أحدهما فلبيني والآخر نفط كركوك، وأجروا دراسات متعددة حول أثر تغيير درجة الحرارة ونسبة الراجع

وأماكن توضع الكاسحات الجانبية حيث استنتجوا أن إزاحة أماكن الكاسحات الجانبية يساهم في زيادة كمية البنزين الناتج [2].

تمت دراسة أثر تغيير التغذية على منتجات برج تقطير جوي في وحدة تقطير افتراضية باستخدام مزائج ذات نسب مختلفة لنفطين (Bombay High crude, Arabian Light crude) في دراسة أعدها (Pradhan,2014) في قسم الهندسة الكيميائية في المعهد الوطني للتقانة في (Rourkela)، وقد بينت نتائج المحاكاة أن كمية النفط والمركبات الخفيفة (Light Ends) هي الأكبر في المزيج (Bombay High) 80 crude):20(Arabian Light crude):80(Arabian Light crude) بينما كانت كمية البواقي هي الأكبر في المزيج (Bombay High) 20(Crude):80(Arabian Light crude) [3].

قام (Dr.M.T.Sowgath) وآخرون في قسم الهندسة الكيميائية في جامعة بنغلادش، بإجراء محاكاة على وحدة التقطير الجوي في مصفاة (Eastern) في بنغلادش، وأجروا مقارنة بين منحنيات (ASTM D86) لنواتج تقطير برج التقطير الجوي مع ما يقابلها من منحنيات معيارية للنواتج ذاتها بعد معالجتها في الوحدات اللاحقة لوحدة التقطير الجوي، وقد خلصوا إلى أن انحراف المنحنيات الناتجة عن المحاكاة عن المنحنيات المعيارية الموافقة مقبول، ويظهر هذا الانحراف بشكل واضح في حالي الكيروسين والمازوت بينما يكون أقل انحرافاً منهما في حالة الغاز، وقد ردوا ذلك إلى أن منتجات برج التقطير الجوي تحتاج إلى عمليات معالجة لاحقة للوصول إلى المواصفات المطلوبة وعندها تصبح أكثر قرباً من الحالة المعيارية للمنتج وهذا الأمر لا نحتاجه في حالة الغاز [12].

أهمية البحث

إجراء دراسة على برج تقطير جوي افتراضي في مصفاة نפט باستخدام برنامج المحاكاة (Aspen Plus – Version 2006) كخطوة تساهم في خدمة قطاع النفط بشكل عام بهدف:

1. دراسة أثر تغيير تدفق تيار بخار الماء المستخدم لكسح المازوت الخفيف على منحنى غليان القطفة وكمية إنتاجها.
2. دراسة أثر تغيير تدفق تيار بخار الماء المستخدم لكسح الكيروسين على منحنى غليان القطفة وكمية إنتاجها.

طريقة وأدوات البحث

تمت الدراسة على مزيج نفطي سوري بفرض أن برج التقطير مكون من (39) مرحلة نظرية وبنسبة راجع في أعلى البرج (R=1.38).

وتم إجراء المحاكاة بما يحقق اقتراح وانكينز [9]:

Kerosene – Naphtha
LGO – Kerosene

$(5 - 95) \text{ Gap} \geq 20 \text{ }^\circ\text{F}$
 $(5 - 95) \text{ Gap} = 10 \text{ }^\circ\text{F}$

تم تغيير تدفق تيار بخار الماء المستخدم في كسح المازوت الخفيف وصولاً إلى قيمة تحقق الشرط السابق وتم بيان أثر تغيير تدفق البخار على منحنى غليان المازوت الخفيف وكمية إنتاجه، وبشكل مشابه لما سبق تم تغيير تدفق تيار بخار الماء المستخدم في كسح الكيروسين وتم بيان أثر تغيير تدفق البخار على منحنى غليان الكيروسين وكمية إنتاجه.

تمت محاكاة برج التقطير الجوي باستخدام نموذج تقطير تجزيئي (Petro-Frac) في البرنامج (Aspen Plus Version 2006)، حيث يدخل تيار التغذية الخارج من الفرن إلى برج التقطير عند المرحلة النظرية (38) وتوجد للبرج مكثفة كلية ودارتان للتيار الدائر كما توجد ثلاث كاسحات جانبية، تستخدم الكاسحات والمجزئ الرئيسي بخار الماء للكسح.

يدخل المزيج النفطي ذو التركيب المبين في الجدول (1) إلى البرج بتغذية (700 ton/hr) ودرجة حرارة (345°C):

الجدول (1): تركيب المزيج النفطي السوري

Red-Crd	HGO	LGO	Lights	Kerosene	Naphtha	Capacity ton/hr
43.3%	6.57%	17.73%	1.23%	9.07%	22.12%	100%

خطوة أولى قبل الشروع بالمحاكاة يجب توصيف النفط الداخل، فنقوم بتعريف المكونات الداخلة في عملية التقطير (بخار الماء المستخدم في الكسح، المركبات الخفيفة، النفط الداخل) ثم ندخل درجة الثقل النفطي ومنحنى التقطير للمزيج [7].

يبين الجدول (2)، بيانات منحنى التقطير للمزيج النفطي السوري المدروس على أساس النسبة المئوية الوزنية للمتراكم المقطر وعلى اعتبار أن كثافة المزيج النفطي النسبية هي (d=0.847) يكون لدينا API 35.56°. تم اختيار المركبات الخفيفة كما هو مبين في الجدول (3)، يبين الجدول (4) بيانات منحنى (API) للمزيج النفطي السوري وبإدخال جميع القيم السابقة يكون توصيف المزيج النفطي السوري قد انتهى.

الجدول (2): بيانات منحنى التقطير TBP لمزيج النفط السوري على أساس النسبة المئوية الوزنية للمتراكم المقطر

T/°C	82	100	145	175	200	250	300	350	400	450	500	550
wt%	7.8	10.7	18.5	23.3	27.3	35.9	46.2	55.4	63.3	69.3	75.3	83.1

الجدول (3): تركيب المركبات الخفيفة لمزيج النفط السوري

Light Ends	Ethane	Propane	Iso-Butane	N-Butane
wt %	0.017	0.187	0.199	0.830

الجدول (4): بيانات منحني API للمزيج النفطي السوري

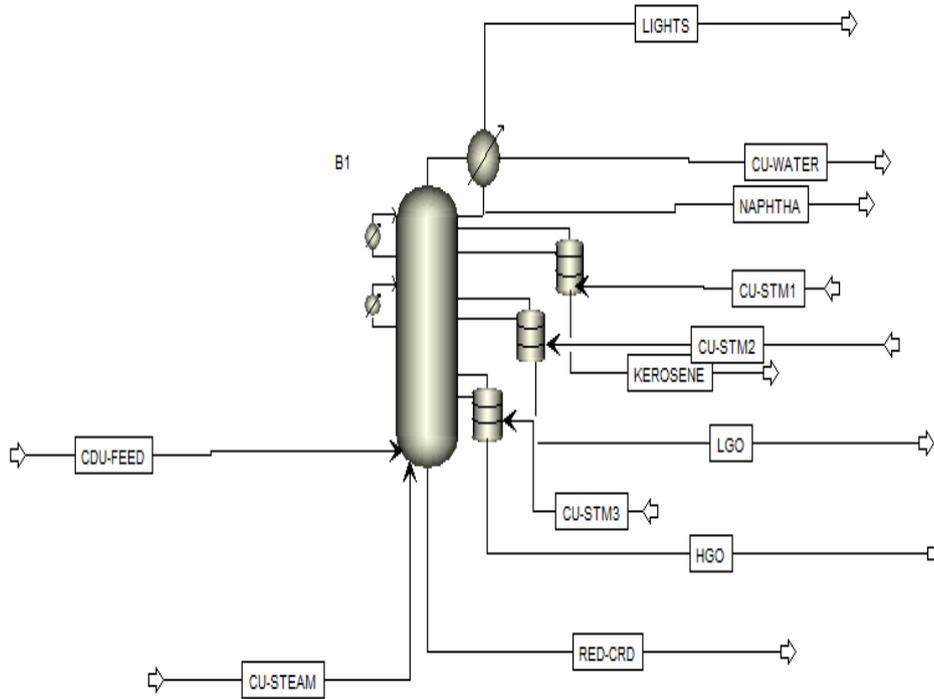
Mid Percent Distilled vol%	5	10	15	20	30	40	45	50	60	70	80
API gravity	97	75	67	59	49	40	35	32	27	23	18

بعد اختيار نموذج الـ (Petro-Frac) المناسب للعملية وهو هنا (CDU 10) ورسم مخطط العملية الموضح في الشكل (1) نحدد نوع العملية:

Process type: Refinery

Base method: BK10

إن من أهم الخطوات المتبعة أثناء إجراء المحاكاة هي اختيار النموذج الترموديناميكي المناسب للتنبؤ بالانتالية وخصائص التوازن الطوري (Edwards,2008)، وقد بين كل من (Doust) وآخرون عام 2012 و (Haydari) و (Pavlik) عام 2009 أن النموذج الترموديناميكي الذي يجب استخدامه في محاكاة أبراج التقطير للنفط الخام هو النموذج (BK10) وذلك لكونه مناسباً للمزائج النفطية التي تحوي مركبات هيدروكربونية ثقيلة عند ضغط أقل من (700 kPa) ودرجات حرارة تتراوح بين (170 °C – 430 °C) [10].



الشكل (1) : مخطط العملية باستخدام برنامج المحاكاة

بعد إدخال بيانات تيارات البخار المبينة في الجدول (5)، وضغوط التشغيل المبينة في الجدول (6) والكاسحات في الجدول (7) والتيارات الدائرة المبينة في الجدول (8) تم الحصول على منحنى الضغط ودرجات

الحرارة على طول البرج كما في الشكل (2) والشكل (3) اللذين يبينان تقارب نتائج المحاكاة من القيم الحقيقية المفروضة مما يؤكد صحة المحاكاة.

الجدول (5): بيانات تيارات البخار لبرج التقطير الجوي

Steam	T	P	H2O flow value
CU-STEAM	395 °C	4 bars	24,500 kg/hr
CU-STM1	395 °C	4 bars	2000 kg/hr
CU-STM2	395 °C	4 bars	2000 kg/hr
CU-STM3	395 °C	4 bars	2000 kg/hr

الجدول (6) : بيانات الضغوط المستخدمة

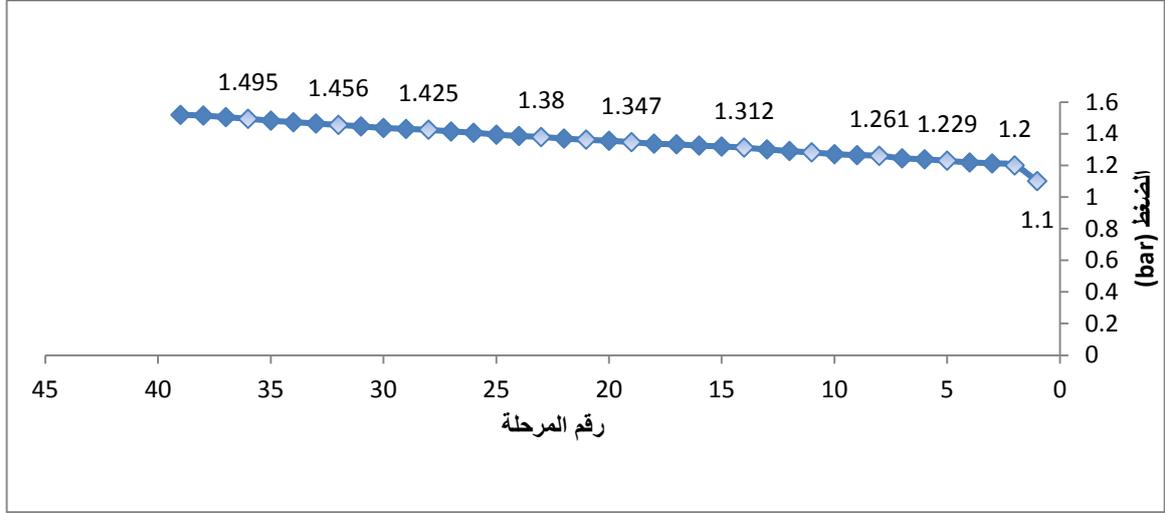
Stage 1 Pressure of Condenser	0.7 bar
Stage 2 Pressure	1.2 bar
Bottom Stage Pressure	1.52 bar

الجدول (7): بيانات الكاسحات

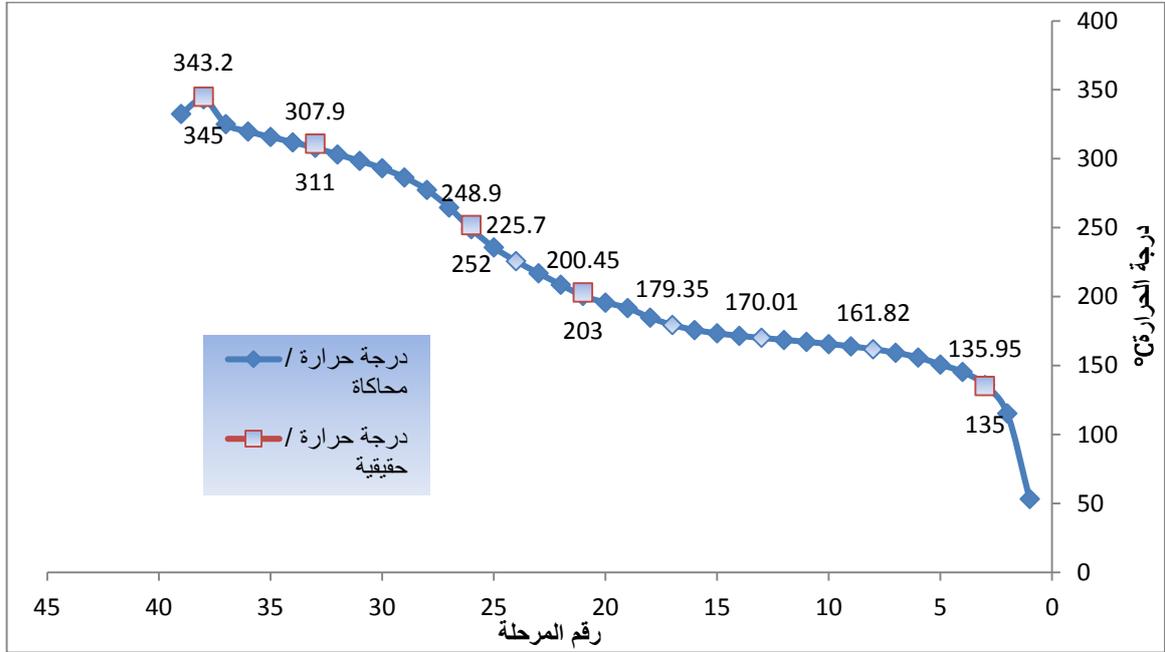
S-3	S-2	S-1	الكاسح
4	4	4	عدد المراحل
32	26	19	مرحلة استرجار السائل
30	24	17	مرحلة عودة التيار العلوي
HGO	LGO	KEROSENE	منتج الكاسح
CU-STM3	CU-STM2	CU-STM1	تيار الكاسح
45,990kg/hr	124,110 kg/hr	63,490 kg/hr	تدفق المنتج السفلي

الجدول (8): بيانات دارات التيار الدائر

P-2	P-1	التيار الدائر
21	5	مرحلة الاسترجار
18	3	مرحلة العودة
Partial	Partial	نوع الاسترجار
767,702 kg/hr	595,899 kg/hr	التدفق
-61 °C	-54 °C	التغير في درجة الحرارة



الشكل (2) : سلم الضغط على طول برج التقطير الجوي



الشكل (3) : سلم درجات الحرارة على طول برج التقطير

تم إيجاد درجات حرارة منحنيات غليان المازوت الخفيف المقابلة لـ (0% vol)، و (5% vol)، و (vol) 95% وقارنا بينها عند تدفقات مختلفة لـ (CU-STM2) فكانت النتائج كما في الجدول (9) وبينت النتائج أن كمية قطفة المازوت الخفيف الناتجة هي (124110 kg/hr).

الجدول (9): تأثير تغيير معدلات تدفق بخار الكسح CU-STM2 على درجات TBP

CU-STM2	TBP 95% of Ke(°F)	TBP 0% of LGO(°F)	TBP 5% of LGO(°F)	TBP 95% of LGO(°F)
900 kg/hr	467.36	368.45	435.67	613.09
1500 kg/hr	464.37	376.54	441.25	613.09
3000 kg/hr	463.81	391.29	444.37	613.09
3500 kg/hr	463.25	396.14	444.75	613.09

بتحويل درجات حرارة (TBP) بعد إجراء التغيير على معدل تدفق (CU-STM2) إلى ما يقابلها من درجات حرارة (ASTM D86) حسب علاقة (Riazi)، العلاقة (1) [8]، نجد النتائج التي يبينها الجدول (11).

$$T_{ASTM} = aT_{TBP}^b \dots (1)$$

حيث T_{TBP} : درجة حرارة الغليان الصحيحة بالكلفن.

T_{ASTM} : درجة الحرارة (ASTM D86) بالكلفن.

a, b : ثوابت تختلف قيمتها باختلاف (Vol %) كما هو موضح في الجدول (10).

جدول (10): ثوابت علاقة (Riazi) للتحويل بين TBP و ASTM D86

% Volume distilled	Coefficient a	Coefficient b
0	1.08947	0.99810
10	1.71243	0.91743
30	1.29838	0.95923
50	1.10755	0.98270
70	1.13047	0.97790
90	1.04643	0.98912
95	1.21455	0.96572

الجدول (11): تأثير تغيير معدلات تدفق بخار الكسح CU-STM2 على درجات ASTM

CU-STM2	ASTM 95% of Ke	ASTM 5% of LGO	$T_{5\%LGO} - T_{95\%Ke}$ (°F)
900 kg/hr	462.02	472.18	10.16
1500 kg/hr	456.94	477.98	21.04
3000 kg/hr	456.41	481.22	24.81
3500 kg/hr	455.88	481.61	25.73

نلاحظ من الجدول أن (CU-STM2 = 900 kg/hr) يوافق القيمة المطلوبة حسب اقتراح وانكينز.

يبين الجدول (12) تغيير درجات حرارة منحنيات الغليان المقابلة لـ (0% vol)، و (5% vol)، و (95% vol) مع تغيير تدفق بخار الكسح (CU-STM1) وأظهرت النتائج أن كمية قطعة الكيروسين الناتجة هي 63490 kg/hr.

جدول (12): تأثير تغيير معدلات تدفق بخار الكسح CU-STM1 على درجات TBP

CU-STM1	TBP 95% of Naphtha (°F)	TBP 0% of Ke (°F)	TBP 5% of Ke (°F)	TBP 95% of Ke (°F)
1500 kg/hr	337.14	283.18	341.29	464.15
2000 kg/hr	336.63	290.07	341.66	464.17
2500 kg/hr	336.41	296.36	342.28	464.19
3000 kg/hr	336.25	301.09	342.45	464.21
3500 kg/hr	336.09	303.54	342.63	464.23

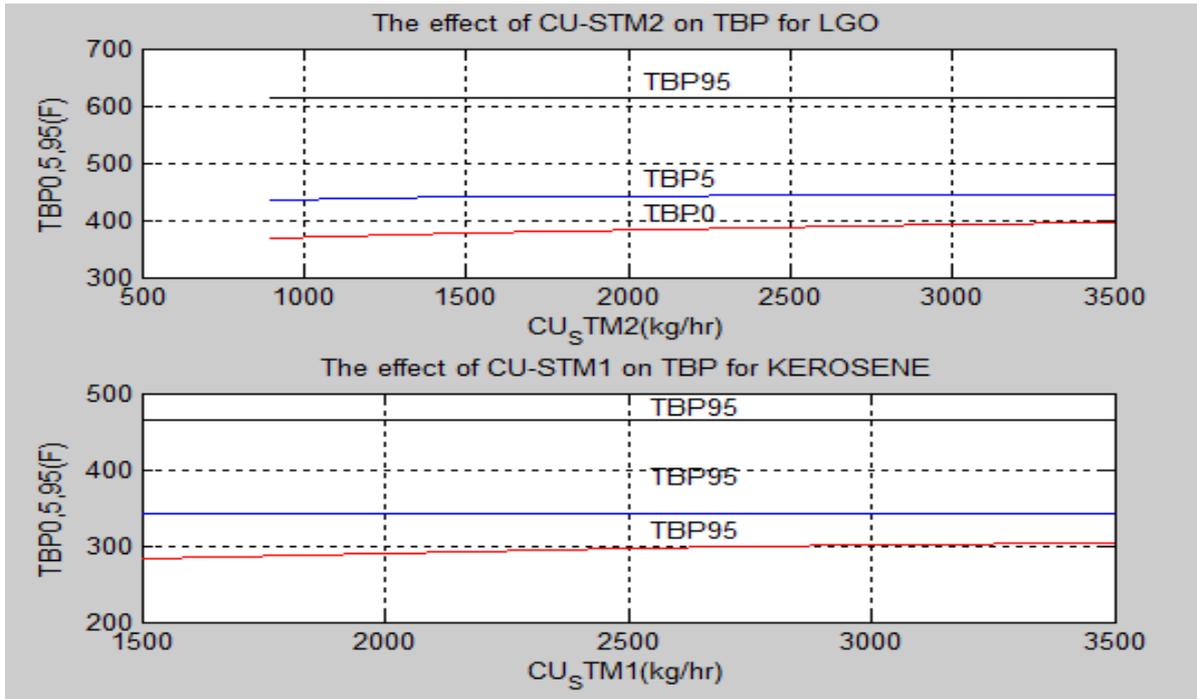
بتحويل درجات حرارة (TBP) بعد إجراء التغيير على معدل تدفق (CU-STM1) إلى ما يقابلها من درجات حرارة (ASTM) نجد النتائج التي يبينها الجدول (13).

الجدول (13): تأثير تغيير معدلات تدفق بخار الكسح CU-STM1 على درجات ASTM

CU-STM1 (kg/hr)	ASTM 95% of Naphtha (°F)	ASTM 5% of Ke (°F)	$T_{5\%Ke} - T_{95\%Naphtha}$
1500 kg/hr	335.41	373.73	38.32
2000 kg/hr	334.92	374.12	39.20
2500 kg/hr	334.71	374.77	40.06
3000 kg/hr	334.55	374.95	40.40
3500 kg/hr	334.40	375.14	40.74

نلاحظ من الجدول أن اقتراح واتكينز محقق عند جميع قيم (CU-STM2) بما فيها القيمة المستخدمة افتراضاً (CU-STM2 = 2000 kg/hr).

نقوم بنمذجة تغيرات درجات الحرارة (TBP) مع تغير تدفقات بخار الكسح (CU-STM) الواردة في الجدولين (9) و (10) باستخدام نظام النمذجة (MATLAB) فنحصل على الشكل (4):



الشكل (4): نمذجة النتائج باستخدام Matlab

نلاحظ من الشكل (4):

- ✓ إن درجات حرارة منحنيات الغليان المقابلة لـ (0% vol) قد طرأ عليها تزايد ملحوظ مع زيادة التدفق لبخار الكسح وذلك لكل من المازوت الخفيف والكيروسين.
- ✓ إن التغيير في درجات حرارة منحنيات الغليان المقابلة لـ (5% vol) متزايد بشكل بطيء لكليهما.

✓ حافظت درجات حرارة منحنيات الغليان المقابلة لـ (95% vol) على ما هي عليه أو تغيرت بشكل بسيط جداً يكاد لا يُذكر.

النتائج

1. يرافق زيادة معدل تدفق بخار الماء المستخدم في عمليات الكسح في برج التقطير الجوي تزايد ملحوظ في درجات حرارة منحنيات الغليان (TBP) المقابلة لـ (0% vol)، بينما يكون التغير في درجات حرارة منحنيات الغليان (TBP) المقابلة لـ (5%vol) متزايداً بشكل بطيء ولا يحدث تغير يُذكر لدرجات حرارة منحنيات الغليان (TBP) المقابلة لـ (95%vol).

2. أوضحت كل التغييرات السابقة على معدلات تدفق (CU-STM2) و (CU-STM1) أن هذا التغيير لا يرافقه حدوث أي تغير في كميات الإنتاج سواءً على المازوت الخفيف أو الكيروسين حيث حافظت كمية المازوت الخفيف على القيمة 124110 kg/hr وبقيت كمية الكيروسين 63490 kg/hr .

3. كميات بخار الكسح (CU-STM2) اللازم استخدامها وفق هذه الدراسة خاصة بنتائج المحاكاة هنا لكنها تعطي صورة أقرب ما تكون إلى أرض الواقع لكون العلاقة $T_{5\%LGO} - T_{95\%Ke} > 10 \text{ }^\circ\text{F}$ محققة عند

$CU - STM2 = 2000 \text{ kg/hr}$ وبالتالي فإن التقليل من كمية (CU-STM2) صحيح.

في حالة بخار الكسح (CU-STM1) فإن العلاقة :

$$T_{5\%Ke} - T_{95\%Naphtha} > 20 \text{ }^\circ\text{F}$$

محققة عند $CU - STM1 = 2000 \text{ kg/hr}$ وبالتالي فإن شرط واتكينز محقق ولا نحتاج للتغيير

في كمية (CU - STM1).

المقترحات والتوصيات:

يمكن - بناءً على كل ما تقدم - وضع التوصيات التالية:

☒ إمكانية التنبؤ بكمية تدفق بخار الماء اللازم في أبراج الكسح بما يحقق شروط معينة باستخدام المحاكاة وبالتالي إمكانية التقليل من عمليات الهدر وزيادة كفاءة فصل القطفات.

☒ ضرورة إجراء محاكاة دورية لأداء عمل مصافي النفط ووحدات الإنتاج وصولاً إلى ما يحقق العمل والإنتاج بالشكل الأمثل.

المراجع

1. Rao, B. 1990, *Modern Petroleum Refining Processes*. 1st ed, New Delhi, India, 396.
2. K.Anitha ;T.Shuwana ;V.R. Kumar. 2011, *Simulation of Atmospheric and Vacuum Crude Units Using Aspen Plus*. University College of Technology, Osmania University, India, 1885-1894.
3. Pradhan, Prabin. 2014, *Simulation and economic analysis of crude distillation unit using Aspen Plus*. National institute of technology, Rourkela.
4. AspenTech, 01
January.2015, <http://www.aspentech.com/Company/About-AspenTech/>.
5. Aspen Tech, 01
January.2015, <http://www.aspentech.com/products/aspenONE-Simulation/>.
6. Aspen Technology, 2000, *Aspen Plus User Guide*, version 10.2.
7. Aspen Technology, 2000, *Modeling Petroleum Processes*, version 10.1-0.
8. Riazi, M, R. 1979, *Prediction of Thermo physical Properties of Petroleum Fractions*. PhD Thesis, The Pennsylvania State University, USA.
9. Watkins, R, N. 1979, *Petroleum Refinery Distillation*, Second Edition, Gulf Publishing Company, Houston, 290.
10. Oh Shu Yin. 2014, *Modeling & Simulation of Crude Distillation Unit (CDU)*. University of Malaysia, Malaysia, 56.
11. Treybal, R. E. 1980, *Mass Transfer Operations*. McGraw-Hill, Singapore.
12. Hasibul Hasan, M., Azizul Hasan, Q. & Khan, S. 2014, *Simulation of Crude Distillation Unit of Eastern Refinery Limited (ERL) Using Aspen Plus*. Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesh.