

دراسة تجريبية لأداء العمود الفقاعي ذو الطورين

مؤيد خليل صالح

قسم الصناعات الكيماوية، المعهد التقني - كركوك، الجامعة التقنية الشمالية، كركوك، العراق.

Moayad.khalil1955@yahoo.com

المخلص

العمود الفقاعي من الأجهزة المستخدمة بشكل واسع في المجالات الصناعية منها الصناعات الكيماوية والبتروكيماوية والحيوية وبالذات في عمليات الامتصاص أو التداخل ما بين الغاز والسائل. يهدف البحث لدراسة تأثيرات كل من السرعة السطحية للمديات $(15-2.24) \times 10^{-2} \text{m/s}$ والضغط للمديات $0.5-2 \text{kg/cm}^2$ وقطر الثقوب $(1,2,2.5) \text{mm}$ في موزع الغاز من نوع الصفيحة المثقبة وللمحاليل الالكتروليتيّة المختلفة ($0.1 \text{N Na}_2\text{SO}_4$, 0.05N NaCl , 0.02N CaCl_2) على كل من النسب الحجمية للغاز المحتجز في السائل (GasHoldup) ومعامل انتقال الكتلة (Mass Transfer Coefficient). تم استخدام جهاز إجراء التجارب على العمود الفقاعي بطول 2m وقطر 0.2m وسمك 0.01m أظهرت نتائج الدراسة بان اعلى نسب حجمية كانت (7.65) عند تركيز (0.02N CaCl_2) بسبب اعتمادها على السرعة السطحية للغاز اما اعلى نسبة حجمية للغاز المحتجز في السائل كانت (7.96) عند تركيز (0.05N NaCl) بسبب زيادة الضغط الذي يؤدي الى تقليل معامل انتقال الكتلة الذي يزداد بزيادة المساحة السطحية للغاز المحتجز في السائل عند تركيز $(0.1 \text{N Na}_2\text{SO}_4)$ وذلك لان حجم الفقاعات يكون اكثر عند ارتفاع الضغط.

الكلمات الدالة: العمود الفقاعي، معامل انتقال الكتلة، المحلول الالكتروليتي، الضغط.

DOI: <http://doi.org/10.32894/kujss.2019.14.1.14>



An Experimental Study on the Bubble Column Performance of Two Phases

Moayad Khalil Salih

Chemical Industries Department, Institute of Technical – Kirkuk, University of Technical Northern, Kirkuk, Iraq.

Moayad.khalil1955@yahoo.com

Abstract

Bubble columns are form commend industrial instruments which is widely used in factorial petrochemical and biochemical aspects especially in absorption and reactions between gas and the liquid. The study aimed to study the effects of both the superficial gas velocity for ranges $(15- 2.24) \times 10^{-2}$ m/s and pressure ranges for (0.5-2) kg/cm² and diameter holes (1,2,2.5) mm in gas distributor from perforated plate for electrolytic solutions (0.05 N NaCl, 0.02 N CaCl₂, 0.1 N Na₂SO₄) to volume percentage for holden gas in solution and mass transfer coefficient ratio. The experimental device was used on the bubble column length (2m) diameter (0.2) m and thickness (0.01) m.

The study result show that high volumetric percent at concentration (0.02 N CaCl₂) was (7.65) due to its dependence on superficial gas velocity while the higher volume holdup gas in solution at concentration(0.05 N Nacl) was (7.96) because of higher pressure which cause in decreasing the mass transfer coefficient ratio which is increase with the gas superficial surface in solution at concentration level (0.1 N Na₂SO₄) and the is occur due to bubble volume is higher when pressure increase.

Keywords: Bubble column, Mass transfer coefficient, electrolyte solution, pressure.

DOI: <http://doi.org/10.32894/kujss.2019.14.1.14>

1. المقدمة:

يعتبر العمود الفقاعي "BC" (Bubble Column) من أجهزة التماس البسيطة بين الطور السائل والطور الغازي باعتبار الغاز او الخليط من الغازات يتحرك نحو الأعلى بشكل فقاعات، اما السائل فيمكن تغذيته الى العمود بصورة مستمرة ويمكن ان يكون باتجاه الغاز نفسه (Co-Current) او باتجاه معاكس (Counter Current) او بشكل وجبات (Batch) [1]. لقد تم استخدام الاعمدة الفقاعية للبحث في الهندسة الكيمياء لسنوات كثيرة واستخدمت بصورة واسعة في الصناعات الكيمياء والصناعات النفطية. وان ابسط أشكال جهاز عمود الفقاعات (BC) يكون عبارة عن اسطوانة عمودية يدخل فيها الغاز بصورة مستمرة (Continuously) من الأسفل خلال موزع موجود عند القاعدة [2]. ان تطبيقات الاعمدة الفقاعية واسعة في العمليات البايوتكنولوجية (Biotechnological processes) او (التقنية الإحيائية) مثل إنتاج خميرة الخبز (Production of baker's yeast) ومعالجة مياه الفضلات (Waste Water Treatment) والتخمير لإنتاج الحامض (Citric Acid Fermentation) والسبب المهم لهذا الاستعمال الواسع هو سهولة تركيبها وعدم احتوائها على اجزاء متحركة لذلك تستعمل في عمليات الامتصاص (Absorption) وعمليات النزع (Stripping) أو التفاعل (Reaction) [3].

في دراسة اجريت من قبل د. عبد المحسن / 2008 ذكر فيها اهم فوائد استخدام العمود الفقاعي في القطاع الصناعي حيث توصل الى ان من اهم المزايا الرئيسية في استعمال العمود الفقاعي مقارنة مع الأجهزة الأخرى المستخدمة كالتلامس بين الطور الغازي والطور السائل هي:

1. انه يعطي قيمة عالية للمساحات البينية الفعالة ولمعاملات انتقال المادة الكلي.
2. يمكن استعماله لتفاعلات بطيئة ذات زمن بقاء عالي للسائل.
3. يمكن معاملة المواد الصلبة (ثلاثية الطور) بحد أدنى من التآكل (Corrosion) او مشاكل الانسداد (plugging).
4. التكلفة الواطئة لمفاعلات الاعمدة الفقاعية.
5. يمكن خلط السائل وتجانس توزيع الحرارة في الانظمة ذات الدرجات الحرارية العالية والضغط العالي بواسطة حركة الفقاعات.

6. عدم احتوائه على أجزاء متحركة لذلك تكون صيانتها سهلة وخاصة للتفاعلات ذات الدرجات الحرارية العالية والضغط العالي [4]. تصنف عمليات الامتصاص التي يمكن إجراؤها في الاعمدة الفقاعية إلى عمليات الامتصاص الفيزيائي وعمليات الامتصاص المصحوبة بتفاعلات كيميائية والصنفان يلعبان دوراً رئيسياً في التطبيقات الصناعية. وصفت عملية الامتصاص بقانون فيكس (Ficks) الذي ينص على ان معدل الانتشار هو دالة لخصائص الغاز والسائل ودرجة الحرارة ومساحة المقطع العرضي عند السطح البيئي ودرجة التركيز [5].

$$\frac{dW}{dt} = K_d A \frac{dC}{dL} \quad (1)$$

W = كتلة الغاز المذاب (Kg)

t = الزمن (sec)

A = مساحة المقطع العرضي عند السطح البيئي (m^2)

$\frac{dc}{dl}$ = فرق التركيز العمودية على المقطع العرضي (Kg/m^2)

k_d = معامل الانتشار ويعتمد على الضغط ودرجة الحرارة وخصائص الغاز والسائل (m^2/Sec)

وحسب نظرية الغشائين (Two-Film Theory) توجد طبقات رابدة عند السطح البيئي للغاز والسائل وبناء عليه يكون معدل انتقال الكتلة هو:

$$\frac{dw}{Adt} = K_L (C^* - C) \quad (2)$$

حيث ان (dw/Adt) (معدل انتقال الغاز خلال وحدة الزمن خلال وحدة المساحة) اما (C^*) فيمثل تركيز الغاز عند السطح البيئي و (K_L) معامل انتقال الكتلة في الطور السائل وحسب قانون هنري (Henry) فان تركيز اشباع الغاز في السائل يتناسب طردياً مع الضغط الجزئي للغاز في الغلاف الجوي فوق السائل أي ان :

$$C_{sat} \propto p \quad (3)$$

لذلك نكتب المعادلة (2) كما يأتي :

$$\frac{dw}{Adt} = K_L (C_{sat.} - C) = K_G (P - P_{sat.}) \quad (4)$$

حيث ان (K_L) معامل انتقال الكتلة في الطور السائل ويعبر عن معدل امتصاص الغاز بواسطة كتلة من سائل مضطرب

بالمعادلة الآتية :

$$\frac{dw}{dt} = K_L A(C_{sat} - C) = K_G A(P - P_{sat}) \quad (5)$$

حيث ان (K_G) معامل انتقال الكتلة في الطور الغازي ويعبر عن معدل امتصاص الغاز بواسطة كتلة من سائل مضطرب

بالمعادلة الآتية [5].

$$\frac{dw}{dt} = K_L A(C_{sat} - EC) = K_L AD \quad (6)$$

حيث ان (D) هو الفرق في التركيز فان معدل تغير التركيز للغاز المذاب في السائل هو :

$$\frac{dc}{dt} = K_L \left(\frac{A}{V}\right) (C_{sat} - C) = K_L \left(\frac{A}{V}\right) D \quad (7)$$

وبأجراء التكامل :

$$\ln \frac{C_{sat} - C_{in}}{C_{sat} - C} = K_L \left(\frac{A}{V}\right) t$$

وبالنسبة للعمود الفقاعي تكون المعادلة كما يأتي :

$$\ln \frac{C_{sat} - C_{in}}{C_{sat} - C} = \left(\frac{K_L a}{1 - E_g}\right) t \quad (8)$$

إن المحاليل الالكتروليتية لها تأثير كبير على معامل انتقال الكتلة فقد وجد بأن تركيز الملح أقل من (1%) وزناً يزيد قيمة

معامل انتقال الكتلة (50%) قيمةً وهذه الصفة المميزة بالزيادة هي زيادة مساحة السطح الفاصل بين الطور السائل والغاز [6].

في دراسة اجريت من قبل د. بلاسم احمد واخرون ونشرت في مجلة القادسية للعلوم الهندسية سنة 2009 على سلوك انتقال الحرارة في العمود الفقاعي ذات الطورين حيث تم توزيع معاملات انتقال الحرارة في عمود قطره (0.2 m) وباستخدام نظام الهواء - الماء وتم فحص سرعة الغاز والارتفاع المحوري والتوزيع القطري على معامل انتقال الحرارة في العمود الفقاعي حيث تم ملاحظة فروقات واضحة بين معاملات انتقال الحرارة اي معامل انتقال الحرارة في منطقة التشكيل التام ($Z/D = 4.8$) اعلى من معامل انتقال الحرارة في منطقة الموزع ($Z/D = 0.28$) بنسبة (15-20%) للزيادة في سرعة الغاز من 0.03/s) (0.35)m وان معاملات انتقال الحرارة تزداد بزيادة سرعة الغاز، والقيم عند مركز العمود اعلى بنسبة (8-12%) الى من القيم قرب الجدار وكانت الخصائص في منطقة التشكيل التام كانت اكثر تغيرا بالاتجاه القطري واقل بالاتجاه المحوري بالنسبة لقيم معاملات انتقال الحرارة [7]. ويمكن تقسيم المحاليل المستخدمة في العمود الفقاعي الى صنفين رئيسيين تبعاً لتأثرها بالتيار الكهربائي في محاليلها المائية، الصنف الأول يوصل التيار الكهربائي وحينئذ تكون متأينة سابقاً وتسمى بالالكتروليتات او المواد المتأينة، وتشمل الحوامض والقواعد والأملاح و سابقاً تدعى بالالكتروليتات او المواد المتأينة، والصنف الثاني لا يوصل التيار الكهربائي فهي عندئذ غير متأينة سابقاً وتدعى بالالكتروليتات او المواد غير المتأينة مثل انواع السكر والكليسرين والكحول الأيثلي واليوريا [8]. ومن الجدير بالانتباه ان المادة الألكتروليتية في محلولها المائي ككلوريد الصوديوم قد لا توصل التيار الكهربائي في مذيب آخر غير الماء كالاثير والهكسان وعندما يذاب السكر في الماء فان المحلول لا يوصل ولكن عندما يكون كلوريد الصوديوم (NaCl) مذاباً في الماء فان المحلول يوصل ولهذا تصنف المواد الى الكتروليتات وهي تلك التي تنتج محاليل موصلة ولا الكتروليتات وهي التي تنتج محاليل غير موصلة، ويعطي الجدول 1 تصنيف بعض المحاليل الآتية.

الجدول 1: تصنيف بعض المحاليل.

لاالكتروليتات (Non electrolytes)	الالكتروليتات (Electrolytes)
السكروز $C_{12}H_{22}O_{11}$	كبريتات الصوديوم (Na_2SO_4)
الكحول الأيثلي C_2H_5OH	كلوريد الصوديوم (NaCl)
النيتروجين N_2	هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$
الأوكسجين O_2	هيدروكسيد الصوديوم (NaOH)
الميثان CH_4	حامض الكبريتيك (H_2SO_4)
اول اوكسيد الكربون CO	حامض الهيدروكلوريك (HCl)
الاسيتون CH_3COCH_3	حامض الخليك CH_3COOH

ويمكن إعادة تقسيم الالكتروليتات الى مجموعتين متميزتين او اكثر، الكتروليتات قوية تعطي محاليل موصلة جيدة للكهربائية والكتروليتات ضعيفة تعطي محاليل ضعيفة التوصيل و **الجدول 2** يعطي تصنيف الالكتروليتات حيث تختلف الالكتروليتات الضعيفة عن الالكتروليتات القوية في ان الالكتروليتات الضعيفة تكون ضئيلة التفكك الى ايونات في محلول فقط، بينما تكون الالكتروليتات القوية متفككة أساسا الى ايونات [9].

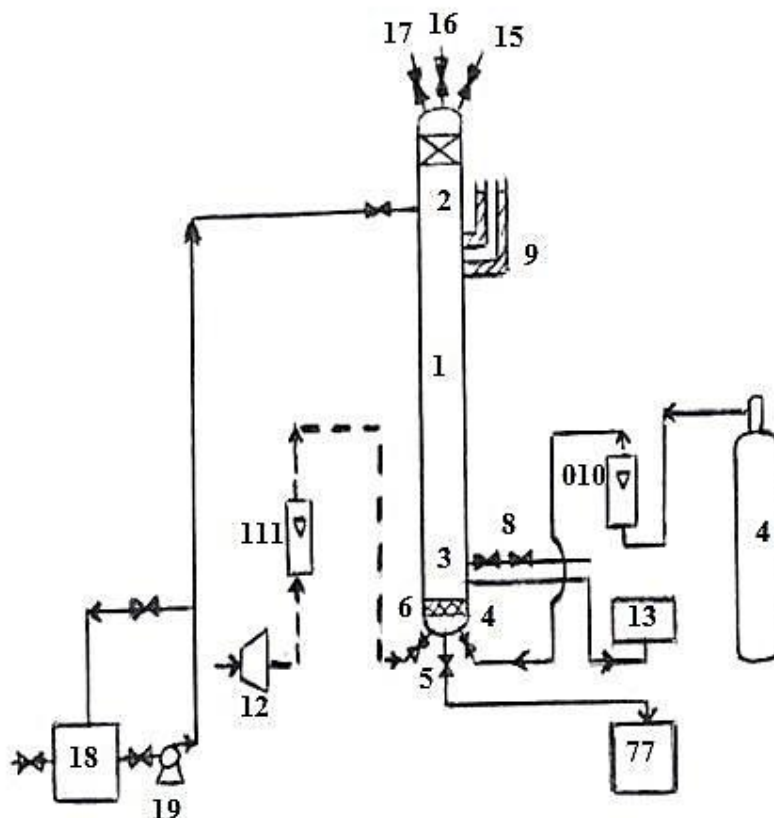
الجدول 2: امثلة لالكتروليتات قوية وضعيفة وغير الكتروليتية.

مواد غير الكتروليتية	الكتروليتات الضعيفة	الكتروليتات القوية
الكحولات	الحوامض الضعيفة	الحوامض القوية
C ₂ H ₅ OH الكحول الأيثلي	الهيدروفلوريك HF	الهيدروكلوريك HCl
	الهيدروسيانيك HCN	الهيدروبروميك HBr
	الفورميك HCOOH	الهيدرويويديك HI
السكريات	البنزويك C ₆ H ₅ COOH	النتريك HNO ₃
C ₆ H ₁₂ O ₆ الفركتوز	الخليك CH ₃ COOH	الكروميك H ₂ CrO ₄
	الاوكلاليك H ₂ C ₂ O ₄	الكبريتيك H ₂ SO ₄
	الفينول C ₆ H ₅ OH	
الاسترات	الفوسفوريك H ₃ PO ₄	
خلات المثيل CH ₃ COOCH ₃		
	القواعد الضعيفة	القواعد القوية
	الامونيا NH ₃	القلويات NaOH , KOH
	مثيل أمين CH ₃ NH ₂	Ca(OH) ₂ , Ba(OH) ₂
	الانيلين C ₆ H ₅ NH ₂	الاملاح
		NaCl , K ₂ SO ₄ NaNO ₃ , BaSO ₄ CaF ₂ , AgCl

والهدف من الدراسة هو إيجاد تأثير سرعة الغاز السطحية وخواص الطور السائل وقطر الثقوب في موزع الغاز تجريبيا ودراسة التغير الحاصل في نوع المحاليل حسب تغير التركيز و إيجاد العلاقات الرياضية للمتغيرات المدروسة من خلال ربط النتائج المختبرية.

2. المواد المستخدمة وطريقة العمل:

في هذا البحث تم صنع العمود الفقاعي من البلاستيك (PVC) بطول (2m) وبقطر (0.2m) وسمك (0.01m)، تم وضع موزع الغاز النقي في أسفل العمود لتوزيع الغاز ويوجد صمام في أعلى العمود لدخول المحلول وزود الغطاء العلوي بصمام أمان ومقياس ضغط وصمام لخروج الهواء أما الغطاء السفلي فيتم تزويده بصمام عدم الرجوع (Check Valve) لدخول الغاز (الهواء) وصمام لدخول غاز النتروجين وصمام آخر للتفريغ ويجهز العمود ذي القطر (0.2 m) وسمك (0.01 m) بالهواء من ضاغطة الهواء وكمية الهواء الداخل إلى عمود الفقاعات تقاس بواسطة مقياس الجريان (Rotameter) قبل دخوله إلى عمود الفقاعات ومنه إلى أسفل العمود عبر صمام عدم الرجوع (Check Valve)، أما بالنسبة لغاز النتروجين فيتم تجهيزه بواسطة اسطوانة الغاز وربطه بأسفل عمود الفقاعات بعد قياس كميته بواسطة مقياس الجريان (Rotameter). تتم السيطرة على جريان الهواء مع غاز النتروجين يدويا بواسطة الصمام الإبري (Needle Valve). كما هو موضح بالشكل 1:



الشكل 1: جهاز عمود الفقاعات.

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1- العمود الفقاع | 7- خزان التجميع | 14- اسطوانة غاز النتروجين |
| 2- شبكة سلك | 8- صمام اخذ النماذج | 15- مقياس لضغط |
| 3- موزع الغا | 9- قياس مستوى السائل | 16 - صمام الأمان |
| 4- صمام دخول غاز النتروجين | 10، 11. مقياس الجريان | 17- صمام خروج الهواء |
| 5- صمام التفريغ | 12- ضاغطة | 18- خزان التغذية |
| 6- صمام دخول الهواء | 13 – مقياس الأوكسجين المذا | 19 - مضخة التغذية |

يغذي العمود بالسائل وهذه الكمية من السائل تدخل إلى العمود الفقاعي بشكل وجبة واحدة من الأعلى بواسطة مضخة الطرد المركزي (Centrifugal Pump) وتوجد طبقة (شبكة) سلكية في الجزء العلوي للعمود لضمان عدم خروج قطرات من السائل مع الهواء الخارج وخاصة في السرعات العالية للهواء. استخدمت ثلاث موزعات للهواء في عمود الفقاعات لدراسة تأثير نوعية موزع الهواء في عمود الفقاعات (BC) على النسبة الحجمية للغاز المحتجز في السائل (E_g) ومعامل انتقال الكتلة (K_{La}) للمحاليل الالكتروليتيّة المختلفة الذي يستعمل لغرض حساب معامل انتقال الكتلة باستخدام الامتصاص الفيزيائي للأوكسجين المذاب خلال السائل حيث يتغير الزمن اللازم لوصول تركيز الأوكسجين المذاب إلى التركيز المشبع وذلك بتغير تركيز المحلول الالكتروليتي والسرعة السطحية للغاز (الهواء) والضغط وموزع الغاز ويتم الحصول على علاقة بين تركيز الأوكسجين المذاب مع الزمن بواسطة استخدام العلاقة الرياضية التي تتضمن على:

$$\ln \frac{C_{sat} - C_{in}}{C_{sat} - C} = \left(\frac{K_{La}}{1 - E_g} \right) t \quad (9)$$

حيث أن :

$$C_{sat} = \text{التركيز المشبع (Mg / L)}$$

$$C_{in} = \text{التركيز الداخلي (Mg / L)}$$

$$K_{La} = \text{معامل انتقال الكتلة في عمود الفقاعات (S}^{-1}\text{)}$$

$$E_g = \text{النسبة الحجمية للغاز المحتجز في السائل}$$

$$t = \text{الزمن اللازم لوصول تركيز الأوكسجين المذاب إلى التركيز المشبع}$$

$$C = \text{تركيز المحلول (N)}$$

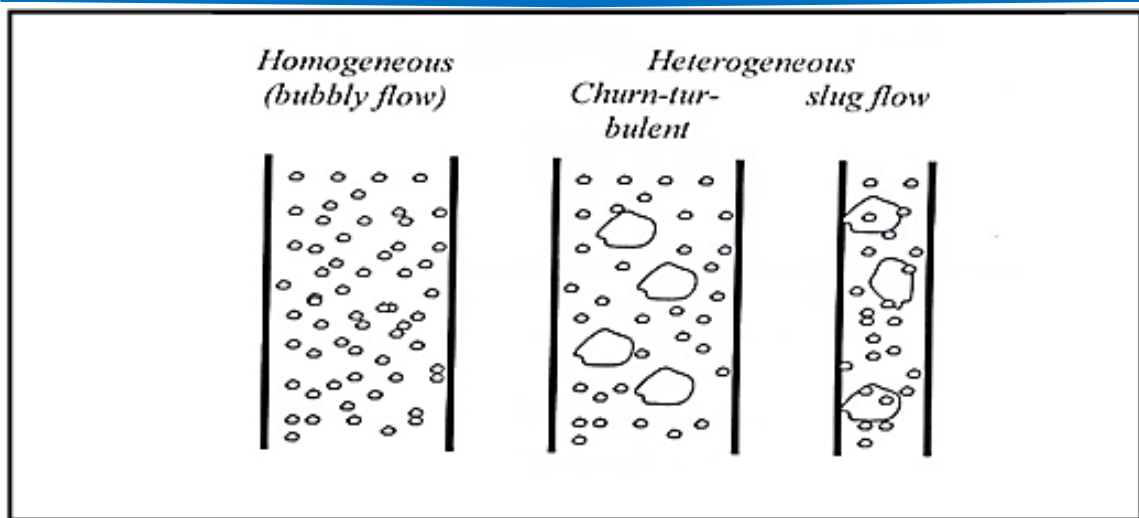
فقد تم استخدام موزع الهواء ذي قطر (0.2m) وسمك (5mm) وموزعات الهواء ذات أقطار مختلفة (1mm)، (2mm)، (2.5mm) لتحويل جريان الهواء إلى الجريان الفقاعي (Bubble Flow) خلال العمود. ان لمعدل جريان الغاز تأثيراً واضحاً على النسبة الحجمية للغاز المحتجز في السائل فعند زيادة السرعة تزداد النسبة الحجمية للغاز المحتجز في السائل الى ان تصل الى اعلى ما يمكن حسب الانتقال من اسلوب الجريان الفقاعي (Bubble Flow Regime) الى اسلوب الجريان الاضطرابي (Turbulent Flow Reime) بشكل كامل. وعلى هذا الاساس وضع كلكر وزملاؤه (Kelkar) [10] علاقة بين النسبة الحجمية للغاز المحتجز في السائل والسرعة السطحية للغاز في المحاليل الالكترووليتية كما في المعادلة الاتية:

$$E_g = 0.475 U_g^{0.37} \quad (10)$$

إضافة الى ذلك فقد تم وضع علاقة اخرى من قبل ابراهام وساوانت (Abraham and Sawant) [11] وهي كالآتي :

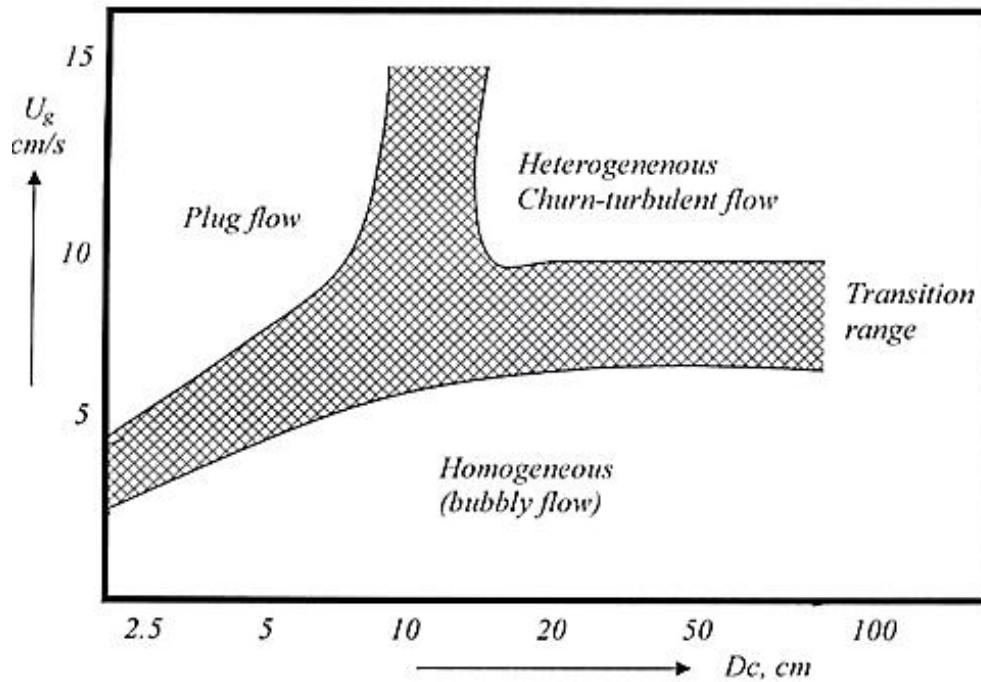
$$E_g = 0.654 U_g^{0.58} \quad (11)$$

إن أسلوب الجريان يعتبر من المتغيرات التصميمية المهمة لمفاعل العمود الفقاعي فهناك معاملات انتقال الكتلة ومعامل انتقال الحرارة اللذان يعتمدان على أسلوب الجريان و الشكل 2 يبين مخططاً لأساليب الجريان. هذا النمط من الجريان والذي يدعى بالجريان الفقاعي (Bubble Flow) يتميز بأحجام منتظمة للفقاعات مع أقطار متساوية لموزع الغاز (الهواء). يحدث هذا النمط عند السرعة السطحية للغاز (الهواء) بحدود (0.02-0.04 m/s). وأكد (Akita etal) [13] بأن يحدث هذا النمط من الجريان عندما تكون سرعة الغاز (الهواء) أقل من (0.04 m/s). وعند السرعة العالية للغاز المتجانس مع السائل لا يحصل التشتت ويكون نمط الجريان غير مستقر وخاصة مع الجريان الاضطرابي (Turbulent Flow). والذي يتميز بحركة الفقاعات الكبيرة مع سرعة الصعود العالية بوجود الفقاعات الصغيرة. وعند الجريان الكتلي (Slug Flow) العالي للغاز فإن الفقاعات الكبيرة تستقر بواسطة جدار العمود وهذا يؤدي إلى تكوين كتلة الفقاعة (Bubble Slug) ويمكن ملاحظة الكتلة الفقاعية في الأعمدة التي تتراوح أقطارها لحد (0.15m).



الشكل 2: مخطط لأساليب الجريان.

وقد لاحظ بوكر (Bukur) [14] في العمود الفقاعي ذي القطر الداخلي (0.05m) بأن الجريان الكتلي يحدث عندما تتراوح سرعة الغاز من (0.02- 0.03 m/s). وأعطى تقديراً تقريبياً لتأثير قطر العمود وجريان الغاز على أساليب الجريان بشكل بياني كما هو موضح في الشكل 3.



الشكل 3: تأثير قطر العمود وجريان الغاز على أساليب الجريان.

الجدول 3: النتائج التجريبية لمحلول كلوريد الكالسيوم (CaCl_2).

P kg/cm ²	C _{sol.} Norm.	10 ² ×U _g m/s	10 ² ×E _g	ln ₁	ln ₂	ln ₃	ln ₄	ln ₅	10 ² ×k _{La} (s ⁻¹)
0.5	0.02	2.24	3.25	0.76	1.70	2.80	3.20	3.90	1.36
		6.76	4.02	0.90	1.82	3.20	3.20	3.90	1.58
		10.53	4.65	1.12	2.11	3.90	3.90	3.90	1.02
		12.8	5.80	1.33	2.51	3.90	3.90	3.90	1.05
		14.27	6.85	1.70	2.80	3.90	3.90	3.90	1.70
1.0		2.24	3.63	0.54	1.29	1.98	3.59	3.59	2.69
		6.76	4.49	0.70	1.39	2.49	3.59	3.59	2.54
		10.53	5.34	1.02	1.64	3.59	3.59	3.59	2.23
		12.8	6.33	1.51	3.59	3.59	3.59	3.59	1.30
		13.00	7.07	1.80	3.59	3.59	3.59	3.59	1.10
2.0		1 2.24	4.02	0.29	0.77	1.55	2.24	2.64	1.97
		15.53	7.65	0.45	0.85	1.55	2.64	2.64	2.89
		10.53	5.50	0.50	1.73	2.24	3.34	2.64	1.85
		12.8	6.55	0.77	2.24	2.24	3.34	2.64	1.50
		13.05	6.47	1.26	2.64	2.64	3.34	2.64	1.45

P = الضغط بوحدات kg/ cm²

C_{sol.} = تركيز المحلول (N)

U_g = سرعة الغاز السطحية (m /s)

k_{La} = معامل انتقال الكتلة في عمود الفقاعات (S^{1/2})

E_g = النسبة الحجمية للغاز المحتجز في السائل حيث تم احتسابها من خلال المعادلة التالية [8]:

$$E_g = \frac{H_g - H_c}{H_g} \quad (12)$$

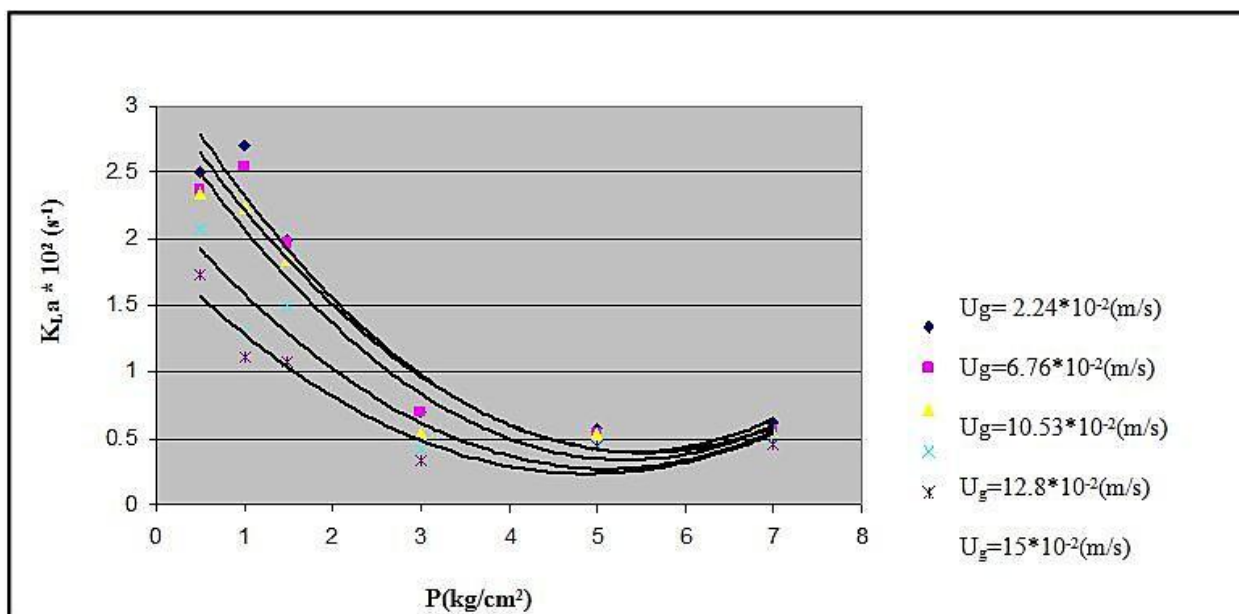
حيث أن :

$$E_g = \text{النسبة الحجمية للغاز المحتجز في السائل}$$

$$H_g = \text{ارتفاع السائل أثناء مرور الغاز (m)}$$

$$H_c = \text{ارتفاع السائل بدون مرور الغاز (m)}$$

يتضح من الجدول 3 بان اعلى نسبة حجمية عند تركيز (0.02 N CaCl₂) كانت (7.65) بسبب اعتمادها على السرعة السطحية للغاز، اما قيمة معامل انتقال الكتلة كانت (2.89 S^{1/2}) حيث تزداد بتقليل التركيز مما ينتج عنه قلة الشد السطحي مما يؤدي الى زيادة معدل الامتصاص.



الشكل 4: معامل انتقال الكتلة مع الضغط دالة لسرعة الغاز السطحية (0.02 N CaCl₂).

شكل 4 يوضح تأثير الضغط على معدل انتقال الكتلة من خلال سرعة الغاز المختلفة حيث يقل الضغط وتزداد النسبة

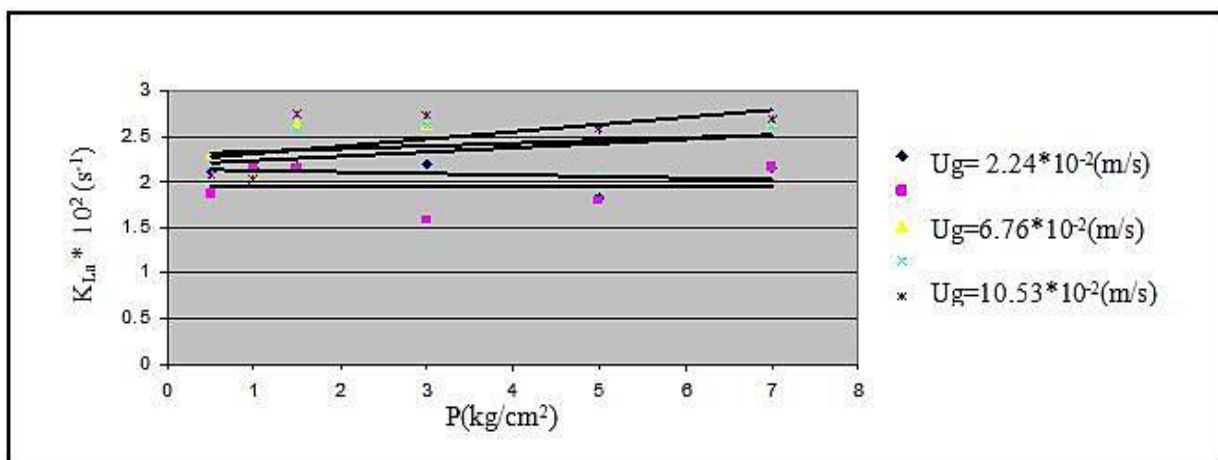
الحجمية للغاز المحتجز في السائل نظرا لتقليص حجم الفقاعة في السائل.

الجدول 4: النتائج التجريبية لمحلل كلوريد الصوديوم (NaCl).

P kg/cm ²	C _{sol.} Norm.	10 ² ×U _g m/s	10 ² ×E _g	ln ₁	ln ₂	ln ₃	ln ₄	ln ₅	10 ² ×k _{La} (s ⁻¹)
0.5	0.05	2.24	3.15	0.48	1.13	2.08	2.60	3.69	2.54
		6.76	4.02	0.65	1.30	2.31	2.63	3.69	2.36
		10.53	5.34	0.86	1.39	2.60	2.97	3.68	2.28
		12.85	6.25	1.20	2.08	2.99	3.69	3.69	2.06
		15.00	6.85	1.70	2.80	3.90	3.90	3.90	1.70
1.0		2.24	4.02	0.29	0.77	1.55	2.24	2.64	1.97
		6.76	4.65	0.45	0.85	1.57	2.64	2.64	1.96
		10.53	5.50	0.50	1.73	2.24	3.34	2.64	1.85
		12.87	6.55	0.77	2.24	2.27	3.34	2.64	1.50
		15.00	7.44	1.26	2.26	2.64	3.34	2.64	1.06
2.0		2.24	4.02	0.29	0.77	1.55	2.24	2.64	1.97
		6.76	4.65	0.45	0.85	1.55	2.64	2.64	1.96
		10.53	5.50	0.50	1.73	2.24	3.34	2.64	1.85
		12.82	6.55	0.77	2.24	2.24	3.34	2.64	1.50
		15.89	7.96	1.26	2.64	2.64	3.34	2.64	0.34

يتضح من الجدول 4 بان اعلى نسبة حجمية للغاز المحتجز في السائل عند تركيز (0.05 N NaCl) كانت (7.96)

بسبب زيادة الضغط الذي يؤدي الى تقليل معامل انتقال الكتلة نظرا لتقليص حجم الفقاعة في السائل.



الشكل 5: معامل انتقال الكتلة مع الضغط دالة لسرعة الغاز السطحية (0.5N NaCl).

شكل 5 يوضح تأثير الضغط على معدل انتقال الكتلة بدلالة سرعة الغاز السطحية المختلفة عند تركيز 0.05N NaCl

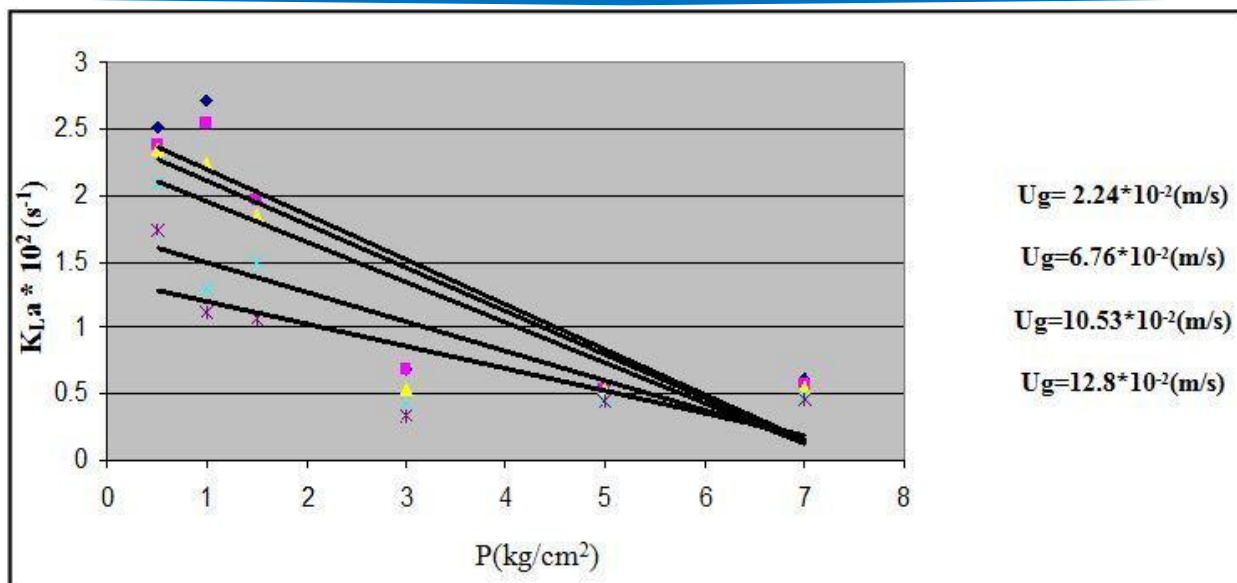
حيث تزداد النسبة الحجمية للغاز المحتجز في السائل نظرا لتقليل قطر الثقوب في موزع الغاز .

الجدول 5: النتائج التجريبية لمحلول كبريتات الصوديوم (Na_2SO_4).

P kg/cm ²	C _{sol.} Norm.	U _g ×10 ² m/s	E _g ×10 ²	ln ₁	ln ₂	ln ₃	ln ₄	ln ₅	k _{La} ×10 ² (s ⁻¹)
0.5	0.1	2.24	2.99	0.64	1.41	1.95	2.51	2.80	1.75
		6.76	4.57	0.72	2.11	2.51	2.80	2.80	1.54
		4.53	5.27	0.90	2.51	2.54	2.80	2.80	1.28
		5.67	6.25	1.33	2.53	2.80	3.20	2.80	1.13
		3.89	6.63	1.95	3.20	3.20	3.25	2.80	0.53
1.0		9.54	3.15	0.40	0.98	1.56	2.01	2.23	1.51
		12.64	4.34	0.52	1.22	1.82	2.05	2.23	1.33
		10.53	5.50	0.73	1.54	2.01	2.23	2.23	1.16
		12.8	6.10	0.98	1.82	2.23	2.33	2.23	0.91
		15.00	6.78	1.13	2.23	2.23	2.39	2.23	0.68
2.0		15.97	6.85	0.08	0.56	1.54	1.73	2.24	1.85
		12.62	4.18	0.20	0.85	1.73	2.24	2.24	1.74
		10.53	5.57	0.39	1.03	2.24	2.26	2.24	1.54
		12.8	6.03	0.63	1.55	2.24	2.28	2.24	1.22
		15.00	6.48	1.14	2.24	2.24	2.28	2.24	1.68

يتضح من الجدول 5 بان معامل انتقال الكتلة قيمته كانت (1.85) حيث تزداد بزيادة المساحة السطحية للغاز المحتجز

في السائل (6.85) عند تركيز (0.1 N Na₂SO₄) وذلك لان حجم الفقاعات يكون اكثر عند ارتفاع الضغط.



الشكل 6: معامل انتقال الكتلة مع الضغط دالة لسرعة الغاز السطحية (0.1N Na₂SO₄).

يلاحظ شكل 6 تأثير السرعة السطحية للغاز على معدل انتقال الكتلة حيث تزداد النسبة الحجمية للغاز المحتجز في

السائل نظرا لاستخدام تراكيز مختلفة ولكن بنسب متفاوتة.

4. المناقشة:

ان اعلى نسبة حجمية للغاز كانت عند تركيز (0.02 N CaCl₂) وكان ذلك بسبب اعتمادها على السرعة السطحية للغاز وان قيمة معامل انتقال الكتلة كانت (2.895) والتي تزداد بتقليل التركيز مما يتسبب عنه نقص في الشد السطحي الذي يؤدي الى زيادة في نسبة الامتصاص. في دراسة أجريت من قبل العالم (parasu Veera etal) في عام (2005) حول مقياس الغاز المحتجز في العمود الفقاعي باستخدام اشعة كاما والذي توصل فيه الى ان حجم الغاز المحتجز تتناسب مع السرعة السطحية له وان معامل انتقال الكتلة يتأثر بالتركيز حيث يعطي في الطور السائل وصفا كاملا ويبين تأثير الضغط لبعض المحاليل الالكتروليتيية وهذا ما وضحه شكل 4 حول العلاقة العكسية بين الضغط ومعامل انتقال الكتلة [9].

اما بالنسبة للغاز المحتجز عند تركيز (0.05 N NaCl) فقد كانت (7.96) كما وضحه جدول 4 وكان ذلك بسبب زيادة الضغط الذي أدى الى نقص في معامل الكتلة والذي نتج عن تقليص حجم الفقاعة في السائل المحتجز كما بينه شكل 2 الذي يبين تأثير الضغط بدلالة سرعة الغاز السطحية حيث تزداد تلك النسبة الحجمية للغاز المحتجز في السائل بسبب قلة قطر

الثقوب في موزع الغاز، ويعتبر معامل انتقال الكتلة بين الغاز والسائل مرحلة مهمة في أكثر العمليات للهندسة الكيمياءية مثل التقطير والامتصاص وتفاعل غاز- سائل وان مقاومة الانتقال للكتلة من الطور الغازي إلى الطور السائل في عمليات انتقال الكتلة تكون في الطور السائل. ويتم تحديد معامل انتقال الكتلة اعتماداً على توزيع التركيز خلال طول العمود وذلك بسبب عدم وجود خلط مثالي. أما جريان الغاز فله تأثير كبير على معامل انتقال الكتلة حيث يعتمد على نوع موزع الغاز والخواص الفيزيائية للمحلول الألكتروليتي. وان هذه النتائج تتفق مع الدراسة التي اجراها (kelkar etal) [10]. حول تأثير المحاليل الألكتروليتية على المزج المعاكس في العمود الفقاعي عام (2004) والتي نشرت في مجلة الهندسة الكيمياءية وأوضحت تأثير المحاليل الألكتروليتية المختلفة على الضغط والنسب الحجمية للغاز وكيفية تأثير كل محلول وعلاقته بمعامل انتقال الكتلة ومن ناحية أخرى اكدت الدراسة التي اجراها (idgawa etal) [11]. حول تأثير الغاز المحتجز على الخواص الفيزيائية للسوائل وتأثيراتها في العمود الفقاعي عام (2004) حيث بينت الدراسة العلاقة بين الغاز المحتجز والضغط الناتج عنه والتي تتفق مع الدراسة الحالية. اما بالنسبة لمعامل انتقال الكتلة فقد كانت قيمته (1.85) حيث زادت بزيادة المساحة السطحية للغاز المحتجز في السائل عند تركيز (0.1 N Na₂SO₄) ويرجع السبب في ذلك لكون حجم الفقاعات اكثر عند ارتفاع الضغط. في دراسة مماثلة أجريت من قبل د. بلاسم احمد عبد وآخرون من الجامعة التكنولوجية قسم الهندسة الكيمياءية عام (2009) حول سلوك انتقال الحرارة في العمود الفقاعي ذو الطورين حيث شملت الدراسة توزيع معاملات انتقال الحرارة في عمود فقاعي قطره (0.2)m حيث تم استخدام نظام الهواء - الماء وتم فحص سرعة الغاز والارتفاع المحوري والتوزيع القطري وتأثيرهما على معامل انتقال الحرارة في ذلك العمود حيث أظهرت نتائج الدراسة بان هناك فروقات مهمة في معاملات انتقال الحرارة بالاتجاه المحوري أي ان معامل انتقال الحرارة في منطقة التشكيل التام اعلى منها في منطقة الموزع بنسبة تصل الى (15% - 23) نتيجة زيادة سرعة الغاز من (0.03 - 0.35 m/s). واستنتجت الدراسة بان معاملات انتقال الحرارة تزداد بزيادة سرعة الغاز وان القيم المستخرجة عند مركز العمود اعلى منها في القيم قرب الجدار بنسبة (8%) الى (12%) [12]. وفي دراسة أخرى أجريت من قبل (sheikh etal) عام (2007) حول التغيرات الحاصلة في مجرى السائل داخل العمود الفقاعي والتي توصلت الى نتائج مطابقة للدراسة الحالية [13].

5. الاستنتاجات:

يعطي العمود الفقاعي خلطاً جيداً بين الطورين (غاز - سائل) بدون أي تأثير للتركيز والضغط خلال ارتفاع طول العمود. واستخدمت العلاقات المتبادلة بين النسبة الحجمية للغاز المحتجز في السائل ومعامل انتقال الكتلة من خلال سرعة الغاز السطحية والخواص الفيزيائية للسائل وقطر الثقب في موزع الغاز والتركيز المختلفة للمحاليل الألكتروليتية. لذلك فإن تأثير تركيز المحلول الألكتروليتي على معامل انتقال الكتلة مع زيادة الشد السطحي يقلل معدل الامتصاص. كما إن ضغط التشغيل له تأثير غير منضبط على النسبة الحجمية للغاز المحتجز في السائل ومعامل انتقال الكتلة فهو إيجابي لبعض المحاليل وسلبى لأخرى، أما قطر الثقب في موزع الغاز فله تأثير سلبي. وفي حالة سلوك الجريان الفقاعي فإن النسبة الحجمية للغاز المحتجز في السائل تزداد مع زيادة معامل انتقال الكتلة وينتج انحراف واسع في قيمة النسبة الحجمية للغاز المحتجز في السائل ومعامل انتقال الكتلة مقارنة مع الماء النقي وخاصة في التركيزات الوائنة للمحاليل الألكتروليتية.

References

- [1] M. T. Dhotre, V. S. Vitankar and Y. B Joshi, "*CFD simulations of steady state heat transfer in bubble columns*", Chemical Engineering Journal, 108 , 117 (2005).
- [2] H. Li and A. Prakash , "*Analysis of flow pattern in bubble and slurry bubble columns based on local heat transfer measurements*", Chemical Engineering Journal, 86, 269 (2002).
- [3] R. Abdulmohsin , "*Heat transfer in bubble column operation in churn-turbulent flow regime*", Ph. D. Thesis, University of Technology, Baghdad, Iraq (2008).
- [4] W. Chen, T. Hasegawa, A. Tsutsumi, k. Otawara and Y. Shigaki, "*Generalized dynamic modeling of local heat transfer in bubble columns*", Chemical Engineering Journal, 96, 37 (2003).
- [5] T. Wang, J. Wang, W. Yang and Y. Jin, "*Experimental Stud on Gas-Holdup and Gas-Liquid Interfacial Area in TPCFBs*", Chemical Engineering Commune, 10 , 1 (2005).



- [6] S. C. Saxena, R. Vadivel and A. C. Saxena, "*Gas-Holdup and heat transfer from immersed surface in two and three phase in bubble columns* ", Chemical Engineering Commune., 85, 63 (1989).
- [7] S. Shirat, A. Mandal Kunda G. Mukherjee, "*Hydrodynamic Studies on Gas- Liquid Down Flow Bubble Column with Non- Newtonian Liquids*", IE (I) J.-CH,(84), 38 (2003).
- [8] C. Wu, M. Al- Dahham and A. Prakash, "*Heat transfer coefficient in a high pressure bubble columns* ", Chemical Engineering Sciences, 62, 140 (2007).
- [9] U. Parasu Veera and J. B. Joshi, "*Measurement of Gas Holdup Profiles in Bubble Column by Gamma Ray Tomography*", The Institution of Chemical Engineer, 78(Part A), 425 (2005).
- [10] B. G. Kelkar, S. R. Phulgaonkar and Y. T Shah; "*The Effect of electrolyte solution on hydrodynamic and back mixing characteristics in bubble columns*". Chemical Engineering Journal, 125, 1354 (2004).
- [11] K. Idogawa, K. Ikeda, T. Fukuda and S. Morooka, "*Effect of Gas and Liquid Properties on the behavior of bubble in a column under high Pressure*", International Chemical. Engineering, 27, 93 (2004).
- [12] A. Balasim, AB. Rahmansh, M. Hisham, "*Heat transfer behavior in a two – phase bubble column*". Al – Qadisiya Journal for engineering sciences, 2(2), 425 (2009).
- [13] A. Shaikh and M. H. Al-Dahham, "*A review on flow regime transition in bubble columns*", International Journal of Chemical Reactor Engineering, 5, 35 (2007).