النموذج الرياضي لمنظومات التنافذ العكسي لمعاملة المياه في محطات توليد الطاقة الكهربائية

ماجد يوسف خمو *

تاريخ الأستلام:2009/12/21
تاريخ القبول:2010/4/1

الخلاصة

تم في هذا البحث اعداد نموذج رياضي وحله وبناء برامج حاسبة لهذا الغرض للحصول على النتائج الخاصة بالحسابات التصميمية لمنظومات التنافذ العكسي (RO) المستخدمة لازالة الاملاح من ماء النهر قبل استخدامه في مراجل محطات توليد الطاقة الكهربائية داخل البلد.
يشتمل هذا البحث على اساسيات عمل منظومات التنافذ العكسي والظروف والعوامل المؤثرة على عملها وقد تم حساب عدد المراحل المطلوبة في هذه المنظومات باستخدام نظرية السلاسل ولاول مرة وقد اعد نموذج رياضي وبرامج حاسبة تضمنت جميع الحالات المذكورة وطبقت على منظومات التنافذ العكسي لكل من محطتي كهرباء الدورة والناصرية,وقورنت نتائج هذه البرامج مع النتائج العملية فاعطت توافقا جيدا.

كلمات مرشدة : نموذج رياضي , منضومات التنافذ العكسي , معاملة المياه في محطات توليد الكهرباء

A Mathematical Model for The Reverse Osmosis Mode Used for Treating Water In Electrical Power Stations

Abstract

In this investigation, a mathematical model is built and solved with computer programs to get results for the design calculations of the reverse osmosis mode used to remove salt from the river water before being utilized in the boilers of electrical power stations in Iraq The principles of the reverse osmosis mode , the conditions and factors affecting their operation, are discussedThe number of stages with their arraements in the reverse osmosis mode are calculated using the cascades theory for the first time
A mathematical model and computer programs including all the mentioned cases are built and applied on the reverse osmosis mode of AŁNassiriya and AL-Daura electrical power stations. The results of these calculations are compared with the practical results and showed a good agreement.

المقدمة

يعتبر التنافذ العكسي (Reverse osmosis) طريقة علمية متبعة في عكس السلوك الطبيعي للظواهر الحياتية المتمثلة بجريان المحاليل المخففة ومرورها عبر غشاء شبه نفاذ (Semi permeable membrane) الى محلول اكثر تركيزا, اذ تجري الموائع داخل الجسم البشري عبر هذه الاغشية المتمثلة بجدران الخلايا بفعل ظاهرة التنافذ وكذلك في النباتات فيمتص الغذاء والرطوبة من التربة بنفس الطريقة . عند توفر غشاء شبه نفاذ للفصل بين الموائع المختلفة التراكيز ,فان الماء

قسم الهندسة الكيمياوية , الجامعة التكنولوجية/بغداد

https://doi.org/10.30684/etj.28.11.18
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4

يجري خلال الغشاء من المحلول الاقل تركيزا الى الاكثر تركيزا (والذي قد يكون ماء مالح او ماء البحر مثلا) مسببا انخفاض الضغط من جهة المحلول المخفف وعليه فان الضغط من جهة المحلول الاكثر تركيزا سيرتفع وحتى الوصول الى حالة التوازن وعندها يدعى الفرق في الضغط بين طرفي المحلول بالضغط التنافذي لذلك المحلول، [1,2].

لقد درست ظاهرة التنافذ من قبل الباحثين قبل اكثر من (200) سنة, [3] وقد توصلوا الى امكانية عكس السلوك الطبيعي لعمليات التنافذ وذلك بجعل الماء يجري من المحاليل الاكثر تركيزا عبر الغشاء وبالتالي يمكن الحصول على الماء النقي فيكون لمثل هذه العمليات العديد من التطبيقات الصناعية, فالاملاح مثلا يمكن ازالتها من الماء المالح او مياه البحر وحتى مياه الفضلات الصناعيه,وذلك باستخدام مثل هذه الطريقة التي تتطلب كمية قليلة نسبيا من الطاقة مقارنة بغيرها من عمليات التحلية باستخدام التقطير او التبلور بالتجميد . ان منظومات التنافذ العكسي يمكنها العمل في درجة الحرارة الاعتيادية وتتطلب قدرة ميكانيكية فقط,بالمقابل فان تقطير مياه البحر يتطلب تسخين الماء الى حوالي (110)°C ومن ثم تكثيفه واخيرا جمعه كماء نقي بعد ان يبرد، [4,5].

تعتبر اساسيات عملية التنافذ العكسي من السهل تطبيقها, اذ تتطلب تسليط ضغط معين على المحلول المركز (فوق الضغط التنافذي) مما يسبب انعكاس اتجاه الجريان خلال الغشاء شبه النفاذ وبالتالي فصل الاملاح والشوائب الصلبة الاخرى عنها، [6]. ان جميع التطبيقات العمليه لظواهر التنافذ العكسي تستخدم اغشية مناسبة من مواد صناعية ذات خاصية تسمح بنفاذ الماء وتحجب الاملاح والمواد الذائبة الاخرى . كما تستخدم منظومات تنافذ عكسي تدعى(Permeators) لاغراض ازالة الاملاح من الماء المالح (Brackish water) او تحلية مياه البحر, ان الانواع الشائعه منها هي النوع الانبوبي (Hollow – fiber) والنوع الحلزوني (Spiral wound)، [7,8].

لقد وجدت خولة, [9] في بحثها ان منظومة التنافذ العكسي تتطلب التحقق من ادائها بشكل دوري ومستمر لان هذهِ الاغشية ومع مرور الوقت تتقادم ويقل اداؤها بسبب الترسبات والهبوط في الضغط مما يؤثر في متغيراتها الانتقالية. لذا فأن المعلومات الدورية المستحصلة من هذهِ المنظومات يكون لها دور مهم في الوصول الى امثل اداء لعملها ووجدت بأن أهم المتغيرات التشغيلية لمنظومة التنافذ العكسي تتمثل بمعدل الجريان والتوصيلية للمائع الناتج منها حيث يتأثر هذان العاملان بدرجة الحرارة والضغط.

أما (Chellam) وآخرون، [10] فقد استخدموا تقنية التحكم بضغط المائع لغرض الحد من الترسبات في منظومة التنافذ العكسي ووجدوا بأن الضغط المرتفع المسلط على هذهِ الاغشية ينتج عنهُ ازدياد الترسبات وهذا يؤدي الى تقادم الفيض المائي الناتج من الاغشية.

ولقد اختبر (Williams) وآخرون، [11] عمليات الفصل لفيض الماء خلال طبقة رقيقة من الاغشية ولعدد من المواد الملوثة العضوية، وشكلوا نموذج رياضي وفقا لأساسيات ظواهر الانتقال بضمنها تأثير عمليات الامدصاص والامتزاز وتم حل النموذج لغرض وصف عمليات الفصل للفيض المائي.

وقد استنتج عبد الستار، [12] في بحثه بأن نسبة ازالة الاملاح في منظومات التنافذ العكسي تتناسب عكسياً مع نسبة الاسترداد، حيث ان ارتفاع نسبة الاسترداد سيزيد من تخفيف تراكيز ايونات الاملاح التي تمر خلال الغشاء. ووجد ايضاً بان الترسبات تؤثر في اداء الاغشية مما يؤدي الى انخفاض بمعدل جريان المائع ويتطلب زيادة بضغط خط التغذية لغرض تحقيق معدل الجريان التصميمي.

أما (Riverol) وآخرون، [13] في بحثهم حول نظام السيطرة على وحدة التنافذ العكسي لازالة الاملاح من المياه والمستخدم لغرض السيطرة على معدل جريان الماء والتوصيلية، فقد أستخدموا قيماً حقيقية ومعادلات عملية بدلاً من علاقات توازن الكتلة وذلك لغرض التقليل المطلوب في التقلبات الواسعة بقيم المتغيرات الخاصة بالعملية ولتقليل حساسية التغيرات في الضغط وصولاً الى تحديد نوعية المياه والخسارة في الطاقة خلال العملية.

أحمد الربيعي، [14] في بحثه حول منظومة التنافذ العكسي المستخدمة لانتاج الماء الخالي نسبياً من الاملاح ليستخدم للاغراض الصناعية في مصفى الدورة، قد وظف المعلومات المستقاة من هذهِ المنظومة لغرض تقييم ادائها حيث وجد بأن كفائتها لازالة الاملاح الذائبة ليست جيدة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

وذلك بسبب تقادم وتضرر الاغشية ولعدم توفر المواد اللازمة للمعاملة الكيمياوية لتجنب ترسبات الاملاح على الاغشية هذا أضافة الى ان صيانة المنظومة لم تتم بشكل صحيح ومنتظم كما هو مقرر من قبل الشركة المصنعة للمنظومة.

أن بحث (Mc- Fall) وآخرون، [15] يتضمن نموذج رياضي ديناميكي يستند على اختبار منظومة سيطرة ذات جهاز تغذية أمامي وآخر خلفي لوصف سلوك وحدة تنافذ عكسي ذات كفاءة أسترداد مرتفعة، فقد أستخدموا في هذا النموذج مدى واسع من التغيرات في التراكيز ومعدلات الجريان كالتي تحدث في الاغشية خلال عمليات الاسترداد المرتفعة لتوضيح الاضطرابات في تغيرات التراكيز بخط التغذية مع الوقت وتأثيرها على العملية اضافة الى الكشف والتحول المناسب في حالة تعرض النظام الى اخفاق في عمل احدى صمامات العملية.

ان البحوث المنشورة في هذا المجال تشتمل على نماذج رياضية تتناول عدد من العوامل المؤثرة على اداء منظومات التنافذ العكسي ولا تصلح للتطبيق على منظومات التنافذ العكسي (RO mode) المستخدمة لازالة الاملاح من المياه قبل استخدامه في مراجل محطات توليد الطاقة الكهربائية.

الهدف من هذا البحث اعداد نموذج رياضي يستند على اساسيات عمل منظومات التنافذ العكسي, الظروف والعوامل المؤثرة على عملها وذلك لغرض الحصول على نتائج الحسابات التصميمية لهذه المنظومات، وطبقت على منظومات التنافذ العكسي لعدد من محطات توليد الطاقة الكهربائية، وقد استخدمت نظرية السلاسل ولأول مرة لحساب عدد المراحل المطلوبة في هذه المنظومات.

الحسابات التصميمية والعوامل المؤثرة على عمل منظومات التنافذ العكسي :

يتاثر معدل السعة وقابلية امرار الاملاح (Salt passage) لهذه المنظومات بعدة عوامل منها ضغط محلول التغذية, معدل الجريان، تركيز الاملاح ,درجة الحرارة ,معدل التحول,ضغط الناتج وعمر المنظومة, [16,17,18] وتنسب هذه العوامل الى الظروف القياسية التالية, [1]:-

Feed solution Concentration 1500 mg/l as NaCl
Feed pressure 2758kpa (400 psig)
Feed temperature 25° C

1- عوامل الجريان

يتاثر معدل سعة المنظومة بالعوامل المذكورة سابقاً, لهذا يجب تصحيح معدل سعتها عن ما هو محدد تصميميا بموجب الظروف القياسية, اذ يتم حساب ثلاثة عوامل تعديل لكل من الضغط, درجة الحرارة ومعدل الجريان باستخدام المعادلة التالية :

$$Q_p=(PCF)(TCF)(MFRC)Q_i \quad \ldots(1)$$

اذ تحسب عوامل التعديل هذه من خلال المقارنة بين نسبة معدل الجريان عند ظروف التشغيل الحقيقية الى تلك عند الظروف القياسية.

2- <u>الضغط التنافذي</u> :

يُحسب تركيز المحلول الملحي للحصول على ضغط تنافذي محدد من المعادلة التالية، [1]:

$$C = \frac{1000\pi_b}{0.0385(T+273.15)+(\pi_b/1000)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

اما الضغط التنافذي للمحلول الملحي فيحسب من المعادلة :

$$\pi_b = \frac{0.0385C(T+273.15)}{1000-(C/1000)} \quad \ldots(3)$$

حيث ان الضغط التنافذي لكل من محلول التغذية والمحلول الملحي الناتج يحسب من المعادلة:

$$\pi_{fb} = \frac{0.0385C_{fb}(T+273.15)}{1000-(C_{fb}/1000)} \quad \ldots\ldots\ldots(4)$$

3- معدل تعديل الضغط (PCF)

يحدد هذا العامل تاثير الضغط على معدل السعة ويشمل على ضغط محلول التغذية ,الهبوط بالضغط عبر حزمة منظومة التنافذ العكسي ,ضغط الناتج والضغط التنافذي ,حيث يحسب الاخير من تركيز محلول التغذية ومعدل التحول.

فيكون معامل تعديل الضغط:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$PCF=0.00283(p_f-(\Delta p_{fb}/2)-p_p-\pi_{fb}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

4- معامل الهبوط بمعدل الجريان (MFRC)

جميع انواع اغشية التنافذ تتعرض الى خفض بمعدلات الجريان خلالها مع عمر الغشاء حيث يزداد معدل الانخفاض مع زيادة الضغط وكذلك درجة الحرارة,اذ يظهر تاثير الضغط ودرجة الحرارة والوقت على كفاءة الغشاء والتي يعبر عنها بمكافئ الانخفاض ويحسب من العلاقة التالية:

$$MFRC = Q_{wt}/Q_{wi} \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

ولكلتا قيمتي Q يكون تاثير معامل الضغط ودرجة الحرارة نفسه ليكون عامل الوقت هو المؤثر الوحيد على انخفاض كفاءة الغشاء. لذا فان قيمة (MFRC) تمثل الانخفاض بمعدل الجريان خلال الغشاء نسبة الى معدل الجريان الاولي . فمثلا اذا كانت(MFRC=0.8) فتعني حصول انخفاض بنسبة 80% عن معدل الجريان الاصلي عبر الغشاء.

لقد حسبت تجريبيا قيم مختلفة لهذا المكافئ (MFRC) ولمختلف الضغوط ودرجات الحرارة ولفترات زمنية مختلفة من عمر هذه الانواع من الاغشية,[1] وقد انجزنااختيار معادلات لافضل منحني لكل حالة من هذه الحالات (Curve optimization) لغرض استخدامها في النموذج الرياضي المعد.

5- معامل تعديل درجة الحرارة (TCF) :

يتاثر معدل سعة الغشاء بدرجة حرارة ماء التغذية المار خلاله, اذ يمكن تعريف معامل تعديل درجة الحرارة (TCF) لاغشية التنافذ العكسي كما يلي:

$$TCF = Q_{wT}/Q_{w25} = 1.03^{(T-25)} \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

ولكلتا قيمتي Q فان معامل الضغط ومعامل الهبوط بمعدل الجريان خلاله تكون نفسها,لذا تبقى درجة الحرارة هي العامل المؤثر الوحيد في هذه الحالة.

6- نسبة مرور الاملاح (Salt passage) :

ترتبط نسبة مرور الاملاح (Sp) وتركيزالناتج (Cp) بالعلاقة التالية :

$$Sp = (Cp/Cf) \times 100$$

حيث Cf تمثل تركيز محلول التغذية.

ان محتوى الماء الخام من الايونات وتراكيزها,الضغط,ومعدل التحول تؤثرجميعها على قيم Cp,Sp حيث تنسب هذه العوامل الى الظروف القياسية المذكورة سابقا, وتكون قيمة النسبة (S_{Po}) لمنظومات التنافذ العكسي اقل من (8%)، [1].

$$SPCF = \frac{C_{fo}\left[\left(p_b-\frac{\Delta p_{fb}}{2}-P_{po}\right)-\left(\pi_{fbo}-\pi_{po}\right)\right]C_{fb}}{C_f\left[\left(P_f-\frac{\Delta P_{fb}}{2}-P_p\right)-\left(\pi_{fb}-\pi_p\right)\right]C_{fbo}}$$

يمكن حساب معامل تعديل النسبة (SPCF) ولكل من الأيونات في الماء الخام من المعادلة التالية:

$$\ldots\ldots\ldots (8)$$

ويحسب تركيز كل من الايونات من الماء الناتج باستخدام المعادلة التالية وذلك لكل ايون (i) من تلك الموجودة في الماء الخام المغذي:

$$C_{pi} = (S_{poi})(SPCF)(C_{fi}) \quad \ldots\ldots (9)$$

اذ ان قيمS_{poi}ولجميع الايونات والمركبات المحتمل تواجدها في الماء الخام معطاة في المصدر [1] وقد تم تزويد النموذج الرياضي المعد بقيمها. ويستثنى من ما ورد اعلاه ايونات البيكربونات (HCO_3^-) والفلوريد (F^-) أذ حسبت تراكيزها الناتجة من المعادلة التالية :

$$C_{pi} = (S_{pi})(C_{fi}) \quad \ldots\ldots\ldots (10)$$

اي ان قيم معامل تعديل (SPCF) لاتستعمل في هذه الحالة حيث ان قيم (S_p) ولكل من الايونين المذكورين تتأثربقيمة الدالة الحامضية للماء الخام المغذي, وقد تم ايجاد معادلة افضل منحني للقيم التجريبية لكل من الحالتين وتم تزويد النموذج الرياضي المعد بها.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

حساب عدد المراحل المطلوبة

لقد تم حساب عدد المراحل (stages) المطلوبة في وحدات التنافذ العكسي لغرض تنقية الماء الخام بأستخدام نظرية السلاسل (cascades theory) و لاول مرة بتطبيق العلاقة التالية :-

حيث ان:-

$$S=\frac{1}{\epsilon(\Delta\Psi)}\tanh^{-1}\left[\frac{(N_p-N_f)(\Delta\Psi)}{(N_p-2N_pN_f+N_f)-(N_p-N_f)\Psi}\right] \quad .....(11)$$

$$e=a-1 \quad ....(12)$$

$$\Psi=Q_p/(\epsilon Q_f) \quad .....(13)$$

$$(\Delta\Psi)-\left(1+2\Psi(1-2N_p)+\Psi^2\right)^{0.5} \quad .....(14)$$

تطبيقات النموذج الرياضي ومناقشتها:-

تستخدم محطات توليد الطاقة الكهربائية نظام المراحل للتنافذ العكسي (RO staging system) لغرض الحصول على كمية اكبر من الماء الصافي الناتج التي يمكن الحصول عليها من الكمية المحددة من ماء النهر الخام المغذي للمنظومة فيما لو استخدمت مرحلة واحدة فقط، اضافة الى تقليل كمية المحلول الملحي (Brine effluent) الناتج من العملية. حيث يغذى المحلول الملحي الناتج من المرحلة الاولى لوحدات التنافذ العكسي (RO permeators) الى المرحلة الثانية وذلك لغرض ازالة كمية اضافية من الاملاح، اما الماء الصافي الناتج من كلتا المرحلتين فيجمع معاً (Blended product). اذ استخدمت هنا مرحلتين فقط ويمكن استخدام ثلاثة او اكثر من المراحل لغرض الحصول على نسبة استرداد كبيرة جداً، [6].

لقد تم تطبيق النموذج الرياضي المعد على منظومة التنافذ العكسي لمعاملة المياه في كل من محطة كهرباء الناصرية والدورة وذلك بتزويد البرنامج بالمعلومات المطلوبة والمتضمنة لمعدلات الجريان، الضغط ودرجة الحرارة لكل من خطوط الماء الخام المغذي، المحلول الملحي الناتج والماء الصافي الناتج, فتم الحصول على نتائج البرنامج المتضمنة لعدد وحدات التنافذ العكسي (RO) المطلوبة في كل مرحلة وحساب تركيز الملح في الخطوط الناتجة وظهر التوافق جيدا بين نتائج البرنامج والنتائج العملية لكلتا المحطتين المذكورتين كما يظهر ذلك في الجدولين (1) و(2).

كما تم حساب نسبة مرور الاملاح (salt passage) في كل مرحلة من مراحل المنظومة لكلتا المحطتين فظهرت هذه النسب بقيمة اقل من (8%)، [1]. كما تم حساب عدد مراحل (RO) المطلوبة في كل محطة من المحطتين المذكورتين بأستخدام العلاقات الرياضية المذكورة سابقا, فظهرت عدد المراحل المطلوبة في كل محطة مرحلتين فقط وهي تمثل عدد المراحل الموجودة فعليا في كل من المحطتين، حيث ان هذا العدد من المراحل مع عدد وحدات التنافذ العكسي في كل منها يحقق عملية ازالة نسبة كبيرة من الاملاح من المياه قبل استخدامها في مراجل محطات توليد الطاقة الكهربائية، [16].

الاستنتاج

تظهر نتائج تطبيقات النموذج الرياضي المعد بانهُ يعطي تمثيلا رياضيا جيداً وكفوءاً لمنظومات التنافذ العكسي المستخدمة لأزالة الأملاح من المياه كما في محطات توليد الطاقة الكهربائية, ويمكن أستخدامه للحصول على نتائج الحسابات التصميمية لهذه المنظومات كعدد المراحل المطلوبة, عدد الوحدات في كل مرحلة, ولتحديد نوعية وكمية المياه نسبة الى التصميم المحدد اضافة الى حدود الذوبانية للاملاح القابلة للذوبان ومعدلات جريان المحاليل المختلفة والضغوط اضافة الى التراكيز والظروف التشغيلية الأخرى.

تعريف بالرموز والمصطلحات :-

Q_P :Permeator capacity at operating conditions.

PCF:Pressure Correction factor.

TCF:Temperature Correction factor.

MFRC:Membrane Flux Retention Coefficient.

Q_i:Initialpermeator capacity at standard test conditions.

π_h:Osmotic pressure of the brine stream kpa (psi).

Q_{wt}:Permeator flow rate at time (t).

Q_{wi}:Permeator flow rate at initial start -up.

Q_{wT}:Permeator flow rate at temperature (T).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

osmotic pressure of feed stream kpa(psi), [2].

C_{fbo} :average feed -brine concentration at steady state conditions(3750 mg/l as NaCl), [1].

C_{fb} :average feed -brine concentration at actual condition (mg/l as NaCl).

α: separation factor

Q_f: feed flow rate.

N: mole fraction of the specific stream.

المصادر

[1] Du Pont De Nemours Company, Reverse Osmosis Engineering Report, Wilmington,(1995).

[2] Sourirajan, S., Reverse Osmosis, Academic press,N.Y.,(1974).

[3] Scott, J., Desalination of Seawater by Reverse Osmosis , Noyes Data Corp., (1991).

[4] Heitmann, H.G., Saline of Water Processing , VCH, (1990).

[5] Lorch, W., Handbook of Water Purification, McGraw–Hill, (2002).

[6] Degremont, D.,Water Treatment Handbook, 5th ed., AHalsted press, (1980).

[7] Stevens, C.H., Assessment of Desalination Treatment Processes for Future Water Supplies, M.Sc .Thesis, The Pennsylvania State University, (2003) .

[8] Wangnick, K., Worldwide Desalting Plants Inventory, Desalination Association, (2002).

[9] Khawla, A.M., Modeling, Simulation , and Optimization of Desalination Plants, PhD. Thesis in Chemical Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, (1998).

[10] Chellam, S., Jacangelo, J.G., and Bonaquisti ,T.P., "Modeling "and experimental verification of pilot

Q_{w25}:Permeator flow rate at temperature 25°C.

C_p:product concentration at actual condition (mg/l as NaCl).

S_{poi}: percent salt passage of ion i through membrane at steady state conditions.

C_{fo} :feed concentration at steady state conditions, (1500 mg/l as NaCl), [1].

C_f :feed concentration at actual condition (mg/l as NaCl).

P_{fo} :feed pressure at steady state conditions 2758kpa (400 psig), [1].

P_f :feed pressure at actual condition kpa (psig).

$\frac{\Delta P_{fbo}}{2}$:One – half permeator bundle pressure drop at steady state conditions 20.7 kpa(3psi),[1].

$\frac{\Delta P_{fb}}{2}$: One–half permeator bundle pressure drop at actual condition kpa(psi) .

P_{po} :Product pressure at steady state conditions 0kpa (0 psig), [1].

P_p :Product pressure at actual condition kpa(psig).

π_{fbo} :Osmotic pressure of feed– brine stream at steady state conditions 298 kpa(43.2 psi), [1].

π_{fb} :Osmotic pressure of feed – brine stream at actual condition kpa (psi).

π_{po} :Osmotic pressure of Product stream at steady state conditions 31.0kpa(4.5psi), [1].

π_p :Osmotic pressure of Product stream at actual conditions, which is approximated as 0.075 times the

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Performance of Al-Daura Refinery Water Treatment Plants, MSC . Thesis, University of Technology, Baghdad, (2006).
[15] Mc-Fall, W .and Cohen, Y., "Control and monitoring of a high-recovery reverse osmosis desalination process", Industrial and Engineering Chemistry, Research, 28, May 2008.
[16] Winston, W.S., and Sirkar, K.K., Membrane Handbook, Van Nostrand Reinhold, N.Y., (2001) .
[17] Byrne, W., Reverse Osmosis a Practical Guide for Industrial Users, Tall Oaks Publishing, Littleton Company, (2004).
[18] Reiss, C.R., and Taylor, J.S., Membrane Pretreatment of a Surface Water, Proceedings American Water Works Association Membrane Technology Conference, Orlando, (1991).
scale hollow fiber", Environmental Science and Technology,Nov.1998
[11] Williams, M.E., and Bhattacharyya, D., "Separation of organic pollution by reverse osmosis and nano filteration membranes; Mathematical models and experimental verification', Sept.1999.
[12] Abd -Al Sattar, K., Modeling of Reverse Osmosis System, M.Sc. Thesis in Chemical Engineering, University of Basrah,(2003).
[13] Riverol, C., and Pilipovik, V., " Mathematical modeling of perfect decoupled control system and its application; A reverse Osmosis desalination unit", J .of Automated Methods and Management in Chemistry, vol.2005, (2), 50-54 (2005).
[14]Ahmed, M.,Al-Rubaie ,Evaluation of Reverse Osmosis Unit

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

جدول رقم (1)

((نتائج تطبيق البرنامج على منظومة (RO) لمحطة كهرباء الناصرية ومقارنتها مع القيم العملية))

$$Watertemp. = 31°C$$

$$Conversion\ of\ each\ stage = 50\%$$

$$No.\ of\ (RO)\ stages = 2(Practical)$$

$$= 2(calculated)$$

$$No.\ of\ permeators\ in\ 1st.\ stage = 8(Pract.)$$

$$= 8(calc.)$$

$$No.\ of\ permeators\ in\ 2st.\ stage = 3(Pract.)$$

$$= 3(calc.)$$

$$Salt\ passage\ in\ 1st.\ stage = 5.7\%$$

$$Salt\ passage\ in\ 2nd.\ stage = 6.7\%$$

Stream	Flow rate (m^3/hr)	Pressure (bar,g)	Conc. (Pract.) (mg/l) as NaCl	Conc. (calc.) (mg/l) as NaCl
Feed water	23.2	20	2170	
Product of 1st stage	11.6	1.3	530	536
Brine of 1st stage	11.6	17.8	4330	4340
Brine of 2nd stage	5.8	16	6600	6620
Product of 2nd stage	5.8	1.1	1300	1301
Final blended product	17.4		787	791

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

جدول رقم (2)

((نتائج تطبيق البرنامج على منظومة (RO) لمحطة كهرباء الدورة ومقارنتها مع القيم العملية))

$$Water\ temp.= 19℃$$

$$Conversion\ of\ each\ stage = 50\%$$

$$No.of(RO)stages = 2(Pract.)$$

$$= 2(Calc.)$$

$$No.of\ Permeators\ in\ 1st.stage = 12(Pract.)$$

$$= 12(calc.)$$

$$No.of\ Permeators\ in\ 2nd.stage = 6(Pract.)$$

$$= 6(calc.)$$

$$Salt\ passage\ in1st\ \ stage = 5.6\%$$

$$SaltPassagein\ 2nd.stage = 4.4\%$$

Stream	Flow rate (m^3/hr)	Pressure (bar,g)	Conc. (Pract.) (mg/l) as NaCl	Conc. (calc.) (mg/l) as NaCl
Feed water	36	22	500	
Product of 1st stage	18	1.3	29	28
Brine of 1st stage	18	19.5	1000	1000
Brine of 2nd stage	9	17.6	1400	1385
Product of 2nd stage	9	1.1	44	42
Final blended product	27		34	33

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com