الباب الأول

معنى التناضح العكسي

Principle of Reverse Osmosis

1- تعرفة مبسطة :

تلعب الأغشية في الطبيعة دوراً هاماً في فصل الأملاح و لها تطبيقاتها في جسم الإنسان و الحيوان و النبات فأغلب عملية امتصاص العناصر الغذائية في الخلايا الحية لأجهزة جسم الإنسان والحيوان و النبات تستفيد من عملية التناضح (OSMOSIS) ومن الأمثلة لعملية التناضح هي عمل تجويف في إحدى ثمرات البطاطس ووضع كمية من ملح الطعام الجاف داخل التجويف سنجد عندها امتلاء التجويف بالماء المالح أي أن الماء العذب انتقل من خلال أغشية خلايا الثمرة إلى الملح (أي من الجهة الأقل تركيزاً بالملوحة إلى الملح الأكثر تركيزاً بالملوحة) و هذه العملية تسمى التناضح .

أما عملية التناضح العكسي (REVERSE OSMOSIS PROCESS) فتعرف بأنها عملية انتقال عكسي للماء العذب من المحلول الأكثر تركيزاً إلى المحلول الأقل تركيزاً (إذا فصل المحلولان بغشاء شبه نفوذ) والذي يسمح بنفاذ أو مرور عنصر دون الآخر أي مثلاً يسمح بمرور الماء دون السماح للملح بالمرور أو العكس .

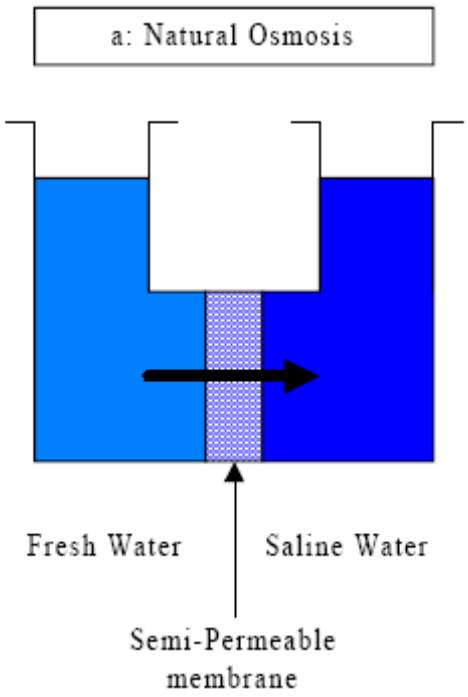
2- لمحة تاريخية :

على الرغم من أن العملية الإسموزية كانت معروفة للكثير منذ أكثر من قرن ، فإن تقنية استخدام الأغشية لمعالجة المياه تعتبر حديثة . و كان أول إعلان لاستخدام التناضح العكسي هو براءة اختراع بنفس الاسم لإزالة عسرة الماء (Softening) باستخدام أغشية فيروسيانيد على مثبتات مسامية من البورسلين . وفي سنة 1952 أنتج في جامعة فلوريدا أغشية من اسيتات السيللوز لتحلية المياه بالتناضح العكسي . وكان من عيوب الغشاء المستخدم ضعف معدل الإنتاج للماء العذب نظراً لسمك الغشاء (وكان هذا تقريباً وقت ظهور تقنية الديلزة الكهربائية) و في الخمسينات تم تطوير الأغشية لزيادة معدل مرور الماء مع ارتفاع معدل طرد الأملاح و تم في الستينات إنتاج الأغشية الملفوفة حلزونياً (Spiral – wound) أو على صورة أنابيب و غيرها ثم ظهرت في السبعينات أغشية الشعيرات الدقيقة المجوفة (Hollow Fiber) من البوليميد مع استقرار إنتاج الأغشية من اسيتات السيللوز . وقد كان تطوير الأغشية لاستخدامها لإزالة ملوحة المياه قليلة الملوحة فقط ، أما الآن (ومنذ نهاية السبعينات) فقد تم تطوير الأغشية لتحلية المياه شديدة الملوحة كمياه البحار .

3- شرح عملية فصل الماء العذب بالتناضح العكسي :

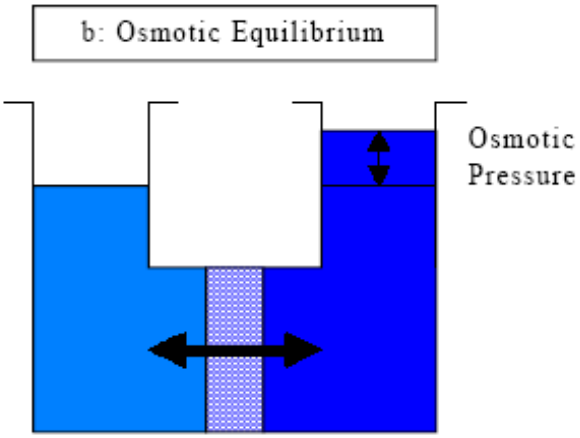
إذا وضعنا محلول ملحي في جانب الغشاء شبه النفوذ و في الجانب الآخر ماء عذب ، فمن المعروف طبيعياً أن ينتقل (ينفذ) الماء العذب (الأقل تركيزاً) إلى المحلول الملحي (الأكثر تركيزاً) و ذلك لإحداث التوازن أو التعادل في عملية التركيز و هذه العملية تعرف بعملية التناضح الطبيعي أو التناضح (Osmosis Process) و هي كلمة اشتقت من الكلمة الإغريقية OSMOS والتي تعني النبض و يستمر نفاذ الماء

العذب في هذا الاتجاه و عليه يرتفع عمود المحلول الملحي للأعلى نتيجة زيادة كمية الماء بالمحلول باستمرار نفاذالماء العذب إليه و هذا ما يوضحه الشكل (a –1)



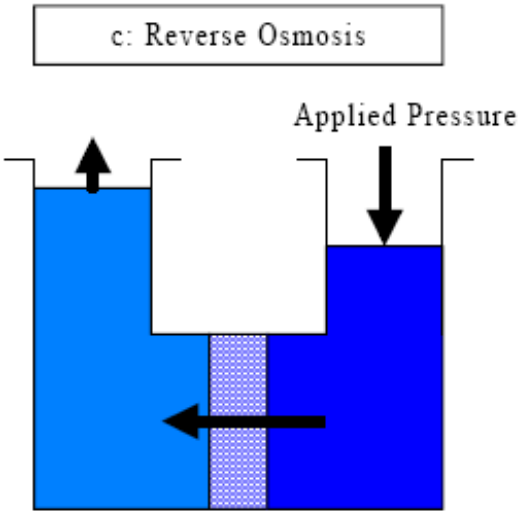
شكل (a- 1) : التناضح الطبيعي

و بارتفاع عمود الماء يرتفع الضغط بجانب المحلول الملحي وتزداد نتيجة لذلك مقاومة النفاذ و المرور للماء العذب حتى يصل ارتفاع الضغط إلى قيمة تمنع من نفاذ الماء العذب تماماً و يتوقف العبور ، عند هذا الضغط يحدث التوازن (الضغط في جانب المحلول الملحي المركز يساوي الضغط في جانب الماء العذب) و يسمى هذا الضغط بالضغط الإسموزي أو التناضحي (**Osmotic Pressure**) كما هو مبين في الشكل (1– b)



شكل (b –1) : التوازن والضغط الاسموزي المتولد

وقد اكتشف العلماء أنه يمكن عكس هذه العملية أي أنه إذا أثرنا على المحلول الملحي بضغط أعلى من الضغط الاسموزي فسينتقل عندها الماء العذب من المحلول الملحي (الأكثر تركيزاً) في الاتجاه المعاكس و ينفذ إلى جهة الماء العذب (الأقل تركيزاً) وتعرف هذه العملية بعملية التناضح العكسي والتي يمكن من خلالها الحصول على الماء العذب من الماء المالح كما هو مبين في الشكل رقم (c – 1) .



شكل (c – 1) : التناضح العكسي و الضغط الطبق من جهة المحلول الملحي

وبالتالي يمكننا تعريف عملية التناضح العكسي (Reverse Osmosis Process) بأنها عملية فصل الماء العذب عن محلول ملحي من خلال غشاء نصف نفوذ وذلك بتطبيق ضغط على المحلول الملحي يكون أكبر من الضغط التناضحي له و لا يحتاج الأمر إلى تسخين أو تغيير في الشكل أو الخواص الفيزيائية بل يلزم أن يوضع المحلول الملحي (الماء المالح) كما ذكرنا تحت ضغط أعلى من الضغط الإسموزي لكي تتم عملية التناضح العكسي .

هذا و تعتمد قيمة الضغط الاسموزي على العديد من العوامل منها :

١ -تركيز الأملاح في الماء المالح (Total Dissolved Solids.....TDS) .
٢ -نوعية الأملاح الذائبة .
٣ -درجة الحرارة .

حيث يتراوح الضغط الإسموزي لكلوريد الصوديوم (ملح الطعام) و الذي يمثل 60% في الماء المالح بين (1-1.1) رطل / البوصة المربعة (أي حوالي 0.07 بار) لكل مائة جزء في المليون من الملح الذائب (أو 1 بار لكل 1430 جزء في المليون) . وفي حالة ماء البحر النموذجي (35000ppm) يكون حوالي 25 بار ، و لماء بئر ملوحته 5000 ppm فإن الضغط الإسموزي له يساوي تقريباً 3.4 بار ، و لماء بحر ملوحته 32000 ppm فإن الضغط الإسموزي له حوالي 320 رطل / البوصة المربعة (أي حوالي 22 بار) إلا أنه يجب ملاحظة أن الضغط الحقيقي اللازم لعملية التناضح العكسي عادة ما يكون أكبر بكثير من هذه الأرقام وذلك لإضافة الضغوط اللازمة للعمليات التالية :

1- الفقد في الضغط اللازم لسريان ماء التغذية خلال مجمع الأغشية و الأنابيب و الصمامات وغيرها .
2- الزيادة في ملوحة الماء أثناء مروره بالأغشية نتيجة استخلاص الماء العذب منه .
3- الضغط الستاتيكي لرفع الماء لخزانات الماء المنتج أو خزانات الماء المطرود .
4- احتمالات الانسداد الجزئي للأغشية مع الزمن نتيجة ترسب العوالق و الأملاح و المكونات العضوية ..
والإجراءات التي يمكن اتخاذها من أجل قياس الضغط التناضحي للمحلول هي لقياس تدفق الماء من خلال النموذج الغشائي تحت ظروف التشغيل المختلفة لوحدات التناضح العكسي بضغوط متعددة حتى الوصول إلى نقطة توقف الجريان للماء عبر الغشاء و هذا يعطينا الضغط الإسموزي الفعال و الذي يتضمن استقطاب التركيز و يجب أخذ العناية اللازمة من أجل المحافظة على استعادة ثابتة دوماً من أجل التراكيزالمختلفة . و إجراءات قياس الضغط التناضحي للمحلول مباشرة بالتشغيل بضغط كافي هامة جداً لعمل الأغشية و للتغلب على استقطاب التركيز الذي يعمل على زيادة الضغط التناضحي ، و بالتالي يلزم معرفة أو قياس هذا الضغط المتولد نتيجة استقطاب التركيز على جانبي الغشاء و هذه الاختلافات بين الضغط الإسموزي لماء التغذية والماء المنتج ينبغي قياسها بشكل دقيق لمعرفة الضغط الأصغري اللازم للتشغيل حيث أنه في الضغوط المنخفضة للتشغيل فإن رفض الأملاح يكون منخفضاً نسبياً وهذا يجب أخذه بعين الاعتبار .
الجدول (1) يبين الضغط التناضحي القياسي عند درجة حرارة 25 مئوية ($77F^{\circ}$) و ذلك لأيونات و المركبات المختلفة .

جدول (1) : تغيرات الضغط الإسموزي تبعاً لتراكيز ونوع الأيونات الموجودة

التركيب	التركيز mg /l	التركيز مول / ليتر	الضغط الإسموزي psi
NaCl	35,000	0.6	398
NaCl	1,000	0.0171	11.4
$NaHCO_3$	1,000	0.0119	12.8
Na_2SO_4	1,000	0.00705	6
$MgSO_4$	1,000	0.00831	3.6
$MgCl_2$	1,000	0.0105	9.7
$CaCl_2$	1,000	0.009	8.3
السكروز	1,000	0.00292	1.05
الدكستروز	1,000	0.00555	2.0

و بالاعتماد على الجدول السابق نلاحظ التغيرات في الضغط التناضحي حسب التركيز الأيوني و القاعدة المفيدة لتحديد الضغط الإسموزي للماء العادي الحاوي على المعادن هي 10 psi لكل 1000 mg/l .
ملاحظة : المعلومات السابقة مبدئية لفهم الضغط التناضحي و كيف يتغير مع تراكيز الأيونات الموجودة في المياه ، وسنورد بشكل مفصل فيما بعد تأثيره على عمليات التصميم و التشغيل لأنظمة (RO) .

4- الواحدات المستخدمة :

قبل البدء ، ومن أجل الفهم التّام للواحدات المدرجة ، يجب إعطاء فكرة عنها (انظر الملحق1 للتعرف على الواحدات المستخدمة) .

هنا نبدأ بالدخول للتعرف على مكونات الأنظمة المختلفة لأنظمة التناضح العكسي و المواد و الأجهزة المستعملة حسب الضرورة و مواصفاتها .