Comprehensive Journal of Science
Volume (9), Issue (36), (Sept 2025)
ISSN: 3014-6266

مجلة العلوم الشاملة
المجلد(9) العدد (36) (سبتمبر 2025)
ردمد: 3014-6266

دراسة محطة تحليه بالتبخير الوميضية متعددة المراحل MSF

An evaluation of a flash distillation desalination plant with multiple stages (MSF)

- عبدالرزاق هديه علي كعيبة. Abdarazzag Hadia ali Kaeebah
- فوزي التومي خليفة ابو القاسم . FOUZI ALTOUMI KHALLEEFAH ABOULQASIM
- محمود المبروك غردايا MHMOUD MABROUK N GHRDI
- هشام السوكني - Hesham AlSoukni

المعهد العالي لتقنيات شؤون المياه/العجيلات
جامعة صبراته كلية العلوم

تاريخ الاستلام:2025/8/17 -تاريخ المراجعة: 2025/9/15- تاريخ القبول: 2025/9/22- تاريخ للنشر: 27/9/ 2025

الملخص:

تتناول الدراسة محطة تحلية المياه بتقنية التبخر الوميضي المتعدد المراحل (MSF)، يتم تعريف عملية التحلية متعددة المراحل (MSF) على أنها نظام تحلية حرارية يستخدم الحرارة المستردة ومصادر التدفئة الخارجية لتسخين المحلول الملحي، مما يجعله مناسبًا للاستخدام وهي تقنية تستخدم لتحلية من اكتر طرق التحلية شيوعا خاصة في بعض الدول العربيه التي تعاني من ندرة المياه الصالحة ويمتاز هدا النوع من المحطات التحليه بقدرة عاليه على الانتاج وثبات في التشغيل لفترة طويله ، وتتضمن التقنية عدة مراحل من التبخر تحت ضغط منخفض، واستخراج بخار الماء وتكثيفه، وتستعرض الدراسة مبادئ التقنية وتطورها وكفاءتها، والعوامل المؤثرة في كفائة وأنتاجية المحطة وتقارنها بتقنيات أخرى مثل التناضح العكسي، ويحلل الجزء التجريبي أداء محطات التبخر المتعدد المراحل، مع التركيز على العوامل التشغيلية مثل درجات الحرارة وتكاليف الطاقة كما تقيم الدراسة المواد المضافة لمنع الترسبات ومنع التاكل او الحد منه , كما تتناول التأثيرات البيئية، وخاصة إدارة المحلول الملحي المتبقي، وتقترح حلولاً لموازنة الكفاءة التشغيلية مع الحفاظ على البيئة، وتختتم الدراسة بتوصيات لتحسين كفاءة محطة التبخر المتعدد المراحل

Abstract:

•This study examines a seawater desalination plant using the Multi-Stage Flash (MSF) method. The MSF desalination process relies on a thermal system that uses waste heat or an external heat source to evaporate seawater, making it one of the most commonly used desalination methods in the Arabian Gulf region, which suffers from water scarcity. This type of desalination plant is characterized by high production capacity, especially when operated alongside power plants. The system consists of several stages of flashing, where seawater is evaporated and condensed to extract fresh water.

•The study focuses on the technical aspects of the plant, its development, and efficiency in terms of productivity and energy consumption, as well as comparisons with other technologies such as reverse osmosis. The study highlights the importance of concentrating on improving the thermal performance of MSF plants by reducing heat loss and improving energy recovery systems. It also addresses the challenges posed by scale formation and corrosion, proposing appropriate chemical treatments to minimize these issues. The study concludes with recommendations to improve MSF plant performance and maintain environmental sustainability.

Keywords: efficiency, desalination, evaporation, plants, saline, condensation, osmosis, extraction.

• مقدمة

إن تقنيات تحلية المياه أصبحت الآن ضرورية لضمان استدامة الموارد المائية وتوفير المياه الصالحة للاستخدام البشري بسبب النمو السكاني والطلب المتزايد على المياه في مختلف القطاعات، بما في ذلك الشرب والصناعة والزراعة، وإن إحدى الطرق الأساسية

لحل مشكلة نقص المياه العذبة، والتي تشكل مصدر قلق في العديد من أنحاء العالم وخاصة في المناطق الجافة والشبة جافة ، وإن تقنية التحلية الوميضية متعدد المراحل (MSF) هي واحدة من أكثر التقنيات استخدامًا على نطاق واسع لتحلية المياه بين هذه التقنيات، وإن مبدأ التبخير تحت ضغط منخفض والذي يتضمن تبخير الماء على مراحل عند درجات حرارة وضغوط مختلفة، هو أساس هده التقنية ، وهذا يحسن الكفاءة ويخفض استخدام الطاقة من خلال تمكين الماء من التحول من سائل إلى غاز عند درجات حرارة منخفضة نسبيًا، ومن أجل استخراج كميات كبيرة لمياة التحلية، يتم تسخين الماء في سلسلة من المراحل المتتالية، مع خفض الضغط عند كل مستوى للتسبب في تبخر الماء عند درجات حرارة منخفضة وكما جاء في قاعدة برنولي فأن الماء يتبخر بدرجة حرارة أقل 100 C عند خفظ الضغط , ثم يتم تكثيف البخار الناتج، وتكمن فعالية هذه التقنية التي تعد أحد البدائل الإبداعية والمستدامة في قدرتها على توفير الطاقة الحرارية ، وتستخدم لتحلية مياه البحر أو المياه قليلة الملوحة تقنية التبخير الوميضي متعدد المراحل لأنها تنتج كميات كبيرة من المياه العذبة لتلبية احتياجات السكان، وستوفر هذه الدراسة نظرة عامة مفصلة على عمل هذه التكنولوجيا ..

- **مشكلة البحث**

رغم اعتماد محطات التحلية الحرارية بنظام التقطير الفوري متعدد المراحل (MSF) كأحد أكثر الوسائل فعالية لإنتاج المياه العذبة من مياه البحر، إلا أن هذه التقنية تواجه عدة تحديات تشغيلية تؤثر على كفاءتها وأدائها. من أبرز هذه التحديات تراكم الترسبات الملحية داخل أنابيب المبادلات الحرارية، وفقدان كفاءة نقل الحرارة، وارتفاع استهلاك الطاقة. كما تؤثر هذه المشكلات على عمر المعدات وتزيد من تكاليف التشغيل والصيانة. وتكمن المشكلة الرئيسية في ضعف التحكم المستمر في العوامل المؤدية لهذه الترسيبات، مثل درجة الحرارة، وتركيز الأملاح، وعدم كفاءة المعالجة الكيميائية. لذا تبرز الحاجة إلى دراسة هذه العوامل وتحليل تأثيرها واقتراح أساليب فعالة للحد من تأثيرها، بما يسهم في تحسين كفاءة تشغيل محطات MSF ، وتبرز قضية كيفية زيادة كفاءة استخدام الطاقة في هذه المحطات وتقليل اعتمادها على الوقود الأحفوري مع تزايد الحاجة إلى تكنولوجيا الطاقة النظيفة والمستدامة، وإن أحد المخاوف الرئيسية هو العبء المالي الذي يترتب على إنشاء وتشغيل وصيانة هذه المحطات، ورغم أن هذه الطريقة تعمل بشكل جيد في تحلية المياه، فإن محطات التبخير الفوري متعددة المراحل مكلفة التركيب، الأمر الذي يمنع استخدامها على نطاق واسع في بعض الدول الفقيرة أو في المناطق ذات الموارد المالية الضئيلة، كما أن الصيانة الدورية مرتفعة التكاليف و تكاليف التشغيل لأنها تتطلب استخدام أحدث التقنيات والمواد المقاومة للتآكل والملح، وتشكل المياه المالحة المتبقية من عملية تحلية المياه (المياه المتبخرة) مشكلة بيئية لمحطات تحلية المياه المالحة حيث أن التخلص منها قد يضر بالنظام البيئي البحري، وهناك حاجة إلى إجراء أبحاث لإيجاد تقنية آمنة لإعادة استخدام أو التخلص من هذه المياه المالحة دون الإضرار بالنظم البيئية البحرية، وإن إحدى المشاكل الرئيسية التي قد تؤثر على قدرة محطات (MSF) على العمل بشكل مستدام هي الكفاءة التشغيلية والفنية، وعلى الرغم من التطورات الجارية في هذه التكنولوجيا، فإن البحث في تحسين تصميمات الأنظمة وإيجاد أساليب مبتكرة لإدارة العمليات والتحكم فيها والتي تضمن تقليل النفايات وزيادة الإنتاجية لا تزال ضرورية لتعزيز أداء المحطة وفعاليته.

- **أهداف البحث**

1. دراســـــة مبدأ عمل هذه التقنية وكيفية تطبيقها في محطات تحلية المياه، مع التركيز على الفوائد التي تقدمها في تحويل المياه المالحة إلى مياه عذبة قابلة للاستخدام.
2. دراســـة كفاءة الطاقة في محطات (MSF) من خلال تحليل اســـتهلاك الطاقة في محطات التحلية باســـتخدام هذه التقنية، وكيفية تحسين الكفاءة الطاقية لتحقيق استدامة تشغيلية وتقليل التكاليف المرتبطة بالعملية.

3. دراسة العوامل المؤثرة في أداء محطة (MSF) من خلال توضيح المتغيرات المختلفة مثل درجة الحرارة، الضغط، وخصائص المياه الداخلة، وتأثيرها على إنتاجية المياه المحلاة وجودتها.
4. دراسة تكلفة بناء وتشغيل وصيانة محطات التحلية بالتبخير الوميضية متعددة المراحل مقارنة بتقنيات التحلية الأخرى، مع التركيز على العوائد الاقتصادية في الأمد الطويل.
5. دراسة التأثيرات البيئية المحتملة لمحطات التحلية هذه، مثل تأثيرات المخلفات الملحية على البيئة البحرية، وتحديد الإجراءات الممكنة للتخفيف من هذه الآثار.
6. استكشاف إمكانيات تطوير وتحسين هذه التقنية لتلبية احتياجات المياه المتزايدة في مناطق جغرافية مختلفة، خاصة في المناطق التي تعاني من ندرة المياه.
7. مقارنة فعالية محطة (MSF) مع تقنيات تحلية المياه الأخرى مثل التحلية بالتناضح العكسي (RO) والتبخير المتعدد (MED)، لتحديد أفضل الخيارات في سياقات مختلفة.

- **أهمية البحث**

–أهمية البحث حول محطات التحلية الفورية متعددة المراحل (MSF)

1 – تلبية الطلب المتزايد على المياه الصالحة في المناطق التي تعاني من ندرة الموارد المائية وأنخفاض في منسوب المياه الجوفية خصوصًا في الدول الساحلية والصحراوية.

2 – تسليط الضوء على كفاءة نظام MSF كأحد أكثر تقنيات التحلية استخدامًا في العالم من حيث الاعتمادية والإنتاجية العالية.

3 – المساهمة في تحسين الأداء التشغيلي لمحطات MSF من خلال دراسة العوامل التي تؤثر على الكفاءة وتقليل الأعطال الفنية.

4 – التقليل من الآثار البيئية والاقتصادية *الناتجة عن الترشح الحراري والترسبات الكلسية داخل الأنابيب.

5 – دعم جهود التطوير والتخطيط المستقبلي في مجال تحلية المياه، من خلال تقديم معلومات فنية وعلمية دقيقة للباحثين والمهندسين وصناع القرار.

6 – تعزيز استخدام الطاقة بشكل أكثر فعالية *في ظل ارتفاع تكاليف التشغيل والاعتماد على الوقود التقليدي في معظم محطات التحلية.

أ – المنهج المستخدم

المنهج المستخدم في هذه الدراسة سيكون منهج البحث الوصفي التحليلي، والذي سيساهم في فهم التقنيات المستخدمة في محطات التحلية، وتحليل عوامل كفاءتها الاقتصادية والتقنية. سيتم تبني هذا المنهج لعدة أسباب منها:

- التحليل الوصفي لفهم آلية عمل تقنية (MSF)، وبما في ذلك مراحل التبخير، والعوامل المؤثرة على أدائها.
- التحليل المقارن لدراسة مقارنة بين تقنية (MSF) والتقنيات الأخرى مثل التناضح العكسي (RO) والتبخير الوميضية متعدد التأثيرات (MED).
- التقويم الكمي والنوعي للبيانات المتعلقة بكفاءة التشغيل، تكاليف التشغيل، والتأثيرات البيئية.

ب – تحديد نطاق البحث

- الجانب التقني ستتناول الدراسة الجوانب التقنية المتعلقة بتصميم وتنفيذ عملية التبخير الوميضية متعددة المراحل، بما في ذلك المكونات الرئيسية للمحطة مثل المبادل الحراري، المضخات، والمكثفات.

- الجانب الاقتصادي ستركز الدراسة على تحليل التكاليف المرتبطة بتشغيل محطات (MSF) من حيث استهلاك الطاقة، الصيانة، والمواد الخام، بالإضافة إلى تقييم الجدوى الاقتصادية لها مقارنة مع التقنيات الأخرى.
- الجانب البيئي ستتم دراسة الآثار البيئية المترتبة على استخدام تقنية (MSF) مثل إدارة المياه المالحة المتبقية من عملية التحلية، والحد من التأثيرات السلبية على البيئة البحرية.

1 : مفهوم تحلية المياه

يستخدم الناس مصطلح "تحلية المياه" للإشارة إلى عملية تحويل المياه المالحة إلى مياه عذبة، وهو عكس الماء المالح أو المحلول الملحي، وأحد الأصول المحتملة لكلمة "تحلية المياه" هي الكلمة الإنجليزية (sweet water)، والتي تشير إلى المياه العذبة المناسبة للاستهلاك البشري، والمعنى العالمي والتعبير الأفضل علمياً والمستخدم كثيراً هو كلمة إزالة الملوحة (Desalting)، ولأن العملية تعنى فعلاً إزالة أو تقليل الملوحة من الماء المالح ليتحول إلى ماء حلو أو عذب، والكلمة الأفضل لغوياً هي كلمة إعذاب الماء ، أو أحيانا تستخدم كلمة تعذيب الماء، أي كما ذكر في القرآن جعله عذباً فراتا سائغ شرابه، ومعنى تحلية الماء ، أو إعذاب الماء ، أو إزالة الملوحة هي تحويل الماء المالح إلى ماء عذب لذا أحيانا تسمى هذه العملية عملية تحويل (Conversion process) ، وأحيانا تسمى عملية فصل الملح (Salts Separation) أي فصل الملح من الماء المالح ليكون الباقي ماء عذب صالح لاستخدام الإنسان وغير ضار بصحته، وبالنسبة العادية والمتداولة لملوحة ماء الشرب هي حوالي من (300 –600) جزء في المليون من الأملاح الذائبة، والحد الأقصى المسموح به عالمياً هو (1000) جزء في المليون ، حيث يدخل الماء المالح بالإضافة إلى الطاقة اللازمة ذات مستوى طاقة مرتفع مثل الطاقة الكهربية الحرارية، وينفصل الماء العذب ويجمع ويخرج كمنتج (Water Product) أما المحلول الملحي المركز (Brine) الباقي من العملية فيطرد كمحلول طرد (صرف).[1]

أن مياه البحر ومياه الآبار هما النوعان الرئيسيان من المياه التي يتم تحليتها في جميع أنحاء العالم، وتتم تحلية مياه الآبار في الدول التي لا يوجد بها بحار ولكنها تحتوي على كميات كبيرة من المياه الجوفية وخاصة تلك التي لديها درجة عالية نسبيًا من الملوحة، إما بسبب تكوينها الجيولوجي أو بسبب الاستخدام المكثف لهذه الآبار، مما أدى إلى زيادة ملوحتها، وفي قطاع تحلية المياه في جميع أنحاء العالم، اكتسبت تحلية المياه منخفضة الملوحة زخمًا كبيرا أما فيما يتعلق بتحلية مياه البحر والتي تعد الأساس على مستوى العالم، فإنها تحتل مكانة بالغة الأهمية وخاصة في الدول ذات الموارد المائية المحدودة، ومع توافر مصدرها الأساسي واللامحدود المتمثل في مياه البحر، فإنها تشكل خياراً مستداماً لجميع الدول التي تعاني من ندرة الموارد المائية، وتمثل أكثر من نصف صناعة تحلية المياه في العالم.[2]

2: أهمية تحلية المياه

تعد مياه البحر واحدة من أكبر الموارد الطبيعية غير المستغلة في العديد من المناطق التي تعاني من ندرة المياه، ويمكن تحويل المياه المالحة إلى مياه عذبة صالحة للاستخدام البشري والزراعي باستخدام تكنولوجيا تحلية المياه، مما يمنح المجتمعات الساحلية التي تستطيع الوصول إلى مصادر أخرى للمياه العذبة إمدادًا لا نهاية له من المياه، ونظراً للنمو السكاني والحاجة المتزايدة إلى المياه، فإن هذه التكنولوجيا تشكل أهمية بالغة، وإن الأمن المائي يتحسن بشكل كبير من خلال تحلية مياه البحر، وخاصة في الدول التي تعتمد على إمدادات المياه الجوفية أو السطحية التي أصبحت الآن معرضة للخطر بسبب التلوث أو النضوب، وفي الدول التي تكافح من أجل تلبية احتياجاتها من المياه. ي

مكن لهذه التكنولوجيا أن تساعد في تقليل الاعتماد على مصادر المياه التقليدية وضمان استدامة إمدادات المياه في المستقبل. وتتميز موارد مياه التحلية باعتبارها موردا مائيا يعتمد عليه لتوفير المياه العذبة كما هو متبع الآن في منطقة الخليج، ويمكن تركيبها بالقرب من مواقع الاستهلاك، مما يتجنب الحاجة إلى بناء خطوط نقل مكلفة، وبغض النظر عن كيفية عمل الدورة

الهيدرولوجية أو مدى تقلبها فإنها طريقة موثوقة وطويلة الأمد لمنع نقص المياه، وبالمقارنة بتكلفة بناء وتشغيل البنية الأساسية التقليدية مثل السدود، فإنها تحتاج إلى تكلفة أولية متواضعة لكل وحدة من القدرة، ولكن تكاليف تشغيلها أكبر بكثير، وبما أن هذه المنظومة مصنوعة من معدات ميكانيكية، فإن اقتصاداتها وكفاءتها لابد وأن تتحسن باستمرار، فهي قادرة على تحويل المياه المالحة إلى مياه عالية الجودة، وهي خالية من العوائق الاجتماعية أو السياسية أو القانونية كما أن بنائها يستغرق وقتاً أقل من مد خطوط نقل المياه من أماكن بعيدة.[1]

أن الهدف من تحلية المياه هو إزالة أو تقليل كمية الأملاح المذابة في المياه السطحية المالحة أو المياه الجوفية أو المياه المالحة، ويمكن تحقيق ذلك بإحدى طريقتين إما بتغيير الحالة الطبيعية للمياه بتحويلها من سائل إلى بخار يتم تكثيفه لاحقًا (المعروفة بالطرق الحرارية، والتي تشمل تقنيات التبخر السريع، والتقطير متعدد المراحل، والتقطير متعدد التأثيرات، والتقطير تحت ضغط البخار)؛ أو بتحويلها من سائل إلى صلب يتم إعادة تسييله بعد غسل الأملاح (المعروفة بطريقة التجميد)؛ أو دون تغيير الحالة الطبيعية للمياه باستخدام أغشية ذات نفاذية انتقائية، كما هو الحال في طرق التناضح العكسي والتحليل الكهربائي، والتي تسمح باستخدام الخصائص الانتقالية للأيونات لإزالة الملوحة (مثل طريقة التبادل الأيوني)،وتأتي التحلية لتخفيف العبء على النظام البيئي حتي يكون هناك نوع من التوازن في الطلب على المياه، كما أن التحلية للمياه بأقسامها المختلفة (مياه البحر ، والخزان الجوفي المالحة، المياه العادمة) هي الأمل في حل الكثير من مشاكل المياه العالمية في كافة مناطق العالم، وإن النمو السكاني ونضوب المياه الجوفية بشكل كبير، والعجز المائي الذي يبلغ (90-100 متر مكعب سنوياً)، مما يجعل تحلية المياه أمراً بالغ الأهمية سواء بالنسبة للمياه المالحة أو المياه الجوفية، وباستخدام تحلية المياه تم تلبية مطالب السكان وتوفير مياه الشرب الصالحة للشرب وفقاً لمعايير منظمة الصحة العالمية، وإن الميل نحو تحلية المياه المالحة كحل بديل لمشكلة المياه وتوافرها على نطاق واسع هو نتيجة للتدهور الشديد للمياه الجوفية.[2]

3 : طرق تحلية المياه

تتضمن تقنيات تحلية المياه المالحة بشكل عام مجموعتين رئيسيتين هما تقنيات التقطير والتقنيات الغشائية إذا استثنينا طرق التحلية الثانوية)، ويمكن إتمام تحلية المياه بطرائق عديدة منها التقطير ، والتجميد ، والتناضح العكسي، والدجلة ،وتعد تقنيات التناضح العكسي والتقطير المتعدد المراحل من التقنيات التجارية التي تسيطر على سوق التحلية العالميون توفير الطاقة اللازمة لفصل المياه العذبة عن الأملاح الموجودة في المواد الداخلة هو الهدف الرئيسي لعملية تحلية المياه، وعادة ما تدخل المياه مياه البحر من خلال مداخل متخصصة تتضمن مرشحات لإبعاد الملوثات عن المضخات، والتي ترسل المياه المالحة بعد ذلك إلى المبخرات، ولتخليص المياه المالحة من العناصر البيولوجية العالقة فيها، يتم حقن محلول هيبوك لوريت الصوديوم عند مداخل مياه البحر، أو قبل دخول المياه إلى المبخرات، وبعد إنتاجه في الخزانات، يتم حقن هذا المحلول بواسطة المضخات بالمعدلات المناسبة لتحقيق الشكل المطلوب، وتوفر لوحات توزيع الطاقة الكهربائية في مداخل مياه البحر الطاقة للمضخات والأجهزة الأخرى، وأن هناك أدوات التحكم والقياس اللازمة لهذا الجهاز .[3]

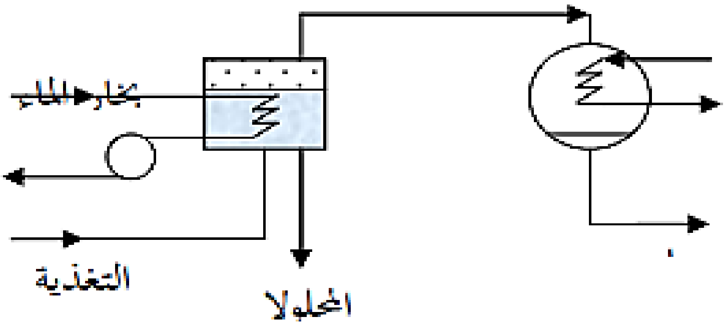
أولا – التقنيات الحرارية

يتم إنتاج أكثر من (55%) من المياه المحلاة المنتجة في جميع أنحاء العالم عن طريق تبخر المياه، والتي تشكل الأساس لهذه التقنية، ويتم استخدام الحرارة لفصل المياه العذبة عن المياه المالحة لإنشاء المياه المحلاة، حيث يتم تسخين المياه المالحة لإنتاج البخار، الذي يتكثف لتكوين المياه العذبة، وتكون عملية التقطير مماثلة لدورة المياه الطبيعية، و أن المبدأ الأساسي للتقطير هو الحصول على مياه مالحة فوق نقطة الغليان من أجل تكوين بخار الماء، والذي يتم بعد ذلك تكثيفه

إلى ماء ومعالجته لجعله صالحًا للري أو الشرب، والعامل الأساسي الذي يحدد عملية التقطير هو الحالة المتغيرة للمادة، ومن أجل مساعدة البخار على التكثيف وتبخير الماء الخام، غالبًا ما تكون هناك حاجة إلى وحدتين للمبادل الحرار، وتتكون الرواسب الناتجة عن العملية من مواد صلبة تتراكم على أسطح المبادل الحراري وتنقسم تقنيات تحلية المياه الحرارية الى :-

1 - تقنية التبخير البسيط (Simple Distillation)

تعتمد هذه الطريقة على مبادل حراري يسمح لبخار الماء بالمرور عبر خزان يحتوي على مياه مالحة عند ضغط منخفض للغاية أقل من الضغط الجوي، ويعمل مبادل حراري ثانٍ كعنصر بارد، وعندما يتم تسخين الماء، يرتفع البخار إلى سطح الخزان ثم يخرج عبر قناة متصلة بالمكثف، وفي دورة مغلقة يتكثف هذا البخار ويتجمع في قطرات ماء خالية من الأملاح المعدنية قبل الاحتفاظ به في خزان ثانٍ يستخدم لجمع المياه المقطرة.[1]

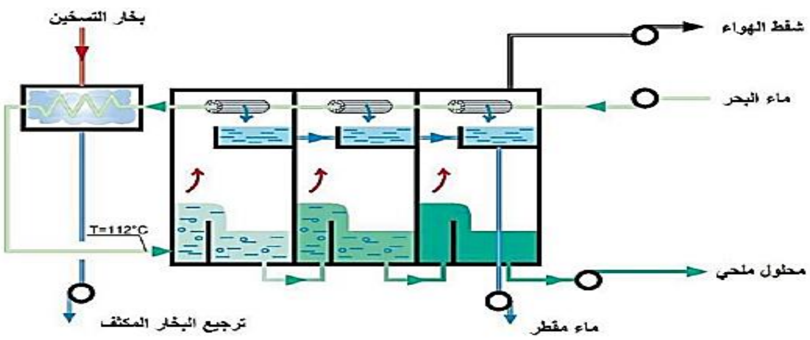


شكل1 : مقطر شمسي بسيط

2 - تقنية التبخير الوميضية متعدد المراحل (MSF)

تعتبر من أشهر طرق التحلية في العالم وأكثرها اقتصادية في تحلية مياه البحر وخاصة في الطاقات الكبيرة أكبر من (10000 م3/ى) وتعتمد هذه الطريقة على تسخين المياه المالحة بواسطة بخار مضغوط داخل غرف مخلخلة الضغط المبخرات حيث يتصاعد البخار من المياه المالحة فيما يشبه الوميض ثم يتم تجميع البخار وتكثيفه داخل المكثفات، ويتم استخدام عدة مراحل لتعظيم الطاقة التي يحملها المحلول الملحي في واحدة من أكثر تقنيات تحلية المياه الحرارية شهرة وشعبية وخاصة في المحطات الكبيرة، وتستخدم هذه التقنية عملية تسمى التبخير الفوري، وبعد ذلك يتم ضخ المحلول الملحي الساخن فجأة إلى حجرة عند ضغط أقل من ضغط الغليان، مما يتسبب في التبخر المفاجئ (التبخير الفوري) وتكوين البخار، الذي يتكثف لإنتاج الماء.

وتنتشر محطات التحلية الوميض متعدد المراحل (MSF) بشكل كبير لدرجة أنها مسؤولة عن (34%) من تحلية المياه المالحة في العالم



شكل 2: تقنية التبخير الوميضي متعدد المراحل

اولا – مبدأ التشغ

مبدأ عمل محطة التحلية الوميض متعددة المراحل (MSF – Multi Stage Flash)

يعتمد على تبخير متتالي مفاجئ (وميض) لمياه البحر الساخنة عند مرورها بمراحل ذات ضغط منخفض تدريجيًا، ثم تكثيف البخار الناتج للحصول على ماء عذب.

– خطوات العمل

1- تسخين مياه البحر

يتم تسخين مياه البحر في مبادل حراري (Brine Heater) باستخدام بخار قادم من مصدر خارجي.

2- تمرير الماء الساخن على مراحل متعددة

– تدخل المياه الساخنة إلى سلسلة من غرف الوميض (المراحل)

– كل غرفة او مرحلة لها ضغط أقل من السابقة مما يسبب وميض (تبخر مفاجئ) لجزء من الماء عند دخوله.

3- تكثيف البخار

البخار الناتج من كل مرحلة يتم تكثيفه على أنابيب تمر بداخلها مياه بحر باردة تعمل عمل المبادل الحراري وتساهم في رفع درجة حرارة المياه الداخلة للمحطة و يتم جمع الماء المقطر كماء عذب.

4- التكرار عبر عدة مراحل

تستمر العملية عبر مراحل متعددة (18 إلى 30 مرحلة) ما يزيد من الكفاءة والإنتاج وتوفير الطاقة الحرارية

5 – تصريف المياه المالحة

ما يتبقى من مياه مالحة يتم تصريفه إلى البحر عبر مضخة الترجيع

تانيا – الأقسام الرئيسية في المحطة التحلية الوميضي متعدد المراحل كا التالي

1 – مبادل حراري (Heater)

يقوم بتسخين مياه البحر إلى درجة حرارة عالية قبل دخولها إلى الخلايا (المراحل).

2.- مراحل الوميض (Flash Chambers)

تحتوي المحطة على عدة مراحل (قد تصل إلى 30 مرحلة)، يحدث في كل مرحلة انخفاض في الضغط، مما يسبب "وميض" جزء من الماء الساخن وتبخره.

3- مكثفات (Condensers)

يتم تكثيف البخار المتولد على أنابيب تمر بها مياه البحر الباردة، ويجمع الماء المكثف كماء مقطر نقي.

4.- مضخات تغذية (Feed Pumps)

لضخ مياه البحر إلى مراحل المحطة وضمان تدفقها بين المراحل.

5- مضخات تفريغ الهواء (Air Ejectors)

تستخدم لإزالة الهواء والغازات غير المكثفة من النظام، لتحسين كفاءة التكثيف.

6. – مضخات تصريف المحلول الملحي (Brine Pumps)

لتصريف المياه المالحة المتبقية بعد عملية التبخير.

7- أنابيب ومبادلات داخلية (Pipes and internal heat exchangers)

لنقل الماء وتكتيف البخار بين المراحل وضمان تبادل حراري فعال

8 – أجهزة التحكم والقياس (Control and measurement devices)

لمراقبة درجات الحرارة والضغط ومعدلات التدفق في النظام.

ثالثا - . العوامل المؤثرة في المحطة (MSf) من ناحية التشغيل

1-. ارتفاع درجة حرارة الماء أكثر من 90°م*

عند ارتفاع درجة حرارة الماء أكثر من 90°م يؤدي إلى تفكك مادة (Belgared evan) وتحللها مما يسبب في حدوث ترسيبات داخل الأنابيب المبادل الحراري حيث تقل نسبة التفوق للمياه الداخل إلى المراحل.

2 - تكوين الترسبات الملحية

تعتبر الترسبات الملحية من العوامل المؤثرة على وحدة التحلية، وذلك لأن هذا النوع من وحدات التحلية يتعامل مع مياه ذات تركيز ملحي عالي إضافة إلى اختلاف درجات الحرارة من موقع إلى آخر وكذلك ارتفاع درجة حرارة الماء أكثر من 90°م.

- أهم المشاكل التي تسببها الترسبات هي

1 - إن هذه الترسبات الملحية تسبب في تكوين طبقة عازلة حرارية بين الماء وسطح المعدن وهذا يؤدي إلى تقليل كفاءة عملية انتقال الحرارة .

2 - تسبب هذه الترسبات انسداد في حزم الأنابيب مسبب في خفض معدل سريان الماء.

بسبب الخواص الفيزيائية والكيميائية للماء البحر يحصل ترسب كبريتات الكالسيوم 4CaSO وكربوناتها داخل أنابيب المبادلات الحرارية مما يؤدي إلى انسداد في هذه المبادلات وانخفاض سرعة جريان الماء وبالتالي إلى انخفاض كفاءة الوحدة:

تتكون هذه الترسبات نتيجة وجود العسرة الدائمة في الماء والناتجة عن وجود أيونات الكبريتات والتي تترسب بشكل كبريتات الكالسيوم هناك ثلاث أنواع من الترسبات نوع منها مائي وهي :

$CaSO_4.½H_2O$ ، $CaSO_4.2H_2O$ أما النوع الثالث فهي غير مائية $CaSO_4$

ترسبات كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد المغنيسيوم يتم ترسيب هذين المادتين في المبخرات نتيجة لتفكك أيون البيكربونات إلى كربونات حسب المعادلة التالية:

$$2HCO_3^- \rightarrow CO_3^{-2} + H_2O + CO_2$$

ثم يليها تفاعل آخر يتكون فيه الهيدروكسيد حسب المعادلة الآتية:

$$CO_3^{-2} + H2o^+ \rightarrow 2OH^- + H_2O$$

وتترسب كربونات الكالسيوم بعد التفاعل الأول نتيجة توفر الكربونات:

$$Ca^{++} + CO_3^{-2} \rightarrow CaCO_3\downarrow$$

وتترسب هيدروكسيد المغنيسيوم بعد التفاعل الثاني نتيجة وجود أيون الهيدروكسيد:

$$Mg^{++} + 2OH^- \rightarrow Mg(OH)_2\downarrow$$

ولتفادي حصول هذه الترسبات يجب التخلص من أيونات الكبريتات وأيونات الكالسيوم وأيونات المغنيسيوم

كما يجب التخلص من أيون البيكربونات ويتم ذلك بحقن الماء الداخل إلى الوحدة بحمض الكبريتيك ويكون التفاعل كما يلي:

$$H_2SO_4 + 2HCO_3^- \rightarrow 2H_2O + CO_2 + SO_4^{-2}$$

ويتم التخلص من هذه الأيونات بعدة طرق منها:

1 - المعالجة بمادة بالبلقارد

حيث يتم ضخ محلول مادة البلقارد وهي EDTA على شكل أملاح الصوديوم، حيث تقوم امضخة الحقن بسحب المحلول من خزانات خاصة وضخه إلى المحطة كما يمكن التحكم في كمية الحقن بواسطة اختيار درجة من 1 إلى 10 درجات.

- التركيب الكيميائي لمادة بالبلقارد

عبارة عن محلول مائي من ملح الصوديوم لحمض متعدد كاربوكسيلي

- الخواص الطبيعية

الوزن النوعي عند 20°C   1.27 الى1.24

درجة الغليان: 100 – 101°C

درجة التجمد: 0 – 10°C

7   PH

2 – المعالجة الحمضية – Acid treatment

التفاعل يكون أساساً في حمض الكبريتيك ويكون كالتالي:

2HSO4 + (C O3H) 2Ca → 4SO Ca + 2H2 + ↑ 2CO2o

هذا التفاعل يمكن أن يحدث عند درجة حرارة المحيط وبمعدل سريع.

الحمض يحقن إلى محلول الماء مع أيون 3HCO بكمية متناسبة، ويتركيز 112.5 ppm من الحمض لماء البحر العادي.

المعالجة بحمض الكبريتيك تحدث تصاعد تاني أكسيد الكربون لدالك يجب إزالة الغازات من المياه قبل دخولها للمراحل

3 – حمض التنظيف الدوري Perio dical Acid Cleaning

المعالجة الدائمة والمستمرة لا تمنع تماما تكون الترسيبات الملحية، والتي تزال دورياً لذلك فإنه محلول التنضيف الدوري يكون دائراً خلال حزم الأنابيب لبضع ساعات في النظام إلى غاية إذابة رواسب الكربونات بدون الوصول إلى مادة الأنبوب التفاعل يحدث كالتالي:

CaCO3 + 2HCl → CaCl2 + H2CO3

هذا التفاعل يكون محكوم بواسطة قياس pH للحمض الناتج حيث ينتهي عندما تبقى pH ثابتة

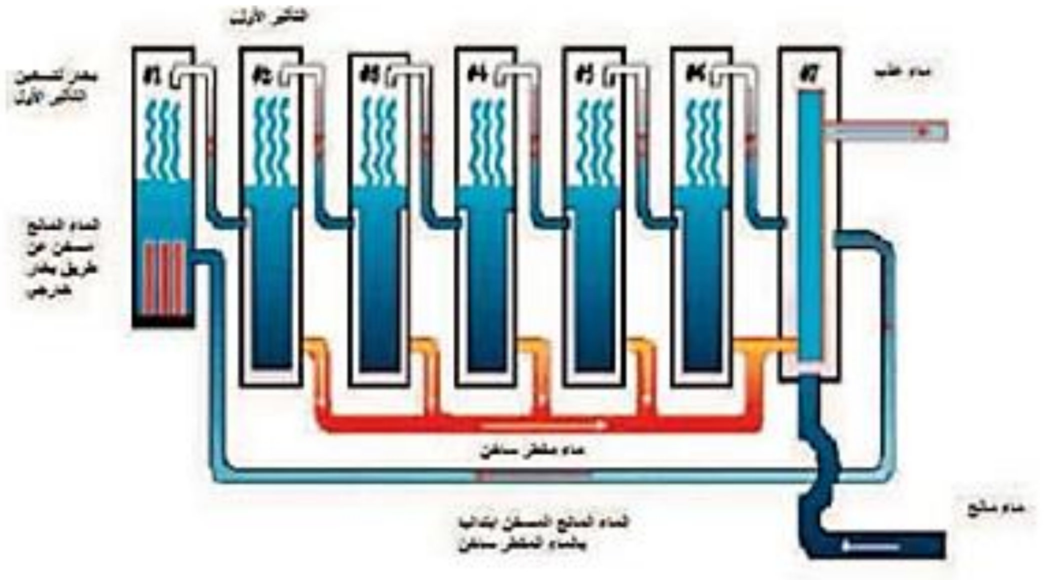
يعتمد التنظيف الدوري لإزالة الترسيبات الملحية على ملوحة المياة المراد معالجتها وعلى مدة عمل الوحدة وفي حالة مياه البحر ولمدة عمل المحطة 8000 ساعة عمل في السنة يجب برمجة وقتين سنويا للتنضيف وازالة الترسبات الملحية

- **مميزات وعيوب التبخير الوميضية متعدد المراحل (MSF)**

1. محطات التحلية الومضي بسيطة نسبيا في البناء والتشغيل.
2. تستخدم هذه الأنظمة كمية ضئيلة من أنابيب التوصيل ولا تحتوي على أجزاء متحركة بخلاف المضخات القياسية.
3. تتمتع مياه الصرف الصحي بدرجة عالية من الترشيح وتتكون من (2–10) جزء في المليون من المواد الصلبة المذابة، ونتيجة لذلك يتم إعادة تمعدنها خلال مرحلة ما بعد المعالجة.
4. جودة مياه التغذية ليست بنفس الأهمية كما هي في تقنية نظام التناضح العكسي (RO).
5. في حين أن تشغيل المحطات عند درجات حرارة أعلى (أكثر من 115 درجة مئوية) يزيد من كفاءتها، فإنه يؤدي أيضًا إلى مشاكل الترسب، حيث تترسب كبريتات الكالسيوم والأملاح الأخرى على أسطح الأنابيب، مما يتسبب في حدوث مشكلات ميكانيكية وحرارية بما في ذلك انسداد الأنابيب.
6. على الرغم من اعتبارها عملية كثيفة الاستهلاك للطاقة وتتطلب كل من الطاقة الميكانيكية والحرارية، إلا أن نظام التوليد المشترك قد يتغلب على هذا.
7. إن زيادة عدد المراحل يعزز إنتاج المياه وكفاءتها، ولكنه يزيد أيضًا من التعقيد التشغيلي وتكاليف رأس المال.

3 –تقنية التقطير (التبخير) المتعدد التأثير (MED)

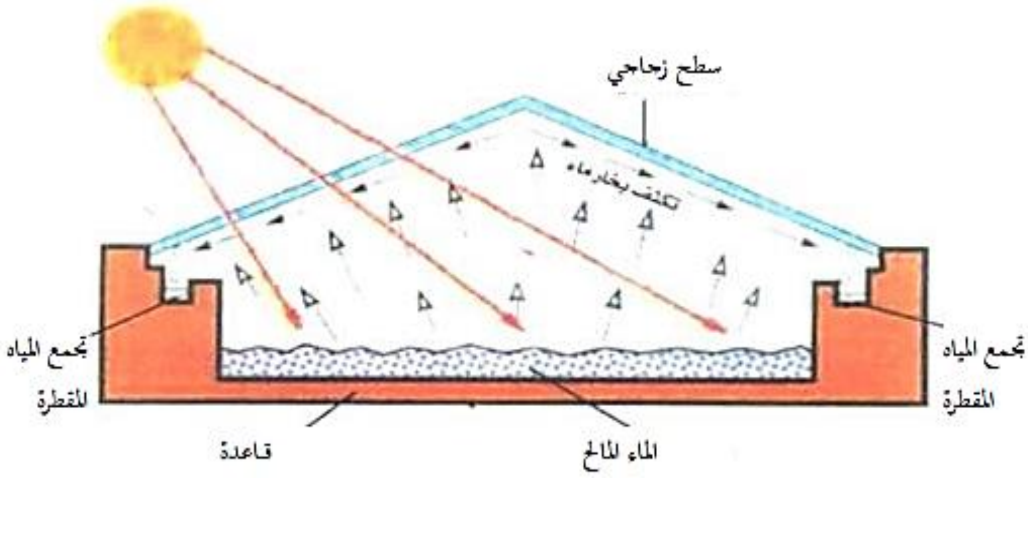
ولأنها تحدث في سلسلة من الأوعية أو غرف التأثير (باستخدام فكرة انخفاض الضغط السائد في غرف عديدة)، فإن هذه التقنية قابلة للمقارنة بعملية التبخير الفوري متعدد المراحل، فبعد الوعاء الأول، يتيح هذا لمياه التغذية أن تغلي عدة مرات دون الحاجة إلى مزيد من الحرارة، ولكن لا يزال ذلك كافياً للسماح للأبخرة بالارتفاع من المبخر الأول والتكثيف في المبخر الثاني، ووظيفة هذه الأبخرة في المبخر الثاني مطابقة لوظيفة بخار التسخين في الأول، وعلي سبيل المثال يستخدم المبخر الثاني المبخر الثالث كمكثف، وهكذا والفكرة وراء هذه التقنية هي أن كل مبخر في السلسلة يعمل كمكثف للمبخر الذي يسبقه.[1]



4.1 – تقنية ال

هناك طريقتان ة

الشمسية بدلاً من الطاقة التقليدية المستخدمة في إجراءات تحلية المياه القياسية، والطريقة الثانية تقوم على تكثيف المحلول الملحي باستخدام أجهزة تقطير أساسية بعد تبخير جزء منه باستخدام ضوء الشمس، استخدم المهندس السويدي (Carlos Wilson) الطاقة الشمسية لأول مرة في التقطير في صحراء (Lasso Linas) في شمال تشيلي عام (1872)، وذلك باستخدام أحواض مغطاة بالزجاج ذات قاعدة سوداء تعمل كممتص للأشعة، وتعمل الطبقة الرقيقة من الماء الساخن في هذا الحوض كمبخر بسبب سطحه الأسود، ويتكثف البخار المتصاعد مباشرة على السطح الداخلي للزجاج، والذي يميل بزاوية معينة ودرجة حرارته أقل قليلاً من درجة حرارة اللوحة الماصة السوداء قبل أن يتجمع في مسار مخصص للمياه المقطرة، ويتم إنتاج أكثر من (23 متراً مربعاً) من المياه الصالحة للشرب يومياً بواسطة هذا المقطر.



2.ثانيا – تقنيات التحلية الغشائية

3. 1 – التناضح العكسي (REVERSE OSMOSIS) (R.O)

وبالمقارنة بالتقطير فإن هذه الطريقة حديثة جدًا، حيث تم تسويقها تجاريًا في أوائل سبعينيات القرن العشرين، وتُعرف طريقة إزالة الماء من محلول ملحي مضغوط عبر غشاء بالتناضح العكسي، وتُستخدم غالبية الطاقة اللازمة لتحلية المياه لزيادة ضغط مياه الإمداد؛ ولا يلزم تسخين أو تغيير الحالة السائلة لهذا الفصل، ويتم ضخ مياه التغذية إلى وعاء مغلق حيث تضغط على الغشاء، ومع مرور جزءٍ من المياه عبر الغشاء، ترتفع نسبة الملح في المياه المتبقية وفي الوقت نفسه، يتم التخلص من بعض مياه التغذية دون المرور عبر الغشاء، مما يؤدي إلى مشاكل أخرى مثل زيادة الملوحة والترسيب وزيادة الضغط الأسموزي عبر الأغشية، واعتمادًا على كمية الأملاح الموجودة فيها ، تتراوح كمية المياه المستخرجة بهذه الطريقة من (20%) إلى (70%)، ولحماية وحدة التحلية من الانسداد وتلف الغشاء، تتطلب هذه التقنية معالجة مسبقة دقيقة لمياه التغذية لإزالة المواد العالقة مثل الطمي والرمل وما إلى ذلك، بالإضافة إلى إزالة وفصل أو قتل الكائنات الحية الدقيقة مثل الفطريات والبكتيريا والطحالب.[1]

4. ويتكون نظام التناضح العكسي من:

5. المعالجة الأولية

وذلك يكون من خلال إزالة المواد العالقة وإيقاف ترسيب وتطور الكائنات الحية على الأغشية، فإن ذلك يعني تجهيز المياه المالحة لدخول مجمع الغشاء.

6. المضخة ذات الضغط العالي

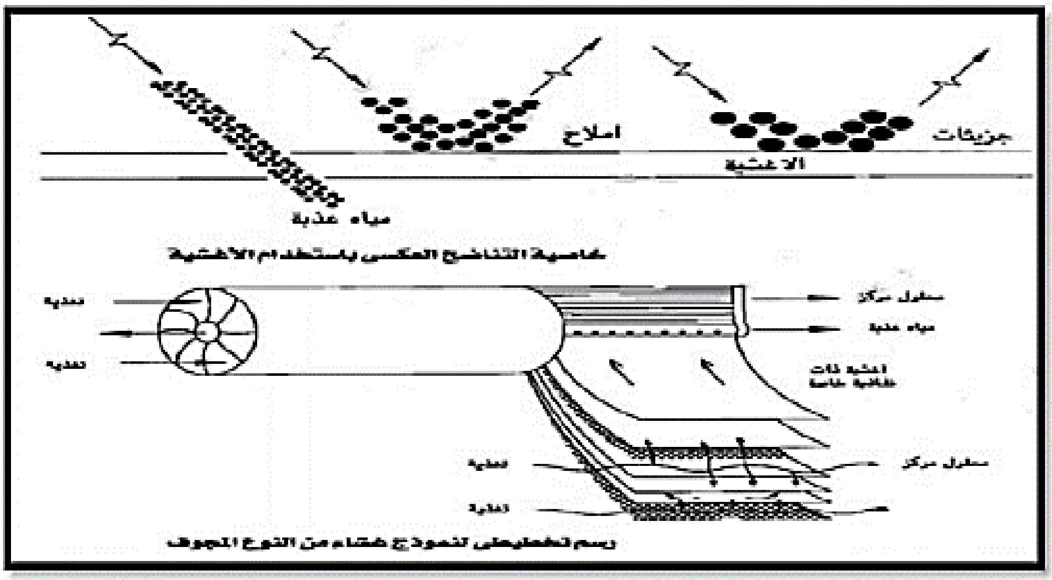
ويتم فيها ضغط الماء المالح عن طريق مضخة الضغط العالي أعلى من الضغط الأسموزي لمرور الماء عبر الأغشية. وهذا الضغط يتراوح بين (17–27) بار لمياه الآبار، وبين (45–80) بار المياه البحر.

7. مجمع الأغشية

إن العنصر الأساسي في هذه العملية هو القلب الحيوي، والذي يتكون من العديد من الأغشية، ويبقى جزء من الأملاح في الماء العذب بعد مرور الماء المالح عبر الأغشية وإخراج الأملاح، وعلى العكس من ذلك يتم إطلاق المحلول الملحي المركز.

8. المعالجة النهائية

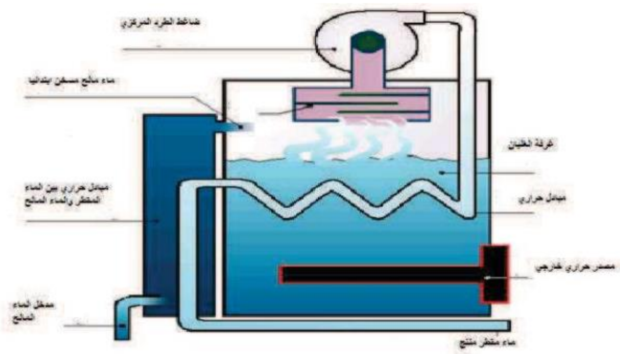
تتضمن هذه العملية تحضير المياه الناتجة للتوزيع والحفاظ على جودتها، وقد يكون تعديل القلوية وإزالة الغازات مثل كبريتيد الهيدروجين جزءًا من هذه المعالجة.[2]



أن الفائدة الأساسية لاستخدام تحلية المياه بالتناضح العكسي هي أن كمية المياه العذبة المنتجة غير مكلفة، وتتراوح من (0.5 إلى 0.7 دولار للمتر المكعب)، على عكس (1.1 إلى 1.4 دولار للمتر المكعب)، اعتمادًا على تكلفة الطاقة، المنتجة بالتبخير الفوري أو التقطير متعدد التأثير، وينتج التناضح العكسي مياه عالية الجودة للغاية بمستوى ملح مذاب يتراوح بين (100 و500 جزء في المليون)، وإن إجراء المعالجة الأولية لمياه البحر أمر ضروري بشكل عاجل لضمان استقرار تشغيل الوحدة، وذلك لأن إحدى عيوب تحلية المياه بالتناضح العكسي هي قابلية الأغشية للتلوث بالمواد الصلبة العالقة في الماء أو التلف الناتج عن المواد المؤكسدة الموجودة في الماء، مثل الكلور وأكاسيده، إن الجانب الأكثر أهمية وخطورة في تحلية المياه بالتناضح العكسي هو تحقيق حالة المعالجة الأولى المثلى، وإن تطور القشور على سطح الغشاء المصنوع من كبريتات الكالسيوم وكربونات الكالسيوم وكبريتات الباريوم هو مشكلة أخرى مع هذه الطريقة، وتحدد نسبة الاسترداد (نسبة المياه العذبة المنتجة إلى مياه التغذية) مدى خطورة مشكلة القشور، من خلال إضافة مضادات القشور إلى مياه التغذية، يمكن إدارة القشور بشكل أفضل عندما تكون نسبة الاسترداد حوالي (50٪) يتأثر تطور القشور على الأغشية سلبًا بزيادة نسبة الاسترداد.

- **2 – تقنية التحلية بضغط البخار(Vapor Compression)**

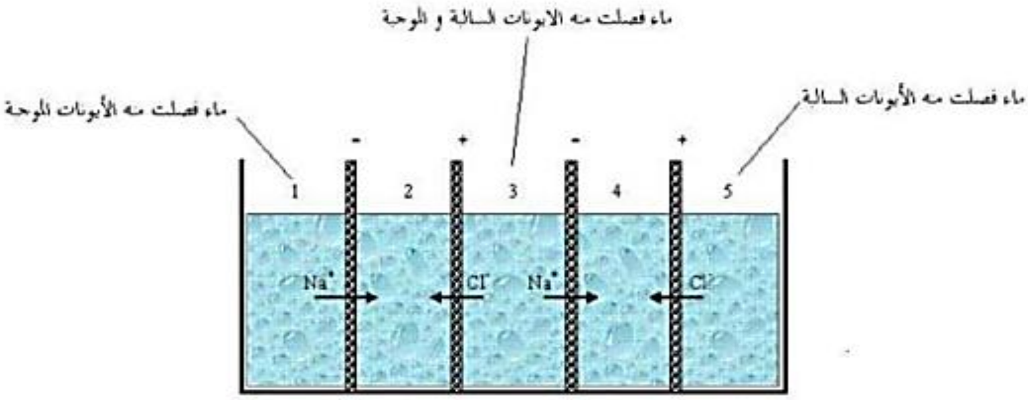
يسخن ماء البحر مبدئيا في مبادل حراري أنبوبي مستخدما كلا من الماء المالح والماء المطرود والماء العذب الخارجي من الوحدة ثم يغلى ماء البحر داخل أنابيب المقطر، ثم تضغط الأبخرة، ثم ترجع الى المقطر، وتتكثف خارج الأنابيب مما يوفر الحرارة اللازمة لعملية الغليان، وتسحب الغازات غير القابلة للتكثيف من حيز البخار والتكثيف بوساطة مضخة سحب أو طارد بخاري، وتعمل هذه الطريقة على خفض ضغط غرفة المحطة باستخدام ضاغط ميكانيكي يعمل بمحرك كهربائي أو تدفق بخار نفاث، مما يتسبب في تبخر الماء عند درجة حرارة مياه الإمداد، يتم تبخر جزء آخر من مياه الإدخال باستخدام الحرارة المتولدة عن ضغط البخار حتى ترتفع درجة حرارته بعد الضغط ينتقل البخار الساخن عبر أنابيب المحلول الملحي قبل التكثيف حولها، ويغادر الماء المكثف الوحدة كمياه متولدة بعد استخدام حرارة المكثف لزيادة درجة حرارة المحلول الملحي داخل الأنابيب وخلق المزيد من البخار، والذي يتم ضغطه بعد ذلك لمواصلة الدورة.[1]



شكل 6: تقنية التحلية بضغط البخار

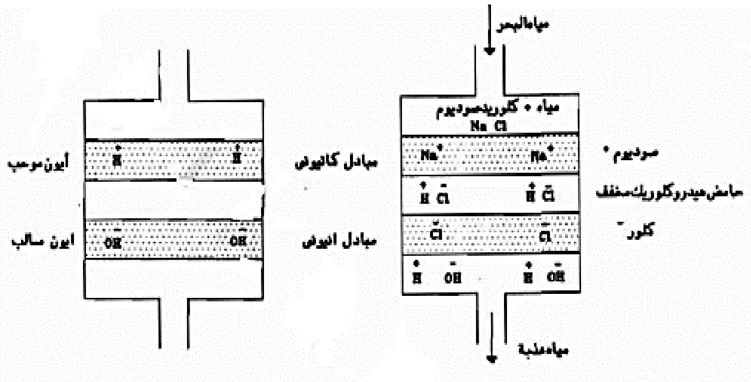
- **3 – طريقة الديلزة الكهربائية ELECTRO DIALYSIS**

وهي تقنية قديمة جدًا تعتمد على حركة الأيونات الموجبة للماء عبر غشاء كاتبوني، وهو حاجز شبه نافذ يسمح فقط للأيونات الموجبة بالتدفق من خلاله، يتم استخدام قطب كهربائي سالب لهذا الغرض، وفي المقابل يتم جذب الأيونات السالبة إلى القطب الكهربائي الموجب وتمر عبر غشاء أيوني، وتستمر العملية مع جمع المياه العذبة التي لا تزال بين الغشاءين وإزالتها من الوحدة.[1]



- **ثالثا – التقنيات الفيزيائية**
- **1– تقنية التبادل الأيوني ION EXCHANGE**

عندما تذوب الاملاح في الماء، تنفصل مكوناتها المركبة إلى ايونات سالبة وأيونات موجبة، والمبادل الأيوني عن مجمع يحتوي على مواد راتنجية مسامية خاصة تسمى (Resin)، لها القدرة على تبادل بعض الأيونات بها مع أيونات المحلولة المتواجدة فيه هذه المواد، ولذا تسمى المبادلات الأيونية، وتُعرف هذه المواد الراتينجية (Resin) بالمبادلات الأيونية لأنها تتبادل بعض أيوناتها السالبة مع الأيونات السالبة للأملاح أو بعض أيوناتها الموجبة مع الأيونات الموجبة للأملاح وتسمي ب(Cations)، ويحدث تبادل الأيونات السالبة بين المحلول الملحي والأيونات السالبة (Anions)، للمبادل عندما يمر المحلول فوقه وبنفس الطريقة يتبادل المحلول أيوناته الموجبة مع الأيونات الموجبة للمبادل عندما يمر فوقه، ويتم ترتيب هذه المواد في مجموعات متتالية داخل المبادل الأيوني لامتصاص الأيونات غير المرغوبة واستبدالها بأيونات مرغوبة أخرى.[2]

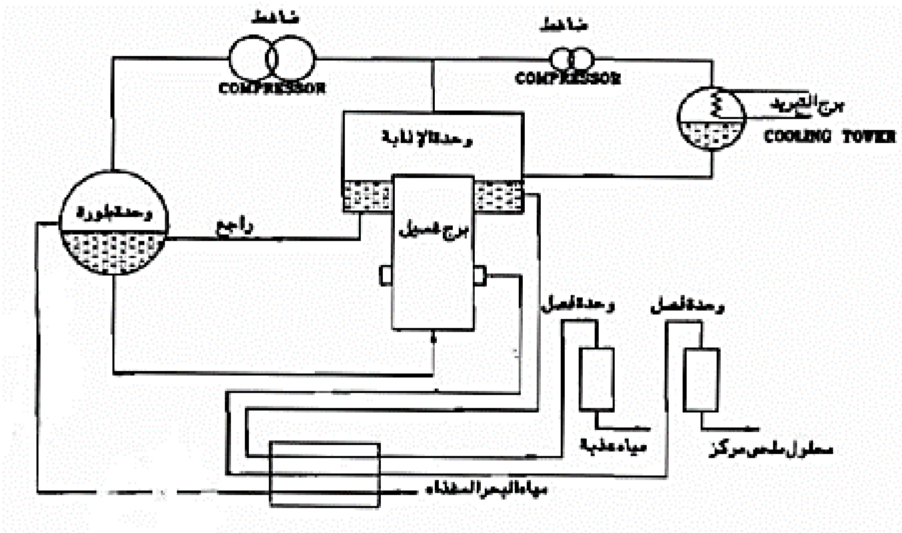


شكل 8: تقنية التبادل الأيوني

- **تقنية التجميدية**

• 2 – تقنية التجميد FREEZING

وبما أن بلورات الجليد الناتجة عن تبريد المياه المالحة معروفة بأنها خالية من الملح، فإن طريقة التجميد لتحلية المياه تعتمد على هذه الحقيقة، فإن الإجراء مماثل لعملية التقطير، التي تحول محلول الماء المالح إلى بخار خالٍ من الملح، ومن الواضح أن كلتا العمليتين مختلفتان من الناحية العملية لأن عملية التجميد تتم عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة المحيط، في حين تتم عملية التقطير عند درجة حرارة أعلى من درجة حرارة المحيط ولا يظهر هذا التشابه إلا عند النظر في غياب الأملاح في نتائج العمليتين، وتتأثر تصميمات المعدات والأجهزة لكل عملية بالاختلافات في درجات حرارة التشغيل في العمليتين، في حين أن تصميم عملية تحلية المياه بالتجميد يأخذ في الاعتبار تقليل كمية الحرارة التي تكتسبها وحدة التكثيف من الغلاف الجوي المحيط، فإن عملية التقطير تأخذ في الاعتبار تقليل كمية الحرارة المفقودة من وحدة التقطير إلى الغلاف الجوي المحيط، وإن المشكلات المتعلقة بالنقل وتنقية الثلج هي العيوب الرئيسية لتحلية المياه بالتجميد، إذا تم استخدامها في درجات حرارة منخفضة، فإن فوائدها الرئيسية هي تقليل التآكل والترسيب، ويتم استخدام المبادئ الأساسية والمعدات المعترف بها لتكنولوجيا التبريد في عملية تحلية المياه بالتجميد، ومع ذلك يتم تعديلها للعمل مع طريقة التجميد المباشر والتجميد غير المباشر هما التقنيتان الأساسيتان المستخدمتان في عملية تحلية المياه بالتجميد



	MSF	RO
مبدا العمل	تبخير الماء وتكثيف على عدة مراحل	ضغط الماء عبر اغشية شبة نفادة
نوع الطاقة	حرارية (بخار)	كهربائية (ضغط عالي)
استهلاك الطاقه	عالي (طاقه حرارية كبيرة)	أقل نسبيا (طاقه كهربائية)
ازالة الاملاح	تركيز الاملاح في المياه الناتجة قليل جدا	تركيز الاملاح في المياه الناتجة اعلا
التكلفة التشغيلية	مرتفعه	اقل
الملائمة	أفضل للمشاريع الكبرى والدائمة	مناسبة للمشاريع الصغيرة
التأثر بتركيز الاملاح	تتحمل نسبة املاح عالية	لا تتحمل نسبة أملاح عالية
الصيانة	قليل	مستمر بسبب الاغشية
العمر الافتراضي	اطول	أقصر

• النتائج

1 – كفاءة التحلية والإنتاجية

تتميز محطات MSF بإنتاجية عالية من المياه ألمحلاة خصوصاً عند تشغيلها في مشاريع ضخمة تصل نسبة استرداد المياه المحلاة من (40%– 45%) من كمية مياه البحر الداخلة.

2 – استقرار التشغيل

تعمل المحطات بكفاءة واستقرار في التشغيل طويل الأمد، وتتحمل تقلبات جودة مياه التغذية أقل حساسية للتغيرات الكيميائية والفيزيائية مقارنةً بالطرق الأخرى

3 – استهلاك الطاقة

– تستهلك طاقة حرارية مرتفعة (من البخار)، مما يجعلها مناسبة للمناطق التي تتوفر فيها مصادر طاقة حرارية مثل محطات الكهرباء.

4 – الجودة والنقاء

– تنتج مياه عالية النقاء، منخفضة في الأملاح الذائبة والمواد الصلبة، وتُعد مناسبة للاستخدامات الصناعية والمنزلية.

5 – التحديات والمشكلات

تكاليف الإنشاء والتشغيل مرتفعة نسبيًا تتطلب صيانة دورية للمبادلات الحرارية وخطوط الأنابيب بسبب الترسّبات.

6– الاستخدام الأمثل

مثالية للدول التي تملك مصادر طاقة حرارية أو نفطية رخيصة.

مناسبة للمشاريع الحكومية أو المدن الكبرى ذات الطلب العالي على المياة

- **التوصيات**

1. توفير الطاقة ومحاولة الاعتماد على الطاقة البديلة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الامواج ومواكبة التقنيات الحديثة لتقليل استهلاك الطاقة التقليدية وتقليل الانبعثات للمحافظة على البيئة من التلوث .
2. الصيانة الدورية للحد من الاعطال الفجائية ، مما يطيل عمر المحطة ويقل التكاليف.
3. استخدام مواد مقاومة للتآكل ، مما يساهم في تحسين كفاءة المحطة من التآكل والتراكمات الملحية في المراحل المختلفة.
4. مراقبة الأداء باستمرار وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي لمراقبة وتحليل الأداء بشكل دوري لضبط المعايير التشغيلية.
5. معالجة المياه العادمة لتقليل درجة حرارتها ونسبة الاملاح لضمان عدم تأثيرها على الكائنات الحية البحرية والوسط البيئي .
6. دراسة الجدوى الاقتصادية تحليل التكلفة والفائدة باستمرار، مع النظر في استخدام تقنيات التحلية الأخرى في حال كانت أكثر فاعلية من حيث التكلفة.
7. تطوير تدريب متخصص تعزيز التدريب المستمر للعاملين على المحطة لزيادة الكفاءة التشغيلية والتعامل مع التحديات التكنولوجية بشكل أفضل.
8. توعية المستهلك وفرض رسوم ولو بسيطة الغرض ترشيد الاستهلاك والمحافظة على المياه

- **المراجع العربية**

1. مركز إنماء المملكة للتدريب والتطوير، (2018م)، تشغيل وصيانة محطات تنقية المياه. وزارة المياه والكهرباء،.
2. المحمود حســـن خليل، (2018م)، تقييم أولي لإمكانية إنشـــاء محطات التحلية في المياه البحرية. كلية التربية للبنات جامعة الكوفة،
3. برنامج المسار الوظيفي للعاملين بقطاع مياه الشرب والصرف الصحي، (2015م)، نظم تحلية مياه البحار واقتصاديات التشغيل. الشركة القابضة لمياه الشرب والصرف الصحي،
4. بن عطا الله جميلة، (2021م)، الدراسة التجريبية لتحسين كفاءة مقطر شمسي بولاية ورقلة. كلية الرياضات وعلوم المادة جامعة قاصدي مرباح، ورقلة،.

5. سعيدي سعاد، (2020م)، دراسة تجريبية لتحسين مردود المقطر الشمسي. قسم الفيزياء كلية الرياضيات وعلوم المادة جامعة قاصدي مرباح، ورقلة،
6. محمد مصطفي محمد الخياط، (2006م)، الطاقة (مصادرها، أنواعها، استخداماتها). الاكاديمية العربية الدولية، القاهرة،
7. أسعد رحمان سعيد الحلفي، (2014م)، تحلية المياه بتقنية النانو. قسم علوم الاغذية، كلية الزراعة، جامعة البصرة،
8. مجلس التعاون لدول الخليج العربية، (2014م)، تحلية المياه المالحة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية تاريخها وحاضرها ومستقبلها. الاصدار الثاني،
9. المحمود حســن خليل، (2018م)، تقييم أولي لإمكانية إنشــاء محطات التحلية في المياه البحرية. كلية التربية للبنات جامعة الكوفة مرجع سابق،
10. حسن البنا سعد فتح تكنولوجيا تحلية المياة (الجزء الاول) الدار الجامعية (رمل الاسكندرية) 2001 ف
11. ســامر مخيمر، (1996م)، أزمة المياه في المنطقة العربية. عالم المعرفة المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، الكويت،
12. اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي أسيا، (2017م)، تنمية قدرات البلدان الأعضاء في الإسكوا على معالجة الترابط بين المياه والطاقة لتحقيق أهداف التنمية المستدامة. مجموعة أدوات تشغيلية للترابط بين المياه والطاقة، نموذج الطاقة المتجددة الأمم المتحدة، .
13. كمال بوعظ، (2015م)، تحلية مياه البحر في المملكة العربية الســعودية العوائد المحققة والتكاليف المحتملة. بحوث اقتصادية عربية العدد (71)،
14. وائل قاسم راشد، (2019م)، الأهمية الاستراتيجية لتوطين تقنيات صناعه تحلية مياه البحر في محافظة البصرة لسد عجز الطلب المائي المنزلي المستقبلي. كلية التربية بنات جامعة البصرة مجلة المستنصرية للدراسات العربية والدولية

- **المراجع الأجنبية**

1. A.M.K EL-Ghonemy, (2017), Performance test of a sea water multi-stage flash distillation plant: Case study. Alexandria Engineering Journal, Published by Elsevier,.
2. Mahmoud Shatat, (2012), Water desalination technologies utilizing conventional and renewable energy sources. International Journal of Low-Carbon Technologies, Published by Oxford University Press,
3. Andras Jozsef Toth, (2020), Modelling and Optimization of Multi-Stage Flash Distillation and Reverse Osmosis for Desalination of Saline Process Wastewater Sources. Journal of Membranes, MDPI,
4. Mushtaque Ahmed, (2000), Use of evaporation ponds for brine disposal in desalination plants. Published by Elsevier Science, VOL.130,
5. Mohamed A. Dawoud, (2020), Towards sustainable desalination industry in Arab region: challenges and opportunities. the 4th International Water Desalination Conference: Future of Water Desalination in Egypt and the Middle East,