النظم الهندسيّة لإعذاب المياه الملحة

الدكتور محمد علي درويش
أستاذ الهندسة الحرارية

الدكتور مصطفى محمد السيد
أستاذ الهندسة الحرارية

الدكتور عبد الوهاب عبد الرازق السيد
أستاذ هندسة الفلزات

الدكتور سعيد السيد علي
أستاذ الهندسة الحرارية

قسم الهندسة الحرارية وتقنية تحلية المياه
كلية الهندسة - جامعة الملك عبد العزيز

مركز النشر العلمي
جامعة الملك عبد العزيز
ص ب ١٥٤٠ - جدة ٢١٤٤١
المملكة العربية السعودية

© جامعة الملك عبدالعزيز ١٤١٦هـ (١٩٩٥م)

جميع حقوق الطبع محفوظة . غير مسموح بطبع أى جزء من أجزاء هذا الكتاب ، أو خزنه في أى نظام لخزن المعلومات واسترجاعها ، أو نقله على أية هيئة أو بأية وسيلة ، سواء كانت إلكترونية ، أو شرائط ممغنطة ، أم ميكانيكية ، أو استنساخاً ، أم تسجيلاً ، أم غيرها إلا بإذن كتابي من صاحب حق الطبع .

الطبعة الأولى ١٤١٦هـ (١٩٩٥م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية

النظم الهندسية لإعذاب المياه الملحة / محمد علي درويش ... (وآخرون)
... ص ، .. سم
ردمك ٦ - ٠٤٤ - ٠٦ - ٩٩٦٠

١ - السعودية - المياه - تنقية أ - السيد ، مصطفى محمد (م.مشارك) ب - السيد ، عبد الوهاب عبد الرازق (م. مشارك) جـ - على ، سمير السيد (م. مشارك) د - العنوان

ديوي ٦٢٨,١٦ ١٥/١٧٤٩

رقم الإيداع : ١٥/١٧٤٩
ردمك : ٦ - ٠٤٤ - ٠٦ - ٩٩٦٠

مطابع جامعة الملك عبدالعزيز

المحتويات

المقدمة ١

الفصل الأول : مشكلة المياه والإعذاب ٥

- مشكلة المياه ٧
- مصادر المياه ٨
- مصادر المياه غير العادية ١٠
- الطرق المختلفة لإعذاب المياه الملحة ١٢
- احتياجات المياه ٢٢
- كيفية مواجهة الحاجة المتزايدة إلى المياه ٢٥
- دور الإعذاب في توفير احتياجات المياه ٢٦
- كلمة أخيرة ٢٨

الفصل الثاني : المباديء الأساسية للديناميكا الحرارية ٣١

- مقدمة ٣٣
- القانون الأول وعلاقات الطاقة ٣٣
- القانون الأول والتفاعل التبادلي للطاقة ٣٥
- القانون الثاني للديناميكا الحرارية ٣٩
- بعض علاقات الإنتروبيا مع الخواص الأخرى ٤٣
- تغير الإنتروبيا نتيجة التفاعلات الكيميائية ٤٥
- القانون الثالث للديناميكا الحرارية ٤٦
- العلاقات المساعدة للديناميكا الحرارية ٤٦
- دالة جيبس وشروط التوازن ٤٩
- الجهد الكيميائي وخاصة الانفلات ٥١
- الطاقة الحرة لأنظومة متعددة العناصر ٥٤

- دالة جيبس ومخاليط الغازات المثالية ٥٧
- شروط التوازن ومعادلات كلابيرون ٥٩
- درجة التركيز ٦٣
- معادلات خواص المخاليل ٦٤
- المحلول المثالي ٦٩
- ارتفاع درجة الغليان ٧٢
- انخفاض درجة التجمد ٧٦
- المخاليل الكهروليتية ٧٩

الفصل الثالث : التقطير المتعدد التأثير ٨٣
- التقطير الأحادي التأثير ٨٥
- التقطير المتعدد التأثير ذو الأنابيب المغمورة ٩٥
- مبخرات الأنابيب الرأسية ذوات السريان الرقيق الساقط المتعدد التأثيرات ١٠٥
- مراجع الفصل ١٣٨

الفصل الرابع : التبخير الومضي المتعدد المراحل ١٣٩
- مقدمة ١٤١
- السمات الرئيسة لطريقة البخر الومضي المتعدد المراحل ١٤٣
- النظام الأحادي المرور ١٤٣
- نظام السريان الدوار ١٤٩
- تصميم محطات التبخير الومضي المتعدد المراحل وأداؤها ١٨٥

الفصل الخامس : إعذاب المياه بطريقة التقطير بضغط البخار ٢١١
- مقدمة ٢١٣
- دورة التقطير بضغط البخار ميكانيكا ٢١٤
- التحليل الثرموديناميكي للتقطير بضغط البخار ٢١٤
- الشغل المبذول ٢١٩
- مساحة أسطح الانتقال الحرارى ٢٢٥
- الاعتبارات الهندسية لوحدات التقطير بضغط البخار ٢٣٥
- التقطير بالضغط الحراري للبخار ٢٣٨

الفصل السادس : إعذاب المياه بالطاقة الشمسية ٢٤٧
- مقدمة ٢٤٩
- تعريفات عامة ٢٥٠
- المقطر الصندوقي الشمسي ٢٥٠
- التنبوء بأداء المقطر الصندوقي الشمسي ٢٦٠
- الكفاية العظمى للمقطر ٢٦٩
- تأثير البارامترات المختلفة على أداء المقطرات الشمسية ٢٧١
- المقطرات الانتشارية ٢٧٣
- المقطرات الانتشارية ذات التأثيرات المتعددة ٢٨٣
- اقتصاديات المقطرات الشمسية ٢٨٩
- نظم أخرى لإعذاب المياه بالطاقة الشمسية ٢٩١
- مفتاح الرموز ٢٩٢
- مراجع الفصل..... ٢٩٤

الفصل السابع : المحطات الثنائية الغرض لتوليد الكهرباء وإعذاب المياه ٢٩٧
- مقدمة ٢٩٩
- وحدات الإعذاب الوحيدة الغرض ٢٩٩
- النظام الثنائي الغرض باستخدام توربين ذي ضغط خلفي ٣٠٧
- دورة التوربين المكثف والتوربين ذي الضغط الخلفي للمحطات الثنائية الغرض ... ٣١٣
- المحطات الثنائية الغرض المستخدمة لتوربين مكثف – مستنزف ٣١٣
- التحليل الحراري للنظم الثنائية الغرض لإنتاج الطاقة الكهربائية وإعذاب المياه ٣١٥
- مزايا استخدام المحطات الثنائية الغرض وعيوبها ٣٢٨
- مقارنة تكاليف المحطة الثنائية الغرض بالمحطات المنفصلة ٣٢٩
- طرق توزيع التكلفة الكلية لإنتاج الماء والكهرباء..... ٣٣٠

الفصل الثامن : الفرز الغشائي الكهربائي (الديلزة الكهربائية) ٣٤١
- مقدمة ٣٤٣
- تطور عملية الديلزة الكهربائية ٣٤٥
- أغشية التبادل الأنيوني ٣٥١
- أسباب حيود الأغشية عن الحالة المثالية ٣٦٠

- نظرية سريان الأيونات في المحاليل الكهروليتية ٣٦٦
- الاستقطاب التركيزي ٣٦٩
- المعادلات التفاضلية للسريان وفرق الجهد وتركيز الأيونات ٣٧٤
- فرق الجهد في خلية نظام ديلزة كهربائية ٣٧٧
- فرق الجهد التقريبي عبر الخلية ٣٩٣
- معدل تدفق الأيونات في خلية الديلزة الكهربائية ٣٩٥
- فرق الجهد عبر مرحلة ديلزة كهربائية بدلالة التركيز في بدن المحلول ٤٠٣
- الحد الأدنى النظري للطاقة المستهلكة ٤٠٨
- الاعتبارات الهندسية في تصميم نظم الديلزة الكهربائية ٤١٧
- مراجع الفصل ٤٤٧

الفصل التاسع : التناضح العكسي ٤٤٩

- مقدمة ٤٥١
- الضغط الأسموزي ٤٥٣
- أغشية التناضح العكسي ٤٥٨
- معادلات الانتقال في أغشية التناضح العكسي ٤٦٤
- الاستقطاب التركيزي ٤٧٤
- أداء أغشية التناضح العكسي ٤٨١
- العوامل المؤثرة في أداء أغشية التناضح العكسي ٤٩٦
- وحدات أغشية التناضح العكسي ٤٩٨
- مكونات محطات الإعذاب بالتناضح العكسي ٥٠٩
- حسابات التصميم لوحدات أسطوانية ٥١١
- مراجع الفصل ٥١٧

الفصل العاشر : كيمياء المياه الملحة ٥١٩

- ميزات الماء ٥٢١
- التركيب الجزيئي للماء ٥٢١
- تركيب المياه الملحة ٥٢٣
- خواص ماء البحر ٥٢٦
- مصطلحات الإعذاب ٥٣٥

الفصل الحادي عشر : ترسيب القشور **٥٤٩**
- مقدمة ٥٥١
- مكونات القشور ٥٥١
- كيفية تكوُّن القشور ٥٥٢
- العوامل التي تتحكم في تكوُّن القشور ٥٥٩
- التفاعلات الأساسية المكونة للقشور ٥٦١
- ترسب كبريتات الكالسيوم ٥٦١
- ترسب القشور القلوية ٥٦٤
- ملاحظات واستنتاجات عامة ٥٧١

الفصل الثاني عشر : التحكم في القشور **٥٧٥**
- مباديء عامة ٥٧٧
- اعتبارات التصميم ٥٧٧
- طرق المعالجة التي تعتمد على إزالة مكونات القشور ٥٧٩
- تعديل حالة المحلول لتحاشي الوصول إلى مرحلة فوق التشبع ٥٨٥
- تعديل طريقة تكون القشور ونموها (الإضافات المشرفية) ٥٨٨
- ترسيب القشور بعيدًا عن أسطح التبادل الحراري ٥٩١
- طرق تنظيف القشور ٥٩١
- ملاحظات ختامية ٥٩٣

الفصل الثالث عشر : التأكُّل **٥٩٥**
- أساسيات التأكل ٥٩٧
- التأكل في المياه الملحة ٦٢٩
- مراجع مختارة ٦٥٩

ملحق أ : الديناميكا الحرارية اللاانعكاسية لأغشية التناضح العكسي **٦٦١**

ملحق ب : ثبت المصطلحات **٦٧٩**
- عربي / إنجليزي ٦٨١
- إنجليزي / عربي ٦٩٤

المقـدمـة

تتزايد الحاجة المستمرة إلى الماء العذب فى أماكن شتى من عالمنا المعاصر ، ويرجع ذلك إما إلى نقص الموارد الأصلية للماء ،كما هو الحال فى وطننا العربى – الذى تمثل الصحراء فيه أكثر من تسعين فى المائة من مساحته – وإما إلى تلوث بعض مصادر المياه كالأنهار والمياه الجوفية فى بعض البلاد الصناعية . وقد أدت الحاجة إلى تطور سريع فى طرق إعذاب المياه الملحة كمياه البحر والآبار وكذلك فى طرق تنقية المياه .

وقد شهدت المملكة العربية السعودية في السنوات الأخيرة تطورا سريعا في مجالات الزراعة والتصنيع واكتشاف المعادن ، وتكوين مجتمعات حضارية فى أماكن جافة ، تحتاج إلى مياه عذبة غير متاحة بالمصادر الطبيعية . ولذا فقد باتت الحاجة ملحة لإعذاب ماء البحر من شواطئها ومن الماء الأخضم داخل أراضيها ، ولهذا أصبحت المملكة أكبر دول العالم إنتاجًا للمياه العذبة .

وإحساساً من جامعة الملك عبد العزيز بحاجة المملكة إلى مهندسين متخصصين في مجال إعذاب الماء ، يقومون بمتابعة التطور التقنى فى ذلك المجال وفى تصميم المحطات القائمة لإعذاب الماء وتشغيلها وتطويرها ، فقد قام قسم الهندسة الحرارية بتقديم عدة مقررات دراسية فى مجال إعذاب الماء وإنشاء معامل متخصصة لها .

والكتاب الحالى هو محاولة لشرح الأسس الهندسية والعلمية التى ترتبط بعمليات إعذاب الماء بصورة تناسب الطلبة الدارسين لدرجة البكالوريوس والذين لاتكفيهم الدراسة التوصيفية للموضوع – بدون الرجوع إلى الأصول الهندسية والعلمية له – والتى قدمت فى الكتب القليلة جدا المتاحة فى هذا المجال أو الدراسات المنشورة والمتخصصة فى نقاط متفرقة غير شاملة للموضوع فى بعض الكتب الأخرى (والنادرة أيضا) . والكتاب مأخوذ فى معظمه من مذكرات كتبها المؤلف الرئيس باللغة الإنجليزية لتدريس أحد مقررات الإعذاب بكلية الهندسة بجامعة الملك عبدالعزيز ، والمزمع نشرها فى كتاب باللغة الإنجليزية . وإحساسًا بحاجة مهندسى المنطقة العربية المشتغلين بهذا المجال ، إعذاب الماء الملح ، أو المجالات الأخرى ذات العلاقة بأسس إعذاب الماء ، مثل تنقية المياه

الصناعية أو تحضير المياه النقية جدا ومعالجة مياه الأنهار أو الجداول أو مياه الصرف لإعادة استعمالها – إحساسًا بحاجتهم إلى كتاب بلغتهم ، فقد فضلنا أن نبدأ بنشر هذا الكتاب كأول كتاب متخصص فى ذلك المجال باللغة العربية .

وقد قام المؤلف الرئيس للكتاب الدكتور محمد على درويش ، بتأليف الأجزاء الآتية :

١ – طرق الإعذاب بالتقطير المتعدد التأثير ، التقطير بالبخر الومضى المتعدد المراحل ، التقطير بانضغاط البخار ، ومحطات الإعذاب بالتقطير والمرتبطة بمحطات إنتاج الطاقة .

٢ – طرق الإعذاب بالأغشية وتشمل الإعذاب بالتناضح العكسى والإعذاب بالديلزة الكهربائية .

٣ – أسس الديناميكا الحرارية المرتبطة بعمليات الإعذاب ودور الإعذاب فى حل مشكلة المياه .

كما قام الدكتور مصطفى محمد السيد بتأليف الفصل الخاص بإعذاب المياه بالطاقة الشمسية ، بالإضافة إلى تعريب الفصل الثالث من أصل المذكرات باللغة الإنجليزية للمؤلف الرئيس وكذلك تحرير وإعداد أصول الكتاب ورسوماته .

وقد قام الدكتور عبدالوهاب عبدالرازق السيد بتأليف الفصول المتعلقة بكيمياء الماء وترسيب القشور والتحكم فيها والتأكّل (الفصول من العاشر إلى الثالث عشر) .

هذا وقد قام الدكتور سمير السيد على بترجمة الفصول الثانى والثامن والتاسع عن المذكرات الأصلية باللغة الإنجليزية للمؤلف الرئيس كما قام بإجراء مراجعة الكتاب الخاصه بالطباعة .

ونأمل أن يسد هذا الكتاب جزءًا من الحاجة الماسة التى يحتاج إليها إعذاب المياه والعاملون فى هذا المجال . على أنه ينبغى التنويه بأن ضيق الوقت والحجم لم يسمحا بأن يكون هذا الكتاب جامعا شاملا للموضوع ولعلنا نستدرك ذلك فى كتاب آخر يلقى مزيدا من الضوء على الموضوع .

ويود المؤلف الرئيس أن يشكر جامعة الملك عبدالعزيز على تكليفه بإعداد مقررات ومعامل الإعذاب وتدريس هذا المجال بالجامعة . كما يشكر بعض الأساتذة العاملين فى هذا المجال مثل الدكتور محمد فؤاد الفولى الذى له فضل التوجيه إلى هذا المجال ، والدكتور عصام عبدالغفور الذى قام بتوفير الكثير من التقارير الفنية المتعلقة بالموضوع . كما يود المؤلفون أن يتوجهوا بالشكر إلى جامعة الملك عبدالعزيز على المساهمة المادية فى إخراج هذا الكتاب كما يشكر المؤلفون السيد فرحات مصطفى ، على قيامه بإعداد أصول الكتاب وإجراء الكثير من التصحيحات والسادة محمد شكرى جلال وعبدالسلام محمد خضير ، على إعداد رسومات الكتاب بدقة وتمير .

على أن الحمد والشكر لله أولا وأخيرا أن أعاننا على إنهاء هذا الكتاب ، ونسألة تعالى أن ينفع به العاملين فى هذا المجال الحيوى فى تلك المنطقة .

المؤلفـون

جـــــدة
محرم ١٤٠٤هـ - ديسمبر ١٩٨٣م