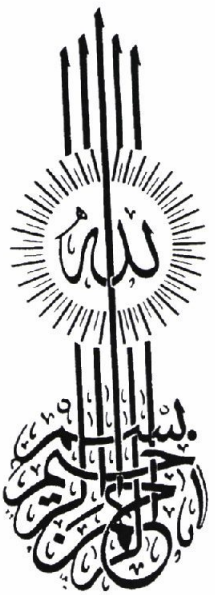
بسم الله الرحمن الرحيم

العمليات المتكاملة
في
التصنيع الغذائي

تأليف

آر. إل. إيرل
جامعة ماسي - نيوزيلندا

ترجمة

الدكتور علي إبراهيم بوكر حوباني
أستاذ مشارك

الدكتور بكري حسين حسن
أستاذ مشارك

قسم الهندسة الزراعية - كلية الزراعة
جامعة الملك سعود

النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص. ب ٦٨٩٥٣ الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية

ح جامعة الملك سعود، ١٤٢٩هـ (٢٠٠٨م)

الطبعة الاولى : ١٤٢٠هـ (٢٠٠٠م)
الطبعة الثانية : ١٤٢٩هـ (٢٠٠٨م)
هذه ترجمة عربية مصرح بها من مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Unit Operations in Food Processing (Second Edition), by R.L. Earle. 1992, Pergamon Press, Oxford

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

إيرل . آر . إل
العمليات المتكاملة في التصنيع الغذائي./ آر . إل إيرل ؛ علي ابراهيم بوكر حوباني ؛ بكري حسين حسن — ط٢ - الرياض ، ١٤٢٩ هـ
٥٨٠ص ؛ ١٧ × ٢٤ سم
ردمك : ٣-٣٨٦- ٥٥ - ٩٩٦٠ - ٩٧٨
١- الصناعات الغذائية أ- حوباني ، علي ابراهيم بوكر(مترجم) ب- حسن ، بكري حسين (مترجم) ج- العنوان
ديوي ٦٤٤,٠٢٤ ١٤٢٩ / ٥٦٩٩

رقم الإيداع : ٥٦٩٩ / ١٤٢٩ هـ
ردمك : ٣-٣٨٦ — ٥٥ — ٩٩٦٠ - ٩٧٨

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكّلها المجلس العلمي بالجامعة ، وقد وافق على نشره بعد اطلاعه على تقارير المحكمين - في اجتماعه الخامس عشر للعام الدراسي ١٤١٧ / ١٤١٨هـ المعقود بتاريخ ١٤١٧/١١/٢٣هـ الموافق ١٩٩٧/٤/١١ م . ثم وافق المجلس على إعادة طباعته في اجتماعه الحادي والعشرين للعام الدراسي ١٤٢٨/١٤٢٩هـ الذي المعقود بتاريخ ١٤٢٩/٧/٦هـ الموافق ٢٠٠٨/٧/٩م .

النشر العلمي والمطابع ١٤٢٩هـ

شكر وتقدير

يتقدم المترجمان بجزيل الشكر للمهندس الزراعي جمال سعد السبكي المعيد بقسم الهندسة الزراعية بكلية الزراعة جامعة الملك سعود على الجهد المتميز الذي بذله في طباعة مسودة هذا الكتاب على الحاسوب. وكذلك المهندس الزراعي إبراهيم سليمان طبش المعيد بنفس القسم على ما بذله من جهد في طباعة بيانات أشكال الكتاب.

المترجمان

مقدمة المترجمين للطبعة الثانية

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله نبينا محمد وعلى آله وصحبه ... أما بعد:

فهذه هي الطبعة الثانية للترجمة العربية "العمليات المتكاملة في التصنيع الغذائي" لكتاب "Operations in Food Processing" وكانت الطبعة الأولى قد صدرت في عام ١٤٢٠هـ (٢٠٠٠).

هذا ونظراً إلى ندرة الكتب باللغة العربية في مجال هندسة التصنيع الغذائي إضافة إلى عائق اللغة يجعل من التعريب في هذا المجال أمراً بالغ الأهمية. وعليه تأتي الطبعة الثانية وهي لا تختلف عن الطبعة الأولى إسهاماً منا في توفير العديد من المراجع العربية في تخصصات الهندسة الزراعية المختلفة.

يقدم هذا الكتاب معلومات عن العمليات المتكاملة المختلفة في ثلاثة عشر فصلاً تولى **الأستاذ الدكتور علي بن إبراهيم بوكر حوباني** ترجمة الفصول: الأول والثالث والرابع والتاسع والعاشر والحادي عشر والثاني عشر، في حين تولى **الأستاذ الدكتور بكري بن حسين حسن** ترجمة الفصول: الثاني والخامس والسادس والسابع والثامن والثالث عشر، وكان الجهد متكافئاً في ترجمة الأجزاء الأخرى من الكتاب، إضافة إلى إنجاز المراجعة الدقيقة لجميع الفصول التي تمت ترجمتها.

آملين أن نكون قد وفقنا في ترجمة هذا الكتاب على الوجه الذي يرضي الله سبحانه وتعالى أولاً ثم جميع الطلبة والعاملين والمهتمين في مجال هندسة التصنيع الغذائي والله نسأل أن يوفق الجميع لما يحبه ويرضاه، ،،

الاثنين، ٢١ جمادى الأولى ١٤٢٩هـ

المترجمان

مقدمة المترجمين

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين، سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين، وبعد، فهذه ترجمة عربية لأحد الكتب المتميزة في مجال هندسة التصنيع الغذائي والتي نأمل أن تكون عونا للطلاب في جامعاتنا العربية على امتداد عالمنا العربي.

ويأتي هذا الكتاب تعزيزا لإسهامنا في الجهود الرامية إلى توفير العديد من المراجع العربية في تخصصات الهندسة الزراعية المختلفة، حيث سبقت هذه الترجمة ترجمة أخرى لكتاب هندسة تصنيع الأغذية، تأليف دينيس آر. هيلدمان وآر. بول سينج.

ولقد تولى الدكتور **علي بن إبراهيم بوكر حوباني** ترجمة الفصول: الأول والثالث والرابع والتاسع والعاشر والحادي عشر والثاني عشر، بينما تولى **الدكتور بكري بن حسين حسن** ترجمة الفصول: الثاني والخامس والسادس والسابع والثامن والثالث عشر، وكان الجهد المبذول متكافئا في ترجمة الأجزاء الأخرى من الكتاب، إضافة إلى إنجاز المراجعة العلمية الدقيقة لجميع الفصول التي تمت ترجمتها.

ومع سعادتنا بإكمال ترجمة هذا الكتاب الواسع التداول في عدد من الجامعات العالمية المرموقة، نأمل أن تعم فائدته بين المهتمين بمجال هندسة التصنيع الغذائي في عالمنا العربي طلابا جامعيين ومهندسين وتقنيين.

المترجمان

مقدمة المؤلف للطبعة الثانية

على مدى السنوات القليلة الماضية كان هناك توجه عام نحو استخدام النظام العالمي للوحدات، وعزز ذلك من أهمية تعريف طلاب هندسة التصنيع الغذائي بهذا النظام، ومن ثم كان ذلك يعني ضرورة إجراء مراجعة رئيسة إذا ماتعين تغيير أساس الكتاب إلى وحدات النظام العالمي، مما أدى إلى انتهاز هذه الفرصة السانحة لتجديد المتن. ولقد أثيرت عدة ملاحظات من قبل كثيرين من أجزاء مختلفة من العالم تقترح إجراء إضافات أو تعديلات شعروا بأنها ستؤدي إلى تحسينات. ولقد تم أخذها في الاعتبار بعناية وتم انتهاز الفرصة لتضمين العديد منها أثناء مراجعة المتن. والجزء الخاص بموازين المادة والطاقة تم التوسع فيه نظرا لأهميته البالغة للتقنيين. وتم تضمين إضافات أكثر في التبريد وقياسات الرطوبة (السيكروميترية). وبما أن الأمثلة مهمة جدًا لسرعة الفهم والاستيعاب اللازم للعمليات المتكاملة، فقد تم إضافة أمثلة محلولة لتعزيز ذلك، وتم التأكيد مرة أخرى أن يتم النظر إليها كجزء تكاملي للمتن. إضافة لذلك، فقد تم إضافة عدد من المسائل في نهاية كل فصل كتمارين للطلاب.

تم المحافظة على مستوى الكتاب لما يمكن اعتباره حدا أدنى مقبولاً لتقنيي الغذاء المهتمين بوحدات التصنيع وأجهزتها. إضافة لذلك فإن الانتشار الواسع جدا للطبعة الأولى نبه إلى الحاجة الماسة لكتب عند هذا المستوى تقريباً، ولولا ذلك لما كانت هناك حاجة لإعداد طبعة أخرى. أما أولئك الذين يتمنون أن يصبحوا إخصائيين في الهندسة الغذائية فإنهم سيحتاجون إلى دراسة هذا الموضوع بعمق أكثر، ولحسن الحظ هناك الآن عديد من الكتب المتوافرة لتحقيق ذلك.

وأخيرا أتقدم بجزيل الشكر لجميع الذين أبدوا ملاحظاتهم واقتراحاتهم، وأشاروا إلى الأخطاء والنواقص، وإلى أولئك المهتمين بهذا المجال في الجامعة وفي الصناعة الذين تقدموا بمشاركات شخصية. وهناك عدد كبير من الناس يصعب حصرهم جميعا، ولكن أذكر على وجه الخصوص الدكتور جي. آر. روسينو (Dr. J.R. Rosenau) الذي بعث لي بنسخة مصححة بخط يده ومدونة عليها اقتراحاته وتصويباته التي استدعت الاهتمام بها وأخذها في الاعتبار. وقد ساعد الدكتور بول جيلين (Dr. Paul Jelen) بشكل كبير بتشجيعه لعملية المراجعة، وقراءته للمسودة وتسجيله للملاحظاته، إضافة إلى التنسيق مع قسم علوم الأغذية بجامعة البرتا ومجلس كندا، لتوفير الوسائل المتاحة التي بوشر فيها الجزء الأكبر من المراجعة.

وفيما يتعلق بعمليات الطباعة والمراجعة والنشر، فأنا مدين لأولئك الذين ساعدوا في الطباعة في كندا ونيوزيلندا وأولئك العاملين في مطابع بيرجامون الذين شاركوا في التجهيز والإنتاج، كذلك لأولئك الذين وفروا المواد اللازمة لإعادة الإنتاج.

وكما ذكرت في الطبعة السابقة من هذا الكتاب فإن زوجتي، الدكتورة ماري إيرل (Dr. Mary Earle)، قد ساعدت بصورة ملموسة بالملاحظات والتصحيح لتجارب الطبع، وشاركت في كل جانب ارتبط بهذه الطبعة الجديدة. وإجمالاً، فإن تشجيعها لي أدى إلى اكتمال هذا الكتاب.

المؤلف

المحتويات

الصفحة

شكر وتقدير ..... هـ
مقدمة المترجمين الطبعة الثانية ..... ز
مقدمة المترجمين ..... ط
مقدمة المؤلف للطبعة الثانية ..... ك

الفصل الأول : المقدمة

طريقة دراسة هندسة التصنيع الغذائي ١
القواعد الأساسية لهندسةالتصنيع الغذائي ٢
بقاء الكتلة والطاقة ٤
نظرة إجمالية لعملية هندسية ٦
الأبعاد والوحدات ٧
الأبعاد ٧
الوحدات ٨
التناسق البُعدي ١٠
تناسق الوحدات ١٠
النسب اللابعدية ١٥
الدقة في القياس ١٧
الخلاصة ١٨
تمارين على الفصل الأول ١٨

الفصل الثاني: اتزانات المادة والطاقة

قواعد أساسية ٢٢
اتزانات المادة ٢٤
القاعدة والوحدات ٢٥
أنواع حالات العمليات ٣٢
التخطيط ٣٩
اتزانات الطاقة ٤٣
اتزانات الحرارة ٤٤
أشكال الطاقة الأخرى ٥٢
الخلاصة ٥٤
تمارين على الفصل الثاني ٥٥

الفصل الثالث: نظرية سريان الموائع

استاتيكا الموائع ٦٢
ديناميكا الموائع ٦٧
اتزان الكتلة ٦٨
اتزان الطاقة ٧١
معادلة بيرنولي ٧٤
اللزوجة ٨٢
الموائع النيوتونية وغير النيوتونية ٨٥
السريان الرقائقي والمضطرب ٨٦
فواقد الطاقة في السريان ٩٠
الاحتكاك في الأنابيب ٩٠
فواقد الطاقة في الأكواع وقطع التركيب ٩٥
هبوط الضغوط خلال الأجهزة ٩٧
الأطوال المكافئة للأنابيب ٩٨

تأثيرات الانضغاطية للغازات ٩٨
حسابات هبوط الضغط في أنظمة السريان ٩٩
الخلاصة ٩٩
تمارين على الفصل الثالث ١٠٠

الفصل الرابع: تطبيقات على سريان الموائع

قياس الضغط في الموائع ١٠٣
قياس السرعة ١٠٦
المضخات والمراوح ١١٠
المضخات ذات الإزاحة الموجبة ١١١
المضخات النافورية ١١١
مضخات الرفع بالهواء ١١٢
المضخات المروحية والمراوح الريشية ١١٣
المضخات والمراوح الطاردة المركزية ١١٣
الخلاصة ١١٨
تمارين على الفصل الرابع ١١٨

الفصل الخامس : نظرية الانتقال الحراري

التوصيل الحراري ١٢٣
الموصلية الحرارية ١٢٤
التوصيل خلال لوح ١٢٥
المواصلات الحرارية ١٢٦
المواصلات الحرارية على التوالي ١٢٧
المواصلات الحرارية على التوازي ١٣١
انتقال الحرارة السطحي ١٣٢
الانتقال الحراري في الحالة غير المستقرة (العابر) ١٣٥
انتقال الحرارة بالإشعاع ١٤٢

الإشعاع بين جسمين ١٤٤
الإشعاع لجسم صغير من محيطه المكتنف ١٤٤
انتقال الحرارة بالحمل ١٤٧
الحمل الطبيعي ١٤٧
معادلات انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي ١٤٩
الحمل المدفوع (القسري) ١٥٢
معادلات الحمل المدفوع ١٥٣
المعاملات الكلية لانتقال الحرارة ١٥٨
انتقال الحرارة من الأبخرة المتكثفة ١٦١
انتقال الحرارة لسوائل في حالة الغليان ١٦٣
الخلاصة ١٦٤
تمارين على الفصل الخامس ١٦٥

الفصل السادس: تطبيقات الانتقال الحراري

المبادلات الحرارية ١٦٩
المبادلات الحرارية ذات السريان المستمر ١٦٩
الأوعية المزدوجة الجدار ١٧٦
ملفات التسخين المغمورة في السوائل ١٨٠
المبادلات الحرارية ذات السطح المكشوط ١٨٠
المبادلات الحرارية اللوحية ١٨١
المعاملة الحرارية ١٨١
زمن الموت أو القتل الحراري ١٨٢
قدرة القتل المكافئة عند درجات حرارة أخرى ١٨٦
البسترة ١٩١
التبريد والتبريد المفاجىء والتجميد ١٩٥
دورة التبريد ١٩٥
خصائص الأداء ٢٠٤

موائع التبريد (غازات أو سوائل) ٢٠٥
الأجهزة الميكانيكية ٢٠٦
المبخر ٢٠٧
التبريد المفاجىء ٢١٠
التجميد ٢١٢
التخزين المبرد ٢٢١
الخلاصة ٢٢١
تمارين على الفصل السادس ٢٢٣

الفصل السابع: التجفيف

النظرية الأساسية للتجفيف ٢٢٨
ثلاث حالات للماء ٢٢٨
الاحتياجات الحرارية للتبخير ٢٣١
انتقال الحرارة في التجفيف ٢٣٤
كفاءات المجفف ٢٣٦
انتقال الكتلة في التجفيف ٢٣٩
قياسات الرطوبة ٢٤٠
درجات حرارة البُصيلة المبللة (درجات الحرارة الرطبة) ٢٤٣
خرائط قياسات الرطوبة (الخرائط السيكروميترية) ٢٤٤
قياسات الرطوبة ٢٥٢
المحتوى الرطوبي المتوازن ٢٥٣
التجفيف بالهواء ٢٥٥
حسابات معدلات التجفيف الثابتة ٢٥٨
تجفيف المعدل المتناقص (الهابط) ٢٦٣
حسابات زمن التجفيف ٢٦٤

التجفيف بالتوصيل ٢٦٨
أجهزة التجفيف ٢٧١
مجففات الصواني ٢٧١
مجففات الأنفاق ٢٧١
مجففات الأسطوانات أو الدارات ٢٧٢
مجففات المرقد المُميع ٢٧٢
مجففات الرذاذ (الرش) ٢٧٢
المجففات التي تعمل بالهواء المضغوط ٢٧٣
المجففات الدوارة ٢٧٣
المجففات الحوضية ٢٧٣
المجففات الصندوقية ٢٧٣
مجففات السيور ٢٧٤
مجففات التفريغ ٢٧٤
مجففات التجفيف بالتجميد (المجفدات) ٢٧٤
الفقد الرطوبي في المجمدات والبرادات ٢٧٦
الخلاصة ٢٧٧
تمارين على الفصل السابع ٢٧٨

الفصل الثامن: التبخير

المبخر مفرد التأثير ٢٨٢
بخير تحت التفريغ ٢٨٤
الانتقال الحراري في المبخرات ٢٨٤
المكثفات ٢٨٧
التبخير متعدد التأثير ٢٨٩
تغذية المبخرات متعددة التأثير ٢٩١
فوائد المبخرات متعددة التأثير ٢٩٢
إعادة انضغاط (كبس) البخار ٢٩٧

ارتفاع نقطة الغليان ٢٩٨
تبخير المواد الحساسة للحرارة ٣٠١
أجهزة التبخير ٣٠٣
الأحواض المسطحة المفتوحة ٣٠٣
مبخرات الأنبوب الأفقي ٣٠٣
مبخرات الأنبوب الرأسي ٣٠٣
المبخرات اللوحية ٣٠٤
مبخرات الأنبوب الطويل ٣٠٥
مبخرات الدوران القسري ٣٠٥
التبخير للسوائل الحساسة للحرارة ٣٠٦
الخلاصة ٣٠٧
تمارين على الفصل الثامن ٣٠٨

الفصل التاسع: عمليات الفصل بالاتزان التلامسي

الجزء الأول: النظري ٣١٣
التراكيز ٣١٣
توازنات الغازات مع السوائل ٣١٧
توازنات المواد الصلبة مع السوائل ٣١٩
علاقات التراكيز المتوازنة ٣٢٠
ظروف التشغيل ٣٢٢
حسابات الفصل في عمليات الاتزان التلامسي ٣٢٣
الجزء الثاني: التطبيقات ٣٢٧
امتصاص الغاز ٣٢٧
معدل امتصاص الغازات ٣٢٨
امتصاص الغاز المتوازن على مراحل ٣٣٠
أجهزة امتصاص الغاز ٣٣٢

الاستخلاص والغسل ٣٣٣
معدل الاستخلاص ٣٣٤
الاستخلاص المتوازن على مراحل ٣٣٥
الغسل ٣٤٢
أجهزة الاستخلاص والغسل ٣٤٥
التبلور ٣٤٧
اتزان التبلور ٣٤٨
معدل نمو البلورات ٣٥٣
اتزان التبلور في المرحلة ٣٥٥
أجهزة التبلور ٣٥٧
عمليات الفصل الغشائي ٣٥٩
معدل السريان خلال الأغشية ٣٦٠
أجهزة الفصل الغشائي ٣٦٤
التقطير ٣٦٧
التقطير بالبخار ٣٧١
التقطير تحت التفريغ ٣٧٣
التقطير المتقطع (على دُفعات) ٣٧٣
أجهزة التقطير ٣٧٤
الخلاصة ٣٧٦
تمارين على الفصل التاسع ٣٧٦

الفصل العاشر: عمليات الفصل الميكانيكي

سرعة الأجسام المتحركة في مائع ٣٨٠
الترسيب ٣٨١
ترسيب الجُسيمات في سائل بواسطة فعل الجاذبية الأرضية ٣٨٤
ترسيب الجُسيمات في غاز ٣٨٧
الترسيب تحت تأثير قُوى مشتركة ٣٨٧

عمليات الفصل باستخدام الطرد المركزي ٣٩١
معدل الفصل ٣٩٣
فصل السوائل ٣٩٥
أجهزة الفصل بالطرد المركزي ٣٩٨
الترشيح ٤٠١
الترشيح بمعدل ثابت ٤٠٣
الترشيح عند ضغط ثابت ٤٠٤
انضغاطية كعكة الترشيح ٤٠٨
أجهزة الترشيح ٤٠٩
عملية النخل ٤١٣
الخلاصة ٤١٧
تمارين على الفصل العاشر ٤١٨

الفصل الحادي عشر: تصغير الحجم

عمليات الطحن والقطع ٤٢٣
الطاقة المستعملة في عملية الطحن ٤٢٤
الأسطح الجديدة المتكونة نتيجة عملية الطحن ٤٢٨
أجهزة الطحن ٤٣٠
الاستحلاب ٤٣٤
إعداد المستحلبات ٤٣٥
الخلاصة ٤٣٧
تمارين على الفصل الحادي عشر ٤٣٨

الفصل الثاني عشر: الخلط

خصائص المخاليط ٤٤١
قياسات الخلط ٤٤٢
خلط الجُسيمات ٤٤٥

خلط الكميات كثيرة الاختلاف ٤٤٧
معدلات الخلط ٤٤٨
الطاقة المبذولة في الخلط ٤٥٠
خلط السوائل ٤٥٢
أجهزة الخلط ٤٥٦
خلاطات السوائل ٤٥٦
خلاطات المساحيق والجُسيمات ٤٥٧
خلاطات العجين والعجائن ٤٥٧
الخلاصة ٤٥٩
تمارين على الفصل الثاني عشر ٤٥٩

الفصل الثالث عشر: بعض التطبيقات الهندسية لهندسة التصنيع الغذائي في الصناعات الغذائية

صناعة اللحوم ٤٦٢
اتزانات المادة والطاقة ٤٦٢
سريان الموائع ٤٦٣
انتقال الحرارة ٤٦٣
التبخير ٤٦٣
التجفيف ٤٦٣
عمليات الفصل بالاتزان التلامسي ٤٦٤
عمليات الفصل الميكانيكي ٤٦٤
تصغير الحجم ٤٦٥
الخلط ٤٦٥
صناعة منتجات الألبان ٤٦٥
اتزانات المادة والطاقة ٤٦٦
سريان الموائع ٤٦٦
انتقال الحرارة ٤٦٦

التجفيف ٤٦٧
التبخير ٤٦٧
عمليات الفصل بالاتزان التلامسي ٤٦٧
عمليات الفصل الميكانيكي ٤٦٨
تصغير الحجم ٤٦٨
الخلط ٤٦٩

الملاحق

الملحق رقم (١) الرموز ، الوحدات والأبعاد ٤٧١
الملحق رقم (٢) الوحدات ومعاملات التحويل ٤٧٧
الملحق رقم (٣) بعض خواص الغازات ٤٧٩
الملحق رقم (٤) بعض خواص السوائل ٤٨٠
الملحق رقم (٥) بعض خواص المواد الصلبة ٤٨١
الملحق رقم (٦) بعض خواص الهواء والماء ٤٨٢
الملحق رقم (٧) بيانات حرارية لبعض المنتجات الغذائية ٤٨٣
الملحق رقم (٨) جدول خواص البخار - البخار المشبع ٤٨٥
الملحق رقم (٩) خرائط قياسات الرطوبة (الخرائط السيكروميترية) ٤٨٩
الملحق رقم (١٠) المناخل القياسية ٤٩١
الملحق رقم (١١) خرائط الضغط والمحتوى الحراري لموائع التبريد ٤٩٢

المراجع

المراجع ٤٩٥
قائمة المراجع ٤٩٧

ثبت المصطلحات العلمية

أولاً : عربي - إنجليزي ٥٠١
ثانيًا : إنجليزي - عربي ٥٣١
كشاف الموضوعات ٥٦٣