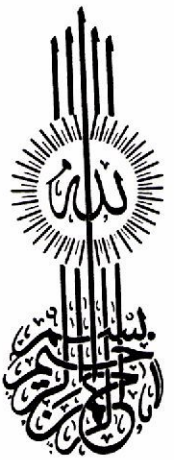
بسم الله الرحمن الرحيم

أساسيات فيزياء التربة

تأليف

دانيل هليل

قسم علوم النبات والتربة - جامعة ماسيشيوسيتز

أميرست - ماسيشيوسيتز، الولايات المتحدة الأمريكية

ترجمة

الدكتور علي بن محمد تركي الدربي

أستاذ فيزياء التربة - قسم علوم التربة ـ كلية الزراعة

جامعة الملك سعود ـ الرياض ـ المملكة العربية السعودية

مراجعة

الدكتور يحيى زكريا الشافعي

أستاذ فيزياء التربة والري - قسم الأراضي والمياه ـ كلية الزراعة

جامعة الإسكندرية ـ جمهورية مصر العربية

إصدار: النشر و المطابع ـ جامعة الملك سعود

ص.ب. : ٢٤٥٤ ـ الرياض ١١٤٥١ ـ المملكة العربية السعودية

ⓒ ١٤١٦هـ (١٩٩٥م) جامعة الملك سعود

هذه ترجمة عربية مصرح بها لـ

This translation of:
"Fundamentals of Soil Physics"
By: Daniel Hillel
Copyright © 1980, by ACADEMIC PRESS, INC.
Translation Copyright © 1996 by: King Saud University
All rights reserved

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
هليل، دانيل

أساسيات فيزياء التربة/ ترجمة علي بن محمد تركي الدربي، الرياض.
٦١٧ ص، ١٧×٢٤ سم
ردمك ٤ - ٤٣١ - ٠٥ - ٩٩٦٠ (جلد)
٢ - ٤٣٢ - ٠٥ - ٩٩٦٠ (غلاف)

١ - فيزياء التربة أ- الدربي، علي محمد تركي (مترجم) ب- العنوان

ديوي ٦٣١,٤٣ ١٧/٠٦٨٠

رقم الإيداع: ١٧/ ٠٦٨٠
ردمك: ٤-٤٣١-٠٥-٩٩٦٠(جلد)
٢-٤٣٢-٠٥-٩٩٦٠(غلاف)

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس على نشره في اجتماعه الثالث للعام الدراسي ١٤١٤/ ١٤١٥هـ المعقود في ٢٤/ ٤/ ١٤١٤هـ الموافق ١٠/ ١٠/ ١٩٩٣م.

مطابع جامعة الملك سعود ١٤١٧هـ

إهـــداء

إلى الذين يؤمنون بربانية رسالة السماء إلى الأرض وعالمية وشمولية منهج الله للبشر قاطبة . . .

ويوقنون أن إرادة الله تخلق كل حادث وتدبر كل حركة وتحيط بكل أمر وأن قدر الله متعلق بكل ظاهرة وخافية في هذا الكون . . .

وإلى الذين يدعون الناس جميعهم إلى كلمة حق وشهادة صدق وموقف عدل . . .

﴿ قُلْ يَا أَهْلَ الْكِتَابِ تَعَالَوْا إِلَىٰ كَلِمَةٍ سَوَاءٍ بَيْنَنَا وَبَيْنَكُمْ أَلَّا نَعْبُدَ إِلَّا اللَّهَ وَلَا نُشْرِكَ بِهِ شَيْئًا وَلَا يَتَّخِذَ بَعْضُنَا بَعْضًا أَرْبَابًا مِّن دُونِ اللَّهِ ۚ فَإِن تَوَلَّوْا فَقُولُوا اشْهَدُوا بِأَنَّا مُسْلِمُونَ ﴾

سورة آل عمران آية رقم ٦٤

* المترجم : إهداءٌ عامٌ عوضاً عن الإهداء الشخصي لمؤلف الكتاب .

شكر وتقدير من المترجم

يود المترجم التعبير عن عميق شكره وتقديره لمركز الترجمة بجامعة الملك سعود لتفضله بالسعي لدى ناشر هذا الكتاب للحصول على موافقته على ترجمته وطبعه على نفقة جامعة الملك سعود، فلهم مني جميعًا خالص الشكر والتقدير. كما يعرب المترجم عن جزيل شكره وتقديره لسعادة الدكتور/ يحيى زكريا الشافعي - أستاذ فيزياء التربة والريّ بقسم الأراضي والمياه - كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية (المعار حاليًا لجامعة الملك سعود) على مراجعته العلمية القيِّمة لترجمة هذا الكتاب، كما يود أن يشكر كل من أسهم بشكل مباشر أو غير مباشر في إخراج هذه الترجمة بشكلها الحالي، وأخص بالشكر والتقدير الأستاذ مرسي مصطفى مرسي - المعيد بقسم علوم التربة- كلية الزراعة- جامعة الملك سعود لإسهاماته المتميزة والمهمة بمتابعته المستمرة ومراجعته الدائمة لمسوَّدة ترجمة هذا الكتاب في مراحلها المختلفة، فلقد كان لتصويباته اللغوية القيِّمة الفضل في تحسين لغة الترجمة. كما أتقدم بالشكر والتقدير للدكتور عادل أبوشعيشع شلبي والأستاذ علي العتروالأستاذ محمد عثمان محجوب على ما أسهموا به من جهد في المساعدة في مراجعة مسوَّدة هذه الترجمة. كما أشكر الدكتور مصطفى حسين المراجع اللغوي على مجهوده المتميز في تصحيح لغة هذا الكتاب. وكذلك أقدم شكري للسيد عمر أبو العسل والسيد محمد أحمد جبر السيد والسيد حسن الشهراني على طباعتهم المتأنية لمسوَّدة هذه الترجمة. ولاأنسى أن أتقدم بالشكر والتقدير إلى زوجتي العزيزة، التي كانت عونًا ومشجعًا لي لإخراج هذا العمل وجميع أعمالي. هذا وقبل كل ذلك أحمد الله وأشكره أن منحني الصحة والعافية لإكمال هذا العمل وأرجو أن يكون خالصًا لوجهه وأن ينفع الله به الإسلام والمسلمين.

المترجم

الرياض ٢/ ١٢/ ١٤١٣هـ (٢٣/ ٥/ ١٩٩٣م)

مقدمة المترجم

بدأ المسلمون قديمًا نهضتهم العلمية بالقراءة والاطلاع والترجمة للتراث العلمي والأدبي لمن سبقهم من الأمم. وكان بيت الحكمة في بغداد يعج بالباحثين والمترجمين للعديد من العلوم والمعارف. واستمرت تلك الحركة العلمية في النموّ والازدهار ثم تُوّجت بالبحث والتأليف الأصيل حتى أصبح المسلمون هم الأوائل في شتى العلوم ولحقب طويلة. ولكن في القرون الحديثة تقاعس المسلمون - والعرب بخاصة - عن هذا الدور الريادي مما أدى إلى تطور ونشوء علوم حديثة لم تكن معلومة من قبل ترعرعت ونمت في بيئة أجنبية وبلغات أجنبية. ومن أجل مواكبة هذه الحركة العلمية كان لابد من ترجمة العلوم والمعارف الحديثة وتعريبها لسدّ النقص وإتاحة الفرصة للاطلاع على أفضل المؤلفات في العلوم والمعارف المختلفة. لعل ذلك يكون منطلق نهضة علمية حديثة نستعيد بها دورنا الريادي مرة أخرى.

واستشعارًا لهذه الحقيقة والتزامًا بهذه المسؤولية أتقدم بهذا الكتاب الذي أضع ترجمته في متناول طلبةالعلوم الزراعية والهندسية والبيئية، المهتمين بدراسة التربة وعلاقاتها الفيزيائية، فهو واحد من أفضل الكتب المؤلفة في هذا المجال. وقد ذكر المؤلف في مقدمته قاصدًا به تلبية الحاجة إلى مرجع للمستويات الجامعية العالية في فيزياء التربة لطلاب العلوم الزراعية والهندسية والبيئية. ويعتبر الكتاب محاولة شاملة للتعرف على أساسيات فيزياء التربة شاملةً علاقات التربة والماء، وخواص الطين، وبناء التربة، وتهوية التربة، وميكانيكية وانسيابية التربة، وحركة الأملاح. وكل موضوع في هذا الكتاب يحتوى على الحد الأدنى من الرياضيات لكي يحقق أقصى فهم واستيعاب ممكن من قبل القراء المعنيين بالعلوم الزراعية والبيئية.

هذا واحب أن أشير هنا إلى أنه قد تم حذف الأقوال المأثورة المقتبسة التي وردت في بداية كل فصل وذلك لأن مضمون بعضها قد يتنافى مع العقيدة الإسلامية الصحيحة. علمًا بأن هذا الحذف لن يخلَّ بالمحتوى العلمي للكتاب.

وأخيرًا آمل أن أكون قد وفقت في نقل محتوى الكتاب إلى اللغة العربية بأسلوب سهل ميسر، كما آمل أن تكون ترجمة هذا الكتاب إضافة ولو يسيرة إلى المكتبة العلميةً العربية ولدارسي فيزياء التربة بالذات. كما أرجو ان يلقى هذا الكتاب قبولا لدى قارئيه والذين آمل أن يزودونا بملاحظاتهم حوله.

والله من وراء القصد... وهو ولي التوفيق،،،

المترجم

الرياض ٢/ ١٢/ ١٤١٣هـ

الموافق ٢٣/ ٥/ ١٩٩٣م

شكر وتقدير من المؤلف

أتقدم بالشكر والتقدير للزملاء التالين الذين قرأوا وعلّقوا على أجزاء مختلفة من هذا الكتاب خلال مراحله الأولية وهم: الأساتذة جون بيكر John Baker، وألين بيكر Allen Baker، بيرنارد بيرجر Bernard Berger، وحاييم جينر Haim Gunner، وماك دراك Mack Drake، بالإضافة إلى تلميذي في الدراسات العليا ديفيد ليلاند David Leland من جامعة ماسيشيوسيتز Massachusetts؛ وإلى الأساتذة ديفيد الريك David Elrick من جامعة جولف Guelph University وبيتر ورينجا Peter Wierenga من جامعة ولاية نيومكسيكو New Mexico State University.

كما لا أحملهم أي مسؤولية عما بدا من قصور كبير في هذا الكتاب، فأنا الملوم الأول فيه. كما أشكر لليزا كوهن Lisa Cohn لطباعتها المتأنية لمخطوط هذا الكتاب. وأخيرا أود أن أعبّر عن شكري وتقديري إلى الرسّام الذي أعدّ الرسوم التوضيحية، والواقع أنه قد عمل عملاً شاقًا مقارنة بما عمله المؤلف في كتابة نص الكتاب. وعلى كل، ولأنه لايزال هاويًا ولايزال غير متأكد من جودة إنتاجه، فقد اختار بأن يبقى مجهولاً.

مقدمة المؤلف

في الأثر أن الملك الحكيم سليمان * Solomon، باستخدام الكاهن كاسم مستعار، لم يتوصل إلى استنتاجه الحزين الذي ينص على أنه «بالإضافة إلى ذلك، تجنب ياولدي عمل كتب كثيرة فليس هناك نهاية وكثرة الدراسة منهكة للجسد»، إلا عند بلوغه سن الشيخوخة، وإلا لربما حرمنا من "أغنية الأغنيات الفاتنة" التي اشتهر بها في شبابه ومن الحكم الحياتية التي عرف بها في سنى رشده.

وهذا الكتاب ليس، بأية حال، استخفافًا بنصائح الرجل الكهل الحكيم، فهو ليس كتابًا جديدًا بأكمله. وهوعلى الأصح ثمرة للبحث السابق، المكتوب منذ عقد مضى، والمعنون بـ(التربة والماء: الأسس الفيزيائية والعمليات).

ومع أن ذلك الكتاب قد استُقبل استقبالاً حسنًا بما فيه الكفاية في زمنه، فإن مرور السنوات قد حتّمت ضرورة تنقيحه وتحديثه، أو إبداله بأسلوب جديد على هيئة كتاب جديد قد يشتمل على موضوعات ذات صلة وثيقة بسلفه دون ضرورة التقيّد بهيئة الكتاب القديم أو وجهة نظره.

وبعد التشاور، قررتُ اتّباع الطريق الثاني. ولعمل ذلك، فقد اجتهدت في توسيع مجال الكتاب، وذلك ليشمل عددًا من الموضوعات التي حُذفت أو تناولت

---

* المترجم: ورد ذكر النبي سليمان على رسولنا وعليه أفضل الصلاة والسلام في القرآن الكريم في سبع عشرة آية، وفي كثير من هذه الآيات قُرن ذكره بالعلم والحكمة منها على سبيل المثال:

﴿وَلَقَد آتَينَا دَاوُدَ وَسُلَيمَانَ علمًا . . . .﴾ سورة النمل آية رقم ١٥.

﴿فَفَهَّمنَاها سُلَيمَانَ وَكُلاً آتَينَا حُكمًا وَعلمًا . . . .﴾ سورة الأنبياء آية رقم ٧٩.

بسطحية في الكتاب الأصلي، مثل خواصّ الطين، وبناء التربة، وتهوية التربة، وحرارة التربة، وميكانيكية وانسيابية التربة، وحركة الأملاح. ونتيجة لذلك، فإن الكتاب الحالي هو محاولة شاملة، وإن تكن بدائية، للتعرض لأسس فيزياء التّربة ككل، بدلاً من حصره في معاملة عَلاقات التربة- الماء فقط. وهناك مجلد مصاحب بعنوان "تطبيقات فيزياء التربة" يتعامل بخاصة مع دورة الماء الحقلية والظواهر المصاحبة.

وبتأليف هذا الكتاب، فقد حاولت تلبية الحاجة إلى مرجع للمستويات الجامعية العالية في فيزياء التربة لطلاب الزراعة إضافة لطلاب العلوم البيئية والهندسية. واتجاها لهذا الهدف، فقد عملتُ جهد مقصود لتجنّب التقنية أو الرطن الرياضي غير الضروريين، والرموز غير المعتادة، وأن أشرح كل تطوير تفصيلاً دون افتراض أي شيء أكثر من المعلومات العامة لمرحلة البكالوريوس للمفاهيم الأساسية في حساب التفاضل والتكامل، والفيزياء، والكيمياء، والبيولوجيا. وقد قُصد بهذا الكتاب أن يكون مستقلاً وكافيًا نفسه بنفسه قدر الإمكان. وعند الضرورة فقد يحال القارىء إلى مصادر خارجية لدراسة مكمّلة خاصة عندما يكون الموضوع متعلقًا بمجال علمي خارج مجال تغطيتنا المحدودة بالضرورة. وقد قُدّمت عينة من المسائل في نهاية كل فصل محلولة بشكل مفصّل (بحيث قد يعتبره البعض تفاصيل مفرطة) في محاولة لمساعدة الطلاب لتحويل النظرية المجردة الغامضة غير المعتادة إلى معلومة فعالة وواقعية.

على أن بعض طلاب الزراعة والعلوم البيولوجية بمجرد رؤية المعادلات الرياضية ينصرفون عنها ويميلون إلى تخطيها (كما لو أنها تجمعات غير مجدية لرموز عديمة المعنى لاعلاقة لها بالموضوع إطلاقًا. . .) ويقرأون فقط النص السردي، وهذا خطأ. فلا بد للمعادلات من أن تفسّر وتُهضَم، وذلك لأنها تقدّم معلومات ضرورية عن العلاقات الكمية بين العوامل والمتغيّرات، وهي تؤدي ذلك بدقة ومنطقية. والرياضيات كما عرّفها مرة جوسيه ويلارد جبس Josiah Willard Gibbs (هي بجدارة، لغة)، وفي الحقيقة فإنها لغة العلم التي لاغنى عنها. واللغة المعتادة تكون مزعجة جدًا وغير دقيقة لتحل محل أناقة واقتصادية الرياضيات. ولايزال الخوف من

الرياضيات مسيطراً، بحيث أنه وحده يمكن أن يمنع إناسًا أذكياء جدًا من فهم العلم. ولذلك فقد حاولنا في هذا الكتاب الدراسي أن نقابل أصدقاءنا في منتصف الطريق، وذلك بالامتناع عن النقاط الرياضية الدقيقة الزائدة أو الممكن تجنبها والمضي طويلاً لشرح الرياضيات التي لم نستطع تجنّبها.

وبعض الطلاب قد يشعر بعدم الراحة لكثرة الفيزياء الداخلة في دراسة فيزياء التربة. وهم أيضًا ليس لديهم شيء يخافون منه. فالمفاهيم بدائية ولا بد أن تكون مفهومة لجميع الطبيعيين naturalists. وهذه المفاهيم تشمل صيانة الكتلة، والطاقة، والعزم والسرعة والعجلة؛ والقوة ومجالات القوة؛ والضغط واللزوجة؛ إضافة إلى الطاقة الكامنة والحركية. وتشمل أيضًا القليل من المفاهيم الأساسية الفيزيوكيمائية والديناميكية الحرارية - وجميعها ضرورية لفهم ليس فقط فيزياء التربة ولكن جميع النظم الطبيعية. وعند هذه النقطة فإن الطالب الحائر قد يسأل؛ هل هذا كل شيء؟ والجواب: نعم، ذلك عمليًا كل شيء...

وكتاب دراسي في موضوع حيوي مثل فيزياء التربة لابد له حقًا أن يستحوذ إعجاب وإثارة مطلب فيزيائيي التربة للمعرفة ولفهم نظامه (أو نظامها) المعقد، وبذلك يكون ممتعًا في قراءته. أملي أن يُقرأ هذا الكتاب، وليس فقط يُرجع له، وأن يجد فيه القارىء قليلاً من البصائر إضافة إلى الحقائق.

إن أي كتاب كتبه مؤلف واحد يعكس حتمًا وجهة نظره الخاصة، بينما الواقع هو أنه لا يمكن تمييز أفكار الشخص بسهولة عن أفكار الآخرين وذلك لاستمرارية عملية التبادل العلمي. وبعض المفاهيم الموضحة هنا لها جذورها من دراساتي المنهجية في مختلف الجامعات، خاصة في موطني الأصلي: الولايات المتحدة الأمريكية، ومن سفراتي المكثفة، والتي شملت تعيينات وإقامات مؤقتة، كملاحظ، ومستشار، وباحث ومدرس في أماكن متفرقة مثل اليابان، والهند، وجنوب شرق آسيا، واستراليا، وأوروبا، وأفريقيا، والأمريكيتين. وموطن مهم لهذا الكتاب هو فلسطين المحتلة، حيث شاهدت وشاركت في تطوير طرق مكثفة لإدارة الأرض والماء والتي مكنت ذلك البلد، بالرغم من مناخها الجاف، من مضاعفة إنتاجه الزراعي لعدة مرات خلال جيل واحد.

وحيث إنني لاأزال في منتصف طريقي في الحياة فإنني لاأستطيع حتى الآن تقمص شخصية الرجل الكهل الحكيم باعتبار تجربتي حقيقة نهائية في شكل مبدأ جامع خاص بي. ويكفي القول: إنني قد اكتشفت حقيقة مقولة العهد التلمودي القديم: "كثيرٌ تعلمته من أساتذتي، وأكثر من ذلك من زملائي، لكن الأكثر من الكل من طلابي".

المحتويات

إهداء ..... هـ
شكر وتقدير من المترجم ..... ز
مقدمة المترجم ..... ط
شكر وتقدير من المؤلف ..... ك
مقدمة المؤلف ..... م

الجزء الأول: العلاقات الأساسية

الفصل الأول: أهداف فيزياء التربة ٣

الفصل الثاني: الخواصّ الفيزيائية العامة للتُّرب ٧
أ) المقدمة ٧
ب) فيزياء التربة ٨
جـ) الأوجه الكيميائية والفيزيائية لإنتاجية التّربة ٩
د) التّربة كنظام مفرّق ثلاثي الأطوار ٩
هـ) علاقات الحجم والكتلة لمكّونات التربة ١١
و) قطاع التُّربة ١٩
عَينة من التمارين ٢٢

الفصل الثالث: خواصّ الماء بعلاقته بوسط مسامّي ٢٩
أ) المقدمة ٢٩
ب) البناء الجزيئي ٣٠
جـ) الرابطة الهيدروجينية ٣٣
د) صور الماء ٣٥
هـ) التأيّن والرقم الهيدروجيني pH ٣٨
و) الخواص الإذابية للماء ٤٠
ز) الضغط الأسموزي ٤٤
ح) ذوبانية الغازات ٤٨
ط) ادمصاص الماء على الأسطح الصّلبة ٤٩
ي) الضغط البُخاري ٥٢
ك) التوتر السّطحي ٥٥
ل) انحناء الأسطح المائية والضغط الهيدروستاتيكي ٥٨
م) زاوية التماس للماء على الأسطح الصّلبة ٦٠
ن) الخاصة الشعرية ٦٣
س) الكثافة والانضغاطية ٦٦
ع) اللزوجة ٦٧
عينة من التمارين ٦٨

الجزء الثاني: الطّور الصّلب

الفصل الرابع: القوام، التوزيع الحجمي للحبيبات، والسطح النوعي ٧٧
أ) المقدمة ٧٧
ب) قوام التربة ٧٨
جـ) مكوّنات القوام النسبية (المنفصلات) ٧٩

د) أصناف التّربة ٨٣
هـ) التوزيع الحجمي للحبيبات ٨٤
و) التحليل الميكانيكي ٨٦
ز) السطح النوعي ٩٠
عينة من التمارين ٩٥

الفصل الخامس: طبيعة الطين وسلوكه ٩٩
أ) مقدمة ٩٩
ب) بناء الطّين ١٠٠
جـ) معادن الطّين الرئيسية ١٠٣
د) الدّبال: المكون العضوي لغرويات التربة ١٠٦
هـ) الطبقة المزدوجة الكهروستاتيكية ١٠٨
و) التّبادل الأيوني ١١٣
ز) التميؤ والانتفاخ ١١٧
ح) التجمّع والتفرق ١٢٢
عينة من التمارين ١٢٥

الفصل السادس: بناء التّربة وتحبّبها ١٢٩
أ) المقدمة ١٢٩
ب) أنماط بناء التّربة ١٣٠
جـ) بناء التّرب الحبيبية ١٣١
د) بناء التّرب المتحببة ١٣٥
هـ) عوامل إضافية تؤثّر على التحبب ١٣٩
و) تمييز بناء التّربة ١٤٤
ز) ثبات الحبيبة المركبة ١٥٠
ح) تقشّر التّربة ١٥٣

ط) محسّنات التربة ١٥٦
ي) جعل حبيبات التربة المركبة كارهة للماء ١٥٩
عينة من التمارين ١٦١

الجزء الثالث: الطّور السائل

الفصل السابع: ماء التربة: المحتوى والجهد ١٦٧
أ) المقدمة ١٦٧
ب) المحتوى المائي للتربة (الترطيب) ١٦٨
جـ) قياس رطوبة التربة ١٧١
د) حالة الطاقة لماء التربة ١٨٣
هـ) جهد ماء التربة الكلي ١٨٦
و) الأسس الديناميكية الحرارية لمفهوم الجهد ١٨٨
ز) جهد الجاذبية الأرضية ١٩٢
ح) جهد الضغط ١٩٣
ط) الجهد الأسموزي ١٩٧
ي) المصطلحات المنقّحة ١٩٧
ك) التعبير الكمي لجهد ماء التربة ١٩٩
ل) منحنى الرطوبة المميّز للتربة ٢٠٢
م) ظاهرة عدم التطابق (التخلفية) ٢٠٩
ن) قياس جهد رطوبة التربة ٢١٣
عينة من التمارين ٢٢٣

الفصل الثامن: سريان الماء في التّربة المشبعة ٢٢٩
أ) السريان الطبقي في الأنابيب الضيّقة ٢٢٩
ب) قانون دارْسي ٢٣٣

جـ) ارتفاع الجاذبية، ارتفاع الضغط، والارتفاع الهيدروليكي الكلي . ٢٣٧
د) السّريان في عمود رأسي ٢٤١
هـ) السّريان في عمود مركب ٢٤٤
و) التدفّق، وسرعة السّريان، والتعرجية ٢٤٥
ز) التوصيل الهيدروليكي، النفاذية، والميوعة ٢٤٦
ح) حدود قانون دارسي ٢٥١
ط) علاقة التوصيل والنفاذية بهندسية المسامّ ٢٥٤
ي) التجانس وتساوي اتجاه الخواص ٢٥٦
ك) قياس التوصيل الهيدروليكي للتّرب المشبعة ٢٥٩
ل) معادلات السّريان المشبع ٢٦٠
عينة من التمارين ٢٦٤

الفصل التاسع: سريان الماء في تربه غير مشبعة ٢٧١
أ) المقدمة ٢٧١
ب) مقارنة بين السّريان في التربة غير المشبعة مقابل المشبعة منها ٢٧٢
جـ) علاقة التوصيل بالمصّ(الشد) والرطوبة ٢٧٦
د) المعادلة العامة لسريان غير مشبع ٢٨١
هـ) الانتشارية الهيدروليكية ٢٨٥
و) تحويل بولتزمان ٢٨٩
ز) الحساب النظري لمعامل التوصيل الهيدروليكي ٢٩١
ح) قياس التوصيل الهيدروليكي غير المشبع والانتشارية في المعمل .. ٢٩٥
ط) قياس التوصيل الهيدروليكي غير المشبع لقطاعات التربة في موضعها الطبيعي ٢٩٨
ي) حركة البخار ٣٠٨
عينة من التمارين ٣١٢

الفصل العاشر: حركة الأملاح ومُلوحة التربة ٣٢٥
أ) المقدمة ٣٢٥
ب) الانتقال الحَملي للأملاح ٣٢٦
جـ) انتشار الأملاح ٣٢٩
د) التفريق الهيدروديناميكي ٣٣٣
هـ) الإزاحة المزيجية ومنحنيات التقدم المفاجىء ٣٣٥
و) الانتقال المشترك للأملاح ٣٣٨
ز) تأثيرات الأملاح على حركة الماء ٣٤١
ح) مُلوحة التربة وقلويتها ٣٤٨
ط) الميزان الملحي لقطاع التربة ٣٥١
ي) غسيل الأملاح الزائدة ٣٥٥
عينة من التمارين ٣٥٩

الجزء الرابع: الطّور الغازي

الفصل الحادي عشر: هواء التربة والتهوية ٣٦٩
أ) المقدمة ٣٦٩
ب) الجزء الحجمي لهواء التربة ٣٧١
جـ) تركيب هواء التربة ٣٧٤
د) السّريان الحَملي لهواء التربة ٣٧٥
هـ) انتشار هواء التربة ٣٨٠
و) تنفّس التربة واحتياجات التهوية ٣٨٦
ز) قياس تهوية التربة ٣٩٠
عينة من التمارين ٣٩٥

الجزء الخامس: الخواصّ والسلوك المركّب

الفصل الثاني عشر: درجة حرارة التّربة والسّريان الحراري ... ٤٠١
أ) المقدمة ... ٤٠١
ب) حالات انتقال الطاقة ... ٤٠٣
جـ) ميزان الطاقة لتربة عارية ... ٤٠٥
د) توصيل الحرارة في التربة ... ٤٠٧
هـ) السَّعة الحرارية الحجمية للتّرب ... ٤١١
و) التوصيل الحراري للتّرب ... ٤١٣
ز) الانتقال الآني للحرارة والرطوبة ... ٤٢١
ح) النظام الحراري لقطاعات التربة ... ٤٢٥
ط) تعديل النظام الحراري للتّربة ... ٤٣٢
عينة من التمارين ... ٤٣٨

الفصل الثالث عشر: علاقات الإجهاد - الانفعال ومتانة التربة ٤٤٧
أ) المقدمة ... ٤٤٧
ب) مفهوم الانفعال والإجهاد ... ٤٤٩
جـ) المرونة واللّدونة ... ٤٥٢
د) انسيابية (ريولوجية) السوائل ... ٤٥٧
هـ) نماذج الانسيابية (الريولوجية) ... ٤٦٠
و) توزيع الإجهاد في التّربة ... ٤٦٢
ز) دائرة موهر للإجهادات ... ٤٦٧
ح) علاقات الإجهاد - الانفعال وانهيار أجسام التّربة ... ٤٧١
ط) مفهوم متانة التربة ... ٤٧٥
ي) قياس متانة التربة ... ٤٧٧
ك) تماسك التربة ... ٤٨٨
عينة من التمارين ... ٤٩٦

الفصل الرابع عشر: انضغاط التربة واندماجها ٥٠١
أ) المقدمة ٥٠١
ب) رؤيتان متضادتان لإنضغاط التربة: الهندسية والزراعية ٥٠٣
جـ) قابلية انضغاط التّربة بالعلاقة مع الرّطوبة ٥٠٤
د) حدوث انضغاط التّربة في الحقول الزراعية ٥٠٨
هـ) الضغوط الناتجة عن الآلات ٥١٠
و) انضغاط التّربة تحت الإجهادات الناتجة عن الآلات ٥١٩
ز) حدوث انضغاط التربة وتبعياته ٥٢٤
ح) التحكّم في انضغاط التربة ٥٢٩
ط) اندماج التربة ٥٣١
عينة من التمارين ٥٤٠

المراجع ٥٤٥
ثبت المصطلحات (عربي - إنجليزي) ٥٦٣
(إنجليزي - عربي) ٥٨٥
كشاف الموضوعات ٦٠٧