بسم الله الرحمن الرحيم

الجيوفيزياء التطبيقية القريبة من السطح

تأليف

Mark E. Everett

ترجمة

أ.د. كمال عبدالرحمن السيد حسانين

أستاذ الجيوفيزياء التطبيقية

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء- كلية العلوم – جامعة الملك سعود

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ المملكة العربية السعودية

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

إيفريت، مارك إي.

الجيوفيزياء التطبيقية القريبة من السطح/ مارك إي. إيفريت ؛ كمال عبدالرحمن السيد حسانين - الرياض، ١٤٤٤هـ

٤٥٥ ص؛ ١٧سم × ٢٤ سم

ردمك: ٦ - ٠٧٨ - ٥١٠ - ٦٠٣ - ٩٧٨

١- الجيوفيزياء ٢- علوم الأرض أ. حسانين ، كمال عبدالرحمن السيد (مترجم) ب. العنوان

ديوي ٥٥١ ١٤٤٤/٢٧٩٣

رقم الإيداع: ١٤٤٤/٢٧٩٣

ردمك: ٦ - ٠٧٨ - ٥١٠ - ٦٠٣ - ٩٧٨

هذه ترجمة عربية محكمة صادرة عن مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Near-Surface Applied Geophysics.

By: Mark E. Everett

Published by Cambridge University Press, 2013

وقد وافق المجلس العلمي على نشرها في اجتماعه العشرون للعام الدراسي ١٤٤٣هـ، المعقود بتاريخ ١٤٤٣/١١/١٤هـ، الموافق ٢٠٢٢/٦/١٣م ليكون مرجعاً علمياً في مجاله.

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يسمح بإعادة نشر أي جزء من الكتاب بأي شكل وبأي وسيلة سواء كانت إلكترونية أو آلية بما في ذلك التصوير والتسجيل أو الإدخال في أي نظام حفظ معلومات أو استعادتها بدون الحصول على موافقة كتابية من دار جامعة الملك سعود للنشر.

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

مقدمة المترجم

على مدار أكثر من ثلاثين عامًا من العمل في مجال الجيوفيزياء التطبيقية واستخداماتها المختلفة في خدمة المجتمع والبيئة، بداية من الأساليب الأولية وحتى الأكثر تطورًا، الأمر الذي أثرى بشكل كبير قدراتي العلمية والبحثية والتطبيقية في هذا المجال، وعلى الرغم من هذا الكم الهائل من الكتب والمراجع والبحوث التي تُنشَر كل يوم، فإنها كانت تهتم بالاستكشاف الجيوفيزيائي للأهداف العميقة مثل الكشف عن البترول والغاز ومصادر المياه العميقة وغيرها. ومن ثم كان ينقصنا توفر كتب ومراجع تتناول الجيوفيزياء التطبيقية القريبة من السطح حيث تتعدد الأهداف القريبة من السطح وتزداد أهميتها.

يمثل هذا الكتاب أحد أهم وأحدث الإصدارات في مجال الجيوفيزياء التطبيقية القريبة من السطح الذي يلبي بدوره احتياجات قطاعات كثيرة من المجتمع حيث تقبع أهداف مهمة على بعد أمتار قليلة تحت سطح الأرض من صدوع جيولوجية يمكن أن تنتج عنها زلازل مدمرة، أو تجمعات من النفايات الصناعية الخطرة والملوثة للبيئة، إلى الكنوز الأثرية المفقودة. نظرًا لأهمية هذا الكتاب وإسهامه الفاعل في صقل قدرات الطلاب والباحثين والمختصين في مجالات الجيوفيزياء التطبيقية القريبة من السطح، فقد أقدمت على ترجمة هذا الكتاب لخدمة الطلاب والمتخصصين والمهتمين بمجال الجيوفيزياء التطبيقية القريبة من السطح.

استعنت أثناء ترجمة هذا الكتاب بكل ما اكتسبته من خبرات ومعلومات خلال العمل التدريسي والميداني في مجال الاستكشاف الجيوفيزيائي بصفة عامة وفي مجال الجيوفيزياء التطبيقية القريبة من السطح بصفة خاصة. حاولت الاستعانة بحالات دراسية قمت بتنفيذها بغرض تسهيل صياغة فقرات الكتاب وكتابتها بشكل يسهل فهمه والتعامل معه ومن ثم تطبيقه في الميدان بكل سهولة ويسر.

وفي النهاية أتوجه بالشكر لمركز الترجمة بجامعة الملك سعود لإتاحة الفرصة لترجمة هذا الكتاب المهم والمفيد لخدمة المجتمع والبيئة، آملا أن أكون قد وُفِّقت في ترجمته وأن يستفيد منه عدد كبير من الطلاب والمختصين والمهتمين بمجالات الجيوفيزياء التطبيقية القريبة من السطح.

إهداء المؤلف

إلى ايلين ، وتايلور ، ولورا

كلمة شكر

قدم عديد من الأشخاص نصائح مخلصة وتوجيهات داعمة دعمًا لا يتزعزع ومشورة قيمة على مدار سنين. فيما يأتي أولئك الذين وقفوا بشكل خاص ولهم دور فعال في الانتهاء من هذا الكتاب بنجاح: كريس إيفرت، ونايجل إدواردز، وستيفن كونستابل، وبران جونسون، وكريس ماثيوسون، ويوجين باديا، وزدينك مارتينيك، وداكس سول، وتشيستر فايس، وألفونسو بينافيديس، وسوفيك موخيرجي، ورونجروج أرجويش، وتيم دي سميت.

الجيوفيزياء التطبيقية القريبة من السطح

توجد معالم ذات أهمية كبيرة على بعد أمتار قليلة تحت سطح الأرض، من صدوع جيولوجية يمكن أن تنتج عنها زلازل مدمرة أو تجمعات من النفايات الصناعية الملوثة والخطرة، إلى الكنوز الأثرية المفقودة. تطورت الطرق الجيوفيزيائية التقليدية المصممة لأهداف الاستكشاف العميق من خلال التقدم الكبير في التقنيات الجيوفيزيائية المطبقة بالقرب من السطح اعتمادًا على الحاجة المتزايدة إلى الإدارة الحذرة لموارد الأرض تحت السطحية.

يقدم هذا الكتاب استكشافًا متطورًا للنظريات العلمية وأحدث التقنيات الجيوفيزيائية التطبيقية القريبة من السطح. إنه كتاب متكامل من حيث نظريات العمل السهلة مدعومة بمستوى متوسط من الرياضيات. تشمل التقنيات التي يقدمها هذا الكتاب تقنية المغناطيسية الأرضية، والمقاومية الكهربائية، والانعكاس والانكسار السيزمي، والموجات السطحية، والاستقطاب المستحث، والجهد الذاتي، والحث الكهرومغناطيسي، ورادار الاختراق الأرضي، والرنين المغناطيسي النووي، والمعكوس الجيوفيزيائي، وأساليب السيزمية الكهربية، وأكثر من ذلك. فقد حُلِّلَت البيانات ونظرية المعكوس الجيوفيزيائي الخطي وغير الخطي، ووُضِّحَت الفصول بشكل واسع عن طريق مزيد من الحالات الدراسية. توفير المصادر يعطي الطلاب والمهنيين الأدوات اللازمة لتخطيط المسح الجيوفيزيائي القريب من السطح وإجرائه وتحليله. هذا كتاب مهم لطلاب المرحلة الجامعية والدراسات العليا في الجيوفيزياء، كما أنه يعتبر مرجعًا قيمًا للجيوفيزيائيين، والجيولوجيين، وعلماء المياه، وعلماء الآثار، والمهندسين المدنيين والجيوتقنيين، وغيرهم ممن يستخدمون الجيوفيزياء في حياتهم بوصفها أنشطة احترافية.

مارك إي. إيفريت هو حاليًا أستاذ بهوارد كارين ومدير الدراسات العليا في قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء في جامعة تكساس أيه أند إم، وكان أستاذًا زائرًا في عام ٢٠١٠ م في معهد الجيوفيزياء، بزيورخ. يدير حاليًا مختبر الجيوفيزياء التطبيقية السطحية في ولاية تكساس أيه أند إم، وقد أجرى العمل الجيوفيزيائي الميداني في عديد من المواقع بما في ذلك موقع سقوط سفينة نورماندي في فرنسا وعلى جزيرة الكاتراز. بالإضافة لذلك فإن الدكتور إيفرت يشارك في مجلس تحرير مجلة الجيوفيزياء، وقد تقلد جائزة جيوسينس بكلية تكساس أيه آند إم. وهو زميل في الجمعية الفلكية الملكية، وعضو في اتحاد الجيوفيزياء الأمريكي، ورابطة الاستكشاف الجيوفيزيائي. الدكتور إيفرت هو مستشار للنفط والغاز، وبعدد من القطاعات الصناعية والهندسة الجيوتقنية، حاصل على شهادة مهنية وهي رخصة مزاولة الجيوفيزياء في ولاية تكساس، لديه خبرة كبيرة في المشاريع الأثرية التاريخية المحلية.

الثناء على هذا الكتاب

"يقدم هذا الكتاب مقدمة ممتازة للناشئ في مجال المسح الجيوفيزيائي القريب من السطح. لن تكون المادة الحديثة المغطاة في النص مفيدة فقط لطلاب البكالوريوس وطلاب الدراسات العليا، لكنها سوف تكون بمثابة مرجع قيم لجميع الممارسين والمهتمين".

-البروفيسور هانزرويدي ماورر، زيوريخ Professor Hansruedi Maurer, ETH Zürich

"كتاب عظيم لتدريس الطلاب الجامعيين جوهر كافة التقنيات الجيوفيزيائية المستخدمة في الاستكشاف القريب من السطح؛ حيث إنه مزيج من الأسس النظرية والتطبيقية، والحالات الدراسية".

- البروفيسور جراهام هاينسون، Professor Graham Heinson كلية علوم الأرض والعلوم البيئية، جامعة إديلايد.

"هذا كتاب ممتاز للطلاب المتقدمين في الجيوفيزياء وطلاب الدراسات العليا، ومصدر مهم للعلماء والمهندسين المختصين في التعامل مع الظواهر الأرضية القريبة من السطح، وتملأ المادة فراغًا في أرفف الكتب لعديد من علماء الجيولوجيا" .

- بروفيسور دوج أولدنبورج، Professor Doug Oldenburg جامعة كولومبيا البريطانية

تمهيد

تاريخيا، أُستخدِمت الجيوفيزياء لوصف أهداف الاستكشاف العميق، مثل التمعدن الاقتصادي، ورواسب النفط والغاز، أو موارد المياه الجوفية الجديدة، وفي البيئات الخالية نسبيًا من التأثير البشري. في الوقت نفسه، طبق المهندسون المدنيون، وعلماء الآثار والتربة وغيرهم الأساليب الجيوفيزيائية التقليدية مع برامج تفسير بسيطة وموثوقة منذ فترة طويلة لاكتشاف وتصنيف ووصف أهداف جيولوجية أو بشرية المنشأ مدفونة على أعماق ضحلة بباطن الأرض. ومع ذلك، في السنوات الأخيرة انخفضت وتناقصت مساحة الأرض التي لم يمسها تأثير الإنسان، وازدادت أهمية الإشراف المسؤول على موارد الأرض الجوفية، وقد تم إحراز قدر كبير من التقدم في تقنيات الجيوفيزياء المطبقة بالقرب من السطح ونظرية التفسير التي تسببت في أن بعض المراجع والدراسات الموجودة أصبحت قديمة وعفا عليها الزمن. صُمِّم هذا الكتاب لجلب الطلاب الجامعيين وطلاب الدراسات العليا في الجيوفيزياء والتخصصات ذات الصلة وتزويدهم بالتطورات الحديثة في مجال الجيوفيزياء التطبيقية القريبة من السطح، مع الاحتفاظ في نفس الوقت بالمادة التي توفر الأساس النظري والتقليدي لأساليب الاستكشاف. خطة الكتاب هي شرح التطورات الجديدة بمصطلحات فيزيائية بسيطة، باستخدام مستوى متوسط من الرياضيات لتحقيق الدقة في المناقشة. أقسام تحليل البيانات ونظرية المعكوس تمكن الطالب من التنفيذ الكامل للجيوفيزياء التطبيقية، بداية من الحصول على البيانات ومعالجتها وحتى تفسيرها. وقد تم توضيح المادة العلمية بحالات دراسية تاريخية مأخوذة من المؤلفات العلمية الحالية أو من التي راجعها الزملاء. هذا الكتاب مرجعي سيجد فيه الطلاب صعوبات وتحديات ولكن يجب عليهم أن يكونوا قادرين على إتقانها بالجهد المستمر، وسيكون أيضًا بمثابة مرجع قيم لعلماء الأرض والمهندسين وغيرهم من الممارسين للأنشطة الأكاديمية أو الحكومية أو الصناعية التي تتطلب التطبيقات الجيوفيزيائية القريبة من السطح.

المحتويات

مقدمة المترجم ..... هـ
إهداء المؤلف ..... ز
كلمة شكر ..... ط
الجيوفيزياء التطبيقية القريبة من السطح ..... ك
الثناء على هذا الكتاب ..... م
تمهيد ..... س

(١) المقدمة ١
(١,١) النهج العملي للدراسات الجيوفيزيائية ٢
(١,٢) بعض تطبيقات الجيوفيزياء القريبة من السطح ٤
(١,٣)الإفصاح عن نسبة الخطأ ١٠
(١,٤)الإطار العام للكتاب ١١

(٢) تحليل البيانات ١٣
(٢,١) المعلومات ١٣
(٢,٢) المجسات ١٥
(٢,٣) استجابة التردد ١٧
(٢,٤) تحويل فوريه المنفصل ١٨
(٢,٥) الفلترة ٢٣
(٢,٦)الاحتواء ٢٦
(٢,٧)أخذ العينات وتعريفها ٢٧
(٢,٨) نوافذ البيانات والتحليل الطيفي ٢٨
(٢,٩)تنعيم السلسلة الزمنية ٣٠
(٢,١٠) تحويل الموجات المستمر ٣١
مسائل ٣٤

(٣) المغناطيسية ٣٧
(٣,١) المقدمة ٣٧
(٣,٢) الأساسيات ٣٩
(٣,٣) الأجهزة ٤٣
(٣,٤) المغناطيسية المتدرجة ٤٧
(٣,٥) المجال المغناطيسي الأرضي ٤٧
(٣,٦) شذة المجال الكلي ٥٢
(٣,٧) تفسير الشذات المغناطيسية ٥٢
(٣,٨) الاختزال إلى القطب ٥٦
(٣,٩) قواعد العمق ٦١
(٣,١٠) الخواص المغناطيسية للصخور والتربة والأجسام الفولاذية المدفونة ٦٢
(٣,١١) المغناطيسية المتبقية ٦٣
(٣,١٢) فلاتر تحسين الصورة ٦٣
(٣,١٣) الاستمرارية الصاعدة ٦٦
(٣,١٤) طريقة أويلر وفيرنر لإزالة الاحتواء ٦٨
(٣,١٥) حالات تاريخية توضيحية ٧١
مسائل ٧٢

(٤) طريقة المقاومية الكهربائية ٧٥
(٤,١) المقدمة ٧٦
(٤,٢) أساسيات ٧٨
(٤,٣) دوال الحساسية ٨٤
(٤,٤) نماذج متعددة الطبقات ٨٥
(٤,٥) المقاومية السمتية ٩٠
(٤,٦) قطاعات المقاومية الكاذبة ٩٣
(٤,٧) التصوير للمقاومية الكهربائية المقطعي ٩٣
(٤,٨) الخواص الكهربائية للصخور ٩٦
(٤,٩) دراسات الارتباط بين المجال الكهربائي والهيدروليكي ٩٩
(٤,١٠) وضع القطب الكهربائي الأمثل ١٠٢
(٤,١١) تقنيات المقاومية تحت الماء ١٠٥
(٤,١٢) حالات تاريخية توضيحية ١٠٦
مسائل ١٠٨
(٥) الاستقطاب المستحث والجهد الذاتي ١١١
(٥,١) الاستقطاب المستحث: مقدمة ١١٢
(٥,٢) نماذج تشتت المقاومية الظاهرية ١١٤

(٥,٣) القطب الغشاء والاستقطاب البيني ١١٦
(٥,٤) استجابة الاستقطاب المستحث والعمليات الجيولوجية تحت السطحية ١١٨
(٥,٥) الأقطاب غير المستقطبة ١١٩
(٥,٦) حالة استقطاب مستحث توضيحية ١٢٠
(٥,٧) الجهد الذاتي: مقدمة ١٢١
(٥,٨) الآليات الفيزيائية ١٢١
(٥,٩) تفسير قياسات الجهد الذاتي ١٢٣
(٥,١٠) التحليل المستمر للتحويل المويجي ١٢٦
(٥,١١) حالات للجهد الذاتي توضيحية ١٣٠
مسائل ١٣١

(٦) الانعكاس والانكسار السيزمي ١٣٣
(٦,١) مقدمة ١٣٣
(٦,٢) الإجهاد والانفعال ١٣٦
(٦,٣) الحركة الموجية ١٣٩
(٦,٤) الموجات السيزمية ومعاملات المرونة ١٤١
(٦,٥) السرعة السيزمية للمواد الأرضية ١٤٣
(٦,٦) الانعكاس والانكسار عند السطح البيني ١٤٥
(٦,٧) الحيود/ الانحراف ١٤٨
(٦,٨) تحليل السجلات السيزمية المثالية المنعكسة ١٤٩
(٦,٩) درجة الوضوح الرأسية والأفقية ١٥٤
(٦,١٠) طريقة نقطة المنتصف المشتركة ١٥٧
(٦,١١) التحرك للخارج المائل ١٦٠
(٦,١٢) التوهين ١٦٢
(٦,١٣) الانكسار السيزمي ١٦٤
(٦,١٤) الاعتبارات العملية ١٦٩
(٦,١٥) معالجة البيانات السيزمية ١٧٣
(٦,١٦) نمذجة مسار الشعاع ١٨٣
(٦,١٧) حالات دراسية توضيحية ١٨٦
مسائل ١٨٩

(٧) تحليل الموجات السيزمية السطحية ١٩١
(٧,١) موجات رايلي ١٩١
(٧,٢) التشتت ١٩٣
(٧,٣) انتشار موجة رايلي في وسط متعدد الطبقات ١٩٤

(٧,٤) التحليل الطيفي للموجات السطحية ١٩٧
(٧,٥) التحليل متعدد القنوات للموجات السطحية ١٩٩
(٧,٦) معكوس خصائص تشتت موجات رايلي ٢٠٢
(٧,٧) الضوضاء المحيطة والدراسات السلبية ٢٠٤
(٧,٨) حالات تاريخية توضيحية ٢٠٥

(٨) الحث الكهرومغناطيسي ٢٠٩
(٨,١) مقدمة ٢٠٩
(٨,٢) الأساسيات ٢١٣
(٨,٣) تأثير الغطاء الأرضي (تأثير نوع الطبقات تحت السطحية وتكوينها) ٢١٥
(٨,٤) الدوائر المقترنة حثيًّا ٢١٦
(٨,٥) مقياس موصلية في التضاريس ٢٢١
(٦.٨) الحث الكهرومغناطيسي في المجال الزمني ٢٢٧
(٨,٧) آثارة ذات المصدر المحدود للأرض ذات الطبقات ٢٣١
(٨,٨) طرق آثارة الموجة المستوية: طرق التردد المنخفض جدًا، والمغناطيسية الراديوية، المغناطيسية الدوامة ذات المصدر الخاضع للتحكم ٢٣٢
(٨,٩) الكهرومغناطيسية المحمولة جوًا ٢٣٦
(٨,١٠) الاستجابات الكهرومغناطيسية للأوساط الجيولوجية الوعرة ٢٣٧
(٨,١١) تباين الخواص ٢٣٩
(٨,١٢) حالات تاريخية توضيحية ٢٤١
مسائل ٢٤٤

(٩) رادار الاختراق الأرضي (الرادار الأرضي) ٢٤٧
(٩,١) الأساسيات ٢٥٠
(٩,٢) ثابت العزل الكهربائي والموصلية الكهربائية ٢٥٣
(٩,٣) خصائص العزل الكهربائي للصخور والتربة ٢٥٥
(٩,٤) الدقة (درجة الوضوح) ٢٥٧
(٩,٥) الحصول على البيانات (المسح الميداني) ٢٥٨
(٩,٦) المعالجة الأساسية لبيانات رادار الاختراق الأرضي ٢٥٩
(٩,٧) المعالجة المتقدمة لبيانات رادار الاختراق الأرضي ٢٦٤
(٩,٨) الموجات الكهرومغناطسية المستوية ٢٦٥
(٩,٩) انعكاس الموجة المستوية من الواجهة (السطح الفاصل أو سطح الانعكاس) ٢٦٩
(٩,١٠) تحليل الطبقات الدقيقة ٢٧٢
(٩,١١) هوائيات الرادار الأرضي (GPR antennas) ٢٧٣
(٩,١٢) أنماط إشعاع رادار الاختراق الأرضي ٢٧٦

(٩,١٣) استقطاب الهدف ٢٧٨
(٩,١٤) موجات الرادار الأرضي الموجهة ٢٨٠
(٩,١٥) حالات توضيحية بأستخدام رادار الاختراق الأرضي ٢٨٣
مسائل ٢٨٤

(١٠) تقنيات مستجدة ٢٨٧
(١٠,١) الرنين المغناطيسي النووي السطحي ٢٨٧
(١٠,٢) الجاذبية الدقيقة بفاصل زمني ٢٩٢
(١٠,٣) دراسات السيزمية المستحثة ٢٩٤
(١٠,٤) يميز الألغام الأرضية ٢٩٥
(١٠,٥) قياس تداخل لرادار الاختراق الأرضي السلبي ٢٩٧
(١٠,٦) الاقتران الكهروسيزمي ٣٠١

(١١) المعكوس الخطي ٣٠٧
(١١,١) المقدمة ٣٠٧
(١١,٢) تقدير المعامل الخطي ٣١٠
(١١,٣) حل المربعات الصغرى ٣١١
(١١,٤) مثال: مغنطة قريبة من السطح ٣١٢
(١١,٥) مثال: التفكيك (فك الاحتواء) ٣١٤
(١١,٦) تباين البيانات ٣١٥
(١١,٧) الفراغ الصفري ٣١٧
(١١,٨) الحل المعياري الأدنى ٣١٧
(١١,٩) منحنى التوازن ٣١٨
(١١,١٠) التنظيم (التسوية) ٣٢٠
(١١,١١) مثال: السبر الكهرومغناطيسي حلقة-حلقة ٣٢٢
(١١,١٢) تحلل القيمة المفردة ٣٢٤
مسائل ٣٢٧

(١٢) المعكوس غير الخطي: الطرق المحلية ٣٢٩
(١٢,١) مقدمة ٣٢٩
(١٢,٢) طريقة الانحدار الشديد ٣٣٠
(١٢,٣) طريقة المربعات الصغرى غير الخطية ٣٣٢
(١٢,٤) طريقة ليفنبرغ-ماركوارت ٣٣٥
(١٢,٥) طرق تشبه نيوتن ٣٣٦

(١٢,٦) طريقة التدرج المترافق..... ٣٣٨
(١٢,٧) مثال: التصوير المقطعي لزمن السفر السيزمي..... ٣٤١
(١٢,٨) معكوس بايزي..... ٣٤٥
(١٢,٩) تحليل الحساسية المساعدة..... ٣٤٧
مسائل..... ٣٥٠

(١٣) المعكوس غير الخطي: الطرق العالمية..... ٣٥١
(١٣,١) طريقة سلسلة ماركوف مونت كارلو..... ٣٥٢
(١٣,٢) طريقة محاكاة التكثيف (التصلب)..... ٣٥٥
(٣,١٣) طريقة الخوارزمية الجينية..... ٣٥٨
(١٣,٤) طرق الشبكة العصبية..... ٣٦٠
(١٣,٥) خريطة التنظيم الذاتي..... ٣٦٨
مسألة..... ٣٧٢
الملحق (أ) نظرية شانون لجمع العينات..... ٣٧٣
الملحق (ب) حل معادلة لابلاس في الإحداثيات الكروية..... ٣٧٨
الملحق (ج) التحويل الخطي للبيانات السيزمية..... ٣٨٢
الملحق (د) حلقة أفقية فوق وسط موصل..... ٣٨٥
الملحق (هـ) معادلات وضع الدليل الموجي الراداري..... ٣٩٥
المراجع..... ٣٩٧
الصور الملونة..... ٤٢٥
ثبت المصطلحات: إنجليزي – عربي.....
كشاف الموضوعات..... ٤٤٥