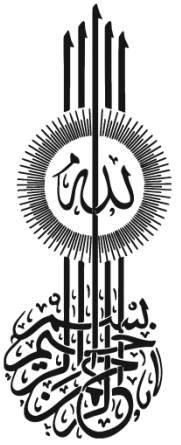

ميكانيكا الكسر

مع مقدمة في الميكانيكا الدقيقة

تأليف

Dietmar Gross **Thomas Seelig**

ترجمة

د. عبدالحميد بن عبدالرحمن العبدالجبار

الأستاذ المشارك بقسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة – جامعة الملك سعود

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ المملكة العربية السعودية

ح) دار جامعة الملك سعود للنشر، ١٤٤٥هـ (٢٠٢٣م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

غروس، ديتمار.

ميكانيكا الكسر مع مقدمة في الميكانيكا الدقيقة./ ديتمار غروس؛ توماس سيلِغ؛ عبدالحميد بن عبدالرحمن العبدالجبار - الرياض، ١٤٤٤هـ.

٤٨٩ ص؛ ١٧سم × ٢٤ سم

ردمك: ٣ - ٠٨٢ - ٥١٠ - ٦٠٣ - ٩٧٨

١- الميكانيكا ٢- الهندسة الميكانيكية أ. سيلِغ، توماس (مؤلف مشارك)

ب. العبدالجبار، عبدالحميد بن عبدالرحمن (مترجم) ج. العنوان

ديوي ٦٢٠,١٠٣ ١٤٤٤/٣٣٣٧

رقم الإيداع: ١٤٤٤/٣٣٣٧

ردمك: ٣ - ٠٨٢ - ٥١٠ - ٦٠٣ - ٩٧٨

هذه ترجمة عربية محكمة صادرة عن مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Fracture Mechanics With an Introduction to Micromechanics
By Dietmar Gross &Thomas Seelig.
© Springer International Publishing AG 2018.

وقد وافق المجلس العلمي على نشرها في اجتماعه الرابع للعام الدراسي ١٤٤٣هـ، المعقود بتاريخ ٥/ ٣/ ١٤٤٣هـ، الموافق ١٢/ ١٠/ ٢٠٢١م. ليكون مرجعًا علميًا 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

الحمدُ لله وحده، والصلاة والسلام على نبيه محمد وعلى آله وصحبه أجمعين، وبعدُ.

يُغطي موضوعُ ميكانيكا الكسر مجالاتٍ كثيرةً تتعلق بتوقُّع فشل الإنشاءات والمكونات والأجزاء التقنية. وتُستخدَم مبادئها في أعمال تصميم ودراسة المكونات والأجزاء الميكانيكية والإنشائية في العديد من التطبيقات التقنية والهندسية ومجالات متعددة عندما يكون محل الاهتمام تلافي كسر المكون الهندسي خلال الخدمة؛ لمنْع فشل النظام الذي ينتمي إليه وما يؤدي إليه ذلك من خسائرَ ماديةٍ نتيجة لتوقُّف الخدمة والحاجة لإصلاح الخلل، وما هو أكبر وهو الضرر المتعلق بالإنسان المتصل بالخدمة.

ويتعلَّق موضوع ميكانيكا الكسر بتطبيقات عديدة وذات أهمية كبرى في معظم فروع الهندسة، مثل الهندسة الميكانيكية والمدنية والنووية وغيرها؛ حيث تتنوَّع مجالات التطبيق النموذجية لتشمل علوم وهندسة المواد، وعلوم الجيولوجيا والزلازل وتقنيات التصنيع وتقنيات الطاقة وأنظمتها، وبناء أوعية الضغط، والمركبات، وإنشاءات الفولاذ والصلب.

ومن هنا تكمن أهمية هذا الكتاب الذي يُقدِّم مدخلًا مرجعيًّا لمعالجة موضوع ميكانيكا الكسر. ويتميز بكونه مبنيًّا على مادة دراسية جامعية تأسيسية في ميكانيكا الكسر، تكوَّنت عبر سنوات عديدة من التدريس لطلاب الهندسة الميكانيكية؛ ولذا فإنه يُشكِّل مدخلًا جامعًا ومترابطًا في التخصص، ومستغنيًا عن أي مادة تمهيدية سوى أساسيات الهندسة الميكانيكية. كما أنه يُمثِّل مقدمةً متكاملةً في هذه المجالات للباحثين والممارسين في الصناعة، ويُوفِّر الخلفيةَ النظريةَ لحل المشكلات ذات الصلة، إضافةً إلى أهميته الأكاديمية. وقد لاقى الكتاب انتشارًا وقبولًا طيبًا في طبعتيه الأولى

(٢٠٠٦) والثانية (٢٠١١)؛ وهو ما دعا المؤلِّفَينِ لإصدار الطبعة الثالثة التي استُخدمت للترجمة وصدرت في ٢٠١٨، حيث قاما بمراجعة شاملة للكتاب وإثرائه بعدد من الإضافات المفيدة، وزيادة عدد المسائل المثالية.

ويمكن استخدام الفصول التأسيسية مع أجزاء مختارة من بعض الفصول المتقدمة كمادة لمقرر دراسي جامعي متقدم في الهندسة الميكانيكية. كما يمكن تدريس مادة الكتاب المتقدمة (مع استخدام الفصول التأسيسية كمراجعة) لمقرر دراسات عليا في التخصص.

ونظرًا إلى عدم توفُّر مرجع بهذه الصفة باللُّغة العربية – حسب اطلاع المترجم – فقد تقدَّمتُ بمقترح الترجمة لمركز الترجمة في جامعة الملك سعود، الذي تبنَّاه مشكورًا؛ وذلك ليكون مرجعًا للمختصين والدارسين للموضوع باللُّغة العربية في المجال الأكاديمي والعملي، ويسهم في إثراء المحتوى العربي في مجال الهندسة الميكانيكية بشكل عام، وميكانيكا الكسر على وجه التحديد، التي تعاني نقصًا شديدًا في المحتوى باللُّغة العربية.

وقد استعنتُ بعدد من المعاجم المتخصِّصة للمساعدة في الترجمة، حيث تناولت موضوعات الكتاب تخصصات متداخلة مع الهندسة الميكانيكية لتناول مختلف موضوعات ميكانيكا الكسر والطرق المستخدَمة لتحليل مسائلها؛ فهنالك العديد من المصطلحات من مجالات مختلفة؛ من أهمها الرياضيات والفيزياء. كما رجعتُ إلى العديد من الكتب المترجَمة في مختلف فروع الهندسة الميكانيكية للاستفادة من المصطلحات والتعابير المستخدمة. وقد حرصتُ خلال الترجمة على استيفاء الإرشادات العامة المقدَّمة لمَن يتولى أعمال الترجمة، مع مراعاة العوامل التالية:

- مراجعة أهم المعاجم التقنية المختصة واستخدام ما اتفقت عليه، وفي حال التبايُن أو تعدُّد الخيارات فتكون الأولوية للأكثر انتشارًا، ومن ثَمَّ الأسهل.
- تقديم المصطلحات والمفردات الحديثة المنتشرة والمتداولة بدلًا من القديمة ما دام للأولى وجه من الصحة (مثل استخدام مفردة "كروي" الشائعة حديثًا بدلا من "كُريّ" المستخدَمة قديمًا، وكلتاهما موجودة في المعاجم).
- مراجعة أهم المعاجم التقنية المختصة بالموضوع مع مراعاة السياق الذي يُستخدَم فيه المصطلح؛ فإذا كان السياق طرحًا رياضيًّا لحل مسألة ما، فتكون الأولوية للاستخدام الرياضي للمصطلح؛ وفي حال كان السياق لوصف ظاهرة فيزيائية أو مسألة هندسية، فيُقدَّم المصطلح الفيزيائي للترجمة.

- تجنُّب كتابة المصطلح الإنجليزي بالعربية واستخدام البديل العربي ما أمكن، مثل (الميكانيكا الدقيقة بدلًا من مايكروميكانيكا).
- استخدام الأرقام العربية (المشرقية) في الترقيم، وحيثما وردت الأرقام في الكتاب فيما عدا متن المعادلات الرياضية حيث تكون بصورتها الأصلية.

ورغم العديد من التحديات الإجرائية والإدارية التي تواجه مثل هذا المشروع، وكذلك الصعوبات الموضوعية والفنية خلال عملية الترجمة؛ فإن مسؤولية المُتخصّصِين في مختلف المجالات العلمية تجاه اللُّغة العربية لتوفير المراجع العلمية لقارئ العربية في مختلف السياقات – سواء التعليمي الأكاديمي أو البحثي أو الصناعي المهني – تمنح أكبر الحوافز لتجاوز تلك التحديات والصعوبات؛ هذا فضلًا عن المتعة في مغالبة التعابير الأجنبية وصياغتها بعربية تؤدي المعنى بسلاسة تتجاوز الترجمة الحرفية.

وأحمد الله سبحانه وتعالى أن يسر هذا العمل؛ وأشكر كل من أعانني عليه وأخص بالذكر والدتي الغالية وزوجتي وأبنائي وأشقائي وشقيقاتي على دعمهم المعنوي ومساندتهم؛ كما أشكر مركز الترجمة على إتاحته هذه الفرصة ودعمه للمشروع، وكذلك زملائي في دار جامعة الملك سعود على متابعتهم؛ وأسأل اللهَ سبحانه يجزي الجميع خير الجزاء وأن يُبارك في هذا الجهد، ويجعله إضافةً مفيدةً باللّغة العربية لعلوم الهندسة الميكانيكية بشكل عام، ولميكانيكا الكسر بشكل خاص.

د. عبد الحميد بن عبد الرحمن العبد الجبار

تمهيد

تطور هذا الكتاب من خلال محاضرات عن ميكانيكا الكسر والميكانيكا الدقيقة التي عقدناها لطلاب الهندسة وعلم المواد على مر السنين. وهدفه في المقام الأول أن يكون وسيلة مساعدة للطلاب لتعلّم أسس هذه الموضوعات. وفي الوقت نفسه، فإنه بمثابة مقدمة في هذه المجالات للباحثين والممارسين في الصناعة ولتوفير الخلفية النظرية لحل المسائل ذات الصلة.

يغطي الكتاب أهم مجالات ميكانيكا الكسر ويعطي مقدمة عن الميكانيكا الدقيقة. كان شاغلنا الرئيس هو عرض المفاهيم والأساليب الأساسية بطريقة واضحة وسليمة كأساس للتعمق في هذ الموضوع. ويركز الأسلوب بالدرجة الأولى على الوصف الميكانيكي لعمليات الكسر، مع مناقشة جوانب محددة للمواد كذلك. وللحفاظ على الكتاب مكتفياً ذاتياً، فقد لُخِّصت الأسس الميكانيكية والظواهر المتعلقة بالوسط المتصل أولاً. ثم تلاها دراسة موجزة لفرضيات الكسر والفشل الكلاسيكية. وقد كُرِّس جزء كبير من الكتاب لميكانيكا الكسر الخطي وميكانيكا الكسر المرن اللدن. وتتناول الفصول الإضافية كسور الزحف وميكانيكا الكسر الديناميكية. ويعالج فصل موسع أسس الميكانيكا الدقيقة والمجانسة. وعُرِضَت أخيرًا أساسيات ميكانيكا الضرر وميكانيكا الكسر الاحتمالي. وتُسرد في نهاية كل فصل مراجع مقترحة للقراءة الإضافية.

لقد وجدت الطبعتان الأوليان قبولًا جيدًا لدى القراء مما أدى لضرورة إصدارٍ جديدٍ. وقد استخدمنا هذه الفرصة مرة أخرى لمراجعة كاملة للكتاب ولإدراج عدد من الإضافات. ومن بين أمور أخرى، فقد تناولنا موضوعات مثل المعالجة العددية لمشاكل التصدع والمجانسة، والتشققات في المواد متباينة (غير متناحية) الخواص، والبنى المجهرية الدورية، والتنظيم غير الموضعي لنماذج الضرر. وأخيرًا، أضيف المزيد من الأمثلة.

ويدين الكاتبان لجميع الذين ساهموا في هذا الكتاب. ويشمل ذلك على وجه الخصوص أولئك الذين تعلمنا منهم، أو كما صاغها رودا رودا[1] (Roda Roda) ببراعة: "النقل من أربعة كتب ينتج كتابًا خامسًا عميقًا". وشكرٌ خاص للمهندسة السيدة هـ. هيرست التي أعدت معظم الأشكال. وأخيراً، نشيد بامتنان بالتعاون المبهج مع الناشر.

دارمشتات وكارلسروه، خريف ٢٠١٧

ديتمار غروس

توماس سيلِغ

(١) ألكسندر رودا رودا، صحفي وأديب نمساوي (١٨٧٢-١٩٤٥)، اشتهر بكتاباته الساخرة. (المترجم)

المحتويات
CONTENTS

مقدمة المترجم ..... هـ
تمهيد ..... ط
المقدمة ١

الفصل الأول: أساسيات الميكانيكا الصلبة ٥
(١ , ١) الإجهاد ٦
(١ , ١ , ١) متجه الإجهاد ٦
(٢ , ١ , ١) موتر الإجهاد ٧
(٣ , ١ , ١) شروط التوازن ١٢
(٢ , ١) التشوُّه والانفعال ١٣
(١ , ٢ , ١) موتر الانفعال ١٣
(٢ , ٢ , ١) معدل الانفعال ١٦
(٣ , ١) القوانين التأسيسية ١٧
(١ , ٣ , ١) المرونة ١٧
(٢ , ٣ , ١) المرونة اللزجة ٢٣
(٣ , ٣ , ١) اللدونة ٢٧
(٤ , ١) مبادئ الطاقة ٣٤
(١ , ٤ , ١) توازن الطاقة ٣٤

(٢ , ٤ , ١) مبدأ الشغل الافتراضي ٣٥
(٣ , ٤ , ١) نظريتا كلابيرون وبتي ٣٧
(٥ , ١) مسائل المستوي ٣٨
(١ , ٥ , ١) إجهاد المستوي وانفعال المستوي والقصّ الطولي ٣٨
(٢ , ٥ , ١) المرونة الخطية، الطريقة المركبة ٤١
(٣ , ٥ , ١) المواد تامة اللدونة، وحقول خط الانزلاق ٤٥
(٦ , ١) مسائل ٤٨
(٧ , ١) قراءات إضافية ٥١

الفصل الثاني: الفرضيات الكلاسيكية للكسر والفشل ٥٣
(١ , ٢) المفاهيم الأساسية ٥٣
(٢ , ٢) فرضيات الفشل ٥٥
(١ , ٢ , ٢) فرضية الإجهاد الرئيس ٥٥
(٢ , ٢ , ٢) فرضية الانفعال الرئيس ٥٦
(٣ , ٢ , ٢) فرضية طاقة الانفعال ٥٧
(٤ , ٢ , ٢) فرضية كولوم – مور ٥٨
(٥ , ٢ , ٢) فرضية دركر – براغر ٦٢
(٦ , ٢ , ٢) معيار جونسون كوك ٦٣
(٣ , ٢) سلوك التشوه أثناء الفشل ٦٤
(٤ , ٢) مسائل ٦٦
(٥ , ٢) قراءات إضافية ٦٧

الفصل الثالث: الظواهر المجهرية والعيانية للكسر ٦٩
(١ , ٣) الجوانب المجهرية ٦٩
(١ , ١ , ٣) الطاقة السطحية، القوة النظرية ٦٩
(٢ , ١ , ٣) البنية المجهرية والعيوب ٧٢

(٣, ١, ٣) تشكُّل الشق ٧٥
(٤, ١, ٣) الرشح ٧٧
(٣, ٢) الجوانب العيانية ٧٩
(١, ٢, ٣) نمو الشق ٧٩
(٢, ٢, ٣) أنواع الكسر ٨٠
(٣, ٣) قراءات إضافية ٨٢

الفصل الرابع: ميكانيكا الكسر الخطية ٨٣
(١, ٤) ملاحظات عامة ٨٣
(٢, ٤) حقل رأس الشق ٨٥
(١, ٢, ٤) حقول رأس الشق ذات البعدين ٨٥
(٢, ٢, ٤) حقل رأس الشق للنمط I ٩١
(٣, ٢, ٤) حقل رأس الشق ثلاثي الأبعاد ٩٣
(٣, ٤) مفهوم K- ٩٤
(٤, ٤) معاملات K ٩٦
(١, ٤, ٤) أمثلة ٩٧
(٢, ٤, ٤) صياغة المعادلة التكاملية ١٠٤
(٣, ٤, ٤) طريقة دوال الوزن ١٠٨
(٤, ٤, ٤) تفاعل الشقوق ١١٢
(٥, ٤, ٤) عوامل شدة الإجهاد وعوامل تركيز الإجهاد ١١٨
(٦, ٤, ٤) التحديد العددي للمعاملات K ١٢١
(٥, ٤) متانة الكسر K_{IC} ١٢٤
(٦, ٤) توازن الطاقة ١٢٦
(١, ٦, ٤) إطلاق الطاقة أثناء انتشار الشق ١٢٦
(٢, ٦, ٤) معدل إطلاق الطاقة ١٢٩
(٣, ٦, ٤) المطاوعة، ومعدل إطلاق الطاقة، والمعاملات K ١٣٣

(٤ , ٦ , ٤) توازن الطاقة، معيار كسر جريفيث ١٣٥
(٥ , ٦ , ٤) التحديد العددي لمعدل إطلاق الطاقة ١٤٣
(٦ , ٦ , ٤) التكامل J ١٤٤
(٧ , ٤) الخضوع صغير المدى ١٥٢
(١ , ٧ , ٤) حجم المنطقة اللدنة، تصحيح إروين لطول الشق ١٥٢
(٢ , ٧ , ٤) ملاحظات نوعية على المنطقة اللدنة ١٥٥
(٨ , ٤) النمو المستقر للشق ١٥٧
(٩ , ٤) تحميل النمط المختلط ١٦٠
(١٠ , ٤) نشوء الشق في التجاويف والثُلوم، المعيار الهجين ١٦٧
(١١ , ٤) نمو الشق الكلالي ١٧١
(١٢ , ٤) الشقوق البينية ١٧٣
(١٣ , ٤) المواد اللامتناحية ١٨٣
(١٤ , ٤) المواد الكهرو- إجهادية ١٨٧
(١ , ١٤ , ٤) المبادئ الأساسية ١٨٧
(٢ , ١٤ , ٤) الشق في مادة كهروحديدية ١٩٠
(١٥ , ٤) مسائل ١٩٣
(١٦ , ٤) قراءات إضافية ١٩٦

الفصل الخامس: ميكانيكا الكسر المرن اللدن ١٩٩
(١ , ٥) مقدمة ١٩٩
(٢ , ٥) نموذج دُقديل ٢٠٠
(٣ , ٥) نماذج المنطقة التماسكية ٢٠٥
(٤ , ٥) حقل رأس الشق ٢١٠
(١ , ٤ , ٥) المواد تامة اللدونة ٢١٠
(٢ , ٤ , ٥) نظرية الإجهاد الكلي، حقل HRR– ٢١٧
(٥ , ٥) معيار الكسر ٢٢٣

(٥,٦) تحديد J ٢٢٦
(٥,٧) تحديد Jc ٢٢٧
(٥,٨) انتشار الشق ٢٣٢
(٥,٨,١) نمو الشق بسيطرة J ٢٣٢
(٥,٨,٢) نمو الشق المستقر ٢٣٤
(٥,٨,٣) نمو الشق بحالة الانتظام ٢٣٧
(٥,٩) الشغل الأساس للكسر ٢٤٥
(٥,١٠) مسائل ٢٤٨
(٥,١١) قراءات إضافية ٢٤٩

الفصل السادس: كسر الزحف ٢٥١
(٦,١) مقدمة ٢٥١
(٦,٢) الكسر في المواد اللزجة المرنة الخطية ٢٥٢
(٦,٢,١) حقل رأس الشق، تناظر المرونة واللزوجة–المرنة ٢٥٢
(٦,٢,٢) مفهوم الكسر ٢٥٦
(٦,٢,٣) انتشار الشق ٢٥٧
(٦,٣) كسر الزحف للمواد غير الخطية ٢٦٢
(٦,٣,١) الزحف الثانوي، القانون التأسيسي ٢٦٢
(٦,٣,٢) الشق الساكن، حقل رأس الشق، معاملات التحميل ٢٦٤
(٦,٣,٣) نمو الشق ٢٦٩
(٦,٤) قراءات إضافية ٢٧٦

الفصل السابع: ميكانيكا الكسر الديناميكي ٢٧٧
(٧,١) مقدمة ٢٧٧
(٧,٢) بعض أسس الديناميكا المرنة ٢٧٨
(٧,٣) التحميل الديناميكي للكسر الساكن ٢٨٠

(٧,٣,١) حقل رأس الشق، مفهوم K ٢٨٠
(٧,٣,٢) معدل إطلاق الطاقة، معيار الكسر النشط ٢٨١
(٧,٣,٣) أمثلة ٢٨٣
(٧,٤) انتشار الشق ٢٨٦
(٧,٤,١) حقل رأس الشق: ٢٨٦
(٧,٤,٢) معدل إطلاق الطاقة ٢٩٠
(٧,٤,٣) مفهوم الكسر، سرعة رأس الشق، تفرُّع الشق، توقُّف الشق ٢٩٣
(٧,٤,٤) أمثلة ٢٩٧
(٧,٥) التشظي ٣٠٣
(٧,٦) قراءات إضافية ٣٠٤

الفصل الثامن: الميكانيكا الدقيقة والمجانسة ٣٠٥
(٨,١) مقدمة ٣٠٥
(٨,٢) عيوب مختارة وحلول أساسية ٣٠٧
(٨,٢,١) الانفعال الذاتي (Eigenstrain) ٣٠٨
(٨,٢,٢) اللاتجانسات ٣١٨
(٨,٣) خواص المرونة الفعالة ٣٢٥
(٨,٣,١) الأسس ٣٢٥
(٨,٣,٢) التقريبات التحليلية ٣٤٠
(٨,٣,٣) طرق الطاقة وحدودها ٣٦٣
(٨,٤) مجانسة المواد المرنة اللدنة ٣٧٢
(٨,٤,١) الأسس ٣٧٢
(٨,٤,٢) التقريبات ٣٨٣
(٨,٥) المجانسة العددية ٣٨٩
(٨,٦) المواد المرنة حراريًّا ٣٩٣
(٨,٧) المسائل ٣٩٦
(٨,٨) قراءات إضافية ٣٩٩

الفصل التاسع: ميكانيكا التلف ٤٠١
(٩,١) مقدمة ٤٠١
(٩,٢) الأسس ٤٠٢
(٩,٣) التلف الهش ٤٠٦
(٩,٤) التلف المطيلي ٤٠٩
(٩,٤,١) نمو الفراغات ٤٠٩
(٩,٤,٢) نماذج التلف ٤١٢
(٩,٤,٣) مفهوم الكسر ٤١٥
(٩,٥) تليُّن المواد وتموضع الإجهاد ٤١٥
(٩,٦) التنظيم غير الموضعي لنماذج التلف ٤٢٠
(٩,٧) قراءات إضافية ٤٢٧

الفصل العاشر: ميكانيكا الكسر الاحتمالي ٤٢٩
(١٠,١) مقدمة ٤٢٩
(١٠,٢) الأسس ٤٣٠
(١٠,٣) مفهوم الكسر الإحصائي لوِيبُل ٤٣٣
(١٠,٣,١) احتمالية الكسر ٤٣٣
(١٠,٣,٢) إجهاد الكسر ٤٣٦
(١٠,٣,٣) تعميمات ٤٣٧
(١٠,٤) التحليل الميكانيكي للكسر الاحتمالي ٤٣٩
(١٠,٥) قراءات إضافية ٤٤٠

ثبت المصطلحات ٤٤١
أولاً: عربي - إنجليزي ٤٤١
ثانياً: إنجليزي - عربي ٤٥٨
كشاف الموضوعات ٤٧٥