بسم الله الرحمن الرحيم

# المبسّط في هندسة النظم


**تأليف**

**Robert Cloutier  Clifton Baldwin  Mary Alice Bone**

ترجمة

**د. خالد بن عبدالله الحصيني**

قسم التكنولوجيا الطبية الحيوية – كلية العلوم الطبية التطبيقية- 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، ١٤٤٣هـ (٢٠٢١م)

*فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر*

كلوتير ، روبرت

المبسط في هندسة النظم / روبرت كلوتير ؛ خالد بن الحصيني – الرياض ، ١٤٤٣

١٠٤ص؛ ١٧سم × ٢٤ سم

ردمك: ٩- ٠٠٦- ٥١٠ - ٦٠٣ - ٩٧٨

١ - هندسة النظم ٢- البرمجة (حواسيب) أ. الحصيني ، خالد بن عبدالله (مترجم)

ب. (العنوان)

ديوي ١ ,٠٠٥ ١٤٤٣ / ٤٢١

رقم الإيداع: ١٤٤٣ / ٤٢١

ردمك: ٩- ٠٠٦- ٥١٠ - ٦٠٣ - ٩٧٨

هذه ترجمة عربية محكمة صادرة عن مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Systems Engineering Simplified
By: Robert Cloutier & Clifton Baldwin & Mary Alice Bone
©by. Taylor & Francis Group, LLC 2015
وقد وافق المجلس العلمي على نشرها في اجتماعه السابع عشر للعام الدراسي ١٤٤٢هـ، المعقود بتاريخ ٣٠/ ٨/ ١٤٤٢هـ، الموافق ١٢/ ٤/ ٢٠٢١م.

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

يعدّ الكتاب من الكتب المثرية جدًا للمتخصصين، وغير المتخصصين في الأنظمة التقنية، وتصميماتها الهندسية، وطرائق عملها. إضافة مثل هذا المحتوى للمكتبة العربية سيساهم في رفع مستوى الوعي بطرائق عمل الأنظمة، وتصميمها، والمحافظة على جودة أدائها. إن وعي المختصين وغير المختصين وإحاطتهم بمبادئ تصميم الأنظمة الهندسية سيحفز القارئ العربي على الابتكار، والإبداع، والتفاعل مع المشكلات، والحلول التقنية بطرائق ممنهجة، وفعالة. أيضًا،، مع توجه المملكة العربية السعودية في رؤية ٢٠٣٠ إلى توطين الصناعات، وتنويع مصادر الدخل بعيدًا عن النفط؛ فإن هذا الكتاب يعدّ خطوة أولى للقارئ الذي يهتم بتشغيل الأنظمة بجميع تفرعاتها، أو تصميمها، أو صيانتها. الكتاب يعدّ دليلًا لا غنى عنه لفهم الحقائق المحيرة في القرن الواحد والعشرين. لغة الكتاب المبسطة، والمحكمة بنفس الوقت تجعله كتابًا مناسبًا لشريحة عمرية واسعة من القرّاء بتنوع مراحلهم التعليمية، وتنوع خلفياتهم العلمية. إضافة إلى ذلك، طلاب جامعة الملك سعود، والجامعات الأخرى في تخصصات مثل التقنية الطبية الحيوية، والهندسة الميكانيكية، والكهربائية، والصناعية قد يجدون في هذا الكتاب نقطة انطلاق لفهم عمل الكثير من الأنظمة التي يواجهونها في أثناء دراستهم، أو في بيئة عملهم.

# مقدمة: عن هندسة النظم
# FOREWORD: THE CONTEXT FOR SYSTEMS ENGINEERING

ما الدافع إلى دراسة هندسة النظم (systems engineering)؟ ببساطة؛ لأنها أكثر التخصصات أهميةً وانتشارًا في وقتنا الحالي؛ إذ نقف في عصرنا الحالي على مشارف بزوغ فجر الثورة المعلوماتية (information revolution،) في خضمّ طفرة تحوليّة في الإنتاج، واعتمادٍ غير مسبوقٍ على التقنية الرقمية في جميع شؤون حياتنا تقريبًا. وأثر هذا التغيير الجوهري في الإنتاجية – ولعلّها في حدتها، وحجمها لم تُسبق إلا بثورةٍ، أو بثورتين معلوميتين- يعيد تعريف فهمنا لدور العائلة والدولة والعمل. وهذا ما يجعل الثورة في زمننا هي ثورة نُظُم بامتياز، فكما أسهمت الثورة الصناعية (industrial revolution) في خلق تخصصاتٍ مثل الهندسة الميكانيكية، متبوعةً بالهندسة الكهربائية، والكيميائية، والنووية؛ تتطلب هذه الثورة تطوير هندسة النظم، ومهندسي النظم.

ما نستعرضه ليس إلا حلقةً حديثةً ضمن سلسلة أحداثٍ غيرت مجرى التاريخ الإنساني، ولكل حلقة في هذه السلسلة نتائجها الجوهرية والإيجابية التي ألقت بأثرها في أمدِ الحياة، وجودتها، وتوابعها الصحية. إذ يسهم رفع مستوى الإنتاجية -في غالب الأحيان- في تطوير أدوات، وتقنيات جديدة، وإن بدا أثرها وتأثيرها محدوداً، كاستبدال رؤوس الخشب المتصلبة بالنار على رأس الرمح بأطراف عظميّة على سبيل المثال، وما تلاه من تحول تدريجي إلى الاستعانة بالصخور ذات الرؤوس الحادة، إلى رؤوس النحاس، والمعدن، والحديد، والصلب. وقد يكون أثر التغيير وتأثيره هائلاً غير مسبوق في أحيانٍ ليمتد لقرون، وأبرزها في رأيي التحول الحاصل في مجالات الطبخ، والزراعة، والكتابة، والطاقة البخارية (steam power).

أدّى بسط الإنسان سيطرته على النار إلى اختراع الطبخ الذي بدوره زاد من وفرة السعرات الحرارية، والكتل الحيوية في النباتات، والحيوانات؛ ليمتد تأثيره إلى حجم الدماغ، وتطور مناطق فيه مرتبطةً بمعالجة الكلام. وكلما زادت القدرات المعرفية والإدراكية في الكائن، زادت قدرته على ملاحظة الدورة الزراعية، والهجرة الحيوانية في بيئته، ومع زيادة تجارب الإنسان المختلفة في إدارة النباتات، والحيوانات؛ قاده ذلك إلى اكتشاف الزراعة؛ أحد أكثر مصادر الدخل المربحة في التاريخ، ومكّن من تزايد النمو السكاني، وتجمع البشر في المدن؛ لتكشف الستار عن حياة المدينة، ونشوء نظام المقايضة فيها وتبادل السلع بين الحرفيين المتخصصين الذين طوّروا مع الوقت علم الكتابة؛ ليقيدوا حدود الحرية، واللاموثوقية في العهود الشفوية. استمر هذا النموذج الزراعي المبنيّ على الحِرفية دون تغيير يذكر لقرابة سبعة آلاف سنة؛ حتى كشف نهاية منتصف القرن التاسع عشر الستار عن اختراع الطاقة البخارية كحدثٍ، وتحوّلٍ تاريخي جذري غير مسبوق.

لم يرَ التاريخ مثيلاً للثورة الإنتاجية في منتصف القرن التاسع في ضخامتها وأثرها (لم يسبقها إلا الثورة التي أدت إلى نشوء تاريخنا المكتوب هذا!). وفي أثناء تطور الثورة الصناعية، وتعاظم أثرها ما بين ١٨٤٠ إلى ١٩٥٠، كانت سرعة التغيير شاملة لكل نواحي الحياة، واكتشاف أوجهٍ ومصادر أخرى للطاقة مثل النفط، والغاز، والطاقة الهيدروكهربائية؛ لتنتج عن تغيير في بنية العائلة، والعمل، والمجتمع ككل.

يمسّ التأثير الفريد والاستثنائي في تاريخ البشرية للثورة المعلوماتية في عصرنا المواطنين البسطاء، لا المتخصصين فقط، ويضطرهم إلى امتلاك درجة من المعرفة في فرعٍ من فروع الهندسة، وهو هندسة النظم التي تدلّنا إلى فهم سلوك الأشياء هندسياً، واستيعاب أثرها البالغ في حياتنا، وتجيبنا على أسئلة عديدة مثل: ما الدافع إلى سلوكيات بعض أجهزتنا؟ ما الذي يقف خلف تعقيد أبسط المشكلات في وجه حلولنا الهيرقلية المخلصة؟ لم نشعر بأن كثيراً من النتائج في حياتنا لا تتوافق مع توقعاتنا؟ الإجابة ببساطة؛ لأنها مبنيةٌ على نظم، وهذه النظم بدورها تتصرف وفقاً لقوانينها هي.

إن إدراك مبادئ هندسة النظم، وسبر أغوارها هو أكثر المهارات التي يمكن لأبسط الأفراد اكتسابها، فهي أشبه بلقاحٍ ضد نظريات المؤامرة، والاحتيال في الإنترنت، واحتيالات التسويق الهاتفي، وهي تساعدنا على فهم السلوكيات، والتغيرات الغامضة في المؤسسة، أو النظام الذي نشكل جزءاً منه، وما يحمينا من الوقوع في الإحباط هو إدراكنا أن أخطاء النظم ليست أخطاءً بشرية، بل أثرٌ من آثار تشكّل بنية النظام نفسه.

في رحلتنا نحو إدراك الطبيعة الضمنية للنظام بصفته موضوعًا للدراسة؛ يجب أن نعي ابتداءً، ونلم بمصطلحات هندسة النظم، وأن نتعرف على الأدوات المتنوعة والمتوفرة لمهندسي النظم لدراستها، وفهم العمليات المستخدمة لتصميم النظم، وبنائها، واختبارها، وتشغيلها، وصيانتها في كل يوم، وهذه الجوانب بالتحديد هي موضوع كتابنا هذا، وهو ما سنطرقه بـأسلوبٍ لا يتطلب تدريبًا تقنيًّا متقدمًا، أو فهما للرياضيات المعقدة؛ إذ يقدم لنا الكُتّاب نظرةً عامةً مهمةً لمبادئ النظم وهندستها، بأسلوب صُمم لاستيعاب غير المتخصص ليساعد على إدراك الخطوط العريضة لكيفية عمل النظم، ودور مهندسي النظم في تصميمها، وبنائها، وتشغيلها. هذا الكتاب هو دليلٌ لا غنى عنه لاستكشاف واقعنا المحيّر والغامض في القرن الواحد والعشرين.

د. ويلسون ن. فيلدر
*Castle Point on Hudson*

د. فيلدر مدير (Washington Operations)، وأستاذ في معهد ستيفن للتكنولوجيا ( Stevens Institute of Technology). وهو المدير السابق لمركز ويليام ج. هيوز التقني ( William J. Hughes Technical Center) في مدينة أطلانتك سيتي، نيوجيرسي، ومختبر الإدارة الفدرالية الوطني للبحث والاختبار (FAA's national research and test laboratory)

# تمهيد
# PREFACE

تتمحور هندسة النظم حول التفكير بكل شيء حولنا وفقاً لمنهجية معينة، فتجيب أولًا عن سؤال "لماذا نعمل ذلك؟"، ثم تنتقل إلى إدراك آليات استخدامها ضمن بيئتها الحالية. ويطرح مهندسو النظم أسئلة مختلفة مثل "هل قمنا ببناء الشيء الصحيح؟ هل يعمل وفق هدفه الذي وضع له؟"، ما لم تطرح هذه الأسئلة فإننا نخاطر بإنتاج منتجٍ لا يتناسق مع احتياجات السوق؛ ولأن هندسة النظم غالبًا لا تُعرّف، فهي تُرى أحيانًا بصفتها تخصصًا حديث العهد، إلا أن أغلب الشركات تمارس هندسة النظم دون تسميتها بهذا المسمى.

نستعرض في الفصل الأول استيعاب المهندسين في البرامج التجارية والحكومية أن العالم أصبح أكثر تعقيدًا، ومن ثَمّ فهو يدفعنا إلى خلق مقاربات أكثر شمولية عند التعاطي مع النظم الأحدث. تحلل الفصول التالية دورة الحياة (life cycle،) لهندسة النظم، واصفة بأبسط المصطلحات ما يجب فعله خلال عملية التطوير.

لا يعدّ هذا الكتاب كتابًا مدرسيًا، بل هو مدخل مبسط لهندسة النظم. كانت الشريحة المستهدفة لهذا الكتاب هم طلبة البكالوريوس في التخصصات الهندسية في مؤسسة العلم الوطنية ( National Science Foundation)، ومركز طاقة السوائل المدمجة والفعالة ( Center for Compact and Efficient Fluid Power). طلبة البكالوريوس هؤلاء ليسوا مهندسي نظم، إلا أنهم كانوا في حاجة إلى فهم أفضل لهندسة النظم حين يتعاطون مع استعمالاتهم لطاقة السوائل ضمن نطاق أوسع، إلا أن من اطلع على هذه المسودة رأى أن مادتها ستعود بنفع أكبر إذا ما وجهت لجمهور أعرض.

عندما طُلب مني أن أكتب هذه المسودة، تواصلت مع اثنين من زملائي ذوي الخبرة المعتبرة في هندسة النظم، وهم د. كليفتون بالدوين وماري بون؛ ولذا يقدم هذا الكتاب نظرةً لهندسة النظم كما تُمارس في البرامج الحكومية والشركات التجارية الرائدة.

على الرغم من أن ما يطرح من آراء في هذا الكتاب تعكس وجهة نظر كتابه فقط؛ فإننا استقبلنا عدداً من الاقتراحات والتوصيات عند مراجعة المسودات الأولى للكتاب. وهنا نشكر جود ديباركو، PE، ومايك باليون لتعقيباتهم واقتراحاتهم التي تعكس وجهة نظرٍ خارج مجال هندسة النظم. كما نشكر مهندسي النظم جيون كرومب، وتوني لونغ، وستايسي كورنيش، ولاكايشا أجايبولم، وماري كي، ود. جورج غاردنر لمشاركتهم وشغفهم نحو تطوير هندسة النظم خلال إدارة الطيران الفيدرالية (Federal Aviation Administration, FAA). أخيرًا وليس آخرًا، نشكر سوزان م. أ. بالدوين لحسّها الفني في تغطية احتياجنا من الرسومات البيانية المخصصة.

نأمل أن تستمتع عزيزي القارئ بهذه المقدمة المبسطة لهندسة النظم.

روب كلوتير، وكليف بالدوين، وماري بون

# نبذة عن المؤلفين
# ABOUT THE AUTHORS

**روبرت كلوتير (Robert Cloutier)**، أستاذ مشارك في هندسة النظم في كلية النظام والمشاريع (School of System and Enterprises) بمعهد ستيفنز للتكنولوجيا. يعمل في المجلس الاستشاري العلمي لمؤسسة العلم الوطنية مركز البحث الهندسي لطاقة السوائل المدمجة والفعالة ( Scientific Advisory Board for the National Science Foundation Engineering Research Center for Compact and Efficient Fluid Power). روب هو الرئيس الحالي لمجلس ديلوار الدولي في هندسة النظم (Delaware Valley Chapter of International Council on Systems Engineering). تنصب اهتماماته البحثية في تطوير مفاهيم الهندسة وطريقة خلق مفاهيم العمليات ، بواسطة تطبيق عدة أنماط خلال تصميم نظم معقدة، وهندسة نظم مبنية على النمذجة. لدى روب خبرة في قطاع الصناعة لأكثر من ٢٠ سنة قبل انضمامه للسلك الأكاديمي. تتضمن أدواره في قطاع الصناعة على مهندس نظم رئيسي، ومصمم للنظام، ومدير مشروع هندسي لمقاولي السلامة الرئيسيين.

تخرج روب بدرجة بكالوريوس في أكاديمية الولايات المتحدة البحرية ( U.S. Naval Academy)، وحصل على ماجستير إدارة الأعمال من جامعة إيسترن (Eastern University)، وحصل على شهادة الدكتوراه في هندسة النظم من معهد ستيفنز للتكنولوجيا.

**كليفتون بالدوين (Clifton Baldwin)**، كبير مهندسي النظم في إدارة الطيران الفدرالية، وباحث مابعد الدكتوراه في معهد ستيفنز للتكنولوجيا. وهو المدير الإقليمي في جنوب نيوجرسي لمجلس ديلوار الدولي في هندسة النظم. يتمتع بخبرة عملية في البرمجيات (software) وهندسة النظم لأكثر

من عشرين سنة. تتضمن اهتماماته البحثية نظام النظم وتصميم النظم المعقدة. حامل لدرجة البكالوريس في الرياضيات من جامعة روتقرز (Rutgers University)، ودرجة الماجستير في نظم المعلومات من جامعة جون هوبكينز ، ودرجة الدكتوراه في هندسة النظم من معهد ستيفنز للتكنولوجيا. كما أن كليف يحمل رخصة محترف إدارة المشاريع ( Project Management Professional) من معهد إدارة المشاريع (Project Management Institute)، وبصفته خبير هندسة النظم للمحترفين (Expert Systems Engineering Professional) من مجلس ديلوار الدولي في هندسة النظم.

**ماري بون (Mary Bone)**، طالبة دكتوراه في معهد ستيفينز للتكنولوجيا. حاملة لدرجة البكالوريوس في هندسة الطيران من جامعة ميزوري للعلوم والتقنية ( Missouri University of Science and Technology)، ودرجة الماجستير في هندسة النظم من جامعة ولاية آيوا ( Iowa State University). عملت مهندسة نظم في شركة GE، وBAE، وRockwell Collins، و Dell. كما أنها قد تقلدت أعمالًا في فرق التوجيه تشمل تصميم الأنظمة، والمتطلبات، والتحقق (Verification)، والتأكد (Validation)، وهندسة النظم. وهي كذلك مساعد باحث في معهد ستيفنز للتكنولوجيا، تقوم بالبحث حول هيكلة النظم (system architecture)، وتصميمها، وتقييمها، وهي حاليًا تبحث في تعقيد هيكلة النظام وإنتروبيته.

# المحتويات
# CONTENTS


**مقدمة المترجم** ..... هـ

**مقدمة : عن هندسة النظم** ..... ز

**تمهيد** ..... ك

**نبذة عن المؤلفين** ..... م

**قائمة الرسوم التوضيحية** ..... ق

**قائمة الجداول** ..... ث

**الفصل الأول: مقدمة** ..... ١

(١ , ١) نظرةٌ عامة ..... ١

(١ , ٢) مناقشةٌ لمصطلحاتٍ شائعة ..... ٥

(١ , ٣) عن هندسة النظم ..... ١٠

(١ , ٤) تاريخٌ موجزٌ عن هندسة النظم ..... ١٢

(١ , ٥) أمثلةٌ على النظام ..... ١٤

(١ , ٦) ملخص ..... ١٧

**الفصل الثاني: دورة حياة النظام** ..... ٢١

(٢ , ١) إدارة تطوير النظام: نموذج Vee ..... ٢٤

(٢ , ١ , ١) مفاهيم ومتطلبات صاحب المصلحة ..... ٢٥

(٢ , ١ , ٢) متطلبات النظام ..... ٣١
(٣ , ١ , ٢) هيكل النظام ..... ٣٥
(١ , ٣ , ١ , ٢) الهيكل الوظيفي ..... ٣٨
(٢ , ٣ , ١ , ٢) الهيكل المادّي ..... ٤٢
(٤ , ١ , ٢) تصميم المكونات ..... ٤٢
(٥ , ١ , ٢) استصدار الأجزاء وصنعها وتجميعها ..... ٤٤
(٦ , ١ , ٢) دمج المكونات واختبارها ..... ٤٤
(٧ , ١ , ٢) دمج النظام والتحقق منه ..... ٤٦
(٨ , ١ , ٢) عرض النظام وتأكيده ..... ٤٧
(٢ , ٢) إنتاج النظام ..... ٤٨
(٣ , ٢) استخدام النظام ودعمه ..... ٤٨
(٤ , ٢) إنهاء النظام والتخلص منه ..... ٤٩

**الفصل الثالث: نماذج تطوير أخرى لهندسة النظم** ..... ٥١
(١ , ٣) النموذج الحلزوني ..... ٥١
(٢ , ٣) النموذج الرشيق (أجايل) في هندسة النظم ..... ٥٣

**الفصل الرابع: النظام المبنيّ على الغاية** ..... ٥٥
(١ , ٤) التجريد والتركيب ..... ٥٥
(٢ , ٤) الدمج ..... ٥٨

**الفصل الخامس: تطوير المتطلبات وإدارتها** ..... ٦١

(١ , ٥) عملية إدارة المتطلبات الإعصارية ..... ٦٢
(٢ , ٥) استنباط المتطلبات..... ٦٤
(٣ , ٥) مناقشة المتطلبات وتحليلها ..... ٦٤
(٤ , ٥) التفاوض على المتطلب والالتزام به..... ٦٨
(٥ , ٥) مواصفات المتطلبات ..... ٦٨
(١ , ٥ , ٥) تقسيم المتطلبات..... ٩٩
(٢ , ٥ , ٥) إدارة المتطلبات ..... ٧١
(٦ , ٥) التحقق ..... ٧٥
(٧ , ٥) التأكد..... ٧٧

**الفصل السادس: إدارة هندسة النظم** ..... ٧٩
**الفصل السابع: أدوات مستخدمة في هندسة النظم** ..... ٨٣
**الفصل الثامن: أنظمة النُظم وتحدياتها** ..... ٨٧
**الفصل التاسع: تعلم المزيد حول هندسة النظم** ..... ٩١

**المراجع**..... ٩٣
**ثبت المصطلحات** ..... ٩٥
أولاً: عربي – إنجليزي ..... ٩٥
ثانياً: إنجليزي – عربي ..... ٩٩
**كشاف الموضوعات** ..... ١٠٣