مجلة جامعة الملك عبدالعزيز: العلوم الهندسية، م ٢٠ ع٢، ص ص: ١١١ - ١٤٠ (٢٠٠٩م/١٤٣٠هـ)

التفكير الهندسي في استشراف المستقبل

علي محمد علي رشدي

قسم الهندسة الكهربائية وهندسة الحاسبات، كلية الهندسة،

جامعة الملك عبدالعزيز، جـــدة – المملكة العربية السعودية

arushdi@kau.edu.sa

المستخلص. هذه محاولة أولية لبحث التفكير الهندسي في استشراف مستقبل البشرية ولدراسة دور الهندسة والمهندسين في هذا المجال. نبدأ بالحديث عن مفهوم النموذج الإرشادي أو الإطار الفكري، وهو مفهوم ابتكر لتفسير ظاهرة الثورات العلمية ثم جرى تعميمه لدراسة التغيرات والتطورات المختلفة التي تمر بها المجموعات والأنشطة البشرية. ندرس النموذج الإرشادي المعاصر للعمل الهندسي من خلال وصفنا للطريقة الهندسية المستخدمة بصفة عامة في حل المشاكل الهندسية وبصفة خاصة في التصميم الهندسي، ومن خلال تصنيفنا لأنواع المسائل والمشاكل الهندسية وأساليب التعامل معها. نسعى لاستكشاف ملامح النموذج الإرشادي المستقبلي للعمل الهندسي من خلال إلقاء نظرة شاملة على القوى التي تعمل على إيجاده، وذلك بسرد خصائص التنمية المستدامة ومتطلبات الاتساق البيئي الصناعي ومبادئ الهندسة الراعية للبيئة والهندسة الخضراء، ومبدأ التوقي والحذر.

١. مقدمة

تمثل ورقة البحث هذه محاولة أولية لبحث التفكير الهندسي في استشراف مستقبل البشرية ولدراسة دور الهندسة والمهندسين في هذا المجال. وتأتي أهمية هذه الورقة في تنويهها بأهمية توعية ومتابعة ومشاركة المهندسين في العالم الإسلامي العربي وفي العالم الثالث عموما بالدراسات الاستشرافية. ويجدر بالذكر أن أكثر الدراسات المستقبلية المعاصرة منحازة بصورة صارخة إلى الثقافة الغربية ومهتمة فقط باحتياجات أغنياء العالم الأول ومتجاهلة لهموم ومتطلبات السواد الأعظم من البشر[١] ، كما أن العالم الثالث شبه مغيب عن إبداء الرأي في القضايا المستقبلية للعلوم والتقانة[٢].

وبينما تتعدد مقاربات وأساليب الدراسات الاستشرافية، فإننا اخترنا أن يكون مدخلنا إليها هو مفهوم النموذج الإرشادي أو الإطار الفكري (paradigm)، وهو مفهوم ابتكر أساسا لتفسير ظاهرة الثورات العلمية ثم جرى تعميمه (مع كثير من التنقيحات والاعتراضات) لدراسة التغيرات والتطورات المختلفة التي تمر بها المجموعات والنشاطات البشرية. إن النموذج الإرشادي المعاصر للعمل الهندسي يتمثل في الطريقة الهندسية المستخدمة بصفة عامة في حل المشاكل الهندسية، وبصفة خاصة في التصميم الهندسي. ثمة توافق في الرأي أن مقاربات وأساليب الهندسة التقليدية وطرائق تفكيرها لا يمكنها أن تسفر عن حلول مستدامة، وأن هناك حاجة إلى تطوير هذه المقاربات والأساليب لتوفر قدرا أكبر من الإبداع (innovation)، وتركز على عناصر القوة الاجتماعية والثقافية والبيئية، وتستعمل التفكير النقدي (critical) والعرضي غير النمطي (lateral) [٣]. إن هذا التطوير يتم الآن تدريجيا، وقد يأخذ شكلا ثوريا سريعا في

وقت لاحق، ولكن المتوقع على أية حال أن يؤدي إلى نشوء نموذج إرشادي جديد للعمل الهندسي.

تشتمل هذه الورقة على أربعة فصول تلي فصل المقدمة الحالي. يشرح الفصل الثاني مفهوم النموذج الإرشادي أو الإطار الفكري وعددا من المفاهيم المرتبطة به مثل نقلة النموذج وشلل النموذج، ورواد النموذج. ويعرض الفصل الثالث وصفا موجزا للطريقة الهندسية المعاصرة ولأشهر استراتيجيات حل المسائل والمشاكل الهندسية. ويتبع ذلك الفصل الرابع موضحا أدوات الطريقة الهندسية وخصائص بعض المسائل والمشاكل التي تتناولها، ويشمل ذلك الخوارزميات التي تعالج المسائل حسنة الصياغة، والإجراءات التجريبية **أو** التنقيبية أوالاستكشافية التي تتناول المسائل غير واضحة المعالم وغير المفهومة بدقة والمغلفة بشيء من الغموض أو الإبهام أو الريبة أو عدم التيقن. كما يشمل ذلك كيفية التعامل مع المسائل الحرونة. يسعى الفصل الخامس لاستكشاف بعض ملامح النموذج الإرشادي المستقبلي للعمل الهندسي من خلال إلقاء نظرة شاملة على إرهاصات مخاض ولادته، وذلك بسرد خصائص التنمية المستدامة ومتطلبات الاتساق البيئي الصناعي، ومبادئ الهندسة الراعية للبيئة والهندسة الخضراء، ومبدأ التوقي والحذر. وختاما يضيف الفصل السادس بعض التعليقات الإضافية والتساؤلات المستقبلية.

٢. النموذج الإرشادي

إن النموذج الإرشادي أو الإطار الفكري (paradigm) هو ذلك النموذج (model) أو النمط (pattern) المعتمد على مجموعة من القواعد (rules) التي ترسم لمجموعة بشرية محددة كيفية النجاح في حل المشاكل التي تواجهها، كما

أنها تعرف الحدود أو الأطر (boundaries) التي يمكن داخلها أو عندها تحقيق ذلك النجاح. وكما يوضح توماس كون في كتابه الشهير "بنية الثورات العلمية" [٤]، فإن النموذج الإرشادي يظل سائدا لفترات من الزمن قد تطول أو تقصر إلى أن يحس بعض أفراد المجموعة البشرية بعجز النموذج الإرشادي عن معاونتهم في تحقيق النجاح في مواجهة المشاكل التي يتعرضون لها، ومن ثم يلجأون إلى عمل نقلة أو زحزحة في النموذج الإرشادي (paradigm shift) قد تكون سريعة وفجائية وقد تكون تدريجية وتستغرق مدة زمنية محسوسة. وعندما تقع هذه النقلة، يسود نموذج إرشادي جديد يعتمد على قواعد وأطر جديدة محل النموذج الإرشادي القديم، ويؤدي ذلك إلى السماح بإيجاد حلول لمشاكل لم تكن قابلة للحل في السابق. كما تؤدي هذه النقلة إلى جعل جميع أفراد المجموعة البشرية يعودون إلى نقطة الصفر ليبدأوا جميعا على قدم المساواة وفقا للقواعد والأطر الجديدة نظرا لأن القواعد والأطر القديمة (التي كانت توفر تفوقا وتميزا وأسبقية لبعضهم على بعض) قد تلاشت ولم يعد لها وجود. ولتوضيح هذه النقطة نذكر النموذج الإرشادي الذي كان يحكم صناعة الساعات لقرون عديدة، حيث كانت الساعات ميكانيكية بحتة ومبنية من تروس وزنبركات ونحوها، وكان تفوق السويسريين في هذه الصناعة مشهورا ومشهودا به. وفي عام ١٩٦٧م، تم اكتشاف إمكانية صناعة الساعات الرقمية الإلكترونية باستعمال بلورة الكوارتز، وأدى ذلك إلى نقلة في النموذج الإرشادي لصناعة الساعات، وبدأت المنافسة داخل هذا النموذج الإرشادي من الصفر، ولم يكن للتفوق السويسري السابق طبقا للنموذج الإرشادي القديم أية ميزة نسبية مع غلبة النموذج الإرشادي الجديد[٥،٦]. ويشبه ماحدث في صناعة الساعات ذلك التغير الذي وقع في صناعة الآلات الحاسبة المكتبية، فقد كان النموذج الإرشادي السائد هو ذلك الخاص بالمساطر الحاسبة المنزلقة (slide rules) إلى أن وقعت النقلة الشهيرة في

النموذج الإرشادي من خلال اختراع محسبة الجيب الإلكترونية (electronicpocket calculator).

إن من أخطر المزالق التي تتهدد أية مجموعة بشرية بالفشل هو أن تخفق في التعرف على والاستجابة لحدوث نقلة أو زحزحة في النموذج الإرشادي، بحيث يظل أفرادها أسرى للقواعد التي يضعها والأطر التي يرسمها النموذج الإرشادي القديم، وهذا الخطر هو مايسمى بشلل النموذج الإرشادي (paradigm paralysis) عند المستقبليين أو المستشرفين أو علماء استكشاف المستقبل (futurists). إن هذا الشلل هو مايعتري أولئك الذين يعتنقون فكرة أن ما كان ناجحا في الماضي سوف يظل ناجحا في المستقبل، كما أن هذا الشلل هو الوصف الدقيق لمن يعجزون عن ملاحقة نقلات النماذج الإرشادية، ولايقبل اعتذارهم بأن هذه النقلات صارت تترى في تتابع إيقاعه سريع للغاية، وأنها شملت ميادين عديدة في العلم والتقانة والصناعة ومعالجة ونقل المعلومات وما إلى ذلك.

يلزمنا هنا أن نشيد بدور رواد النقلة أو التغيير أو الثورة في النموذج الإرشادي (paradigm pioneers). إن هؤلاء الرواد هم أولئك الذين تواتيهم الشجاعة للإفلات والهرب من شلل النموذج الإرشادي، وهم الذين يزيحون عن كواهلهم عبء الالتزام بالقواعد القائمة دون أن يكون لديهم أدنى ضمان للنجاح، ولذلك فهم أشبه شيء بالمستكشفين الجغرافيين الذين كان عليهم أن يقتحموا الأراضي والبحور التي لا يعرف سالك لها من قبلهم، وكان عليهم أن يمهدوا السبل الآمنة لمن يأتي من بعدهم. ولا يخلو عمل هؤلاء الرواد من مخاطرة رهيبة، ولكنهم حال نجاحهم يظفرون بغنائم لا تتأتى لغيرهم. إن رواد النقلة في النموذج الإرشادي يتمتعون بثلاث ميزات رئيسة، أولاها الحدس الذي يمكنهم

من التعرف على الأفكار الجديدة ومن تمييز أعراض شلل النموذج الإرشـــادي عند وقوعه ومن اكتشاف الفرص المتاحة لاستحداث نقلة أو ثورة في النمـــوذج الإرشادي، وثانيتها الشجاعة التي تسمح لهم بالمغامرة والتقـــدم فـــي مواجهـــة مخاطر جسيمة، وثالثتها المثابرة التي تعينهم على تطوير أفكارهم إلى أن تنضج وتثمر ويطيب قطافها [٥،٦] .

٣. الطريقة الهندسية

تعرف الطريقة الهندسية (Engineering Method) بأنها استراتيجية استخدام الإجراءات التجريبية لإحداث أفضل التغييرات في موقف مفهوم جزئيا وظنيا باستخدام الموارد المتاحة[٧]. وقد ظفرت الطريقة الهندسية باسمها هذا لكونها بلا منازع أكثر الوسائل فعالية في حل المشاكل الهندسية عموما وفي التصميم الهندسي بصفة خاصة. وقد اكتسبت الطريقة الهندسية المعاصرة خصائصها الحالية في النصف الثاني من القرن الماضي متأثرة بإسهامات بوليا (Polya) في الطريقة الرياضية (Mathematical Method) [٨،٩]. وتتكون استراتيجية حل المسائل والمشاكل الهندسية الأكثر شهرة[٦] من خمس خطوات رئيسة هي خطوات التعريف (definition) والتوليد (generation)، والتحديد أو التقرير (decision)، والتنفيذ (implementation) والتقويم (evaluation). الخطوة الأولى هي **تعريف** المشكلة الحقيقية من خلال جمع المعلومات عنها واتباع إجراءات محددة منها طريقة تحديد الحالتين الراهنة والمرغوبة، وطريقة مخطط دنكر، وطريقة تكرار إعادة الصياغة، مع التمهل بعد ذلك لتقويم التعريف الناتج والتأكد من موافقته والتزامه بجميع المتطلبات والقيود. يلي ذلك الخطوة الثانية التي تعمل على **توليد** أكبر عدد ممكن من الحلول المتخيلة دون النظر إلى أية قيود أو ضوابط وذلك باستعمال أسلوب اشتهر باسم العصف الذهني (brainstorming)

(ولكننا نفضل تسميته الوابل الذهني للدلالة على غزارة مايتولد عنه من أفكار لأن الوابل هو المطر الغزير)، ثم تجميع الأفكار أو الحلول المتقاربة والمتآلفة التي يمكن أن ينتظمها عنوان شامل في مجموعات عمودية تمثل أفرع شجرة الأفكار (idea tree). وعندما يضمحل العصف الذهني ليصبح مجرد طل ذهني (braindrizzling) يمكن تنشيطه مرة أخرى بعدة وسائل منها (أ) استعمال طريقة محفزات أوسبورن للتفكير الرأسي أو النمطي (vertical thinking) التي تؤدي إلى توليد أفكار شبيهة بالأفكار السابقة، ومن ثم تؤدي إلى زيادة عمق شجرة الأفكار، و(ب) استعمال طريقة التحفيز العشوائي للتفكير العرضي أو غير النمطي (lateral thinking) التي تؤدي إلى توليد أفكار تختلف جذريا عن الأفكار السابقة، ومن ثم تؤدي إلى زيادة عرض أو اتساع شجرة الأفكار. الخطوة الثالثة هي خطوة **تقرير** أو **تحديد** إذ تتطلب اتخاذ قرار بشأن اختيار أفضل الأفكار أو الحلول المتاحة وذلك بقياس أو نسبة جميع الأفكار المتوفرة أو مجموعة منتقاة منها إلى صنفين من **المعايير الإيجابية** هما (أ) معايير **الضرورات** (musts) التي ينبغي أن يفي بها أي حل مقترح، حيث يجري حذف الحلول التي لا تحقق واحدة أو أكثر من هذه الضرورات، و(ب) معايير **الرغبات** (wants) التي تعطى كل واحدة منها وزنا محددا، ثم يقاس كل حل مقترح في مقابل كل رغبة بإعطائه درجة مناسبة، وبضرب هذه الدرجة في وزن الرغبة ينتج رصيد جزئي لنقاط هذا الحل، ويتم الحصول على الرصيد الكلي لكل حل بجمع أرصدته الجزئية، ويكون الحل المعتمد هو صاحب أكبر رصيد شريطة أن يتم التأكد من أن تنفيذه لا يمثل جوانب سلبية أو ضارة تفوق تلك التي للحلول المنافسة. وبعبارة أخرى، يجب أن يؤخذ في الحسبان **المعايير السلبية** التي نسميها **المحذورات**، أو المخوفات، أو العواقب المناوئة (adverse consequences). يلي ذلك الخطوة الرابعة التي تتضمن **تنفيذ** الحل المختار من خلال إقراره من

الجهات الأعلى المختصة، ثم التخطيط لتنفيذه مع مراعاة المراحل الحرجة في التنفيذ، ثم إنجاز أعمال التنفيذ مع الاستمرار في المتـــابعة والتـــأكد من استيفاء أهداف الحل والاطمئنان إلى كون الإنجاز بالجودة المطلوبة وفي الموعد المحدد ووفقا للميزانية المقررة. وتتخلل الخطوات السابقة كما تعقبها الخطوة الخامسة التي يتم فيها **تقويم** الحل والتحقق من جميع المعلومات والافتراضات التي بني عليها، والتأكد من كونه علاجا مقبولا للمشكلة الأصلية الحقيقية، مع النظر في جميع عواقبه، والاطمئنان إلى كونه حلا منطقيا أخلاقيا آمنا يفي بجميع القيود الشرعية والنظامية والاقتصادية والاجتماعية والبيئية وما إلى ذلك.

٤. خصائص المسائل وأساليب العمل

٤,١. المسائل حسنة الصياغة والخوارزميات

تمثل الخوارزمية (algorithm) جوهر النموذج الإرشادي المعاصر لحل مسائل الرياضيات بمعناها العام، كما أنها تفيد في إنجاز خطوات محددة للإجراءات التنقيبية. الخوارزمية هي وصفة محددة (recipe) توفر مجموعة من القواعد أو الخطوات المحدودة العدد التي يؤدي اتباعها بدقة إلى استنباط مجموعة الحل لمسألة حسنة الصياغة (well posed). ويلاحظ أن مجموعة الحل التي يتم التوصل إليها قد تكون:

- خالية (أي لا يوجد حل للمسألة) كما في مسألة إيجاد تقاطع المستقيمين المتوازيين س=٣ , س=٥.
- ذات عنصر واحد (أي يوجد حل وحيد للمسألة) كما في مسألة إيجـــاد تقاطع المستقيمين غير المتوازيين س=ص , س+ص=٥.

- متعددة العناصر ومحدودة (أي يوجد أكثر من حل واحد للمسألة، مع كون عدد الحلول محدودا) كما في مسألة إيجاد تقاطع المستقيم س=ص والدائرة س^2 + ص^2 =٥.
- لانهائية (أي يوجد عدد لانهائي من الحلول للمسألة) كما في مسألة إيجاد تقاطع مستقيمين منطبقين.

نلاحظ أن كثيرا من المسائل التي تعالج بالخوارزميات تكون وحيدة الحل (بمعنى أن مجموعة الحل لها ذات عنصر واحد) إلى درجة أن البعض قد يتوهم خطأ أن هذا الأمر هو قاعدة مطردة، والصحيح أن أية خوارزمية تؤدي أو تفضي إلى مجموعة حل وحيدة، بغض النظر عن التعدادية (cardinality) الخاصة بهذه المجموعة. كما نلاحظ أن الخوارزميات ليست فقط لحل مسائل الرياضيات بمعناها المدرسي الضيق. فحينما يدعوك صديق لك لزيارته، ويقدم لك وصفة دقيقة لخط السير المطلوب منك من منزلك إلى منزله، بحيث تتكون هذه الوصفة من عدد محدود من الخطوات أو المراحل، وبحيث تشتمل الوصفة على تحديد لا لبس فيه لحركتك في كل مرحلة والمعالم التي تجتازها، فإن مثل هذه الوصفة تعد خوارزمية.

وللفائدة نشير إلى وجود ثلاث صيغ ضرورية لبيان خطوات أية خوارزمية، وهي صيغ الإتباع (sequencing) والاختيار (selection) والتكرار (repetition) مع ملاحظة أن صيغة التكرار تأخذ أحد شكلين متكافئين هما الإعادة (iteration) والمعاودة (recursion). ولذلك يمكن أن نعرف الخوارزمية عمليا بأنها مايمكن صياغته بواسطة لغة برمجة إجرائية (procedural programming language). مع ملاحظة أن مثل هذه اللغة لا تقتصر عادة على الصيغ الثلاث الضرورية بل تحوي صيغا أخرى تحسينية.

٤,٢. المسائل المبهمة والإجراءات التجريبـــية

يشبه الإجراء التجريبي **أو** التنقيبـــي أوالاستكشافي (heuristic) خريطة أو خارطة طريق تقدم عونا منطقيا للمستخدم من خلال الإيماء إلى الاتجاه المعقول ظاهريا للحل. إن الإجراء التجريبي هو مجرد وسيلة للاسترشاد والاستكشاف والاستيضاح، ومن ثم فهو لا يسعى إلى حل صحيح وحيد ودقيق، وهو بذلك لا يمثل وصفة محددة أو خوارزمية توفر مجموعة من القواعد أو الخطوات التي يضمن اتباعها بدقة الوصول إلى الحل. والواقع أن الإجراء التجريبي كما يدل اسمه غير معصوم وقابل للتعثر أو للخطأ، ويفتقر كثيرا إلى المبررات المقنعة فضلا عن أن يتمتع ببراهين رصينة، ولكنه يملك بذاته وسيلة تصحيح مساره عند الفشل، ومن ثم فهو أكثر الأساليب فعالية في مواجهة المشاكل غير واضحة المعالم وغير المفهومة بدقة والمغلفة بشيء من الغموض أو الإبهام أو الريبة أو عدم التيقن. ولذلك فإن الإجراء التجريبي هو أكثر الأساليب نجاحا في معالجة المشاكل الهندسية وهي مشاكل تغلب عليها العيوب سالفة الذكر كلها أو جلها. ماذا يحدث إذا سافرت إلى مدينة لم يسبق لك زيارتها وأردت تناول الطعام في أي مطعم مناسب؟ إنك تحاول الوصول إلى مثل هذا المطعم مسترشدا بخريطة للمدينة وبحركتك على هذا النحو فإنك تتبع إجراءا تجريبيا.

ولقد شهدت العقود القليلة الماضية نشأة نموذج إرشادي جديد بعد أن عجز نموذج الخوارزميات التقليدية أو الإجرائية عن إيجاد حلول سريعة لمسائل حسنة التعريف والصياغة ولكنها صعبة (hard) إلى حد أن أفضل الخوارزميات الاعتيادية المتاحة لحلها يحتاج أوقاتاً تتزايد أسياً (exponentially) مع أبعاد المسألة، ومن ثم فهي غير قابلة للتتبع (intractable). هنا نشأ نموذج إرشادي جديد يمزج بين نموذجي الخوارزمية والإجراء التجريبي حيث تم ابتكار

خوارزميات يتم فيها تغيير المعالم (parameters) تكراريا بواسطة إجراءات تجريبية تنقيبية، وأدى ذلك إلى نشأة مايعرف بالحساب اللين (soft computing)، وأشهر طرائقه الخوارزميات الجينية أو الوراثية (genetic algorithms)، وطرائق المنطق المضبب أو الغائم (fuzzy logic techniques)، والشبكات العصبية الاصطناعية (artificial neural networks).

٤,٣. المسائل الحرونة والحلول الخيرة

لقد ظهر مصطلح "المسائل الحرونة" أو "المسائل الشريرة" (wicked problems) لأول مرة عام ١٩٧٣م على يد العالمين ريتل (Rittel) وويبر (Webber) في مقالة لهما تتحدث عن معضلات تكتنف النظرية العامة للتخطيط [١٠] ، وقد تعمدا ببراعة انتقاء الوصف (wicked) الذي لا يصم هذه المسائل بأنها شريرة أو حرونة فحسب، بل يسبغ عليها أيضا جمهرة من ظلال المعاني السيئة الأخرى مثل مؤذية وشرسة وكريهة ومزعجة وفظيعة وباهظة. لقد كان القصد من تحرير مصطلح "المسائل الحرونة " هو إبراز الفروق الفاصلة بين هذه الطائفة من المسائل وطائفة المسائل التقليدية التي اصطلح فيما بعد على تسميتها بالمسائل الوديعة أو المذللة أو المروضة (tame problems). ويمكن فهم الاختلاف بين هذين النوعين من المسائل بملاحظة أن المسألة أو المشكلة الوديعة تتميز عن نظيرتها الشريرة بأنها تتمتع بالخصائص التالية:

- المسألة الوديعة لها تعريف مستقر حسن الصياغة.
- المسألة الوديعة تتوقف معالجتها عند نقطة توقف محددة يتضح عندها تمام التوصل إلى حل للمسألة.
- يمكن تقويم أي حل مقترح للمسألة الوديعة باعتباره حلا صحيحا أو خاطئا.

- قد تكون المسألة الوديعة معقدة (complex)، ولكنها تقبل التحليل والحل بالطرائق التنقيبية المعروفة خلال زمن مقبول، ويدخل ضمن ذلك المسائل غير القابلة للتتبع التي تتطلب خوارزميات حلها زمنا أسيا، ولكن يمكن حلها تقريبيا بواسطة خوارزميات أو إجراءات تنقيبية سريعة.

- أية مسألة وديعة تنتمي إلى طائفة من المسائل أو المشاكل الشبيهة التي يمكن حلها جميعها بأسلوب مماثل.

- المسألة الوديعة لها حلول يمكن تجربتها والعدول عنها إن اقتضى الأمر بدون خسائر تذكر.

أما المسائل الحرونة فهي مسائل سيئة التعريف (ill defined).تتسم بالإبهام (ambiguity) وتفتقر إلى الحد الأدنى من التراضي أو التوافق (consensus) بين المعنيين بها على تحديد ماهيتها فضلا عن اختيار الأسلوب المناسب لحلها، ومن ثم فهي تعاني من كثرة الآراء المتفرقة (divergent opinions) حول وسائل حلها. توجد عشرة معايير يتم عادة التعرف بها على المسألة الشريرة أو الحرونة:

- لا توجد صياغة محددة للمسألة الحرونة، ويتعذر إعطاء وصف تفصيلي لها ما لم يسبق ذلك محاولة للسرد المستنفد لكافة الحلول الممكن تصورها لها.

- لا تتمتع المسألة الحرونة بقاعدة للتوقف، حيث لا يتم إطلاقا بلوغ حل نهائي أو كامل أو تام الصحة، بل تتطور المسألة باستمرار وتنبثق عنها مسائل حرونة أخرى. ولذلك ينصح بالتوقف عندما تنضب الموارد المخصصة للحل، أو عند التوصل لنتيجة تبدو ظاهريا أو يمكن جزافا اعتبارها جيدة بما فيه الكفاية، أو عندما يشعر القائمون بالحل بعجزهم عن أن يأتوا بجديد مفيد.

- حلول المسألة الحرونة لا توصف بأنها صحيحة أو خاطئة، بل تقوَم ويقارن بينها بوصف بعضها بأنه أفضل أو أسوأ من البعض الآخر، ومثل هذا التقويم يفتقر إلى الموضوعية إذ يعتمد كثيرا على شخصية القائم به، ومصالحه الخاصة، ومنظومة القيم لديه، وانتماءاته الفكرية، وما إلى ذلك.

- يتعذر اختبار الحلول المقترحة للمسألة الحرونة عاجلا أو آجلا، إذ لا تعرف نتائج وعواقب أي حل إلا بعد تنفيذه فعلا.

- أي حل للمسألة الحرونة هو عملية متفردة قائمة بذاتها، حيث لا يمكن اختبار الحل بالتجربة والخطأ (trial and error) لأن عواقب أي حل غير عكوسة (irreversible)، بل إن أية محاولة لتعديل الحل بعد تنفيذه أو لتصحيح عواقبه غير المرغوبة تولد مجموعة جديدة من المسائل الحرونة.

- ليس للمسألة الحرونة مجموعة من الحلول الممكنة يمكن تعدادها أو سردها بصورة مستنفدة، حيث لا يوجد معيار معين يحدد نهاية لهذا التعداد، ومن الوارد عدم التوصل إلى أي حل على الإطلاق بسبب التناقضات المنطقية في الصورة المطروحة للمسألة.

- كل مسألة حرونة وحيدة في بابها وفريدة في نوعها، فليس ثمة طوائف من المسائل أو المشاكل الحرونة تتشابه عناصرها بحيث يمكن حلها جميعها بأسلوب مماثل أو باستخدام نفس المبادئ.

- كل مسألة حرونة تمثل مظهرا أو عرضا (symptom) لمسألة حرونة أخرى.

- يمكن تفسير مسببات المشكلة أو المسألة الحرونة بطرائق عديدة، ويؤدي اختيار تفسير معين إلى تحديد طبيعة الأسلوب الملائم للحل.

- لا مجال للخطأ عند التعامل مع المشاكل والمسائل الحرونة، إذ بينما تسمح المسائل الوديعة بوضع الفرضيات ثم نقضها بهدف الوصول إلى الحقيقة،

فإن التعامل مع المشاكل والمسائل الحرونة يتطلب تنفيذ حل يهدف إلى تحسين خصائص العالم الذي نعيش فيه، ولذلك يتحمل القائمون بحل المشاكل والمسائل الحرونة المسؤولية عن كافة الإجراءات التي ينجزها الحل والتي قد تكون ضارة وغير عكوسة.

وأهم وأشهر المسائل الحرونة هي مسائل في الإدارة أو التخطيط بعيد المدى (long-term planning)، مثل كيف يمكن التحكم في التطور العلمي والتقني؟ وكيف يمكن للبشرية التخطيط لمستقبلها على المدى البعيد؟ وكيف يمكنها تحقيق التنمية المستدامة؟ وكيف نصوغ الرؤية (vision) والرسالة (mission) لمؤسسة معينة؟ وثمة أنواع من المسائل الحرونة تهم المهندسين بصفة خاصة، وهذه تنشأ عند إحداث تغيير أو تجديد أو إبداع تتضارب حوله آراء المعنيين بالأمر، ومثال ذلك كثير من مسائل التصميم الهندسي، ومسألة اختيار أفضل طريقة لإعادة هندسة (re-engineering) عملية صناعية معقدة، وكذا كثير من مشاكل النظم التي تواجه مطوري البرمجيات (software)، وبخاصة عند عملهم في مشاريع تتعلق بمهام حرجة وتخصص لها موارد أقل مما ينبغي ويسمح لها بفترات زمنية ضيقة.

وأهم قاعدة للتعامل مع المسائل الحرونة هي أنها يجب ألا تعامل معاملة المسائل الوديعة، بل يجب محاولة التعرف عليها أولا تمهيدا لتذليلها وتطويعها، فإن لم يتسن ذلك لزم العمل على إعادة تهيئة وتعديل وتكييف الشروط والأحوال الحاكمة لهذه المسائل. نلاحظ أنه لا يمكن إخضاع المسائل الحرونة لأسلوب المشروع التقليدي المقسم إلى أطوار ومراحل منفصلة متمايزة متتابعة. الأسلوب الأمثل للتعامل مع المسائل الحرونة هو مناقشتها بالتفصيل مع كافة المعنيين بها، والتوصل إلى نوع من التراضي والتوافق بين الجميع من خلال طرح كل البدائل

المتصورة لفهم المشكلة ومن خلال معرفة المصالح والأولويات والقيود المتضاربة والمتنافسة.

إن تجارب النجاح والفشل التي مرت بها هندسة البرمجيات خلال تعاملها مع مشاريع عديدة تمثل مشاكل ومسائل حرونة، جعل البعض يصفون بعض أساليب الحل المتبعة في هندسة البرمجيات بالحلول الخيرة أو القويمة (solutions righteous) [١١]. إن أحد موضوعات البحث الملحة الآن هو كيف يمكن توجيه هذه الحلول الخيرة لمواجهة المسائل الحرونة والشريرة في ميادينها العديدة الأخرى.

ومن المقولات الدارجة على الألسنة هذه الأيام "إن جميع المسائل والمشاكل السهلة قد تم حلها، ومن الآن فصاعدا سوف تكون جميع المسائل والمشاكل المطروحة أشق وأصعب". نحن نختلف جزئيا مع هذه المقولة لما فيها من تعميم متشدد متسرع. ولكن علينا أن ندرك أن التزايد المضطرد في تعقيد وصعوبات الحياة التي نعيشها سوف يفرض تزايدا تدريجيا في عدد ما يواجهنا من مسائل ومشاكل، مع تناقص تدريجي في نسبة ما هو مذلل ومطوع منها.

٥. بعض التحديات المستقبلية

٥,١. التنمية المستدامة

كان النموذج الإرشادي الذي حكم التنمية لقرون عديدة معنيا بتعظيم المنافع قصيرة المدى للقائمين بالتنمية وحدهم، دون أدنى اهتمام بما يؤدي إليه ذلك من تقليص ثم نضوب للموارد الأرضية غير المتجددة، ومن إفساد وتدمير وتخريب لجزء كبير من البيئة الطبيعية، ومن انقراض للعديد من أنواع الكائنات الحية بصورة تحدث خللا جسيما بتنوع الأحياء (biodiversity) [١٢].

أما النموذج الإرشادي للتنمية المعاصرة فيقتضي كون هذه التنمية مستدامة، حيث يأخذ في الحسبان محدودية قدرة كوكب الأرض على دعم النمو البشري، ويحرص على الاستثمار في المقاصد بعيدة المدى المتعلقة بتحسين جودة الحياة على الأرض، كما يلتزم بمبدأ العدالة في المكان والزمان (principle of justice in space and time)، الذي يتطلب تحقيق العدل والإنصاف بين أبناء الجيل الواحد (intra-generational fairness) ممن ينتمون لمناطق جغرافية متباينة، وكذا توفير تكافؤ الفرص بين الأجيال المتعاقبة (inter-generational fairness). ويمثل الالتزام بالنموذج الإرشادي للتنمية المستدامة فرصة رائعة أمام الدول النامية لتجنب تكرار الأخطاء التي تورطت فيها الدول الصناعية المتقدمة[٣،١٣-١٦].

ومن المؤسف حقا ما نراه من تفشي شلل النموذج الإرشادي القديم للتنمية على مستوى كثير من الأفراد والجماعات والدول. ويتمثل ذلك في استمرار الممارسات الجائرة ضد البيئة، وفي عدم مبالاة كثير من الناس بالقضية البيئية. وواضح أن الدماغ البشري يلتزم شعوريا بالمسؤولية المباشرة للفرد عن مجموعة محدودة من أقاربه، ولا تمتد هذه المسؤولية عادة في المستقبل إلا إلى جيلين أو ثلاثة فقط. ولدى الكثيرين نزعة فطرية لتجاهل الاحتمالات البعيدة، وعدم التمعن فيما يمكن أن يحدث بعد بضعة عقود من الزمان[١٧].

يتبنى كثير من العلماء ودعاة حماية البيئة قضية التنمية المستدامة بوصفها الوسيلة الوحيدة لاجتياز عنق الزجاجة الذي يواجه البشرية حاليا ولمعالجة معضلة كيفية مغالبة كارثة تنذر بتدمير مقدرة كوكب الأرض على تجديد موارده. أما المشتغلون بالصناعة فيتذمرون من التنمية المستدامة حيث يعدونها قيدا طارئا شديد الوطأة على نشاطاتهم. وينظر الاقتصاديون إلى التنمية

المستدامة كموضوع متعلق بتطور الأسواق والاقتصاد مع تركيزهم بصفة خاصة على معوقات النمو الاقتصادي. ويعتبر المهندسون والتقانيون التنمية المستدامة مشكلة يتصدون لحلها على غرار مشاكل سبق لأسلافهم أن نجحوا في حلها في الماضي. وتجد وسائل الإعلام في التنمية المستدامة فرصة تجارية لبث روايات مروعة عما يتربص بكوكبنا من الويل والثبور وعظائم الأمور، وهي روايات تحقق رواجا إعلاميا منقطع النظير. وتستثمر الأحزاب السياسية التنمية المستدامة كموضوع شيق للتحاور والتناظر حوله أملا في تزايد شعبيتها لدى الجماهير[١٨].

ولكننا نعرف التنمية المستدامة بأنها التنمية التي تفي باحتياجات الحاضر دون أن تنتقص من مقدرة الأجيال القادمة بدورها على الوفاء باحتياجاتها. وكحد أدنى، يتعين على التنمية المستدامة ألا تعرض للخطر النظم الطبيعية التي تدعم الحياة في المحيط الحيوي لكوكب الأرض، وهي الغلاف الجوي والمياه والتربة والكائنات الحية. إن الله –جلت قدرته– قد هيأ لنا هذا المحيط الحيوي المرن سهل التكيف (resilient) من خلال طبقة هائلة التعقيد من المخلوقات الحية التي اجتمعت كل أنشطتها في دورات عالمية لصنوف الطاقة والمادة مضبوطة تماما (ولكنها واهية هشة (fragile) في الوقت ذاته)، وهو ما يمثل حالة من التناغم الرهيف أو التوازن الدقيق الذي يمكن أن يودي به الإفراط أو التفريط في أي اتجاه كان. يقول الله –عز من قائل:"والأرض مددناها، وألقينا فيها رواسي، وأنبتنا فيها من كل شيء موزون" (سورة الحجر، الآية ١٩).

وثمة مصطلح لصيق ومقارب ووثيق الصلة بمصطلح "التنمية المستدامة" هو مصطلح "المستدامية" (sustainability)، وهو مصطلح مشتق كمصدر صناعي من اسم المفعول "مستدام" (sustainable)، وهذا المصدر الصناعي أدق

في دلالته العلمية من المصدر الطبيعي المكافئ "الاستدامة". تتعلق المستدامية بموضوع حفظ ودعم الحياة على كوكب الأرض من خلال ضبط العلاقة بين الأنشطة البشرية والطبيعية، وهو موضوع ذو أبعاد متعددة تتسق جميعها مع مبادئ التخطيط بعيد المدى، والبقائية (durability)، والمشاركة أو المقاسمة (participation)، فضلا عن العدالة في المكان والزمان. وبعبارة أخرى، تستهدف المستدامية تحقيق المكاملة والترابط الوثيق بين مجالات ثلاثة مازالت في تباعد مستمر منذ نشأة الثورة الصناعية، وهي المجالات الاجتماعية والاقتصادية والبيئية.

وكثيرا ما يستعمل مصطلحا "المستدامية" و "التنمية المستدامة" كمترادفين، ولكن البعض يحبذ اعتبار المستدامية هي الغاية القصوى (ultimate goal)، واعتبار التنمية المستدامة المبدأ العام للعمل (general operating principle)، أي النظر إلى التنمية المستدامة بوصفها أداة وأسلوب تحقيق المستدامية[١٩]. وعلى أية حال، فليس من المقبول بقاء المستدامية والتنمية المستدامة مفهومين هامشيين إضافيين غريبين في التعليم والعمل الهندسيين، بل يجب أن يصبحا طريقة للتفكير تتخلل التعليم والعمل الهندسيين في كل مراحلهما.

والسؤال المطروح هنا: من هم رواد النقلة في النموذج الإرشادي للتنمية؟ لا نستطيع أن نجحد دور دعاة الحفاظ على البيئة (environmentalists)، ولكننا نرى أن الرواد الحقيقيين هم المبدعون (innovators) الذين يسعون لابتكار تقانات جديدة تتمشى مع متطلبات النموذج الإرشادي للتنمية المستدامة. ومهمة هؤلاء المبدعين محفوفة بكثير من التحديات و المخاطر والمصاعب. إن تجاربنا السابقة تشير إلى أن التقانة تغير العالم بصورة أسرع مما تستطيع هي نفسها التعامل معه، ومن ثم لا يمكن التسليم بأن التقانة قادرة بالضرورة على إنقاذ

البشرية من الشرور التي قد تورطها فيها. والخلاصة أننا لا نستطيع أن نجزم ما إذا كان الحل التقني مستداما حقيقة أم لا إلا بعد الانتهاء من تنفيذه.

٥,٢. الاتساق البيئي الصناعي

إن منظومة الاتساق البيئي الطبيعي منظومة متكاملة تعمل على التخلص من النفايات الطبيعية المتمثلة في فضلات الكائنات الحية من النباتات والحيوانات بالإضافة إلى الكائنات الميتة. ويأخذ التخلص من هذه النفايات الطبيعية أرقى الصور الممكن تصورها عقلا وهي صورة التدوير (recycling) حيث تدخل الطاقة والمادة (مثل الماء والأكسيجين والكربون والنيتروجين والفسفور) في دورات كبيرة مارة عبر سلسلة من الكائنات المتفاعل بعضها مع بعض. تعتمد حياة الكائنات على وجود سلاسل غذائية (food chains) تتشابك لتكون شبكات غذائية (food webs) يتوسطها مستوى الكائنات المنتجة (producers) مثل النباتات على اليابسة والطحالب تحت الماء. ويعلو هذا المستوى عدد قليل من مستويات الكائنات المستهلكة (consumers) أولها مستوى العواشب أو آكلات النباتات (herbivores) الذي تليه مستويات اللواحم أو آكلات اللحوم (carnivores). وتكتمل المنظومة بوجود كائنات تتغذى على النفايات وتتخذها مصدرا للمادة والطاقة، وتعرف هذه الكائنات بآكلات النفايات (detritivores) ومن أمثلتها الكائنات المحللة (decomposers) مثل البكتيريا، والقمامات أو آكلات الميتة والجيف (scavengers). إن الاتساق البيئي الطبيعي لا يمنع تراكم النفايات الطبيعية فحسب، ولكنه يجدد الموارد المادية المحدودة لكوكب الأرض ويمنع نضوبها[٢٠].

لقد شهدت العقود الماضية تفاعلات كثيرة مثمرة بين علوم الهندسة والأحياء في مجالات أشهرها الخوارزميات المستحثة بالأحياء (biologically-

inspired algorithms) التي تقوم بمحاكاة وتقليد سلوك الكائنات الحية (biomimicity). ثمة مجال جديد يتعلم ويستفيد فيه المهندسون من الحياة الطبيعية، وهو مجال اصطلح على تسميته بالاتساق البيئي الصناعي (industrial ecology) لما فيه من التشابه الجلي مع الطبيعة. يجب أن لا يقتصر التفكير في حل مشكلة النفايات الصناعية على كل صناعة أو نشاط اقتصادي أو إقليم جغرافي على حدة، وإنما يجب النظر إلى الصناعات والأنشطة والأقاليم جميعها بصورة شاملة كأجزاء غير منفصلة أو خارجة عن المحيط الحيوي للأرض، كما يجب اعتبار العمليات الصناعية المختلفة نظاما متداخلا لإنتاج واستهلاك المواد، وبعبارة أخرى يتعين جعل المخرجات الضارة (النفايات والملوثات) لأية عملية صناعية مدخلات نافعة لعملية أخرى. وبذلك يمكن لاقتصاد صناعي نظيف وفعال أن يحاكي الطبيعة في مقدرتها على تدوير المواد والإقلال من النفايات إلى الحد الأدنى[٢١،٢٢]. ومن أقرب الأمثلة إلى تحقيق ذلك نظام تدوير السيارات الذي ينجح حاليا في استعادة ما يعادل ٧٥٪ من مكونات السيارة، وكذلك بعض معامل تكرير النفط التي تستغل الكبريت المزال من النفط (في صورة كبريتات الكالسيوم) لإنتاج الألواح الجدارية استعاضة عن الجبس المستعمل عادة[٢٢] .

إن مجال الاتساق البيئي الصناعي يعد تخصصا حديثا يمزج بين تخصصات البيئة والاقتصاد والهندسة، وهو يمثل حاليا ميدانا خصبا للبحث العلمي النشط [١٢]. من وجهة النظر الهندسية، يمثل الاتساق البيئي الصناعي نقلة من نظم مفتوحة الحلقة (open-loop systems) (تسري خلالها مدخلات المواد والطاقة لتعطي مخرجات من بينها النفايات غير المرغوب فيها) إلى نظام مغلق الحلقة (closed-loop system) (يوفر تغذية مرتجعة لمخرجات النفايات لتصبح

مدخلات لعمليات أخرى)، وهذا النظام الواحد يضم جميع الصناعات والأنشطة والأقاليم الموجودة داخل المحيط الحيوي للأرض.

وبرغم أن البعض ينظر بحماس إلى الاتساق البيئي الصناعي كأداة لتحقيق المستدامية[٢٣]، أو كوسيلة لإعادة التنمية في المناطق التي أجهدها فرط الاستغلال [٢٤] ، فإننا لا نتوقع أن يحقق الاتساق البيئي الصناعي نفس النجاح التام الذي يحققه الاتساق البيئي الطبيعي، وبمعنى آخر نرجح أنه سوف يقلل النفايات إلى حد أدنى دون أن يتخلص منها تماما. ولذلك لن تنتفي الحاجة إلى حلول إبداعية أخرى لمشكلة التخلص من النفايات. ومن الحلول غير النمطية وغير المقيدة التي طرحت فكرة نقل النفايات السامة على متن مركبات فضائية وقذفها باتجاه سطح الشمس الذي تبلغ درجة حرارته نحو ستة آلاف كيلفن، ومن ثم يعمل كحراقة أو فرن لهذه النفايات. إن الكلفة الباهظة لهذه الفكرة تجعلها غير قابلة للتطبيق في صورتها الأصلية. ويمكن تعديل هذه الفكرة ببناء فرن أرضي نظيف عالي الكفاية يحاكي الشمس وذلك بتسليط تيار كهربائي قوي خلال وسط يحتوي على غاز نقي بما يؤدي إلى تشكل البلازما (plasma) وهي الحالة الرابعة للمادة التي تنفصل فيها الإلكترونات عن نوى الذرات، وتبلغ درجة حرارتها عشرة آلاف كيلفن. وتكفي هذه الدرجة لتحويل النفايات والملوثات المعروفة إلى خبث يتم تبريده إلى زجاج خامل غير ضار يمكن استخدامه في رصف الطرقات[٢٢] .

٥,٣. مبادئ الهندسة الراعية للبيئة والهندسة الخضراء

ثمة تعدد كبير في أسماء وتعريفات الهندسة المستدامة، بينها فروق طفيفة يرجى تلاشيها مستقبلا، وسوف نكتفي هنا بالحديث عن نوعين منها هما الهندسة الراعية (المراعية) للبيئة والهندسة الخضراء. ونحن نفضل لصفات الاستدامة

ورعاية ومراعاة البيئة والاخضرار ألا تدل على فروع أو تخصصات هندسية جديدة، بل ينعت بها أي فرع من فروع الهندسة المعروفة. وثمة فرع للهندسة يقتصر على ويتخصص في شؤون البيئة هو الهندسة البيئية (Environmental Engineering).

النوع الأول للهندسة المستدامة الذي نتناوله هنا هو الهندسة الراعية للبيئة (Ecological Engineering) التي تتولى تصميم نظم بيئية مستدامة توفر المكاملة وتبادل المنفعة بين المجتمع الإنساني وبيئته الطبيعية [٢٥]. وتوجد خمسة مبادئ لهذا التصميم هي:

١. انسجام التصميم الهندسي مع خصائص البيئة الحيوية مثل التعقد والتنوع وذاتية التنظيم ومرونة التكيف، لتكون هذه الخصائص سندا للتصميم لا عقبة دونه.

٢. انسجام التصميم الهندسي مع الخصائص المكانية المحلية، وأخذه في الاعتبار ما تسمح به الطبيعة وما يمكن أن تساعد به في كل موقع على حدة.

٣. الحفاظ على استقلالية المتطلبات الوظيفية للتصميم وجعل التفاوتات فيها أوسع ما يمكن استجابة لمتطلبات النظام البيئي وخلافا للممارسات الهندسية المألوفة.

٤. التصميم لأجل الكفاية في الطاقة والمعلومات، بتعظيم سريان الطاقة من المصادر الطبيعية إلى النظام المصمم، وتقليل محتوى المعلومات في التصميم.

٥. الاعتراف بالقيم والغايات التي تستحث التصميم، مثل قيم خدمة وحماية المجتمع البشري والنظم الطبيعية الداعمة له، وتوقي الفشل الكارثي من

خلال حلول يرجى كونها آمنة من الفشل (fail-safe) مع اتسامها بالفشل الآمن (safe-fail).

أما النوع الثاني للهندسة المستدامة الذي نتناوله هنا فهو الهندسة الخضراء (Green Engineering). وطبقا للوكالة الأمريكية لحماية البيئة فإن الهندسة الخضراء هي التصميم والاستخدام والترويج التجاري للعمليات والمنتجات التي تتصف بكونها ممكنة واقتصادية في الوقت الذي تقلل فيه بأقصى ما يمكن من توليد الملوثات ومن المخاطرة بصحة البشر أو بالبيئة. وقد تبارى الكثير من الهيئات والأفراد خلال السنوات الأخيرة لصياغة مبادئ حاكمة لهذا النوع الجديد من الهندسة [٢٦]. وأشهر مجموعة من هذه المبادئ هي المبادئ الاثنا عشر التي وضعها أناستاس وزيمرمان [٢٧]. وفيما يلي نورد نص هذه المبادئ مع عنوان موجز لكل منها:

١. **مخاطرعرضية ظرفية لا ذاتية (Circumstantial not inherent hazards):** يحتاج المصممون إلى بذل أقصى جهودهم للتأكد من أن كل مدخلات ومخرجات المادة والطاقة لاتمثل أية مخاطر ذاتية قدر الإمكان.

٢. **الوقاية خير من العلاج (Prevention is better than treatment):** يفضل عدم توليد النفايات بداية عن تكوينها ثم معالجتها أو إزالة آثارها بعد ذلك.

٣. **الاستهلاك الأدنى (Minimum consumption):** يجب تصميم عمليات الفصل والتكرير والتنقية والتطهير لتقليل استهلاك الطاقة واستخدام المواد إلى الحد الأدنى لهما.

٤. **الكفاية (الفعالية) العظمى (Maximum efficiency)**: يتعين تصميم المنتجات والعمليات والنظم لتحقيق النهايات العظمى لفعاليات (كفايات) الكتلة والطاقة والمكان والزمان.

٥. **جذب المخرجات لا دفع المدخلات (Output-pull not input-push)**: يفضل للمنتجات والعمليات والنظم أن "تجذبها المخرجات" بدلا عن أن "تدفعها المدخلات"، وذلك من خلال استخدام الطاقة والمواد.

٦. **حفظ التعقد (Complexity conservation)**: يجب النظر إلى الانتروبيا والتعقد المدمجين كاستثمار، وذلك عند اتخاذ قرارات التصميم الخاصة بإعادة التدوير أو إعادة الاستخدام أو التخلص المفيد.

٧. **المتانة الموقوتة لا الخلود المؤبد (Durability rather than immortality)**: يجدربالمتانة المستهدفة محدودة الأمد غير الممتدة للأبد أن تكون هدفا للتصميم.

٨. **الوفاء بالحاجة دون إفراط (Meeting need without excess)**: يعيب التصميم أن يقدم حلولا توفر سعة أو مقدرة لا ضرورة لهما (مثل المقاس المناسب للجميع).

٩. **أقل تنوع في المواد (Minimum material diversity)**: يجب التقليل قدر الإمكان من تنوع المنتجات في المواد عديدة الأجزاء، وذلك لتيسير تفكيكها واحتفاظها بقيمتها.

١٠. **تكامل سريانات الطاقة والمواد (Integration of material and energy flows)**: يتعين أن يتم تصميم المنتجات والعمليات والنظم بحيث يتضمن المكاملة والتوصيلية البينية مع السريانات المتاحة للطاقة والمواد.

١١. **حياة أخـرى للمنـتج ("Product "afterlife)**: يجـدر تـصميم المنتجات والعمليات والنظم لأجل أداء يمتد إلى "حياة أخرى" تجارية.

١٢. **مدخلات متجددة لا ناضبة (Renewable not depleting inputs)**: يحسن أن تكون مدخلات المواد والطاقة متجددة وليست عرضة للنضوب.

٥,٤. مبدأ التوقي والحذر

مبدأ التوقي أو الحذر أو الاحتراس[٢٩،٢٨] يعرف بالتعبير الإنجليزي (Precautionary Principle) الذي يعني حرفيا المبدأ الاحتراسي أو الوقائي، وأصله المصطلح الألماني (Vorsorgeprinzip) الذي يعني حرفيا "مبدأ الاهتمام المبكر" (Principle of Early Care). ويعترض البعض على تلقيبه بالمبدأ لأنه لا يعدو في نظرهم أن يكون أكثر من قاعدة تجريبية أو حكم مستمد من التجربة (rule of thumb)، ومن ثم فهو مجرد تقنين لجانب الخبرة الإنسانية الذي يغلب الحذر والحيطة والتروي على أضدادها[٣٠]. وينص هذا المبدأ على أنه ينبغي ألا تؤدي الريبة أو غيبة التيقن (uncertainty) الناشئة من قصور المعرفة العلمية والتقنية المعاصرة إلى إرجاء اتخاذ الإجراءات والتدابير الفعالة والمناسبة لمنع المخاطر المحتملة (potential risks)، وذلك عند أخذ عنصري الكلفة (cost) والنفع (benefit) في الاعتبار. والمبدأ بهذا يعمل القاعدة الفقهية الإسلامية "درء المفاسد مقدم على جلب المصالح."

ومن الملحوظ أن ثمة نوعين من الخطأ في التعامل مع الفرضيات العلمية (scientific hypotheses) أولهما قبول فرضية خاطئة وثانيهما رفض فرضية صحيحة. والمعايير العلمية التقليدية تتطلب درجة عالية من الثقة في أية فرضية قبل قبولها، وبذا تقلل الخطأ من النوع الأول. وطبقا لذلك لا نعمل بفرضية أن نشاط هندسي معين يضر بالبيئة إلا إذا صحت هذه الفرضية قطعيا. ولكن مبدأ

التوقي يعني تحولا من تقليل الخطأ من النوع الأول إلى تقليل الخطأ من النوع الثاني، ومن ثم تقع مسؤولية البرهان على عاتق من يزعم عدم حدوث الضرر.

ويتعرض مبدأ التوقي لانتقادات كثيرة أهمها أنه يضعف اعتماد سياسات مواجهة المخاطر على الدليل العلمي (scientific evidence) أو السببية (causality)، كما أنه يمثل ذريعة لأعمال ضبط وتنظيم (regulation) قد تتسم بالعشوائية والخضوع للأهواء وقد تلحق الضرر بالتنمية على المدى البعيد. ولتجنب بعض هذه الانتقادات، يتوخى في الإجراءات الاحتياطية التي يستوجبها مبدأ التوقي:

- أن تكون متناسبة مع مستوى الحماية المرغوب فيه،
- ألا يتم تطبيقها عشوائيا بدون تمييز،
- أن تتواءم مع الإجراءات المماثلة التي سبق اتخاذها،
- أن تبنى على تقديرالمنافع والتكاليف المحتملة لحالة تنفيذ نشاط معين مقارنة بحالة عدم تنفيذه،
- أن تتم مراجعتها دوريا في ضوء ما يستجد من معلومات وبيانات علمية وتقنية،
- أن تحدد الجهة المسؤولة عن توفير الدليل العلمي اللازم لعمل تقويم أفضل للمخاطر.

٦. خاتمة

شرحنا في هذه الورقة مفهوم النموذج الإرشادي أو الإطار الفكري وعددا من المفاهيم المرتبطة به مثل نقلة النموذج وشلل النموذج ورواد النموذج، كما عرضنا وصفا موجزا للطريقة الهندسية المعاصرة ولأشهر استراتيجيات حل

المسائل والمشاكل الهندسية. أتبعنا ذلك بتوضيح أدوات الطريقة الهندسية وخصائص بعض المسائل والمشاكل التي تتناولها، وشمل ذلك الخوارزميات التي تعالج المسائل حسنة الصياغة، والإجراءات التجريبية **أو** التنقيبية أوالاستكشافية التي تتناول المسائل غير واضحة المعالم وغير المفهومة بدقة والمغلفة بشيء من الغموض أو الإبهام أو الريبة أو عدم التيقن، كما قدمنا خطة لكيفية التعامل مع المسائل الحرونة. سعينا لاستكشاف بعض ملامح النموذج الإرشادي المستقبلي للعمل الهندسي من خلال إلقاء نظرة شاملة على إرهاصات مخاض ولادته، وذلك بسرد خصائص التنمية المستدامة ومتطلبات الاتساق البيئي الصناعي، ومبادئ الهندسة الراعية للبيئة والهندسة الخضراء، ومبدأ التوقي والحذر.

ومن المفيد أن ندرك قياساً على خبراتنا الماضية أن حدوث تقدم ثوري في طرائق معالجة المشاكل الهندسية أمر متوقع في المستقبل إن شاء الله، ولذلك ينبغي أن ننتبه إلى أية علامات عجز أو قصور تبديها النماذج الإرشادية الحالية عندما أو حتى قبل أن تظهر مشاكل ومسائل جديدة غير مألوفة، لأننا حين نضع أيدينا على مثل هذه العلامات يمكننا أن نكون رواداً لنقلة جديدة في النموذج الإرشادي. ومن السهل تصور أن يؤدي النموذج الإرشادي الجديد إلى ابتكار مسائل جديدة وحلول جديدة لم تكن معروفة من قبل. إن شيوع مفهوم وحالات المسائل الحرونة قد يكون مظهرا للعجز والقصور في النموذج الإرشادي الحالي، كما أن التحديات التي تفرضها متطلبات المستدامية والاتساق البيئي الصناعي ومبادئ الهندسة المستدامة قد تشير إلى ضرورة استحداث نقلة نوعية في طرائق معالجة المشاكل الهندسية.

وختاما، نود أن نؤكد على كون ورقة البحث هذه دعوة جادة إلى مشاركة مهندسي عالمنا في استشراف المستقبل. وضمانا لجدية هذه الدعوة تجشمنا مشقة الكتابة باللغة العربية، وذلك لمبررات يضيق المقام عن سردها، ولكننا نكتفي هنا بإبراز أحد أشهر المقولات في علوم اللغويات والإنسانيات، وهو فرضية سابير–هورف (Sapir-Whorf Hypothesis) التي تقرر وجود صلة حميمة بين الأفكار (thoughts) واللغة (language)، بمعنى أن الإنسان إذا افتقر إلى كلمة تعبر عن مفهوم معين فإنه يعجز عن التفكير حول هذا المفهوم، ومن الناحية الأخرى إذا أغفل الإنسان التفكير في مفهوم معين فإنه لا يحتاج لاختراع كلمة تدل على هذا المفهوم.

المراجـــــع

[١] **Kapoor**, **R.**, Future as Fantasy: Forgetting the Flaws, *Futures*, **33**: 161-170 (2001).

[٢] **Glenn**, **J. C.** and **Gordon**, **T. J.,** Future Issues of Science and Technology, *Technological Forecasting and Social Change*, **71**: 405-416 (2004).

[٣] **Boyle**, **C.** and **Coates**, **G. T. K.,** Sustainability Principles and Practice for Engineers, *IEEE Technology and Society Magazine*, **24**(3): 32-39 (2005).

[٤] **Kuhn**, **T. S.**, *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago, Il, USA (1962).

بنية الثورات العلمية، **جلال، ش.** (مترجم)، دار العين للنشر، القاهرة، جمهورية مصر العربية(٢٠٠٣).

[٥] **Barker**, **J. A.**, *Discovering the Future: The Business of Paradigms*, ILI Press, St. Paul, MN, USA (1985).

[٦] **Fogler**, **H. S.** and **S. E. LeBlanc**, *Strategies for Creative Problem Solving*, 2nd Ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA (2008).

[٧] **Koen**, **B. V.**, *Definition of the Engineering Method*, American Society of Engineering Education, Washington D. C., USA (1987).

[٨] **Polya**, **G.**, *How to Solve It*: *A New Aspect of the Mathematical Method*, 2nd Ed., Princeton University Press, Princeton, NJ, USA (1985).

[٩] **Starfield**, **A. M.**, **Smith**, **K. A.** and **Bleloch**, **A. L.,** *How to Model It*: *Problem Solving for the Computer Age*, Interaction Book Company, Edina, MN, USA, (1994).

[١٠] **Rittel**, **H.** and **Webber**, **M.,** Dilemmas in a General Theory of Planning, *Policy Sciences*, **4**: 155-169 (1973).

[١١] **DeGrace**, **P.**, and **Stahl**, **L. H.,** *Wicked Problems, Righteous Solutions: A Catalog of Modern Engineering Paradigms*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, (1998).

[١٢] **Mesarovic**, **M. D.** and **Pestel**, **E.**, *Mankind at the Turning Point*, *Second Report to the*

Club of Rome, Dutton, New York, NY, USA (1974).

البشرية في مفترق الطرق، التقرير الثاني لنادي روما، **عمـــر، ح.** ، و **م. م. ن. قوتـــة** (مترجمـــان) عكاظ، جدة، المملكة العربية السعودية(١٩٨٣).

[١٣] **Popper**, **S. W.**, **Lempert**, **R. J.** and **Bankes**, **S. C.,** Shaping the Future, Scientific American, **292**(4): 48-53 (2005).

[١٤] **Sotoudeh**, **M.**, Links Between Sustainability and Technology Development, *IEEE Technology and Society Magazine*, **24**(1):9-14 (2005).

[١٥] **Glavic**, **P.** and **Lukman**, **R.**, Review of Sustainability Terms and Their Definitions, *Journal of Cleaner Production*, **15**:1875-1885 (2007).

[١٦] **Koehler**, **A.** and **Claudia**, **S.**, Effects of Pervasive Computing on Sustainable Development, *IEEE Technology and Society Magazine*, **24**(1):15-23 (2005).

[١٧] **Wilson**, **E. O.**, *The Future of Life*, Random House, New York, NY, USA (2002).

[١٨] **Chaharbaghi**, **K.** and **Willis**, **R.**, The Study and Practice of Sustainable Development, *Engineering Management Journal*, **9**: 41-48 (1999).

[١٩] **Campbell**, **N. A.**, **Mitchell**, **L. G.** and **Reece**, **J. B.,** *Biology*: *Concepts & Connections*, 2nd Ed., Addison Wesley Longman, Menlo Park, CA, USA (1997).

[٢٠] **Mitchell**, **C.**, Integrating Sustainability in Chemical Engineering Practice and Education, *IChemE Transactions*, **78**, Part B: 237-242 (2000).

[٢١] **Frosch**, **R. A.** and **Gallopoulos**, **N. E.,** Strategies for Manufacturing, *Scientific American*, **261**(3): 144-152 (1989).

[٢٢] **Frosch**, **R. A.,** The Industrial Ecology of the 21st Century, *Scientific American*, **273** (3): 178-181(1995), Arabic Translation Available at:

http://www.oloommagazine.com/ Home/Default. aspx.

[٢٣] **Ehrenfeld**, **J.**, Can Industrial Ecology be the Science of Sustainability? *Journal of Industrial Ecology*, **8**(1-2): 1-3 (2004).

[٢٤] **Reithand**, **C. C.**, **Griff Blakewood**, **E.** and **Hawkins**, **R.,** Facilitating Sustainable Redevelopment in Economically Distressed Rural Communities, *Miscellaneous Publications of the Center for Environmental Communications, Loyola University New Orleans* (1), pp: 7-14(2002).

[٢٥] **Bergen**, **S. D.**, **Bolton**, **S. M.** and **Fridley**, **J. L.,** Design Principles of Ecological Engineering, *Ecological Engineering*, **18**(2): 201-210 (2001).

[٢٦] **Harris**, **A. T.** and **Briscoe-Andrews**, **S.**, Development of a Problem-Based Learning Elective in "Green Engineering", *Education for Chemical Engineers*, **3**: e15-e21 (2008).

[٢٧] **Anastas**, **P.** and **Zimmerman**, **J.,** Design Through the Twelve Principles of Green Engineering, *Environmental Science and Technology*, **37**: 94A-101A (2003).

[٢٨] **Wilson**, **R.**, Precautionary Principles and Risk Analysis, *IEEE Technology and Society Magazine*, **21**(4): 40-44 (2002).

[٢٩] **Petrini**, **C.** and **Vecchia**, **P.,** International Statements and Definitions of the Precautionary Principle, *IEEE Technology and Society Magazine*, **21**(4): 4-7 (2002).

[٣٠] **Weed**, **D. L.**, Is the Precautionary Principle a Principle? *IEEE Technology and Society Magazine*, **21**(4): 45-48 (2002).

Engineering Thinking on Exploring the Future

Ali Muhammad Ali Rushdi

Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, King Abdulaziz University, P. O. Box 80204, Jeddah 21589, Saudi Arabia
arushdi@kau.edu.sa

Abstract. This is a preliminary attempt to study engineering thinking on (and the role played by engineering and engineers in) probing, investigating and looking into the future of mankind. We review the concept of a paradigm, which was initially introduced to explain the phenomenon of scientific revolutions, and later generalized to study the changes and transformations that human groups and activities undergo. We study the contemporary paradigm of engineering work through (a) our description of the Engineering Method, which is used in solving engineering problems in general, and in engineering design, in particular, and (b) our classification of engineering problems, and of various approaches for handling them. We explore features of the future paradigm of engineering work through an overview of the forces pushing towards its creation, namely through a presentation of the characteristics of sustainable development, the requirements of industrial ecology, the principles of ecological engineering, the principles of green engineering and the Precautionary Principle.