الباب الأول

أساسيات هذا النوع الجديد من العلم

منذ ثلاثة قرون حدث تحول درامى فى العالم عندما ظهرت فكرة تستند على أن القواعد المبنية على المعادلات الرياضية يمكن أن تستخدم لوصف العالم الطبيعى من حولنا . هدف هذا الكتاب هو بدء تحول آخر ، ووضع مقدمة لعلم جديد مبنى على فكرة القواعد الأكثر شمولاً وعمومية الكامنة فى «البرامج الحاسوبية البسيطة» .

لقد استغرق منى ذلك عشرين عاماً لوضع البنية الذهنية الضرورية لذلك ، لكننى كنت مندهشاً للنتائج التى حصلت عليها ، حيث أننى وجدت أن هذا النوع الجديد من العلم يعالج بعض القضايا الأساسية التى لم ينجح العلم التقليدى فى معالجتها بأى شكل .

إذا كان العلم النظرى صحيحاً فعلاً عند مستوى معين ، فإن النظم التى يقوم بدراستها لابد وأن تخضع لقواعد معينة . فى الماضى ترسخ فى الأذهان أن هذه القواعد لابد وأن تكون مبنية على الرياضيات التقليدية . ولكن ما دفعنى لتطوير هذا النوع الجديد من العلم هو أنه ليس بالضرورة بالنسبة للنظم التى نتعامل معها فى الطبيعة أن تخضع فقط لهذه القواعد المبنية على الرياضيات التقليدية .

فى السابق ربما كان من الصعب تصور ما هى هذه القواعد وما هو شكلها ، أما اليوم فهناك العديد من الحاسبات التى تستخدم كما هائلاً ومتنوعاً من البرامج المبنية على كم هائل ومتنوع من القواعد معظم هذه البرامج المستخدمة قواعد معقدة جداً لإنجاز مهمة ما . ولكن من ناحية المبدأ يمكن أن تعتمد البرامج على أى مجموعة من القواعد التى نحددها نحن .

فى هذا الكتاب أقدم الاكتشافات التى توصلت إليها وهى أن بعض البرامج التى تستخدم أبسط القواعد هى الركيزة الأساسية لهذا العمل .

لقد كنت أظن فى البداية أن البرامج التى تستند إلى قواعد بسيطة سوف يكون سلوكها بالضرورة بسيطا ، ولكن وجدت أن هذا الاستنتاج بعيد تماماً عن الواقع.

لقد قمت بتجربة تعتبر بسيطة : لقد أخذت متتابعة من البرامج البسيطة وقمت بتشغيلها لأرى كيف تتصرف وما هو سلوكها . لقد وجدت ولدهشتى العظيمة أنه بالرغم من بساطة القواعد ، كان سلوك هذه البرامج أبعد ما يكون عن البساطة .

لقد استغرق ذلك منى حقبة كاملة لكى أتوافق مع هذه النتيجة وأقتنع بالنتائج الهائلة التى تنتج عن هذا العمل . إنى أتعجب لماذا لم أصل لهذه النتيجة منذ

عشرين عاما ولكن كان لابد أن يمر كل هذا الوقت لأقتنع أن الاكتشاف هذا هو من أهم الاكتشافات فى تاريخ العلم النظرى . زد على ذلك أننى موقن بأن هذا الاكتشاف سوف يفتح آفاقاً عديدة ولابد أن يؤدى إلى إعادة صياغة الفكر حول كيفية وطريقة عمل العمليات المختلفة فى الطبيعة .

يضاف إلى هذا أن هذا الاكتشاف يكشف الغطاء عن الطريقة والسر الأعظم فى ماهية العمليات الطبيعية التى تبدو لنا معقدة جداً والتى تقوم بها وببساطة على الأقل ظاهرية الطبيعة فى خلق العالم المعقد من حولنا .

ربما نعتقد أن العالم الطبيعى كما نراه يحوى مربعات ودوائر والتى نراها أشكالا بسيطة ، ولكن من أهم الصفات المذهلة فى عالمنا الطبيعى هذا ، العالم الطبيعى ، البيولوجى والنظم الأخرى أننا نواجه ما يبدو لنا عالم معقد إلى أقصى حد . بالتالى كان الكل يؤمن وبشكل مسلم به أن هذا التعقيد المركب الذى يفوق قدرات البشر لابد وأن يأتى من كائن «فوق طبيعى» (Supernatural Being) .

إن اكتشافى هذا يكمن فى أن البرامج البسيطة تؤدى إلى سلوك معقد جداً ، كما أن هذا التعقيد "Complexity" لا يظهر فى أعمال البشر لأننا نختار برامج بشكل معين بحيث تعطى سلوكا بسيطا يؤدى الغرض الذى نبغيه .

لقد أحرز العلم النظرى التقليدى نجاحات فى فهم بعض الأمور باستخدام المعادلات الرياضية مثل حركة الكواكب وكذلك مبدأ الانتخاب الطبيعى . فى نفس الوقت يمكننى الجزم بأن العلم التقليدى قد تخاشى مواجهة الظواهر شديدة التعقيدة. بلغة البرامج البسيطة التى يرتكز عليها هذا النوع الجديد من العلم الذى أطوره فى هذا الكتاب ، فإنه ولأول مرة يمكن عمل بعض الاستنتاجات ذات المعنى بخصوص الظواهر التى تبدو لنا شديدة التعقيد .

لقد نجح العلم التقليدى فى تفكيك بعض الظواهر إلى مكوناتها الأولية ونجح فى معالجتها كمكونات ولكن لا يستطيع أن يغطى كل التفاصيل الدقيقة فى سلوكيات هذه الأجزاء وارتباطها بعضا مع البعض . فى هذا الكتاب يمكننى القول بأنه أصبح أخيراً من الممكن الإجابة على هذا السؤال .

لمدة تفوق القرن يظل السلوك الثرموديناميكى غير مفهوم وكيف يظهر ذلك فى علم الفيزياء ، كذلك فى علم البيولوجى من العجيب فهم التنوع الهائل فى المخلوقات والكائنات الحية والتعقيد الشديد فى بنيتها وسلوكها ، الآن يمكننى القول بأنه بلغة البرامج البسيطة يمكن بناء نظرية أساسية واحدة لعلم الفيزياء ، تنبع منها مفاهيم الفضاء ، الزمن ، ميكانيكا الكم ، وكذلك كل الصفات الأخرى للكون الذى نعيش فيه .

إن علم الرياضيات والذى تطور مرتكزا على مفاهيم مجردة تمثل القواعد الأساسية للجبر والهندسة ، لكن فى هذا الكتاب أعرض نظما أكثر شمولاً وتجرداً ترتكز على قواعد من أى نوع .

لقد توصلت إلى حقيقة أساسية وهامة بعد أن تمعنت فى كل البرامج التى قمت بتشغيلها والنتائج التى نتجت عنها . هذه الحقيقة أسميتها «مبدأ التكافؤ الحسابى principle of computational equivalence »

فحوى هذا المبدأ أن العلم التقليدى ببساطة يختصر الأمور ويقفز إلى النتائج دون تحليل التفاصيل التى تحدث فى نظام ما . أما فى هذا الكتاب فإننى أرى أنه لابد وأن نتابع تفاصيل عمل النظام خطوة بخطوة حتى نصل إلى نفس النتيجة شديدة التعقيد التى نحصل عليها . بالتالى لابد من متابعة كيف يقوم البرنامج البسيط بإجراء الحسابات ونتابع النتائج واحدة تلو الأخرى حتى نصل إلى الأشكال أو النتائج التى نراها فى النهاية وتبدو لنا شديدة التعقيد .

ينبع عن «مبدأ التكافؤ الحسابى» جانب آخر شديد الأهمية ألا وهو نوع جديد من الوحدة "Unity" يشمل كل النظم من البرامج البسيطة ، إلى عقولنا وحتى إلى الكون الذى نعيش فيه .

الإرتباط بالمجالات الأخرى :

الرياضيات :

من المفترض عادة أن الرياضيات تُعنى بدراسة نظم مجردة ، ولكن فى هذا الكتاب أقدم مدى ضخما من النظم المجردة التى لم تعالجها الرياضيات .

زد على هذا أننا يمكننا أن نعالج نظما أكثر تعقيدا من تلك التى تعالجها الرياضيات التقليدية ، يضاف إلى كل هذا أن القواعد التى ترتكز عليها هذه النظم أبسط بكثير من تلك التى تستخدمها الرياضيات .

هكذا نجد أن ركيزة هذا الكتاب تقدم تعميما شاملاً للرياضيات مع إدخال أفكارا وطرقا جديدة ، تسمح بمعالجة مجالات عديدة جديدة . كذلك تعالج هذه الطرق الجديدة أساسيات الرياضيات ذاتها .

الفيزياء :

تبنى الفيزياء التقليدية على أسس رياضية لمعالجة الظواهر الفيزيائية ، ولكن فى هذا الكتاب سنرى كيف تغطى البرامج البسيطة الميكانيكيات الأساسية لعدد هائل من الظواهر الفيزيائية والتى تبدو حتى الآن غامضة تماماً . ترتكز الفيزياء النظرية على فكرة الأرقام والتحليل الرياضى وأحياناً نظرية الاحتمالات ، فى هذا الكتاب ترتكز المعالجة على عناصر غير استمرارية (discrete elements) تخضع لقواعد محددة . إن البساطة التى تتميز بها هذه القواعد تؤدى إلى قوتها فى معالجة عدد ضخم من الظواهر الفيزيائية الأساسية الجديدة .

سمة أساسية أخرى وهامة فى المعالجة الرياضية أنها تكتفى بالصفات الأساسية فقط للظواهر الطبيعية دون التعرض لتفاصيل الظاهرة نفسها . على النقيض فى معالجتنا هذه يمكن أن نتعرض لأدق التفاصيل المصاحبة للظواهر الفيزيائية التى تتم دراستها .

ثمة حقيقة أخرى وهى أننا كلنا نتطلع للتوصل لنظرية موحدة منفردة تصف كل الظواهر الفيزيائية فى الكون الذى نعيش فيه . استخدام الطرق التقليدية يجعل هذا الأمل بعيداً . لكن باستخدام هذا العلم الجديد يبدو هذا الأمل غير بعيد كما نرجو .

علوم الحياة : رغم الكثير من التفاصيل التى نعلمها عن النظم البيولوجية والكائنات الحية ، لا توجد نظرية واحدة لتفسير كل هذا الكم من المعلومات . تجنح المجالات المناطق التقليدية فى علم الحياة إلى أن التطور ينتج عن الانتخاب الطبيعى ، ولذا ينتج أنه يمكن تفسير المعلومات المتراكمة عن الكائنات الحية بلغة التطور وليس من خلال نظرية تجريدية . نخلص من هذا أن الرياضيات التقليدية لم تستطع أن تعالج أى من الظواهر البيولوجية شديدة التعقيد التى نحن بصددها .

فى هذا الكتاب نطور برامج بسيطة تشمل العديد من النظم البيولوجية وتوضح كيف تؤدى قواعد الوراثة البسيطة إلى هذا التنوع الضخم فى النظم البيولوجية . نضيف إلى هذا أن هذه المعالجة يمكن أن تؤدى إلى تطوير نظريات جديدة لمعالجة النظم البيولوجية شديدة التعقيد .

العلوم الإجتماعية : من علم الإقتصاد إلى علم النفس ترسخ إعتقاد بأنه بناء على النجاحات التى تمت فى العلوم الطبيعية لابد أن تبنى النظريات الرياضية على مجموعة من العلاقات والأرقام وأطر الرياضيات التقليدية ، لكنى أشك أنه يمكن التوصل لنظريات دقيقة تشمل الظواهر المختلفة فى العلوم الاجتماعية . لكن استخدام البرامج البسيطة يمكن أن يؤدى إلى التوصل إلى ميكانيكيات الظواهر الاجتماعية المختلفة . إننى وبثقة يمكننى القول بأن هذا النوع الجديد من العلم من الواضح سوف يوصلنا إلى علاقات تفسر الكثير من الظواهر التى تحدث فى العلوم الاجتماعية ، ولكن سوف نحتاج لوقت أطول للتوصل إلى نظريات عامة وشاملة .

علوم الحاسب : ارتكزت علوم الحاسب على مدى تاريخها القصير على دراسة نظم حسابية محددة بهدف التوصل إلى حلول لمهمات محددة . على العكس فى هذا الكتاب أعرض كيف يمكن بنظم حسابية بسيطة أن نصل إلى نتائج شديدة التعقيد مما يوجه العقل إلى إعادة التفكير فى معنى عملية الحساب "computation" نفسها .

ثمة جانب آخر شديد الأهمية وهو أن استخدام هذه البرامج سوف يزيد وبشكل كبير المجالات التى يمكن معالجتها بحيث تشمل الطبيعة نفسها والرياضيات ، كما أن ذلك يعنى أيضاً إعادة التفكير فى الإمكانات الحاسوبية الضرورية لإجراء حسابات عامة تمس أسئلة وموضوعات عامة تماماً .

الفلسفة :

فى أى مرحلة تاريخية هناك بعض القضايا المتعلقة بالكون الذى نعيش فيه وعلاقتنا به ، لا يمكن على ما يبدو الدخول فيها ومناقشتها إلا فى إطار فلسفى محض. ولكن التقدم العلمى يقدم أُطرا أكثر دقة .

لذا فأنا مؤمن بأن هذا العلم الذى أقدمه فى هذا الكتاب سوف يقوم بهذه المهمة بالنسبة لعدة قضايا كانت تعتبر أساسية منذ القدم . من بين هذه القضايا مثلا الأسئلة المتعلقة بحدود المعرفة ، الرغبة الحرة ، ووحدة الظروف الإنسانية وحتمية الرياضيات . إن خبرتى فى وضع هذا النوع الجديد من العلم توحى بأننا لابد أن ننمى نوعا جديدا من الحدس . بهذا النوع الجديد من الحدس سوف يستطيع الإنسان ولأول مرة أن يوجد بعض الحلول لقضايا ظلت معلقة لفترة طويلة جداً . هذه الحلول سوف تكون مبنية على أسس وتأخذ اتجاهات جديدة تخالف تلك التى نمت وبنيت على الأسس التقليدية للفلسفة التى نعرفها كلنا .

الفـن :

على ما يبدو من السهل على الطبيعة (Nature) أن تكوّن أشكالا بالغة الجمال، وكان بالضرورة على الفن الحالى أن يقنع بمحاكاة هذه الضروب من الجمال . ولكن الآن مع وجود هذه البرامج البسيطة التى تستطيع أن تشمل كل الأشكال المختلفة للأنماط المعقدة لسلوك الطبيعة ، يمكننا أيضاً أن نقول إن هذه البرامج سوف تساعد فى استكشاف هذه السلوكيات والتوصل إلى تعميمات لهذه الأشكال السائدة فى الطبيعة . بالنسبة للحدس العلمى يمكن أن نتوقع أن هذه البرامج البسيطة لابد وأن تُنتج صوراً بسيطة وجامدة بحيث تفقد قيمتها الفنية . ولكن عند النظر فى الكتاب والصور التى نوردها به نجد أن هذه البرامج البسيطة قادرة على صنع صور عالية التعقيد بحيث تصبح ذات قيمة فنية عالية ، نزيد على ذلك وإن كانت هذه الصور والأشكال بها مسحة علمية ، إلا أنها فريدة فى نوعيتها وليس لها شبيه من قبل .

التكنولوجيا :

بالرغم من نجاحات التكنولوجيا الهائلة ، إلا أنه لا يمكن أن ننكر أن الطبيعة تخلق أشياءً تفوق أقصى ما تقدمه لنا أحدث التكنولوجيات ، ولكن كما نرى فى هذا الكتاب فإن هذه البرامج البسيطة ورغم بساطتها فإنها تشمل الكثير والكثير من الظواهر بالغة التعقيد التى نراها فى الطبيعة . من هذا المنطلق يمكن أن نجزم بأن هذه البرامج البسيطة سوف تقدم أنماطاً جديدة من التكنولوجيا تضارع تلك التى تقدمها

إلينا الطبيعة . لقد استقر فى الأذهان بناء على ممارساتنا اليومية أن مثل هذه المنتجات بالغة التعقيد تحتاج إلى تكنولوجيا أيضاً بالغة التعقيد ، ولكن ومرة أخرى وأخرى نرى على طول هذا الكتاب مثل أن هذا الاستنتاج غير صحيح بالمرة . إنى أركز فى هذا الكتاب على الأمور المتعلقة بالعلوم الأساسية ، ولكنى لا أشك أنه فى غضون عدة حقب سوف تقودنا هذه الأفكار الجديدة إلى تغيرات درامية فى أساسيات التكنولوجيا وسوف نأخذ ما يقدمه الكون لنا من أدوات لنستخدمها فى أغراضنا نحن كبشر .

المحاولات السابقة :

إن أهدافى فى هذا الكتاب شاملة وعامة بدرجة أننى لا أشك فى أنه قد جرت محاولات سابقة على الأقل فى بعض الاتجاهات التى أوردها ولكنها توقفت لأنها لم تكن تملك الآليات التى تمكنها من الوصول إلى الهدف . أما بالنسبة لهذه الطرق الجديدة فإننى أتوقع أنها سوف تنقلنا إلى عالم جديد .

الذكاء الاصطناعى :

بعد اختراع الحاسبات الإلكترونية بوقت قصير ، ظهرت مقولات تتوقع أن تصل هذه الآلات إلى مستوى راقى يضارع الفكر البشرى أى تكون قادرة على التفكير مثل البشر . فى عام ١٩٦٠ م بدأت الأبحاث الخاصة بدراسة كيفية عمل العقل البشرى لاكتشاف هذه الطرق وتغذيتها للحاسبات . ولكن بعد وقت قليل قل الاهتمام بهذا الموضوع نظراً لأنه لم يحدث تقدم كبير فى هذا المجال ، ولكن ظل السؤال الملح هو كيف تقوم المكونات البسيطة نسبياً لمخ الإنسان بكل هذا التفكير بالغ التعقيد . من ناحية أخرى أرى أن ما أقدمه فى هذا الكتاب يضع حجرا أساسيا فى حل هذه المعضلة على الأقل من ناحية المبدأ ، بل إنى أستطيع أن أجزم بأن استخدام الطرق والمبادئ التى أعرضها فى هذا الكتاب سوف يضع أساساً لبناء نظم تكنولوجية قادرة على التفكير الراقى مثلها مثل البشر .

الحياة الاصطناعية :

منذ اختراع الآلة والكل يفكر كيف يمكن بناء آلات ذكية تضارع النظم الحية. منذ منتصف الثمانينات إلى منتصف التسعينات كان مجال الحياة الاصطناعية يعنى التوصل إلى برامج حاسوبية تحاكى الصفات المختلفة للنظم الحية ، وكان من الطبيعى تماماً افتراض أن هذه البرامج لابد وأن تكون شديدة التعقيد . ولكن فى هذا الكتاب نوضح كيف أن هذا الاعتقاد غير صحيح بالمرة . إن هذه البرامج تكشف عن ميكانيكية عمل النظم الحية بل وتقربنا تماماً من طرق عمل هذه النظم وبتفصيل دقيق تماماً .

نظرية الكوارث
(Catastrophe Theory)

تبنى النماذج الرياضية على كميات المفترض أنها متغيرة بشكل استمرارى "continuous" . ولكن فى الطبيعة هناك أنماط من النماذج تتغير بشكل فجائى

(Discrete) . كان جل اهتمام «نظرية الكوارث» أن توضح أنه فى إطار الرياضيات التقليدية يمكن أن تحدث أحداث وتغيرات فجائية . فى هذا الكتاب وبدون فرضية الاستمرارية أوضح كيف تحدث هذه التغيرات الفجائية فى النظم المختلفة وبشكل أعم وأشمل مما أوردته نظرية الكوارث .

نظرية الشواش
(Chaos Theory)

تنبنى نظرية الشواشى على أن هناك بعض النظم التى يعتمد سلوكها وبشكل كبير جداً على التغيرات الطفيفة فى شروطها الابتدائية . أول مرة لوحظت هذه النظم فى عام ١٨٠٠م ثم تأكدت فى الستينيات والسبعينيات مع ظهور الحاسبات الإلكترونية. السمة الأساسية لهذه النظم هى أنه إذا لم نكن متأكدين تماماً من الشروط الابتدائية للنظم هذه، فلا يمكن التكهن بما سيحدث فى هذه النظم فيما بعد مع كل هذا لا يمكن الجزم بأن سلوك هذه النظم سوف يكون معقدا . يدل هذا فقط على أنه إذا كان هناك تعقد فى الشروط الابتدائية فسوف يظهر هذا التعقد فى سلوك النظام عندما يتعاظم السلوك إلى مستويات عليا . أما إذا كانت الشروط الابتدائية بسيطة ، فليس هناك سبب على ما يبدو لأن يكون سلوك النظام شديد التعقيد. ما أورده فى هذا الكتاب هو أنه حتى عندما تكون الشروط الابتدائية بسيطة، ففى بعض الأحيان يكون سلوك النظام شديد التعقيد. أننى أستطيع أن أجزم بأن هذه النظم بالأخص هى المسئولة الأساسية عن كل هذا التعقيد الشديد الذى نراه فى الطبيعة .

نظرية التعقد
(Complexity Theory)

إن اكتشافاتى فى الثمانينيات تقودنى للاعتقاد بأن التعقد يمكن اعتباره ودراسته كظاهرة منفصلة . بالتدريج أصبحت هذه الفكرة شائعة ، ولكن كل الأعمال العلمية التى عالجت هذا الموضوع كانت تنبثق من العلوم الموجودة فعلاً ، وبالتالى لم تؤدى إلى تقدم يذكر خاصة ما يتعلق بالقضايا الأساسية والعامة .

فى هذا الكتاب أعرض نقاطاً تجعل من الممكن تطوير وفهم نظرية التعقد بشكل عام وكذلك من أين نشأت .

نظرية التعقد الحسابي
"Computational Complexity Theory"

تطورت هذه النظرية بشكل أساسى فى السبعينيات وكان هدفها هو دراسة كيفية إجراء الحسابات المعقدة على الحواسيب الإلكترونية . لقد بنيت نتائج هذه النظرية على برامج خاصة ذات بنية معقدة أكثر من سلوك بسيط . فى هذا الكتاب أعرض لطرق استكشاف مجموعات عامة من البرامج وبذا تلقى الضوء على بعض الموضوعات التى ظلت غامضة لوقت طويل خاصة بنظرية التعقد الحسابى .

السيبرنيتيكا (Cybernetics)

كان المعتقد فى الأربعينيات أنه من الممكن فهم سلوك النظم البيولوجية بناء على تناظر سلوكها مع سلوك الآلات الكهربائية . لكن نظراً لأن هذا التناظر تم بناؤه على أساس الرياضيات التقليدية ، فإنه لم يحدث تقدم ملموس فى هذا المجال .

نظرية النظم الديناميكية
Dynamical Systems Theory

كان هدف هذه النظرية هو دراسة كيف تقوم بعض النظم بتطوير نفسها مع مرور الوقت ، ولكن كان تحليل ودراسة هذه النظم مبنيا مرة أخرى على المعادلات الرياضية والطرق الحسابية التقليدية ولذا لم تستطع هذه الطرق أن تشمل السلوك المعقد لمثل هذه النظم شديدة التعقيد .

نظرية التطور
Evolution Theory

تنبنى نظرية التطور على أن الانتقاء الطبيعى هو السبب الأساسى للتطور . هذه النظرية لاقت بعض التطبيقات فى مجالات أخرى غير علوم الحياة . لكن هذه النظرية لم تعط إجابة منطقية عن سبب ظهور التعقد فى هذه النظم . فى هذا الكتاب وبناءً على الاكتشافات التى شاهدتها أقترح ميكانيكية جديدة لتفسير كيف ينشأ هذا التعقد فى النظم البيولوجية .

الرياضيات العملية
Experimental Mathematics

تكمن معالجة الرياضيات العملية فى استكشاف النظم الرياضية بالنظر إلى النتائج التى تعطيها الحسابات . ترجع هذه الفكرة إلى زمن بعيد ولكنها نشطت مع اختراع الآلات الحاسبة الإلكترونية وحزمة البرامج المسماة «ماثماتيكا» "Mathematica" . ولكن ما حدث هو أن هذه المعالجة أجريت لنظم تمت دراستها من قبل بواسطة الطرق الرياضية التقليدية .

الهندسة الكسرية
Fractal Geomtry

فى هذا الكتاب أعرض لطرق تشمل عدداً أكبر بكثير من النظم التى تمت دراستها وأخرى لم يكن من الممكن الاقتراب منها بالطرق الرياضية التقليدية .

إن الأشكال الدارجة فى العلوم المختلفة هى الأشكال المنتظمة أو الإنسيابية . ولكن بدءاً من السبعينيات بدأ علم الهندسة الكسرية الاهتمام بالأشكال المتداخلة (nested shapes) والتى تحوى أجزاء حادة وأوضحت هذه الهندسة أن هذه الأشكال متواجدة وشائعة فى الطبيعة . فى هذا الكتاب سنورد عدداً ليس بالقليل من النظم التى تعطى مثل هذه الأشكال المتداخلة وكذلك سوف نورد العديد من النظم التى تعطى أشكالا أكثر تعقيداً ولا تحوى أية أشكال متداخلة .

النظرية العامة للنظم
General Systems Theory

لقد كانت فى الستينيات النظرية العامة للنظم ذات شعبية كبيرة وكان جل اهتمامها هو دراسة الشبكات الكبيرة التى تحوى عدداً هائلاً من العناصر ، والتى عادة ما كانت تنظر للنظم البشرية على شكل نظم مثالية ، لكن الافتقار لمثل الطرق التى أوردها بهذا الكتاب كان حائلاً ضد التوصل إلى نتائج ذات معنى بالنسبة لهذه النظرية .

التكنولوجيا النانوية
Nanotechnology

مع نمو هذه التكنولوجيا السريع منذ التسعينيات ، كان الهدف الأساسى لهذه التكنولوجيا هو تطبيق النظم التكنولوجية المعروفة ولكن على المستوى الذرى ، أى تنحصر هذه التكنولوجيا فى تصغير النظم الميكانيكية والنظم الأخرى المعروفة إلى

أقصى حد ممكن . ولكن كما سنرى فى هذا الكتاب هناك العديد من النظم الأخرى التى تتميز ببساطة بنيانها ومع هذا فهى قادرة على إنجاز أعمال معقدة جداً . ومثل هذه النظم سوف يكون من السهل جداً تطبيقها على المستوى الذرى .

الديناميكا غير الخطية
Nonlinear Dynamics

إن المعادلات الرياضية الخطية تتميز بسهولة حلولها ، ولذا لاقت تطبيقات عديدة فى العلم والتكنولوجيا .

إن اهتمام الديناميكا اللاخطية يتركز فى حل نظم أكثر تعقيدا ، من الأمثلة الهامة لهذه الحلول هو الحل المعروف بمعادلات «السوليتون» "Soliton" والتى تؤول ببعض الحذر والتنقيح إلى معادلات شبه خطية . لكن النظم التى أوردها فى هذا الكتاب تتبع سلوكا أكثر تعقيداً دون اللجوء إلى طرق التبسيط اللازمة فى النظرية التقليدية .

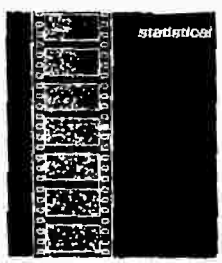
التنظيم التلقائى
Self-Organiztion

ما أكثر النظم فى الطبيعة التى تبدأ بأنماط غير منتظمة وعديمة السمات المميزة، ولكنها بعد فترة من الوقت تنتظم لتعطى سمات محددة وواضحة .

كان الاهتمام الأساسى فى علم التنظيم التلقائى هو دراسة مثل هذه النظم ، ولكن فى معظم الأحيان كانت تستخدم الطرق الرياضية التقليدية ولذا اقتصر الجهد كله على دراسة النظم البسيطة . بناء على ما أورد فى هذا الكتاب ، يمكننا دراسة نظم أكثر تعقيداً عن ذى قبل .

الميكانيكا الإحصائية
Statistical Mechanics

منذ أن ظهرت الميكانيكا الإحصائية وعلى مدى حوالى قرن من الزمان ، كان موضوع الدراسة فى هذا المجال هو التوصل إلى قيم متوسطة للكميات الفيزيائية التى تصف سلوك عدد ضخم من المكونات مثل جزيئات الغاز – فى أى لحظة إذا توقفنا عند سلوك هذه النظم نجد أن سلوكها شديد التعقيد ، لكن تم التخلص من هذا التعقيد بدراسة متوسطات القيم لعدد كبير من الحالات التى تتواجد عندها مثل هذه النظم . أدت هذه الأعمال العظيمة إلى ما يسمى «بالقانون الثانى للديناميكا الحرارية» و«مبدأ ازدياد الانتروبية» ولكن على مدى ما يزيد عن قرن من الزمان ما تزال هناك صعوبة فى فهم القاعدة الأساسية لهذين المبدئين .



شكل (١)

الآن يمكننى أن أجزم بأن هناك إطار منطقى لفهم هذين المبدئين بناء على ما أقدمه فى هذا الكتاب .

القصة الشخصية وراء هذا العلم الذى أورده فى هذا الكتاب :

فى عام ١٩٧٢ م وكان عمرى آنذاك اثنا عشر عاما اشتريت نسخة من كتاب الفيزياء المبينة صورته

فى شكل (١) ، وشدتنى الصورة على الغلاف التى تبين نظماً عشوائية ، ونظراً لأننى لم أقتنع بالتفسير الرياضى الذى يورده الكتاب قررت أن أنقل كل هذه المشكلة على الحاسب الآلى .

عندئذ كانت الحاسبات بدائية ، لذا اخترت نظاما بسيطا من ضمن النظم الواردة بالكتاب . منذ البداية كنت أشك أن البرنامج الذى كتبته سوف يؤدى إلى الظاهرة التى كنت أود أن أدرسها . بعد العديد من محاولات البرمجة وجدت أن شكوكى فى محلها .

كما أتضح فيما بعد اكتشفت أننى استخدمت إحدى النظم المسماة «بالأوتوماتا الخلوية» "Cellular Automata" والتى أوردها فى هذا الكتاب . فى عام ١٩٧٤ م اكتشفت أننى توصلت لبعض النظم التى أوردها فى هذا الكتاب عندئذ ووجدت نفسى أركز جهدى تماماً لموضوع فى الفيزياء كان ذى شأن عظيم فى ذلك الوقت، ألا وهو «فيزياء الجسيمات النظرية» . فى غضون سنوات قليلة استطعت أن أحرز الكثير من النجاح فى هذا المجال ، ولكن فى نفس الوقت بدأت فى الاعتقاد بأن الأمور التى أعالجها أشمل بكثير من هذا المجال النظرى المحدود الخاص بفيزياء الجسيمات الدقيقة ، عندئذ أيضاً بدأت أجد الكثير من الأسئلة الأساسية التى نلمسها فى حياتنا اليومية والتى ما زالت بدون إجابات . من هذه الأمور مثلاً الأشكال المعقدة التى نراها عندما يتحول السائل إلى السريان الدوامى "Turbulent Flow" ، كذلك كيف تتكون الأشكال المحيرة لبلورات الثلج ؟ ما هى أساسيات نمو النباتات والحيوانات التى تأخذ أشكالاً معقدة ومتباينة ؟

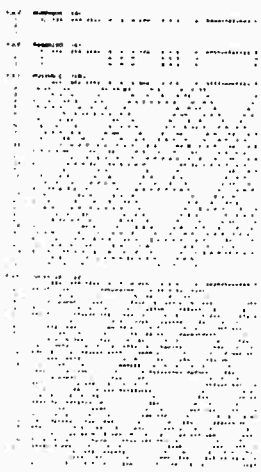
لدهشتى الشديدة وجدت أنه لا توجد إجابات لمثل هذه الأسئلة . ولدهشتى الأكبر وجدت أن استخدام الطرق الرياضية التقليدية لا تعطى أى أمل من قريب أو بعيد للإجابة على مثل هذه الأسئلة .

فى عام ١٩٨١ م وجدت أننى قمت بوضع كم غير قليل من البرامج التى كانت بداية حزمة «ماثيماتيكا» "Mathematica" فيما بعد . أهم ما توصلت إليه فى هذا العمل هو أنه بوضع بعض القواعد البسيطة فى البرمجة نصل إلى برامج تعطى نتائج بالغة التعقيد ، وتشمل عدداً لا بأس به من الأعمال الحسابية "computational tasks" . فى الواقع بدأت أقتنع بأن هذه الأدوات التى وضعتها تصلح لوصف العديد من النظم الطبيعية . لكن واجهتنى مشكلتان : الأولى أن التفاصيل الكثيرة التى أود أن أدخلها فى البرامج أثقلت البرامج ولم تصبح الحاسبات

الموجودة فى ذلك الوقت تستطيع تنفيذ مثل هذه البرامج ، أما المشكلة الثانية كانت هى أنه من الصعب الجزم بأن النتائج التى حصلت عليها يمكن أن تكون نتيجة طبيعية لتعقد الظاهرة نفسها أم أنها نتيجة التبسيطات التى كان لابد من إدخالها حتى يستطيع الحاسب المستخدم تنفيذ هذه البرامج .

قادتنى كل هذه المحاولات إلى استنتاج هام جداً ألا وهو أنه لابد من التغاضى عن الكثير من التفاصيل فى وصف الظواهر الطبيعية لأن السمة الأساسية لهذه الظواهر فعلا لا تعتمد على الكثير من هذه التفاصيل ، فمثلا الأشكال التى تنتج عندما يتحول المائع إلى الانسياب الدوامى ، لا تعتمد هذه الأشكال عما إذا كان المائع غازا أو سائلاً . لذا تحولت إلى وضع برامج بسيطة إلى أقصى حد بحيث يمكن تشغيلها على الحاسبات الموجودة آنذاك .

فى صيف عام ١٩٨١ بدأت فى وضع تصميم لتجارب مباشرة على الحاسب ولدهشتى الشديدة كانت النتائج مشجعة تماماً وأهم جانب فى ذلك أنها سمحت لى وبشكل مدهش أن أفهم الظاهرة الفيزيائية وكيف تحدث من متابعة النتائج على شاشة الحاسب الذى استخدمه .



شكل (٢)

فى الشكل المصاحب (شكل ٢) صورة للنتائج التى حصلت عليها ورغم أنها تبدو بدائية ، إلا أنها كانت مدهشة حيث أننى لم أر مثل هذه الأشكال من قبل .

خلصت فى النهاية إلى الاستنتاج الآتى: «يمكن أن تعطى البرامج البسيطة نتائج بالغة التعقيد». فى نفس الوقت ألح على السؤال التالى : لماذا لم يلاحظ أحد قبلى مثل هذه الظاهرة الفريدة ؟ بدأت عندئذ فى البحث فى المقالات المنشورة وأتحدث مع أناس كثيرين وتوصلت إلى أن مثل هذه البرامج تسمى «بالأوتوماتا الخلوية» منذ ثلاثين عاماً تقريباً ، لكن مع هذا لم يقم أحد من قبلى بإجراء مثل هذه التجارب . ورغم أن بعض التصورات والقواعد الراسخة فى علمى الشواش والهندسة الكسرية لم يحدث أن أجرى أحد من قبلى مثل هذه التجارب بشكل قريب أو بعيد مما قمت به.

بعد هذا أحدثت تجارب الأوتوماتا الخلوية بعض النشاط فى المجتمع العلمى ،

ونتيجة لذلك ظهرت بعض التطبيقات فى الفيزياء ، البيولوجيا ، علوم الحاسب ، الرياضيات وغيرها . كما أصبحت بعض النتائج التى توصلت إليها أساس عدة أبحاث لفرع جديد من العلم أسميته «نظرية النظم المعقدة» .

مع كل هذا واصلت إجراء أبحاثى عن أسئلة أكثر عمقاً ، وفى حوالى ١٩٨٥م بدأت أعى أن ما أفعله يمثل أساساً لشىء أكثر عمقاً ولكنى فى ذلك الوقت لم أكن قادراً على تحديد ما هو هذا الشىء .

أيقنت عندئذ أننى لابد وأن أغير اتجاه حدسى حتى يمكننى أن أواصل العمل.

بعد ذلك ولكى أقنع المجتمع العلمى بما أفعل أنشأت مركز أبحاث وأصدرت مجلة نشرت فيها قائمة بالمسائل التى لابد وأن نعمل على حلها وبذلت جهداً كبيراً حتى أنقل مدى أهمية ما أفعل إلى الوسط العلمى من حولى . فى النهاية وصلت إلى قناعة أنه إذا كان ولابد من إحداث تقدم فى هذا المجال فلابد لى وبنفسى أن أقوم بذلك ولا أنتظر من الآخرين أن يقوموا به .

فى بداية الثمانينيات كان من الصعب إجراء التجارب التى أود أن أقوم بها نظراً لأن الحاسبات كانت ضعيفة ولا تسعفنى . فى عام ١٩٨٦ بدأت أقتنع أننى ولابد أن أبنى نظاما موحدا لإجراء كل هذه التجارب – كانت النتيجة هى الحزمة ماثماتيكا (Mathematica) .

فى خمس سنوات امتصتنى تماماً نجحت فى بناء الحزمة والشركة المصاحبة لكى تنتجها . فى عام ١٩٩٦ م أصبحت مديرا تنفيذيا لشركة ناجحة ، بذا استطعت أن أعود مرة أخرى لأبحاثى التى هى موضوع هذا الكتاب .

بعد ذلك ومتسلحا بالحزمة «ماثماتيكا» بدأت فى إجراء كل أنواع التجارب التى تاقت إليها نفسى . كانت النتائج رائعة ومدهشة ، وفى غضون عدة شهور استطعت إجراء تجارب تفوق كل التجارب التى أجريتها فى العشر سنوات السابقة .

من واقع هذه التجارب آمنت بمدى صحة وعمق فكرتى وهى أن هذه الأدوات من البرامج البسيطة ذات قوة هائلة فى فهم الظواهر التى درستها .

عندما بدأت نشاطى هذا فى الثمانينيات كان أقصى ما أصبو له هو فهم هذه الظواهر ، ولكن فى التسعينيات وجدت أننى قد قمت ببناء منظومة كاملة وبنية أساسية لما أسميه الآن «نوع جديد من العلم» .

فى حوالى ١٩٩٤ م بدأت فى استكشاف كل المجالات الأساسية التقليدية فى

العلم . لدهشتى كنت أصدق حكمة الكثير من الاستنتاجات الخاصة بهذه المجالات، ولكن عندما درستها بواسطة الأدوات التى قمت ببنائها وجدت أن معظم هذه الاستنتاجات «الحكيمة» غير صحيحة بالمرة .

تجلى هذا أيضاً فى استكشاف بعض المجالات العديدة التقليدية والتى ظلت بها الكثير من الأسئلة الأساسية دون إجابة ، ولدهشتى الكبرى وجدت أن الاستنتاجات التى توصلت إليها لم يتوصل إليها أحد فى السابق .

فى النهاية أخلص إلى أن بنية « هذا النوع الجديد من العلم » الذى طورته وأكملته على مدى عشرين عاماً هى مجهود ذهنى هام ويمثل أساساً خطيراً لكل التطور الذهنى المستقبلى اللازم لتطوير كافة العلوم .