

الباب الثاني

الآليات فى البرامج والطبيعة

Mechanisms in Programs and Nature

عمومية السلوك

Universality of Behaviour

فى الأبواب السابقة كان الجهد كله موجها نحو إقرار الحقيقة الخاصة بأن البرامج البسيطة يمكن أن تبنى سلوكا شديدا التعقيد .

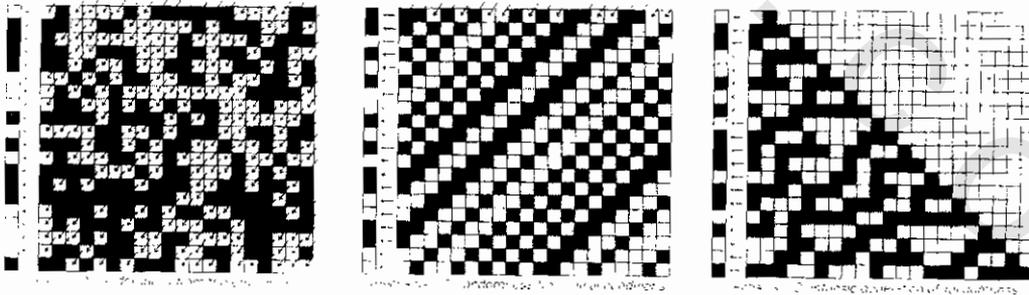
الآن ننتقل إلى الجانب الأهم وهو كيفية تطبيقها فى أمور الطبيعة المختلفة . إن النظرة المتفحصية للأشكال التى أوردناها وصور مختلفة من النظم الطبيعية تظهر تشابها مدهشا . ليس هذا خداع نظر أو شيء من هذا القبيل . إنها حقيقة والآن لنشير السؤال لماذا يحدث هذا ؟

إن تحليل الأشكال التى نحصل عليها يوحى بأن البرامج البسيطة تظهر لنا كل آليات السلوك التفصيلية خطوة بخطوة وهذا جانب مهم فى هذه المعالجة . إن بعض الظواهر التى سوف نناقشها قد قام العلم التقليدى بشكل مرضٍ فى وصفها وتحليلها، ولكن بعض هذه الظواهر لم ينجح العلم التقليدى فى وضع إطار مرضٍ لها، وخاصة تلك التى تتميز بالتعقيد الشديد .

ثلاث آليات للعشوائية

Three Mechanisms for Randomness

من الأمور البديهية أن العشوائية تمثل سمة عامة فى كل النظم الطبيعية . يوحى ما نشاهده وكأن كل نظام به عشوائية لسبب خاص به ، ولكن ما توصلت إليه هو أنه هناك ثلاث أسباب فقط للعشوائية كما هو مبين فى شكل (٣٤) .



شكل (٣٤)

الآليات الثلاث المستولة عن العشوائية . الأسهم القطرية تمثل تدخلا خارجيا . فى الحالة الأولى نرى تدخلا عشوائيا من الوسط المحيط فى كل خطوة . فى الحالة الثانية يكون التدخل فى الشروط الابتدائية فقط فى الحالة الثالثة لا يوجد تدخل على الإطلاق

السمة الأساسية للحالتين الأولى والثانية أن العشوائية تأتي من خارج النظام ،
أى أن كل هذا لا يفسر ظهور العشوائية بشكل عام .

النقطة المحورية الآن أنه فى شكل (٦) على الصفحة (٢٤) (*) نرى أن البرامج
البسيطة يمكن أن تعطى عشوائية رغم بساطة القواعد والشروط الابتدائية . الجانب
الجديد والمهم هنا أن العشوائية ليست ناجمة عن الوسط المحيط أو من خارج النظام
بأى شكل كان . أنها آلية جديدة لظهور العشوائية .

لا ينفى هذا العامل الثالث وجود العاملين الأولين فى النظم الطبيعية ، ولكنه
يمكن أن يفسر ظهور العشوائية إن لم يكن فى كل هذه النظم فبالأكيد فى بعضها .
من أفضل الأمثلة على العشوائية التى يملئها الوسط المحيط هو ملاحظة قارب
على سطح ماء هائج . واضح أن عشوائية حركة سطح الماء هى سبب عشوائية حركة
القارب ولكن من أين أتت عشوائية سطح الماء ؟ الإجابة أنها ناتجة عن حركة
عشوائية لأجزاء الماء نتيجة تلاطم الأمواج ربما من عاصفة هبت منذ يومين أو أكثر
وتظل حركة سطح الماء عشوائية لمدة طويلة .

مثال آخر وهو الحركة البراونية حيث تتقاذف جزيئات السائل حبة لقاح ويمكن
مشاهدتها تحت الميكروسكوب وكيف تتحرك عشوائيا . مثال آخر فى المكبرات
الإلكترونية حين تكون الإشارة الداخلية غير متوافقة وبالتالي فإن المكبر يكبر
الضوضاء ويعطى إشارات عشوائية تماما ، وهناك أمثلة أخرى عديدة على مثل هذه
النظم العشوائية .

لكن هناك جانب غاية فى الأهمية وهو أن هذه النظم نفسها مع كل دفعة من
الوسط المحيط تتغير حالتها وتأخذ وقتا غير قصير لكى تعود إلى حالتها الأولى لتستقبل
دفعة أخرى من الوسط المحيط ، وبالتالي ليست الأمور بهذه البساطة .

ومن الأمثلة البسيطة التى لا تحتاج إلى تدخل الوسط المحيط ولكن تظهر
عشوائية نتيجة عشوائية الشروط الابتدائية هو سيارة تسير على طريق غير ممهد ملئ
بالمطبات . فى هذه الحالة تكون حركة السيارة عشوائية إذ تتحرك إلى أعلى وأسفل
حسب رداءة الطريق . يمكن اعتبار رداءة الطريق شروطا ابتدائية لنظام (السيارة -
الطريق) .

مثل آخر هو إذا تدحرجت كرة على سطح خشن ، ولكن هنا إضافة إذ عند
دفع الكرة بسرعة ابتدائية عشوائية سوف تضاف عشوائية أخرى إلى خشونة السطح
وتكون النقطة التى تتوقف عندها الكرة عشوائية تماما .

العشوائية من الوسط المحيط

Randomness from the Environment

نظرية الشواش والعشوائية

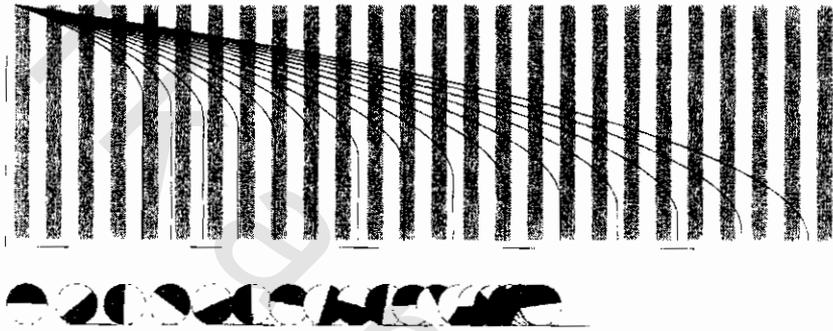
الناتجة عن الشروط الابتدائية

Chaos Theory and Randomness from Initial Conditions

(*) «نوع جديد من العلم» المكتبة الأكاديمية ٢٠٠٣ .

من المدهش وجود عشوائية في مثل هذه النظم حتى وإن كان السطح أملساً . حيث تكفى عشوائية دفع الكرة بسرعة ابتدائية عشوائية . لذا تعتبر كل ألعاب «الصدفة» أو ألعاب التسلية مثل رمى النرد ، قذف العملات وغيرها من هذا النوع الذى تصفه .

لننظر إلى عشوائية حركة كرة نصف سطحها أبيض والنصف الآخر أسود وتقذف بسرعة ابتدائية عشوائية . عندما تقف الكرة سوف نجد أن نتائج وقوف الكرة ونصفها العلوى أسود أو أبيض عشوائية تماماً كما هو مبين فى شكل (٣٥) .

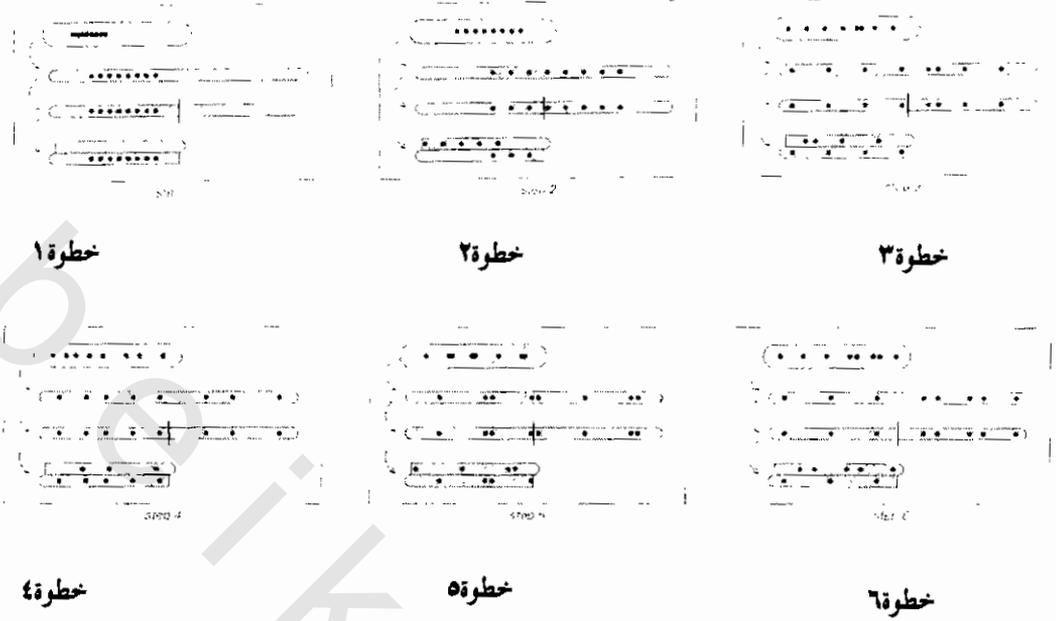


شكل (٣٥)

تقذف الكرة التى يكون نصف سطحها أبيض والنصف الآخر أسودا بسرعة ابتدائية عشوائية من اليسار وتتوقف بعد مسافات مختلفة عشوائية . التغيرات الطفيفة فى السرعة الابتدائية تؤدي إلى تغير كبير فى النتيجة . إن ألعاب قذف العملات ، عجلات الحظ والروليت وغيرها من الألعاب المشابهة كلها تعتمد على حساسية مثل هذه الحركة للتغيرات البسيطة فى الشروط الابتدائية العشوائية بطبيعتها .

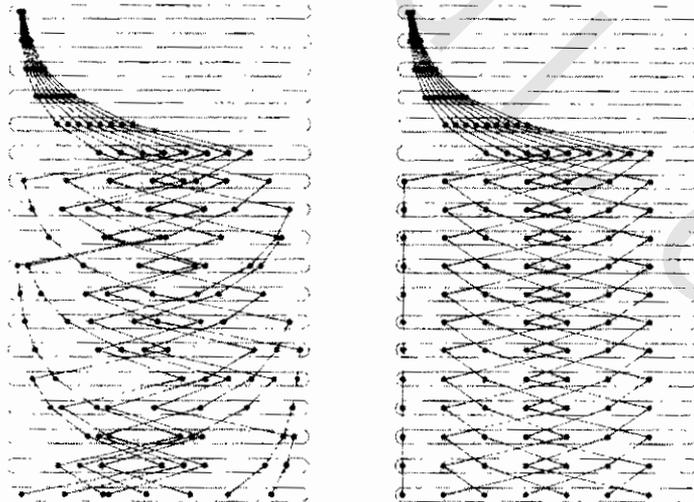
من الأمثلة الهامة التى أدت إلى نظرية الشواش هى النظم التى تكون شديدة الحساسية للتغيرات البسيطة جداً فى الشروط الابتدائية بحيث تحدث بها تغيرات كبيرة جداً ولن تعطى أبداً نتائج ثابتة متكررة .

مثل آخر مهم هو عملية العجن لإعداد المكرونة الشريطية أو بعض أنواع الحلوى . فى هذه العملية تؤخذ قطعة من العجين وترقق إلى ضعف طولها ، تقطع من منتصفها ثم يوضع كل من النصفين فوق الآخر ثم ترقق مرة أخرى وهكذا . كما هو مبين فى شكل ٣٦ أ ، مع كل مرة تتم عملية الترقيق والقطع تزداد المسافة بين أى نقطتين متجاورتين إلى الضعف .



شكل (٣٦ أ)

يبين الشكل عملية العجن والترقيق وكيفية تباعد النقاط المتجاورة في كل مرة تتم فيها هذه العملية

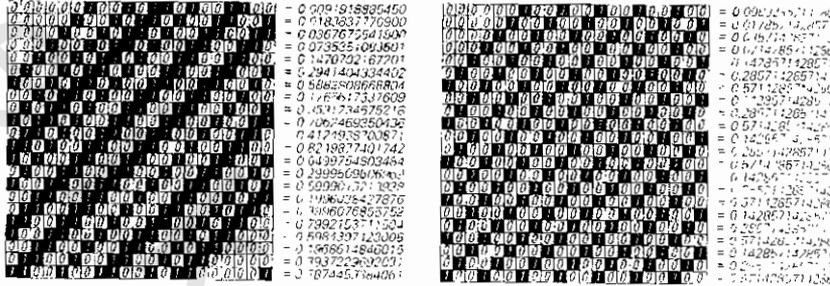


شكل (٣٦ ب)

بعد عدة عمليات من العجن والترقيق تظل المسافات بين النقاط المتجاورة ثابتة

في شكل ٣٦ ب : نرى أن عملية تباعد النقاط المتجاورة تتوقف حيث وصلت الرقائق إلى أقصى طول لها وتصبح المسافات متساوية متكررة وتتوقف العشوائية .
إن هذه العملية تتطابق تماما مع المثال الذي أوردناه على صفحة ٨٥ (*) .

في شكل ٣٧ نوضح كيف تؤدي هذه العملية إلى إزاحة في الأرقام الممتلئة لعملية العجن والتقطيع إلى إزاحات خطوة بخطوة .



شكل (٣٧)

بين الشكل المتاليات الرقمية الممتلئة لأوضاع النقاط في الخطوات المتالية

في كل خطوة نزاح الأرقام موزعا واحدا إلى اليسار مما يجعل الأرقام التي إلى اليمين أهم وتزداد أهميتها كل خطوة وهكذا يظهر تأثيرها . بالنسبة للشكل إلى اليسار عندما تصل الأرقام إلى أقصى قيمة تثبت وتختفى العشوائية ولا تتأثر من الإزاحة وتصبح تكرارية خالية من العشوائية .

نفس الشيء نلاحظه في نظم أخرى مثل انعكاس شعاع ضوء من عدة مرايا متتالية وكذلك حركة كرات صغيرة تقذف نحو منظومة من المسامير مثبتة في نظام شطرنجي . حتى نظام المجموعة الشمسية وعلى الأقل حركة الشمس والقمر والأرض يعترها بعض العشوائية التي يمكن رصدها فقط عبر عدة ملايين من السنين .

في النظامين السابقين رأينا كيف أن العشوائية تأتي من خارج النظام . إما من الوسط المحيط أو من الشروط الابتدائية .

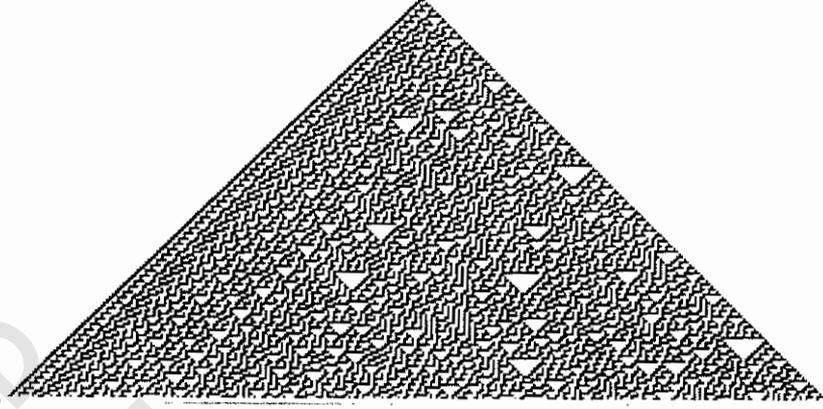
الآن ننتقل إلى النوع الثالث حيث تتولد العشوائية في النظام من داخله وليس من أى مؤثر خارجي وهذا النوع هو من أهم الاكتشافات التي ترد في هذا الكتاب .

في شكل ٣٨ نرى كيف تتولد العشوائية في نظام ما داخليا . لقد ورد هذا الشكل في صفحة (٢٥) (*) .

تولد العشوائية داخليا

Intrinsic Generation of Randomness

(*) «نوع جديد من العلم» المكتبة الأكاديمية ٢٠٠٤ .



شكل (٣٨)

الأوتوماتون الخلوي (٣٢٠) والذي ورد في صفحة ٢٥*^(*) بين أن العشوائية تولدت داخل النظام دون أى مؤثر خارجي

ولكن يظهر تساؤل هام جداً هو ما هي معايير العشوائية وما هو النظام الذي نعتبره عشوائياً . لقد تطورت في الرياضيات التقليدية والإحصاء طرق للحكم على النظام هل هو عشوائي أم لا . بتطبيق هذه القواعد على شكل (٣٨) نجد أنه لم تنجح أى من هذه الطرق فى إيجاد انتظام ما فى هذا الشكل .

يظهر سؤال آخر : ما هو النظام العشوائي بحق ؟ لقد تم وضع تعريفات مختلفة للنظم العشوائية بحق وكلها تبين أن العمود المركزى فى الشكل المبين هو بحق عشوائي . من المهم أن نورد حقيقة أن فى حزمة «ماتياتيكا» أوردنا الأوتوماتون الخلوي القاعدة (٣٠) بالتحديد لتوليد أعداد عشوائية من الصفر والواحد . جانب مهم أن هذا الشكل الذى أوردناه لا يمكن أن ينمو إلى ما لا نهاية - وبالتالي فإن له دورة يتكرر بعدها بالضرورة ولكن هذه الدورة تبلغ بليون بليون عمر الكون الذى نعيش فيه .

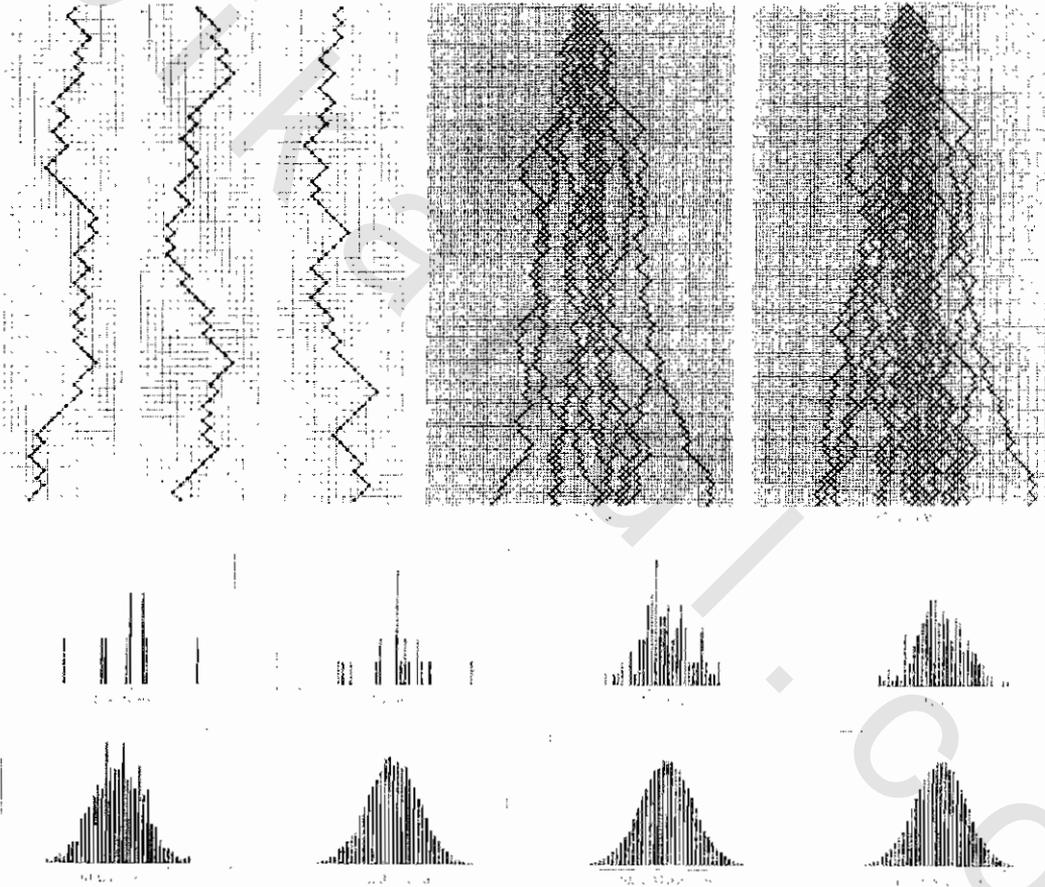
جانب مهم فى هذا الموضوع أنه نظراً لبساطة تولد العشوائية داخليا وبهذه البساطة فإننا نتوقع حدوث هذه الآلية كثيراً فى الطبيعة حتى مع وجود بعض الانتظام فى هذه النظم العشوائية الطبيعية .

(*) نوع جديد من العلم المكتبة الأكاديمية ٢٠٠٤ .

رغم أننا نعلم الآن أن المواد تتكون من ذرات تتحرك وتتصادم أو تصطف في نظام معين في المواد الصلبة إلا أننا لا نلاحظ هذه الانفصالية (discreteness) وتبدو الظواهر الطبيعية استمرارية تماماً .

Phenomenon of
Continuity

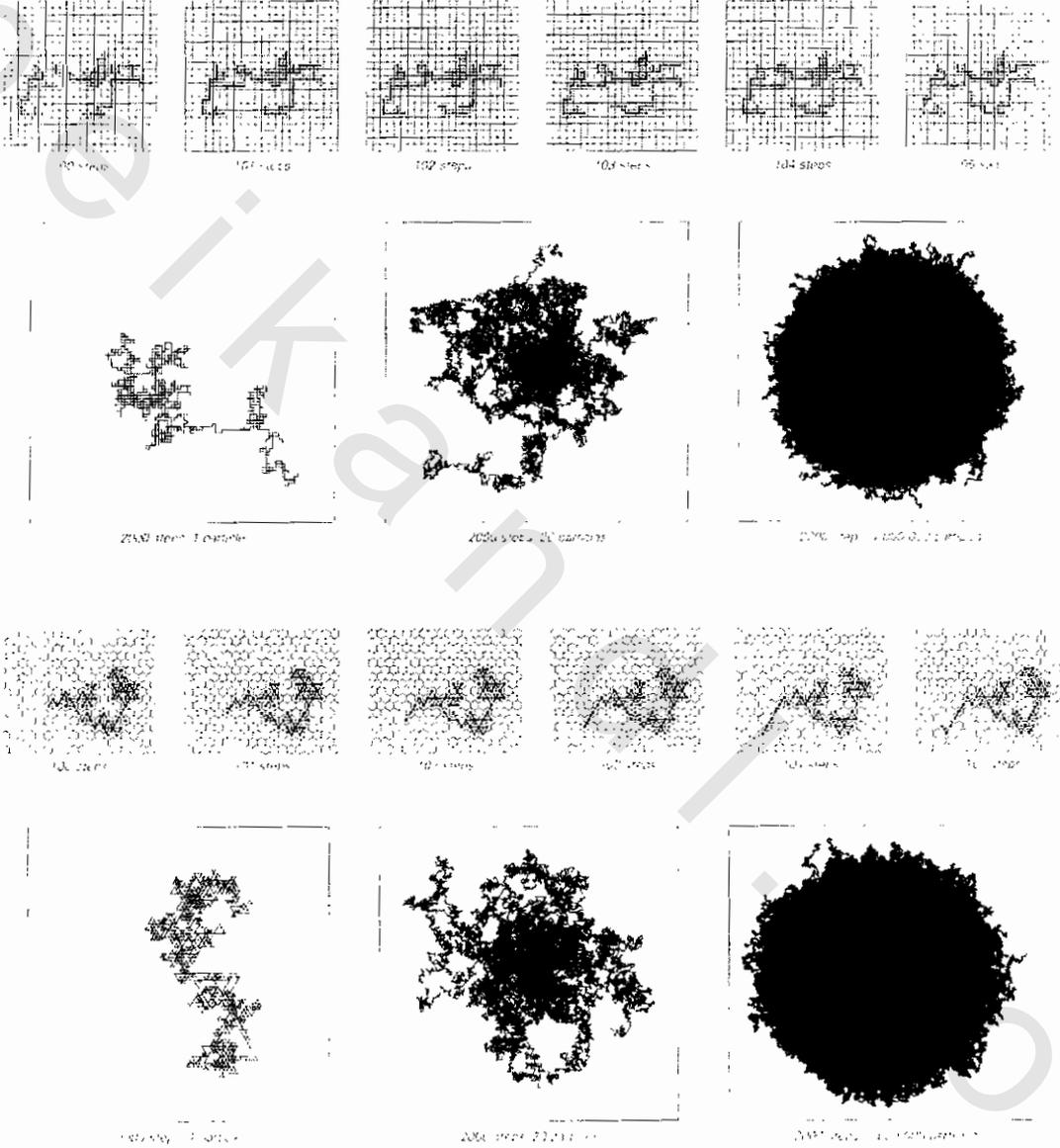
في شكل ٣٩ نرى واضحاً الانتقال من الانفصالية إلى الاستمرارية عندما نتقل من ملاحظة حركة جسيم وحيد إلى ملاحظة حركة مجموعة ضخمة من الأقسام تتحرك عشوائياً ، أي أن العشوائية تمحو الانفصالية .



شكل (٣٩)

في شكل (أ) نرى حركة ثلاث جسيمات ، ثم عشر جسيمات ، ثم ٢٠ جسيم
في شكل (ب) نرى توزيعاً إحصائياً لحركة عشر جسيمات ثم ٢٠ جسيماً ،
١٠٠ جسيم ، ٢٠٠ جسيم ، ١٠٠٠ جسيم ، ١٠٠٠٠ جسيم ، ١٠٠٠٠٠ جسيم ثم مليون جسيم

نفس الشيء يحدث في الحركة العشوائية في بعدين حيث نرى حركة عدة أجسام في شبكة سداسية وأخرى مربعة في شكل (٤٠). بعد عدة خطوات تختفي الفروق بين الشكلين في التوزيع أي أن اختلاف البنية في الشبكتين تمحوه العشوائية.

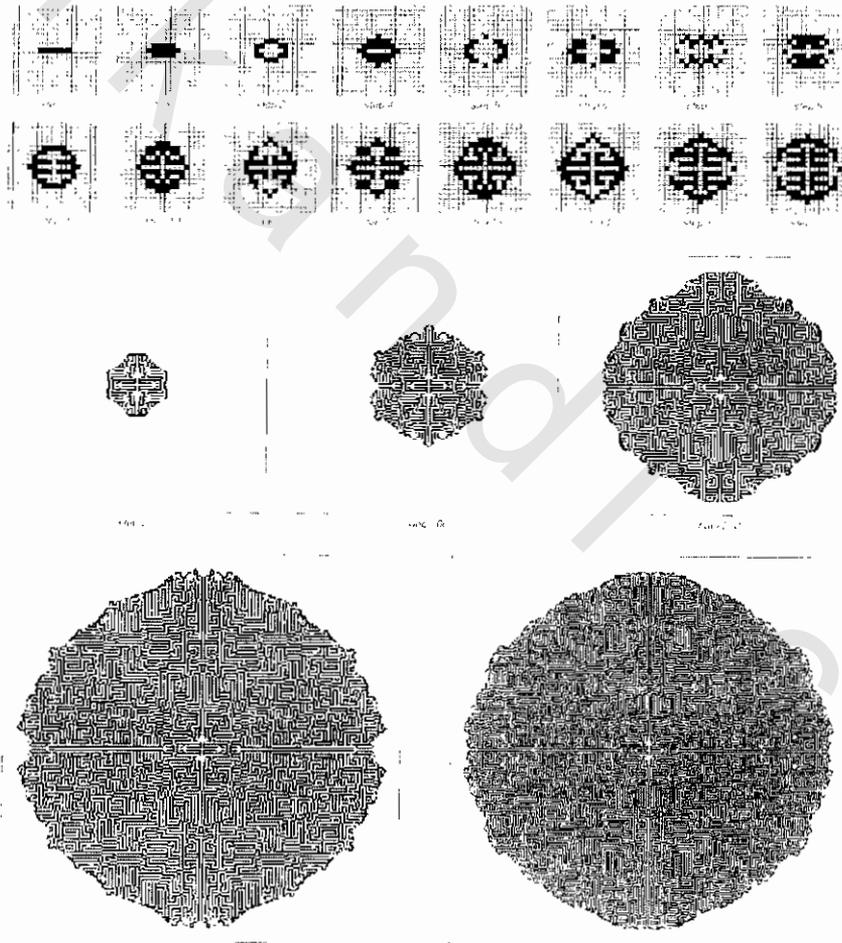


شكل (٤٠)

حركة عدة أجسام في شبكتين مربعة وسداسية
وفي الصورتين النهائيتين نرى توزيعاً دائرياً بعد ألفى خطوة للمليون جسم

نلاحظ نفس النتيجة في ما يسمى بنموذج إيدن حيث تضاف خلية سوداء في كل خطوة ملاصقة للخلايا المرسومة وكذلك إذا غيرنا هذه القاعدة وأضافنا خلية بحيث في كل خطوة يكون لها عدد معين من الخلايا المجاورة . ولكن تأتي العشوائية هنا في كل هذه الأمثلة من الوسط المحيط . من ناحية أخرى وجود العشوائية يطمس الانفصالية بصرف النظر عن مصدر هذه العشوائية - المهم أن تكون العشوائية موجودة .

في شكل ٤١ نورد نظام أوتوماتون خلوي في بعدين حيث تظهر العشوائية داخليا رغم انفصالية المنظومة . لا يحدث هذا في كل الأحوال حيث رأينا في الباب الخامس (*) بعض الأمثلة التي لا تؤدي إلى أشكال إنسيابية أو استمرارية .



شكل (٤١)

أوتوماتون خلوي في بعدين يظهر أن العشوائية تطمس الانفصالية بعد ٤٠٠ خطوة

(*) «نوع جديد من العلم» المكتبة الأكاديمية ٢٠٠٤ .

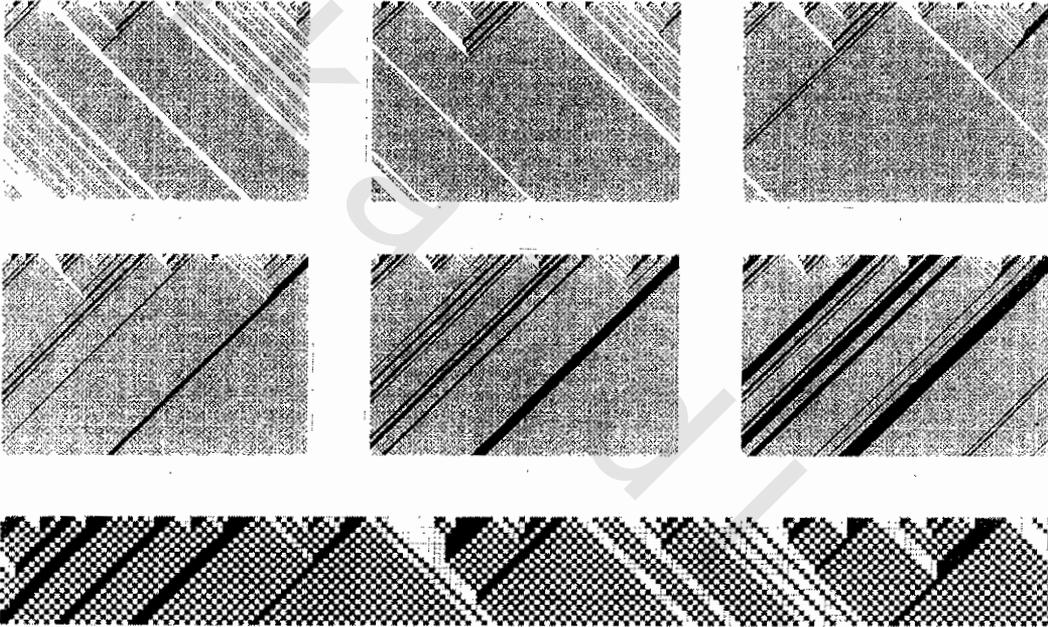
اصول الانفصالية

Origins of Discreteness

لقد رأينا كيف تطمس العشوائية الانفصالية ولكن هل يمكن أن تؤدي الاستمرارية إلى انفصالية؟ هذا أيضاً صحيح .

في الحياة نرى بعض الأمثلة على السلوك الانفصالي حيث يبدأ الماء في التبخر عندما تصل درجة الحرارة إلى 100°C وغيرها الكثير من التغيرات الفجائية في الظواهر الفيزيائية .

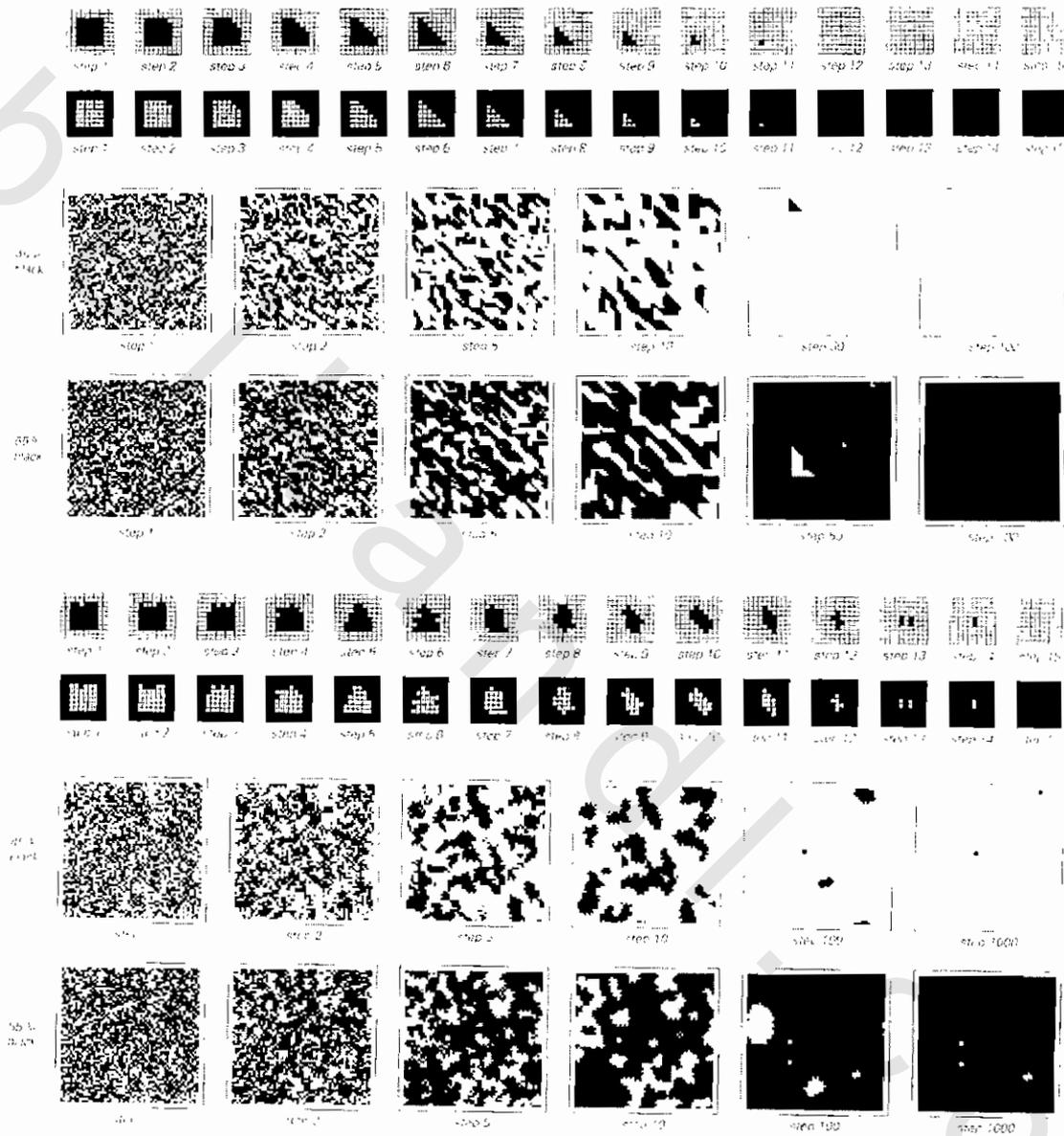
في شكل (٤٢) نرى كيف تحدث التغيرات الفجائية في الأوتوماتون الخلوي.



شكل (٤٢)

أوتوماتون خلوي في بعد واحد الذي يبين سلوكاً يتغير فجائياً رغم أن الشروط الابتدائية تتغير بشكل استمراري إذا كانت الكثافة الابتدائية للخلايا السوداء أقل من ٥٠٪ تظل الشرائط البيضاء نشطة حالما تزيد الكثافة عن ٥٠٪ تختفي الشرائط البيضاء وتتفوق الشرائط السوداء

في شكل (٤٣) نرى ظهور هذه التغيرات بشكل أكبر في الأوتوماتون الخلوي في بعدين أو أكثر .

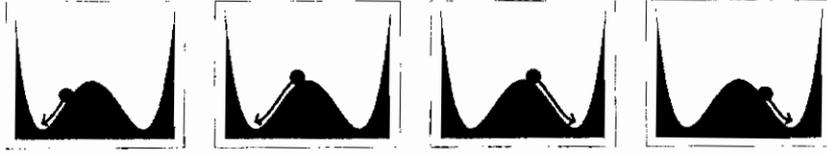


شكل (٤٣)

مثالان لأوتوماتون خلوي في بعدين يبين

كيف يحدث التغير عندما تزداد كثافة الخلايا السوداء أو البيضاء فإنها تهيمن على بقية المساحة

هذا السلوك ليس بالغريب على النظم الفيزيائية رغم التغير السلس والتدريجي في الشروط الابتدائية فإنه يحدث تغير فجائي مثلما هو مبين في شكل (٤٤) .



شكل (٤٤)

رغم استمرارية حركة الكرة قبل وبعد القمة فإنه يحدث أن تنتقل من التجويف الأيسر إلى الأيمن عند نقطة معينة والعكس صحيح

في الباب الخامس صفحة (١١٦) (*) أوردنا أمثلة لنظم تخضع لبعض القيود التي تؤدي إلى سلوك شديد التعقيد ، لكنني أعتقد وبشدة أن تفسير بعض الظواهر الطبيعية ذات السلوك المعقد لها تفسيرات وليس بأفضلها نموذج تحقيق قيود ما - ينبنى رأبي هذا لأن تحقيق القيود ليس عملية بسيطة في حد ذاتها وبالتالي يصعب تحقيقها في الطبيعة .

مشكلة تحقيق القيود

The Problem of Satisfying Constraints

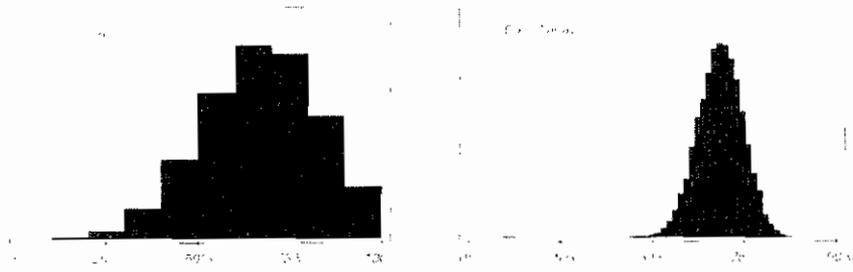
فمثلا إذا أخذنا مصفوفة 10×10 (عمود وصف) من الخلايا البيضاء والسوداء نحصل على أشكال ممكنة عددها

(١, ٢٦٧, ٦٥٠, ٦٠٠, ٢٢٨, ٢٢٩, ٤٠١, ٤٩٦, ٧٠٣, ٢٠٥, ٣٧٦)

إذا أخذنا مصفوفة 20×20 نحصل على عدد من الأشكال الممكنة يفوق عدد الجسيمات في الكون كله .

في شكل ٤٥ نرى عدد المربعات التي لا تحقق القيود التي أوردناها في صفحة ١١٧ (*) بالنسبة للعدد الكلي من المربعات من كل الأشكال الممكنة التي تحقق هذه القيود .

(*) «نوع جديد من العلم» المكتبة الأكاديمية ٢٠٠٤ .



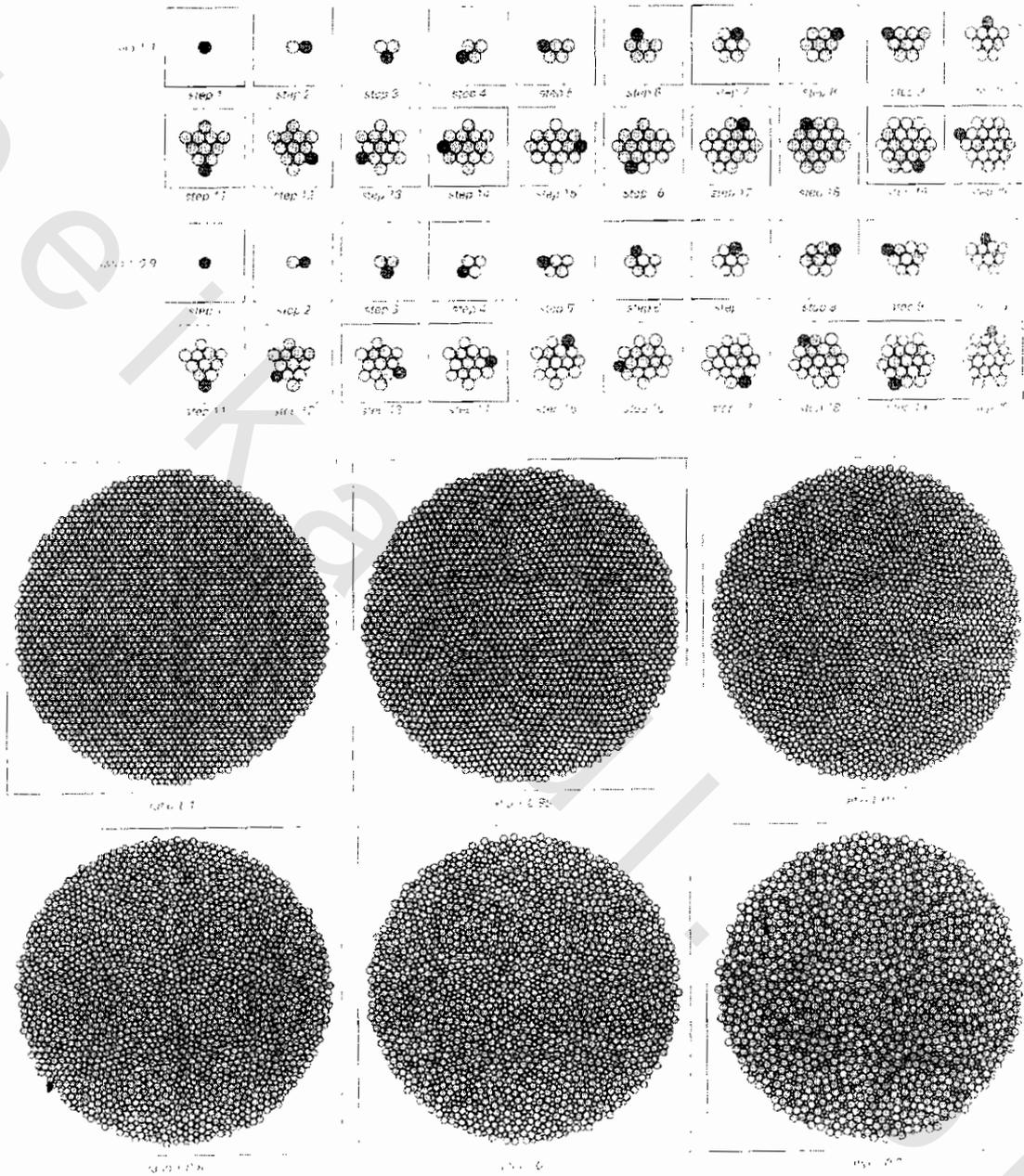
شكل (٤٥)

العدد النسبي لكل الأشكال الممكنة والتي يوجد بها نسبة مئوية معينة من المربعات لا تحقق القيود الواردة في صفحة ١١٧ (*) يوجد فقط عدد محدود جداً من الأشكال التي تحقق القيود بشكل كامل. بالنسبة للمصفوفات الكبيرة فإن الغالبية العظمى من الأشكال الممكنة تحوي مربعات لا تحقق هذه الشروط بنسبة ٧٠٪.

لذا لكي نصل إلى الهدف المنشود بشكل عملي لناخذ شكلاً ممكناً ثم نبدأ في تعديله حتى يحقق القيود المطلوبة في نهاية الأمر .

في بعض الأحيان تتوقف المنظومة عن التطور وتنتهي إلى وضع بعيد تماماً عن المنشود ولا تحقق القيود المفروضة . في هذه الحالة يلزم تخفيف القيود بعض الشيء حتى لا تتوقف المنظومة قبل تحقيق القيود المفروضة .

في شكل (٤٦) نرى كيف يمكن رص كرات بحيث تكون المسافة بين مركزي كل كرتين متجاورتين أقل ما يمكن . وجد أنه من الأفضل أن يستعمل نوعان من الكرات غير متساويين في القطر كما هو مبين في الشكل .



شكل (٤٦)

رص كرات من نوعين مختلفين في القطر (تتبع النسبة بين قطريها على الرسم)

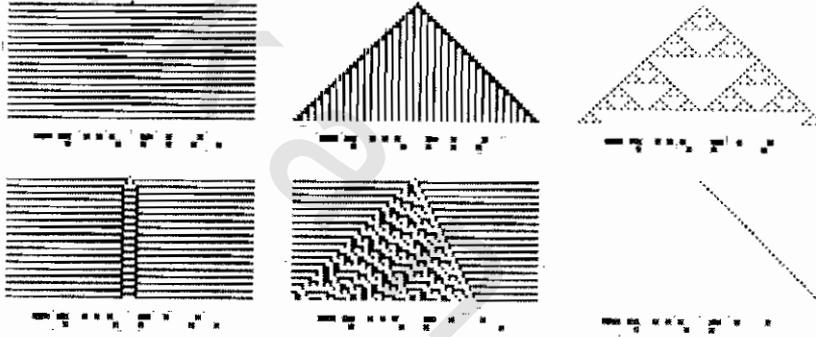
لهذا السبب أرى أن النظم الطبيعية تميل لأن تتطور تدريجياً حسب رؤى أخرى وليس حسب نظم تحقق قيوداً معينة .

يتباين سلوك النظم الطبيعية من سلوك شديد التعقيد إلى سلوك بسيط يمكن أن يكون مجرد تكرارية بسيطة أو حتى تجانس تام وتندرج إلى أشكال متداخلة .

بالنسبة للبرامج فإن الكثير من البرامج التي تخضع لقواعد بسيطة جداً يمكن أن تعطى سلوكاً شديداً التعقيد ، وهناك بعض البرامج التي تخضع لقواعد معقدة جداً أو تبدو كذلك تعطى سلوكاً بسيطاً للغاية ، وأيضاً هناك بعض القواعد التي تبدو متشابهة بشكل كبير جداً تعطى أنماطاً متباينة جداً من السلوك . في شكل (٤٧) نعطي أمثلة على مثل تلك النظم .

أصل السلوك البسيط

Origin of Simple Behavior



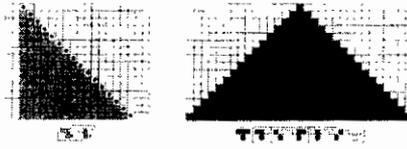
شكل (٤٧)

أمثلة على الأوتومات الخلوية التي تختلف قواعدها من شكل لآخر باختلاف في وضع (Position) واحد فقط ، ورغم تشابه قواعدها نرى أن سلوكها متباين تماماً

إذا نظرنا إلى قاعدة ما بصورتها الأولية فإنه يبدو مستحيلاً تقريباً الحكم على سلوكها مسبقاً ، ولكن في الحالات التي تفضى إلى سلوك بسيط يمكن أن نحدد آليات بسيطة تحكم سلوك المنظومة .

نحكم على المنظومة بأنها بسيطة عندما تحوى عديداً من سمات الانتظام ، ولكن يصعب تحديد أى من هذه الآليات هو حقيقة المسؤول عن هذه البساطة في السلوك .

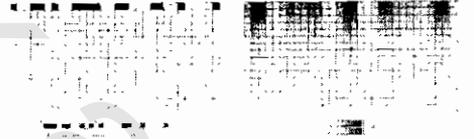
من أهم هذه السمات التي تظهر السلوك البسيط الانتظام (Uniformity) والانتظام يعنى أنه لا يحدث تغير في المنظومة مع مرور الوقت وذلك كما هو مبين في شكل (٤٨) أ .



شكل (٤٨ أ)

النمو المتجانس من نقطة واحدة طريقة مباشرة للحصول على انتظام كما هو مبين للأوتوماتا المتحركة والأوتوماتا الخلوية

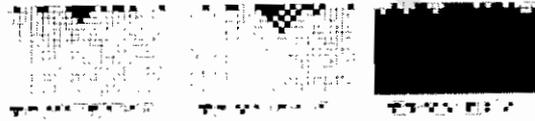
هناك آلية أخرى مباشرة أيضاً ولكن بشكل أقل مبيّنة في شكل (٤٨ ب) عندما تنمو كل منطقة على حدة لنفس الحالة .



شكل (٤٨ ب)

يمكن أن يكون التجانس في مناطق محدودة تنمو كل منها لنفس الحالة

في شكل (٤٨ ج) نرى منظومات حيث تتفاعل أجزاء مختلفة وتتطور لنفس الحالة .



شكل (٤٨ ج)

الأوتوماتا الخلوية من النوع (١) تتطور إلى حالة انتظام كما بينا في الباب الأول

حتى الآن رأينا أن آليات الانتظام تعني انتظاماً وبساطة على كل مستوى ، ولكن في الطبيعة يعنى الانتظام الارتباط بسلوك ميكروسكوبى معقد جداً . فى معظم الأحيان يكون النظام عشوائياً على المستوى الميكروسكوبى ولكن على المستوى الأعلى ، أخذ المتوسط يطمس هذه العشوائية كما هو مبين فى شكل (٤٨ د) .

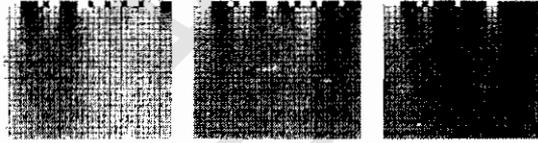


شكل (٤٨) د

أخذ متوسط العشوائية على المستوى الصغير يفضى إلى انتظام كما هو مبين للقاعدة (٣٠)

لا يعتمد الانتظام بشكل عام على الشروط الابتدائية ولكن أحياناً يمكن أن نحصل على الانتظام مع مدخل مختلف .

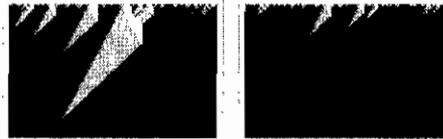
يمكن أن نحصل على الانتظام إذا اشترطنا أن كمية معينة تظل ثابتة مثل الكثافة الكلية للون الأسود ، وبذلك ننتهي إلى انتشار هذه الكمية على طول المنظومة وهي تتطور كما هو مبين في شكل (٤٩) .



شكل (٤٩)

يبين الشكل أنه لكل خلية في كل خطوة يكون مستوى اللون الرمادي مساوياً لمتوسط قيمته للخلية السابقة وخليتين من الخلايا المجاورة وهكذا تظل قيمة الأسود ثابتة ولكن تتوزع بشكل منتظم على طول المنظومة

شئ آخر يمكن أن يحدث أن تتطور إلى حالات منفردة منتظمة ولكن اختيار أى هذه الحالات يعتمد على القيمة الكلية لكمية معينة كما هو واضح في شكل (٥٠) .



شكل (٥٠)

حسب الشروط الابتدائية يمكن للأوتوماتا الخلوية أن تتطور إلى أبيض أو أسود كما هو مبين في الشكل

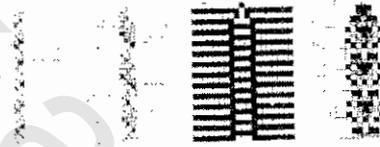
تأتى التكرارية كثنائي آلية للسلوك البسيط وهذه تعنى عودة النظام لحالة معينة كما هو مبين فى شكل (٥١ أ)



شكل (٥١)

سوف يكون سلوك المنظومة تكراريا عندما تتبع مسارا على شكل دائرة كما هو مبين فى الشكل

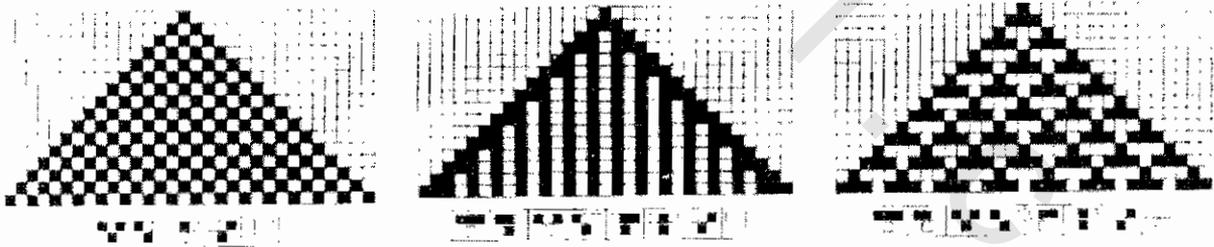
بالنسبة للأوتوماتون الخلوى تعنى التكرارية أنه فى حالته النهائية لا يمكن أن يتعدى حدودا معينة كما هو مبين فى الشكل (٥١ ب) .



شكل (٥١ ب)

أمثلة من الأوتوماتا المتحركة التى تبقى محصورة فى نطاق معين وهكذا وبالضرورة تحدث التكرارية

يؤدى النمو من بذرة بسيطة إلى ظهور التكرارية فى الفراغ والزمان كما هو مبين فى شكل (٥١ ج) .

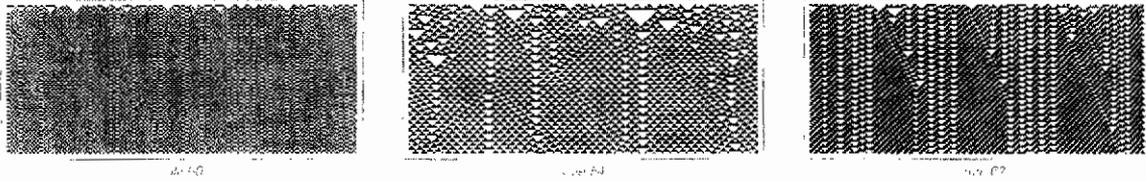


شكل (٥١ ج)

الأوتوماتا الخلوية التى تفضى إلى تكرارية فى المكان والزمان نتيجة تطورها من بذرة بسيطة

ولكن ماذا عن الشروط الابتدائية العشوائية : إن التكرارية فى الزمان يسهل الحصول عليها . أما التكرارية فى المكان فتحتاج لجهد أكبر لتحقيقها .

فى شكل (٥٢ أ) نرى كيف تظل هناك حوائط بين المناطق التكرارية .



شكل (١٥٢)

أوتوماتا خلوية تفصل حوائط بين مناطقها التكرارية

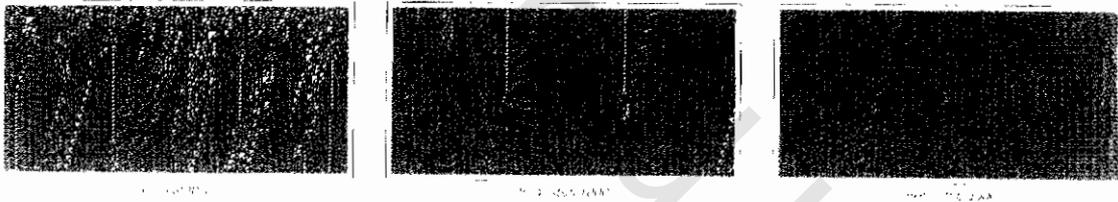
وأحياناً تتفاعل المناطق وتتحد كما هو مبين في شكل (٥٢ ب).



شكل (٥٢ ب)

أوتوماتا خلوية تتحد فيها المناطق التكرارية لتكون منطقة واحدة وبسرعة (القاعدة ١٨٤)

في أحيان أخرى يحدث هذا ببطء شديد كما هو مبين في شكل (٥٢ ج).



شكل (٥٢ ج)

سلوك القاعدة (١١٠) من شروط ابتدائية عشوائية وتبدأ المناطق التكرارية معزولة ثم تتحد وتكون منطقة واحدة

يمثل تكون الأشكال المتداخلة الفرع الثالث من الانتظام . يمكن وصف تكون الأشكال المتداخلة نتيجة الانقسام الذي يحدث لكل عنصر إلى عناصر أصغر فأصغر حسب قاعدة معينة .

في شكل (٥٣ أ) نرى كيف تنقسم العناصر في نظم الإحلال إلى عناصر أصغر فأصغر وتكون بسهولة الأشكال المتداخلة .



شكل (١٥٣)

يبين الشكل كيفية تكون الأشكال المتداخلة في نظم الإحلال في بعد واحد وبعدين من خلال انقسام العناصر إلى قوالب من عنصر أصغر فأصغر

بنفس الطريقة تتكون الأشكال المتداخلة عندما يتفرع كل عنصر إلى عناصر أصغر فأصغر لتكون أشكالا شبيهة بالشجرة كما هو مبين في شكل (٥٣ ب) .



شكل (٥٣ ب)

تكون الأشكال المتداخلة عن طريق تفرع العناصر

ولكن ما الذى يجعل المنظومة تفعل هذا في الطبيعة ؟ جزئياً يمكن أن نصف ذلك بأن نفس القواعد الأساسية تسرى بصرف النظر عن المقياس (scale) . ولكن هذا كان لابد أن يؤدي إلى النمو الانتظامى أو الحلزونى وليس إلى الأشكال المتداخلة. لكي تتكون الأشكال المتداخلة لابد وأن تتم عملية انقسام أو تفرع بحيث تتولد عناصر مميزة من عنصر واحد منفرد .

من المصادر الهامة لتكون الأشكال المتداخلة ما ينتج عن المتتاليات الرقمية للأعداد المتتالية - ذلك في الرياضيات كما هو مبين في شكل (٥٤ أ) .

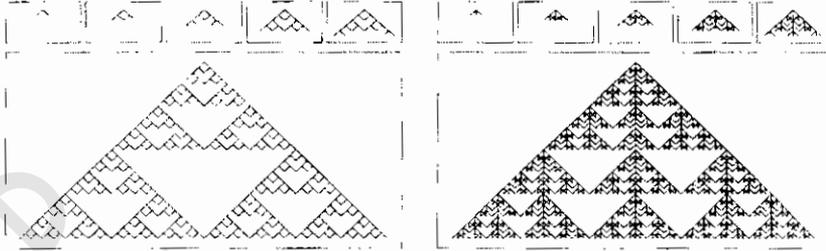


شكل (١٥٤)

الأشكال المتداخلة التي تتكون حسب القاعدة (٩٠)

والقاعدة (١٥٠) للأوتوماتا الخلوية التجميعية والتي تبدأ من خلية سوداء واحدة

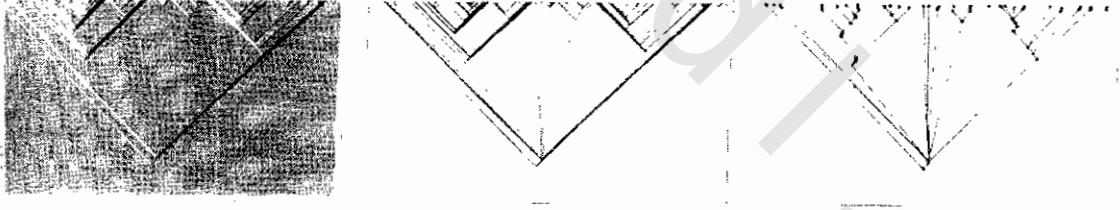
ثبت أنه يمكن الحصول على نفس الأشكال المتداخلة كما هو مبين في شكل (٥٤ ب) عن طريق عمليات تتفرع فيها العناصر بعد فترات منتظمة وتتلاشى عندما تنتظم .



شكل (٥٤ ب)

الأشكال المتداخلة الناتجة عن تفرع اثنين أو ثلاث أفرع تتكون بعد فترات منتظمة وتتلاشى عند تصادم زوج منها

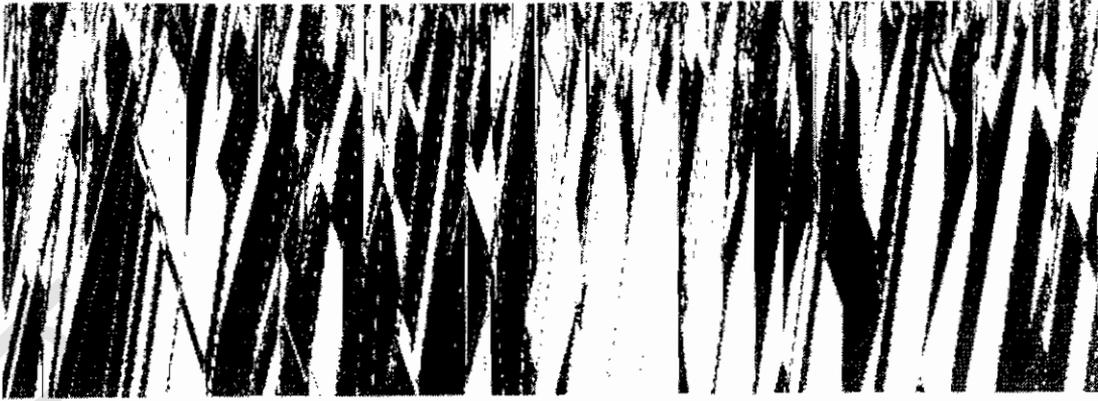
ولكن ماذا عن دور الشروط الابتدائية العشوائية ؟ يمكن أيضاً أن تتكون الأشكال المتداخلة إذا كانت الآلية الرئيسية هي التلاشى المتتالي للعناصر التي تكون موزعة في البداية توزيعاً عشوائياً كما في شكل (٥٥ أ) .



شكل (٥٥ أ)

تكون أشكال متداخلة حسب القاعدة (١٨٤) والتي بدأت بشروط ابتدائية عشوائية ، بدأت بعدة شرائط ، سلط عليها الضوء في الشكل الثاني ثم تفرعت في الشكل الثالث . الشروط الابتدائية هي تساوي اغلالياً البيضاء والسوداء بالضبط مما يتسبب في تلاشي الشرائط .

في شكل (٥٥ ب) نرى تكون أشكال متداخلة حسب القاعدة (١٨٤) بشروط ابتدائية عشوائية .



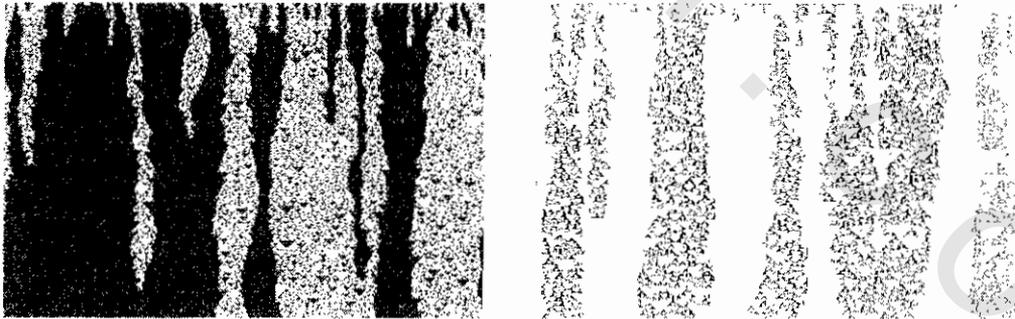
شكل (٥٥) ب

عرض مضغوط بدرجة عالية لتطور أوتوماتا خلوية حسب القاعدة ١١٠
من شروط ابتدائية عشوائية حيث تؤخذ عينة من كل قالب مكون من 7×14 من العناصر

إن أخذ عينة من كل قالب يحوى 7×14 من العناصر يؤدي إلى أن كل
منطقة تكرارية تنتهى إلى حالة من اللون الواحد .

إذا نظرنا فى تفاصيل ما يحدث نجد أنه عند مستوى كلى فى المتوسط فإن هذه
البنىات تميل إلى أن تلاشى إحداهما الأخرى وتكون النتيجة هى تكون الأشكال
المتداخلة .

لا يقتصر هذا الوضع على النظم التى تنتهى إلى مناطق منتظمة أو تكرارية وإنما
أيضاً إلى تلك التى تعطى مناطق عشوائية كما هو مبين فى شكل (٥٦) .



شكل (٥٦)

يبين الشكل أمثلة على بنىات تحوى مناطق ذات بنىات عشوائية
فى الشكل الثانى يمثل كل عنصر قالباً 2×2 من الخلايا الأصلية
فى كلتا الحالتين تمثل الحوائط بين المناطق مسيرة عشوائية بحيث تتلاشى عندما تلتقى
وهكذا تتكون الأشكال المتداخلة