

الباب الأول

بدءاً من العشوائية

ظهور الانتظام

(Emergence of Order)

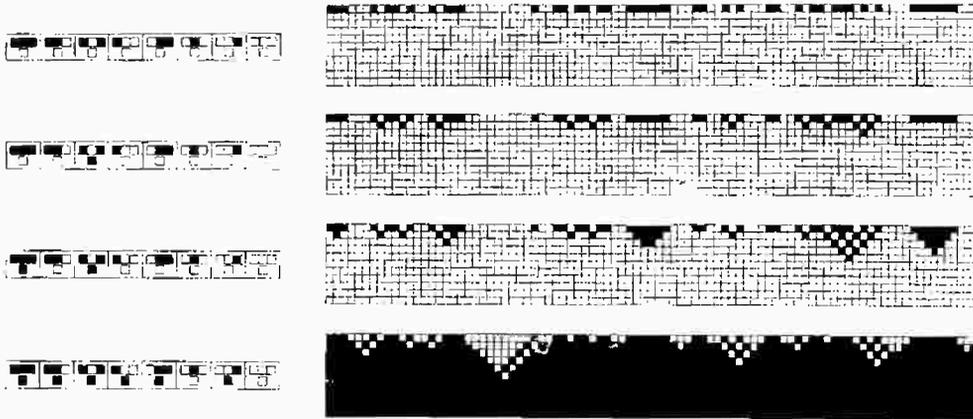
في عرضنا لإطار كتاب ولفرام الهام «نوع جديد من العلم» في كراسة سابقة رأينا أمثلة عديدة توضح كيف أن الشروط الأولية البسيطة للبرامج البسيطة تؤدي إلى نتائج غير متوقعة .

هدفنا في هذا الباب هو عكس ذلك تماماً أي أننا ندرس كيف سيكون الحال إذا بدأنا بشروط أولية عشوائية . من الطبيعي أن نتوقع أنه إذا بدأنا مثل هذه البداية فلن يظهر أي انتظام . على العكس سوف نرى أن بعض النظم وإن بدأت عشوائية فإنها تميل إلى تنظيم نفسها لكي تصبح ذات سمات ليست كلها عشوائية تماماً . في شكل (١) نرى أول مثال لذلك حيث نبدأ عند قمة الشكل بتوزيع عشوائي للخلايا البيضاء ثم تصبح كل الخلايا سوداء بعد خمس خطوات فقط .



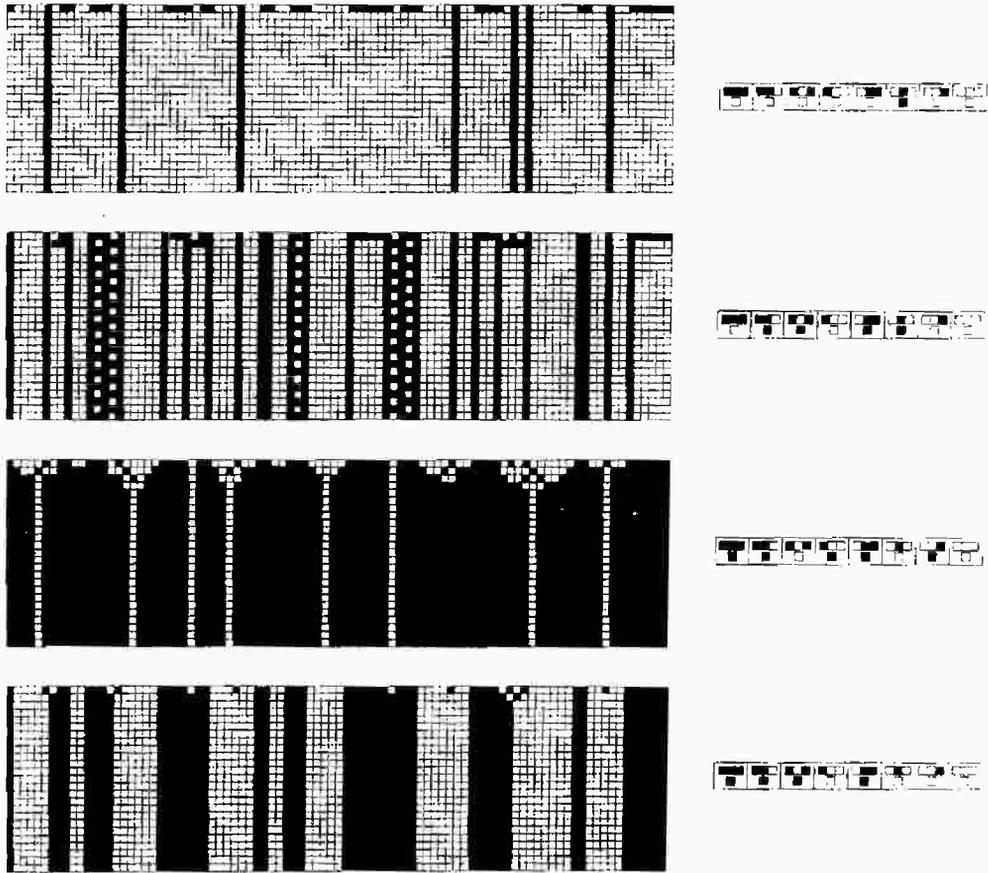
شكل (١)

في شكل (٢) نرى نفس السلوك حيث نبدأ بتوزيع عشوائي للخلايا وبعد عدة خطوات تصبح الخلايا إما كلها بيضاء أو سوداء .



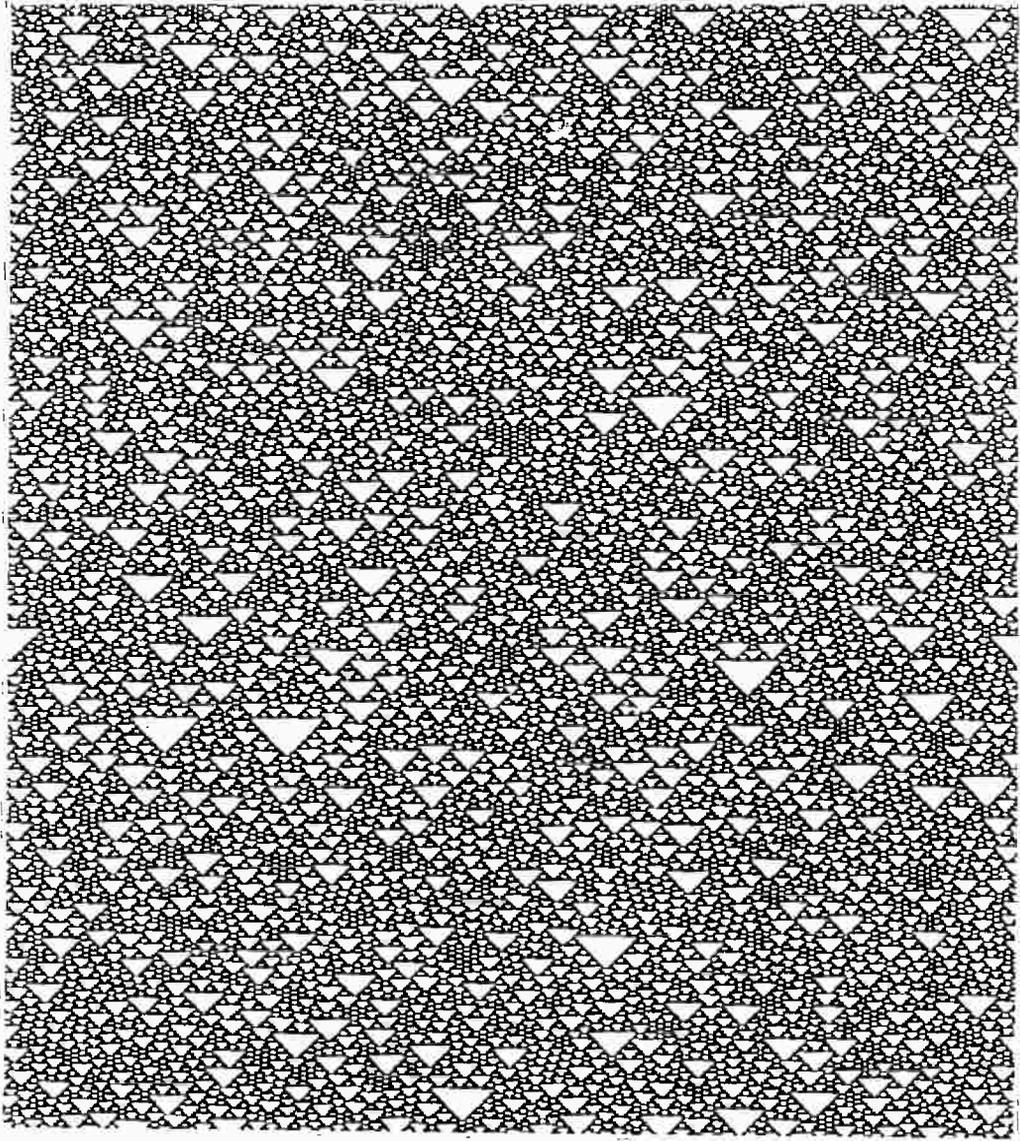
شكل (٢)

في شكل (٣) نرى أمثلة لنظم ذات سلوك أعقد حيث ينتهي بعضها إلى انتظام تام أو انتظام جزئي يحوى بعض السمات العشوائية .

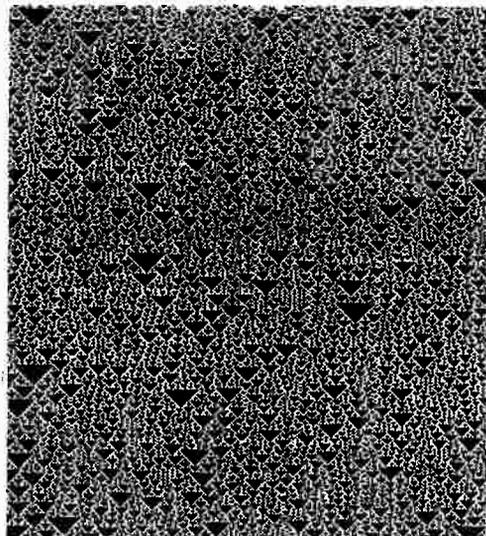
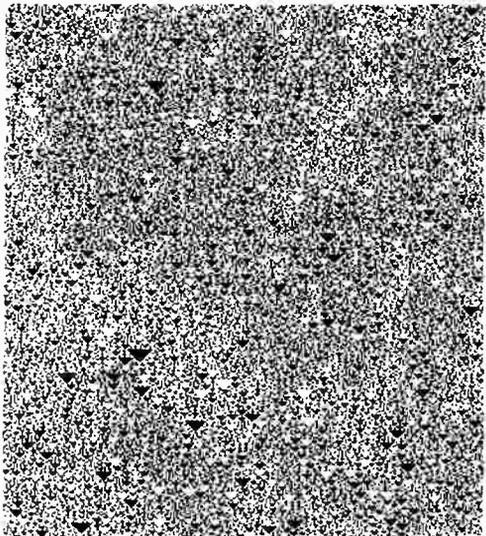
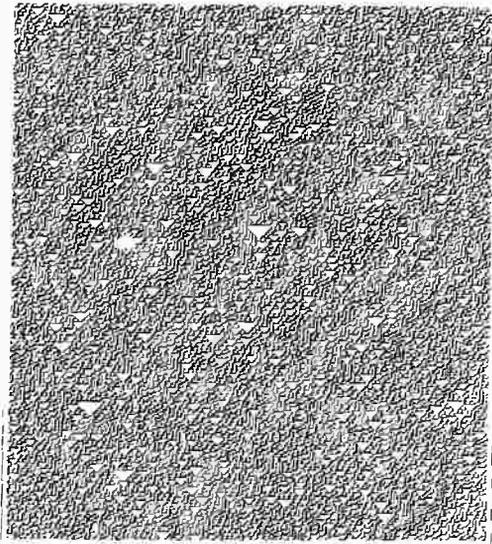
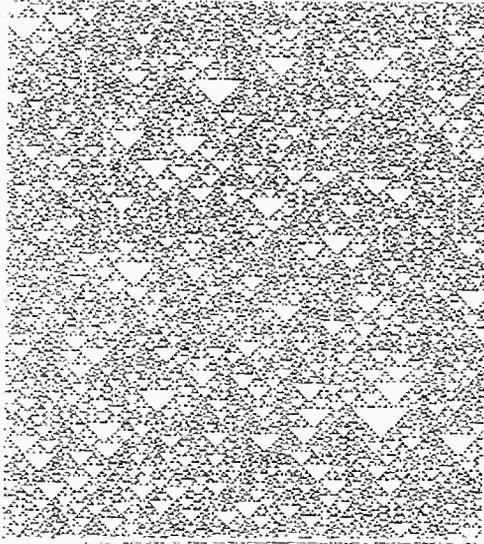


شكل (٣)

فى شكلى (٤ ، ٥) نرى أن بعض النظم تظل ذات سلوك عشوائى تماماً ولا تظهر عليها أى سمات انتظام سوى ظهور بعض المثلثات التى بها بعض الانتظام.

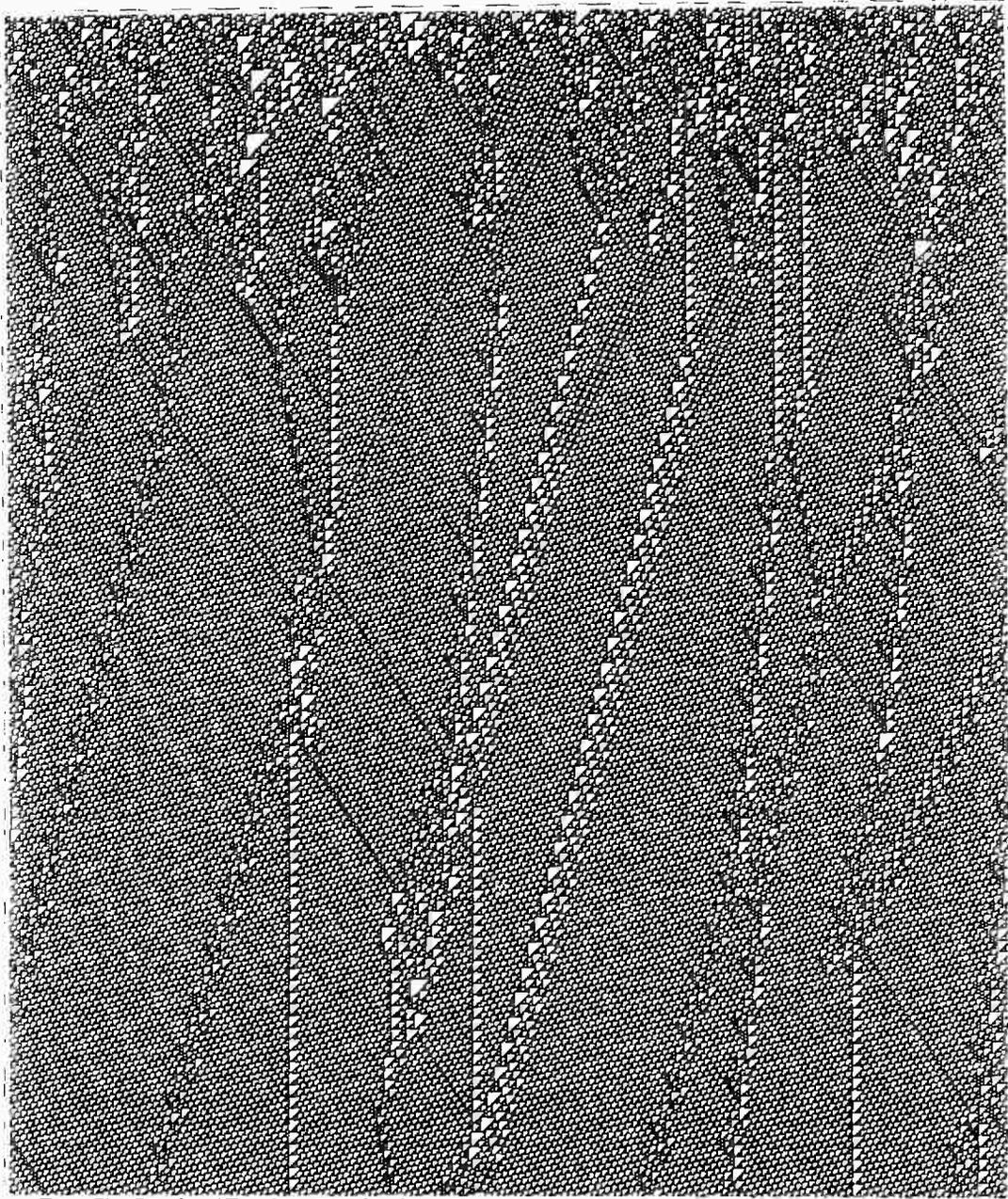


شكل (٤)

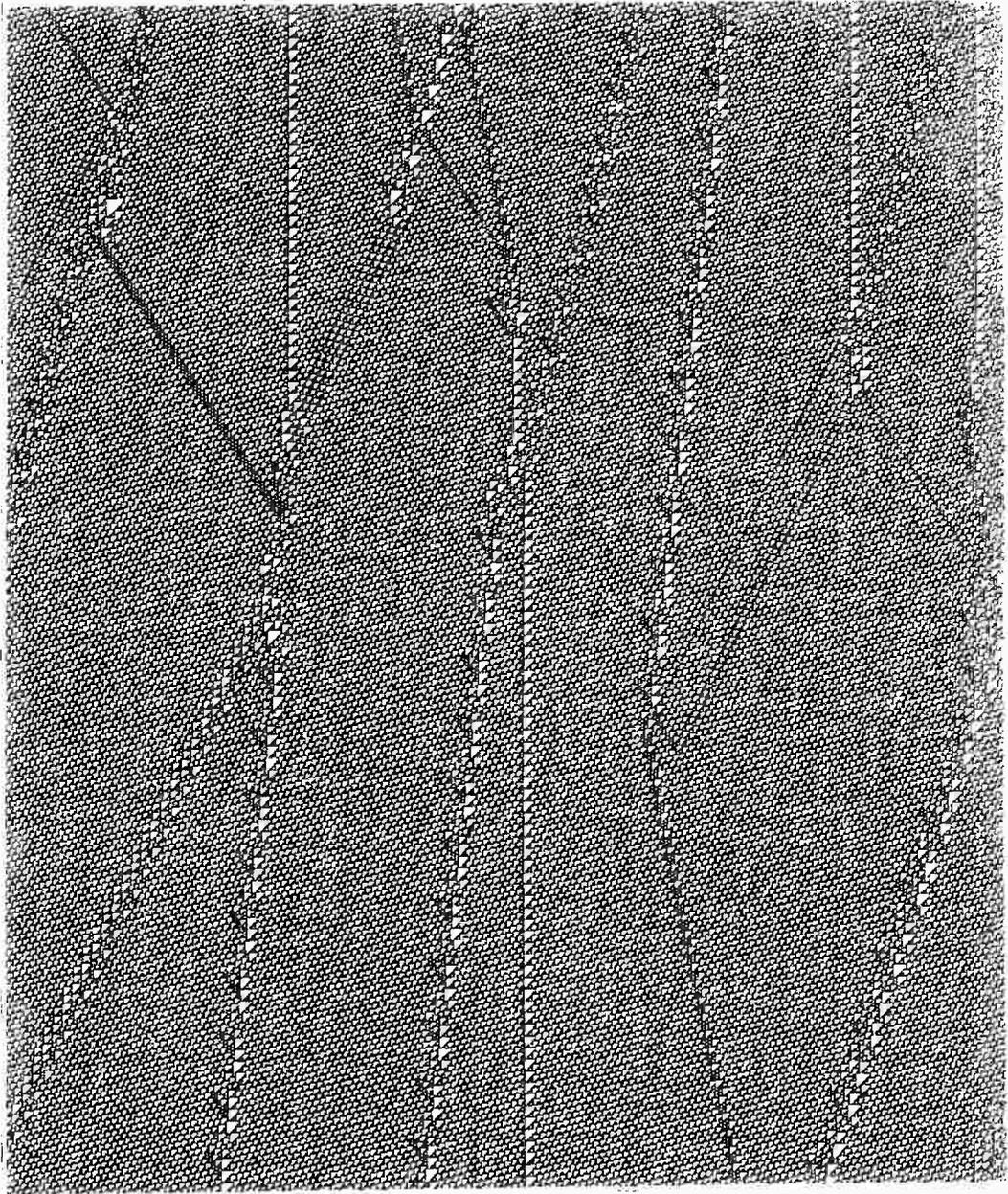


شكل (٥)

فى شكلى (٦ ، ٧) نرى كيف يتطور الشكل الذى يخضع للقاعدة (١١٠) مع شروط ابتدائية عشوائية وكيف تتفاعل هذه الشروط وتؤدى إلى الأشكال المعقدة التى نراها .



شكل (٦)

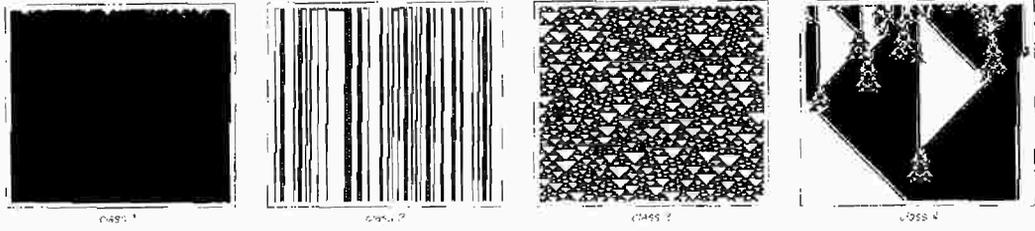


شكل (٧)

لقد أمكن حصر سلوك أنواع الأوتوماتا الخلوية ذات الشروط الابتدائية العشوائية في أربع أنواع كما هو واضح من شكل (٨) .

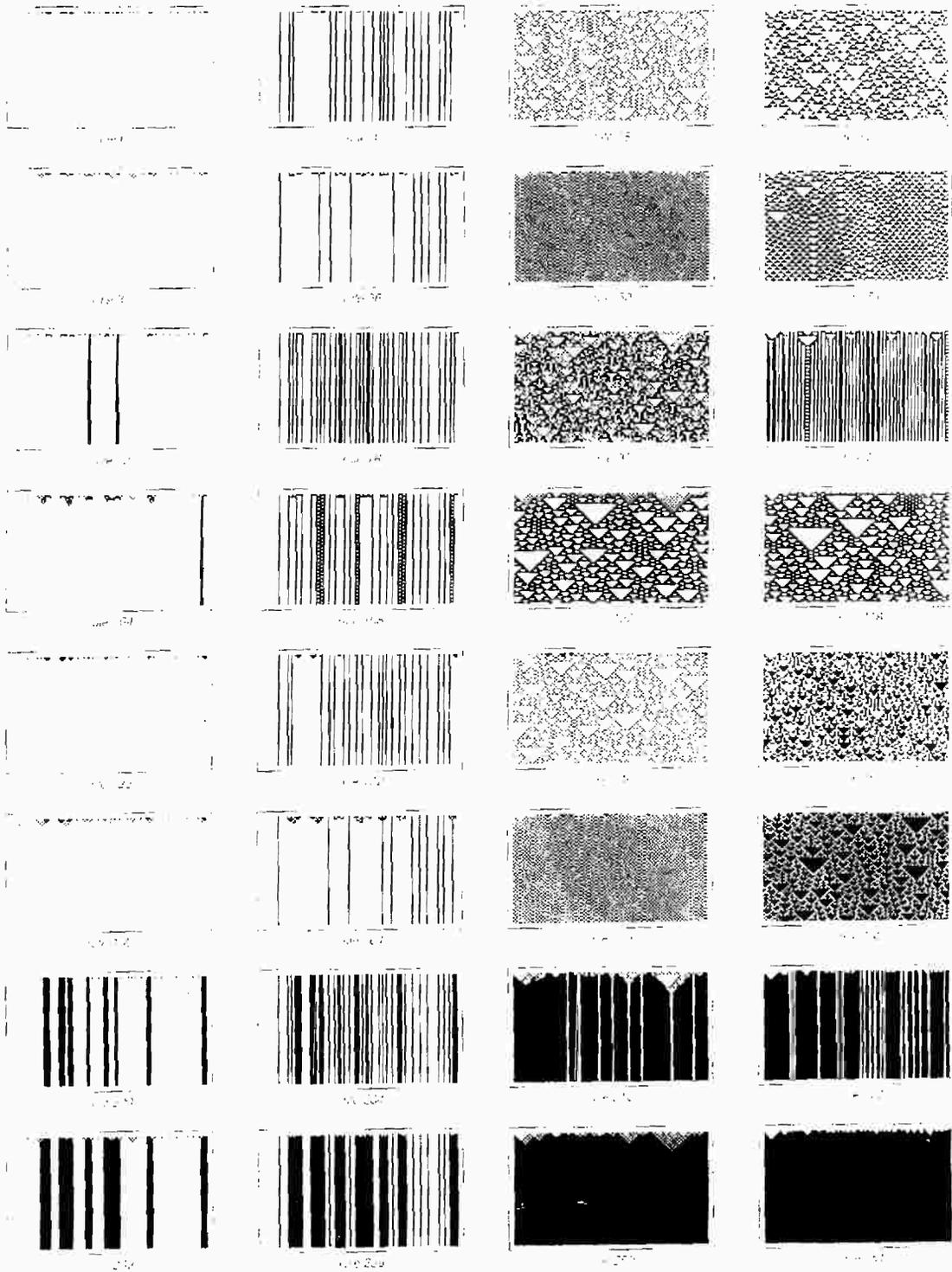
أنواع السلوك الأربعة

Four classes of Behaviour

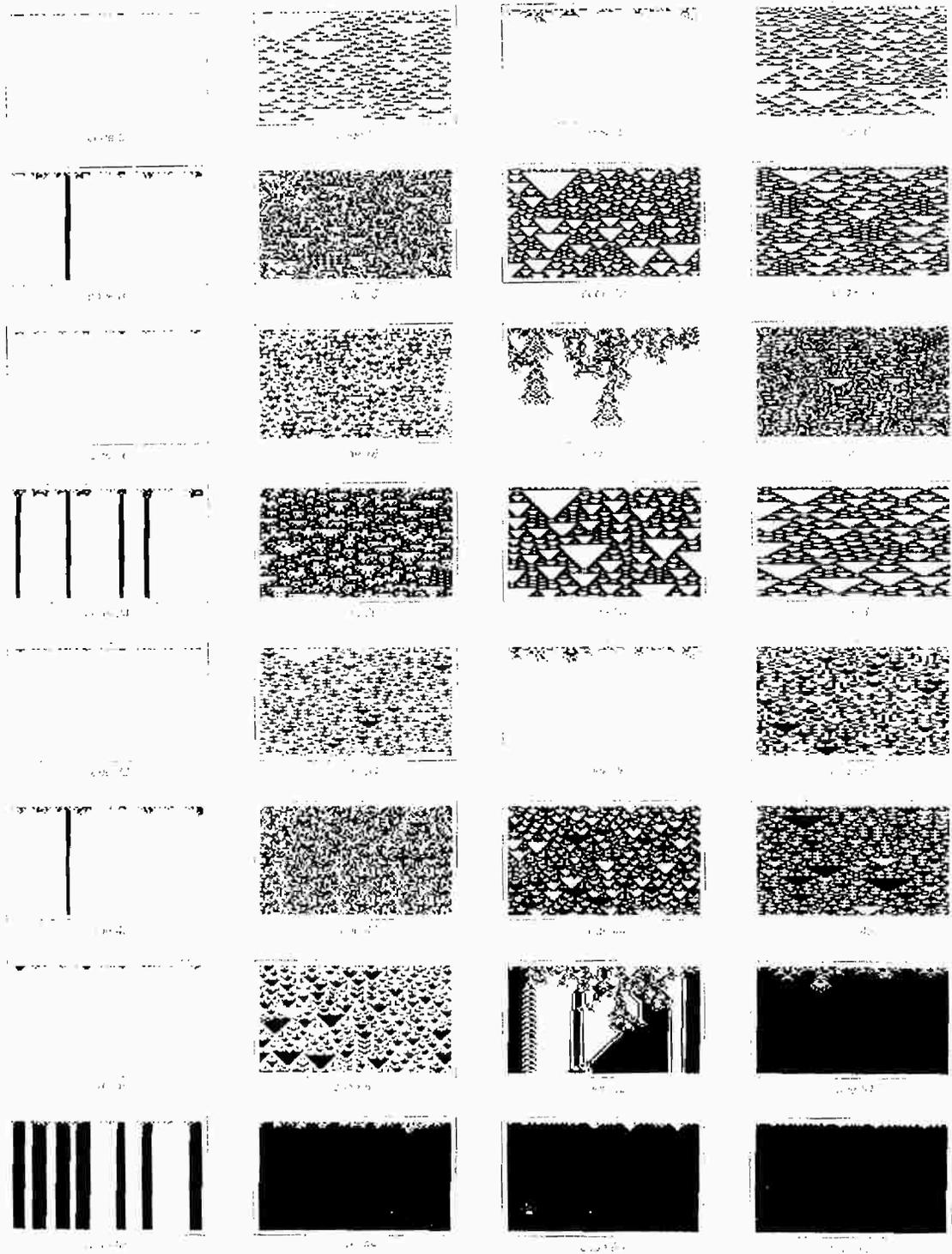


شكل (٨) أنواع السلوك الأربع أ ، ب ، ج ، د

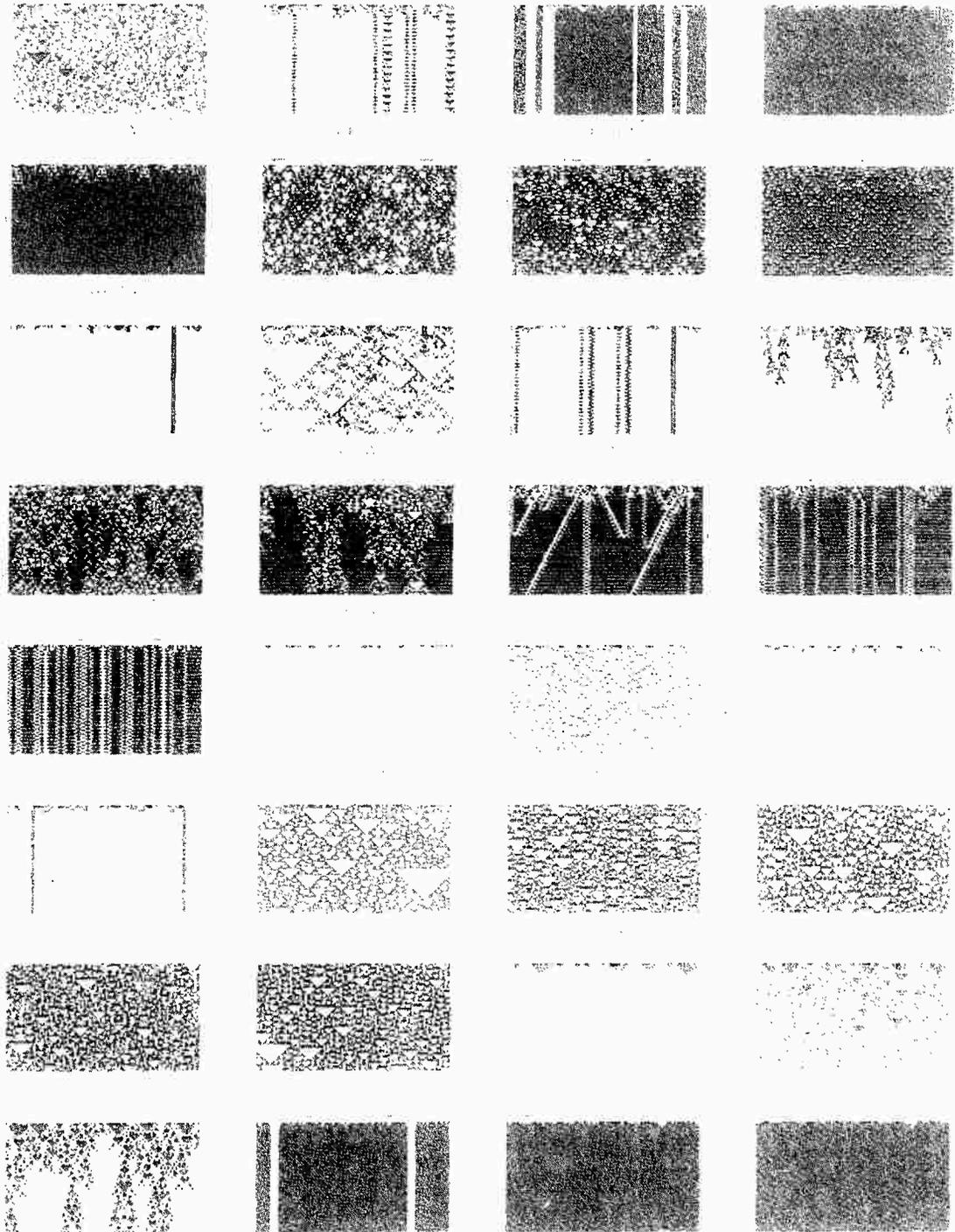
في الرسم الأول (٨ أ) نرى كيف ينتهي النظام إلى انتظام تام ، فسي الثاني (٨ ب) ينتهي النظام إلى انتظام متفاوت ، وفي شكل (٨ ج) نرى كيف ينتهي النظام إلى انتظام تتخلله بعض الأشكال العشوائية ، أما في شكل (٨ د) ينتهي النظام إلى سلوك عشوائي به بعض العناصر البسيطة التي تحمل سمات الانتظام الجزئي .



شكل (٩): سلوك الأوتوماتا الخلية التي تحوى الخلايا المجاورة الأقرب بطريقة متماثلة ،
وتأخذ لونين فقط لكل خلية وتترك الحالات التي تحوى خلايا بيضاء دون تغير

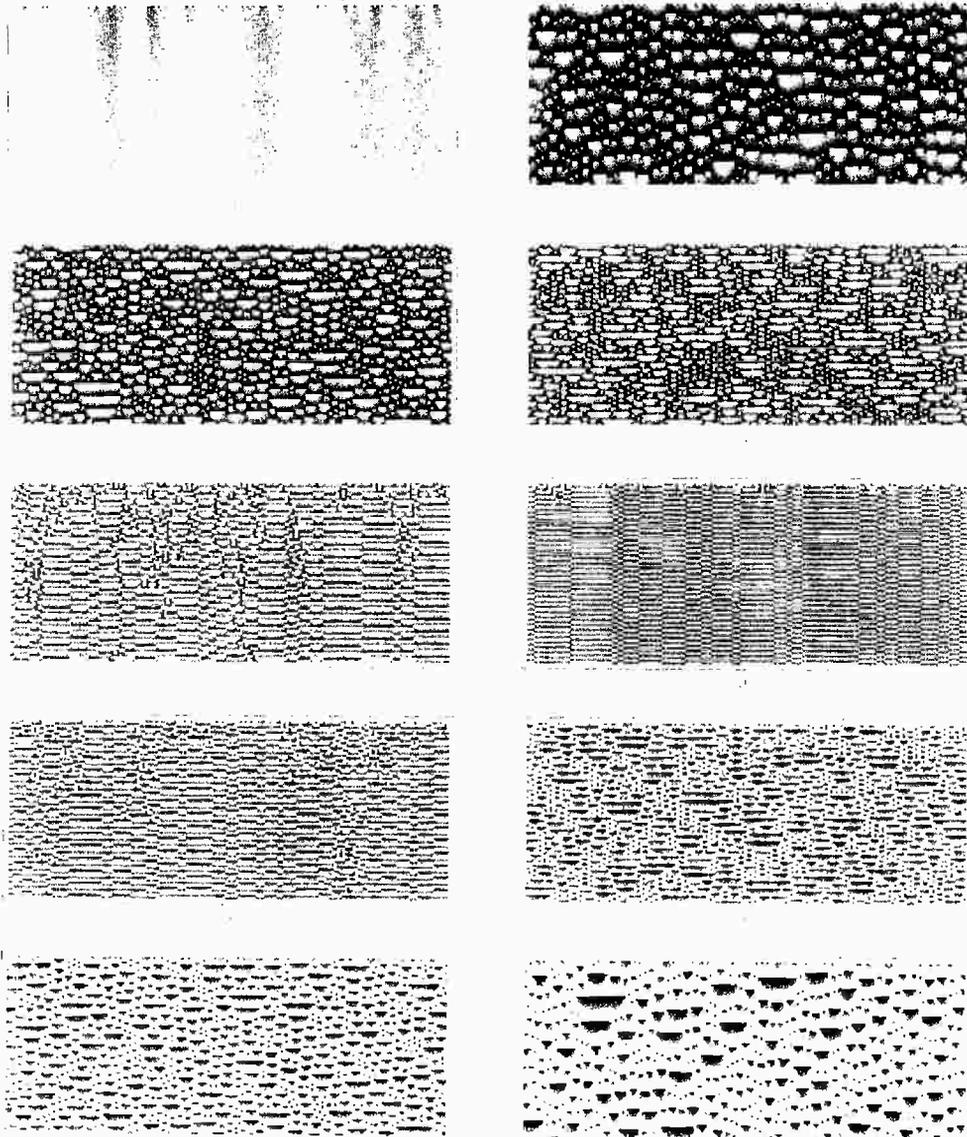


شكل (١٠) : سلوك الأوتوماتا الخلوية الشاملة التي تشمل قواعدها الخلايا المجاورة الأقرب والتي بعدها مباشرة ، وتأخذ الخلية لونين اثنين فقط



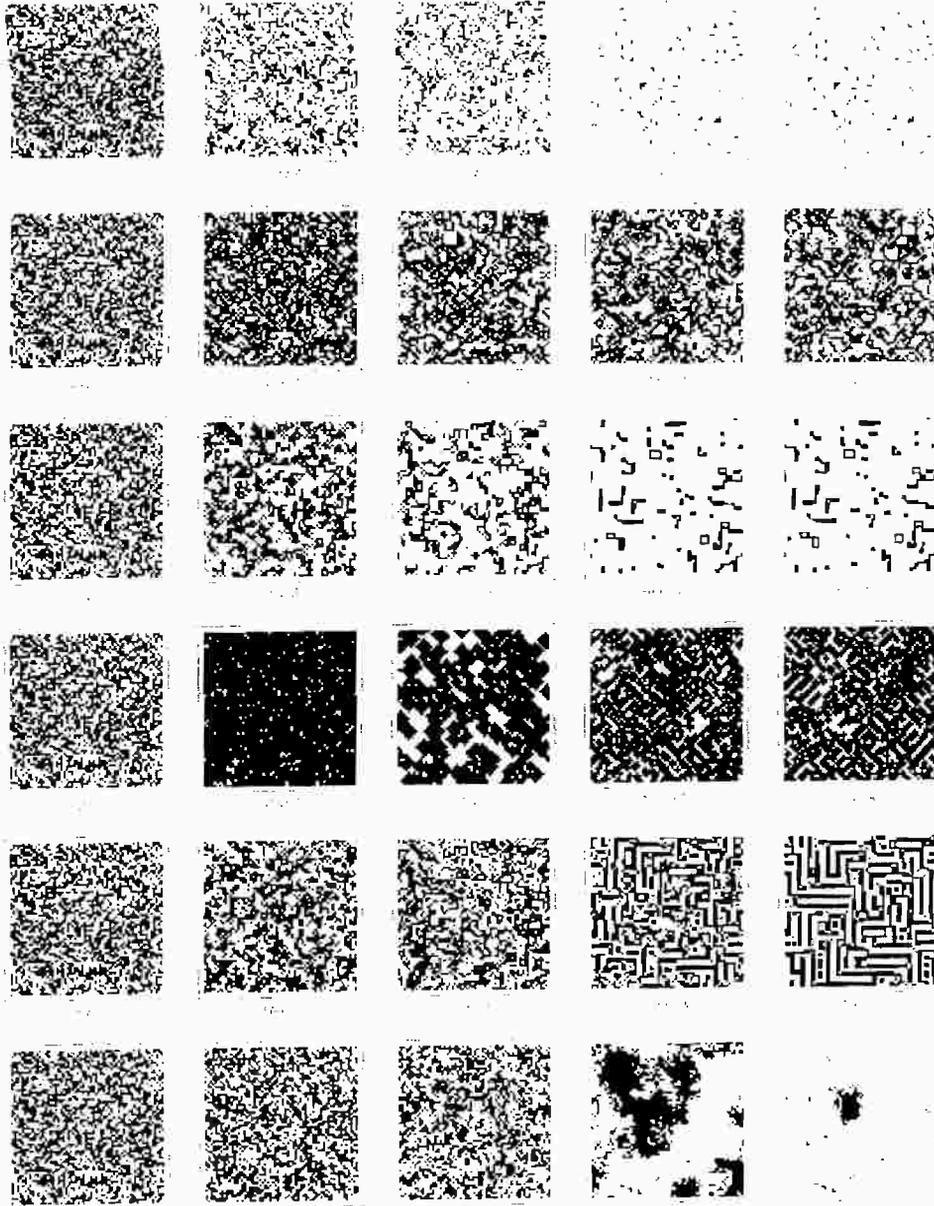
شكل (١١) : متوالية من الأوتوماتا الخلوية الشاملة حسب قواعد تشمل الخلايا المجاورة فقط ولكن يمكن لكل خلية أن تأخذ ثلاث ألوان

ورغم أن النوع الرابع يمكن أن يوجد على الحدود بين النوعين الأول والثاني ،
إلا أنه يمكن أيضاً أن نجده في الأتوماتا الاستمرارية بشكل عام .
في شكل ١٢ نرى نتيجة اختيار عامل ما تتغير قيمته بالتدرج من الصفر إلى
الواحد الصحيح .

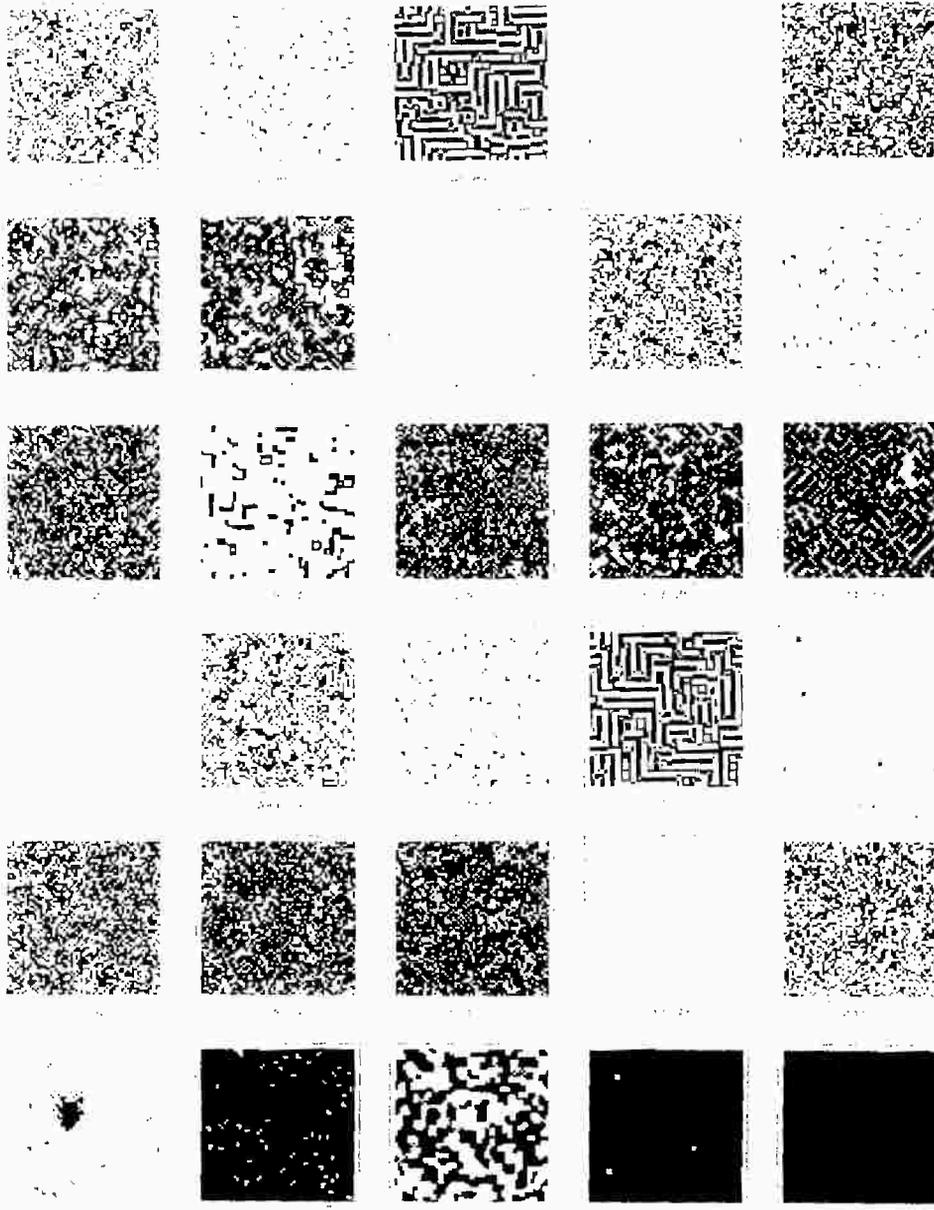


شكل (١٢) : أمثلة لتطور الأتوماتا الخلية الاستمرارية من شروط ابتدائية عشوائية .
كل خلية يمكنها أن تأخذ لوناً مادياً يتغير مستواه من الصفر حتى الواحد الصحيح
كما نرى فهذه الأشكال يمكن تصنيفها حسب الأربع أنواع السابقة

في شكلي (١٣) ، (١٤) نرى الأوتوماتا الخلوية في بعدين .



شكل (١٣) : أمثلة علي تطور الأوتوماتا الخلوية ثنائية الأبعاد حسب قواعد شاملة مختلفة تبدأ من شروط أولية عشوائية



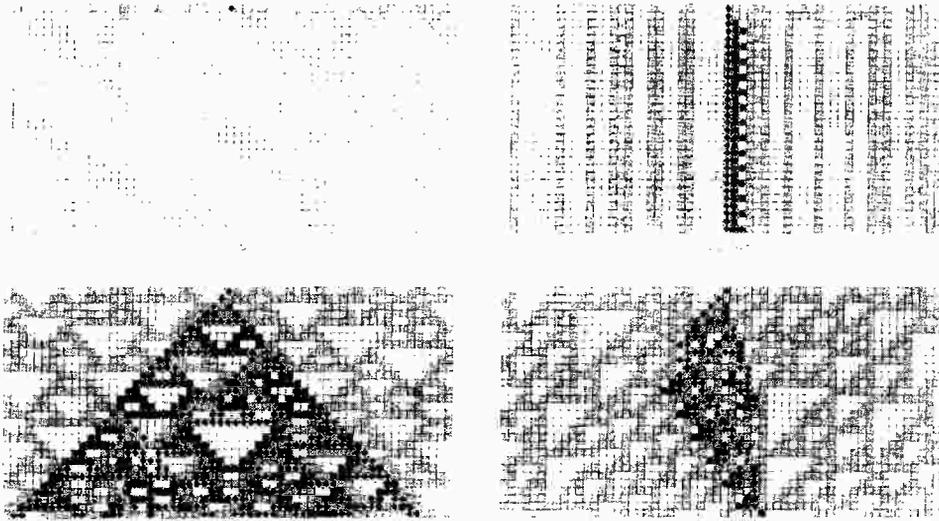
شكل (١٤): الأشكال الناتجة بعد ٥٠٠ خطوة في تطور الأوتوماتا الخلوية ثنائية الأبعاد بدأت من شروط ابتدائية عشوائية .
 تحوى هذه القواعد ٦٤ إمكانية التي تترك الحالة التي تتكون من خلايا بيضاء فقط تتركها دون تغير .

فى الجزء السابق تعرفنا على الأنواع الأربعة الأساسية من الأوتوماتا الخلوية بالنظرة الكلية على الأشكال التى تنتج عنها . فى شكل ١٥ واضح اختلاف الأشكال الناتجة فى كل نوع من الأربعة المذكورة .

الحساسية نحو الشروط

الابتدائية:

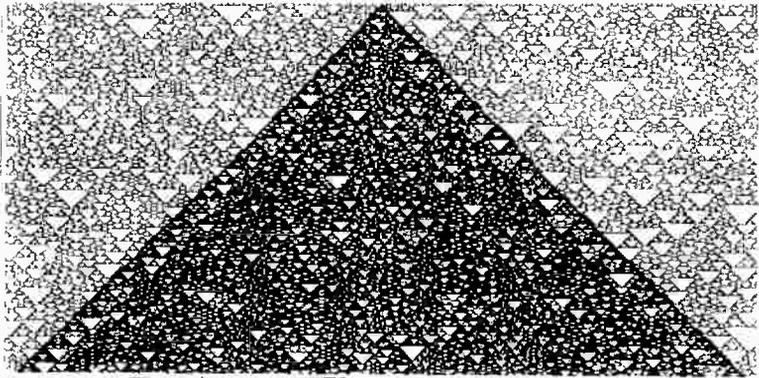
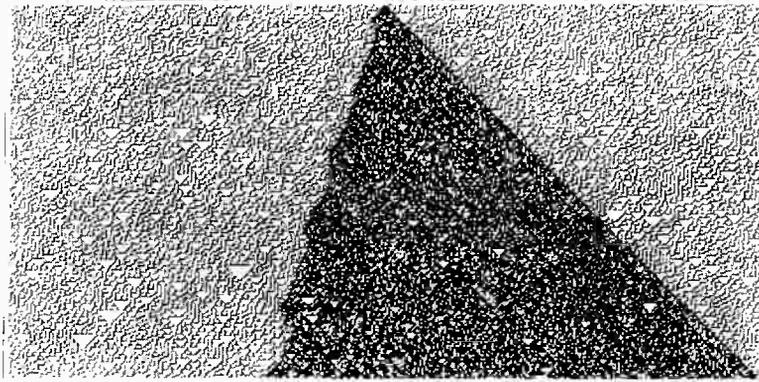
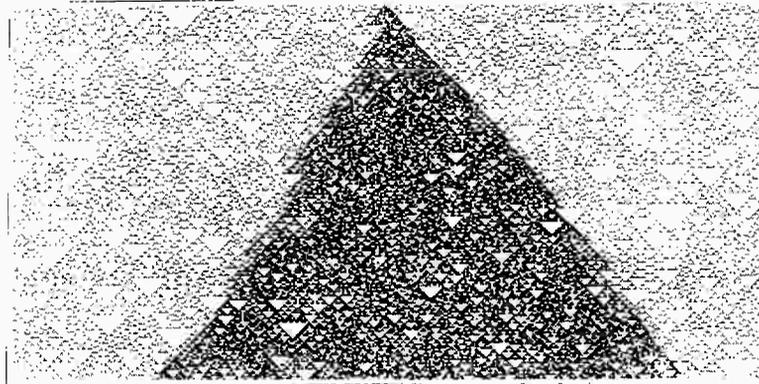
Sensitivity to Initial
conclitions



شكل (١٥) : تأثير تغيير لون خلية واحدة فى الشروط الابتدائية للأوتوماتا الخلوية للأنواع الأربعة المذكورة

فى النوع الأول نختفى هذه التغيرات بالتدرج وفى النهاية نحصل على نفس الشكل بصرف النظر عن الشروط الابتدائية مهما اختلفت . فى النوع الثانى تظل هذه التغيرات ولكنها تنحصر فى بعض المناطق المحدودة ضمن النظام .

فى النوع الثالث يختلف السلوك تماماً . كما هو مبين فى شكل ١٦ .

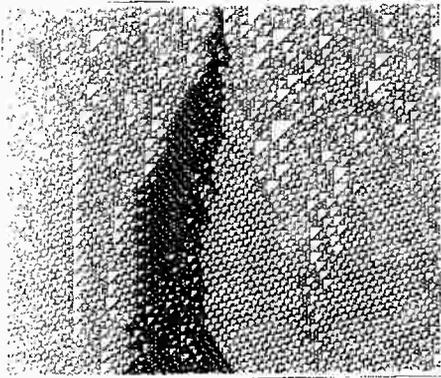


شكل (١٦)

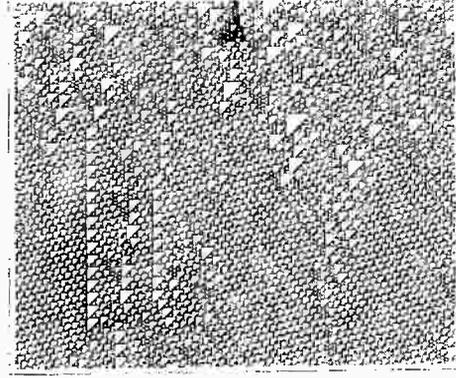
تأثير تغيير لون خلية واحدة ابتدائية في النوع الثالث من الأوتوماتا الخلوية.

في النوع الرابع تتوسع التغيرات ولكن بطريقة عشوائية محدودة كما هو مبين

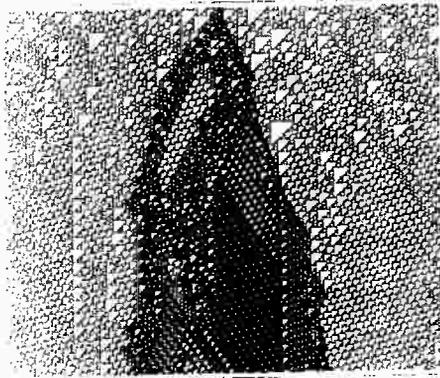
في شكلي ١٧ ، ١٨ .



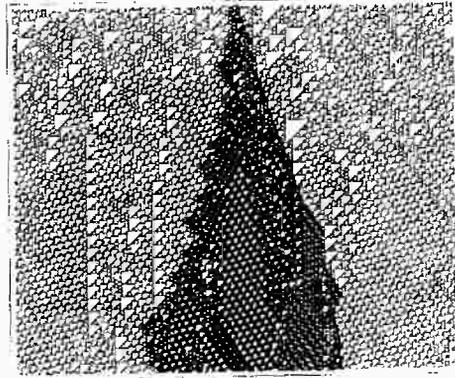
تغير خلية واحدة



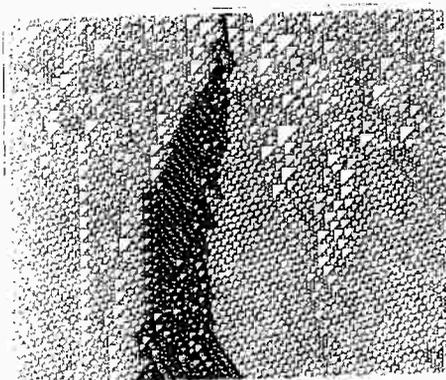
تغير خليتين



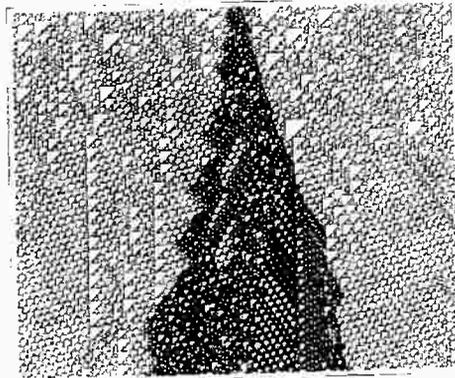
تغير ٣ خلايا



تغير ٤ خلايا

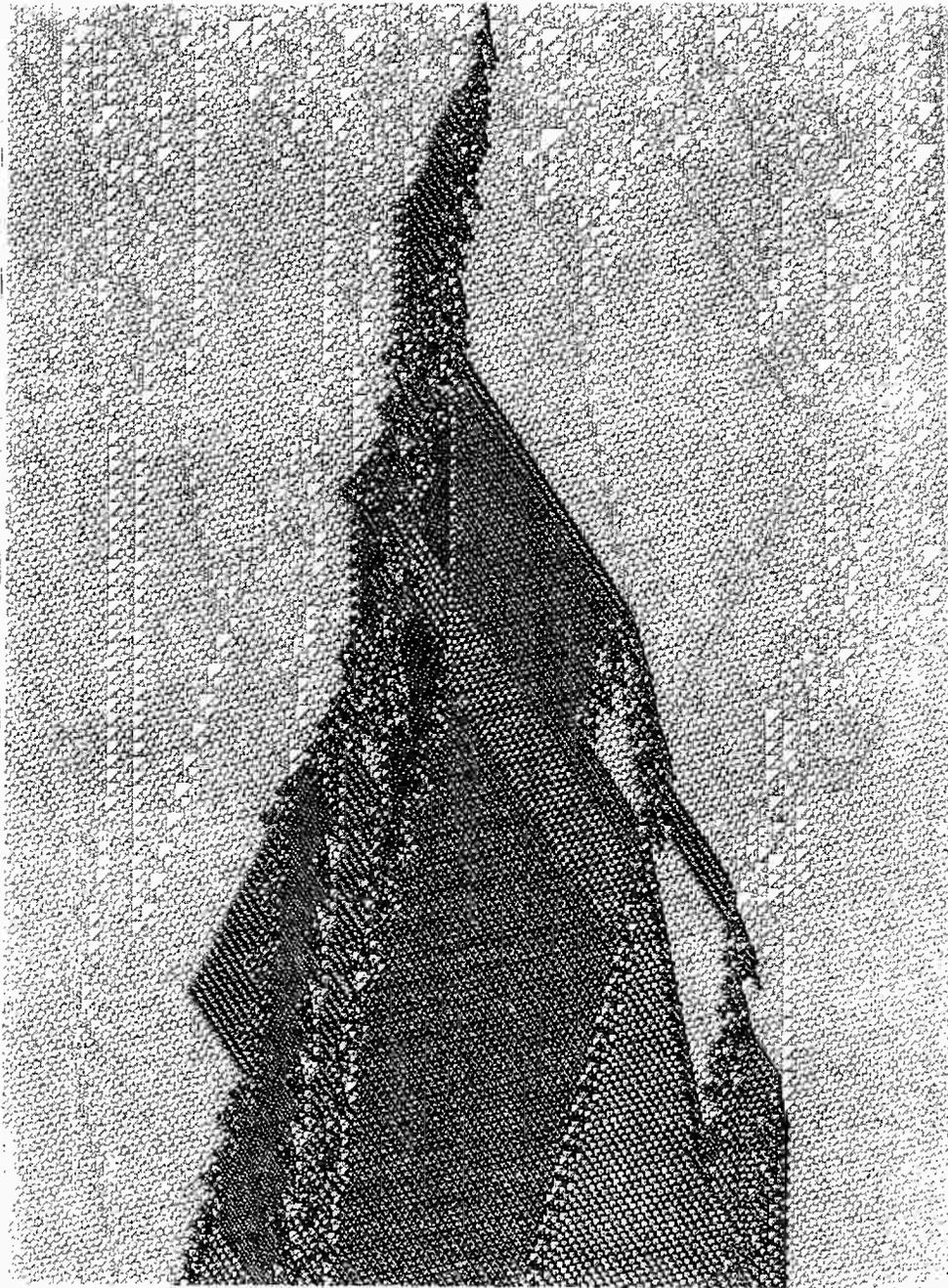


تغير ٥ خلايا



تغير ٦ خلايا

شكل (١٧): تأثير التغيرات البسيطة للقاعدة ١١٠ في النوع الرابع للأوتوماتا الخلية حيث تنتشر التغيرات لو حملتها العناصر التي تتحرك عبر كل النظام .



شكل (١٨)
تغيير خلية واحدة

ولكن ما هي أهمية هذه الاختلافات ؟ فى الأنواع الأربعة الناحية الأساسية أن هذا الاختلاف فى السلوك يظهر الاختلاف فى طريقة معالجة المعلومات من نوع لآخر .

فى النوع الأول ، المعلومات المبنية على الشروط الابتدائية تصبغ فى حكم المنسية وتتطور النظام إلى نفس الشكل النهائى الذى لا يذكر الشروط الابتدائية على الإطلاق .

فى النوع الثانى تظل هذه الشروط الابتدائية ولكن بشكل محدود فى مناطق محصورة ولا تؤثر أية منطقة على الأخرى .

النوع الثالث يظهر بوضوح الاتصال طويل البعد للمعلومات ، فأى تغيير فى منطقة ما يظل يسرى حتى آخر منطقة فى الشكل وأبعدها . النوع الرابع مرة أخرى يقع بين النوعين الثانى والثالث ، أى تغيير فى منطقة يمكن أن ينتقل إلى مناطق أخرى إذا كان يؤثر على المعلومة التى تتحرك عبر الشكل ككل .

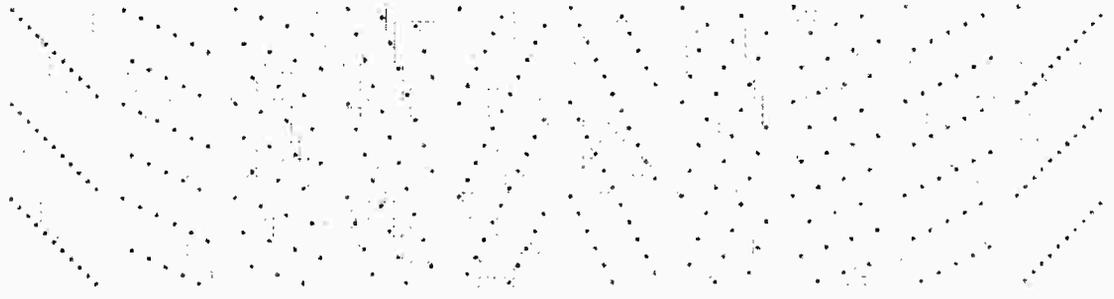
فىما سبق وضحنا كيف أن سمات هذا النوع الثانى هي وجود تكرارية وليس بها ارتباط طويل المدى ، ولكن ما هي العلاقة بين هاتين السمتين ؟

الإجابة هي أن غياب الارتباط بعيد المدى يفرض على كل جزء من هذه المنظومة من النوع الثانى أن يتصرف كل جزء وكأنه نظام محدود الحجم .

فى الصور الواردة فى شكل (١٩) نرى نقطة يمكن أن تقع فى ست مواضع ممكنة . فى كل خطوة تتحرك النقطة عددا مبينا من المواضع لليمين ثم ترتد حالما وصلت إلى الموضع النهائى من الناحية اليمنى .

النظم ذات الحجم المحدود وسلوك النوع الثانى:

Systems of Limited size and Class 2 Behavior

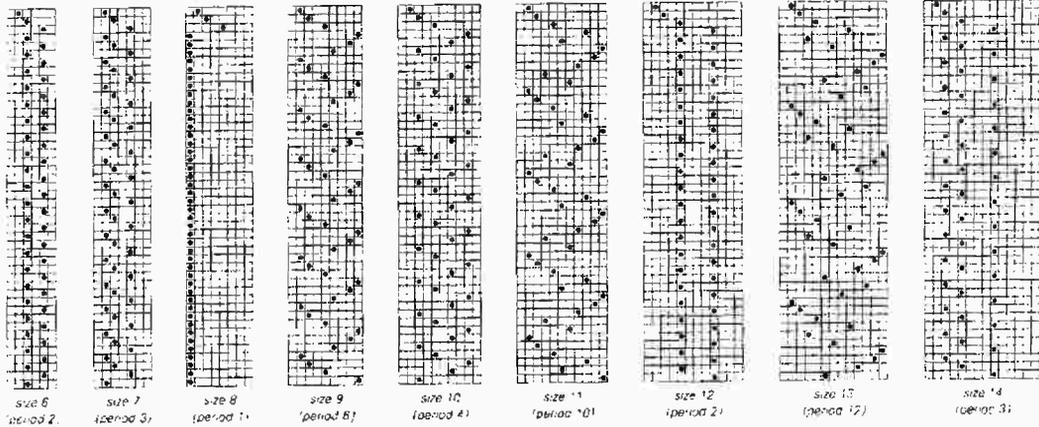


انتقال ١	انتقال ٢	انتقال ٣	انتقال ٤	انتقال ٥	انتقال ٦	انتقال ٧	انتقال ٨	انتقال ٩	انتقال ١٠
(دورة ١١)									

شكل (٢٠) ب

مزيد من الأمثلة ولكن عدد المواضع الممكنة أصبحت ١٠ و ١١. يتكرر السلوك بعد ١٠ أو ١١ خطوة ولكن عدد الخطوات بالضبط يتحرك بالمعاملات الأولية للأعداد التي تحدد المنظومة.

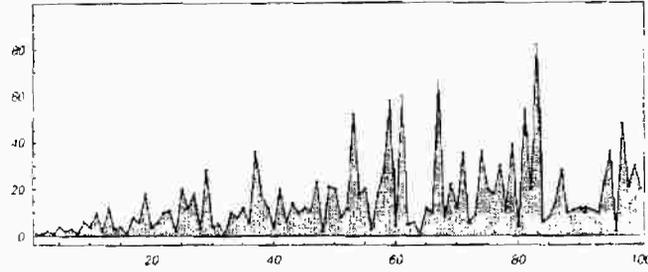
لنتقل إلى نظام بسيط آخر مع تغير القاعدة التي تتحرك بها النقطة تغيرا بسيطا. القاعدة الآن هي أن النقطة في كل خطوة تضاعف العدد الذي يعبر عن موضع النقطة، وترتد النقطة عندما تصل إلى الموضع الأقصى من اليمين.



حجم ٦	حجم ٧	حجم ٨	حجم ٩	حجم ١٠	حجم ١١	حجم ١٢	حجم ١٣	حجم ١٤
(دورة ٢)	(دورة ٣)	(دورة ١)	(دورة ٦)	(دورة ٤)	(دورة ١٠)	(دورة ٢)	(دورة ١٢)	(دورة ٣)

شكل (٢١)

في هذا النظام يتضاعف العدد المعبر عن موضع النقطة كل خطوة، وترتد طالما وصلت إلى النهاية من ناحية اليمين بعد t من الخطوات تكون النقطة عن الموضع $\text{Mod}[2^t, n]$ في نظام حجمه n



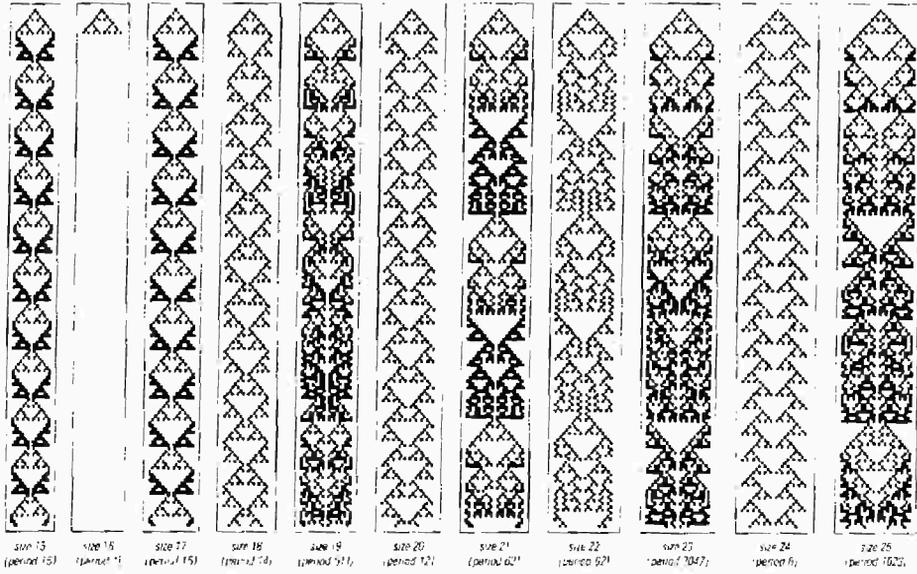
شكل (٢٢)

يوضح الشكل دورة التكرارية كدالة من حجمها ، للقيمة الفردية للعدد n وتكون الدورة هي :
Multiplicative Order $[2,n]$

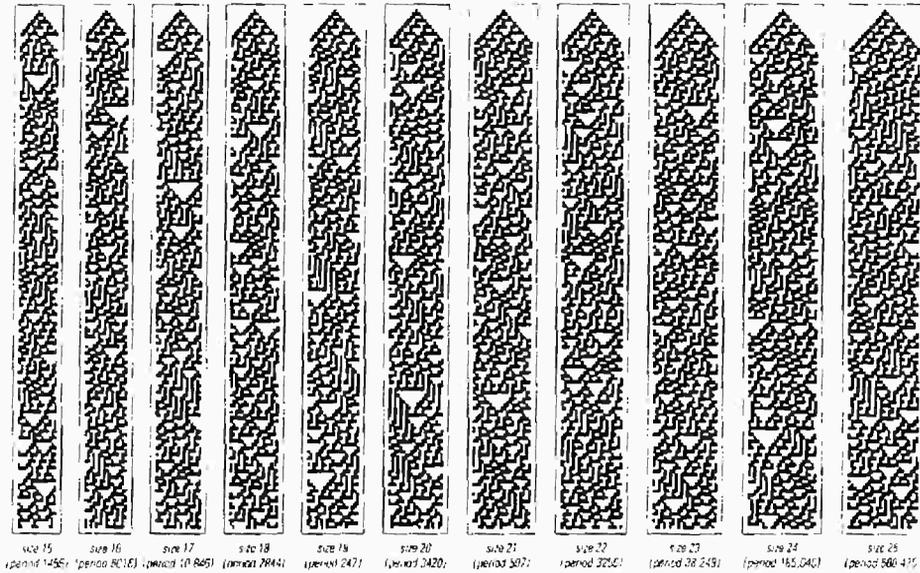
ماذا يحدث عندما يكون مثل هذا النظام هو الأوتوماتا الخلوية ؟

كما هو واضح من شكلي (٢٣ ، ٢٤) فإنه بالنسبة للأوتوماتا الخلوية نحصل على نفس النتائج ولكن لنظام يحوى n من الخلايا ، يوجد $(2n)$ من المواضع الممكنة ويزداد هذا العدد بسرعة كبيرة مع الحجم (n) ، فمثلا لخمس خلايا يوجد ٣٢ موضع ممكن ، لعشر خلايا يوجد 1042 حالة ، لعشرين خلية يوجد 1,048,576 حالة ، لثلاثين خلية يوجد 1,073,741,824 موضع ممكن .

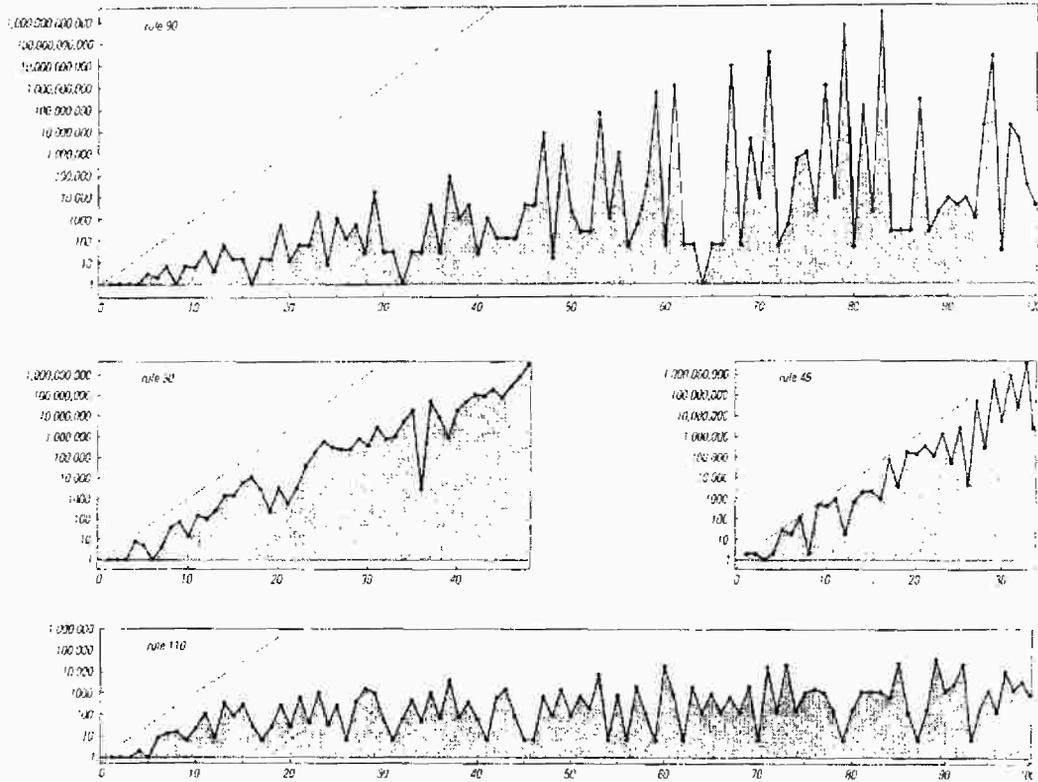
size 30



size 30



شكل (٢٣): دورة التكرارية في الأوتوماتا الخلية كدالة من حجم النظام



شكل (٢٤)

شكل (٢٤)

سلوك الأوتوماتا الخلوية بعدد محدود من الخلايا . نلاحظ أن الخلية المجاورة من اليمين للخلية في أقصى اليمين هي الخلية المجاورة من أقصى اليسار والعكس صحيح ، كذلك تزداد دورة التكرارية (بسرعة كلما زاد حجم النظام)

يحدث في النظام من النوع الثاني مع شروط ابتدائية عشوائية سلوك مشابه ،
وحيث أن الأجزاء المختلفة لا تترايط مع بعضها البعض فإن سلوكها هو سلوك نظم
محدودة الحجم ، وفي الواقع فإن الأوتوماتا الخلوية من النوع الثاني تتكرر الأشكال
كل عدد صغير من الخلايا وبالتالي تكون دورة التكرارية قصيرة .

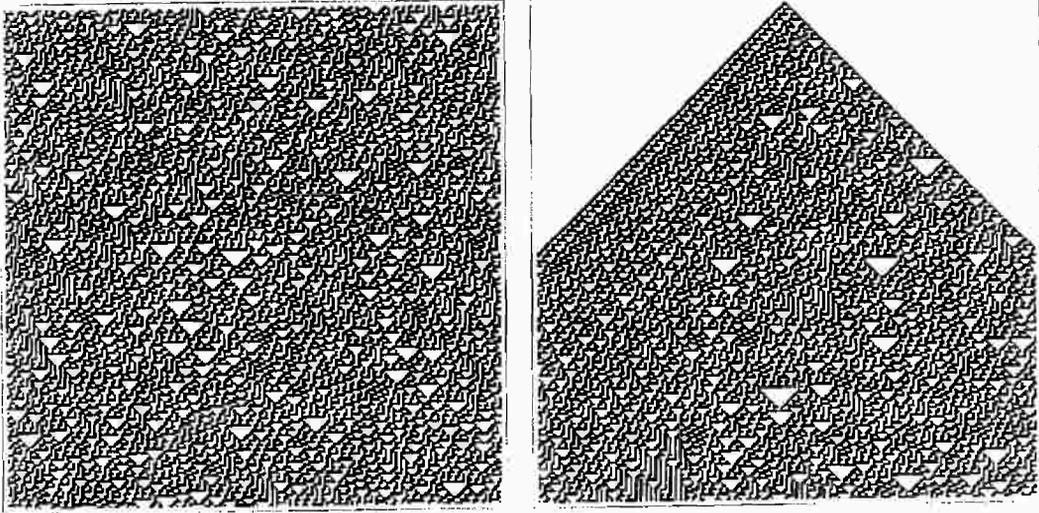
عند النظر إلى النظم من النوع الثالث نرى بوضوح أن العشوائية هي السمة
المميزة لهذا النوع ، ولكن السؤال هو من أين تأتي هذه العشوائية ؟ وهل هي ربما
تكون انعكاسا للشروط الابتدائية العشوائية ؟ إن العشوائية الموضوعية في الشروط
الابتدائية ، مضافا إليها الاعتماد الحساس في سلوك هذا النوع الثالث من النظم على
الشروط الابتدائية ، كلاهما يؤدي إلى مثل هذا السلوك .

لكنني اكتشفت بعد مدة بسيطة أن هذه العشوائية تظهر حتى وإن كانت الشروط
الابتدائية لا تحوى أية عشوائية على الإطلاق . ليس هذا بجديد فقد رأينا أمثلة كثيرة
في السابق تؤكد هذا كما هو واضح من شكل ٢٥ .

العشوائية في النظم من النوع

الثالث

Randomness in Class 3 Systems

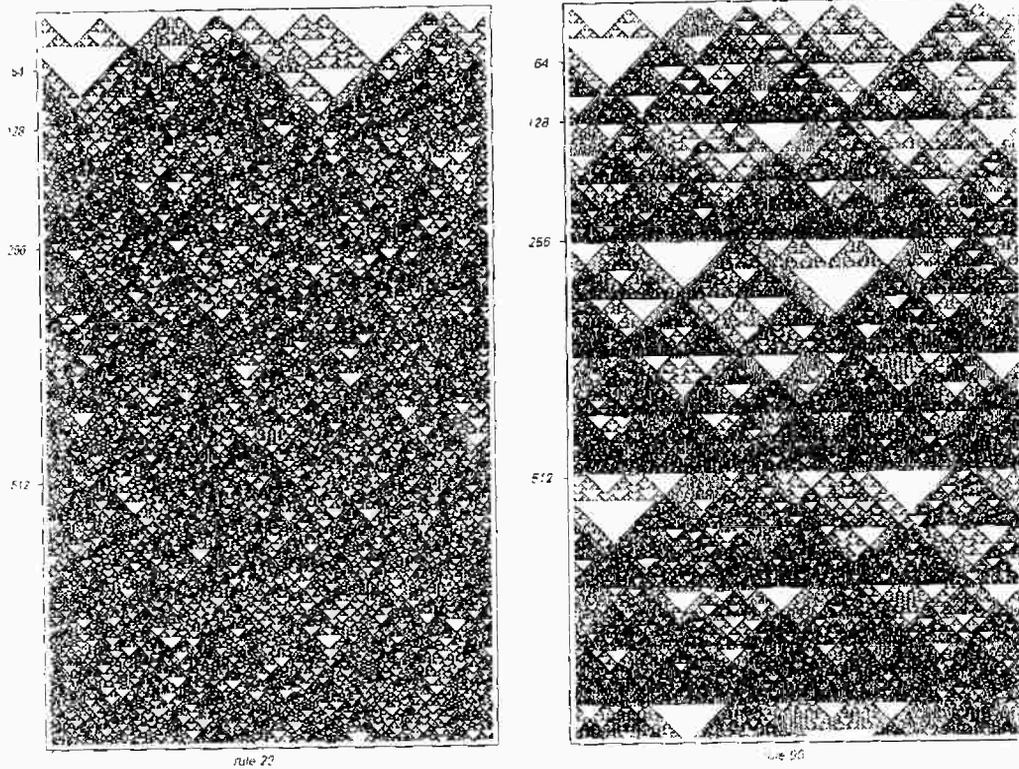


شكل (٢٥)

مقارنة بين الشكل الذي ينتج عن الأوتوماتا الخلوية (حسب القاعدة ٣٠) بادنة من شروط ابتدائية عشوائية ، وتلك من شروط ابتدائية بسيطة
نلاحظ أنه عدا الجزء الابتدائي من الشكل فالشكلان متقاربان تماما

من الأشكال العديدة للحالات المختلفة لاحظنا أن الأتوماتا الخلوية ، عندما تكون الشروط الابتدائية عشوائية تعطي أشكالاً عشوائية بشكل قاطع .

من ناحية أخرى لوحظ عدم وجود عشوائية واضحة وإنما نحصل على أشكال وكأنها ناتج انطباق شكل بسيط على شكل آخر بسيط أيضاً كما هو مبين في شكل ٢٦ .



قاعدة ٢٢

قاعدة ٩٠

شكل (٢٦)

كما هو واضح من الصورتين الميتين فإنه في قاعدة ٢٢ كثافة النقاط الابتدائية لا تحمل تأثيراً بعيد المدى . أما في القاعدة ٩٠ فإن هذا التأثير يستمر حتى النهاية السبب في هذا الاختلاف هو أنه في القاعدة ٢٢ يكون ظهور العشوائية نتيجة تطور النظام نفسه بينما في القاعدة ٩٠ يكون سبب العشوائية هو عشوائية الشروط الابتدائية .

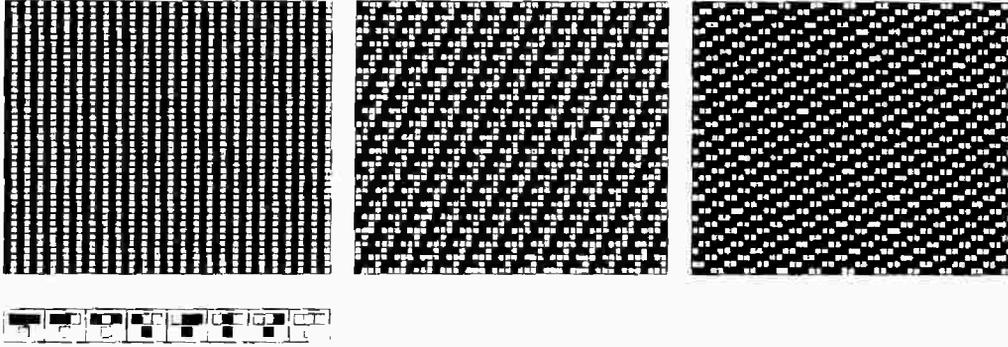
رغم أن العشوائية تتولد داخلياً فإننا لاحظنا أن بعض النظم تكون مستقرة بشكل ملفت ورغم هذه العشوائية يكون شكلها النهائي واحداً ، وسوف نرى أن بعض النظم في الطبيعة تسلك نفس السلوك ولا تعتمد على ظروفها الابتدائية .

الشروط الابتدائية الخاصة

Special Initial Conditions

لقد رأينا أن الأتوماتا الخلوية مثل القاعدة (٣٠) تعطي سلوكا عشوائيا عندما تبدأ من شروط ابتدائية عشوائية أو من شروط بسيطة . لذا كان من المنطقي التساؤل، هل هناك ثمة شروط ابتدائية تجعل سلوك القاعدة (٣٠) سلوكا بسيطا .

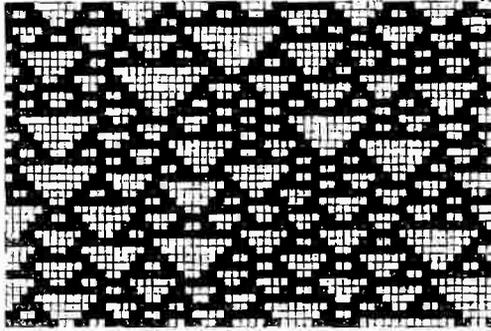
في الواقع هناك لأى أوتوماتا خلوية من المحتمل أنه عندما تكون الشروط الابتدائية عبارة عن مجموعة من الخلايا المحددة متكررة للأبد فسوف يؤدي هذا إلى مجرد سلوك تكرارى بسيط . وهكذا نرى أن مجموعة خلايا عددها n سوف تتكرر بدورة قدرها $2n$ من الخطوات ، كما هو مبين في شكل ٢٧ .



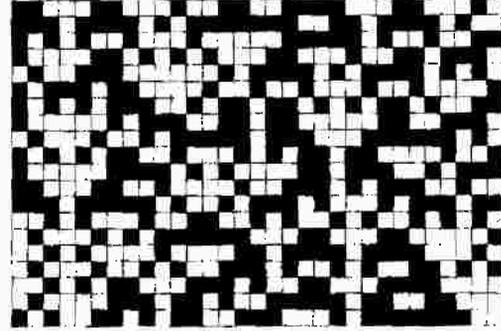
شكل (٢٧)

أمثلة على الشروط الابتدائية البسيطة التي تجعل الأوتوماتا الخلوية حسب القاعدة (٣٠) تبتدى سلوكا بسيطا تكراريا

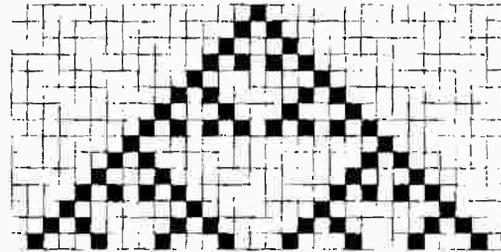
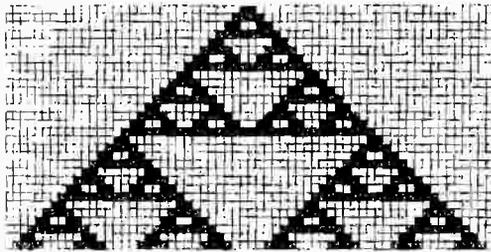
في الحقيقة وجد أنه توجد شروط ابتدائية بالنسبة للأوتوماتا الخلوية من نوع معين تجعله يسلك سلوك نوع آخر من الأوتوماتا الخلوية كما هو مبين في شكل ٢٨ .



رسم 126



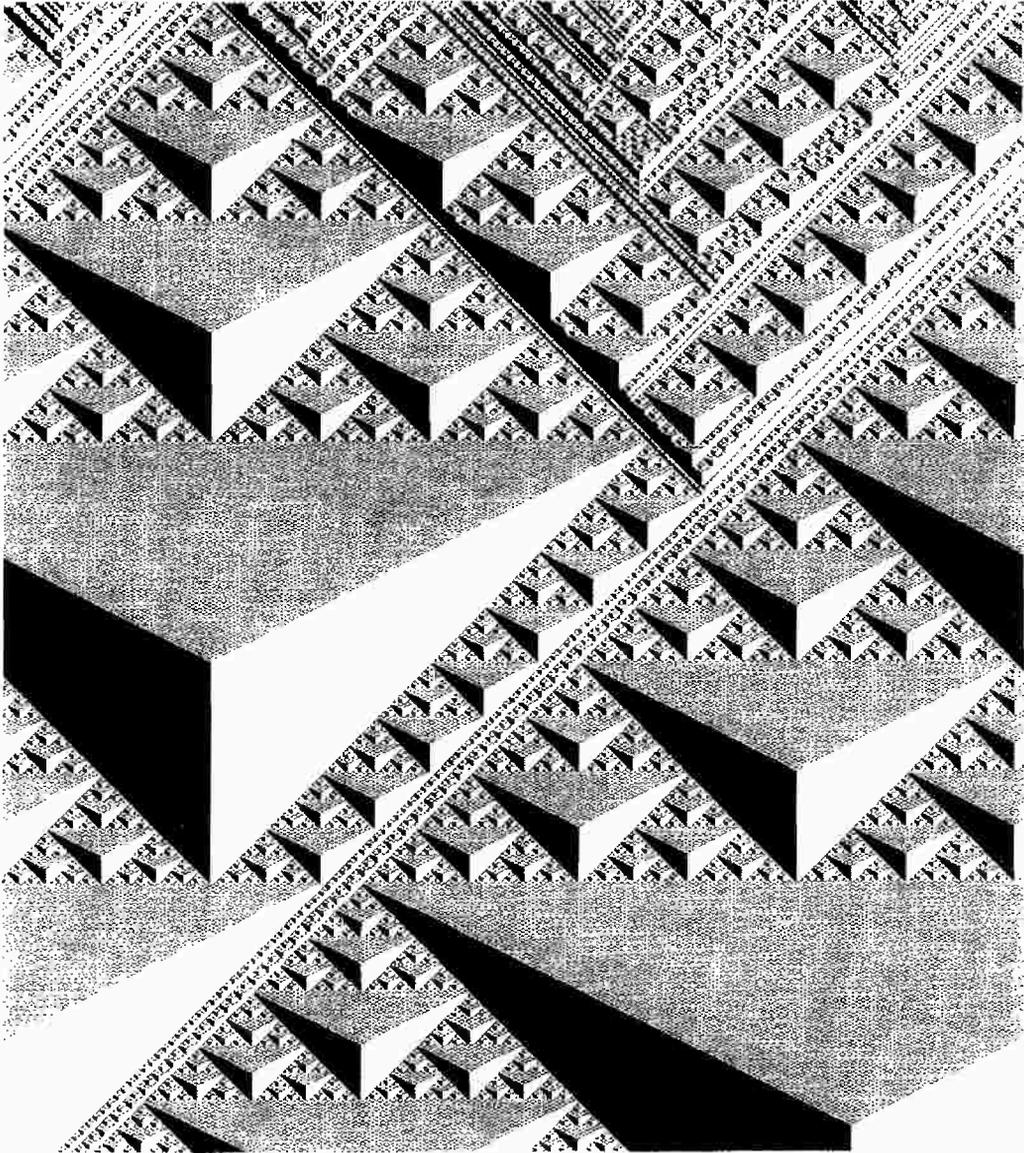
رسم 90



شكل (٢٨)

مثالان يوضحان أن القاعدة (١٢٦) مع وجود شروط ابتدائية خاصة تسلك بالضغط سلوك القاعدة (٩٠)

لنعطي مثالا آخر على الأوتوماتا الخلوية التي تعطي أشكالا متداخلة حتى من شروط ابتدائية عشوائية كما هو مبين في شكل (٢٩) .



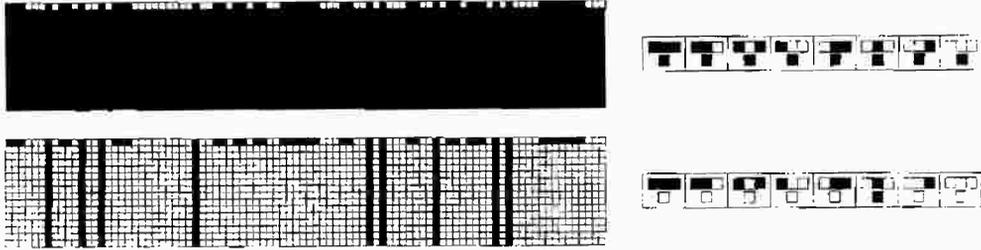
شكل (٢٩)

إن القاعدة هنا تشمل الجمار التالي - الأقرب ورقم القاعدة هو (4067213384) .
كما في القاعدة رقم 184 تكون الأشكال المتداخلة أكثر وضوحاً عندما تكون كثافة الخلايا السوداء والبيضاء في الشروط الابتدائية متساوية

من سمات الأوتوماتا الخلوية أنه في الخطوات المتتالية تصبح المتتاليات التي

(Notion of Attractors)

يمكن الحصول عليها مقيدة بشكل تصاعدي كما هو واضح في شكل (٣٠) .



شكل (٣٠)

أمثلة على الأوتوماتا الخلوية البسيطة التي تتطور بعد خطوة واحدة فقط إلى جاذبات

أى متتاليات معينة من الخلايا السوداء والبيضاء يمكن أن تظهر .

في الحالة الأولى نرى خلايا سوداء فقط . في الحالة الثانية نرى أن المتتاليات هي تلك التي يتحقق فيها أن كل خلية سوداء

محاطة بخلايا بيضاء . القواعد المبينة هي الأعداد 4.255 .

البنىات في النظم من النوع الرابع

(Structures in Class 4 systems)

في شكل (٣١) نورد أمثلة خاصة للأوتوماتا الخلوية من النوع الرابع . ففى

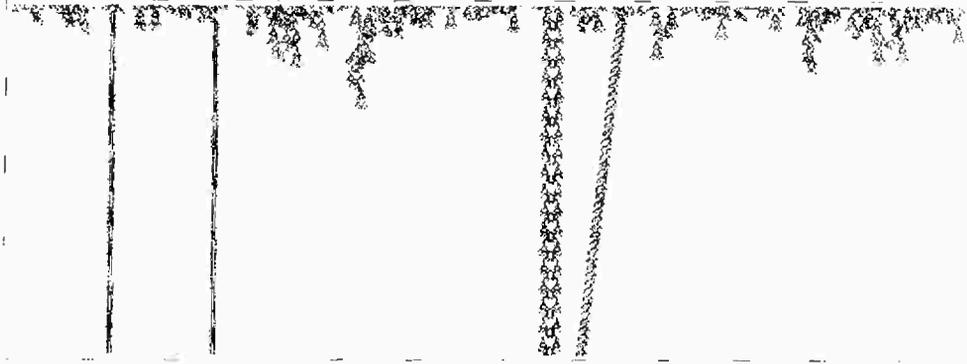
كل حالة كانت الشروط الابتدائية عشوائية تماماً ، ولكن بعد عدة خطوات تبدأ

الأشكال فى تنظيم نفسها لدرجة أن بعض البنىات تصير واضحة تماماً . بعد ذلك

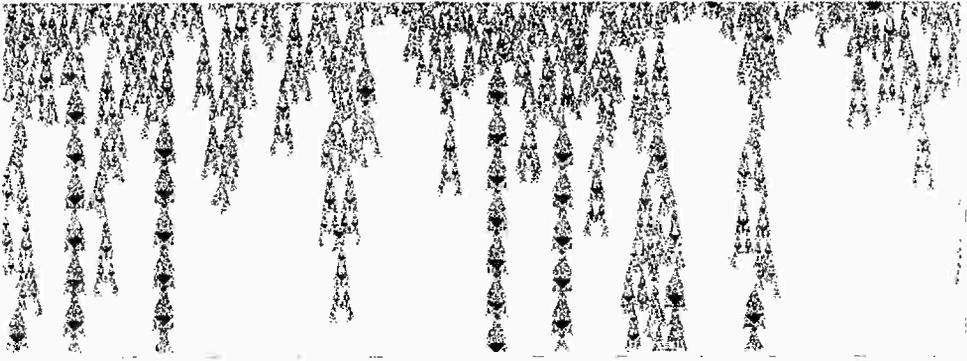
تموت هذه البنىات وبشكل معقد جداً فى بعض الحالات ، ولكن من السمات

المميزة لهذا النوع الرابع وجود بعض البنىات التي لا تفنى وتظل بإصرار فى الظهور

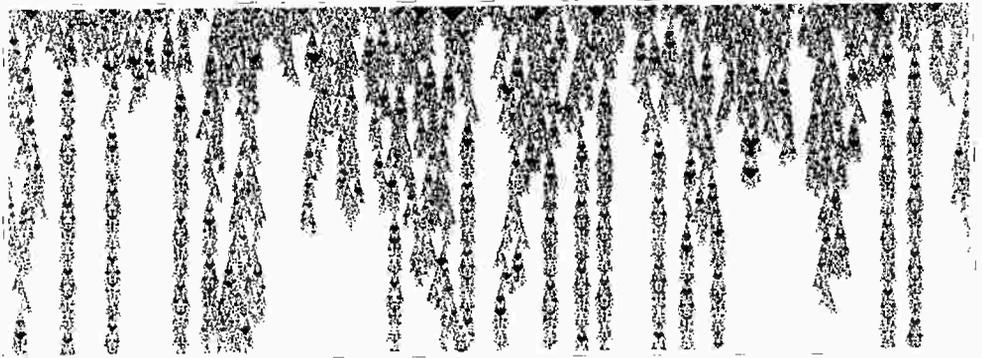
حتى النهاية .



(لوان) ، الجيران التالي الأقرب كود (٢٠)



(ثلاثة ألوان) الجيران الأقرب كود (٣٥٧)



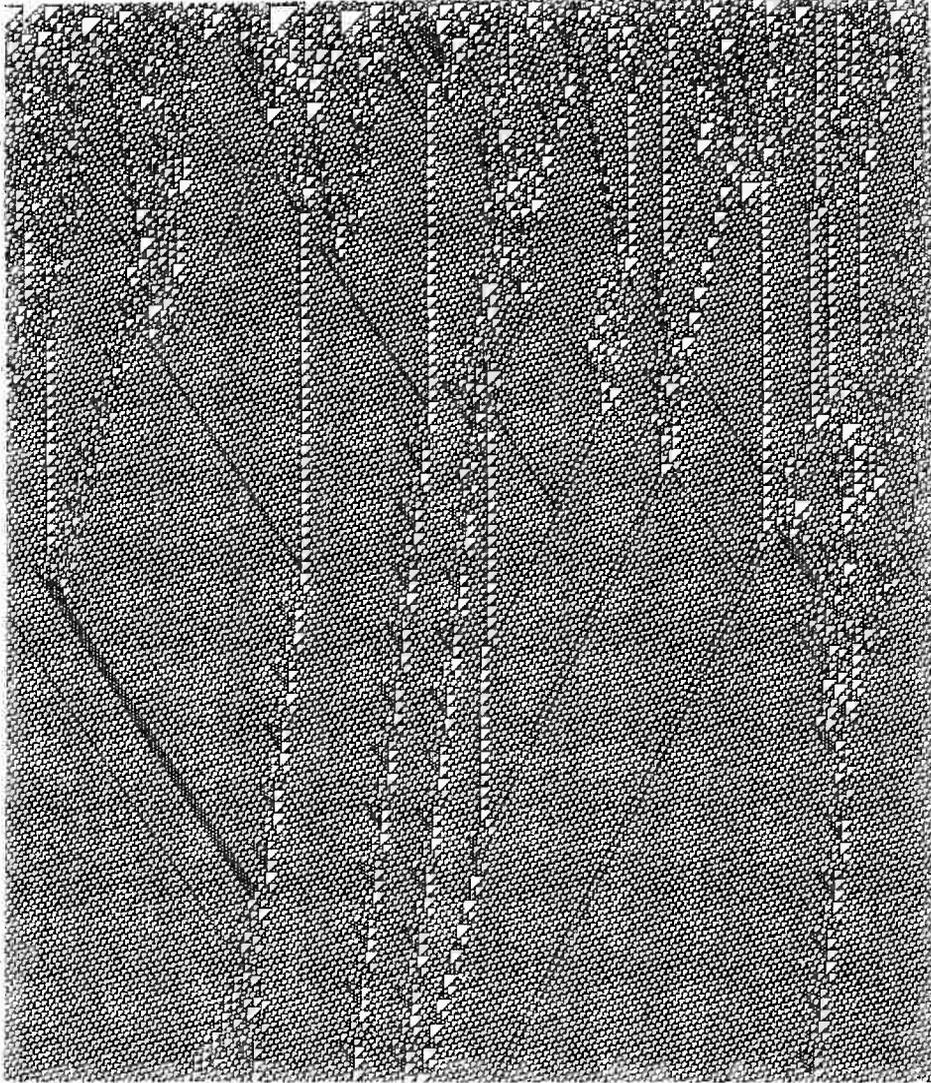
(ثلاثة ألوان) الجيران الأقرب كود (١٣٢٩)

شكل (٣١)

ثلاث أمثلة على الأوتوماتا الخلوية من النوع الرابع من الواضح وجود بعض البنيات التي تظل تظهر حتى النهاية

في الواقع فإن السمة الرئيسية في الأوتوماتا الخلوية من النوع الرابع مع الشروط الابتدائية المناسبة ، هي أنها تكرر سلوك كل النظم الأخرى . عندما نناقش هذه النقطة في ما يلي سوف نرى السبب في حدوث هذا .

لقد رأينا لأول مرة مثل هذا السلوك في الباب الثاني في صفحة ٢٧*) ، ورغم البساطة الشديدة في القاعدة نرى أن سلوك النظام شديد التعقيد كما هو مبين في شكل ٣٢ .

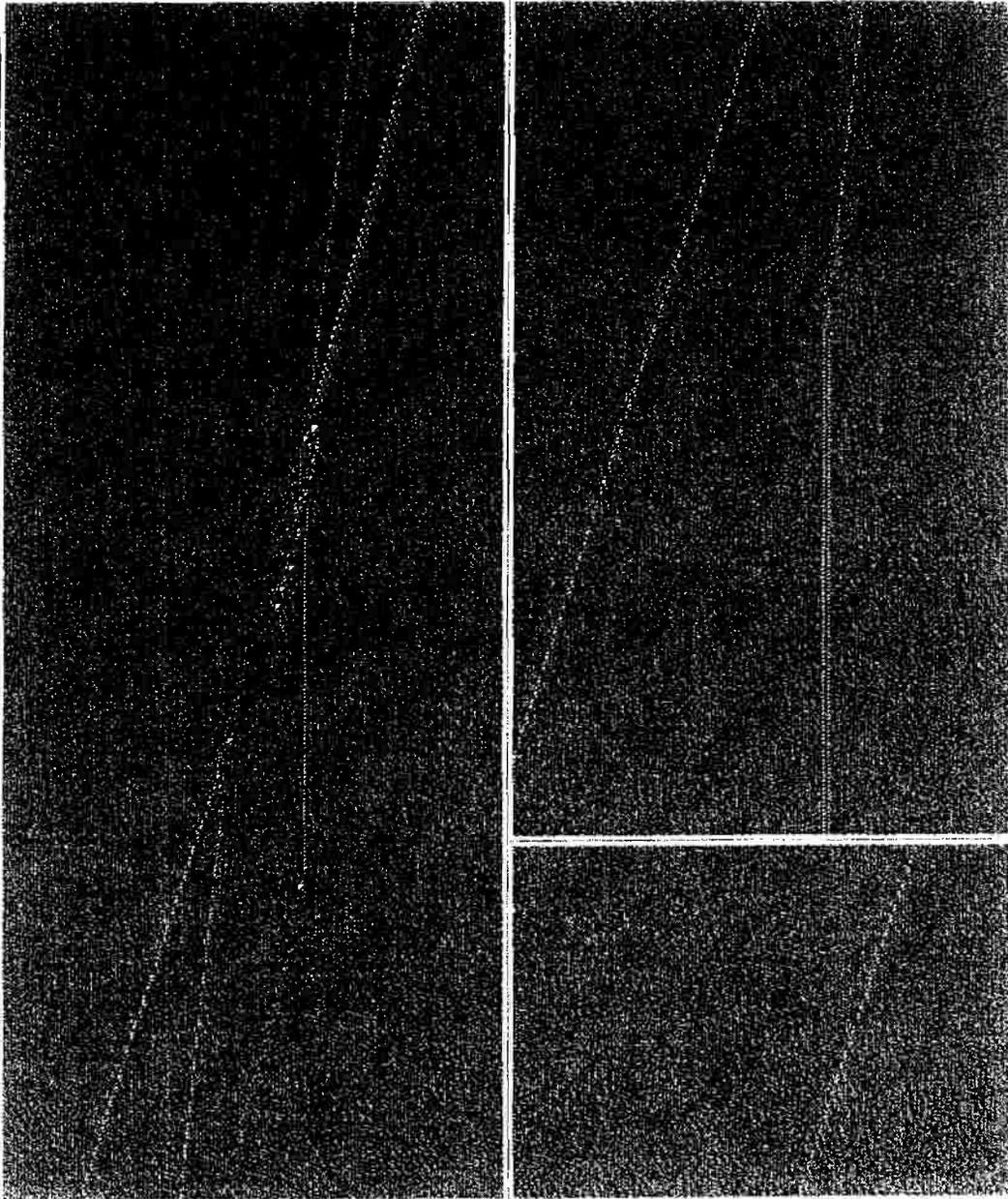


شكل (٣٢)

مثال جيد لسلوك الأوتوماتون حسب القاعدة (١١٠) مع شروط ابتدائية عشوائية
تحوى الخلفية قوالب (blocks) من ١٤ خلية تتكرر كل سبع خطوات

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

سمة أساسية أخرى هي نمو هذه أحيانا بلا حدود أيضاً وجود تصادمات بينها، بعضها يمر من خلال الأخرى دون تأثير وبعضها يصطدم ويتغير مسار القالبين كما نرى في شكل (٣٣) .



شكل (٣٣)

تصادمات بين البنيات يحتاج إلى ٤٠٠٠ خطرة لكي تظهر الصورة النهائية
الصورة الثالثة تظهر عند الخطرة ٤٣٠٠