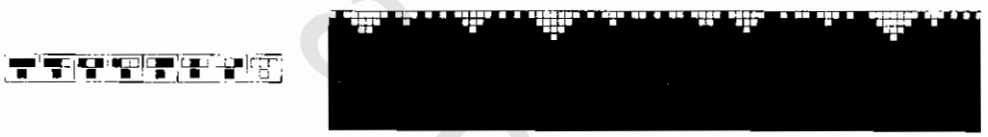
الباب الأول

بدءاً من العشوائية

ظهور الانتظام
(Emergence of Order)

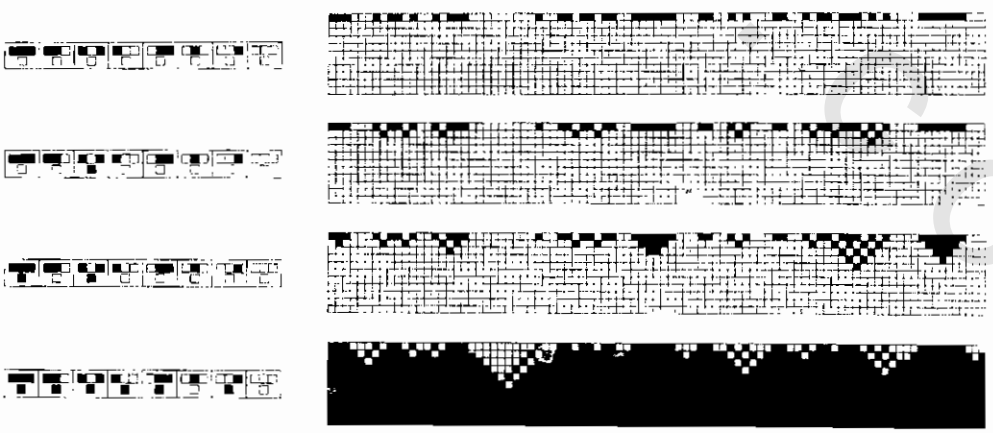
فى عرضنا لإطار كتاب ولفرام الهام «نوع جديد من العلم» فى كراسة سابقة رأينا أمثلة عديدة توضح كيف أن الشروط الأولية البسيطة للبرامج البسيطة تؤدى إلى نتائج غير متوقعة .

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



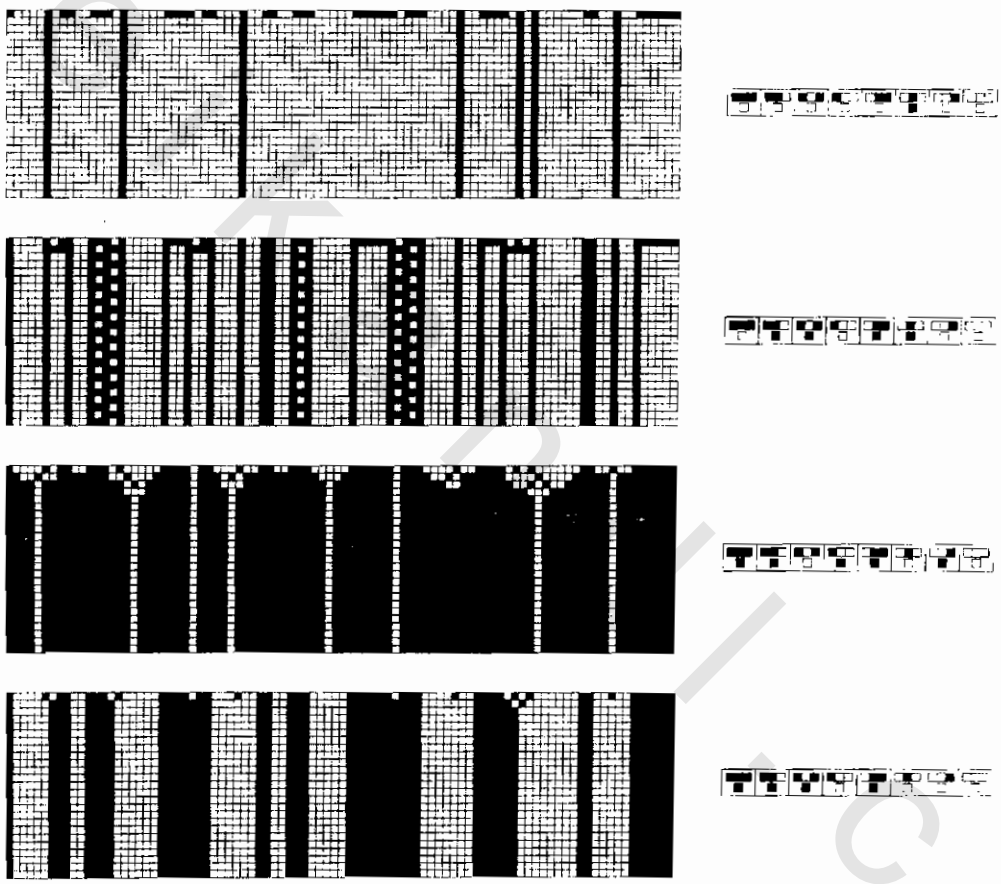
شكل (١)

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



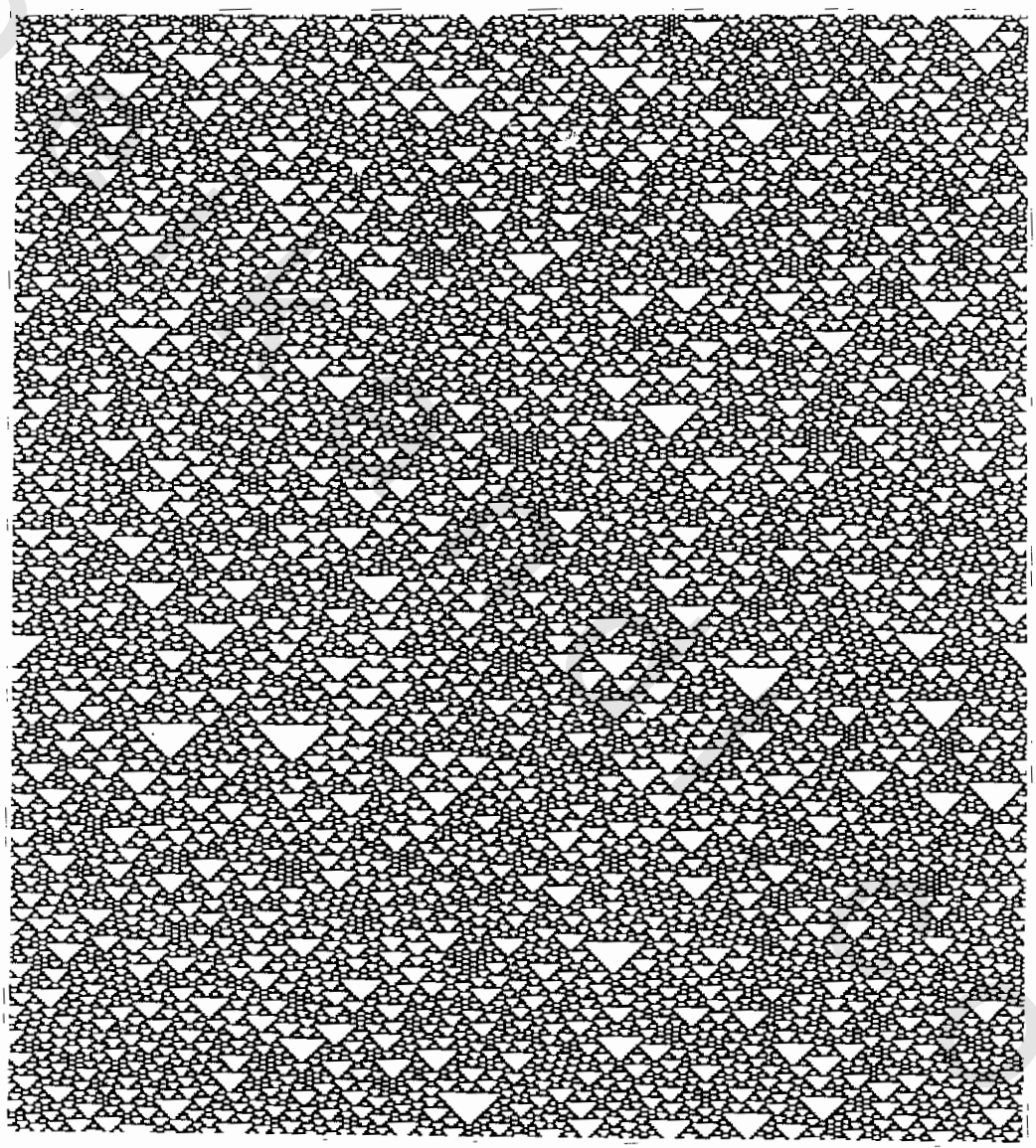
شكل (٢)

فى شكل (٣) نرى أمثلة لنظم ذات سلوك أعقد حيث ينتهى بعضها إلى انتظام تام أو انتظام جزئى يحوى بعض السمات العشوائية .

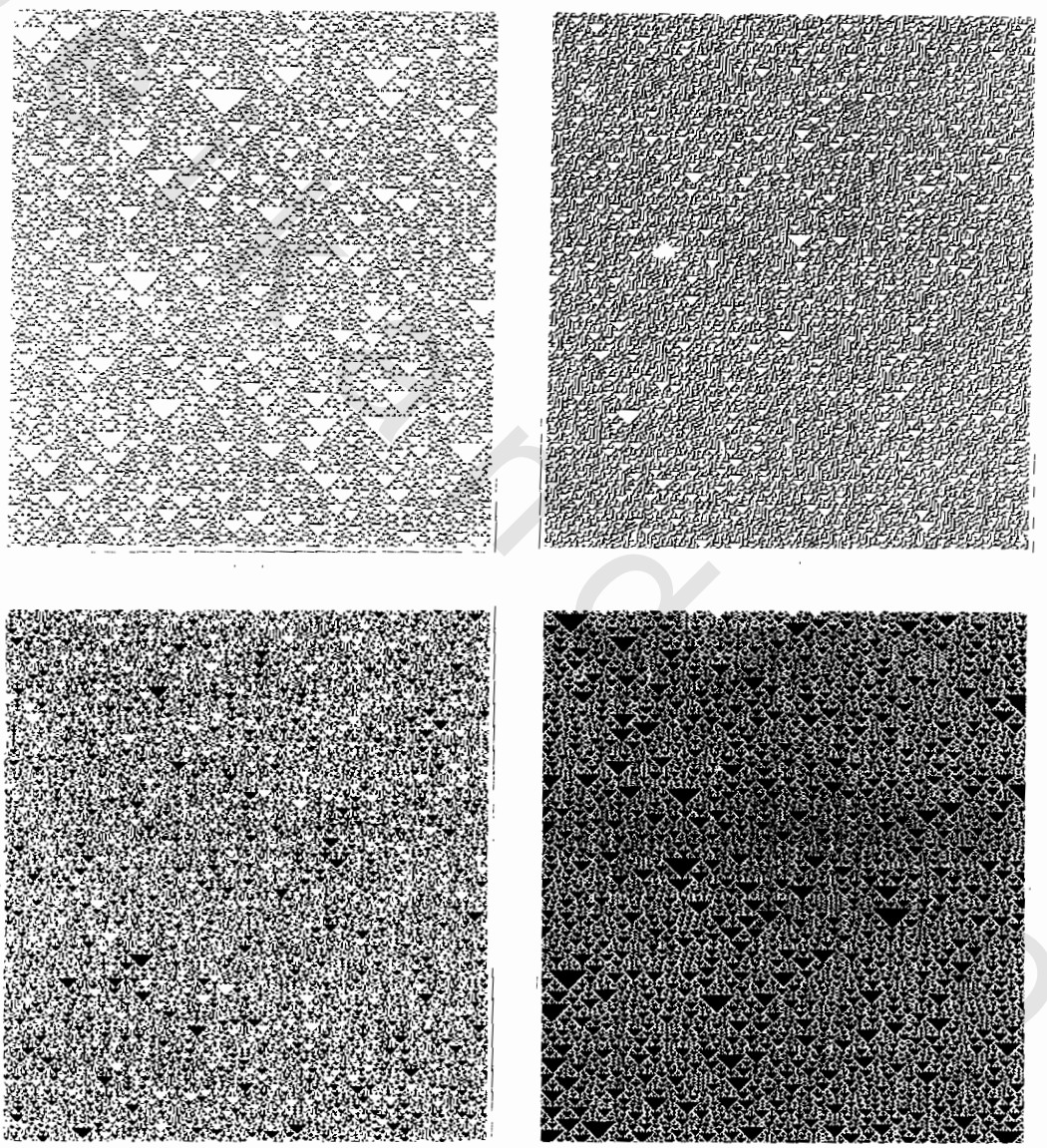


شكل (٣)

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.

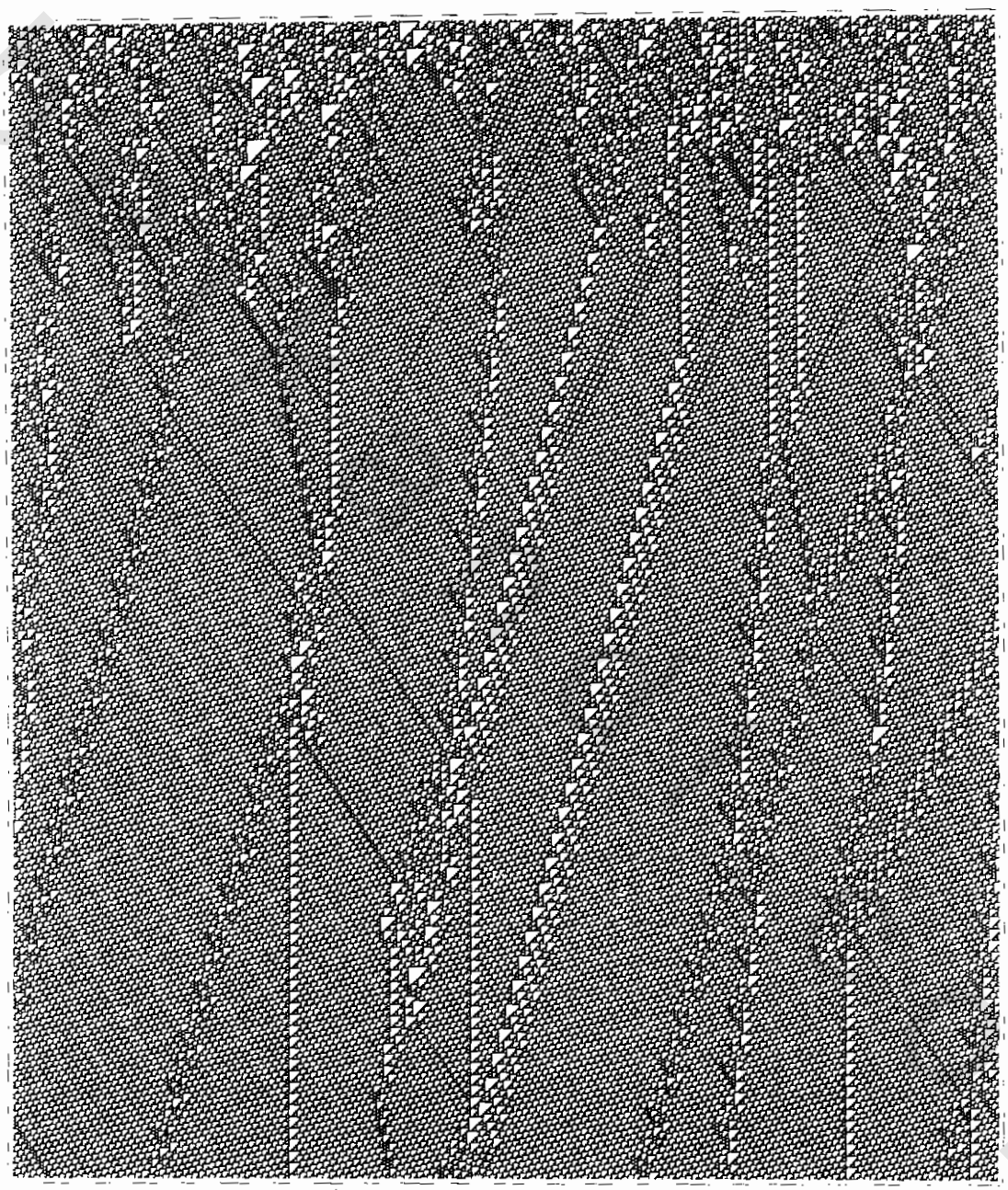


شكل(٤)

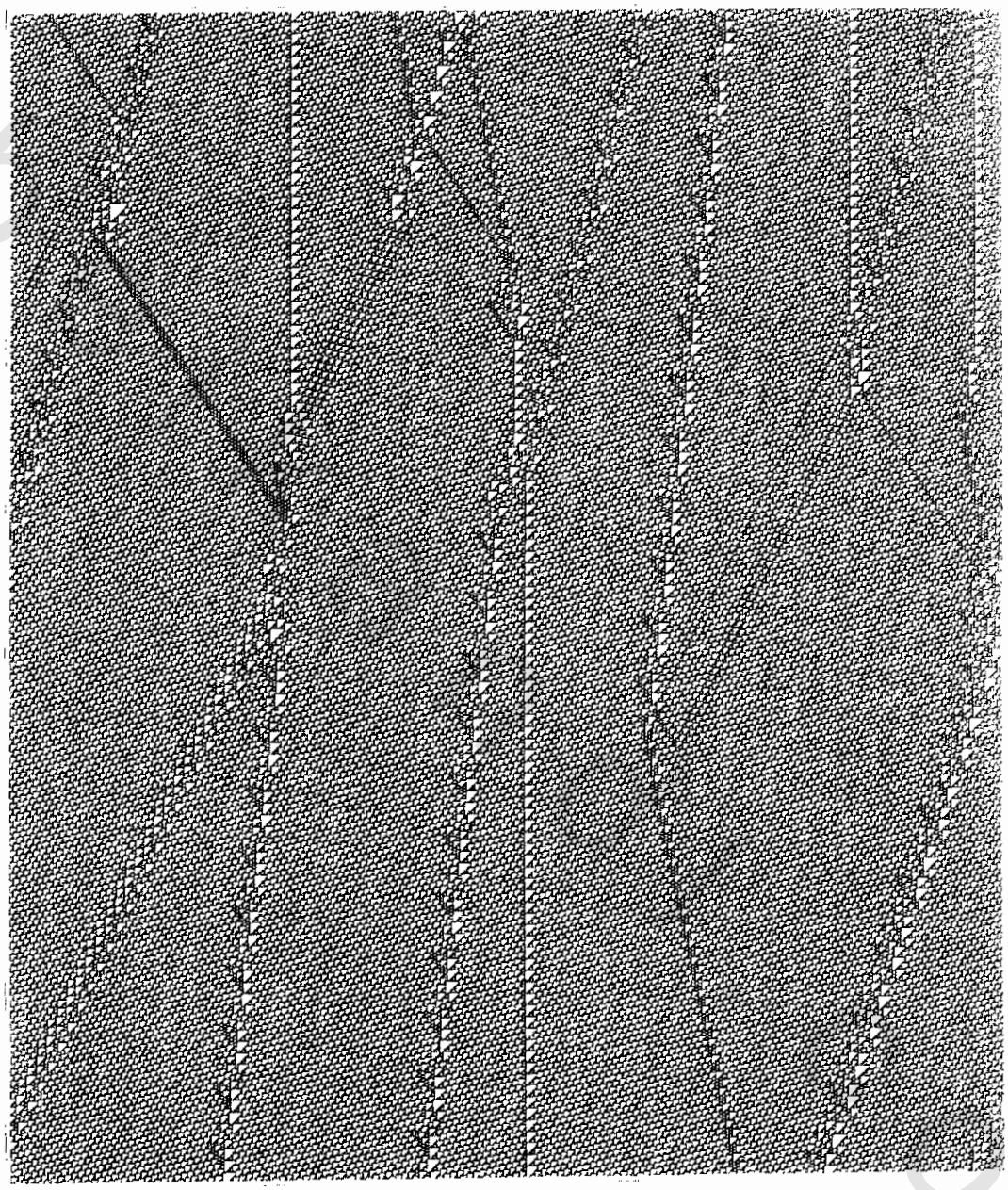


شكل(٥)

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 .



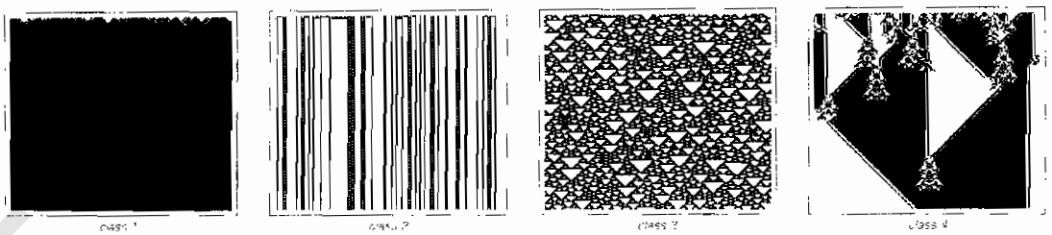
شكل(٦)



شكل(٧)

أنواع السلوك الأربع
Four classes of Behaviour

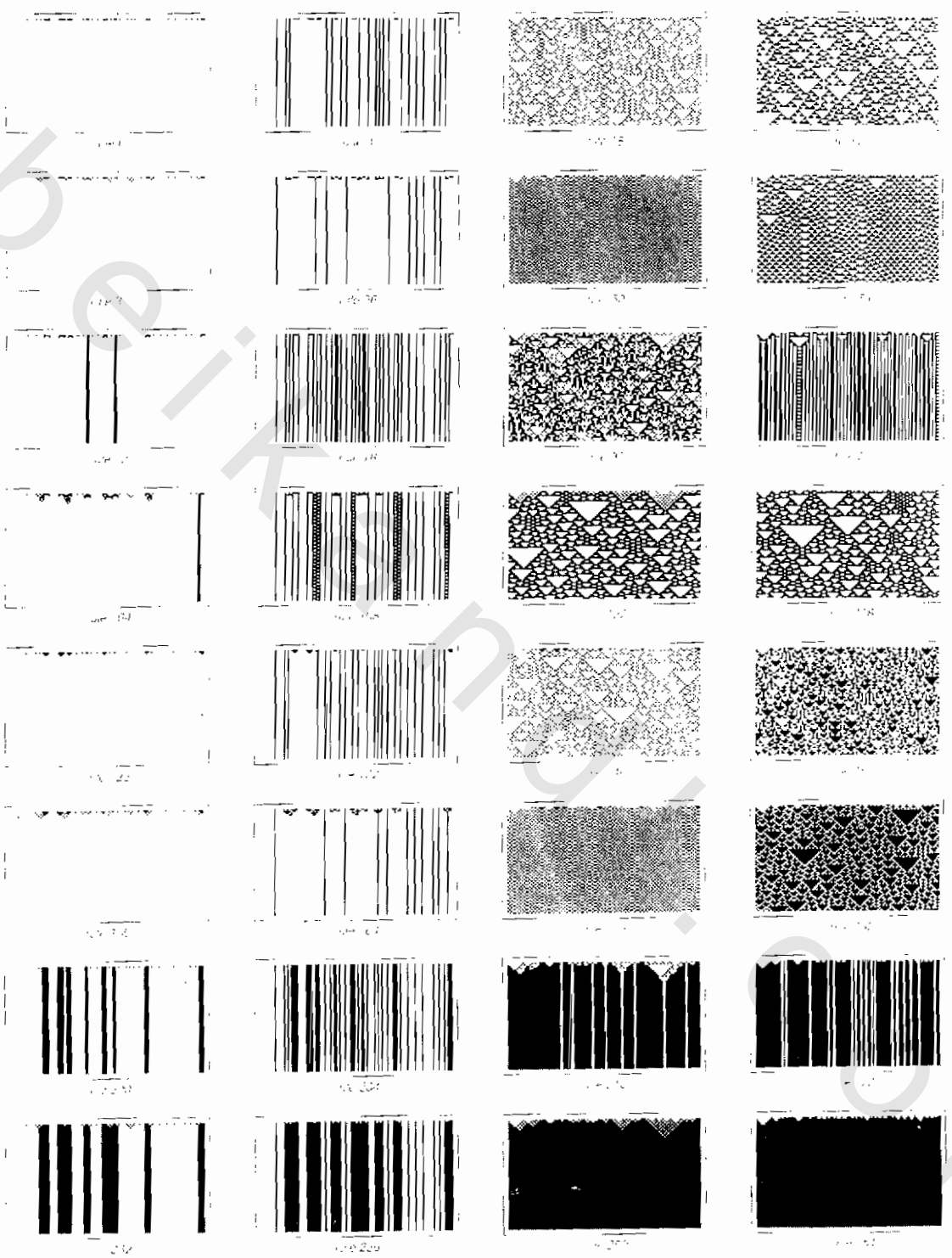
لقد أمكن حصر سلوك أنواع الأوتوماتا الخلوية ذات الشروط الابتدائية العشوائية فى أربع أنواع كما هو واضح من شكل (٨) .



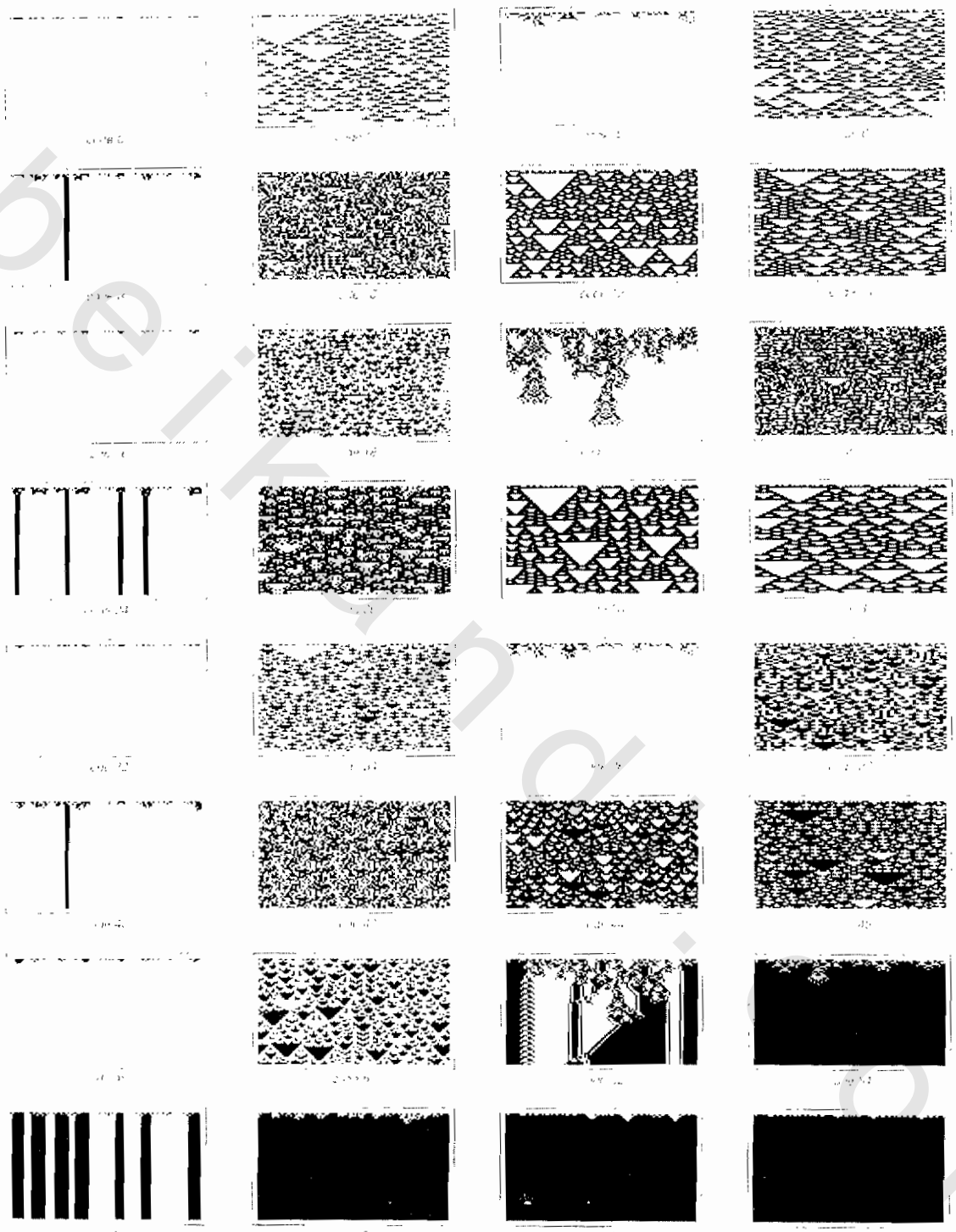
شكل (٨) أنواع السلوك الأربع أ ، ب ، جـ ، د

فى الرسم الأول (٨ أ) نرى كيف ينتهى النظام إلى انتظـام تام ، فـى الثانى (٨ ب) ينتهى النظام إلى انتظام متفاوت ، وفى شكل (٨ جـ) نرى كيف ينتهى النظام إلى انتظام تتخلله بعض الأشكال العشوائية ، أما فى شكل (٨ د) ينتهى النظام إلى سلوك عشوائى به بعض العناصر البسيطة التى تحمل سمات الانتظام الجزئى .

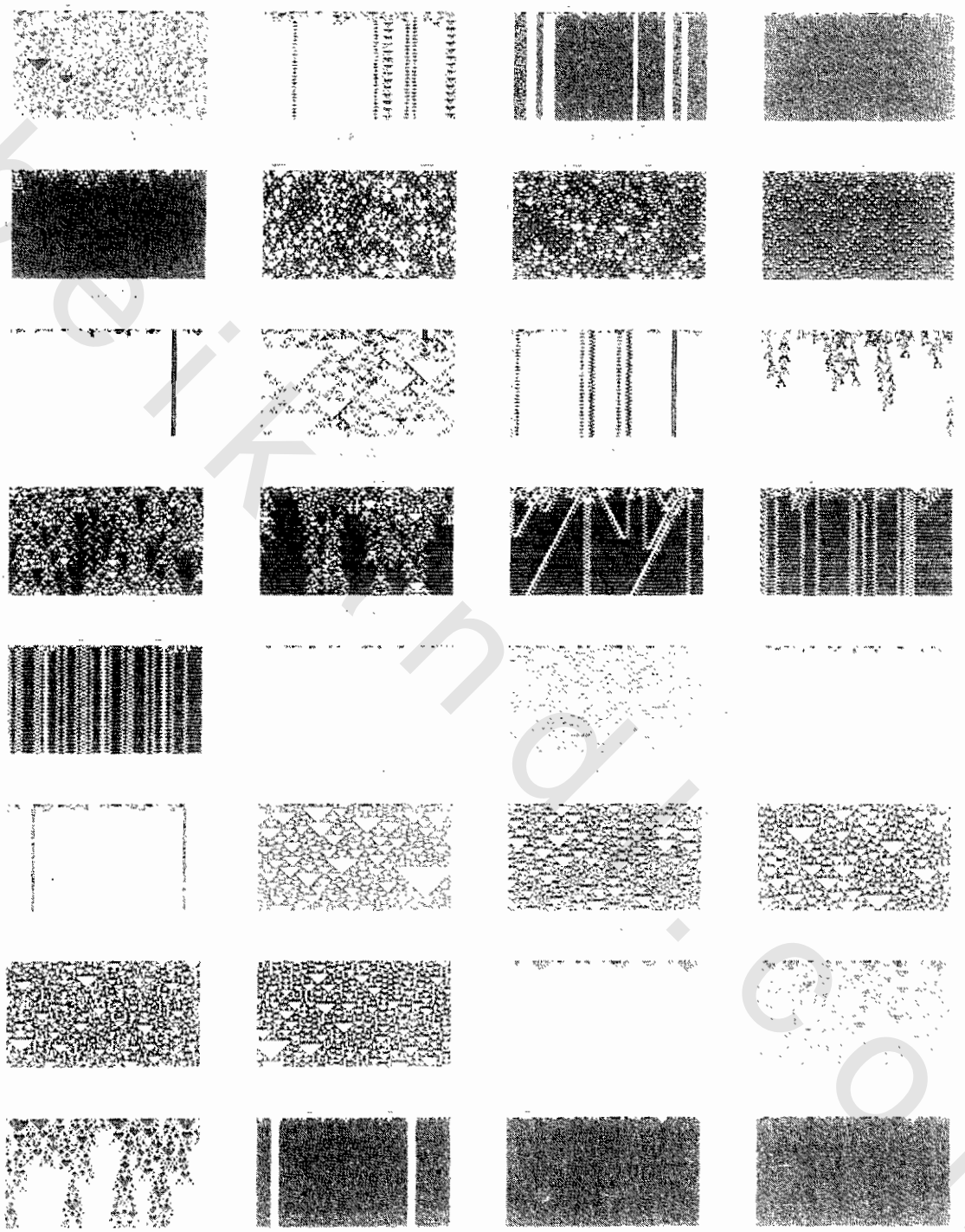
obeikandl.com



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



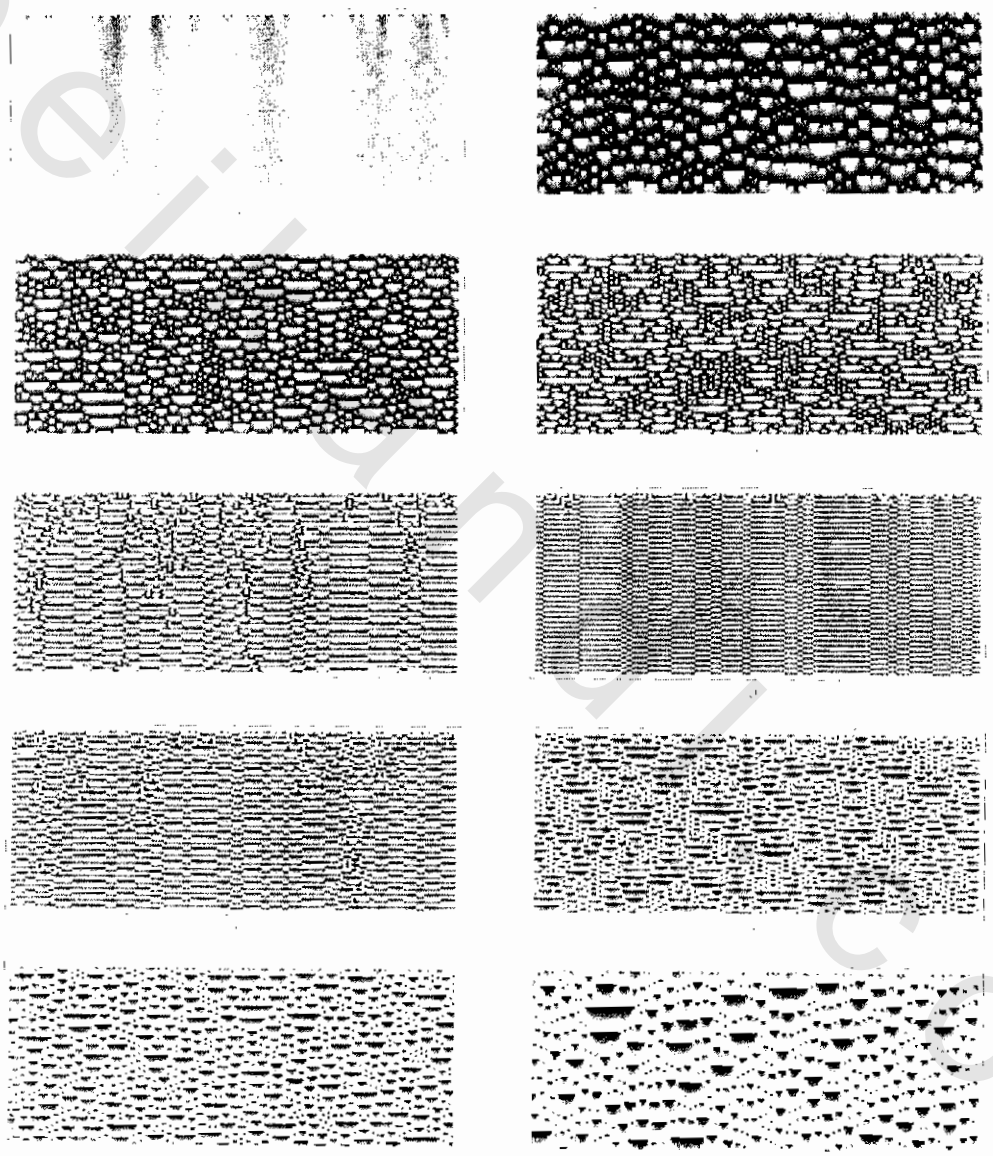
شكل (١٠) : سلوك الأوتوماتا الخلوية الشاملة التى تشمل قواعدها الخلايا المجاورة الأقرب والتى بعدها مباشرة ، وتأخذ الخلية لونين اثنين فقط



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

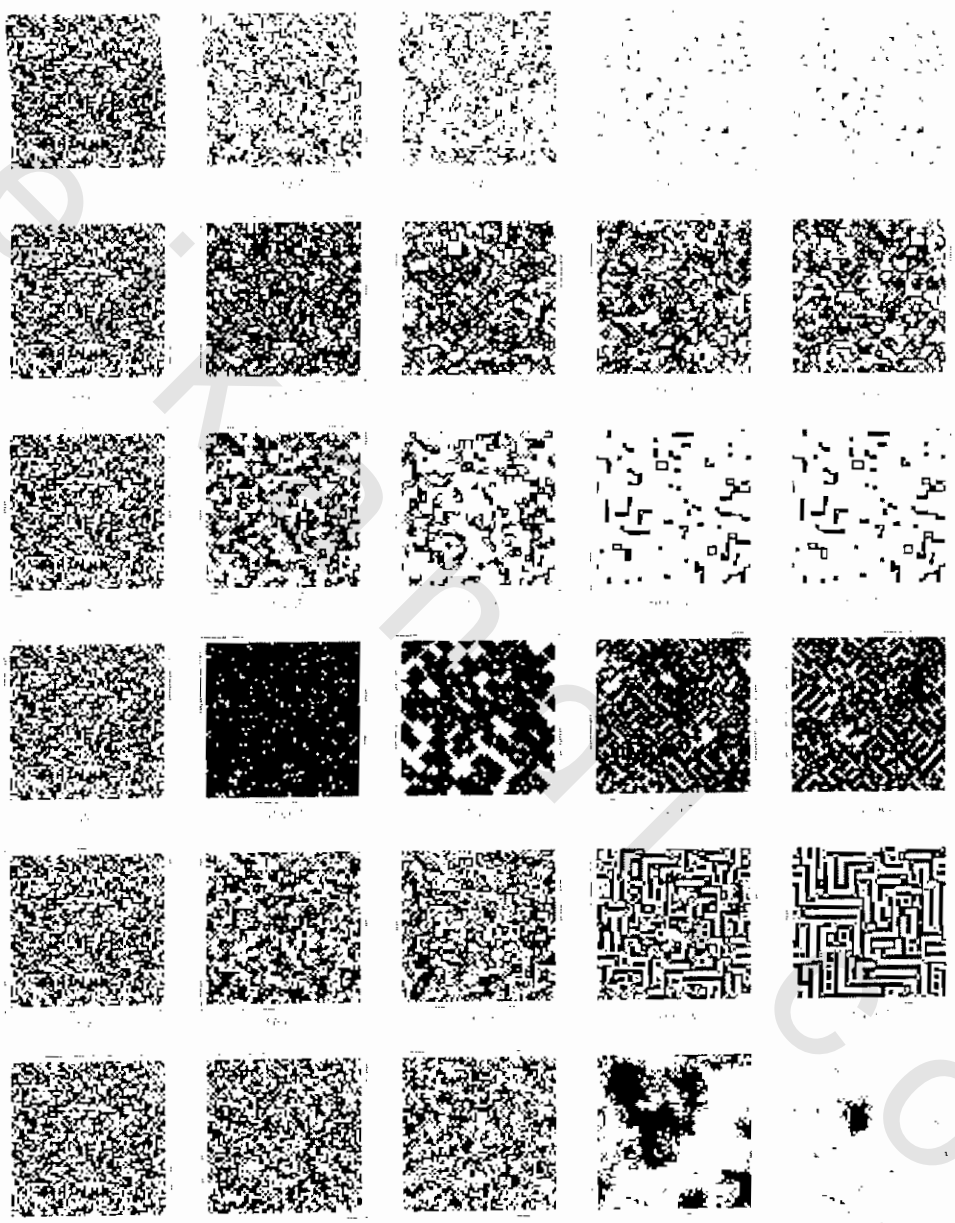
ورغم أن النوع الرابع يمكن أن يوجد على الحدود بين النوعين الأول والثانى ، إلا أنه يمكن أيضاً أن نجده فى الأتوماتا الاستمرارية بشكل عام .

فى شكل ١٢ نرى نتيجة اختيار عامل ما تتغير قيمته بالتدريج من الصفر إلى الواحد الصحيح .

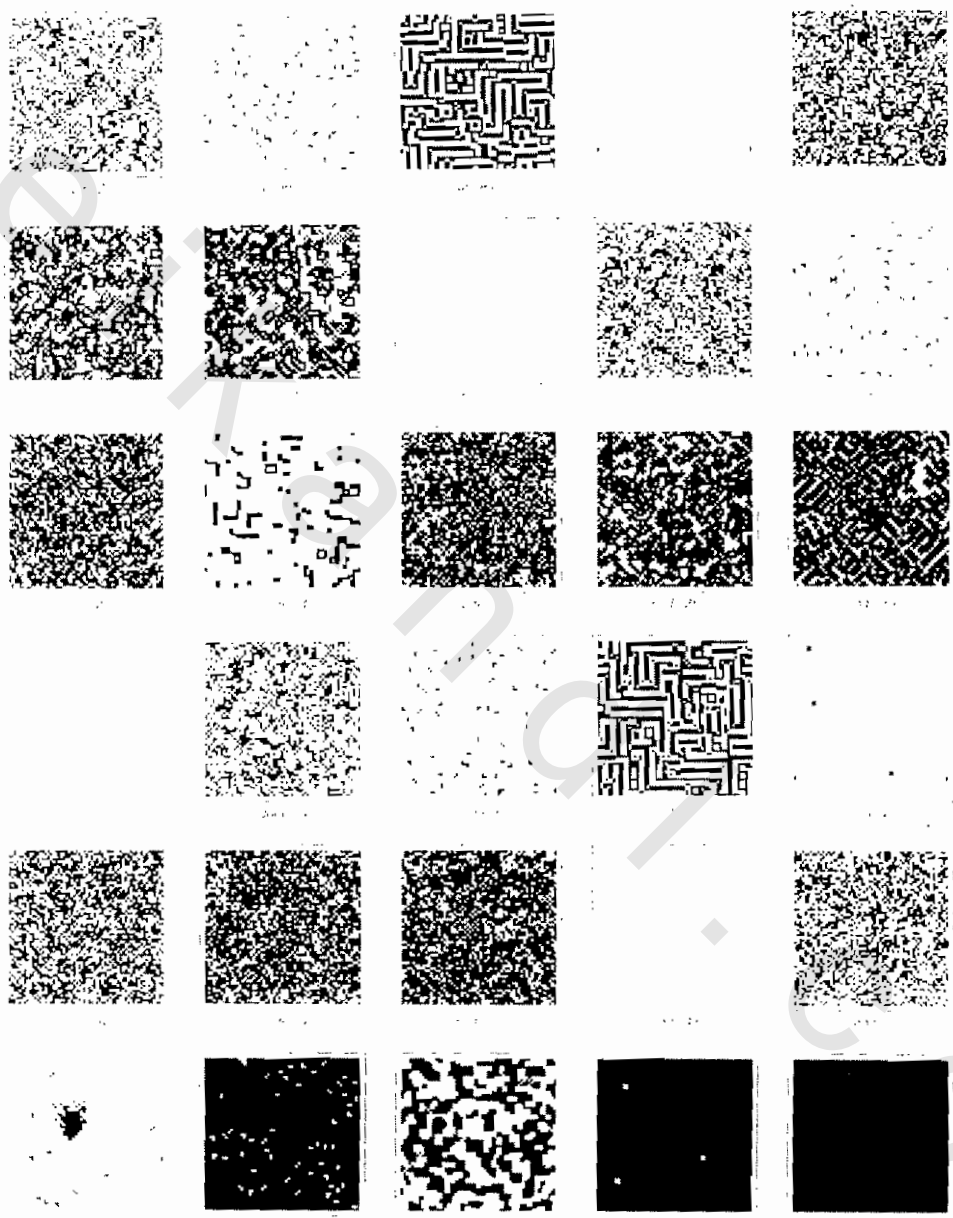


شكل (١٢) : أمثلة لتطور الأوتوماتا الخلوية الاستمرارية من شروط ابتدائية عشوائية. كل خلية يمكنها أن تأخذ لونا رماديا يتغير مستواه من الصفر حتى الواحد الصحيح كما نرى فهذه الأشكال يمكن تصنيفها حسب الأربع أنواع السابقة

فى شكلى (١٣) ، (١٤) نرى الأوتوماتا الخلوية فى بعدين .



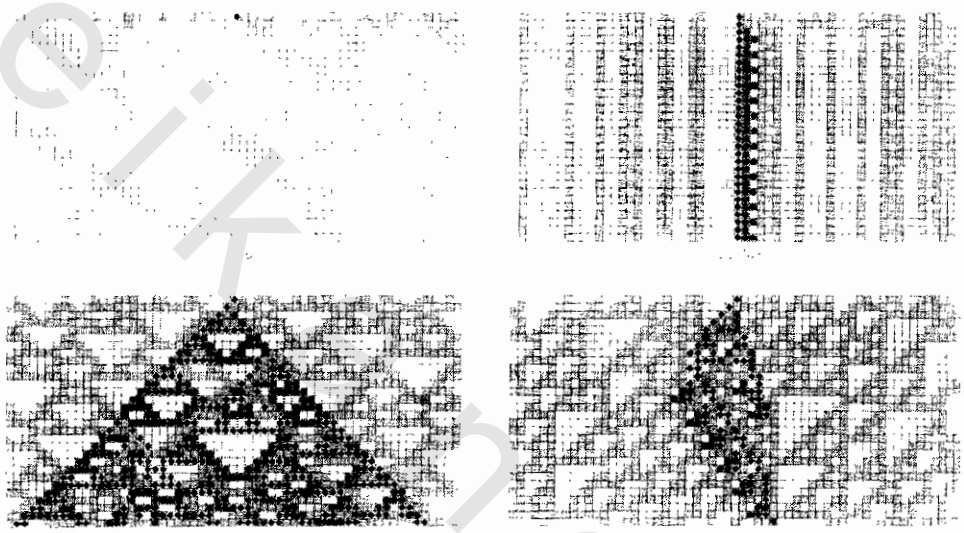
شكل (١٣) : أمثلة علي تطور الأوتوماتا الخلوية ثنائية الأبعاد حسب قواعد شاملة مختلفة تبدأ من شروط أولية عشوائية



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

الحساسية نحو الشروط الابتدائية:
Sensitivity to Initial conclitions

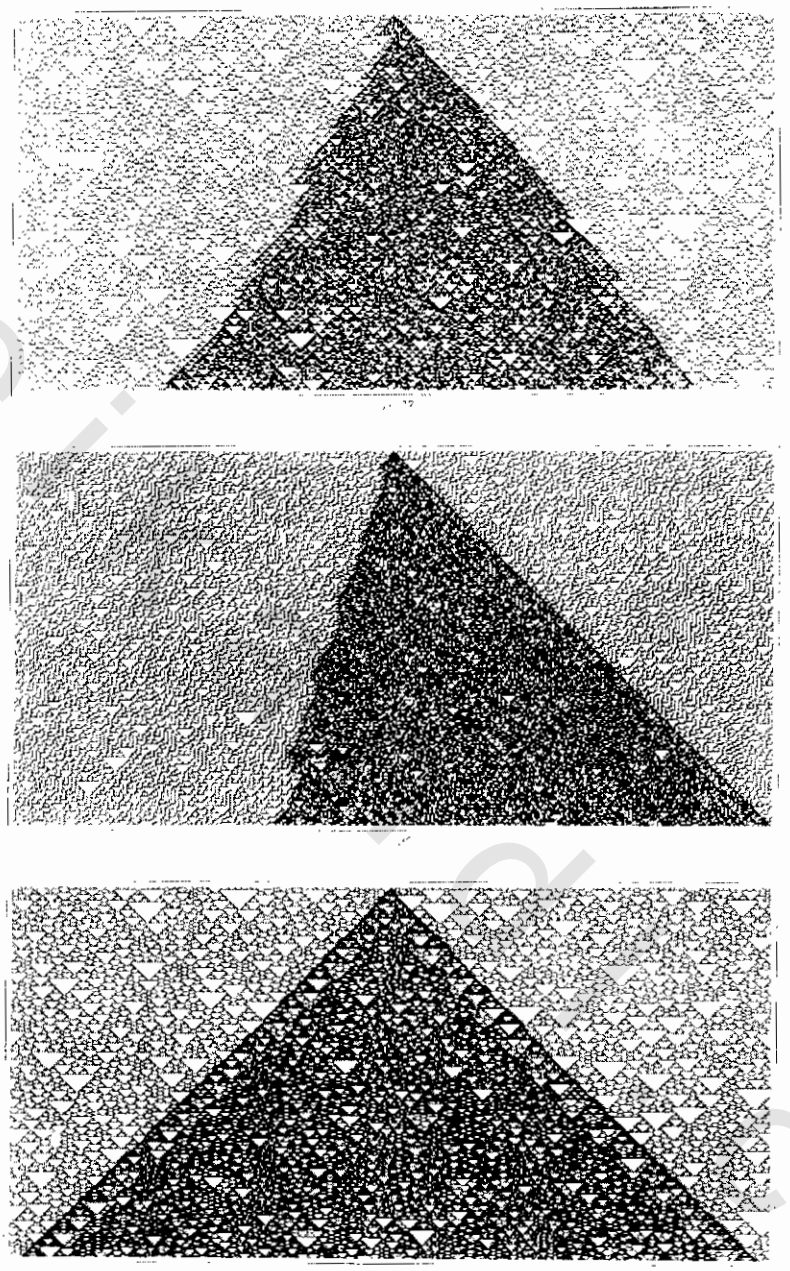
فى الجزء السابق تعرفنا على الأنواع الأربع الأساسية من الأوتوماتا الخلوية بالنظرة الكلية على الأشكال التى تنتج عنها . فى شكل ١٥ واضح اختلاف الأشكال الناتجة فى كل نوع من الأربع المذكورة .



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

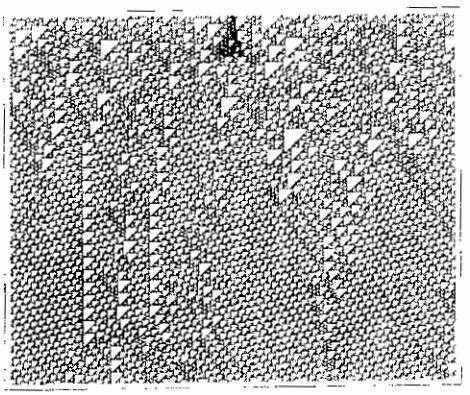
فى النوع الأول تختفى هذه التغيرات بالتدريج وفى النهاية نحصل على نفس الشكل بصرف النظر عن الشروط الابتدائية مهما اختلفت . فى النوع الثانى تظل هذه التغيرات ولكنها تنحصر فى بعض المناطق المحدودة ضمن النظام .

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

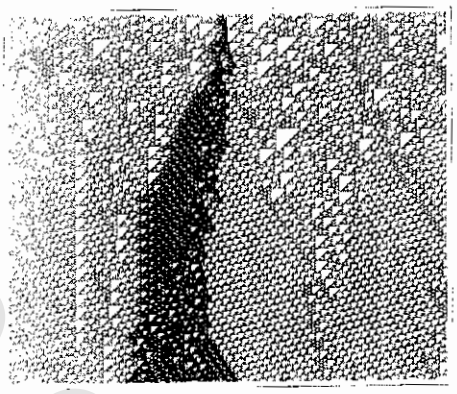


شكل(١٦)
تأثير تغيير لون خلية واحدة ابتدائية فى النوع الثالث من الأوتوماتا الخلوية.

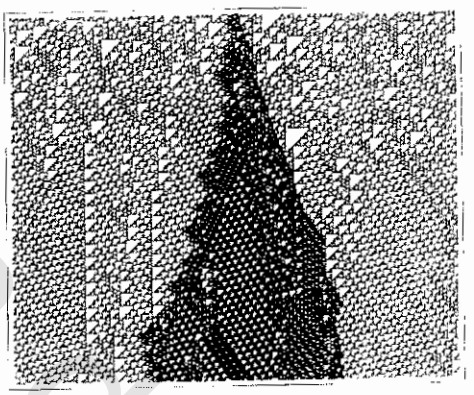
فى النوع الرابع تتوسع التغيرات ولكن بطريقة عشوائية محدودة كما هو مبين فى شكلى ١٧ ، ١٨ .



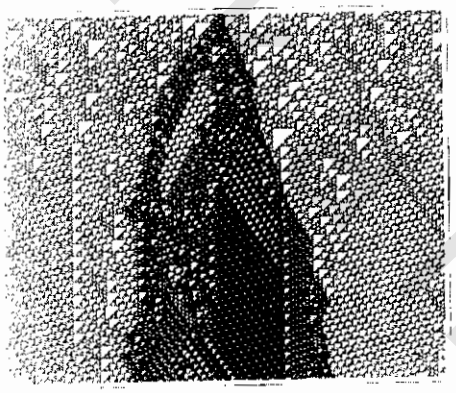
تغير خليتين



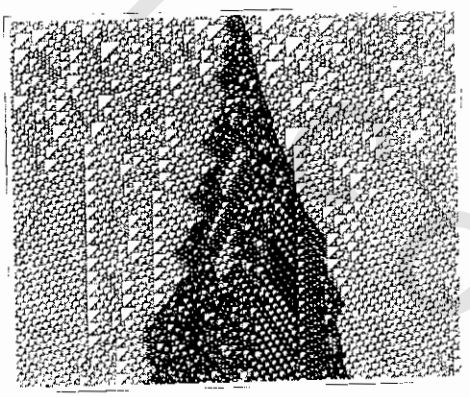
تغير خلية واحدة



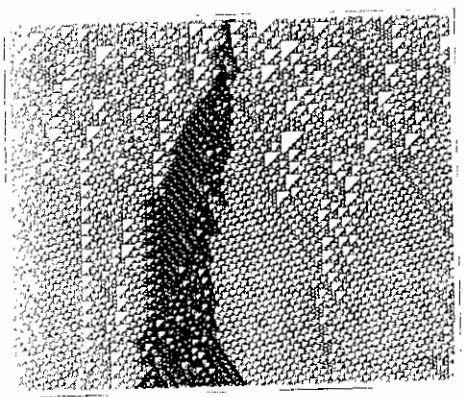
تغير ٤ خلايا



تغير ٣ خلايا

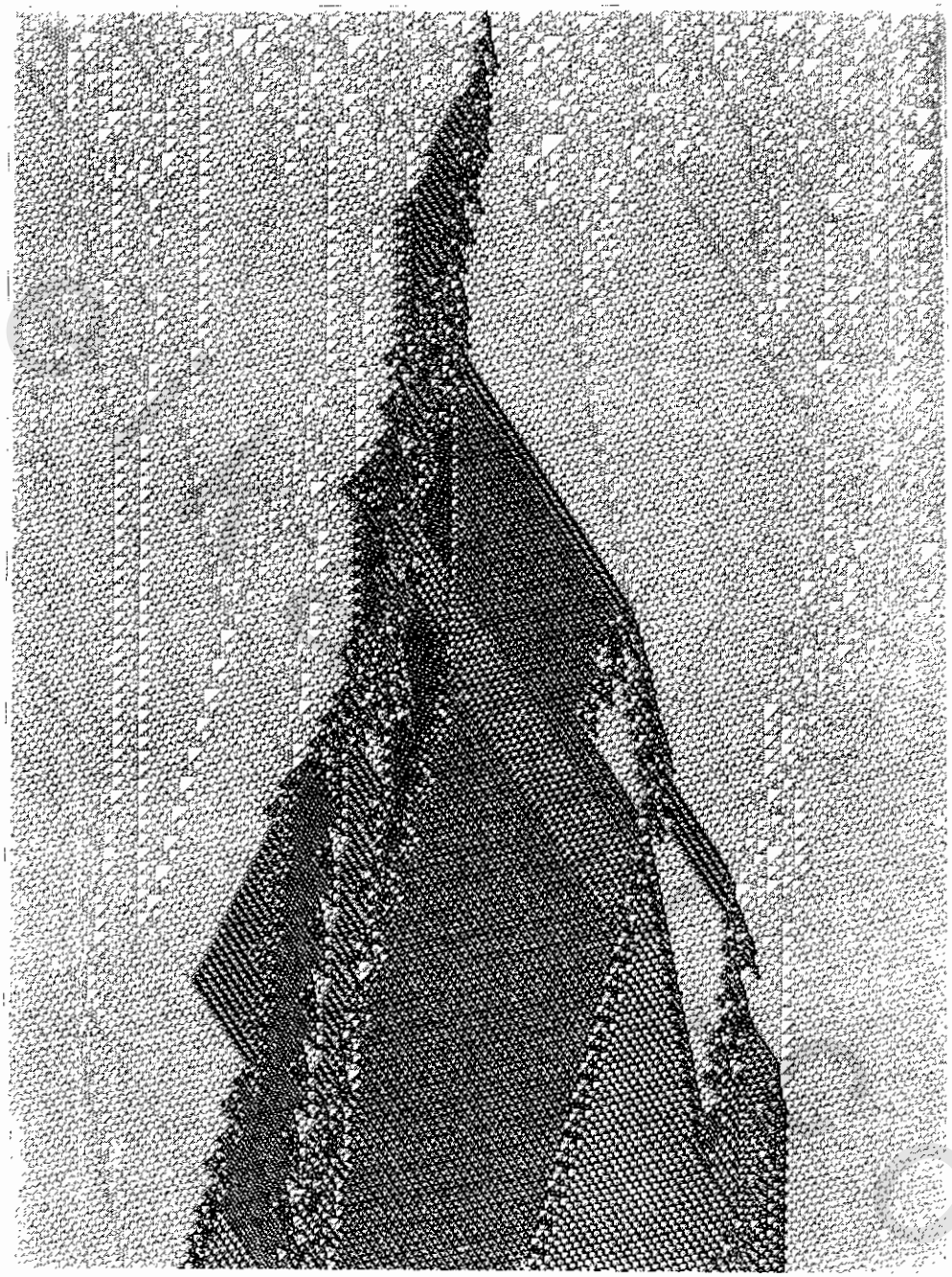


تغير ٦ خلايا



تغير ٥ خلايا

شكل (١٧) : تأثير التغيرات البسيطة للقاعدة ١١٠ فى النوع الرابع للأوتوماتا الخلوية حيث تنتشر التغيرات لو حملتها العناصر التى تتحرك عبر كل النظام .



شكل(١٨)
تغيير خلية واحدة

ولكن ما هى 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 تصبح فى حكم المنسية ويتطور 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 .

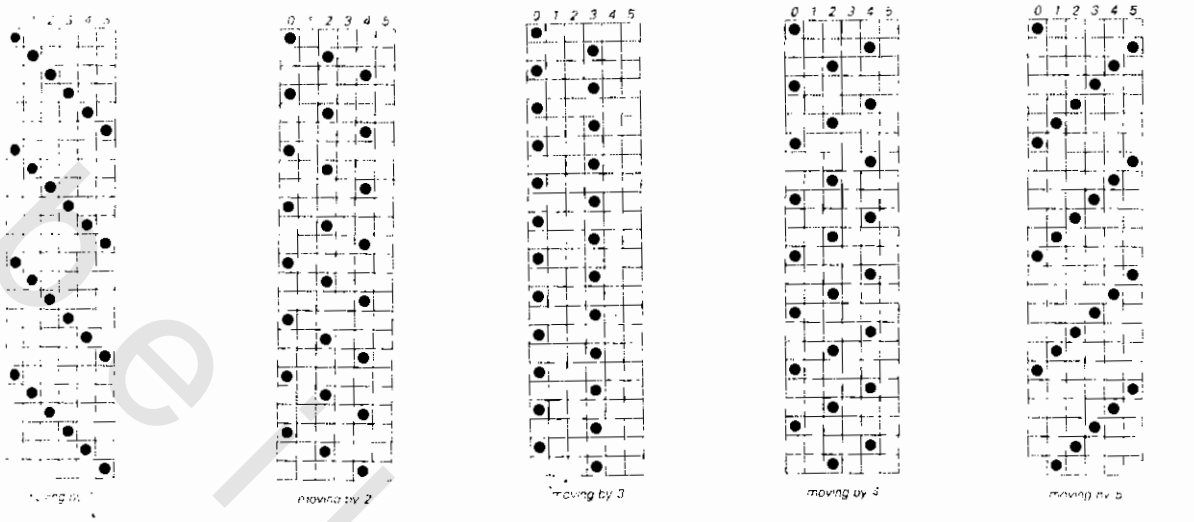
النظم ذات الحجم المحدود وسلوك النوع الثانى:

Systems of Limited size and Class 2 Behavior

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

الإجابة هى 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 .

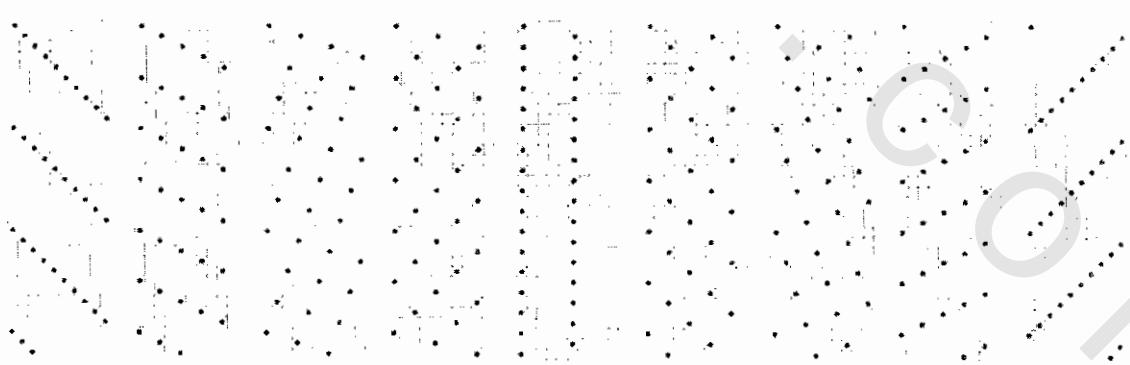


تتحرك خمس وحدات (الدورة ٦) | تتحرك أربع وحدات (الدورة ٣) | تتحرك ثلاث وحدات (الدورة ٢) | تتحرك وحدتين (الدورة ٣) | تتحرك بمقدار الوحدة (الدورة ٦)

شكل (١٩)

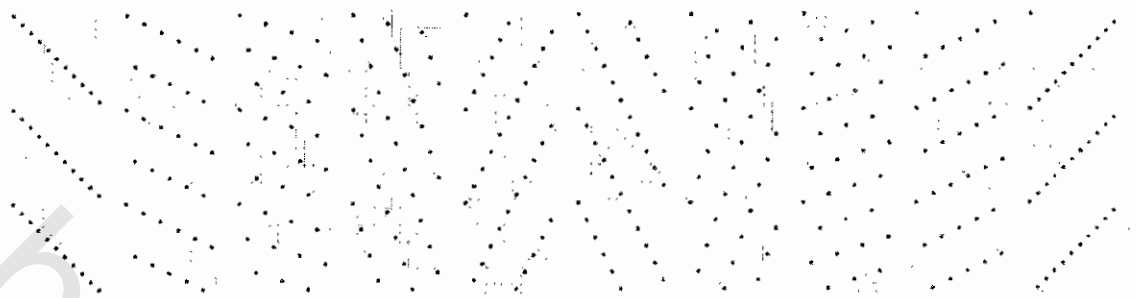
منظومة بسيطة حيث تقع نقطة فى أى من ست مواضع ممكنة وعند كل خطوة تتحرك إلى اليمين عدداً معيناً من المواضع ، ثم ترتد عندما تصل إلى الموضع الأقصى فى اليمين .

إذا أخذنا نظاما بسيطا مماثلا ولكن كان عدد المواضع الممكنة عشرا وإحدى عشر، نلاحظ كما هو واضح من شكل (٢٠) فإن السمة الأساسية هى التكرارية وأن دورة التكرارية تساوى عدد المواضع الممكنة .



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

شكل ٢٠ (أ)

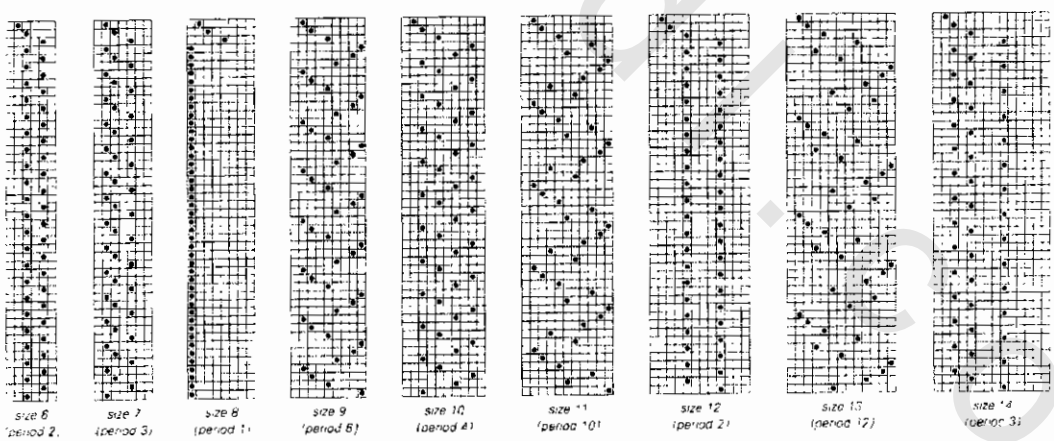


انتقال ١	انتقال ٢	انتقال ٣	انتقال ٤	انتقال ٥	انتقال ٦	انتقال ٧	انتقال ٨	انتقال ٩	انتقال ١٠
(دورة ١١)	(دورة ١١)	(دورة ١١)	(دورة ١١)	(دورة ١١)	(دورة ١١)	(دورة ١١)	(دورة ١١)	(دورة ١١)	(دورة ١١)

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 التى تحدد المنظومة .

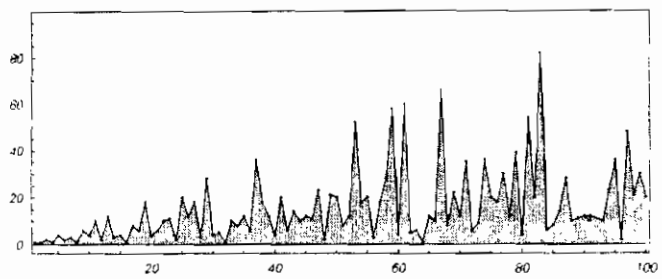
لننتقل إلى نظام بسيط آخر مع تغير القاعدة التى تتحرك بها النقطة تغيرا بسيطا. القاعدة الآن هى أن النقطة فى كل خطوة تضاعف العدد الذى يعبر عن موضع النقطة ، وترتد النقطة عندما تصل إلى الموضع الأقصى من اليمين .



حجم٦	حجم٧	حجم٨	حجم٩	حجم١٠	حجم١١	حجم١٢	حجم١٣	حجم١٤
(دورة ٢)	(دورة ٣)	(دورة ١)	(دورة ٦)	(دورة ٤)	(دورة ١٠)	(دورة ٢)	(دورة ١٢)	(دورة ٣)

شكل (٢١)

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



شكل (٢٢)

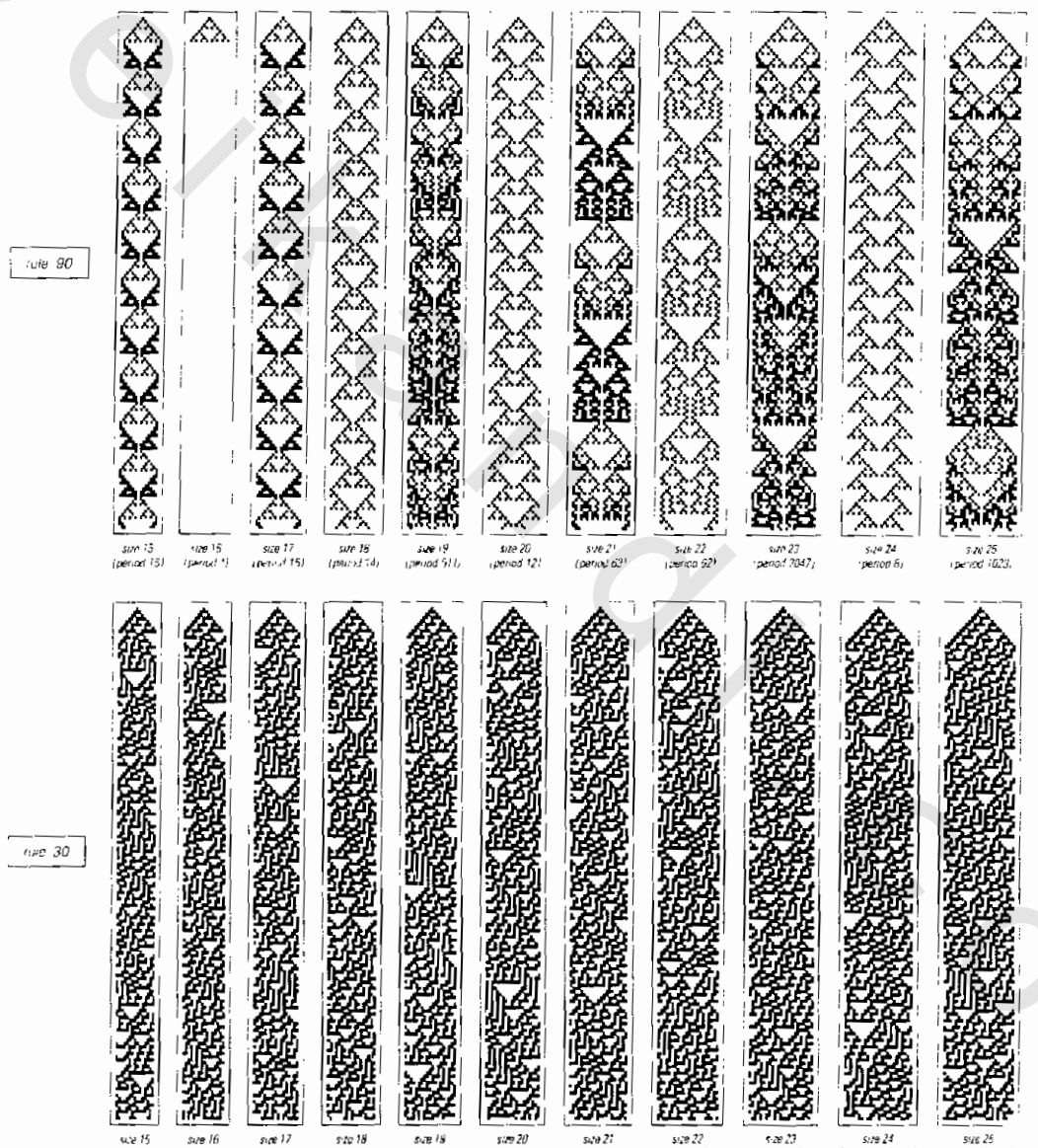
يوضح الشكل دورة التكرارية كدالة من حجمها ، للقيمة الفردية للعدد n وتكون الدورة هى :

Multiplicative Order [2,n]

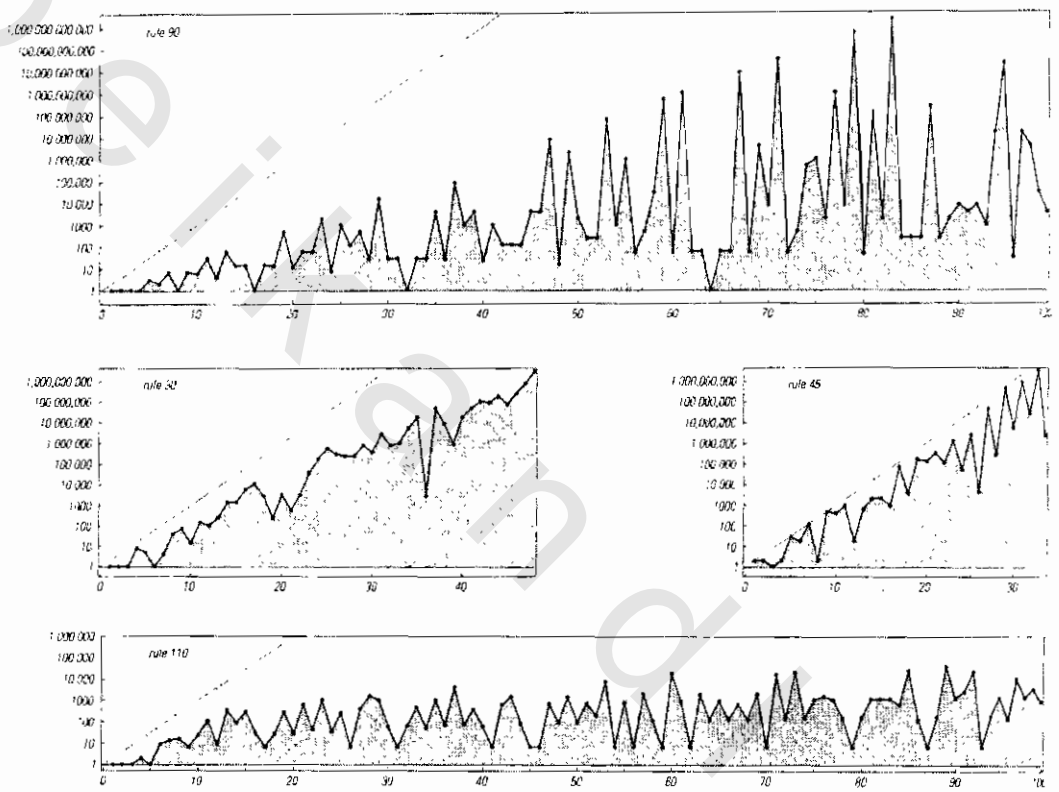
ماذا يحدث عندما يكون مثل هذا النظام هو الأوتوماتا الخلوية ؟

كما هو واضح من شكلى (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 .

obeikandl.com



شكل (٢٣) : دورة التكرارية فى الأوتوماتا الخلوية كدالة من حجم النظام



شكل (٢٤)

شكل (٢٤)
سلوك الأوتوماتا الخلوية بعدد محدود من الخلايا . نلاحظ أن الخلية المجاورة من اليمين للخلية فى أقصى اليمين هى الخلية المجاورة من أقصى اليسار والعكس صحيح ، كذلك تزداد دورة التكرارية (بسرعة كلما زاد حجم النظام)

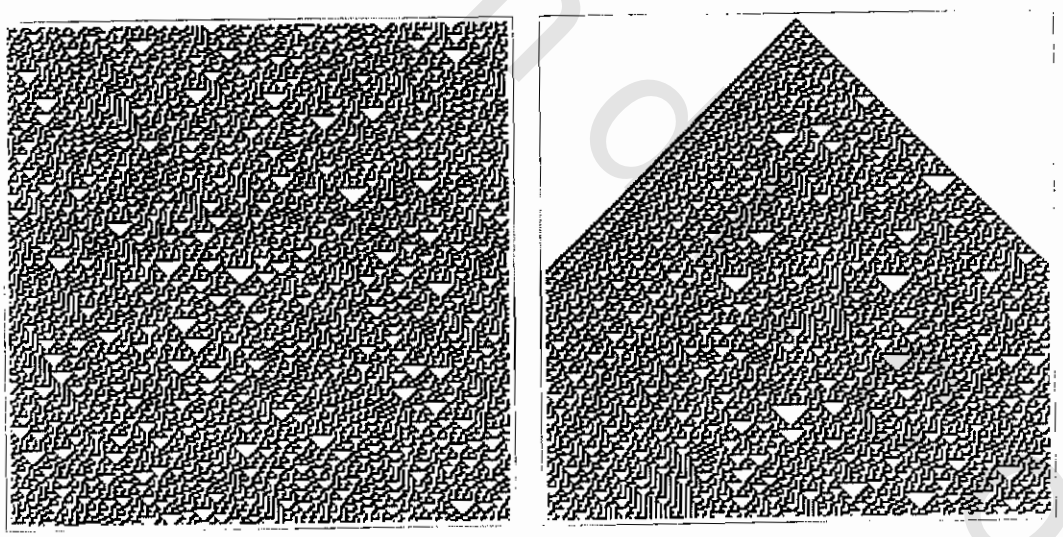
يحدث فى النظام من النوع الثانى مع شروط ابتدائية عشوائية سلوك مشابه ، وحيث أن الأجزاء المختلفة لا تترابط مع بعضها البعض فإن سلوكها هو سلوك نظم محدودة الحجم ، وفى الواقع فإن الأوتوماتا الخلوية من النوع الثانى تتكرر الأشكال كل عدد صغير من الخلايا وبالتالى تكون دورة التكرارية قصيرة .

العشوائية فى النظم من النوع الثالث

Randomness in Class 3 Systems

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

لكنى 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 فى السابق تؤكد هذا كما هو واضح من شكل ٢٥ .

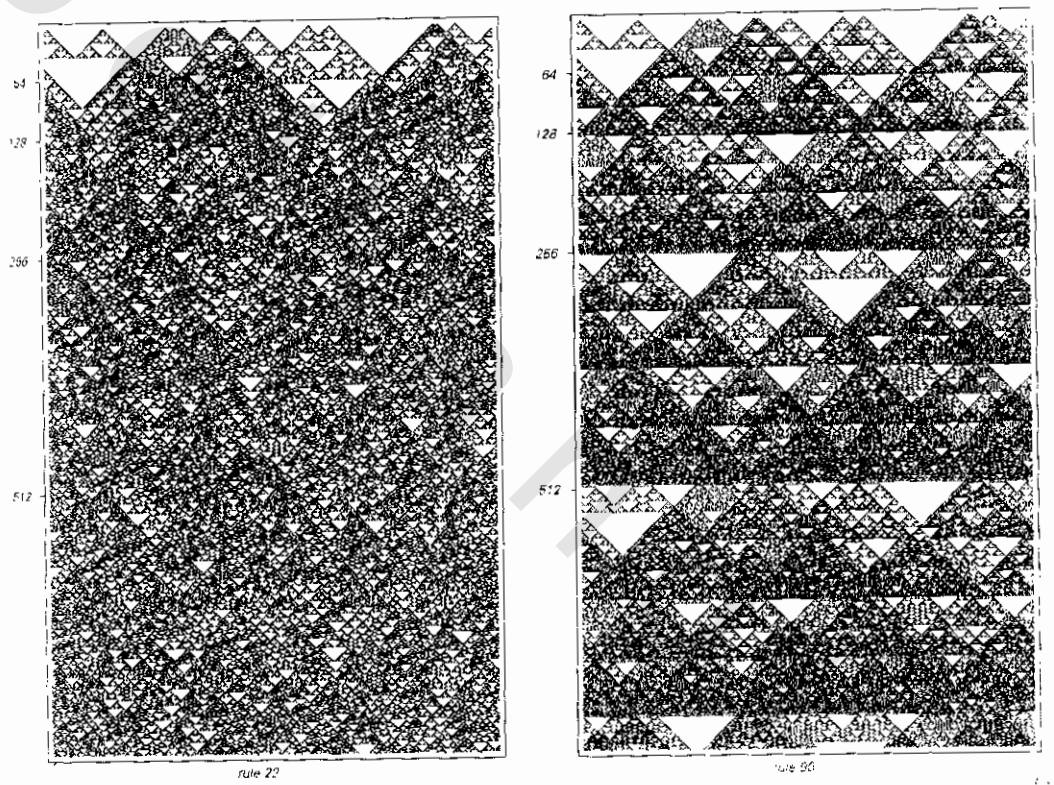


شكل (٢٥)

مقارنة بين الشكل الذى ينتج عن الأوتوماتا الخلوية (حسب القاعدة ٣٠) بادئة من شروط ابتدائية عشوائية ، وتلك من شروط ابتدائية بسيطة نلاحظ أنه عدا الجزء الابتدائى من الشكل فالشكلان متقاربان تماماً

من الأشكال العديدة للحالات المختلفة لاحظنا أن الأوتوماتا الخلوية ، عندما تكون الشروط الابتدائية عشوائية تعطى أشكالا 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 فى شكل ٢٦ .



قاعدة ٩٠ قاعدة ٢٢

شكل (٢٦)

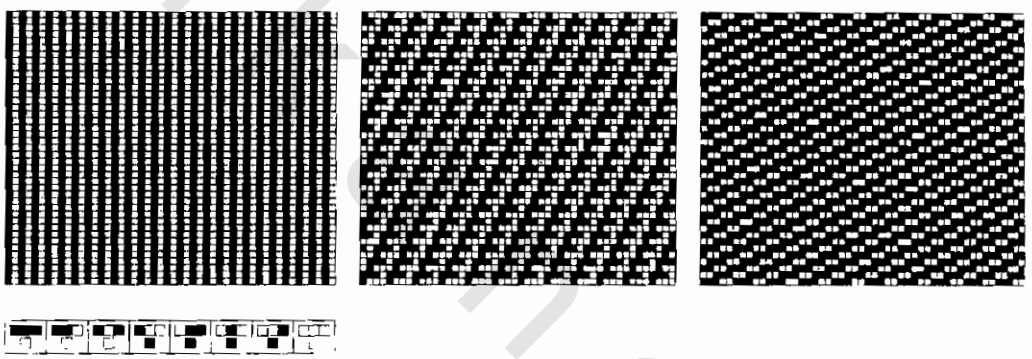
كما هو واضح من الصورتين المبينتين فإنه فى قاعدة ٢٢ كثافة النقاط الابتدائية لا تحمل تأثيرا بعيد المدى . أما فى القاعدة ٩٠ فإن هذا التأثير يستمر حتى النهاية السبب فى هذا الاختلاف هو أنه فى القاعدة ٢٢ يكون ظهور العشوائية نتيجة تطور النظام نفسه بينما فى القاعدة ٩٠ يكون سبب العشوائية هو عشوائية الشروط الابتدائية

رغم أن العشوائية تتولد داخليا فإننا لاحظنا أن بعض النظم تكون مستقرة بشكل ملفت ورغم هذه العشوائية يكون شكلها النهائى واحدا ، وسوف نرى أن بعض النظم فى الطبيعة تسلك نفس السلوك ولا تعتمد على ظروفها الابتدائية .

الشروط الابتدائية الخاصة
Special Initial Conditions

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

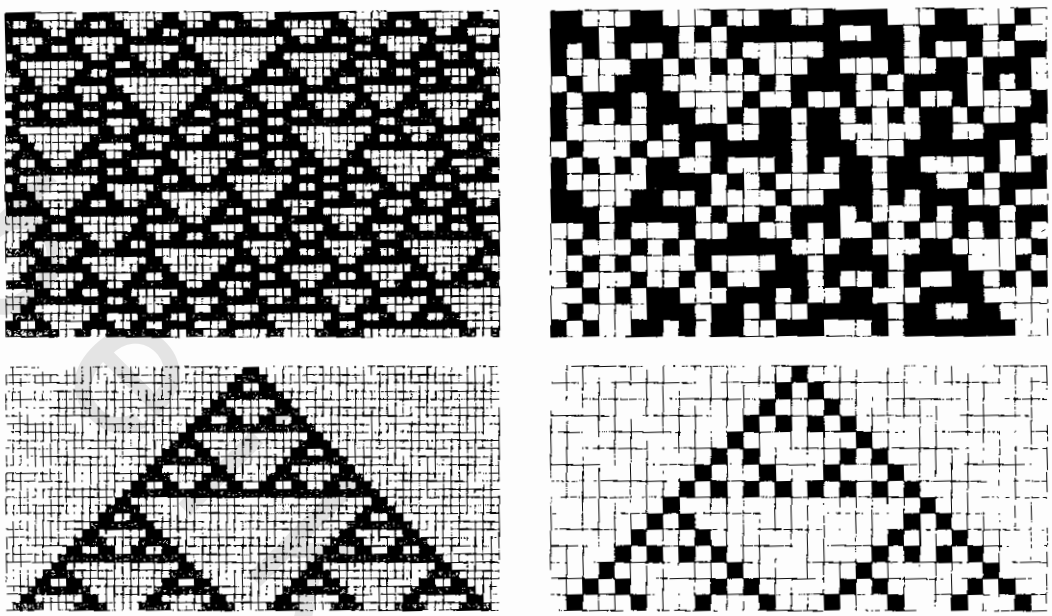
فى الواقع هناك لأى أوتوماتا خلوية من المحتوم أنه عندما تكون الشروط الابتدائية عبارة عن مجموعة من الخلايا المحددة متكررة للأبد فسوف يؤدى هذا إلى مجرد سلوك تكرارى بسيط . وهكذا نرى أن مجموعة خلايا عددها n سوف تتكرر بدورة قدرها 2n من الخطوات ، كما هو مبين فى شكل ٢٧ .



شكل (٢٧)

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

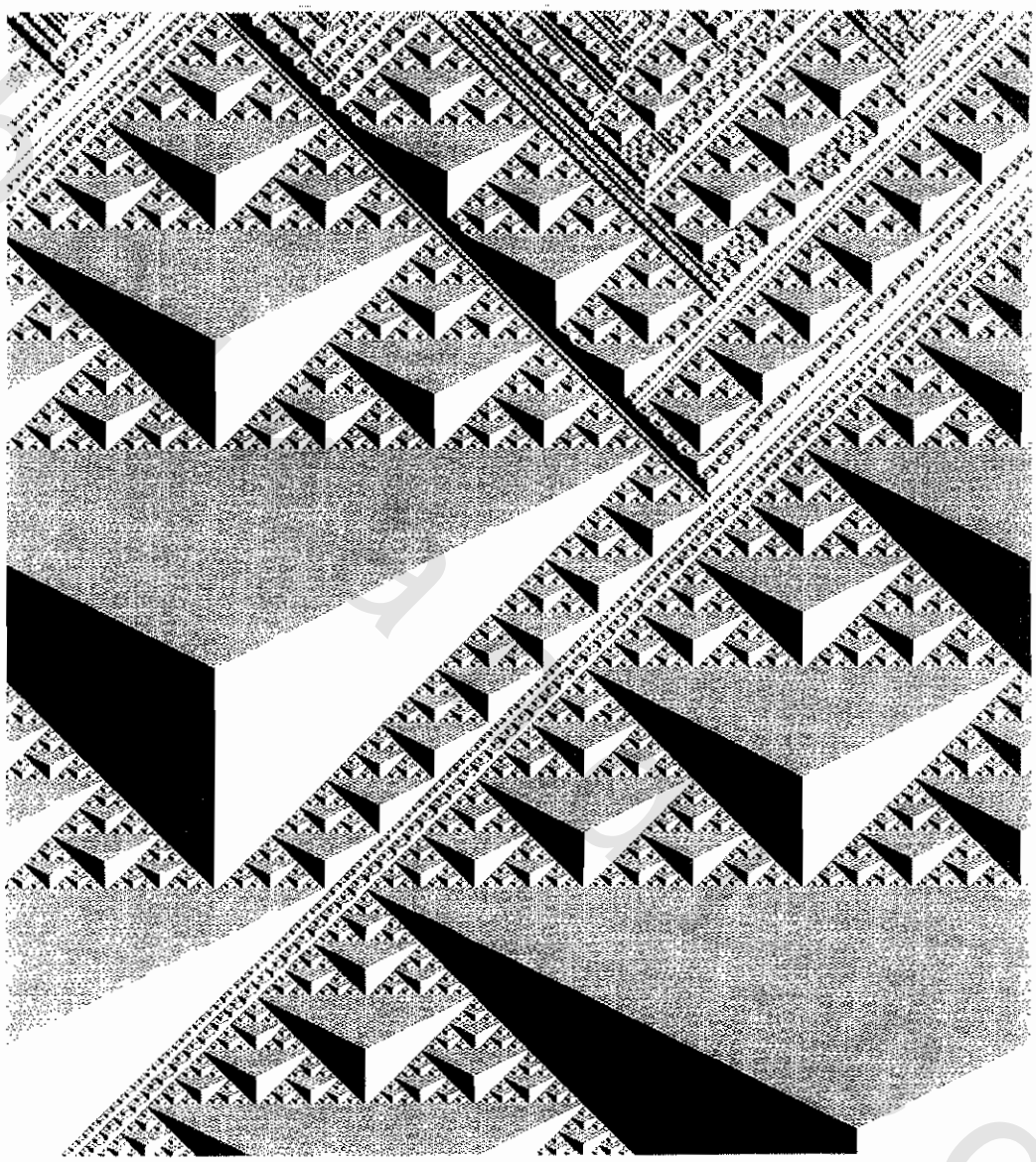
فى الحقيقة وجد أنه توجد شروط ابتدائية بالنسبة للأوتوماتا الخلوية من نوع معين تجعله يسلك سلوك نوع آخر من الأوتوماتا الخلوية كما هو مبين فـى شكل ٢٨.



شكل (٢٨)

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

لنعطى مثالاً آخر على الأوتوماتا الخلوية التى تعطى أشكالاً متداخلة حتى من شروط ابتدائية عشوائية كما هو مبين فى شكل (٢٩) .



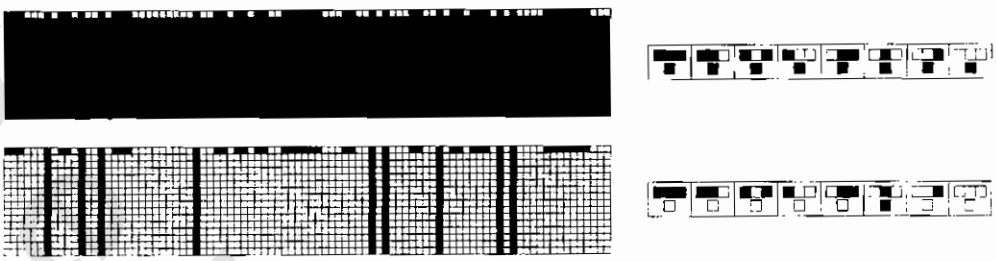
شكل (٢٩)

إن القاعدة هنا تشمل الجار التالى – الأقرب ورقم القاعدة هو (4067213384) .

كما فى القاعدة رقم 184 تكون الأشكال المتداخلة أكثر وضوحاً عندما تكون كثافة الخلايا السوداء والبيضاء فى الشروط الابتدائية متساوية

ملاحظة الجاذبات
(Notion of Attractors)

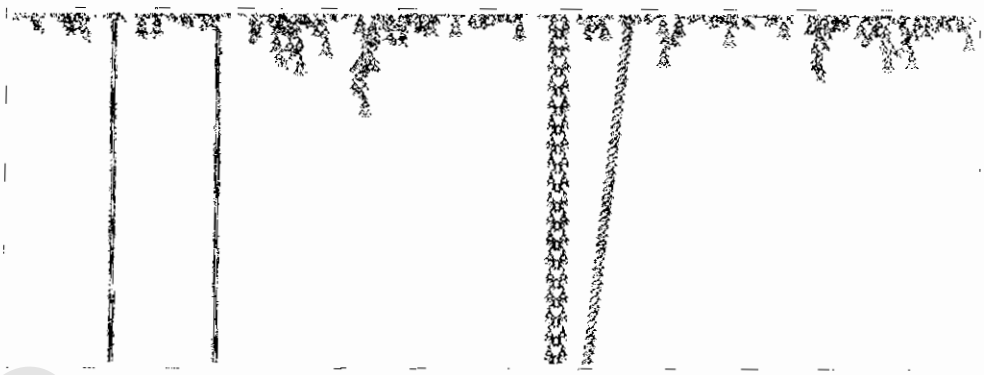
من سمات الأوتوماتا الخلوية أنه فى الخطوات المتتالية تصبح المتتاليات التى يمكن الحصول عليها مقيدة بشكل تصاعدى كما هو واضح فى شكل (٣٠) .



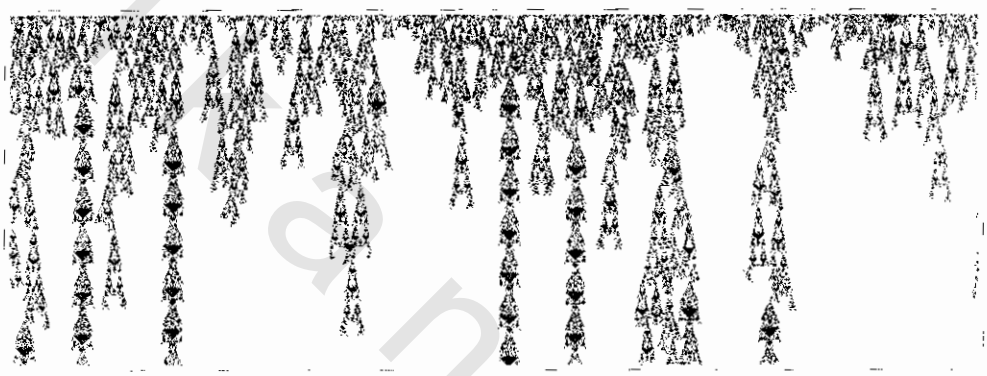
شكل (٣٠)
أمثلة على الأوتوماتا الخلوية البسيطة التى تتطور بعد خطوة واحدة فقط إلى جاذبات
أى متتاليات معينة من الخلايا السوداء والبيضاء يمكن أن تظهر .
فى الحالة الأولى نرى خلايا سوداء فقط . فى الحالة الثانية نرى أن المتتاليات هى تلك التى يتحقق فيها أن كل خلية سوداء محاطة بخلايا بيضاء . القواعد المبينة هى الأعداد 4.255 .

البنيات فى النظم من النوع الرابع
(Structures in Class 4 systems)

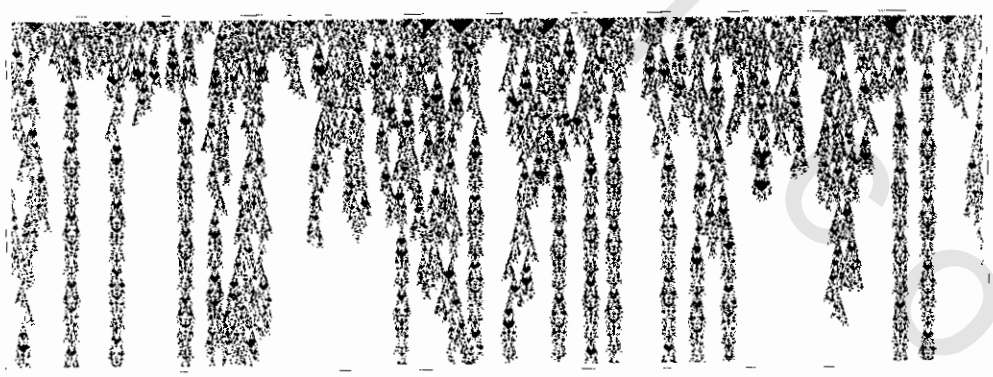
فى شكل (٣١) نورد أمثلة خاصة للأوتوماتا الخلوية من النوع الرابع. فى كل حالة كانت الشروط الابتدائية عشوائية تماماً ، ولكن بعد عدة خطوات تبدأ الأشكال فى تنظيم نفسها لدرجة أن بعض البنيات تصير واضحة تماماً . بعد ذلك تموت هذه البنيات وبشكل معقد جداً فى بعض الحالات ، ولكن من السمات المميزة لهذا النوع الرابع وجود بعض البنيات التى لا تفنى وتظل وبإصرار فى الظهور حتى النهاية .



(لونان) ، الجيران التالى الأقرب كود (٢٠)



(ثلاثة ألوان) الجيران الأقرب كود (٣٥٧)



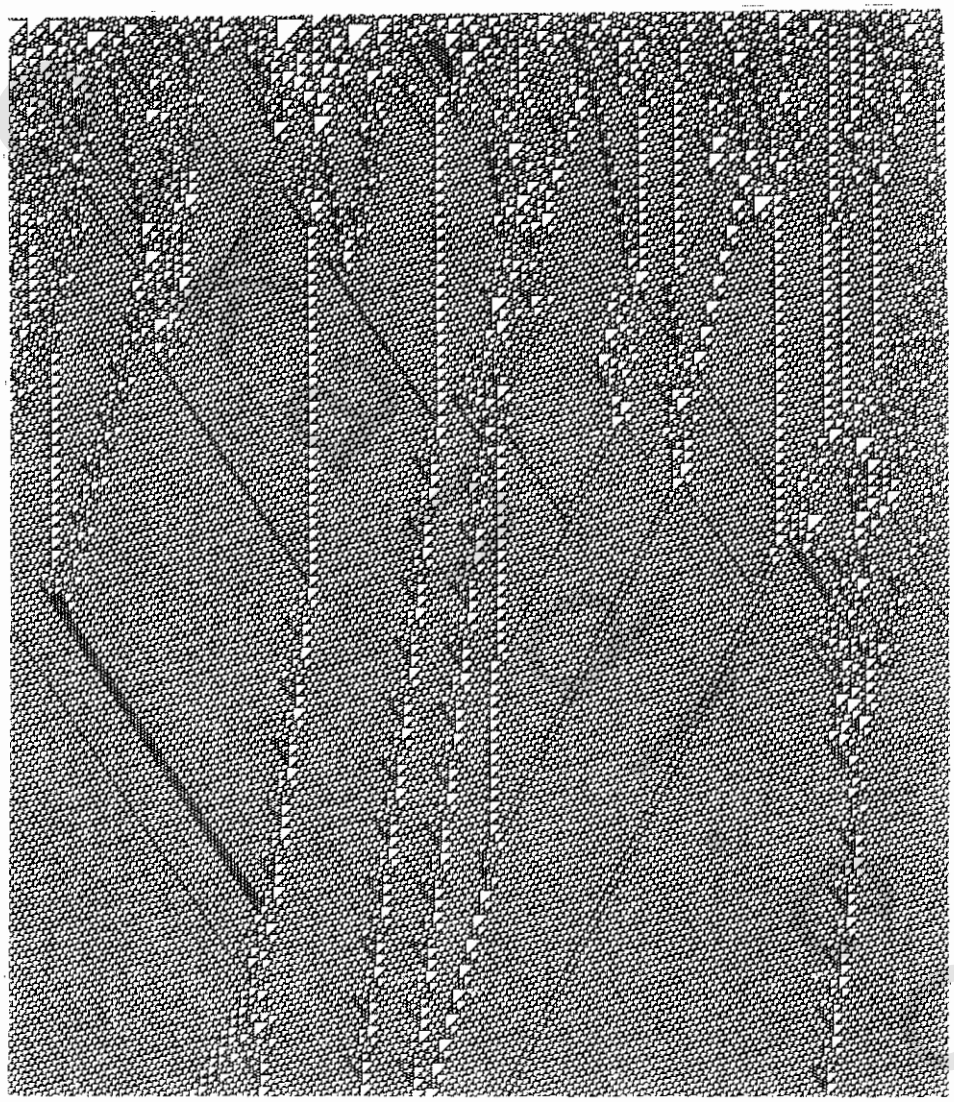
(ثلاثة ألوان) الجيران الأقرب كود (١٣٢٩)

شكل (٣١)

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

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

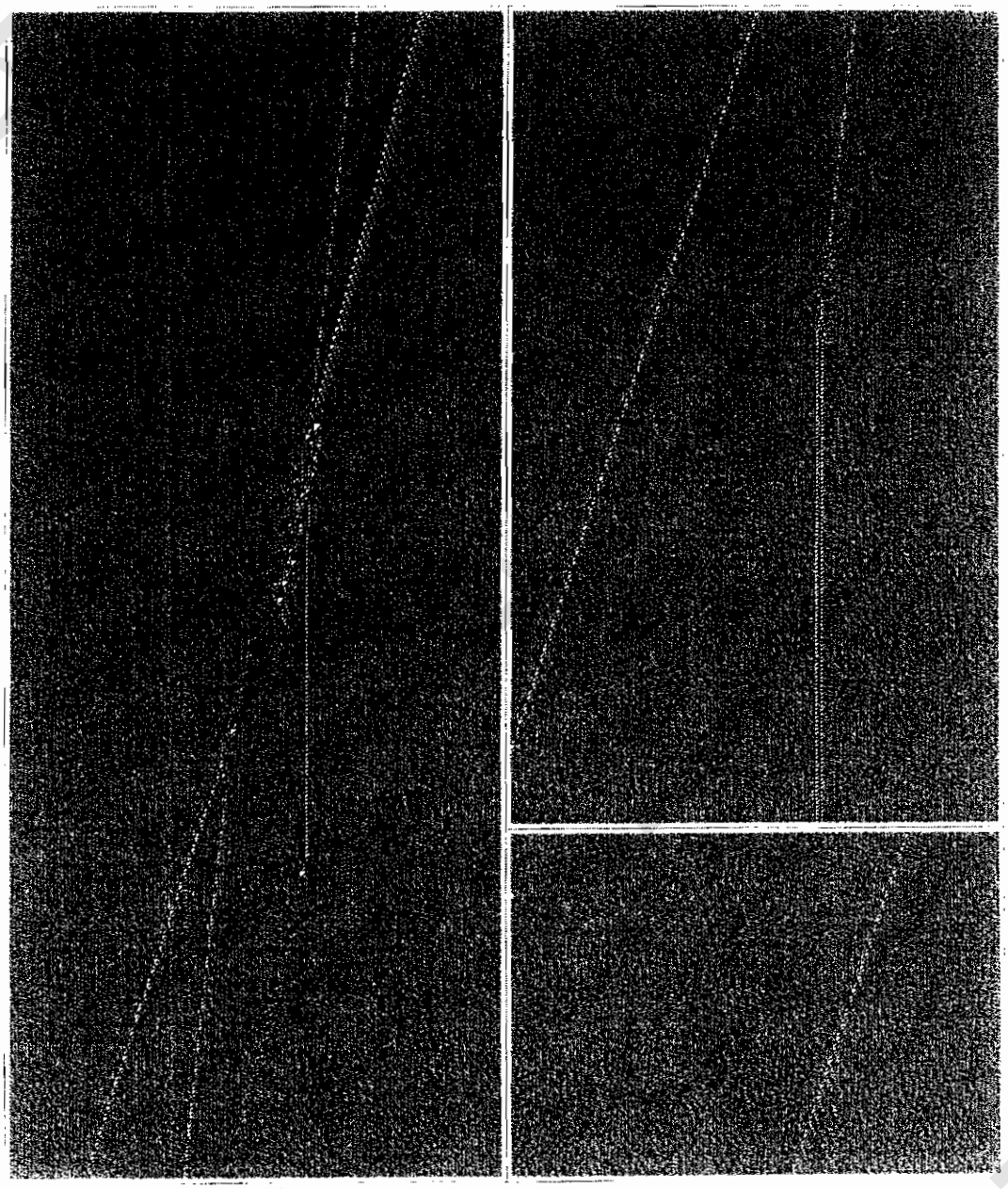
لقد رأينا لأول مرة مثل هذا السلوك فى الباب الثانى فى صفحة ٢٧(*) ، ورغم البساطة الشديدة فى القاعدة نرى أن سلوك النظام شديد التعقيد كما هو مبين فى شكل ٣٢ .



شكل (٣٢)
مثال جيد لسلوك الأوتوماتون حسب القاعدة (١١٠) مع شروط ابتدائية عشوائى تحوى الخلفية قوالب (blocks) من ١٤ خلية تتكرر كل سبع خطوات

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

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



شكل (٣٣)
تصادمات بين البنيات يحتاج إلى ٤٠٠٠ خطوة لكى تظهر الصورة النهائية
الصورة الثالثة تظهر عند الخطوة ٤٣٠٠