الباب الثالث

عالـم البرامـج البسيطـة

البحث عن سمات عامة :

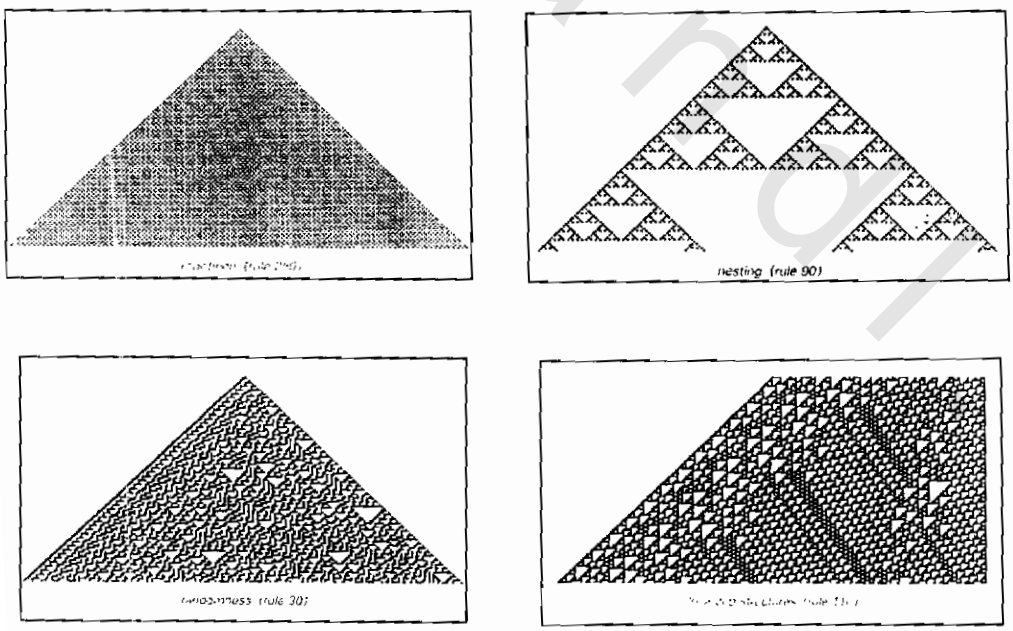
فى هذا الباب نبحث عن السمات العامة لهذه البرامج البسيطة . لقد ذكرنا فعلا بعض هذه السمات وهى أنها تكرارية وينتج عنها أشكال بسيطة جداً . ثانياً هناك الكثير من التفاصيل العجيبة ولكن ككل يمكننا القول بأنه تنتج فى النهاية أشكال متداخلة ذات طبيعة منتظمة إلى حد ما .

السمة الثالثة هى أنه بعد هذا الانتظام تظهر أشكال عشوائية تماماً . ورابعاً تظهر تداخلات بين الأشكال التى تعطى تعقيداً شديداً فى النهاية .

إنى أبدأ بهذا التساؤل الذى سأحاول الإجابة عليه : هل كل برامج «الأوتوماتا الخلوية» تعطى هذه النتائج شديدة التعقيد أم هناك برامج أخرى تعطى نتائج قريبة من ذلك كما هو مبين فى شكل ١٧ (أ) .

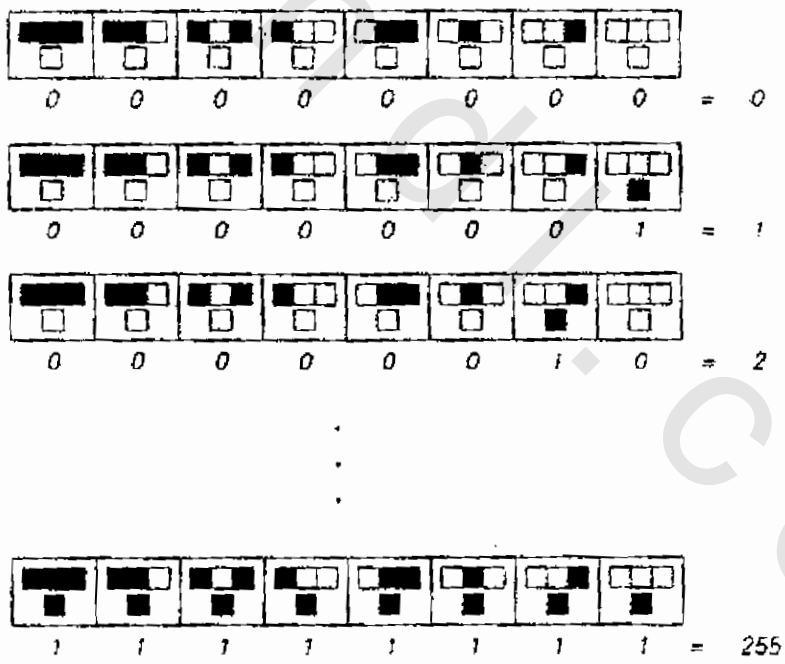
برامج اوتوماتا خلوية اكثر

سوف نورد هنا الأربع أنواع الأساسية من هذه الأوتوماتا الخلوية كما هو مبين فى شكلى ١٧ ب ، ١٨ .



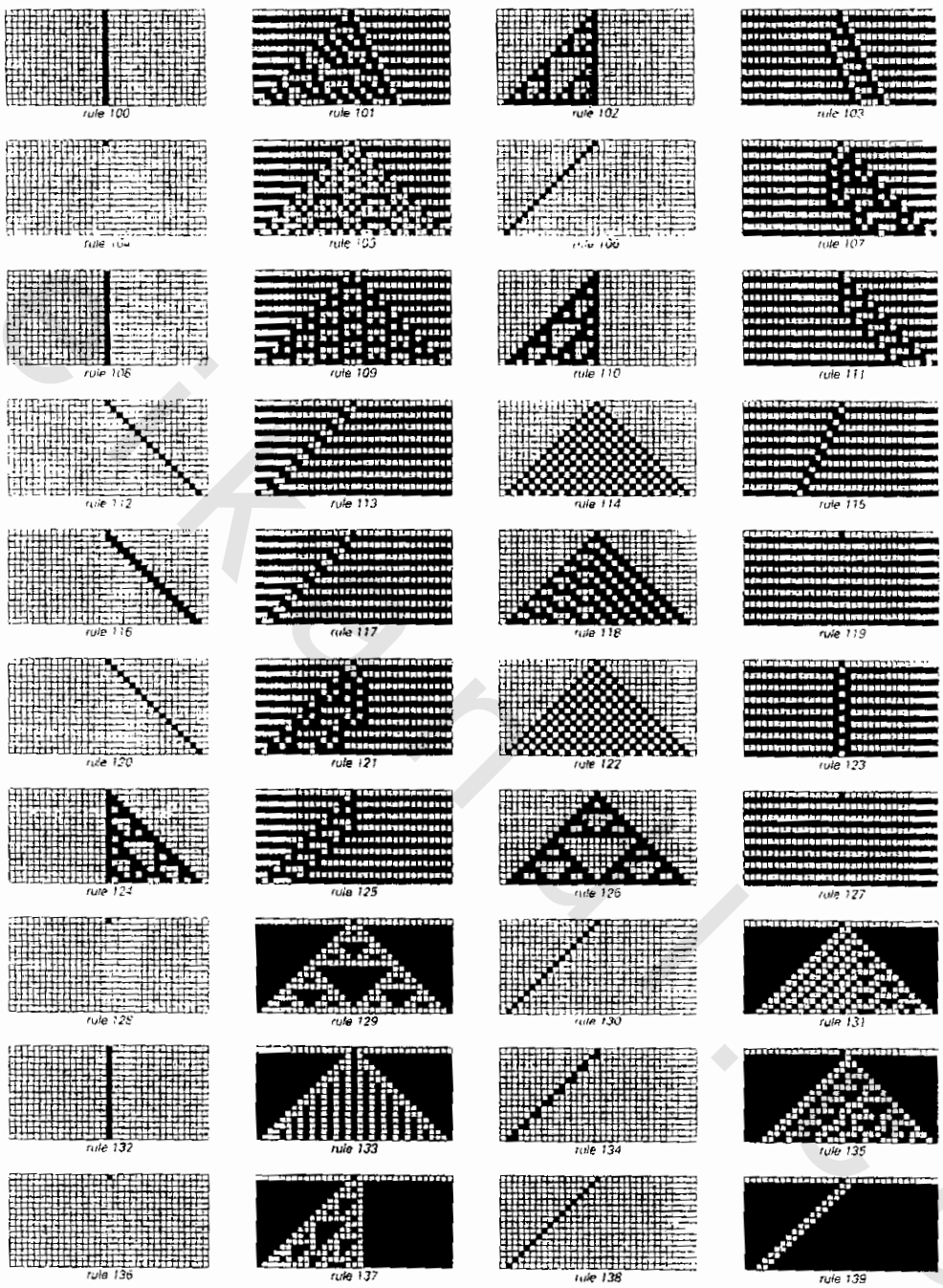
شكل ١٧أ

شكل ١٧ ب



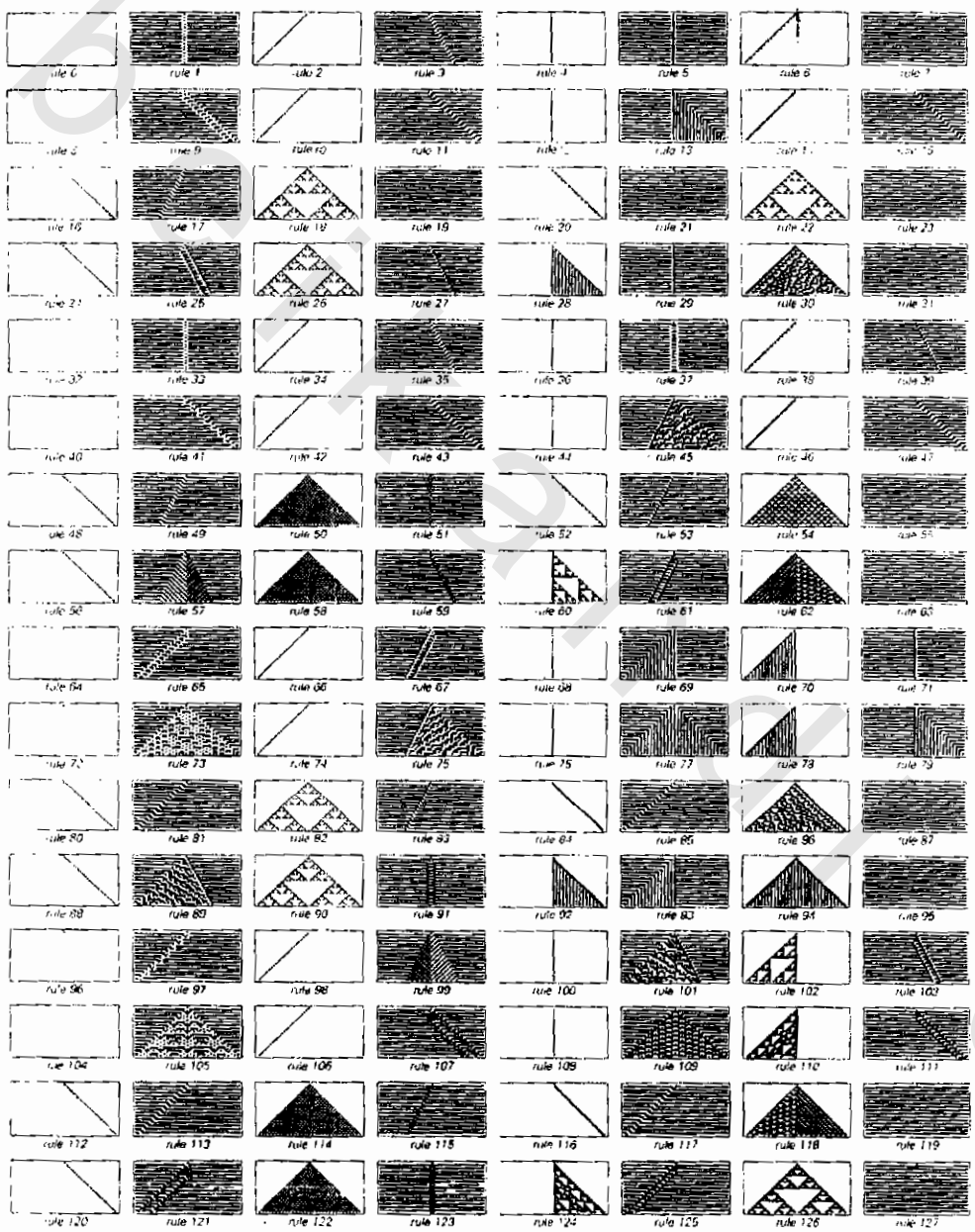
شكل ١٨ (أنواع الأوتوماتا الخلوية)

obeikandl.com

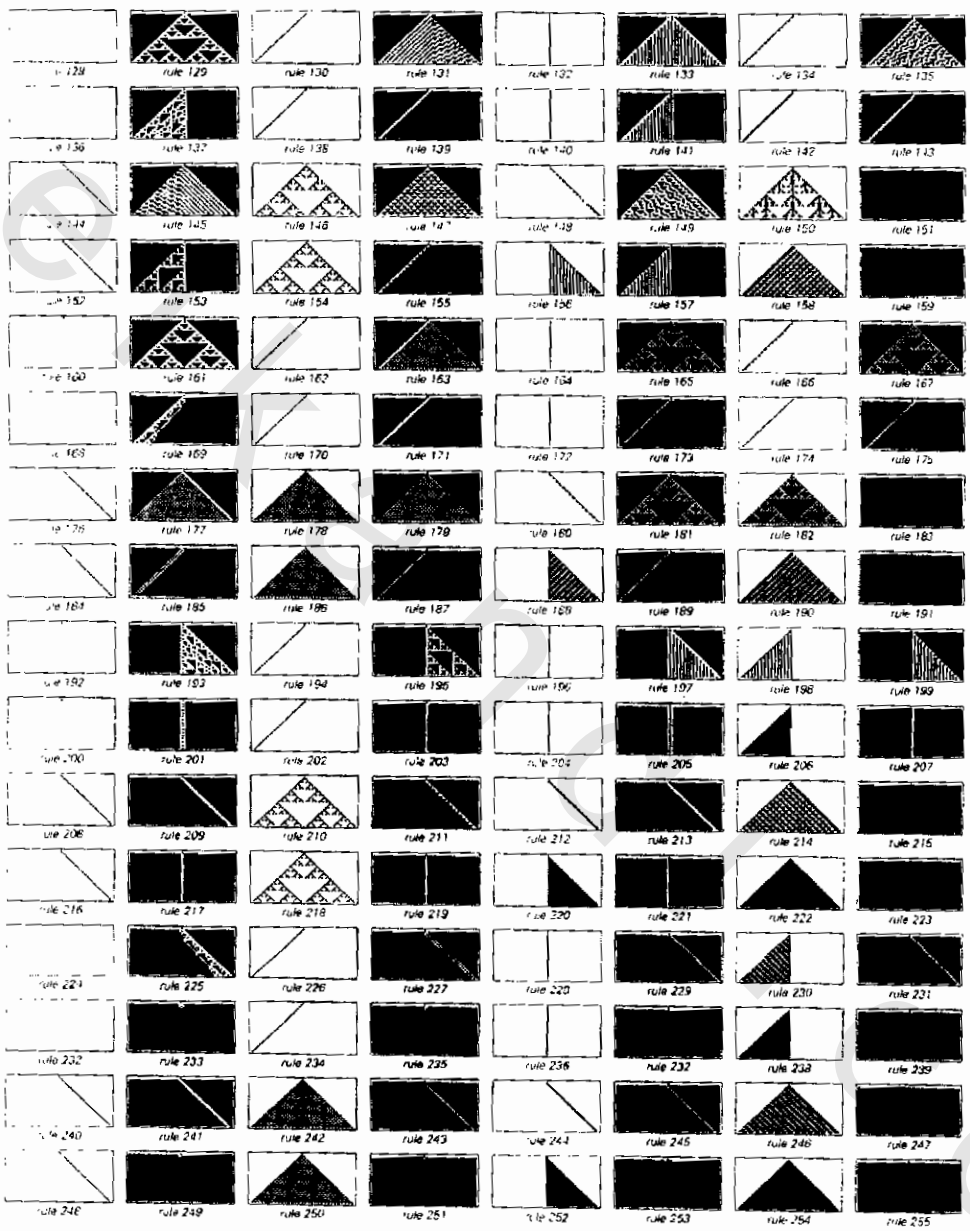

rule 100
rule 101
rule 102
rule 103
rule 104
rule 105
rule 106
rule 107
rule 108
rule 109
rule 110
rule 111
rule 112
rule 113
rule 114
rule 115
rule 116
rule 117
rule 118
rule 119
rule 120
rule 121
rule 122
rule 123
rule 124
rule 125
rule 126
rule 127
rule 128
rule 129
rule 130
rule 131
rule 132
rule 133
rule 134
rule 135
rule 136
rule 137
rule 138
rule 139

شكل (١٩)

لقد وجدت أنه يوجد ٢٥٦ مجموعة من الاختيارات كما هو مبين فى شكل (١٨) . فى الصفحتين القادمتين نعرض لسلوك كل هذه الأنواع فى شكلى (١٩) ، (٢٠) أ ، ب .



شكل (٢٠)أ



شكل ٢٠ (ب)

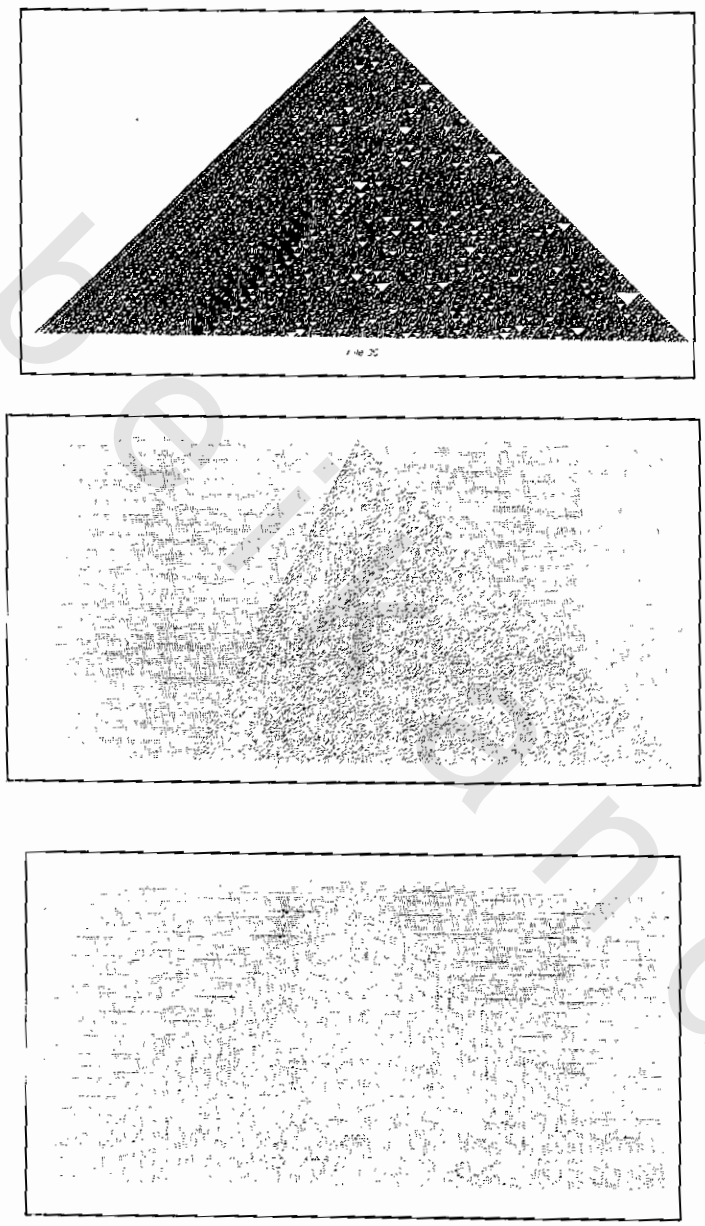
كما نرى فى الحالات البسيطة ، تأخذ كل الخلايا نفس اللون بعد خطوة واحدة . لذا وعلى سبيل المثال فى القواعد من صفر وحتى ١٢٨ تصبح كل الخلايا بيضاء بينما تصبح كل الخلايا سوداء فى القاعدة ٢٥٥ . هناك أيضاً بعض القواعد مثل القاعـدتين ٧ ، ١٢٧ تبدل الخـــلايا لونها من الأبيض إلى الأسود بعد كل خطوة.

ولكن من بين القواعد المبينة فى الصفحات الأخيرة فإن السلوك الوحيد العام لها كلها هو أن الشكل الذى يحوى خلية واحدة أو مجموعة خلايا فهو يتكرر كثيراً . فى بعض الأحيان يظل هذا الشكل ساكنا كما هو الحال فى القاعدتين ٤ ، ١٢٣ . ولكن فى الحالات الأخرى مثل القاعدتين ٢ ، ١٠٣ تترك إما إلى اليمين أو اليسار . كذلك يتضح أن بنية «الأوتوماتا الخلوية» تعطى سرعة حركة قصوى مقدارها خلية كل خطوة ، وفى معظم القواعد التى ذكرناها تتحقق هذه السرعة ، وإن كان فى القاعدتين ٣ ، ١٠٣ تبلغ السرعة القصوى نصف ذلك .

فى ثلثى الأشكال التى أوردناها تظل الأشكال ثابتة الحجم ، ولكن فى ثلث الحالات تنمو الأشكال إلى ما لا نهاية . من كل هذه الأشكال التى تنمو تبدو الأبسط مجرد تكرارية كتلك التى فى القاعدتين ٥٠ ، ١٠٩ ، ولكن وحيث أن الأشكال التكرارية هى الأكثر شيوعا ، فإن ١٤٪ من الأوتوماتا الخلوية تعطى أشكالاً معقدة .

أكثر هذه الأشكال انتشاراً هى الأشكال المتداخلة كتلك المبينة فى شكل (٢٠) . ورغم وجود ٢٤ قاعدة تعطى أشكالا متداخلة إلا أنه توجد ثلاثة أشكال أساسية فقط . الأكثر انتشاراً والأبسط هى تلك التى تظهر فى القاعدتين ٢٢ و ٦٠ .

وجد أيضاً أنه من كل القواعد البالغ عددها ٢٥٦ هناك ١٠ فقط تعطى أشكالا عشوائية . الأشكال العشوائية الأساسية ثلاث كما هو مبين فى شكل ٢١ .

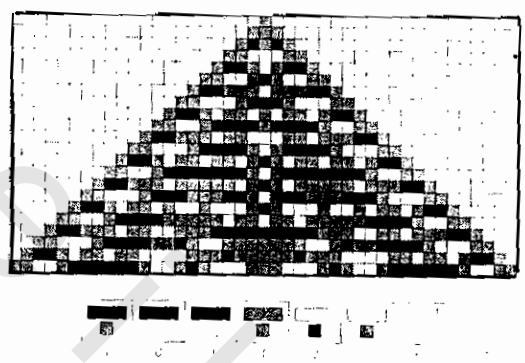


شكل ٢١

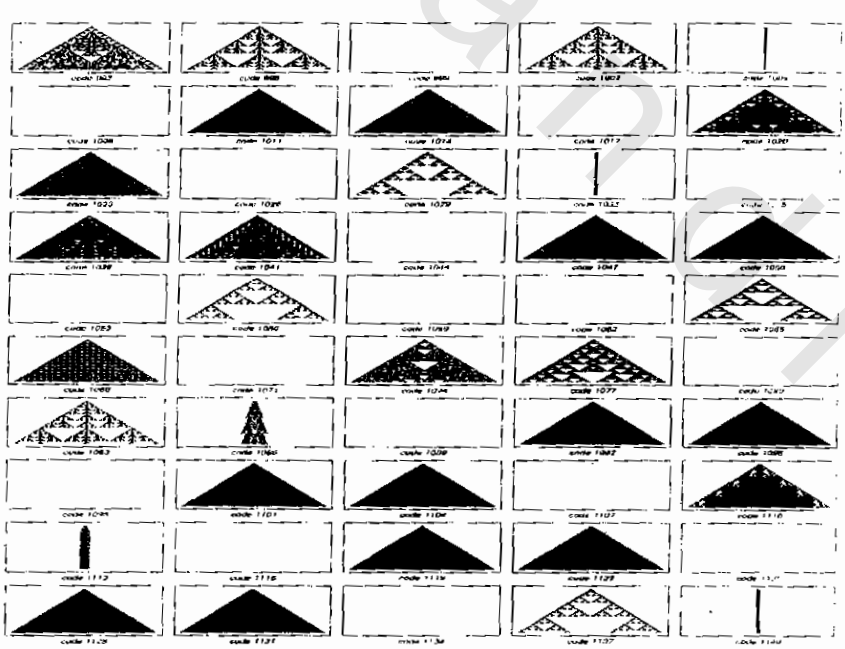
الأوتوماتا الخلوية ثلاثية اللون : إذا أضفنا اللون الرمادى إلى اللونين الأسود والأبيض يصل عدد القواعد إلى ٧,٦٢٥,٥٩٧,٤٨٤,٩٨٧ قاعدة ولكن إذا وضعنا فى الاعتبار فقط تلك المسماة «بالشاملة» (totalistic) ينخفض العدد بشكل كبير .

الفكرة الأساسية فى هذه القواعد الشاملة هى أن لون الخلية يعتمد على متوسط

اللون للخلايا المجاورة وليس على لون كل خلية منفردة . وهكذا يبلغ عدد القواعد الشاملة ٢١٨٧ قاعدة ، يمكن ترقيمها وإعطائها رقما كوديا كما هو مبين فى شكلى ٢٢ أ ، ٢٢ ب .

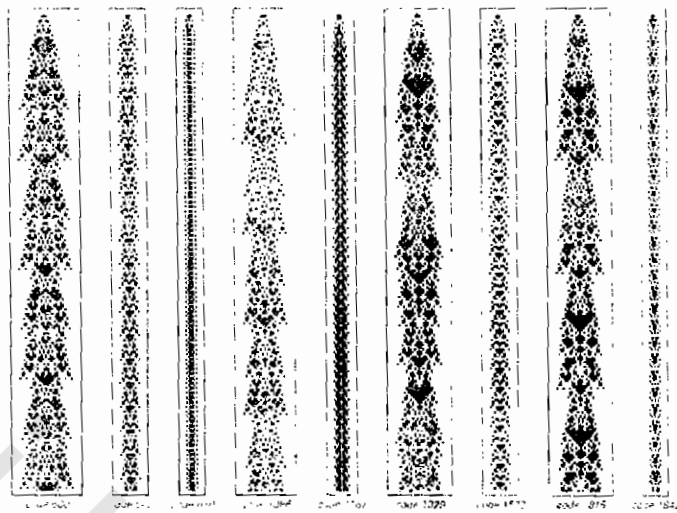


شكل ٢٢ أ

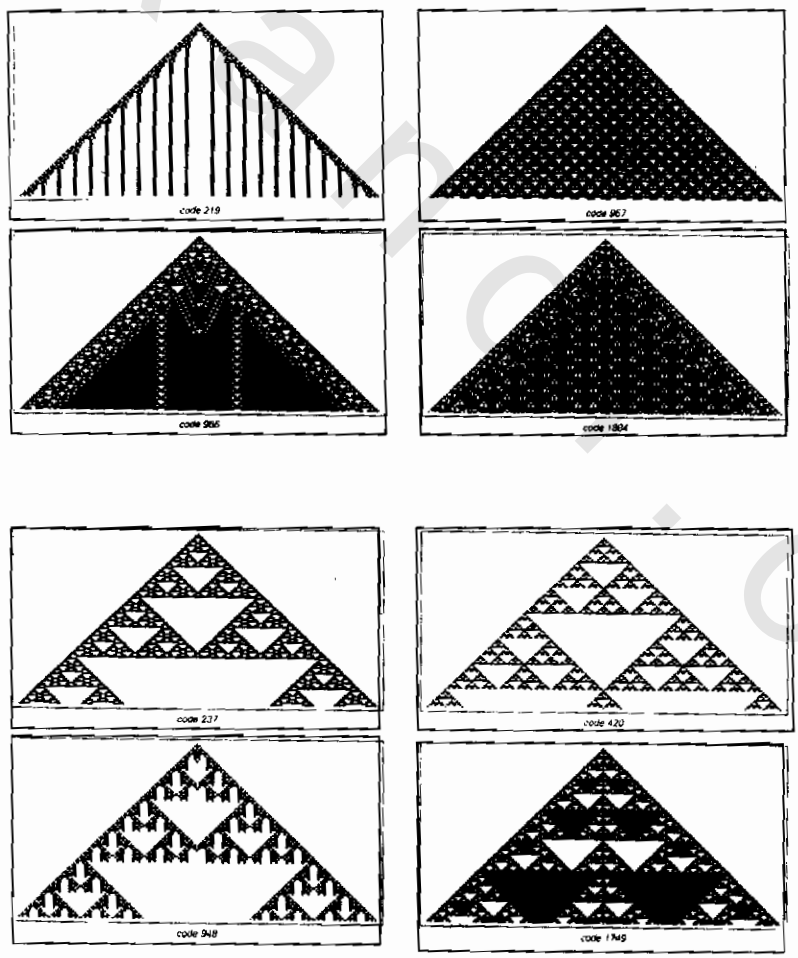


شكل ٢٢ ب

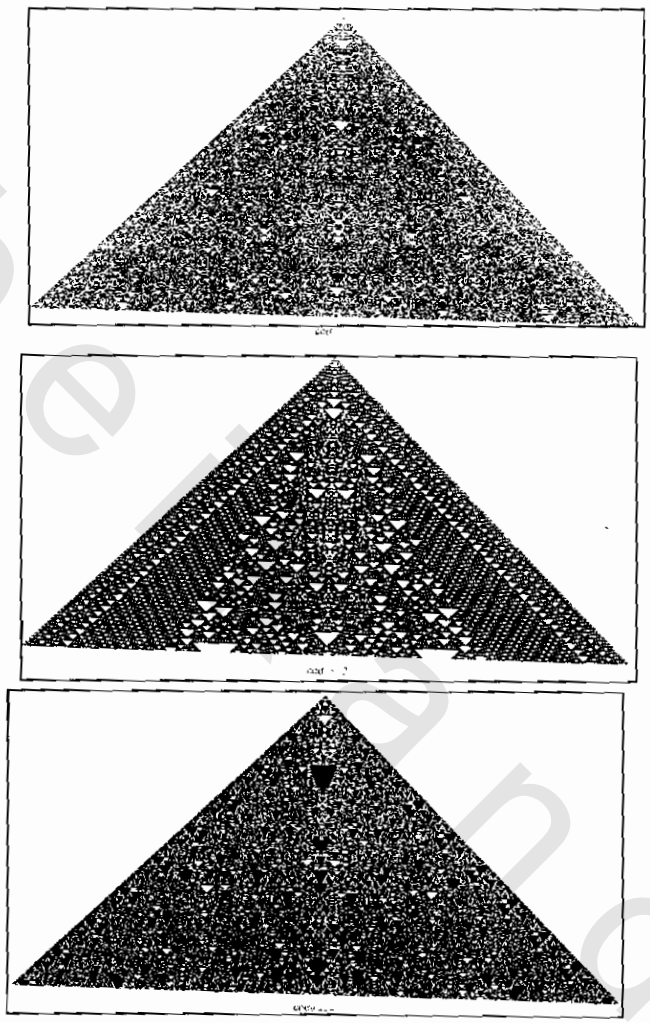
كما نرى من شكل ٢٣ فليس هناك أى جديد ولذا يمكننا القول بأن استخدام قواعد أكثر تعقيداً لم يؤد بالضرورة إلى سلوك أكثر تعقيداً . كما هو واضح من أشكال ٢٣ ، ٢٤ ، ٢٥ فإنه يوجد بعض الأشكال التى تتكرر ثم تنمو وهكذا .



شكل ٢٣


code 219
code 967
code 956
code 1804
code 237
code 420
code 948
code 1749

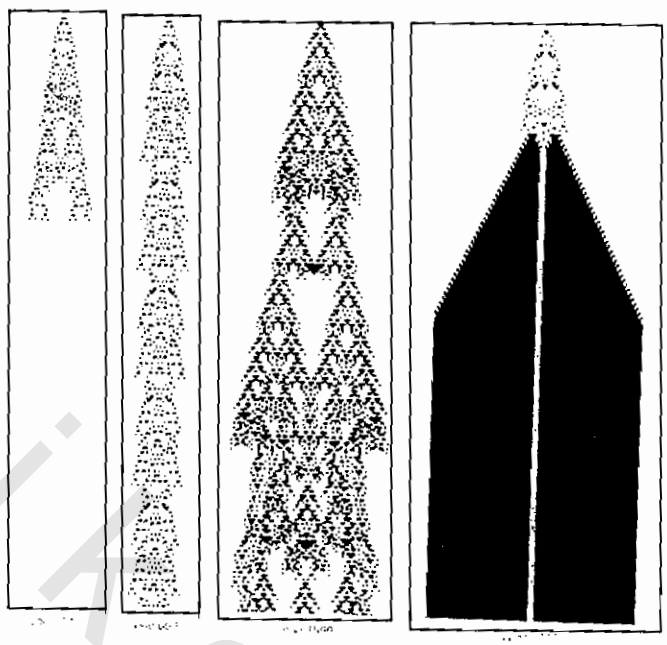
شكل ٢٤



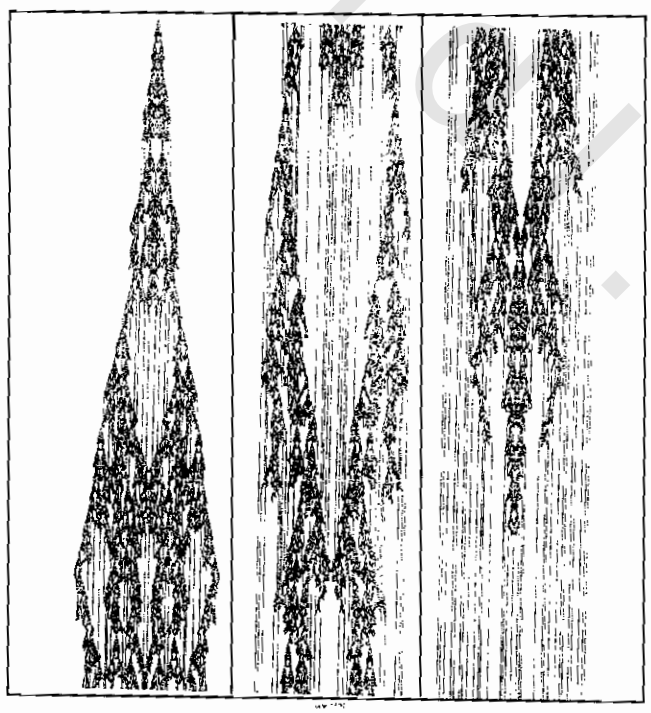
شكل ٢٥

فى الواقع فإن الأشكال المبينة أكثر تعقيداً فى التفاصيل عن الأشكال التى تحصل عليها باستخدام القواعد البسيطة ، ولكن من ناحية المبدأ لا يوجد فارق أساسى . فمثلا الأشكال فى الكودين ٢٣٧ و ٩٤٨ هى الأكثر انتشاراً ، يأتى بعدها تلك فى الكود ١٧٤٩ . الشكل الموجود فى الكود ٤٢٠ هو الوحيد الجديد الذى لم يظهر من قبل ولكن نادراً ما يحدث هذا الوضع .

فى شكلى (٢٦ ، ٢٧) نرى كيف تتراوح الأشكال بين النمو والانعدام ، ولكن فى شكل ٢٧ فلا يتضح سلوك النظام إلا بعد ٨٢٨٢ خطوة حيث تنتهى الصورة إلى ٣١ شكلا تكراريا .



شكل ٢٦



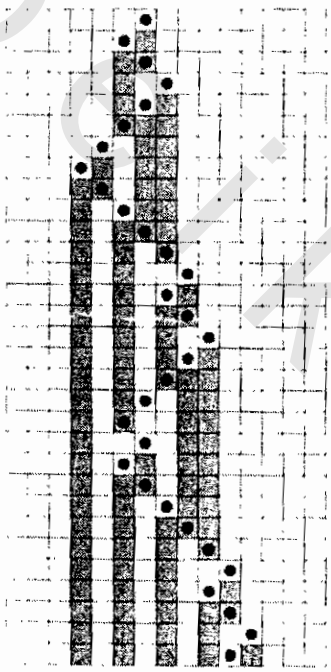
شكل ٢٧

٣ - ٤ الأوتوماتا المتحركة

Mobile Automata

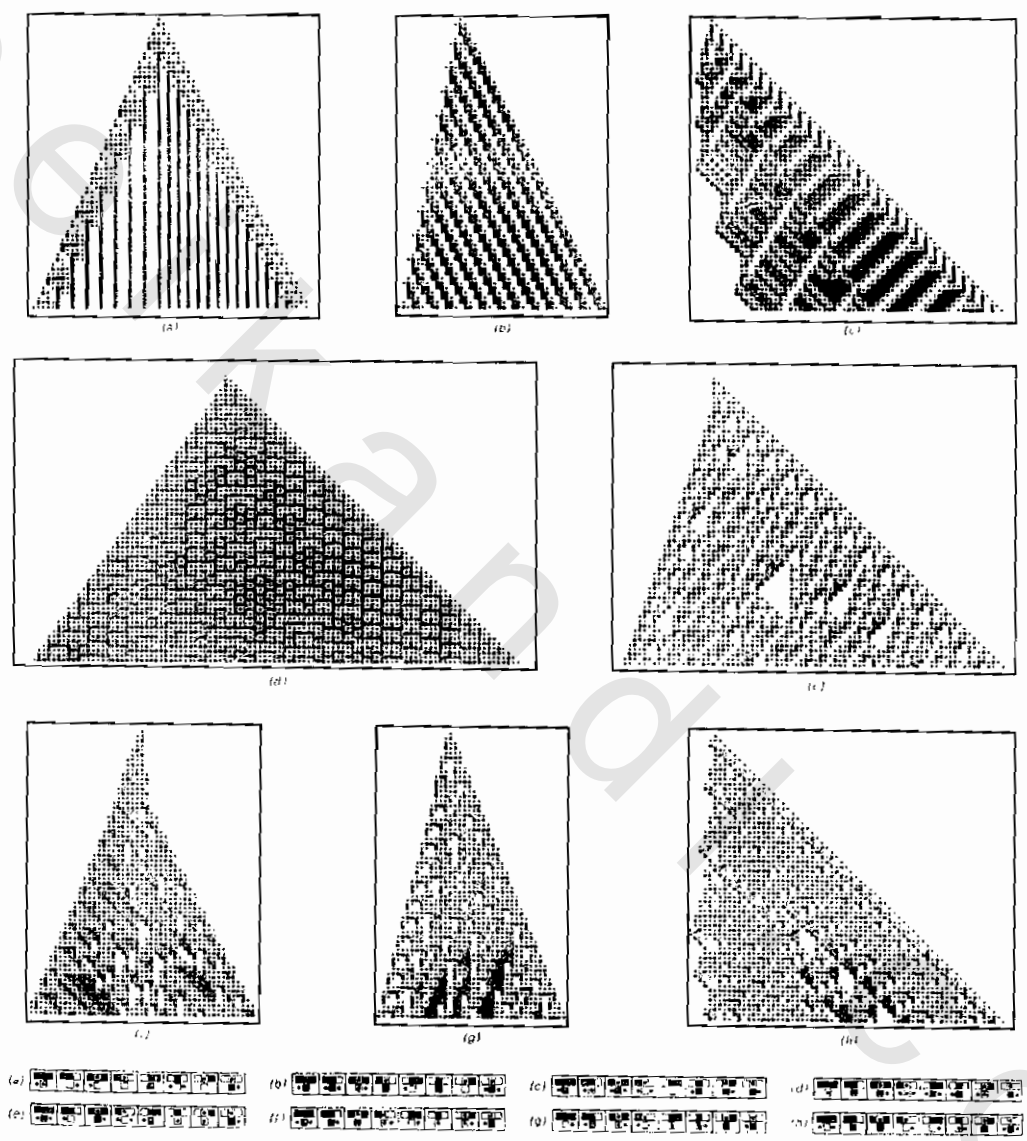
السمة الأساسية للأوتوماتا الخلوية أن ألوان الخلايا تتطور على التوازى مع كل خطوة .

إن الأوتوماتا المتحركة لا تختلف عن الأوتوماتا الخلوية سوى فى أن «الخلية النشطة» تتحرك حسب قواعد معينة . فى شكل ٢٨ (أ ، ب) نورد بعض هذه الأشكال .



شكل (٢٨ أ)

obeikandl.com

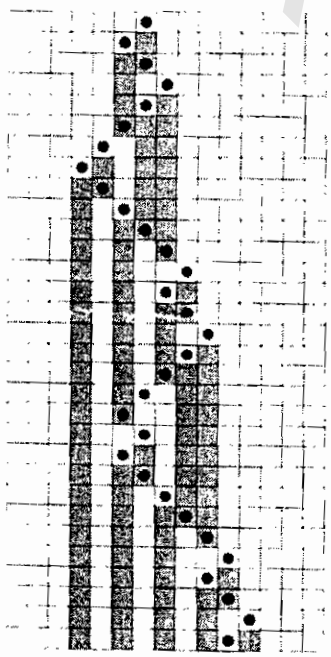


شكل (٢٨ ب)

من الأشكال التى أوردناها يمكن القول بأنه حيث لا فارق جوهرى بين نوعى الأوتوماتا الخلوية والمتحركة نجد أن السلوك المعقد يظهر أكثر فى الأوتوماتا الخلوية أكثر من الأوتوماتا المتحركة اللهم إلا إذا اخترنا عدة خلايا نشطة .

آلات تورينج
Turing Machines

فى تاريخ الحاسب الآلى ، كانت البرامج النظرية الوحيدة التى تم فهمها كانت مبنية على نوع من النظم تسمى «بآلات تورنج» آلات تورنج قريبة الشبه جداً بالأوتوماتا المتحركة حيث تتكون من خط من الخلايا تسمى بالشريط به خلية نشطة وحيدة تسمى «بالرأس» . لكن الاختلاف بين «ألات تورنج» و«الأوتوماتا المتحركة» يكمن فى أن الخلية النشطة لها عدة حالات تمثل بأسهم . تعتمد القاعدة فى «آلات تورينج» على حالة الرأس ولون الخلية وليس بأى حال على لون الخلايا المجاورة. ما زالت «آلات تورينج» تستخدم كثيراً فى علوم الحاسب النظرية . فى شكل (٢٩ أ ، ب ، جـ ، د) تورد بعض النتائج لآلات تورنج ذات اللونين الأسود والأبيض وكذلك ذات حالتين ممكنتين فقط للرأس .



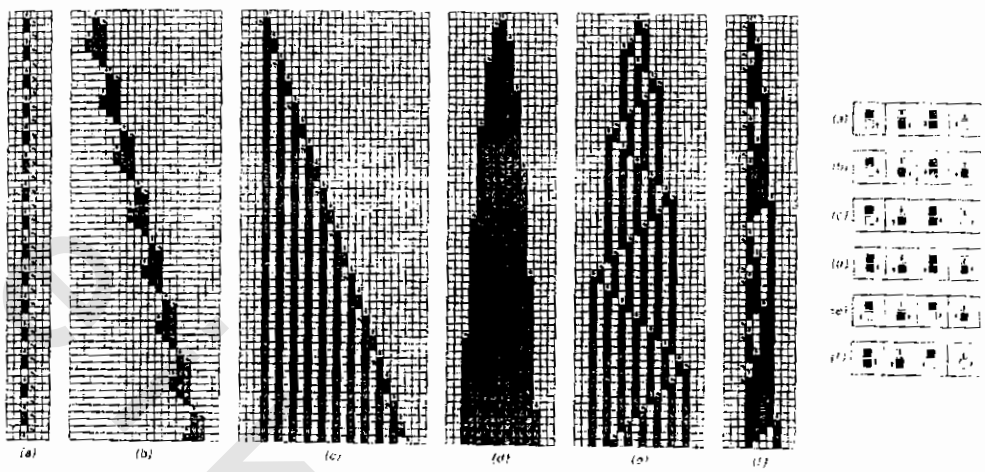
شكل (٢٩ أ)

النظم الاستبدالية
Substitution Systems

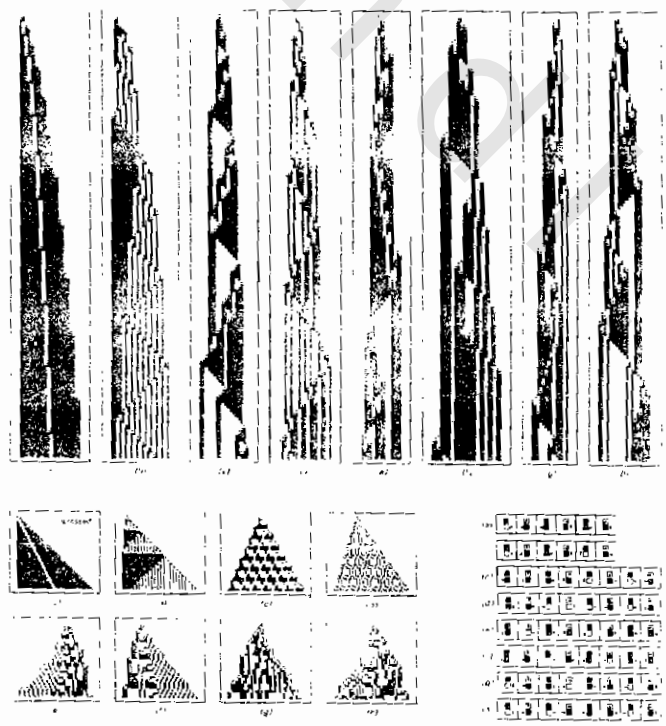
من السمات المميزة لكل من الأوتوماتا الخلوية والأتوماتا المتحركة ، وآلات تورينج أن عدد الخلايا وتنظيمها ثابت مع تغير قواعد تطورها ونموها .

فى النظم الاستبدالية يمكن تغيير عدد العناصر . فى شكل (٣٠ أ) نرى كيف

obeikandl.com

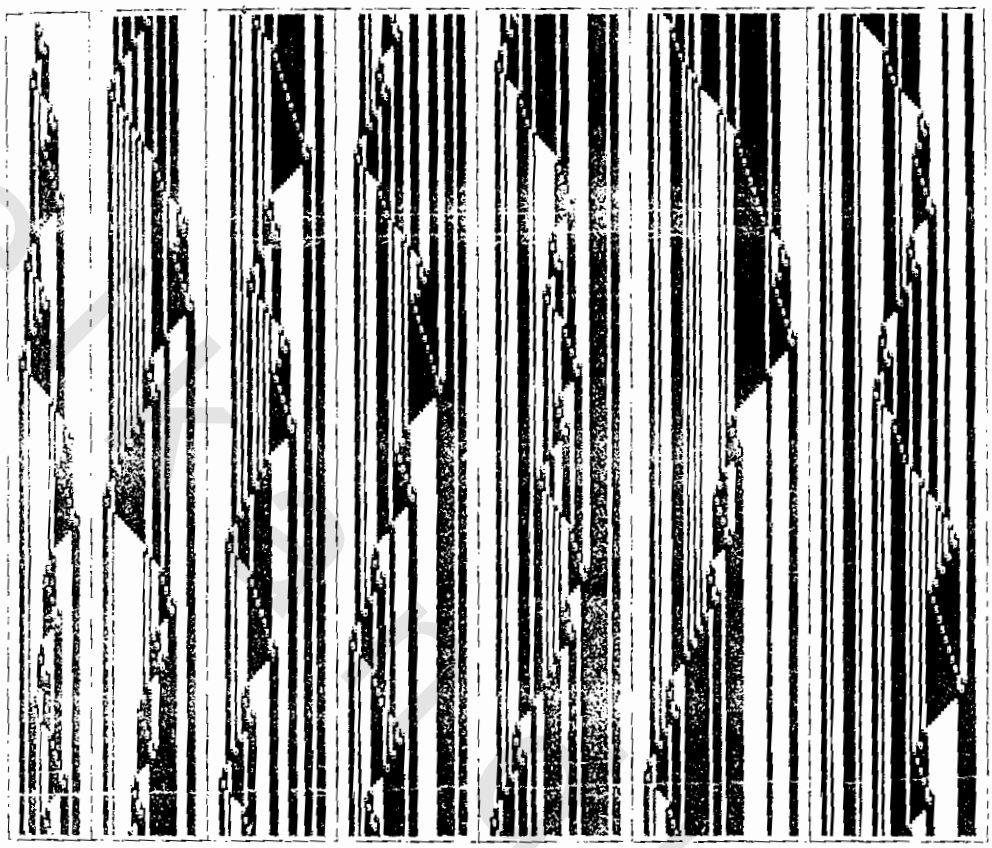


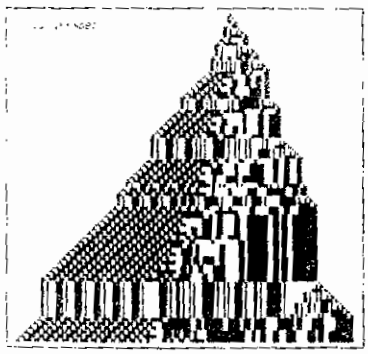
شكل (٢٩ ب)



شكل (٢٩ جـ)

obeikandl.com

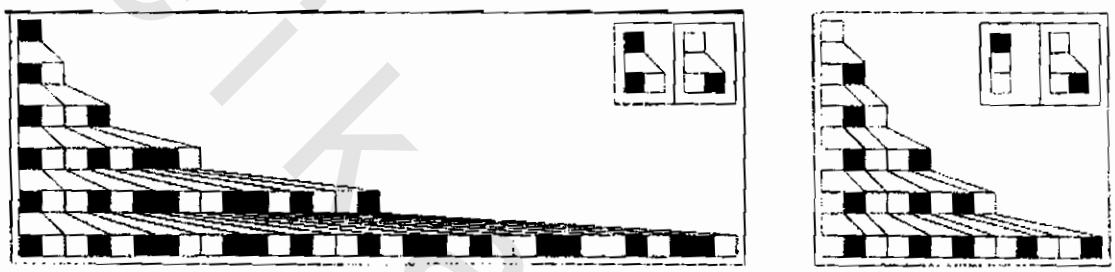




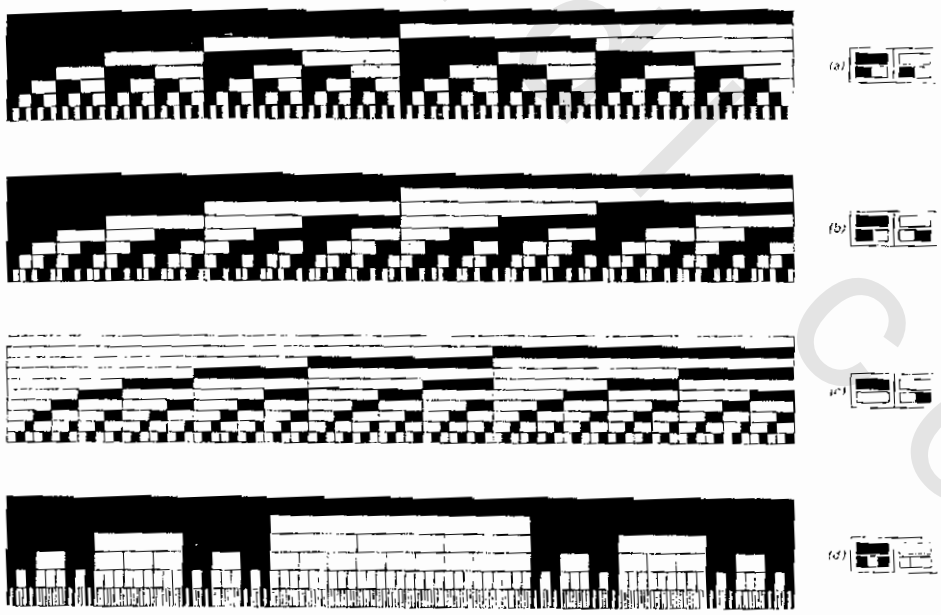
شكل (٢٩ د)

نستبدل كل خلية سواء كانت بيضاء أو سوداء بمجموعة من العناصر (block of elements) لا يعتمد على لون الخلايا المجاورة . بهذه الطريقة يزداد عدد العناصر فى كل خطوة وبشكل كبير جداً ، بحيث تصبح الأشكال وبسرعة كبيرة أشكالاً جامحة. مع هذا يمكن جعلها مقبولة إذا جعلنا فى كل خطوة يقل حجم العنصر كلما زاد عدد العناصر التى تستبدل .

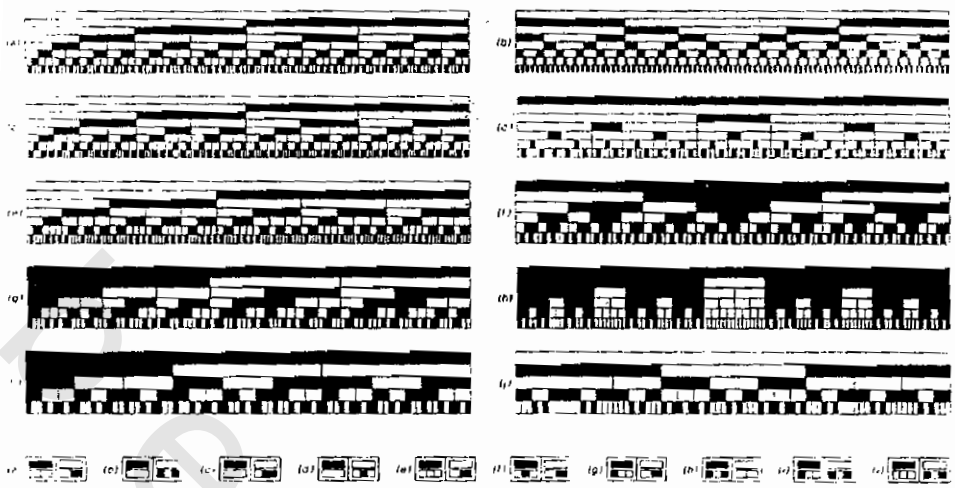
فى الرسوم المبينة فى شكل (٣٠ ب، جـ ، د ، هـ) نرى بعض الانتظام الذى يخلص إلى تجمع من الأشكال المتطابقة المتداخلة . يظهر هذا الانتظام فى الأشكال المتداخلة بشكل أوضح إذا رسمنا الأشكال على شكل فروع شجرة (شكل ٣٠ د).



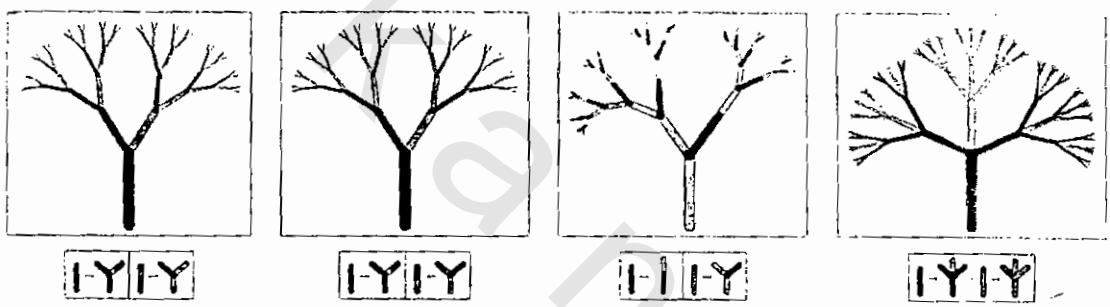
شكل ٣٠أ



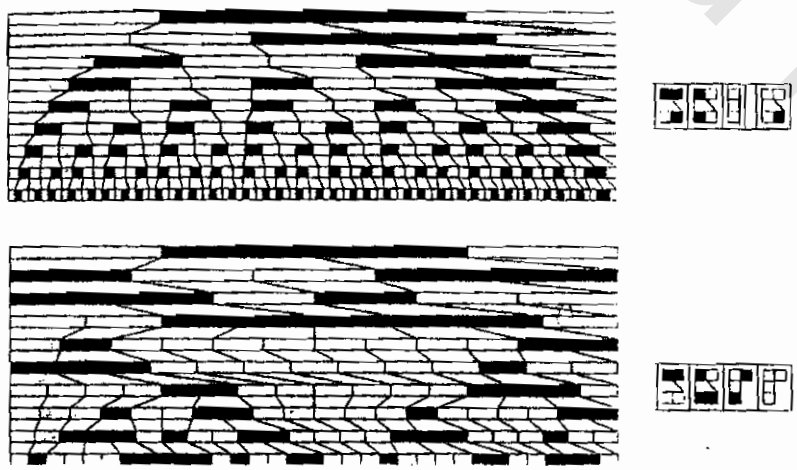
شكل ٣٠ ب



شكل ٣٠ جـ



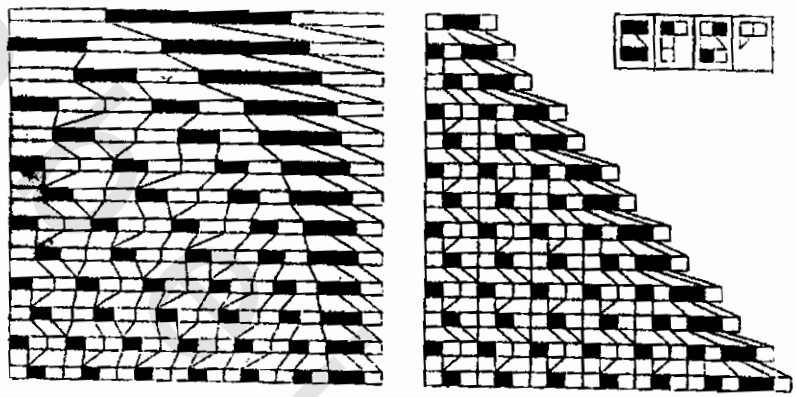
شكل ٣٠ د



شكل ٣٠ هـ

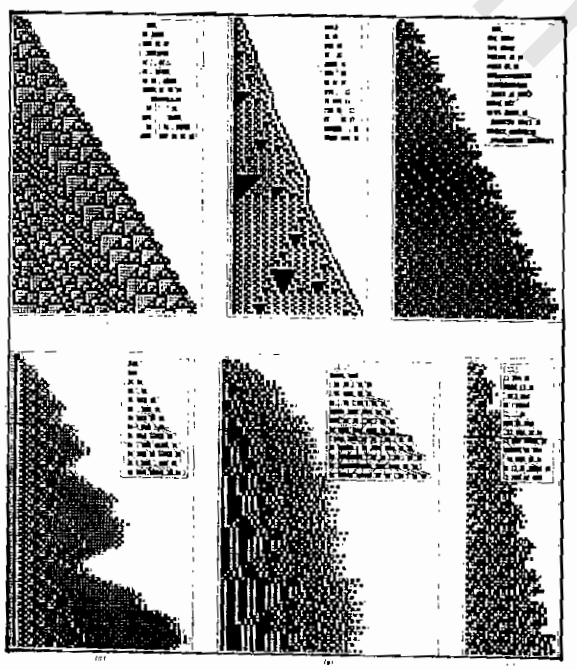
ثمة سمة أساسية (حيث أن القواعد لا تعتمد على لون الخلايا المجاورة لذا نرى أن الخلايا تنقسم بشكل متطابق .

لكى نحصل على تعقيد ما لابد أن نجعل الإستبدال يعتمد على لون خلية مجاورة على الأقل . الشكل (٣١ أ) يوضح هذه الطريقة .



شكل ٣١أ

إذا أضفنا اللون الرمادى نحصل على أشكال عديدة مثل التى نوردها فى شكل (٣١ ب) حيث نلاحظ ظهور بعض التعقيدات فى السلوك .



شكل ٣١ب

النظم الإستبدالية التتابعية :

كما نرى فى الأشكال الواردة فى شكل (٣١ ب) هناك بعض الانتظام ولكن تتجمع بعض الخلايا فى مجموعات (Patches) يتولد بعضها ويختفى البعض الآخر وهذه خاصية جديدة بها عشوائية كالتى ألفناها فى الأوتوماتا الخلوية .

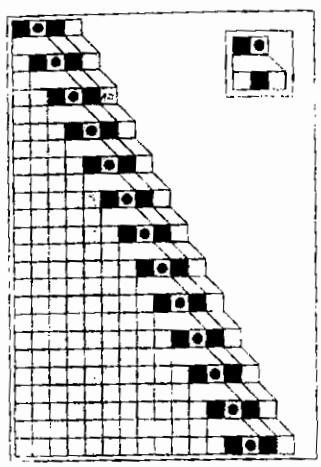
من بين كل النظم التى أوردناها حتى الآن لا يوجد ما يشابه البرامج الحاسوبية التقليدية التى تستخدم فى التطبيقات العملية. ولكن وجد أن هناك بعض من النظم الاستبدالية التتابعية تسلك سلوك البرامج الخاصة بالتعامل مع النصوص (Text editors) .

الخطوة الأولى لفهم هذا التشابه هو أن نعتبر النظم الاستبدالية التتابعية كتتابع من الخلايا بألوانها المختلفة وأنا كصف (String) من العناصر والحروف . بذلك يمكن التعبير عن حالة النظم الاستبدالية كصف من الحروف ABBBABA حيث ترمز A إلى عناصر بيضاء وحرف B إلى العناصر سوداء اللون .

تعمل النظم الاستبدالية التى وصفناها فيما سبق باستبدال كل عنصر من الصف (String) بمتتابعة جديدة من العناصر بحيث تتعامل هذه المتتابعات على التوازى مع كل العناصر الموجودة بالصف (String) وذلك فى كل خطوة .

لكن يمكن أيضاً اعتبار نظم استبدالية تتابعية والتى تعتمد على فكرة أن يتم مسح الصف (String) من اليسار إلى اليمين ، للبحث عن متتابعة معينة من العناصر . وبعد ذلك يتم استبدال المتتابعة الأولى التى تم العثور عليها . هذه المتتابعة هى الشيء المباشر المناظر لعملية (ابحث - و - استبدل) المتبعة فى محررات النصوص التقليدية (typical text editor) .

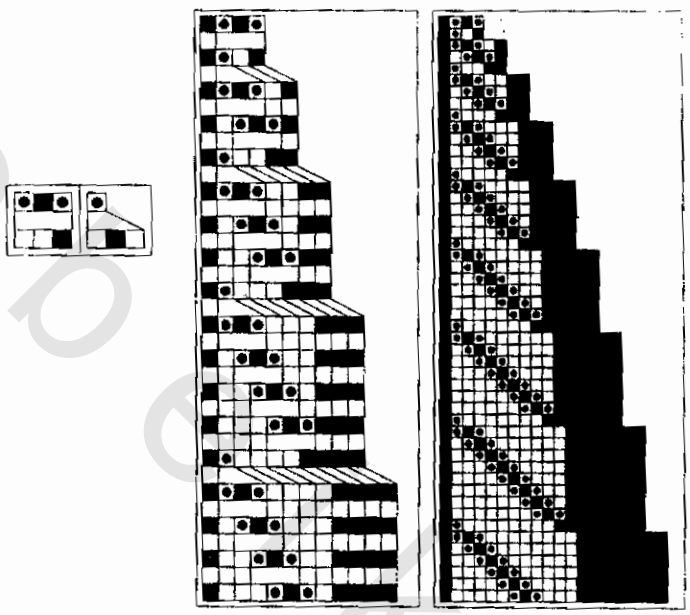
فى شكل ٣٢ نورد نظاما استبداليا تتابعيا والذى يتحدد بقاعدة أن تستبدل المتتابعة ذات الشكل BA التى يتم العثور عليها بالمتتابعة ABA .



شكل (٣٢)

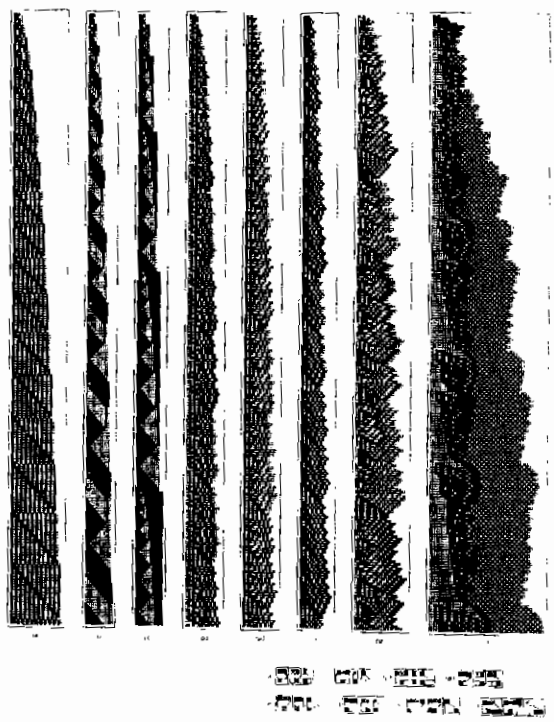
فى شكل (٣٣) نورد أشكالا لنظام استبدال تتابعى يسمح باستبدالين يتم الأول بمسح أول ثم مسح ثانى إذا تطلب الأمر ذلك .

obeikandl.com



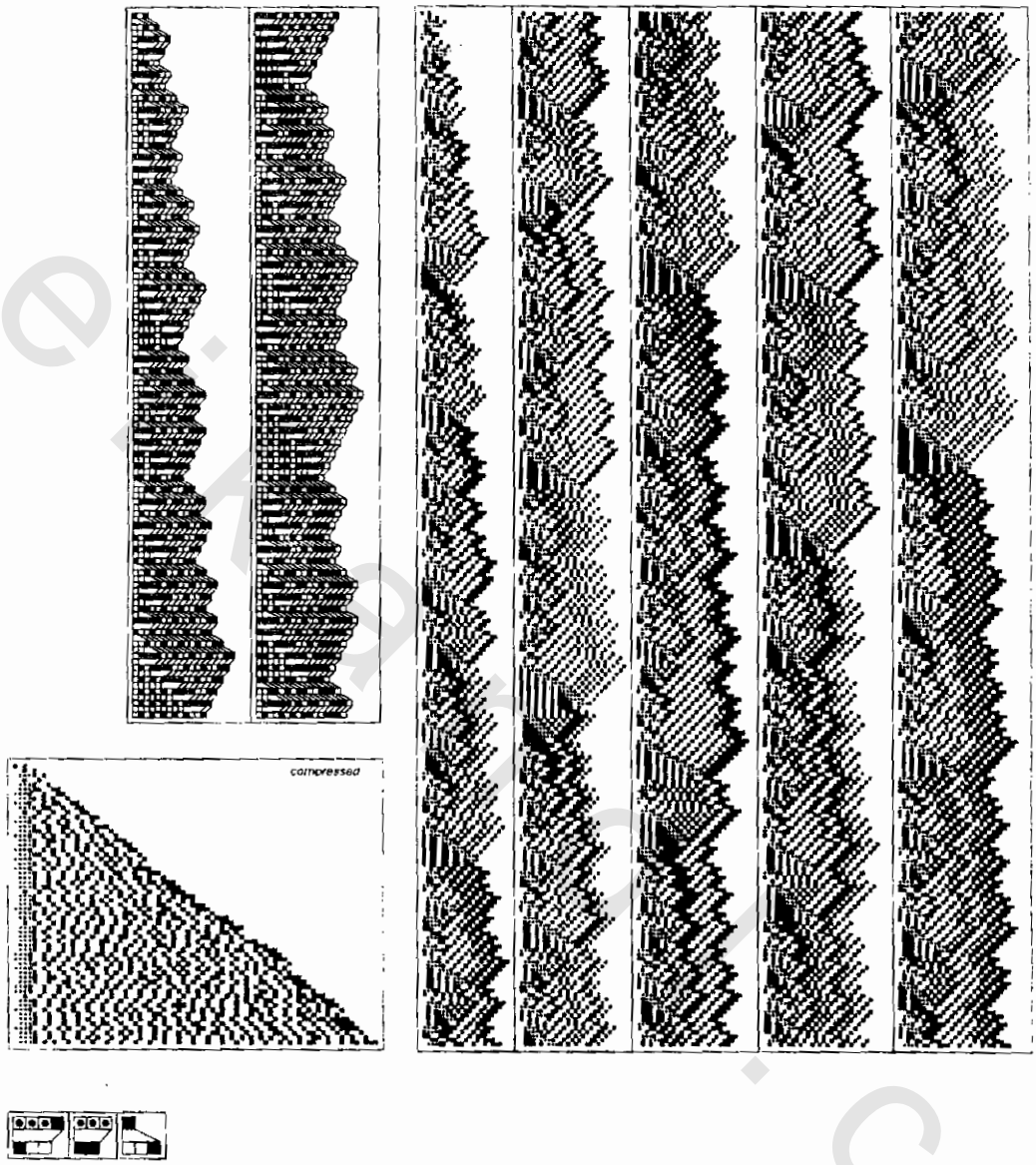
شكل (٣٣)

فى شكل (٣٤) نرى بعض الأمثلة التى تعطى سلوكا معقدا ذات استبدالين وكما نرى فهناك تكرارية وكذلك أشكال متداخلة .



شكل (٣٤)

فى شكل (٣٥) نرى نظما تسلك سلوكا شديد التعقيد رغم تشابهها مع محررات النص .



شكل ٣٥

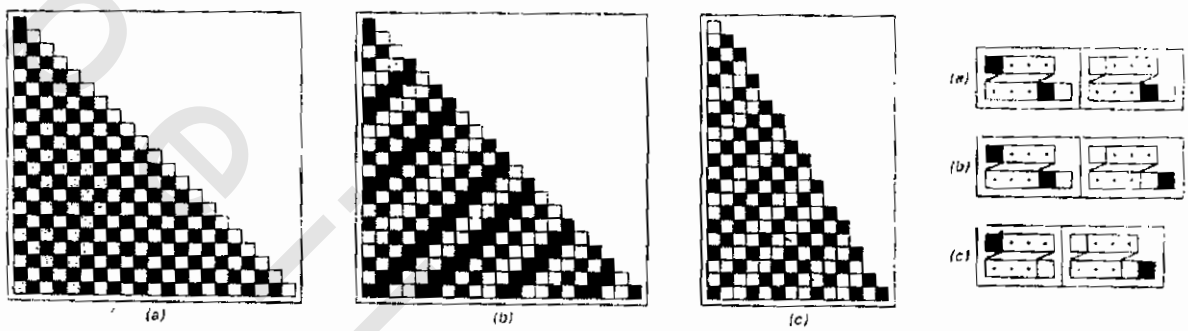
نظم الرقع
Tag Systems

هذا النظام هو دليل آخر على كون النظم البسيطة يمكن أن تسلك سلوكا شديد التعقيد .

يتكون نظام الرقع من متتابعة من العناصر ، يأخذ كل منها لونا مثل الأبيض أو الأسود . تقضى قواعد النظام بأنه عند كل خطوة يحذف عدد معين من العناصر من

بداية المتتابعة . بناء على ألوان هذه العناصر يوضع واحد من عدة مجموعات (blocks) ممكنة على نهاية المتتابعة .

فى شكل (٣٦) نورد أشكالا لمثل هذه النظم مع حذف عنصر واحد فقط . كما نرى يمكن أن نحصل على سلوك معقد رغم أن القاعدة بسيطة جداً .

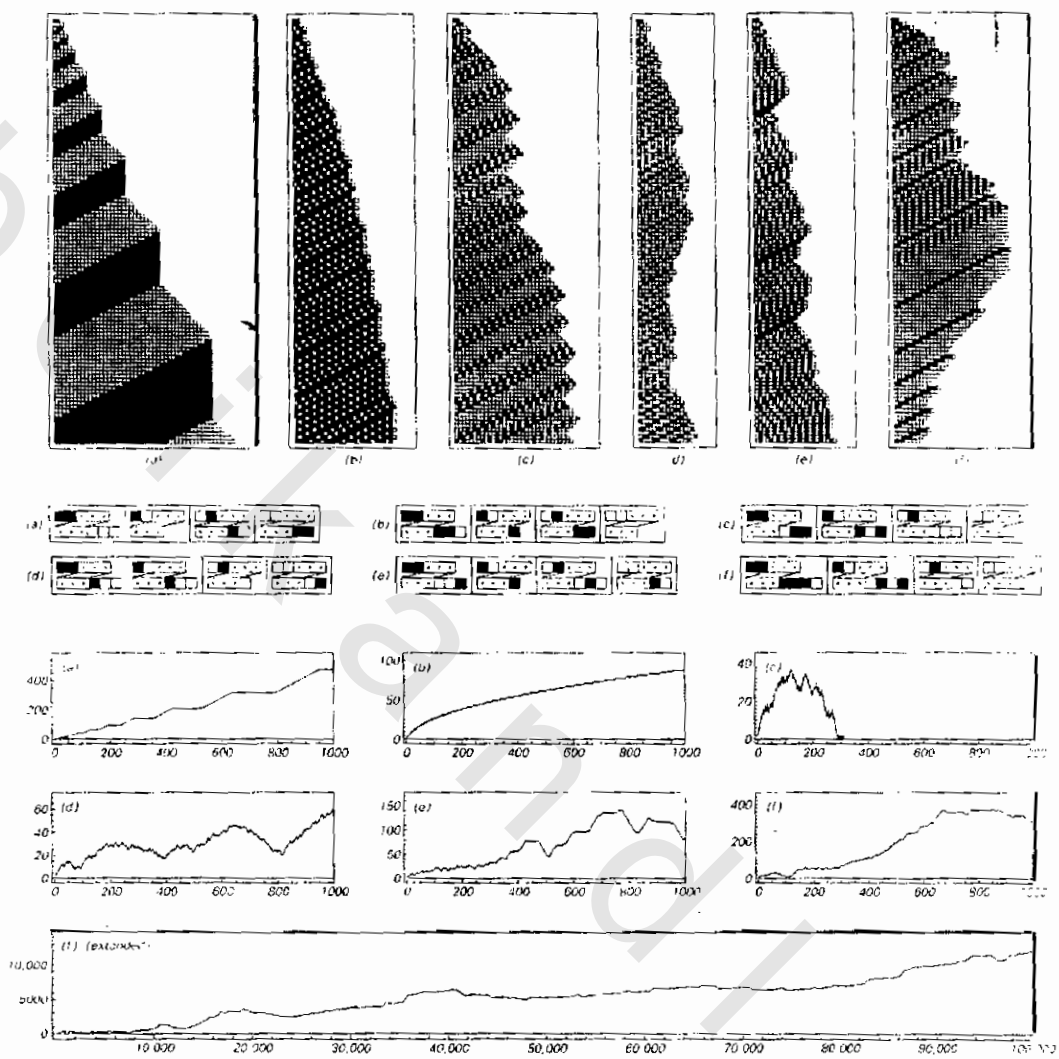


شكل ٣٦

من الواضح أن مثل هذا النظام شبيه جداً بنظام الاستبدال التتابعى مع إهمال دور الخلية المجاورة . بالتالى نحصل على أشكال بسيطة ذات طبيعة تكرارية وأشكال متداخلة .

ولكن إذا حذفنا عنصرين فى كل خطوة نحصل على أشكال ذات تعقيد شديد كما هو مبين فى شكل (٣٧) .

obeikandl.com

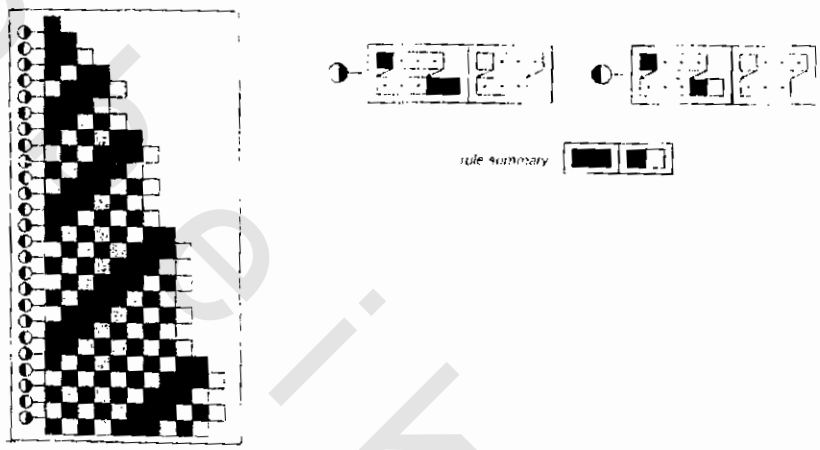


شكل (٣٧)

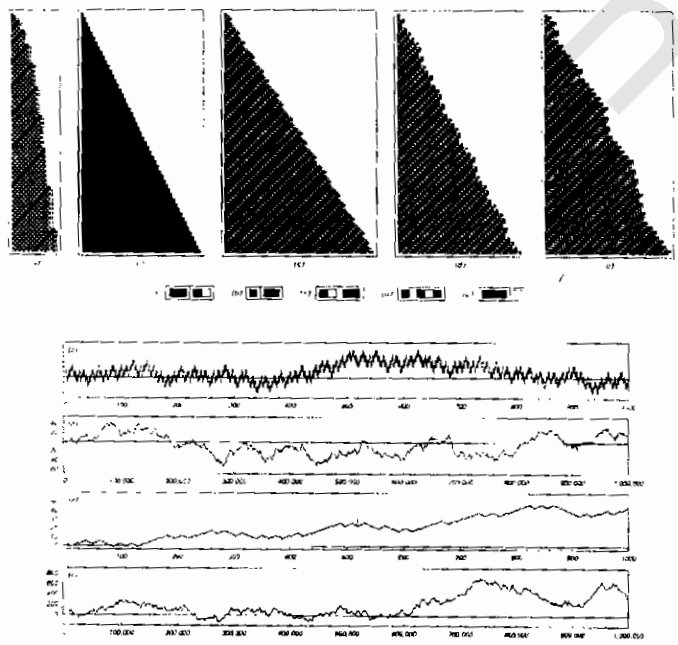
نظم الرقع الدورية
Cyclic Tag Systems

فى نظام الرقع لا نعرف مسبقا أى من المجموعات (blocks) سوف يضاف ، ولكن مع تغيير القاعدة تغييرا بسيطا بحيث يتحدد أى نوع من المجموعات (blocks) يضاف سوف نحصل على أشكال جديدة مختلفة . فى شكل (٣٨ أ ، ب ، جـ ، د ، هـ، و) نرى أشكالا عندما نحدد أى مجموعة (block) يضاف من نوعين اثنين فقط (لنأخذ مثلاً النوع الذى لونه الأسود) فى الشكلين (٣٨ ب ، جـ) نحصل

على سلوك بسيط . فى الشكل (٣٨ د) نرى سلوكا معقدا بعض الشىء . فى الشكلين (٣١ هـ ، و) نلاحظ أن المتتابعات تنمو بشكل أطول . ولكن إذا نظرنا إلى التقلبات الحادثة نلاحظ أنها عشوائية فى كثير من الجوانب .



شكل (٣٨ أ)



شكل (٣٨ ب ، جـ ، د ، هـ ، و)

آلات العد

Register Machines

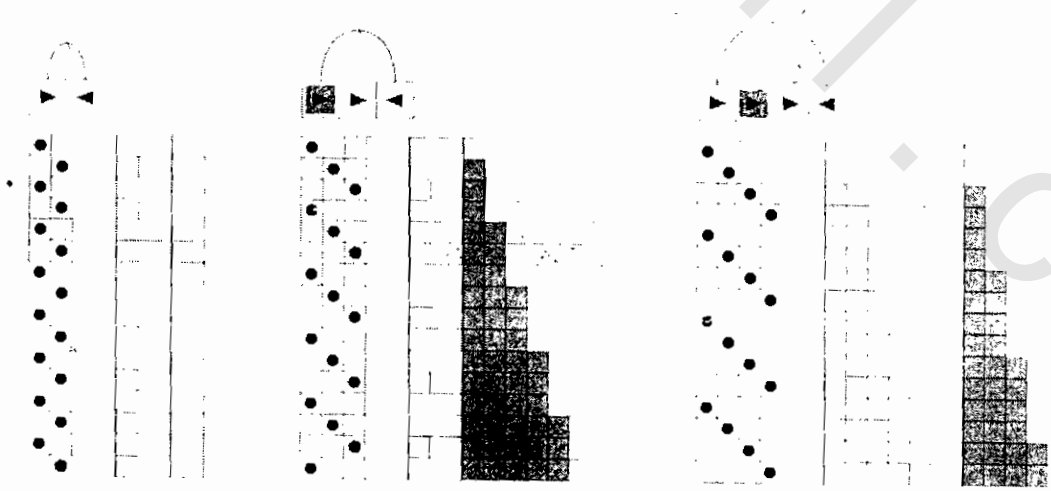
كل النظم التى ذكرناها فى هذا العرض حتى الآن ، بعيدة عن النظم المتبعة فى الحاسبات الإلكترونية . لكن آلات العد فى الواقع هى الأقرب إلى الحاسبات الإلكترونية بطبيعة تصميمها .

تتكون معظم الحاسبات الإلكترونية من مجموعة قليلة من العدادات (Registers) التى تنفذ بعض العشرات من الأوامر . فى أبسط صورها تتكون آلات العد من عـدادين يحفـظ كل منهـا عدداً (ليس المهم الآن حجمه) . وأمرين فقط (إضافة increment ، وحذف – قفز decrement - jump) ، هذا هو الجزء الأساسى فى عمل البرامج التطبيقية العملية . أمر الإضافة يعنى ازدياد الرقم المخزن بوحدة واحدة ، أما أمر الحذف يقوم بوظيفتين : أولاً يقوم بخفض الرقم المخزن بمقدار وحدة واحدة ثم يقفز إلى نقطة أخرى محددة فى البرنامج ليبدأ العمل مرة أخرى من تلك النقطة .

حيث أن الأرقام فى العداد لا يمكن أن تكون سالبة فإن العداد يتوقف عندما يصبح العدد المخزن صفرا ، ويستكمل العداد عمله بتنفيذ الأمر التالى .

يبدو أن هذا السلوك تفصيلاً فى وصف العمل لكنه ذو أهمية قصوى لأن هذه الخطوة تحدد كيف تغير هذه الآلات مساراتها أثناء تنفيذ البرنامج .

فـى شكـل (٣٩ أ) نورد ثلاث رسـوم تبين عمـل هذه الآلات حيث يمثل السهم → (إضافة) والسهم ← (حذف – قفز) . السمة الأساسية فى كل هذه الأشكال هى التكرارية . وجد أنه من بين ١٠,٥٥٢ نوع من هذه الآلات ذات البرامج التى تتكون من أربع أوامر أو أقل ، لا يعطى أى منها أى سلوك معقد .



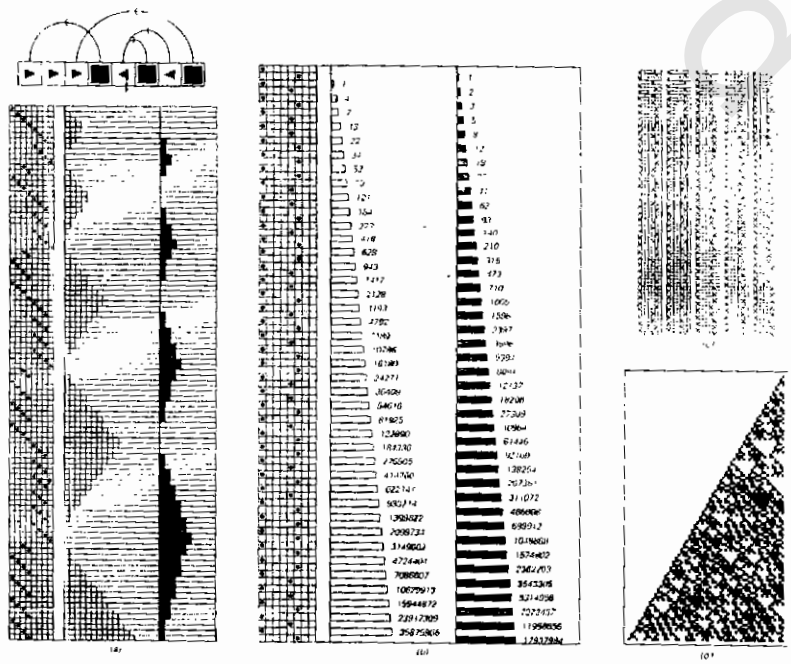
شكل (٣٩أ)

obeikandl.com

شكل (٣٩ ب)

لكن إذا أخذنا برامج ذات خمس أوامر ، نحصل على أشكال معقدة بعض الشيء كما هو مبين فى شكل (٣٩ ب) ، ورغم هذا نرى أن بكل هذه الأشكال بِنى منتظمة ومتداخلة .

نضيف إلى هذا أنه باستخدام سبع أوامر يوجد ٢٧٦,٢٢٤٣٧٦ برنامجا ممكنا والتى تعطى أشكالا أكثر تعقيدا بعض الشيء . كما هو مبين فى شكل (٣٩ جـ) نورد أشكالا نحوى تعقيداً واضحاً .

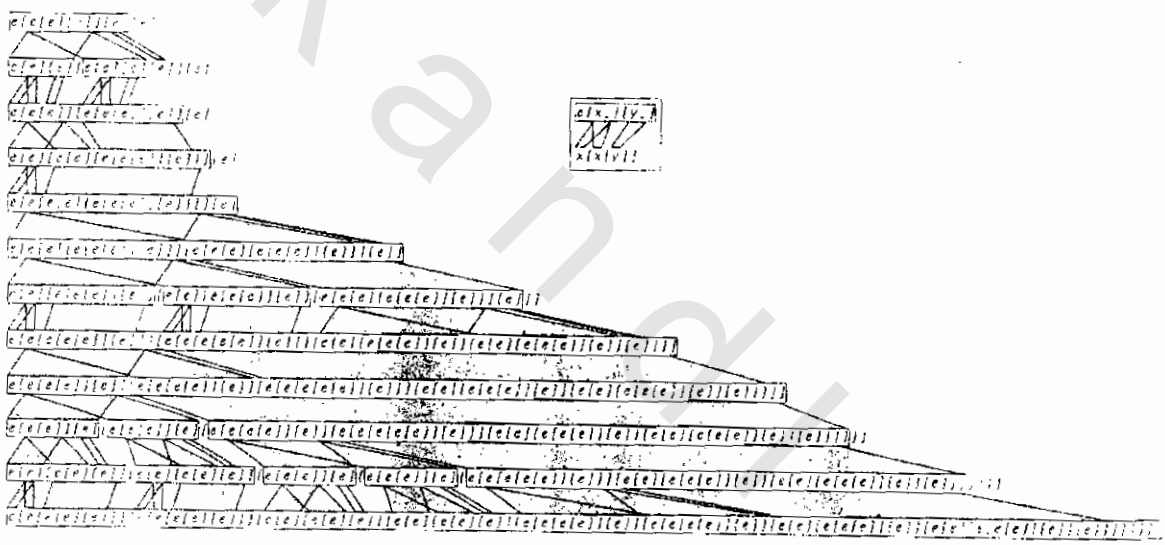


شكل (٣٩ جـ)

هنا يمكننا القول بأن آلات العد تستخدم برامج قريبة من البرامج ذات المستوى البدائى المستخدمة فى لغات الحاسبات مثل لغة سى (C) ، بازيك (BASIC) ، والجافا (Java) . من كل التجارب التي قمت بها توصلت إلى أن القليل جداً من البرامج من بين ملايين ممكنة هى التى تبدى سلوكا معقدا بعض الشيء أو تؤدى إلى سلوكيات عشوائية كما يظهر فى الرسوم المبينة فى شكل (٣٩ جـ) .

النظم الرمزية
Symbolic Systems

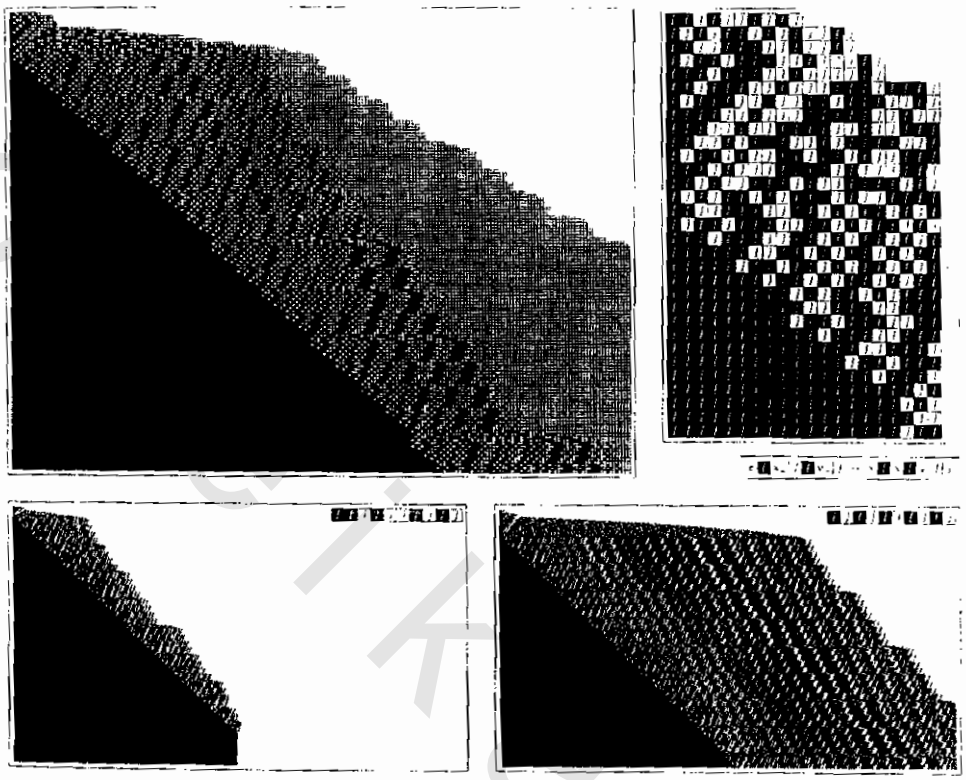
إن آلات العد تمثل أمثلة مثالية للبرامج البدائية ذات المستوى الأولى للغات الحاسبات . ولكن ما هى مايثماتيكا (Mathematica) ؟ ما هى الفكرة وراء استخدام التحويلات التى تتم على تعبيرات رمزية التى تقوم بها حزمة المائيماميكا ؟ هناك فكرة ظهرت فى ١٩٢٠ م خاصة بالمجمّعات (Combinators) ذات صلة بالتعبيرات ذات الشكل e [e] [e] [[e]] [e] [e] e ثم تجرى التحويلات على هذا التعبير باستخدام القواعد بشكل تكرارى مثل القاعدة e [x_] [y_] → x [x[y]] حيث x_ ، y_ تعود على أى تعبير .



شكل (٤٠ أ)

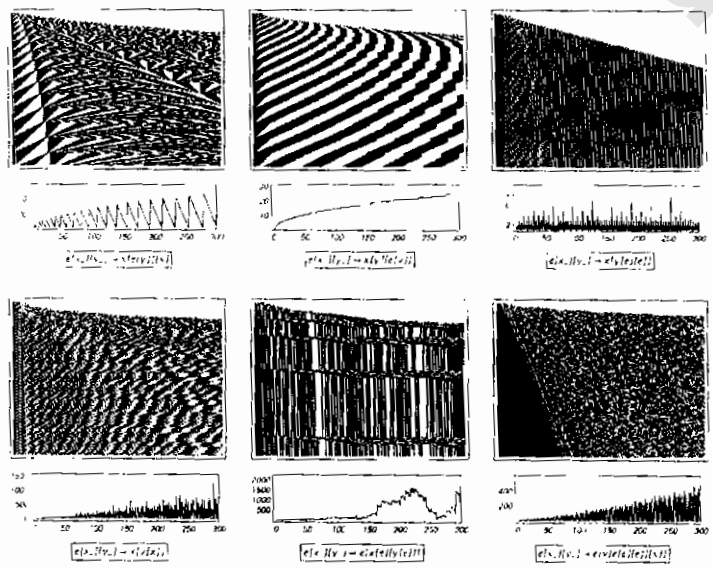
فى شكل (٤٠ أ) نرى مثالا لذلك . فى كل خطوة يقوم التحويل بعملية مسح من اليسار إلى اليمين وتطبيق القاعدة حيثما أمكن بدون تداخل (overlapping) .

تتحدد بنية هذه التعبيرات بتتابع فتح وإغلاق الأقواس . إذا عبرنا عن هذه الأقواس بمربعات سوداء وبيضاء على الترتيب نوضح الصورة المبنية فى شكل (٤٠ ب) نتيجة هذا السلوك .



شكل (٤٠ ب)

فى شكل ٤٠ جـ أيضاً نورد سلوك مثل هذه النظم بعد أن تستقر ولكن بعد عدد هائل من الخطوات .



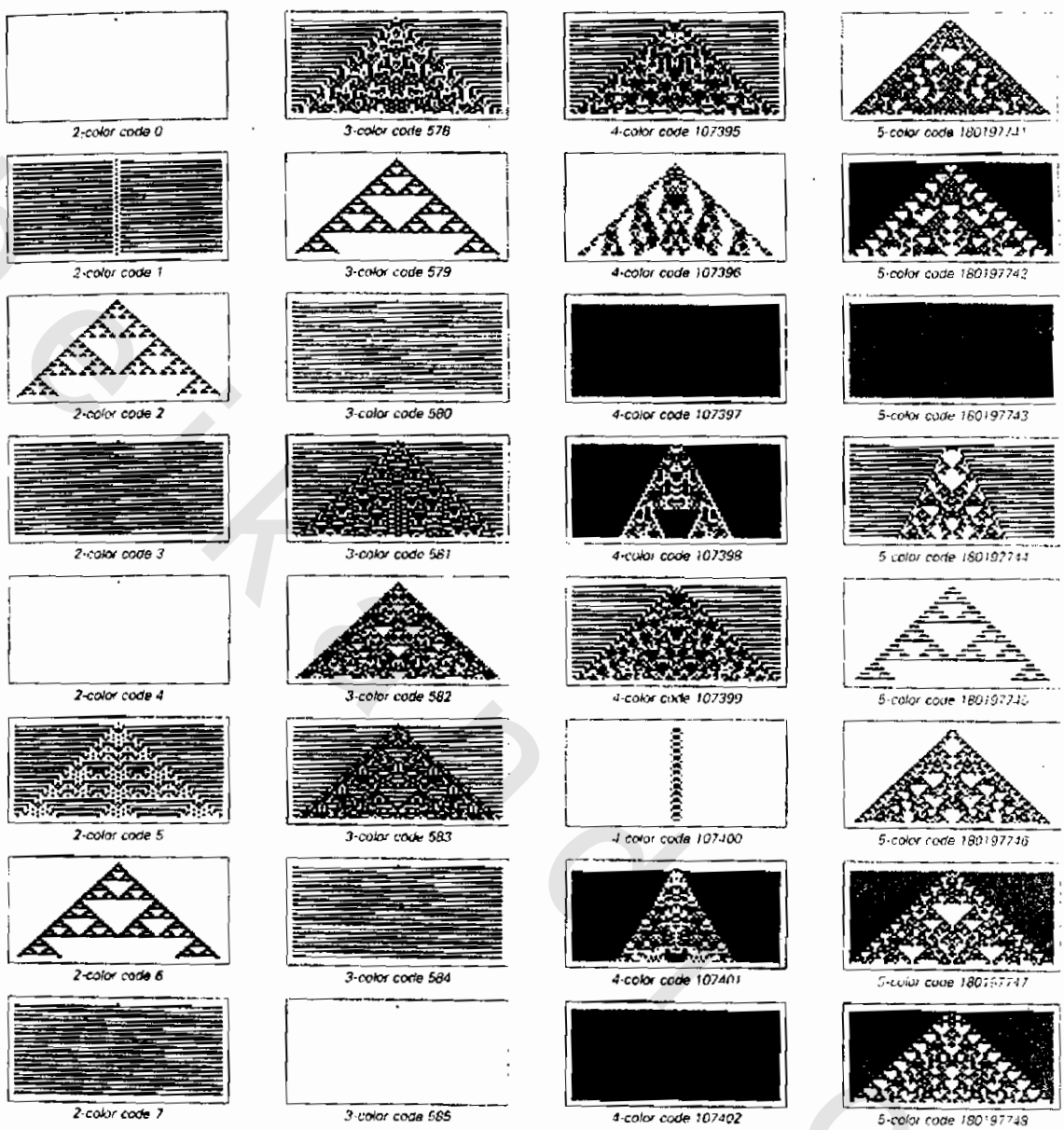
شكل (٤٠ جـ)

بعض الاستنتاجات :

فى الباب السابق توصلنا إلى أنه بالرغم من بساطة القواعد والشروط الابتدائية ، تفضى بعض «الأوتوماتا الخلوية» إلى سلوك معقد تماماً . يوحى هذا بأن هذه الخاصية سمة خاصة «للأوتوماتا الخلوية» ، ولكن من الواضح أن هناك نظما أخرى كثيرة كما هو واضح من هذا الباب . السمة الأخرى التى يمكن ذكرها أنه بالنسبة «للأوتوماتا الخلوية» فإنها تتميز بأن عناصرها مرتبة بشكل صارم تماماً ، وتتغير على التوازى مع كل خطوة . ولكن أيضاً فى النظم الاستبدالية ورغم عدم وجود نظام صارم فى ترتيب العناصر ، وكذلك فى النظم المتحركة لا نشترط أن تتغير العناصر على التوازى ، نحصل على سلوك شديد التعقيد .

من كل هذا نخلص إلى أن خاصية التعقد سمة شاملة (Universal) ولا تعتمد على كثير من التفاصيل الخاصة بكل نظام . كذلك إذا كانت القواعد بسيطة نحصل على أشكال تكرارية خالصة . أما إذا وضعنا صعوبة بسيطة فى القواعد نحصل عادة على أشكال متداخلة . لكى نحصل على سلوك بالغ التعقيد لابد وأن نتخطى حدا معنيا من الصعوبة فى القواعد التى تحكم سلوك النظام .

ولكن لابد ألا ننساق وراء هذا الاستنتاج ، فالصعوبة التى نتحدث عنها هنا ليست بالصعوبة البالغة . من المهم جداً أن نذكر أن إضافة صعوبات إلى القواعد المستخدمة لا يعنى بالضرورة زيادة السلوك تعقيداً ، وليس هذا بالضرورة ما يحدث كما هو مبين فى شكل (٤١) .


2-color code 0
3-color code 578
4-color code 107395
5-color code 180197741
2-color code 1
3-color code 579
4-color code 107396
5-color code 180197742
2-color code 2
3-color code 580
4-color code 107397
5-color code 180197743
2-color code 3
3-color code 581
4-color code 107398
5-color code 180197744
2-color code 4
3-color code 582
4-color code 107399
5-color code 180197745
2-color code 5
3-color code 583
4-color code 107400
5-color code 180197746
2-color code 6
3-color code 584
4-color code 107401
5-color code 180197747
2-color code 7
3-color code 585
4-color code 107402
5-color code 180197748

شكل (٤١)