الباب الثانى

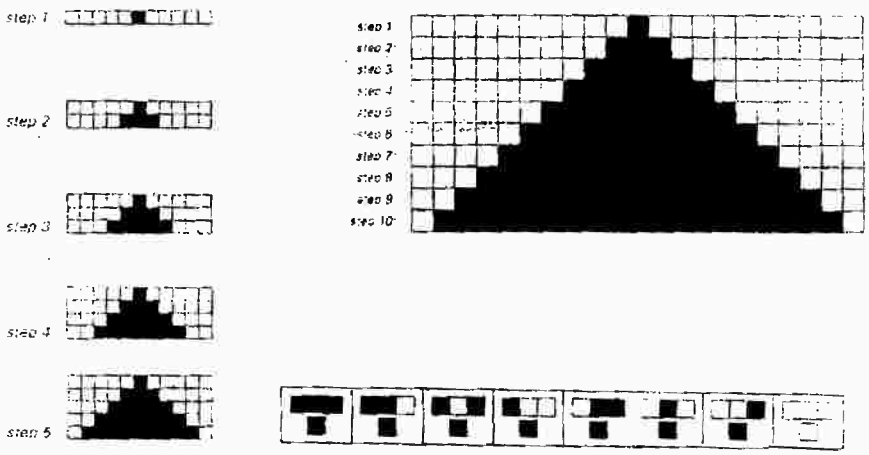
التجربة الفيصل (Crucial Experiment)

ما هو سلوك البرامج البسيطة :

عادة ما توضع البرامج لتنفيذ عملية معينة وبغرض محدد ، ولكن فكرتى الأولى الأساسية كانت «ماذا يحدث إذا وضعنا برنامجا دون تحديد غرض محدد لكى يصل إليه» . ترى ما هو سلوك مثل هذه البرامج ؟

سوف أعطى عدة أمثلة بسيطة فى مجال «الأوتوماتا الخلوية» ، وفى الحقيقة هى تلك البرامج التى بدأت فى دراستها فى بداية الثمانينات .

من أهم سمات هذه البرامج أنه يمكن متابعتها بشكل مرئى (على شاشات الحاسب) . فى الرسم المصاحب (شكل ٣) نرى مثالا لبرنامج بسيط كيف يتطور خلال عشر خطوات .

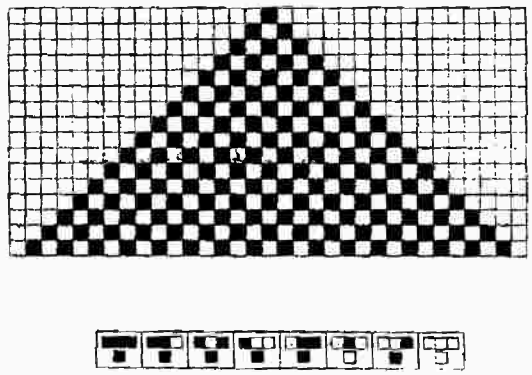


شكل (٣) (قاعدة ٢٥٤)

فى هذا الأتوماتون الخلوى الذى أوردناه كانت القاعدة أن الصف العلوى يعطى كل الأشكال الممكنة للخلية المركزية وجارتيها المباشرتين فى الصف السفلى ويتحدد لون الخلية المركزية فى الخطوة التالية حسب القاعدة التالية : يتحدد لون الخلية المركزية (سوداء أو بيضاء) حسب لون الخلية المركزية السابقة وجارتيها المباشرتين. فى هذا المثال بالتحديد تنص القاعدة على أن الخلية المركزية تكون سوداء إذا كانت الخلية المركزية السابقة أو إحدى جارتيها المباشرتين كانت سوداء .

يظهر المثال السابق أننا إذا بدأنا بخلية مركزية سوداء فى الخطوة الأولى نحصل على الشكل السابق المتدرج .

لكن يمكننا إضافة تعديل بسيط على القاعدة : تكون الخلية سوداء إذا كانت إحدى جاراتها سوداء فى الخطوة السابقة (شكل ٤ أ).

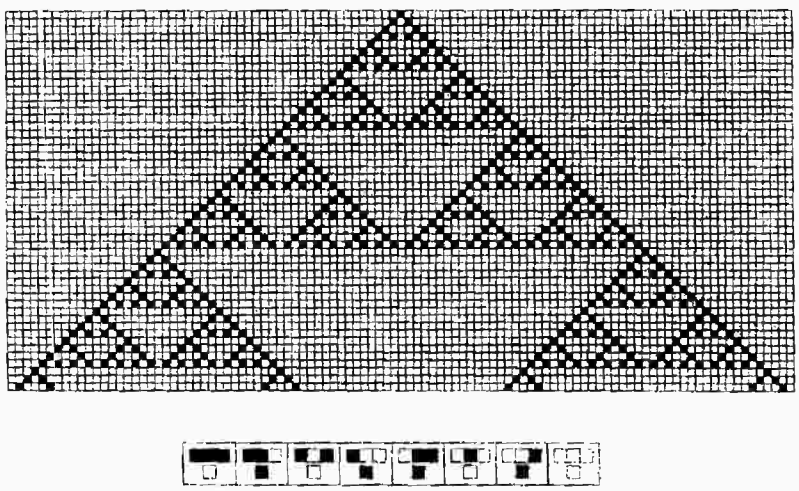


شكل (٤ أ) (قاعدة ٢٥٠)

كما ترى من الشكلين السابقين القاعدتان بسيطتان والنتائج بسيطة .

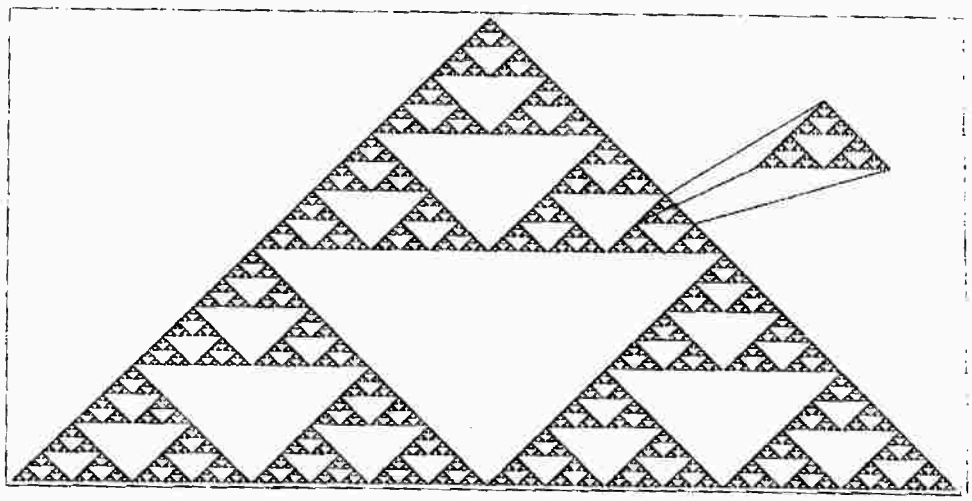
لننتقل الآن إلى ما سوف يدهشنا .

لنغير القاعدة قليلاً : تكون الخلية سوداء إذا كانت الخليتان السابقتان سوداء ولكن الشكل غير بسيط ويحوى أشكالاً متداخلة ، وكل ذلك فى خمسين خطوة فقط (شكل ٤ ب) .



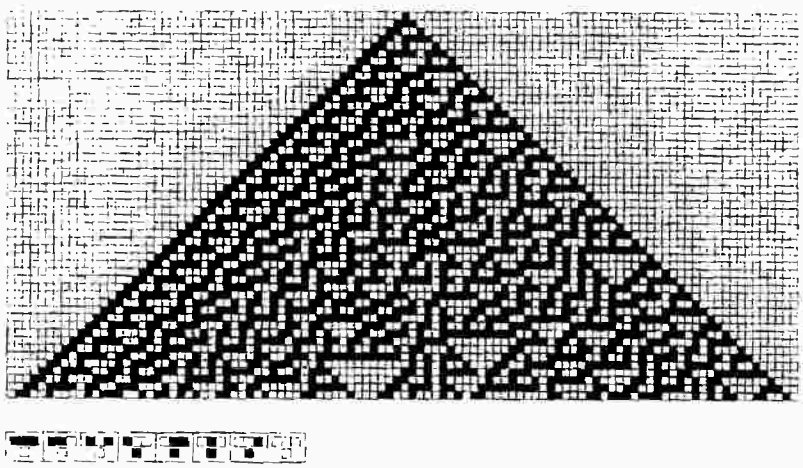
شكل (٤ ب) (قاعدة ٩٠)

إذا أجرينا خمسمائة خطوة نحصل على شكل (٥) حيث لا نميز الخلايا ولكن نحصل على شكل غريب يحوى أشكالا متداخلة وكل عنصر هو نسخة من الشكل الكامل .

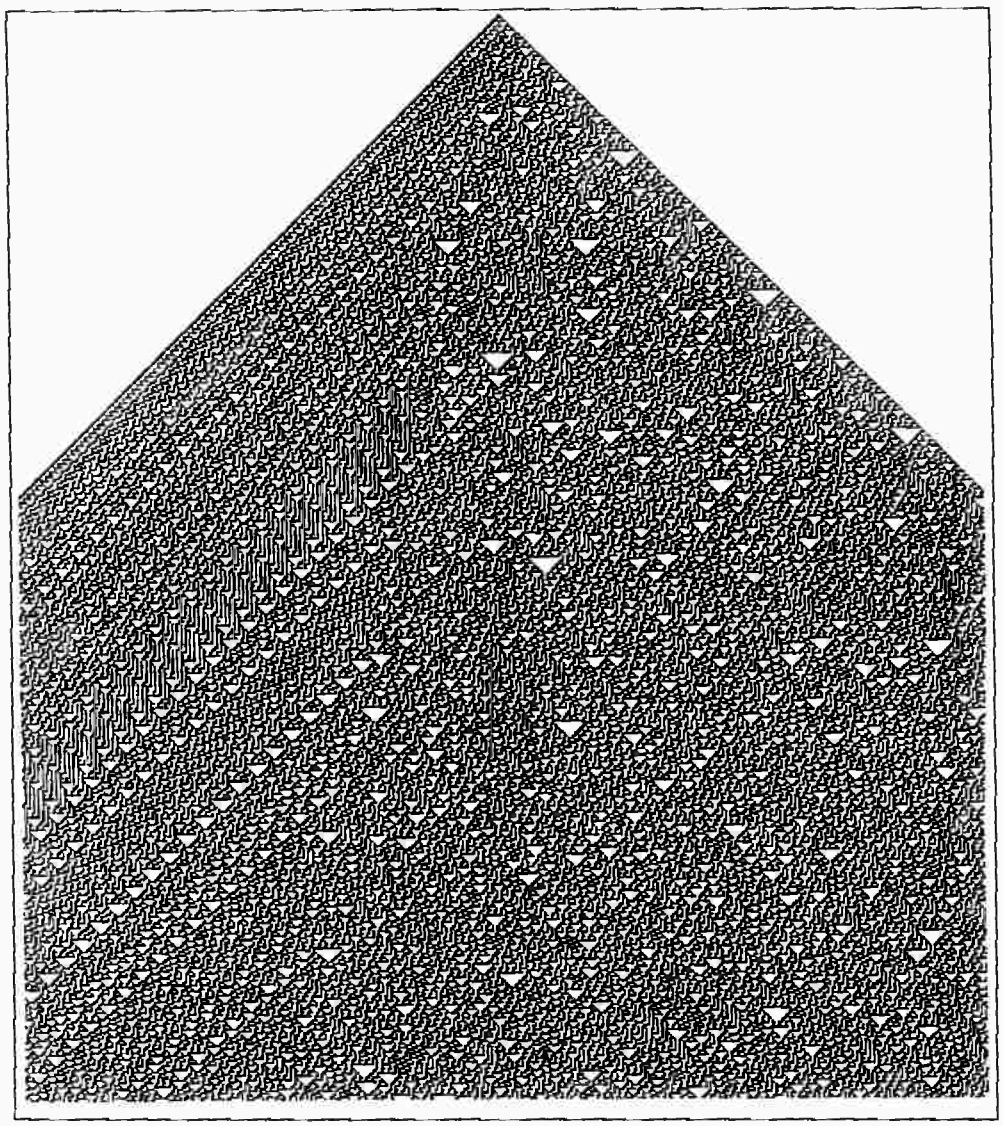


شكل (٥) (قاعدة ٩٠)

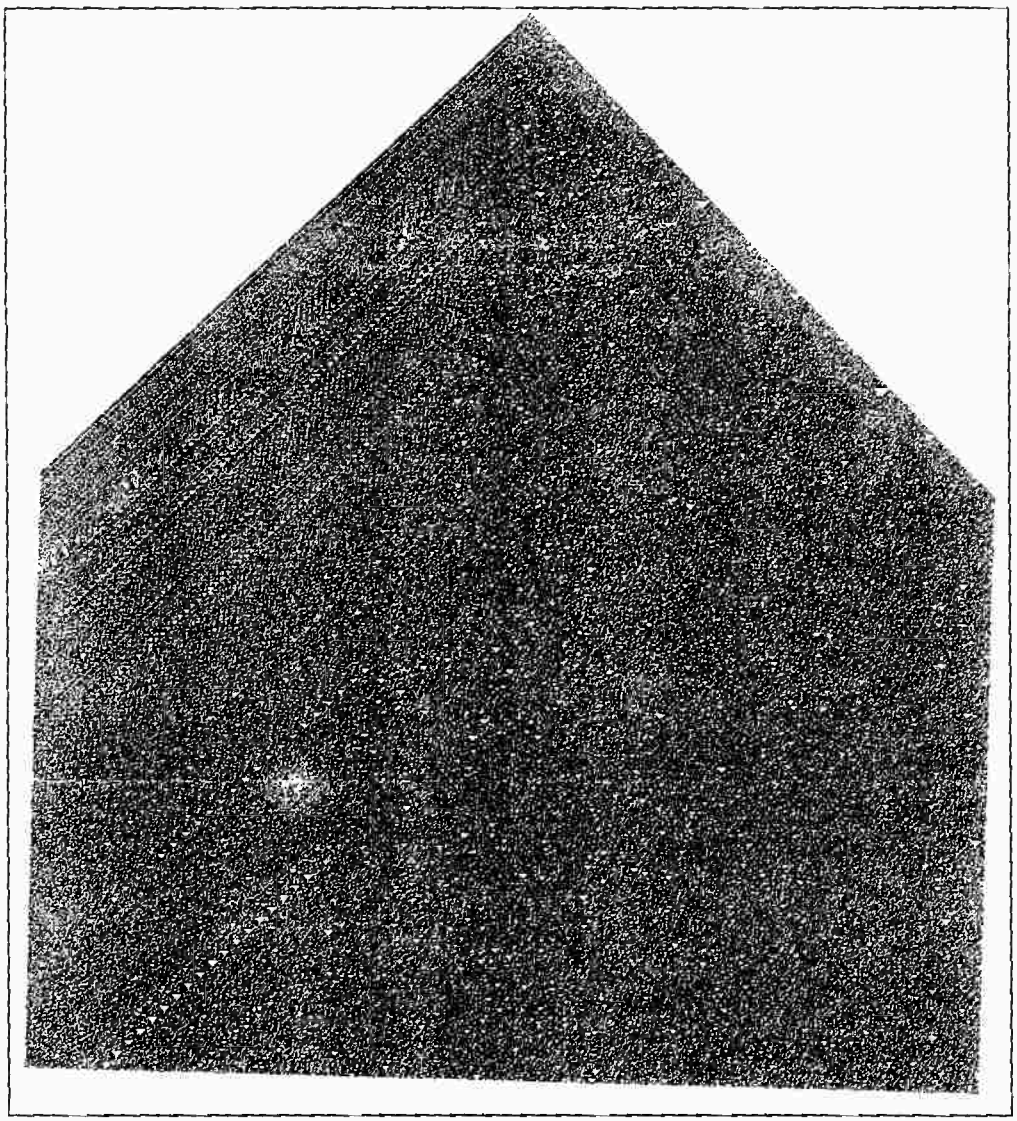
والآن لننتقل إلى شيء يثير دهشة أكبر . إذا أضفنا تغييراً بسيطاً فى القاعدة كالتالى : انظر إلى الخلية نفسها وإلى جارتها اليمنى إذا كانا بيضائتين فى الخطوة السابقة خذ لون الجارة اليسرى . إذا لم يتحقق ذلك ، خذ اللون المضاد بهذه القاعدة البسيطة نحصل على شكل (٦) .



شكل (٦) (قاعدة ٣٠)



شكل(٧)



شكل(٨)

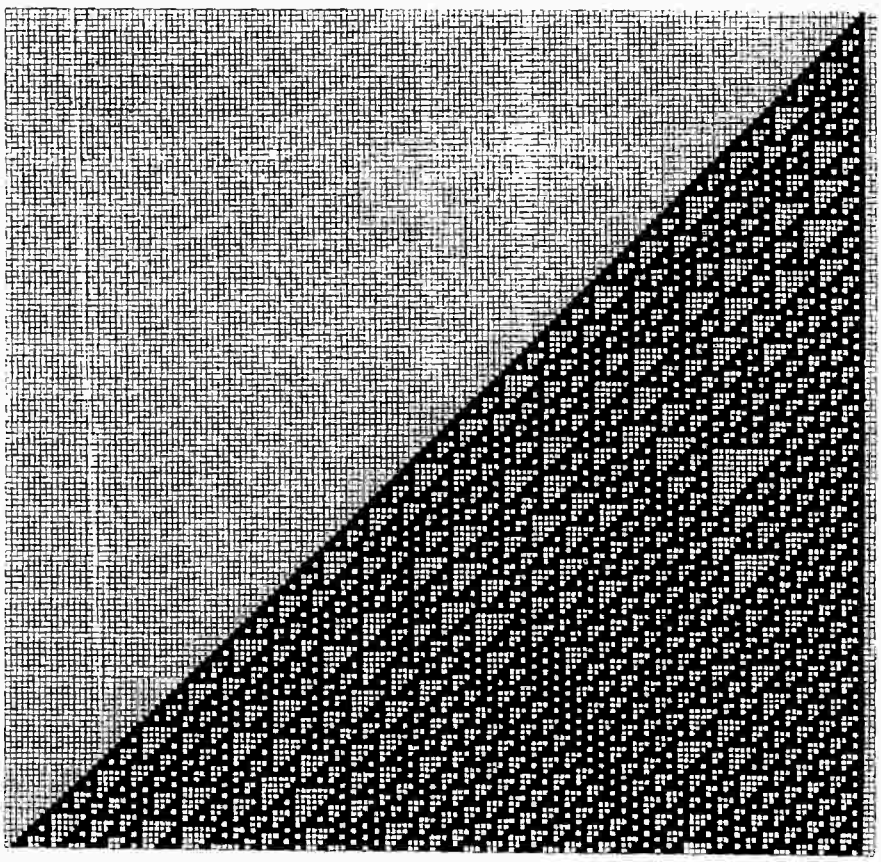
كما نرى أنه فى خمسين خطوة فقط حصلنا على شكل شديد التعقيد وغير متماثل . ربما كان هذا هو أهم اكتشاف صادفته فى بداية عملى .

هنا السؤال المهم – من أين ظهر هذا التعقيد الشديد : القاعدة التى استخدمناها بسيطة، وبدأنا بخلية واحدة سوداء!!! أى أن الشروط الابتدائية من أبسط ما يمكن !!

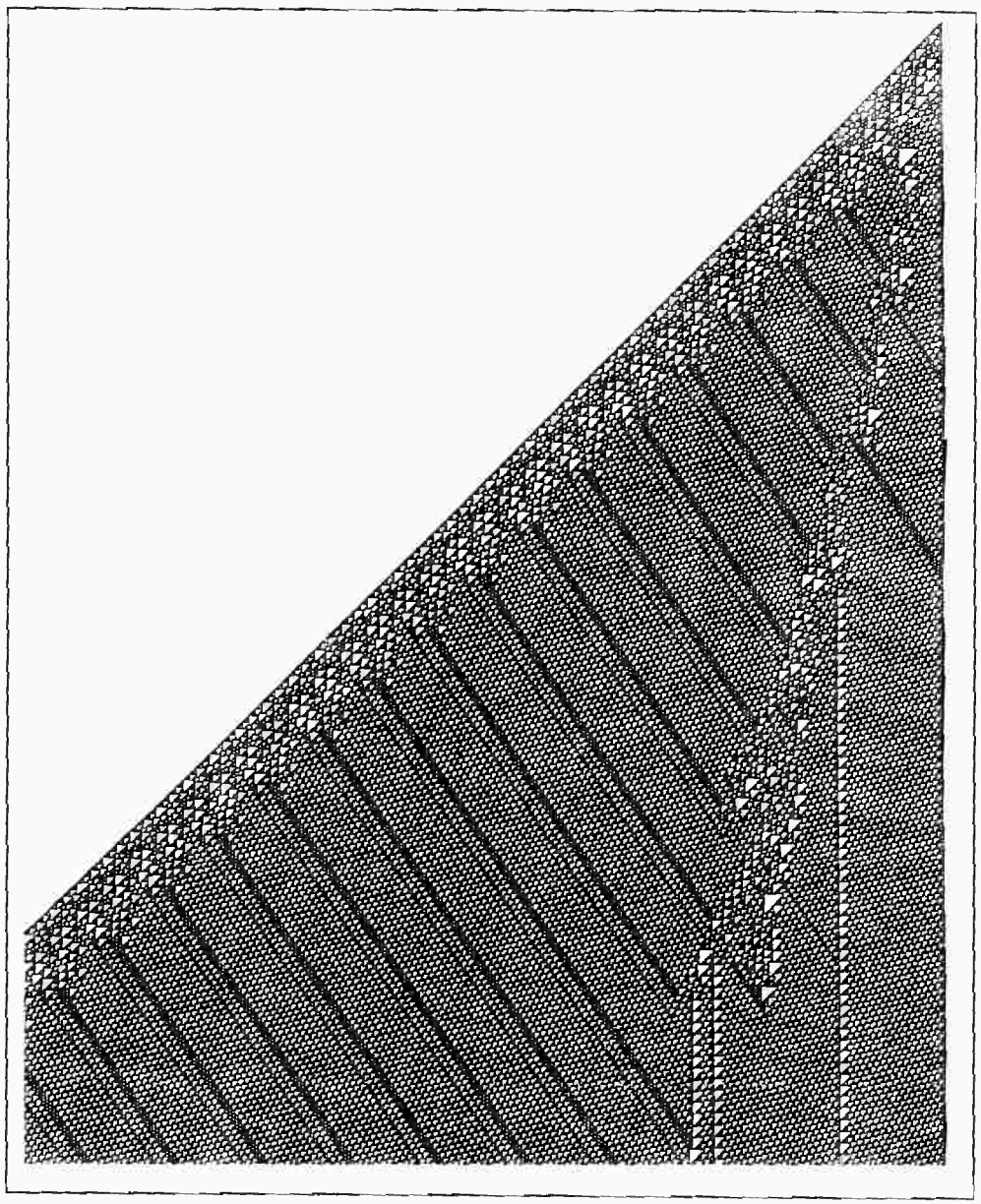
هنا مربط الفرس والحجر الأساسى لكل هذا النوع «الجديد من العلم» – مع بساطة القواعد فى البرنامج وبساطة الشروط الابتدائية يمكن أن يظهر البرنامج مع ازدياد الخطوات سلوكا شديد التعقيد .

كما نرى فى شكلى (٧) ، (٨) يظهر تعقيدا أكبر وأكبر مع زيادة الخطوات ، كما يظهر عدم تماثل فى الشكل غير متوقع .

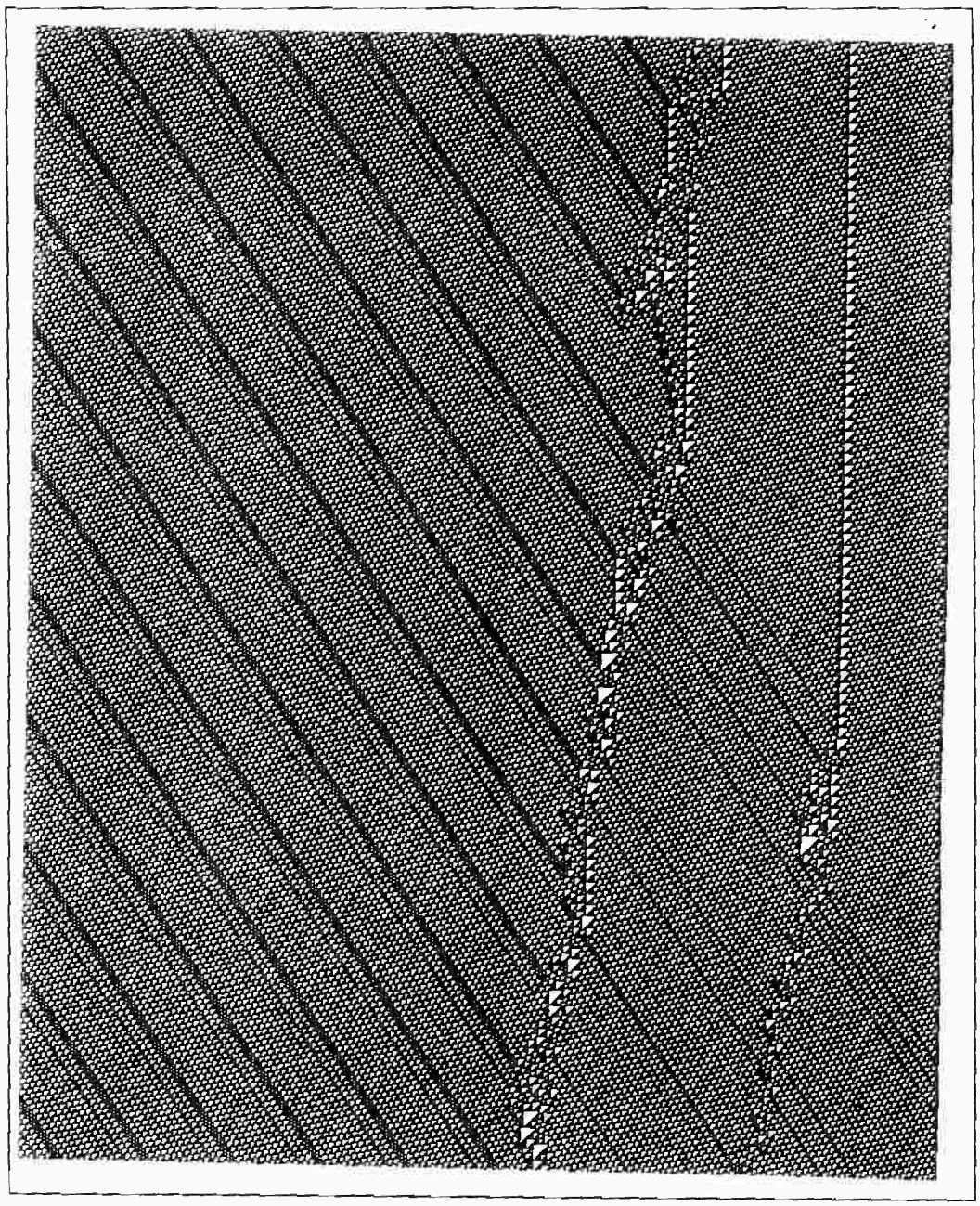
فى شكل (٩) نورد ناتج قاعدة مختلفة (القاعدة ١١٠) وهى أن تكون الخلية سوداء إلا إذا كانت الخلية وجارتاها لهما نفس اللون ، أو إذا كانت الخلية اليسرى سوداء والخلية نفسها وجارتها اليمنى كانتا بيضائتين .



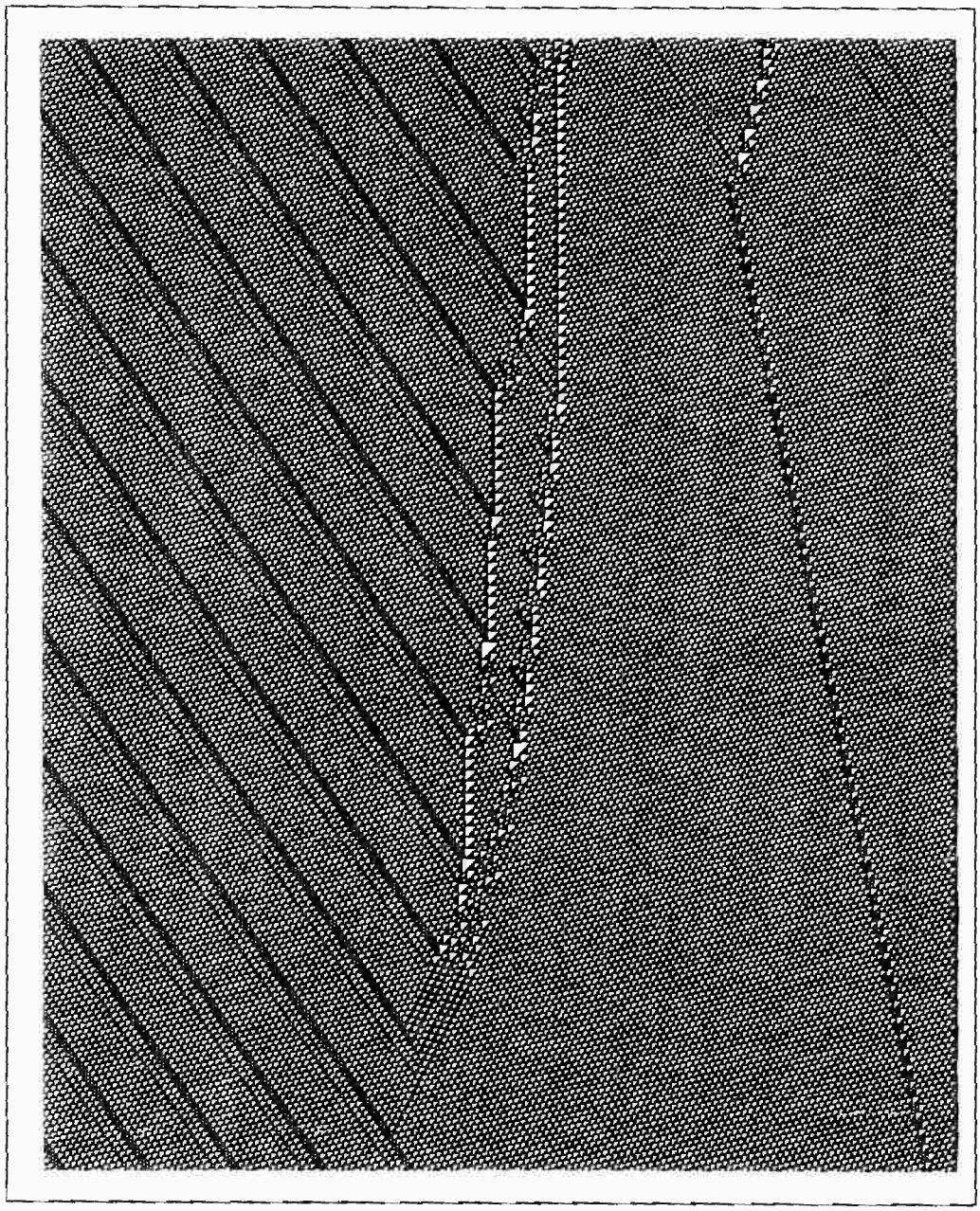
شكل (٩) القاعدة (١١٠) (١٥٠ خطوة)



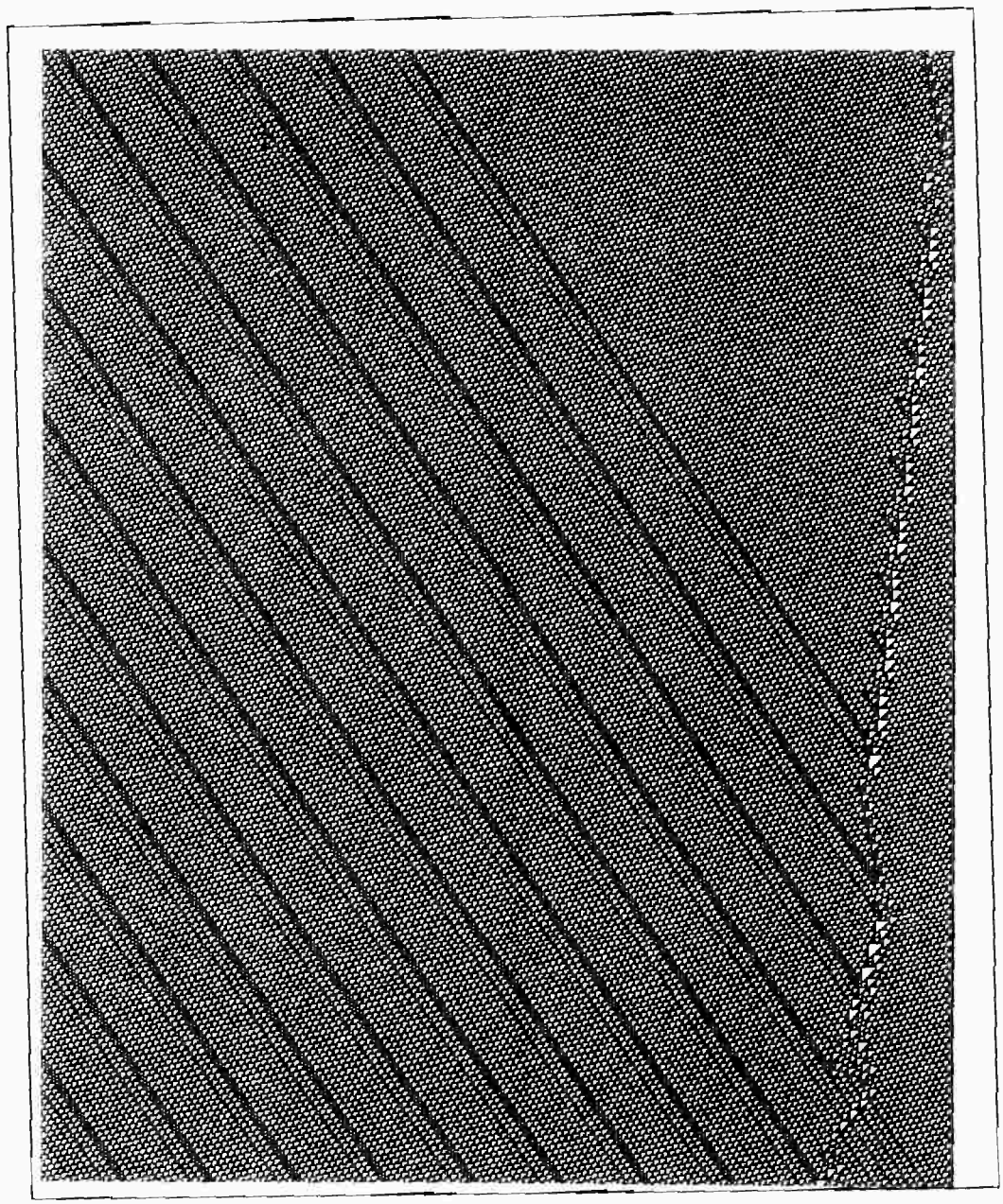
شكل ١٠ (القاعدة ١١٠) – (٧٠٠ خطوة)



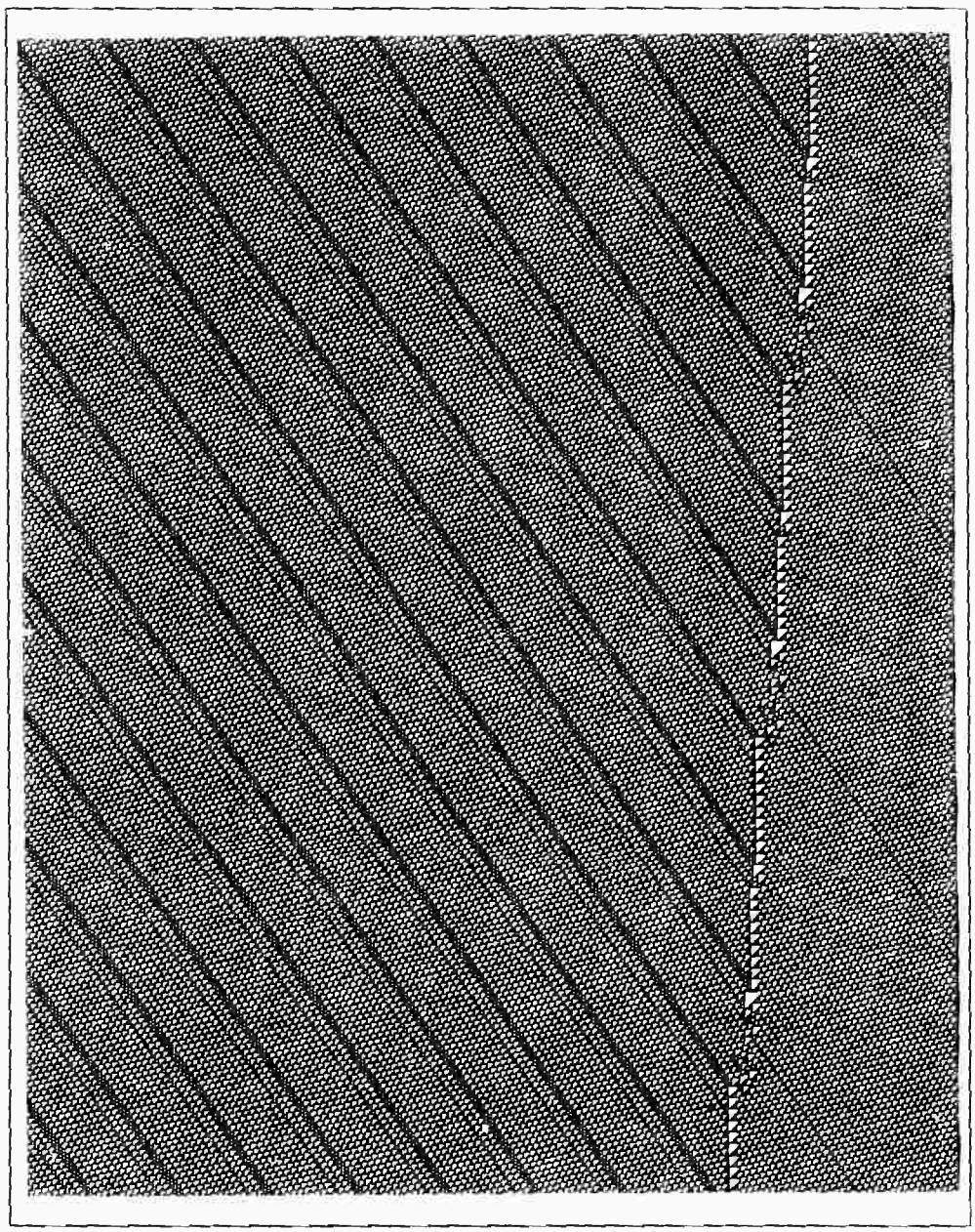
شكل(١١)



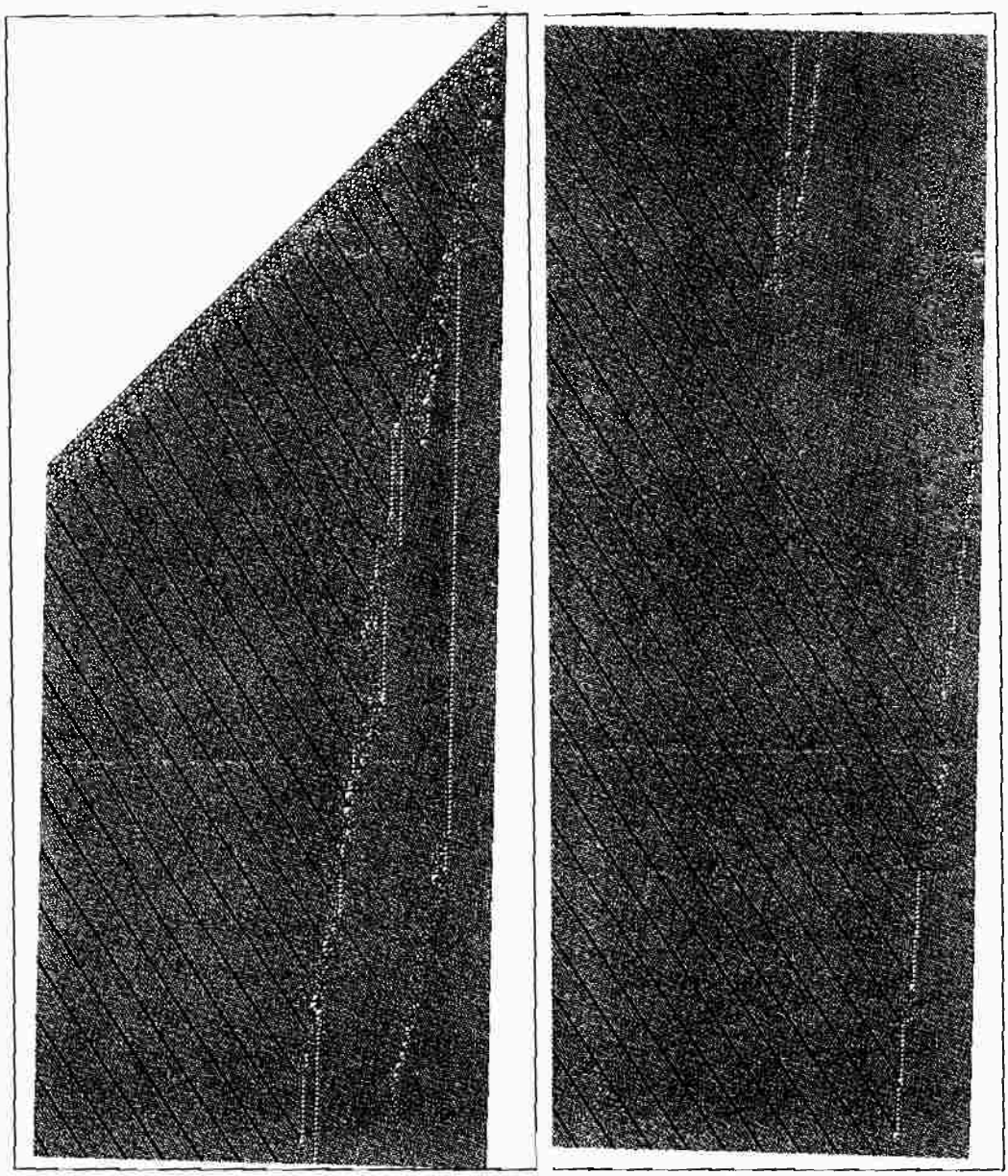
شكل(١٢)



شكل(١٣)



شكل(١٤)



شكل (١٥) (٣٢٠٠ خطوة)

كما نرى من الأشكال السابقة ١٠ – ١٥ أن درجة التعقد تزداد ونحصل على بعض المناطق التى تحوى تماثلاً ، وأخرى غير متماثلة وهكذا .

الحاجة إلى حدس جديد :

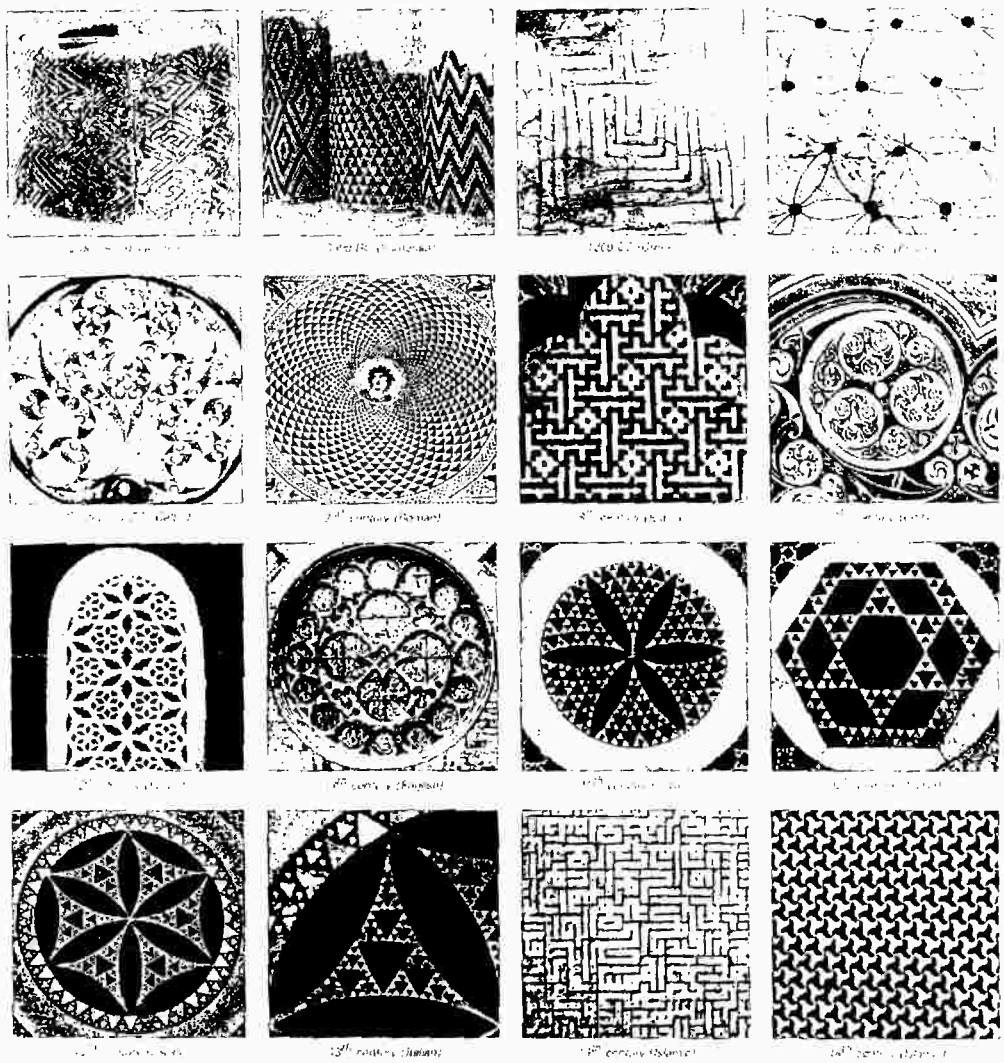
لقد بنى حدسنا على أنه عندما نرى شكلاً معقداً لابد وأن تكون الفكرة وراءه أيضاً معقدة ، ولكننا فى الحياة العملية نبعد تماماً عن مثل هذه الأشكال ، إذ أنه لابد لتصميم آلة منوطة بعمل أو أداء وظيفة معينة ، لابد أن نفهم وبشكل قاطع مبدأ عملها وتصميمها بحيث تؤدى المطلوب منها . ولكن الطبيعة تعمل بشكل مختلف ولا تعترف بمثل هذه القيود .

والمهم فى هذا الموضوع أنه توجد فى الطبيعة وبكثرة شديدة مثل هذه النظم والتى عندما تبدأ لا نعرف إلى ماذا تنتهى .

هنا يمكن القول بأن حدسنا الذى تكون على مدى السنين الطويلة من التجارب العملية والهندسية لن يسعفنا فى فهم ما يحدث فى «الأوتوماتا الخلوية» من هذه الأمثلة والأخرى التى أوردها بالكتاب تزول الدهشة وفى النهاية نصل إلى أن ما يحدث شىء طبيعى لنظم كهذه ولا غرابة فى ذلك بعد التعود عليها ونجد أنها حتمية وبديهية ولا غرابة فى هذا السلوك .

لماذا لم تكتشف هذه الأمور من قبل :

إذا نظرنا بإمعان فى التاريخ نجد أن ظهور تكنولوجيات جديدة كان السبب وراء تقدم العلوم فى مجالات معينة ، فمثلا اكتشاف التلسكوب أدى إلى التطور المذهل فى علم الفلك ، واكتشاف الميكروسكوب .. كان السبب الأساسى وراء تطور علم البيولوجيا . أحد الأسباب كما أراها أن هذه المشاكل لم تكن فى ذهن العاملين بالعلم ، ولكن السبب الأهم هو أن هذه المواضيع لم يخطر ببال أحد أن لها قيمة علمية من أى نوع .



شكل (١٦) أشكال من الفن القديم

فى هذه الأشكال الواردة فى شكل (١٦) نرى بعض الأشكال المتداخلة والمتكررة ولكن لم ينتبه أحد إلى أن تقنية الأوتوماتا الخلوية يمكن أن تؤدى إلى أشكال مختلفة . لو كان أحد قد تنبه لهذه الحقيقة ، كان العلم ربما أخذ مساراً مختلفاً عن المسار الذى اتبعه فى كل هذه القرون الماضية .

إن التقدم الذى حدث فى الرياضيات بإمكانية وصف العديد من الظواهر الفيزيائية بواسطة المعادلات الرياضية رسخ فى الوجدان أن هذه هى الطريقة المثلى لتفسير الظواهر الكونية ، ولكن بعيداً عن النظم البيولوجية . كل هذا حدث فى

الفترة من ١٦٠٠ م إلى ١٩٠٠ م . لكن بظهور الآلات الحاسبة الإلكترونية فى عام ١٩٤٠ م حدث تغير كبير فى الفكر الإنسانى حيث أن هذه الآلات قادرة على إجراء عدد هائل من الحسابات فى وقت قصير جداً ، ولكن ظل الاعتقاد أن الأداة الأساسية لوصف الظواهر الطبيعية هو المعادلات الرياضية . رغم ظهور هذه الآلات السريعة ظل العلماء يعتقدون أن دور الحاسبات قاصر على إجراء الحسابات المطلوبة وليس لها دور فى تفسير الظواهر الفيزيائية ذاتها .

هنا الخطأ الأكبر ، إذ أن دور الحاسبات لا يقتصر على إجراء الحسابات الطويلة المعقدة ، وإنما يمكن أن يؤدى استخدام الحاسبات إلى اكتشافات كان يستحيل التوصل إليها بدون الحاسبات .

من الطريف أن نذكر أن السبب فى عدم استخدام الحاسبات فى هذا الاتجاه كان ببساطة شديدة أن زمن إجراء هذه الحسابات كان مكلفا جداً فى بدايات استخدام الحاسبات الآلية الإلكترونية ، لذا فضل الجميع اللجوء إلى المعادلات الرياضية والتى يمكن الاستعانة بالحاسبات لحلها . المفارقة هنا هو أن هذه الحاسبات البدائية كانت مناسبة أكثر للتعامل مع حسابات «الأوتوماتا الخلوية» أكثر من تعاملها مع المعادلات الرياضية ، ولكن هذا ما حدث بالفعل .

لقد وصلت إلى قناعة أخرى وهو أن العقبة الأساسية التى اعترضت التوصل لمثل هذه الاكتشافات (قبل عام ١٩٨٠) التى توصلت إليها كان بالأساس عدم مقدرة الحاسبات على إجراء مثل هذه الحسابات بالدقة الكافية . ثمة جانب آخر ، ربما كنت أنا شخصياً فى وضع فريد حيث أننى كنت مهتما بتقنيات الحسابات على الآلات الحاسبة وفى نفس الوقت كان فى بؤرة اهتمامى المسائل الخاصة فى العلوم المختلفة ، ولذا ربما يكون هذا هو السبب فى أننى كنت سباقا فى هذا المضمار نظراً للظروف الفريدة التى أحاطت بى .

هنا لابد وأن أذكر أن تقنية استخدام «الأوتوماتا الخلوية» فى بعدين بدأت فى الخمسينيات لوضع بعض النماذج لدراسة النظم البيولوجية ، ولكن نظراً للتعقيد الشديد فى معالجة هذه الموضوعات فى تلك الأيام ، لم يحدث شىء له قيمة كبيرة إلا فى بداية الثمانينيات عندما أجريت أولى تجاربى على مثل هذه النظم .

هنا يأتى دور الحدس ، إن الإيمان القاطع بأن النظم شديدة التعقيد تتطلب قواعد معقدة كان غائباً عن الجميع وأصبح الحدس مضللا لفترة طويلة حتى بالنسبة لى ، ولم يأخذنى شىء خارج هذا الإطار إلا كثرة التجارب التى أجريتها على البرامج

البسيطة ، والنتائج شديدة التعقيد التى حصلت عليها ، وتوصلت فى النهاية إلى أن ما أراه حقيقة وأنه يلزم تغيير الفكر وتطوير فكر مضاد للحدس القديم هذا ، الذى وقف كعقبة كؤود أمام التوصل إلى هذه الحقيقة ولفترة طويلة جداً .

من أفضل الأمثلة لكى أبرهن على صحة ما أقول مسألة فى الرياضيات التقليدية ألا وهى كيف يمكن أن نحصى الأعداد الأولية (العدد الأولى هو العدد الذى يقبل القسمة على نفسه فقط) . رغم أن هذه المسألة معروفة منذ ألفى عام ، إلا أنها لم تأخذ الشكل المطلوب إلا مع استخدام الحاسبات لحساب عدد ضخم جداً من هذه الأعداد . لوحظ عند ذلك الطبيعة العشوائية لتوزيع هذه الأعداد ، ولكن لم ينظر أحد بعمق فى هذه الظاهرة – أى أن القاعدة بسيطة ولكن النتائج تحمل سمة العشوائية . ثمة مسألة أخرى فى الرياضيات التقليدية ألا وهى العدد ط .... II = 3.141592653 فى عام ١٧٠٠ م تم حساب أكثر من مائة رقم بعد العلامة العشرية ، ورغم وضوح العشوائية فى هذه المسألة إلا أنها اعتبرت مسألة حسب استطلاع وغرابة لم يتوقف عندها أحد . نضيف إلى ذلك أنه كان هناك عدة مسائل رياضية تؤدى إلى عشوائية التوزيع رغم بساطة القواعد ، لكن نظر الكل إلى هذه العشوائية كنوع من النتيجة الحتمية وكموضوع لتسلية ليس أكثر .

مع ظهور الحاسبات الإلكترونية فى عام ١٩٤٠ م ظهرت حسابات أخرى معقدة لمسائل فيزيائية هامة ولوحظت العشوائية فى هذه الحسابات ولكن كان يُنظر إليها على أنها نتيجة التقريب الذى كان لابد من إدخاله فى هذه الرياضيات المعقدة.

بعد ذلك ظهرت مسألة الخرائط التقاربية (iterated maps) ، ولكن لم يتوقف أحد عند هذه المعضلة ولم يتمعن أحد فى السمات التى ظهرت فى هذه الحسابات عندئذ .

فى نفس هذه الفترة ظهرت فى الخمسينيات مسائل متعلقة باستخدام هذه النظم العشوائية فى الحسابات من أجل التشفير . ظلت كل هذه النتائج أسرارا عسكرية ، لذا لم يتوقف أحد عند دراسة الطبيعة العشوائية لهذه النتائج التى تم الحصول عليها .

من الطريف أيضاً أن نذكر أن بعض العاملين فى مجال البرمجة توصلوا فى الستينيات إلى بعض البرامج التى تعطى أشكالاً متداخلة فى بعض الحالات الناجحة من البرامج .

أيضاً فى بداية السبعينيات توصل بعض المبرمجين الذين يعملون فى مجال

البرمجة للتسلية إلى برنامج «أتوماتون خلوى» قريب من القاعدة ١١٠ المذكورة سابقاً والتى أدت إلى اللعبة التى عرفت «بلعبة الحياة» والتى أنتجت أشكالاً عشوائية ولكن لم يتوقف أحد عند هذه الظاهرة وإنما حاول المبرمجون أن يتخلصوا من هذه العشوائية .

من كل ما ذكرت أستطيع أن أقول إن ما حدث فى هذا المجال قد حدث مرارا فى مجالات أخرى ، أى أنه قبل اكتشاف ظاهرة ما ، تسبقها إرهاصات عديدة لكن لا يتنبه لها أحد ولا يعطيها القدر الكافى من الاهتمام . لذا فما حدث ليس جديداً ولا غريباً .