

الباب الخامس

الزلازل، الانقراض والنشوء

عندما يتحدث العلماء عن «النظم المعقدة» يترسخ الانطباع أن هذه النظم يصعب فهمها، ولكن هناك نوع من اللبس، فكلما الفرضين خاطئ؛ فليست النظم المعقدة معقدة فعلا ولا يستحيل فهمها. النظم المعقدة ما هي إلا نظم مكونة من نظم أبسط تتفاعل أجزاؤها مع بعضها البعض. إن نجاح العلم منذ جاليليو ونيوتن يكمن في تجزئة هذه النظم إلى مكوناتها البسيطة لفهم كيف تتفاعل هذه المكونات بعضها مع البعض، ففي الكثير من الأحيان نفترض أن هذه المكونات أبسط مما هي عليه في الواقع وذلك لكي يسهل فهمها. من الأمثلة الهامة على هذه الرؤية هو كيف نفهم تفاعلات الذرات والجزيئات في التفاعلات الكيميائية بصرف النظر عن تركيب النويات التي تتكون منها هذه الذرات والجزيئات، وكذلك عند دراسة تصادمات جزيئات غاز ثاني أكسيد الكربون في صندوق ما يحويها لا نهتم بالتركيب الداخلي للجزيئات ولا ندخل في الاعتبار أنها مكونة من ذرة كربون وذرتي أكسجين. جانب هام هنا أن نموذج الكرات الصلبة ينطبق على كل الغازات وليس ثاني أكسيد الكربون فقط. بنفس القدر يمكن أن نذكر هنا ما يسميه علماء الرياضيات بالأعداد المركبة، وهي الأعداد التي تحوي التعبير الرياضي $i = (\sqrt{-1})$ ويكتب العدد على شكل $(X = A + i B)$. كل الذي يهمنا هنا هو أنه توجد مجموعة من القواعد للتعامل مع مثل هذه الأعداد المركبة، هذه القواعد بسيطة جدا، فهي مثلا أبسط من قواعد لعبة الشطرنج، ولكنها فتحت آفاقا عديدة في الرياضيات والفيزياء؛ إذ تجعل مثلا وصف سلوك الدوائر الكهربائية للتيار المتردد سهلا وميسورا لطلاب المراحل الأولية في الجامعات وحتى في المدارس، وكذلك في ميكانيكا الكم.

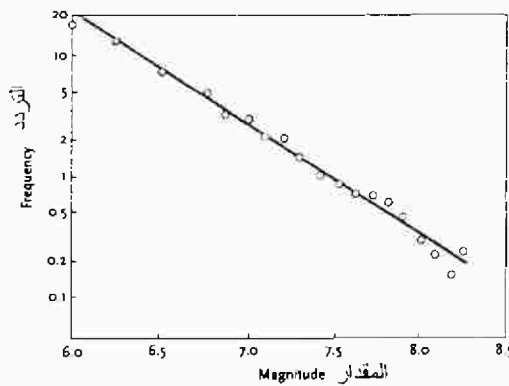
بالنسبة للآلات فمن أبسط الآلات العجلة والرافعة والعجلة المسننة مثل تلك التي توجد بالدراجة فكلها آلات بسيطة. يلقي كل هذا الضوء على التعقيد بأنه الطريقة التي تتفاعل بها المكونات مع بعضها البعض، خاصة أن كومة من العجلات والروافع ليست نظاما معقدا بالتأكيد، حتى وإن كانت الكومة تمثل المكونات اللازمة لعمل دراجة سباق. يمكن أن نقول إن المكونات البسيطة لا بد وأن تتفاعل مع بعضها البعض حتى ينتج ما أكبر من مجرد حاصل جمع هذه المكونات، وهذا هو التعقيد المبني على البساطة العميقة.

عندما يواجه العلماء نوعا من التعقيد فإنهم وبشكل غريزي ينظرون إلى المكونات البسيطة للنظام وكيف تتفاعل هذه المكونات مع بعضها البعض، ثم ينتقلون للكشف

عن القانون (أو القوانين) التي تحكم تفاعل هذه المكونات وسلوكها، بعد ذلك يحاول العلماء الكشف عما إذا كانت هناك نظم أخرى تتبع نفس القوانين .. وهكذا... ثبت نجاح هذا الفكر على مدى ثلاثمائة سنة، خاصة مع النظم المختلفة القريبة من الاتزان. الآن نحاول تطبيق هذه الطريقة على النظم التي تفقد جزءا من طاقتها مع الوقت وقرب الشواش - بالنسبة للنظم الأرضية ليس هناك أفضل من مثال الزلازل.

من أهم الأسئلة التي تثار حول الزلازل هو متى تحدث الزلازل؟ ... بصرف النظر عن الأهمية الأكاديمية - يمثل هذا السؤال أهمية عملية بالنسبة للقاطنين في مناطق موبوءة بالزلازل، وكذلك لشركات التأمين وغيرها ... من المعروف أنه في بعض المناطق تحدث زلازل متباعدة ولكن عنيفة، وفي مناطق أخرى تحدث زلازل متقاربة على فترات قصيرة ولكنها ليست شديدة. بدلا من مجرد التخمين، لتنظر إلى الصورة الفعلية لحدوث هذه الزلازل في منطقة ما، وحصر وتسجيل تكرارية نوع معين من الزلازل. لقد كان تشارلز ريختر (١٩٠٠ - ١٩٨٥) أول من قام بمثل هذا العمل، وأدخل أول مقياس لشدة الزلازل، والذي يحمل الآن اسمه.

كما هو واضح في شكل (١-٥) فإنه كلما زادت شدة الزلزال انخفضت تكرارته، وحيث أن مقياس الرسم لوجاريتمي (*) فإنه كلما زادت شدة الزلزال كلما تباعدت فترات حدوثه عشرات المرات، لقد توصل بينو جوتنبرج (١٨٨٩ - ١٩٦٠م) إلى القانون الذي يحمل اسميهما (قانون ريختر - جوتنبرج) والذي يقضى وكمثال بأنه لكل ألف زلزال بشدة ٥ على مقياس ريختر، يتوقع ١٠٠ زلزال بشدة ٦ وعشرة زلازل بشدة ٧ على نفس المقياس .. وهكذا .. هذا مثال

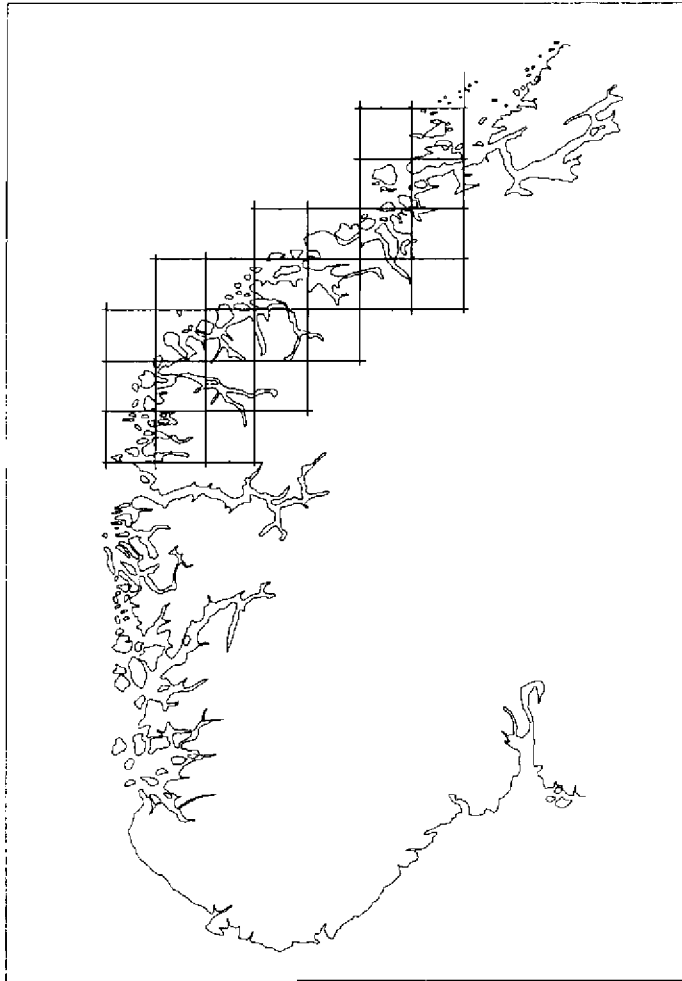


شكل (١-٥) يربط قانون ريختر جوتنبرج شدة الزلازل وتكراريتها.

(*) المقياس اللوغاريتمي: هو مقياس رسم يستعاض فيه عن الرقم بقيمة لوجاريتمه وذلك يتيح تمثيل أعداد كبيرة في مدى صغير .

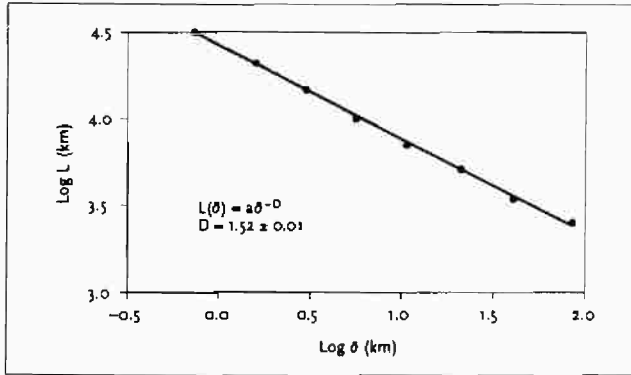
واضح على القانون البسيط الذى يحكم ظاهرة تبدو لأول وهلة شديدة التعقيد. لكن هذا القانون يعنى أن زلزالا بشدة قدرها ٨ يكون أعنف بعشرين ألف مليون مرة من زلزال شدته الوحدة - الذى يماثل اهتزاز مبنى من جراء مرور سيارات نقل ثقيلة بجوار المبنى.

كل هذا قريب من مفهوم الكسريات التى تم عرضها فى الباب الثالث. من أفضل الأمثلة على ذلك هو قياس طول شواطئ النرويج والذى يتميز بوجود خلجان تتفرع إلى خلجان أصغر والتى تتفرع بدورها إلى خلجان أصغر وأصغر وهكذا.



شكل (٥-١٢) يتم تقدير طول شواطئ النرويج باستخدام مربعات كما هو مبين. كلما صغرت هذه المربعات - كلما زاد طول الشواطئ. عند رسم هذه العلاقة بمقياس لوغاريتمى نحصل على خط مستقيم ميله ١,٥٢ ، أى بين الوحدة التى تمثل خطا مستقيما واثنين والتى تمثل مستوى.

بصرف النظر عن مقدار الأس، فإننا نحصل على علاقة أسية مثل قانون ريختر - جوتنبرج. سمة هامة لهذه العلاقات الأسية أنها لا تعتمد على مقياس الرسم أو حتى المسبب الفيزيائي لحدوثها. فى حالة الزلازل لا نتعرض للأسباب التى تؤدى إلى زلزال قوى أو آخر ضعيف. جانب مهم هنا أن العلاقة الأسية لا تعنى بالضرورة أنها تستبعد حدوث زلازلين قويين متقاربين فى الزمن، وإنما نتحدث هنا فقط عن التكرارية.



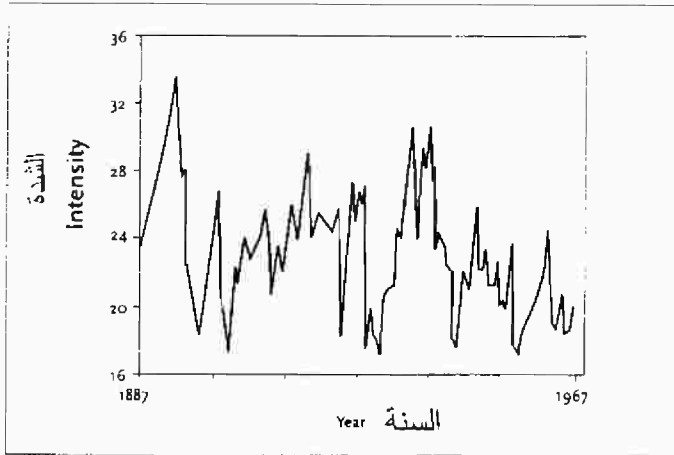
شكل (٥-٢ب): يبين الشكل طول شواطئ الترويج مع مساحة المربعات بمقياس رسم لوغاريتمى.

سمة خاصة هامة وعامة لكل القوانين الأسية، وهى أنها لا تعتمد على مقياس الرسم، هناك مثال رائع لهذا حيث حاول مارك بوكانان تطبيق هذه الفكرة فيما أسماه «بالعلم الحقيقى للتاريخ». لتتصور أنه فى تجربة ما لدراسة نتيجة قذف حبات بطاطس مجمدة عرض حائط متين فسوف تتحطم هذه الحبات إلى شظايا ذات أحجام مختلفة، مثلها مثل أى صخور تصادم وتتحول إلى شظايا ذات أحجام مختلفة، كما يحدث عند تصادم صخور فى الفضاء لتكون كويكبات صغيرة مثل تلك التى تسبح حول الشمس فى حزام يقع بين المريخ والمشتري.

تتحطم حبات البطاطس إلى عدد كبير من القطع الصغيرة، وقليل من القطع الكبيرة وما بينها، يمكن أن نصنف هذه القطع إلى مجموعات حسب وزنها كما صنف ريختر وجوتنبرج الزلازل حسب شدتها. إذا نحينا جانباً القطع الصغيرة جداً ورسماً علاقة بين عدد القطع فى كل صنف مع وزنها نحصل على قانون أسى. لنأخذ الآن القطع الصغيرة جداً ونأخذ ميزاناً حساساً ونصنف هذه القطع حسب وزنها ونكرر الخطوة السابقة، نحصل مرة أخرى على قانون أسى. لقد أجريت هذه التجربة فى جامعة جنوب الدانمرك فى عام ١٩٩٠م ووجد الباحثون أن هذا الاستنتاج صحيح بالنسبة لقطع البطاطس التى يتراوح وزنها بين عشرة جرامات إلى

واحد فى الألف من الجرام. إذا زحفت نملة بين الشظايا فسوف تشاهد تضاريس قطع البطاطس مثلها بالضبط مثل خنفساء تزحف بين الشظايا، إن التضاريس هى بصرف النظر عن مقياس الرسم. نفس الشيء ينطبق على تضاريس سطح القمر، تبدو واحدة بصرف النظر عن مقياس الرسم، حيث أن الحفر على سطح القمر تنتج عن تصادم الكويكبات بهذا السطح ونفس الطريقة التى تنكسر بها حبات البطاطس. هنا يمكننا القول بأن كل هذه الأنماط من التباينات متماثلة حيث تكون التباينات الكبيرة أكثر ندرة. يمكن أن نعبر عن ذلك إذا اعتبرنا أن تكرارية الحدث تساوى الوحدة مقسومة على حجم الحدث مرفوعا إلى أس ما، والعكس صحيح أى أن حجم الحدث يتناسب مع الوحدة مقسوما على تكرارته مرفوعة لأس ما.

يطلق على مثل هذه العلاقة اسم «ضوضاء (1/f)» «1/f noise» حيث ترمز f للتكرارية. وهنا نقول إن المسميين «القانون الأسى» وضوضاء (1/f) مترادفان.



شكل (٥-٣): تغيرات الوهج الصادر عن النجوم الساطعة المسماة «الكوازارات» «quasars» فى الفترة من ١٧٨٨ - ١٩٦٧ م.

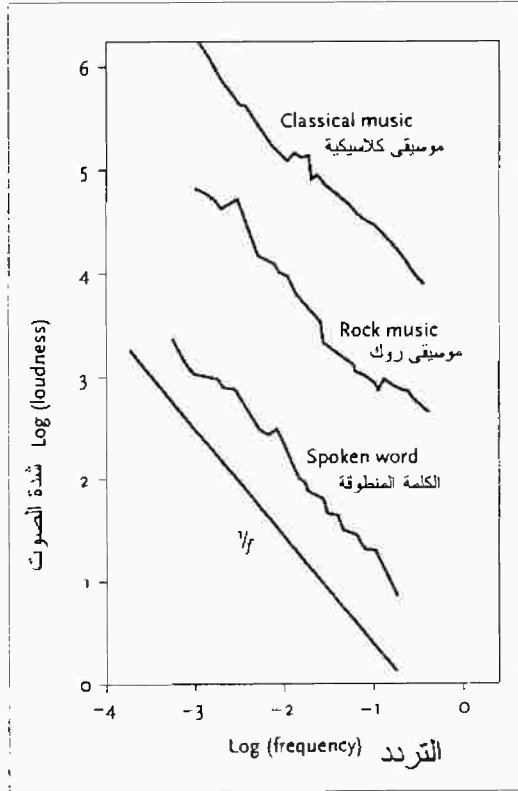
نلاحظ كما هو مبين فى شكل (٥-٣) أن التغيرات فى وهج الكوازارات يحوى تلالؤا سريعة وتذبذبات بطيئة تتراكب أحداها على الأخرى.

إذا رسمنا وهج مثل هذا النجم كدالة من الزمن نحصل على شكل قريب من شكل تضاريس جبل يبين ارتفاع وانخفاض أجزائه المختلفة، هذه مرة أخرى ما يسمى «بالضوضاء (f/1)». مثل هذه الضوضاء تسمى بالضوضاء البيضاء وهى عشوائية تماما. يمثل هذا طرف من النقيضين - حيث على الطرف الآخر إذا كانت الضوضاء تحوى ترددا واحدا مثل صوت موسيقى ذى تردد واحد ممل تماما، إذ إنه ذو وتيرة واحدة، أما الضوضاء (f/1) أحيانا تسمى بالضوضاء ذات اللون الوردى

(Pink noise) لا تبدو مملة للأذن البشرية. باختصار فالضوضاء $(f/1)$ تحمل معلومات.

لابد من التحذير من الإفراط في استخدام مثل هذه العلاقة وتطبيقها في كل الأحوال، فمثلا ارتفاع درجة حرارة الأرض المضطرد لا يتناقض مع تذبذبات درجة الحرارة على الكرة الأرضية، ولكنه يتراكب على منحنيات التذبذب هذه. إن معدل الارتفاع المضطرد في درجة الحرارة المتزايد خلال القرن ونصف القرن الماضيين يتوافق تماما مع معدل ازدياد النشاط الإنساني الذي يؤدي إلى انطلاق غازات الاحتباس الحراري في طبقة الغلاف الجوي.

خلاصة القول إنه رغم وجود ضوضاء عالية في نظام الطقس [ضوضاء $(f/1)$] إلا أن هذا لا ينفي الارتفاع المضطرد في درجة الحرارة



شكل (٥-٤): إذا استخدمنا مقياس الرسم اللوغاريتمي نرى أن الموسيقى الكلاسيكية، موسيقى الروك والتخاطب البشري تظهر كلها كاشكال «ضوضاء $f/1$ »، لأنها كلها تحوي معلومات.

ثمة جانب مهم في هذا الموضوع هو أنه بالخبرة والتجربة التاريخية، نقوم

شركات التأمين بتقدير مدى تكرارية الكوارث فى منطقة ما، وبناء على المعلومات التاريخية المتوفرة يمكن أن تقدر بشكل دقيق إلى حد ما مدى هذه التكرارية (هو فى الواقع تخمين)، لذا لابد من النظر إلى سلسلة الأحداث على مدى فترة طويلة حتى يمكن الحكم بشكل مقبول على الأحداث المستقبلية المتوقعة.

هناك أيضا حالتان لابد من أن نعرضهما باقتضاب قبل الانتقال إلى موضوع ظهور الحياة فى الكون: فى الأربعينيات من القرن الماضى قام جورج زيف (George Zipf) - من جامعة هارفارد - بدراسة سكان المدن فى العالم. من البديهي أنه توجد مدن قليلة يسكنها عدد هائل من السكان، ومدن أكثر بكثير يقطنها عدد قليل من السكان إذا رسمنا عدد المدن مقابل عدد السكان على مقياس رسم لوغاريتمى نحصل على خط مستقيم، مما يعنى أن العلاقة تخضع لقانون أسى، ومن المهم أن هذه الصورة صحيحة الآن أيضا وليس فقط فى الأربعينيات من القرن الماضى. كل هذا رغم أن كل شخص يختار المدينة التى يقطنها بقرار فردى بحث، مما يعنى أن عمليات الاختيار لكل هؤلاء السكان ليست مرتبطة بعضها ببعض. أو عشوائية إلى حد كبير.

ثمة ظاهرة أخرى طريفة وهى ظاهرة حدوث الاختناقات المرورية حتى على الطرق السريعة، لقد درس الباحثون من جامعة دويسبرج (University of Does-berg) هذه الظاهرة ووضعوا نموذجا رياضيا لذلك. رغم بساطة النموذج المستخدم ولكنه أظهر بوضوح وجود علاقة أسية بين حجم الاختناقات (عدد السيارات فى كل اختناق) وعدد كل منها، وكان من الواضح أيضا وجود «الضوضاء» ($f/1$).

من الدروس المستفادة المهمة أنه لا يلزم لكى يحدث اختناق أن يحدث تصادم. درس آخر مهم جدا وهو أنه إذا التزم كل سائق بالسرعة القصوى سوف «تذوب» كل الاختناقات، ووصول كل شخص إلى وجهته فى زمن أقل مما حاول كل شخص أن يقود سيارته بسرعة أكبر.

قام بنوا ماندلبروت بدراسة تذبذبات أسعار بعض السلع، مثل الحديد والقطن فى بورصة نيويورك ووجد أن هذه التذبذبات فى الأسعار تمثل أيضا «ضوضاء» ($f/1$)، مما يعنى أن الاقتصاد يتبع نفس القانون الذى تتبع له الزلازل والاختناقات المرورية، كما أن الكوارث الكبيرة مثل كارثة أكتوبر ١٩٧٨م يمكن أن تحدث نتيجة بدايات ضعيفة جدا. أقلق هذا الاقتصاديين، حيث إنهم يؤمنون أن الدولة يمكن أن تمنع مثل هذه الكوارث عن طريق التحكم فى سعر الفائدة، ولكن طالما أن تذبذبات الأسعار تتبع قانونا أسيا، يمكن أن تؤدي تغيرات طفيفة فى سعر الفائدة إلى تأرجحات عالية جدا فى السوق، وإن كان ذلك نادر الحدوث.

لقد جذب ذلك انتباه «بريان آرثر» Brian Arthur وهو آيرلندي الأصل وعمل في النمسا ثم في أمريكا في الثمانينيات من القرن الماضي، ووجد أن الاقتصاد يتبع قوانين قريبة من قوانين الديناميكا الحرارية قرب الاتزان. من المفاهيم الأساسية في هذا الموضوع هو مفهوم «انخفاض العائدات». ببساطة إذا اخترع شخص شيئاً ما وباع منه عدداً كبيراً، فإنه مع الوقت أصبح منتشراً ويقل الطلب عليه، وبالتالي يقل العائد منه ويصعب تسويقه. كذلك توصل آرثر إلى مفهوم «ارتفاع العائدات» فإذا أمكن السيطرة على السوق بشكل ما، فلن يكون أمام المستهلك سوى شراء هذا المنتج حتى وإن لم يكن الأفضل، وأفضل مثل لذلك «بل جيتس» الشهير، صاحب شركة ميكروسوفت. يمكن أن نذكر أيضاً أن شركة «آبل» وإن كانت تنتج منتجات أفضل، لكن كان تسويقها في البداية غير ناجح مقارنة بنجاح شركة ميكروسوفت، المهم هو أن الاقتصاد أصبح أقرب إلى الديناميكا الحرارية للاتزان منها إلى الديناميكا الحرارية الكلاسيكية.

لنعد إلى الماضي - إلى موت الديناصورات الذي حدث قبل ٦٥ مليون سنة، والذي يمثل علاقة انتهاء العصر الطباشيري وبداية العصر الثلاثي. إن موت الديناصورات كان مصاحباً لفناء ٧٠٪ من كل أنواع الكائنات الحية على الأرض، حيث إن هذا حدث على مدى عدة آلاف من السنين، فهو يمثل علامة فارقة في العمر الجيولوجي على الأرض.

السؤال المنطقي هو لماذا حدث هذا، وهل يمكن أن يحدث مرة أخرى ومتى؟ هناك دلائل على أن هذا حدث نتيجة اصطدام نيزك بالأرض.

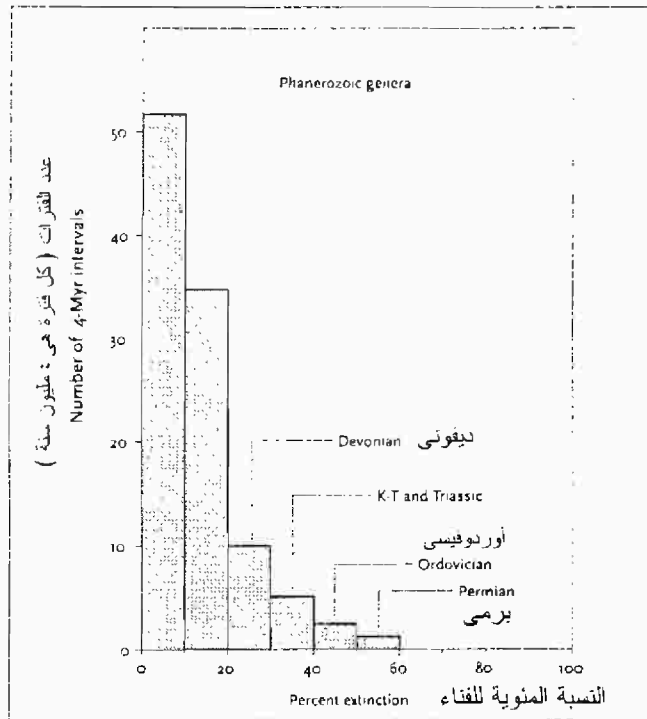
يمكن تفسير ذلك بأن الانفجار الذي حدث يكافئ انفجار بليون ميجاطن من الـ ت. ن. ت (TNT) مما أدى إلى تآثر شظايا دخلت الغلاف الجوي ورفعت درجة حرارة الغلاف كله بمعدل ١٠ كيلوات لكل متر مربع من سطح الأرض لعدة ساعات - صاحب كل هذا كمية هائلة من الغبار كما وصفها جاي ميلوش Jay Melosh من جامعة أريزونا، صاحبها دخان من كل الحرائق التي اشتعلت على الأرض لتحجب أشعة الشمس فتموت النباتات، وأدى كل ذلك لصقيع ساد الكرة الأرضية لفترة من الأرض، يضاف إلى هذا أنه منذ ٣٥ مليون عام ضربت الأرض مرة أخرى من الفضاء ولكن بشكل أخف. يقول البعض إن الديناصورات عانت عدة موجات من الانتشار والانحسار خلال المائة وخمسين مليون عام التي جابت فيها الكرة الأرضية، وربما يكون الانفجار الهائل الذي حدث منذ ٦٥ مليون سنة هو القشة التي قصمت ظهر البعير، وربما كانت الحياة على الأرض في ذلك الوقت تعاني من ظروف سيئة نتيجة تغير مناخى مرتبط بتكون القارات. هنا أيضاً لابد أن

نشير إلى أن حادثة الانفجار، والتي يشار إليها بالرمز (T - k) لم تكن وحدها وإنما يشير الجيولوجيون إلى أحداث خمسة وتسمى «بالخمسة الكبيرة» - حدثت كلها خلال الستمائة مليون سنة الأخيرة. في بداية عصر الكمبري (Cambrian) ظهرت المخلوقات متعددة الخلايا، ثم ظهرت الكائنات الحية وتعددت صور الحياة على الأرض.

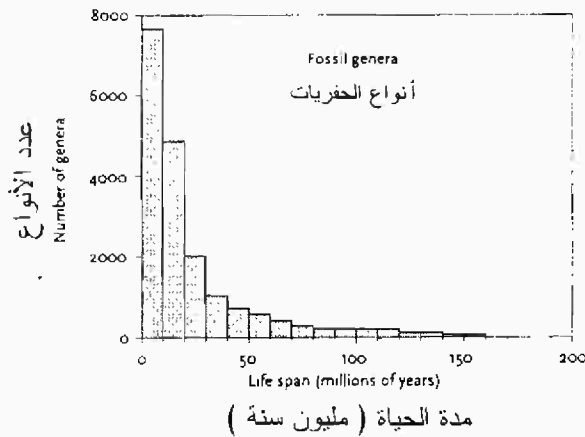
إذا استعرضنا هذه الأحداث الخمسة والتي حدثت منذ ٤٤٠ مليون سنة (وهي الفترة بين العصر الأورديفيشي "Ordovician" والعصر السيلوري (Silurian) ، ٣٦٠ مليون سنة (بين العصر الديفوني (Devonian) ، والعصر الكربوني أو الفحمي (Carboniferus) ، منذ ٢٥٠ مليون سنة مضت بين العصر البيرمي (Permian) والعصر الترياسي (Triassic) ، ومنذ ٢١٥ مليون سنة وهي حد العصر الترياسي - الجوراسي (Triassic - Jurassic) ، ومنذ ٦٥ مليون عام (عند الحادثة (K - T) . هناك أيضا عدة أحداث فناء تكون ما يسمى بالتقويم الجيولوجي. أكبر هذه الأحداث تلك التي حدثت منذ ٢٥٠ مليون سنة في نهاية العصر البرمي. لقد أفنت هذه الحادثة ٨٠٪ وربما ٩٥٪ من أنواع الكائنات الحية على الأرض وفي المحيطات، وتم ذلك في غضون عشرة آلاف عام، وهنا يمكن القول بأن ثلث أنواع الكائنات الحية قد انقرضت من على ظهر البسيطة. هنا يمكن أن يثار السؤال: هل هذه الأحداث الفنية لا تعتمد أيضا على مقياس الرسم؟ الإجابة الصادقة هي أننا لا نعلم بحق.

قام العالم جاك سيبكوسكي "Jack Sepkoski" - من جامعة شيكاغو - بجمع قاعدة بيانات عن عمليات الفناء هذه من كل المصادر المنشورة، مع التركيز على الثدييات البحرية، وبعد كل هذا الجهد الخارق استطاع سيبكوسكي رسم العلاقة بين أحداث الفناء في مراحل يبلغ مداها ٤ مليون سنة، وكيف تذبذبت عبر الستمائة عام الماضية.

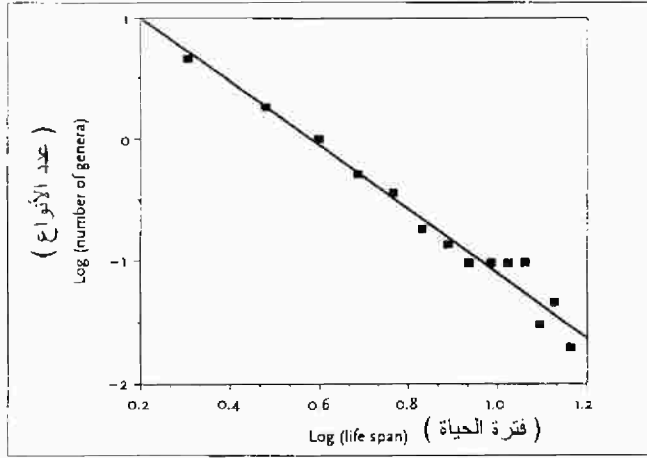
في شكل (٥-٥) المأخوذ من مقالة نشرها سيبكوسكي في عام ١٩٩٣ نرى أن النسب المثوية لا تتوافق مع النسب التي أوردناها، لأنها تتعلق بفصائل وليس لأنواع، وخاصة أنها تتعلق بفصائل الثدييات البحرية فقط وليس لكل أنواع الحياة على الأرض، ولكن التوافق مازال جيدا، حيث إنه يظهر أن «فناء الديناصورات» هو أيضا فناء الثدييات البحرية. ولكن كل هذا يشير سؤالا: أي نوع من العشوائية هذا؟ وهل هناك عشوائية في هذا أصلا؟ ولكنها ومرة أخرى «الضوضاء (f/1)».



شكل (٥-٥): شكل بياني يبين عدد المراحل (كل مرحلة هي 4 مليون سنة) ونسبة الفناء التي حدثت في كل مرحلة.



شكل (٥-١٦) يبين شكل (٥-١٦) العلاقة بين الأجناس التي لم تكن لفترة حياة معينة مبينة على شكل أعمدة



شكل (٥-٦): ، يبين الشكل نفس العلاقة ولكن على شكل بياني لوغاريتمي، مما يوضح أن أعمار حياة الأجناس تتبع قانوناً أسياً بأس تقترب قيمته من اثنين.

قام دافيد راوب (David Raup) - أيضاً من جامعة شيكاغو - بمعالجة البيانات التي جمعها سييكوسكى، بحيث يجمع كل ٤ مليون مرحلة انقرضت خلالها عشرة بالمائة من الأجناس، تلك التي انقرضت بها ما بين عشرة وعشرين بالمائة من الأجناس وهكذا، وكما نرى فإن هذه العلاقة تخضع أيضاً لقانون أسي. توصل مايكل بولتر (Michael Boulter) وزملاؤه في جامعة شرق لندن إلى نفس النتيجة عند تحليل نتائج قاعدة بيانات أكبر خاصة بالحفريات.

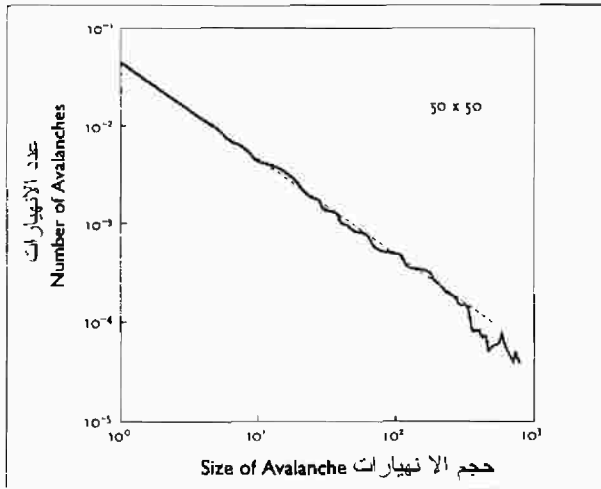
كما نرى فإن عمليات الفناء على الأرض ليست كلها قادمة من الفضاء، ولكنها عمليات تحدث في أي وقت وعلى أي مستوى، يبدأ بعضها بتصادم النيازك، وأخرى بسبب العصور الجليدية، ولكن مما رأيناه فنحن لا نحتاج دائماً إلى دفعة قوية لبدء حدث كبير الأبعاد، أي أن فناءً على أي مستوى يمكن أن ينتج عن حدث بادئ من أي مستوى، باختصار فنحن نتعامل هنا مع منظومة معقدة - وهي الحياة على الأرض - لها خاصية تنظيم نفسها بنفسها، تعتمد على سريان الطاقة، وتتوحد هذه المنظومة عند حد الشواش. باستخدام المنطق العلمي نحاول استبعاد كل الأمور الجانبية ونركز على لب الموضوع.

في عام ١٩٨٠م بدأ الفيزيائي الدانمركي المولد بير باك (Per Bak) - والذي عمل في مختبر بروكهافن الوطني في نيويورك - اهتمامه بدراسة سلوك النظم عندما تكون عند حد الشواش، توصل باك إلى أن مثل هذه النظم لا بد وأن تكون مفتوحة أي تتلقى طاقة من خارجها وتصل إلى حالة قرب حدود الشواش تسمى بحالة

«التنظيم الذاتي الحرج»، امتد اهتمام باك ليشمل الزلازل وأحجام سكان المدن، وتوصل باك مع زميله تشاو تانج (Chao Tang) وكورت فيزنفلد (Kurt Wiesenfeld) إلى نموذج مشهور، الآن يسمى بنموذج «كومة الرمل» إن كومة على منضدة الرمل هذه ليست فى اتزان وعندما نصب عليها رملا نجد أن ارتفاع الكومة يزداد إلى حد معين ثم يبدأ الرمل فى الانهيار ويقل ارتفاعها، وهكذا حتى يغطى كل المنضدة ثم يبدأ فى التسرب من أطرافها. هنا نرى أنه عند إضافة حبة رمل واحدة يمكن أن يحدث انهيار، أو تبقى الكومة متماسكة ولكنها تظل دائما قريبة من الوضع الحرج، وهكذا...

ربط باك وتانج بين ما يحدث لكومة الرمل وميكانيكية الزلازل وفرضا برنامجا حاسوبيا لنمذجة ما يحدث أثناء الزلازل عندما تنزلق شريحة من القشرة الأرضية فوق شريحة أخرى ويتولد إجهاد كبير يحرر كمية كبيرة من الطاقة ثم تنزلق مرة أخرى وتتولد كمية أخرى من الطاقة وهكذا. فى نموذج «باك» و«تانج» تتحرر كمية من الطاقة ليست كافية لزوال الإجهاد وإنما تكفى فقط لجعل النظام قرب الحالة الحرجة مرة أخرى. يفسر ذلك كون الزلازل تتبع قانوناً أسياً.

لقد أضاف برنامج باك وتانج خصائص حبيبات الرمل من حيث تكرورها والتصاقها وهكذا.. لقد أورد باك فى كتابه «كيف تعمل الطبيعة» كيف يمكن باستخدام مكعبات لعب الأطفال رؤية أعماق سلوك النظم غير الإترانية بما فيها النظم البيولوجية، فى كل الأحوال نحصل على العلاقة الأسية التى ورد ذكرها.



شكل (٥-٧): يبين الشكل عدد الانهيارات متباعدة الحجم التى تحدث فى كومة الرمل فى مقياس رسم لوغاريتمى وتوضح أنها أيضا تخضع لقانون أسى.

وُجد بعد ذلك أنه ونظراً لأن حبيبات الرمل ذات قصور ذاتي عالٍ فإنه يصعب الحكم على الانهيارات الصغيرة. لذا تم الانتقال إلى أكوام من حبات الأرز الطويلة؛ لأن حبات الأرز الطويلة ذات احتكاك أعلى، مما يسمح بأن تتكومت طبقات في أكوام أعلى لتحدث انهيارات تدريجية تسمح بمتابعة الانهيارات بشكل أفضل.

أُجرى التجارب هذه باستخدام حبات الأرز لأول مرة فيدار فريتلت (Vidart Fretle) وزملاؤه في جامعة أوسلو. أُجريت هذه التجارب بشكل مبسط حيث وضعت حبات الأرز بين لوحين زجاجيين شفافين مما جعل التجربة ذات بعدين فقط وتم تصوير هذه التجارب باستخدام كاميرا فيديو. أضاف فريق البحث إضافة هامة لهذه التجربة بتلوين حبات الأرز التي تلقى من أعلى الكومة، ولوحظ أن الحبة الملونة لا تنزلق مباشرة فوق سطح الكومة وإنما يمكن أن تختلط ببقية الحبات ثم تظهر مؤخراً في مرحلة لاحقة. من هذه التجربة البسيطة نرى أنه في حالة الأوضاع الحرجة فإن كل حدث صغير يؤثر على كل مكونات المنظومة، أي أنه لا يوجد مكون واحد لا يشارك في سلوك المنظومة، أي أنه لا يبقى مكون واحد ساكناً لا يفعل شيئاً.

إن فكرة تلوين حبات أرز معينة أضافت الكثير من الحيوية على البرنامج الحاسوبي الخاص بكومة الرمل، حيث أظهرت الكثير من تفاصيل سلوك مثل هذه النظم، فمثلاً عندما تتكون الكومة من حبات رمل خضراء منثورة على المنضدة، ومع ارتفاع الكومة تبدأ الحبيبات الحمراء في التجمع مكونة خيطاً ليتحرك عبر سطح الرمل مثل الشبكة. لوحظ أنه طالما كانت حبات الرمل الحمراء متباعدة فإن إلقاء حبة رمل فوق قمة الكومة تتسبب في تغيرات طفيفة في أوضاع حبات الرمل الحمراء الأخرى، ولكن عندما تزداد كثافة الحبات الحمراء فإن إلقاء حبة واحدة على قمة الكومة تتسبب في انهيارات كبيرة. ثمة سمة أخرى في غاية الأهمية وهي أنه حتى عندما تحدث انهيارات كبيرة تكون كثافة الشبكة كبيرة.

بهذا نكون جاهزين للخطوة التالية وهي الرؤية المتمعة لكيفية ظهور الحياة. حيث إننا توصلنا إلى الأسس البسيطة التي تنشأ عنها ظواهر معقدة مثل الزلازل، البورصات، وحركة التجمعات السكانية نجد أن كل هذا مبني على الشبكات والوصلات البينية بين أجزائها والتي تبدو في النهاية نظاماً معقدة؟ كان ستوارت كاوفمان (Stuart Kawfman) في معهد سنتا في نيو مكسيكو أول من تنبه لعلاقة هذه الشبكات بظهور الحياة .

لنتصور أننا أخذنا عددا كبيرا من الأزرار، ليكن مثلاً عشرة آلاف ووضعناها على أرض حجرة، لنبدأ عشوائياً بقطعة من الخيط ونربط زرّين ثم زرّين ثم آخرين ثم آخرين وهكذا. يمكن أن يحدث أن يكون أحد الزرّين عند أى لحظة قد تم ربطه بآخر، وهكذا نحصل على شبكة من ثلاثة أزرار وربما أربعة أو أكثر. بهذا نحصل على شبكة ذات بنية معينة من هذه الأزرار.

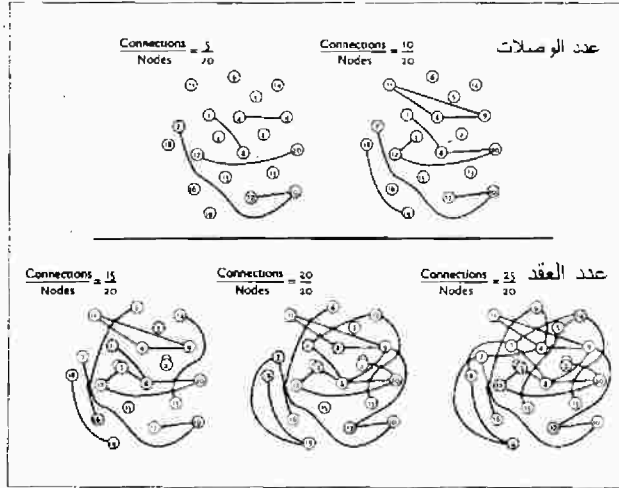
كل مجموعة من الأزرار موصلة بعضها بالآخر تسمى مكون من مكونات الشبكة، وتمثل الأزرار فى مثل هذه الشبكة العقد (nodes) والتي ترتبط بها الوصلات، فكلما ازداد عدد الخيوط يزداد عدد الأزرار المرتبطة بعضها ببعض الآخر لتكون عنقوداً من الروابط، ويمثل هذا العنقود أكبر مكون فى الشبكة. عندما يصل عدد الخيوط إلى النصف أو أكثر، يكبر حجم أكبر عنقود بشكل سريع (قانون أسّي) بسرعة يتكون فوق عنقود (supercluster) وهى الشبكة التى أصبح الجزء الأعظم من مكوناتها مرتبطاً أحدها بالآخر. بعد ذلك ينخفض معدل النمو نظراً لقلّة الأزرار التى بقيت غير مرتبطة، ولكن فى النهاية أصبح عندنا منظومة معقدة. هذه المنظومة لن تتغير كثيراً بإضافة عدة قطع من الخيط - أى أن المنظومة وصلت إلى حالة من الثبات ولكنها مختلفة تماماً عن حالة الأزرار المنفردة. شبه كاوفمان هذا التحول بتحول الحالة عندما يتجمد الماء ويتحول إلى جليد.

ليس بالضرورة أن تكون الوصلات هنا قطعاً من الخيط، وإنما يمكن أن تكون - كما هو الحال بالنسبة لكومة الرمل - قوة الجاذبية، عندما تكون زاوية انحدار الكومة حرجية، عند إزالة حبيبة رمل واحدة يحدث انهيار للكومة، مثله فى ذلك مثل إزالة الحجر الرئيسى فى قوس بناء جسر، يتسبب ذلك فى انهيار المنشأة كلها.

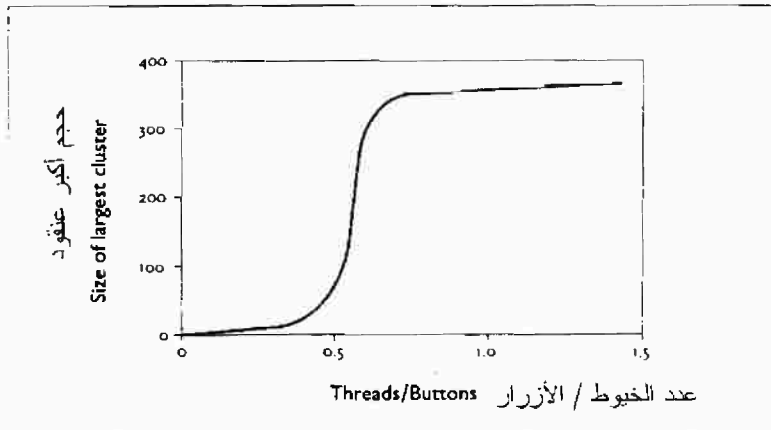
يمكن أن نورد مثلاً لذلك وهو حركة كويكب مثل تلك التى تسبح بين زحل والمشتري، حيث أن كل كويكب مرتبط مع كل جسم فى الكون بقوة الجذب العام ولذا تصبح كل هذه الارتباطات مثل وصلات شبكة، وبالتالي يسهل فهم لماذا يستحيل توقع سلوك أى كويكب على حدة.

كان جل اهتمام كاوفمان يتركز فى دراسة كيفية ظهور الحياة من اللاحياة. لقد درس فى البداية الفلسفة - فى كلية دارتموث فى نيوهامبشير، ثم فى جامعة أكسفورد بإنجلترا - ، ولكن كان هناك قدر كبير من الدراسة فى علوم الحياة تتعلق بكيفية الربط بين الصور التى نحملها فى رؤسنا وعمل الأعصاب والعيون فى ترجمة المعلومات التى تتدفق من العالم الخارجى. بعد ذلك انتقل كاوفمان إلى

دراسة الطب وعمل كطبيب في مستشفى جامعة كاليفورنيا في سان فرانسيسكو. وهكذا أصبح كارفمان عالما في البيولوجيا النظرية. انتقل بعد ذلك إلى معهد سانتا في (Santa Fe) حيث كان الاهتمام بالشواش، والتعقيد، والتنظيم الذاتي الحرج محور البحث بين العاملين في هذا المعهد.



شكل (٥-١٨): نموذج كارفمان للأزوار التي تمثل شبكة.



شكل (٥-١٨ب): بازدياد عدد الوصلات يحدث تحول حاد من حالة الأزوار المنفردة وعدد صغير من الوصلات إلى حالة يكون فيها تقريبا كل زر متصلا بالشبكة.

وضع كاوفمان تصورا أن تفاعلات كيميائية مثل تلك التى توصل إليها بيلاؤسف وجابوتينسكى (انظر صفحة ٧٤) تتم وحسب سلوك الشبكة التى تم وصفها فى الصفحات السابقة. تزايد الوصلات بين العقد يشابه تزايد التفاعلات بين المواد الكيميائية التى مع وجود المحفزات والمثبطات تؤدي إلى تحول حالة حاد - أى ظهور الحياة.

لا توجد حالة بينية، أى نصف حياة ونصف لا حياة ، إما حياة أو لا حياة. توجد تصورات أخرى عن بداية الحياة، ولكنها كلها غير مقنعة مثلها مثل نموذج كاوفمان، ولكن ما يهمنا الآن هو كيف تتواصل الحياة طالما ظهرت، وما مدى صحة الأفكار التى أوردناها مثل التنظيم الذاتى الحرج، والشبكات، والوصلات، وهكذا...؟

أصبح اهتمام كاوفمان مركزا حول كيفية عمل الخلية وكيف أن هذا التعقيد الذى يبدو لنا، يمكن أن يكون مبنيًا على قواعد بسيطة. إن التعليمات محفوظة فى الحامض النووى (DNA) والذى تتكون منه الجينات نفسها، ولكن البنية الفعلية والميكانيكية المرتبطة بذلك تتكون من البروتينات، وتتكون البروتينات من الأحماض الأمينية؛ ولذلك فاكشاف وجود الأحماض الأمينية فى السحب الكونية التى تكونت منها الشمس والكواكب نفسها شيء يثير الاهتمام بشكل كبير. إن الشفرة الموجودة فى الدنا (DNA) تحكم عملية تكون البروتينات، وهذه البروتينات تحمل الحياة بعد ذلك. عندما ينشط جين (كيف ومتى يحدث ذلك خارج نطاق هذا الكتاب) تنطبع نسخة من التعليمات فى حامض الريبوز النووى «رنا» (RNA) مشابه الدنا. تقرأ الخلية هذه التعليمات من جزيء الرنا ثم تبدأ فى تكوين البروتين. هذه العملية المكونة من خطوتين ربما تدلنا على كيفية بدء الحياة وربما كان جزيء «الرنا» يسبق تكون جزيء «الدنا».

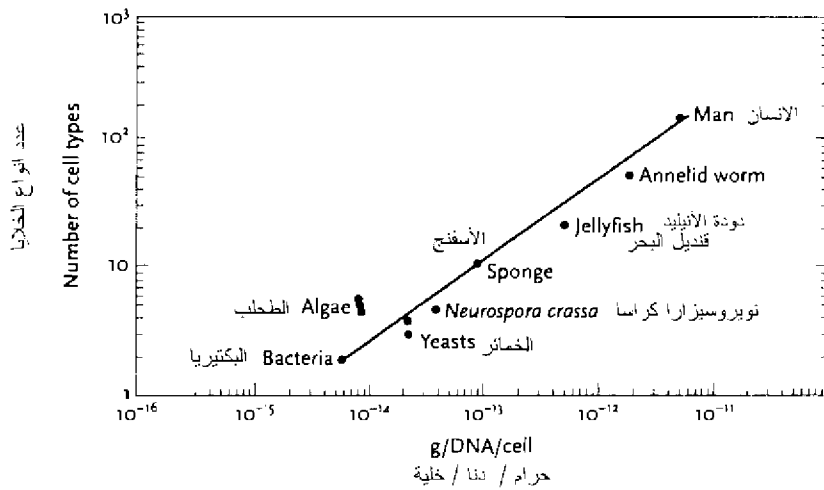
النقطة الأساسية فى تصور كاوفمان هى أن الجينات تتحكم فى عمل الخلية، كما تؤثر الجينات بعضها على البعض. يعود اهتمام كاوفمان بالعلاقة بين ميكانيكية عمل الخلية وسلوك الشبكات إلى فترة دراسته للطب، ولكن لم تبلور هذه النظرة إلا فى الثمانينيات من القرن الماضى فى معهد سانتافى، فى ذلك الوقت كان الحديث أن هناك مائة ألف جين يتكون منها الجينوم البشرى، الآن أثبت مشروع الجينوم البشرى أن هناك فقط ثلث هذا العدد الذى يشكل جسم الإنسان. يوجد هذا العدد من الجينات فى كل خلية من خلايا الجسم البشرى، ولكن ليست كلها نشطة فى

نفس الوقت، ويتخصص كل جين في وظيفة معينة، ويتم ذلك خلال نمو الجنين. هذا الموضوع هو الشغل الشاغل لعلماء البيولوجيا في الوقت الحالي. بأى حال، يوجد في جسم الإنسان ٢٥٦ نوع من الخلايا المتخصصة، ويظل هذا التخصص ثابتا طوال الحياة، فخلايا الكبد تظل خلايا كبد طوال حياة الإنسان، لكن كل المعلومات المحفوظة في الجين تظل موجودة كما هي، بدليل أن الاستنساخ يفضي إلى مخلوق نسخة مطابقة للكائن المستنسخ.

يمكن أن نشبه العلاقات بين الجينات مثل الخيوط بين الأزرار في النموذج الذى سبق ذكره أو العقد فى الشبكات كما رأينا. شبه كاويمان عمل الجينات بشبكة ضخمة من المصابيح الكهربائية موصلة بشكل عشوائى، يمكن أن يحدث أن تكون كل المصابيح مضاءة أو تكون كلها منطفئة. بين هذا وذاك يمكن أن يحدث عدد هائل من الحالات التى تكون فيها مجموعات مختلفة من المصابيح مضيئة أو منطفئة. عدد هذه الحالات هو (2^n) حالة. إذا كان هناك مائة مصباح تكون هناك (2^{100}) حالة ممكنة، وهذا عدد كبير جدا إذا قارناه حتى بعمر الكون بالثانية الذى يبلغ 10^{17} - فى حين عدد الحالات هو (10^{31}) والذى يزيد بعشرة آلاف بليون مرة.

مع كل هذا بدأ كاويمان فى تنفيذ برنامج حاسوبى لعدد بسيط من المصابيح، ومع هذا استغرق هذا العمل عددا من السنوات لاستكماله.

كان الهدف الرئيسى للفريق هو التوصل إلى الأوضاع المستقرة المبنية على قواعد بسيطة، وكانت النتيجة التى توصل إليها الباحثون أنه توجد حالات مستقرة ودورات استقرار، يستقر عندها النظام ويتجه إلى إحداها مهما كانت البداية، ربما يكون هذا هو شكل ظهور الحياة فى الخلية، وجد الباحثون أنه عندما يكون كل مصباح مرتبطا بعقدة واحدة لا يحدث شيء مثير، وإذا كان لكل مصباح عقدتان فإن الشواشى يقلب على سلوك الشبكة، ويكون النظام حساسا بدرجة أن فتح أو إغلاق أحد المصابيح يجعل الشبكة تنتقل من وضع مستقر إلى آخر مثل ظاهرة الفراشة. قرب حافة الشواشى تحدث أشياء ذات مغزى - حيث تكون دورة الحالة مسارية للجذر التربيعى لعدد العقد. فى حالة وجود مائة عقدة يبلغ عدد هذه الحالات عشر فقط. عندما يبلغ عدد العقد مائة ألف، يوجد فقط ٣٢٧ حالة جاذبة مستقرة لا تتأثر بالمؤثرات البسيطة. إذا كان عدد العقد ثلاثين ألفا يكون عدد الحالات المستقرة ١١٧ حالة فقط.



شكل (٩-٥): يبين الشكل مقدار جزيئات الدنا في الخلية مع عدد الخلايا في كائنات مختلفة بمقياس رسم لوغاريتمي.

للتحقق من هذا قام كاوفمان بمقارنة عدد الجينات وعدد الخلايا المتخصصة في كائنات حية مختلفة. وكما هو مبين في شكل (٩-٥) يقترب المنحنى من العلاقة الخطية (خط مستقيم بأس يساوى النصف).

مازال البحث جاريا و ما زال أمامنا اجراء العديد من التجارب لاختبار هذه الأفكار والفرضيات التي نحاول فهم التطور والتنوع. من كل ذلك واضح أن المخلوقات مهما كانت معقدة التركيب مثل الإنسان والذى يمثل أعقد بنية في هذا الكون - يتكون حسب قواعد بسيطة جدا.

لذا تنخفض أعداد التفاعلات المحتملة بين آلاف العناصر في الخلايا إلى عدد بسيط من الحالات الممكنة، ويصغ كاوفمان ذلك على الصورة التالية: «نحن تعبیر طبيعي عن انتظام أعمق». لنتقل الآن إلى بحث كيف يؤثر هذا الانتظام الأعمق على التفاعلات بين الكائنات الحية وليس فقط بين الجينات والمواد الكيميائية.