الباب الخامس

الزلازل، الانقراض والنشوء

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

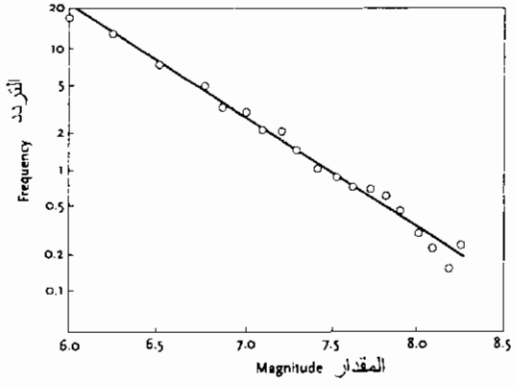
بالنسبة للآلات فمن أبسط الآلات العجلة والرافعة والعجلة المسننة مثل تلك التى توجد بالدراجة فكلها آلات بسيطة. يلقى كل هذا الضوء على التعقيد بأنه الطريقة التى تتفاعل بها المكونات مع بعضها البعض، خاصة أن كومة من العجلات والروافع ليست نظاما معقدا بالتأكيد، حتى وإن كانت الكومة تمثل المكونات اللازمة لعمل دراجة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

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

عـن القـانون (أو القـوانين) التى تحكم تفـاعل هذه المكونات وسلوكـهـا، 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 التى تفقد جزءا من طاقتها مع الوقت وقرب الشواش – بالنسبة للنظم الأرضية ليس هناك أفضل من مثال الزلازل.

من أهم الأسئلة التى تُثار حول الزلازل هو متى تحدث الزلازل؟... بصرف النظر عن الأهمية الأكاديمية – يمثل هذا السؤال أهمية عملية بالنسبة للقاطنين فى مناطق موبوءة بالزلازل، وكذلك لشركات التأمين وغيرها ... من المعروف أنه فى بعض المناطق تحدث زلازل متباعدة ولكن عنيفة، وفى مناطق أخرى تحدث زلازل متقاربة على فترات قصيرة ولكنها ليست شديدة. بدلا من مجرد التخمين، لتنظر إلى الصورة الفعلية لحدوث هذه الزلازل فى 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، والذى يحمل الآن اسمه.

كـمـا هو واضح فى شكل (٥–١) فإنه كلمـا زادت شدة الزلزال انخفـضت تكراريتـــه، وحيث أن مقياس الرسم لوغاريتمى(*) فإنه كلمـا زادت شدة الزلزال كلمـا تباعـدت فترات حدوثه عشرات المرات، لقد توصل بينو جوتنبرج (١٨٨٩ – ١٩٦٠م) إلـــى القانون الذى يحمل اسميهـما (قانون ريختر – جوتنبرج) والذى يقضـــى وكمثال بأنه لكل ألف زلزال بشدة ٥ على مقياس ريختر، يتوقع ١٠٠ زلزال بشـدة ٦ وعشرة زلازل بشدة ٧ على نفس المقياس .. وهكذا .. هذا مثال

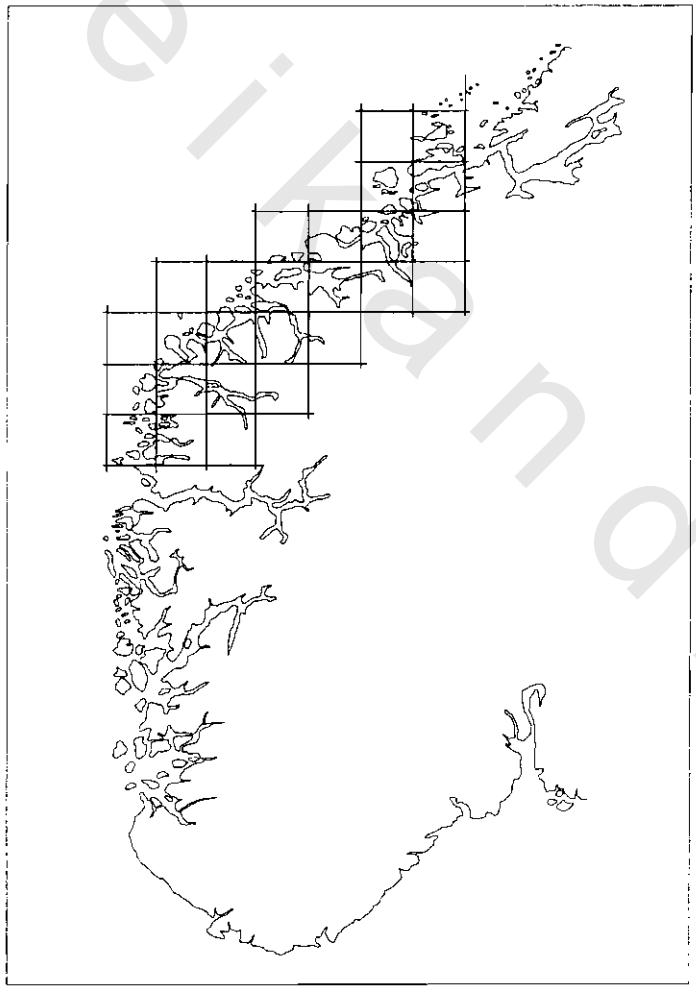


شكل (٥–١) يربط قانون ريختر جوتبرج شدة الزلازل وتكراريتها.

(*) المقياس اللوغاريتمى: هو مقياس رسم يستعاض فيه عن الرقم بقيمة لوغاريتمه وذلك يتيح تمثيل أعداد كبيرة فى مدى صغير .

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

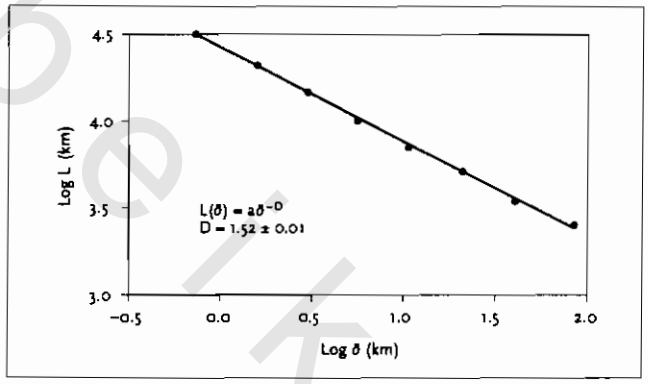
كـل هذا قريب من مفهوم الكسريات التى تـم عرضها فى الباب الثالث. من أفضل الأمثلة على ذلك هو قياس طول شواطئ النرويج والذى يتميز بوجود خلجان تتفرع إلى خلجان أصغر والتى تتفرع بدورها إلى خلجان أصغر وأصغر وهكذا.



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.

obeikandl.com

بصرف النظر عن مقدار الأس، فإننا نحصل على علاقة أُسّية مثل قانون ريختر – جوتنبرج. سمة هامة لهذه العلاقات الأسية أنها لاتعتمد على مقياس الرسم أو حتى المسبب الفيزيائى 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 زلزالين قويين متقاربين فى الزمن، وإنما نتحدث هنا فقط عن التكرارية.



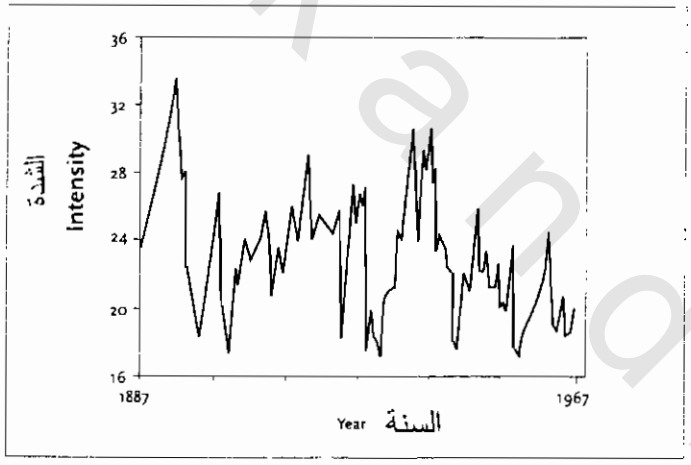
شكل (٥-٢ب): يبين الشكل طول شواطئ النرويج مع مساحة المربعات بمقياس رسم لوغاريتمى.

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». لنتصور 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 تتصادم 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 والمشترى.

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 جانبا القطع الصغيرة جدا ورسمنا علاقة بين عدد القطع فى كل صنف مع وزنها نحصل على قانون أُسّى. لنأخذ الآن القطع الصغيرة جدا ونأخذ ميزانا حساسا ونصنّف هذه القطع حسب وزنها ونكرر الخطوة السابقة، نحصل مرة أخرى على قانون أُسّى . 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 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 وبنفس الطريقة التى تتكسر 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 تكراريته مرفوعة لأس ما.

يطلق على مثل هه 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 «بالكوازارات» "quasars" فى الفترة من «١٧٨٨ - ١٩٦٧م».

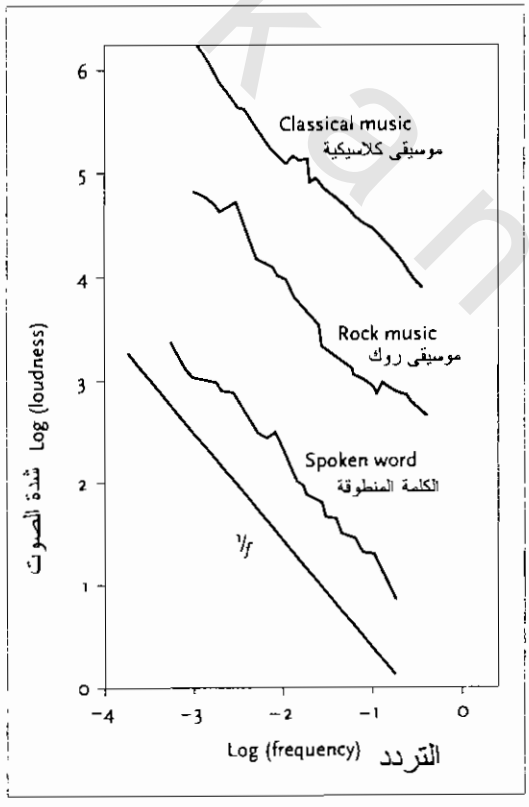
نلاحظ كما هو مبين فى شكل (٥-٣) أن التغيرات فى وهج الكوازارات يحوى تلألؤا سريعا وتذبذبات بطيئة تتراكب أحداها على الأخرى.

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 مل 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 فى استخدام مثل هذه العلاقة وتطبيقها فى 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 فى درجة الحرارة المتزايد خلال القرن ونصف القرن الماضيين يتوافق تماما مع معدل ازدياد النشاط الإنسانى الذى يؤدى إلى انطلاق غازات الاحتباس الحرارى فى طبقة الغلاف الجوى.

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



شكل (٥-٤): إذا استخدمنا مقياس الرسم اللوغاريتمى نرى أن الموسيقى الكلاسيكية، موسيقى الروك والتخاطب البشرى تظهر كلها كأشكال «ضوضاء f/1» لأنها كلها تحوى معلومات.

ثمة جانب مهم فى هذا الموضوع هو أنه بالخبرة والتجربة التاريخية، تقوم

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 زيبف (George Zipf) – من جامعة هارفارد – بدراسة سكان المدن فى العالم. من البديهى 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 أُسّى، 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 بحت، مما يعنى أن عمليات الاختيار لكل هؤلاء السكان ليست مرتبطة بعضها بالبعض 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 أُسّية 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 أُسّيا، يمكن أن تؤدى 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 آيرلندى الأصل وعمل فى النمسا ثم فى أمريكا فى الثمانينيات من القرن الماضى، ووجد أن الاقتصاد يتبع قوانين قريبة من قوانين الديناميكا الحرارية قرب الاتزانية . من المفاهيم الأساسية فى هذا الموضوع هو مفهوم «انخفاض العائدات». ببساطة إذا اخترع شخص شيئاً ما وباع منه عددا كبيرا، فإنه مع الوقت أصبح منتشرا ويقل الطلب عليه، وبالتالى 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 أيضا أن شركة «آبل» وإن كانت تنتج منتجات أفضل، لكن كان تسويقها فى البداية غير ناجح مقارنة بنجاح شركة ميكروسوفت، المهم هو أن الاقتصاد أصبح أقرب إلى الديناميكا الحرارية اللاإتزانية منها إلى الديناميكا الحرارية الكلاسيكية.

لنعد إلى الماضى – إلى موت الديناصورات الذى حدث قبل ٦٥ مليون سنة، والذى يمثل علاقة انتهاء العصر الطباشيرى وبداية العصر الثلثى. إن موت الديناصورات كان مصاحبا لفناء ٧٠٪ من كل أنواع الكائنات الحية على الأرض، حيث إن هذا حدث على مدى عدة آلاف من السنين، فهو يمثل علامة فارقة فى العمر الجيولوجى على الأرض.

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

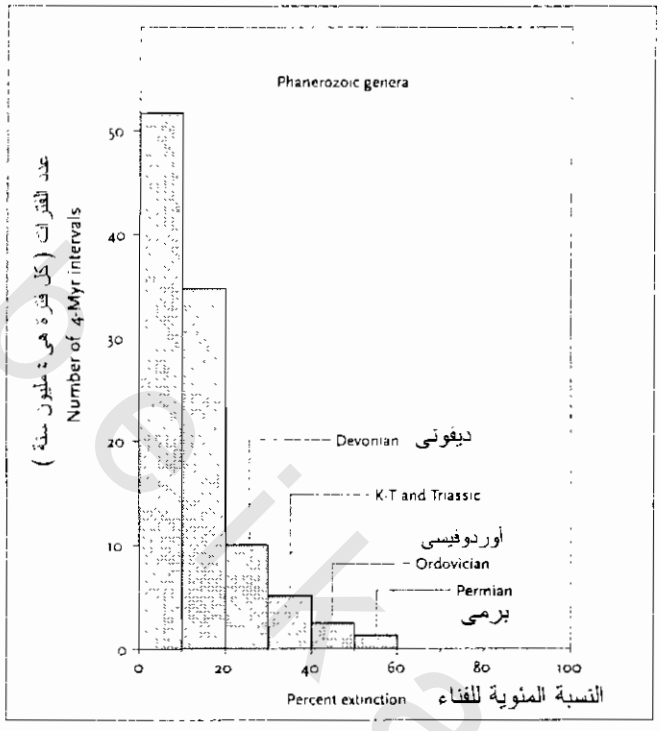
يمكن تفسير ذلك بأن الانفجار الذى حدث يكافئ انفجار بليون ميجاطن من الـ ت. ن. ت (TNT) مما أدى إلى تناثر شظايا دخلت الغلاف الجوى ورفعت درجة حرارة الغلاف كله بمعدل ١٠ كيلوات لكل متر مربع من سطح الأرض لعدة ساعات – صاحب كل هذا كمية هائلة من الغبار كما وصفها جاى ميلوش "Jay Melosh" من جامعة أريزونا، صاحبها دخان من كل الحرائق التى 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 التى جابت فيها الكرة الأرضية، وربما يكون الانفجار الهائل الذى حدث منذ ٦٥ مليون سنة هو القشة التى قصمت ظهر البعير، وربما كانت الحياة على الأرض فى ذلك الوقت تعانى من ظروف سيئة نتيجة تغير مناخى مرتبط بتكون القارات. هنا أيضا لابد أن

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

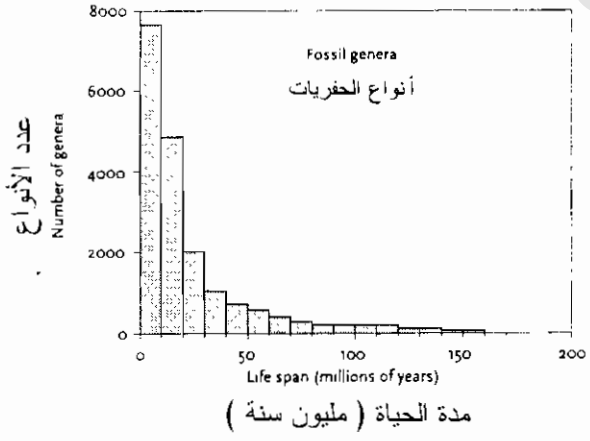
إذا استعرضنا هـذه الأحداث الخمسة والتى حدثت منذ ٤٤٠ مليون سنة (وهى الفترة بين العصر الأوردفيشى "Ordivician" والعصر السيلورى (Silurian) ، ٣٦٠ مليـون سنة (بين العصر الديفونى (Devonian)، والعصر الكربونى أو الفحمى (Carboniferrus) ، منذ ٢٥٠ مليون سنة مضت بين العصر البيرمى (Permian) والعصر الترياسى (Triassic) ، ومنذ ٢١٥ مليون سنة وهى حد العصر الترياسى – الجوراسى (Triassic - Jurassic) ، ومنذ ٦٥ مليون عام (عند الحادثة (K - T) . هـناك أيضا عدة أحداث فناء تكون ما يسمى بالتقويم الجيولوجى. أكبر هذه الأحداث تلك التى حدثت منذ ٢٥٠ مليون سنة فى نهاية العصر البرمى. لقد أفنت هذه الحادثة ٨٠٪ وربما ٩٥٪ من أنواع الكائنات الحية على الأرض وفى المحيطات، وتم ذلك فى غضون عشرة آلاف عام، وهنا يمكن القول بأن ثلث أنواع الكائنات الحية قد انقرضت من على ظهر البسيطة. هنا يمكن أن يثار السؤال: هل هـذه الأحداث المفنية لا تعتمد أيضاً على مقياس الرسم؟ الإجابة الصادقة هى أننا لا نعلم بحق.

قام العالم جاك سيبكوسكى "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 سيبكوسكى رسم العلاقة بين أحداث الفناء فى مراحل يبلغ مداها ٤ مليـون سنة، وكيف تذبذبت عبر الستمائة عام الماضية.

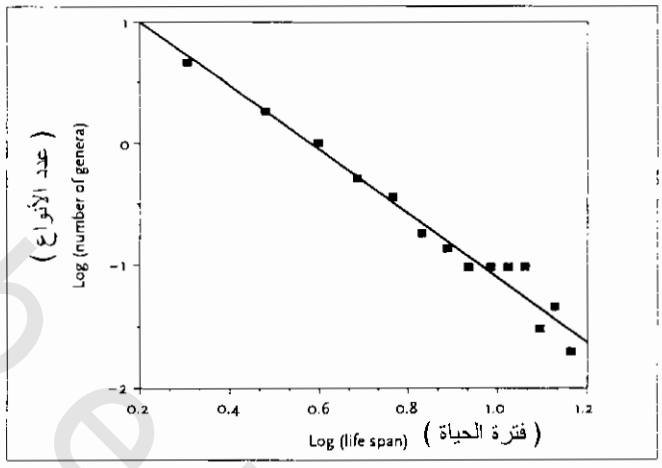
فى شكل (٥–٥) المأخوذ من مقالة نشرها سيبكوسكى فى عام ١٩٩٣ نرى أن النسـب المئوية لا تتوافـق مـع النسب التـى أوردناها، لأنها تتعـلق بفصـائل وليـس لأنواع، وخاصة أنها تتعلق بفصائل الثديات البحرية فقط وليس لكل أنواع الحيـاة علـى الأرض، ولكن التـوافق مـازال جيـدا، حيث إنه يظهـر أن «فناء الديناصورات» هو أيضا فناء الثدييات البحرية. ولكن كل هذا يثير سؤالا: أى نوع من العشوائية هـذا؟ وهل هناك عشوائية فى هذا أصـلا؟ ولكنها ومرة أخرى «الضوضاء (f/1)».



شكل (٥-٥): شكل بيانى يبين عدد المراحل (كل مرحلة هى ٤ مليون سنة) ونسبة الفناء التى حدثت فى كل مرحلة.



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



شكل (٥-٦ب) : ، يبين الشكل نفس العلاقة ولكن على شكل بيانى لوغاريتمى، مما يوضح أن أعمار حياة الأجناس تتبع قانونا أسيًا بأس تقترب قيمته من الثنين.

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

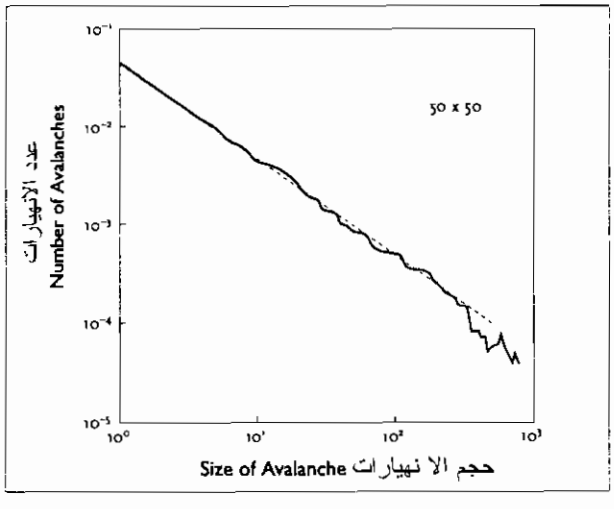
كما نرى فإن عمليات الفناء على الأرض ليست كلها قادمة من الفضاء، ولكنها عمليات تحدث فى أى وقت وعلى أى مستوى، يبدأ بعضها بتصادم النيازك، وأخرى بسبب العصور الجليدية، ولكن مما رأيناه فنحن لا نحتاج دائما إلى دفعة قوية لبدء حدث كبير الأبعاد، أى أن فناءً على أى مستوى يمكن أن ينتج عن حدث بادئ من أى مستوى، باختصار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

فى عام ١٩٨٠م بدأ الفيزيائى الدانمركى المولد بير باك (Per Bak) – والذى عمل فى مختبر بروكهافن الوطنى فى نيويورك – اهتمامه بدراسة سلوك النظم عندما تكون عند حد الشواشى، توصل باك إلى أن مثل هذه النظم لابد وأن تكون مفتوحة أى تتلقى طاقة من خارجها وتصل إلى حالة قرب حدود الشواش تسمى بحالة

«التنظيم الذاتى الحرج»، امتد اهتمام باك ليشمل الزلازل وأحجام سكان المدن، وتوصل باك مع زميليه تشاو تانج (Chao Tang) وكورت ڤيزنفلد (Kurt Wiesen feld) 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 قانونا أُسيًا.

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



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

وُجد بعد ذلك أنه ونظرا لأن حبيبات الرمل ذات قصور ذاتى 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 تتكوم طبقات فى أكوام أعلى لتحدث انهيارات تدريجية تسمح بمتابعة الانهيارات بشكل أفضل.

أجرى التجارب هـــذه باستخدام حبات الأرز لأول مـــرة فيدار فريتل (Vidart Fretle) وزملاؤه فى جامعة أوسلوه. أجريت 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 التى تلقى من أعلى الكومة، ولوحظ أن الحبة الملونة لا تنزلق مباشرة فوق سطح الكومة وإنما يمكن أن تختلط ببقية الحبات ثم تظهر مؤخرا فى مرحلة لاحقة. من هذه التجربة البسيطة نرى أنه فى حالة الأوضاع الحرجة فإن كل حدث صغير يؤثر على كل مكونات المنظومة، أى أنه لا يوجد مكون واحد لا يشارك فى سلوك المنظومة، أى أنه لا يبقى مكون واحد ساكنا لا يفعل شيئاً.

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

بهذا نكون جاهزين للخطوة التالية وهى الرؤية المتمعنة لكيفية ظهور الحياة. حيث إننا توصلنا إلى الأسس البسيطة التى تنشأ عنها ظواهر معقدة مثل الزلازل، البورصات، وحركة التجمعات السكنية نجد أن كل هذا مبنى على الشبكات والوصلات البينية بين أجزائها والتى تبدو فى النهاية نظما معقدة؟ كان ستيوارت كاوفمان (Stuart Kawfman) فى معهد سنتا فى نيو مكسيكو أول من تنبه لعلاقة هذه الشبكات بظهور الحياة .

لنتصور أننا أخذنا عددا كبيرا من الأزرار، ليكن مثلا عشرة آلاف ووضعناها على أرض حجرة، لنبدأ عشوائيا بقطعة من الخيط ونربط زرين ثم زرين آخرين ثم آخرين وهكذا. يمكن أن يحدث أن يكون أحد الزرين 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.

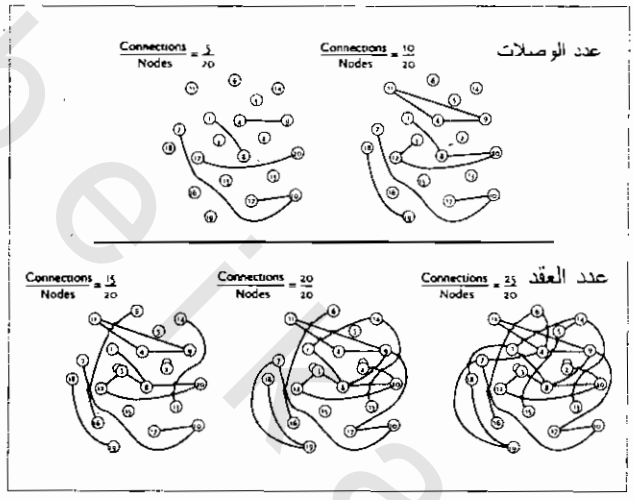
كل مجموعة من الأزرار موصلة بعضها بالأخر تسمى مكون من مكونات الشبكة، وتمثل الأزرار فى مثل هذه الشبكة العقد (nodes) والتى ترتبط بها الوصلات، فكلما ازداد عدد الخيوط يزداد عدد الأزرار المرتبطة بعضها بالبعض الآخر لتكون عنقودا من الروابط، ويمثل هذا العنقود أكبر مكون فى الشبكة. عندما يصل عدد الخيوط إلى النصف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

ليس بالضرورة أن تكون الوصلات هنا قطعا من الخيط، وإنما يمكن أن تكون – كما هو الحال بالنسبة لكومة الرمل – قوة الجاذبية، عندما تكون زاوية انحدار الكومة حرجة، 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.

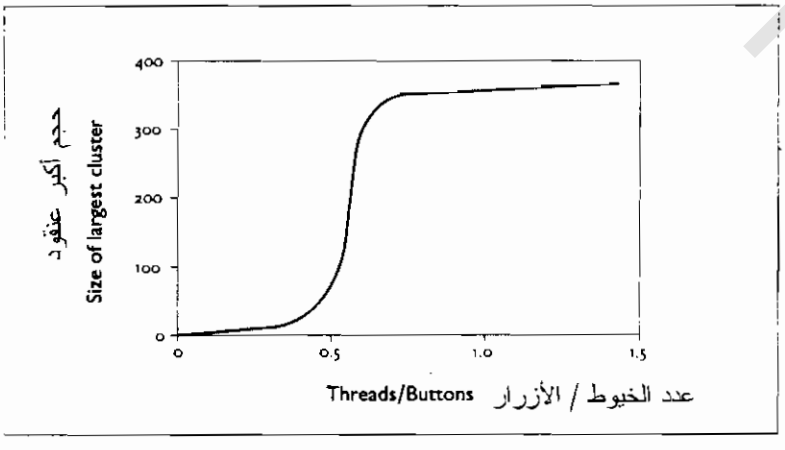
يمكن أن نورد مثالا لذلك وهو حركة كويكيب مثل تلك التى تسبح بين زحل والمشترى، حيث أن كل كويكب مرتبط مع كل جسم فى الكون بقوة الجذب العام ولذا تصبح كل هذه الارتباطات مثل وصلات شبكة، وبالتالى يسهل فهم لماذا يستحيل توقع سلوك أى كويكب على حدة.

كان جل اهتمام كاوفمان يتركز فى دراسة كيفية ظهور الحياة من اللاحياة. لقد درس فى البداية الفلسفة – فى كلية دارتموت 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 رءوسنا وعمل الأعصاب والعيون فى ترجمة المعلومات التى تتدفق من العالم الخارجى. بعد ذلك انتقل كاوفمان إلى

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



شكل (٥-٨أ) : نموذج كاوفمان للأزرار التى تمثل شبكة.



شكل (٥-٨ب) : بازدياد عدد الوصلات يحدث تحول حاد من حالة الأزرار 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 بيلاأوسف وچابوتينسكى (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 تؤدى 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 مبنيا 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 فاكتشاف وجود الأحماض الأمينية فى السحب الكونية التى تكونت منها الشمس والكواكب نفسها شىء يثير الاهتمام بشكل كبير. إن الشفرة الموجودة فى الدنا (DNA) تحكم عملية تكون البروتينات، وهذه البروتينات تحمل الحياة بعد ذلك. عندما ينشط چين (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 جزىء الرنا ثم تبدأ فى تكوين البروتين. هذه العملية المكونة من خطوتين ربما تدلنا على كيفية بدء الحياة وربما كان جزىء «الرنا» يسبق تكون جزىء «الدنا».

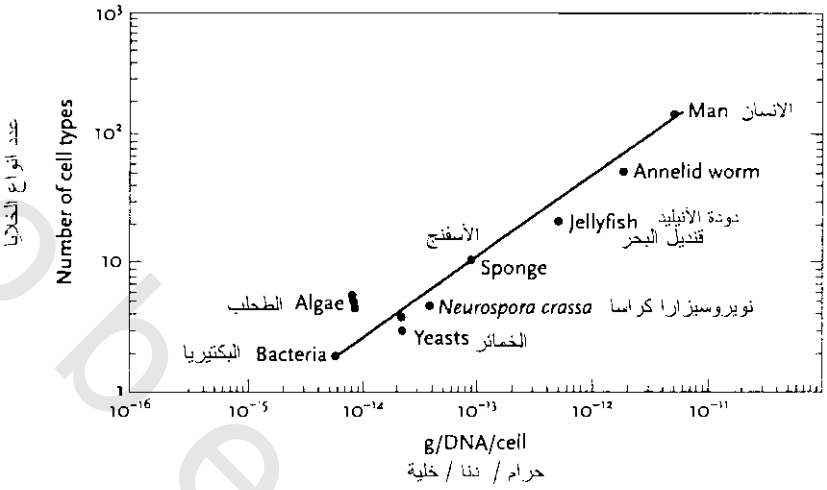
النقطة الأساسية فى تصور كاوفمان هى أن الچينات تتحكم فى عمل الخلية، كما تؤثر الجينات بعضها على البعض. يعود اهتمام كاوفمان بالعلاقة بين ميكانيكية عمل الخلية وسلوك الشبكات إلى فترة دراسته للطب، ولكن لم تتبلور هذه النظرة إلا فى الثمانينيات من القرن الماضى فى معهد سانتافى، فى ذلك الوقت كان الحديث أن هناك مائة ألف چين 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 فى وظيفة معينة، ويتم ذلك خلال نمو الجنين. هذا الموضوع هو الشغل الشاغل لعلماء البيولوجيا فى الوقت الحالى. بأى حال، يوجد فى 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 فى الجين تظل موجودة كما هى، بدليل أن الاستنساخ يفضى إلى مخلوق نسخة مطابقة للكائن المستنسخ.

يمكن أن نشبه العلاقات بين الجينات مثل الخيوط بين الأزرار فى النموذج الذى سبق ذكره أو العقد فى الشبكات كما رأينا. شبّه كاوفمان عمل الجينات بشبكة ضخمة من المصابيح الكهربية 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 $(٢^{١٠٠})$ حالة ممكنة، وهذا عدد كبير جدا جدا إذا قارناه حتى بعمر الكون بالثانية الذى يبلغ $١٧^{١٠}$ – فى حين عدد الحالات هو $(٣^{١٠})$ والذى يزيد بعشرة آلاف بليون مرة.

مع كل هذا بدأ كاوفمان 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 شىء مثير، وإذا كان لكل مصباح عقدتان فإن الشواشى يغلب 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 الشواش تحدث أشياء ذات مغزى – حيث تكون دورة الحالة مساوية 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 (٥-٩): يبين الشكل مقدار جزيئات الدنا فى الخلية مع عدد الخلايا فى كائنات مختلفة بمقياس رسم لوغاريتمى.

للتحقق من هذا قام كاوفمان بمقارنة عدد الجينات وعدد الخلايا المتخصصة فى كائنات حية مختلفة. وكما هو مبين فى شكل (٥-٩) 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 التى تحاول فهم التطور والتنوع. من كل ذلك واضح أن المخلوقات مهما كانت معقدة التركيب مثل الإنسان والذى يمثل أعقد بنية فى هذا الكون – يتكون حسب قواعد بسيطة جدا.

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

obeikandl.com