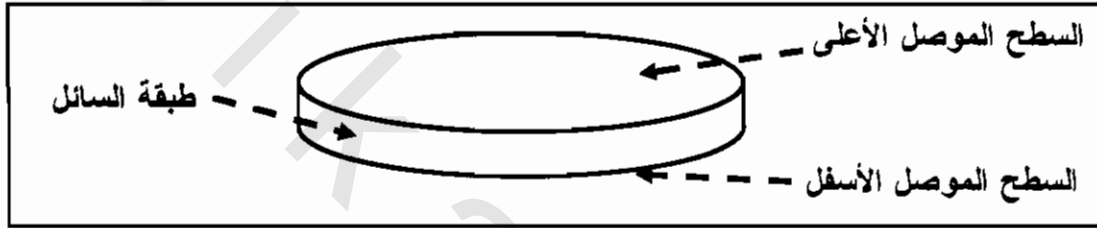


الفصل الثانى

تحدى القوانين

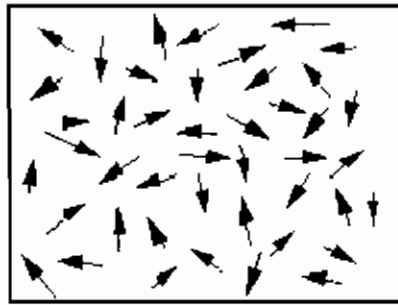
لغائف بينارد Bénard Rolls

فى عام ١٩٠٠ كان عالم الفيزياء الفرنسى هنرى بينارد (١٨٧٤-١٩٣٩) يجرى تجربة بسيطة لدراسة التوصيل الحرارى خلال الموائع. ويوضح الشكل (١-٢) مكونات هذه التجربة التى تتكون من طبقة رقيقة من سائل محصورة بين سطحين كبيرين من مادة موصلة للحرارة.



الشكل (١-٢): مكونات تجربة بينارد

وبالطبع عند تساوى درجة حرارة هذه المكونات، السطحين الموصلين والسائل المحصور بينهما، فإن المنظومة تكون فى وضع الاتزان التى يكون من أوضح ملامحها عدم وجود حركة للكتل المكونة للسائل. وعلى الرغم من ذلك فإن جزيئات السائل تتحرك عشوائيا فى جميع الاتجاهات كما هو موضح بالشكل (٢-٢).



الشكل (٢-٢): الحركة العشوائية لجزيئات السائل

وتبدأ التجربة بتسخين السطح الأسفل الذي تنتقل الحرارة منه إلى جزيئات طبقة السائل الملاصقة له فتزيد طاقة حركتها (طاقتها الحرارية) وتبدأ في الحركة بسرعة أكبر من سرعة بقية الجزيئات. وتنتقل الطاقة الحرارية لهذه الجزيئات عبر تصادمها مع جزيئات الطبقة التي تعلوها في وضع شبيه بتصادم عربة سرعتها ١٠٠ كم/ساعة مع عربة سرعتها ٢٠ كم/ساعة على سبيل المثال. وتكرر هذه العملية بين الجزيئات المكونة لطبقة من طبقات السائل مع جزيئات الطبقة التي تعلوها، وهكذا إلى أن تصل إلى طبقة الجزيئات الملاصقة للسطح الأعلى. وتسمى هذه العملية بالـ "التوصيل الحراري". وفي هذه العملية لا تنتقل الحرارة عبر حركة كتل السائل بل من خلال انتقال الطاقة الحرارية لجزيئات طبقة السائل الساخنة إلى جزيئات طبقاته الباردة، وإلا هنا لاشيء جديد أو ملفت للانتباه.

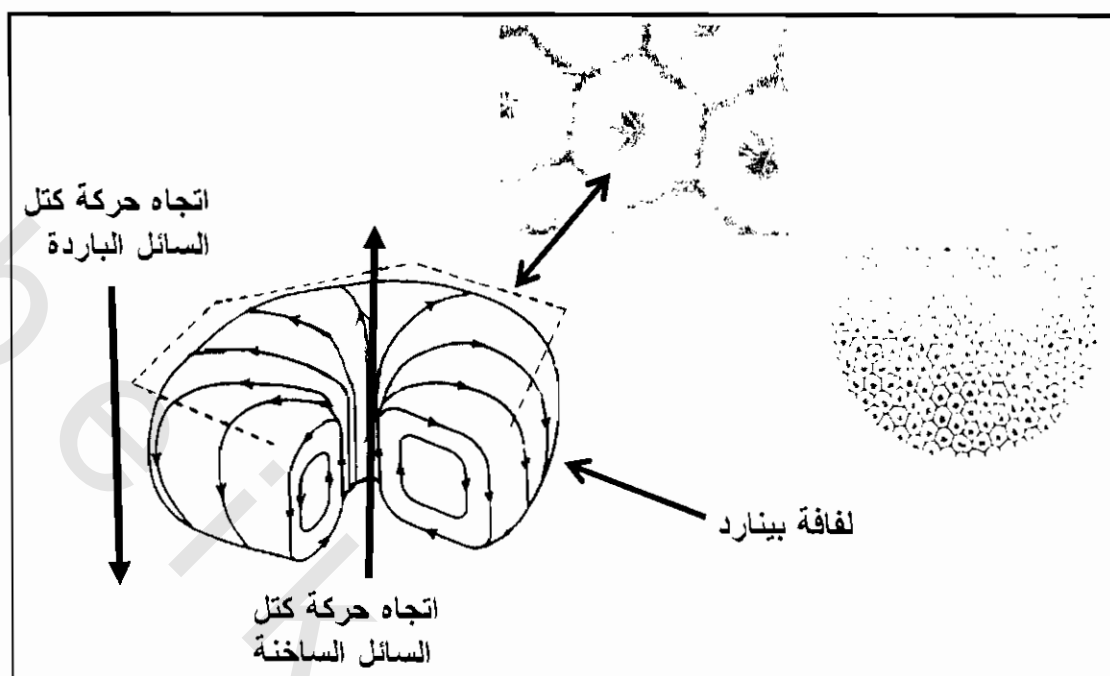
وعندما تتجاوز درجة حرارة السطح الأسفل حدًا معيناً (درجة الحرارة الحرجة) تبدأ الأمور في التغير. فعندما ننظر إلى السائل عبر السطح الموصل الأعلى نلاحظ بدء ظهور أشكال هندسية مسددة الشكل تعرف بـ "خلايا بينارد" Bénard Cells كما هو موضح بالشكل (٢-٣). ويشير ظهور هذه الخلايا، التي لا تتجاوز أبعادها المليمتر، إلى بدء آلية جديدة لانتقال الحرارة من السطح الساخن إلى السطح البارد وهي عملية "الحمل الحراري". وهي الآلية التي تقوم على صعود كتل السائل الساخنة إلى أعلى وهبوط كتله الباردة إلى أسفل. والأمر المثير هنا أن حركة هذه الكتل تنظم في أشكال هندسية. أي أن الحركة العشوائية لجزيئات السائل، قبل درجة الحرارة الحرجة، قد حلت محلها حركة منتظمة لكتل السائل.



[أ] شكل سطح السائل أثناء عملية "التوصيل الحراري" [ب] شكل سطح السائل أثناء عملية "الحمل الحراري" والتي تتميز بكونها متجانسة ومتماثلة والتي تتميز بظهور "خلايا بينارد"

الشكل (٢-٣): صورتان لتجربة بينارد: [أ] قبل تخطي درجة الحرارة الحرجة، [ب] بعد تخطي درجة الحرارة الحرجة [١]

ويوضح الشكل (٤-٢) نظرة عن قرب لـ "لغائف بينارد".



الشكل (٤-٢): لغائف بينارد

حكاية الفطر اللزج Slime Mold

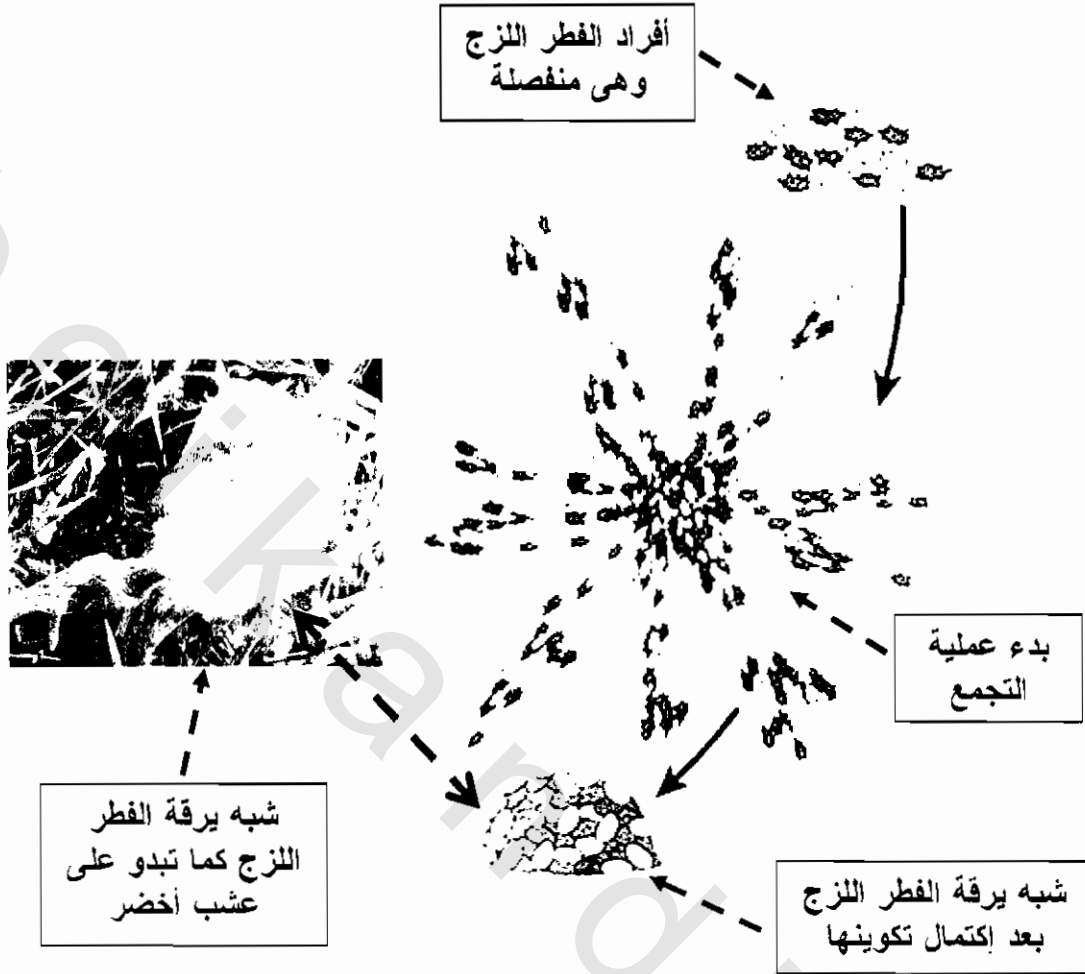
الفطر اللزج* هو اسم الشهرة لكائن حي وحيد الخلية من فصيلة الأميبا طعامه المفضل هو البكتريا التي يعشق التهامها أينما وجدها. أما سبب اهتمام العلماء الخاص به فهو مايبديه من سلوك غير مألوف. فعندما يتوفر الطعام (البكتريا) في بيئته، التي يتجول فيها منفردا بشكل عشوائي، نراه يمارس دورة حياته المعتادة التي تتكون من الخطوات التالية:

- امتصاص للطعام.
- إفراز للمخلفات.
- تكرار للخطوات السابقة.

ويبدأ سلوكه غير المألوف عندما يستشعر الكائن المنفرد نقصا في الطعام المتاحة، ساعتها نراه يسعى للالتصاق بأفراد جنسه ليشكلوا سويا تكوينا متعدد الخلايا يعرف علميا بالـ "سودو بلاسموديوم" Pseudo Plasmodium، أو بـ تشبيه اليرقة" [انظر الشكل (٢-٥)]. ويتمتع هذا التكوين بقدرات لا تتوفر لدى مكوناته المنفردة، فهو على سبيل المثال قادر على الحركة من مكان لآخر استجابة لأي تغير يستشعره في مستوى الإضاءة أو في درجات الحرارة وذلك لمسافات كبيرة لايقدر عليها الكائن المنفرد. أما الأكثر إثارة فهو تمتع هذا التكوين بقدر من الذكاء البدائي الذي لايتوفر لدى مكوناته المنفردة. ففي سنة ٢٠٠٠ نشر العالم الياباني ناكاجاكي ومن معه Nakagaki et al ورقة علمية في دورية "نيتشر" Nature الشهيرة [٢] يلخص فيها تجربة تظهر السلوك الذكي لشبه يرقة الفطر اللزج. وفي البداية بنى ناكاجاكي ومن معه "متاهة" من الطرق المتشابهة ووضع فيها شبه يرقة الفطر اللزج [انظر الشكل (٢-٦)]. ولقد لاحظ ناكاجاكي ومن معه أن شبه يرقة الفطر اللزج قد تمدد جسدها وتفرع ليملا كافة طرق المتاهة. وفي الخطوة الثانية تم وضع قطعتين من الطعام المناسب في مكانين مختلفين في المتاهة. وبمجرد أن استشعرت يرقة الفطر اللزج بوجود الطعام حتى بدأت في تقليص جسدها و"الم" أطرافه من طرق المتاهة التي لاتوصل إلى

* اسمه العلمي هو ديكتيوستيليدس dictyostelids

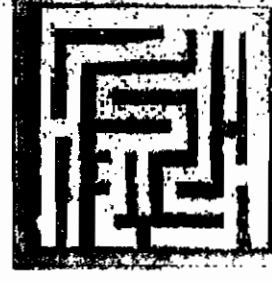
الطعام مباشرة. أى أن هذا لكائن أبدى سلوكا ذكيا باكتشاف واتباع أقصر الطرق فى سعيه للحصول على طعام.



الشكل (٢-٥): عملية تكوين شبه يرقة الفطر اللزج

وتوقف العلماء حيرى أمام هذا السلوك غير المؤلف لكائن وحيد الخلية وتداعت أمامهم الأسئلة التى تنتظر الإجابة. فعلى سبيل المثال "كيف تنتظم هذه الكائنات فى كيان أكبر منها؟". وكان الرد المباشر، المرتكز على مبدأ "لا بد من وجود صانع للنظام" أو ثنائية "النظام، صانع النظام"، إن بعضا من كائنات الفطر اللزج لابد وأن تتمتع بصفات "قيادية" تتيح لها الإشراف وتوجيه عملية تنظيم هذه الكائنات البسيطة فى كيان أكبر منها يتمتع بقدرات لا تتوفر لهذه الكائنات

كل على حدة. وبالفعل نجح العالم الأمريكي شافر Shafer من جامعة هارفارد سنة ١٩٦٢ فى وضع نظرية تفسر كيفية تواصل العناصر القيادية لكائنات الفطر اللزج مع بقية أفراد شعبها!. وبينت هذه النظرية أن هذا التواصل يتم عن طريق إفراز مادة معينة (إنزيم إيه إم بى الدائرى Cyclic AMP) التى تستشعرها كائنات الفطر اللزج وتستجيب لها [٣]. وبالطبع يتطلب إثبات هذه النظرية والتحقق من صحتها اكتشاف طريقة لتمييز هذه العناصر القيادية والتعرف على صفاتها الخارقة. ولقد أخفقت جهود العلماء فى اكتشاف هذه العناصر المراوغة فكل أفراد الفطر اللزج متشابهة لافرق بينها. وهكذا ظل السؤال "كيف تنتظم هذه الكائنات فى كيان أكبر منها؟" بدون إجابة.

		
بعد مرور ٨ ساعات من وضع الطعام تملأ فروع جسد يرقة الفطر اللزج أقصر طرق المتاهة المؤدية للطعام.	بعد مرور ٤ ساعات من وضع الطعام تبدأ يرقة الفطر اللزج فى سحب فروع جسده من طرق المتاهة التى لاتؤدى مباشرة إلى الطعام.	فى البداية تمدد جسد شبه يرقة الفطر اللزج وتفرع ليملاً طرق المتاهة.

الشكل (٢-٦): تجربة العالم اليابانى ناكاجاكى ومن معه [٢]

ويأتى الفرع على أيدى عالمة الفيزياء النظرية إيفلين فوكس كلر Evelyn Fox Keller وعالم الرياضيات لى سيجل Lee Segel. وفى سنة ١٩٦٩ ينشر العالمان ورقة قصيرة تغندا فيها فرض شافر الرئيسى والقاضى بضرورة وجود عناصر قيادية [٤]. فطبقاً لنظريتهما لاتوجد حاجة إلى عناصر قيادية تشرف على عملية تكوين "شبه اليرقة" وأن أفراد الفطر اللزج قادرون بذواتهم فقط على تكوينها

وبدون أى إشراف [٥]. والسر فى ذلك اتباع أفراد الفطر اللزج لقاعدتين بسيطتين هما:

١. عندما تكتشف مشكلة ما فى البيئة، كنقص الطعام أو الجفاف، إفرز إنزيم "إيه إم بى الدائرى"
٢. إذا اكتشفت إنزيم "إيه إم بى الدائرى" فى البيئة
- إفرز أنت أيضا إنزيم "إيه إم بى الدائرى"
- توجه نحو مصدر هذا الإنزيم

أمة بلا زعيم

اذهب إلى النملة أيها الكسلان تأمل طرقها وكن حكيما
التي ليس لها قائد أو عريف أو متسلط
وتعد فى الصيف طعامها وتجمع فى الحصاد أكلها

(سفر الأمثال ٦: ٦، ٧: ٦، ٨: ٦)

﴿حَتَّىٰ إِذَا أَتَوْا عَلَىٰ وَادِي النَّمْلِ قَالَتْ نَمْلَةٌ يَا أَيُّهَا النَّمْلُ ادْخُلُوا مَسَاكِنَكُمْ
لَا يَحْطِمَنَّكُمْ سُلَيْمَانُ وَجُنُودُهُ وَهُمْ لَا يَشْعُرُونَ﴾

(سورة النمل : ١٨)



النمل ... هذا المخلوق الذى يشكل حوالى ٢٠% من الكائنات الحية على كوكب الأرض (طبقا لموسوعة ويكيبيديا) ... وتبلغ أنواعه ما يقرب من ١١,٩٤٨ [٦] والذى لفتت خصائصه الفريدة أنظار الإنسان فجاء ذكره فى كتبه المقدسة. فـ "أمة النمل" هى أمة تؤمن بالتخصص الدقيق وتمارس العمل الجماعى بانضباط غير مسبوق، هذا بالإضافة مهارتها المشهودة فى عمارة الأوطان. ويخيل لمراقب هذه الأمة فى حياتها اليومية أنه يشهد تجسيدا نموذجيا لما يجب أن تكون عليه دولة شمولية يحكمها ديكتاتور بيد من حديد.

تتنظم أمة النمل فى ثلاث طوائف رئيسية هى: "الملكات" و"الذكور" و"الشغالة". وفى الغالب تضم الطائفة الأولى ملكة واحدة. وفى حقيقة الأمر تعتبر ملكة

النمل أقل شأنًا من ملكة إنجلترا، حيث إنها "لا تملك ولا تحكم" ووظيفتها الوحيدة في الحياة هي "الخلفة"، أى أنها ليست إلا "ماكينة لوضع البيض". إنها "أم" أمة النمل بكافة طوائفها. وحتى تقوم برسالتها خير قيام تقوم بعض بناتها من طائفة "الشغالة" بتنظيفها وتغذيتها على مدار الساعة. أما ثانی طوائف أمة النمل فهي طائفة "الذكور". وهى طائفة قليلة العدد تنحصر مهمة أفرادها فى تلقيح الملكة. ومأن يتم الفرد منها مهمته لا يبقى أمامه من خيار إلا الموت. أما الطائفة الأهم من طوائف أمة النمل فهي طائفة "الشغالة". وتتكون هذه الطائفة من إناث النمل العقيمة عديمة الأجنحة، وتتعدد مسؤوليات هذه الطائفة مابين إنشاء وصيانة الوطن (العش)، وجمع وتخزين الغذاء، والعناية بالصغار والكبار غير القادرين. وترتبط طبيعة المهمة التى تقوم بها الشغالة بعمرها: ففي بداية حياتها تقوم بخدمة الملكة ورعاية الصغار، وعندما تنضج تساهم فى أعمال حفر وصيانة العش، أما عندما يتقدم بها العمر تقوم بمهام جمع الطعام خارج العش. ومن بين أفراد هذه الطائفة يتم انتقاء الإناث كبيرة الحجم لضمهم لفئة "الجنود" المسؤولة عن الدفاع عن الوطن والقيام بالغزوات واسترقاق المهزومين.

أما مهارة النمل كأمة بناءة فتنضح من أسلوبها الذى تتبعه فى عمارة أعشاشها. فهي فى العادة تحفر أعشاشها تحت الأرض إلى أعماق قد تبلغ فى بعض الأحيان العشرة أمتار. وتتكون هذه الأعشاش من حجرات عرضية تربطها قنوات طولية كما هو موضح فى الشكل (٢-٧). وتستخدم هذه الحجرات استخدامات متعددة، فالبعض منها يخصص للسكنى والبعض الآخر لتخزين الطعام. ولا تنسى أمة النمل موتاتها فتخصص لهم مقبرة تكون فى العادة قريبة من السطح. ونظرا لأهمية النظافة فى حياة الأمم تخصص غرفة أخرى قريبة من السطح لإلقاء النفايات. هذا ويراعى مهندسو إنشاءات أمة النمل أن تكون هناك مسافة كافية بين "المقبرة" و"المزبلة" [٣].



الشكل (٧-٢): مجسم لأحد أعشاش النمل [٧]

ومن المثير للاهتمام الأسلوب الذى تتبعه أمة النمل فى توزيع مواطنيها وتسكينهم. فيخصص للملكة أكثر حجرات العش عمقا وانعزالا حتى تتفرغ لمهمتها الجليلة المتمحورة حول زيادة عدد أفراد الأمة. وتحتل صغار الشغالات الحجرات الأكثر عمقا بينما تخصص الحجرات القريبة من سطح الأرض للشغالات اللواتى يتولين مهام جمع الغذاء ومهام الدفاع عن العش [٧].

كان هذا عرضا سريعا ومقتضبا لأحوال أمة النمل إلا أنه يكفى لأن يثير فى الذهن سؤال عن السر وراء قدرة هذه الأمة على تنظيم شئون حياتها بكفاءة عالية وتنسيق مشهود. وهو السؤال الذى حير العلماء وأفنوا فى المحاولة للإجابة عليه الوقت والأموال. وأول ما ورد فى خواطرهم هو أن هذا التنظيم المحكم لابد وأن يكون وراءه "سلطة مركزية" و"هرمية إدارية" تفرض القوانين وتجبر أفراد هذه الأمة على احترامها. وكان فى ذهنهم نموذج الجيش بما

يتضمنه من "قيادة عليا" و"تسلسل للترتيب" و"نظام محكم للسيطرة والاتصالات". باختصار كان أملهم في الإجابة على السؤال هو نموذج "السيطرة من أعلى لأسفل" Top-Down Control، إلا أن نتائج مراقبتهم الدقيقة لسلوك النمل جاءت مخيبة لآمالهم؛ فملكة النمل، على سبيل المثال، لاحول ولا قوة لها ولا سيطرة لها على أحد. والأكثر من ذلك اكتشف العلماء أن أغلب ما ينجزه أفراد أمة النمل من أعمال لا يتطلب وجود اتصال مباشر بينهم ولكنه يرتبط بشواهد متعلقة بطبيعة المهمة المراد إنجازها. فعلى سبيل المثال يتسبب انهيار ممر في العش في لفت انتباه الشغالات المارات بالقرب منه فيبدؤن القيام بعملية الإصلاح. وتقدم الإستراتيجية التي يتبعها النمل في جمع الطعام مثالا لـ "تنسيق السلوك الذي لا يعتمد على وجود سلطة مركزية". ففي البداية تبدأ الشغالات من جامعات الطعام في التجول "العشوائي" خارج العش بحثا عن مصادر الغذاء، وتفرز كل شغالة أثناء هذا التجول العشوائي مادة ذات رائحة مميزة تعرف بالـ "فيرومون" Pheromone تمكن بقية الشغالات من تتبع أثرها، وبمجرد أن تعثر واحدة من الشغالات على مصدر غذاء تبدأ في العودة إلى العش. وفي طريق عودتها تفرز فرمون ذا درجة تركيز أعلى يمكن بقية الشغالات من تمييز المسار المؤدى لمصدر الغذاء، وتبدأ الشغالات المسئولات عن جمع الطعام من تتبع هذا المسار وإفراز فرمونها الخاص عليه فتزيد درجة تحديده فيستقطب مزيدا من الشغالات.

ميلاد علم جديد

عرضنا في الأقسام السابقة لثلاثة منظومات تتباين مكوناتها تباينا كبيرا. فمكونات المنظومة الأولى هي جزيئات سائل ماء، بينما تتكون المنظومة الثانية من كائنات وحيدة الخلية (أفراد الفطر اللزج)، وأخيرا يشكل النمل مكونات المنظومة الثالثة. وعلى الرغم من اختلاف مكونات هذه المنظومات إلا أن السمة المشتركة بينها هي قدرتها على "تخليق النظام" بداخلها سواء كان هذا النظام على هيئة "بنية"، مثل لفائف بينارد أو شبه ورقة الفطر اللزج، أو على هيئة "سلوك متناسق"، مثل تحور جسم شبه ورقة الفطر اللزج أثناء بحثها عن الطعام أو بناء النمل لعشه. والأهم من ذلك هو أن عملية "تخليق النظام" هذه لا تتم بتوجيه خارجي ولا تخضع أثناء إتمامها إلى "قيادة مركزية" حتى لو كانت

من داخل المنظومة. كما تتميز هذه المنظومات بظهور ما يعرف بالـ "الخصائص المستجدة" Emergent Properties، وهي الخصائص التي تتمتع بها المنظومة ككل واحد (كتلة السائل، شبه ورقة الفطر اللزج، أمة النمل) ولا تنتج بها مكوناتها كل على حدة. أو بعبارة أخرى "الكل أكبر من مجرد مجموع لمكوناته"؛ فالمعادلات والنماذج الرياضية التي تصف سلوك المكونات، جزيئات السائل على سبيل المثال، غير قادرة على وصف وتفسير سلوك الكل، لفائف بينارد على سبيل المثال.

إن هذا السلوك غير المؤلف لهذه المنظومات يتحدى النظرة العلمية التقليدية القائمة على مفهوم "الاختزالية" Redutionism. وهو المفهوم الذي يستند إلى القاعدة الثانية من المنهج الديكارتي لـ "الممارسة الصحيحة للعقل" Properly conducting one's reason التي تنص على أنه "يمكن تبسيط دراسة أي مشكلة أو ظاهرة بـ "تفكيكها" إلى أجزاء منفصلة، أو مكونات، يسهل دراسة كل منها على حدة". وترتكز صحة هذه القاعدة ومن ثم صلاحية تطبيقها على الفرضين التاليين:

- لن تؤدي تجزئة الكل إلى أجزاء إلى تشويه الظاهرة موضوع الدراسة أو التأثير على سلوكها.
- لا تختلف خصائص مكونات الظاهرة ووسلوكياتها المشتقة من دراساتها ككيانات مستقلة عن خصائصها وسلوكياتها باعتبارها أجزاء لكل واحد.

لذا كانت الحاجة لنظرة علمية جديدة موضوعها الرئيسي هو الإجابة على السؤال التالي: كيف يتولد الانتظام ذاتيا في المنظومات الحية وغير الحية؟. إنها النظرة التي تهتم بدراسة "المنظومات ذاتية التنظيم (م ذات)" Self-Organizing Systems (SOS) والتي عرضنا لأمتثلة لها في الأقسام السابقة.