



## الحياة الاصطناعية.. الطريق لبرمجة الكائنات وصناعة الآلات الحية!

د. طارق قابيل\*

أستاذ مساعد - أمين قسم الأحياء - كلية العلوم والأدب ببلجرشي / جامعة الباحة - المملكة العربية السعودية

متخصص في الوراثة الجزيئية والتكنولوجيا الحيوية / قسم النبات، كلية العلوم ، جامعة القاهرة

كشفت علماء أميركيون أنهم نجحوا في تركيب خريطة جينية مصطنعة واستخدموها مع خلية بكتيرية مفرغة لتخليق خلية نشطة يؤمل استخدامها في تعلم "كيفية تصميم أحياء دقيقة حسب الطلب. ووصف رئيس فريق البحث العالم البيولوجي كريغ فنتر رائد الخرائط الجينية البشرية، ما تم التوصل إليه بأنه "أول خلية يتم اصطناعها، وأول نوع من الكائنات - التي تتناسخ على كوكبنا - ينجمه الحاسوب.

وقد استغرق العلماء 15 عاما أنفقوا خلالها 40 مليون دولاراً لاصطناع كروموسوم يحمل توليفة جينية مصطنعة قبل أن يبدؤوا البحث في طريقة لنقل هذه التوليفة الجينية إلى خلية بكتيرية أخرى. وأطلق فنتر على نتائج أبحاثه «الخلية المركبة صناعياً»، وأكد أن هذا البحث علامة مهمة للإنجازات التي ستؤدي إلى خلق أنواع حية جديدة من الميكروبات المفيدة للبشرية من

العدم! تقوم بإنتاج اللقاحات أو الوقود الحيوي وغيرها. وأستطاع فنتر بمساعدة فريقه تصنيع خلية صناعية جديدة من خليط من المواد الكيميائية، وتوصل الفريق إلى تصنيع كروموسوم جديد من الحمض النووي الصناعي داخل أنبوبة اختبار، ثم نقلها إلى خلية فارغة، حيث شاهد أنها تنقسم وتتضاعف بما يسمى قدرتها على الحياة، وقد صنع فنتر خليته من نسخة معدلة لأبسط بكتريا على سطح الأرض، والتي أثبتت نجاح التكنولوجيا الحديثة.



"خطوات ضئيلة نحو صنع كائن حي حسب الطلب انطلاقاً من ملف رقمي". وأشار الباحثون في تقريرهم إلى استخدامهم "نسخة مصطنعة من الشفرة الجينية مأخوذة من بكتيريا صغيرة تم زرعها في خلية بكتيرية أفرغت من معظم محتوياتها، وبعد عدة محاولات دبت الحياة في الكائن الدقيق وبدأ يتناسخ في أنابيب الاختبار".

ويقول فريق البحث بقيادة كريج فينتر الذي قاد أبحاثاً علمية سابقة حول فك الشفرة الجينية البشرية إنهم استطاعوا تخليق خلية صناعية حية في شكل نوع جديد من البكتيريا التي تعمل كليا تحت سيطرة تعليمات الجينات البشرية، المسجلة أساساً على الكمبيوتر. وقد حقق فينتر هدفه في التحكم الكامل بالجينوم الخاص بأحد أنواع البكتيريا، إذ قام أولاً بتركيب الحمض النووي «دي إن إيه» لتلك البكتيريا في المختبر، ثم ثانياً بتصميم جينوم جديد لا يتمتع بالكثير من وظائفه الطبيعية، بل إنه يُجهز بجينات جديدة يمكنها إنتاج مواد كيميائية مفيدة.

وقال جيرارد جويس الباحث في البيولوجيا في معهد سكريبس للأبحاث في لاهويا في كاليفورنيا إن «الأمر العظيم هنا هو في إمكانية إعادة تصميم كل الجينوم بكل جزء من أجزائه، لأن

ذلك يعني أن بالإمكان إدخال مختلف أنواع الجينات» إليه. وكريج فينتر وفريقه قد بنوا جينوماً (خارطة مورثات) لبكتريا من الصفر وزرعوها في خلية لينتجوا ما أسموه أول حياة اصطناعية. وتمهد هذه التجربة المهمة الطريق أمام تصميم كائنات حية يبنى تكوينها الجيني ولا يطوّر من كائن حي. وصف أحد الباحثين هذا الإنجاز العلمي بأنه " لحظة حاسمة في (تاريخ) علم الأحياء (البيولوجي)". ويقول العالم كريج فينتر رئيس فريق البحث أن هذا الإنجاز يبدش فجر مرحلة جديدة، ويمكن استخدام اشكال الحياة الجديدة هذه لفائدة البشرية بدءاً من البكتيريا التي تنتج وقوداً حيويّاً أوتلك التي تمتص ثاني أوكسيد الكاربون من الفضاء أوحى تصنيع اللقاحات.

وبالفعل يُعدّ هذا التطور ثورة في مجال التكنولوجيا الحيوية ويمكن تطويع اختراع فينتر في تصنيع خلايا أكثر تعقيداً بل ستمكننا هذه التكنولوجيا من تحويل النفايات البيئية إلى وقود نظيف وامتصاص التلوث وفي تصنيع لقاحات ضد الأمراض. ويفتح البحث الباب أمام العلماء من أجل خلق أشكال جديدة من الحياة يمكن برمجتها من الناحية الجينية لتنفيذ العديد من الوظائف، وقال العاملون على المشروع إن استخداماته المستقبلية أكبر من أن تُعدّ، لأنها تمتد من خلق مكونات مجهرية



وسلبات هذا المشروع على الصحة والبيئة والأمن تمهيداً لوضع توصيات حول الإجراءات الواجب اتخاذها من أجل تأمين احترام الأخلاقيات عند استخدام هذه التقنية. كما طلب الرئيس أوباما من لجنة أخلاقيات الأبحاث الانتهاء من دراستها حول القضايا التي أثارها أبحاث البيولوجيا المركبة صناعياً، خلال ستة أشهر، وتقديم نتائجها إليه مباشرة. وقال الرئيس إن هذا التقدم يثير «مخاوف حقيقية»، إلا أنه لم يحدد ماهية تلك المخاوف.

### كريغ فنتر .. عالم متمرد يتحدى العلماء

يُعدّ الدكتور كريغ فنتر (Craig Venter)، أحد رواد علم الهندسة الوراثية الحديث، فهورائد دراسات الخرائط الجينية وأبحاث الأطلس الوراثي (الجينوم)، ويعتبر القائد والأسطورة في مجال التقنية الحيوية، الذي تمكن من فك الشيفرة الجينية للإنسان في أقل من عشر الوقت المتوقع، وبكلفة بلغت عشر ما كان متوقعاً!

وكان فنتر أحد أركان مشروع وضع خريطة الجينوم البشري والكثير من الأبحاث والتقنيات الأخرى التي استندت على ذلك المشروع الضخم. وتمكن هووفريقه قبل سنوات قليلة أيضاً من

مفيدة في المجال الطبي وصولاً إلى توفير وسائل لإنتاج طاقة بديلة أو تنظيف البيئة. ويتوقع العلماء أن يكون لهذا الإنجاز تأثيرات كبيرة وإيجابية لجهة فهم أساسيات الخلايا الحية وستؤدي إلى ظهور تقنيات جديدة وأدوات لتطوير اللقاحات والأدوية كما ستمكنهم من توظيف هذه الخلايا أو الكائنات الحية البسيطة كالجراثيم في مجالات عدة مثل تنقية المياه أو إنتاج الأغذية أو إنتاج الوقود الحيوي الخال من الكربون أو تصنيع أمصال وتقديم أشكال جديدة من الغذاء والمياه النظيفة وغيرها.

إلا أنه وعلى الرغم من ذلك فإن الدراسة تثير مخاوف أخلاقية ومن المتوقع أن يفجر هذا الحدث جدلاً دينياً وأخلاقياً وحتى عسكرياً بشأن هذا الإنجاز العلمي. وبالفعل قد سارعت لجنة الطاقة والتجارة في مجلس النواب الأميركي إلى ترتيب جلسة الأسبوع القادم لمناقشة عواقب هذه الخطوة في وقت يخشى البعض من احتمال أن تستخدم التكنولوجيا الجديدة في صنع أسلحة بيولوجية بيد أيادي إرهابية. كما طلب الرئيس الأميركي باراك أوباما في ردة فعل أولى للإعلان عن هذا الإنجاز العلمي، من مستشاريه في اللجنة الرئاسية لأخلاقيات علوم الأحياء التابعة للبيت الأبيض أن يعدوا له تقريراً حول إيجابيات



ألفاً من القواعد، وهي الوحدات الكيميائية التي يتكون منها الحمض النووي.

وكان إيكارد ويمر الباحث في جامعة الدولة في نيويورك في ستوني بروك قد ركب صناعياً عام 2002 الأطلس الوراثي لفيروس شلل الأطفال. ونجح ذلك الجينوم الصناعي في إصابة فتران بعدواه وأدى إلى هلاكها. ويتشابه عمل الدكتور فينتر الجديد على البكتيريا في المبدأ مع ذلك الإنجاز السابق، فيما عدا أن جينوم فيروس شلل الأطفال كان يحتوي على 7500 جزء، بينما يحتوي جينوم البكتيريا على 100 مرة أكثر من فيروس شلل الأطفال المصنع. وعمل الفريق على أخذ موروثات بكتيريا سريعة التكاثر، مكونة من مليون جين، ومن ثم تفكيكها وإضافة مكونات جديدة إليها، في مشروع بدأ عام 1995.

وفي الخطوة الجديدة الأخيرة، أعلن فريق يقوده دانيال غبسون وهاملتون سميث وفينتر على صفحات العدد الأخير من مجلة «ساينس» العلمية أن الحمض النووي «دي إن إيه» المركب صناعياً يهيمن على خلية من البكتيريا ويتحكم فيها مثلما يتحكم بها الحمض النووي «دي إن إيه» الطبيعي، الأمر الذي يدفع الخلية إلى إنتاج البروتينات التي يرغب فيها هذا الحمض

تحويل أحد أنواع الجراثيم الموجودة لدى الماعز إلى أخرى موجودة لدى الماشية من خلال زرع الجينوم الكامل لجرثومة الأبقار في نواة جرثومة الأغنام.

وضع فينتر عشرات المليارات من الدولارات من أمواله، للجينوم الصناعي كبداية لتصنيع كائنات حية صناعية تتمكن من تحويل أشعة الشمس إلى وقود حي بأقل الأضرار تجاه البيئة والطبيعة لتقلل من تفاقم من الإحتباس الحراري. ومن المتوقع أن هذه الكائنات الحية المصنعة ستغير كل الصناعات الكيميائية، والأطعمة، والطاقة، والأدوية العضوية. وقد أسس فنتر مركزاً عملياً خاصاً (معهد كريج فنتر) في ولاية ميرلاند بالولايات الأمريكية ثم أتبعه فرع آخر في سان دييغو كاليفورنيا.

## تطور فريد في تاريخ العلوم

وكان فينتر قد بدأ أولى خطواته لتحقيق هذا الهدف قبل ثلاث سنوات، عندما أظهر أنه يمكن أخذ الحمض النووي «دي إن إيه» الذي يحمل المادة الجينية من أحد أنواع البكتيريا، وزرعه في داخل نوع آخر من البكتيريا بحيث يهيمن عليها، ويتحكم بوظائفها. وتمكن فريقه البحثي العام الماضي من التركيب الصناعي لقطعة من «دي إن إيه» احتوت على مليون و80



النووي الصناعي الجديد، بدلا من إنتاج تلك البروتينات التي يطلبها الحمض النووي الطبيعي. وخطا الدكتور كريغ فينتر خطوة جديدة في أبحاثه لإنتاج حياة صناعية، وذلك بتركيبه، صناعياً، لكل الجينوم الحي الخاص بنوع من البكتيريا، ثم وضع كل تلك المادة الجينية داخل خلية حية لنوع آخر. ووصف فينتر الخلية الجديدة بأنها «أول نوع حي يتكاثر على كوكب الأرض.. والده الكمبيوتر»! وأضاف أن «هذا التقدم هوتقدم فلسفي بقدر ما هوتقدم تكنولوجيا»، مفترضاً أن هذه «الخلية المركبة صناعياً» ستطرح أسئلة جديدة حول طبيعة الحياة. وبعد بناء المنظومة الجينية الجديدة، جرى تثبيت مكوناتها باستخدام مادة مستخلصة من الخميرة، ومن ثم زرعها في خلية بكتيريا أفرغت من جيناتها القديمة، وقد تقبلت الخلية الجينات الجديدة وبدأت في التكاثر الطبيعي. وشرح فنتر طبيعة إنجازها بالقول: "هذه الخلايا حية، ولكن الفارق الوحيد بينها وبين سائر الخلايا هي أنها لا تمتلك تاريخاً طبيعياً، بل إن الكمبيوتر هووالدها." واستطاع الدكتور فنتر بمساعدة من فريقه الخاص من العلماء تصنيع خلية صناعية جديدة من خليط من المواد الكيميائية، وتوضح أن الفريق استطاع التوصل إلى تصنيع كروموسوم جديد من الحمض النووي الصناعي داخل أنبوبة اختبار، ثم نقلها إلى

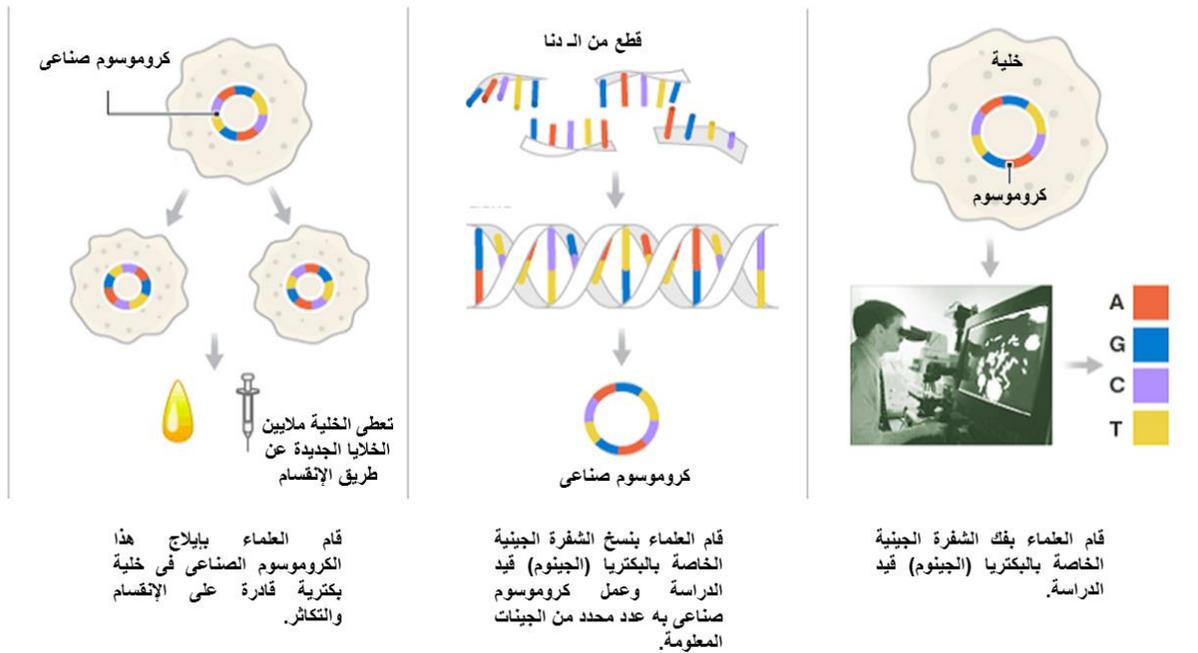
خلية فارغة، حيث شاهد أنها تنقسم وتتضاعف بما يسمى قدرتها على الحياة، وقد صنع فينتر خليته من نسخة معدلة لأبسط بكتريا على سطح الأرض، والتي أثبتت نجاح التكنولوجيا.

جدير بالذكر أن فينتر قد تمكن من استنساخ الحمض النووي «دي إن إيه» من أحد أنواع البكتيريا ثم زرعه في بكتيريا حية أخرى. وقامت البكتيريا الأخيرة بإنتاج كل البروتينات في تلك «الخلية المركبة صناعياً» باتباعها للأوامر التي وجهتها الجينات في الحمض النووي الصناعي الجديد. وتجدد الإشارة إلى أن الجينوم الذي ركبه الدكتور فينتر صناعياً قد استنسخ من بكتيريا طبيعية تصيب قطعان الماعز. وقال فينتر إنه استبعد 14 من جينات البكتريا التي يمكنها أن تتسبب في حدوث الأمراض قبل استنساخه للحمض النووي «دي إن إيه»، ولذلك فإن البكتيريا المركبة صناعياً آمنة، حتى ولتوسرت من المختبرات. وأكد فنتر على: " انها المرة الأولى التي يتمكن فيها امرؤ من بناء ما مجموعة 1.08 مليون قاعدة من أزواج الكروموسومات (الصبغيات)، وزرعت في خلية مضيضة حيث يمكن للكروموسوم الجديد أن يستولي على هذه الخلية ويتحكم بها ويجولها إلى نوع جديد يحدد بخصائص الكروموسوم الجديد ". ويضيف: " انها

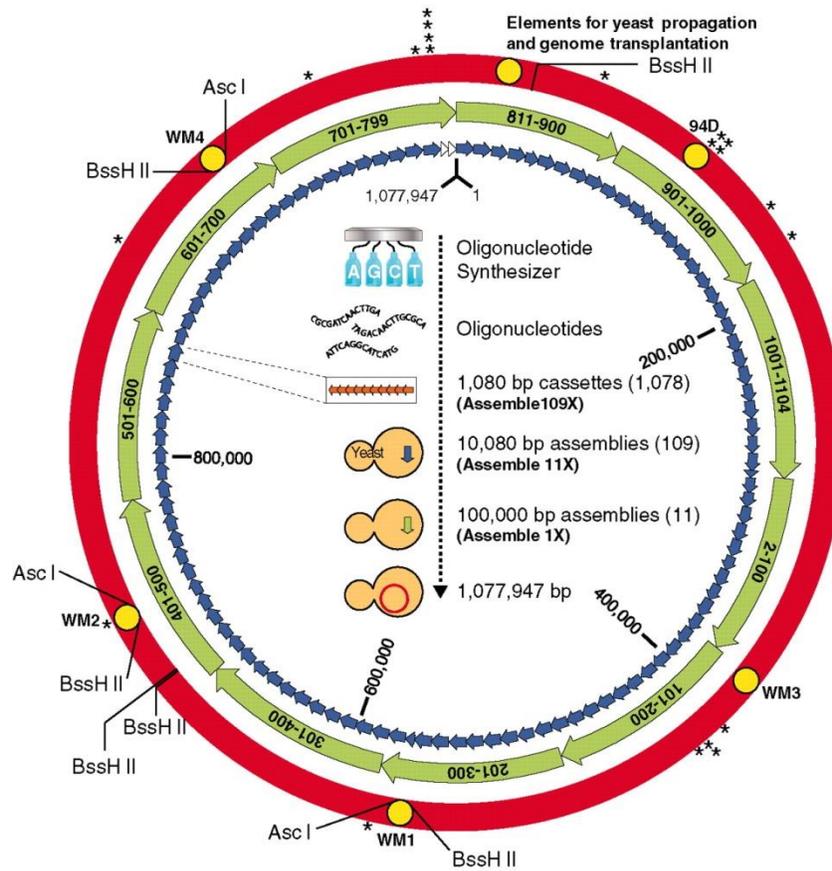


فك الأسرار إلى مراسلته على بريده الإلكتروني الذي وضعه ضمن الجينات. كما تحدث فنتر عن خطواته المستقبلية لاستخدام هذه التكنولوجيا التي تسمح بخلق خلايا تقوم بكل الوظائف الممكنة، فقال إنه دخل في شراكة مع شركة "أكسون موبيل" للتلاعب بجينات طحالب بحرية بشكل يجعلها قادرة على امتصاص الكربون من الهواء وتحويله إلى وقود. وكذلك فقد باشر في تطوير لقاحات بالتعاون مع شركة "نوفاتيس" بالاعتماد على هذه التقنية، وقد تظهر تلك اللقاحات في الأسواق خلال عام واحد.

المرّة الأولى التي نحصل فيها على خلية يتحكم فيها بنسبة 100% كروموسوم اصطناعي".  
ومن أطرف ما حدث في الإبتكار الجديد ما نقلته مجلة "العالم" عن أن فنتر يتحدى العلماء فقد ذكرت المجلة قوله إن فريقه ترك بصمته الخاصة داخل الجينات المصنّعة للبكتيريا، وذلك عبر أربعة سلاسل من السمات الوراثية التي تحمل شيفرة تضم أسماء العلماء المشاركين في البحث وثلاثة أقوال تاريخية معروفة، إلى جانب عنوان بريد إلكتروني. وشرح العالم الأمريكي أسباب ذلك بالقول إنه قرر تحدي العلماء لمعرفة قدرتهم على تفكيك جينات البكتيريا التي ولّدها بالمختبر، داعياً كل من يتمكن من



### خطوات تخليق الخلية الصناعية في المختبر



### تجميع الجينوم الاصطناعي للبكتريا الخميرة

إنجازه في تركيب قطعة كبيرة من الحمض النووي «دي إن إيه»،  
وإنه لم يحدث اختراقاً عظيماً. وقال ديفيد بالتمور الباحث في  
علوم الجينات في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا: «في اعتقادي  
فإن فينتر قد بالغ نوعاً ما في أهمية هذا (الإنجاز)».

وبالفعل فإن العلماء استطاعوا عمل تسلسل جيني لأي خلية  
حية، وقد بدأ ذلك سنجر وزملاؤه عام 1977، وبعد ذلك  
استطاع العلماء تسلسل ترتيب جيني للبكتيريا، وهي أكبر من

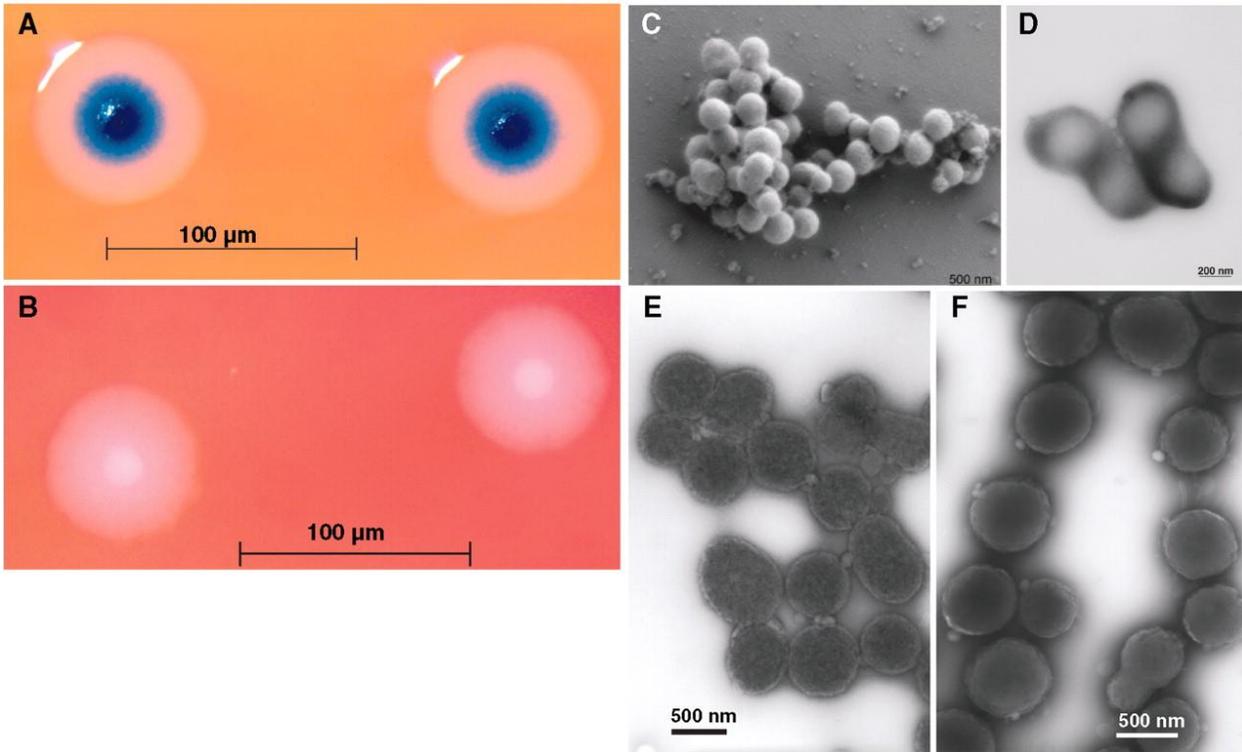
### خلاف علمي

وقد أثار تأكيد فينتر على أنه خلق «خلية صناعية» مخاوف  
الكثير من الناس الذين يعتقدون أنه خلق نوعاً من الحياة  
الجديدة، أوخلية مركبة صناعياً. إلا أن الدكتور جويس من  
معهد سكريبس يقول إن «هذا بالطبع غير صحيح، إذ أن  
أعداد تلك الخلية هي من أشكال الحياة البيولوجية». وفي  
المقابل يعتبر العديد من العلماء إن فينتر لم يحقق شيئاً، فيما عدا



في البكتريا لتصنيع الأنسولين، وقد أحدث ذلك رد فعل كبير وثورة علمية قبل 25 عاماً. وفي هذا التوقيت أيضاً تم صنع جهاز أوماكينة لتصنيع وبناء الجينوم، واليوم يمكن تقطيع الجين الطبيعي وأخذ أجزاء منه، ثم تصنيع الجين الذي نريده مخبرياً.

الفيروس، وكان ذلك عام 1995 وكان من بينهم كريج. وكانت البدايات هي الإمساك بجينوم البكتريا وتقطيعه إلى قطع صغيرة باستعمال إنزيمات معينة، ثم تؤخذ الأجزاء التي تم تقطيعها وتوضع في مكان آخر، ومن هنا اكتسبت الهندسة الوراثية تسميتها، حيث تم أخذ جين معين من جينوم الإنسان ووضعه



### الخلايا الاصطناعية تبدو مطابقة تماماً مع الأنواع الطبيعية "البرية".

وأضاف « إلا أن ما خلقوه ليس سوى جسم حي يحتوي على جينوم طبيعي تم تركيبه صناعياً. وهذا لا يعتبر خلقاً للحياة من العدم، أو خلقاً لشكل جديد من أشكال الحياة»!

وقال جيم كولينز الباحث في الهندسة البيولوجية في جامعة بوسطن «إن ما يقلقني هو أن بعض الناس سيتوصلون إلى استنتاجات بأنهم خلقوا شكلاً جديداً من أشكال الحياة».



انقسمت بعد ذلك، لكنه لم يخلق جداراً للخلية الذي يحوي الجينوم من الداخل واعتمد على أن هذه الخلية التي نقل فيها الجينوم بعد فترة ستختفي بروتيناتها الأصلية وأن الجينوم الذي وضعه هو الذي سيكون مسيطراً على كل شيء، بمعنى أنه يمكن إطلاق مصطلح التخليق حين يكون هذا العالم قد استطاع أن يصنع سيتوبلازم الخلية وجدارها، لكن هذا لم يحدث بالفعل. كما يرى البعض أن القول بأن هذا الإنجاز سيمكّن العلم من تصنيع وقود هوقود مبالغ فيه لأن التجربة أجريت على خلية أولية وهي البكتريا، ولكن العلم يعتمد على خلايا الطحالب لإنتاج الوقود وهي خلايا أكثر تعقيداً من خلايا البكتريا.

### جدال أخلاقي

أكد فنتر أنه استشار عدداً من خبراء الأخلاقيات في العلوم قبل البدء في المشروع، كما أكد دان غيبسون الذي يعمل في معهد فنتر على إن المعهد أطلع البيت الأبيض على تفاصيل المشروع بسبب عواقبه الأمنية المترتبة على احتمال استغلال هذه التكنولوجيا على سبيل المثال في تصنيع أسلحة بيولوجية. ويتفق علماء آخرون مع فنتر في أهمية هذا الإنجاز التكنولوجي للتركيب الصناعي لأكثر سلسلة من الحامض النووي المنقوص

ووصف بالتميز النتائج العلمية الجديدة بأنها «جولة في تكنولوجيا القوة»، أي إنها مسألة إنجاز بأبعاد ونطاقات كبرى، أكثر منها عملية اختراق علمي. وأضاف: "إنه لم يخلق حياة بل خلق محاكاة لها". من جهته قال جورج تشيرتش الباحث في الجينوم في كلية الطب بجامعة هارفارد إن مقاربات الدكتور فينتر «ليست بالضرورة على الطريق» لإنتاج أنواع مجهرية حية مفيدة، بينما وصف ليروي هود الباحث في معهد المنظومات البيولوجية في سياتل تقرير الدكتور فينتر بأنه «بِراق»، وأكد ضرورة فهم الجينات الخاصة بالأنواع الحية البدائية، وشبكاتهما، أولاً، قبل التفكير بأهمية محاولات تصميم أنواع حية صناعية من العدم.

ويرى بين ديفس الذي عمل في مجال البيولوجيا التركيبية في جامعة أوكسفورد أن: "ما زلت اعتقد اننا بعيدين جداً عن الحياة الاصطناعية .. يمكنك أن تأخذ هذا الجينوم الاصطناعي وتكتب بمورثات (جينات) جديدة ذات وظائف معروفة بيد أن ذلك ليس شيئاً مختلفاً عن علم الأحياء الجزئي في هذه اللحظة". كما يرى بعض العلماء أن عنوان البحث الأخير مبالغ فيه، لأنه لم يحدث تخليق من العدم، بل أن ما فعله كريج أنه أخذ الجينوم المصنع ووضعه في خلية بكتيرية جاهزة ثم



الأكسجين (دي إن إيه) الذي احتوى على مليون وحدة، وتم صنعه بدقة كبيرة للحلول محل الحمض النووي «دي إن إيه» الأصلي للخلية نفسها. إلا أن علماء آخرين لا يعتبرون هذا المنطلق واعداءً، لأنه سيحتاج إلى سنين طويلة لتصميم أنواع حية جديدة، فيما يشهد العالم تقدماً في إنتاج الوقود الحيوي مثلاً بتقنيات الهندسة الوراثية التقليدية التي يتم بواسطتها إجراء تعديلات وراثية على عدد من الجينات كل مرة. ويثير هذا الإنجاز العلمي الجدل الأخلاقي بشأن التخليق وخطورة هذه التكنولوجيا الجديدة إذا ما أسيء استخدامها في الحروب البيولوجية. ويقول البروفسور جوليان سافوليسكو، الخبير في علم أخلاقيات العلوم بجامعة أوكسفورد: "أعتقد أن فينتر يئن من فتح الباب الأكثر عمقاً في تاريخ البشرية". وفي هذا السياق طالب إريك هوفمان من جمعية أصدقاء الأرض بضمان تطبيق قواعد صارمة لحماية البيئة وصحة الإنسان من هذه التكنولوجيا الجديدة ومحاطرها المحتملة.

كما أعربت عالمة بريطانية متخصصة في علم الجينات عن قلقها إزاء تمكن من إنتاج أول خلية اصطناعية حية في العالم، مشيرة إلى أن البكتيريا الاصطناعية مضرّة بالإنسان إذا ما أسيء استخدامها. وقالت الدكتورة هيلين ووليس من مؤسسة

جينيتشوتش البريطانية التي تعنى بمراقبة ورصد التطورات في مجال تقنيات الجينات في معرض حديثها عن البحث الأخير، إن البكتيريا الاصطناعية قد تكون خطيرة خاصة إذا ما أطلقت الكائنات الحية الجديدة في البيئة، ويمكن أن تتسبب في الضرر أكثر مما قد تجلب من فوائد، بل هذا نوع جديد من التلوث. واتهمت الدكتورة ووليس في حديث مع هيئة الإذاعة البريطانية فينتر بالتقليل من المخاطر والعيوب المحتمل أن تخلفها الكائنات التي يعكف وفريقه على إنتاجها.

وأدانت منظمة «أصدقاء الأرض» البيئية الجينوم الصناعي باعتباره «تقنية جديدة خطيرة، وقالت إنه «يجب على فينتر التوقف عن كل أبحاثه المقبلة لحين وضع ضوابط ملائمة كافية». وشكك ريموند تاليز، أستاذ طب المسنين وعلاج الشيخوخة بجامعة مانشستر، في مقال نشر بصحيفة التايمز فيما أثير حول إعلان عالم الهندسة الوراثية الأمريكي كريج فينتر عن تمكنه من إنتاج خلية صناعية حية من خلال تصنيع كروموسوم وزرعه في خلية طبيعية فارغة حية يمكن التحكم في محتواها الوراثي من خلال برنامج جيني إلكتروني. وقال تاليز إن إنتاج خلية جديدة هو أمر بعيد جداً عن أشكال حياة صناعية حقيقة، لذا لا داعي من الخوف منها، ويوضح، " قبل أن



## طحالب لإنتاج الوقود

أعلن فينتر أنه سيتحول إلى تصنيع أشكال أخرى من الأنواع الحية الأخرى نظراً لأن البكتيريا التي استخدمت في البحث لا تلائم إنتاج الوقود الحيوي. وقد نقل عن فينتر قوله إنه سيحاول أن يصنع «أطلساً وراثياً كاملاً للطحالب بحيث يمكنه تغيير 50 إلى 60 من مختلف الجينات المؤثرة على نمو الطحلب، بهدف التوصل إلى خلق طحالب ذات إنتاجية فائقة». ويقول إن هذه الجينات هي الموارد اللازمة لإجبار الطحالب على إنتاج مواد كيميائية مفيدة . وقد جمع فينتر مكتبة جينية تحتوي على نحو 40 مليون جين أغلبها من الطحالب خلال جولاته البحرية على متن يخته، وأخضع فينتر الكثير من الميكروبات البحرية الحية لتحاليل للحمض النووي لها حيث ترتبط شركته المعروفة بإسم «سنثينك جينومكس» مع شركة «إكسون» بعقد لإنتاج الوقود الحيوي من الطحالب. وقد أبدت «إكسون» استعدادها لإنفاق 600 مليون دولار إن تمكن فينتر من تقديم إنجازاته لها.

نتحمس أونثار مما توصل إليه العالم فينتر، ينبغي أن نعرف أنه لم ينتج حياة صناعية، كما زعمت عناوين الصحف في العالم. ولكنه قام بصنع مادة وراثية، "دي إن إيه"، من مواد كيميائية أساسية، وبالرغم من ذلك فإن تصنيع حمض نووي جديد لا يعني حياة، كما أن المادة الضرورية في هذه الحالة تم أخذها من بكتريا حية طبيعية موجودة بالفعل، وهي المسببة للإلتهاب الندي في الماعز ، ولكن هذه الحياة الجديدة اتخذت أصلاً من الطبيعة التي أوجدها الله.

وأكد فنتر أنه لا يعتبر ذلك (خلقاً للحياة من العدم) ويوضح: "لا نعتبر ذلك (خلقاً للحياة من العدم) بل نحن نخلق حياة جديدة من حياة موجودة باستخدام حمض نووي (دي ان أي) اصطناعي لبرمجة الخلية لتكوين خلايا جديدة يحددها الحمض النووي الاصطناعي". ورداً على سؤال هل يعد ذلك حياة اصطناعية يجيب فينتر : "نعرفها كحياة اصطناعية لأنها محددة كلياً بواسطة كروموسوم اصطناعي. نحن بدأنا بخلية حية لكن الكروموسوم الاصطناعي حوّل الخلية الحية كلياً إلى نوع جديد من الخلية الاصطناعية. ولم يتبق هناك أي عنصر منفرد من الخلية المضيفة."



## الحياة الاصطناعية.. الطريق لبرمجة الكائنات وصناعة

### الآلات الحية!

تؤكد هذه البحوث الحالية وغيرها أن حلم تخليق كائنات حية مازال يراود العلماء، ولكنهم لم يتوصلوا حتى الآن إلى أسرار الروح، فهي من أمر الإله الخالق الباريء المصور. ولذلك يحاول العلماء إعادة برمجة الكائنات الحية والتحكم فيها عن طريق تصميم برامج حاسوبية تعتمد على التلاعب بالمورثات - الجينات - بطرق رياضية معقدة لتخليق مكثبات من الحامض النووي الديوكسي ريبوزي ("دي إن آيه") قابلة للتبادل والتوافق، ويقومون بتفريقها وتجميعها داخل الخلايا الحية بطريقة منتظمة لتخليق آلات حية قابلة للبرمجة.

كما يحاول علماء "الحياة المخلّقة" أو "الحياة الاصطناعية" استخدام علوم الوراثة كطريق للوصول إلى إجابات عن أسئلة أساسية محيرة، مثل: كيف بدأت الحياة على الأرض؟ وكيفية تشكلها في أي مكان آخر في الكون؟ .. ويتوقع العلماء أنه إذا أمكن محاكاة الطريقة البنائية للجزيئات التي تتألف منها الخلايا الحية، فسوف يكون في وسعهم بناء أشكال جديدة من الأحياء لا عهد للإنسان بما على الإطلاق! .. ودعنا الآن

نلقي نظرة على مناحي البحث التي ينتهجها العلماء في محاولة التوصل إلى خلق الحياة الاصطناعية ! والتي كان آخرها إعلان فنتر وزملاؤه الأخير.

### "البيولوجيا التخليقية"

قد يبدو من السهل حالياً لهندسة الجينات أن تجعل الخلايا تتوهج في وجود سمّ معيّن، لصناعة عقار معقّد، أو متابعة عمر الخلايا. لكن خلق مثل هذه الأدوات الحيوية ليس بالعملية السهلة، فعلماء الأحياء ينقلون الجينات من أنواع إلى أخرى منذ حوالي 30 عاماً، ورغم ذلك فهندسة الجينات ما زالت أقرب للحرفة منها إلى نظام هندسي بديع بالغ الانضباط. ويعتبر "درواندي"، عالم الأحياء في معهد ماساشوسيتس التكنولوجي، أحد العلماء القلائل الذين دعوا في السنوات الأخيرة لتغيير مفهوم هندسة الجينات (الهندسة الوراثية) ليشير إلى علم جديد يسمى علم الحياة الاصطناعية أو "البيولوجيا التخليقية (synthetic biology)". وهؤلاء العلماء يصمّمون وبينون أنظمة حية تتصرف بطريقة مبرمجة متوقّعة، ويستعملون قطع أو أجزاء قابلة للتبادل (interchangeable parts) في بعض الحالات يستعملون شفرة جينية موسّعة



تسمح لهم بالقيام بأشياء لا يستطيع أي كائن حي طبيعي القيام بها!

وتمتد جذور علم "البيولوجيا التخليقية" إلى 15 عاماً عندما قاد كل من "ستيفن بنير" و"بيتر شولز" فريقاً من العلماء في زيوريخ للقيام بعمل رائد لأول مرة في عام 1989م. وتلخص هذا الاختراق العلمي في تصنيع أول مخلوق حي يحتوي على "حرفين" وراثيين اصطناعيين جديدين (قاعدتان وراثيتان جديدتان) بالإضافة إلى القواعد الوراثة الأربعة الطبيعية الموجودة في جميع الأحياء. وقاموا وآخرون منذ ذلك الحين باختراع العديد من تنوعات الـ "دي إن آيه" المعدل صناعياً. ويمكن استخدام هذه العناصر القاعدية للحامض النووي والتي لا تتحطم عندما تتعرض لدرجة حرارة مرتفعة لإنتاج أشكال أكثر نشاطاً وقوة من النوع الطبيعي. وقد يفيد هذا الحامض النووي الاصطناعي في استخدامات واسعة النطاق في الطب والتكنولوجيا. ولكن لم يتمكن أحد منهم حتى الآن من صنع أي جينات فاعلة من هذا الحمض النووي المعدل.

ومن المثير كذلك أن علم "البيولوجيا التخليقية" نشأ كوسيلة لتصميم وبناء آلات وراثية تعمل داخل الخلايا. ونجح العلماء بالفعل في تصميم آلتين وراثيتين تعملان داخل الخلايا في عام

2000م، وألهمت تلك التصميمات معظم العاملين في هذا المجال. وبنيت كلتا الآلتين عن طريق إدخال سلاسل مختارة من الـ "دي إن آيه" في بكتيريا غير مؤذية توجد عادة في المعى الإنساني معروفة باسم "إشيريتشيا كولاي". وأدى كل منهما وظائف مختلفة للغاية .

وظهر أول نجاح تطبيقي لهذه الأفكار عندما قام "مايكل إلويز" و"ستانيسلوس ليلير"، من جامعة برينستون، بجمع ثلاثة جينات تتفاعل بطريقة خاصة تجعل بكتيريا "إي. كولاي" تومض بشكل متسلسل مُبرمج مثل شجرة عيد الميلاد المجهريّة. وفي هذه الأثناء قام فريق آخر من العلماء ("جيمس كولينس" و"تشارلز كانتور" و"تيموثي غاردينر") بجامعة بوسطن بعمل "مفتاح مَفْصَلِيّ وراثي (genetic toggle switch)" باستخدام جينان يتداخّلان مع بعضهما البعض ويسمحان لدائرة كهربية بالتقلب بين حالتين مستقرتين، فيها كل بكتيريا معدلة ذاكرة رقمية أولية. وأظهرت هذه النتائج بعض التفاؤل لعلماء الأحياء المهتمين بهذه التجارب، لكنها كانت مثيرة للإحباط أيضاً لإحتياجها إلى فترة زمنية طويلة ولجهود كبير.

هذا الحقل الناشئ له ثلاثة أهداف رئيسية:



واستثمر علماء "البيولوجيا التخليقية" سنوات كثيرة من العمل لإعداد نماذج محوسبة من الكائنات وحيدة الخلية. ويملك "درواندي" حالياً أكثر من 58 نوعاً من القطع المتميزة من الـ "دي إن آيه" الذي تؤدي بعض الوظائف منفردة، أو يمكن غرسها داخل جينوم خلية حية لإنتاج بروتين يعمل شيئاً مفيداً. وتم تصميم كل جزء وراثي من هذه الأجزاء بعناية شديدة ليتفاعل مع الأجزاء الأخرى على مستويين، الأول ميكانيكي وفيه يستخدم الباحثون وحدات أولية تسمى اللبنة الحيوية أو "بيوبريكس (BioBricks)" يمكن أن تُخلق وتُخزن بشكل منفصل، ثم يمكن تجميعها فيما بعد لتشكيل قطعاً أكبر من الـ "دي إن آيه". أما المستوى الثاني فهو وظيفي وفيه يعمل كل جزء كجهاز إرسال واستقبال يرسل ويستلم إشارات كيميائية حيوية قياسية.

والحصول على تقنية توحد الأجزاء الوراثية بشكل قياسي تقدم فائدة قوية أخرى وهي القدرة على تصميم نظام وراثي وظيفي دون معرفة كيفية عمل أجزائه الدقيقة بالضبط. وفي مطلع عام (2003م) استطاع صف من 16 طالباً أن يصمم أربعة برامج وراثية، في شهر واحد فقط، لجعل مجموعات من بكتريا "إي. كولاي" تومض في هارمونية متجانسة مثلما تفعل إليراعات.

1. تعلم دقائق الحياة عن طريق البناء بدلاً من تمزيقها إرباً.
2. جعل هندسة الجينات اسماً على مسمى، عن طريق إعادة ضبط وتوحيد نظم الوراثة الجينية التي تحسنت بشكل كبير لجعل الأنظمة المتطورة الجديدة أكثر فعالية .
3. دمج الخلايا الحية والآلات في نظام يسمح بإنتاج كائنات حية قابلة للبرمجة .

### اللبنة الحيويّة "بيوبريكس"

من المفيد أن تُطبّق الدروس المستفادة من الحقول الأخرى للهندسة في علوم الهندسة الوراثية. فاستخدام القطع القابلة للتبادل والتوافق هوشية بديهي، بيد أن هذا المفهوم لم يتم استخدامه بعد في هندسة الجينات. فالمهندسون الكهربائيون، على سبيل المثال، لا يعيرون أي انتباه لمعرفة ماهية المادة الموجود داخل مكثف كهربائي قبل أن يستعملونه في دائرة (دائرة) كهربية، ويود المهندسون الحيويون أن يكونوا قادرين على استعمال "مفاتيح مفصلية وراثية" بنفس الطريقة، دون الحاجة لمعرفة التركيب الكيميائي الحيوي للعناصر الوراثية التي سيستعملونها لتنفيذ نماذجهم الأولية .



المدعش أن هؤلاء الطلاب لم يعرفوا كيفية تخليق سلاسل "دي إن آيه"، وكيفية عملها، وذلك لتوافر "البيوبريكس" بعد أن استأجر "إندي" شركة لصناعة "البيوبريكس". وأودعت هذه التصاميم الجديدة في مكتب تسجيل الأجزاء الحيوية القياسية بمعهد "إم آي تي" وهو عبارة عن قاعدة بيانات على الإنترنت، وهي تشمل حالياً أكثر من 140 جزءاً من الأجزاء الوراثية الجديدة ويزيد العدد تدريجياً يومياً. ونما مخزون البيوبريكس بسرعة كبيرة وأكسب المهندسون الوراثيون خبرة كبيرة في تجميع الدوائر الوراثية، ولذا يتوقع "إندي" أن يكون عنده تصاميم جاهزة للاختبار في خمسة أشهر فقط، في الوقت المناسب ليتباهى بها في مؤتمر علم الأحياء الصناعية الأول، الذي عقد في شهر يونيو الماضي.

### البرمجيات المبتلة "ويت وير"

وبنى علماء الأحياء الصناعية العديد من الأنظمة الوراثية الحيّة كنماذج تجريبية لعرض أفكارهم المستقبلية، ولأنه لا توجد أسلاك في الخلايا، فتتم العمليات الحيوية عادة في وسط مائي "ويت وير (wetware)" عن طريق التحكم في العديد من إشارات البروتين العائمة بشكل عشوائي من جزء إلى آخر.

ومن المؤكد حالياً أن الآلات الحيّة ستستخدم في البداية في الوظائف التي تتطلب كيمياء متطورة عالية التعقيد، مثل اكتشاف السموم أو تركيب الأدوية.

وهناك مجموعة كبيرة من العلماء في المختبرات البحثية المتقدمة تعمل على التطبيقات العملية لهذه البحوث، مثل "مارتن فوسينيجير" وزملائه في زيوريخ الذين نجحوا في العام الماضي في تحويل خلايا جرد "الهامستر" عن طريق مدها بشبكة من الجينات الصناعية التي يتم التحكم في تعبيراتها الجينية عن طريق المضادات الحيوية لنتج مستويات متدرجة من البروتينات حسب الطلب، وبهذا يتم السيطرة على التعبير الجيني لأول مرة بهذه الطريقة التي سيكون لها الكثير من التطبيقات العملية في أبحاث إنتاج الأدوية والعلاج الجيني.

ونجح "جاي كيسلنج"، الذي أسس أول قسم لعلم "البيولوجيا التخليقية" مؤخراً في مختبر لورانس بيركلي الوطني الأميركي، في هندسة شبكة كبيرة من جينات الخميرة ونبات العلقم معاً في بكتريا "إي . كولايا"، وتمكنت الدائرة (الدارة) البكتيرية إنتاج مادة "الأرتيميزينين (artemisinin)" التي تستخدم كعقار مضاد للملاريا. ولقد تمكن العلماء من زيادة الكمية المنتجة من البكتريا إلى أكثر من مليون مرة في ثلاث سنوات، ويتوقع



بتجميع هذه العناصر الثقيلة بكميات كبيرة فإنها تغوص وترقد في أعماق المياه الملوثة محملة بهذه العناصر لتترك المياه نظيفة! وبالطبع فإن الأهداف الحميدة لهندسة الحياة الصناعية أو ما يعرف بـ "البيولوجيا التخليقية" تخلق الألباب وهي جديرة بكل دعم لتحقيق الخير والحياة الرغدة لبني البشر، ولكن الوصول إلى جهنم عادة ما يكون محفوفاً بالنوايا الحسنة! فما يدرينا أن هناك من يستغل هذه التقنيات لتخليق أنواع جديدة من الجراثيم الممرضة أشد شراسة من الموجودة حالياً، وغير قابلة للعلاج؟ وحتى تكتمل المهمة الواهمة لخلق الحياة، يبقى شرط وحيد وهو تركيب الروح في هذه الأحياء! وهذا بلا شك ما لن يتمكن العلماء من تحقيقه مهما تطورت أجهزتهم وأدواتهم، فكل ما أوتى البشر من علم ليس إلا قطرة من بحار علم الله الواسع العليم.

"كيسلنج" أنه يرفع نسبة الإنتاج الحالية من 25 إلى 50 ضعفاً لتصل تكلفة المادة الفاعلة إلى عُشر السعر الحالي. كما يمكن هندسة البكتيريا جينياً لإنتاج مواد كيميائية غالية الثمن لاستعمالها في العطور والنكهات الطبيعية، وإنتاج الأدوية الباهظة الثمن وصعبة الإنتاج مثل عقار "تاكسول (Taxol)" المضاد للسرطان. وفي نفس المختبر يستعمل العلماء الآخرون نفس البكتيريا للتخلص من النفايات النووية ومخلفات الأسلحة الحيوية والكيميائية. ويعدلون إحساس البكتيريا بالرائحة لكي تسبح نحو غاز أعصاب مثل "في إكس (VX)" وتقوم بهضمه وإبطال أثره. كما تمكن فريق آخر في نفس المختبر من هندسة كل من بكتريا "إي . كولاي" و"سيودوموناس (Pseudomonas aeruginosa) لتجميع المعادن الثقيلة واليورانيوم والبلوتونيوم على جذرها الخلوية، وعندما تقوم هذه الكائنات الدقيقة



## المراجع

### أولاً: المراجع باللغة العربية

- جريدة البيان الإماراتية. له تطبيقات طبية عديدة "التصميم الرشيد" و"التطور المباشر" لإنتاج حامض نووي اصطناعي. 2004/3/17م.
- حازم فلاح سكيك . الكمبيوتر البيولوجي. جامعة الأزهر.  
<http://alfaqqeh.jeeran.com/xp/archive/2008/3/494396.html>
- رءوف وصفي. قلب الكمبيوتر الحي. مجلة العربي الكويتية - العدد: 543 - فبراير 2004م.
- رؤوف وصفي. الكائنات الحية.. الرقمية هل سنري قريباً بكتيريا مبرمجة بواسطة دوائر كمبيوتر من الجينات الوراثية؟ . مجلة العلم عدد أغسطس 2004.
- طارق قابيل. براءة اختراع لـ " تصنيع كائن حي " !! . إسلام أون لاين. كانون الأول (ديسمبر) 2008.
- طارق قابيل. مصنع البكتريا الآلة في خدمة الأشرار. الشروق الجديد. 2010/ 06/ 02م.
- عدنان عضيمة. البيولوجيا التركيبية تنجح في تخليق أحياء مجهرية جديدة - جريدة الاتحاد.  
<http://www.alittihad.ae/details.php?id=26436&y=2009#ixzz1cYoMQN97>
- محمد رءوف حامد. الحس البيولوجي، مجلة العربي، العدد 400، مارس 1992.
- مصطفى كاظم. المخلوق" الذي أنجبه الكمبيوتر والحدود بين الحياة واللاحياء. بي بي سي - لندن.  
[http://www.bbc.co.uk/arabic/scienceandtech/2010/05/100524\\_artificial\\_life\\_syntia.shtml](http://www.bbc.co.uk/arabic/scienceandtech/2010/05/100524_artificial_life_syntia.shtml)



## ثانياً: المراجع باللغة الإنجليزية

- Ball, P. (2004). What is life? Can we make it? Prospect Magazine, August 2004.  
[http://www.prospect-magazine.co.uk/ArticleView.asp?P\\_Article=12744](http://www.prospect-magazine.co.uk/ArticleView.asp?P_Article=12744)
- Gibbs, W. W. (2004). Synthetic Life, Scientific American, April 26, 2004.  
<http://www.sciam.com/article.cfm?chanID=sa006&colID=1&articleID=0009FCA4-1A8F-1085-94F483414B7F0000>
- Gibson, et al., (2010). Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome. Published Online May 20 2010. Science: 329 (5987). 52-56.  
<http://www.sciencedaily.com/releases/2001/04/010424073031.htm>
- <http://www.sciencemag.org/cgi/content/summary/299/5607/640>
- [http://www.usatoday.com/news/science/2003-11-13-new-life-usat\\_x.htm](http://www.usatoday.com/news/science/2003-11-13-new-life-usat_x.htm)
- Liu, H. et al., (2003). Science, vol. 302, pages 868–871; AAAS.