تحرير الجينات في الكائنات الدقيقة

د. سمير عبد الحميد

2026-01-04

منذ أن بدأ العلماء بفهم الكائنات الدقيقة بوصفها أنظمة حيّة قابلة للبرمجة، تغيّرت نظرتهم إلى البكتيريا من كونها مجرّد مسبّبات أمراض إلى كونها وحدات إنتاج بيولوجي ذات قدرات استثنائية. هذه النقلة المفاهيمية وضعت **تحرير الجينات** في قلب ثورة صناعية وبيئية هادئة، تسعى إلى إعادة تصميم البكتيريا والفطريات لأداء مهام لم تُخلق لها أصلًا.

في هذا السياق، لم يعد تحرير الجينات موجّهًا نحو علاج الإنسان أو تحسين المحاصيل فقط، بل أصبح أداة لتطوير **كائنات دقيقة صناعية** قادرة على تحليل الملوّثات، امتصاص المعادن الثقيلة، إنتاج الوقود الحيوي، أو تحويل النفايات إلى مواد ذات قيمة اقتصادية. نحن هنا لا نتحدث عن تعديل جين واحد، بل عن إعادة هندسة مسارات أيضية كاملة داخل الخلية.

تعتمد هذه المقاربة على فهم دقيق لشبكات التمثيل الغذائي (metabolic networks) داخل الكائنات الدقيقة. فبدل الاكتفاء بإضافة جين جديد، يعمل الباحثون على حذف مسارات غير مرغوبة، وتعزيز أخرى، وإعادة توجيه تدفّق الطاقة داخل الخلية لتحقيق هدف صناعي محدد. تحرير الجينات، في هذا الإطار، يصبح أقرب إلى هندسة نظم معقّدة منه إلى "قصّ ولصق" وراثي بسيط.

أحد أكثر التطبيقات واقعية لهذا النهج يظهر في مجال **المعالجة الحيوية البيئية (Bioremediation)**. فقد جرى تطوير سلالات بكتيرية معدّلة وراثيًا قادرة على تفكيك المشتقات النفطية في التربة والمياه، أو تحويل المركبات السامّة إلى نواتج أقل خطورة. هذه الكائنات لا تعمل بمعزل عن البيئة، بل تتفاعل معها ضمن توازن دقيق يتطلّب ضبطًا جينيًا محكمًا لضمان الكفاءة والسلامة في آن واحد.

وفي الصناعة، يفتح تحرير الجينات آفاقًا واسعة لإنتاج بدائل حيوية للمواد الكيميائية التقليدية. فبدل الاعتماد على مشتقات النفط، يمكن لكائنات دقيقة مُهندسة أن تنتج البلاستيك الحيوي، والإنزيمات الصناعية، وحتى الوقود

الحيوي، باستخدام مواد أولية رخيصة أو نفايات عضوية. هنا، يتحوّل المفاعل الحيوي إلى مصنع، وتصبح الخلية وحدة إنتاج قابلة للضبط الجيني.

لكن هذه التطبيقات لا تخلو من تحديات علمية دقيقة. فإعادة تصميم كائن حيّ يتطلّب فهمًا عميقًا لتأثير كل تعديل جيني على استقرار الخلية وقدرتها على البقاء. كثيرًا ما تؤدي التعديلات إلى إجهاد خلوي غير متوقّع، أو إلى اختلالات في التوازن الأيضي، ما يستدعي دورات متكررة من النمذجة، والتحرير، والاختبار.

كما تبرز إشكالية الانتشار البيئي للكائنات المعدّلة وراثيًا. فكيف يمكن ضمان أن تبقى هذه الكائنات داخل النطاق الصناعي أو البيئي المحدد دون أن تنتقل إلى نظم بيئية أخرى؟ لهذا السبب، يعمل الباحثون على تطوير "مفاتيح أمان جينية"، مثل جينات الاعتماد الغذائي أو أنظمة القتل الذاتي، التي تمنع بقاء الكائن خارج بيئته المصمَّمة.

في العالم العربي، تكتسب هذه التطبيقات أهمية خاصة. فالمنطقة تواجه تحديات بيئية متزايدة، من تلوّث المياه والتربة إلى تراكم النفايات الصناعية. ويتيح تحرير الجينات في الكائنات الدقيقة فرصة لبناء حلول محلية منخفضة الكلفة، تستند إلى البحث العلمي بدل استيراد تقنيات جاهزة لا تلائم الواقع البيئي المحلي.

إن تحرير الجينات في هذا المجال لا يسعى إلى "السيطرة على الطبيعة"، بل إلى التعاون معها على مستوى الجزيئات. هو انتقال من اقتصاد يعتمد على الاستخراج إلى اقتصاد حيوي يعتمد على التجديد، حيث تصبح الكائنات الدقيقة شركاء في الإنتاج وحماية البيئة.

في نهاية المطاف، لا تكمن قوة تحرير الجينات في قدرته على التغيير فحسب، بل في قدرته على إعادة تعريف العلاقة بين الإنسان والكائنات المجهرية. فحين ننجح في توجيه هذه الكائنات لخدمة البيئة والصناعة معًا، نكون قد خطونا خطوة حقيقية نحو مستقبل أكثر استدامة، تُكتب معادلاته في المختبر، لكن آثارَه تمتد إلى الأرض والهواء والماء.

المصادر

//:https CRISPR Technology and Its Emerging Applications CRISPR/Cas9 academic.oup.com/gpb/article/23/3/qzaf034/8118834 //:https PubMed" A Review on the Mechanism and Applications" Advancements in Genome Editing /pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36163606 /https://www.sciencedirect.com/science/article/pii ScienceDirect

/https://www.mdpi.com CRISPR/Cas9 Landscape S1773224724000066
1422-0067/24/22/16077

تواصل مع الكاتب: drsamirabdulhamid@gmail.com