

## محدودية صلاحية الحمض النووي تجعل البروتينات بديلاً فاعلاً في الكشف عن أسرار التاريخ التطوري للبشر جداً لم تكن تخطر على البال.



### الدنا يتخلل بمر الزمن

في اللحظة التي يموت فيها أي كائن حي، يبدأ حمضه النووي بالتحلل. عمر النصف للحمض النووي (حيث يتحلل نصفه) هو 521 عامًا في المتوسط، ويفنى تمامًا بعد حوالي 6.8 مليون سنة، حتى في ظل ظروف حفظ مثالية، كما في البيئات باردة والمستقرة.

وهذا يمثل صعوبة كبيرة أمام محاولة فهم تاريخنا التطوري فهمًا معمقًا: فقد ظهرت الرئيسيات ثنائية الأرجل قبل 7 ملايين سنة في أفريقيا، وظهر جنس الهومو (ومنه الإنسان الحديث) (1) قبل حوالي 2.6 مليون سنة. لكن الحمض النووي تحلل بسرعة في الأماكن التي جابها قدماء أسلافنا. ونتيجة لذلك، فإن العديد من التكيفات الرئيسية [مورفولوجية، أو فسيولوجية، أو سلوكية] (2) التي جعلتنا بشراً فريداً من نوعه تعود إلى فترة كان فيها الحمض النووي القديم طليماً لا يمكن قراءته أو فك رموزه.

لكن تقنية جديدة أتاحت لنا دراسة ما هو أبعد من تاريخ انتهاء صلاحية (فناء أو عدم بقاء أي أثر لـ) الحمض النووي في أفريقيا، للإجابة على أسئلة طالما بقيت بلا اجابة عن أسلافنا. يُطلق على هذا العلم اسم علم مجموعة

البروتينات القديمة للخلايا (بروتيوم) (3، 4) وهو دراسة البروتينات القديمة (5) التي تبقى لفترة أطول من بقاء الحمض النووي. ذكرت كريستينا وارينر [Christina Warinner](#)، باحث علم الآثار الجزيئية الحيوية في جامعة هارفارد، وزملاؤها في ورقة بحثية نشرت عام 2022: "البروتينات جزيئات حيوية معمرة وقادرة على البقاء على قيد الحياة لملايين السنين." يُشْفَر (يحفظ) الحمض النووي التعليمات اللازمة لتكوين الأحماض الأمينية، التي تتحد في سلاسل طويلة لتكوين البروتينات. ولأن البروتينات تتحلل ببطء أكثر من الحمض النووي، فإنها تُصبح موردًا قيمًا جدًا لفهم التطور البشري.

## علماء الآثار وثورة الحمض النووي

شهد اهتمام علماء الآثار بالحمض النووي القديم ارتفاعًا حادًا منذ عام 2010، عندما نشر باحثون مسودة لجينوم الك نياندرتال (إنسان بدائي) (6)، مؤكدين أن الك نياندرتال تزوج مع أسلاف الكثير من البشر من معاصريه. ومنذ 2010، استُخدمت هذه التقنية للإجابة على عدد من الأسئلة المتعلقة بالآثار، مثل متى تم استيطان الأمريكيتين (7) وأستراليا (8)، ومتى بدأت الزراعة (9)، وكيف انتشرت اللغات والثقافات (10).

إلا أن هناك نقاط ضعف رئيسة في الاعتماد فقط على الحمض النووي القديم (11). فبالرغم من أن تقنيات استخراج الحمض النووي من العظام القديمة جدًا قد تطورت بشكل كبير بمر السنين، إلا أن الحمض النووي يتحلل إلى جزيئات صغيرة جدًا على مدى آلاف السنين بسبب تأثير نور الشمس والحرارة والرطوبة. ونتيجة لذلك، فإن تحليل الحمض النووي لعظام وأسنان القدماء محدود زمنيًا [وذلك بسبب تحلل الك DNA السريع نسبيًا على مدى بضعة آلاف من السنين]، مما لا يجعلنا متمكنين من معرفة الكثير عن تطورنا القديم جدًا من خلال استخدام هذه التقنية.



مجموعة من عظام إنسان نياندرتال. تحليل الحمض النووي لهذه العظام القديمة غير نافع، لأن الحمض النووي يتحلل بمرور الزمن.

هذه مشكلة تتعقد أكثر في أفريقيا، حيث جرت أحداث معظم التطور البشري هناك.

صرح آدم فان أرسديل [Adam Van Arsdale](#)، باحث في الأنثروبولوجيا الحيوية في كلية ويلسلي Wellesley، لموقع لايف ساينس Science Live: "أفريقيا هي مركز ماضي التطور، وليس لدينا في أفريقيا حمض نووي قديم يتجاوز عمره الـ 20 ألف سنة تقريبًا في تلك الفترة" (12). وأضاف أن معرفة ما حدث مع أسلافنا القدامى من الناحية البيولوجية قبل ملايين السنين في قلب أفريقيا من شأنه أن يُحدث تغييرًا في فهمنا للتطور البشري.

ثورة في تحليل البروتينات

تُعدّ البروتينات هدفًا مثيرًا لعلماء الأنثروبولوجيا لأنها تدوم حتى عمر أطول من أقدم حمض نووي (13). فهي تحتوي على عدد ذرات أقل، وعدد روابط كيميائية أقل، وبنية أقل حجمًا، مما يعني أنها أقل هشاشة [أكثر قوة ووتيرة تحللها أبطأ بكثير] من الحمض النووي، ووفقًا لوارينر وزملائه.

استُخرج أول بروتينوم قديم (4، 14) - وهو مجموعة من البروتينات المُخلقة (15) في خلية أو نسيج أو كائن حي - من عظمة ماموث صوفي (16) عمرها 43 ألف سنة في دراسة نُشرت عام 2012. في عام 2019، أعلن الباحثون عن أقدم

بروتيوم من كائن ثديي قديم: من سن قديم عمره 1.9 مليون عام من قرد منقرض هو القردة الضخمة المعروفة بـ جيجانتوبيثيكوس (17، 18). وفي عام 2025، نجح الباحثون في استخراج أقدم البروتينات حتى حينه، من إبيسيرثيريوم Epiaceratherium، وهو مخلوق منقرض (19) يشبه وحيد القرن عاش في القطب الشمالي الكندي منذ أكثر من 21 مليون سنة.

بعد تحسيننا لأساليب وطرق التحليل والتعرف على البروتينات، بدأ باحثو علم الأنثروبولوجيا في استخدام هذه الطرق للإجابة على أسئلة بشأن التطور البشري.

في دراسة (20، 21) نُشرت عام 2020 في مجلة Nature، حلل الباحثون البروتينات الموجودة في مينا أسنان سلف إنسان (22)، وهو شبيه بشري منقرض عاش في أوروبا قبل 800 ألف سنة. واكتشفوا أن بروتينات سلف إنسان تختلف عن بروتينات الإنسان العاقل (23) والنياندرتال (6) وإنسان دينيسوفا (24)، مما يجعله فرعاً منفصلاً من شجرة التطور البشري وليس بكونه سلفنا المباشر.

في دراسة (25) نُشرت في أبريل، 2025 في مجلة العلوم Science، استُخدم التحليل البروتيومي أيضاً لمعرفة أن عظم الفك الذي عُثر عليه أول مرة في أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين قبالة سواحل تايوان (26) له علاقة بإنسان دينيسوفا، وهي مجموعة غامضة من أقارب البشر المنقرضين. قبل ذلك، لم يكن باحثو علم الأنثروبولوجيا القديمة يعرفون ما إذا كان إنسان دينيسوفا (24) قد عاش في ذلك الجانب من العالم. كما أثبت التحليل أنه من الممكن التعرف على البروتينات الموجودة في المتحجرات من المناطق الدافئة والرطبة.

## جدورنا الأفريقية

قد يكون تحليل البروتينات القديمة من أكثر العوامل التي أحدثت نقلة في فك رموز تطورنا القديم جداً. وأبرزت دراستان حديثتان أُجريتاً على عظام وأسنان متحجرة من أفريقيا إمكانات هذه الطريقة التحليلية، حيث الدراسات، التي استخدمت الحمض النووي، تكاد أن تكون مستحيلة [وذلك بسبب تحلل الـ DNA السريع نسيئاً].

في الدراسة الأولى، التي نشرت في مايو، 2025 في مجلة ساينس (27)، اكتشف علماء الآثار بروتينات قديمة من أسنان أربعة أفراد من جنس بارانثروبوس روبستوس (الإنسان النظير) (28، 29)، وهو قريب للإنسان عاش في فترة قبل 8.1 مليون إلى 1.2 مليون سنة. وأثبتت الدراسة أن الأفراد كانوا ذكراً واثنتين من الإناث. لكن المثير للدهشة أن الباحثين اكتشفوا أن أحد أفراد بارانثروبوس روبستوس، الذي كان يُعتقد أنه ذكر، كان في الواقع أنثى. يشير هذا إلى أن بعض الجماعم التي صُنفت سابقاً على أنها جنس واحد من نوع معروف ربما كانت في الواقع تنتمي إلى



أسنانٌ لإنسانٍ عاقلٍ وإنسان نياندرتال. يُحلّل الباحثون البروتينات في أسنانٍ كهذه لمعرفة المزيد عن البشر القدماء.

في الدراسة الثانية، التي نُشرت في فبراير، 2025، في مجلة العلوم الجنوب أفريقية (30)، استخرج الباحثون البروتيووم من مينا أسنان أسترالوبيثكس أفريكانوس (31)، الذي عاش في جنوب أفريقيا قبل 3.5 مليون سنة. ورغم أنهم لم يتمكنوا إلا من تحديد الجنس البيولوجي للأسترالوبيثيسينات (32 - 34)، إلا أن الباحثين كتبوا أن "هذه كلها إنجازات مثيرة جدًّا، ومن شأنها أن تُحدث ثورة في فهمنا للتطور البشري."

وصرحت ريببكا أكرمان [Rebecca Ackermann](#)، باحث في علم الأثنروبولوجيا البيولوجية في جامعة كيب تاون، لموقع لايف ساينس، بأن أحد الأسئلة التي قد يُسهم هذا التحليل في الإجابة عليها هو ما إذا كان ذكور وإناث أسلاف البشر وأقاربهم يختلفون اختلافًا كبيرًا في الحجم أو السمات. على سبيل المثال، قد يكشف تحليل البروتين والجنس أن بعض العظام التي فُسرَّت سابقًا على أنها ذكور وإناث من نفس النوع (35) كانت في الواقع لأفراد من نفس الجنس [ذكور أو إناث]، ولكن من أسلاف (36) مختلفين.

حتى الآن، نجح الباحثون في تحليل بروتينات من عدد بسيط من أسلاف البشر القدماء. وبينما يحتوي جسم الإنسان الحديث على أكثر من 100 ألف بروتين، فإن "بروتيووم" مينا الأسنان صغير الحجم؛ حيث يتكون من خمسة بروتينات

رئيسة لها علاقة بتكوين مينا الأسنان. ومع ذلك، فإن التباين في تسلسل البروتينات كافٍ للتمييز بين الكائنات الحية التي لها سلف مشترك.

## آفاق المستقبل

قالت أكرمان إن تحليل التباينات في تلك البروتينات لا يُقدم على الأرجح حلاً كافياً للإجابة على أسئلة رئيسة، مثل مدى ارتباط أسلاف البشر القدماء بأقاربهم الأقربين [إنسان نياندرتال وإنسان دينسوبا]. على سبيل المثال، قبل ملايين السنين في شرق إفريقيا، تعايشت عدة أنواع من الرئيسيات ثنائية الأرجل بجانب بعضها البعض عبر الزمن (37)، ولكن ما إذا كانت هذه الأنواع المختلفة قادرة على التزاوج والتناسل وإنتاج هجين خصب [أي قادر على التناسل] (38) ليس واضحاً من خلال تحليل العظام وحده.

هل يمكن للبروتينات القديمة أن تُساعد في نهاية المطاف على الإجابة على هذا السؤال؟

أكرمان متفائلة، ولكنها كانت حذرة بأن تكنولوجيا علم البروتينات القديمة ستتقدم لتوضيح العلاقات التطورية بين الأنواع التي لها سلف مشترك.

وأضافت أكرمان أن بروتينومات العظام والمينا قد تفتقد إلى تفاصيل كافية للتمييز بين الأفراد الذين لهم سلف مشترك بنفس قدرة الجينومات على التمييز.

وأضافت أكرمان أن هناك فرصة لتطور التقنيات بما يكفي ليتمكن العلماء من استخراج البروتينات من أنسجة عمرها ملايين السنين.

وكتبت وارينر وزملاؤها أن معظم البروتينات التي يخلِّقها البشر، بما في ذلك تلك التي تُشكل جزءاً من "البروتيوم المظلم [المجهول التركيب والذي ليس له بنية ثلاثية الأبعاد محددة (39)]"، العصي على التحليل، مما يعني أننا لا نعرف الكثير عن وظيفته.

وكتبوا: "ستحمل السنوات العشر القادمة بالتأكيد الكثير من المفاجآت مع بدء تطبيق هذه القوة التحليلية للإجابة على أسئلة قديمة عن الماضي وابتكار حلول جديدة للمشكلات القديمة."

