المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

المركز الوطني لتطوير المناهج
National Center for Curriculum Development

العلوم الحياتية

الصف الثاني عشر - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

12

فريق التأليف

موسى عطا الله الطراونة (رئيسًا)

عطاف عايش الهباهبة حياة عبد يونس المناصير ليلى أحمد عبد الحافظ

أمجد أحمد الخرشة (منسقًا)

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

يسر المركز الوطني لتطوير المناهج استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الكتاب عن طريق العناوين الآتية:

06-5376262 / 237 06-5376266 P.O.Box: 2088 Amman 11941

@nccdjor feedback@nccd.gov.jo www.nccd.gov.jo

قـرَّرت وزارة التربيـة والتعليـم تدريـس هـذا الكتـاب في مـدارس المملكـة الأردنيـة الهاشـمية جميعهـا، بنـاءً عـلى قرار المجلـس الأعلى للمركز الوطني لتطـــوير المناهـــج، في جلسـته رقم (2022/7)، تاريخ 2022/11/8 م، وقرار مجلس التربية والتعليم رقم (2022/115)، تاريـخ 2022/12/6 م، بـدءًا مـن العام الـدراسي 2022 / 2023 م.

© HarperCollins Publishers Limited 2022.
- Prepared Originally in English for the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan
- Translated to Arabic, adapted, customised and published by the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan

ISBN: 978 - 9923 - 41 - 503 - 0

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(2023/5/2623)

بيانات الفهرس الأولية للكتاب:

عنوان الكتاب	العلوم الحياتية/ كتاب الطالب الصف الثاني عشر الفصل الدراسي الثاني
إعداد / هيئة	الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج
بيانات النشر	عمان: المركز الوطني لتطوير المناهج ، 2023
رقم التصنيف	375.001
الواصفات	**/ تطوير المناهج/ / المقررات الدراسية/ / مستويات التعليم/ / المناهج/**
الطبعة	الأولى

يتحمَّل المُؤلِّف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مُصنَّفه، ولا يُعبِّر هذا المُصنَّف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, sorted in retrieval system, or transmitted in any form by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise , without the prior written permission of the publisher or a license permitting restricted copying in the United Kingdom issued by the Copyright Licensing Agency Ltd, Barnard's Inn, 86 Fetter Lane, London, EC4A 1EN.
British Library Cataloguing -in- Publication Data
A catalogue record for this publication is available from the Library.

الطبعة الأولى (التجريبية) 1443 هـ / 2022 م
أُعيدت طباعته 1444 هـ / 2023 م

قائمة المحتويات

المقدمة 5

الوحدة الثالثة: الوراثة 7

تجربة استهلالية: محاكاة توارث الأليلات باستخدام قطع النقود 9

الدرس 1: وراثة الصفات المندلية 10

الدرس 2: الوراثة بعد مندل 22

الدرس 3: الطفرات والاختلالات الوراثية 41

الدرس 4: التكنولوجيا الحيوية 56

الإثراء والتوسُّع: الخرائط الدماغية 72

مراجعة الوحدة 73

الوحدة الرابعة: التنوُّع الحيوي والمحافظة عليه 79

تجربة استهلالية: نمذجة آثار ظاهرة الدفيئة 81

الدرس 1: التنوُّع الحيوي والمخاطر التي تُهدِّده 82

الدرس 2: حفظ التنوُّع الحيوي واستدامته 95

الإثراء والتوسُّع: أثر بناء السدود في التنوُّع الحيوي 105

مراجعة الوحدة 106

مسرد المصطلحات 110

قائمة المراجع 115

المواقع الإلكترونية 116

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

انطلاقًا من إيمان المملكة الأردنية الهاشمية الراسخ بأهمية تنمية قدرات الإنسان الأردني، وتسليحه بالعلم والمعرفة؛ سعى المركز الوطني لتطوير المناهج، بالتعاون مع وزارة التربية والتعليم، إلى تحديث المناهج الدراسية وتطويرها، لتكون مُعينًا للطلبة على الارتقاء بمستواهم المعرفي، ومجاراة أقرانهم في الدول المتقدمة.

يُعَدُّ هذا الكتاب واحدًا من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعْنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحَلِّ المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وَفق أفضل الطرائق المُتَّبَعة عالميًّا؛ لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبيتها لحاجات أبنائنا الطلبة والمعلِّمين والمعلِّمات.

جاء هذا الكتاب مُحقِّقًا لمضامين الإطار العام والإطار الخاص للعلوم، ومعاييرها، ومُؤشِّرات أدائها المُتمثِّلة في إعداد جيل محيط بمهارات القرن الواحد والعشرين، وقادر على مواجهة التحديات، ومُعتَزٍّ -في الوقت نفسه- بانتمائه الوطني. وتأسيسًا على ذلك، فقد اعتُمِدت دورة التعلُّم الخماسية المنبثقة من النظرية البنائية التي تمنح الطالب الدور الأكبر في العملية التعلُّمية التعليمية، وتُوفِّر له فرصًا عديدةً للاستقصاء، وحَلِّ المشكلات، واستخدام التكنولوجيا وعمليات العلم، فضلًا عن اعتماد منحى STEAM في التعليم الذي يُستعمَل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوعة.

يتألَّف الكتاب من وحدتين، يَتَّسِمُ محتواهما بالتنوُّع في أساليب العرض، هما: الوراثة، والتنوُّع الحيوي والمحافظة عليه. يضم الكتاب أيضًا العديد من الرسوم، والصور، والأشكال التوضيحية، والأنشطة، والتجارب العملية التي تُنمّي مهارات العمل المخبري، وتساعد الطلبة على اكتساب مهارات العلم، مثل: الملاحظة العلمية، والاستقصاء، ووضع الفرضيات، وتحليل البيانات، والاستنتاج القائم على التجربة العلمية المضبوطة، وصولًا إلى المعرفة التي تُعِين الطلبة على فهم ظواهر الحياة من حولنا.

روعي في تأليف الكتاب التركيز على مهارات التواصل مع الآخرين، ولا سيَّما احترام الرأي والرأي الآخر، وتحفيز الطلبة على البحث في مصادر المعرفة المختلفة؛ فلغة الكتاب تُشجِّع الطالب أنْ يتفاعل مع المادة العلمية، وتحثُّه على بذل مزيد من البحث والاستقصاء. وقد تضمَّن الكتاب أسئلة متنوعة تراعي الفروق الفردية، وتُنمّي لدى الطلبة مهارات التفكير وحَلِّ المشكلات.

أُلحِقَ بالكتاب كتابٌ للأنشطة والتجارب العملية، يحتوي على جميع التجارب والأنشطة الواردة في كتاب الطالب؛ لتساعده على تنفيذها بسهولة، إضافةً إلى أسئلة مثيرة للتفكير.

ونحن إذ نُقدِّمُ هذا الكتاب، فإنّا نأمل أنْ يُسهِم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية المنشودة لبناء شخصية الطالب، وتنمية اتجاهـات حُبِّ التعلُّم ومهارات التعلُّم المستمر لديه، فضلًا عن تحسين الكتاب؛ بإضافة الجديد إلى المحتوى، وإثراء أنشطته المتنوعة، والأخذ بملاحظات المعلِّمين والمعلِّمات.

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

الوحدة 3

الوراثة

Genetics

قال تعالى:

﴿سُبْحَانَ الَّذِي خَلَقَ الْأَزْوَاجَ كُلَّهَا مِمَّا تُنْبِتُ الْأَرْضُ وَمِنْ أَنْفُسِهِمْ وَمِمَّا لَا يَعْلَمُونَ﴾ (سورة يس، الآية 36).

أتأمَّل الصورة

تُورَّث الصفات الوراثية عن طريق انتقال المادة الوراثية من الآباء إلى الأبناء، وتؤدّي العوامل البيئية دورًا في هذا التوارث. فما أنماط التوارث؟ كيف تُؤثِّر العوامل البيئية في صفات الكائنات الحيَّة؟

الفكرة العامة:

الجينات مسؤولة عن الصفات الوراثية. ونتيجةً لتأثير بعض العوامل؛ فقد يتغيَّر تسلسل بعض النيوكليوتيدات في الجين؛ ما قد يُؤثِّر في الصفات الوراثية. ويُمكِن استخدام تطبيقات التكنولوجيا الحيوية في دراسة الجينات وتعديلها.

الدرس الأوَّل: وراثة الصفات المندلية.

الفكرة الرئيسة: فسَّرت نتائج تجارب العالِم غريغور مندل انتقال بعض الصفات الوراثية من الآباء إلى الأبناء.

الدرس الثاني: الوراثة بعد مندل.

الفكرة الرئيسة: تُتوارَث بعض الصفات الوراثية بأنماط تختلف عن تلك التي في الوراثة المندلية.

الدرس الثالث: الطفرات والاختلالات الوراثية.

الفكرة الرئيسة: تُصنَّف الطفرات إلى نوعين، هما: الطفرات الجينية، والطفرات الكروموسومية. وينتج من بعض الطفرات اختلالات وراثية.

الدرس الرابع: التكنولوجيا الحيوية.

الفكرة الرئيسة: تُستخدَم في التكنولوجيا الحيوية أدوات تعمل على تعديل المادة الوراثية DNA، وتكثيرها، وفصلها. وقد وظَّف الإنسان هذه الأدوات في مجالات عِدَّة، لا سيَّما الطبية والزراعية منها.

محاكاة توارث الأليلات باستخدام قطع النقود

تتحكَّم الجينات في توارث الصفات الوراثية، وللجين الواحد أكثر من شكل، ويُسمّى كل شكل منها أليلًا.

المواد والأدوات: قطعتا نقود.

إرشادات السلامة: إلقاء قطعتي النقود بحذر؛ لكيلا تصيب أحدًا من الطلبة.

ملحوظة: تُنفَّذ التجربة ضمن مجموعات.

♀ / ♂	r	R
R		
r		

خطوات العمل:

1. أفترض أنَّ إحدى قطعتي النقود تُمثِّل الطراز الجيني لصفة لون الأزهار لأحد الأبوين في نبات البازيلاء، وأنَّ القطعة الثانية تُمثِّل الطراز الجيني للآخر؛ إذ تُمثِّل الصورة في كل قطعة نقود مُستخدَمة في هذه التجربة أليل لون الأزهار الأرجواني السائد R، وتُمثِّل الكتابة أليل لون الأزهار الأبيض المُتنحّي r.

أشكال الطرز الجينية المُتوقَّعة لأفراد الجيل الأوَّل	RR	Rr	rr
النسبة المئوية المُتوقَّعة.			
عدد مَرّات ظهور الطراز الجيني عند إلقاء قطعتي النقود 5 مَرّات.			
النسبة المئوية الناتجة من التجربة(5 مَرّات).			
عدد مَرّات ظهور الطراز الجيني عند إلقاء قطعتي النقود 50 مَرَّة.			
النسبة المئوية الناتجة من التجربة(50 مَرَّة).			

2. **أستنتج** الطراز الجيني لكلا الأبوين من مربع بانيت.
3. أُكمِل مربع بانيت، وأتوقَّع الطرز الجينية والشكلية لأفراد الجيل الأوَّل.
4. **أحسُبُ** النسبة المئوية لكل طراز من الطرز الجينية في مربع بانيت، ثم أُدوِّن النتائج في خانة (النسبة المئوية المُتوقَّعة) في الجدول.
5. **أُجرِّب:** أُلقي قطعتي النقود معًا 5 مَرّات، ثم أُدوِّن في كل مَرَّة الطراز الجيني الذي يُمثِّل الطراز الجيني للفرد الناتج من عملية التلقيح.
6. **أُجرِّب:** أُلقي قطعتي النقود معًا 50 مَرَّة، ثم أُدوِّن الطراز الجيني في كل مَرَّة.
7. **أحسُبُ** النسب المئوية للطرز الجينية الناتجة، ثم أُدوِّن النتائج في خانة (النسبة المئوية الناتجة من التجربة) في الجدول.

التحليل والاستنتاج:

1. **أُقارِن** النسب المئوية المُتوقَّعة بالنسب المئوية الناتجة من التجربة.
2. **أتوقَّع** تأثير زيادة عدد مَرّات إلقاء قطعتي النقود في الفرق بين النسب المئوية المُتوقَّعة والنسب المئوية الناتجة من التجربة، مُفسِّرًا إجابتي.
3. **أتواصل:** أُناقِش زملائي في النتائج، ثم أذكر أمثلة من الواقع تدعم نتائج التجربة.
4. **أُصمِّم** تجربة لمحاكاة توارث الأليلات عند تلقيح نباتين، أحدهما غير مُتماثِل الأليلات، والآخر مُتنحٍّ.

وراثة الصفات المندلية
Inheritance of Mendelian Traits

الدرس 1

الفكرة الرئيسة:

فسَّرت نتائج تجارب العالِم غريغور مندل انتقال بعض الصفات الوراثية من الآباء إلى الأبناء.

نتاجات التعلُّم:

- أُوضِّح أنَّ الجينات على الكروموسومات تُحدِّد الطرز الشكلية في الأبناء.
- أُفسِّر دور الانقسام المُنصِّف في التنوُّع الجيني.
- أُفسِّر نصي قانوني مندل في الوراثة.
- أُطبِّق قانوني مندل عند حَلِّ مسائل عن الوراثة.

المفاهيم والمصطلحات:

الترتيب العشوائي للكروموسومات
Random Orientation of Chromosomes

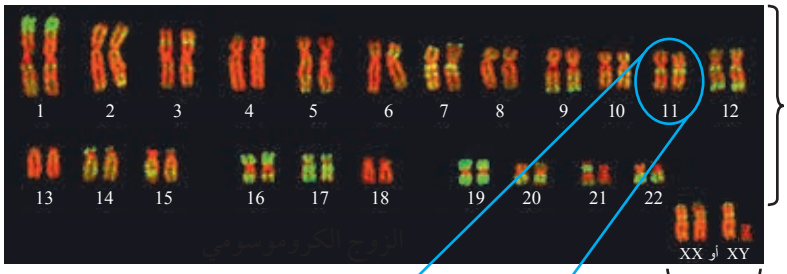
قانون التوزيع الحر
The Law Of Independent Assortment

انتقال المعلومات الوراثية من الآباء إلى الأبناء
Passage of Genetic Information from Parents to Offspring

تُتوارَث الصفات في الكائنات الحيَّة التي تتكاثر جنسيًّا عن طريق الجاميتات التي تنتج من الانقسام المُنصِّف. وتحتوي كل خلية جسمية ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n) في جسم الإنسان على 23 زوجًا من الكروموسومات، نصفها من الأُمِّ، ونصفها الآخر من الأب، في حين تكون الجاميتات أُحادية المجموعة الكروموسومية (1n)، وتحوي 23 كروموسومًا.

لكل كروموسوم في الخلية ثنائية المجموعة الكروموسومية كروموسوم مُماثِل له، وهذا ينطبق على أزواج الكروموسومات، بَدْءًا بالزوج الأوَّل، وانتهاءً بالزوج الثاني والعشرين؛ وهي الكروموسومات الجسمية، وفيها تشغل نفس الجينات المواقع نفسها على الكروموسومين المُتماثِلين.

أمّا الزوج الثالث والعشرون فهو زوج من الكروموسومات الجنسية، يكون مُتماثِلًا عند الأنثى (XX)، وغير مُتماثِل عند الذكر (XY)، أنظر الشكل (1).



الشكل (1): مُخطَّط كروموسومي للكروموسومات في خلية ثنائية المجموعة في الإنسان.

التنوُّع الجيني في الجاميتات Genetic Variation in Gametes

درسْتُ سابقًا عملية الانقسام المُنصِّف، وتعرَّفْتُ أهميتها في تكوين الجاميتات في الكائنات الحيَّة التي تتكاثر جنسيًّا. يؤدّي الانقسام المُنصِّف دورًا في تنوُّع التراكيب الجينيـة في الكائنـات الحيَّة؛ إذ يُؤثِّر **الترتيب العشـوائي للكروموسـومات Random Orientation of Chromosomes** في توارث الأليلات المحمولة على كروموسومات مختلفة، في حين تُؤثِّر عملية العبور في توارث الأليلات المحمولة على الكروموسوم نفسه.

الترتيب العشوائي للكروموسومات
Random Orientation of Chromosomes

تترتَّب كروموسومـات الأُمِّ وكروموسومـات الأب ترتيبًا عشوائيًّا أثنـاء الطور الاستـوائـي الأوَّل في الانقسـام المُنصِّف، أنظر الشكل (2) الـذي يُمثِّل مُلخَّصًا لتكوين الجاميتات في خلية تحوي 4 كروموسومات لفرد طرازه الجيني AaBb، في دلالة على صفتين مختلفتين، مُفترِضًا أنَّ كروموسومات أحد الأبوين تُمثِّلها الكروموسومات ذات اللون الأزرق، وأنَّ كروموسومات الآخر تُمثِّلها الكروموسومات ذات اللون الأحمر.

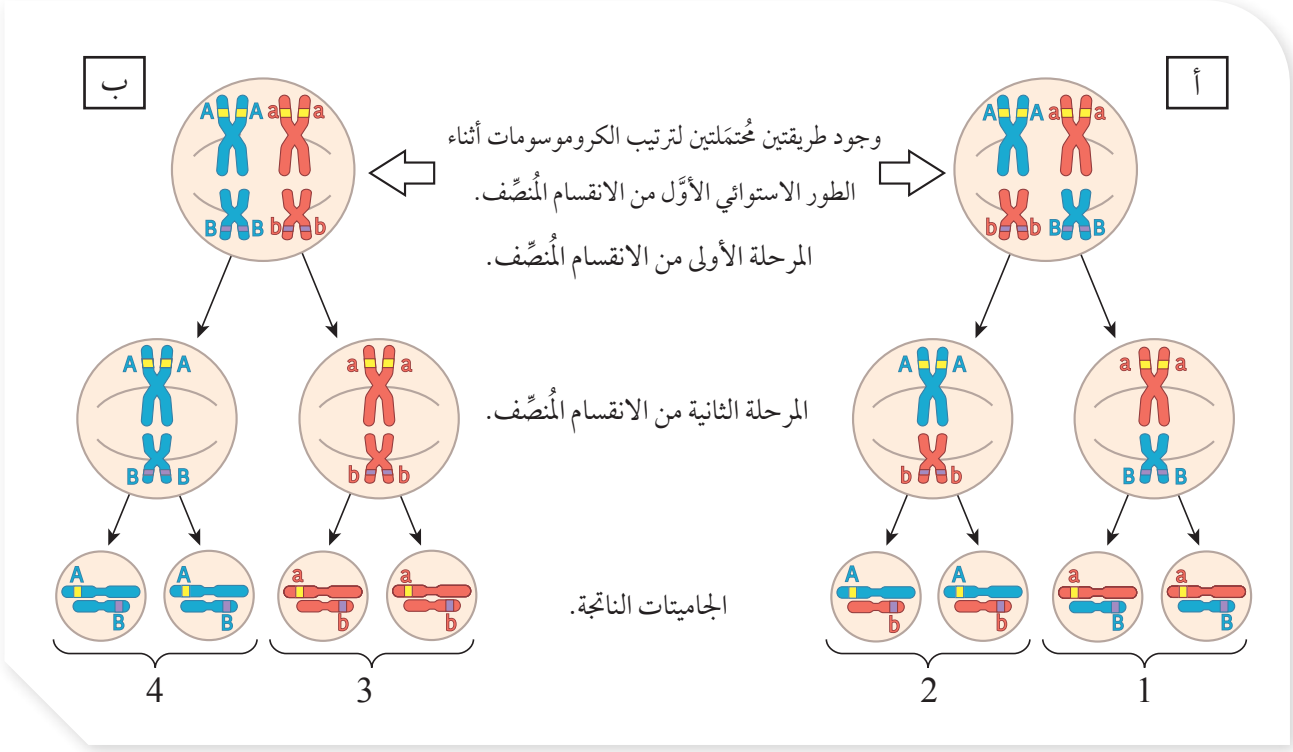
الربط بالتكنولوجيا

تصوير الكروموسومات

تُحفَّز الخلـية للانقسـام، ثـم تضاف مادة كيميائية تعمـل على إيقاف حركة الخيوط المغزليـة؛ ما يُثبِّت الخلـية المُنقسِمـة في الطور الاستوائي. بعد ذلك تُصوَّر الكروموسومات في هـذا الطور باستخدام كاميرا موصولة بمجهر.

أتحقَّق: أُوضِّـح المقصود بالـترتيب العشـوائي للكروموسومات.

الشكل (2): الترتيب العشوائي للكروموسومات أثناء تكوين الجاميتات في خلية تحوي 4 كروموسومات لفرد طرازه الجيني AaBb.

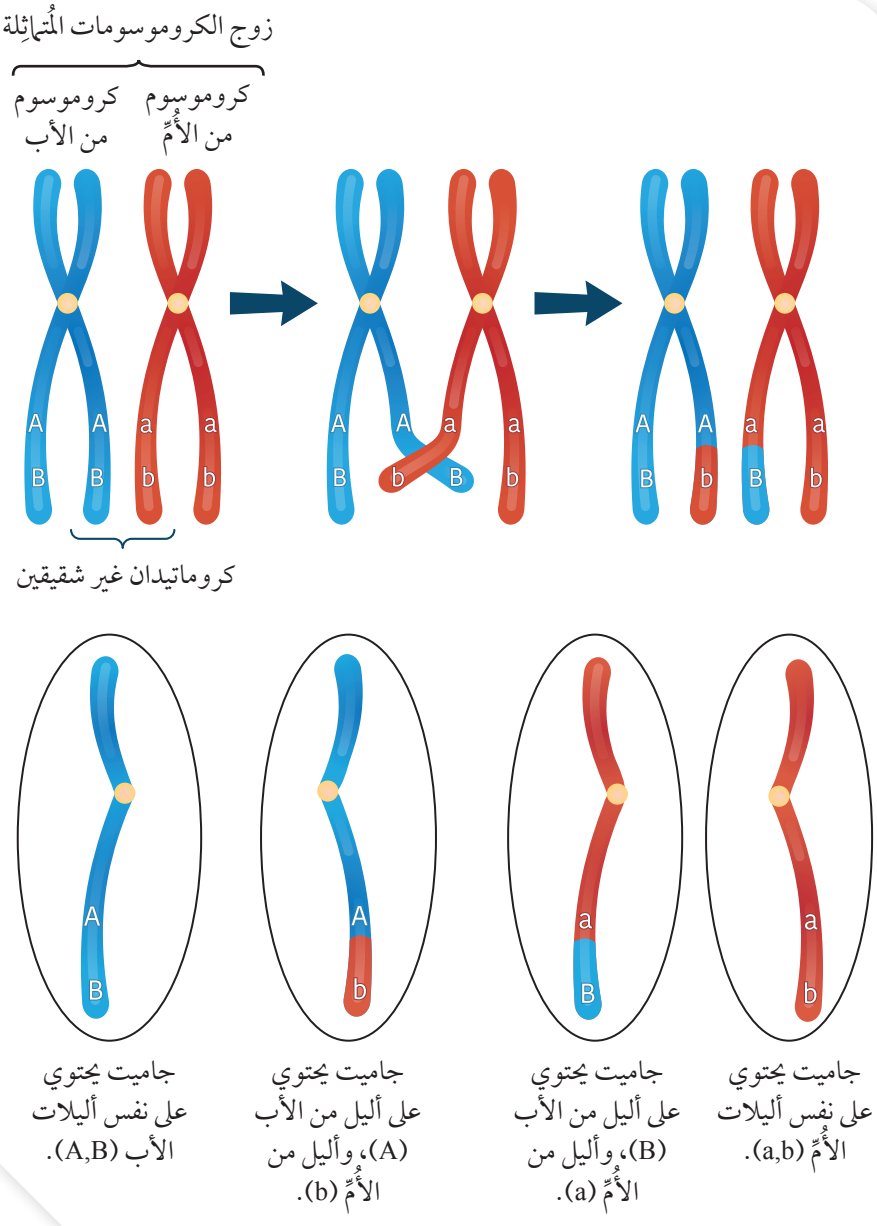


أُلاحِظ أنَّ الكروموسومات – بما تحمله من أليلات– تترتَّب أثناء الانقسام المُنصِّف بطريقتين مُحتمَلتين، هما: الترتيب (أ) الذي يكون فيه الأليلان A وB (هما من أحد الأبوين) في جهتين مختلفتين، والترتيب (ب) الذي يكون فيه الأليلان A وB في الجهة نفسها، فتنتج 4 أنواع من الجاميتات، يحتوي كلٌّ منها على تركيب جيني يختلف عن التركيب الجيني للجاميتات الأُخرى.

أتحقَّق: أُوضِّح المقصود بالعبور.

عملية العبور Crossing Over

يُقصَد بذلك تبادل أجزاء من المادة الوراثية بين كروماتيدين غير شقيقين في كروموسومين مُتماثِلين أثناء الطور التمهيدي الأوَّل من الانقسام المُنصِّف؛ ما يؤدّي إلى إنتاج تراكيب جينية جديدة في الجاميتات الناتجة من هذا الانقسام، أنظر الشكل(3).



الشكل (3): عملية العبور.

أُحدِّد الطرز الجينية للجاميتات الناتجة من حدوث عملية العبور.

الشكل (4): نبات البازيلاء.

وراثة الصفات المندلية Mendelian Traits Inheritance

درس العالِم مندل توارث صفات عديدة في نبات البازيلاء، أنظر الشكل (4)، وتوصَّل في تجاربه إلى نتائج تُعَدُّ أساسًا لدراسة توارث الصفات في الكائنات الحيَّة الأُخرى.

مبدأ السيادة التامة وقانون انعزال الصفات

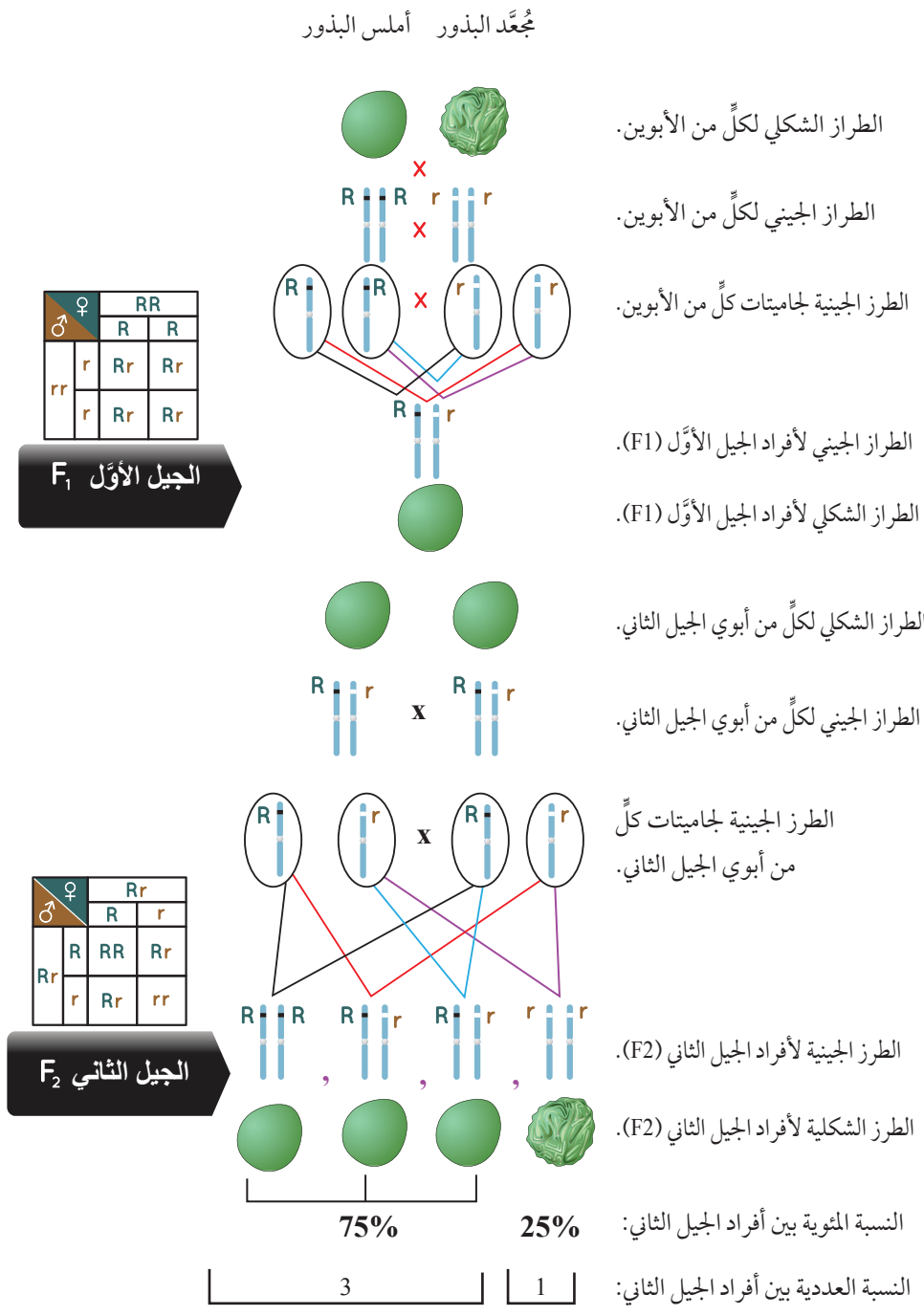
The Principle of Complete Dominance and the Law of Segregation

استقصى مندل وراثة صفات عديدة في نبات البازيلاء، أنظر الشكل (5)، وتتبَّع ظهورها في الجيل الأوَّل والجيل الثاني. ولأنَّ عدد أفراد الجيل الأوَّل الناتج كان كبيرًا؛ فقد تقاربت نسب ظهور الصفات الوراثية الناتجة من عمليات التلقيح مع النسب المُتوقَّعة لظهورها.

الشكل (5): الصفات الوراثية التي درسها مندل في نبات البازيلاء. أُحدِّد الصفة السائدة لكلٍّ من موقع الزهرة، وشكل البذرة.

	شكل البذرة	لون البذرة	شكل القرن	لون القرن	لون الزهرة	موقع الزهرة	طول الساق
الصفة السائدة	أملس	أصفر	مُمتلِئ	أخضر	أرجواني	محوري	طويل
الصفة المُتنحِّية	مُجعَّد	أخضر	مُجعَّد	أصفر	أبيض	طرفي	قصير

عمل مندل في إحدى تجاربه على تلقيح نباتي بازيلاء، أحدهما أملس البذور، والآخر مُجعَّد البذور، ثم زرع البذور الناتجة، فظهر كل فرد من أفراد الجيل الأوَّل (F1) أملس البذور، واختفت صفة البذور المُجعَّدة في الجيل الأوَّل. وبعد التلقيح بين أفراد الجيل الأوَّل ظهرت صفة البذور المُجعَّدة بين أفراد الجيل الثاني (F2) بنسبة 25%، أنظر الشكل (6).



الشكل (6): وراثة صفة شكل البذور في نبات البازيلاء.

أحسُبُ النسبة المئوية لظهور صفة البذور المُجعَّدة بين أفراد كلٍّ من الجيل الأوَّل، والجيل الثاني.

استنتج مندل وجود عوامل تتحكَّم في توارث الصفات، أُطلِق عليها فيما بعد اسم الجينات، ويوجد لكل جين شكلان، يُسمّى كلٌّ منهما أليلًا. فمثلًا، يوجد لجين صفة لون الأزهار في نبات البازيلاء أليلان، أحدهما سائد، ويُرمَز إليه بحرف كبير (R)، ويُمثِّل صفة اللون الأرجواني، والآخر مُتنحٍّ، ويُرمَز إليه بحرف صغير(r)، ويُمثِّل اللون الأبيض. وإذا اجتمع هذان الأليلان (السائد، والمُتنحّي)، فإنَّ تأثير الأليل السائد يظهر، خلافًا لتأثير الأليل المُتنحّي؛ فإنَّه لا يظهر، في ما يُعرَف بمبدأ السيادة التامة Principle of Complete Dominance. قد يكون الطراز الجيني للفرد الذي تظهر عليه الصفة السائدة مُتماثِل الأليلات (RR)، أو غير مُتماثِل الأليلات (Rr). أمّا الطراز الجيني للفرد الذي تظهر عليه الصفة المُتنحِّية فيكون دائمًا مُتماثِل الأليلات (rr)، لكنَّ ذلك لا يعني أنَّ الطراز الجيني لفرد مُتماثِل الأليلات لصفة وراثية مُعيَّنة يُحتِّم أنْ يكون مُتماثِل الأليلات للصفات الوراثية الأُخرى، أنظر الشكل (7). يختلف الأليل السائد والأليل المُتنحّي للصفة الوراثية الواحدة في تسلسل النيوكليوتيدات فيهما، أنظر الشكل (8)؛ ما يُؤثِّر في بناء البروتينات.

استنتج مندل من نتائج تجاربه قانون انعزال الصفات **Law of Segregation** الذي ينصُّ على أنَّ أليلي الصفة الواحدة ينفصلان أثناء تكوين الجاميتات.

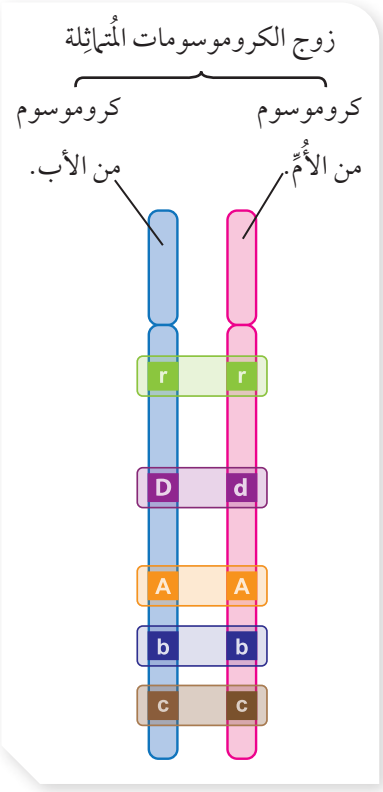
الاحتمالات والوراثة Probabilities and Genetics

تُماثِل نتائج تجارب مندل قواعد الاحتمالات التي تنطبق على إلقاء قطع النقود، وتتمثَّل أهمها في ما يأتي:

لا يتأثَّر احتمال حدوث الحدث باحتمال حدوثه في مَرّات أُخرى. فمثلًا، عند إلقاء قطعة نقد، فإنَّ احتمال ظهور الصورة هو ½، واحتمال ظهور الكتابة هو ½. غير أنَّ ظهور الصورة عند إلقاء قطعة النقد أوَّل مَرَّة لا يعني بالضرورة ظهور الكتابة عند إلقاء قطعة النقد نفسها مَرَّة ثانية؛ فقد يتكرَّر ظهور الصورة؛ ذلك أنَّ إلقاء قطعة النقد في كل مَرَّة مستقل عن إلقائها في مَرّات لاحقة، كما هو الحال عند الولادة؛ فاحتمال أنْ يكون المولود ذكرًا هو ½، واحتمال أنْ يكون أنثى هو ½. وإذا كان المولود الأوَّل ذكرًا فليس بالضرورة أنْ يكون المولود الثاني أنثى؛ إذ إنَّ احتمال أنْ يكون المولود الثاني ذكرًا هو ½، واحتمال أنْ يكون أنثى هو ½.

تتراوح قيمة الاحتمال بين 0 و1. فمثلًا، عند إيجاد جاميتات فرد طرازه الجيني tt، فإنَّ احتمال ظهور الجاميت الذي يحوي الأليل t هو 1، واحتمال ظهور الجاميت الذي يحوي الأليل T هو 0، خلافًا لجاميتات فرد طرازه الجيني Tt؛ إذ إنَّ احتمال ظهور الجاميت الذي يحوي الأليل T هو ½ ، واحتمال ظهور الجاميت الذي يحوي الأليل t هو ½ .

الشكل (7): كروموسومان مُتماثِلان. أُدوِّن الطرز الجينية مُتماثِلة الأليلات، وغير مُتماثِلة الأليلات.



أتحقَّق: أوضِّح المقصود بكلٍّ من السيادة التامَّة، وقانون انعزال الصفات.

الشكل (8): تسلسل النيوكليوتيدات لأليل سائد لصفة مُعيَّنة (أ)، وتسلسلها لأليل مُتنحٍّ للصفة نفسها (ب).

أُقارِن بين تسلسل النيوكليوتيدات في الأليلين الآتيين:

(أ) TAATGCTACGTACGGA

(ب) TAATGCTAGCTACGGA

أفكّر: تزوَّج رجل بفتـاة، وكان كلاهما يحمل صفة القدرة على ثني اللسان غير مُتماثِل الأليلات (Dd). أجـد احتمال إنجاب أنثى لا تحمل صفة القدرة على ثني اللسان لهذه العائلة.

يساعد علم الاحتمالات على التنبُّؤ باحتمال ظهور طراز جيني مُعيَّن لدى الأفراد الناتجين. فعند تلقيح نباتي بازيلاء، كلٌّ منهما طويل الساق، وغير مُتماثِل الأليلات، والطراز الجيني لكليهما هو Tt، فإنَّ احتمال إنتاج جاميت يحوي الأليل T هو ½، واحتمال إنتاج جاميت يحوي الأليل t هو ½ في كلا النباتين.

لإيجاد احتمال إنتاج فرد طرازه الجيني tt، أحسُبُ ناتج احتمال t من النبات الأوَّل × احتمال إنتاج الأليل t في النبات الثاني.

$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$.

عند إيجاد احتمال إنتاج فرد طرازه الجيني Tt، فإنَّني أضع نَصْب عينيَّ أنَّ هذا الفرد قد ينتج من اندماج الجاميت الذي يحوي الأليل T من الأب والجاميت الذي يحوي الأليل t من الأُمِّ، أو العكس، أنظر مربع بانيت المجاور.

♀ / ♂	½ T	½ t
½ T	¼ TT	¼ Tt
½ t	¼ Tt	¼ tt

أتحقَّق: أجـد احتمال إنتاج فرد طـراز الـجيني (TT) لأبوين طرازهما الجيني (Tt).

لتحديد احتمال حـدوث حدثين مستقلين معًا، فإنَّني أحسُبُ ناتـج احتمال حدوث الحدث الأوَّل ضرب احتمال حدوث الحدث الثاني.

مثال (1)

أجرى باحث تجارب عديدة لدراسة توارث صفة لون الريش بين أفراد نوع مُعيَّن من الحَمام، وكان الطراز الشكلي للون ريش أفراد الحَمام غير مُوشَّح أو مُوشَّحًا. وقد خلُص الباحث إلى النتائج المُبيَّنة في الجدول (1) والجدول (2):

- أستنتج الصفة السائدة، والصفة المُتنحِّية.
- أكتب الطرز الجينية لأفراد الجيل الأوَّل، مُستخدِمًا الرمز (a) والرمز (A).

الجدول (1): تزاوجات عديدة لتتبُّع وراثة لون الريش في نوع من الحَمام.

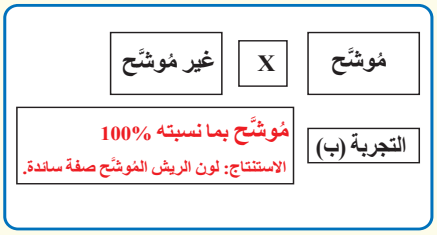
	الآباء	الطرز الشكلية لأفراد الجيل الأوَّل (F_1)	
رمز التجربة		مُوشَّح	غير مُوشَّح
أ	مُوشَّح x مُوشَّح	36	0
ب	مُوشَّح x غير مُوشَّح	38	0
ج	غير مُوشَّح x غير مُوشَّح	0	35

الجدول (2): تزاوجات عديدة لتتبُّع وراثة لون الريش بين أفراد الجيل الثاني في نوع من الحَمام.

رقم التجربة	التزاوج بين أفراد الجيل الأوَّل (F_1) الناتجين من التجارب: أ، ب، ج	الطرز الشكلية لأفراد الجيل الثاني (F_2)	
		مُوشَّح	غير مُوشَّح
1	المُوشَّح أ x غير المُوشَّح ج	34	0
2	المُوشَّح ب x غير المُوشَّح ج	17	14
3	المُوشَّح ب x المُوشَّح ب	28	9
4	المُوشَّح أ x المُوشَّح ب	39	0

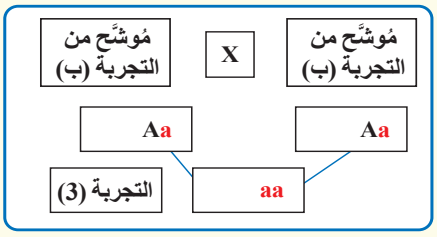
المعطيات: الطرز الشكلية لكلٍّ من الأبوين، صفات أفراد الجيل الأوَّل وأعدادهم، صفات أفراد الجيل الثاني وأعدادهم.

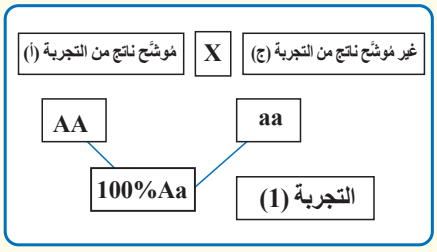
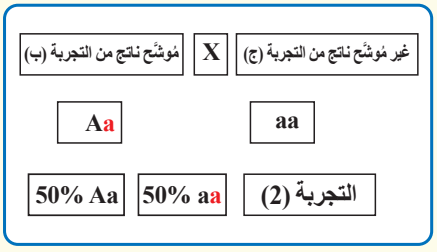
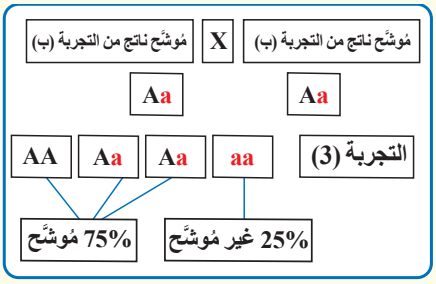
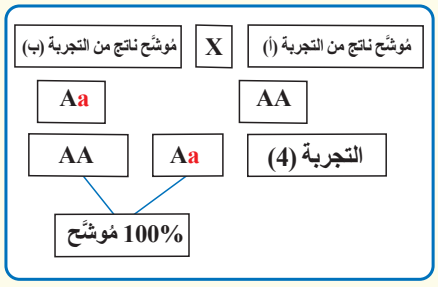
المطلوب: الصفة السائدة، الصفة المُتنحِّية، الطرز الجينية لأفراد الجيل الأوَّل (F1).



الحل:

أُحلِّل البيانات وأُفسِّرها: أستنتج أنَّ لون الريش المُوشَّح صفة سائدة؛ لأنَّ صفة لون الريش في جميع أفراد الجيل الأوَّل الناتجين من التجربة (ب) هي المُوشَّح. وممّا يدعم استنتاجي أنَّ صفة لون الريش غير المُوشَّح ظهرت بنسبة 25% بين أفراد الجيل الثاني في التجربة (3).



الاستنتاج	السبب	مُخطَّط
لون الريش المُوشَّح بين أفراد الجيل الأوَّل في التجربة (أ) مُتماثِل الأليلات (AA).	عند تزاوج الحَمام مُوشَّح الريش الناتج من التجربة (أ) مع حَمام ناتج من التجربة (ج)، ولون ريشه غير مُوشَّح (مُتنحٍّ)، كان جميع أفراد الجيل الناتج مُوشَّحي الريش (سائد). فلو كان أفراد الجيل الناتج من التجربة (أ) غير مُتماثِلي الأليلات (Aa)، لظهر بعض أفراد الجيل الثاني الناتج مُتنحّيين.	
لون الريش المُوشَّح بين أفراد الجيل الأوَّل الناتج من التجربة (ب) غير مُتماثِل الأليلات (Aa).	عند تزاوج أفراد الجيل الأوَّل الناتج من التجربة (ب) مع حَمام ناتج من التجربة (ج)، ولون ريشه غير مُوشَّح (مُتنحٍّ)، كان لون الريش غير مُوشَّح (مُتنحٍّ) لنصف أفراد الجيل الثاني الناتج.	
الطراز الجيني للون الريش المُوشَّح الناتج من التجربة (ب) غير مُتماثِل الأليلات (Aa).	عند تزاوج الحَمام مُوشَّح الريش الناتج من التجربة (ب) مع حَمام ناتج من التجربة (ب)، ومُوشَّح الريش، كانت نسبة أفراد الجيل الثاني الناتج من الحَمام مُوشَّح الريش 75%، و25% من الحَمام غير مُوشَّح الريش (مُتنحٍّ).	
الطراز الجيني للون الريش المُوشَّح الناتج من التجربة (أ) مُتماثِل الأليلات (AA).	عند تزاوج الحَمام مُوشَّح الريش الناتج من التجربة (أ) مع حَمام ناتج من التجربة (ب)، ومُوشَّح الريش، وغير مُتماثِل الأليلات، كان جميع أفراد الجيل الثاني الناتج من الحَمام مُوشَّحي الريش.	

الربط بالزراعة

الوراثة وتحسين الإنتاج الزراعي

وظَّف المزارعون مبادئ الوراثة في تحسين الإنتاج منذ أمد بعيد لزيادة جودة المحاصيل وكمِّياتها، ومقاومة مُسبِّبات الأمراض؛ إذ اختاروا سلالات من النباتات تمتاز بصفات مرغوبة؛ لتكثيرها خضريًّا. وكذلك اختاروا سلالات من الحيوانات تمتاز بصفات مرغوبة، وعملوا على تلقيحها خلطيًّا، ثم تلقيح أفراد النسل الناتج؛ لإنتاج أفراد يمتازون بأكثر من صفة مرغوبة، مثل الأبقار التي تُنتِج كمِّيات وافرة من الحليب واللحوم. ولكنْ، يتعيَّن على المزارعين في هذه الحالة الانتباه إلى الصفات الأُخرى؛ فقد تظهر صفات غير مرغوبة ومُتنحِّية.

قانون التوزيع الحر Law Of Independent Assortment

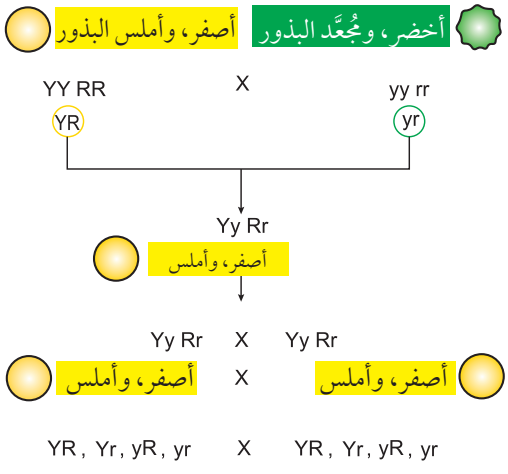
أجرى مندل تجربة درس فيها وراثة صفتين وراثيتين معًا في نبات البازيلاء، هما: لون البذور، وشكلها. في الجزء الأوَّل من التجربة، عمل مندل على تلقيح نباتي بازيلاء، أحدهما أصفر، وأملس البذور، ومُتماثِل الأليلات لهاتين الصفتين، وطرازه الجيني YYRR، والآخر أخضر، ومُجعَّد البذور، وطرازه الجيني yyrr. بعد أنْ زرع مندل البذور الناتجة، لاحظ أنَّ جميع بذور النباتات في الجيل الأوَّل صفراء، وملساء، وطرازها الجيني YyRr.

في الجزء الثاني من التجربة، عمل مندل على تلقيح أفراد الجيل الأوَّل معًا، ثم زرع البذور الناتجة، ثم دَوَّن أعداد النباتات الناتجة وصفات كلٍّ منها، فكانت النسب بين النباتات الناتجة في التجربة مُقارِبة للنسب المُتوقَّعة المُبيَّنة في مربع بانيت، أنظر الشكل (9).

ظهرت صفات أفراد الجيل الثاني في مربع بانيت وَفق النسب العددية الآتية:

9 نباتات صفراء، وملساء البذور: 3 نباتات صفراء، ومُجعَّدة البذور.

3 نباتات خضراء، وملساء البذور: 1 نبات أخضر، ومُجعَّد البذور.



الشكل (9): وراثة صفتي لون البذور وشكلها معًا في نبات البازيلاء، وسيادة أليل لون البذور الصفراء Y على أليل لون البذور الخضراء y، وسيادة أليل البذور الملساء R على أليل البذور المُجعَّدة r.

الطراز الشكلي لكلٍّ من الأبوين.

الطراز الجيني لكلٍّ من الأبوين.

الطرز الجينية لجاميتات كلٍّ من الأبوين.

الطراز الجيني لأفراد الجيل الأوَّل (F1).

الطراز الشكلي لأفراد الجيل الأوَّل (F1).

الطراز الجيني لكلٍّ من أبوي الجيل الثاني.

الطراز الشكلي لكلٍّ من أبوي الجيل الثاني.

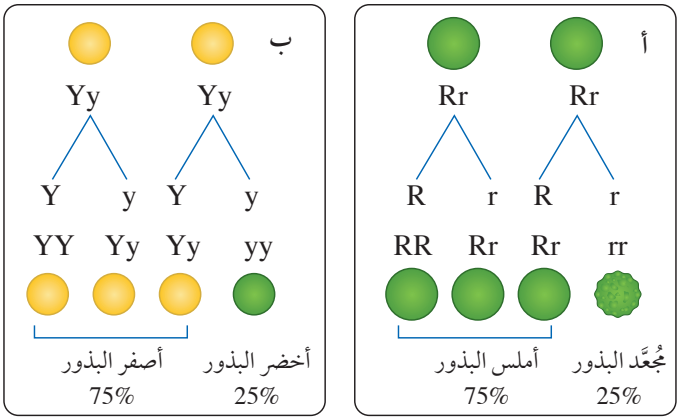
الطرز الجينية لجاميتات كلٍّ من أبوي الجيل الثاني.

تنظيم الطرز الجينية لأفراد الجيل الناتج من عمليات الإخصاب المُحتمَلة في مربع بانيت:

♀ \ ♂	1/4 YR	1/4 Yr	1/4 yR	1/4 yr
1/4 YR	YY RR	YY Rr	Yy RR	Yy Rr
1/4 Yr	YY Rr	YY rr	Yy Rr	Yy rr
1/4 yR	Yy RR	Yy Rr	yy RR	yy Rr
1/4 yr	Yy Rr	Yy rr	yy Rr	yy rr

احتمالات ظهور الصفات:

- 9/16: أصفر، وأملس.
- 3/16: أصفر، ومُجعَّد.
- 3/16: أخضر، وأملس.
- 1/16: أخضر، ومُجعَّد.



الشكل (10): النسب المُتوقَّعة عند دراسة كل صفة من الصفتين بصورة مستقلة عن الأُخرى:
(أ): شكل البذور.
(ب): لون البذور.

عند دراسة كل صفة على حِدَة من مربع بانيت في الشكل (9)، يتبيَّن أنَّ النسبة العددية بين البذور الصفراء والبذور الخضراء هي: 3 أصفر البذور: 1 أخضر البذور. وبذلك يكون احتمال ظهور لون البذرة الصفراء هو ¾، واحتمال ظهور لون البذرة الخضراء هو ¼، وعدد البذور الملساء بين أفراد الجيل الثاني هو 12 بذرة، وعدد البذور المُجعَّدة هو 4 بذور، وأنَّ النسبة العددية بين البذور الملساء والبذور المُجعَّدة هي: 3 ملساء البذور: 1 مُجعَّدة البذور. ومن ثَمَّ، فإنَّ احتمال ظهور البذور الملساء هو ¾، واحتمال ظهور البذور المُجعَّدة هو ¼؛ ما يعني أنَّ النسب المُتوقَّعة للصفة الواحدة لم تتأثَّر عند دراستها مع صفة أُخرى، أنظر الشكل (10).

توصَّل مندل من تجاربه إلى **قانون التوزيع الحر** **Law of Independent Assortment** الذي ينصُّ على انفصال أليلي الصفة الواحدة أحدهما عن الآخر بصورة مستقلة عن انفصال أليلات الصفات الأُخرى أثناء تكوين الجاميتات.

✓ **أتحقَّق:** أُدوِّن نصَّ قانون التوزيع الحر.

أُفكِّر: عمل باحث على تلقيح نباتي بازيلاء لتتبُّع وراثة صفتي طول الساق، ولون القرون. كان أليل طول الساق هو T، وأليل قصر الساق هو t، وأليل القرون الخضراء هو G، وأليل القرون الصفراء هو g. وقد استخدم الباحث مربع بانيت الآتي لتمثيل النتائج:

♀/♂	TG		tG	
tG			1	
		Ttgg		ttgg

أ. **أستنتج** الطرز الجينية لكلٍّ من الأبوين.
ب. **أجد** احتمال ظهور أفراد لهم نفس الطراز الشكلي للفرد (1).

مثال (2)

عمل باحث على تلقيح نباتي بازيلاء، وكان الطراز الجيني لأحد هذين النباتين هو RrTt، والطراز الجيني للآخر هو RrTT. أجد احتمال إنتاج فرد طرازه الجيني هو RrTt.

المعطيات: الطرز الجينية لكلٍّ من الأبوين.

المطلوب: إيجاد احتمال إنتاج فرد طرازه الجيني هو RrTt.

الحل:

أجد الجاميتات واحتمالاتها لكلٍّ من النباتين:

النبات الأوَّل: ¼ RT ، ¼ Rt ، ¼ rT ، ¼ rt.

النبات الثاني: ½ RT، ½ rT.

أستنتج أنَّ الطراز الجيني RrTt سينتج كما يأتي:

Rt من النبات الأوَّل × rT من النبات الثاني + rt من النبات الأوَّل × RT من النبات الثاني.

أجد ناتج الضرب والإضافة على النحو الآتي:

$(½ \times ¼) + (½ \times ¼)$

$¼ = 2/8 = 1/8 + 1/8$

للتحقُّق من صحَّة النتائج، فإنَّني أجدها باستخدام مربع بانيت:

	¼ RT	¼ Rt	¼ rT	¼ rt
½ RT	1 /8 RRTT	1 /8 RRTt	1 /8 RrTT	1 /8 RrTt
½ rT	1 /8 RrTT	1 /8 RrTt	1 /8 rrTT	1 /8 rrTt

أُنظِّم المعلومات التي تعرَّفْتُها عن قانون انعزال الصفات، وقانون التوزيع الحر، ثم أُعِدُّ عرضًا تقديميًّا عنهما، مُدعَّمًا بالصور من شبكة الإنترنت، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

مثال (3)

في تجربة لباحث شملت دراسة توارث صفتين في نبات البازيلاء، أجرى الباحث تلقيحًا لنبات بازيلاء محوري الأزهار، وأصفر البذور، مع نبات آخر مجهول الطراز الشكلي، فكانت الطرز الشكلية واحتمالاتها للأفراد الناتجين كما يأتي:

¼ : نباتات محورية الأزهار، وصفراء البذور.

¼ : نباتات محورية الأزهار، وخضراء البذور.

¼ : نباتات طرفية الأزهار، وصفراء البذور.

¼ : نباتات طرفية الأزهار، وخضراء البذور.

- ما الطرز الجينية لكلٍّ من الأبوين للصفتين معًا؟
- ما الطرز الجينية لجاميتات كلٍّ من الأبوين؟

الأليل	الصفة
Y	لون البذور الصفراء
y	لون البذور الخضراء
A	موقع الأزهار المحورية
a	موقع الأزهار الطرفية

المعطيات: الطرز الشكلية لأحد الأبوين، الطرز الشكلية واحتمالاتها في الجيل الناتج من التجربة.

المطلوب: الطرز الجينية لكلٍّ من الأبوين، الطرز الجينية لجاميتات كلٍّ من الأبوين.

الحل:

أجد احتمالات ظهور كل صفة على حِدَة. بعد ذلك أستنتج الطرز الجينية لكلٍّ من الأبوين للصفتين معًا، ثم أُطبِّق قانون التوزيع الحر لاستنتاج الطرز الجينية لجاميتات كلٍّ من الأبوين.

محوري الأزهار: طرفي الأزهار أصفر البذور: أخضر البذور

¼ + ¼ : ¼ + ¼ ¼ + ¼ : ¼ + ¼

1 : 1 1 : 1

الطرز الجينية للأبوين لكل صفة على حِدَة:

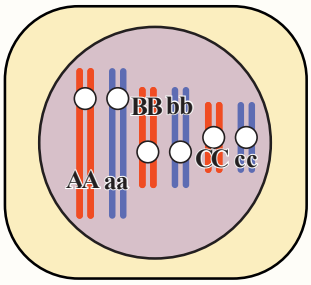
$Yy \times yy$ $Aa \times aa$

	أحد النباتين	النبات المجهول
الطرز الشكلية لكلٍّ من الأبوين للصفتين معًا:	محوري الأزهار، وأصفر البذور	طرفي الأزهار، وأخضر البذور
الطرز الجينية لكلٍّ من الأبوين للصفتين معًا:	AaYy	aayy
الطرز الجينية لجاميتات كلٍّ من الأبوين:	AY ، Ay ، aY ، ay	ay

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أُوضِّح المقصود بكلٍّ من قانون انعزال الصفات، وقانون التوزيع الحر.

2. **أستنتج** عدد أنواع الجاميتات التي تحوي تراكيب جينية، يختلف بعضها عن بعض، وتنتج من انقسام مُنصِّف للخلية التي يُمثِّلها الشكل المجاور.



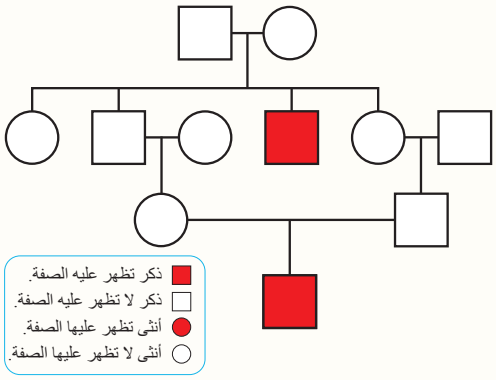
3. يسود أليل لون العينين الأسود B على أليل لون العينين الأحمر b في نوع من الفئران. ما الطرز الجينية والشكلية للأفراد الناتجين من تزاوج فأر أسود العينين وغير مُتماثِل الأليلات مع فأرة حمراء العينين؟

4. في نوع من النباتات، قد يكون لكل بتلة بقعة سوداء عند قاعدتها، أو قد تخلو البتلات من البقع السوداء. أُجرِيت ثلاث تجارب مُنفصِلة، حدث في أولاها تلقيح بين نباتين، كلاهما ذو بقعة سوداء عند قاعدة البتلات، وكانت بتلات جميع النباتات الناتجة ذات بقعة سوداء. أمّا في التجربة الثانية فحدث تلقيح بين نباتين، أحدهما بتلاته ذات بقعة سوداء، والآخر بتلاته عديمة البقعة، وكانت بتلات جميع النباتات الناتجة ذات بقعة سوداء. وأمّا في التجربة الثالثة فحدث تلقيح بين نباتين، أحدهما بتلاته ذات بقعة سوداء، والآخر بتلاته عديمة البقعة، فكانت بتلات نصف النباتات الناتجة ذات بقعة سوداء، وبتلات نصفها الآخر عديمة البقعة. **أُفسِّر** هذه النتائج باستخدام الرمز (a) والرمز (A).

5. **أستنتج** الطرز الجينية والطرز الشكلية للأفراد الناتجين من تلقيح نبات بازيلاء طرفي الأزهار، وأخضر القرون، وغير مُتماثِل الأليلات لصفة لون القرون، مع نبات بازيلاء محوري الأزهار، وأخضر القرون، ومُتماثِل الأليلات للصفتين، مُفترِضًا أنَّ أليل الموقع المحوري للزهرة هو (A)، وأليل الموقع الطرفي هو (a)، وأليل القرون الخضراء هو (G)، وأليل القرون الصفراء هو (g).

6. يسود في أحد أنواع الحيوانات أليل لون الفراء الرمادي على أليل لون الفراء الأبيض، ويسود أليل الذيل الطويل فيه على أليل الذيل القصير. إذا تزاوج ذكر سائد، ومُتماثِل الأليلات للصفتين، وأنثى مُتنحِّية للصفتين، **فأتوقَّع** الطرز الجينية والطرز الشكلية الناتجة من تزاوج ذكر من أفراد الجيل الأوَّل مع أنثى مُتنحِّية الأليلات للصفتين باستخدام الرمزين (G،g) لصفة لون الفراء، والرمزين (T،t) لصفة طول الذيل.

7. يُعَدُّ سجل النسب أداة مفيدة لتتبُّع الصفات الوراثية المختلفة على مَرِّ الأجيال. يُمثِّل الشكل المجاور سجل النسب لتتبُّع صفة وراثية في الإنسان. هل الصفة المُظلَّلة سائدة أم مُتنحِّية؟ أُبرِّر إجابتي.



الوراثة بعد مندل
Inheritance after Mendel

الدرس 2

الفكرة الرئيسة:

تُتوارَث بعض الصفات الوراثية بأنماط تختلف عن تلك التي في الوراثة المندلية.

نتاجات التعلُّم:

- أُوضِّح بعض أنماط التوارث لصفات غير مندلية.
- أحُلُّ مسائل تطبيقية على بعض أنماط توارث الصفات غير المندلية.
- أُقارِن بين نتائج توارث صفات، جيناتها مُرتبِطة بأُخرى غير مُرتبِطة.
- أتوصَّل إلى طريقة رسم الخريطة الجينية.
- أُبيِّن أثر البيئة في ظهور الصفات الوراثية.

المفاهيم والمصطلحات:

الأليلات المُتعدِّدة Multiple Alleles
الوراثة مُتعدِّدة الجينات Polygenic Inheritance
الصفات المُرتبِطة بالجنس Sex Linked Traits
الجينات المُرتبِطة Linked Genes
خريطة الجينات Genes Map
درجة الحرارة المحورية Pivotal Temperature (T_p)
الوراثة فوق الجينية Epigenetics

وراثة الصفات غير المندلية
Non-Mendelian Traits Inheritance

تختلف نسب الصفات الوراثية الناتجة من بعض عمليات التزاوج عن تلك التي توصَّل إليها مندل، ومن أسباب ذلك: عدد الجينات المسؤولة عن الصفة، وتأثير الأليلات بعضها في بعض، ونوع الكروموسومات التي تحمل جينات صفة مُعيَّنة.

السيادة المُشتَرَكة Codominance

نمط من الوراثة يُعبَّر فيه عن الأليلين معًا في حال كان الطراز الجيني غير مُتماثِل الأليلات؛ إذ يظهر تأثير كلٍّ منهما في الطراز الشكلي على نحوٍ مستقل عن الآخر.

من الأمثلة على هذا النمط: وراثة لون الأزهار في نبات الكاميليا؛ إذ يظهر تأثير أليل لون الأزهار الأبيض (C^W) وأليل لون الأزهار الأحمر (C^R) عند اجتماعهما معًا، فتكون الزهرة الواحدة بيضاء، ومُوشَّحة باللون الأحمر. وعند تلقيح نباتي كاميليا، كلاهما أزهاره بيضاء، ومُوشَّحة باللون الأحمر، فإنَّ الصفات والنسب لأفراد الجيل الناتج تكون على النحو الآتي:

1 نباتات حمراء الأزهار: 2 نباتات الزهرة فيها بيضاء، ومُوشَّحة بالأحمر: 1 نباتات بيضاء الأزهار، أنظر مربع بانيت الآتي:

	C^R	C^W
C^R	$C^R C^R$	$C^R C^W$
C^W	$C^R C^W$	$C^W C^W$

من الأمثلة أيضًا على هذا النمط: وراثة فصيلة الدم تبعًا لنظام MN. يتحكَّم في هذه الصفة أليلان يُحمَلان على الزوج الكروموسومي رقم 4، وهما: الأليل (L^M)، والأليل (L^N)، ويكون الأليل (L^M) مسؤولًا عن إنتاج بروتين سُكَّري يُسمّى مُولِّد الضد M، في حين يكون الأليل (L^N) مسؤولًا عن إنتاج بروتين سُكَّري يُسمّى مُولِّد الضد N. تُحدَّد فصيلة الدم وَفق هذا النظام اعتمادًا على نوع مُولِّد الضد الموجود على سطح خلايا الدم الحمراء؛ فإذا كان مُولِّد الضد هو M فقط، فإنَّ فصيلة الدم هي M، وإذا كان مُولِّد الضد هو N فقط، فإنَّ فصيلة الدم هي N، وإذا وُجِد الاثنان معًا، فإنَّ فصيلة الدم هي MN.

لتتبُّع توارث صفة فصيلة الدم في عائلةٍ، فصيلة الدم لكلا الزوجين فيها هي MN وَفقًا لنظام MN، أنظر مربع بانيت المجاور. سأدرس لاحقًا مثالًا آخرَ على وراثة السيادة المُشترَكة، هو فصيلة الدم AB .

♀ / ♂	L^M	L^N
L^M	L^ML^M ¼ فصيلة الدم M	L^ML^N ¼ فصيلة الدم MN
L^N	L^ML^N ¼ فصيلة الدم MN	L^NL^N ¼ فصيلة الدم N

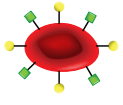
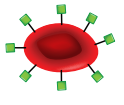
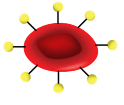
الأليلات المُتعدِّدة Multiple Alleles

درسْتُ سابقًا أنَّ فصائل الدم تتحدَّد وَفق أكثر أنظمة تحديد فصائل الدم استخدامًا في المجال الطبي، وهو نظام ABO، بناءً على وجود أحد مُولِّدي الضد A أو B، أو وجود كليهما، أو عدم وجودهما.

وَفقًا لنظام ABO، تُعَدُّ وراثة فصائل الدم مثالًا على نمط وراثة **الأليلات المُتعدِّدة Multiple Alleles**. والأليلات المُتعدِّدة هي وجود أكثر من أليلين للجين الواحد.

يُرمَز إلى الأليلات المسؤولة عن وراثة فصائل الدم وَفق هذا النظام كما يأتي: I^A، I^B، i. ويكون الأليل I^A مسؤولًا عن إنتاج مُولِّد الضد A، ويكون الأليل I^B مسؤولًا عن إنتاج مُولِّد الضد B. أمّا الأليل i فغير مسؤول عن إنتاج أيٍّ منهما. تحتوي خلية الفرد الجسمية على أليلين فقط من هذه الأليلات، أحدهما من الأُمِّ، والآخر من الأب.

لتعرُّف الطرز الجينية والطرز الشكلية لفصائل الدم وَفق نظام ABO، أنظر الشكل (11).

فصيلة الدم (الطراز الشكلي)	AB	B	A	O
خلايا الدم الحمراء				
الطراز الجيني	I^AI^B	I^BI^B أو I^Bi	I^AI^A أو I^Ai	ii

الشكل (11): الطرز الجينية لفصائل الدم بحسب نظام ABO.

أُدوِّن فصيلة الدم التي يكون طرازها الجيني مُتماثِل الأليلات دائمًا.

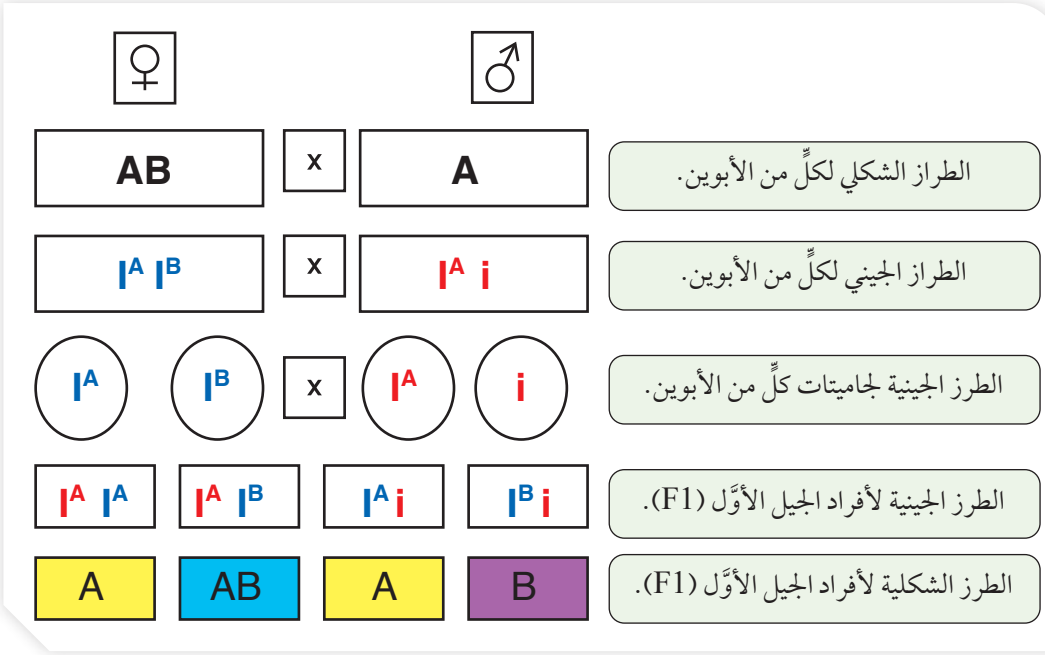
الربط بعلم الدم

Hematology

توجد أنظمة عِدَّة لتحديد فصائل الدم، مثل: نظام لويس، ونظام MN . والنظامان الشائعان من هذه الأنظمة هما: نظام ABO، والعامل الريزيسي Rh. وكلا النظامين مُهِمٌّ في عمليات نقل الدم. في بعض الأنظمة، ومنها نظام ABO، توجد مُولِّدات الضد التي تُحدِّد فصيلة الدم على سطوح خلايا الدم الحمراء.

أتحقَّق: أُوضِّح المقصود بالجين مُتعدِّد الأليلات.

لتتبُّع وراثة صفة فصائل الدم لإحدى العائلات، أنظر الشكل (12).



الشكل (12): وراثة صفة فصائل الدم لإحدى العائلات بحسب نظام ABO.

أُلاحِظ أنَّ عدد الأليلات لصفة فصيلة الدم في كل جاميت هو أليل واحد، وأنَّ الأليل I يسود على الأليل i سيادة تامة، في حين أنَّ السيادة بين الأليل I^A والأليل I^B هي سيادة مُشترَكة.

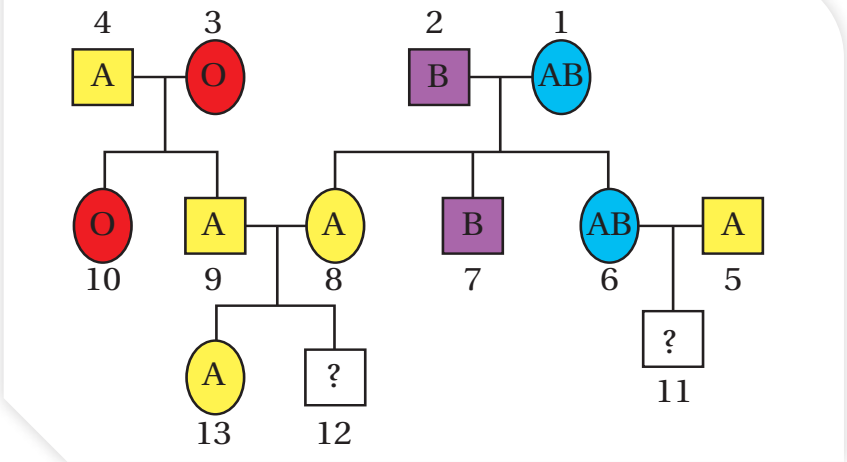
أُلاحِظ من الشكل أعلاه أنَّ نسب فصائل الدم لأفراد الجيل الأوَّل هي:

A: 50%

B: 25%

AB: 25%

يُمكِن أيضًا التعبير عن وراثة فصائل الدم وَفق نظام ABO باستخدام سجل النسب، أنظر الشكل (13).



الشكل (13): سجل النسب لتوارث صفة فصائل الدم.

أستنتج الطراز الجيني للفرد الذي يحمل الرقم (2)، والطراز الجيني للفرد الذي يحمل الرقم (4).

أُفسِّر سبب ظهور فصيلة الدم O لدى الفرد الذي يحمل الرقم (10).

أتوقَّع الطرز الشكلية المُحتمَلة للفرد الذي يحمل الرقم (11)، والطرز الشكلية المُحتمَلة للفرد الذي يحمل الرقم (12).

مثال (4)

تزوَّج شاب فصيلة دمه A بفتاة فصيلة دمها B، فأنجبا طفلين، فصيلة دم أحدهما B، وفصيلة دم الآخر A. أستنتج الطرز الجينية للشاب والفتاة.

المعطيات: فصيلة دم الشاب A، فصيلة دم الفتاة B، فصيلة دم أحد الطفلين A، فصيلة دم الطفل الآخر B.

المطلوب: استنتاج الطرز الجينية للشاب والفتاة.

الحل:

- فصيلة دم الشاب هي A، والطراز الجيني لفصيلة الدم A هو I^AI^A، أو I^Ai. ولأنَّ فصيلة دم أحد طفليه هي B؛ فأستنتج أنَّ الطراز الجيني للشاب هو غير مُتماثِل الأليلات (I^Ai).

- فصيلة دم الفتاة هي B، والطراز الجيني لفصيلة الدم B هو I^BI^B، أو I^Bi. ولأنَّ فصيلة دم أحد طفليها هي A؛ فأستنتج أنَّ الطراز الجيني للفتاة هو غير مُتماثِل الأليلات (I^Bi).

الوراثة مُتعدِّدة الجينات Polygenic Inheritance

الوراثة مُتعدِّدة الجينات Polygenic Inheritance نمط من الوراثة غير المندلية، وفيه يتحكَّم أكثر من جينين في الصفة الوراثية، وتكون الطرز الشكلية لهذه الصفة مُتدرِّجة بين الأفراد بسبب تراكم تأثير الجينات التي تتحكَّم فيها، ومن أمثلة هذا النمط وراثة لون الجلد في الإنسان، أنظر الشكل (14).

الشكل (14): تدرُّج لون الجلد في جسم الإنسان.

الربط بالدين

الإسلام والجينات المُتعدِّدة

يتعيَّن على الإنسان التفكُّر في الآيات الدالَّة على قدرة الله تعالى، مثل اختلاف الأفراد بعضهم عن بعض في لون الجلد، وهي صفة وراثية مُتعدِّدة الجينات.

قال تعالى: ﴿وَمِنْ ءَايَٰتِهِۦ خَلْقُ ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلْأَرْضِ وَٱخْتِلَٰفُ أَلْسِنَتِكُمْ وَأَلْوَٰنِكُمْ ۚ إِنَّ فِى ذَٰلِكَ لَءَايَٰتٍ لِّلْعَٰلِمِينَ﴾ (سورة الروم، الآية 22).

أتحقَّق:

- أكتب طرازًا جينيًّا تأثيره نفس تأثير الطراز الجيني AaBBCc.
- ما الطراز الجيني لأغمق لون للبشرة قد يظهر على جلد أبناء عائلةٍ، يكون فيها للأب والأُمِّ الطراز الجيني AAbbCc نفسه؟

لتوضيح توارث صفة لون الجلد، أفترض أنَّ ثلاثة جينات هي التي تتحكَّم في هذه الصفة، بالرغم من أنَّ عدد الجينات لهذه الصفة هو أكثر من ذلك، وأنَّ الرموز: A,B,C تُمثِّل أليلات اللون الغامق، وأنَّ الرموز: a,b,c تُمثِّل أليلات اللون الفاتح. وبحسب هذا الافتراض، فإنَّ الطراز الجيني للون الجلد الغامق جدًّا هو AABBCC، والطراز الجيني للون الجلد الفاتح جدًّا هو aabbcc. أمّا اللون المُتوسِّط للجلد فطرازه الجيني هو AaBbCc، و AABbcc، والطرز الجينية الأُخرى التي تساويها في عدد الأليلات السائدة؛ لأنَّ تأثير الأليلات السائدة متساوٍ، وبصورة مُتراكِمة؛ إذ ينتج الطراز الشكلي للون الجلد من تراكم تأثير الأليلات السائدة؛ فكلَّما كان عدد الأليلات السائدة أكثر كانت درجة اللون أغمق.

لتتبُّع وراثة صفة لون الجلد، وتعرُّف الطرز الجينية المُتوقَّعة، وتدرُّج الطرز الشكلية الناتجة من تزاوج فردين، كلاهما مُتوسِّط لون البشرة (AaBbCc)، أنظر الشكل (15) الذي تُمثِّل فيه الدائرة البيضاء أليلًا مُتنحِّيًا، وتُمثِّل فيه الدائرة السوداء أليلًا سائدًا، مُلاحِظًا التدرُّجات السبعة للون البشرة في الأفراد الناتجين.

♀ \ ♂	AaBbCc							
	ABC	aBC	AbC	ABc	abC	Abc	aBc	abc
AaBbCc	AABBCC	AaBBCC	AABbCC	AABBCc	AaBbCC	AABbCc	AaBBCc	AaBbCc
	AaBBCC	aaBBCC	AaBbCC	AaBBCc	aaBbCC	AaBbCc	aaBBCc	aaBbCc
	AABbCC	AaBbCC	AAbbCC	AABbCc	AabbCC	AAbbCc	AaBbCc	AabbCc
	AABBCc	AaBBCc	AABbCc	AABBcc	AaBbCC	AABbcc	AaBBcc	AaBbcc
	AaBbCC	aaBbCC	AabbCC	AaBbCc	aabbCC	AabbCc	aaBbCc	aabbCc
	AABbCc	AaBbCc	AAbbCc	AABbcc	AabbCc	AAbbcc	AaBbcc	Aabbcc
	AaBBCc	aaBBCc	AaBbCc	AaBBcc	aaBbCc	AaBbcc	aaBBcc	aaBbcc
	AaBbCc	aaBbCc	AabbCc	AaBbcc	aabbCc	Aabbcc	aaBbcc	aabbcc

الطراز الشكلي واحتماله.	1/64	6/64	15/64	20/64	15/64	6/64	1/64
عدد الأليلات السائدة.	0	1	2	3	4	5	6

الشكل (15): توارث صفة لون الجلد إذا كان كلا الأبوين غير مُتماثِل الأليلات للجينات الثلاثة المسؤولة عنها في جسم الإنسان.

أستنتج احتمال إنجاب فرد طرازه الجيني AABBCC.

الوراثة والجنس Inheritance and Sex

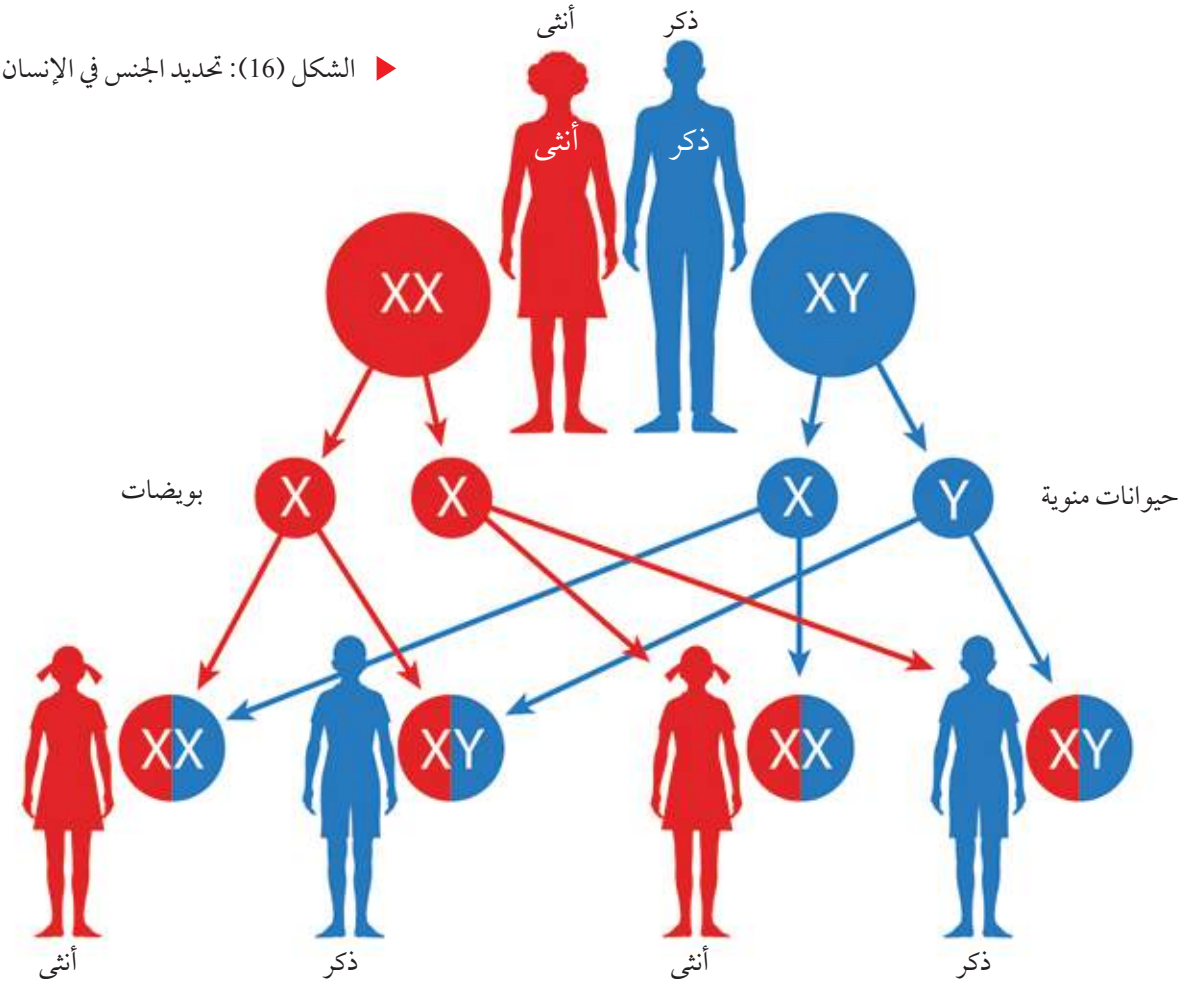
تحديد الجنس Sex Determination

يتحـــدَّد الجـنس في الإنســان وَفق نظام X,Y؛ نظرًا إلى وجـــود نوعـــين مـن الكروموسومات الجنسية في الإنســـان: الكروموسوم X، والكروموسـوم Y. فإذا وَرِثَ الفرد الكروموسومين الجنسيين X وX، كان جنس المولود أنثى، طرازها الكروموسومي الجنسي هو XX، وإذا وَرِثَ الفرد الكروموسوم الجنسي X من أُمِّه، والكروموسوم الجنسي Y من أبيه، كان جنس المولود ذكرًا، طرازه الكروموسومي الجنسي هو XY، أنظر الشكل (16)، وهـذا يختلف عـن تحديـد الجنس في كائنـات حيَّة أُخرى غير الإنسان. ففي الطيور مثلًا، يكون الطراز الكروموسومي الجنسي مُتماثِلًا عند الذكر، وغير مُتماثِل عند الأنثى.

لبعـــض الجينـــات دور في تحـــديد جـــنس الجنين في الإنسان، مثل جين Sex Determining Region Y Gene (SRY) الذي يُحمَل على الكروموسوم الجنسي Y ؛ إذ إنَّه يُؤثِّر في تمايز الخصية أثناء تطوُّر الجنين.

✓ **أتحقَّـــق:** أُدوِّن الطـــراز الكروموسـومي الجنـسي لذكر الإنسان.

◀ الشكل (16): تحديد الجنس في الإنسان .



الصفات المُرتبِطة بالجنس Sex Linked Traits

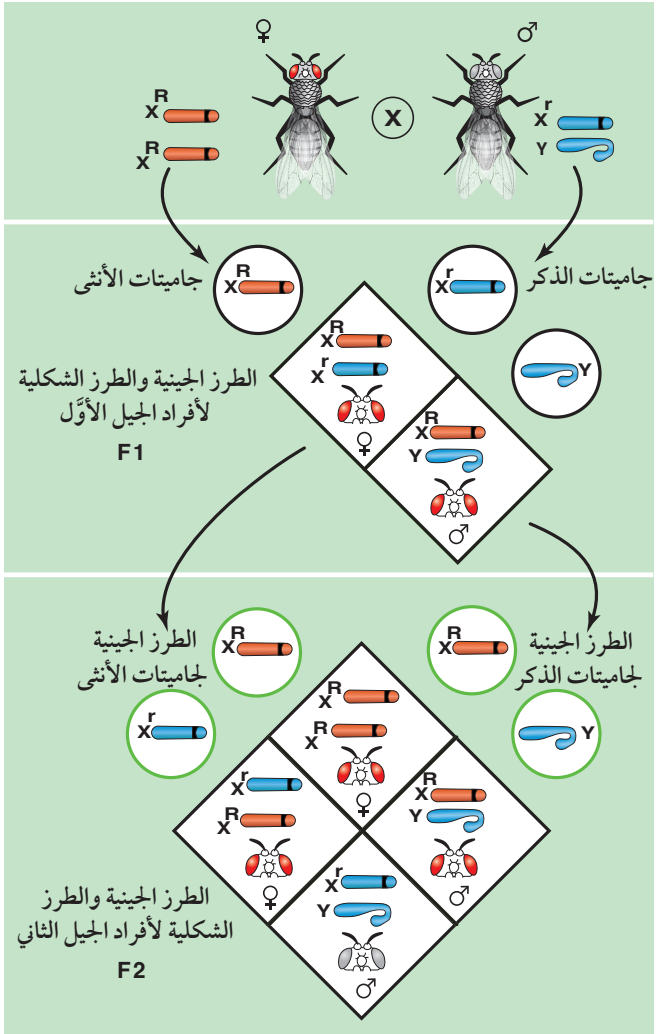
الصفات المُرتبِطة بالجنس Sex Linked Traits صفات تُحمَل جيناتها على الكروموسومات الجنسية. فمثلًا، الجينات المحمولة على الكروموسوم الجنسي X هي جينات مُرتبِطة بالكروموسوم الجنسي X-linked genes (X)، والجينات المحمولة على الكروموسوم الجنسي Y هي جينات مُرتبِطة بالكروموسوم الجنسي Y-linked genes (Y).

يُذكَر أنَّ عدد الجينات المحمولة على الكروموسوم الجنسي X يزيد على عدد الجينات المحمولة على الكروموسوم الجنسي Y في الإنسان.

درس العالِم توماس مورغان توارث صفة لون العينين في حشرة ذبابة الفاكهة ***Drosophila melanogaster***، أنظر الشكل (17). وقد زاوج مورغان بين ذكر ذبابة فاكهة أبيض العينين وأنثى حمراء العينين، فكان كل فرد ناتج أحمر العينين. استنتج مورغان من ذلك أنَّ صفة اللون الأبيض للعينين مُتنحِّية، ثم عمل على تلقيح ذكر وأنثى من أفراد الجيل الأوَّل، فظهرت صفة اللون الأبيض للعينين بنسبة 25%، وصفة اللون الأحمر للعينين بنسبة 75%، لكنَّه لاحظ أنَّ أعين جميع الإناث حمراء، وأنَّ أعين نصف الذكور بيضاء، وأنَّ أعين نصفهم الآخر حمراء، فاستنتج أنَّ صفة لون العينين في ذبابة الفاكهة مُرتبِطة بالجنس، وأنَّها تُحمَل على الكروموسوم الجنسي X، وأنَّه لا يوجد أليل لهذه الصفة على الكروموسوم Y، أنظر الشكل (18).

أفكِّر: أتوقَّع: أيُّ الجنسين في الطيور تحتوي خلاياه الجسمية على عدد أكثر من الجينات؟ أُبرِّر إجابتي.

الشكل (17): العيون الحمراء والعيون البيضاء في ذبابة الفاكهة.



الشكل (18): توارث صفة لون العينين في حشرة ذبابة الفاكهة.

من الأمثلة على الصفات المُتنحِّية المُرتبِطة بالكروموسوم الجنسي X عند الإنسان: الإصابة بمرض الضمور الشديد للعضلات (دوشين) Duchenne Muscular Dystrophy الناتج من غياب بروتين يُسمّى ديستروفين Dystrophin، والإصابة بمرض نزف الدم Haemophilia الذي يستمر فيه نزيف الجروح لدى الشخص المصاب مدَّة أطول من المُعدَّل الطبيعي؛ نتيجةً لحدوث خللٍ في عملية تخثُّر الدم، والإصابة بمرض عمى الألوان Color Blindness (عدم التمييز بين اللون الأحمر واللون الأخضر).

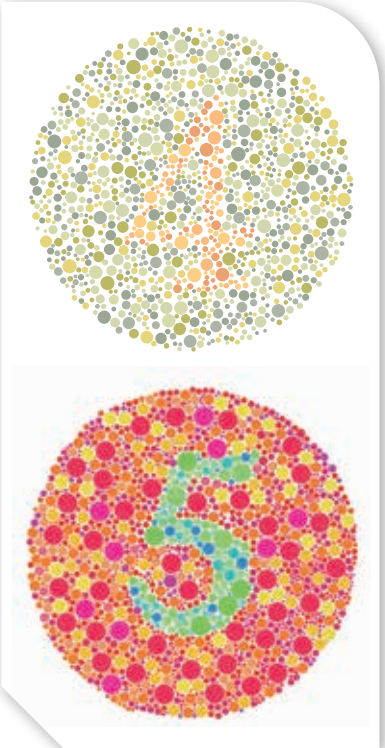
يوجد فحص خاص للكشف عن الإصابة بمرض عمى الألوان، أنظر الشكل (19) الذي يُمثِّل بعض الشرائح المُستخدَمة في اختبار الكشف عن مرض عمى الألوان.

يُورِّث الأب الجينات المُرتبِطة بالجنس والمحمولة على الكروموسوم الجنسي X بناته من دون أبنائه؛ إذ يُورِّث أبناءه الذكور الكروموسوم الجنسي Y، في حين تُورِّث الأُمُّ الجينات المُرتبِطة بالجنس الإناث والذكور من أبنائها؛ لأنَّها تُورِّثهم جميعًا الكروموسوم الجنسي X. وفي حال كانت الصفة المُرتبِطة بالكروموسوم الجنسي X مُتنحِّية، فإنَّ أليلًا واحدًا لدى الذكر يكفي لظهور الصفة، في حين يَلزم توافر أليلين مُتنحِّيين عند الأنثى لظهورها، وهذا يُفسِّر سبب ظهور الإصابة في الذكور أكثر منها في الإناث.

من الأمثلة الأُخرى على الأمراض التي تُحمَل أليلاتها على الكروموسومات الجنسية، مرض نزف الدم؛ إذ يسود أليل عدم الإصابة بمرض نزف الدم H على أليل الإصابة h. ولتعرُّف الطرز الجينية والطرز الشكلية لهذه الصفة، أنظر الجدول (3).

الجدول (3): الطرز الجينية والطرز الشكلية لصفة الإصابة بنزف الدم (مرض مُتنحٍّ مرتبطٌ بالجنس).

الطراز الجيني	X^hX^h	X^HX^h	X^HX^H	X^hY	X^HY
الطراز الشكلي	أنثى مصابة.	أنثى غير مصابة، لكنَّها تحمل أليل المرض (لا تظهر عليها الأعراض).	أنثى غير مصابة، وهي مُتماثِلة الأليلات.	ذكر مصاب.	ذكر غير مصاب.



الشكل (19): شريحتان تستخدمان في اختبار الكشف عن مرض عمى الألوان، علمًا بأنَّ الإنسان غير المصاب بعمى الألوان يُميِّز الأرقام الظاهرة في الشريحتين.

أُفكِّر: أُفسِّر: يخضع الشخص لفحص عمى الألوان عند تقدُّمه بطلب للحصول على رخصة قيادة السيّارة.

أتحقَّق: ما المقصود بالصفة المُرتبِطة بالجنس؟

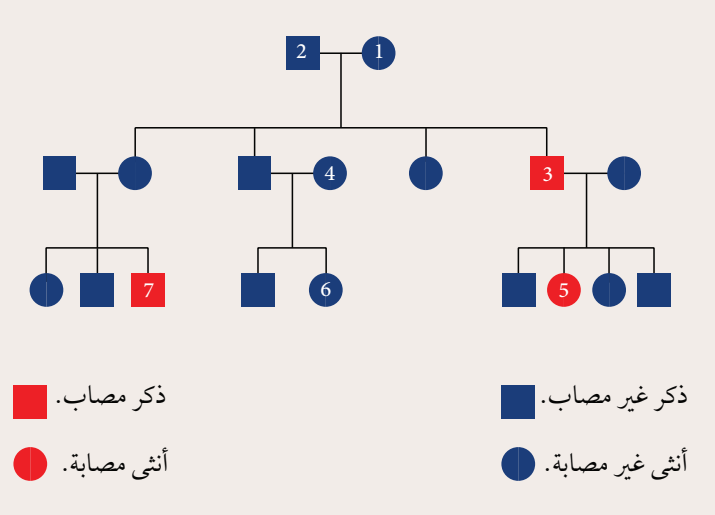
مثال (5)

يسود أليل عدم الإصابة بمرض نزف الدم H على أليل الإصابة به h. مُعتمِدًا الشكل المجاور الذي يُمثِّل سجل النسب، أُجيب عن الأسئلة الآتية:

أ - **أستنتج** الطرز الجينية للأفراد الذين يحملون الأرقام: (1)، و(2)، و(3).

ب- **أستنتج** الطراز الجيني للأنثى التي تحمل الرقم (6)، مُفترِضًا أنَّ الطراز الجيني للأنثى التي تحمل الرقم (4) هو X^HX^h.

جـ- **أُفسِّر** سبب إصابة الأنثى التي تحمل الرقم (5) والذكر الذي يحمل الرقم (7) بمرض نزف الدم.



المعطيات: صفة الإصابة بمرض نزف الدم مُرتبِطة بالجنس، سجل النسب.

الحل:

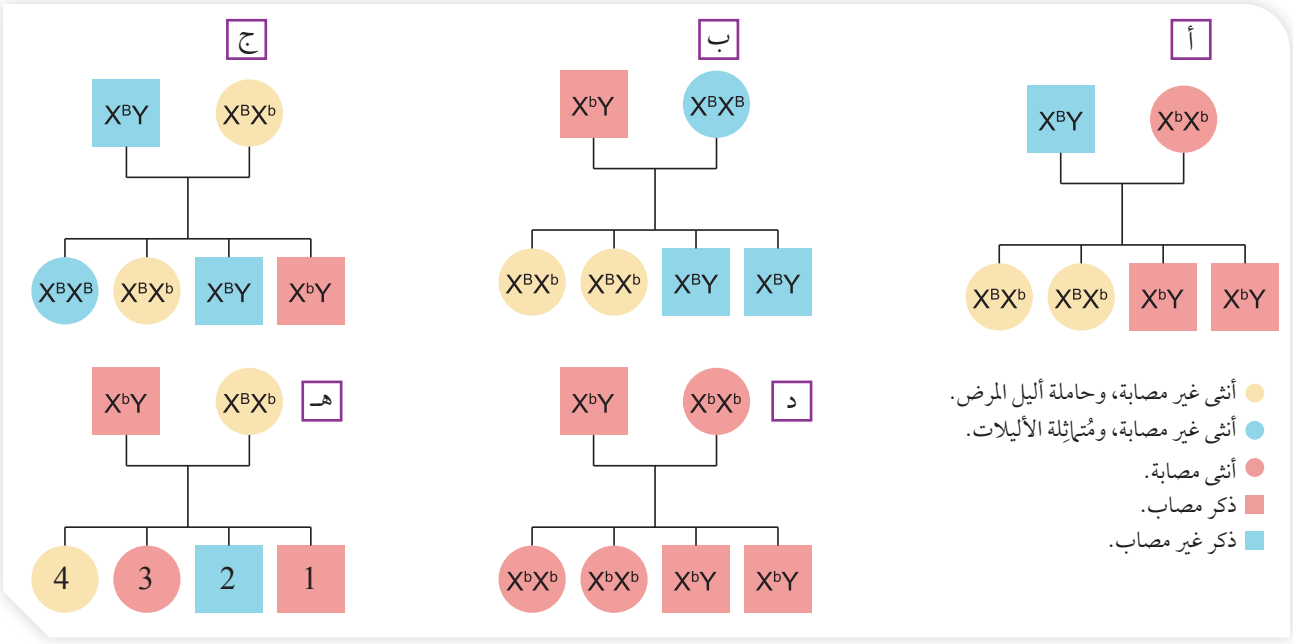
أ - الأنثى التي تحمل الرقم (1) غير مصابة، وطرازها الجيني قد يكون X^HX^H، أو X^HX^h ، والذكر الذي يحمل الرقم (3) ابن الأنثى التي تحمل الرقم (1)، وهو مصاب، وطرازه الجيني X^hY، وقد وَرِثَ الكروموسوم Y من أبيه، والكروموسوم X^h من أُمِّه. إذن، أستنتج أنَّ الطراز الجيني للأنثى التي تحمل الرقم (1) هو X^HX^h ، وأنَّ الطراز الجيني للذكر الذي يحمل الرقم (2) هو X^HY؛ لأنَّه غير مصاب، في حين أنَّ الطراز الجيني للذكر الذي يحمل الرقم (3) هو X^hY؛ لأنَّه مصاب.

ب- الأنثى التي تحمل الرقم (6) غير مصابة، وطرازها الجيني قد يكون X^HX^H، أو X^HX^h ، وهي وَرِثَت الكروموسوم X^H من أبيها؛ لأنَّه غير مصاب، ولأنَّ طرازه الجيني هو X^HY، وقد تَرِثُ من أُمِّها التي تحمل الرقم (4) الكروموسوم X^H، أو الكروموسوم X^h. إذن، أستنتج وجود احتمالين للطراز الجيني للأنثى التي تحمل الرقم (6)، هما: X^HX^H، أو X^HX^h.

جـ- الأنثى التي تحمل الرقم (5) مصابة؛ لأنَّها وَرِثَت الكروموسوم X^h من أبيها الذي طرازه الجيني هو X^hY، ووَرِثَت من أُمِّها الكروموسوم X^h؛ ما يعني أنَّ أُمَّها غير مصابة، وأنَّها تحمل أليل المرض.

أمّا الذكر الذي يحمل الرقم (7) فمصاب، وطرازه الجيني هو X^hY، وقد وَرِثَ الكروموسوم Y من أبيه، ووَرِثَ الكروموسوم X^h من أُمِّه؛ ما يعني أنَّ أُمَّه غير مصابة، وأنَّها تحمل أليل المرض الذي وَرِثَته من أُمِّها التي تحمل الرقم (1).

لتتبُّع توارث صفة عمى الألوان في عائلات مختلفة، أنظر سجل النسب في الشكل (20).



الشكل (20): توارث صفة عمى الألوان في خمس عائلات.
أُفسِّر سبب إصابة الأبناء الذكور من العائلة (أ) بالمرض.
أتوقَّع الطرز الجينية للأفراد الذين يحملون الأرقام (4-1) من العائلة (هـ).

الجينات المُرتبِطة Linked Genes

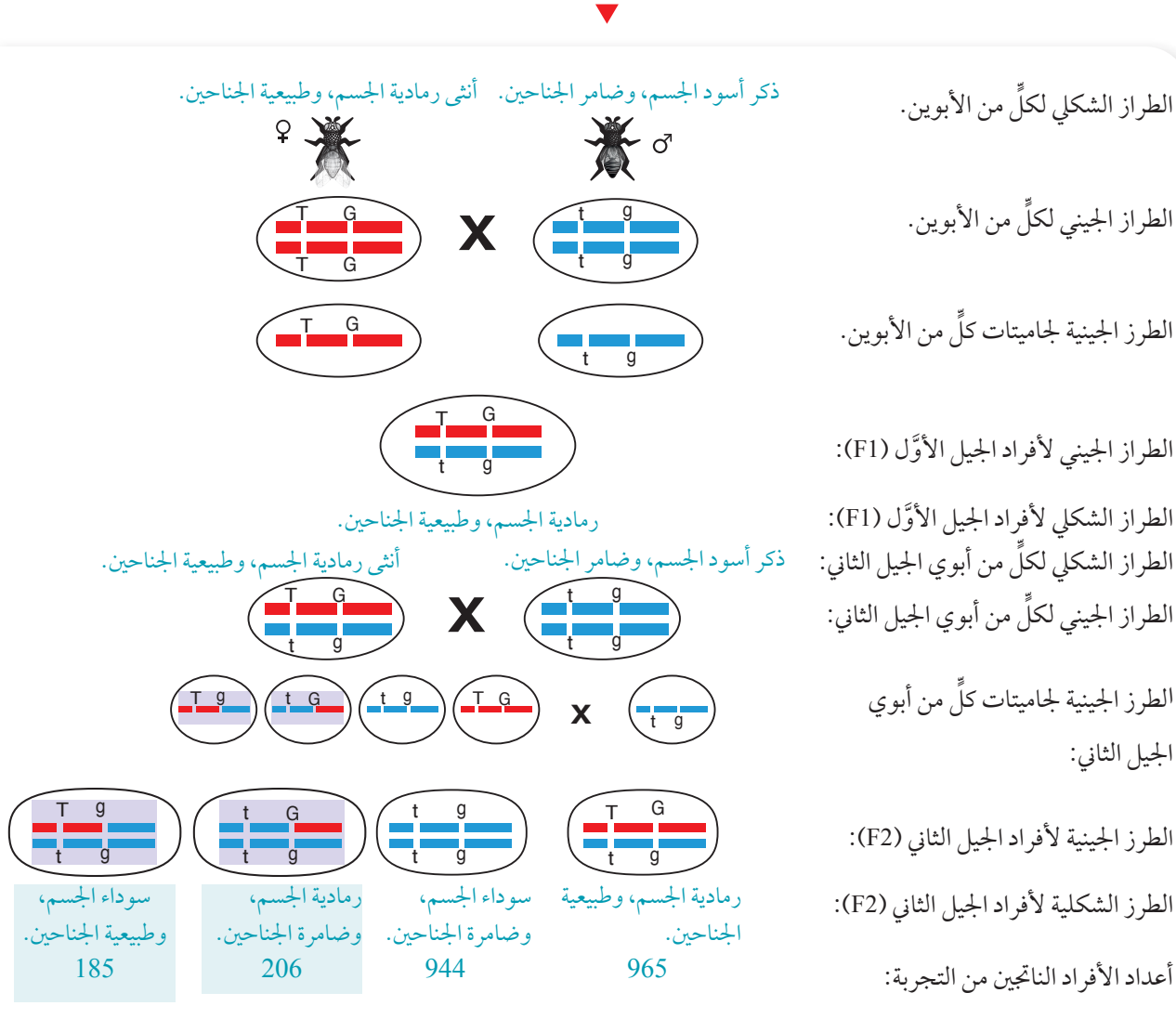
يحمل الكروموسوم الواحد جينات كثيرة؛ لأنَّ عدد الكروموسومات في الخلية الواحدة أقل من عدد الجينات فيها. وتُتوارَث الجينات القريبة من بعضها، والمحمولة على الكروموسوم نفسه، بوصفها وحدة واحدة، في ما يُعرَف **بالجينات المُرتبِطة Linked Genes**، ومن أمثلتها جينات صفتي لون الجسم وحجم الأجنحة في حشرة ذبابة الفاكهة.

درس العالِم توماس مورغان توارث صفتي لون الجسم وحجم الأجنحة في حشرة ذبابة الفاكهة، وتوصَّل إلى أنَّ أليل لون الجسم الرمادي G يسود على أليل لون الجسم الأسود g، وأنَّ أليل الأجنحة الطبيعية T يسود على أليل الأجنحة الضامرة t. أجرى مورغان تجربةً، زاوج فيها بين ذكور ذبابة فاكهة، أجسامهم سوداء، وأجنحتهم ضامرة، وطرازهم الجيني هو ttgg، وإناث ذبابة فاكهة، أجسامها رمادية، وأجنحتها طبيعية، وهي مُتماثِلة الأليلات للصفتين، وطرازها الجيني هو TTGG. وقد لاحظ مورغان أنَّ جميع أفراد الجيل الأوَّل الناتج من عملية التزاوج يمتازون بأجسام رمادية، وأجنحة طبيعية، وأنَّهم غير مُتماثِلي الأليلات للصفتين، وطرازهم الجيني هو TtGg. بعد ذلك زاوج بين إناثٍ من أفراد الجيل الأوَّل وذكورٍ أجسامهم سوداء، وأجنحتهم ضامرة.

أتحقَّق: ما المقصود بالجينات المُرتبِطة؟

لتعرُّف الطرز الجينية والطرز الشكلية الناتجة من هذا التزاوج، أنظر الشكل (21).
أُلاحِظ أنَّ نسب الطرز الشكلية لصفتي لون الجسم وحجم الأجنحة الناتجة تختلف عن تلك المُتوقَّعة في حال توارث هاتين الصفتين بحسب قانون التوزيع الحر.

الشكل (21): نتائج تجربة مورغان الخاصة بدراسة توارث صفتي حجم الجناح ولون الجسم في حشرة ذبابة الفاكهة.
أُحدِّد جاميتات أبوي الجيل الثاني الناتجة من عملية العبور.



النسبة المئوية المُتوقَّعة بين أفراد الجيل الثاني:	رمادية الجسم، وطبيعية الجناحين (تُشبِه أبويها).	سوداء الجسم، وضامرة الجناحين (تُشبِه أبويها).	رمادية الجسم، وضامرة الجناحين (لا تُشبِه أبويها).	أنثى سوداء الجسم، وطبيعية الجناحين (لا تُشبِه أبويها).
بحسب قانون التوزيع الحر:	25%	25%	25%	25%
عند توارث الصفتين معًا، بافتراض عدم انفصال الأليلات المُرتبِطة (عدم حدوث عبور):	50%	50%	0%	0%
عند توارث الصفتين معًا، بافتراض حدوث العبور:	41.96%	41.04%	8.96%	8.04%

استنتج مورغان من تجارب عِدَّة أنَّ صفتي لون الجسم وحجم الأجنحة مُرتبِطتان، وأنَّهما تُورَّثان معًا بوصفهما وحدة واحدة؛ لأنَّ معظم الأفراد الناتجين يُشبِهون آباءهم في هاتين الصفتين. استنتج مورغان أيضًا أنَّ نسبة الأفراد الذين لا يُشبِهون آباءهم قليلة في هذه التجربة؛ نظرًا إلى وجود آليَّةٍ تكسر هذا الارتباط، وتُسمّى عملية العبور، ولو كانت صفتا لون الجسم وحجم الأجنحة تُورَّثان بحسب قانون التوزيع الحر لكانت نسبة الأفراد الذين يُشبِهون آباءهم 50% من الأفراد الناتجين.

مثال (6)

يكون حجم الجناح في حشرة ذبابة الفاكهة طبيعيًّا أو ضامرًا، ويكون لون الجسم رماديًّا أو أسودَ. زاوج باحث بين إناثٍ من هذه الحشرة، أجنحتها طبيعية، ولون أجسامها رمادي، وهي غير مُتماثِلة الأليلات للصفتين، وذكورٍ منها، أجنحتهم ضامرة، ولون أجسامهم أسود، فنتج أفراد صفاتهم وأعدادهم كما يأتي:

415 فردًا أجنحتهم طبيعية، ولون أجسامهم رمادي.

415 فردًا أجنحتهم ضامرة، ولون أجسامهم أسود.

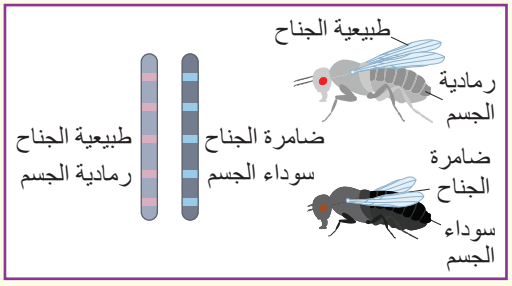
82 فردًا أجنحتهم ضامرة، ولون أجسامهم رمادي.

88 فردًا أجنحتهم طبيعية، ولون أجسامهم أسود.

إذا افترضْتُ أنَّ أليل شكل الأجنحة الطبيعية هو T، وأنَّ أليل شكل الأجنحة الضامرة هو t، وأنَّ أليل لون الأجسام الرمادية هو G، وأنَّ أليل لون الأجسام السوداء هو g، فأُجيب عن السؤالين الآتيين:

أ – أذكر دليلًا من النتائج يُؤكِّد أنَّ قانون التوزيع الحر لا ينطبق على وراثة صفتي لون الأجسام وحجم الأجنحة.

ب - أجد نسبة الأفراد الناتجين من ذوي التراكيب الجينية الجديدة.



المعطيات: الطرز الشكلية للآباء، الطرز الشكلية لأفراد الجيل الأوَّل، أعداد الأفراد الذين تظهر عليهم الطرز الشكلية.

المطلوب: دليل يُثبِت أنَّ الصفتين مُرتبِطتان، نسبة الأفراد الناتجين من ذوي التراكيب الجينية الجديدة.

الربط بالرياضيات

استفاد العلماء من معرفتهم بالرياضيات في تفسير نتائج تجاربهم، وإيجاد نسبة التراكيب الجينية الجديدة الناتجة من عملية العبور بين الجينات المُرتبِطة وَفق المعادلة الآتية:

عدد الأفراد الذين لا يُشبِهون آباءهم (التراكيب الجديدة)/ العدد الكلي للأفراد الناتجين× 100%

بتطبيق هذه المعادلة على النتائج التي توصَّل إليها العالِم مورغان، فإنَّ:

391 / 2300 × 100% = 17%

إذن، نسبة التراكيب الجينية الجديدة هي 17%.

ونسبة ارتباط الصفتين معًا هي:

100% – نسبة ظهور التراكيب الجديدة =

100% – 17% = 83%

أجد نسبة الأفراد ذوي الأجسام الرمادية، والأجنحة الضامرة.

أفكّر: أتوقَّع تأثير حدوث عبور بين الكروماتيدين الشقيقين في التراكيب الجينية للجاميتات.

الحل:

استنادًا إلى قانون التوزيع الحر، فإنَّ النسب المُتوقَّعة لا تنطبق على هذه النتائج، وهي:

1:1:1:1 إذا كان أحد الأبوين غير مُتماثِل الأليلات للصفتين، وكان الآخر مُتنحِّيًا؛ إذ لم تتحقَّق هذه النسب.

عدد الأفراد من ذوي التراكيب الجينية الجديدة = 82 +88 = 170 فردًا.

عدد الأفراد الكلي= 415 + 415 + 82 + 88 = 1000 فرد.

نسبة الأفراد من ذوي التراكيب الجديدة = عدد الأفراد من ذوي التراكيب الجديدة/عدد الأفراد الكلي × 100%

(170/1000) × 100% = 17%

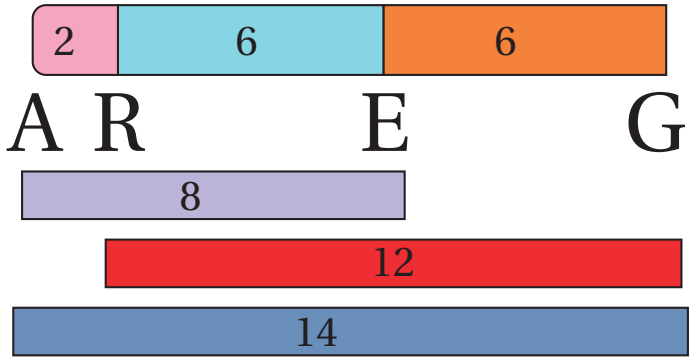
خريطة الجينات Genes Map

يوجد تناسب طردي بين نسبة الأفراد الناتجين من ذوي التراكيب الجينية الجديدة ونسبة حدوث العبور. يُمكِن لعملية العبور أنْ تحدث في أيِّ نقطة بين الجينين المحمولين على الكروموسوم نفسه؛ فكلَّما زادت المسافة بين الجينين زاد احتمال حدوث عملية العبور بينهما.

وقد استفاد العلماء من نسبة ظهور التراكيب الجينية الجديدة في رسم خريطة تُبيِّن الجينات المحمولة على الكروموسوم، ومواقعها، وترتيبها، والمسافة بينها، وتُسمّى **خريطة الجينات Genes Map**، أنظر الشكل (22).

يُطلَق على وحدة قياس المسافة بين الجينات على الكروموسوم اسم وحدة الخريطة، وتُكافِئ كل وحدة خريطة واحدة ما نسبته 1% من ظهور تراكيب جينية جديدة. فمثلًا، إذا ظهرت تراكيب جينية جديدة عند دراسة صفتين مُرتبِطتين بنسبة 12%، فهذا يعني أنَّ المسافة بين جيني الصفتين هي 12 وحدة خريطة.

أتحقَّق: أُوضِّح المقصود بخريطة الجينات.



الشكل (22): ترتيب الجينات (A, R,E,G) على أحد الكروموسومات، والمسافة بينها.

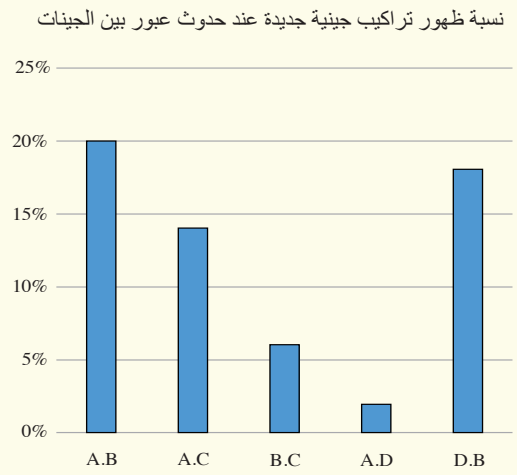
أُحدِّد المسافة بين كل جينين من الجينات الآتية:

(A-E)، (A-R)، (R-G)، (A-G)، (R-E).

مثال (7)

توصَّل أحد الباحثين - بعد إجرائه تجارب عِدَّة- إلى أنَّ الجينات: A ، B ، C ، D هي جينات مُرتبِطة، ومحمولة على الكروموسوم نفسه. وكذلك توصَّل إلى نسبة ظهور تراكيب جينية جديدة عند حدوث عبور بين الجينات. وقد مثَّل الباحث هذه النتائج بالرسم البياني المجاور.

أُحلِّل البيانات، ثم أُبيِّن ترتيب الجينات على الكروموسوم، والمسافة بينها.



المعطيات: رسم بياني يُبيِّن نسبة ظهور تراكيب جينية جديدة عند حدوث عبور بين الجينات.

المطلوب: ترتيب الجينات على الكروموسوم، المسافة بين الجينات.

الحل:

أستنتج أنَّ المسافة بين الجين A والجين B هي 20 وحدة، وأنَّ المسافة بين الجين A والجين C هي 14 وحدة، وأنَّ المسافة بين الجين C والجين B هي 6 وحدات، وأنَّ المسافة بين الجين D والجين A هي وحدتان، وأنَّ المسافة بين الجين B والجين D هي 18 وحدة؛ لأنَّ كل 1% من نسبة العبور تُكافِئ وحدة مسافة واحدة على الكروموسوم.

أرسم خطًّا يُمثِّل الكروموسوم، مُثبِّتًا موقع الجين B، ثم موقع الجين C على بُعْد 6 وحدات.

أفترض أنَّ الجين A موجود على يسار الجين C. للتأكُّد أنَّ الموقع الذي اخترْتُه للجين A صحيح، أجمع المسافة بين الجينين: A وC، والجينين: C وB، لاستخراج المسافة بين الجينين: A وB على الكروموسوم:

14 + 6 = 20 وحدة.

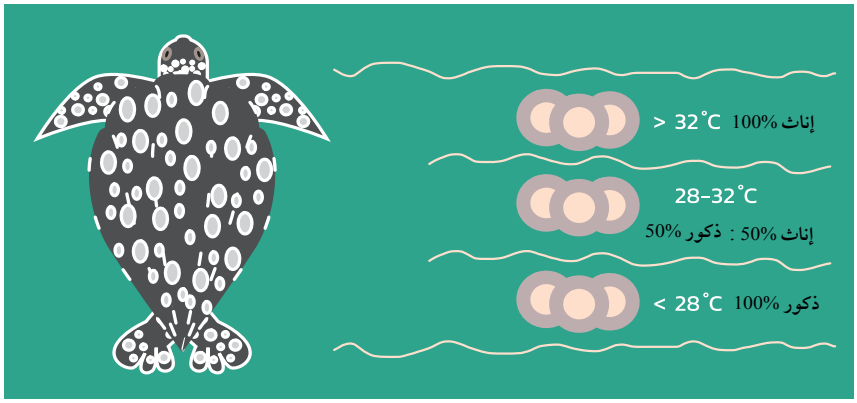
ولمّا كانت المسافة الناتجة من جمع المسافات على الترتيب المُقترَح تساوي المسافة من معطيات السؤال، فإنَّ الفرضية لموقع الجين A صحيحة.

أفترض أنَّ موقع الجين D هو بين الجينين: A وC. وبذلك تكون المسافة بين الجينين: D وC هي 12 وحدة.
للتأكُّد أنَّ الموقع الذي اخترْتُه صحيح، أجمع المسافة بين الجينين: D وC، والجينين: C وB:

6+12= 18 وحدة.

ولمّا كانت المسافة الناتجة من جمع المسافات على الترتيب المُقترَح تساوي المسافة من معطيات السؤال، فإنَّ الفرضية لموقع الجين D صحيحة.

A	D		C	B
2		12	6	



الشكل (23): جنس نوع من الزواحف، تفقس بيوضه المُخصَّبة في درجات حرارة حضانة مُتباينة.
أُحدِّد الجنس الذي ينتج من فقس البيوض المُخصَّبة في درجة حضانة أقل من 28˚C.
أستنتج: ما درجة الحرارة المحورية في هذا الشكل؟

أثر البيئة في تحديد جنس بعض الزواحف

Environmental Influence on Sex Determination of some Reptiles

تتأثَّر بعض الصفات الوراثية بالعوامل البيئية، مثل: الحرارة، والتغذية، والتعرُّض لأشعة الشمس مدَّة طويلة. فمثلًا، تتحكَّم درجة الحرارة في تحديد الجنس في بعض الزواحف، مثل: بعض التماسيح، ومعظم السلاحف، وبعض أنواع السحالي؛ فيتحدَّد الجنس تبعًا لدرجة حرارة حضانة البيوض المُخصَّبة في مراحل مُعيَّنة من التكوين الجنيني، ويُطلَق على هذه الدرجة اسم **درجة الحرارة المحورية Pivotal Temperature (T_p)**، وهي درجة حرارة مُعيَّنة ومناسبة لإنتاج الذكور والإناث في بعض أنواع الزواحف. ويُعرَف هذا النظام بتحديد الجنس المُعتمِد على درجة الحرارة Temperature – dependent Sex Determination (TSD). فعند وضع البيوض، فإنَّها لا تتعرَّض لدرجة الحرارة نفسها بحسب موقعها، أنظر الشكل (23)؛ فيتأثَّر نشاط الإنزيمات الضرورية لتصنيع الهرمونات الأنثوية والذكرية التي تؤدّي دورًا في تمايز كلٍّ من المبيض والخصية، مثل إنزيم أروماتيز.

توجد ثلاثة أنماط لتحديد الجنس المُعتمِد على درجة الحرارة في الزواحف، أنظر الشكل (24). وفي هذه الأنماط تُحدِّد درجة الحرارة المحورية الجنس لأنواع مختلفة من الزواحف بنسب متساوية.

أتحقَّق: أُوضِّح المقصود بتحديد الجنس المُعتمِد على درجة الحرارة.

الشكل (24): الأنماط الثلاثة لتحديد الجنس المُعتمِد على درجة الحرارة.
أستنتج النمط الذي يكون فيه لدرجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة التأثير نفسه.

أنماط تحديد الجنس المُعتمِد على درجة الحرارة في أنواع مختلفة من الزواحف

النمط (أ) كما في معظم السلاحف.	النمط (ب) كما في بعض السحالي.	النمط (ج) كما في بعض التماسيح.
درجات حرارة مرتفعة، تفقس فيها البيوض إناثًا بنسبة 100 %. درجات حرارة منخفضة، تفقس فيها البيوض ذكورًا بنسبة 100 %.	درجات حرارة مرتفعة، تفقس فيها البيوض ذكورًا بنسبة 100 %. درجات حرارة منخفضة، تفقس فيها البيوض إناثًا بنسبة 100 %.	درجات حرارة منخفضة، تفقس فيها البيوض إناثًا بنسبة 100 %. درجات حرارة مرتفعة، تفقس فيها البيوض إناثًا بنسبة 100%، وتفقس البيوض ذكورًا بنسب مُتباينة في درجات الحرارة المُتوسِّطة.

الوراثة فوق الجينية Epigenetics

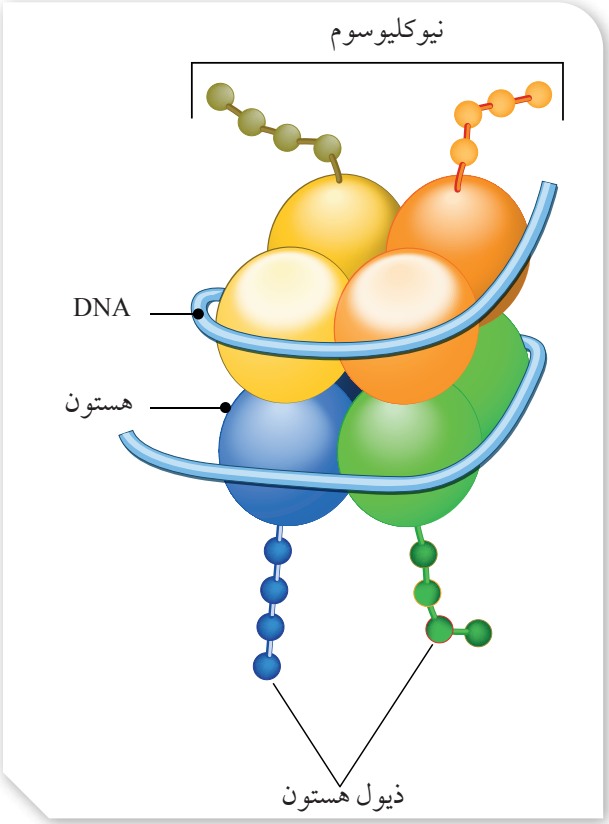
الوراثة فوق الجينية Epigenetics دراسة تبحث في التعديلات على التعبير الجيني أو الطرز الشكلية في الكائن الحيِّ، التي تحدث من دون تغيير تسلسل النيوكليوتيدات في الجين.

يُمكِن تغيير التعبير الجيني في الجين بتنشيطه، فيكون جينًا نشطًا، أو بإيقافه عن العمل، فيكون جينًا صامتًا.

تُفسِّر الوراثة فوق الجينية تصنيع البروتينات التي تُميِّز خلية مُعيَّنة دون غيرها من الخلايا. فمثلًا، الخلايا العصبية تصنع بروتينات تختلف عن تلك التي تصنعها خلايا أُخرى في الجسم، بالرغم من أنَّ جميع الخلايا الجسمية في الإنسان لها نفس التسلسل من النيوكليوتيدات في جزيء DNA.

من الأمثلة على آليّات الوراثة فوق الجينية التي تُؤثِّر في التعبير الجيني:

1- إضافة مجموعة الأستيل إلى بروتين الهستون؛ إذ يلتفُّ جزيء DNA مشدودًا حول بروتين الهستون، ويُطلَق على التركيب الناتج من ذلك اسم النيوكليوسوم، أنظر الشكل (25). تعمل إضافة مجموعة الأستيل إلى ذيول بروتين الهستون على ارتخاء التفاف جزيء DNA حول هذا البروتين، فيصبح الجين نشطًا، ويُمكِن نسخه، أنظر الشكل (26).



الشكل (25): تركيب النيوكليوسوم.

أُوضِّح تركيب النيوكليوسوم.

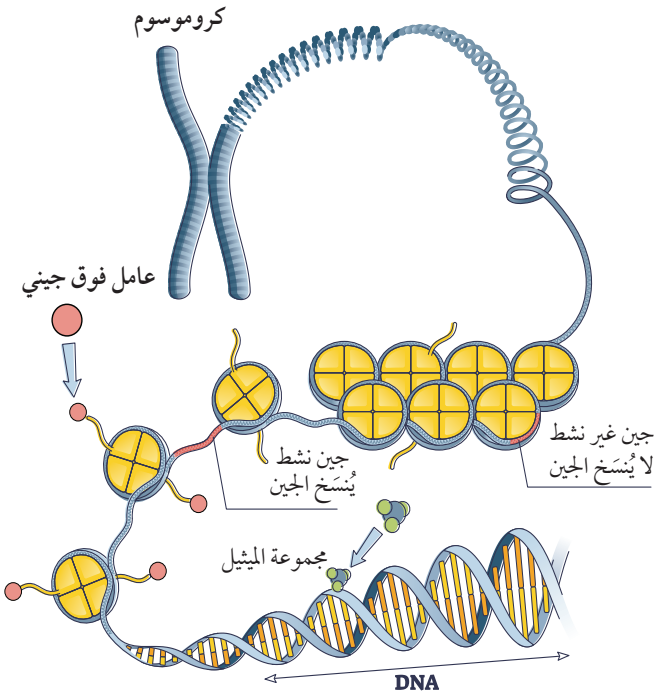
الربط بالتكنولوجيا

فك قفل الهاتف المحمول ببصمة الإصبع

قال تعالى:

﴿بَلَىٰ قَٰدِرِينَ عَلَىٰٓ أَن نُّسَوِّيَ بَنَانَهُۥ﴾ (سورة القيامة، الآية 4).

عند محاولة فك قفل الهاتف المحمول ببصمة إصبع غير تلك التي استُخدِم في تحديدها، فإنَّ الهاتف سيظلُّ مُقفَلًا؛ إذ تختلف بصمات الأصابع في اليد الواحدة للشخص نفسه، بالرغم من وجود الجينات نفسها في الأصابع جميعها. وبالمثل، تختلف بصمات الأصابع بين التوائم المُتطابِقة التي تنتج من بويضة مُخصَّبة واحدة، بالرغم من احتوائها على المادة الوراثية نفسها. وتفسير ذلك أنَّ الأَجِنَّة في الرحم تتعرَّض لعوامل بيئية مختلفة (مثل: موقع الجنين في الرحم، وكثافة السائل الرهلي)؛ فتختلف الأصابع في ملامستها الغشاء الرهلي أثناء تشكُّل بصماتها في المراحل المُبكِّرة من الحمل، ثم تظلُّ بعد ذلك ثابتة ومُميَّزة طوال الحياة.



الشكل (26): عوامل فوق جينية.

أُحدِّد على الشكلِ العاملَ فوق الجيني الذي يمنع نسخ الجين.

الربط بالصحة

الوراثة فوق الجينية والسرطان

أحدثت الوراثة فوق الجينية سَبْقًا علميًّا في ما يختصُّ بتفسير أسباب الإصابة بالسرطان؛ فقد تُؤثِّر عوامل الوراثة فوق الجينية في الجينات المُثبِّطة للأورام، فتصبح غير نشطة (صامتة)؛ ما يؤدّي إلى انتشار الأورام.

وكذلك وجد العلماء أنَّ عوامل الوراثة فوق الجينية في الخلايا السرطانية تُظهِر نمطًا مختلفًا عنه في الخلايا الطبيعية؛ ما يدلُّ على أنَّ هذا التغيُّر في النمط هو سبب الإصابة بالسرطان.

ولهذا، فإنَّ الوراثة فوق الجينية تُمثِّل ركيزة أساسية للتفكير في علاج يُفعِّل الجينات التي أوقفت نشاطها العوامل فوق الجينية.

2- إضافة مجموعة الميثيل إلى جزيء DNA، فيصبح الجين غير نشط، ولا يُمكِن نسخه (صامت)، أنظر الشكل (26).

أجرى العلماء تجربة على نوع من الفئران، وذلك بإحضار مجموعتين من الأُمَّهات الحوامل اللاتي يحملْنَ أَجِنَّة مُتماثِلة في طرزها الجينية، وتخصيص نظام غذائي مختلف لكلٍّ من الأُمَّهات في المجموعتين؛ إذ احتوى النظام الغذائي للأُمَّهات في المجموعة الأولى على حمض الفوليك الذي يُعَدُّ مصدرًا لمجموعة الميثيل، خلافًا للنظام الغذائي للأُمَّهات في المجموعة الثانية الذي خلا من وجود حمض الفوليك، فكانت الفئران الناتجة من المجموعة الأولى ذات فراء بني، وغير سمينة (طبيعية)، في حين كانت الفئران الناتجة من المجموعة الثانية ذات فراء أصفر، وسمينة، ومصابة بأمراض أُخرى. وقد فسَّر العلماء ذلك بأنَّ مجموعة الميثيل التي يحويها النظام الغذائي لفئران المجموعة الأولى تُمثِّل عاملًا من عوامل الوراثة فوق الجينية.

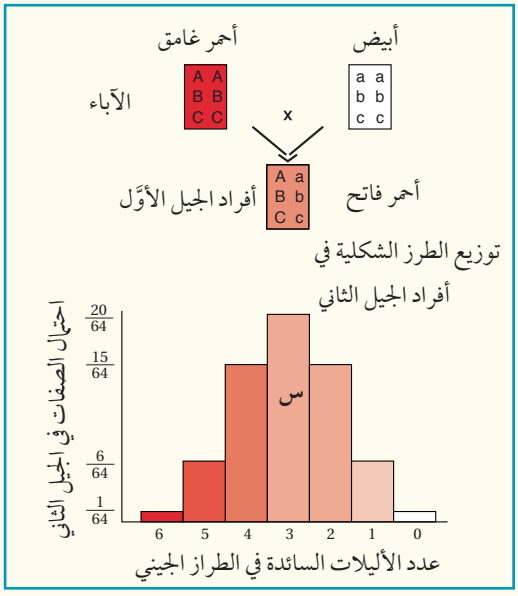
تُفسِّر الوراثة فوق الجينية الاختلاف في الصفات بين التوائم المُتطابِقة؛ فقد يعاني أحد التوأمين أمراضًا مُعيَّنةً لا يعانيها الآخر، وقد يصبح أحدهما رياضيًّا والآخر رسّامًا، وقد يختلفان في السمات الشخصية، كأنْ يكون أحدهما خجولًا عكس الآخر. صحيحٌ أنَّهما يحملان ترتيب النيوكليوتيدات نفسه في جزيء DNA، لكنَّهما قد يختلفان في النظام الغذائي، والأنشطة البدنية والاجتماعية، والرعاية الطبية. ومن ثَمَّ، يوجد ارتباط لعوامل فوق جينية عند أحدهما تختلف عن تلك المُرتبِطة عند الآخر في أيِّ مرحلة من مراحل حياتهما؛ ما يُغيِّر التعبير الجيني لكلٍّ منهما. وقد أظهرت بعض الدراسات أنَّه كلَّما تقدَّم الإنسان في السِّنِّ ظهرت فروق أكثر في عوامل الوراثة فوق الجينية بين التوائم المُتطابِقة.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة: أُفسِّر**: النسب الناتجة من توارث بعض الصفات الوراثية تختلف عن تلك التي توصَّل إليها مندل.

2. أُوضِّح المقصود بالسيادة المُشتَرَكة.

3. يُمثِّل الشكل المجاور وراثة لون الحبوب في نبات القمح. أدرس الشكل، ثم أُجيب عن الأسئلة الآتية:



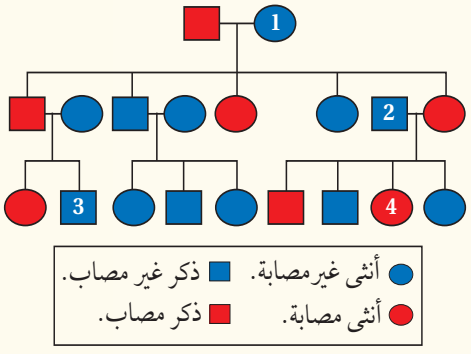
أ- **أتوقَّع**: ما نمط الوراثة لهذه الصفة؟

ب- **أُحلِّل البيانات**: أيُّ الطرز الشكلية أكثر احتمالًا للظهور بين أفراد الجيل الثاني؟ أيُّها أقل احتمالًا للظهور بين أفراد الجيل الثاني؟

ج- **أستنتج**: أُدوِّن ثلاثة طرز جينية مُتوقَّعة للطراز الشكلي المُشار إليه بالرمز (س).

4. تزوَّج شاب فصيلة دمه AB، وغير مصاب بمرض عمى الألوان بفتاة فصيلة دمها A، وغير مصابة بالمرض نفسه، وكانت فصيلة دم والدها O، وكان مصابًا بهذا المرض. **أتوقَّع** الطرز الجينية والطرز الشكلية لأبناء الشاب والفتاة.

5. يُمثِّل الشكل المجاور سجل نسب لصفة وراثية سائدة (مُظلَّلة باللون الأزرق)، ومحمولة على كروموسوم جسمي.



أستنتج الطرز الجينية للأفراد الذين يحملون الأرقام (4-1) باستخدام الرمز (a) والرمز (A).

6. أجرى باحث تلقيحًا بين حيوانين، الطراز الجيني لأحدهما هو ddaa، والطراز الجيني للآخر هو DdAa.

أستنتج الطرز الجينية للأفراد الناتجين، ونسبها المئوية، بافتراض أنَّ الجين A والجين D محمولان على الكروموسوم نفسه، وظهور تراكيب جينية جديدة ناتجة من العبور في جاميتات أحد الأبوين بما نسبته 10%.

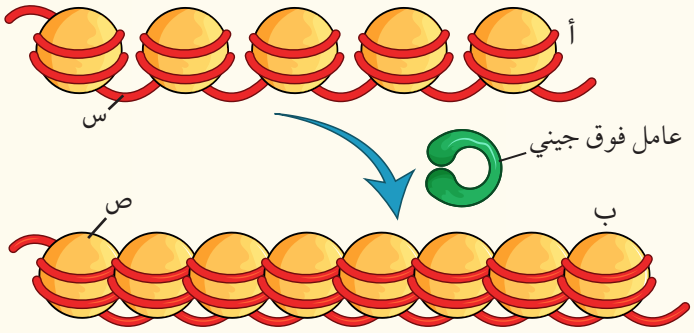
7. **أُفسِّر** سبب ظهور طرازين شكليين لدى فردين لهما الطراز الجيني نفسه.

8. أُوضِّح دور إنزيم أروماتيز في تحديد جنس الزواحف.

9. **أحسُبُ** القِيَم المجهولة في الجدول الآتي الذي يُمثِّل نسب الأفراد الناتجين من الارتباط، ونسب ظهور التراكيب الجينية الجديدة الناتجة من العبور، والمسافة بين الجينات، عند دراسة عدد من الصفات التي تُحمَل جيناتها على الكروموسوم نفسه، مُبيِّنًا ترتيب الجينات على الكروموسوم.

الجينان:	AB	AR	AH	DH	AD	BH	DT	BT	TR
نسبة التراكيب الجينية الجديدة الناتجة من العبور:			15%	6%	9%		23%		26%
نسبة الأفراد الناتجين من الارتباط:	98%					87%		70%	
المسافة بين الجينين:		6 وحدات خريطة					23 وحدة خريطة		

10. يُمثِّل الشكل المجاور تأثير الوراثة فوق الجينية في التعبير الجيني. أدرس الشكل، ثم أُجيب عن السؤالين الآتيين:



أ - **أُحدِّد** التركيب الذي يُمثِّله الرمز (س) والرمز (ص).

ب- **أستنتج**: في أيِّ الخطوتين يكون الجين صامتًا: (أ) أم (ب)، مُبرِّرًا إجابتي؟

الطفرات والاختلالات الوراثية
Mutations and Genetic Disorders

الدرس 3

الفكرة الرئيسة:

تُصنَّف الطفرات إلى نوعين، هما: الطفرات الجينية، والطفرات الكروموسومية. وينتج من بعض الطفرات اختلالات وراثية.

نتاجات التعلُّم:

- أُوضِّح مفهوم الطفرات.
- أستنتج مُسبِّبات للطفرات وتأثيراتها في الكائن الحيِّ.
- أُميِّز بين الطفرات الجينية والطفرات الكروموسومية.
- أَصِف أمراضًا تنتج من زوج من الجينات المُتنحِّية، وأمراضًا أُخرى تنتج من جين سائد.
- أُميِّز بين مُسبِّبات بعض الاختلالات الوراثية لدى الإنسان وأعراضها.
- أَصِف طرائق للكشف عن الاختلالات الوراثية لدى الإنسان.

المفاهيم والمصطلحات:

الطفرة الجينية	Genetic Mutation
طفرة الاستبدال	Substitution Mutation
طفرة الإزاحة	Frameshift Mutation
الطفرة الكروموسومية	Chromosomal Mutation
تعدُّد المجموعة الكروموسومية	Polyploidy
الحذف	Deletion
التكرار	Duplication
القلب	Inversion
تبديل الموقع	Translocation

الطفرات Mutations

تُعرَّف الطفرة بأنَّها تغيُّر في المادة الوراثية. وهي تحدث أثناء تضاعف DNA، أو أثناء الانقسام، وتزيد فرصة حدوثها عند تعرُّض الكائن الحيِّ لعوامل كيميائية ضارَّة، مثل: سموم بعض الفطريات، والتبغ، أو تعرُّضه لعوامل فيزيائية، مثل: الأشعة السينية X، والأشعة فوق البنفسجية UV. تُورَّث الطفرة في حال حدثت في الجاميتات، أو في الخلايا التي تُنتِجها، ويوجد نوعان رئيسان للطفرات، هما: الطفرات الجينية، والطفرات الكروموسومية، أنظر الشكل (27).

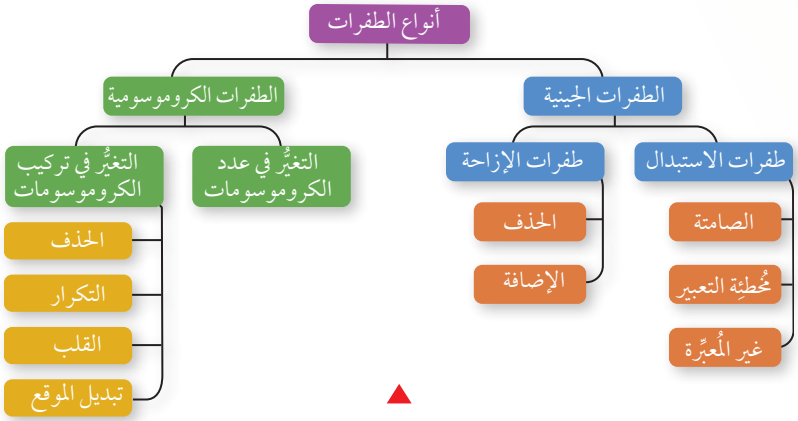
الطفرات الجينية Genetic Mutations

يُطلَق على التغيُّر في تسلسل النيوكليوتيدات في جين مُعيَّن في جزيء DNA اسم **الطفرة الجينية Genetic Mutation**. وهي نوعان:

طفرة الاستبدال Substitution Mutation: استبدال زوج من النيوكليوتيدات في جزيء DNA، والاستعاضة عنه بزوج آخر؛ ما يؤدّي إلى تغيُّر تسلسل النيوكليوتيدات في كودون واحد فقط من جزيء DNA.

طفرة الإزاحة Frameshift Mutation: حذف زوج أو أكثر من النيوكليوتيدات في جزيء DNA، أو إدخال زوج أو أكثر منها في جزيء DNA بأعداد ليست من مضاعفات الثلاثة؛ ما يؤدّي إلى تغيُّر تسلسل النيوكليوتيدات في كودون أو أكثر في جزيء DNA.

أُفكِّر: حدثت طفرة في خلايا الأمعاء تسبَّبت في إصابة شخص ما بمرض. أُفسِّر سبب عدم إصابة ابن هذا الشخص بالمرض نفسه.



الشكل (27): أنواع الطفرات.

نشاط

محاكاة الطفرة الجينية

يختلف تأثير الطفرة في سلسلة عديد الببتيد الناتجة تبعًا لاختلاف نوع الطفرة.

المواد والأدوات: ورقة، قلم.

ملحوظة: أفترض أنَّ كل حرف في النشاط يُمثِّل نيوكليوتيدًا في إحدى سلسلتي جزيء DNA، وأنَّ كل ثلاثة أحرف مُتتابِعة تُمثِّل كودونًا، وتُترجَم إلى حمض أميني تُمثِّله الكلمة، في حين تُمثِّل الجملة سلسلة عديد الببتيد الناتجة من الترجمة.

خطوات العمل:

1. أكتب على الورقة الحروف الآتية بالترتيب: ر، س، م، و، ل، د، ش، ج ، ر، و، ر، د.
2. أوزِّع الحروف على 4 مجموعات، ثم أُرقِّم المجموعات (1-4)، مراعيًا وضع 3 أحرف بالترتيب في كل مجموعة لتمثيل الكودون.
3. أُكوِّن جملة باستخدام مجموعات الحروف الناتجة بالترتيب، بحيث تُمثِّل المجموعة الأولى من الأحرف الكلمة الأولى في الجملة، وتُمثِّل المجموعة الثانية من الأحرف الكلمة الثانية في الجملة، وهكذا، ثم أُدوِّن الجملة الناتجة في الورقة.
4. أضع حرف (ع) بدل حرف (ل) في المجموعة الثانية، ثم أُدوِّن الجملة الناتجة في الورقة.
5. أحذف حرف (س) من مجموعة الأحرف التي تحمل الرقم (1)، ثم أُعيد كتابة الأحرف منفصلة بعد الحذف، ثم أُنشِئ مجموعات جديدة ثلاثية الأحرف.
6. أُكوِّن جملة وَفق ترتيب المجموعات الجديد، ثم **أُقارِن** بين معنى الجملة الأصلية ومعنى الجملة الناتجة بعد التغيير.
7. أُضيف حرف (ب) بعد حرف (س) إلى مجموعة الأحرف التي تحمل الرقم (1)، ثم أُعيد كتابة الأحرف منفصلة بعد الإضافة، ثم أُنشِئ مجموعات جديدة ثلاثية الأحرف.
8. أُكوِّن جملة وَفق ترتيب المجموعات الجديد، ثم **أُقارِن** بين معنى الجملة الأصلية ومعنى الجملة الناتجة بعد التغيير.
9. **أُفسِّر** سبب وضوح معنى الجملة الناتجة بعد وضع حرف (ع) بدل حرف (ل).
10. **أُقارِن** الجمل التي كوَّنْتُها بالجمل التي كوَّنها زملائي/ زميلاتي.

التحليل والاستنتاج:

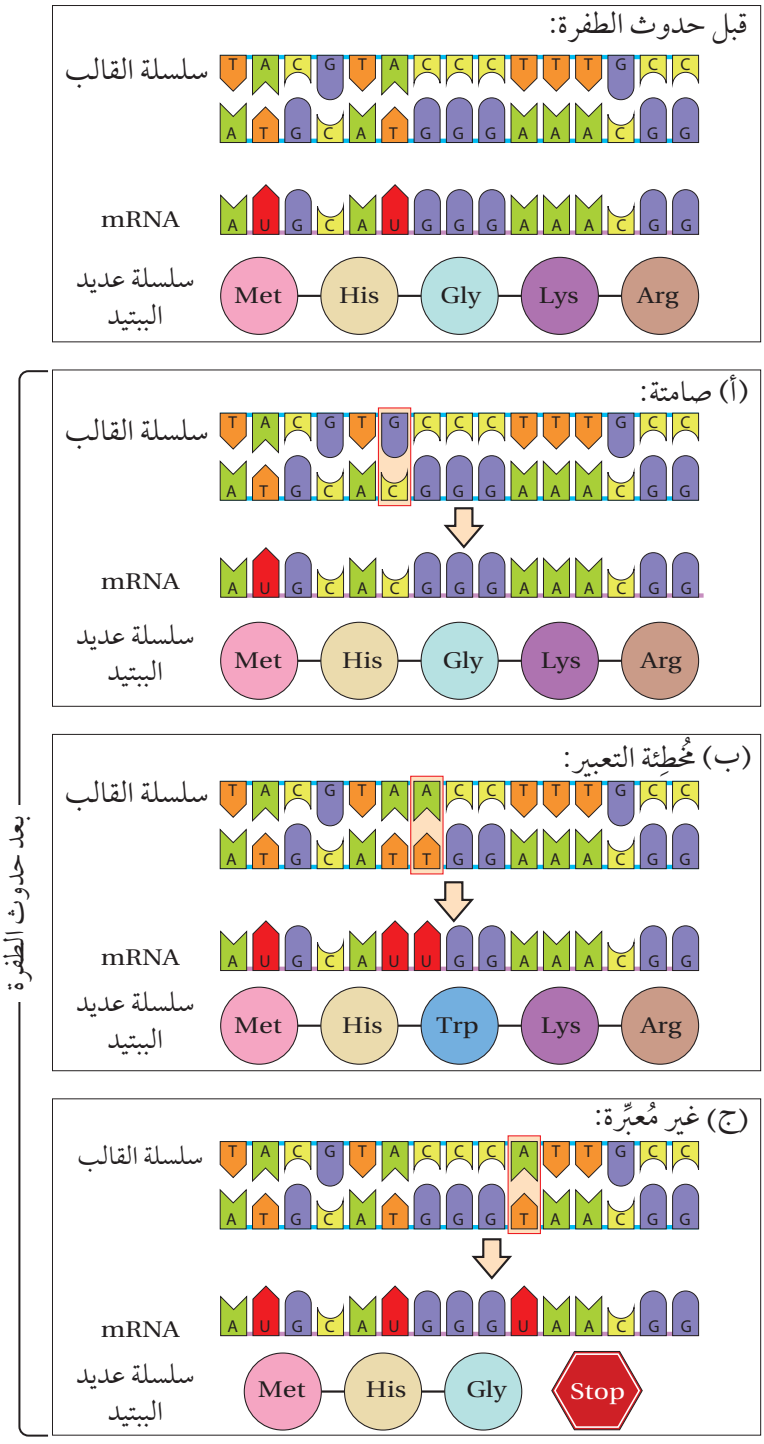
1. **أُصنِّف** الطفرات التي تضمَّنها النشاط إلى ما يأتي: طفرة استبدال زوج من النيوكليوتيدات، طفرة إزاحة بحذف زوج من النيوكليوتيدات، طفرة إزاحة بإضافة زوج من النيوكليوتيدات.
2. **أُقارِن** بين تأثير طفرة استبدال زوج بزوج من النيوكليوتيدات في جزيء DNA وطفرة إضافة زوج من النيوكليوتيدات إلى جزيء DNA في سلسلة عديد الببتيد الناتجة.
3. حدثت طفرة حذف زوج النيوكليوتيدات الذي يحمل الرقم (85) في جزء من جزيء DNA يتكوَّن من (105) أزواج من النيوكليوتيدات. **أحسُبُ** عدد الكودونات التي لم يطرأ عليها تغيير بسبب الطفرة.

تأثير الطفرات الجينية في سلسلة عديد الببتيد
Effect of Genetic Mutations on Polypeptide Chain

طفرة الاستبدال Substitution Mutation

تُصنَّف طفـرة الاستبـدال بحسب تأثيرها في سلسـلة عديد الببتيد الناتجة إلى ثلاثة أنواع، أنظر الشكل (28).

الشكل (28): طفرة الاستبدال.



الطفرة الصامتة Silent Mutation

ينتـج من استبـدال زوج بـزوج مـن النيوكليوتيدات في جزيء DNA تغيُّر كودون في جـزيء mRNA، يُترجَم إلى الحمض الأميني نفسه. ولأنَّ الحمـض الأميني قـد يُشفَّر بأكثر من كودون؛ فإنَّ هذه الطفرة لا تُؤثِّر في تسلسل الحموض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد الناتجة، أنظر الشكل (28/ أ).

الطفرة مُخطِئة التعبير Missense Mutation

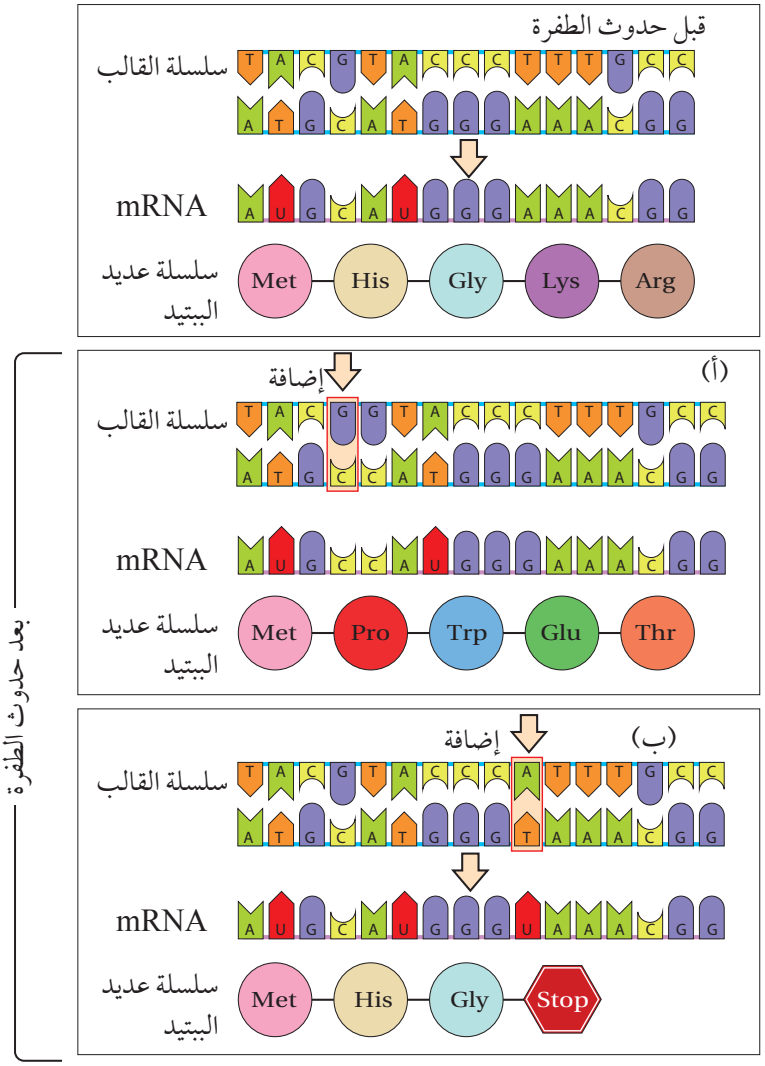
ينتـج مـن استبـدال زوج بـزوج مـن النيوكليوتيدات في جزيء DNA تغيُّر كودون في جزيء mRNA، يُترجَم إلى حمض أميني جديد؛ ما يـؤدي إلى تغيُّر حمض أميني واحد في تسلسـل الحمـوض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد الناتجة، أنظر الشكل (28/ ب).

الطفرة غير المُعبِّرة Nonsense Mutation

ينتـج من استبـدال زوج بـزوج مـن النيوكليوتيدات في جزيء DNA تغيُّر الكودون في جـزيء mRNA إلى كـودون وقف الترجمة؛ فتنتج سلسلة عـديد ببتيد غـير مُكتمِلـة، أنظر الشكل (28/ ج).

طفرة الإزاحة Frameshift Mutation

يتغيَّر تسلسل جميـع الكودونات التي تلي مكـان حدوث طفرة الإزاحة؛ ما يؤدّي إلى إنتاج سلسلة عديد ببتيد تحوي تسلسلًا من الحموض الأمينية يختلف في السلسلة الأصلية التي يراد بناؤها، أنظر الشكل (29/ أ)، وقد ينتج كودون وقف الترجمة؛ فتنتج سلسلة عديد ببتيد غير مُكتمِلة، أنظر الشكل (29/ ب).



الشكل (29): طفرة الإزاحة.
أُقارِن بين سلسلة عديد الببتيد الناتجة بعد حدوث الطفرة وسلسلة عديد الببتيد التي يراد بناؤها.

الطفرات الكروموسومية Chromosomal Mutations

يُطلَق على التغيُّر في عدد الكروموسومات، أو تركيبها في الخلية، اسم **الطفرة الكروموسومية** Chromosomal Mutation.

التغيُّر في عدد الكروموسومات Changes in Chromosome Number

درسْتُ سابقًا أنَّ الجاميتات أُحادية المجموعة الكروموسومية (1n) تنتج من انقسام مُنصِّف لخلية ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n)، وأنَّ الخلايا الناتجة من الانقسام المتساوي لخلية ثنائية المجموعة الكروموسومية تكون ثنائية المجموعة

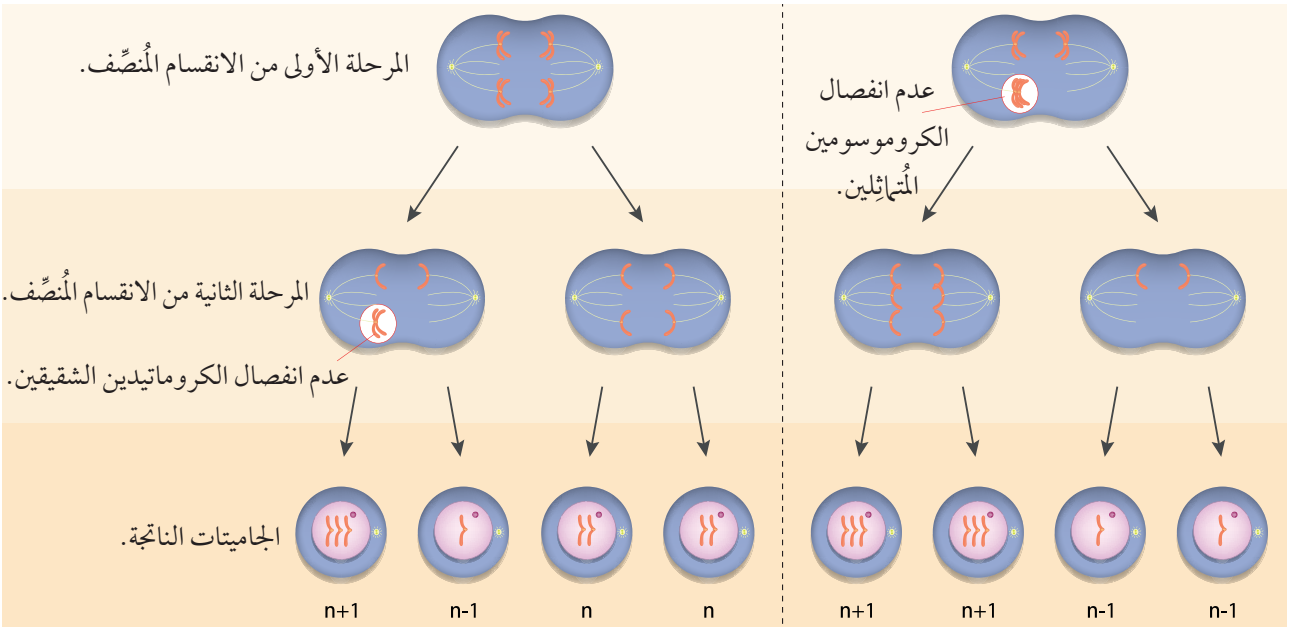
أُفكِّر: أيُّهما يُحتمَل أنْ يكـون أكثر تأثيرًا: حذف كـودون أم حـذف زوج من النيوكليوتيدات؟ أُبرِّر إجابتي.

الكروموسومية، ولكنْ قد تحدث طفرات تؤدّي إلى اختلاف عدد الكروموسومات عن مضاعفات المجموعة الكروموسومية الواحدة Aneuploidy أو تعدُّد المجموعة الكروموسومية Polyploidy.

اختلاف عدد الكروموسومات عن مضاعفات المجموعة الكروموسومية الواحدة Aneuploidy

يختلف عدد الكروموسومات في الخلية الجسمية عن مضاعفات المجموعة الكروموسومية الواحدة، كأنْ يكون عدد الكروموسومات في خلية جسمية للإنسان 47 كروموسومًا عوضًا عن 46 كروموسومًا؛ إذ يحدث أحيانًا عدم انفصال أحد أزواج الكروموسومات المُتماثِلة أثناء المرحلة الأولى من الانقسام المُنصِّف، ويؤدّي عدم حدوث انفصال للكروموسومين المُتماثِلين في المرحلة الأولى من الانقسام المُنصِّف إلى إنتاج جاميتات لا تحتوي جميعها على العدد الطبيعي من الكروموسومات؛ إذ يكون عدد الكروموسومات في الجاميتات أكثر من العدد الطبيعي (n+1)، أو أقل منه (n–1). ونتيجةً لعدم الانفصال؛ فإنَّ بعض الجاميتات الناتجة تحوي نسختين من الكروموسوم نفسه، في حين يفتقر بعضها الآخر إلى وجود هذا الكروموسوم. وقد يحدث عدم انفصال لكروماتيدين شقيقين في أحد الكروموسومات ضمن إحدى الخلايا الناتجة من المرحلة الأولى أثناء المرحلة الثانية من الانقسام المُنصِّف؛ ما يؤدّي إلى إنتاج جاميتاتٍ تحوي العدد الطبيعي من الكروموسومات (n)، وجاميتاتٍ عدد الكروموسومات فيها أكثر من العدد الطبيعي للكروموسومات (n+1)، وجاميتاتٍ أُخرى عدد الكروموسومات فيها أقلُّ من العدد الطبيعي للكروموسومات (n–1)، أنظر الشكل (30).

الشكل (30): عدم انفصال كروموسومين مُتماثِلين في المرحلة الأولى من الانقسام المُنصِّف، وعدم انفصال كروماتيدين شقيقين في المرحلة الثانية من الانقسام المُنصِّف.



إذا خُصِّب الجاميت غير الطبيعي الناتج في الشكل مع آخر طبيعي نتجت بويضة مُخصَّبة تحوي عددًا أكثرَ من العدد الطبيعي للكروموسومات (2n+1)، أو عددًا أقلَّ من عددها الطبيعي (2n–1)، علمًا بأنَّ العدد الطبيعي يساوي (2n).

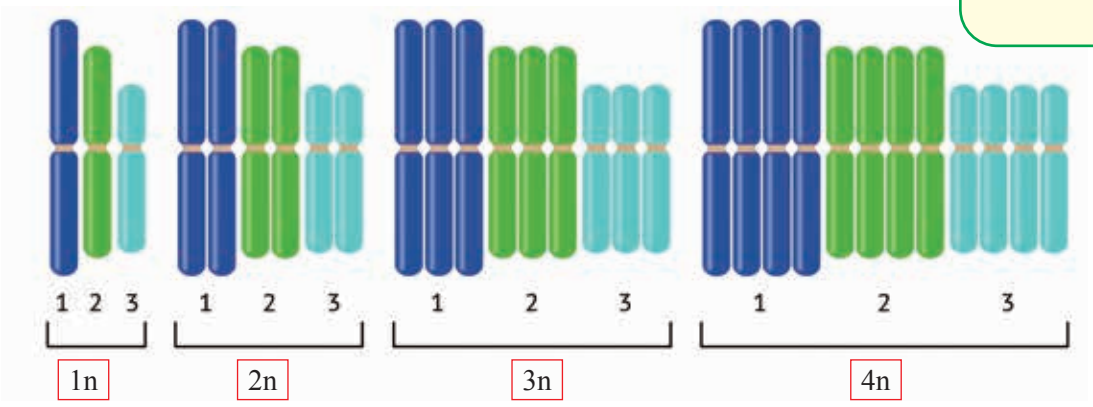
أتحقَّق:

- أُوضِّح نتيجة عدم انفصال كروموسومين مُتماثِلين أثناء المرحلة الأولى من الانقسام المُنصِّف.
- **أُقيِّم:** في أيِّ المرحلتين يُعَدُّ حدوث عدم الانفصال أكثر خطورة؟ أُبرِّر إجابتي.

أُفكِّر: أتوقَّع عدد الكروموسومات في كل جاميت من الجاميتات الناتجة بافتراض عدم انفصال زوجين من الكروموسومات المُتماثِلة أثناء الانقسام المُنصِّف.

تعدُّد المجموعة الكروموسومية Polyploidy

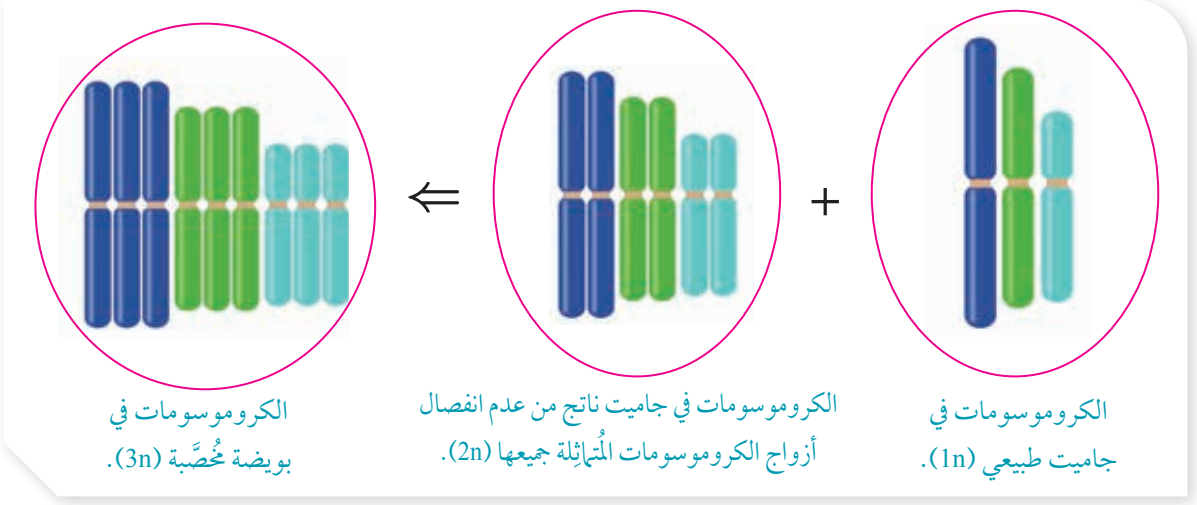
تحتوي بعض الكائنات الحيَّة على أكثر من مجموعتين من الكروموسومات في خلاياها الجسمية، في ما يُعرَف **بتعدُّد المجموعة الكروموسومية Polyploidy**، كأنْ تكون الخلايا ثلاثية المجموعة الكروموسومية (3n)، أو رباعية المجموعة الكروموسومية (4n)، أنظر الشكل (31).



الشكل (31): مجموعات كروموسومية.

تنتج الخلية ثلاثية المجموعة الكروموسومية (3n) عند إخصاب جاميت ثنائي المجموعة الكروموسومية (2n) ناتج من عدم انفصال أزواج الكروموسومات المُتماثِلة جميعها مع جاميت آخر طبيعي أُحادي المجموعة الكروموسومية (1n)؛ فتنتج بويضة مُخصَّبة ثلاثية المجموعة الكروموسومية، أنظر الشكل (32).

الشكل (32): إنتاج بويضة مُخصَّبة ثلاثية المجموعة الكروموسومية (3n).



الشكل (33): نبات الكركديه الصيني *Hibiscus rosa* مُتعدِّد المجموعة الكروموسومية.

تظهر حالة تعدُّد المجموعة الكروموسومية في النباتات أكثر منها في الحيوانات، وقد تظهر بسبب عدم انقسام السيتوبلازم في البويضة المُخصَّبة بعد تضاعف كروموسوماتها؛ فتنتج خلية رباعية المجموعة الكروموسومية (4n)، ثم تدخل هذه الخلية في انقسامات متساوية متتالية؛ فينتج جنين خلاياه مُتعدِّدة المجموعة الكروموسومية، أنظر الشكل (33) الذي يُبيِّن نبات الكركديه الصيني *Hibiscus rosa* مُتعدِّد المجموعة الكروموسومية.

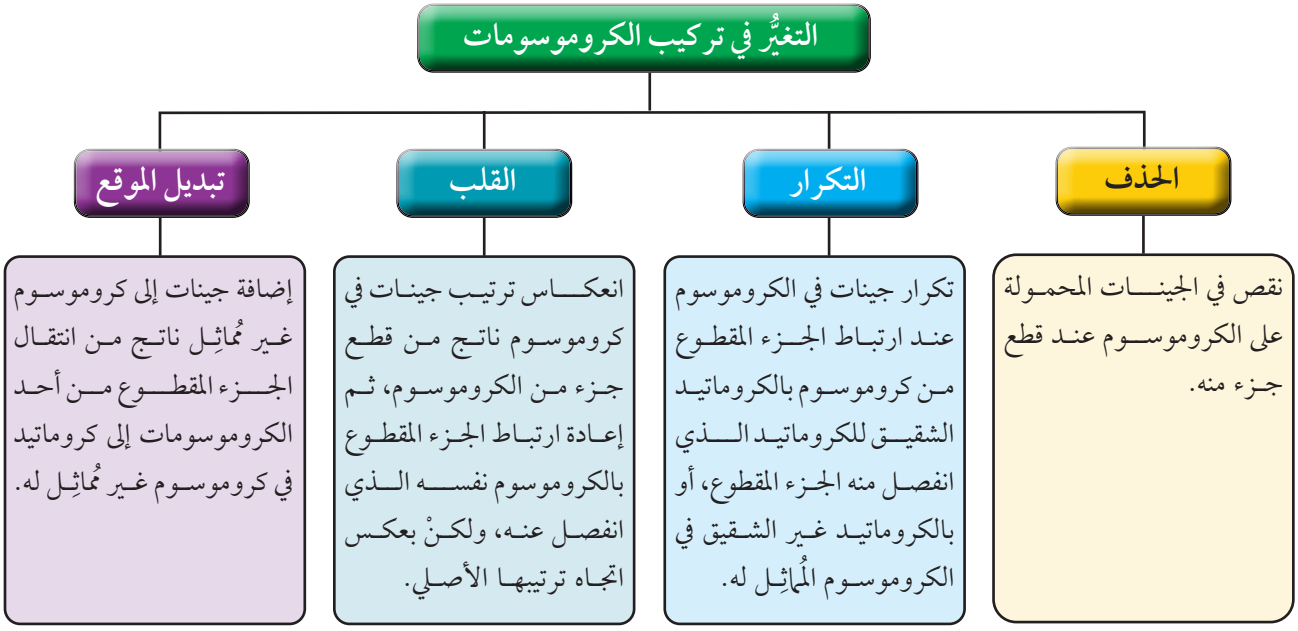
✓ **أتحقَّق:** أُفسِّر سبب وجود بويضة مُخصَّبة ثلاثية المجموعة الكروموسومية.

التغيُّر في تركيب الكروموسومات Changes in Chromosome Structure

يحدث أثناء الانقسام المُنصِّف أحيانًا قطع جزء من أحد الكروموسومات؛ ما يُسبِّب حدوث طفرات تُغيِّر في تركيب الكروموسوم إمّا **بالحذف Deletion**، وإمّا **بالتكرار Duplication**، وإمّا **بالقلب Inversion**، وإمّا **بتبديل الموقع Translocation**، أنظر الشكل (34).

أتحقَّق: ما أنواع الطفرات التي تؤدّي إلى تغيُّر في تركيب الكروموسوم؟

الشكل (34):طفرات تُغيِّر في تركيب الكروموسوم.



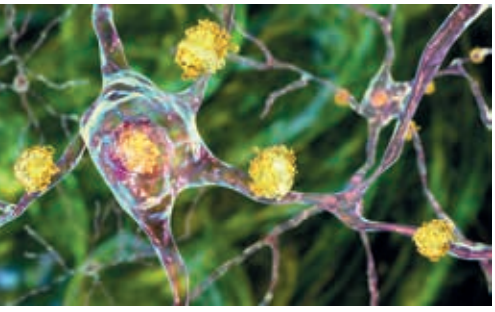
أفكِّر: أُفسِّر: قد تكون طفرة الحذف مميتة لدى الذكر عند حدوثها في الكروموسوم X.

لتعرُّف التغيُّر في تركيب الكروموسوم بعد حدوث الطفرة، أنظر الشكل (35).

الشكل (35): طفرات تُغيِّر في تركيب الكروموسوم.

اختلالات ناتجة من الطفرات Disorders Caused by Mutations

اختلالات ناتجة من الطفرات الجينية
Disorders Caused by Genetic Mutations



الشكل (36): بروتين هنتنغتون في الخلايا العصبية.

مرض هنتنغتون Huntington's Disease

مرض ينتج من طفرة في الجين ***HTT*** تؤدّي إلى زيادة إنتاج بروتين يُسمّى بروتين هنتنغتون الذي يتراكم في الخلايا العصبية، أنظر الشكل (36)، ويُؤثِّر في وظائفها، وتتمثَّل بعض أعراضه في اضطرابات في الحركة، وضعف في الذاكرة.

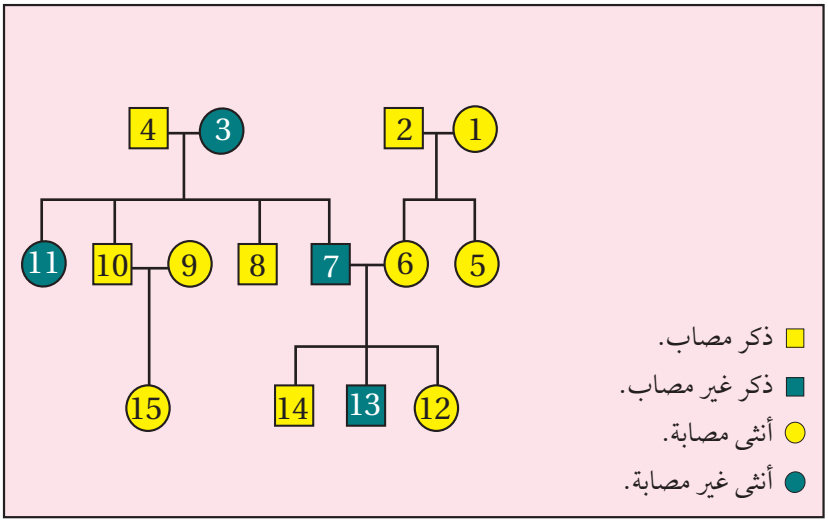
لا تظهر الأعراض على الشخص في أوقات مُبكِّرة من حياته، وإنَّما تبدأ بالظهور في سِنِّ الثلاثينيات أو الأربعينيات، ويُحمَل الأليل السائد المُسبِّب للمرض على الزوج الكروموسومي رقم (4)، وبذلك يكون الطراز الجيني للفرد المصاب مُتماثِل الأليلات (HH)، أو غير مُتماثِل الأليلات (Hh)، في حين يكون الطراز الجيني للفرد غير المصاب مُتماثِل الأليلات (hh)، أنظر الشكل (37).

التليُّف الكيسي Cystic Fibrosis

ينتج هذا المرض من طفرة في الجين ***CFTR*** المحمول على الزوج الكروموسومي رقم (7)، ويكون الفرد المصاب مُتماثِل الأليلات، وطرازه الجيني هو cc، في حين يكون الفرد غير المصاب مُتماثِل الأليلات (CC)، أو غير مُتماثِل الأليلات (Cc). وقد درسْتُ سابقًا أنَّ المخاط الكثيف يتراكم في بعض أجزاء جسم الفرد المصاب بمرض التليُّف الكيسي، مثل: الرئتين، والبنكرياس، والقناة الهضمية. وهذا التراكم يؤدّي إلى ظهور أعراض عِدَّة، منها: التهابات في الرئة، وسوء امتصاص المواد من الأمعاء الدقيقة إلى الدم.

أُفكِّر: أُفسِّر: يُمكِن لشاب لا تظهر عليه أعراض مرض هنتنغتون إنجاب ذكور مصابين بهذا المرض.

أتحقَّق: أذكر مثالًا على اختلال وراثي ينتج من أليل سائد، ومثالًا آخرَ على اختلال وراثي ينتج من اجتماع أليلين مُتنحِّيين.



الشكل (37): سجل نسبٍ لتوارث مرض هنتنغتون.
أكتب الطرز الجينية لجميع الأفراد الوارد ذكرهم في سجل النسب.

اختلالات ناتجة من تغيُّر عدد الكروموسومات

Disorders Caused by a Change in the Number of Chromosomes

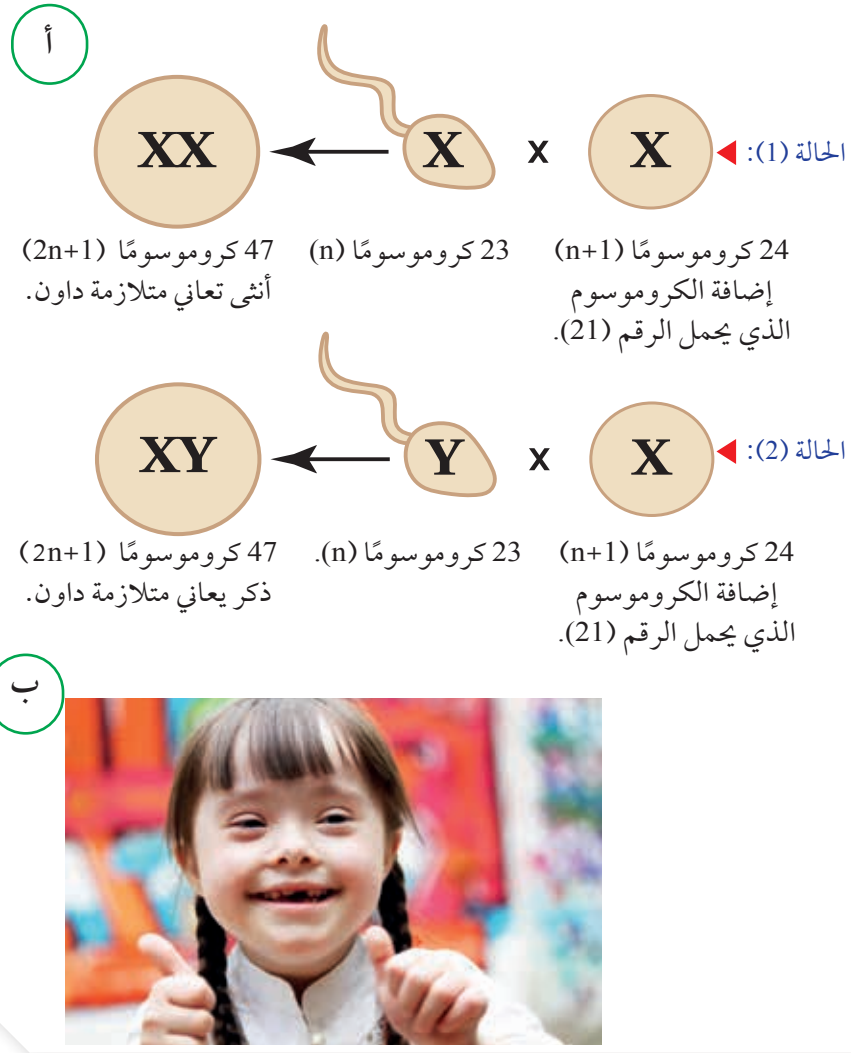
متلازمة داون Down Syndrome

يكون للذكر أو الأنثى من ذوي متلازمة داون ملامح وجه مُميَّزة مثل الوجه المُسطَّح، وقد يعاني مشكلات في القلب والجهاز الهضمي.

تحتوي كل خلية من الخلايا الجسمية لَمَنْ يعاني متلازمة داون على 47 كروموسومًا، ويحدث ذلك بسبب عدم انفصال زوج الكروموسومات الجسمية الذي يحمل الرقم (21) عند الأنثى أو الذكر؛ فينتج جاميت يحوي كروموسومًا جسميًّا إضافيًّا، ويكون عدد الكروموسومات فيه (n+1). وعند إخصابه مع جاميت طبيعي، عدد الكروموسومات فيه n، تنتج بويضة مُخصَّبة تحوي كروموسومًا جسميًّا إضافيًّا، ويكون عدد الكروموسومات فيها (2n+1)، أنظر الشكل (38/ أ ، ب).

أُنظِّم المعلومات التي تعلَّمْتُها عن متلازمة داون، ثم أُعِدُّ فلمًا عنها باستخدام برمجية Movie Maker، مُدعَّمًا بالصور، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

أتحقَّق: أُوضِّح الأعراض التي تظهر على شخص يعاني متلازمة داون.



الشكل (38):

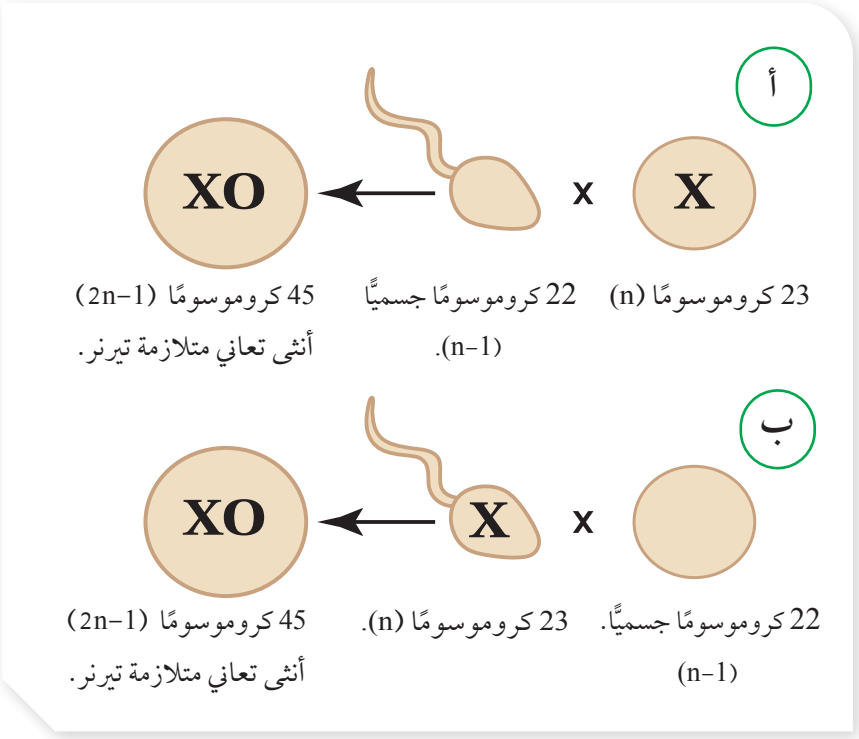
أ- حالتا إخصاب نتج من كلٍّ منهما ذكر وأنثى يعانيان متلازمة داون.

ب- أنثى تعاني متلازمة داون.

أستنتج: أيُّ الجاميتات نتج من عدم انفصال الكروموسومين الجسميين في الحالة (1) والحالة (2)؟

متلازمة تيرنر Turner Syndrome

تحدث هذه المتلازمة بسبب عدم انفصال زوج الكروموسومات الجنسية عند الذكر أو الأنثى؛ فينتج جاميت يحوي (n–1). وعند إخصابه مع جاميت طبيعي (n)، تنتج بويضة مُخصَّبة (2n–1)، طرازها الكروموسومي الجنسي هو XO. تكون الأنثى المصابة بهذه المتلازمة قصيرة القامة، وعقيمة في أغلب الأحيان، وتعاني اضطرابات في القلب والأوعية الدموية، وضعفًا في السمع. أمّا عدد الكروموسومات في كل خلية من خلاياها الجسمية فيبلغ 45 كروموسومًا، أنظر الشكل (39).



الشكل (39): حالتا إخصاب نتج من كلٍّ منهما أنثى تعاني متلازمة تيرنر.

أستنتج: أيُّ الجاميتات نتج من عدم انفصال الكروموسومين الجنسيين في الحالة (أ) والحالة (ب)؟

الربط بالمجتمع

أُحاوِل أنْ أكون فاعلًا

يتباين الأفراد الذين يعانون متلازمة داون في قدراتهم العقلية، ويُحفِّز الدعم المعنوي لهم من العائلة والمجتمع والمُتخصِّصين في تدريب هذه الفئة على مشاركتهم في أنشطة عديدة، وإكسابهم مهارات مُتنوِّعة تُعِدُّهم لدخول سوق العمل؛ كلٌّ بحسب قدراته وإمكاناته؛ إذ يُسهِم التدريب في صقل شخصياتهم، ومنحهم فرصة الاندماج في المجتمع، وتوفير دخل مادي لهم؛ ما يساعدهم على تحقيق الذات، والاعتماد على النفس.

الربط بالصحة

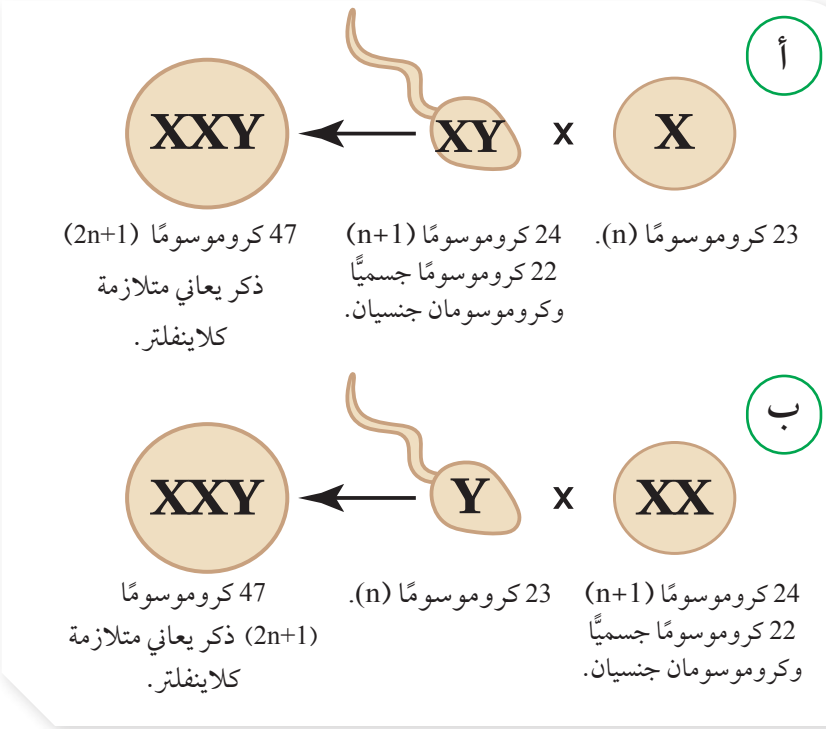
فحص ما قبل الزواج

اهتمَّت وزارة الصحة الأردنية ببرامج الوقاية من الأمراض الوراثية، مثل البرنامج الإلزامي لفحص ما قبل الزواج؛ للكشف عن مرض الثلاسيميا (فقر دم حوض البحر الأبيض المُتوسِّط)؛ وهو فقر دم وراثي ناتج من طفرة جينية تؤدّي إلى تكسُّر خلايا الدم الحمراء. وقد أصبح هذا الفحص إلزاميًّا لكل المُقبِلين على الزواج، بَدْءًا بعام 2004م؛ ما أسهم في خفض أعداد المواليد المصابين بهذا المرض.

أفكّر: إذا أُصيب أحد الأفراد بمتلازمة كلاينفلتر ومتلازمة داون، **فأتوقّع** طرازه الكروموسومي الجنسي، وعدد كروموسوماته الجسمية.

متلازمة كلاينفلتر Klinefelter Syndrome

تحدث هذه المتلازمة بسبب عدم انفصال زوج الكروموسومات الجنسية عند الذكر أو الأنثى؛ فينتج جاميت يحوي (n+1). وعند إخصابه مع جاميت طبيعي (n)، تنتج بويضة مُخصَّبة (2n+1)، أنظر الشكل (40)، ويبلغ عدد الكروموسومات في كل خلية من خلاياه الجسمية 47 كروموسومًا. من أعراض هذه المتلازمة: صعوبات في التعلُّم، وصغر في حجم الخصيتين.



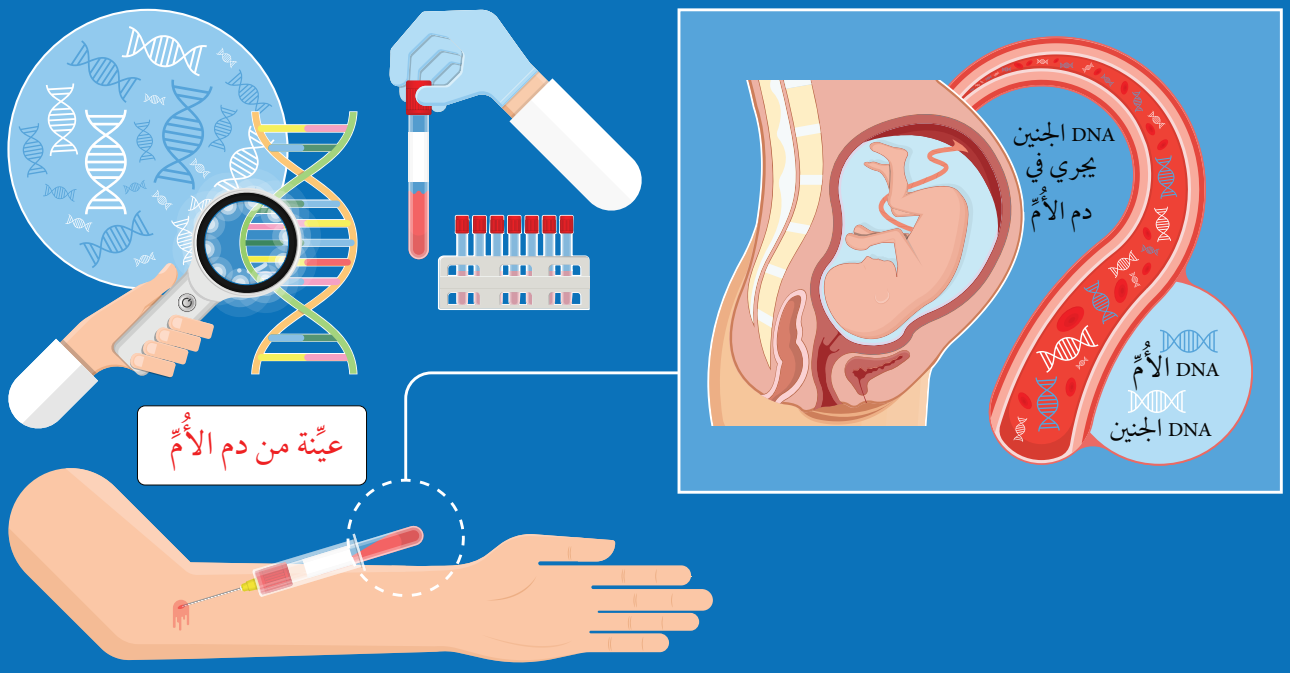
الشكل (40): حالتا إخصاب نتج من كلٍّ منهما ذكر يعاني متلازمة كلاينفلتر.

أستنتج: أيُّ الحالتين تدلُّ على عدم انفصال الكروموسومين الجنسيين أثناء تكوين الجاميتات الذكرية؟ أُبرِّر إجابتي.

أفكّر: من الاختلالات الوراثية في عدد الكروموسومات الجنسية، وجود أنثى ثلاثية الكروموسوم الجنسي (X)، وطرازها الكروموسومي الجنسي هو (XXX)، وعدد الكروموسومات الكلي في خلاياها 47 كروموسومًا. **أتوقّع:** أيُّ حالتي الإخصاب الآتيتين قد ينتج منهما ولادة أنثى ثلاثية الكروموسوم الجنسي:(حيوان منوي يحوي 22 كروموسومًا جسميًّا + كروموسوم جنسي Y) وبويضة (22 كروموسومًا جسميًّا + كروموسومين جنسيين (XX))، أم (حيوان منوي يحوي 22 كروموسومًا جسميًّا + كروموسوم جنسي X) وبويضة (22 كروموسومًا جسميًّا + كروموسومين جنسيين (XX))؟

الكشف عن الاختلالات الوراثية لدى الإنسان
Detection of Genetic Disorders in Human

يُمكِن تشخيص الاختلال في عدد الكروموسومات بأخذ خلايا من الشخص تحتوي على نواة، ثم عمل مُخطَّط كروموسومي يُبيِّن عدد الكروموسومات. بعد ذلك تُقارَن الكروموسومات بمُخطَّط كروموسومي طبيعي؛ لتعرُّف الخلل في عدد الكروموسومات (إنْ وُجِد). يُمكِن أيضًا الكشف عن وجود أليل يُسبِّب اختلالًا وراثيًّا للشخص إذا كان تسلسل النيوكليوتيدات في هذا الأليل معروفًا.

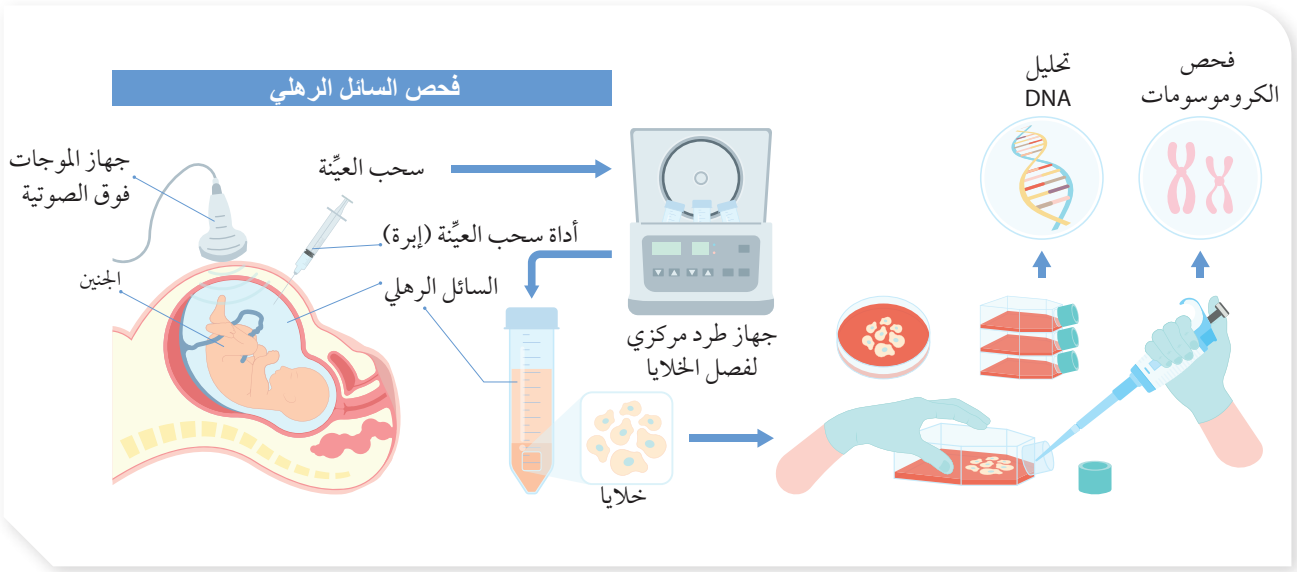


الشكل (41): أخذ عيِّنة من دم الأُمِّ لفحص DNA للجنين.

تشخيص الاختلالات الوراثية لدى الجنين
Detection of Genetic Disorders in Fetus

يُمكِن الكشف عن الاختلالات الوراثية لدى الجنين بطرائق عِدَّة، منها: أخذ عيِّنة دم من الأُمِّ الحامل بعد الأسبوع العاشر من الحمل؛ إذ يحتوي دمها على قطع صغيرة من DNA للجنين، يُمكِن استخدامها في الكشف عن بعض الاختلالات لدى الجنين، أنظر الشكل (41).

يُمكِن أيضًا تشخيص الاختلالات الوراثية لدى الجنين بأخذ عيِّنة من خملات الكوريون، أو من السائل الرهلي اللذيْنِ درسْتُهما سابقًا؛ إذ إنَّ الكروموسومات الموجودة في خملات الكوريون هي نفسها الموجودة في خلايا الجنين، فضلًا عن احتواء السائل الرهلي على خلايا خاصة بالجنين، وهرمونات، ومواد أُخرى ذات علاقة بنموه. وفي كلتا الحالتين، تُؤخَذ عيِّنة عن طريق إبرة، ويُستخدَم جهاز الموجات فوق الصوتية في تحديد المكان المناسب لأخذ العيِّنة. بعد ذلك تُفصَل خلايا الجنين عن السائل الرهلي باستخدام جهاز الطرد المركزي، ثم تُزرَع للحصول على كمِّية كافية منها. أمّا عيِّنة خملات الكوريون فتحتوي غالبًا على كمِّية كافية من الخلايا.



الشكل (42): فحـــص الاختـــلالات الوراثية بأخذ عيِّنة من السائل الرهلي.

تُفحَص خلايا العيِّنتين لتعرُّف عدد الكروموسومات، وتحليل DNA، لتحديد إنْ كان الجنين مصابًا باختلال وراثي (مثل: متلازمة داون، والتليُّف الكيسي) أم لا، أنظر الشكل (42) الذي يُبيِّن خطوات تشخيص الاختلالات الوراثية بأخذ عيِّنة من السائل الرهلي.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** **أُصنِّف** الطفرات الآتيـة إلى جينيـة وكروموسومية: الاستبدال، تبديـل الموقع، إضافـة زوج من النيوكليوتيدات، التكرار، القلب.
2. **أُميِّز** طفرة التكرار من طفرة تبديل الموقع.
3. **أُقارِن** بين كلٍّ ممّا يأتي:

أ- متلازمة كلاينفلتر ومتـلازمة تيرنر من حيث: جـنس الفرد، وعـدد الكروموسومات الجسمية والجنسية في الخلية الجسمية.

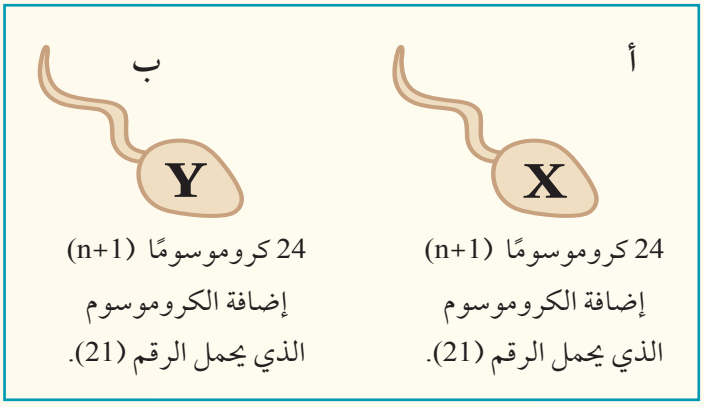
ب- طفرة الاستبدال وطفرة الإزاحة من حيث التأثير.

4. أُوظِّف البيانات الوارد ذكرها في الشكل (أ) والشكل (ب) في الإجابة عن الأسئلة الآتية:

أ- **أحسُبُ** عـدد الكـروموسومـات في البويضـة المُخصَّبة الناتجة من إخصاب الحيـوان المنوي لبـويضة طبيعيـة في الحالة (أ) والحالة (ب).

ب- **أُحـدِّد** الجـنس في كل بويضـة مُخصَّبة ناتجة في كلتا الحالتين.

جـ- **أستنتـج** اسم المتلازمة في كلتا الحالتين.



5. **أُفسِّر:** يُعَدُّ مرض هنتنغتون ومرض التليُّف الكيسي من الأمراض غير المُرتبِطة بالجنس.
6. أُحدِّد نوع كلٍّ من الطفرة رقم (1)، والطفرة رقم (2) في الشكل الآتي.

	قبل حدوث الطفرة	الطفرة (1)	الطفرة (2)
DNA	TTC	ATC	TCC
mRNA	AAG	UAG	AGG
	Lys	STOP	Arg

التكنولوجيا الحيوية
Biotechnology

الدرس 4

الفكرة الرئيسة:

تُستخدَم في التكنولوجيا الحيوية أدوات تعمل على تعديل المادة الوراثية DNA، وتكثيرها، وفصلها. وقد وظَّف الإنسان هذه الأدوات في مجالات عِدَّة، لا سيَّما الطبية والزراعية منها.

نتاجات التعلُّم:

- أَصِف التقنيات والأدوات المختلفة المُستخدَمة في معالجة DNA.
- أُوضِّح بعض تطبيقات التكنولوجيا الحيوية المختلفة في الطب، والزراعة، وتربية الحيوانات.
- أُوضِّح مفهوم هندسة الجينات، وأُبيِّن دورها في إنتاج مُنتَجات مفيدة للإنسان.
- أَصِف مشروع الجينوم البشري والمشروعات المُرتبِطة به.

المفاهيم والمصطلحات:

النهايات اللزجة	Sticky Ends
النهايات غير اللزجة	Blunt Ends
البلازميدات	Plasmids
تفاعل إنزيم البلمرة المُتسلسِل	Polymerase Chain Reaction
سلاسل البَدْء	Primers
البصمة الوراثية	DNA Fingerprinting
العلاج الجيني	Gene Therapy
المعلوماتية الحيوية	Bioinformatics

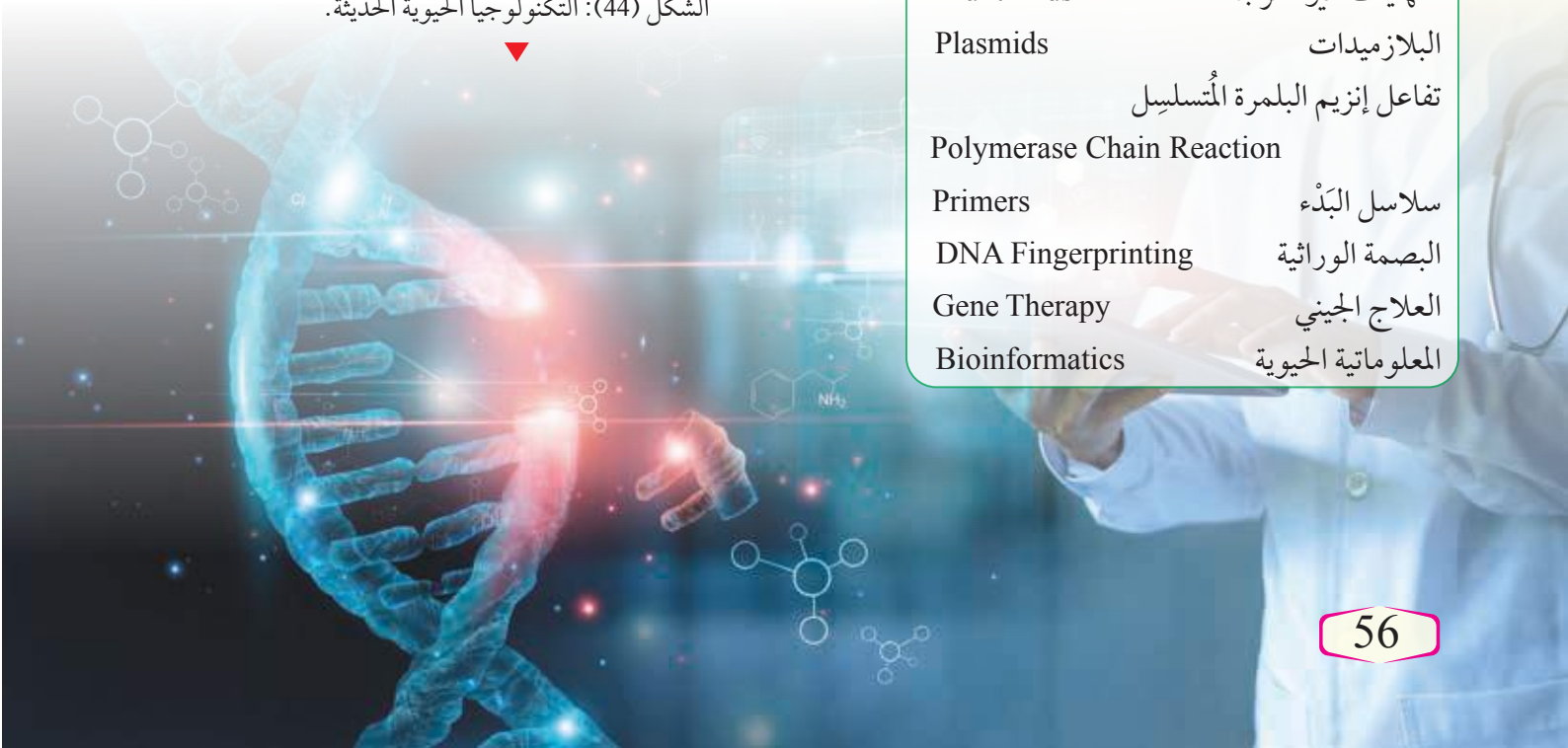
التكنولوجيا الحيوية Biotechnology

فرع من فروع العلوم الحياتية، يهتمُّ بتوظيف الكائنات الحيَّة والمعلومات المُتعلِّقة بها في مجالات عِدَّة، واستخدامها في صنع بعض المُنتَجات وتطويرها لخدمة البشرية.

الشكل (43): بعض المُنتَجات الغذائية.

استخدم الإنسان بعض الكائنات الحيَّة ومُنتَجاتها منذ القِدَم لتحسين مناحي حياته، مثل: إضافة الخميرة إلى الطحين لإعداد الخبز، وإدخال البكتيريا في عمليات التعدين وصناعة الألبان ومُنتَجاتها، أنظر الشكل (43). وفي ظلِّ التطوُّر في علم الوراثة والبيولوجيا الجزيئية، أصبح الإنسان يستخدم الكائنات الحيَّة بعد تعديل المادة الوراثية فيها ومعالجتها، ثم ينقلها إلى كائن حيٍّ آخر، أنظر الشكل (44).

الشكل (44): التكنولوجيا الحيوية الحديثة.



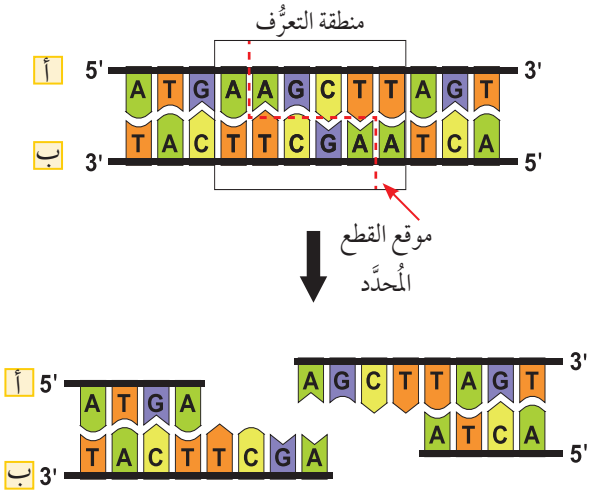
أدوات التكنولوجيا الحيوية Biotechnology Tools

تتطلَّب التكنولوجيا الحيوية وجود أدوات ومواد مختلفة، مثل: إنزيمات الحمض النووي DNA، ونواقل الجينات.

إنزيمات الحمض النووي DNA

إنزيمات القطع المُحدَّد Restriction Enzymes

إنزيمات مُتخصِّصة تتعرَّف تسلسلًا مُحدَّدًا من النيوكليوتيدات في منطقة تُسمّى منطقة التعرُّف، ويكون تسلسل النيوكليوتيدات في إحدى سلسلتي DNA (من النهاية 5′ إلى النهاية 3′) هو التسلسل نفسه للسلسلة المُقابِلة لها (من النهاية 5′ إلى النهاية 3′) في منطقة التعرُّف، وتقطع هذه الإنزيمات جزيء DNA عند مواقع مُحدَّدة بين نيوكليوتيدين متتاليين، تُسمّى مواقع القطع، أنظر الشكل (45). وقد تتكرَّر مناطق تعرُّف إنزيم قطع مُحدَّد ما على جزيء DNA ، فيَقطع في أكثر من موقع، بحيث يُنتِج أجزاءً مُتعدِّدة الأطوال من DNA.



الشكل (45): منطقة التعرُّف، وموقع القطع لإنزيم القطع المُحدَّد Hind III .

أُدوِّن تسلسل النيوكليوتيدات في منطقة التعرُّف من 5′ إلى 3′ في السلسلة (أ) والسلسلة (ب).

أتحقَّق: أُوضِّح المقصود بإنزيمات القطع المُحدَّد.

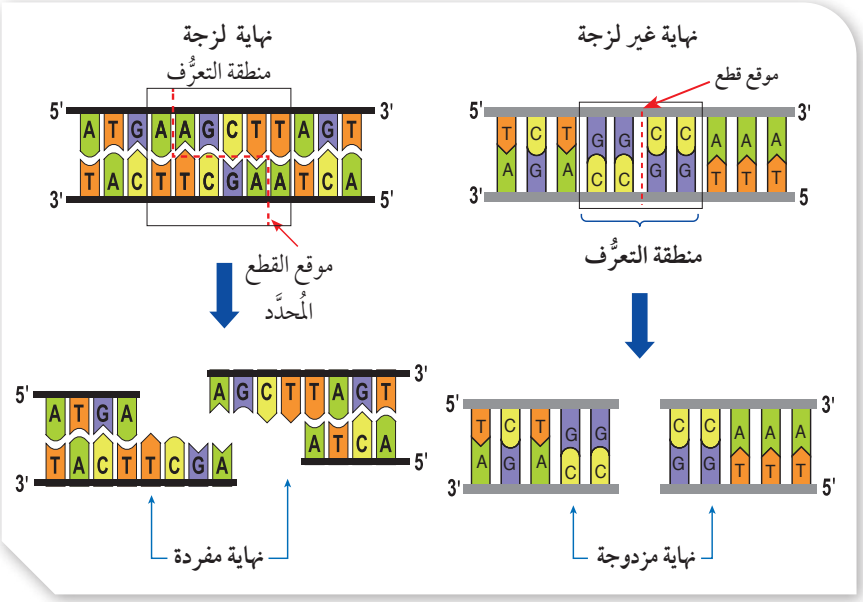
تُنتِج أنواع مختلفة من البكتيريا إنزيمات القطع للدفاع عن نفسها ضد أنواع مختلفة من الفيروسات، وتُسمّى الإنزيمات تبعًا لجنس البكتيريا المُنتِجة لها، ونوعها، وترتيب اكتشاف الإنزيم، أنظر الجدول (4).

الجدول (4): بعض أنواع إنزيمات القطع المُحدَّد.

إنزيم القطع المُحدَّد	اسم الجنس للبكتيريا	النوع	السلالة	السلالة الفرعية	رقم الإنزيم بحسب ترتيب اكتشافه
EcoR I	*Escherichia*	*coli*	R	–	1
BamH I	*Bacillus*	*amyloliquefaciens*	H		1
Hind III	*Haemophillus*	*influenzea*	d	–	3
Pst I	*Providencia*	*stuartii*	–	–	1

ينتج من بعض إنزيمات القطع المُحدَّد قطع من DNA ذات أطراف مفردة، وهي تتكوَّن من سلسلة واحدة من النيوكليوتيدات، تُسمّى **النهايات اللزجة Sticky Ends**، ويسهل التحامها بنهاية لزجة مُتمِّمة لها من قطعة DNA أُخرى. وكذلك ينتج من بعض إنزيمات القطع المُحدَّد قطع DNA مزدوجة تتكوَّن نهاياتها

من سلسلتين من النيوكليوتيدات، وتُسمّى **النهايات غير اللزجة Blunt Ends**، ويصعب التحامها بسلاسل أُخرى؛ ما يحدُّ من استخدامها في التكنولوجيا الحيوية، أنظر الشكل (46).



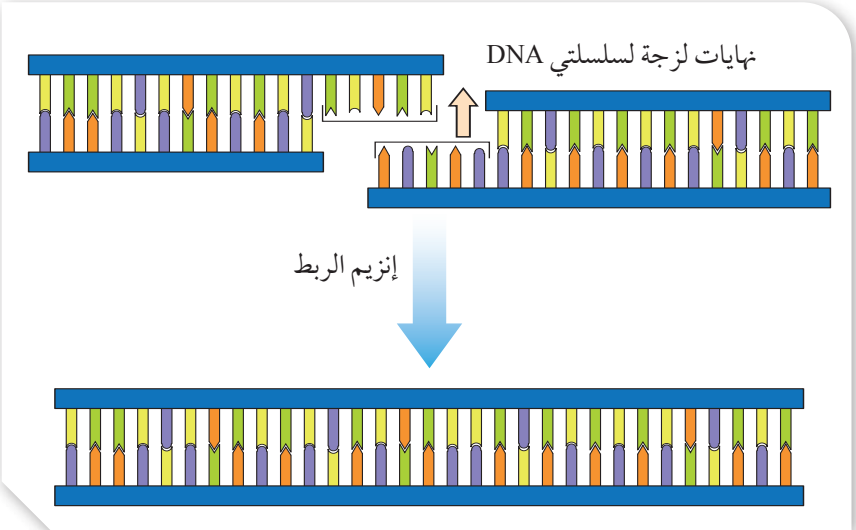
الشكل (46): قطع DNA ناتجة من إنزيمات لقطع مُحدَّد ذات نهايات غير لزجة وأُخرى لزجة.
أُحدِّد على الشكل النهايات اللزجة، والنهايات غير اللزجة.

إنزيم الربط DNA Ligase

يُستخدَم إنزيم الربط في التكنولوجيا الحيوية لإنتاج DNA مُعاد تركيبه، وذلك بتكوين روابط تساهمية فوسفاتية ثنائية الإستر بين نهايات سلسلتي DNA؛ ما يؤدّي إلى التحامهما، أنظر الشكل (47).

إنزيم بلمرة DNA مُتحمِّل الحرارة Taq DNA Polymerase

إنزيم يُستخدَم في بلمرة DNA، ويُستخلَص من نوع بكتيريا مُحِبَّة للحرارة ***Thermus aquaticus*** تعيش في الينابيع الحارَّة.

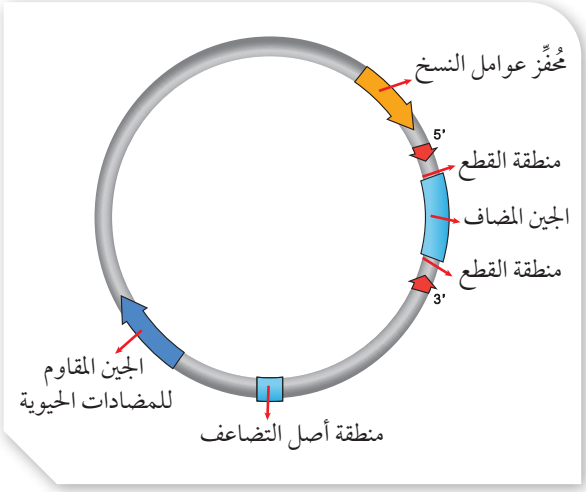


الشكل (47): آليَّة عمل إنزيم الربط.
أُوضِّح نوع الروابط التي يُكوِّنها إنزيم الربط.

نواقل الجينات Vectors

تُستخدَم نواقل الجينات لنقل الجين المرغوب فيه إلى الخلية الحيَّة المُستهدَفة، ومن الأمثلة على ذلك:

البلازميـــدات Plasmids: DNA حلقـــي في سيتـــوبلازم البكتيريا، وهو يتضـاعف بصورة مستقلة. تحتـــوي البلازميدات المُستخدَمة في التكنولوجيا الحيوية على منطقة مُحفِّز عوامل النسخ Promoter، ومنـــاطق تعرُّف إنزيـمات القطـــع المُحدَّد، وجينات لمقاومة أنواع مختلفة من المضادات الحيوية، ومنطقة أصل التضاعف Origin of Replication (ORI) التي تسمح بتضاعف البلازميد، أنظر الشكل (48).

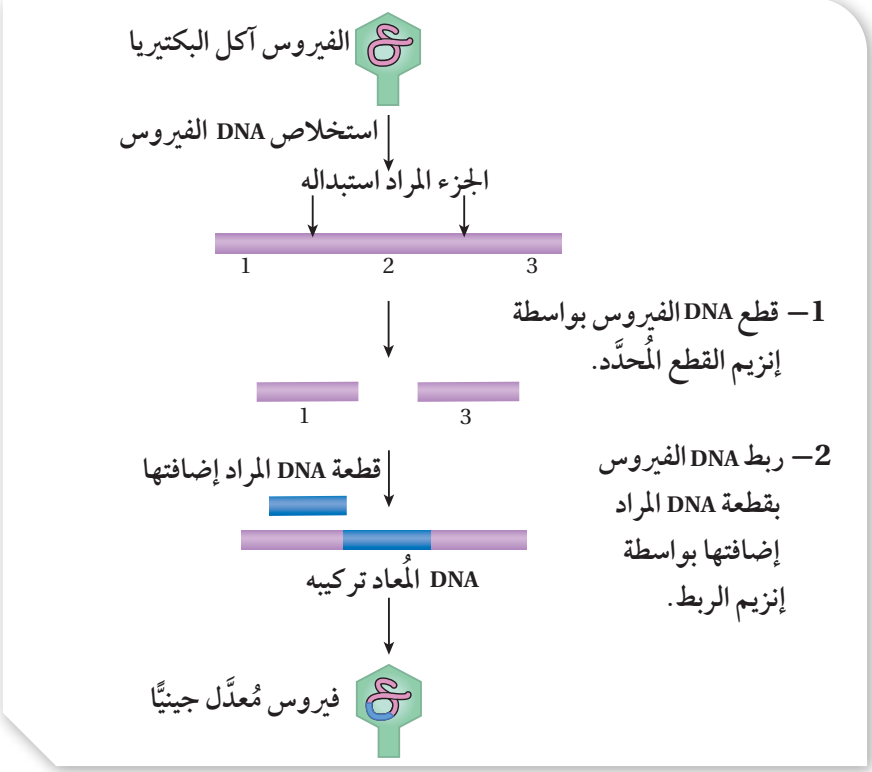


الشكل (48): البلازميد المُعاد تركيبه.

الفيروسات آكلة البكتيريا Bacteriophages: تُستخـــدَم بعض أنواع الفيروسات آكلة البكتيريا نواقل جينية عندما تكون قطع DNA المراد نقلها كبيرة الحجم بعد تعديلها جينيًّا باستخدام إنزيمات القطع المُحدَّد وإنزيم الربط، أنظر الشكل (49).

الجُسَيْمات الدهنية Liposomes: حويصلات كروية من الليبيدات المفسفرة Phospholipids تُستعمَل لنقل الأليلات السليمة أو الأدوية في المعالجة الجينية.

✓ **أتحقَّق:** أُوضِّـــح دور منطقة أصل التضاعـف في البلازميد.



الشكل (49): التعديل الجيني للفيروس آكل البكتيريا.

نشاط

محاكاة عمل إنزيمات القطع المُحدَّد

تُنتِج أنواع مختلفة من البكتيريا إنزيمات القطع للدفاع عن نفسها ضد أنواع مختلفة من الفيروسات، وهي إنزيمات مُتخصِّصة تتعرَّف تسلسلًا مُحدَّدًا من النيوكليوتيدات، وتقطع جزيء DNA عند مواقع مُحدَّدة بين نيوكليوتيدين متتاليين. وقد يتكرَّر التسلسل الذي يتعرَّفه إنزيم قطع مُحدَّد ما على جزيء DNA، فيقطع في أكثر من موقع؛ ما يؤدّي إلى إنتاج أجزاء مُتعدِّدة الأطوال من DNA.

المواد والأدوات: 4 نسخ من تسلسل جزيء DNA التالي، مقص، 4 أقلام مختلفة الألوان.

5′ - GAATTCTCGAGGATCCTTCCAAAAGCTTCCTTGAGGCCAAAA-3′
3′ - CTTAAGAGCTCCTAGGAAGGTTTTCGAAGGAACTCCGGTTTT-5′

إرشادات السلامة: استعمال المقص بحذر.

الإنزيم	منطقة التعرُّف	موقع القطع
EcoRI	5- GAATTC-3′ 3′-CTTAAG-5′	5′-G|AATTC-3′ 3′-CTTAA|G-5′
BamHI	5′-GGATCC-3′ 3′-CCTAGG-5′	5′-G|GATCC-3′ 3-CCTAG|G-5′
HindIII	5′-AAGCTT-3′ 3′-TTCGAA-5′	5′-A|AGCTT-3′ 3′-TTCGA|A-5′
HaeIII	5′-GGCC-3′ 3′-CCGG-5′	5′-GG|CC-3′ 3′-CC|GG-5′

خطوات العمل:

1. مُعتمِدًا الجدول أعلاه، أُحدِّد مناطق التعرُّف وموقع القطع لكل إنزيم على حِدَة على نسخ جزيء DNA.
2. **أُلاحِظ** قراءة تسلسل النيوكليوتيدات من 5′ إلى 3′ في كلتا السلسلتين في منطقة التعرُّف لكل إنزيم قطع مُحدَّد، ثم أُدوِّن ملاحظاتي.
3. أُلوِّن مناطق التعرُّف ومواقع القطع لكل إنزيم قطع مُحدَّد من الإنزيمات الوارد ذكرها في الجدول.
4. **أُجرِّب:** أستعمل المقص لقص جزيء DNA في موقع القطع لكل إنزيم قطع مُحدَّد من الإنزيمات الوارد ذكرها في الجدول.
5. **أُلاحِظ** شكل القطع الناتجة من كل إنزيم قطع مُحدَّد، ثم أُدوِّن ملاحظاتي.

التحليل والاستنتاج:

1. **أُقارِن** بين نهايات القطع الناتجة من استخدام إنزيمات القطع المُحدَّد في النشاط.
2. **أُفسِّر:** تعدُّد القطع الناتجة أحيانًا عند استخدام إنزيم قطع مُحدَّد.
3. **أتوقَّع:** أيُّ القطع أكثر استخدامًا في هندسة الجينات؟
4. **أُفسِّر** سبب استعمال إنزيم القطع المُحدَّد نفسه لقطع الجين المرغوب، وقطع الناقل الجيني عند إنتاج DNA المُعاد تركيبه.

مضاعفة DNA وفصله

DNA Amplifying and Separating

تفاعل إنزيم البلمرة المُتسلسِل Polymerase Chain Reaction (PCR)

تفاعل إنزيم البلمرة المُتسلسِل Polymerase Chain Reaction (PCR) عملية مضاعفة عيِّنة صغيرة من DNA لإنتاج ملايين النسخ منها خلال ساعات عِدَّة باستخدام جهاز الدورية الحرارية، أنظر الشكل (50)، ويُعْزى إلى العالِم كاري موليس تطوير هذه التقنية.

لإتمام هذا التفاعل، يَلزم وجود عيِّنة DNA التي يراد مضاعفتها، وإنزيم البلمرة مُتحمِّل الحرارة، وأعداد من النيوكليوتيدات الأربعة: A,T,G,C؛ لاستخدامها في بناء سلاسل جديدة، **وسلاسل البَدْء** Primers؛ وهي سلاسل مفردة من النيوكليوتيدات، قد يصل عددها إلى 20 نيوكليوتيدًا أو أكثر، وهي تُصمَّم وَفق تسلسلات مُحدَّدة، بحيث تكون مُتمِّمة لتسلسل النيوكليوتيدات في بداية منطقة التضاعف، ثم ترتبط بها، فتصبح بداية السلسلة المراد بناؤها مزدوجة؛ لأنَّ إنزيم بلمرة DNA مُتحمِّل الحرارة يتطلَّب وجود تسلسل DNA مزدوج لبَدْء بناء السلسلة المُكمِّلة.

✓ **أتحقَّق:** أُوضِّح المقصود بسلاسل البَدْء.

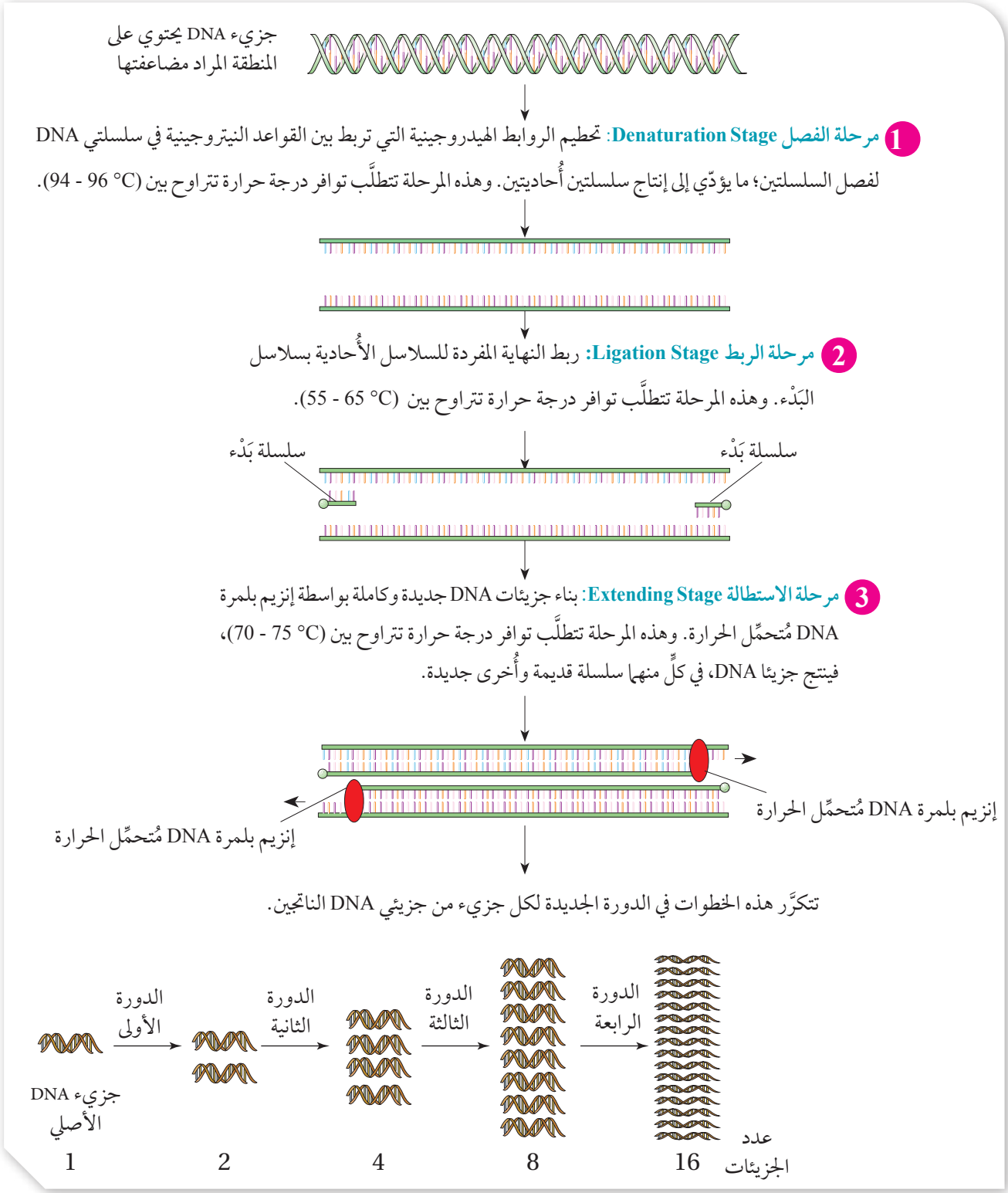
الشكل (50): جهاز الدورية الحرارية.

الشكل (51): خطوات تفاعل إنزيم البلمرة المُتسلسِل.

أحسُبُ عدد جزيئات DNA الناتجة بعد 5 دورات في جهاز الدورية الحرارية.

خطوات تفاعل إنزيم البلمرة المُتسلسِل:

توجد ثلاث مراحل أساسية لتفاعل البلمرة في كل دورة من دورات التفاعل، وتعتمد كل مرحلة على درجة حرارة مُعيَّنة، أنظر الشكل (51).



الفصل الكهربائي الهلامي Gel Electrophoresis

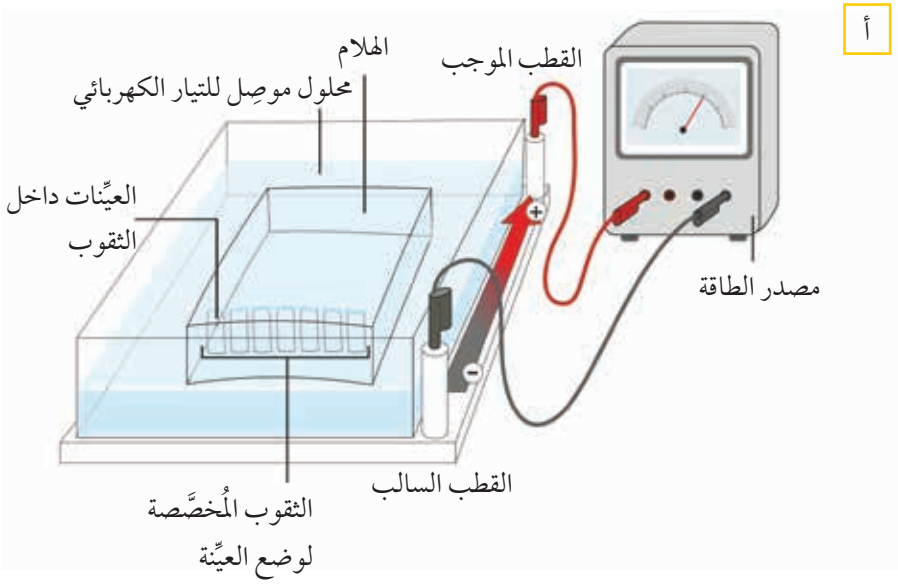
تُفصَل قطع DNA اعتمادًا على شحنتها السالبة والاختلاف في أطوالها، باستخدام جهاز الفصل الكهربائي الهلامي الذي يحوي محلولًا موصِلًا للتيار الكهربائي؛ إذ توضَع عيِّنات DNA داخل ثقوب في المادة الهلامية، ثم يوصَل التيار الكهربائي مدَّة مناسبة؛ فتتحرَّك قطع DNA في اتجاه القطب الموجب، ثم يُفصَل التيار الكهربائي، وتُرفَع المادة الهلامية، وتوضَع في محلول يحوي صبغة خاصة بـ DNA، ثم تُنقَل المادة الهلامية إلى جهاز التصوير باستخدام الأشعة فوق البنفسجية UV؛ فتظهر خطوط تُمثِّل قطع DNA على مسافات مختلفة من القطب السالب تبعًا لطول القطعة.

تتناسب المسافة المقطوعة مع طول القطعة تناسبًا عكسيًّا، أنظر الشكل (52/أ)، وتُمثِّل مجموعة الخطوط الظاهرة خرائط قَطع Restriction Maps، أنظر الشكل (52/ ب)، تُستخدَم في هندسة الجينات، ودراسة الطفرات، والتمييز بين الأفراد كما في البصمة الوراثية.

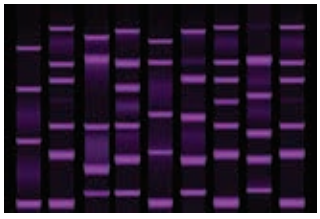
✓ **أتحقَّق:** أربط بين أطوال قطع DNA والمسافة التي تقطعها على المادة الهلامية.

جهاز الفصل الكهربائي الهلامي

أ



ب



الشكل (52):
أ- الفصل الكهربائي الهلامي.
ب- صورة العيِّنات الناتجة من الفصل الكهربائي الهلامي.

تطبيقات التكنولوجيا الحيوية Biotechnology Applications

البصمة الوراثية DNA Fingerprinting

البصمة الوراثية DNA Fingerprint خريطة قطع تُبيِّن توزيع قِطع DNA في عيِّنة DNA التي يراد تحليلها، وتُؤخَذ من نواة خلية حيَّة، مثل: خلايا الدم البيضاء، وجذور الشعر، والخلايا الطلائية.

تُعَدُّ هذه الخريطة باستخدام منطقة تحوي أعدادًا مُتغيِّرةً من تسلسلات DNA المُتكرِّرة Variable Number Tandem Repeats (VNTRs). وهي تختلف من شخص إلى آخر، وتتشابه فقط في التوائم المُتطابِقة؛ لذا تُستخدَم في القضايا القانونية، مثل: تحديد النسب، والتحقيق في الجرائم. وكذلك تُستخدَم في تحديد هوية الضحايا في الكوارث الطبيعية. ففي حالة تحديد النسب، تُحلَّل هذه الخريطة، ثم تُقارَن بنتائج عيِّنات الفحص للأبوين؛ إذ تكون بعض قطع DNA للطفل من الأُمِّ، وبعضها الآخر من الأب. أنظر الشكل (53).

هندسة الجينات Genetic Engineering

يُقصَد بها تعديل DNA للكائن الحيِّ؛ ما يُغيِّر المعلومات الوراثية فيه. وتبعًا لذلك، يتغيَّر نوع البروتينات التي يُكوِّنها، وكمِّيتها؛ ما يؤدّي إلى إنتاج مواد جديدة، أو أداء وظائف جديدة.

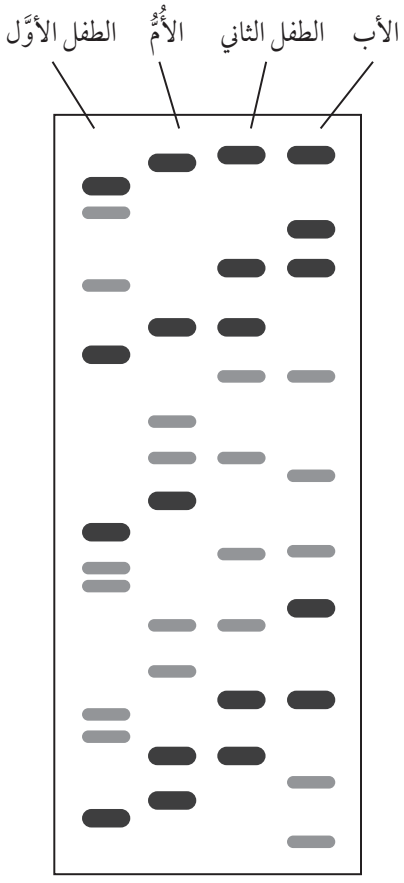
تعتمد هذه العملية على عزل جينات مُحدَّدة من DNA المُتبرِّع، ثم إضافتها إلى DNA المُستقبِل لإنتاج DNA المُعاد تركيبه Recombinant DNA.

تُعَدُّ بعض أنواع بكتيريا ***E. coli*** من الكائنات الحيَّة التي عُدِّلت جينيًّا، وكان الهدف من تعديلها هو إنتاج الأنسولين البشري المُعاد تركيبه.

تطبيقات هندسة الجينات Genetic Engineering Applications

تطبيقات طبية Medical Applications

استُخدِمت هندسة الجينات في إنتاج اللقاحات والبروتينات العلاجية، مثل: هرمون الأنسولين، وهرمون النمو، ومادة تُستعمَل لعلاج العقم، وتُسمّى الفولستم follistim. وكذلك استُخدِمت في **العلاج الجيني Gene Therapy** بتثبيط الجين المسؤول عن إحداث المرض، أو بإدخال نسخة من الجين السليم في خلايا فرد مصاب بمرض وراثي ناتج من اجتماع جينين مُتنحِّيين؛ لتعويض نقص البروتين الوظيفي في الخلايا.

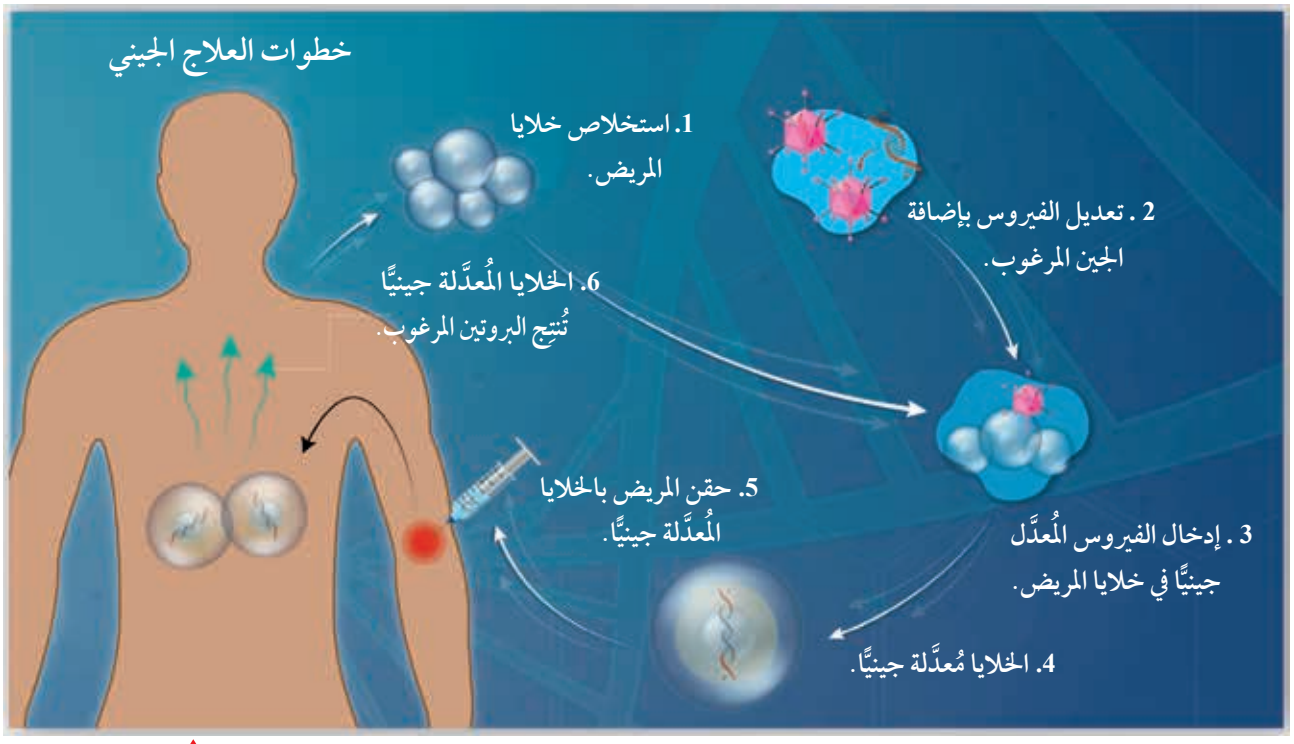


الشكل (53): البصمة الوراثية لطفلين، وأُمٍّ، وأب.

أستنتج: أيُّ الطفلين هو طفل لهذه العائلة؟

الربط بالمؤسسات الوطنية

تُواكِب المؤسسات الوطنية مناحي التطوُّر في التكنولوجيا الحيوية باستحداث تخصُّصات جامعية لدراسة هندسة الجينات والتكنولوجيا الحيوية، فضلًا عن المؤسسات المُتخصِّصة في تقديم الرعاية الصحية للمرضى، مثل المركز الوطني للسكري والغُدَد الصم والوراثة، الذي تجرى فيه فحوص للكشف عن اختلالات وراثية لدى الأفراد، مثل: مرض دوشين، وحُمّى البحر الأبيض المُتوسِّط، وغير ذلك.



الشكل (54): خطوات العلاج الجيني.

أتتبَّع خطوات العلاج الجيني.

من الأمراض التي يُمكِن معالجتها جينيًّا: مرض التليُّف الكيسي، وأنواع مُعيَّنة من نزف الدم، ومرض مناعي يُسمّى ADA-SCID، أنظر الشكل (54) الذي يُبيِّن خطوات العلاج الجيني.

من التحدِّيات التي يُواجِهها استخدام العلاج الجيني: التأكُّد من اندماج الجين المرغوب في المادة الوراثية للخلية التي تحتاج إليه، ثم التأكُّد أنَّ الجين سيكون نشطًا، واختيار ناقل مناسب لا يُحدِث ردود فعل مناعية.

تطبيقات زراعية Agricultural Applications

تُعدَّل النباتات جينيًّا لإكسابها صفات مرغوبة، مثل: زيادة القيمة الغذائية للنبات، وملاءمة الظروف البيئية، ومقاومة الآفات الزراعية، وزيادة إنتاج المحاصيل الزراعية.

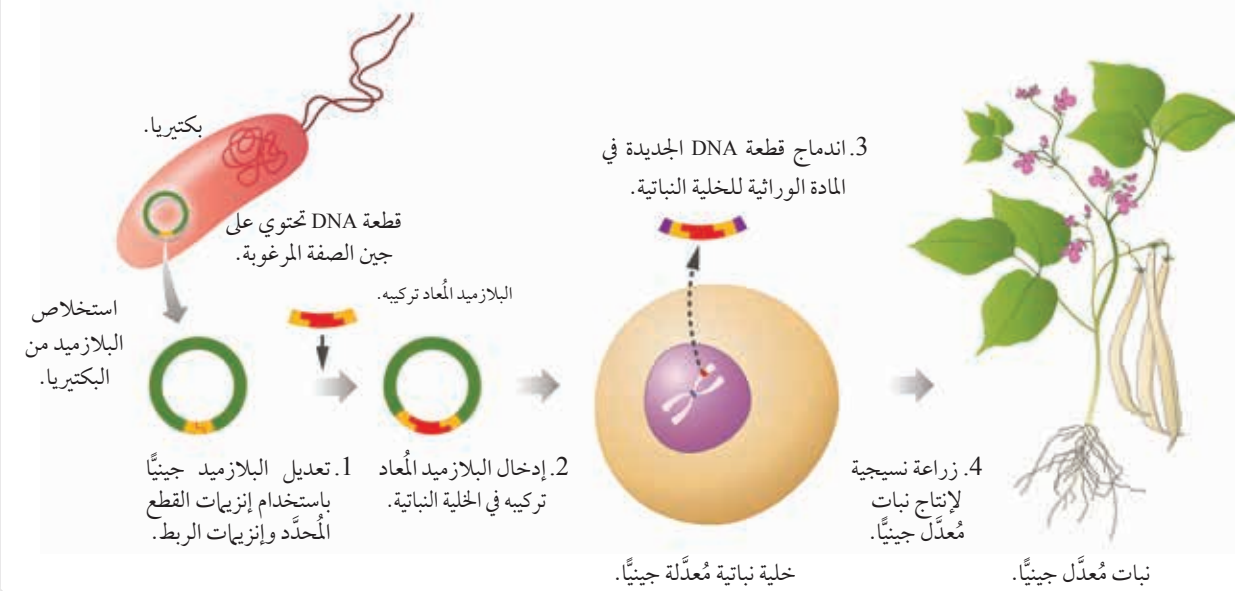
تعتمد هندسة الجينات في النبات على تعديل البلازميد جينيًّا، ونقله إلى بكتيريا تُهاجِم خلايا النبات، وتَدخل خلاياه، ثم دمج الجين ذي الصفات المرغوبة في DNA للنبات؛ فتظهر الصفات الجديدة في النبات المُعدَّل جينيًّا، أنظر الشكل (55).

من الأمثلة على استخدام هندسة الجينات في النباتات: تعديل نبات الأرز جينيًّا لإنتاج كمِّيات أكثر من فيتامين A، وتعديل نبات القطن بإضافة جين مسؤول عن بروتين يُؤثِّر في جهاز الحشرات الهضمي ليصبح محصولًا مُقاوِمًا للحشرات؛ ما يُقلِّل الفاقد من المحصول بسبب الآفات الزراعية.

الربط بالصحة

اضطراب طيف التوحُّد

استطاع العلماء معرفة السبب الجيني لاضطراب طيف التوحُّد ASD بعد دراسة جين **Hoxd 4** و DNA المحيط به، وتقصّي دوره في نمو الدماغ الخلفي في الأَجِنَّة وتطوُّره. وقد توصَّل العلماء إلى أنَّ النمو غير الطبيعي في الجزء الخلفي من الدماغ يُسهِم في تطوُّر اضطراب طيف التوحُّد.



الشكل (55): خطوات التعديل الجيني في النبات.

ومن الأمثلة على استخدام هندسة الجينات في تحسين الإنتاج الحيواني: تعديل بعض صفات الحيوان لزيادة إنتاجه من الحليب، أو البيض، أو اللحوم، وزيادة مقاومة الأمراض في الحيوانات، واستخدام فئران التجارب المُعدَّلة جينيًّا في دراسة تطوُّر الأمراض وتأثير الأدوية.

الاستنساخ Cloning

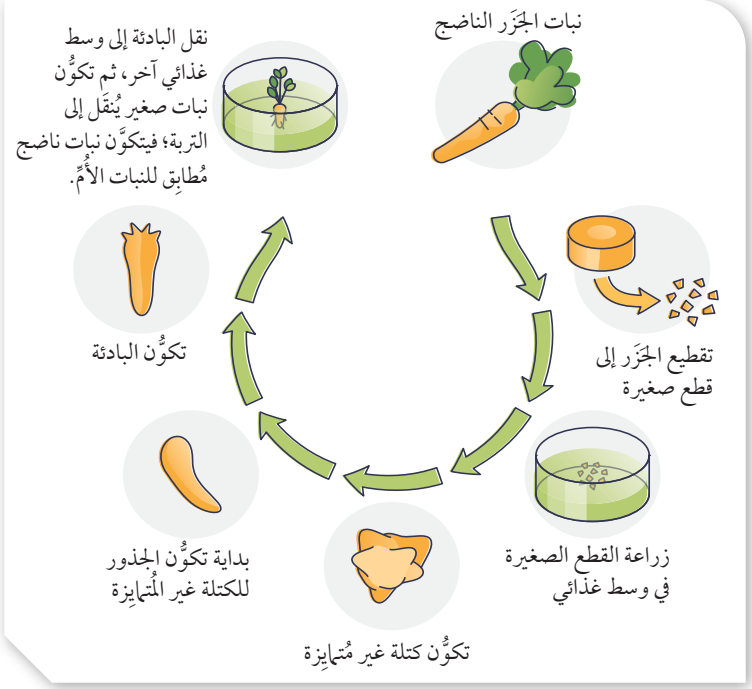
إنتاج كائن حيٍّ مُتعدِّد الخلايا من خلية واحدة، بحيث يتطابق وراثيًّا مع الكائن الحيِّ الذي تبرَّع بالخلية الأصلية المُستنسَخة.

استنساخ النبات Plant Cloning

يُستنسَخ نبات الأوركيد؛ نظرًا إلى أهميته الاقتصادية، وصعوبة تكثيره خضريًّا، وتُستنسَخ نباتات أُخرى؛ لخصائصها المُميَّزة، مثل: جودة المحصول، ومقاومة مُسبِّبات الأمراض النباتية.

استنسخ العالِم ستيوارد F.C Steward نبات الجَزَر باستخدام خلايا الجذر لإنتاج نباتات جَزَر كثيرة، مُتماثِلة وراثيًّا، ومُماثِلة للنبات الأصلي. لتعرُّف خطوات استنساخ النباتات، أنظر الشكل (56).

الشكل (56): تجربة العالِم ستيوارد لاستنساخ نبات الجَزَر.



استنساخ الحيوانات Animal Cloning

استنسخ العلماء الأغنام والبقر والقطط والفئران عن طريق استبدال نواة خلية جسمية سليمة ثنائية المجموعة الكروموسومية ومأخوذة من الحيوان المراد استنساخه بنواة بويضة غير مُخصَّبة، ثم تحفيز البويضة ثنائية المجموعة الكروموسومية على الانقسام؛ فيتكوَّن الجنين الذي يُزرَع في رحم أنثى أُخرى، وتكون صفات النسل الناتج مُماثِلة لصفات الحيوان الذي أُخِذت منه الخلية الجسمية.

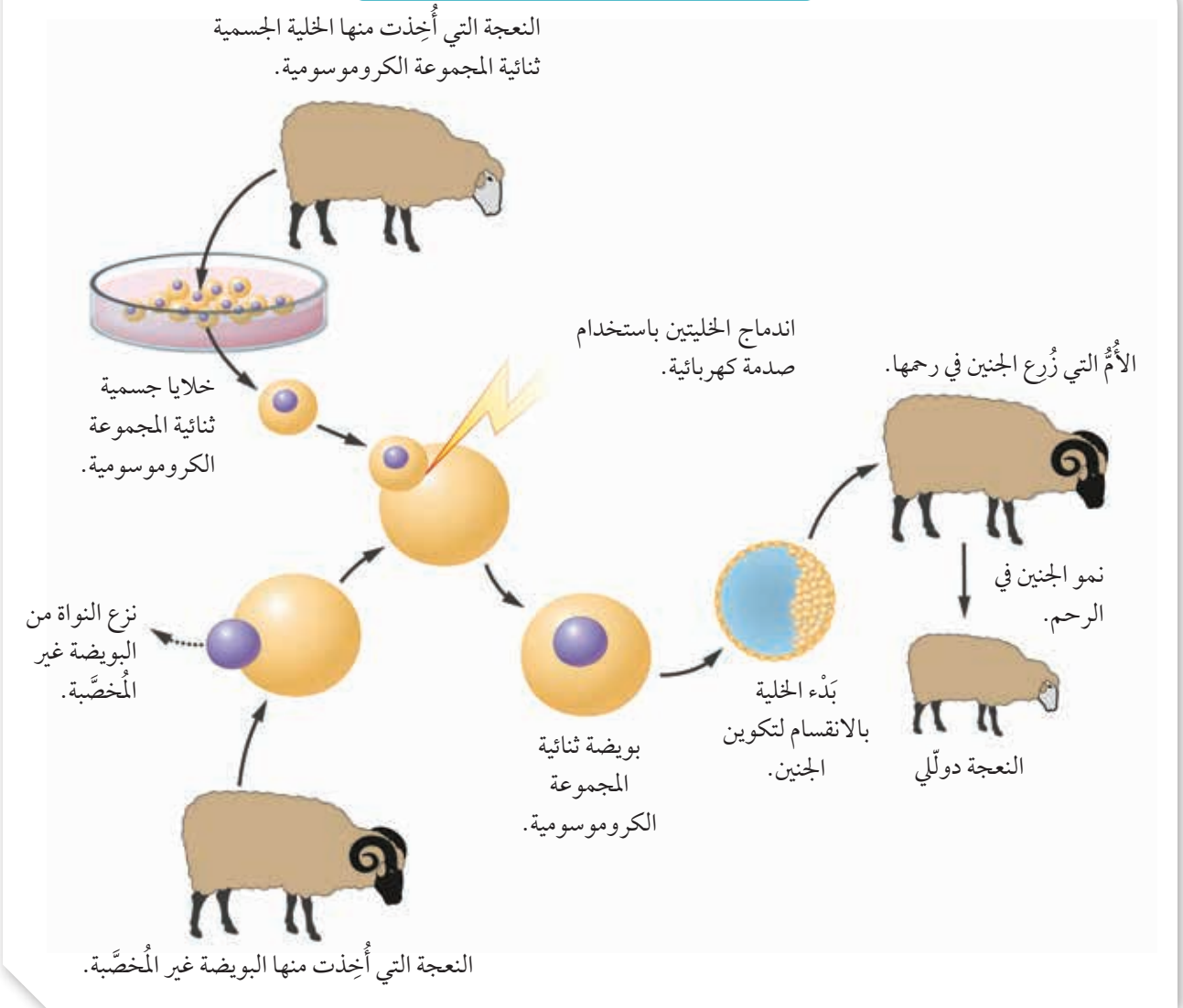
في عام 1996م، استُنسِخت النعجة دولّي، أنظر الشكل (57)، وكان ذلك بداية عهد جديد لاستنساخ عدد من الكائنات الحيَّة.

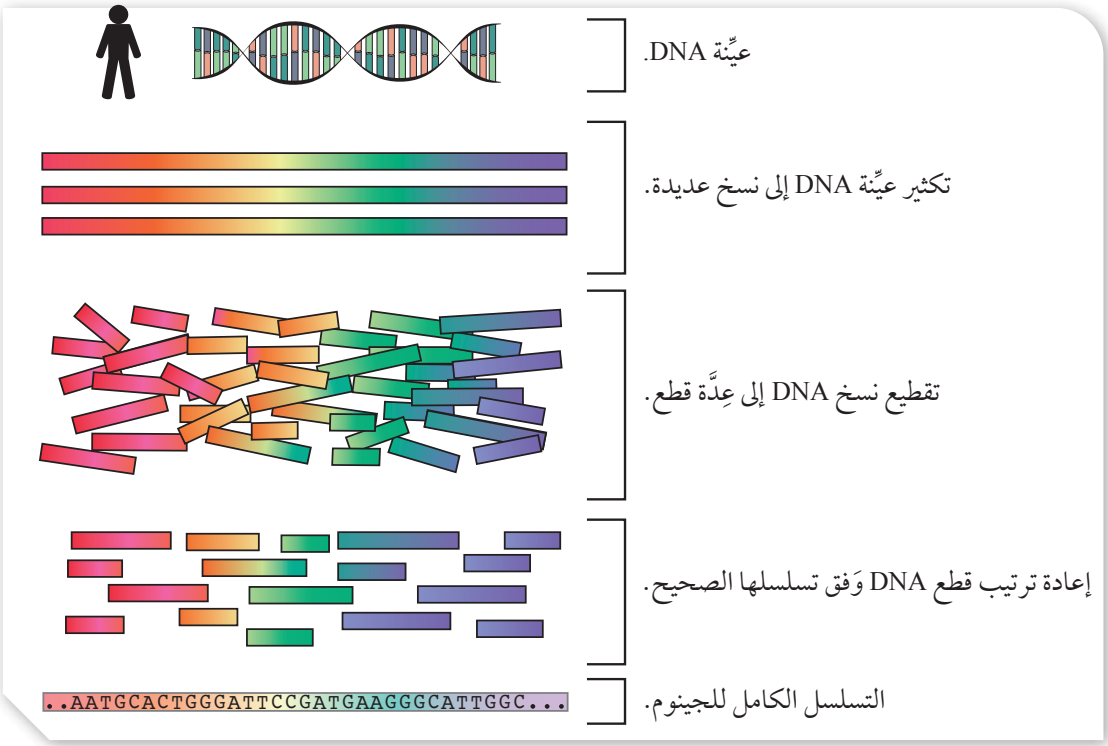
الشكل (57): استنساخ النعجة دولّي.

الربط بالدين

أجمعت الهيئات والمؤسسات الشرعية كلها على تحريم الاستنساخ البشري؛ لِما فيه من ضياع للأنساب، وللمحافظة على تماسك المنظومة المجتمعية. أمّا استنساخ النباتات والحيوانات لأغراض البحث العلمي، أو العلاج، أو زراعة الأعضاء، أو استخلاص العقاقير، فقد سُمِح به ضمن حدود الاعتدال، وجلب المصالح، ودرء المفاسد، وَفقًا للضوابط الشرعية.

استنساخ النعجة دولّي





الشكل (58): مشروع الجينوم البشري.

مشروع الجينوم البشري Human Genome Project

يُقصَد بمشروع الجينوم البشري Human Genome Project تحديد تسلسل النيوكليوتيدات في كامل DNA للإنسان، وتعرُّف مواقع الجينات وترتيبها في الكروموسومات جميعها، أنظر الشكل (58).

درسْتُ سابقًا أنَّ هذا المشروع قد استغرق مدَّة طويلة. واليوم أصبح مُمكِنًا معرفةُ تسلسل الجينوم البشري في أقل من يوم واحد نتيجة التطوُّرات التي شهدتها التكنولوجيا الحيوية.

يستفاد من هذا المشروع في تشخيص الأمراض الوراثية، وتعرُّف علاجاتها، وتحديد الأمراض التي تنتج من أليلات سائدة أو مُتنحِّية، ويتحكَّم فيها جين واحد، مثل: مرض هنتنغتون، والتليُّف الكيسي، فضلًا عن اكتشاف الجينات التي تُؤثِّر في أمراض أكثر تعقيدًا، مثل: مرض السرطان، وأمراض القلب. وقد كان مشروع الجينوم البشري مدخلًا لعديد من مشاريع الجينوم المختلفة كما يُبيِّن المُخطَّط الآتي.

✓ **أتحقَّق:** أُبيِّن أهمية مشروع الجينوم البشري.

مشاريع جينوم أخرى
Other Genomic Projects

مشروع الجينوم لبعض الكائنات الحيَّة
Genome Project for some Organisms

درس العلماء جينوم بعض الكائنات الحيَّة، مثل: أنواع من البكتيريا، والخميرة، وبعض أنواع الحيوانات والنباتات، بُغْيَةَ تعرُّف تسلسل النيوكليوتيدات. يُذكَر أنَّ عدد الجينات في جينوم الكائنات الحيَّة غير ثابت، وكذلك حجم الجينوم الذي يقاس بملايين القواعد النيتروجينية.

مشروع الألف جينوم
One Thousand Genome Project

أُنشِئ مشروع الألف جينوم عام 2008م بوصفه خريطة مُفصَّلة تُستخدَم في مقارنة الجينوم البشري، ودراسة التنوُّع الوراثي في الأفراد باستعمال ألف عيِّنة DNA لأفراد من مجتمعات مختلفة حول العالَم بعد أخذ موافقتهم.

مشروع الجينوم الشخصي
Personal Genome Project

يهدف هذا المشروع إلى دراسة تسلسل الجينوم الشخصي الكامل لآلاف المشاركين حول العالَم، وكذلك تعرُّف الطرز الشكلية، والمعلومات الطبية، ودراسة العلاقات بين الجينات والبيئات المختلفة.

المعلوماتية الحيوية Bioinformatics

يُقصَد **بالمعلوماتية الحيوية** **Bioinformatics** استخدام الحاسوب في جمع تسلسل عدد كبير من النيوكليوتيدات، ومعالجتها، وتحليلها، ودراستها، أو استخدامه في جمع كَمٍّ كبير من المعلومات المُتعلِّقة بالعلوم الحياتية، أنظر الشكل (59)، وهذا يتطلَّب توافر نظام ذي سعة وسرعة كبيرتين.

تعتمد المعلوماتية الحيوية على أجهزة حاسوب مُتطوِّرة يُمكِنها تخزين كَمٍّ هائل من البيانات وإدارتها، وإنشاء قواعد بيانات Databases تُخزِّن تسلسل الجينوم والمحتوى البروتيني للعيِّنات المدروسة، وتسلسل البروتين وتركيبه. فمثلًا، COSMIC هي قاعدة بيانات للطفرات الجسمية المُسبِّبة لمرض السرطان، و Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) هي قاعدة بيانات تساعد على المقارنة السريعة بين تسلسلات الجينات على جزيئات DNA للكائنات المختلفة والتشابه الجيني بينها؛ ما يُسهِم في تعرُّف وظائف الجينات، وتمييز الجينات المُسبِّبة للاختلالات الوراثية.

أتحقَّق: أُقارِن بين قاعدة بيانات BLAST وقاعدة بيانات COSMIC من حيث نوع البيانات في كلٍّ منهما.

الشكل (59): استخدام الحاسوب في تخزين المعلومات الحيوية، ومعالجتها، وفهمها.

علم المحتوى البروتيني Proteomics

علم يدرس أنواع البروتينات المختلفة، ومدى وفرتها، وتركيبها، ووظائفها، وأثرها في جسم الكائن الحيِّ. وهو يتضمَّن معرفة تسلسل الحموض الأمينية في البروتين.

اعتمادًا على المعلوماتية الحيوية، يُمكِن تعرُّف الجين المسؤول عن إنتاج بروتين ما، وتحديد الأمراض الوراثية، وتشخيصها، وتطوير الأدوية المناسبة لعلاجها.

يُعَدُّ مشروع رسم خريطة البروتينات للإنسان قاعدة بيانات مرجعية Human Protein Reference Database (HPRD)، يستفاد منها في تعرُّف عدد البروتينات، ووظائفها المختلفة، وعلاقة البروتينات بالأمراض.

أتحقَّق: أُوضِّح المقصود بعلم المحتوى البروتيني.

القضايا الأخلاقية المُرتبِطة بالتكنولوجيا الحيوية Ethics of Biotechnology

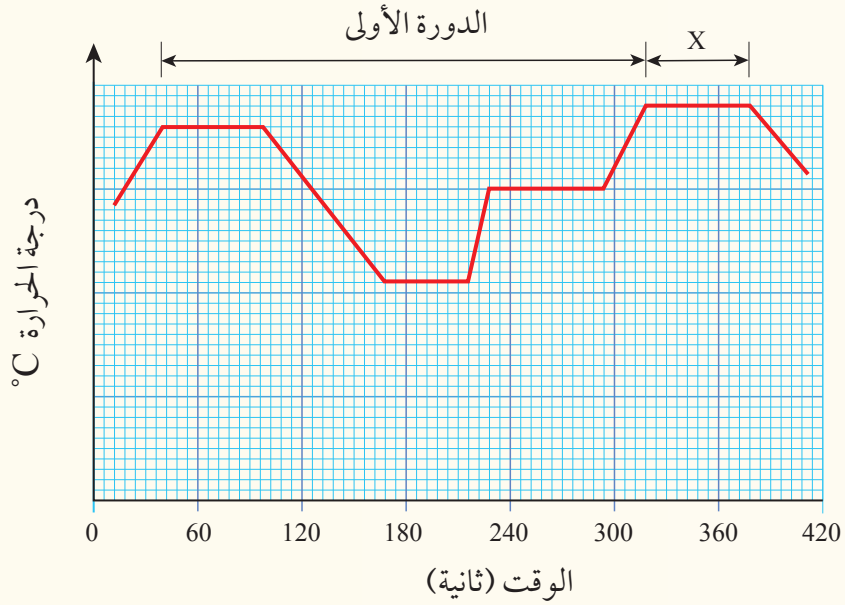
بالرغم من الإيجابيات العديدة لاستخدام التكنولوجيا الحيوية، فإنَّه توجد آثار سلبية لها، مثل:

- تأثير الجين المنقول في الجينات الأُخرى، مثل: زيادة نشاطها، أو تثبيط عملها.
- مهاجمة جهاز المناعة للناقل الجيني.
- التأثير في الأنظمة البيئية، وإصابة الإنسان أو الكائنات الحيَّة الأُخرى بالأمراض.
- إنتاج سلالات من الكائنات الحيَّة لاستخدامها أسلحة بيولوجية في تدمير البشرية.
- تعديل صفات الأَجِنَّة غير المَرَضية، مثل: الذكاء، والجمال، والطول.

أُنظِّم المعلومات التي تعلَّمْتُها عن بعض تطبيقات تكنولوجيا الجينات، ثم أُعِدُّ عرضًا تقديميًّا عنها مُدعَّمًا بالصور من شبكة الإنترنت، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة: أستنتج** دور التقدُّم العلمي في الوراثة والبيولوجيا الجزئية في تطوُّر التكنولوجيا الحيوية.
2. أُوضِّح خطوات تفاعل إنزيم البلمرة المُتسلسِل.
3. **أُلخِّص** مزايا إنتاج محاصيل غذائية مُعدَّلة جينيًّا.
4. يُستعمَل تفاعل إنزيم البلمرة المُتسلسِل لتكثير DNA ضمن ثلاث مراحل مختلفة. مُعتمِدًا المُخطَّط الآتي، أُوضِّح ما يحصل في المرحلة X.



5. **أَصِف** خطوات التعديل الجيني في النبات.
6. أُوضِّح آليَّة الفصل الكهربائي الهلامي.
7. **أحسُبُ** عدد جزيئات DNA الناتجة من جزيء واحد بعد 8 دورات في جهاز الدورية الحرارية.
8. أكتب في الجدول الآتي وظائف الإنزيمات المُستخدَمة في التكنولوجيا الحيوية.

الإنزيم	الوظيفة
إنزيم الربط.	
إنزيم بلمرة DNA مُتحمِّل الحرارة.	
إنزيمات القطع المُحدَّد.	

الخرائط الدماغية Brain Maps

تُستخدَم تكنولوجيا خرائط الدماغ ثلاثية الأبعاد في تشخيص الحالات المَرَضية المُزمِنة (مثل مرض باركنسون)، وتخطيط العمليات الجراحية (مثل عمليات أورام المخ)، وتحديد الموقع الدقيق لوظائف الدماغ الفردية (مثل: الكلام، والذاكرة، والحركة). وهي تُستخدَم أيضًا قبل الإجراء الخاص بالعمليات الجراحية وأثناء ذلك؛ لتمييز أنسجة الدماغ السليمة من تلك المريضة.

مراجعة الوحدة

السؤال الأوّل:

لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أُحدِّدها:

1. أجرى باحث تلقيحًا لنباتات بازيلاء بيضاء الأزهار وأُخرى أرجوانية الأزهار، وغير مُتماثِلة الأليلات. إذا كان عدد النباتات الناتجة هو 1200 نبات، فإنَّ عدد النباتات بيضاء الأزهار هو:

أ- 1200 نبات. ب- 600 نبات.

جـ- 300 نبات. د- 900 نبات.

2. يسود أليل لون العيون الأسود B على أليل لون العيون الأحمر b. إحدى الآتية تُمثِّل الطرز الشكلية للون العينين ونسبها في الأفراد الناتجين من تزاوج فأر أسود العينين وغير مُتماثِل الأليلات وفأرة حمراء العينين:

أ- 75% أسود: 25% أحمر.

ب- 50% Bb: 50% bb.

جـ- 50% Bb: 25% BB: 25% bb.

د- 50% أسود : 50% أحمر.

3. أجرى باحث تلقيحًا لنباتي بندورة، لون الساق في أحدهما أرجواني، وفي الآخر أخضر، فكانت جميع النباتات الناتجة أرجوانية الساق. إحدى الآتية تُفسِّر نتائج التلقيح:

أ- الطراز الجيني للنبات أخضر الساق هو Gg، والطراز الجيني للنبات أرجواني الساق هو gg.

ب- الطراز الجيني للنبات أخضر الساق هو GG، والطراز الجيني للنبات أرجواني الساق هو gg.

جـ- الطراز الجيني للنبات أخضر الساق هو gg، والطراز الجيني للنبات أرجواني الساق هو GG.

د- الطراز الجيني للنبات أخضر الساق هو gg، والطراز الجيني للنبات أرجواني الساق هو Gg.

4. الطراز الجيني الذي ينتج منه عدد أنواع أكثر من الجاميتات هو:

أ- Tt. ب- AATT.

جـ- ggaatt. د- AAGGTT.

5. تزوَّج شاب مصاب بعمى الألوان بفتاة غير مصابة بهذا المرض. لم تكن والدة الشاب مصابة بالمرض، وكان والده مصابًا به. أمّا والد الفتاة ووالدتها فلم يكونا مصابين بالمرض. أنجب الزوجان طفلًا ذكرًا مصابًا بالمرض، وكان مصدر الأليل المسؤول عن ظهور إصابته بالمرض هو:

أ- جدَّه لأُمِّه. ب- جدَّه لأبيه.

جـ- جدَّته لأُمِّه. د- جدَّته لأبيه.

6. تُعَدُّ وراثة لون الأزهار في نبات الكاميليا مثالًا على:

أ- السيادة التامَّة.

ب- السيادة المُشترَكة.

جـ- الصفات المُرتبِطة بالجنس.

د- الصفات مُتعدِّدة الجينات.

7. تزوَّج شاب فصيلة دمه B بفتاة فصيلة دمها A، فأنجبا ذكرًا فصيلة دمه AB، وأنثى فصيلة دمها O. إحدى الآتية تُمثِّل الطرز الجينية للشاب والفتاة:

أ- I^AI^A، I^Bi. ب- I^BI^B، I^AI^A.

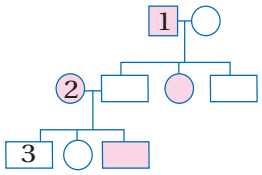
جـ- I^Ai، I^Bi. د- I^AI^B، I^Ai.

8. عمل باحث على تكثير جزيء من DNA في تفاعل إنزيم البلمرة المُتسلسِل. عدد قطع DNA الناتجة بعد 10 دورات هو:

أ- 100 قطعة. ب- 1000 قطعة.

جـ- 10000 قطعة. د- 1024 قطعة.

9. تتبَّع باحث وراثة صفة مُعيَّنة في عائلةٍ، وصمَّم لذلك سجل النسب الآتي الذي يُمثِّل فيه المربع ذكرًا، وتُمثِّل فيه الدائرة أنثى، ويدلُّ فيه الشكل المُظلَّل على ظهور الصفة. الطرز الجينية للأفراد الذين يحملون الأرقام: (1)، و(2)، و(3) على الترتيب هي:



أ- X^aY ، X^AX^a، X^AY.

ب- X^aY ، X^aX^a، X^AY.

جـ- X^AY ، X^AX^A، X^aY.

د- X^aY ، X^AX^a، X^aY.

10. زاوج باحث بين قط أسود الفراء وقطة فراؤها أسود وبرتقالي. إذا علمْتُ أنَّ أليل اللون الأسود هو C^B، وأليل اللون البرتقالي هو C^D، وأنَّ هذه الصفة مُرتبِطة بالجنس، فإنَّ الطرز الشكلية المُتوقَّعة للون الفراء في الأفراد الناتجين هي:

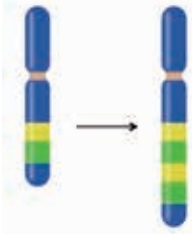
أ- بعض الذكور فراؤهم أسود، وبعضٌ فراؤه برتقالي، وبعض آخر فراؤه ذو لونين، وجميع الإناث فراؤها ذو لونين.

ب- بعض الذكور فراؤهم أسود، وبعضٌ آخر فراؤه برتقالي، وبعض الإناث فراؤها أسود، وبعضها الآخر فراؤها ذو لونين.

جـ- بعض الذكور فراؤهم أسود، وبعضٌ آخر فراؤه برتقالي، وبعض الإناث فراؤها أسود، وبعضها الآخر فراؤها برتقالي.

د- بعض الذكور فراؤهم أسود، وبعضٌ آخر فراؤه برتقالي، وبعض الإناث فراؤها برتقالي، وبعضها الآخر فراؤها ذو لونين.

11. نوع الطفرة الكروموسومية في الشكل المجاور هو:



أ- حذف. ب- قلب.

جـ- إضافة. د- تكرار.

12. الطفرة التي ينتج منها تغيُّر كودون في جزيء mRNA، يُترجَم إلى الحمض الأميني الأصلي هي:

أ- كروموسومية حذف. ب- جينية صامتة.

جـ- كروموسومية قلب. د- جينية غير مُعبِّرة.

13. الاختلال الناتج من خلل في عدد الكروموسومات الجنسية هو:

أ- التليُّف الكيسي. ب- متلازمة داون.

جـ- مرض هنتنغتون. د- متلازمة تيرنر.

14. أُخِذت عيِّنة DNA من الكائن (أ) والكائن (ب)، ثم خُلِطت العيِّنتان بإنزيم القطع EcoRI، فنتج من الكائن (أ) 4 قطع من DNA، ونتج من الكائن (ب) قطعتان من DNA. إحدى العبارات الآتية صحيحة في ما يتعلَّق بالإنزيم EcoRI:

أ- يحتوي جزيء DNA للكائن (أ) على مناطق تعرُّف للإنزيم EcoRI أكثر من جزيء DNA للكائن (ب).

ب- يحتوي جزيء DNA للكائن (أ) على مناطق تعرُّف للإنزيم EcoRI أقل من DNA للكائن (ب).

جـ- جزيء DNA في الكائن (أ) أكبر منه في الكائن (ب).

د- جزيء DNA في الكائن (ب) يخلو من مناطق التعرُّف.

15. جميع الآتية تُعَدُّ من أدوات التكنولوجيا الحيوية باستثناء:

أ- إنزيم البلمرة مُتحمِّل الحرارة.

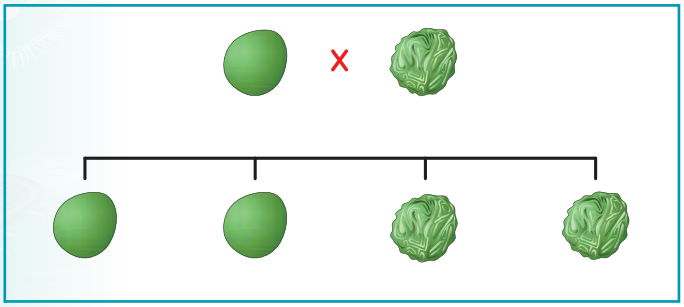
ب- إنزيم الربط.

جـ- الفصل الكهربائي الهلامي.

د- البلازميدات.

السؤال الثاني:

مُعتمِدًا الشكل المجـاور الذي يُمثِّل البذور الناتجة عند تلقيح نباتي بازيلاء، أحـدهما أملس البـذور، والآخر مُجعَّد البذور، **أستنتج** الـطراز الجيني لكـلٍّ من الأبوين مُستخدِمًا الرموز المناسبة.



السؤال الثالث:

أستنتج: كيف تُعَدُّ البصمة الوراثية شكلًا من أشكال خرائط القطع؟

السؤال الرابع:

أُوضِّح الفرق بين تأثير الطفرة وتأثير الوراثة فوق الجينية في تسلسل النيوكليوتيدات في جزيء DNA.

السؤال الخامس:

أ -أُوضِّح المقصود بمفهوم مشروع الجينوم البشري.

ب-**أَصِف** آليَّة الاستنساخ في النبات.

السؤال السادس:

في تجربة لباحث هدفت إلى تتبُّع وراثة صفة لون الفراء في أحد أنواع الفئران، زاوج الباحث بين ذكر رمادي الفراء وأنثى بيضاء الفراء، فكان لون الفراء رماديًّا لجميع الأفراد الناتجين. بعد ذلك زاوج الباحث بين أفراد الجيل الأوَّل، فنتج أفراد فراء بعضهم رمادي، وفراء بعضهم الآخر أبيض، وبلغ عدد الأفراد ذوي الفراء الرمادي 198 فردًا، في حين بلغ عدد الأفراد ذوي الفراء الأبيض 72 فردًا:

أ - **أصوغ فرضية** تُفسِّر هذه النتائج.

ب-**أتنبَّأ** بالطرز الشكلية لأفراد الجيل الناتج بحسب الفرضية التي صغْتُها.

جـ- **أُقارِن** بين الطرز الشكلية التي تنبَّأْتُ بها والطرز الشكلية الناتجة من التجربة.

السؤال السابع:

أَصِف كيف يُمكِن استخدام المعلومات الجينية في تحديد هوية شخص مجهول.

السؤال الثامن:

ينتج مرض وراثي من جين يرتبط بالجنس، ويُرمَز إليه بالرمز (A). تزوَّج شاب غير مصاب بهذا المرض بفتاة مصابة به، وكان والدها مصابًا به أيضًا، وأُمُّها غير مصابة به، وجدَّتها لأبيها مصابة به أيضًا. **أستنتج** الطرز الجينية لكلٍّ من الشاب، والفتاة، ووالدة الفتاة، ووالد الفتاة.

السؤال التاسع:

أُفكِّر: كيف يؤدّي التسخين دورًا مُهِمًّا في فصل سلاسل DNA في تفاعل بلمرة DNA المُتسلسِل، ويؤدّي في الوقت نفسه دورًا في تثبيط إنزيم بلمرة DNA لدى بعض الكائنات الحيَّة؟

السؤال العاشر:

أُقارِن بين المعالجة الجينية والكائنات المُعدَّلة جينيًّا.

السؤال الحادي عشر:

تزوَّج رجل مصاب بعمى الألوان بامرأة غير مصابة بهذا المرض، فأنجبا أنثى غير مصابة به. بعد ذلك تزوَّج شاب غير مصاب بهذا المرض بالابنة، فأنجبا ثلاثة أبناء: ذكر مصاب بالمرض، وآخر غير مصاب به، وأنثى مصابة به، وبمتلازمة تيرنر:

أ- **أُصمِّم** سجل نسب يُبيِّن توارث صفة عمى الألوان في هذه العائلة.

ب- **أُفسِّر** سبب إصابة الأنثى المصابة بمتلازمة تيرنر بمرض عمى الألوان.

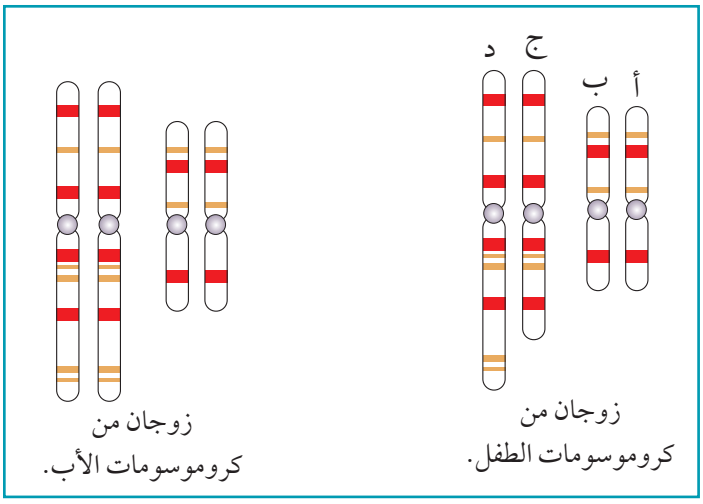
السؤال الثاني عشر:

أُقارِن بين طفرة عدم انفصال كروموسومين مُتماثِلين وعدم انفصال كروماتيدين شقيقين من حيث تأثيرهما في عدد الكروموسومات في الجاميتات الناتجة.

السؤال الثالث عشر:

يُمثِّل الشكل المجـــاور زوجين من الكروموسومات لأب طبيعي، وطفله ذي القدرات العقلية المحدودة الذي يعاني ضعفًا في التحكُّم في العضلات.

أتوقَّع نوع الطفرة التي حدثت للأُمِّ أثناء تكوين الجاميت الذي نتج من إخصابه هذا الطفل.



السؤال الرابع عشر:

يُبيِّن الجدول المجاور المسافات بين 5 جينات محمولة على كروموسوم بوحدة خريطة. أتوصَّل إلى ترتيب الجينات على هذا الكروموسوم.

	A	B	C	D	E
A	-	29	13	21	6
B	29	-	16	8	35
C	13	16	-	8	19
D	21	8	8	-	27
E	6	35	19	27	-

السؤال الخامس عشر:

لُقِّح نباتان، أحدهما بنفسجي الأزهار، وغير لامع الأوراق، والآخر أبيض الأزهار، ولامع الأوراق. كان أليل لون الأزهار البنفسجية وأليل الأوراق غير اللامعة محمولين على الكروموسوم نفسه، وكان جميع أفراد الجيل الأوَّل الناتج من ذوي الأزهار البنفسجية والأوراق غير اللامعة. بعد ذلك لُقِّح أفراد الجيل الأوَّل مع نباتات بيضاء الأزهار، ولامعة الأوراق، فكان أفراد الجيل الثاني كما في الجدول الآتي:

الطرز الشكلية	بنفسجية الأزهار، وغير لامعة الأوراق	بيضاء الأزهار، ولامعة الأوراق	بنفسجية الأزهار، ولامعة الأوراق	بيضاء الأزهار، وغير لامعة الأوراق
عدد الأفراد الناتجين	50	46	12	10

أ- **أُحلِّل البيانات:** أيُّ الصفات سائدة؟ أيُّها مُتنحِّية؟

ب- **أحسُبُ** المسافة بين جيني الصفتين.

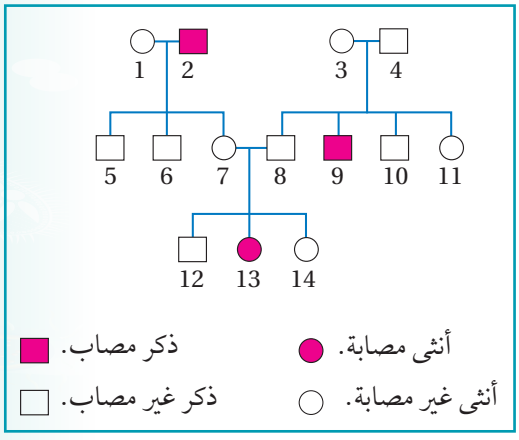
جـ- **أُفسِّر** سبب ظهور هذه النتائج.

السؤال السادس عشر:

أُحلِّل الشكل المجاور الذي يُمثِّل سجل النسب لوراثة مرض لدى الإنسان، ثم أذكر دليلًا من الشكل يُؤكِّد أنَّ أليل الإصابة:

أ- مُتنحٍّ.

ب- محمول على كروموسوم جسمي.



السؤال السابع عشر:

أُفسِّر: يُعَدُّ تحديد المحتوى البروتيني للإنسان أكثر صعوبة منه في البكتيريا.

السؤال الثامن عشر:

أُفسِّر: لا يؤدّي استخدام العلاج الجيني دائمًا إلى الشفاء من بعض الأمراض الوراثية.

السؤال التاسع عشر:

أُفسِّر سبب اختلاف بعض الصفات لدى التوائم المُتطابِقة.

السؤال العشرون:

يُبيِّن الشكل الآتي البصمة الوراثية لعيِّنات وُجِدت في مسرح جريمة، ولمُشتبَه بهما. **أستنتج:** أيُّ المُشتبَه بهما هو الجاني؟

الوحدة 4

التنوُّع الحيوي والمحافظة عليه

Biodiversity and its Conservation

قال تعالى:

﴿أَلَمْ تَرَ أَنَّ ٱللَّهَ أَنزَلَ مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً فَأَخْرَجْنَا بِهِۦ ثَمَرَٰتٍ مُّخْتَلِفًا أَلْوَٰنُهَا ۚ وَمِنَ ٱلْجِبَالِ جُدَدٌۢ بِيضٌ وَحُمْرٌ مُّخْتَلِفٌ أَلْوَٰنُهَا وَغَرَابِيبُ سُودٌ ﴿٢٧﴾ وَمِنَ ٱلنَّاسِ وَٱلدَّوَآبِّ وَٱلْأَنْعَٰمِ مُخْتَلِفٌ أَلْوَٰنُهُۥ كَذَٰلِكَ ۗ إِنَّمَا يَخْشَى ٱللَّهَ مِنْ عِبَادِهِ ٱلْعُلَمَٰٓؤُا۟ ۗ إِنَّ ٱللَّهَ عَزِيزٌ غَفُورٌ ﴿٢٨﴾﴾ (سورة فاطر، الآيتان: 27 - 28).

أتأمَّل الصورة

تعيش كثير من الجماعات الحيوية المختلفة في الأنظمة البيئية؛ ما يُمثِّل تنوُّعًا حيويًّا يُسهِم في المحافظة على الغلاف الحيوي للأرض. والصورة في الأعلى هي مثال على التنوُّع الحيوي في بيئة مائية، فما المقصود بالتنوُّع الحيوي؟ ما المخاطر التي تُهدِّد هذا التنوُّع؟ كيف يُمكِن المحافظة عليه وضمان استدامته؟

الفكرة العامة:

يـؤدّي التنـوُّع الحيـوي دورًا مُهِمًّـا فـي المحافظـة علـى الغـلاف الحيـوي للأرض؛ مـا يُحتِّـم عدم الإضـرار بهذا التنـوُّع، والعمـل علـى ديمومته واسـتمراريته.

الدرس الأوَّل: التنوُّع الحيوي والمخاطر التي تُهدِّده.

الفكـرة الرئيسـة: يُسـهِم التنـوُّع الحيـوي إسـهامًا فاعـلًا فـي المحافظـة علـى الأنظمـة البيئيـة، لكنَّـه يُواجِـه كثيرًا مـن المخاطـر التـي تضـرُّ بالغـلاف الحيـوي لـلأرض.

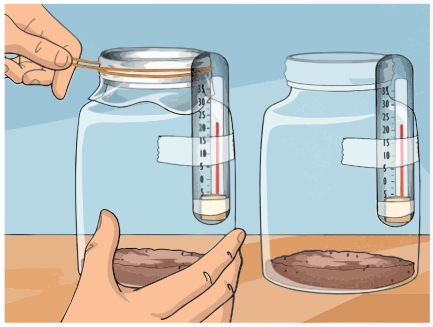
الدرس الثاني: حفظ التنوُّع الحيوي واستدامته.

الفكرة الرئيسـة: يؤدّي الإنسـان دورًا مُهِمًّـا في المحافظة على التنـوُّع الحيوي وضمان اسـتدامته للأجيال القادمة.

تجربة استهلالية

نمذجة آثار ظاهرة الدفيئة

يسخن سطح الأرض بعد امتصاصه معظم الطاقة الناتجة من أشعة الشمس التي تصل الأرض، ثم ينعكس جزء من هذه الأشعة طويلة الموجة (الأشعة تحت الحمراء IR) عن هذا السطح، وتَحتجز جزءًا منها غازاتٌ توجد في الغلاف الجوي (مثل غاز CO_2)، وتُسمّى غازات الدفيئة، التي تُسبِّب ارتفاعًا مُتزايِدًا في درجة حرارة سطح الأرض؛ ما يؤدّي إلى ارتفاع درجة حرارة اليابسة والماء.



المـــواد والأدوات: وعـاءان زجـاجيان كـبيران، ميزانا حـــرارة، شريط لاصـــق، ورق تغليف بلاستيكي، ورق رســـم بياني، تربة دكناء، مصباح كهربائي، مطّاط، مسطرة.

إرشادات السلامة:

- استعمال المصباح الكهربائي بحذر.
- غسل اليدين جيدًا بعد انتهاء التجربة.

خطوات العمل:

1. **أقيس:** أضع في الوعاءين كمِّية من التربة حتى ارتفاع 3 cm تقريبًا، ثم ألصق ميزان حرارة على كل وعاء كما في الشكل أعلاه.
2. **أُجرِّب:** أُغطّي أحد الوعاءين بورق تغليف بلاستيكي، ثم أُثبِّته باستعمال المطّاط.
3. **أُجرِّب:** أضع المصباح الكهربائي بين الوعاءين؛ على أنْ تكون المسافة بين المصباح وكل وعاء 25 cm تقريبًا، وأنْ يكون ميزانا الحرارة المُلصَقان على كل وعاء في الجهة المُقابِلة لمكان وجود المصباح (يُمكِن إجراء التجربة تحت أشعة الشمس المباشرة عوضًا عن استعمال المصباح الكهربائي).
4. **أُلاحِظ** درجة الحرارة لكلا الميزانين كل دقيقة مدَّة 15 دقيقة، ثم أُدوِّنها.

التحليل والاستنتاج:

1. **أُقارِن** بين قراءات ميزاني الحرارة.
2. **أستنتج:** أيُّ الوعاءين يُشبِه نموذج الغلاف الجوي للأرض؟ أُبرِّر إجابتي.
3. **أُمثِّل بيانيًّا** العلاقة بين الزمن بالدقائق، ودرجة الحرارة.

الدرس 1

التنوُّع الحيوي والمخاطر التي تُهدِّده

Biodiversity and Threats to It

الفكرة الرئيسة:

يُسهِم التنوُّع الحيوي إسهامًا فاعلًا في المحافظة على الأنظمة البيئية، لكنَّه يُواجِه كثيرًا من المخاطر التي تضرُّ بالغلاف الحيوي للأرض.

نتاجات التعلُّم:

- أفسِّر أهمية المحافظة على التنوُّع الحيوي في استدامة سلامة الغلاف الحيوي للأرض.
- أُوضِّح المخاطر التي تُهدِّد التنوُّع الحيوي.
- أستقصي بعض المُؤشِّرات الحيوية الدالَّة على تلوُّث المياه.
- أُبيِّن تأثير الهطل الحمضي في نمو النباتات.

المفاهيم والمصطلحات:

تنوُّع الأنواع	Species Diversity
التنوُّع الوراثي	Genetic Diversity
تنوُّع الأنظمة البيئية	Ecosystems diversity
الانقراض المُتدرِّج	Background Extinction
الانقراض الجماعي	Mass Extinction
الأنواع الغازية	Invasive Species
الأنواع المُستوطِنة	Native Species
تأثير الحدِّ البيئي	Edge Effect
الهطل الحمضي	Acid precipitation
المُؤشِّرات الحيوية	Bioindicators

التنوُّع الحيوي Biodiversity

يُقصَد بالتنوُّع الحيوي Biodiversity وجود أنواع مختلفة من الكائنات الحيَّة في نظام بيئي مُعيَّن، أنظر الشكل (1). كلَّما كان التنوُّع الحيوي كبيرًا كانت الأنظمة البيئية أكثر استقرارًا؛ ما يُسهِم في استدامة سلامة الغلاف الحيوي للأرض؛ إذ يُقلِّل ذلك من اعتماد أيٍّ من الجماعات الحيوية على نوع واحد فقط في الغذاء أو المسكن.

تعرَّفْتُ سابقًا أنَّ الجماعة الحيوية هي مجموعة من أفراد النوع نفسه، تعيش في منطقة بيئية مُعيَّنة، وتتأثَّر بالظروف البيئية نفسها، وتكون قادرة على أداء العمليات الحيوية اللازمة لاستمرار وجودها.

✓ **أتحقَّق:** أُوضِّح المقصود بالتنوُّع الحيوي.

الشكل (1): تنوُّع حيوي في نظام بيئي.

صنَّف العلماء التنوُّع الحيوي في الأنظمة البيئية إلى ثلاثة مستويات، أنظر الشكل (2).

الشكل (2): مستويات التنوُّع الحيوي.

مستويات التنوُّع الحيوي Biodiversity Levels

تنوُّع الأنواع
Species Diversity

عدد أنواع الكائنات الحيَّة المختلفة، ونسبة كلٍّ منها في النظام البيئي.

يُمكِن إيجاد نسبة النوع الواحد من الكائنات الحيَّة في مساحة مُعيَّنة بحساب عدد أفرادها مقارنةً بالعدد الكلي للكائنات الحيَّة في المساحة نفسها.

التنوُّع الوراثي
Genetic Diversity

الاختلافات في الجينات بين أفراد الجماعة الحيوية الواحدة والجماعات الحيوية المختلفة الأُخرى؛ ما يساعد أفراد الجماعات الحيوية على التكيُّف مع بيئاتهم، مثل: القدرة على التخفّي لدرء خطر المُفترِسات، أنظر التنوُّع الوراثي في لون صدفة الحلزون الخارجية.

تنوُّع الأنظمة البيئية
Ecosystems Diversity

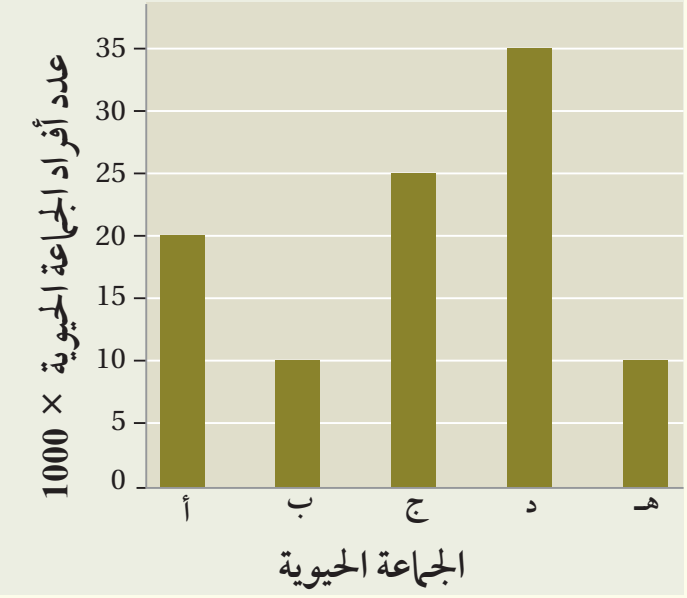
تعدُّد الأنظمة البيئية بما تحويه من مُكوِّنات حيَّة وأُخرى غير حيَّة في الغلاف الحيوي، علمًا بأنَّ استقرارها يعتمد على استمرار تدفُّق الطاقة (الغذاء) في العلاقات الغذائية المُتبادَلة بين الجماعات الحيوية المختلفة، وتفاعل هذه الجماعات مع المُكوِّنات غير الحيَّة. فمثلًا، يحتوي النظام البيئي لواحة الأزرق على مياه ضحلة غير عميقة؛ ما يسمح لأسماك السرحاني التي تعيش فقط في هذه المحمية بوضع بيوضها، ودعم نموها وتكاثرها.

أُفكِّر: أتوقَّع تأثير ثوران بركان في منطقة ما في التنوُّع الحيوي السائد فيها.

مثال

يُمثِّل الرسم البياني المجاور عدد أفراد بعض الجماعات الحيوية المختلفة (أ، ب، ج، د، هـ) الذين يعيشون في المنطقة نفسها:

1. **أستنتج:** أيُّ الجماعات الحيوية أكثر وفرة في النظام البيئي؟
2. **أجد** نسبة الجماعة الحيوية (ج) في النظام البيئي.
3. **أتوقَّع:** أفترض أنَّ الجماعة الحيوية (هـ) تتغذّى فقط بالجماعة الحيوية (ب). كيف يُؤثِّر نقصان عدد أفراد الجماعة الحيوية (ب) أو اختفاؤهم في التنوُّع الحيوي؟



الحل:

1. أكثر الجماعات الحيوية وفرة في النظام البيئي هي الجماعة الحيوية (د).
2. نسبة الجماعة الحيوية (ج) في النظام البيئي =

$$\frac{\text{عدد أفراد الجماعة الحيوية (ج)}}{\text{العدد الكلي للجماعات الحيوية}} \times 100\%$$

$$= \frac{25000}{100000} \times 100\%$$

$$= 25\%$$

3. يُؤثِّر نقصان عدد أفراد الجماعة الحيوية (ب) في عدد أفراد الجماعة الحيوية (هـ) بسبب نقص الغذاء المتوافر لأفراد الجماعة الحيوية (هـ). أمّا اختفاء أفراد الجماعة الحيوية (ب) فيؤدّي إلى انحسار التنوُّع الحيوي في النظام البيئي، وقد يموت أفراد بعض الجماعات الحيوية الأُخرى التي تعتمد على أفراد الجماعة الحيوية (ب)، أو أفراد الجماعة الحيوية (هـ) في غذائها.

أهمية المحافظة على التنوُّع الحيوي
Importance of Biodiversity Conservation

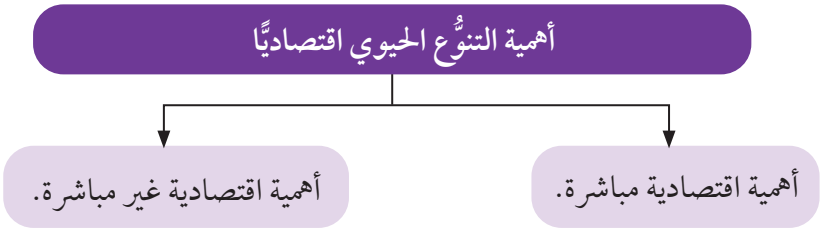
القيمة الأخلاقية Ethical Value

سخَّر الله تعالى الأرض وما تحويه لخدمة الإنسان، وتسهيل مهمة عمارته لها.

قال تعالى: ﴿أَلَمْ تَرَوْا۟ أَنَّ ٱللَّهَ سَخَّرَ لَكُم مَّا فِى ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَمَا فِى ٱلْأَرْضِ وَأَسْبَغَ عَلَيْكُمْ نِعَمَهُۥ ظَٰهِرَةً وَبَاطِنَةً ۗ وَمِنَ ٱلنَّاسِ مَن يُجَٰدِلُ فِى ٱللَّهِ بِغَيْرِ عِلْمٍ وَلَا هُدًى وَلَا كِتَٰبٍ مُّنِيرٍ﴾ (سورة لقمان، الآية 20).

تقع على كاهل الانسان مسؤولية أخلاقية في المحافظة على التنوُّع الحيوي في الأنظمة البيئية للأجيال القادمة، وهي مسؤولية جماعية يشترك فيها جميع أفراد المجتمع، والعلماء، وصانعو القرار؛ لذا تكاثفت الجهود الدولية الساعية لإنشاء المنظمات والجمعيات التي تُعْنى بحماية البيئة، وصدرت المواثيق والمعاهدات الدولية التي تضبط الآثار السلبية الناجمة عن الأنشطة البشرية. وبالرغم من أنَّ أنشطة الدول الصناعية هي المُسبِّب الرئيس لمعظم ما تعانيه الأنظمة البيئية من ويلات ومشكلات بيئية (مثل التلوُّث)، فإنَّ البلدان الفقيرة هي التي تتأثَّر بصورة غير مباشرة بعواقب هذه الأنشطة.

تُعَدُّ المحافظة على التنوُّع الحيوي عملية مُهِمَّة للإنسان؛ إذ يخدم التنوُّع الحيوي المجتمعات اقتصاديًّا، أنظر الشكل (3).



الشكل (3): أهمية التنوُّع الحيوي اقتصاديًّا.

الأهمية الاقتصادية المباشرة Direct Economic Value

يُعَدُّ التنوُّع الحيوي مخزنًا للتنقيب الحيوي؛ وهو البحث عن كائنات حيَّة تُمثِّل مصدرًا لمواد ذات قيمة اقتصادية، مثل: الملابس، والعقاقير الطبية. ومن الأمثلة على ذلك دواء الأسبرين الذي يُستخدَم مُسكِّنًا للآلام، والحدَّ من خطر حدوث الجلطات الدموية في الأوعية الدموية المختلفة، وقد استُخلِصت بعض مُكوِّناته من أوراق نبات الصفصاف، أنظر الشكل (4). وقد اكتشف العلماء وجود كثير من النباتات التي قد يستفاد منها في علاج مرض السرطان، ومقاومة بعض الأمراض الأُخرى، مثل: أمراض القلب، والأوعية الدموية، والتهاب المفاصل، والإيدز.

يُوفِّر التنوُّع الحيوي مصادر غذائية عديدة للإنسان، ويُحقِّق الأمن الغذائي للمجتمعات، ويُعَدُّ مخزونًا وراثيًّا للأجيال حاضرًا ومستقبلًا؛ لذلك استخدم العلماء بنوك الجينات بوصفها مصادر وراثية محمية ومُوثَّقة.

الشكل (4): نبات الصفصاف الذي استُخدِمت أوراقه في استخلاص بعض مُكوِّنات دواء الأسبرين.

أتحقَّق: أُحدِّد مُنتَجات اقتصادية مصدرها كائنات حيَّة.

الشكل (5): محمية غابات عجلون التي صُنِّفت ضمن القائمة الخضراء للاتحاد الدولي لحماية الطبيعة، وهي قائمة تضمُّ أفضل المحميات إدارةً على مستوى العالَم.

الربط بالسياحة والاقتصاد

تسعى وزارة البيئة لتطبيق مفهوم الاقتصاد الأخضر الذي يُعْنى بالنمو الاقتصادي المستدام في ظلِّ الحفاظ على البيئة.

تُعَدُّ المحميات الطبيعية مركزًا رئيسًا للسياحة البيئية، وهي تضمُّ مرافق عديدة، مثل: المساكن البيئية، والمطاعم، إلى جانب عدد من الأنشطة، مثل: ركوب الدرّاجات، وتنظيم جولات بالحافلات، وتسلُّق الجبال، ومسارات المشي.

الأهمية الاقتصادية غير المباشرة Indirect Economic Value

يحافظ التنوُّع الحيوي على سلامة الأنظمة البيئية، ويُسهِم في استقرارها عن طريق تنظيم المناخ؛ إذ يُعَدُّ وجود الغطاء النباتي ضروريًّا للحفاظ على توازن الغازات، والتخفيف من ظاهرة الاحترار العالمي، فضلًا عن إسهامه في حماية الأنظمة البيئية من الفيضانات والجفاف، والتخلُّص من المواد السامة، وتحليل الفضلات وإعادة تدويرها؛ ما يحافظ على خصوبة التربة، ويزيد من الأملاح المعدنية فيها.

للتنوُّع الحيوي أيضًا قيمة جمالية؛ فهو يُسهِم في دعم السياحة البيئية وتطويرها، ويجذب كثيرًا من الأشخاص المهتمين بجمال التنوُّع الحيوي في الأنظمة البيئية المختلفة. ويُعَدُّ التنوُّع الحيوي في غابات عجلون مثالًا على ذلك؛ إذ إنَّها تستقطب عددًا كبيرًا من السُّيّاح، أنظر الشكل (5).

✓ **أتحقَّق:** أُوضِّح دور التنوُّع الحيوي في المحافظة على سلامة الأنظمة البيئية.

مخاطر تُهدِّد التنوُّع الحيوي Threats to Biodiversity

يؤدّي الإضرار بالتنوُّع الحيوي إلى عدم استقرار الأنظمة البيئية، ويتمثَّل ذلك في الكوارث الطبيعية والأنشطة البشرية؛ ما يتسبَّب في تراجع عملية الإنتاج، وزيادة ظاهرة التصحُّر، فضلًا عن فقدان التنوُّع الحيوي في الأنظمة البيئية بصورة جزئية أو كلية، وهو ما يؤدّي إلى الانقراض Extinction.

ويُقصَد بالانقراض اختفاء نوع من أنواع الجماعات الحيوية بموت آخر فرد من أفرادها. يُصنَّف الانقراض إلى نوعين تبعًا لعدد أفراد الجماعات الحيوية المُنقرِضة بالنسبة إلى الزمن:

الانقراض المُتدرِّج Background Extinction: انقراض بعض أفراد الجماعات الحيوية بصورة طبيعية، وعلى نحوٍ تدريجي، خلال مدَّة زمنية طويلة نسبيًّا.

الانقراض الجماعي Mass Extinction: انقراض عدد كبير من أفراد الجماعات الحيوية خلال مدَّة زمنية قصيرة نسبيًّا، مثل انقراض الديناصورات في أحد العصور؛ إذ تعرَّض للانقراض أكثر من نصف جميع أنواع الكائنات التي عاشت على الأرض في تلك الحقبة.

✓ **أتحقَّق:** أُقارِن بين الانقراض المُتدرِّج والانقراض الجماعي.

أُفكِّر: أُوضِّح أثر اختفاء بعض الجماعات الحيوية في الأنظمة البيئية.

عوامل تفضي إلى الانقراض Factors Leading to Extinction

الاستغلال المُفرِط Overexploitation

يُقصَد بذلك الاستغلال الزائد لأنواع من الكائنات الحيَّة، مُمثَّلًا في صيدها بنسب تفوق قدرتها على التكاثر وتعويض الناقص منها؛ ما يؤدّي إلى انقراضها، أو جعلها مُهدَّدة بالانقراض كما هو حال طائر الشنّار (الحَجَل)، أنظر الشكل (6/ أ).

من أكثر الكائنات الحيَّة تأثُّرًا بالاستغلال المُفرِط تلك التي تمتاز بمُعدَّلات تكاثر منخفضة (أيْ مُعدَّلات ولادة قليلة)، مثل: الفيلة، والحيتان، ووحيدات القرن؛ إذ تراجعت أعداد الفيلة الإفريقية مثلًا بصورة كبيرة بسبب تجارة العاج، أنظر الشكل (6/ ب).

الشكل (6):
أ- طائر الشنّار.
ب- عاج.

الشكل (7): حيوان المها العربي الذي تعرَّض للاستغلال المُفرِط من الإنسان، وأُعيد تكثيره في محمية الشومري بالأردن.

أمّا حيوان المها العربي ***Oryx leucoryx*** فتناقصت أعداده بكثرة نتيجة الصيد الجائر، أنظر الشكل (7)؛ ما دفع بعض المنظمات الدولية إلى إطلاق حملات لحمايته وإنقاذه. وفي الأردن، حظي حيوان المها العربي باهتمام الجمعية الملكية لحماية الطبيعة، وهو ما أسهم في زيادة أعداده في محمية الشومري.

الأنواع الغازية Invasive Species: يُطلَق على أنواع الكائنات الحيَّة الغريبة، مثل النباتات والحيوانات التي أُدخِلت – عن قصد، أو من دون قصد– في موطن بيئي ما عن طريق الإنسان، وأصبحت تُهدِّد التنوُّع الحيوي فيه، اسم **الأنواع الغازية Invasive Species**. يعتمد بقاء هذه الأنواع على مدى تكيُّفها مع موطنها الجديد، ووجود مُفترِسات قليلة لها فيه. أمّا أنواع الكائنات الحيَّة التي تعيش في موطنها الطبيعي فتُسمّى **الأنواع المُستوطِنة Native Species**.

تُؤثِّر الأنواع الغازية سلبًا في اقتصاد الدول؛ إذ تُلحِق الطيور والقوارض الغازية – مثلًا– ضررًا كبيرًا بالمحاصيل الزراعية، وتزيد من تكاليف مقاومتها بالمبيدات والوسائل الأُخرى.

في ما يأتي أبرز الطرائق التي تُؤثِّر فيها الأنواع الغازية في الأنظمة البيئية:

- منافسة الأنواع المُستوطِنة على الموارد البيئية، ومنعها من الحصول على الغذاء وغيره من الموارد؛ ما يؤدّي إلى انقراض أحد الأنواع ما لم يُغيِّر نمط حياته، ويُؤثِّر تأثيرًا سلبيًّا في السلاسل والشبكات الغذائية ضمن النظام البيئي.
- نقل الأنواع الغازية أمراضًا جديدةً لم تكن موجودة في الموطن البيئي، تُسمّى الأمراض الوافدة؛ ما يُؤثِّر سلبًا في الأنواع المُستوطِنة، أنظر الشكل (8).

الشكل (8): ذبول أوراق شجرة الدردار بعد إصابتها بأمراض سبَّبتها فطريات غازية، وهو ما أدّى إلى موت الشجرة تدريجيًّا.

أتحقَّق: أُبيِّن تأثير الأنواع الغازية في الأنظمة البيئية.

من الأمثلة على الأنواع الغازية نبات السُّلم ***Acacia ehrenbergiana*** الذي أُدخِل في البيئة الأردنية بمنطقة الأغوار، أنظر الشكل (9).

فقدان الموطن Habitat Loss

يُمثِّل الموطن المنطقة البيئية التي تعيش فيها الجماعات الحيوية المُتنوِّعة. وفي حال فقدت الجماعات الحيوية موطنها، فإنَّها تموت، أو تنتقل إلى مكان آخر يتعذَّر عليها التكيُّف معه في بعض الأحيان.

يُؤثِّر الإنسان في المواطن البيئية بطرائق عِدَّة، منها:

تدمير الموطن البيئي Habitat Destruction

يحدث ذلك نتيجةً لعمليات قطع أشجار الغابات، أو حرقها، أو استبدال تلك الأشجار، والاستعاضة عنها بنباتات تُنتِج محاصيل زراعية، أو بنباتات تُستخدَم بوصفها مراعي طبيعية، أو نتيجةً للتوسُّع العمراني والصناعي، أنظر الشكل (10).

تجزئة الموطن البيئي Habitat Fragmentation

يُقصَد بذلك تقسيم الموطن البيئي الواحد، وتحويله إلى مواطن بيئية صغيرة؛ نتيجةً لأسباب طبيعية مثل الزلازل، أو بسبب الأنشطة البشرية، مثل: شق الطرق، وبناء خطوط السكك الحديدية، أنظر الشكل (11).

تنقسم الجماعات الحيوية التي تعيش في الموطن البيئي إلى مجموعات صغيرة، بعيد بعضها عن بعض؛ وتؤدي تجزئة الموطن البيئي إلى نشوء ظروف بيئية مختلفة، تظهر على طول الحدود البيئية، وتُسمّى **تأثير الحدِّ البيئي Edge Effect**. وكلَّما اتَّسعت الحدود البيئية تناقصت الأنواع التي تستوطن وسط النظام البيئي، ومن الأمثلة على ذلك الحدُّ البيئي لغابة مجاورة لأحد الحقول؛ إذ تشمل ظروف الحقل البيئية درجات حرارة أعلى من تلك التي في وسط الغابة، ورطوبة أقل، وشِدَّة إضاءة ورياح أكثر؛ ما يتسبَّب في خسارة بعض الأنواع.

تُؤثِّر تجزئة الموطن أيضًا في الأنواع التي تحتاج إلى مساحة واسعة في موطنها البيئي، ويتمثَّل ذلك في تقليل المساحة المتوافرة لها. وقد تتضاءل فرصة التكاثر بين أفراد النوع الواحد في أجزاء مُتفرِّقة من الموطن، ومن المُحتمَل أنْ يصبح هؤلاء أكثر عُرْضة للمُفترِسات.

الشكل (9): نبات السُّلم الذي أُدخِل في بعض مناطق الأردن لتخضيرها.

أُفكِّر: أتوقَّع: كيف يُؤثِّر نبات السُّلم في النباتات المُستوطِنة في بيئته؟

الشكل (10): قطع الإنسان أشجار الغابات، وفقدان عديد من أنواع الكائنات الحيَّة مواطنها البيئية.

أتحقَّق: ماذا يحدث للكائنات الحيَّة التي تفقد مواطنها؟

الشكل (11): تجزئة الموطن البيئي نتيجة شق الطرق.

الشكل (12): طرح الماء المُلوَّث بالمواد الصُّلْبة (الحمأة) في المُسطَّحات المائية.

أُوضِّح تأثير الماء المُلوَّث في طائر النورس.

التلوُّث Pollution

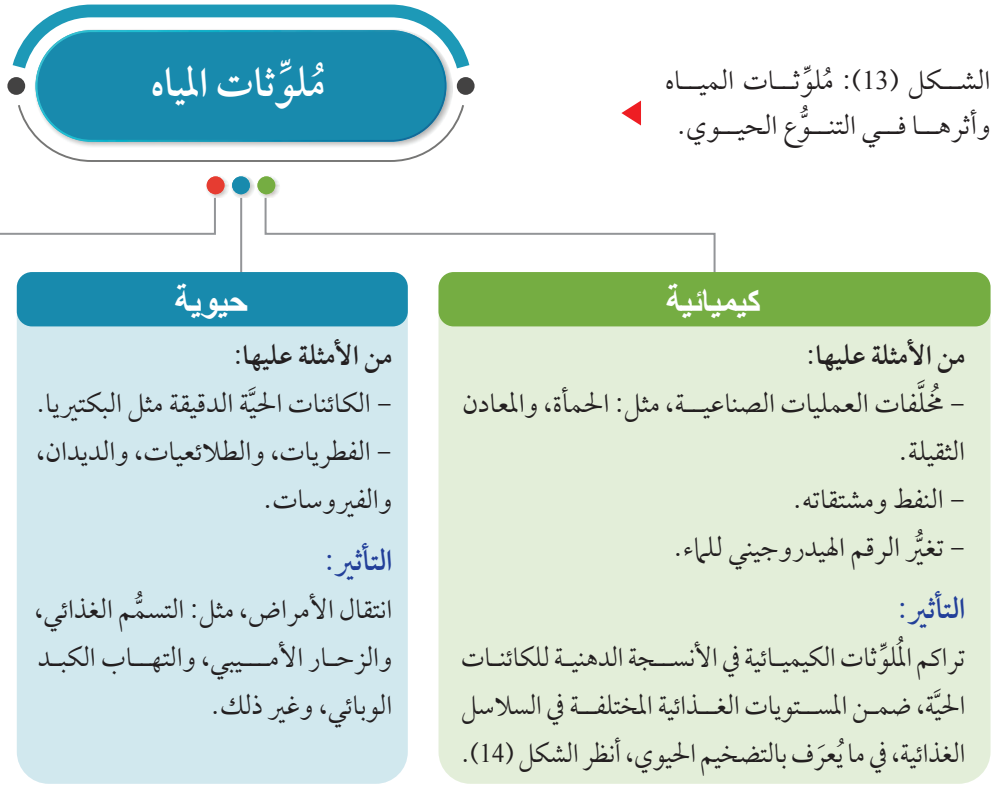
أيُّ تغيُّر كيميائي أو فيزيائي أو حيوي في البيئة، وزيادته على الحدِّ الطبيعي؛ ما يُؤثِّر سلبًا في الهواء والماء والتربة، ويُهدِّد التنوُّع الحيوي.

تلوُّث المياه Water Pollution

تتلوَّث المياه بعد وصول المُلوِّثات إليها، وطرحها في البحيرات والأنهار وخزّانات المياه الجوفية، أنظر الشكل (12).

لتعرُّف مُلوِّثات المياه وآثارها، أنظر الشكل (13).

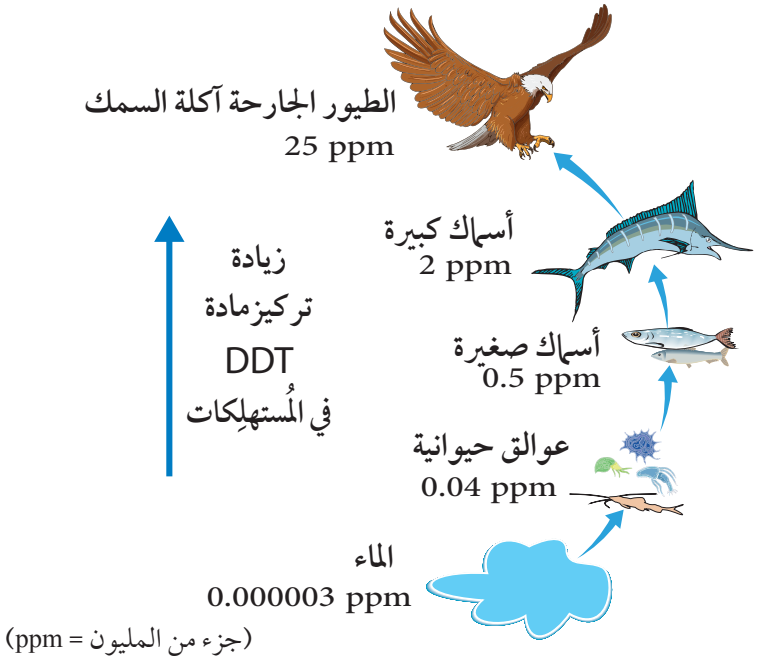
الشكل (13): مُلوِّثات المياه وأثرها في التنوُّع الحيوي.



أتحقَّق: ما أثر المُلوِّثات الفيزيائية في الأنظمة البيئية المائية؟

الربط بعلوم الأرض

تُمثِّل المياه العذبة التي هي عصب الحياة للإنسان ما نسبته 2.5% فقط من كمِّية الماء الموجودة على سطح الأرض. وهي تتوزَّع بين الأنهار الجليدية، والغطاء الجليدي، والمياه الجوفية، والمياه العذبة السطحية. وبافتراض أنَّ الأنهار هي مصدر المياه الرئيس لسكّان العالَم، فإنَّ ذلك يعني اعتماد حياة الإنسان على ما نسبته 0.0002% من إجمالي المياه الموجودة على كوكب الأرض.



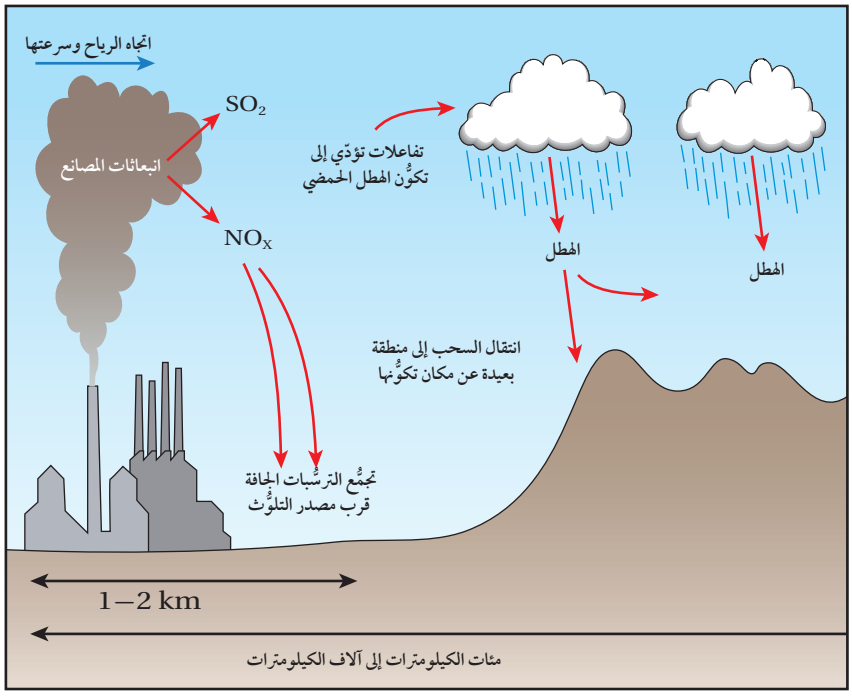
الشكل (14): تراكم المبيد الحشري DDT في أجسام الكائنات الحيَّة المُكوِّنة للسلاسل الغذائية.

أُقارِن بين أجسام العوالق الحيوانية وأجسام الأسماك الكبيرة من حيث تركيز المبيد الحشري DDT في كلٍّ منهما.

تلوُّث الهواء Air Pollution

يُعَدُّ **الهطل الحمضي** **Acid Precipitation** مثالًا على تلوُّث الهواء؛ وهو مطر أو ثلج أو ضباب يحوي حموضًا، ويتكوَّن عند تفاعل الماء الموجود في الهواء مع أكاسيد الكبريت والنيتروجين المُنبعِثة من أنشطة الإنسان؛ ما يؤدّي إلى تكوُّن حمض الكبريتيك وحمض النتريك، أنظر الشكل (15).

الشكل (15): تكوُّن الهطل الحمضي.



الربط بالكيمياء

تمكَّن العالِم بول مولر من تعرُّف خصائص مادة DDT بوصفها مبيدًا للحشرات، وتوصَّل إلى أنَّ هذه المادة تظلُّ في التربة مدَّة 10 سنوات تقريبًا من دون تحلُّل، وهي مدَّة تزيد ثلاثة أضعاف على مدَّة بقاء المبيدات الحشرية الأُخرى في التربة من دون تحلُّل.

يُلحِق المبيد الحشري DDT ضررًا بعدد من الكائنات الحيَّة، لا سيَّما الطيور؛ إذ يتسبَّب في هشاشة القشرة الخارجية لبيض الطيور وجعلها رقيقة؛ ما يؤدّي إلى موت أَجِنَّتها، وتراجع أعدادها.

الشكل (16): أثر الهطل الحمضي في النباتات.

أُوضِّح سبب موت الأشجار التي تتعرَّض للهطل الحمضي.

أتحقَّق: ما الأضرار الناتجة من الهطل الحمضي؟

يتسبَّب الهطل الحمضي في إلحاق ضرر بالأنظمة البيئية المائية، لا سيَّما عند تسرُّبه إلى المياه الجوفية، أو المياه العذبة، وقد يصل التسرُّب إلى مستويات تجعل الماء غير صالح للشرب. أمّا عند اختلاط الهطل الحمضي بمياه البحيرات والمستنقعات فإنَّ الرقم الهيدروجيني يقل، وحموضة الماء تزداد؛ ما يُؤثِّر سلبًا في فقس بيض الأسماك، ويتسبَّب في إنتاج نسل مُشوَّه، ثم انخفاض عدد الأسماك، وفقدان بعض أنواعها، مُلحِقًا الضرر بالسلاسل الغذائية؛ ما يحدُّ من التنوُّع الحيوي.

يُؤثِّر الهطل الحمضي أيضًا في أوراق النباتات، ويُحدِث تغيُّرًا في تراكيز الأملاح المعدنية الموجودة في التربة؛ ما يُعرِّض جذور النباتات للتلف، ويُؤثِّر سلبًا في نموها، ويعمل على تدمير أنسجتها، وتقليل قدرتها على مقاومة الأمراض، أنظر الشكل (16).

يستخدم علماء البيئة بعض أنواع الكائنات الحيَّة في الكشف عن تلوُّث الأنظمة البيئية، وذلك برصد التغيُّرات في أعدادها، أو خصائصها الفسيولوجية، أو سلوكها، أو شكلها الظاهري، في ما يُعرَف **بالمُؤشِّرات الحيوية Bioindicators**. فمثلًا، تُعَدُّ التشوُّهات في صغار الضفادع والضفادع البالغة، وعدم وجود بعض أنواع اللافقاريات المائية الصغيرة مثل الروبيان، دليلًا على تلوُّث الماء.

وفي المقابل، فإنَّ الأشنات من المُؤشِّرات الحيوية التي يدلُّ اختفاؤها على تلوُّث الهواء بسبب افتقارها إلى الجذور؛ فهي تمتصُّ المواد التي تحتاج إليها من الهواء والهطل، أنظر الشكل (17).

الشكل (17): نمو الأشنات على جذور الأشجار.

أتوقَّع تأثير أكاسيد الكبريت والنيتروجين في نمو الأشنات.

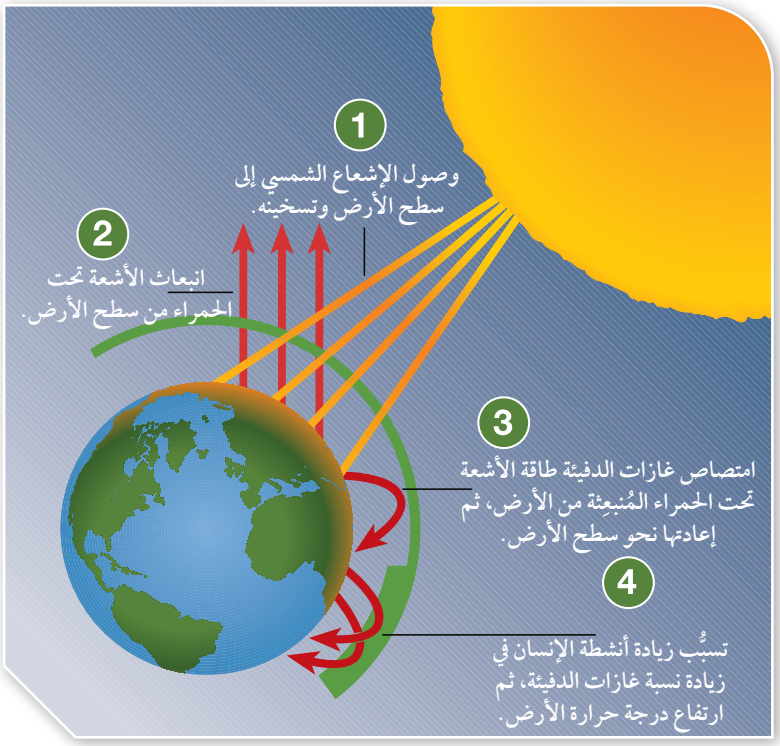
للكشف عن مُلوِّثات الهواء في الأردن، ترصد وزارة البيئة مُلوِّثات الهواء عن طريق محطّات الرصد الثابتة في بعض محافظات المملكة، وهي محطّات تُستخدَم فيها تقنيات حديثة على مدار العام؛ لتعرُّف نسب المُلوِّثات، ومقارنتها بالنسب الطبيعية المسموح بها، ثم اتخاذ الإجراءات اللازمة للحدِّ منها، بالتعاون مع المديريات التابعة للوزارة، التي تُعْنى بعمليات الترخيص والتفتيش والرقابة البيئية، فضلًا عن التعاون مع الوزارات والجهات المُتخصِّصة الأُخرى ومراكز البحث العلمي في المملكة.

أفكِّر: أُبيِّن كيف يُمكِن الكشف عن أثر الهطل الحمضي في المُسطَّحات المائية الصغيرة.

الاحترار العالمي Global Warming

يمرُّ الإشعاع الشمسي بالغلاف الجوي على هيئة طاقة ضوئية تصل سطح الأرض، مُسبِّبة ارتفاع درجة حرارتها. بعد ذلك تنعكس هذه الطاقة من سطح الأرض الدافئ إلى الغلاف الجوي على شكل أشعة طويلة الموجة (الأشعة تحت الحمراء)، وتمتصُّ غازات الدفيئة كثيرًا من هذه الأشعة التي تنبعث من الأرض، وتحبس جزءًا منها، ثم تعيد إرسالها إلى سطح الأرض، وتحبس جزءًا منها؛ ما يؤدّي إلى ارتفاع درجة حرارتها، في ما يُعرَف بالاحترار العالمي، أنظر الشكل (18).

تؤدّي ظاهرة الاحترار العالمي إلى تغيُّرات في المناخ، ويؤدّي تغيُّر المناخ إلى فَقْد بعض الأنواع التي لم تستطع التكيُّف مع الظروف المناخية الجديدة، أو تعذَّر عليها الانتقال إلى مواطن بيئية مناسبة، وتتسبَّب درجات الحرارة المرتفعة في جفاف التربة في عديد من المناطق؛ ما يحدُّ من نمو النباتات فيها، ويزيد من احتمال اندلاع الحرائق فيها بسبب الجفاف.



الشكل (18): غازات الدفيئة التي تُسبِّب الاحترار العالمي.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة: أُفسِّر**: المحافظة على التنوُّع الحيوي تُسهِم في سلامة الأنظمة البيئية المختلفة الموجودة في الغلاف الحيوي للأرض.

2. في دراسة لباحث شملت منطقتين، هما: A، وB، انتهت الدراسة إلى رصد أعداد نوعين (س، ص) من اللافقاريات كما في الجدول الآتي:

النوع	عدد أفراد النوع (س)	عدد أفراد النوع (ص)	عدد الأفراد (أنواع الكائنات الحيَّة) الكلي في المنطقة
المنطقة A	40	36	200
المنطقة B	45	54	180

أ- **أحسُبُ** نسبة أفراد النوع (س) في كلتا المنطقتين.

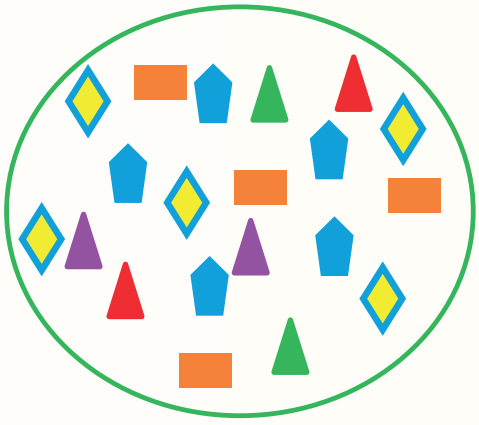
ب- **أُقارِن**: أيُّ النوعين أكثر تنوُّعًا في منطقته: (س) أم (ص)؟

جـ- **أتوقَّع** ما سيحدث للنوع (ص) في المنطقة B عند إدخال أنواع غازية فيها قادرة على نقل أمراض إلى هذا النوع.

3. **أُفسِّر** سبب تركُّز المواد السامَّة في أجسام المُستهلِكات الثانية بنسبة أكثر من تركُّزها في أجسام المُستهلِكات الأولى.

4. أُوضِّح تأثير تغيُّر الرقم الهيدروجيني نتيجة الهطل الحمضي في كلٍّ من بيوض الأسماك، والتربة.

5. يُمثِّل الرسم المجاور أحد الأنظمة البيئية، ويُعبِّر كل شكل فيه عن نوع من الكائنات الحيَّة في هذا النظام:



أ- **أحسُبُ** عدد الأنواع في هذا النظام البيئي.

ب- **أُحدِّد**: أيُّ الأشكال يُعَدُّ مثالًا على التنوُّع الوراثي؟

6. استخدم عمّال المناجم قديمًا طائر الكناري في الكشف عن الغازات السامَّة (مثل أوَّل أكسيد الكربون) في مناجم الفحم؛ نظرًا إلى تأثُّره السريع بغاز أوَّل أكسيد الكربون تحديدًا، وتأرجحه بصورة لافتة، وسقوطه حتى في حال وجود كمِّيات قليلة جدًّا من هذا الغاز:

أ- هل يُعَدُّ طائر الكناري من المُؤشِّرات الحيوية؟ **أُفسِّر** إجابتي.

ب- أُبيِّن التغيُّرات التي يرصدها العلماء في بعض الكائنات الحيَّة أثناء الكشف عن سلامة النظام البيئي.

الفكرة الرئيسة:

يؤدّي الإنسان دورًا مُهِمًّا في المحافظة على التنوُّع الحيوي وضمان استدامته للأجيال القادمة.

نتاجات التعلُّم:

- أُوضِّح طرائق حماية الأنظمة البيئية.
- أُبيِّن دور المؤسسات الوطنية في الحفاظ على التنوُّع الحيوي.
- أَصِف أثر النمو السكّاني وإدارة الموارد الحيوية في ضمان استدامة الأنظمة البيئية.

المفاهيم والمصطلحات:

النقاط الساخنة	Hot Spots
استعادة الموطن البيئي	Habitat Restoration
المعالجة الحيوية	Bioremediation
الزيادة الحيوية	Biological Augmentation
الأنواع المِظلَّة	Umbrella Species
التنمية المستدامة	Sustainable Development
إدارة الموارد الحيوية	Biotic Resources Management

طرائق حماية التنوُّع الحيوي والمحافظة عليه
Biodiversity Protection Methods & Conservation

تؤدّي المحافظة على المستوى نفسه من التنوُّع الحيوي إلى استقرار الأنظمة البيئية. ويُقصَد باستقرار النظام البيئي قدرة النظام البيئي على استعادة حالته الأصلية أو الطبيعية بعد تعرُّضه لأيِّ تغيير أو خلل قد يُؤثِّر في العلاقات الغذائية بين الكائنات الحيَّة، والتفاعل بين المُكوِّنات الحيَّة والمُكوِّنات غير الحيَّة في الأنظمة البيئية؛ ما يُعرِّض بعض المجتمعات الحيوية لخطر الانقراض.

يُقيِّم علماء البيئة التنوُّع الحيوي (بمستوياته الثلاثة) في الأنظمة البيئية؛ بُغْيَةَ المحافظة على أنواع الكائنات الحيَّة، والمواطن البيئية فيها. توجد طرائق عِدَّة للمحافظة على أنواع الكائنات الحيَّة التي تتناقص أعدادها، وتصبح عُرْضة لخطر الانقراض، أنظر الشكل (19).

الشكل (19): بعض طرائق المحافظة على التنوُّع الحيوي في الأنظمة البيئية.

أُفكِّر: كيف يُؤثِّر انقراض بعض أنواع الكائنات الحيَّة في استقرار الأنظمة البيئية؟

الجهود الدولية لحماية التنوُّع الحيوي

International Efforts for Protecting Biodiversity

أبدى العالَم اهتمامًا ملحوظًا بحماية التنوُّع الحيوي، وتمثَّل ذلك في إنشاء عديد من المؤسسات والجمعيات البيئية، وعقد كثير من الاتفاقيات والمعاهدات الدولية، وهذه أبرزها:

- الاتحاد الدولي لحماية الطبيعة International Union for Conservation of Nature (IUCN): منظمة عالمية تسعى للمحافظة على الأنواع المُهدَّدة بالانقراض، وتوسيع نطاق المناطق المحمية حول العالَم، والعمل على منع الاتِّجار غير المشروع بالأنواع المُهدَّدة بالانقراض.
- المعاهدة الدولية لمنع الاتِّجار بالكائنات الحيَّة المُهدَّدة بالانقراض Convention on International Trade in Endangered Species (CITES): معاهدة تهدف إلى حماية الأنواع المُهدَّدة بالانقراض، وذلك بمنع بيع مُنتَجات أنواع منها، أو الاتِّجار بها، مثل أصداف السلاحف البحرية، وتعريف السكّان المحليين بالحيوانات المُهدَّدة بالانقراض وتوعيتهم بأهميتها وعدم صيدها، ووضع القوانين اللازمة لمنع الصيد، وعدم العبث بالمواطن البيئية.

إنشاء المحميات الطبيعية Establishing Natural Reserves

حدَّد علماء البيئة المناطق التي يتعيَّن حفظ التنوُّع الحيوي فيها أكثر من غيرها على مستوى العالَم، ووضعوا أُسسًا ومواصفاتٍ للمحمية الطبيعية، أبرزها: حجم المحمية، وشكلها، وقدرة الأنواع على الانتقال منها إلى محمية طبيعية أُخرى، وتحديد الأنواع الواجب حمايتها وتكثيرها أوَّلًا قبل غيرها، مثل دب الباندا العملاق، أنظر الشكل (20).

تُعرَّف المحميات الطبيعية بأنَّها مناطق آمنة تعيش فيها أنواع الكائنات الحيَّة بمنأى عن المُفترِسات؛ ما يسمح بتكاثرها، لا سيَّما الأنواع المُستوطِنة منها، أو تلك المُهدَّدة بالانقراض، ثم إطلاق نسلها الجديد في البرية في حال توافرت الظروف والأحوال المناسبة لذلك.

الشكل (20): دب الباندا العملاق المُهدَّد بالانقراض.

الربط بالاقتصاد

يُمكِن الاستفادة من رَيْع السياحة البيئية للمحميات في توظيف أبناء المجتمع المحلي حُرّاسًا لها، أو مراقبين ومسؤولين عن الكائنات الحيَّة فيها، أو تدريبهم لإدارة شؤون المحميات وزيادة الوعي بأهمية الأنواع المُهدَّدة بالانقراض، ومنع صيدها.

أتحقَّق: أُوضِّح الأُسس والمواصفات الواجب مراعاتها عند إنشاء المحميات الطبيعية.

أُنشِئ في المملكة عـــدد من المحميـــات الطبيعية للمحافظة على بعض الكائنات الحيَّة المُهدَّدة بالانقراض. ومـــن أبرز هـــذه المحميـــات: محمية الشومري للأحياء البرية، ومحمية ضانا للغلاف الحيـــوي التي تضمُّ عددًا من الأنواع المُهدَّدة بالانقراض، أنظر الشكل (21).

الشكل (21): النسر الأسمر المُهـــدَّد بالانقـــراض الذي أُعيد إطلاقه في محمية ضانا.

حماية نقاط التنوُّع الحيوي الساخنة

Preserving Biodiversity Hot Spots

النقاط الساخنة Hot Spots مناطق صغيرة المساحة نسبيًّا، وغنية بأنواع مختلفة من الكائنات الحيَّة المُستوطِنة. وهي تحوي أنواعًا مُهدَّدةً بالانقراض، وقد صنَّفتها المنظمات الدولية لحماية البيئة ضمن المناطق التي يتعيَّن المحافظة على التنوُّع الحيوي فيها أكثر من غيرها.

أُفكِّر: لمـاذا تُعَـدُّ دولـة مدغشـقر من النقـاط السـاخنة على اليابسـة؟

تُعَدُّ النقاط الساخنة موطنًا لأكثر من ثلث أنواع البرمائيات، والزواحف، والطيور، والثدييات. وهي تحوي ما نسبته 50% من النباتات المُستوطِنة من إجمالي عدد النباتات العالمي.

من أمثلة النقاط الساخنة على اليابسة: دولة مدغشقر، أنظر الشكل (22/ أ).

يُذكَر أنَّ الأنظمة البيئية المائية تحوي أيضًا نقاطًا ساخنةً، مثل الشعاب المرجانية، أنظر الشكل (22/ ب).

أتحقَّق: أُبيِّن سبب اهتمام علماء البيئة بالنقاط الساخنة.

(أ)

(ب)

الشكل (22):
أ - نظام بيئي في دولـة مدغشقر يُمثِّل إحدى النقاط الساخنة على اليابسة.
ب- شعاب مرجانية في البحر الأحمر تُمثِّل إحـدى النقاط الساخنـة في الأنظمة البيئية المائية.

الشكل (23): بعض ممرّات الحركة التي تصل بين المواطن البيئية المُجزَّأة.

إنشاء ممرّات بين أجزاء الموطن البيئي
Establishment of Corridors between Habitat Fragments

أُنشِئت ممرّات عديدة لربط المواطن البيئية المُجزَّأة بعضها ببعض؛ حفاظًا على التنوُّع الحيوي فيها. وهي تُعرَف أيضًا بممرّات الحركة، مثل الجسور والأنفاق التي تُسهِّل الانتقال الآمن للكائنات الحيَّة المُعرَّضة للافتراس خارج بيئتها الطبيعية، وتحمي الحيوانات من حوادث الدهس والاصطدام أثناء محاولتها عبور الطرق السريعة عند التنقُّل بين أجزاء الموطن البيئي، وقد تساعدها على الهروب بسرعة وأمان عند تعرُّض الموطن البيئي لكارثة ما، أنظر الشكل (23).

وفي المقابل، فإنَّ لممرّات الحركة مخاطر عِدَّة، أبرزها: سهولة انتشار الأمراض والأنواع الغازية، واندلاع الحرائق بين أجزاء الموطن البيئي.

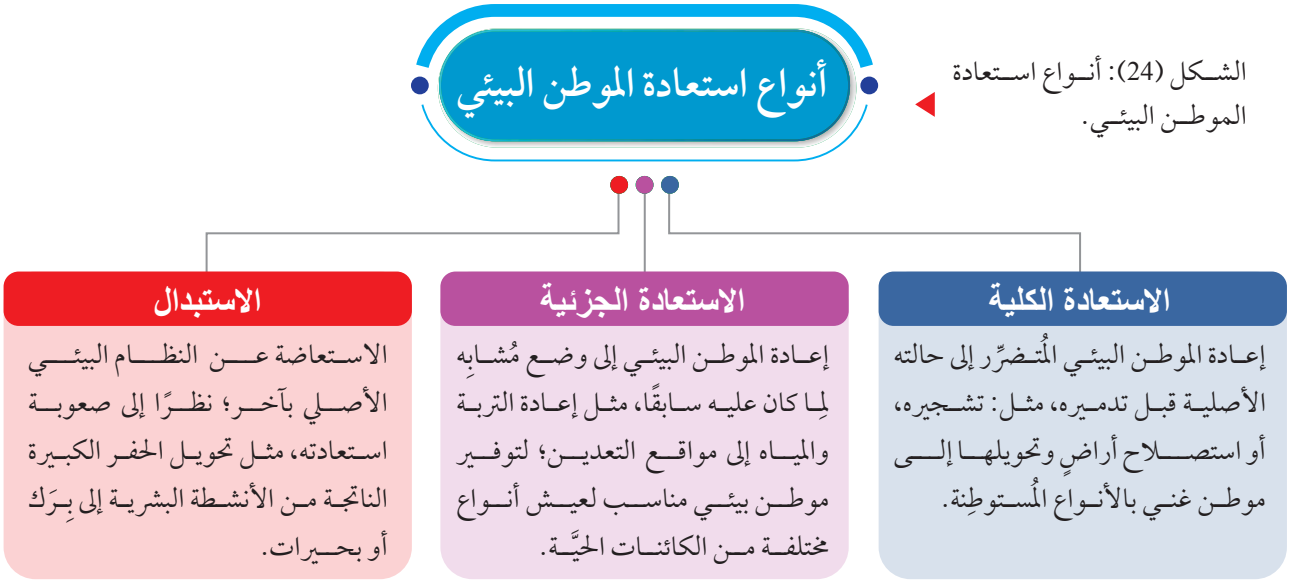
✓ **أتحقَّق:** أُحدِّد دور ممرّات الحركة في المحافظة على التنوُّع الحيوي.

استعادة الموطن البيئي Habitat Restoration

يُطلَق على محاولة إعادة المواطن البيئية المُتضرِّرة، أو الجماعات الحيوية فيها التي تعرَّضت لخطر الانقراض إلى ما كانت عليه قبل ذلك، اسم **استعادة الموطن البيئي Habitat Restoration**.

لتعرُّف أنواع استعادة الموطن البيئي، أنظر الشكل (24).

الشكل (24): أنواع استعادة الموطن البيئي.



✓ **أتحقَّق:** أُوضِّح المقصود بالاستعادة الجزئية للموطن البيئي.

لجأ العلماء إلى استعمال طرائق عِدَّة لتسريع عملية استعادة المواطن البيئية، أبرزها:

المعالجة الحيوية Bioremediation

يستفاد من بعض أنواع الكائنات الحيَّة في إزالة السموم من الأنظمة البيئية المُلوَّثة، في ما يُعرَف **بالمعالجة الحيوية Bioremediation**، مثل استخدام أنواع النباتات التي تمتصُّ المعادن الثقيلة من التربة، كالرصاص والكادميوم، ثم إزالتها للتخلُّص من هذه المعادن، أنظر الشكل (25).

الشكل (25): نبات رشاد الصخر (رشاد أذن الفأر) ***Arabidopsis thaliana*** الذي يمتاز بقدرته الفائقة على امتصاص المعادن الثقيلة مثل الرصاص، وتركيزها في سيقانه وجذوره.

أستنتج كيف يستفاد من زراعة نبات رشاد الصخر في الحدِّ من تلوُّث التربة.

الزيادة الحيوية Biological Augmentation

يُقصَد **بالزيادة الحيوية Biological Augmentation** الاستفادة من كائنات حيَّة يُمكِنها إضافة مواد أساسية إلى النظام البيئي المُتضرِّر. فمثلًا، تُزرَع النباتات المُثبِّتة للنيتروجين (مثل البقوليات) في التربة التي تفتقر إلى النيتروجين نتيجة عمليات التعدين والأنشطة الأُخرى، فتصبح الأنواع المُستوطِنة الأُخرى أكثر قدرة على أخذ حاجتها من النيتروجين، أنظر الشكل (26)؛ ما يُسهِم في زيادة التنوُّع الحيوي للأنظمة البيئية.

الشكل (26): البكتيريا المُثبِّتة للنيتروجين التي تعيش على جذور البقوليات.

حماية الأنواع المِظلَّة Protecting Umbrella Species

الأنواع المِظلَّة Umbrella Species أنواع من الكائنات الحيَّة، تعيش في موطن بيئي يمتاز بمساحته الكبيرة، وتؤدّي حمايته إلى حماية عديد من أنواع الكائنات الحيَّة الأُخرى التي تعيش في الموطن نفسه. فمثلًا، من الأنواع المِظلَّة البومة الشمالية المُرقَّطة ***Strix occidentalis*** التي تستوطن شمال غرب المحيط الهادئ، أنظر الشكل (27)؛ ذلك أنَّ زوجًا منها يعيشان في موطن بيئي تصل مساحته إلى عِدَّة كيلومترات -على الأقل- من الغابات؛ لكي يتمكَّنا من توفير الغذاء والتكاثر. ومن ثَمَّ، فإنَّ الحفاظ على موطن هذا النوع يضمن بقاء عديد من الأنواع الأُخرى التي تعيش في الموطن نفسه، مثل: بعض أنواع السلمندرات، والرخويات.

الشكل (27): البومة المُرقَّطة التي تحتاج إلى مناطق واسعة في موطنها البيئي.

أستنتج: كيف تعمل الأنواع المِظلَّة على حماية التنوُّع الحيوي في الأنظمة البيئية؟

أتحقَّق: أُوضِّح المقصود بالأنواع المِظلَّة.

التخلُّص من الأنواع الغازية Removing Invasive Species

يُمكِن القضاء على الأنواع الغازية باستخدام أنواع من المبيدات، أو بصيدها، أو إدخال مُفترِسات لها في الموطن البيئي.

من الأمثلة على التجارب المحليـة في هذا المجال: التخلُّص من أشجـار السُّلم الغـازية، والاستعاضة عنها بأشجـار الأراك المُستوطِنـة، ضمن خُطَّة لتطوير برنامج حماية الطبيعة في محمية فيفا الطبيعية بمنطقة الأغوار الجنوبية، بإشراف الجمعية الملكية لحماية الطبيعة.

أمّا بالنسبة إلى التجـارب العربية في مكافحـة الأنواع الغـازية فنذكر منها القضاء على نبات المسكيت ***Prosopis juliflora*** في المملكة العربية السعودية باستخدام المبيدات، واستـبدال الأنواع المُستوطِنة به.

وأمّا عالميًّا فقد استخدمت أستراليا الصيد، والمبيدات، وإدخال مُفترِسات (مثل حيوان الدنغو) في مكافحـة الأنواع الغازية، مثل: الثعـالب الوحشية، والأرانب التي أُدخِلت فيها.

✓ **أتحقَّق:** أُبيِّن دور الجمعيـة الملكية لحماية الطبيعة في مكافحة نبات السُّلم.

التنمية المستدامة للأنظمة البيئية وأهميتها
Ecosystems Sustainable Development and its Importance

يُقصَد **بالتنمية المستدامة** **Sustainable Development** تطوير التقنيات، وتحسين الأنظمة البيئية؛ للوفاء بحاجات الإنسان المُتزايِدة من دون التأثير سلبًا في الأنظمة البيئية اللازمة لحياة الأجيال اللاحقة.

تتطلَّب التنمية المستدامة فهمًا شاملًا للأنظمة البيئية، لا سيَّما أعداد الأنواع وتوزيعها وتنوُّعها، وزيادة الوعي باعتماد حياة الإنسان على سلامة هذه الأنظمة؛ فذلك يزيد من أهمية المحافظة على الموارد الطبيعية، ويُعزِّز السياحة البيئية التي تُركِّز على استدامة التنوُّع الحيوي والمناظر الطبيعية؛ ما يُحقِّق الأهداف المنشودة من برامج التنمية المستدامة وخُطَطها على المدى الطويل.

لتعرُّف أهداف التنمية المستدامة للأنظمة البيئية، أنظر الشكل (28).

أهداف التنمية المستدامة للأنظمة البيئية

1. تدوير بعض الفضلات.
2. تطوير التقنيات الزراعية.
3. الحدُّ من التلوُّث وتأثيره في الأنظمة البيئية.
4. استخدام الطاقة البديلة، وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.
5. الحدُّ من استهلاك الموارد الطبيعية، وبخاصة الحيوية منها.

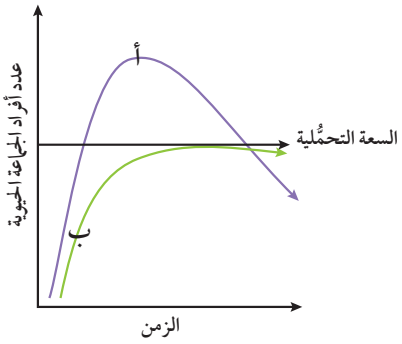
الشكل (28): أهداف التنمية المستدامة للأنظمة البيئية.

السعة التحمُّلية Carrying Capacity

يُقصَد بها الحدُّ الأقصى من أفراد النوع نفسه من الكائنات الحيَّة الذي تستطيع البيئة دعمه بصورة طبيعية.

تختلف السعة التحمُّلية لكل موطن من المواطن البيئية تبعًا لتوافر الموارد البيئية (المُكوِّنات الحيَّة، والمُكوِّنات غير الحيَّة) فيه؛ لذا يُنظَر بعين الاهتمام إلى السعة التحمُّلية للأرض وإدارة مواردها؛ بُغْيَةَ استدامة الأنظمة البيئية.

إذا تجاوز نمو الجماعة الحيوية السعة التحمُّلية للأنظمة البيئية المختلفة، فإنَّ الموارد البيئية المتوافرة لن تتمكَّن من دعم النمو والتكاثر لهذه الجماعة؛ ما يؤدّي إلى موت عديد من أفرادها، فيعود حجمها إلى الحدِّ الذي تستطيع الأنظمة البيئية دعمه، أنظر الشكل (29).



الشكل (29): السعة التحمُّلية لنظام بيئي:
أ. موت عدد من أفراد الجماعة الحيوية بعد تجاوزها السعة التحمُّلية.
ب. النمو الطبيعي للجماعة الحيوية ضمن السعة التحمُّلية.

إدارة الموارد الحيوية Biotic Resources Management

توجد الموارد الحيوية في الغلاف الحيوي، وتشمل نواتج عديد من الكائنات الحيَّة، إضافةً إلى ما ينتج من تحلُّل الكائنات الميتة وطمرها من أملاح معدنية ووقود أحفوري.

لضمان المحافظة على الموارد الحيوية المُتنوِّعة، وضعت كثير من الدول خُطَطًا طويلة الأمد، تُسمّى **إدارة الموارد الحيوية Biotic Resources Management**، وتهدف إلى المحافظة على التوازن بين استخدام الموارد الحيوية وإمكانية تعويضها.

✓ **أتحقَّق:** أُوضِّح أثر زيادة أعداد الجماعة الحيوية في الموارد الطبيعية.

الشكل (30): نبات الخيزران.

فمثلًا، عند القطع المدروس لبعض أشجار الخيزران في الغابات التي تعيش فيها، فإنَّ ذلك يسمح بالنمو السريع لأشجار الخيزران الأُخرى؛ نتيجةً لتوافر الضوء والأملاح المعدنية والماء، وهي العناصر اللازمة لنموها؛ ما يُوفِّر كمِّيات مستدامة من الأخشاب اللازمة للوفاء بحاجات الإنسان المستمرة، أنظر الشكل (30).

لتحقيق أهداف إدارة الموارد الحيوية، أنظر الشكل (31).

أتحقَّق: أُبيِّن دور إدارة الموارد الحيوية في استدامة الأنظمة البيئية.

تتحقق أهداف إدارة الموارد الحيوية من خلال:

- تقليل الضغط المُتزايِد على الأنظمة البيئية، وهو ضغط ناتج من الإفراط في الاستخدام.
- ترشيد استهلاك الموارد الحيوية؛ لكي تتمكَّن الأنظمة البيئية من تجديد نفسها.

الشكل (31): تحقيق أهداف إدارة الموارد الحيوية.

تتضمَّن خُطَط إدارة الموارد الحيوية الاستخدام المستدام للنباتات والحيوانات، وإعادة زراعة الأشجار وبعض النباتات، والسماح بالصيد في غير مواسم التكاثر، وترشيد استهلاك بعض الموارد أو تدويرها، أنظر الشكل (32).

الشكل (32): بعض الممارسات التي تحافظ على الموارد الحيوية، وتضمن استدامتها.

الربط بالتكنولوجيا

أسهم التطوُّر التكنولوجي في دعم التنمية المستدامة للموارد الحيوية وديمومتها للأجيال القادمة. ومن ذلك:

- استعمال الحاضنات الحديثة لتوفير كمِّيات كافية من البيض والدجاج اللاحم في المَزارع.
- استخدام الآلات الزراعية الحديثة في زراعة مساحات كبيرة من المحاصيل الغذائية وحصادها خلال مدَّة زمنية قصيرة، وإنتاج كمِّيات كبيرة من المواد الغذائية تفوق ما تُنتِجه الموارد الحيوية الطبيعية.

نشاط

التخلُّص من نفايات المنزل أو نفايات المدرسة

يتسبَّب إلقاء النفايات - على اختلاف أنواعها- وتكديسها في الإضرار بالأنظمة والمواطن البيئية، وتعريضها لمخاطر عِدَّة، أبرزها: انتشار الحشرات الناقلة للأمراض مثل الذباب والبعوض، وانتشار الروائح الكريهة.

المواد والأدوات:

أكياس نفايات فارغة، حاويات نفايات بلاستيكية، قفّازات مطّاطية، قلم تخطيط.

إرشادات السلامة: التعامل مع النفايات الزجاجية والمعدنية بحذر.

ملحوظة: يُمكِن تنفيذ النشاط ضمن مجموعات.

خطوات العمل:

1. أرتدي قفّازين مطّاطيين.

حاوية نفايات تحوي مواد قابلة للتدوير.

2. **أُجرِّب:** أستخدم أكياس النفايات الفارغة في جمع النفايات من ساحات المدرسة أو من المنزل.
3. **أُجرِّب:** أُفرِّغ محتوى الأكياس في المكان المُخصَّص لجمع النفايات داخل المدرسة أو المنزل.
4. أستخدم قلم التخطيط في كتابة نوع النفايات القابلة للتدوير على كل حاوية نفايات، مثل: نفايات بلاستيكية، ونفايات زجاجية، ونفايات ورقية، ونفايات معدنية، أنظر الشكل المجاور.
5. **أُصنِّف** النفايات إلى أنواعها، ثم أضع كل نوع منها في الحاوية المُخصَّصة له.
6. أجمع النفايات غير القابلة للتدوير أو إعادة الاستخدام في أكياس نفايات مُحكَمة الإغلاق، ثم أضعها في حاوية النفايات الخاصة بالمدرسة أو المنزل.
7. **أتواصل** مع الأشخاص أو المؤسسات المُتخصِّصة في تدوير النفايات القابلة للتدوير.

التحليل والاستنتاج:

1. **أستنتج:** كيف تُؤثِّر النفايات في الأنظمة البيئية؟
2. **أتوقَّع** كمِّية النفايات القابلة للتدوير التي جمعْتُها.
3. **أستنتج** أهمية تدوير النفايات أو إعادة استخدامها في التنمية المستدامة للأنظمة البيئية.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أُوضِّح: لماذا يُعَدُّ دور الإنسان مُهِمًّا في استدامة التنوُّع الحيوي للأجيال القادمة؟
2. أُوضِّح أهمية التنمية المستدامة للأنظمة البيئية في تقليل آثار الأنشطة البشرية السلبية في البيئة.
3. تُبيِّن الصورة المجاورة منجمًا لاستخراج بعض المعادن. أتأمَّل الصورة، ثم أُجيب عن الأسئلة الآتية:

أ- **أُفسِّر:** ما أثر إنشاء المنجم في النظام البيئي؟

ب- **أتوقَّع:** كيف يُمكِن استعادة النظام البيئي في هذه المنطقة؟

جـ- **أَصِف:** كيف يُمكِن تحسين تركيب تربة المنجم بعد استعادة النظام البيئي فيه؟

4. أُبيِّن الآثار السلبية لإنشاء الممرّات بين أجزاء الموطن البيئي.
5. أذكر مثالًا واحدًا على كلٍّ ممّا يأتي:

أ- استبدال الموطن البيئي.

ب- الزيادة الحيوية.

6. يُمثِّل الجدول الآتي أعداد حيوان المها العربي في الأردن من عام 1920م إلى عام 2018م. أدرس الجدول، ثم أُجيب عن السؤالين التاليين:

العام	العدد	ملحوظات
1920م	0	صيد آخر حيوان مها عربي.
1975م	0	إنشاء محمية الشومري.
1978م	11	-
1999م	236	إعادة توزيع حيوان المها العربي على دول الجوار.
2018م	120	محمية الشومري، ومحمية وادي رم.
* الأرقام للاطلاع فقط.		

أ- أُحدِّد سبب اختفاء حيوان المها العربي قبل عام 1920م.

ب- **أتوقَّع** أسباب زيادة أعداد حيوان المها العربي في محمية الشومري.

7. **أُقارِن** بين الاستعادة الكلية والاستعادة الجزئية للموطن البيئي.
8. أُعدِّد بعض الممارسات التي تُسهِم في المحافظة على الموارد الحيوية وديمومتها للأجيال القادمة.
9. يُتوقَّع أنْ يبلغ عدد سكّان العالَم 12 مليار نسمة عام 2100م. ولضمان الأمن الغذائي لهذا العدد من الأشخاص، يجب زراعة مزيد من الأراضي لإنتاج محاصيل يستهلكها الناس مباشرة، أو تأمينهم بالغذاء من المخزون الغذائي الذي تحتفظ به الدول للحالات الطارئة:

أ- **أُلخِّص** الآثار السلبية الناجمة عن زيادة نمو الجماعات الحيوية في التنوُّع الحيوي.

ب- أُحدِّد أهمية الموارد الحيوية.

10. **أستنتج** ما يحدث للأنواع المُستوطِنة عند القضاء على الأنواع الغازية التي تُنافِسها في موطنها.

أثر بناء السدود في التنوُّع الحيوي
Effects of Dams Construction on Biodiversity

يبني الإنسان السدود للاستفادة من الماء المُتجمِّع فيها في عديد من المجالات، مثل: توليد الطاقة، وتبريد محطّات إنتاج الطاقة، إلى جانب الاستفادة المباشرة منه في قطاع الزراعة وغيره من القطاعات.

غير أنَّ بناء السدود يُؤثِّر سلبًا في التنوُّع الحيوي، ومن ذلك:

- تدمير المواطن البيئية لبعض الكائنات الحيَّة، أو تغييرها؛ إذ تمنع السدود - مثلًا- هجرة أسماك السلمون من أسفل الأنهار إلى أعلاها لوضع البيوض والتفقيس؛ فتقل أعدادها.
- احتمالية خفض مستويات الماء في الأنهار، وانخفاض مُعدَّلات تدفُّقها؛ ما يمنع التدفُّق الطبيعي للمواد الغذائية في الماء.
- ارتفاع مُعدَّلات درجات حرارة الماء، لا سيَّما إذا استُخدِمت السدود في تبريد محطّات توليد الكهرباء؛ ما يُؤثِّر في النمو والتكاثر لعديد من الأنواع التي تعيش في الأنهار.
- زيادة نمو بعض النباتات والطحالب عن طريق الإثراء الغذائي؛ نتيجةً لتراكم كمِّيات كبيرة من أسمدة الأراضي الزراعية في الماء، وحبسها خلف السدود؛ ما يؤدّي إلى انخفاض مستويات الأكسجين في الماء، ثم القضاء على القشريات، والحشرات، والبرمائيات، والأسماك، وهو ما قد يتسبَّب في موت النظام البيئي كله.
- إنتاج خزّانات السدود الضحلة، لا سيَّما في المناطق الاستوائية، كمِّيات كبيرة من غاز الميثان في أغلب الأحيان. ولمّا كان هذا الغاز هو أحد غازات الدفيئة الأساسية، فإنَّه ينبعث عند تعرُّض بعض المُركَّبات العضوية (توجد أسفل مياه الخزّانات) للتحلُّل والتخمُّر.

نبات ورد النيل المائي (***Eichhornia crassipes***) الذي ينمو على سطح الماء في خزّانات السدود.

مراجعة الوحدة

السؤال الأوَّل:

لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أُحدِّدها:

1. من الطرائق التي تزيد من التنوُّع الوراثي لجماعة حيوية مُعرَّضة للانقراض:
   أ- إنشاء محمية لحفظ موطنها البيئي.
   ب- إدخال أفراد جديدين من النوع نفسه للجماعة الحيوية.
   جـ- إدخال أفراد من أنواع جماعات حيوية تختلف عنها.
   د- السيطرة على أعداد الجماعات الحيوية المُفترِسة، أو المُنافِسة لها.
2. إحدى الآتية صحيحة في ما يتعلَّق بالمناطق المحمية التي تُنشَأ لحماية التنوُّع الحيوي:
   أ- تُمثِّل ما نسبته 70% من مساحة سطح الأرض.
   ب- تُنشَأ لحماية التنوُّع الحيوي النباتي.
   جـ- تُعَدُّ مناطق مُهِمَّة لحماية الأنواع الغازية في المواطن البيئية.
   د. تُعَدُّ مناطق مُهِمَّة لحماية نقاط التنوُّع الحيوي الساخنة.
3. أُزيلت أشجار إحدى الغابات للاستثمار في مجال التعدين، ثم زُرِعت بالأعشاب لاستخدامها حديقة عامَّة. تُعرَف هذه العملية بِـ:
   أ- الاستعادة الكاملة.
   ب- الاستعادة الجزئية.
   جـ- استبدال النظام البيئي.
   د- المعالجة الحيوية.
4. المصطلح الذي يصف الاستخدام الزائد للأنواع ذات القيمة الاقتصادية هو:
   أ- الاستغلال الأمثل.
   ب- الاستغلال المُفرِط.
   جـ- الانقراض.
   د- التنوُّع.
5. وجود تركيز عالٍ من المعادن الثقيلة في الماء يُعَدُّ من المُلوِّثات المائية:
   أ- الفيزيائية.
   ب- الحيوية.
   جـ- الكيميائية.
   د- الطبيعية.
6. من الأمثلة على القيمة الاقتصادية غير المباشرة للتنوُّع الحيوي:
   أ- الأدوية.
   ب- الملابس.
   جـ- الغذاء.
   د- الحماية من الجفاف.
7. المصطلح الذي يشير إلى تقسيم الجماعات الحيوية التي تعيش في الموطن البيئي إلى مجموعات صغيرة، بعيد بعضها عن بعض، هو:
   أ- تجزئة الموطن البيئي.
   ب- التلوُّث.
   جـ- الإشعاع.
   د- تدمير الموطن البيئي.

السؤال الثاني:

يعيش نوع من الأسماك في بركة، ويتغذّى بأحد أنواع البرمائيات منذ سنوات عديدة. وقد لوحِظ أنَّ أعداد كلا النوعين كانت مستقرة نسبيًّا عددًا من السنوات. **أُفسِّر** سبب انخفاض عدد أفراد كلا النوعين بعد إدخال نوع جديد من الأسماك في هذه البركة.

السؤال الثالث:

أُصنِّف العبارات الآتية إلى مستوى التنوُّع الحيوي الذي يُمثِّلها:

أ- التنوُّع في ألوان الريش لنوع من الطيور.

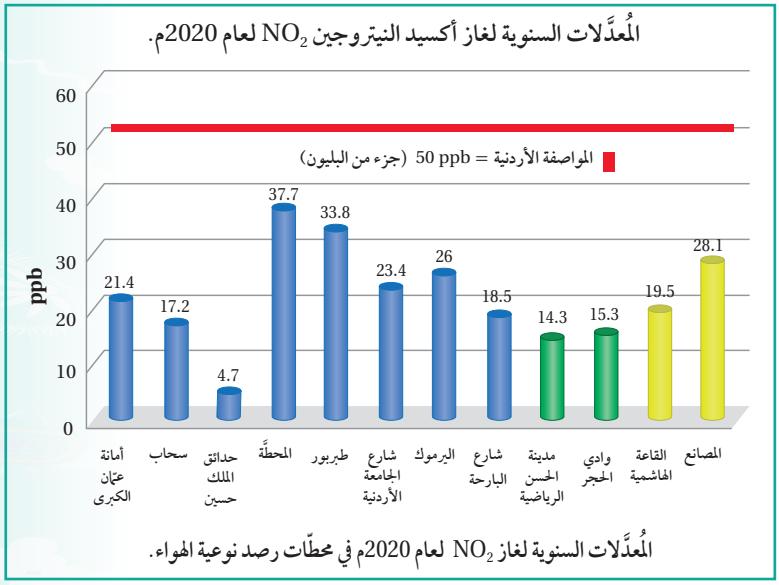
ب- عدد الأنواع أو النسب العددية لأحد الأنواع في المجتمع الحيوي.

جـ- الخصائص الوراثية المُتنوِّعة التي وهبها الله تعالى لجماعة من القطط.

د- وجود أكثر من نظام بيئي في الغلاف الحيوي.

السؤال الرابع:

يُمثِّل المُخطَّط المجاور المُعدَّل السنوي لتركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين في محطَّة رصد لنوعية الهواء عام 2020م في مناطق عِدَّة من المملكة الأردنية الهاشمية. أدرس المُخطَّط، ثم أُجيب عن الأسئلة الآتية:



المصدر: التقرير السنوي لوزارة البيئة عام 2020م.

أ- **أستنتج** في أيِّ المناطق كانت نسبة غاز ثاني أكسيد النيتروجين أعلى من غيرها؟

ب- **أستنتج** سبب ارتفاع تركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين في بعض المناطق، وانخفاضه في مناطق أُخرى.

جـ- **أُفسِّر** سبب رصد تركيز هذا الغاز في محطّات رصد نوعية الهواء.

السؤال الخامس:

أُقارِن بين الأنواع المِظلَّة وأنواع المُؤشِّرات الحيوية من حيث الأهمية، ثم أذكر مثالًا على كلٍّ منهما.

السؤال السادس:

صمَّمت لجنة البيئة في إحدى المدارس الشعار الآتي في يوم البيئة:

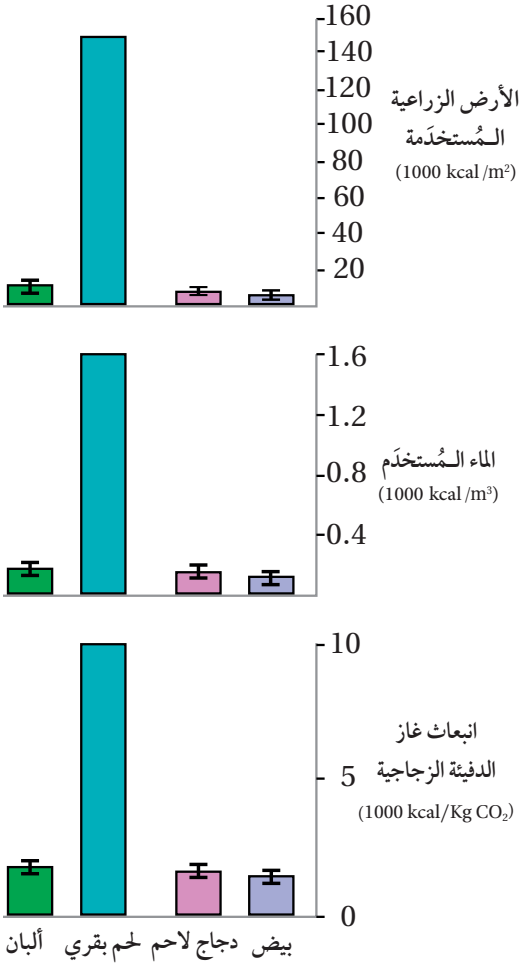
(التنوُّع الحيوي هو العمود الفقري للاقتصاد العالمي):

أ- **أُبيِّن رأيي** في هذه العبارة، مُبرِّرًا إجابتي.

ب- **أقترح** طرائق قد تزيد الوعي بأهمية المحافظة على التنوُّع الحيوي في بيئتي.

السؤال السابع:

يُبيِّن الرسم البياني المجاور أربعة أنواع مختلفة من الموارد المُستخدَمة في إنتاج 1000 kcal من الطعام (يُمثِّل ذلك نصف حاجات الإنسان اليومية):



أ- **أحسُبُ**: إذا أردْتُ تناول 1000 kcal يوميًّا من الدجاج بدل اللحم البقري، فما مساحة الأرض الزراعية اللازمة لإنتاج ذلك؟

ب- **أستنتج** تأثير الاستمرار في إنتاج اللحم البقري في الأنظمة البيئية.

جـ- **أستنتج**: كيف يُؤثِّر التنوُّع في الوجبات في المحافظة على الموارد الطبيعية (التربة، والماء)؟

السؤال الثامن:

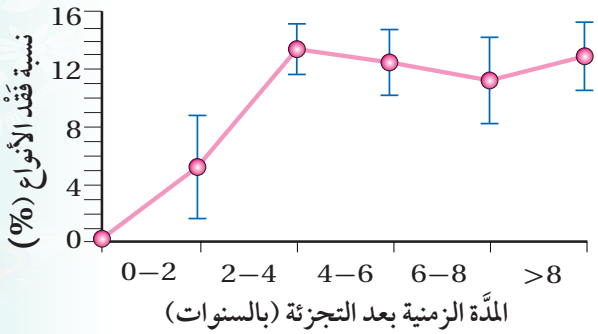
اشترى مُزارِع قطعة أرض بجوار بحيرة تلوَّثت بعد أنْ طُرِحت فيها مُخلَّفات مصنع قديم للمواد الكيميائية:

أ- أُوضِّح أثر الماء المُلوَّث في نظام البحيرة البيئي.

ب- احتار المُزارِع في اختيار نوع النبات المناسب ممّا يأتي لزراعته في قطعة الأرض: الأرز أم رشاد الصخر. أيُّ النباتين أنصح المُزارِع بزراعته، مُبرِّرًا إجابتي؟

السؤال التاسع:

يُمثِّل الرسم البياني المجاور نسبة انقراض أنواع من الكائنات الحيَّة بعد 8 سنوات تقريبًا من تجزئة موطنها البيئي، علمًا بأنَّ العدد الكلي لأفراد الأنواع جميعها قبل التجزئة هو 10000 فرد. أدرس الرسم، ثم أُجيب عن الأسئلة الآتية:



أ- **أحسُبُ** عــدد أفراد الأنواع المُنقرِضة بعد مرور (2-4) سنوات من تجزئة الموطن البيئي.

ب- **أحسُبُ**: ما عدد أفراد الأنواع المُتبقِّية عند السنة الثامنة من تجزئة الموطن البيئي؟

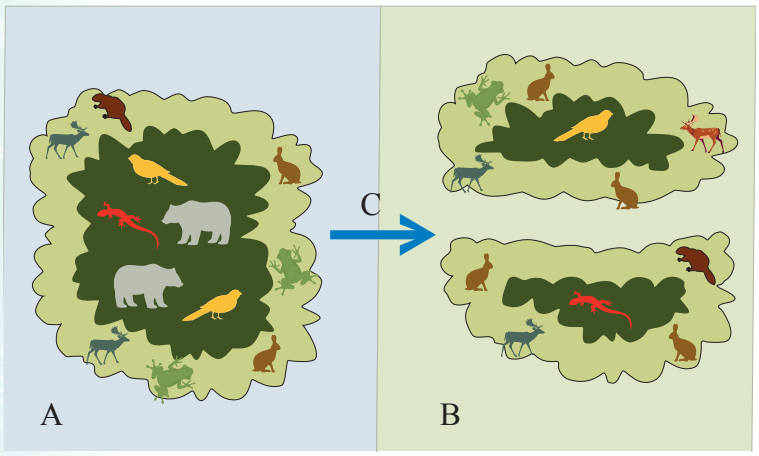
جـ- **أُفسِّر** سبب زيادة عدد أفراد الأنواع المُنقرِضة بعد تجزئة الموطن البيئي.

د- **أقترح**: كيف يُمكِن التقليل من عدد أفراد الأنواع المُنقرِضة بعد تجزئة الموطن البيئي؟

السؤال العاشر:

أُفسِّر: تسعى الجمعية الملكية لحماية الطبيعة للتخلُّص من نبات السَّلم، أو الحدِّ من انتشاره في الأردن.

السؤال الحادي عشر:



يُبيِّن الشكل المجاور تغيُّرًا في أحد المواطن البيئية لمنطقة ما:

أ - أُوضِّح التغيُّر الذي حدث للموطن البيئي المشار إليه بالرمز (C).

ب- **أتوقَّع** تأثير تغيُّر التنوُّع الحيوي في المنطقة A، والمنطقة B.

مسرد المصطلحات

(أ)

إدارة الموارد الحيوية Biotic Resources Management: المحافظة على التوازن بين استخدام الموارد الحيوية وإمكانية تعويضها.

استعادة الموطن البيئي Habitat Restoration: محاولة إعادة المواطن البيئية المُتضرِّرة أو الجماعات الحيوية فيها التي تعرَّضت لخطر الانقراض إلى ما كانت عليه قبل ذلك.

استقرار النظام البيئي Ecosystem Stability: قدرة النظام البيئي على استعادة حالته الأصلية أو الطبيعية بعد تعرُّضه لأيِّ تغيير أو خلل قد يُؤثِّر في العلاقات الغذائية بين الكائنات الحيَّة، والتفاعل بين المُكوِّنات الحيَّة والمُكوِّنات غير الحيَّة في الأنظمة البيئية.

الاستنساخ Cloning: إنتاج كائن حيٍّ مُتعدِّد الخلايا من خلية واحدة، بحيث يتطابق وراثيًّا مع الكائن الحيِّ الذي تبرَّع بالخلية الأصلية المُستنسَخة.

الأليلات المُتعدِّدة Multiple Alleles: وجود أكثر من أليلين للجين الواحد.

إنزيم بلمرة DNA مُتحمِّل الحرارة Taq DNA Polymerase: إنزيم يُستخدَم في بلمرة DNA، ويُستخلَص من بكتيريا مُحِبَّة للحرارة ***Thermus aquaticus*** تعيش في الينابيع الحارَّة.

إنزيم ربط DNA DNA Ligase: إنزيم يُستعمَل لربط سلسلتي DNA عن طريق تكوين روابط تساهمية فوسفاتية ثنائية الإستر بين نهايات سلسلتي DNA؛ ما يؤدّي إلى التحامهما.

إنزيمات القطع المُحدَّد Restriction Enzymes: إنزيمات مُتخصِّصة تتعرَّف تسلسلًا مُحدَّدًا من النيوكليوتيدات في منطقة تُسمّى منطقة التعرُّف، ويكون تسلسل النيوكليوتيدات في إحدى سلسلتي DNA (من 5′ إلى 3′) هو التسلسل نفسه للسلسلة المُقابِلة لها.

الانقراض الجماعي Mass Extinction: انقراض عدد كبير من أفراد الجماعات الحيوية خلال مدَّة زمنية قصيرة نسبيًّا.

الانقراض المُتدرِّج Background Extinction: انقراض بعض أفراد الجماعات الحيوية بصورة طبيعية، وعلى نحوٍ تدريجي، خلال مدَّة زمنية طويلة نسبيًّا.

الأنواع الغازية Invasive Species: أنواع الكائنات الحيَّة الغريبة، مثل النباتات والحيوانات التي أُدخِلت -عن قصد، أو من دون قصد- في موطن بيئي ما عن طريق الإنسان، وأصبحت تُهدِّد التنوُّع الحيوي فيه.

الأنواع المُستوطِنة Native Species: أنواع الكائنات الحيَّة التي تعيش في موطنها الطبيعي.

الأنواع المِظلَّة Umbrella Species: أنواع من الكائنات الحيَّة، تعيش في موطن بيئي، يمتاز بمساحته الكبيرة، وتؤدّي حمايته إلى حماية عديد من أنواع الكائنات الحيَّة الأُخرى التي تعيش في الموطن نفسه.

(ب)

البصمة الوراثية DNA Fingerprinting: خريطة قَطع تُبيِّن توزيع قِطع DNA في عيِّنة DNA التي يراد تحليلها، وتُؤخَذ من نواة خلية حيَّة، مثل: خلايا الدم البيضاء، وجذور الشعر، والخلايا الطلائية.

البلازميدات Plasmids: DNA حلقي في سيتوبلازم البكتيريا، وهو يتضاعف بصورة مستقلة.

(ت)

تأثير الحدِّ البيئي Edge Effect: نشوء ظروف بيئية مختلفة، تظهر على طول الحدود البيئية؛ نتيجةً لتجزئة الموطن البيئي.

الترتيب العشوائي للكروموسومات Random Orientation of Chromosomes: ترتيب كروموسومات الأُمِّ وكروموسومات الأب ترتيبًا عشوائيًّا أثناء الطور الاستوائي الأوَّل في الانقسام المُنصِّف؛ ما يُؤثِّر في توارث الأليلات المحمولة على كروموسومات مختلفة.

تعدُّد المجموعة الكروموسومية Polyploidy: احتواء بعض الكائنات الحيَّة على أكثر من مجموعتين من الكروموسومات في خلاياها الجسمية، كأنْ تكون الخلايا ثلاثية المجموعة الكروموسومية (3n)، أو رباعية المجموعة الكروموسومية (4n).

تفاعل إنزيم البلمرة المُتسلسِل Polymerase Chain Reaction (PCR): عملية مضاعفة عيِّنة صغيرة من DNA وتكرارها لإنتاج ملايين النسخ منها خلال ساعات عِدَّة باستخدام جهاز الدورية الحرارية.

التكنولوجيا الحيوية Biotechnology: فرع من فروع العلوم الحياتية، يهتمُّ بتوظيف الكائنات الحيَّة والمعلومات المُتعلِّقة بها في مجالات عِدَّة، واستخدامها في صنع بعض المُنتَجات وتطويرها لخدمة البشرية.

التنقيب الحيوي Bioprospecting: البحث عن كائنات حيَّة تُمثِّل مصدرًا لمواد ذات قيمة اقتصادية، مثل: الملابس، والعقاقير الطبية.

التنمية المستدامة Sustainable Development: تطوير التقنيات، وتحسين الأنظمة البيئية؛ للوفاء بحاجات الإنسان المُتزايِدة من دون التأثير سلبًا في الأنظمة البيئية اللازمة لحياة الأجيال اللاحقة.

تنوُّع الأنظمة البيئية Ecosystems Diversity: تعدُّد الأنظمة البيئية بما تحويه من مُكوِّنات حيَّة ومُكوِّنات غير حيَّة في الغلاف الحيوي.

تنوُّع الأنواع Species Diversity: عدد أنواع الكائنات الحيَّة المختلفة، ونسبة كلٍّ منها في نظام بيئي.

التنوُّع الحيوي Biodiversity: وجود أنواع مختلفة من الكائنات الحيَّة في نظام بيئي مُعيَّن.

التنوُّع الوراثي Genetic Diversity: اختلافات في الجينات بين أفراد الجماعة الحيوية الواحدة والجماعات الحيوية المختلفة الأُخرى؛ ما يسمح لأفراد الجماعات الحيوية بالتكيُّف مع بيئاتهم.

(ج)

الجينات المُرتبِطة Linked Genes: جينات بعضها قريب من بعض، وهي تُحمَل على الكروموسوم نفسه، وتُورَّث بوصفها وحدة واحدة، ومن أمثلتها جينات صفتي لون الجسم وحجم الأجنحة في ذبابة الفاكهة.

(خ)

خريطة الجينات Genes Map: خريطة تُبيِّن الجينات المحمولة على الكروموسوم، وترتيبها، والمسافة بينها.

(د)

درجة الحرارة المحورية Pivotal Temperature (T_p): درجة حرارة مُعيَّنة، ينتج فيها ذكور وإناث بنسب متساوية عند فقس البيوض المُخصَّبة في بعض أنواع الزواحف.

(ز)

الزيادة الحيوية Biological Augmentation: الاستفادة من كائنات حيَّة يُمكِنها إضافة مواد أساسية إلى النظام البيئي المُتضرِّر.

(س)

السعة التحمُّلية Carrying Capacity: الحدُّ الأقصى من أفراد النوع نفسه من الكائنات الحيَّة الذي تستطيع البيئة دعمه بصورة طبيعية.

سلاسل البَدْء Primers: سلاسل مفردة من النيوكليوتيدات، قد يصل عددها إلى 20 نيوكليوتيدًا أو أكثر، وهي تُصمَّم وَفق تسلسلات مُحدَّدة، بحيث تكون مُتمِّمة لتسلسل النيوكليوتيدات في بداية منطقة التضاعف.

(ص)

الصفات المُرتبِطة بالجنس Sex Linked Traits: صفات تُحمَل جيناتها على الكروموسومات الجنسية.

(ط)

طفرة الإزاحة Frameshift Mutation: حذف زوج أو أكثر من النيوكليوتيدات في جزيء DNA، أو إدخال زوج أو أكثر منها في جزيء DNA بأعداد ليست من مضاعفات الثلاثة؛ ما يؤدّي إلى تغيُّر تسلسل النيوكليوتيدات في أكثر من كودون من جزيء DNA.

طفرة الاستبدال Substitution Mutation: استبدال زوج من النيوكليوتيدات في جزيء DNA، والاستعاضة عنه بزوج آخر؛ ما يؤدّي إلى تغيُّر تسلسل النيوكليوتيدات في كودون واحد فقط من جزيء DNA.

طفرة تبديل الموقع Translocation: إضافة جينات إلى كروموسوم غير مُماثِل؛ نتيجة انتقال الجزء المقطوع من أحد الكروموسومات إلى كروماتيد في كروموسوم غير مُماثِل له.

طفرة التكرار Duplication: تكرار جينات في الكروموسوم عند ارتباط الجزء المقطوع من كروموسوم بالكروماتيد الشقيق للكروماتيد الذي انفصل منه الجزء المقطوع، أو بالكروماتيد غير الشقيق في الكروموسوم المُماثِل له.

الطفرة الجينية Genetic Mutation: تغيُّر في تسلسل النيوكليوتيدات في جين مُعيَّن من جزيء DNA.

طفرة الحذف Deletion: نقص في الجينات المحمولة على الكروموسوم عند قطع جزء منه.

طفرة القلب Inversion: انعكاس ترتيب الجينات في أحد الكروموسومات؛ نتيجة قطع جزء من هذا الكروموسوم، ثم إعادة ربط الجزء المقطوع بالكروموسوم نفسه الذي انفصل عنه، ولكنْ بصورة مقلوبة.

الطفرة الكروموسومية Chromosomal Mutation: تغيُّر في عدد الكروموسومات، أو تركيبها.

(ع)

العلاج الجيني Gene Therapy: تثبيط الجين المسؤول عن إحداث المرض، أو إدخال نسخة من الجين السليم في خلايا فرد مصاب بمرض وراثي ناتج من اجتماع جينين مُتنحِّيين؛ لتعويض نقص البروتين الوظيفي في خلاياهما.

علم المحتوى البروتيني Proteomics: علم يدرس أنواع البروتينات المختلفة، ومدى وفرتها، وتركيبها، ووظائفها، وأثرها في جسم الكائن الحيِّ. وهو يتضمَّن معرفة تسلسل الحموض الأمينية في البروتين.

(ف)

الفصل الكهربائي الهلامي Gel Electrophoresis: تقنية تُستعمَل لفصل جزيئات DNA اعتمادًا على أطوالها وشحنتها السالبة.

(ق)

قانون التوزيع الحر Law of Independent Assortment: انفصال أليلي الصفة الواحدة أحدهما عن الآخر بصورة مستقلة عن انفصال أليلات الصفات الأُخرى أثناء تكوين الجاميتات.

(م)

مرض هنتنغتون Huntington's Disease: مرض ينتج من طفرة في الجين (*HTT*)، تؤدّي إلى زيادة إنتاج بروتين يُسمّى بروتين هنتنغتون الذي يتراكم في الخلايا العصبية، ويُؤثِّر في وظائفها.

مشروع الجينوم البشري Human Genome Project: تحديد تسلسل النيوكليوتيدات في كامل DNA الخاص بالإنسان، وتعرُّف مواقع الجينات وترتيبها في الكروموسومات جميعها.

المعالجة الحيوية Bioremediation: استخدام بعض أنواع الكائنات الحيَّة في إزالة السموم من الأنظمة البيئية المُلوَّثة.

المعلوماتية الحيوية Bioinformatics: استخدام الحاسوب في جمع تسلسل عدد كبير من النيوكليوتيدات، ومعالجتها، وتحليلها، ودراستها، أو استخدامه في جمع كَمٍّ كبير من المعلومات المُتعلِّقة بالعلوم الحياتية.

الممرّات بين أجزاء الموطن البيئي Corridors between Habitat Fragments: ممرّات تربط المواطن البيئية المُجزَّأة بعضها ببعض؛ حفاظًا على التنوُّع الحيوي فيها.

المُؤشِّرات الحيوية Bioindicators: استخدام بعض أنواع الكائنات الحيَّة في الكشف عن تلوُّث الأنظمة البيئية، وذلك برصد التغيُّرات في أعدادها، أو خصائصها الفسيولوجية، أو سلوكها، أو شكلها الظاهري.

(ن)

النقاط الساخنة Hot Spots: مناطق صغيرة المساحة نسبيًّا، وغنية بأنواع مختلفة من الكائنات الحيَّة المُستوطِنة. وهي تحوي أنواعًا مُهدَّدةً بالانقراض، وقد صنَّفتها المنظمات الدولية لحماية البيئة ضمن المناطق التي يتعيَّن المحافظة على التنوُّع الحيوي فيها أكثر من غيرها.

النهايات غير اللزجة Blunt Ends: قطع من DNA تتكوَّن نهاياتها من سلسلتين من النيوكليوتيدات.

النهايات اللزجة Sticky Ends: قطع من DNA ذات أطراف مفردة، وهي تتكوَّن من سلسلة واحدة من النيوكليوتيدات، تُنتِجها بعض إنزيمات القطع المُحدَّد.

(هـ)

الهطل الحمضي Acid Precipitation: مطر أو ثلج أو ضباب يحوي حموضًا، ويتكوَّن عند تفاعل الماء الموجود في الهواء مع أكاسيد الكبريت والنيتروجين المُنبعِثة من أنشطة الإنسان؛ ما يؤدّي إلى تكوُّن حمض الكبريتيك وحمض النتريك.

هندسة الجينات Genetic Engineering: تعديل DNA الكائن الحيَّ؛ ما يُغيِّر المعلومات الوراثية فيه.

(و)

الوراثة فوق الجينية Epigenetics: دراسة تبحث في التعديلات على التعبير الجيني أو الطرز الشكلية في الكائن الحيِّ، التي تحدث من دون تغيير تسلسل النيوكليوتيدات في الجين.

الوراثة مُتعدِّدة الجينات Polygenic Inheritance: نمط من الوراثة غير المندلية، وفيه يتحكَّم أكثر من جين في الصفة الوراثية، وتكون الطرز الشكلية لهذه الصفة مُتدرِّجة بين الأفراد بسبب تراكم تأثير الجينات التي تتحكَّم فيها، ومن أمثلة هذا النمط وراثة لون الجلد في الإنسان.

قائمة المراجع

1. Martindill, D., Smyth, M., Smith, M., **Cambridge International AS & A Level Biology**, Student's Book, Collins, 2020.
2. Urry, L. A., & others., **Campbell Biology**, 12th edition, Pearson education, INC., New York, NY, USA, 2021.
3. William, S. K., & others., **Essential of Genetics**, 9th edition, Pearson education, INC., England, 2017.
4. Jones, M., & others., **Cambridge International AS & A Level Biology coursebook**, 4th edition, Cambridge University Press, United Kingdom, 2014.
5. Snustad, D.P., & Simmons, M. J., **Principles of Genetics**, 7th edition, Wiley & Sons, INC., 2016.
6. Yvonne, S., & others., **Pearson Biology New South Wales, Student Book 11,** Pearson Australia 2018.
7. David, W., & Nicholas, S., **Cambridge IGCSE Environmental Management, Student Book,** Collins, 2019.
8. Miller, G. T., & Spoolman, E. S., **Essential of Ecology, 5th Edition,** Brooks/Cole, Cengage Learning, 2009.
9. Nowicki, S. **HMH Biology,** Teacher Edition, 2017**.**
10. Kenneth, R. M., & Joseph, S. L., **Biology**, Pearson. 2010.
11. Eldra P. S., & others. **Biology**, 11th Edition, 2019.
12. Karp, G., & others, **Karp's Cell and Molecular Biology**-Wiley E-Text. 2016.
13. Weaver, R. F., **Molecular Biology**, 5th Edition, 2012.

المواقع الإلكترونية:

1. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33339085/
2. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11219165/
3. https://medlineplus.gov/lab-tests/prenatal-cell-free-dna-screening/
4. www.rscn.org.jo
5. https://www.rscn.org.jo/sites/default/files/basic_page_files/RSCN-SponsorshipMenu2019-ArabicVersion.pdf
6. https://www.spa.gov.sa/2276133
7. https://www.arabianoryx.org/AR/Jordan/Pages/default.aspx
8. http://wildjordan.com/ar/destinations/shaumari-wildlife-reserve.
9. http://moenv.gov.jo/Ar/NewsDetails/
10. https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/1000-genomes-project
11. https://www.aurorahealthcare.org/services/neuroscience/surgical-innovations/brain-mapping
12. https://www.coriell.org/1/NIGMS/Collections/Personal-Genome-Project
13. http://www.hprd.org/
14. https://www.aurorahealthcare.org/services/neuroscience/surgical-innovations/brain-mapping
15. https://lozierinstitute.org/dive-deeper/when-and-how-fingerprints-form/

Collins