



الرياضيات

الصف الحادي عشر - الفرع الأدبي

الفصل الدراسي الثاني

كتاب الطالب

11

فريق التأليف

د. عمر محمد أبوغليون (رئيسًا)

إبراهيم عقله القادري

نور محمد حسان

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

قررت وزارة التربية والتعليم تدرّس هذا الكتاب في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية جميعها، بناءً على قرار المجلس الأعلى للمركز الوطني لتطوير المناهج في جلسته رقم (2021/5)، تاريخ 2021/12/7 م، وقرار مجلس التربية والتعليم رقم (2021/169) تاريخ 2021/12/21 م بدءاً من العام الدراسي 2021 / 2022 م.

© HarperCollins Publishers Limited 2021.

- 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 - 386 - 9

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(2022/4/2083)

375.001

الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج

الرياضيات: الصف الحادي عشر: الفرع الأدبي: كتاب الطالب: (الفصل الدراسي الثاني)/ المركز الوطني لتطوير المناهج - ط2؛

مزيدة ومنقحة. - عمان: المركز، 2022

ج2(90) ص.

ر.إ.: 2022/4/2083

الواصفات: / تطوير المناهج / المقررات الدراسية / مستويات التعليم / المناهج /

يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبر هذا المصنف 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.

1442 هـ / 2021 م

2022 م - 2023 م

الطبعة الأولى (التجريبية)

أعيدت طباعته

المقدمة

انطلاقاً 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 مُعِيناً للطلبة على الارتقاء بمستواهم المعرفي والمهاري، ومجازاة أقرانهم في الدول المتقدمة. ولمّا كان مبحث الرياضيات من أهم المباحث الدراسية التي تُنمّي لدى الطلبة مهارات التفكير وحلّ المشكلات، فقد أولى المركز مناهجه عنايةً كبيرةً، وأعدّها وفق أفضل الطرائق المُتبَّعة عالمياً على أيدي خبرات أردنية؛ لضمان انسجامها مع القِيم الوطنية الراسخة، وتلبيتها لحاجات الطلبة.

روعي في إعداد كتب الرياضيات للمرحلة الثانوية تضمينها أكثر الموضوعات الرياضية أهميةً واستخداماً في التطبيقات العلمية المختلفة؛ بُغْيَةً إعداد الطلبة للدراسة الجامعية إعداداً جيّداً يتواءم مع مناهج الدول المتقدمة. وكذلك حُرِّص على تقديم هذه الموضوعات بطريقة بنائية مُتدرّجة تتيح للطلبة فرصة تعلّمها بعمق من دون عناء أو جهد كبيرين.

روعي أيضاً تقديم الموضوعات بطريقة منظمة جاذبة ومُدعّمة بتمثيلات بيانية، ومزوّدة بإرشادات تُعين الطلبة على مواصلة تعلّمهم بسلاسة من دون تعثر؛ فهي تُذكّرهم بالخبرات التعليمية التي امتلكوها سابقاً، وتساعدهم على ربط الموضوعات الجديدة بعضها ببعض ربطاً وثيقاً، إضافةً إلى صلة كثير من أمثلتها ومسائلها بسياقات حياتية تُحفّز الطلبة على تعلّم الرياضيات بشغف، وتجعله ذا معنى.

ولأنّ كثرة تدرب الطلبة على حلّ المسائل نهجٌ ناجعٌ في ترسيخ المفاهيم الرياضية لديهم وتعزيز طاقاتهم الإجرائية؛ فقد تضمّن كتابا الطالب والتمارين عدداً كافياً من التدريبات؛ بهدف توثيق علاقة الطلبة بالكتاب المدرسي، بوصفه مرجعاً موثوقاً ورصيناً يغنيهم عن البحث عن أيّة مراجع أو مصادر إضافية، ويُحقّق العدالة في التعلّم.

ونحن إذ نُقدّم هذا الكتاب، نُؤمّل أن ينال إعجاب طلبتنا وأعضاء الهيئات التدريسية والتعليمية، ويجعل تعليم الرياضيات وتعلّمها أكثر متعةً وسهولةً، ونعدُّ بأن نستمرّ في تطويره في ضوء ما يصلنا من ملاحظات سديدة.

المركز الوطني لتطوير المناهج

قائمة المحتويات

| | |
|----|-------------------------------|
| 6 | الوحدة 4 الاقترانات المتشعبة |
| 8 | الدرس 1 الاقترانات المتشعبة |
| 15 | الدرس 2 اقتران القيمة المطلقة |
| 22 | اختبار نهاية الوحدة |

| | |
|----|---|
| 24 | الوحدة 5 النهايات والمشتقات |
| 26 | الدرس 1 النهايات والاتصال |
| 40 | الدرس 2 المشتقة |
| 48 | الدرس 3 التزايد والتناقص لكثيرات الحدود |
| 56 | اختبار نهاية الوحدة |



قائمة المحتويات

| | |
|----|---|
| 58 | الوحدة 6 المتتاليات والمتسلسلات |
| 60 | الدرس 1 المتتاليات والمتسلسلات |
| 66 | الدرس 2 المتتاليات والمتسلسلات الحسابية |
| 74 | الدرس 3 المتتاليات والمتسلسلات الهندسية |
| 81 | الدرس 4 المتسلسلات الهندسية اللانهائية |
| 89 | اختبار نهاية الوحدة |

الاقتارات المتشعبة Piecewise Functions

الوحدة 4

$$y = f(x)$$

ما أهمية هذه الوحدة؟

تُستعمل الاقتارات المتشعبة واقتارات القيمة المطلقة لنمذجة مواقف حياتية كثيرة، مثل: حساب أثمان المياه والكهرباء وفق شرائح الاستهلاك المختلفة، وإيجاد قيم ضريبة الدخل تبعاً لشرائح الدخل المتعددة. سأتعلم في هذه الوحدة تمثيل هذه الاقتارات بيانياً، وأتعرف كثيراً من خصائصها، مثل: المجال، والمدى.



سأتعلّم في هذه الوحدة:

- ◀ الاقتران المتشعب ومجاله ومداه.
- ◀ إعادة تعريف اقتران القيمة المطلقة بوصفه اقتراناً متشعباً.
- ◀ تمثيل الاقتران المتشعب واقتران القيمة المطلقة بيانياً.
- ◀ نمذجة مواقف حياتية باستعمال الاقتران المتشعب.

تعلّمتُ سابقاً:

- ✓ تمثيل اقترانات كثيرات الحدود والاقترانات النسبية بيانياً.
- ✓ تحديد المجال والمدى للاقترانات النسبية.
- ✓ إيجاد معادلة مستقيم بصيغة الميل والمقطع من تمثيل بياني معطى.

أستعمل تدريبات (أستعد لدراسة الوحدة) في الصفحات (10 – 6) من كتاب التمارين؛ لمراجعة هذه الموضوعات قبل البدء بدراسة الوحدة.

الاقتارات المتشعبة

Piecewise Functions

تعرف الاقتارات المتشعبة، وتمثيله بيانياً، وتحديد مجاله ومداه.
الاقتارات المتشعبة.

فكرة الدرس



المصطلحات



مسألة اليوم



اتفقت مريم مع إحدى دور النشر على بيع كتاب لها لقاء حصولها على ما نسبته 10% من قيمة مبيعات أول 10000 نسخة من الكتاب، و15% من قيمة أي مبيعات إضافية. إذا كان ثمن الكتاب الواحد 7 JD، فما المبلغ الذي ستأخذه مريم بعد بيع 12000 نسخة؟

يُسمى الاقتارات المُعرِّف بقواعد مختلفة لأجزاء مجاله **اقتاراً متشعباً** (piecewise function). فالاقتارات المتشعبة هو اقتارات يدمج بين قاعدتي اقتارين أو أكثر.

لغة الرياضيات

تُعرف الاقتارات المتشعبة أيضاً بالاقتارات المُعرِّفة بأكثر من قاعدة.

مثال 1

إذا كان: $f(x) = \begin{cases} x+1 & , -2 \leq x < 1 \\ 3 & , x \geq 1 \end{cases}$ ، فأجيب عن الأسئلة الآتية:

1. أحدد مجال $f(x)$.

ألاحظ أن الاقتارات مُعرِّف بقاعدتين، هما:

• $f(x) = x+1$: تُستعمل لحساب قيم الاقتارات عندما تكون $-2 \leq x < 1$.

• $f(x) = 3$: تُستعمل لحساب قيم الاقتارات عندما تكون $x \geq 1$.

إذن، مجال $f(x)$ هو الفترة $[-2, \infty)$.

2. أجد قيمة $f(-2)$.

العدد -2 ينتمي إلى الفترة $(-2, 1)$. إذن، أستعمل القاعدة الأولى:

$$f(x) = x + 1$$

القاعدة الأولى

أندكر

العدد b لا ينتمي إلى الفترة $[a, b)$ التي تُكافئ المتباينة: $a \leq x < b$ ، لكنه ينتمي إلى الفترة $[b, \infty)$ التي تُكافئ المتباينة: $x \geq b$.

$$f(-2) = -2 + 1$$

$$= -1$$

بتعويض $x = -2$
بالتبسيط

3 أجد قيمة $f(0)$.

العدد 0 ينتمي إلى الفترة $(-2, 1)$. إذن، أستعمل القاعدة الأولى:

$$f(x) = x + 1$$

$$f(0) = 0 + 1$$

$$= 1$$

القاعدة الأولى
بتعويض $x = 0$
بالتبسيط

4 أجد قيمة $f(2)$.

العدد 2 ينتمي إلى الفترة $[1, \infty)$. إذن، أستعمل القاعدة الثانية:

$$f(x) = 3$$

$$f(2) = 3$$

القاعدة الثانية
بتعويض $x = 2$

5 أمثل الاقتران $f(x)$ بيانياً، ثم أحدد مداه.

الخطوة 1: أمثل $f(x) = x + 1$ عندما $-2 \leq x < 1$.

أجد قيمة الاقتران الخطي: $f(x) = x + 1$ عند طرفي مجاله؛ أي عندما $x = 1$ ، وعندما $x = -2$ ، وذلك باستعمال جدول على النحو الآتي:

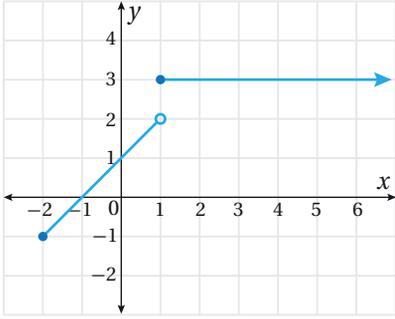
| | | |
|-------------|------------|----------|
| x | -2 | 1 |
| $y = x + 1$ | -1 | 2 |
| (x, y) | $(-2, -1)$ | $(1, 2)$ |

أعيّن النقطتين $(1, 2)$ و $(-2, -1)$ في المستوى الإحداثي، ثم أصل بينهما بقطعة مستقيمة. بما أن العدد -2 يُحقّق المتباينة (توجد مساواة في رمز المتباينة من جهة العدد -2)، فإنني أبدأ التمثيل بدائرة مُظلّلة عند النقطة $(-2, -1)$. أمّا العدد 1 فهو لا يُحقّق المتباينة (لا توجد مساواة في رمز المتباينة من جهة العدد 1؛ لذا أنهي التمثيل بدائرة غير مُظلّلة (مُفرّغة) عند النقطة $(1, 2)$.

أتذكّر

بما أن الاقتران: $f(x) = x + 1$ هو اقتران خطي، فإنّه يُكتفى بنقطتين لتمثيله بيانياً.

الخطوة 2: أمثل $f(x) = 3$ عندما $x \geq 1$.



ألاحظ أن $f(x) = 3$ هو اقتران ثابت؛ لذا يُمثَّل بشعاع أفقي يبدأ عند النقطة $(1, 3)$ بدائرة مُظَلَّلة (مغلقة)؛ نظرًا إلى وجود مساواة في رمز المتباينة كما في الشكل المجاور.
من التمثيل البياني للاقتران، ألاحظ أن مداه هو: $[-1, 2) \cup \{3\}$.

أتذكَّر

مدى الاقتران هو مجموعة القيم التي يتخذها على المحور y .

أتحقق من فهمي

إذا كان: $f(x) = \begin{cases} x + 1 & , x < 1 \\ 3 - x & , x > 1 \end{cases}$ ، فأجيب عن الأسئلة الآتية:

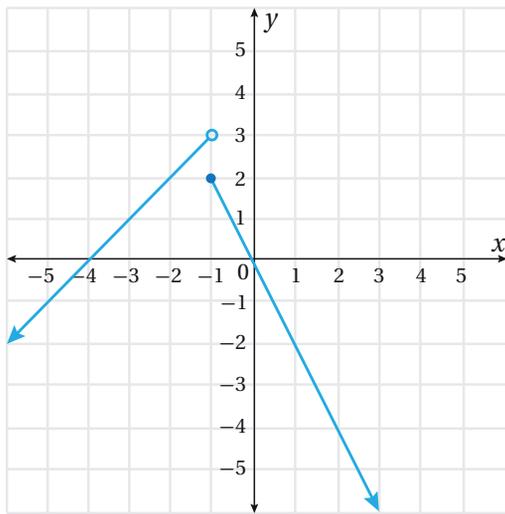
(a) أحدّد مجال $f(x)$.

(b) أجد قيمة كل من: $f(-1)$ و $f(1)$ و $f(3)$.

(c) أمثل الاقتران $f(x)$ بيانيًا، ثم أحدّد مداه.

يُمكن أيضًا إيجاد قاعدة الاقتران المتشعب إذا أُعطي تمثيله البياني.

مثال 2



أكتب قاعدة الاقتران المتشعب المُمثَّل بيانيًا في الشكل المجاور.

أكتب الاقتران الذي يُمثَّل كل جزء في التمثيل البياني:

الخطوة 1: أكتب قاعدة الاقتران الذي يُمثَّل الجزء الأيسر من التمثيل البياني، وهو شعاع يمرُّ بالنقطتين: $(-2, 2)$ و $(-4, 0)$ ،

$$m = \frac{2 - 0}{-2 + 4} = \frac{2}{2} = 1 \text{ وميله: } 1$$

أتذكَّر

ميل المستقيم المار بالنقطتين: (x_1, y_1) و (x_2, y_2) هو:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

ومعادلته بصيغة الميل m والمقطع b من المحور y هي: $y = mx + b$

الوحدة 4

ومن ثمَّ، فإنَّ معادلة الشعاع بصيغة الميل والنقطة هي: $y - 2 = 1(x + 2)$ ، ويُمكن إعادة

كتابتها في صورة: $f(x) = x + 4$.

أمَّا وجود دائرة غير مُطلَّلة عند النقطة $(-1, 3)$ فيعني أنَّ هذه القاعدة تُقابل الفترة $(-\infty, -1)$ من مجال الاقتران $f(x)$.

الخطوة 2: أكتب قاعدة الاقتران الذي يُمثِّل الجزء الأيمن من التمثيل البياني، وهو شعاع يمرُّ

$$m = \frac{0 - 2}{0 + 1} = -2 \text{، وميله: } (-1, 2) \text{، والنقطتين: } (0, 0) \text{، و } (-1, 2)$$

بما أنَّ الشعاع يقطع المحور y عند الصفر $(b=0)$ ، فإنَّ معادلته بصيغة الميل والمقطع هي:

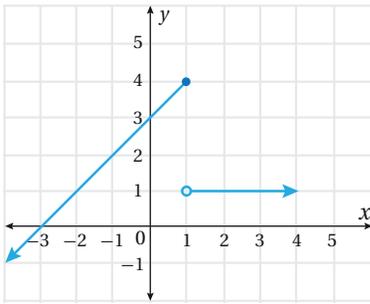
$$f(x) = -2x \text{ أو } y = -2x$$

أمَّا وجود دائرة مُطلَّلة عند طرف الشعاع الذي يبدأ بالنقطة $(-1, 2)$ فيعني أنَّ هذه القاعدة تُقابل الفترة $[-1, \infty)$ من مجال الاقتران $f(x)$.

إذن، قاعدة هذا الاقتران هي:

$$f(x) = \begin{cases} x + 4 & , x < -1 \\ -2x & , x \geq -1 \end{cases}$$

أتحقِّق من فهمي 



أكتب قاعدة الاقتران المتشعب المُمثَّل بيانيًّا في الشكل المجاور.

يُمكن نمذجة كثير من المواقف الحياتية باستعمال الاقترانات المتشعبة؛ ذلك أنَّ هذه الاقترانات تصف تلك المواقف، وتُلخِّصها على نحوٍ سهل يساعد على فهمها، وإجراء الحسابات المُتعلِّقة بها.

أتعلَّم

بالرغم من وجود دائرة غير مُطلَّلة عند النقطة $(-1, 3)$ ، فإنَّه يُمكن استعمالها مع نقطة أخرى مثل $(-4, 0)$ لإيجاد الميل، حيث:

$$m = \frac{0 - 3}{-4 + 1} = \frac{-3}{-3} = 1$$

أذكَّر

المتباينة: $x < a$ تكافئ الفترة $(-\infty, a)$ ، والمتباينة: $x \geq a$ تكافئ الفترة $[a, \infty)$.

أذكَّر

الشعاع الأفقي أو القطعة المستقيمة الأفقية في التمثيل البياني يُمثِّلان اقترانًا ثابتًا.

مثال 3 : من الحياة



حدّد مصنع للخياطة أجر العاملين والعاملات فيه بالساعة، وذلك بدفع 2 JD عن كل ساعة عمل لأول 40 ساعة من العمل أسبوعياً، ثم دفع 3 JD عن كل ساعة عمل أكثر من ذلك. أكتب اقتراحاً يساعد محاسب المصنع على تحديد الأجرة لكل من عمل x ساعة في الأسبوع.

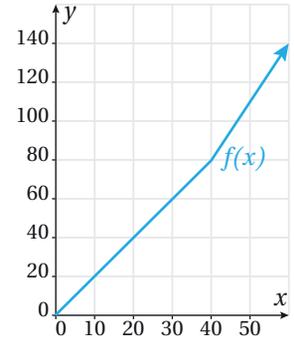
توجد قاعدتان لحساب الأجرة الأسبوعية، تبعاً لعدد ساعات العمل:

- إذا كان عدد ساعات العمل أقل من 40 ساعة، فإن الأجرة تساوي ناتج ضرب عدد هذه الساعات في 2 JD.
 - إذا كان عدد ساعات العمل أكثر من 40 ساعة، فإن الأجرة تساوي ناتج ضرب عدد الساعات الزائدة على 40 ساعة في 3 JD، مضافاً إلى ذلك أجرة أول 40 ساعة عمل.
- أعبر عن كلتا القاعدتين بالرموز كما يأتي:

| عدد الساعات | الأجرة |
|--------------------|-----------------------------|
| $0 \leq x \leq 40$ | $2x$ |
| $x > 40$ | $3(x-40) + 2(40) = 3x - 40$ |

إذن، الأجرة لكل من عمل x ساعة في الأسبوع تعطى بالاقتران المتشعب الآتي الذي يظهر تمثيله البياني جانباً:

$$f(x) = \begin{cases} 2x & , 0 \leq x \leq 40 \\ 3x - 40 & , x > 40 \end{cases}$$



أتحقق من فهمي

قرّرت إدارة أحد المستشفيات الخاصة زيادة الرواتب الشهرية للأطباء والطبيبات وفق الأسس الآتية:

- زيادة الرواتب التي تقل عن 700 JD بنسبة 15%.
 - زيادة الرواتب التي تتراوح بين 700 JD وأقل من 1000 JD بنسبة 10%.
 - زيادة الرواتب التي تبلغ 1000 JD فأكثر مبلغ 50 JD.
- أكتب اقتراحاً متشعباً يمكن استعماله لإيجاد الراتب الجديد لأي طبيب أو طبيبة في هذا المستشفى.



إذا كان: $f(x) = \begin{cases} 3x - 4 & , x \geq 1 \\ 2 & , x < 1 \end{cases}$ وكان: $g(x) = \begin{cases} 2x + 1 & , -3 \leq x < 0 \\ 2x - 1 & , x > 0 \end{cases}$ فأُجيب عن الأسئلة الآتية:

1 أُحدِّد مجال كلٍّ من: $f(x)$ و $g(x)$.

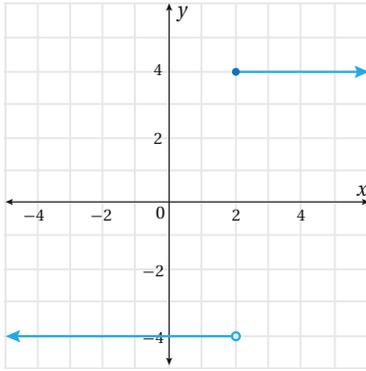
2 أجد قيمة كلٍّ من: $f(-1)$ و $f(2)$ و $g(0)$ و $g(-2)$.

3 أمثِّل الاقتران $f(x)$ بيانياً، ثم أُحدِّد مداه.

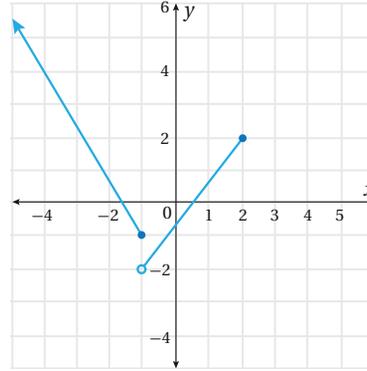
4 أمثِّل الاقتران $g(x)$ بيانياً، ثم أُحدِّد مداه.

أكتب قاعدة الاقتران المتشعب المُمثَّل بيانياً في كلِّ ممَّا يأتي:

5



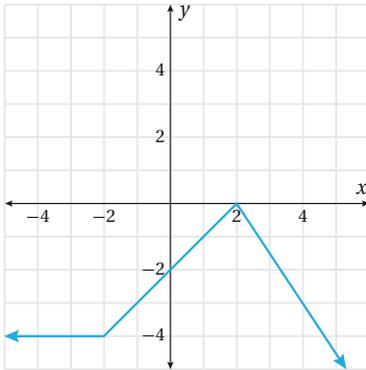
6



مُعتمِداً الشكل المجاور الذي يُمثِّل منحنى الاقتران المتشعب $h(x)$ ، أُجيب عن السؤالين الآتيين:

7 أُحدِّد مجال الاقتران $h(x)$ ، ومداه.

8 أجد قيمة كلٍّ من: $h(-3)$ و $h(0)$ و $h(3)$ و $h(6)$.



9 **توفير:** أراد الوالد أن يُحفِّز ابنته سعاد على توفير جزء من مصروفها اليومي، فقرَّر منحها مبلغاً يساوي ما ستوفِّره نهاية كل شهر في حال لم يتجاوز مبلغ التوفير 5 JD. أما إذا زاد على ذلك، فإنَّه سيمنحها 10 JD. أكتب اقتراناً متشعباً يُمكن استعماله لتمثيل هذا الموقف.



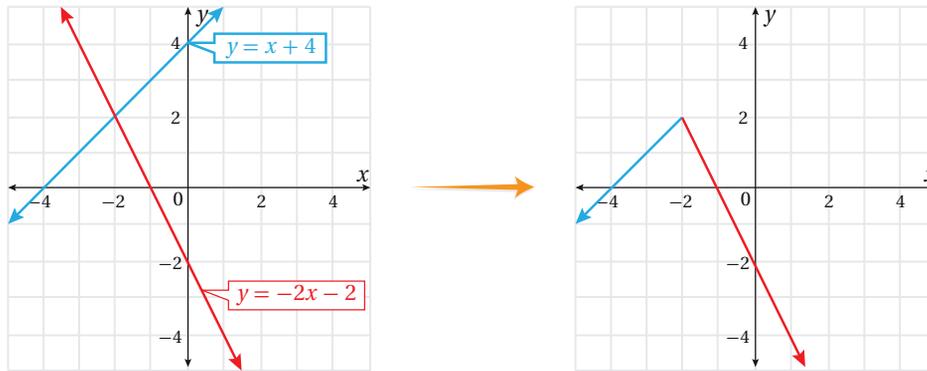
10 **أعمال:** يعمل مندوب مبيعات لدى شركة لقاء راتب شهري مقداره JD 500، وعمولة شهرية نسبتها 1% عن أول JD 2000 لثمن مبيعاته. وفي حال زادت المبيعات الشهرية على JD 2000، فإنَّه يستحق عمولة نسبتها 1.5% عن المبلغ الذي يزيد على JD 2000. أكتب اقتراناً متشعباً يُمكن استعماله لحساب الدخل الشهري لمندوب المبيعات.

11 أحلُّ المسألة الواردة في بند (مسألة اليوم).

مهارات التفكير العليا

12 **تبرير:** ادَّعت سارة أنَّه يُمكنها تمثيل الاقتران المتشعب: $f(x) = \begin{cases} x + 4 & , x < -2 \\ -2x - 2 & , x \geq -2 \end{cases}$ بسهولة، وذلك بتمثيل

كُلِّ من قاعدتيه بيانياً، وافترض أن مجال كلٍّ منهما على حدة هو مجموعة الأعداد الحقيقية كلها، ثم محو أجزاء المنحنى التي تقع خارج المجال المُحدَّد في الاقتران المتشعب كما في الشكل الآتي. هل ادَّعاء سارة صحيح؟ أبرِّر إجابتي.



13 **مسألة مفتوحة:** أكتب اقتراناً متشعباً $f(x)$ ، بحيث $f(-2) = f(-1) = 3$ و $f(2) = f(3) = 5$.

14 **تحَدِّ:** أمثِّل الاقتران المتشعب: $h(x) = \begin{cases} 3 & , x = 1 \\ 2-x & , x \neq 1 \end{cases}$ بيانياً، ثم أحمِّد مجاله ومداه.

اقتران القيمة المطلقة

Absolute Value Function

تعرف اقتران القيمة المطلقة، وتمثيله بيانياً، وتحديد مجاله ومداه.

فكرة الدرس



اقتران القيمة المطلقة، الرأس.

المصطلحات



مسألة اليوم



مثَّلت الواجهة الأمامية لخيمة في مستوى إحداثي، تُمثَّل فيه كل وحدة مترًا واحدًا. إذا كان رأس الخيمة عند النقطة $(1, 3.5)$ ، وطرفا قاعدتها عند النقطة $(-0.5, 0)$ ، والنقطة $(2.5, 0)$ ، فأجد اقتران القيمة المطلقة الذي يُمثَّل واجهة الخيمة.

يُسمَّى الاقتران الذي يحوي قيمة مطلقة لمقدار جبري **اقتران القيمة المطلقة** (absolute value function)، ومن أمثله:

$$f(x) = |x+2|, \quad g(x) = |2x-4|-1, \quad h(x) = -|x|+3$$

تعلمت سابقاً أن القيمة المطلقة (يرمز إليها بالرمز $|x|$) لأي عدد حقيقي x تساوي بُعدُه عن الصفر على خط الأعداد. وبما أن البعد لا يكون سالباً، فإن $|x| \geq 0$ ؛ لذا يُمكن كتابة $|x|$ في صورة اقتران متشعب كما يأتي:

$$|x| = \begin{cases} -x & , x < 0 \\ x & , x \geq 0 \end{cases}$$

يُمكن أيضاً إعادة كتابة أيِّ اقترانٍ قيمةٍ مطلقةٍ في صورة اقتران متشعب، من دون استعمال رمز القيمة المطلقة، وهو ما يُسمَّى إعادة تعريف اقتران القيمة المطلقة.

أذخّر

القيمة المطلقة للعدد الحقيقي السالب تُلغى الإشارة السالبة، وتجعلها موجبة، مثل:
 $|-5| = |+5| = 5$

مثال 1

أعيد تعريف اقتران القيمة المطلقة: $f(x) = |3x-6|$ ، ثم أجد كلاً من $f(-1)$ و $f(4)$.

لإعادة تعريف اقتران القيمة المطلقة f ، أتبع الخطوات الآتية:

الخطوة 1: أجعل ما في داخل القيمة المطلقة يساوي صفرًا، ثم أحلُّ المعادلة الناتجة.

$$3x - 6 = 0$$

$$3x - 6 + 6 = 0 + 6$$

$$\frac{3x}{3} = \frac{6}{3}$$

$$x = 2$$

بجعل ما في داخل القيمة المطلقة يساوي صفرًا

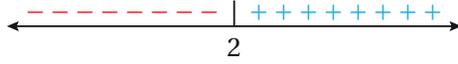
بإضافة 6 إلى طرفي المعادلة

بقسمة طرفي المعادلة على 3

بالتبسيط

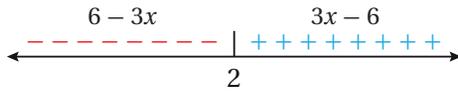
الخطوة 2: أعيّن جذر المعادلة على خط الأعداد، ثم أهدد الإشارة على جانبيه.

أعيّن العدد 2 على خط الأعداد، ثم أهدد الإشارة على جانبيه، بتعويض أيّ قيمة أقل من 2 (مثل 0) في المقدار الجبري: $3x-6$ ، فيكون دائمًا ناتج التعويض سالبًا؛ ما يعني أن إشارة المقدار سالبة يسار العدد 2، بعد ذلك أعوض أيّ قيمة أكبر من 2 (مثل 4) في المقدار الجبري: $3x-6$ ، ويكون دائمًا ناتج التعويض موجبًا؛ ما يعني أن إشارة المقدار موجبة يمين العدد 2:



الخطوة 3: أكتب قاعدتي الاقتران بحسب إشارة يمين صفر المعادلة ويساره.

أكتب ما في داخل رمز القيمة المطلقة كما هو من دون تغيير في الجزء الموجب، ثم أكتب في الجزء السالب ما في داخل رمز القيمة المطلقة مضروبًا في -1:



الخطوة 4: أكتب قاعدة الاقتران المتشعب (من دون استعمال رمز القيمة المطلقة).

$$f(x) = \begin{cases} 6-3x & , x < 2 \\ 3x-6 & , x \geq 2 \end{cases}$$

لإيجاد كلٍّ من: $f(-1)$ ، و $f(4)$ ، أعوض في القاعدة المناسبة:

$$f(-1) = 6 - 3(-1) \quad \text{بتعويض } x = -1 \text{ في القاعدة الأولى؛ لأن } -1 < 2$$

$$= 9 \quad \text{بالتبسيط}$$

$$f(4) = 3(4) - 6 \quad \text{بتعويض } x = 4 \text{ في القاعدة الثانية؛ لأن } 4 > 2$$

$$= 6 \quad \text{بالتبسيط}$$

أتحقق من فهمي

أعيد تعريف اقتران القيمة المطلقة: $h(x) = |2x + 8|$

أتعلم

يُمكن أيضًا كتابة الاقتران $f(x)$ على النحو الآتي:

$$f(x) = \begin{cases} 6-3x & , x \leq 2 \\ 3x-6 & , x > 2 \end{cases}$$

ولكن جرت العادة أن يوضع رمز المساواة عند رمز أكبر (>).

الوحدة 4

التمثيل البياني لاقتران القيمة المطلقة في صورة: $f(x) = a|mx+b| + c$ ، حيث:
 $a \neq 0$ و $m \neq 0$ ، يتكوّن من شعاعين على شكل \vee أو \wedge متماثلين حول المحور: $x = \frac{-b}{m}$.
رأس (vertex) منحنى الاقتران هو النقطة التي يصل عندها منحناه إلى أعلى قيمة أو أقل قيمة، وإحداثياتها $(-\frac{b}{m}, c)$.

يُمكن تمثيل اقتران القيمة المطلقة بيانيًا باستعمال محور التماثل والرأس.

مثال 2

أمثّل بيانيًا كل اقتران ممّا يأتي، مُحدّدًا مجاله ومداه:

1 $f(x) = |x|$

الخطوة 1: أجد إحداثيي نقطة رأس الاقتران، ومعادلة محور التماثل.

أقارن الاقتران: $f(x) = |x|$ بالصيغة: $f(x) = a|mx+b|+c$ ، فألاحظ أنّ:

$$a = 1, b = 0, c = 0, m = 1$$

أجد إحداثيي نقطة الرأس:

$$\left(\frac{-b}{m}, c\right) \quad \text{إحداثيا نقطة الرأس}$$

$$= \left(\frac{0}{1}, 0\right) \quad \text{بتعويض } b = 0, m = 1, c = 0$$

$$= (0, 0) \quad \text{بالتبسيط}$$

أجد معادلة محور التماثل:

$$x = \frac{-b}{m} \quad \text{معادلة محور التماثل}$$

$$x = \frac{0}{1} \quad \text{بتعويض } b = 0, m = 1$$

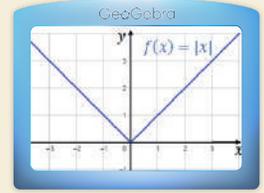
$$x = 0 \quad \text{بالتبسيط}$$

أتعلّم

تُمثّل المعادلة: $x = 0$
 المحور y .

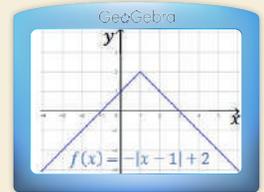
أتعلم

يُمكن استعمال برمجية جيوجبرا لتمثيل الاقتران $f(x) = |x|$ ، وذلك بكتابة $f(x) = |x|$ في شريط الإدخال، ثم نقر $|x|$ في لوحة المفاتيح، وكتابة x بين خطي القيمة المطلقة، ثم الضغط على زر الإدخال (ENTER)، فيظهر التمثيل البياني كما يأتي:



أتعلم

يُمكن استعمال برمجية جيوجبرا لتمثيل الاقتران $f(x) = -|x-1|+2$ وذلك بكتابة قاعدة الاقتران في شريط الإدخال، ثم الضغط على زر الإدخال (ENTER)، فيظهر التمثيل البياني كما يأتي:

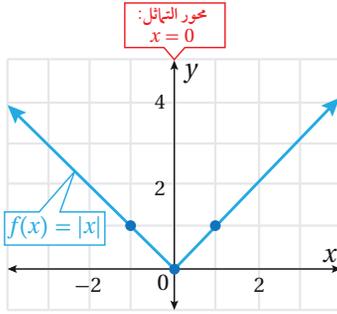


الخطوة 2: أحدد قيمتين للمتغير x حول محور التماثل، ثم أجد صورة كل منهما.

بما أن محور التماثل: $x = 0$ ، فإنني أختار قيمة للمتغير x أكبر من 0 (مثل 1)، وقيمة أخرى أقل من 0 (مثل -1)، ثم أجد صورتيهما في الاقتران كما في الجدول الآتي:

| | | |
|--------------|---------|--------|
| x | -1 | 1 |
| $f(x) = x $ | 1 | 1 |
| (x, y) | (-1, 1) | (1, 1) |

الخطوة 3: أمثل الاقتران بيانياً.



أمثل النقطتين والرأس في المستوى الإحداثي،

ثم أصل بين النقاط الثلاث على شكل V.

ألاحظ من التمثيل البياني أن المجال هو مجموعة الأعداد الحقيقية، وأن المدى هو $[0, \infty)$.

2 $f(x) = -|x-1|+2$

الخطوة 1: أجد إحداثيي نقطة رأس الاقتران، ومعادلة محور التماثل.

أقارن الاقتران: $f(x) = -|x-1|+2$ بالصيغة: $f(x) = a|mx+b|+c$ ، فألاحظ أن:

$$a = -1, b = -1, c = 2, m = 1$$

أجد إحداثيي نقطة الرأس:

$$\left(\frac{-b}{m}, c\right)$$

إحداثيا نقطة الرأس

$$= \left(\frac{-(-1)}{1}, 2\right)$$

$$b = -1, m = 1, c = 2 \text{ بتعويض}$$

$$= (1, 2)$$

بالتبسيط

أجد معادلة محور التماثل:

$$x = \frac{-b}{m}$$

معادلة محور التماثل

$$x = \frac{-(-1)}{1}$$

$$b = -1, m = 1 \text{ بتعويض}$$

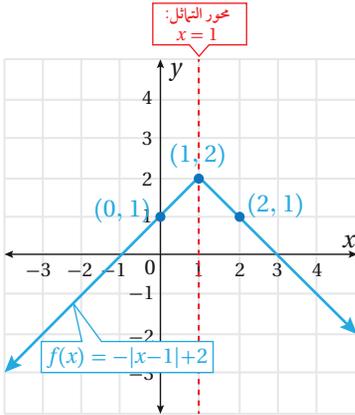
$$x = 1$$

بالتبسيط

الخطوة 2: أعدد قيمتين للمتغير x حول محور التماثل، ثم أجد صورة كلٍّ منهما.

بما أن محور التماثل: $x = 1$ ، فإنني أختار قيمة للمتغير x أكبر من 1 (مثل 2)، وقيمة أخرى أقل من 1 (مثل 0)، ثم أجد صورتيهما في الاقتران كما في الجدول الآتي:

| | | |
|-----------------------|--------|--------|
| x | 0 | 2 |
| $f(x) = - x - 1 + 2$ | 1 | 1 |
| (x, y) | (0, 1) | (2, 1) |



الخطوة 3: أمثل الاقتران بيانيًا.

أمثل النقطتين والرأس في المستوى الإحداثي، ثم أصل بين النقاط الثلاث على شكل ٨. الأخط من التمثيل البياني أن المجال هو مجموعة الأعداد الحقيقية، وأن المدى هو $(-\infty, 2]$.

أتحقق من فهمي

أمثل بيانيًا كل اقتران مما يأتي، مُحدِّدًا مجاله ومداه:

1 $f(x) = -|2x|$

2 $f(x) = |x - 3| + 2$

أتعلم

يكون منحنى اقتران القيمة المطلقة في صورة: $f(x) = a|mx+b| + c$, $m \neq 0, a \neq 0$ مفتوحًا إلى أعلى إذا كانت $a > 0$ ، ومفتوحًا إلى أسفل إذا كانت $a < 0$.

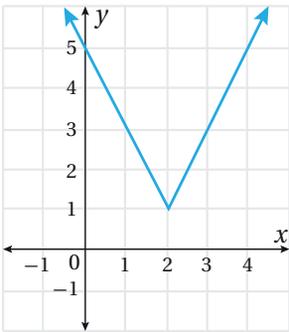
يُمكن إيجاد قاعدة اقتران القيمة المطلقة لمقدار خطي إذا أُعطي تمثيله البياني.

مثال 3

أكتب قاعدة اقتران القيمة المطلقة المُمثل بيانيًا في الشكل المجاور.

الخطوة 1: أجد ميل المعادلة الخطية داخل رمز المطلق.

يتبيّن من الشكل أن التمثيل البياني هو لاقتران قيمة مطلقة خطي؛ لأنّه على شكل V؛ لذا يُمكن كتابة قاعدته كما يأتي: $f(x) = a|mx+b| + c$ ، حيث m ميل المستقيم $y = mx + b$.



ألاحظ من التمثيل البياني أن الشعاع الأيمن يمرُّ بالنقطتين: (3,3)، و(4,5). وبذلك، فإن ميله:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{5 - 3}{4 - 3} = \frac{2}{1} = 2$$

الخطوة 2: أجد إحداثيي الرأس، ثم أعوض الميل وإحداثيي الرأس في قاعدة الاقتران.

إحداثيا الرأس هما: $(-\frac{b}{m}, c)$ ، والتمثيل البياني يُظهر أن النقطة (2,1) تُمثّل رأس الاقتران.

بالمقارنة، أستنتج أن $c = 1$ ، ثم أجد قيمة b من الإحداثي x للرأس:

$$\frac{-b}{m} = 2$$

الإحداثي x للرأس

$$\frac{-b}{2} = 2$$

بتعويض $m = 2$

$$-b = 4$$

بالضرب التبادلي

$$b = -4$$

بالقسمة على -1

بتعويض قيمة كلٍّ من: m ، b ، و c في قاعدة الاقتران، فإن:

$$f(x) = a|2x - 4| + 1$$

الخطوة 3: أجد قيمة a .

لإيجاد قيمة a ، أعوض في قاعدة الاقتران الناتجة من الخطوة السابقة إحداثيي نقطة تقع على منحنى الاقتران، ثم أحلُّ المعادلة الناتجة:

$$f(x) = a|2x - 4| + 1$$

قاعدة الاقتران

$$5 = a|2(0) - 4| + 1$$

بتعويض (0, 5)

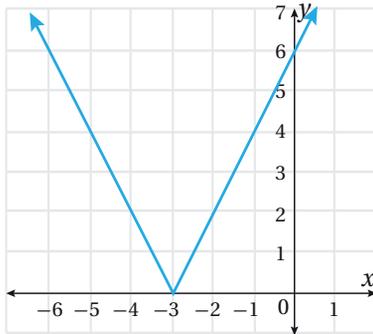
$$5 = 4a + 1$$

بالتبسيط

$$a = 1$$

بحلُّ المعادلة الخطية

إذن، قاعدة الاقتران هي: $f(x) = |2x - 4| + 1$



أتحقق من فهمي

أكتب قاعدة اقتران القيمة المطلقة المُمثَّل بيانياً في الشكل المجاور.

أتعلم

من السهل تعويض نقطة تقاطع الاقتران مع المحور y لإيجاد قيمة a ؛ لأنَّ قيمة x عندها تساوي صفراً، علمًا بأنَّه يُمكن تعويض أيِّ نقطة أخرى تقع على التمثيل البياني للاقتران، ما عدا نقطة الرأس.

أُعِيدُ تعريف كلِّ من الاقترانات الآتية:

1 $f(x) = |x-6|$

2 $g(x) = |3x+3|$

3 $h(x) = |2x-5| + 3$

4 $p(x) = 3|x+1|$

أُمَثِّلُ بيانياً كل اقتران ممَّا يأتي، مُحدِّدًا مجاله ومداه:

5 $f(x) = |x| + 3$

6 $f(x) = -|x| + 3$

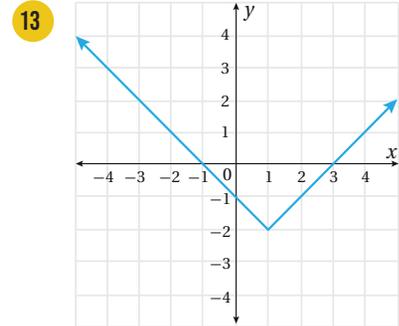
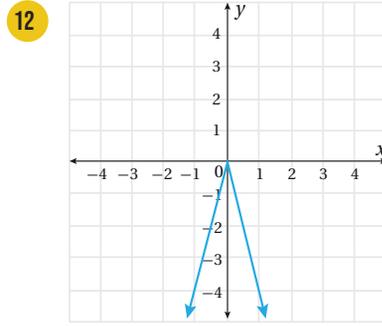
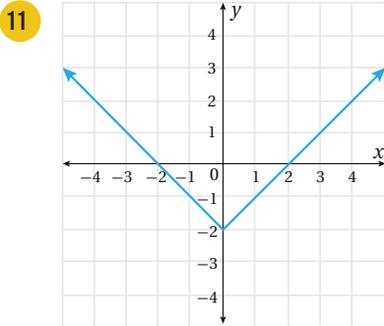
7 $f(x) = |x+5|$

8 $f(x) = |x-5|$

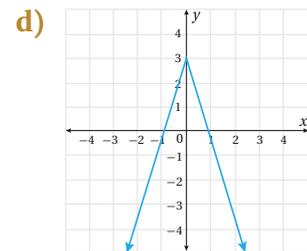
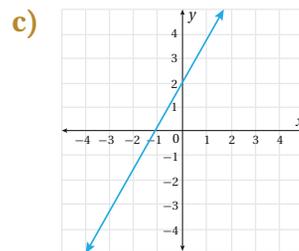
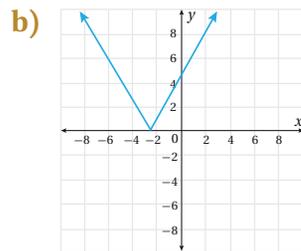
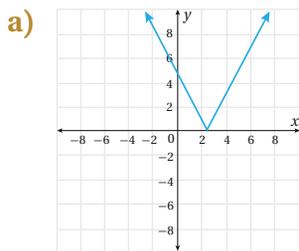
9 $f(x) = |2x-4| - 3$

10 $f(x) = -|2x-4| - 3$

أكتب قاعدة اقتران القيمة المطلقة المُمَثَّلُ بيانياً في كلِّ ممَّا يأتي:

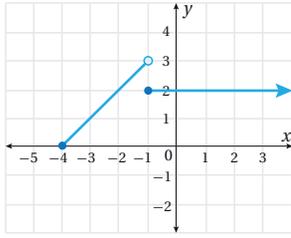


14 **تبرير:** أيُّ الآتية تُمثِّلُ الاقتران: $f(x) = |2x-5|$, مُبرِّراً إجابتي؟



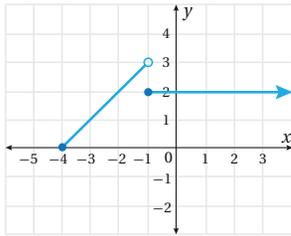
15 **مسألة مفتوحة:** أكتب اقتران قيمة مطلقة، مجاله مجموعة الأعداد الحقيقية، ومداه $[3, \infty)$.

اختبار نهاية الوحدة



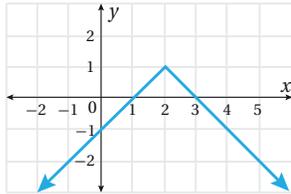
6 مجال الاقتران الذي يظهر تمثيله البياني في الشكل المجاور هو:

- a) $[-4, \infty)$ b) $[4, \infty)$
c) $(-\infty, -4]$ d) $(-\infty, 4]$



7 مدى الاقتران الذي يظهر تمثيله البياني في الشكل المجاور هو:

- a) $[-4, \infty)$ b) $[-4, 3)$
c) $(-4, 3]$ d) $[0, 3)$



8 مدى الاقتران الذي يظهر تمثيله البياني في الشكل المجاور هو:

- a) $(-\infty, 1]$ b) $(-\infty, 1)$
c) $(-\infty, 2]$ d) $(-\infty, 2)$

أمثل كل اقتران مما يأتي بيانياً:

9 $f(x) = \begin{cases} 3x-9 & , -2 \leq x < 0 \\ x & , x \geq 0 \end{cases}$

10 $f(x) = \begin{cases} 1-2x & , x < -3 \\ 7 & , x \geq -3 \end{cases}$

11 $f(x) = |x-4|-4$

12 $f(x) = |2x+6|+3$

أختار رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1 إذا كان: $f(x) = \begin{cases} 3x-1 & , x \geq 2 \\ 2x+1 & , x < 2 \end{cases}$ ، فإن قيمة $f(-1)$ هي:

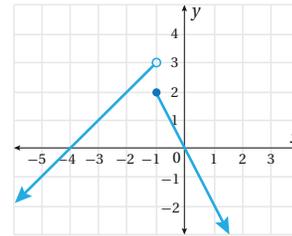
- a) -4 b) -1
c) 3 d) -3

2 إذا كان: $f(x) = \begin{cases} -4 & , -3 \leq x < 1 \\ x-3 & , x \geq 1 \end{cases}$ ، فإن قيمة $f(1)$ هي:

- a) -4 b) 0
c) -2 d) 4

3 إذا كان: $f(x) = -|2x+1| + 2$ ، فإن قيمة $f(-1)$ هي:

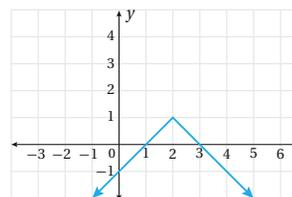
- a) 0 b) 1
c) -1 d) 3



4 الاقتران الذي تمثله البياني كما في الشكل المجاور هو:

a) $f(x) = \begin{cases} x-4 & , x < -1 \\ 2x & , x \geq -1 \end{cases}$ b) $f(x) = \begin{cases} x+4 & , x < 1 \\ -2x & , x \geq 1 \end{cases}$

c) $f(x) = \begin{cases} x-4 & , x < 1 \\ 2x & , x \geq 1 \end{cases}$ d) $f(x) = \begin{cases} x+4 & , x < -1 \\ -2x & , x \geq -1 \end{cases}$



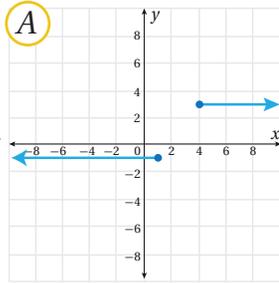
5 الاقتران الذي تمثله البياني كما في الشكل المجاور هو:

a) $f(x) = |x+2|+1$ b) $f(x) = -|x+2|+1$

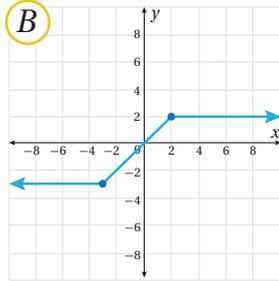
c) $f(x) = |x-2|+1$ d) $f(x) = -|x-2|+1$

أختر التمثيل البياني المناسب لكل اقتران متشعب مما يأتي:

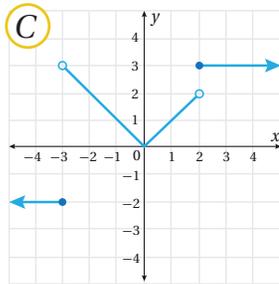
20 $f(x) = \begin{cases} -3, & x \leq -3 \\ x, & -3 < x < 2 \\ 2, & x \geq 2 \end{cases}$



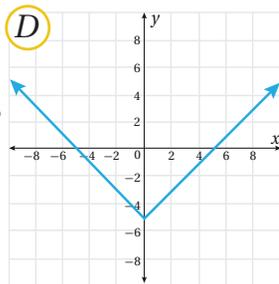
21 $f(x) = \begin{cases} -x-5, & x < 0 \\ x-5, & x \geq 0 \end{cases}$



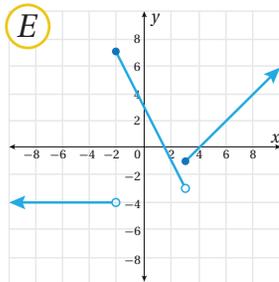
22 $f(x) = \begin{cases} -1, & x \leq 1 \\ 3, & x \geq 4 \end{cases}$



23 $f(x) = \begin{cases} -4, & x < -2 \\ 3-2x, & -2 \leq x < 3 \\ x-4, & x \geq 3 \end{cases}$



24 $f(x) = \begin{cases} -2, & x \leq -3 \\ |x|, & -3 < x < 2 \\ 3, & x \geq 2 \end{cases}$



مواقف سيارات: يُبين الجدول الآتي أجرة إيقاف السيارة في أحد المواقف المُخصَّصة لذلك:

| الأجرة | مدّة الوقوف |
|--------|---|
| JD 1.5 | لا تزيد على ساعة واحدة |
| JD 3 | تزيد على ساعة واحدة، ولا تزيد على 3 ساعات |
| JD 7 | تزيد على 3 ساعات |

13 أكتب اقتراناً متشعباً يمثّل أجرة إيقاف السيارة في الموقف t من الساعات.

14 أمثّل الاقتران المتشعب إذا كان أقصى عدد لساعات إيقاف السيارات في الموقف 10 h يومياً.

15 ما الأجرة التي يدفعها شخص أوقف سيارته في ساحة الموقف مدّة 3.5 h؟

16 ما الأجرة التي يدفعها شخص أوقف سيارته في ساحة الموقف مدّة 2.25 h؟

تدريب على الاختبارات الدولية

17 **ضريبة دخل:** تُحصّل إحدى الدول ضريبة نسبتها 15% من دخل الأفراد لأول \$20000 من أموالهم سنوياً، وضريبة نسبتها 20% من الدخل السنوي الذي يزيد على \$20000. أكتب اقتراناً متشعباً يُحدد قيمة ضريبة الدخل لفرد في هذه الدولة، دخله السنوي x دولاراً أمريكياً.

أعيد تعريف كلٍّ من الاقترانات الآتية في صورة اقتران متشعب:

18 $f(x) = -|1 - 3x|$

19 $g(x) = \left| \frac{1}{2}x - 4 \right|$

ما أهمية هذه
الوحدة؟

يُعدُّ حساب النهايات وبحث الاتصال وإيجاد المشتقات أدوات أساسية لدراسة سلوك الاقترانات وتحليلها؛ ما يساعد على فهم المواقف العلمية والحياتية التي يُمكن نمذجتها باستعمال الاقترانات، مثل: السرعة، والتسارع. سأتعلّم في هذه الوحدة بعض مفاهيم النهايات والاتصال والاشتقاق، وأستعملها في سياقات حياتية.

سأتعلّم في هذه الوحدة:

- ◀ إيجاد نهاية اقتران عند قيمة مُحدّدة عددياً وبيانياً وجبرياً، وبحث اتصال اقتران عند نقطة ما.
- ◀ إيجاد مشتقة اقترانات القوّة باستعمال كلّ من التعريف، والقواعد.
- ◀ تحديد كلّ من النقاط الحرجة وتصنيفها، وفترات التزايد والتناقص لكثيرات الحدود.

تعلّمتُ سابقاً:

- ✓ تمثيل الاقترانات الخطية والتربيعية والمتشعبة بيانياً، وتحديد المجال والمدى لها.
- ✓ تقدير ميل المنحني عن طريق رسم المماس.
- ✓ إيجاد القِيم العظمى والقِيم الصغرى.
- ✓ إيجاد المشتقة الأولى لكثيرات الحدود.

أستعمل تدريبات (أستعد لدراسة الوحدة) في الصفحات (21 – 13) من كتاب التمارين؛ لمراجعة هذه الموضوعات قبل البدء بدراسة الوحدة.

النهايات والاتصال Limits and Continuity

إيجاد نهاية اقتران عند قيمة مُحدَّدة عدديًا وبيانيًا وجبريًا، وبحث اتصال اقتران عند نقطة ما.

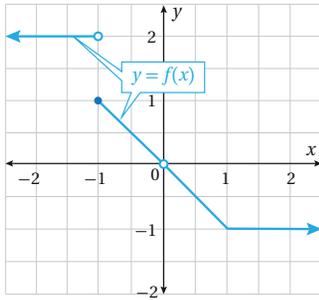
فكرة الدرس



المصطلحات



مسألة اليوم



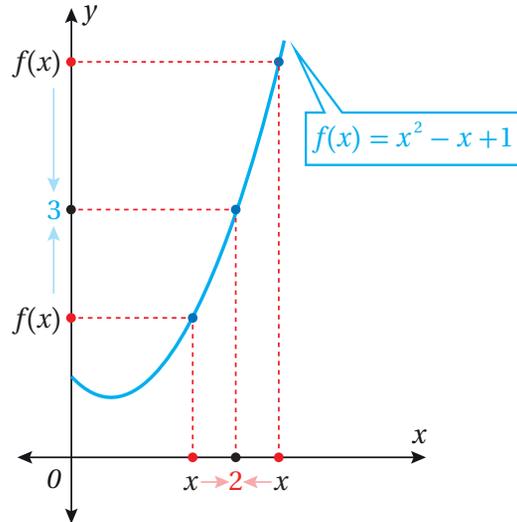
النهاية، الصيغة غير المُحدَّدة، الاقتران المتصل.

اعتمادًا على التمثيل البياني لمنحنى الاقتران f

في الشكل المجاور، أجد كلاً ممَّا يأتي:

$f(-1)$, $f(0)$, $f(-1.01)$, $f(-1.0001)$

إذا كان الاقتران: $f(x) = x^2 - x + 1$ ، واختَرْتُ قِيَمًا لِلْمُتَغَيِّرِ x تقترب أكثر فأكثر من العدد 2، فإنَّني ألاحظ من جدول القِيَمِ والتمثيل البياني التالي أَنَّهُ كَلَّمَا اقتربت قِيَم x من العدد 2 من جهة اليسار اقتربت قِيَم الاقتران $f(x)$ من العدد 3، وَأَنَّهُ كَلَّمَا اقتربت قِيَم x من العدد 2 من جهة اليمين اقتربت قِيَم الاقتران من العدد 3، وبذلك فإنَّ نهاية (limit) الاقتران f عند اقتراب x من العدد 2 من جهتي اليمين واليسار هي 3، وتُكتَب كما يأتي: $\lim_{x \rightarrow 2} (x^2 - x + 1) = 3$



| | | | | | | | | | | |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| x | 1.9 | 1.95 | 1.99 | 1.995 | 1.999 | 2.001 | 2.005 | 2.01 | 2.05 | 2.1 |
| $f(x)$ | 2.710000 | 2.852500 | 2.970100 | 2.985025 | 2.997001 | 3.003001 | 3.015025 | 3.030100 | 3.152500 | 3.310000 |

جهة اليسار

جهة اليمين

النهاية عند نقطة

مفهوم أساسي

بالكلمات: إذا اقتربت قيمة الاقتران $f(x)$ من قيمة واحدة L عند اقتراب x من c ، فإنَّ نهاية الاقتران $f(x)$ هي L عند اقتراب x من c ؛ شرط أن يكون الاقتران مُعرَّفًا في فترة مفتوحة حول c .

$$\lim_{x \rightarrow c} f(x) = L \quad \text{بالرموز:}$$

وتُقرأ: نهاية الاقتران $f(x)$ عند اقتراب x من c هي L .

لغة الرياضيات

$$\lim_{x \rightarrow c} f(x) = L \text{ تُقرأ أيضًا}$$

كما يأتي:

الاقتران $f(x)$ يقترب من

L عند اقتراب x من c .

يشير الرمز $\lim_{x \rightarrow c} f(x) = L$ إلى اقتراب x من c من جهتي اليمين واليسار.

لتحديد جهة اقتراب قيم x من القيمة c :

- أستعمل الرمز $\lim_{x \rightarrow c^-} f(x)$ للدلالة على النهاية من جهة اليسار، حيث: $x < c$ ، وتُقرأ: نهاية الاقتران $f(x)$ عند اقتراب x من c من جهة اليسار.
- أستعمل الرمز $\lim_{x \rightarrow c^+} f(x)$ للدلالة على النهاية من جهة اليمين، حيث: $x > c$ ، وتُقرأ: نهاية الاقتران $f(x)$ عند اقتراب x من c من جهة اليمين.

إذا كانت النهايتان من جهتي اليمين واليسار موجودتين ومتساويتين، فإنَّ نهاية الاقتران تكون موجودة.

النهاية من الجهتين

مفهوم أساسي

بالكلمات: تكون نهاية الاقتران $f(x)$ موجودة عند اقتراب x من c إذا وفقط إذا كانت النهايتان من جهتي اليمين واليسار موجودتين ومتساويتين.

$$\lim_{x \rightarrow c^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow c^+} f(x) = L \quad \Leftrightarrow \quad \lim_{x \rightarrow c} f(x) = L \quad \text{بالرموز:}$$

رموز الرياضيات

يُقرأ الرمز (\Leftrightarrow) : إذا

وفقط إذا، ويعني تحقُّق

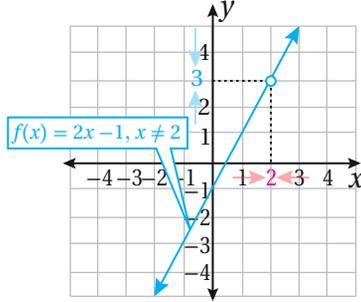
صحة عبارة الرياضيات

في كلا الاتجاهين.

مثال 1

أجد قيمة كل نهاية مما يأتي (إن وُجدت) بيانياً وعددياً:

$$\lim_{x \rightarrow 2} f(x) \text{، حيث: } f(x) = 2x - 1, x \neq 2$$



الطريقة 1: إيجاد قيمة نهاية الاقتران بيانياً.

ألاحظ من التمثيل البياني المجاور أنه كلما اقتربت قيم x من العدد 2 من جهة اليمين اقتربت قيم الاقتران $f(x)$ المقابلة لها من العدد 3، وهذا يعني أن:

$$\lim_{x \rightarrow 2^+} f(x) = 3$$

ألاحظ أيضاً أنه كلما اقتربت قيم x من العدد 2 من جهة اليسار اقتربت قيم الاقتران $f(x)$ المقابلة لها من العدد 3، وهذا يعني أن:

$$\lim_{x \rightarrow 2^-} f(x) = 3$$

بما أن النهايتين من جهتي اليمين واليسار متساويتان، فإن نهاية الاقتران $\lim_{x \rightarrow 2} f(x)$ موجودة، وقيمتها 3.

الطريقة 2: إيجاد قيمة نهاية الاقتران عددياً.

لإيجاد نهاية الاقتران f عددياً، أنشئ جدول قيم باختيار قيم x القريبة من العدد 2 من كلتا الجهتين، ثم إيجاد قيم الاقتران $f(x)$ المقابلة لها:

| x | 1.9 | 1.99 | 1.999 | 2 | 2.001 | 2.01 | 2.1 |
|--------|-----|------|-------|---|-------|------|-----|
| $f(x)$ | 2.8 | 2.98 | 2.998 | | 3.002 | 3.02 | 3.2 |

← 2 →

← 3 →

جهة اليسار جهة اليمين

ألاحظ من الجدول السابق أنه كلما اقتربت قيم x من العدد 2 من جهة اليمين اقتربت قيم الاقتران $f(x)$ المقابلة لها من العدد 3، وهذا يعني أن:

$$\lim_{x \rightarrow 2^+} f(x) = 3$$

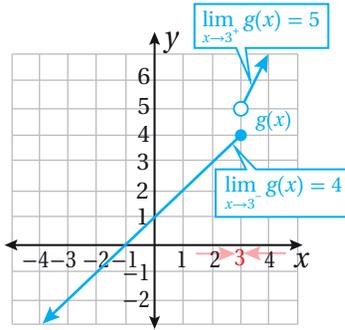
ألاحظ أيضاً أنه كلما اقتربت قيم x من العدد 2 من جهة اليسار اقتربت قيم الاقتران $f(x)$ المقابلة لها من العدد 3، وهذا يعني أن:

$$\lim_{x \rightarrow 2^-} f(x) = 3$$

بما أن $\lim_{x \rightarrow 2} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^-} f(x) = 3$ ، فإن نهاية الاقتران $\lim_{x \rightarrow 2} f(x)$ موجودة، وقيمتها 3

$$g(x) = \begin{cases} x+1 & ,x \leq 3 \\ 2x-1 & ,x > 3 \end{cases} \text{ حيث: } \lim_{x \rightarrow 3} g(x)$$

2



الطريقة 1: إيجاد قيمة نهاية الاقتران بيانيًا.

ألاحظ من التمثيل البياني المجاور أنه كلما اقتربت قيم x من العدد 3 على المحور x من جهة اليمين اقتربت قيم الاقتران $g(x)$ المقابلة لها من العدد 5، وهذا يعني أن:

$$\lim_{x \rightarrow 3^+} g(x) = 5$$

ألاحظ أيضًا أنه كلما اقتربت قيم x من العدد 3 على المحور x من جهة اليسار اقتربت قيم الاقتران $g(x)$ المقابلة لها من العدد 4، وهذا يعني أن:

$$\lim_{x \rightarrow 3^-} g(x) = 4$$

بما أن $\lim_{x \rightarrow 3^+} g(x) \neq \lim_{x \rightarrow 3^-} g(x)$ ، فإن نهاية الاقتران $\lim_{x \rightarrow 3} g(x)$ غير موجودة.

الطريقة 2: إيجاد قيمة نهاية الاقتران عدديًا.

لإيجاد نهاية الاقتران g عدديًا، أنشئ جدول قيم باختيار قيم x القريبة من العدد 3 من كلتا الجهتين، ثم إيجاد قيم الاقتران $g(x)$ المقابلة لها:

| | ← 3 → | | | | | |
|--------|------------|------|-------|------------|------|-----|
| x | 2.9 | 2.99 | 2.999 | 3.001 | 3.01 | 3.1 |
| $g(x)$ | 3.9 | 3.99 | 3.999 | 5.002 | 5.02 | 5.2 |
| | ← | | | → | | |
| | جهة اليسار | | | جهة اليمين | | |

ألاحظ من الجدول السابق أنه كلما اقتربت قيم x من العدد 3 من جهة اليمين اقتربت قيم الاقتران $g(x)$ المقابلة لها من العدد 5، وهذا يعني أن:

$$\lim_{x \rightarrow 3^+} g(x) = 5$$

ألاحظ أيضًا أنه كلما اقتربت قيم x من العدد 3 من جهة اليسار اقتربت قيم الاقتران $g(x)$ المقابلة لها من العدد 4، وهذا يعني أن:

$$\lim_{x \rightarrow 3^-} g(x) = 4$$

بما أن $\lim_{x \rightarrow 3^+} g(x) \neq \lim_{x \rightarrow 3^-} g(x)$ ، فإن $\lim_{x \rightarrow 3} g(x)$ غير موجودة.

أتعلم

عند إيجاد قيمة نهاية الاقتران بالطريقة العددية، فإن الناتج لا يختلف عنه بالطريقة البيانية.

أتحقق من فهمي

أجد قيمة كل نهاية مما يأتي (إن وُجدت) بيانياً وعددياً:

(a) $\lim_{x \rightarrow 1} f(x)$ ، حيث: $f(x) = x^2$.

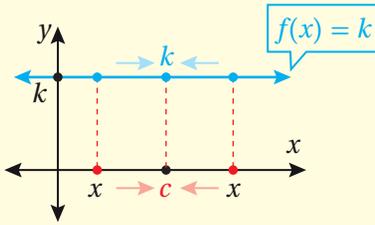
(b) $\lim_{x \rightarrow -3} h(x)$ ، حيث: $h(x) = \begin{cases} x+2, & -5 \leq x < -3 \\ 1, & x > -3 \end{cases}$

تعلّمتُ في المثال السابق كيف أجد قيمة نهاية الاقتران بيانياً وعددياً، وسأتعلّم الآن كيفية إيجادها لبعض الاقترانات البسيطة (مثل: الاقتران الثابت، والاقتران المحايد) بسهولة من دون حاجة إلى استعمال الطريقة البيانية والطريقة العددية.

نهايات الاقترانات

مفهوم أساسي

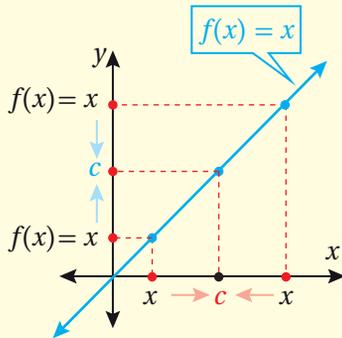
نهاية الاقتران الثابت



بالكلمات: نهاية الاقتران الثابت عند أي نقطة c هي القيمة الثابتة للاقتران.

بالرموز: $\lim_{x \rightarrow c} k = k$

نهاية الاقتران المحايد



بالكلمات: نهاية الاقتران $f(x) = x$ عند النقطة c هي c .

بالرموز: $\lim_{x \rightarrow c} x = c$

يُمكن أيضاً استعمال الخصائص الجبرية للنهايات لإيجاد قيم بعض النهايات من دون حاجة إلى استعمال الطريقة البيانية والطريقة العددية.

خصائص النهايات

مفهوم أساسي

إذا كان c, k عددين حقيقيين، وكان n عددًا صحيحًا موجبًا، وكانت النهايتان $\lim_{x \rightarrow c} f(x), \lim_{x \rightarrow c} g(x)$ موجودتين، فإنَّ كلاً من الخصائص الآتية صحيحة:

1) $\lim_{x \rightarrow c} (f(x) + g(x)) = \lim_{x \rightarrow c} f(x) + \lim_{x \rightarrow c} g(x)$ خاصية المجموع:

2) $\lim_{x \rightarrow c} (f(x) - g(x)) = \lim_{x \rightarrow c} f(x) - \lim_{x \rightarrow c} g(x)$ خاصية الفرق:

3) $\lim_{x \rightarrow c} k f(x) = k \lim_{x \rightarrow c} f(x)$ خاصية الضرب في ثابت:

4) $\lim_{x \rightarrow c} (f(x) \times g(x)) = \lim_{x \rightarrow c} f(x) \times \lim_{x \rightarrow c} g(x)$ خاصية الضرب:

5) $\lim_{x \rightarrow c} \left(\frac{f(x)}{g(x)} \right) = \frac{\lim_{x \rightarrow c} f(x)}{\lim_{x \rightarrow c} g(x)}, \lim_{x \rightarrow c} g(x) \neq 0$ خاصية القسمة:

6) $\lim_{x \rightarrow c} (f(x))^n = (\lim_{x \rightarrow c} f(x))^n$ خاصية القوة:

7) $\lim_{x \rightarrow c} \sqrt[n]{f(x)} = \sqrt[n]{\lim_{x \rightarrow c} f(x)}$ خاصية الجذر النوني:

إذا كان n عددًا زوجيًا، فأنتحَقَّ من أن $\lim_{x \rightarrow c} f(x) > 0$

تنبيه

لا يُمكن استعمال خاصية القسمة إذا نتج من تطبيقها مقام يساوي صفرًا.

أتعلّم

وُضِعَ هذا الشرط لعدم وجود النهاية للجذر الزوجي من جهة يسار الصفر؛ ذلك أن الجذر الزوجي غير مُعرَّف للأعداد السالبة.

مثال 2

أستعمل خصائص النهايات لإيجاد قيمة كل نهاية ممّا يأتي:

1) $\lim_{x \rightarrow 1} (x^2 + 5x - 3)$

$\lim_{x \rightarrow 1} (x^2 + 5x - 3)$

$= \lim_{x \rightarrow 1} (x^2) + \lim_{x \rightarrow 1} (5x) - \lim_{x \rightarrow 1} (3)$ خاصيتا المجموع والفرق

$= (\lim_{x \rightarrow 1} x)^2 + 5 \times \lim_{x \rightarrow 1} (x) - \lim_{x \rightarrow 1} (3)$ خاصيتا القوة والضرب في ثابت

$= (1)^2 + 5 \times 1 - 3$ نهاية الاقتران المحايد، ونهاية الاقتران الثابت

$= 3$ بالتبسيط

$$2 \quad \lim_{x \rightarrow 4} \sqrt{\frac{5}{x^2 + 9}}$$

ألاحظ أنَّ $f(x) = \frac{5}{x^2 + 9} > 0$ ، بصرف النظر عن العدد الحقيقي الذي تقترب منه القيمة x . وبذلك، فإنَّ:

$$\lim_{x \rightarrow 4} \sqrt{\frac{5}{x^2 + 9}} = \sqrt{\lim_{x \rightarrow 4} \frac{5}{x^2 + 9}}$$

خاصية الجذر التوني

$$= \sqrt{\frac{\lim_{x \rightarrow 4} 5}{\lim_{x \rightarrow 4} (x^2 + 9)}}$$

خاصية القسمة

$$= \sqrt{\frac{\lim_{x \rightarrow 4} 5}{\lim_{x \rightarrow 4} (x^2) + \lim_{x \rightarrow 4} (9)}}$$

خاصية المجموع

$$= \sqrt{\frac{\lim_{x \rightarrow 4} 5}{(\lim_{x \rightarrow 4} x)^2 + \lim_{x \rightarrow 4} (9)}}$$

خاصية القوة

$$= \sqrt{\frac{5}{(4)^2 + 9}}$$

نهاية الاقتران المحايد، ونهاية الاقتران الثابت

$$= \frac{\sqrt{5}}{5}$$

بالتبسيط

أتحقق من فهمي 

أستعمل الخصائص الجبرية للنهايات لإيجاد قيمة كل نهاية ممَّا يأتي:

a) $\lim_{x \rightarrow -1} (3x^2 - 4x - 2)$

b) $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt{3x^2 + 1}}{2x - 5}$

يتبيّن من المثال السابق أنَّ نهاية كل اقتران هي $f(c)$ عند اقتراب x من c ؛ لذا يُمكن إيجاد هذه النهايات بالتعويض المباشر في الاقتران للقيمة التي تقترب منها قيم x . وهذا الاستنتاج صحيح لاقترانات كثيرات الحدود جميعها، وللاقترانات النسبية بشروط مُحدّدة.

أتذكّر

في الفرع الثاني من المثال، يجب التحقق من أنَّ $\lim_{x \rightarrow c} f(x) > 0$ ؛ لأنَّ دليل الجذر عدد زوجي.

النهايات بالتعويض المباشر

مفهوم أساسي

نهايات كثيرات الحدود

إذا كان الاقتران $f(x)$ كثير حدود، وكان c عددًا حقيقيًا، فإن:

$$\lim_{x \rightarrow c} f(x) = f(c)$$

نهايات الاقترانات النسبية

إذا كان: $f(x) = \frac{p(x)}{q(x)}$ اقترانًا نسبيًا، وكان c عددًا حقيقيًا، فإن:

$$\lim_{x \rightarrow c} f(x) = f(c) = \frac{p(c)}{q(c)}, q(c) \neq 0$$

تنبيه

يُمكن إيجاد نهاية الاقتران النسبي بالتعويض المباشر ما دامت قيمة مقام الاقتران النسبي عند c لا تساوي صفرًا.

مثال 3

أجد قيمة كل نهاية ممّا يأتي باستعمال التعويض المباشر إن كان ذلك مُمكنًا، وإلا فأذكر السبب:

1 $\lim_{x \rightarrow -1} (4x^3 - 3x^2 + 2x + 1)$

ألاحظُ أنّ الاقتران: $f(x) = 4x^3 - 3x^2 + 2x + 1$ كثير حدود، وهذا يعني أنّه يُمكن إيجاد قيمة نهايته بالتعويض المباشر بـ $(x = -1)$:

$$\lim_{x \rightarrow -1} (4x^3 - 3x^2 + 2x + 1)$$

$$= 4(-1)^3 - 3(-1)^2 + 2(-1) + 1$$

بالتعويض المباشر

$$= -8$$

بالتبسيط

2 $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 + 2x + 1}{x^2 - x + 1}$

بما أنّ $x = 2$ تقع في مجال الاقتران النسبي (لأنّها ليست صفرًا للمقام)،

فإنّه يُمكن إيجاد قيمة نهاية الاقتران بالتعويض المباشر:

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 + 2x + 1}{x^2 - x + 1} = \frac{(2)^2 + 2(2) + 1}{(2)^2 - (2) + 1}$$

بالتعويض المباشر

$$= \frac{9}{3} = 3$$

بالتبسيط

$$3 \quad \lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2 - 4x + 3}{x - 3}$$

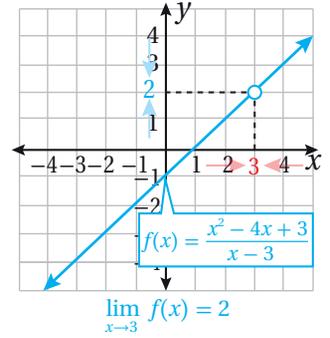
بما أن $x = 3$ لا تقع في مجال الاقتران النسبي (لأنها صفر للمقام)، فإنه يتعدّر إيجاد قيمة نهاية الاقتران بالتعويض المباشر.

أتحقق من فهمي

أجد قيمة كل نهاية مما يأتي باستعمال التعويض المباشر إن كان ذلك ممكناً، وإلا فأذكر السبب:

$$a) \lim_{x \rightarrow -2} (5x^2 - 6x - 15) \quad b) \lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - x - 2}{x + 3} \quad c) \lim_{x \rightarrow 5} \frac{x^2 - 25}{x - 5}$$

لاحظتُ في الفرع الثالث من المثال السابق أنه بالتعويض المباشر للقيمة التي تقترب منها قيم x في نهاية الاقتران، فإن الناتج هو $\frac{0}{0}$ ، في ما يُعرّف بالصيغة غير المُحددة (indeterminate form)، لكن ذلك لا يعني أن النهاية غير موجودة؛ فالتمثيل البياني للاقتران الظاهر جانباً يُبين أن النهاية موجودة عندما تقترب x من العدد 3، وقيمتها 2؛ لذا يجب إيجاد صيغة مكافئة للاقتران عن طريق تحليل البسط، أو تحليل المقام، أو تحليل كليهما، ثم اختصار العوامل المشتركة بينهما للتخلص من صفر المقام قبل التعويض.



مثال 4

أجد قيمة كل نهاية مما يأتي:

$$1 \quad \lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2 - 4x + 3}{x - 3}$$

ناتج التعويض المباشر في الاقتران النسبي هو $\frac{0}{0}$ ؛ لذا أحلّل المقدار جبرياً، ثم أختصر العوامل المشتركة بين البسط والمقام:

$$\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2 - 4x + 3}{x - 3} = \lim_{x \rightarrow 3} \frac{(x - 1)(x - 3)}{x - 3}$$

بتحليل ثلاثي الحدود

$$= \lim_{x \rightarrow 3} \frac{(x - 1)\cancel{(x - 3)}}{\cancel{x - 3}}$$

باختصار العامل المشترك

$$= \lim_{x \rightarrow 3} (x - 1)$$

بالتبسيط

$$= 3 - 1 = 2$$

بالتعويض المباشر، والتبسيط

الوحدة 5

$$2 \quad \lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 4}{x^2 - 2x}$$

نتاج التعويض المباشر في الاقتران النسبي هو $\frac{0}{0}$ ؛ لذا أحلّ المقدار جبرياً، ثم اختصر العوامل المشتركة بين البسط والمقام:

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 4}{x^2 - 2x} = \lim_{x \rightarrow 2} \frac{(x-2)(x+2)}{x(x-2)}$$

بتحليل البسط والمقام

$$= \lim_{x \rightarrow 2} \frac{\cancel{(x-2)}(x+2)}{x\cancel{(x-2)}}$$

باختصار العامل المشترك

$$= \lim_{x \rightarrow 2} \frac{x+2}{x}$$

بالتبسيط

$$= \frac{2+2}{2} = 2$$

بالتعويض المباشر، والتبسيط

أتحقق من فهمي

أجد قيمة كل نهاية ممّا يأتي:

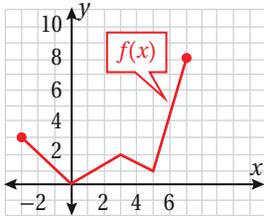
$$a) \quad \lim_{x \rightarrow -2} \frac{x^2 - x - 6}{x + 2}$$

$$b) \quad \lim_{x \rightarrow 4} \frac{16 - x^2}{2x - 8}$$

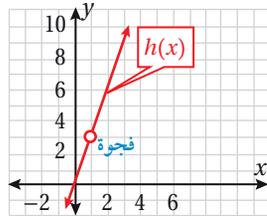
أندكر

يُمكن اختصار $(x - a)$ في البسط مع $(a - x)$ في المقام، حيث a عدد حقيقي، ويبقى في البسط -1 .

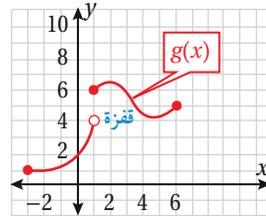
يكون **الاقتران متصلًا** (continuous function) إذا لم يكن في تمثيله البياني أيُّ انقطاع، أو فجوة، أو قفزة. وكذلك يكون الاقتران متصلًا عند نقطة ما تقع على منحناه إذا مرَّ هذا المنحنى بتلك النقطة من دون انقطاع. تشير التمثيلات البيانية الآتية إلى حالات من اتصال بعض الاقترانات أو عدم اتصالها عندما $x = 1$:



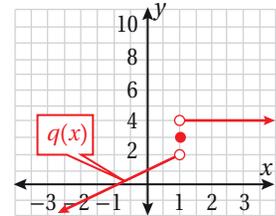
متصل عندما $x = 1$



غير متصل عندما $x = 1$



غير متصل عندما $x = 1$



غير متصل عندما $x = 1$

ألاحظ أنّ منحنى الاقتران h غير متصل عندما $x = 1$ ؛ لأنّه غير مُعرّف عندها (بالرغم من أنّ نهاية الاقتران h موجودة عند اقتراب x من العدد 1). أمّا الاقترانان g و q غير متصلين عندما $x = 1$ ؛ نظرًا إلى وجود قفزة في منحنى كلّ منهما؛ ما يعني أنّ

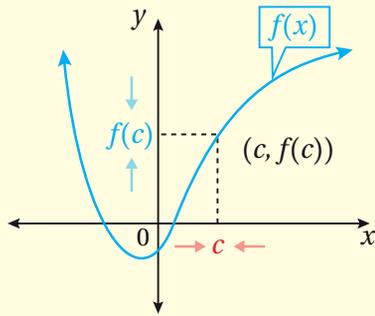
النهاية غير موجودة عند اقتراب x من العدد 1 (بالرغم من أن كلاً منهما مُعرَّف عندما $x = 1$)، في حين يظهر الاقتران f متصلًا عندما $x = 1$ ، ويكون مُعرَّفًا عندما $x = 1$ ، حيث: $f(1) = 1$ ، وكذلك توجد له نهاية عند اقتراب x من العدد 1، حيث:

$$\lim_{x \rightarrow 1} f(x) = 1$$

إذن، يكون الاقتران متصلًا عند نقطة ما إذا كانت قيمة نهايته تساوي صورة الاقتران عند هذه النقطة.

الاتصال عند نقطة

مفهوم أساسي



يكون الاقتران $f(x)$ متصلًا عندما $x = c$

إذا حققت الشروط الآتية جميعها:

- $f(c)$ مُعرَّفة.
- $\lim_{x \rightarrow c} f(x)$ موجودة.
- $\lim_{x \rightarrow c} f(x) = f(c)$.

أُتذَكَّر

وجود النهاية يعني أن النهايتين في جهتي اليمين واليسار متساويتان، علمًا بأن وجود النهاية عند نقطة ما لا يعني بالضرورة أن الاقتران مُعرَّف عند تلك النقطة.

مثال 5

أُحدِّد إذا كان كل اقتران مما يأتي متصلًا عند قيمة x المعطاة، مُبرَّرًا إجابتي:

1 $f(x) = x^2 - x + 1$, $x = 4$

الخطوة 1: أجد قيمة الاقتران عندما $x = 4$.

$$f(4) = 4^2 - 4 + 1 = 13$$

بالتعويض في الاقتران
بالتبسيط

الخطوة 2: أجد قيمة نهاية الاقتران عندما تقترب x من العدد 4

$$\lim_{x \rightarrow 4} f(x) = \lim_{x \rightarrow 4} (x^2 - x + 1) = 13$$

بالتعويض المباشر في الاقتران

الخطوة 3: أُقارن $f(4)$ بـ $\lim_{x \rightarrow 4} f(x)$.

$$\lim_{x \rightarrow 4} f(x) = f(4) = 13$$

القيمتان متساويتان

إذن، الاقتران f متصل عندما $x = 4$.

2 $g(x) = \frac{x^2 - 1}{x - 1}, x = 1$

الاقتران النسبي g غير مُعرَّف عندما $x = 1$ ؛ لأنَّ ذلك يجعل مقامه صفرًا.

إذن، الاقتران النسبي g غير متصل عندما $x = 1$.

3 $f(x) = \begin{cases} 2x + 1 & , x < 1 \\ x^3 + 2 & , x \geq 1 \end{cases}, x = 1$

لتحديد إذا كان الاقتران f متصلًا عندما $x = 1$ ، أتحدِّث من أنَّ $f(1) = \lim_{x \rightarrow 1} f(x)$.

الخطوة 1: أجد قيمة الاقتران عندما $x = 1$.

$f(1) = 1^3 + 2 = 3$

بالتعويض المباشر في الاقتران

الخطوة 2: أجد قيمة نهاية الاقتران عندما تقترب x من العدد 1

$\lim_{x \rightarrow 1^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 1^+} (x^3 + 2) = 3$

النهاية من جهة اليمين

$\lim_{x \rightarrow 1^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 1^-} (2x + 1) = 3$

النهاية من جهة اليسار

بما أنَّ $\lim_{x \rightarrow 1^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 1^-} f(x) = 3$ ، فإنَّ نهاية الاقتران f موجودة عندما تقترب x من العدد 1، وقيمتها 3.

الخطوة 3: أفرِّق $f(1)$ بـ $\lim_{x \rightarrow 1} f(x)$.

$\lim_{x \rightarrow 1} f(x) = f(1) = 3$

القيمتان متساويتان

بما أنَّ $f(1) = \lim_{x \rightarrow 1} f(x) = 3$ ، فإنَّ الاقتران f متصل عندما $x = 1$.

أتحقِّق من فهمي

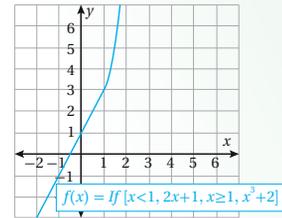
أحدِّد إذا كان كل اقتران ممَّا يأتي متصلًا عند قيمة x المعطاة، مُبرِّرًا إجابتي:

a) $g(x) = \frac{x^3 + 1}{x + 1}, x = -1$

b) $h(x) = \begin{cases} x - 1 & , x < 3 \\ 5 - x & , x \geq 3 \end{cases}, x = 3$

الدعم البياني

يُمكن استعمال برمجية جيو جبرا لتمثيل الاقتران f ، والتحدِّث بيانيًا من اتصاله عندما $x = 1$ ، كما يظهر في التمثيل البياني الآتي:



أفكر

لماذا يُعدُّ الاقتران:

$g(x) = \begin{cases} x - 1 & , x < 3 \\ 5 - x & , x > 3 \end{cases}$

غير متصل عندما $x = 3$ ؟



أجد قيمة كل نهاية ممّا يأتي (إن وُجِدَت) بيانيًا وعدديًا:

1 $\lim_{x \rightarrow 2} (x + 3)$

2 $\lim_{x \rightarrow 1} (x^2 - 1)$

3 $\lim_{x \rightarrow 3} f(x), f(x) = \begin{cases} 2x & , x \geq 3 \\ x + 3 & , x < 3 \end{cases}$

4 $\lim_{x \rightarrow -1} g(x), g(x) = \begin{cases} -x + 1 & , x \leq -1 \\ x - 1 & , x > -1 \end{cases}$

أستعمل الخصائص الجبرية للنهايات لإيجاد قيمة كل نهاية ممّا يأتي:

5 $\lim_{x \rightarrow -1} (x^2 + 2x + 1)$

6 $\lim_{x \rightarrow 4} \left(\sqrt{x} + \frac{4}{x} \right)$

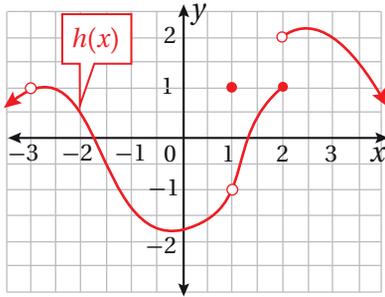
7 $\lim_{x \rightarrow 3} \sqrt[3]{\frac{2x+2}{x^2+18}}$

أجد قيمة كل نهاية ممّا يأتي (إن وُجِدَت):

8 $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x^2 - 2x + 1}{x - 1}$

9 $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x^3 - x}{x - 1}$

10 $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 5x + 6}{x^2 - 4}$



أستعمل التمثيل البياني المجاور لإيجاد قيمة كل نهاية ممّا يأتي (إن وُجِدَت):

11 $\lim_{x \rightarrow 2^+} h(x)$

12 $\lim_{x \rightarrow 2^-} h(x)$

13 $\lim_{x \rightarrow 2} h(x)$

14 $\lim_{x \rightarrow 1} h(x)$

15 $\lim_{x \rightarrow -2} h(x)$

16 $\lim_{x \rightarrow -3} h(x)$

أبحث اتصال كلٍّ من الافتراضات الآتية عند قيمة x المعطاة إزاء كلٍّ منها:

17 $f(x) = \begin{cases} 2x & , x < 2 \\ x^2 & , x \geq 2 \end{cases}, x = 2$

18 $f(x) = \begin{cases} 3x + 5 & , x < -1 \\ x^3 & , x \geq -1 \end{cases}, x = -1$

19 $f(x) = x^2 + 2x + 3, x = 0$

20 $h(x) = \frac{x^3 + 8}{2}, x = 2$

21 $g(x) = \frac{x^2 + 3x + 2}{x + 2}, x = -2$

22 $f(x) = \begin{cases} x^2 - 1 & , x < -1 \\ x^3 + 1 & , x > -1 \end{cases}, x = -1$



عمل: تعمل سميرة في محل لبيع الحُلِيِّ والجواهر لقاء راتب شهري وعمولة إضافية تعتمد على قيمة مبيعاتها الشهرية. يُمكن تمثيل المبلغ الذي تحصل عليه سميرة شهرياً بالاقتران الآتي، حيث x قيمة مبيعاتها الشهرية بالدينار:

$$P(x) = \begin{cases} 500 + 0.1x & , \quad 0 \leq x \leq 8000 \\ 660 + 0.08x & , \quad x > 8000 \end{cases}$$

23 أجد راتب سميرة في شهر حزيران إذا كانت مبيعاتها فيه JD 8000.

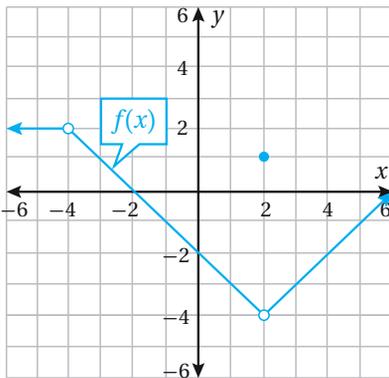
24 أبين أن الاقتران p متصل عندما $x = 8000$.

مهارات التفكير العليا



25 **مسألة مفتوحة:** أكتب اقتراناً نسبياً $f(x)$ ، بحيث يكون $f(-1)$ غير مُعرَّف، وتكون $\lim_{x \rightarrow -1} f(x) = -2$ ، مُبرِّراً إجابتي بيانياً.

26 **تبرير:** إذا كان: $f(x) = \begin{cases} x + 3 & , \quad x < 3 \\ 2 + \sqrt{k} & , \quad x > 3 \end{cases}$ وكانت $\lim_{x \rightarrow 3} f(x)$ موجودة، فأجد قيمة الثابت k ، مُبرِّراً إجابتي.



27 **تبرير:** أبين الفرق بين عدم اتصال الاقتران f المُمثَّل بيانياً في الشكل المجاور عندما $x = 2$ ، وعدم اتصاله عندما $x = -4$ ، مُبرِّراً إجابتي.

28 **تحذّر:** إذا كان الاقتران: $h(x) = \begin{cases} x + 3 & , \quad x \neq 3 \\ x^2 + k & , \quad x = 3 \end{cases}$ متصلاً عندما $x = 3$ ، فأجد قيمة الثابت k .

المشتقة The Derivative

إيجاد مشتقة اقترانات القوة باستخدام كل من التعريف، والقواعد.

فكرة الدرس



التعريف العام للمشتقة، اقتران القوة.

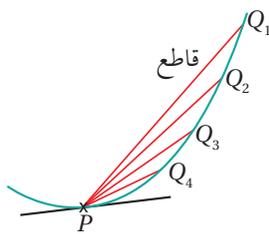
المصطلحات



مسألة اليوم



يُمكن نمذجة موقع أسد يطارد فريسته على أرض مستوية، ويتحرك في مسار مستقيم، باستخدام الاقتران: $s(t) = 7t^2 - t^7$, $t \geq 0$ ، حيث t الزمن بالثواني، و s الموقع بالأمتار. أجد سرعة الأسد بعد 4 ثوانٍ من بدء حركته.



تعلّمت سابقاً أنه يُمكن إيجاد ميل منحنى الاقتران عند نقطة ما عن طريق المشتقة، وذلك بإيجاد ميل المماس عند هذه النقطة.

يُمثل الشكل المجاور مماساً لمنحنى اقتران عند النقطة P .

ألاحظ أنّ النقطة Q_1 في أثناء حركتها على منحنى الاقتران

نحو النقطة P تمرُّ بالنقاط: Q_2 و Q_3 و Q_4 ، وأن ميل كل من القواطع: $\overline{PQ_4}$ و $\overline{PQ_3}$ و $\overline{PQ_2}$ يقترب شيئاً فشيئاً من ميل المماس عند النقطة P .

اعتماداً على ذلك، يُمكن إيجاد مشتقة اقتران قاعدته معلومة، مثل: $y = 3x^2$.

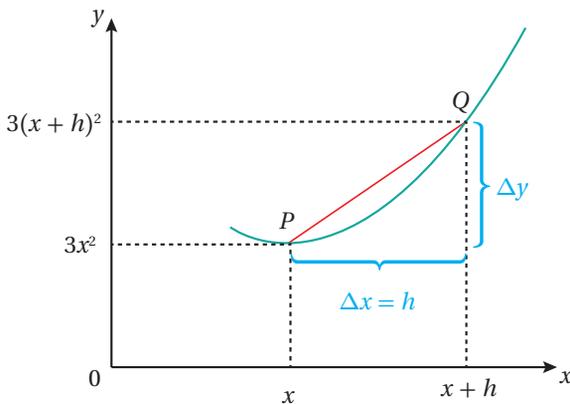
فمثلاً، إذا كانت النقطة Q تبعد مسافة أفقية صغيرة مقدارها h عن النقطة $P(x, 3x^2)$ ، فإن إحداثيي النقطة Q هما: $(x + h, 3(x + h)^2)$.

إذن: ميل القاطع \overline{PQ} يساوي:

$$\begin{aligned} m &= \frac{\Delta y}{\Delta x} \\ &= \frac{3(x + h)^2 - 3x^2}{(x + h) - x} \\ &= \frac{3x^2 + 6hx + 3h^2 - 3x^2}{h} \\ &= \frac{6hx + 3h^2}{h} \\ &= 6x + 3h \end{aligned}$$

أفكّر

لماذا يجب ألا تكون
قيمة $h = 0$ ؟



وعند اقتراب النقطة Q من النقطة P ، فإن المسافة الأفقية h تصبح أصغر فأصغر؛ ما يعني أن هذه المسافة تقترب من الصفر، وهي تُكتب كما يأتي: $h \rightarrow 0$.

وبذلك، فإن ميل المماس عند النقطة P يساوي نهاية $6x + 3h$ عندما $h \rightarrow 0$:

$$m = \lim_{h \rightarrow 0} (6x + 3h) = 6x$$

وتُسمى $6x$ مشتقة الاقتران $y = 3x^2$ ، ويُرمز إليها بالرمز $\frac{dy}{dx}$.

إذن، إذا كان $y = 3x^2$ ، فإن $\frac{dy}{dx} = 6x$.

يُطلق على هذه الطريقة في إيجاد مشتقة اقتران عند نقطة ما اسم **التعريف العام للمشتقة** (definition of the derivative).

رموز الرياضيات

يُرمز إلى مشتقة الاقتران:

بالرموز: $y = f(x)$

$\frac{dy}{dx}, f'(x), y'$

التعريف العام للمشتقة

مفهوم أساسي

مشتقة الاقتران f بالنسبة إلى المتغير x هي الاقتران f' الذي قيمته عند x :

$$f'(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h}$$

شرط وجود النهاية.

مثال 1

أجد مشتقة الاقتران: $f(x) = 5x - 2$ باستعمال التعريف العام للمشتقة عندما $x = 3$.

$$f'(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h} \quad \text{التعريف العام للمشتقة}$$

$$f'(3) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(3+h) - f(3)}{h} \quad \text{بتعويض } x = 3$$

$$= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{5(3+h) - 2 - (5(3) - 2)}{h} \quad \text{بتعويض } f(3+h) = 5(3+h) - 2, \quad f(3) = 5(3) - 2$$

$$= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{15 + 5h - 2 - 15 + 2}{h} \quad \text{بالتبسيط}$$

$$= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{5h}{h} \quad \text{بجمع الحدود المتشابهة}$$

$$= \lim_{h \rightarrow 0} 5$$

بالقسمة على h

$$= 5$$

بتعويض $h = 0$

أتحقق من فهمي

أجد مشتقة الاقتران: $f(x) = 7x + 5$ باستخدام التعريف العام للمشتقة عندما $x = 2$.

يُمكن استعمال التعريف العام للمشتقة لإيجاد اقتران جديد يُمثل مشتقة الاقتران الأصلي.

مثال 2

أجد مشتقة الاقتران: $y = x^2$ باستخدام التعريف العام للمشتقة.

$$\frac{dy}{dx} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h}$$

التعريف العام للمشتقة

$$= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{(x+h)^2 - x^2}{h}$$

بتعويض $f(x+h) = (x+h)^2$, $f(x) = x^2$

$$= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{x^2 + 2xh + h^2 - x^2}{h}$$

بفك الأقواس للتبسيط

$$= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{2xh + h^2}{h}$$

بجمع الحدود المتشابهة

$$= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{h(2x + h)}{h}$$

بإخراج h عاملاً مشتركاً من حدود البسط

$$= \lim_{h \rightarrow 0} (2x + h)$$

بالقسمة على h

$$= 2x$$

بتعويض $h = 0$

أتحقق من فهمي

أجد مشتقة الاقتران: $f(x) = 8 - x^2$ باستخدام تعريف المشتقة.

معلومة

يعود تاريخ إيجاد المشتقة باستعمال النهايات إلى القرن السابع عشر الميلادي، ويرتبط ذلك بعالمي الرياضيات المشهورين: إسحق نيوتن، وغوتفريد لايبنتس.

مشتقة اقترانات القوة

يُطلق على الاقتران: $f(x) = x^n$ الذي فيه n عدد حقيقي اسم **اقتران القوة** (power function)، ومن أمثلته:

$$f(x) = x^7, \quad g(x) = \frac{1}{x^3}, \quad h(x) = \sqrt{x^3}$$

إنَّ إيجاد المشتقة باستعمال تعريفها العام يستغرق وقتاً كبيراً في كثير من الأحيان، ولكنْ توجد قواعد تُسهِّل عملية إيجادها، وتوفِّر الوقت والجهد، مثل قاعدة مشتقة اقتران القوة.

مشتقة اقترانات القوة

مفهوم أساسي

بالكلمات: عند اشتقاق الاقتران: $y = x^n$ ، فإنَّ أسَّ x في المشتقة يكون أقل بواحد من أسَّ x في الاقتران الأصلي، ومعامل x في المشتقة يساوي أسَّ x في الاقتران الأصلي.

بالرموز: إذا كان $y = x^n$ ، حيث n عدد حقيقي، فإنَّ $\frac{dy}{dx} = nx^{n-1}$.

مثال 3

أجد مشتقة كل اقتران ممَّا يأتي:

1 $f(x) = x^5$

$$f'(x) = 5x^{5-1} \quad \text{قاعدة مشتقة القوة}$$

$$= 5x^4 \quad \text{بالتبسيط}$$

2 $y = \frac{1}{x}$

$$y = x^{-1} \quad \text{بكتابة الاقتران في صورة أسّية}$$

$$\frac{dy}{dx} = (-1)x^{-1-1} \quad \text{قاعدة مشتقة القوة}$$

$$= -x^{-2} = -\frac{1}{x^2} \quad \text{تعريف الأسّ السالب}$$

3 $y = x^{\frac{5}{2}}$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{5}{2}x^{\frac{5}{2}-1} \quad \text{قاعدة مشتقة القوة}$$

$$= \frac{5}{2}x^{\frac{3}{2}} \quad \text{بالتبسيط}$$

أتذكّر

- $a^{-n} = \frac{1}{a^n}$
- $a^{\frac{m}{n}} = \sqrt[n]{a^m}$

4 $y = \sqrt{x^3}$

$$y = x^{\frac{3}{2}}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{3}{2} x^{\frac{3}{2}-1}$$

$$= \frac{3}{2} x^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{3}{2} \sqrt{x}$$

بكتابة الاقتران في صورة أُسّية

قاعدة مشتقة القوّة

بالتبسيط

الصورة الجذرية

أتحقق من فهمي 

أجد مشتقة كل اقتران ممّا يأتي:

a) $y = x^{-6}$

b) $y = \frac{1}{x^3}$

c) $y = \sqrt{x^7}$

توجد أيضًا بعض القواعد التي تُسهّل عملية إيجاد مشتقة الاقترانات التي تتضمن حدودها اقترانات القوّة.

قواعد أخرى للمشتقة

مفهوم أساسي

مشتقة الثابت:

إذا كان $y = c$ ، حيث c عدد حقيقي، فإن $\frac{dy}{dx} = 0$ ؛ أي إنَّ مشتقة الثابت تساوي صفرًا.

مشتقة مضاعفات القوّة:

إذا كان $y = ax^n$ ، حيث n و a عدداً حقيقيين، فإن $\frac{dy}{dx} = anx^{n-1}$.

مشتقة المجموع أو الفرق:

إذا كان $y = u \pm v$ ، حيث u و v اقترانا قوّة، فإن $\frac{dy}{dx} = \frac{du}{dx} \pm \frac{dv}{dx}$.

مثال 4

أجد مشتقة كل اقتران ممّا يأتي:

1 $y = x^2 + 4\sqrt[4]{x}$

$$y = x^2 + 4x^{\frac{1}{4}}$$

$$\frac{dy}{dx} = 2x^1 + 4 \times \frac{1}{4} x^{-\frac{3}{4}}$$

$$= 2x + \frac{1}{\sqrt[4]{x^3}}$$

بكتابة الاقتران في صورة أُسّية

قاعدة مشتقة اقتران القوّة، وقاعدة مشتقة المجموع

قوانين الأسس

$$2) y = \frac{3 - 8x}{x}$$

$$y = \frac{3}{x} - \frac{8x}{x}$$

$$= 3x^{-1} - 8$$

$$\frac{dy}{dx} = (-3)x^{-2} - 0$$

$$= -\frac{3}{x^2}$$

بتوزيع البسط على المقام

بكتابة الاقتران في صورة أُسية، والاختصار

قواعد مشتقات الثابت، ومضاعفات القوة، والفرق

تعريف الأس السالب

أتحقق من فهمي 

أجد مشتقة كل اقتران مما يأتي:

$$a) y = \sqrt[4]{x^3} - \frac{6}{x^2}$$

$$b) y = \frac{x^6 - 4x^5 - 8x^2}{4x^2}$$

تعلّمت سابقاً أنّ السرعة اللحظية لجسم يتحرّك في مسار مستقيم تساوي مشتقة اقتران الموقع عند لحظة مُعيّنة، والآن سأستعمل قواعد المشتقة التي تعرّفناها في هذا الدرس لإيجاد السرعة اللحظية لأجسام تتحرّك في مسار مستقيم، ويعطى موقعها في صورة اقترانات قوة.

رموز رياضية

يشير الرمز v إلى السرعة المتجهة التي تُسمّى اختصاراً السرعة في هذا الكتاب.

مثال 5

يُمثّل الاقتران: $s(t) = 8t^{\frac{3}{2}} + t^2$ موقع جسم يتحرّك في مسار مستقيم، حيث s الموقع بالأمتار، و t الزمن بالثواني. أجد سرعة الجسم بعد ثانية واحدة من بدء حركته.

السرعة هي مشتقة اقتران الموقع. وفي هذه الحالة، فإنّ المطلوب هو إيجاد السرعة عندما $t = 1$.

$$v(t) = s'(t) = 12t^{\frac{1}{2}} + 2t$$

اقتران السرعة

$$v(1) = 12(1)^{\frac{1}{2}} + 2(1)$$

بتعويض $t = 1$

$$= 14$$

بالتبسيط

إذن، سرعة الجسم عندما $t = 1$ هي: 14 m/s

أتحقق من فهمي

يُمثِّل الاقتران: $s(t) = t^3 + \sqrt{t}$ موقع جسم يتحرَّك في مسار مستقيم بالأمتار، حيث t الزمن بالثواني. أجد سرعة الجسم بعد 4 ثوانٍ من بدء حركته.

أتدرب وأحل المسائل

أجد مشتقة كلٍّ من الاقترانات الآتية عند قيمة x المعطاة إزاء كلٍّ منها باستعمال التعريف العام للمشتقة:

1 $f(x) = 4x^2, \quad x = 1$

2 $f(x) = 1 - x^2, \quad x = -2$

3 $f(x) = x^2 + x, \quad x = 2$

4 $f(x) = x^2 - 2x + 3, \quad x = -1$

أجد مشتقة كلٍّ من الاقترانات الآتية باستعمال تعريف المشتقة:

5 $f(x) = 4x + 1$

6 $y = 1 - x$

7 $f(x) = \frac{1}{2}x^2 - 1$

8 $y = \frac{2x + 4}{6}$

أستعمل القواعد لإيجاد $\frac{dy}{dx}$ لكلِّ ممَّا يأتي:

9 $y = \frac{1}{3}x + 1$

10 $y = 8 - 3x$

11 $y = \frac{1}{2}x^2 + 5x + 7$

12 $y = \frac{2x^3 + 4x^2 + x}{4x}$

13 $y = \sqrt{8} + 3\sqrt{x}$

14 $y = 5\sqrt[3]{x^2} + \frac{4}{x^3}$

15 $y = \frac{2}{\sqrt{x}} + \frac{2}{x^2} + 4$

16 $y = \frac{\sqrt[5]{x^7} + 4x - 1}{2}$



- 17 يُمثّل الاقتران: $s(t) = 5t^{\frac{3}{2}} - 1.5t^2, 0 \leq t \leq 5$ موقع عدّاء يركض في مسار مستقيم خلال 5 ثوانٍ، حيث s موقع العدّاء بالأمتار، و t الزمن بالثواني. أجد سرعة العدّاء بعد 3 ثوانٍ من بدء حركته.

يمثل الاقتران: $s(t) = 10\sqrt{t} + t + \pi$ ، موقع جسم يتحرك في مسار مستقيم، حيث s الموقع بالأمتار، و t الزمن بالثواني.

- 18 أجد الاقتران الذي يمثل سرعة الجسم.

- 19 أجد سرعة الجسم عندما $t = 1$ ، وعندما $t = 2$.

- 20 أحلّ المسألة الواردة في بند (مسألة اليوم).

مهارات التفكير العليا



- 21 تبرير: قال طارق إنّه استعمل الصيغة: $f'(x) = \lim_{t \rightarrow x} \frac{f(t) - f(x)}{t - x}$ لإيجاد المشتقة اعتمادًا على التعريف العام

للاقتران f ، وإنّ الناتج لن يتغيّر في حال استعمل الصيغة:

$$f'(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x + h) - f(x)}{h}$$

أثبت صحة ما قاله طارق، مُبرّرًا إجابتي.

- 22 تحدّ: يُمثّل الاقتران: $s(t) = 100 - 5t^2$ ، موقع جسم يتحرّك في مسار مستقيم، حيث s الموقع بالأمتار، و t الزمن

بالثواني. ما موقع الجسم عندما تكون سرعته صفرًا؟

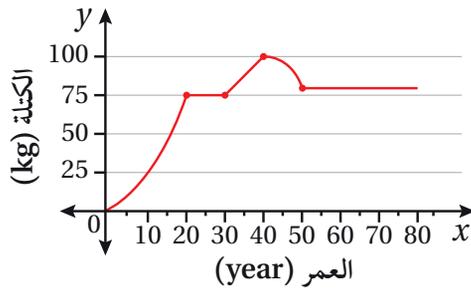
- 23 تحدّ: أجد النقاط على منحنى الاقتران: $f(x) = x^3 - 3x^2$ إذا كان مماس المنحنى عندها أفقيًا.

التزايد والتناقص لكثيرات الحدود

Increasing and Decreasing of Polynomials

تحديد النقاط الحرجة، وفترات التزايد والتناقص لكثيرات الحدود حتى الدرجة الثالثة.

النقطة الحرجة، القيمة الحرجة، التزايد، التناقص، القيمة العظمى المحلية، القيمة الصغرى المحلية.



يُمثل المنحنى في الشكل المجاور التغيرات في كتلة جسم عمران:

- 1) في أيّ الفترات الزمنية زادت كتلة جسمه؟
- 2) في أيّ الفترات الزمنية لم تتغير كتلة جسمه؟
- 3) في أيّ الفترات الزمنية نقصت كتلة جسمه؟

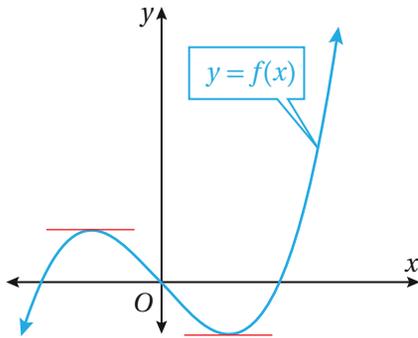
فكرة الدرس



المصطلحات



مسألة اليوم



توجد على منحنى اقتران كثير الحدود f المُبين جانباً نقطة واحدة على الأقل يُمكن رسم مماس أفقي عندها، في ما يُعرف **بالنقطة الحرجة** (critical point)، وهذا يعني أنّ مشتقة الاقتران عند هذه النقطة تساوي صفراً، وأنّه توجد **قيمة حرجة** (critical value) للاقتران عند الإحداثي x للنقطة الحرجة.

مثال 1

أجد النقاط الحرجة للاقتران: $f(x) = x^2 - 4x + 7$.

$$f'(x) = 2x - 4$$

$$2x - 4 = 0$$

$$2x = 4$$

$$x = 2$$

مشتقة الاقتران

بمساواة المشتقة بالصفر

بجمع 4 لكلا الطرفين

بقسمة كلا الطرفين على 2

إذن، توجد قيمة حرجة للاقتران f عندما $x = 2$.

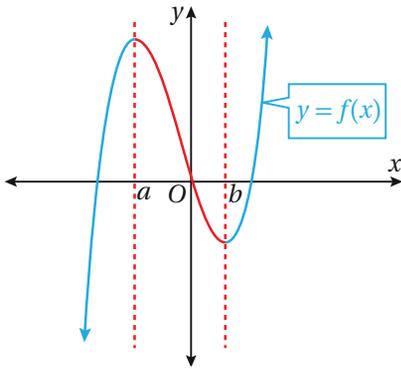
أما النقطة الحرجة على منحنى الاقتران f فهي: $(2, f(2)) = (2, 3)$.

أتحقق من فهمي

أجد النقاط الحرجة لكل اقتران مما يأتي:

a) $f(x) = 6x^2 - 12x + 12$

b) $h(x) = \frac{2}{3}x^3 - 3x^2 + 4x + 3$



بالنظر إلى منحنى اقتران كثير الحدود $y = f(x)$ المبيّن جانباً، ألاحظ أنّ قيم y تزداد في الفترة $-\infty < x < a$ ، والفترة $b < x < \infty$ ، وأنّ منحنى الاقتران يرتفع من اليسار إلى اليمين في هاتين الفترتين؛ لذا يكون الاقتران f متزايداً (increasing) فيهما.

ألاحظ أيضاً أنّ قيم y تقل في الفترة $a < x < b$ ، وأنّ منحنى الاقتران ينخفض من اليسار إلى اليمين؛ لذا يكون الاقتران f متناقصاً (decreasing) في هذه الفترة.

أتذكّر

إذا كان $a \times b = 0$ ، فإنّ $a = 0$ أو $b = 0$ أو كليهما يساوي صفراً.

أتذكّر

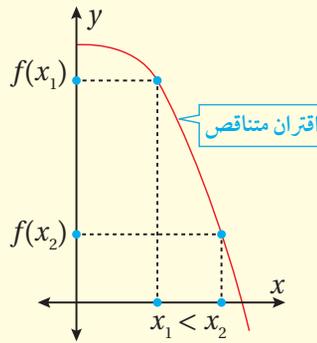
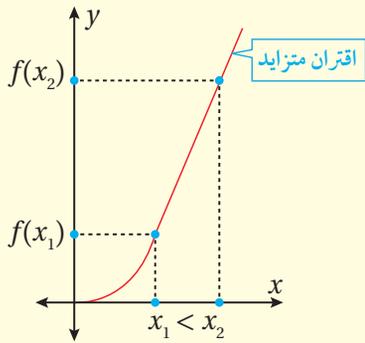
مجال الاقتران كثير الحدود هو جميع قيم x الحقيقية؛ أي الفترة $(-\infty, \infty)$.

تزايد الاقتران وتناقصه

مفهوم أساسي

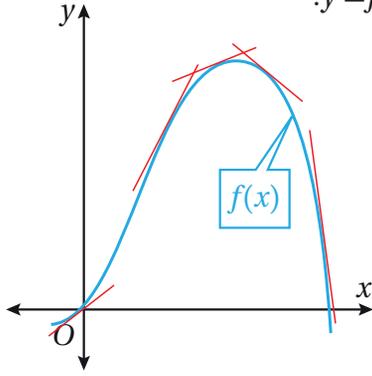
إذا كان $f(x)$ اقتراناً معرفاً على الفترة المفتوحة I ، فيكون:

- الاقتران f متناقصاً في الفترة المفتوحة I إذا كان لكل $x_1 < x_2$ في الفترة $f(x_1) > f(x_2)$.
- الاقتران f متزايداً في الفترة المفتوحة I إذا كان لكل $x_1 < x_2$ في الفترة $f(x_1) < f(x_2)$.



تعلّمتُ سابقاً أنّ مشتقة الاقتران عند نقطة ما تساوي ميل المماس عند هذه النقطة. ولكن، كيف يُمكن استعمال المشتقة لدراسة تزايد الاقتران وتناقصه على مجاله؟

يُبيّن الشكل المجاور بعض مماسات منحنى الاقتران $y=f(x)$.
ألاحظ من الشكل أنّ:

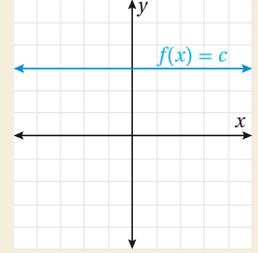


- المماسات ذات الميل الموجب مرتبطة بالجزء المتزايد من منحنى الاقتران.
- المماسات ذات الميل السالب مرتبطة بالجزء المتناقص من منحنى الاقتران.

ومن ثمّ، يُمكن استعمال إشارة المشتقة لتحديد فترات التزايد والتناقص للاقتران.

أفكر

ما إشارة المشتقة للاقتران الثابت: $f(x) = c$ ، حيث c عدد حقيقي؟



نظرية

- إذا كان $f'(x) > 0$ لقيم x جميعها في الفترة المفتوحة I ، فإنّ الاقتران f يكون متزايداً على الفترة I .
- إذا كان $f'(x) < 0$ لقيم x جميعها في الفترة المفتوحة I ، فإنّ الاقتران f يكون متناقصاً على الفترة I .

مثال 2

أحدّد فترات التزايد والتناقص لكل اقتران ممّا يأتي:

1 $f(x) = 2x^2 - 4x + 1$

الخطوة 1: أجد مشتقة الاقتران، ثم أجد أصفارها.

$$f'(x) = 4x - 4$$

مشتقة الاقتران

$$4x - 4 = 0$$

بمساواة المشتقة بالصفر

$$4x = 4$$

بجمع 4 لكلا الطرفين

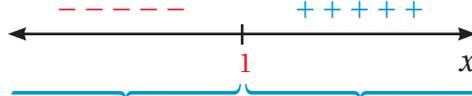
$$x = 1$$

بقسمة كلا الطرفين على 4

إذن، صفر المشتقة هو: $x = 1$.

الخطوة 2: أبحث في إشارة المشتقة حول أصفارها.

أختار قيمة أكبر من صفر المشتقة (أي أكبر من 1)، وقيمة أخرى أصغر منها، ثم أختبر إشارة المشتقة عند القيمتين:



| الفترة | $x < 1$ | $x > 1$ |
|----------------------|-------------|-------------|
| قيم الاختبار (x) | $x = 0$ | $x = 2$ |
| إشارة $f'(x)$ | $f'(0) < 0$ | $f'(2) > 0$ |
| سلوك الاقتران | متناقص ▼ | متزايد ▲ |

إذن، الاقتران f متناقص في الفترة $(-\infty, 1)$ ، و متزايد في الفترة $(1, \infty)$.

2 $f(x) = -\frac{1}{3}x^3 + \frac{1}{2}x^2 + 6x + 3$

الخطوة 1: أجد مشتقة الاقتران، ثم أجد أصفارها.

| | |
|--------------------------------|--------------------------|
| $f'(x) = -x^2 + x + 6$ | مشتقة الاقتران |
| $-x^2 + x + 6 = 0$ | بمساواة المشتقة بالصفر |
| $-(x^2 - x - 6) = 0$ | بإخراج -1 عاملاً مشتركاً |
| $x^2 - x - 6 = 0$ | بقسمة الطرفين على -1 |
| $(x + 2)(x - 3) = 0$ | بالتحليل إلى العوامل |
| $(x + 2) = 0$ or $(x - 3) = 0$ | خاصية الضرب الصفري |
| $x = -2$ $x = 3$ | بحل المعادلتين الناتجتين |

إذن، صفرا المشتقة هما: $x = -2$, $x = 3$.

الخطوة 2: أبحث في إشارة المشتقة حول أصفارها.

أختار قيمة أكبر من 3، وقيمة ثانية تقع بين -2 و3، وقيمة ثالثة أصغر من -2، ثم أختبر إشارة المشتقة عند كل منها:



| الفترة | $x < -2$ | $-2 < x < 3$ | $x > 3$ |
|----------------------|--------------|--------------|-------------|
| قيم الاختبار (x) | $x = -3$ | $x = 0$ | $x = 4$ |
| إشارة $f'(x)$ | $f'(-3) < 0$ | $f'(0) > 0$ | $f'(4) < 0$ |
| سلوك الاقتران | متناقص ▼ | متزايد ▲ | متناقص ▼ |

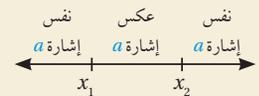
إذن، الاقتران f متناقص في الفترة $(-\infty, -2)$ ، و الفترة $(3, \infty)$ ، و متزايد في الفترة $(-2, 3)$.

أتعلم

يُمكن تمثيل منحنى الاقتران بيانياً على نحوٍ تقريبي بوصف سلوكه (تحديد فترات تزايد و فترات تناقصه).

أتعلم

إذا كان للاقتران التربيعي: $f(x) = ax^2 + bx + c$ صفران حقيقيان مختلفان، هما: x_1 و x_2 ، فإنه يُمكن تحديد الإشارة على جانبي الصفريين وبينهما كالآتي:



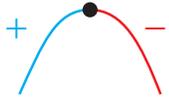
أتحقق من فهمي

أحد فترات التزايد والتناقص لكل اقتران مما يأتي:

a) $g(x) = 3x^2 - 12x + 4$

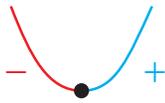
b) $h(x) = x^3 - 6x^2 + 9x$

يُمكن استعمال المشتقة لتصنيف النقاط الحرجة لكثيرات الحدود كما يأتي:



• **النقطة العظمى المحلية** (local maximum point):

نقطة حرجة يتزايد منحنى الاقتران عن يسارها، ويتناقص عن يمينها؛ ما يعني أن إشارة المشتقة تتغير من الموجب إلى السالب عند الحركة من يسار النقطة إلى يمينها.



• **النقطة الصغرى المحلية** (local minimum point):

نقطة حرجة يتناقص منحنى الاقتران عن يسارها، ويتزايد عن يمينها؛ ما يعني أن إشارة المشتقة تتغير من السالب إلى الموجب عند الحركة من يسار النقطة إلى يمينها.

مثال 3

إذا كان الاقتران: $f(x) = x^3 - 3x^2 - 9x - 1$ ، فأستعمل المشتقة للإجابة عن السؤالين الآتيين:

1 إيجاد النقاط الحرجة للاقتران f .

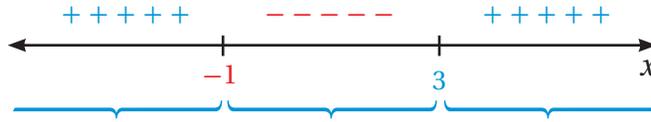
| | |
|--------------------------------|---------------------------|
| $f'(x) = 3x^2 - 6x - 9$ | مشتقة الاقتران |
| $3x^2 - 6x - 9 = 0$ | بمساواة المشتقة بالصفر |
| $3(x^2 - 2x - 3) = 0$ | بإخراج 3 عاملاً مشتركاً |
| $x^2 - 2x - 3 = 0$ | بالقسمة على 3 |
| $(x + 1)(x - 3) = 0$ | بالتحليل إلى العوامل |
| $(x + 1) = 0$ or $(x - 3) = 0$ | خاصية الضرب الصفري |
| $x = -1$ $x = 3$ | بحلّ المعادلتين الناتجتين |

عندما $x = -1$ ، فإن $y = 4$.

عندما $x = 3$ ، فإن $y = -28$.

إذن، النقاط الحرجة هي: $(-1, 4)$ و $(3, -28)$.

2 تصنيف النقاط الحرجة إلى عظمى محلية، وصغرى محلية.



| الفترة | $x < -1$ | $-1 < x < 3$ | $x > 3$ |
|-----------------------|--------------|--------------|-------------|
| قيَم الاختبار (x) | $x = -4$ | $x = 0$ | $x = 4$ |
| إشارة $f'(x)$ | $f'(-4) > 0$ | $f'(0) < 0$ | $f'(4) > 0$ |
| سلوك الاقتران | متزايد ▲ | متناقص ▼ | متزايد ▲ |

إذن، النقطة $(-1, 4)$ عظمى محلية؛ لأنَّ الاقتران متزايد عن يسارها، ومتناقص عن يمينها، والنقطة $(3, -28)$ صغرى محلية؛ لأنَّ الاقتران متناقص عن يسارها، ومتزايد عن يمينها.

أتحقق من فهمي

إذا كان الاقتران: $f(x) = 2x^3 + 9x^2 - 24x + 8$ ، فأستعمل المشتقة للإجابة عن السؤالين الآتيين:

(a) إيجاد النقاط الحرجة للاقتران f .

(b) تصنيف النقاط الحرجة إلى عظمى محلية، وصغرى محلية.

يُمكن نمذجة كثير من المواقف الحياتية باقترانات، يستفاد من تحديد تزايدها أو تناقصها، وتحديد قيمها العظمى أو صغرى.

مثال 4: من الحياة

درجات حرارة: يُمثّل الاقتران الآتي درجة الحرارة لجسم مريض بعد t يوماً من دخوله المستشفى:

$$T(t) = -0.1t^2 + 1.2t + 38, \quad t \geq 0$$

حيث T درجة الحرارة بالسيلسيوس ($^{\circ}\text{C}$). أُحدّد أعلى درجة حرارة للمريض، واليوم الذي سُجّلت فيه، علمًا بأنّه تلقى العلاج في المستشفى مدّة 12 يوماً.

الخطوة 1: أجد مشتقة الاقتران المعطى.

$$T'(t) = -0.2t + 1.2$$

مشتقة الاقتران



معلومة

يختلف مدى درجة حرارة جسم الإنسان الطبيعية مع التقدم بالعمُر على النحو الآتي:

- الرُّضَع والأطفال: من 36.6°C إلى 37.2°C
- البالغون: من 36.1°C إلى 37.2°C
- كبار السن (أكثر من 65 عامًا): قد تنخفض إلى 36.2°C

الخطوة 2: أجد أصفار المشتقة.

$$-0.2t + 1.2 = 0$$

$$-0.2t = -1.2$$

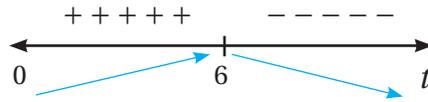
$$t = 6$$

بمساواة المشتقة بالصفر

ب طرح 1.2 من طرفي المعادلة

بالقسمة على -0.2

الخطوة 3: أحدد إشارة المشتقة حول أصفارها.



الخطوة 4: أحدد القيم العظمى والقيم الصغرى.

منحنى الاقتران T متزايد عن يسار $t = 6$ ، ومتناقص عن يمينها؛ ما يعني أن للاقتران T قيمة عظمى محلية عندما $t = 6$ ، وهي:

$$T(6) = -0.1(6)^2 + 1.2(6) + 38 = 41.6 \quad \text{بتعويض } t=6$$

إذن، أعلى درجة حرارة للمريض هي 41.6°C ، وقد سُجِّلت في اليوم السادس من بدء علاجه.

أتحقق من فهمي



لوحظ أن عدد الضفادع في بحيرة ما يُمكن نمذجته بالاقتران: $P(t) = 120t - 0.4t^2 + 1000$ ، حيث P عدد الضفادع، و t الزمن بالأشهر منذ بدء ملاحظة الضفادع. أجد أكبر عدد يُمكن أن تصل إليه الضفادع في البحيرة منذ بدء ملاحظتها.

أدرب وأحل المسائل

أجد النقاط الحرجة لكل اقتران مما يأتي:

1 $f(x) = x^2 - 6x + 10$

2 $f(x) = 1 - 12x + 2x^2$

3 $f(x) = \frac{1}{3}x^3 - x$

4 $f(x) = \frac{1}{3}x^3 - x^2$

أحدّد فترات التزايد والتناقص لكل اقتران ممّا يأتي:

5 $f(x) = 4x + 3$

6 $f(x) = 7 - 5x$

7 $f(x) = x^2 + 7$

8 $f(x) = x^2 - x$

9 $f(x) = x^2 - 5x + 2$

10 $f(x) = 2x^3 - 3x^2$

11 $f(x) = (x - 3)^2$

12 $f(x) = (1 - x)^2$

13 $f(x) = x^3 + 3x$

14 $f(x) = 6 - x - x^3$

15 $f(x) = x^3 + 3x^2 + 3x - 20$

16 $f(x) = \frac{1}{3}x^3 - x^2 - 3x$

أجد النقاط الحرجة (إن وُجدت) لكل اقتران ممّا يأتي، ثم أحدّد نوعها باستعمال المشتقة:

17 $f(x) = 2x^3 - 3x^2 - 36x$

18 $y = \frac{2}{3}x^3 - 8x^2 + 30x$

19 $f(x) = \frac{4}{3}x^3 + 2x^2 - 8x$

20 $h(x) = -(x - 2)^2 + 1$



21 **صناعة:** تُنتج إحدى الشركات صناديق لتخزين البضائع على شكل متوازي مستطيلات. إذا أمكن نمذجة حجم كلٍّ من هذه الصناديق بالاقتران: $V(x) = 18x - \frac{2}{3}x^3$ ، فأجد قيمة x التي تجعل حجم الصندوق أكبر ما يُمكن.

22 إذا كانت مشتقة الاقتران f تعطى بالاقتران: $g(x) = (x - 2)^2(x + 4)$ ، فأجد قيم x التي توجد عندها نقاط حرجة للاقتران f .

مهارات التفكير العليا

23 **تبرير:** أبين أنّ الاقتران: $f(x) = x^3 - 3x^2 + 3x - 1$ متزايد لقيم x الحقيقية جميعها، مُبرّرًا إجابتي.

24 **تحّد:** إذا كان للاقتران: $f(x) = ax^2 - 4x + c$ ، حيث a و c عدداً حقيقيان، نقطة حرجة هي $(-7, 2)$ ، فما قيمة كلٍّ من a و c ؟

اختبار نهاية الوحدة

6 إذا كان الاقتران: $f(x) = 12x^{\frac{2}{3}}$ ، فإن $f'(x)$ تساوي:

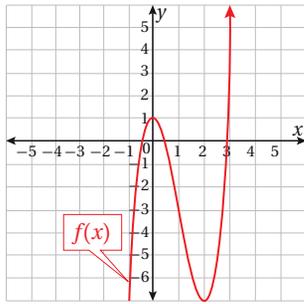
- a) $\frac{4}{3}\sqrt[3]{x}$ b) $8\sqrt[3]{x}$
c) $\frac{2}{3}\sqrt[3]{x}$ d) $\frac{8}{\sqrt[3]{x}}$

7 قيمة (أو قيم) x التي يكون عندها الاقتران:

$$f(x) = \frac{x-1}{x^2-1}$$

غير متصل هي:

- a) $x = 1$ b) $x = -1$
c) $x = \pm 1$ d) $x = 0, x = 1$



8 الفترة (أو الفترات)

التي يتناقص فيها
الاقتران f المعطى
تمثيله البياني في
الشكل المجاور هي:

- a) $(-\infty, 0), (2, \infty)$ b) $(-7, 1)$
c) $(1, 2)$ d) $(0, 2)$

أجد قيمة كل نهاية ممّا يأتي (إن وُجدت):

9 $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{2x-6}{9-x^2}$

10 $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2+x-12}{x^3-1}$

11 $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x^3+x^2+3x}{x}$

12 $\lim_{x \rightarrow -4} \frac{x^2+5x+4}{x^2+3x-4}$

13 $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2-4x+3}{x^2-2x-3}$

14 $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt{x}-1}{x^2-1}$

أختار رمز الإجابة الصحيحة في كل ممّا يأتي:

1 إذا كان الاقتران: $f(x) = \begin{cases} 3x-2, & x \geq 2 \\ 2x+1, & x < 2 \end{cases}$ ، فإن قيمة $\lim_{x \rightarrow 2^+} f(x)$ هي:

- a) 5 b) 4
c) 3 d) 2

2 إذا كان الاقتران: $f(x) = \begin{cases} -2x-2, & -3 \leq x < 1 \\ x-5, & x \geq 1 \end{cases}$ ، فإن قيمة $\lim_{x \rightarrow 1} f(x)$ هي:

- a) -4 b) 0
c) -5 d) غير موجودة

3 إذا كان: $y = 2x^4 - 5x^3 + 2$ ، فإن $\frac{dy}{dx}$ تساوي:

- a) $8x^3 - 5x^2$ b) $8x^4 - 15x^2$
c) $8x^3 - 15x^2$ d) $8x^3 - 15x^2 + 2$

4 إذا كان الاقتران: $f(x) = (x-3)^2$ ، فإن $f'(x)$ تساوي:

- a) $x-3$ b) $x-6$
c) $2x-6$ d) $2x$

5 إذا كان: $y = \frac{3x^4+9x^2}{3x}$ ، فإن $\frac{dy}{dx}$ تساوي:

- a) x^3+3x b) $3x^2+3$
c) $\frac{4x^4+18x}{3}$ d) $4x^3+6x$

أجد النقاط الحرجة (إن وُجدت) لكل اقتران ممّا يأتي، ثم أجد نوعها باستعمال المشتقة:

24 $f(x) = x^3 - 3x^2 - 9x + 15$

25 $y = 2x^3 - 9x^2 + 12x + 8$

تدريب على الاختبارات الدولية

26 إذا كان الاقتران: $f(x) = \pi^2$ ، فإن $f'(x)$ تساوي:

a) π^2 b) 2π c) 0 d) 2

27 يوجد للاقتران: $f(x) = 4x^2 + 6x + 3$ قيمة حرجة عندما تساوي x :

a) $\frac{-3}{4}$ b) $\frac{3}{5}$ c) $\frac{-3}{2}$ d) $\frac{-4}{3}$

28 إذا كان الاقتران: $f(x) = x^3 - 3x^2 + x$ ، فإن $f'(-1)$ تساوي:

a) 10 b) -8 c) -10 d) 8

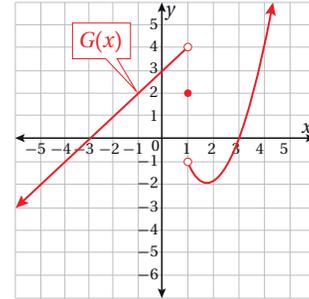
29 إذا كان الاقتران: $f(x) = x^2 + 2x + 1$ ، فإن $\lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(2+h) - f(2)}{h}$ تساوي:

a) 4 b) 6 c) 8 d) 10

30 إذا كان: $y = \frac{6x^2 - 8x + 4}{2}$ ، فإن $\frac{dy}{dx}$ عندما $x=0$ تساوي:

a) 6 b) 4 c) -6 d) -4

أعتمد التمثيل البياني لإيجاد قيمة كل نهاية ممّا يأتي (إن وُجدت):



15 $\lim_{x \rightarrow 1} G(x)$

16 $\lim_{x \rightarrow -2} G(x)$

17 $\lim_{x \rightarrow -3} G(x)$

أجد إذا كان كل اقتران ممّا يأتي متصلًا عند قيمة x المعطاة، مُبرّرًا إجابتي:

18 $f(x) = 3x - 2$, $x = 2$

19 $g(x) = \frac{1}{x^2}$, $x = 0$

20 $h(x) = \begin{cases} 3x + 5, & x < -2 \\ x + 1, & x \geq -2 \end{cases}$, $x = -2$

21 $q(x) = \begin{cases} \frac{2x^2 - 10x}{x - 5}, & x \neq 5 \\ x + 5, & x = 5 \end{cases}$, $x = 5$

ألعاب إلكترونية: توقع محلّلو قسم المبيعات في شركة أنتجت لعبة إلكترونية جديدة أنّ عدد النسخ التي ستبيعها من هذه اللعبة يعطى بالاقتران: $f(x) = -x^2 + 300x + 6$ ، حيث: $0 \leq x \leq 300$ ، عندما تُنفق الشركة x من مئات الدنانير على إعلانات إشهار اللعبة وترويجها:

22 أجد النقاط الحرجة للاقتران f .

23 ما أكبر عدد من الألعاب الإلكترونية التي قد تباعها الشركة، والمبلغ الذي ستنفقه على إعلانات إشهارها وترويجها؟

ما أهمية هذه
الوحدة؟

يُمكن نمذجة كثير من المواقف الحياتية والعلمية باستعمال المتتاليات والمتسلسلات، وهي أنماط عديدة؛ ما يساعد على تحليل تلك المواقف وفهمها. تظهر المتتاليات في العديد من المخلوقات، مثل: زهرة دوّار الشمس، وصدفة الحلزون، ويُمكن عن طريقها إجراء حسابات دقيقة عن تلك المخلوقات.

سأتعلّم في هذه الوحدة:

- ◀ المتسلسلات، وعلاقتها بالمتتاليات.
- ◀ المتتاليات والمتسلسلات الحسابية المنتهية.
- ◀ المتتاليات والمتسلسلات الهندسية المنتهية.
- ◀ المتتاليات والمتسلسلات الهندسية اللانهائية.

تعلّمتُ سابقًا:

- ✓ إكمال نمط عددي معطى.
- ✓ تحديد المجال والمدى لاقترانات كثيرات الحدود.
- ✓ إيجاد الحد العام لكلّ من المتتالية التربيعية، والمتتالية التكعيبية.
- ✓ التعبير عن الأنماط الهندسية بمتتاليات عددية.

أستعمل تدريبات (أستعد لدراسة الوحدة) في الصفحات (27 – 25) من كتاب التمارين؛ لمراجعة هذه الموضوعات قبل البدء بدراسة الوحدة.

المتاليات والمتسلسلات

Sequences and Series

تعرف المتسلسلة المنتهية، وإيجاد مجموعها.

فكرة الدرس



المصطلحات



مسألة اليوم



المتسلسلة، المتسلسلة المنتهية، المتسلسلة غير المنتهية، رمز المجموع، مجموع المتسلسلة.



يمارس هيثم تمارين الضغط بانتظام، وقد استطاع أداء 25 ضغطة في الأسبوع الأول، ثم تمكن من زيادة عددها أسبوعياً بمقدار 10 ضغطات. ما عدد الضغطات التي يمكنه أدائها في الأسبوع السادس عشر؟

تعلمت سابقاً أن المتتالية هي مجموعة من الأعداد تتبّع ترتيباً معيناً، وأن كل عدد فيها يُسمى حداً. تكون المتتالية منتهية إذا حوت عدداً منتهياً من الحدود، وتكون غير منتهية إذا حوت عدداً لانهائياً من الحدود.

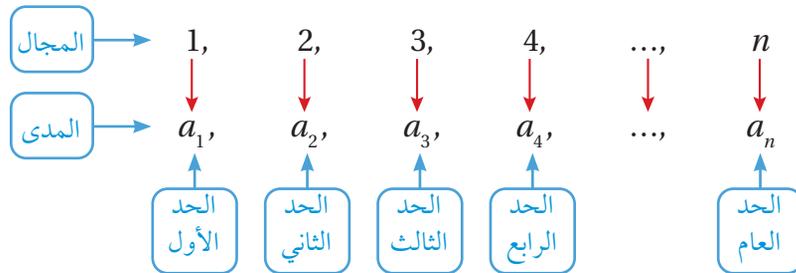
متتالية منتهية

2, 4, 6, 8

متتالية غير منتهية

2, 4, 6, 8, ...

تُعَدُّ المتتالية اقتراناً مجاله مجموعة الأعداد الصحيحة الموجبة، أو مجموعة جزئية منها، ومداه مجموعة جزئية من مجموعة الأعداد الحقيقية؛ إذ يرتبط كل عدد صحيح في المجال بعدد حقيقي في المدى، هو أحد حدود المتتالية.



عند وضع إشارات جمع (+) بين حدود المتتالية بدلاً من الفواصل، فإنها تُسمى **متسلسلة** (series).

أتذكّر

الحد العام هو علاقة تربط كل حد في المتتالية برتبته. ويمكن استعمال الحد العام لإيجاد قيمة أي حد في المتتالية، وذلك بتعويض رتبة ذلك الحد في الحد العام.

الوحدة 6

وكما هو حال المتتالية، فإنَّ المتسلسلة تكون منتهية إذا حوت عدداً منتهياً من الحدود، وتكون غير منتهية إذا حوت عدداً لانهائياً من الحدود.

متسلسلة منتهية

$$1 + 2 + 3 + 4 + 5$$

متسلسلة غير منتهية

$$1 + 2 + 3 + 4 + 5 + \dots$$

يُمكن التعبير عن المتسلسلة بطريقة مختصرة باستخدام رمز المجموع (\sum) (sigma notation) على النحو الآتي:

$$\begin{array}{c} \text{آخر قيم } k \rightarrow \\ \sum_{k=1}^n a_k \leftarrow \text{الحد العام للمتتالية} \\ \text{أول قيم } k \rightarrow \end{array}$$

فمثلاً، يُمكن التعبير عن المتسلسلتين السابقتين باستخدام رمز المجموع \sum (يُقرأ: سيغما) كما يأتي:

$$1 + 2 + 3 + 4 + 5 = \sum_{k=1}^5 k \quad 1 + 2 + 3 + \dots = \sum_{k=1}^{\infty} k$$

لغة الرياضيات

يُقرأ $(\sum_{k=1}^5 k)$: مجموع (k) من $(k=1)$ إلى $(k=5)$.

مثال 1

أكتب كل متسلسلة مما يأتي باستخدام رمز المجموع:

1 $2 + 4 + 6 + \dots + 28$

ألاحظ أنَّ الحد الأول يساوي $2(1)$ ، وأنَّ الحد الثاني يساوي $2(2)$ ، وأنَّ الحد الثالث يساوي $2(3)$ ، وأنَّ الحد الأخير يساوي $2(14)$.

إذن، يُمكن كتابة حدود المتتالية على النحو الآتي:

$$a_k = 2k \quad k = 1, 2, 3, \dots, 14$$

بناءً على ذلك، أكتب المتسلسلة باستخدام رمز المجموع كما يأتي:

$$\sum_{k=1}^{14} (2k)$$

2 5 + 9 + 13 + 17 + ...

ألاحظ أن الحد الأول يساوي $4(1)+1$ ، وأن الحد الثاني يساوي $4(2)+1$ ، وأن الحد الثالث يساوي $4(3)+1$.

إذن، يُمكن كتابة حدود المتسلسلة على النحو الآتي:

$$a_k = 4k+1 \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

بناءً على ذلك، أكتب المتسلسلة باستعمال رمز المجموع كما يأتي:

$$\sum_{k=1}^{\infty} (4k+1)$$

أتحقق من فهمي 

أكتب كل متسلسلة مما يأتي باستعمال رمز المجموع:

a) $3 + 6 + 9 + \dots + 27$

b) $3 + 5 + 7 + 9 + \dots$

يُمكن إيجاد مجموع المتسلسلة (sum of series) المنتهية بجمع حدودها. فمثلاً، إذا كُتبت المتسلسلة باستعمال رمز المجموع، فإنني أستعمل الحد العام لإيجاد حدودها، ثم جمعها.

مثال 2

أجد مجموع المتسلسلة: $\sum_{k=1}^7 (2k^2-1)$.

أعوّض القيم: $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ في الحد العام للمتسلسلة، وهو $a_k = 2k^2 - 1$:

| | | | | | | | |
|-------|---|---|----|----|----|----|----|
| k | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| a_k | 1 | 7 | 17 | 31 | 49 | 71 | 97 |

إذن، مجموع المتسلسلة هو:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^7 (2k^2-1) &= 1 + 7 + 17 + 31 + 49 + 71 + 97 \\ &= 273 \end{aligned}$$

حدود المتسلسلة

بالجمع

أتحقق من فهمي 

أجد مجموع المتسلسلة: $\sum_{k=1}^{11} (5k-3)$.

أفكر

أجد مجموع المتسلسلة:

$$\sum_{k=1}^{10} 1$$

إذا كان في المتسلسلة عدد كبير من الحدود، فإن إيجاد مجموعها لن يكون سهلاً. ولكن توجد قواعد يُمكن استعمالها لإيجاد مجموع بعض المتسلسلات الخاصة على نحو سهل كما يأتي.

صيغ لمجموع حالات خاصة من المتسلسلات

مفهوم أساسي

- $$\sum_{k=1}^n c = n \times c$$

مجموع الحد الثابت (c) إلى نفسه (n) من المرات.
- $$\sum_{k=1}^n k = \frac{n(n+1)}{2}$$

مجموع الأعداد الصحيحة المتتالية من (1) إلى (n).
- $$\sum_{k=1}^n k^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

مجموع مربعات الأعداد الصحيحة المتتالية من (1) إلى (n).

مثال 3 : من الحياة



فاكهة: يعرض محل لبيع الفاكهة البرتقال مُرتباً في طبقات تُشكّل هرمًا رباعياً كما في الصورة المجاورة. أكتب باستعمال رمز المجموع متسلسلة يُمثل مجموعها عدد حبات البرتقال في الهرم، ثم أجد مجموع المتسلسلة.

معلومة

يُعدُّ البرتقال مصدرًا رئيسًا للألياف والفيتامينات، لا سيّما فيتامين C.

الخطوة 1: أنشئ جدولاً أكتب فيه عدد حبات البرتقال في أول ثلاث طبقات، بدءاً بقمّة الهرم.

| | | | |
|-----------------------------|---|---|---|
| الطبقة | 1 | 2 | 3 |
| عدد حبات البرتقال في الطبقة | 1 | 4 | 9 |

الخطوة 2: أجد الحد العام للمتتالية التي يُمثلها عدد حبات البرتقال في كل طبقة.

ألاحظ أنّ الحد الأول في هذه المتتالية يساوي 1^2 ، وأنّ الحد الثاني يساوي 2^2 ، وأنّ الحد الثالث يساوي 3^2 .

إذن، يُمكن كتابة الحد العام لهذه المتتالية على النحو الآتي:

$$a_k = k^2 \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

الخطوة 3: أستعمل رمز المجموع للتعبير عن عدد حبّات البرتقال على شكل متسلسلة.

$$\sum_{k=1}^6 k^2$$

الخطوة 4: أجد مجموع المتسلسلة.

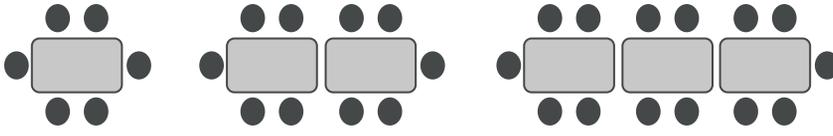
أستعمل الصيغة: $\sum_{k=1}^n k^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$ لإيجاد مجموع المتسلسلة على النحو الآتي:

$$\sum_{k=1}^6 k^2 = \frac{6(6+1)(12+1)}{6} = \frac{6 \times 7 \times 13}{6} = 91$$

إذن، عدد حبّات البرتقال في الهرم هو 91 حبة.

أتحقّق من فهمي

مكتبات: رُتبت الطاولات في مكتبة المدرسة بحيث تحيط بها الكراسي كما في الشكل الآتي:



أكتب باستعمال رمز المجموع متسلسلة يُمثّل مجموعها عدد الكراسي في المكتبة، ثم أجد مجموع المتسلسلة.



تحتوي المكتبة المدرسية على كتب قيّمة في مختلف العلوم؛ لذا يتعيّن على كل طالب وطالبة وضع برنامج زمني لاستعارة بعض هذه الكتب وقراءتها؛ فهي تُنمّي المعرفة، وتصلّق الشخصية.

أتدرب وأحلّ المسائل



أكتب كلاً من المتسلسلات الآتية باستعمال رمز المجموع:

1 $1 + 6 + 11 + 16 + \dots$

2 $1 + 2 + 3 + \dots + 50$

3 $2 + 5 + 10 + 17 + 26$

4 $\frac{1}{2} + \frac{2}{3} + \frac{3}{4} + \frac{4}{5}$

5 $25 + 50 + 75 + \dots + 200$

6 $5 + 5 + 5 + 5 + 5 + 5$

أجد مجموع كل من المتسلسلات الآتية:

7 $\sum_{k=1}^5 (k+2)$

8 $\sum_{k=1}^{10} (k^2-1)$

9 $\sum_{k=1}^{40} (-5)$

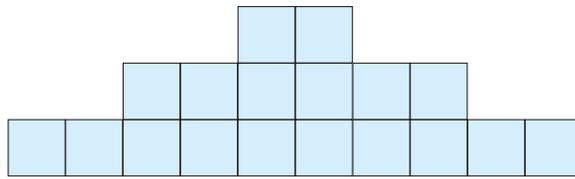
10 $\sum_{k=1}^5 k$

11 $\sum_{k=1}^4 (3k+1)$

12 $\sum_{k=1}^{55} 9$

13 **بناء:** بنى عامل جدارًا يحوي 20 صفًا من الطوب، وقد أراد إضفاء لمسة جمالية عليه، فوضع 80 طوبة مُلوّنة في الصف الأول (السفلي)، ثم وضع في كل صف يعلوه عددًا من الطوب المُلوّن يقل بمقدار طوبتين عن عدد الطوب المُلوّن في الصف السابق له. أستعمل رمز المجموع لكتابة متسلسلة تُمثّل مجموع الطوب المُلوّن الذي استعمله العامل في بناء الجدار، ثم أجد مجموع المتسلسلة.

14 **هندسة:** أستعمل رمز المجموع لكتابة متسلسلة تُمثّل مجموع المربعات في الشكل الآتي عندما يصبح عدد الصفوف فيه (n) :



الصف الأول

الصف الثاني

الصف الثالث

15 أحلّ المسألة الواردة في بند (مسألة اليوم).

مهارات التفكير العليا

16 **أكتشف الخطأ:** أوجدت ولاء مجموع المتسلسلة: $\sum_{k=1}^5 (2k+7)$ على النحو الآتي:

$$\sum_{k=1}^5 (2k+7) = 2(1+2+3+4+5)+7$$

أكتشف الخطأ في حلّ ولاء، ثم أصحّحه.

17 **أكتشف المختلف:** أيّ الآتية مختلف عن الثلاثة الأخرى، مُبرّرًا إجابتي؟

$$\sum_{i=1}^6 i^2$$

91

$$1 + 4 + 9 + 16 + 25 + 36$$

$$\sum_{i=0}^5 i^2$$

18 **تحّد:** أثبت أنّ $\sum_{k=1}^n c = n \times c$ حيث c عدد حقيقي.

المتتاليات والمتسلسلات الحسابية Arithmetic Sequences and Series

تعرف المتتالية الحسابية، وإيجاد مجموع المتسلسلة الحسابية المنتهية.

فكرة الدرس



المتتالية الحسابية، أساس المتتالية الحسابية، المتسلسلة الحسابية.

المصطلحات



مسألة اليوم



اصطف أعضاء فرقة الكشافة المدرسية في اثني عشر صفًا، بحيث وقف في الصف الأول ثلاثة أعضاء، ووقف في كل صف يلي الصف الأول عضوان أكثر ممّا في الصف الذي يسبقه مباشرة. كيف يُمكن حساب العدد الكلي لأعضاء الفرقة؟

إذا كان الفرق بين كل حدين متتالين في متتالية عددية يساوي قيمة ثابتة، فإنّ هذه المتتالية تُسمى **متتالية حسابية** (arithmetic sequence)، ويُسمى الفرق الثابت **أساس المتتالية الحسابية** (common difference)، ويُرمز إليه بالحرف d .

أتعلم

تُعدّ المتتاليات الخطية من المتتاليات الحسابية.

المتتالية الحسابية

مفهوم أساسي

بالكلمات: تكون المتتالية حسابية إذا كان الفرق بين كل حد فيها والحد الذي يسبقه يساوي قيمة ثابتة.

بالرموز: تكون المتتالية: $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ حسابية إذا كان:

$$a_2 - a_1 = a_3 - a_2 = \dots = a_n - a_{n-1} = d$$

مثال 1

أحدّد إذا كانت كل متتالية ممّا يأتي حسابية أم لا:

1 2, 5, 8, 11, ...

أطرح كل حدين متتالين:

$$a_2 - a_1 = 5 - 2 = 3$$

$$a_3 - a_2 = 8 - 5 = 3$$

بطرح الحد الأول من الحد الثاني

بطرح الحد الثاني من الحد الثالث

$$a_4 - a_3 = 11 - 8 = 3$$

بطرح الحد الثالث من الحد الرابع

ألاحظ أن الفرق ثابت، وأنه يساوي 3؛ أي إنَّ أساس المتتالية هو: $d=3$.

إذن، المتتالية: $2, 5, 8, 11, \dots$ حسابية.

2 49, 45, 40, 34

$$a_2 - a_1 = 45 - 49 = -4$$

$$a_3 - a_2 = 40 - 45 = -5$$

$$a_4 - a_3 = 34 - 40 = -6$$

أطرح كل حدين متتاليين:

بطرح الحد الأول من الحد الثاني

بطرح الحد الثاني من الحد الثالث

بطرح الحد الثالث من الحد الرابع

ألاحظ أن الفرق غير ثابت.

إذن، المتتالية: $49, 45, 40, 34$ ليست حسابية.

أتحقق من فهمي

أحدّد إذا كانت كل متتالية ممّا يأتي حسابية أم لا:

a) $-7, 1, 9, 17, \dots$

b) $\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, 1, 1\frac{1}{4}, \dots$

c) $5, 2, -2, -5, -9, \dots$

يُمكن إيجاد الحد العام (a_n) للمتتالية الحسابية التي حدها الأول a_1 ، وأساسها d ، باستعمال الصيغة الآتية:

$$a_n = a_1 + (n-1)d$$

مثال 2

أجد الحد العام لكل متتالية حسابية ممّا يأتي:

1 5, 7, 9, 11, ...

أعوّض قيمة كلٍّ من الحد الأول $a_1=5$ ، والأساس $d=7-5=2$ في صيغة الحد العام:

$$a_n = a_1 + (n-1)d$$

صيغة الحد العام للمتتالية الحسابية

أتعلّم

يُمكن استنتاج أنَّ

الحد الخامس في

هذه المتتالية هو:

$$a_5 = 11 + 3 = 14$$

ما قيمة الحد السابع

فيها؟

$$= 5 + (n-1)2$$

$$= 2n + 3$$

بتعويض $d=2, a_1=5$
بالتبسيط

إذن، الحد العام للمتتالية الحسابية هو: $a_n = 2n + 3$

2 $a_8 = 55, d = 7$

أستعمل الحد الثامن a_8 ، والأساس d لإيجاد الحد الأول a_1 :

$$a_n = a_1 + (n-1)d$$

صيغة الحد العام للمتتالية الحسابية

$$a_8 = a_1 + (8-1)d$$

بتعويض $n=8$

$$55 = a_1 + (7)7$$

بتعويض $d=7, a_8=55$

$$a_1 = 6$$

بالتبسيط

أعوّض قيمة كلٍّ من a_1 و $d=7$ في صيغة الحد العام:

$$a_n = a_1 + (n-1)d$$

صيغة الحد العام للمتتالية الحسابية

$$a_n = 6 + (n-1)7$$

بتعويض $d=7, a_1=6$

$$a_n = 7n - 1$$

بالتبسيط

إذن، الحد العام للمتتالية الحسابية هو: $a_n = 7n - 1$

3 $a_7 = 17, a_{26} = 93$

الخطوة 1: أستعمل صيغة الحد العام: $a_n = a_1 + (n-1)d$ لكتابة نظام مُكوّن من

معادلتين خطيتين بمتغيرين.

$$a_n = a_1 + (n-1)d$$

صيغة الحد العام للمتتالية الحسابية

$$17 = a_1 + (7-1)d$$

بتعويض $n=7, a_7=17$

$$17 = a_1 + 6d \dots \dots (1)$$

بالتبسيط

$$93 = a_1 + (26-1)d$$

بتعويض $n=26, a_{26}=93$

$$93 = a_1 + 25d \dots \dots (2)$$

بالتبسيط

الخطوة 2: أحلُّ المعادلة (1) والمعادلة (2) بالحذف.

$$76 = 19d$$

ب طرح المعادلة (1) من المعادلة (2)

أَتَذَكَّرُ

من طرائق حَلِّ النظام المُكوّن من معادلتين خطيتين: الحذف، والتعويض.

$$d=4 \quad \text{بقسمة طرفي المعادلة الناتجة على 19}$$

$$17=a_1+6 \times 4 \quad \dots \dots (1) \quad \text{بتعويض قيمة } d \text{ في المعادلة (1)}$$

$$a_1=-7 \quad \text{بالتبسيط}$$

الخطوة 3: أَعوِّض قيمة كلِّ من a_1 و d في صيغة الحد العام للمتتالية.

$$a_n = a_1 + (n-1)d \quad \text{صيغة الحد العام للمتتالية الحسابية}$$

$$a_n = -7 + (n-1)4 \quad \text{بتعويض } d=4, a_1=-7$$

$$a_n = 4n - 11 \quad \text{بالتبسيط}$$

إذن، الحد العام للمتتالية الحسابية هو: $a_n = 4n - 11$

أتحقق من فهمي

أجد الحد العام لكل متتالية حسابية ممَّا يأتي:

- a) 30, 25, 20, 15, ...
- b) $a_{10} = -11, d = 2$
- c) $a_7 = 71, a_{16} = 26$

تنتج **المتسلسلة الحسابية** (arithmetic series) من جمع حدود المتتالية الحسابية. ويُمكن إيجاد مجموع أول n حدًا (يُرمز إليه بـ S_n) من حدود المتسلسلة الحسابية باستعمال الصيغة الآتية:

$$S_n = n \left(\frac{a_1 + a_n}{2} \right)$$

حيث:

a_1 : حد المتسلسلة الأول.

a_n : حد المتسلسلة الأخير.

من الملاحظ أنَّ المجموع S_n يتكوَّن من الوسط الحسابي لكلِّ من الحد الأول والحد الأخير مضرورًا في عدد الحدود التي يراد جمعها.

أتذكر

بمعرفة الحد العام للمتتالية الحسابية، يُمكن إيجاد قيمة أيِّ حد فيها إذا عُلِّمت رتبته (n) . فمثلًا، قيمة الحد السابع والثمانين في المتتالية الحسابية التي حدها العام $a_n = 4n - 11$ هي: $a_{87} = 4(87) - 11 = 337$

أتعلم

يُمكن إيجاد مجموع المتسلسلة الحسابية المنتهية، ولا يُمكن إيجاد مجموع المتسلسلة الحسابية غير المنتهية.

مثال 3

أجد مجموع المتسلسلة: $\sum_{k=1}^{30} (2k-1)$.

الخطوة 1: أحدد نوع المتسلسلة بكتابة أول ثلاثة حدود منها على الأقل، إضافةً إلى الحد الأخير فيها.

$$a_1 = 2 \times 1 - 1 = 1$$

$$a_2 = 2 \times 2 - 1 = 3$$

$$a_3 = 2 \times 3 - 1 = 5$$

$$a_{30} = 2 \times 30 - 1 = 59$$

ألاحظ أن المتتالية: 1, 3, 5, ..., 59، حسابية، وأن أساسها هو: $d=2$.

الخطوة 2: أعوض قيمة $a_1=1$ ، وقيمة $a_{30}=59$ ، وقيمة $n=30$ في صيغة مجموع المتسلسلة الحسابية.

$$S_n = n \left(\frac{a_1 + a_n}{2} \right)$$

صيغة مجموع المتسلسلة الحسابية المنتهية

$$S_n = 30 \left(\frac{1+59}{2} \right) = 900$$

بتعويض $n=30, a_{30}=59, a_1=1$

بالتبسيط

إذن، مجموع حدود هذه المتسلسلة الحسابية هو 900

أتحقق من فهمي

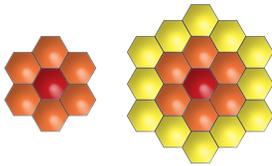
أجد مجموع المتسلسلة: $\sum_{k=1}^{20} (4k+6)$.

أتعلم

إذا كُتبت المتسلسلة باستعمال رمز المجموع Σ ، وكانت قاعدة حدودها: $dk \pm c$ ، فهي متسلسلة حسابية، وأساسها d .

يُمكن استعمال مجموع المتسلسلة الحسابية في كثير من التطبيقات الحياتية.

مثال 4: من الحياة



نحل: يصنع النحل خليته الأولى في صورة شكل سداسي منتظم، ثم يحيطها بحلقات من الخلايا المُطابِقة للخلية الأولى كما في الشكل المجاور:

أبيّن أن عدد الخلايا المضافة في الحلقات التي تحيط بالخلية الأولى يُشكّل متتالية حسابية.

عدد الخلايا في الحلقات المتتالية هو: 6, 12, 18, ...

ألاحظ أن الفرق بين كل عددين متتاليين في هذا النمط يساوي 6.

إذن، يُمثّل عدد الخلايا المضافة في الحلقات متتالية حسابية أساسها: $d=6$.

أجد الحد العام للمتتالية الحسابية.

2

أعوّض أساس المتتالية الحسابية وحدها الأول في صيغة الحد العام للمتتالية الحسابية:

$$a_n = a_1 + (n-1)d \quad \text{صيغة الحد العام للمتتالية الحسابية}$$

$$a_n = 6 + (n-1)6 \quad \text{بتعويض } a_1=6, d=6$$

$$= 6n \quad \text{بالتبسيط}$$

إذن، الحد العام للمتتالية الحسابية هو $a_n=6n$ ، وهذا الحد يُمثّل عدد الخلايا التي تحويها n من الحلقات.

أجد عدد الخلايا في 10 حلقات.

3

الخطوة 1: أكتب المتسلسلة الحسابية التي تُمثّل عدد الخلايا في 10 حلقات.

$$\sum_{k=1}^{10} 6k$$

الخطوة 2: أجد الحد الأخير في المتسلسلة.

الحد الأخير هو الحد العاشر (a_{10}) :

$$a_n = 6n \quad \text{صيغة الحد العام للمتتالية الحسابية}$$

$$a_{10} = 6(10) \quad \text{بتعويض } n=10$$

$$= 60 \quad \text{بالتبسيط}$$

الخطوة 3: أعوّض قيمة $a_1=6$ ، وقيمة $a_{10}=60$ ، وقيمة $n=10$ في صيغة مجموع المتسلسلة الحسابية.

$$S_n = n\left(\frac{a_1+a_n}{2}\right) \quad \text{صيغة مجموع المتسلسلة الحسابية المنتهية}$$

$$S_n = 10\left(\frac{6+60}{2}\right) \quad \text{بتعويض } a_1=6, a_{10}=60, n=10$$

$$= 330 \quad \text{بالتبسيط}$$



أتحقق من فهمي

مقاعد: يوجد في الصف الأول من المقاعد في أحد المسارح 13 مقعداً، وفي الصف الثاني 16 مقعداً، وفي الصف الثالث 19 مقعداً، ... وهكذا حتى الصف الأخير في المسرح:

(a) أبين أن عدد المقاعد في صفوف المسرح يُشكّل متتالية حسابية.

(b) أجد الحد العام للمتتالية الحسابية.

(c) إذا كان في المسرح 25 صفّاً من المقاعد، فكم مقعداً في المسرح؟

أدرب وأحلّ المسائل

أحدّد إذا كانت كل متتالية ممّا يأتي حسابية أم لا:

1 $-9, -5, -1, 3, \dots$

2 $0, 4, 9, 14, \dots$

3 $27, 21, 15, 9, \dots$

4 $-2, -4, -6, -8, \dots$

5 $-7, 0, 7, 14, \dots$

6 $5, 10, 20, 40, \dots$

أجد الحد العام لكل متتالية حسابية ممّا يأتي:

7 $8, 18, 28, 38, \dots$

8 $45, 40, 35, 30, \dots$

9 $a_5=7, d=3$

10 $a_{21}=41, d=-2$

11 $a_7=58, a_{11}=94$

12 $a_6=-8, a_{15}=-62$

أجد مجموع كل من المتسلسلات الحسابية الآتية:

13 $\sum_{k=1}^{25} (5k-7)$

14 $\sum_{k=1}^{31} (23-4k)$

15 $\sum_{k=1}^{17} (k+6)$

16 $\sum_{k=1}^{15} (16-k)$

17 $\sum_{k=1}^{13} (2k)$

18 $\sum_{k=1}^{99} (3k-4)$



19 **شعر:** حفظ محمد في أحد الأيام 4 أبيات من قصيدة لعنترة بن شدّاد، وحفظ في اليوم الثاني 7 أبيات أخرى من هذه القصيدة، وحفظ في اليوم الثالث 10 أبيات أخرى منها. أجد عدد الأبيات التي سيحفظها محمد من هذه القصيدة في نهاية اليوم السادس إذا استمر في الحفظ وفق النمط نفسه.

معلومة

عنترة بن شدّاد العسبي هو أحد أشهر شعراء العرب وفرسانها في عصر ما قبل الإسلام، وقد اشتهر بشعر الفروسية الجميل.

20 **ثقافة مالية:** اقترض عيسى مبلغاً من صديقه؛ على أن يعيده إليه خلال 8 أشهر في صورة دفعات شهرية، قيمة الدفعة الأولى منها JD 100، وأن يزيد هذه القيمة بمقدار JD 20 كل شهر، بدءاً بالشهر الثاني. ما المبلغ الذي اقترضه عيسى من صديقه؟

21 **أحلّ المسألة الواردة في بند (مسألة اليوم).**

مهارات التفكير العليا

22 **أكتشف الخطأ:** أوجد معتز الحد العام للمتتالية: $21, 12, 3, -6, \dots$ على النحو الآتي:

$$a_1 = 21, d = 9$$

$$a_n = 21 + 9n$$



أكتشف الخطأ في حلّ معتز، ثم أصحّحه.

23 **تبرير:** أبين لماذا تُعدّ المتسلسلة: $\sum_{k=1}^{\infty} c$ حسابية، حيث c عدد حقيقي، مُبرراً إجابتي.

24 **تبرير:** أبين أن مجموع أول n حدّاً من متسلسلة الأعداد الفردية: $(1 + 3 + 5 + 7 + \dots)$ هو n^2 ، مُبرراً إجابتي.

المتتاليات والمتسلسلات الهندسية

Geometric Sequences and Series

تعرف المتتالية الهندسية، وإيجاد مجموع المتسلسلة الهندسية المنتهية.

فكرة الدرس

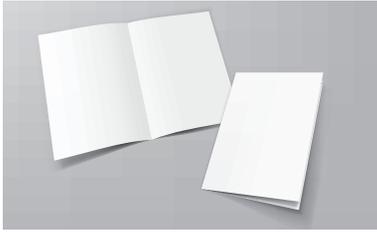


المتتالية الهندسية، المتسلسلة الهندسية، أساس المتتالية الهندسية، أساس المتسلسلة الهندسية.

المصطلحات



مسألة اليوم



ورقة مقاسها A4، وسُمكها 0.1 mm، طُويت من المنتصف، فتضاعف سُمكها. بافتراض أنه يُمكن طي هذه الورقة 15 مرّة، أجد السُمك الناتج.

إذا كانت النسبة ثابتة بين كل حدين متتالين في متتالية، فإنها تُسمى متتالية هندسية (geometric sequence)، وتُسمى النسبة الثابتة أساس المتتالية الهندسية (common ratio)، ويُرمز إليها بالحرف r .

أتعلم

يُمكن تمييز المتتالية الهندسية بملاحظة ناتج قسمة كل حد فيها على الحد الذي يسبقه.

المتتالية الهندسية

مفهوم أساسي

بالكلمات: تكون المتتالية هندسية إذا كانت النسبة ثابتة بين كل حد فيها والحد الذي يسبقه.

بالرموز: تكون المتتالية: $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ هندسية إذا كان:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{a_3}{a_2} = \dots = \frac{a_n}{a_{n-1}} = r$$

مثال 1

أحدّد إذا كانت كل متتالية ممّا يأتي هندسية أم لا:

1 32, 16, 8, 4

أقسم كل حد في المتتالية على الحد السابق له:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{16}{32} = \frac{1}{2}$$

نسبة الحد الثاني إلى الحد الأول

$$\frac{a_3}{a_2} = \frac{8}{16} = \frac{1}{2}$$

نسبة الحد الثالث إلى الحد الثاني

$$\frac{a_4}{a_3} = \frac{4}{8} = \frac{1}{2}$$

نسبة الحد الرابع إلى الحد الثالث

ألاحظ أن النسبة ثابتة، وأنها تساوي $\frac{1}{2}$ ؛ أي إن أساس المتتالية هو: $r = \frac{1}{2}$

إذن، المتتالية هندسية.

2 80, 40, 30, 10, ...

أقسم كل حد في المتتالية على الحد السابق له:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{40}{80} = \frac{1}{2}$$

نسبة الحد الثاني إلى الحد الأول

$$\frac{a_3}{a_2} = \frac{30}{40} = \frac{3}{4}$$

نسبة الحد الثالث إلى الحد الثاني

$$\frac{a_4}{a_3} = \frac{10}{30} = \frac{1}{3}$$

نسبة الحد الرابع إلى الحد الثالث

ألاحظ أن النسبة غير ثابتة.

إذن، المتتالية: 80, 40, 30, 10, ... ليست هندسية.

أتحقق من فهمي 

أحدّد إذا كانت كل متتالية ممّا يأتي هندسية أم لا:

a) 3, 9, 27, 81

b) 72, 63, 54, 45...

أتعلّم

تُعَدُّ المتتاليات الأسّيّة من المتتاليات الهندسية.

يُمكن إيجاد الحد العام (a_n) للمتتالية الهندسية التي حدها الأول a_1 ، وأساسها r ، باستعمال الصيغة الآتية:

$$a_n = a_1 r^{n-1}$$

مثال 2

أجد الحد العام لكل متتالية هندسية ممّا يأتي:

1 $4, 20, 100, 500, \dots$

أعوّض قيمة الحد الأول $a_1 = 4$ ، والأساس $r = \frac{20}{4} = 5$ في صيغة الحد العام:

$$a_n = a_1 r^{n-1} \quad \text{صيغة الحد العام للمتتالية الهندسية}$$

$$a_n = (4) (5)^{n-1} \quad \text{بتعويض } a_1=4, r=5$$

إذن، الحد العام للمتتالية الهندسية هو: $a_n = (4) (5)^{n-1}$

2 $a_5 = 9, r = \frac{1}{3}$

أجد قيمة الحد الأول a_1 باستعمال صيغة الحد العام:

$$a_n = a_1 r^{n-1} \quad \text{صيغة الحد العام للمتتالية الهندسية}$$

$$a_5 = a_1 r^{5-1} \quad \text{بتعويض } n=5$$

$$9 = a_1 \left(\frac{1}{3}\right)^4 \quad \text{بتعويض } a_5=9, r=\frac{1}{3}$$

$$a_1 = 729 \quad \text{بالتبسيط}$$

أعوّض قيمة كلٍّ من a_1 و r في صيغة الحد العام:

$$a_n = a_1 r^{n-1} \quad \text{صيغة الحد العام للمتتالية الهندسية}$$

$$a_n = (729) \left(\frac{1}{3}\right)^{n-1} \quad \text{بتعويض } a_1=729, r=\frac{1}{3}$$

إذن، الحد العام للمتتالية الهندسية هو: $a_n = (729) \left(\frac{1}{3}\right)^{n-1}$

أتحقّق من فهمي 

أجد الحد العام لكل متتالية هندسية ممّا يأتي:

a) $32, 8, 2, \frac{1}{2}, \dots$

b) $a_5 = 1, r = -\frac{1}{5}$

تنتج المتسلسلة الهندسية (geometric series) من جمع حدود المتتالية الهندسية. ويُمكن إيجاد مجموع أول n حدًا (يُرمز إليه بـ S_n) من حدود المتسلسلة الهندسية باستعمال الصيغة الآتية:

$$S_n = \frac{a_1(1-r^n)}{1-r}$$

حيث:

a_1 : حد المتسلسلة الأول.

$r \neq 1$: أساس المتسلسلة.

مثال 3

أجد مجموع المتسلسلة الهندسية: $\sum_{k=1}^8 5(2)^{k-1}$.

أجد الحد الأول a_1 ، والأساس r :

$$a_k = 5(2)^{k-1}$$

الحد العام للمتتالية الهندسية

$$a_1 = 5(2)^{1-1}$$

أعوّض $k=1$ لإيجاد الحد الأول

$$= 5(2)^0 = 5$$

بالتبسيط، حيث: $2^0 = 1$

أفارن صيغة الحد رقم k بصيغة الحد العام للمتسلسلة الهندسية، فأستنتج أن $r=2$.

أعوّض قيمة $a_1=5$ ، وقيمة $r=2$ ، وقيمة $n=8$ في صيغة مجموع المتسلسلة الهندسية:

$$S_n = \frac{a_1(1-r^n)}{1-r}$$

صيغة مجموع المتسلسلة الهندسية

$$S_8 = \frac{5(1-2^8)}{1-2}$$

بتعويض $a_1=5, r=2, n=8$

$$S_8 = 1275$$

بالتبسيط

إذن، مجموع حدود المتسلسلة الهندسية هو 1275.

أتحقق من فهمي

أجد مجموع المتسلسلة الهندسية: $\sum_{k=1}^6 4\left(\frac{1}{2}\right)^{k-1}$.

أفكر

أجد مجموع المتسلسلة: $\sum_{k=1}^n c^k$ ، حيث c عدد ثابت.

يُمكن توظيف المتسلسلات الهندسية في إيجاد صيغ رياضية لتطبيقات حياتية.

مثال 4 : من الحياة

معلومة

تُعدُّ كرة القدم أكثر الألعاب شهرة في العالم؛ إذ يشاهد مبارياتها ملايين البشر حول العالم.

كرة قدم: شاركت الفرق الرياضية التي تُمثِّل 64 مدرسة في دوري بطولة كرة القدم. وقد شملت الجولة الأولى 32 مباراة، ثم انخفض عدد المباريات بمقدار النصف في كل جولة تالية:

أكتب صيغة تُمثِّل عدد المباريات بين الفرق المُشاركة بعد n جولة.

أكتب عدد المباريات في جميع الجولات، بدءاً بالجولة الأولى، فنتج المتتالية الآتية:

$$32, 16, 8, 4, 2, 1$$

وهي متتالية هندسية، فيها $a_1 = 32$ ، و $r = \frac{1}{2}$

أجد الحد العام لهذه المتتالية بالتعويض في صيغة الحد العام للمتتالية الهندسية:

$$a_n = a_1 r^{n-1} \quad \text{صيغة الحد العام للمتتالية الهندسية}$$

$$a_n = (32) \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} \quad \text{بتعويض } a_1=32, r=\frac{1}{2}$$

إذن، المتتالية الهندسية التي حددها العام $a_n = (32) \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1}$ تُمثِّل عدد المباريات بين الفرق المُشاركة بعد n جولة.

أجد مجموع عدد المباريات بين الفرق المُشاركة في جميع جولات هذه البطولة.

الخطوة 1: أكتب المتسلسلة الهندسية التي تُمثِّل مجموع عدد المباريات باستعمال رمز المجموع.

$$\sum_{k=1}^6 (32) \left(\frac{1}{2}\right)^{k-1}$$

الخطوة 2: أعرِّض قيمة $a_1 = 32$ ، وقيمة $r = \frac{1}{2}$ ، وقيمة $n = 6$ في صيغة مجموع المتسلسلة الهندسية.

$$S_n = \frac{a_1(1-r^n)}{1-r} \quad \text{صيغة مجموع المتسلسلة الهندسية}$$

$$S_6 = \frac{32 \left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^6\right)}{1 - \frac{1}{2}} \quad \text{بتعويض } a_1=32, r=\frac{1}{2}, n=6$$

$$S_6 = 63 \quad \text{بالتبسيط}$$

إذن، مجموع عدد المباريات بين الفرق المُشاركة في جميع جولات هذه البطولة هو 63 مباراة.

أتحقق من فهمي 

بدأ سفيان العمل في إحدى الشركات، وبلغ مجموع رواتبه الشهرية في السنة الأولى JD 4500؛ على أن يزداد الراتب بنسبة 3.5% سنويًا بعد العام الأول:

- (a) أكتب قاعدة يُمكن استعمالها لتحديد مجموع رواتب سفيان الشهرية خلال السنة (n).
- (b) كم دينارًا سيبلغ مجموع رواتب سفيان الشهرية خلال العام الخامس؟
- (c) إذا استمر سفيان في العمل بهذه الشركة 10 سنوات، فما مجموع رواتبه الشهرية في السنوات العشر؟

أدرب وأحل المسائل 

أحدّد إذا كانت كل متتالية ممّا يأتي هندسية أم لا:

- 1 3, -6, 12, -24, ...
- 2 2, 6, 18, 54, ...
- 3 20, 24, 28.8, ...
- 4 -2, 1, 4, 7, ...
- 5 0.04, 0.2, 1, ...
- 6 100, 90, 81, ...

أجد الحد العام لكل متتالية هندسية ممّا يأتي:

- 7 4, -8, 16, -32, ...
- 8 0.005, 0.01, 0.02, ...
- 9 20, 22, 24.2, 26.62, ...
- 10 $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \dots$
- 11 $a_4 = 108, r = 3$
- 12 $a_7 = -78125, r = -5$

أجد مجموع كلٍّ من المتسلسلات الهندسية الآتية:

- 13 $\sum_{k=1}^6 3(2)^{k-1}$
- 14 $\sum_{k=1}^5 \frac{3}{2}(4)^{k-1}$
- 15 $\sum_{k=1}^4 \left(\frac{3}{2}\right)^{k-1}$
- 16 $\sum_{k=1}^4 5(0.1)^{k-1}$
- 17 $\sum_{k=1}^5 7(7)^{k-1}$
- 18 $\sum_{k=1}^{99} (-1)^{k-1}$



- 19 **حواسيب:** اشترت شروق حاسوبًا، واتفقت مع البائع على أن تدفع من ثمنه JD 100 في الشهر الأول، ثم تدفع في بقية الشهر ما نسبته 80% من قيمة دفعة الشهر السابق مدّة عام كامل. كم دينارًا سعر الحاسوب؟

استعان خالد بموقع تعليمي في شبكة الإنترنت لقياس مستوى المعرفة لديه، فبدأ بحلّ خمسة أسئلة ضمن وقت مُحدّد لينتقل إلى المرحلة التالية. إذا كان عدد الأسئلة في كل مرحلة تالية مثلي عدد الأسئلة في المرحلة السابقة، فأجيب عمّا يأتي:

- 20 أكتب صيغة تُمثّل عدد الأسئلة بعد n مرحلة.

- 21 أجد مجموع عدد الأسئلة إذا اجتاز خالد أربع مراحل فقط.

- 22 أحلّ المسألة الواردة في بند (مسألة اليوم).

مهارات التفكير العليا



- 23 **تبرير:** أثبت لماذا تُعدّ المتسلسلة: $\sum_{k=1}^{\infty} c$ هندسية، حيث c عدد حقيقي لا يساوي صفرًا، مُبرّرًا إجابتي.

- 24 **تحّد:** إذا كانت الحدود الثلاثة الأولى من متتالية هندسية هي: $x-4$, x , $5x-12$ ، وكانت جميعها موجبة، فما قيمة x ؟

- 25 **تحّد:** أجد الحد العام للمتتالية الهندسية التي فيها $a_5 = -768$ ، و $a_2 = 12$.

- 26 **تحّد:** أثبت أن مجموع أول n حدًا من متسلسلة هندسية يُعطى بالصيغة الآتية:

$$S_n = \frac{a_1(1-r^n)}{1-r}, \quad r \neq 1$$

المتسلسلات الهندسية اللانهائية

Infinite Geometric Series

إيجاد مجموع المتسلسلة الهندسية اللانهائية المتقاربة.

المتسلسلة الهندسية اللانهائية، المجموع الجزئي، المتسلسلة المتقاربة، المتسلسلة المتباعدة.

لدى ماجد شاحن كهربائي مُتَنَقِّل، يستمر في الشحن مدّة 8 ساعات إذا كان مشحوناً شحناً كاملاً. لاحظ ماجد أن الشاحن أخذ يعمل بما نسبته 98% من عدد ساعات الشحن في اليوم السابق له بسبب عطل فيه. كيف يُمكن تحديد مجموع ساعات عمل هذا الشاحن قبل تعطله بصورة كاملة؟



فكرة الدرس



المصطلحات



مسألة اليوم



المتسلسلة الهندسية اللانهائية (the infinite geometric series) هي متسلسلة تحوي عدداً لانهائياً من الحدود، ويُسمّى مجموع أول n حدّاً من حدود هذه المتسلسلة **مجموعاً جزئياً** (partial sum)، ويُرمز إليه بالرمز (S_n) ، وقد يقترب هذا المجموع من قيمة مُحدّدة.

مثال 1

أجد المجاميع الجزئية S_n للقيم: $n = 1, 2, 3, 4, 5$ ، لكل متسلسلة هندسية لانهائية، ثم أمثلها بيانياً:

$$1 \quad \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \dots$$

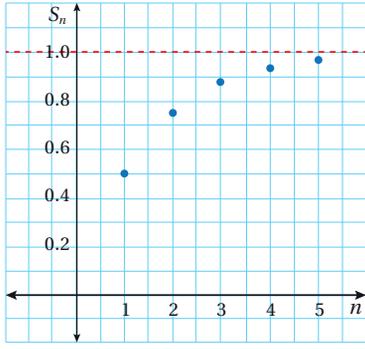
$$S_1 = a_1 = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$S_2 = a_1 + a_2 = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} = 0.75$$

$$S_3 = a_1 + a_2 + a_3 = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} \approx 0.88$$

$$S_4 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} \approx 0.94$$

$$S_5 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} \approx 0.97$$



بتمثيل الأزواج المُرتَّبة:

$$(1,0.5), (2,0.75), (3,0.88), (4,0.94), (5,0.97)$$

في المستوى الإحداثي، ألاحظ أنه كلما زادت قيم n اقتربت قيم S_n من العدد 1، كما يظهر في التمثيل البياني المجاور.

إرشاد

يُمكن استعمال برمجة جيوغبرا للتمثيل البياني.

2 $1 + 3 + 9 + 27 + 81 + \dots$

$$S_1 = 1$$

$$S_2 = 1 + 3 = 4$$

$$S_3 = 1 + 3 + 9 = 13$$

$$S_4 = 1 + 3 + 9 + 27 = 40$$

$$S_5 = 1 + 3 + 9 + 27 + 81 = 121$$



بتمثيل الأزواج المُرتَّبة:

$$(1,1), (2,4), (3,13), (4,40), (5,121)$$

في المستوى الإحداثي، ألاحظ أنه كلما زادت قيم n زادت قيم S_n إلى ما لانهاية، دون أن تقترب من أي قيمة مُحدَّدة.

أتحقق من فهمي

أجد المجاميع الجزئية S_n للقيم: $n = 1, 2, 3, 4, 5$ ، لكل متسلسلة هندسية لانهاية، ثم أمثلها بيانياً:

a) $\frac{1}{3} + \frac{1}{9} + \frac{1}{27} + \frac{1}{81} + \frac{1}{243} + \dots$

b) $2 + 2 + 2 + 2 + 2 + \dots$

لاحظتُ في المثال السابق أنَّ المجاميع الجزئية للمتسلسلة الهندسية في الفرع الأول تقترب من العدد 1 عند زيادة قِيم n ؛ لذا فإنَّ هذه المتسلسلة تُسمى **متسلسلة متقاربة** (convergent series)، ويُمكن إيجاد مجموع عدد لانهائي من حدودها. لاحظتُ أيضًا أنَّ المجاميع الجزئية للمتسلسلة الهندسية في الفرع الثاني لا تقترب من عدد مُعين عند زيادة قِيم n ؛ لذا فإنَّ هذه المتسلسلة تُسمى **متسلسلة متباعدة** (divergent series)، ولا يُمكن إيجاد مجموع عدد لانهائي من حدودها.

المتسلسلة الهندسية الانهائية

مفهوم أساسي

بالكلمات: تكون المتسلسلة الهندسية الانهائية متقاربة إذا كانت القيمة المطلقة لأساسها أقل من 1، وتكون متباعدة إذا كانت القيمة المطلقة لأساسها أكبر من أو تساوي 1

بالرموز:

إذا كانت $|r| < 1$ ، فإنَّ المتسلسلة الهندسية الانهائية تكون **متقاربة**.

إذا كانت $|r| \geq 1$ ، فإنَّ المتسلسلة الهندسية الانهائية تكون **متباعدة**.

إذا كانت $|r| < 1$ لمتسلسلة هندسية لانهائية (n تقترب من ∞)، فإنَّ قيمة r^n في صيغة المجموع الجزئي للمتسلسلة تقترب من 0. وبذلك، فإنَّ صيغة مجموع المتسلسلة الهندسية الانهائية تصبح كما يأتي:

$$S_{\infty} = \frac{a_1}{1-r}$$

مثال 2

أحدّد إذا كانت المتسلسلات الهندسية الانهائية الآتية متقاربة أم متباعدة، ثم أجد المجموع للمقاربة منها:

1 $1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{16} + \frac{1}{64} + \dots$

أجد قيمة أساس المتسلسلة:

$$r = \frac{\frac{1}{4}}{1} = \frac{1}{4}$$

بقسمة الحد الثاني على الحد الأول

بما أن $1 > \frac{1}{4} = \left| \frac{1}{4} \right|$ ، فإن المتسلسلة متقاربة، ويمكن إيجاد مجموعها على النحو الآتي:

$$\begin{aligned} S_{\infty} &= \frac{a_1}{1-r} \\ &= \frac{1}{1-\frac{1}{4}} \\ &= \frac{4}{3} \end{aligned}$$

صيغة مجموع متسلسلة هندسية لانتهائية

$$\text{بتعويض } a_1=1, r=\frac{1}{4}$$

بالتبسيط

إذن، مجموع المتسلسلة هو $\frac{4}{3}$

$$2 \quad 1 - \frac{3}{2} + \frac{9}{4} - \frac{27}{8} + \dots$$

أجد قيمة أساس المتسلسلة:

$$r = \frac{-\frac{3}{2}}{1} = -\frac{3}{2}$$

بقسمة الحد الثاني على الحد الأول

بما أن $1 > \frac{3}{2} = \left| -\frac{3}{2} \right|$ ، فإن المتسلسلة متباعدة، ولا يمكن إيجاد مجموع حدودها.

$$3 \quad \sum_{k=1}^{\infty} 2(0.9)^{k-1}$$

أجد قيمة أساس المتسلسلة:

$$a_1 = 2(0.9)^{1-1} = 2$$

بتعويض $k=1$

$$a_2 = 2(0.9)^{2-1} = 1.8$$

بتعويض $k=2$

$$r = \frac{1.8}{2} = 0.9$$

بقسمة الحد الثاني على الحد الأول

بما أن $1 > 0.9 = |0.9|$ ، فإن المتسلسلة متقاربة، ويمكن إيجاد مجموعها على النحو الآتي:

$$S_{\infty} = \frac{a_1}{1-r}$$

صيغة مجموع متسلسلة هندسية لانتهائية

$$S_{\infty} = \frac{2}{1-0.9}$$

بتعويض $a_1=2, r=0.9$

$$S_{\infty} = 20$$

بالتبسيط

إذن، مجموع المتسلسلة هو 20.

أنعلم

للتحقق من إجابة الفرع الأول من المثال الثاني، فإنني أمثل بعض المجاميع الجزئية للمتسلسلة بيانياً.

أتحقق من فهمي 

أحدّد إذا كانت المتسلسلات الهندسية اللانهائية الآتية متقاربة أم متباعدة، ثم أجد المجموع للمقاربة منها:

a) $1 + \frac{1}{6} + \frac{1}{36} + \frac{1}{216} + \dots$

b) $1 - 2 + 4 - 8 + \dots$

c) $\sum_{k=1}^{\infty} 9(-0.3)^{k-1}$

يُمكن استعمال صيغة مجموع المتسلسلة الهندسية اللانهائية لكتابة العدد العشري الدوري في صورة كسر عادي.

مثال 3

أكتب العدد العشري الدوري $0.\overline{57}$ في صورة كسر عادي.

يُمكن كتابة الكسر العشري الدوري على النحو الآتي:

$$0.\overline{57} = 0.575757\dots$$

أي إنَّ:

$$0.\overline{57} = 0.57 + 0.0057 + 0.000057 + \dots$$

الصيغة التحليلية للكسر العشري

$$0.\overline{57} = \frac{57}{100} + \frac{57}{10000} + \frac{57}{1000000} + \dots$$

بإعادة كتابة الأجزاء العشرية المُتكرّرة بوصفها كسورًا عاديةً

وهذا يُمثّل متسلسلة لانهائية، حدها الأول $a_1 = \frac{57}{100}$ ، ويُمكن إيجاد أساسها كما يأتي:

$$\frac{57}{10000} \div \frac{57}{100} = \frac{1}{100}$$

بقسمة الحد الثاني على الحد الأول

أي إنَّ أساس هذه المتسلسلة الهندسية اللانهائية هو: $r = \frac{1}{100} = 0.01$

بما أن $1 > |0.01| = 0.01$ ، فإنَّ هذه المتسلسلة متقاربة، ويُمكن إيجاد مجموعها على النحو الآتي:

$$S_{\infty} = \frac{a_1}{1-r}$$

صيغة مجموع المتسلسلة الهندسية اللانهائية

أذكّر

العدد العشري الدوري هو عدد نسبي؛ لذا يُمكن كتابته في صورة كسر عادي $\frac{a}{b}$ ، حيث a, b عددان صحيحان، و $b \neq 0$.

$$= \frac{0.57}{1-0.01}$$

$$S_{\infty} = \frac{19}{33}$$

بتعويض $a_1=0.57, r=0.01$

بالتبسيط

أي إنَّ:

$$0.\overline{57} = 0.575757... = \frac{19}{33}$$

أتحقق من فهمي 

أكتب العدد العشري الدوري $0.\overline{14}$ في صورة كسر عادي.

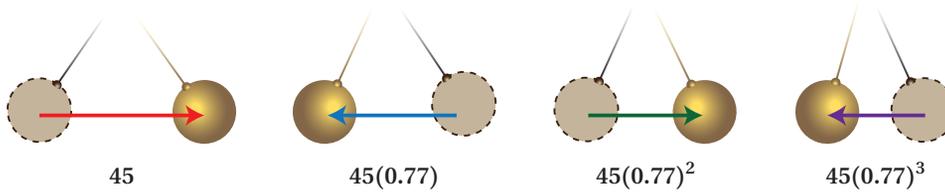
يُمكن استعمال المتسلسلات الهندسية اللانهائية لحساب مجموع المسافات التي يقطعها البندول المُتحرِّك ذهاباً وإياباً حتى يتوقَّف عن التَّرجح؛ إذ يصعب إيجاد مجموع هذه المسافات من دون استعمال المتسلسلات؛ لأنَّها قبل التوقُّف عن التَّرجح تصبح متناهية الصغر، وعددها كبير جداً.

معلومة

البندول هو جسم يرتبط بنقطة ثابتة بواسطة خيط، ويتحرَّك في مستوى واحد.

مثال 4: من الحياة

فيزياء: حرَّكت شيماء البندول في مختبر العلوم، وقد لاحظت أنَّه قطع مسافة 45 cm بين أقصى نقطتين وصلهما في المرَّة الأولى كما في الشكل الآتي، ثم قطع في كل مرَّة تالية 77% من المسافة التي قطعها في المرَّة السابقة، أجد مجموع المسافات التي قطعها البندول في أثناء تَرجحه حتى توقَّف عن ذلك.



ألاحظ أنَّ مجموع المسافات التي قطعها البندول هو:

$$45 + 45(0.77) + 45(0.77)^2 + 45(0.77)^3 + \dots$$

يُمثِّل هذا المجموع متسلسلة هندسية لانهائية، حدها الأول $a_1 = 45$ ، وأساسها

$$r = \frac{45(0.77)}{45} = 0.77$$

بما أن $0.77 < |0.77| = 0.77$ ، فإنَّ هذه المتسلسلة متقاربة، ويُمكن إيجاد مجموعها على النحو الآتي:

$$\begin{aligned} S_{\infty} &= \frac{a_1}{1-r} \\ &= \frac{45}{1-0.77} \\ &= \frac{4500}{23} \approx 195.7 \end{aligned}$$

صيغة مجموع متسلسلة هندسية لانتهائية

بتعويض $a_1=45, r=0.77$

بالتبسيط، واستعمال الآلة الحاسبة

إذن، قطع البندول مسافة 195.7 cm تقريباً في أثناء تأرجحه إلى أن توقّف.

أتحقّق من فهمي



أراجيح: دفع همام أرجوحة ابنته، فلاحظ أنّها قطعت مسافة 2 m بين أبعد نقطتين تصلهما، ثم قطعت في كل مرّة تالية 95% من المسافة التي قطعتها في المرّة السابقة. أجد مجموع المسافات التي قطعتها الأرجوحة حتى توقّفت عن الحركة.

أدرّب وأحلّ المسائل



أجد المجاميع الجزئية S_n لقيم n الصحيحة، حيث $1 \leq n \leq 6$ ، لكل من المتسلسلات الهندسية اللانهائية الآتية، ثم أمثلها بيانياً:

1 $24 + 12 + 6 + 3 + \dots$

2 $2 + 8 + 32 + 128 + \dots$

3 $1 + \frac{2}{3} + \frac{4}{9} + \frac{8}{27} + \dots$

4 $1 + \frac{3}{2} + \frac{9}{4} + \frac{27}{8} + \dots$

5 $1 - 1 + 1 - 1 + \dots$

6 $343 + 49 + 7 + 1 + \dots$

أحدّد إذا كانت المتسلسلات الهندسية اللانهائية الآتية متقاربة أم متباعدة، ثم أجد المجموع للمتقاربة منها:

7 $1 + \frac{3}{4} + \frac{9}{16} + \frac{27}{64} + \dots$

8 $2 + \frac{7}{3} + \frac{49}{18} + \frac{343}{108} + \dots$

9 $5 - \frac{5}{3} + \frac{5}{9} - \frac{5}{27} + \dots$

10 $10 + 1 + 0.1 + 0.01 + \dots$

11 $192 + 48 + 12 + 3 + \dots$

12 $1 + 0.35 + 0.1225 + 0.042875 + \dots$

أكتب كلاً من الأعداد العشرية الدورية الآتية في صورة كسر عادي:

13 $0.\overline{7}$

14 $0.\overline{41}$

15 $0.\overline{4}$

16 $0.\overline{05}$

17 $0.\overline{86}$

18 $0.\overline{3}$



كرات: سقطت كرة مطاطية من ارتفاع 20 m رأسياً في اتجاه أرض أفقية. وعند اصطدامها بالأرض ارتدت إلى أعلى مسافة تُعادل ما نسبته 70% من الارتفاع الذي سقطت منه في المرة السابقة. بافتراض أن الكرة سقطت رأسياً ثم ارتدت رأسياً عدداً لانهائياً من المرات:

19 أجد الحد العام a_n الذي يُمثل المسافة التي قطعها الكرة عندما ارتدت عن الأرض للمرة n .

20 أجد $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$.



21 **مراوح:** تدور مروحة بسرعة مقدارها 12 دورة في الثانية الواحدة. وعند فصل التيار الكهربائي عنها تتباطأ سرعتها بما نسبته 75% من دوراتها في كل ثانية لاحقة. أجد عدد الدورات التي ستدورها المروحة قبل أن تتوقف عن الدوران بصورة كلية.

22 أحل المسألة الواردة في بند (مسألة اليوم).

مهارات التفكير العليا

23 **أكتشف الخطأ:** أوجد سفيان قيمة: $\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{5}{2}\right)^{n-1}$ على النحو الآتي:

$$a_1 = 1, \quad r = \frac{5}{2}$$

$$S_{\infty} = \frac{a_1}{1-r} = \frac{1}{1-\frac{5}{2}} = -\frac{2}{3}$$

أكتشف الخطأ في حل سفيان، ثم أصحِّحه.

24 **مسألة مفتوحة:** أجد متسلسلة هندسية لانهائية مجموعها 6 ، مُبرراً إجابتي.

25 **تحذُّر:** إذا كان الحد الأول لمتسلسلة هندسية لانهائية متقاربة هو $a > 0$ ، والحد الثالث فيها هو 4 ، فأجد

جميع الاحتمالات الممكنة لمجموع المتسلسلة بدلالة a .

