تصحيح التمرين 1:

1) $\begin{cases} f(x) = \dfrac{\sqrt{x+1}-1}{x} & ; x \neq 0 \\ f(0) = \dfrac{1}{2} \end{cases}$

لندرس اتصال الدالة f في 0 :

لدينا : $f(0) = \dfrac{1}{2}$. لنحسب $\lim\limits_{x \to 0} f(x)$:

$$\lim_{x \to 0} f(x) = \lim_{x \to 0} \frac{\sqrt{x+1}-1}{x} = \lim_{x \to 0} \frac{(\sqrt{x+1}-1)(\sqrt{x+1}+1)}{x(\sqrt{x+1}+1)} = \lim_{x \to 0} \frac{(\sqrt{x+1})^2 - 1^2}{x(\sqrt{x+1}+1)} = \lim_{x \to 0} \frac{(x+\cancel{1})-\cancel{1}}{x(\sqrt{x+1}+1)} = \lim_{x \to 0} \frac{1}{(\sqrt{x+1}+1)} = \frac{1}{2}$$

بما أن $\lim\limits_{x \to 0} f(x) = f(0)$ فإن f متصلة في 0

2) $\begin{cases} f(x) = \dfrac{x^2-5x+6}{x^2-x-2} ; x \neq 2 \\ f(2) = -\dfrac{1}{3} \end{cases}$

لندرس اتصال f في 2 :

لدينا : $f(2) = -\dfrac{1}{3}$. لنحسب $\lim\limits_{x \to 2} f(x)$:

$$\lim_{x \to 2} f(x) = \lim_{x \to 2} \frac{x^2-5x+6}{x^2-x-2} = \lim_{x \to 2} \frac{\cancel{(x-2)}(x-3)}{\cancel{(x-2)}(x+1)} = \lim_{x \to 2} \frac{x-3}{x+1} = \frac{-1}{3}$$

بما أن $\lim\limits_{x \to 2} f(x) = f(2)$ فإن f متصلة في 2

3) $\begin{cases} f(x) = \dfrac{\sin x}{\sqrt{x+1}-1} ; x \neq 0 \\ f(0) = 2 \end{cases}$

لندرس اتصال الدالة f في 0 :

لدينا : $f(0) = 2$. لنحسب $\lim\limits_{x \to 0} f(x)$:

$$\lim_{x\to 0} f(x)=\lim_{x\to 0}\frac{\sin x}{\sqrt{x+1}-1}=\lim_{x\to 0}\frac{\sin x.\left(\sqrt{x+1}+1\right)}{\left(\sqrt{x+1}-1\right)\left(\sqrt{x+1}+1\right)}=\lim_{x\to 0}\frac{\sin x.\left(\sqrt{x+1}+1\right)}{\left(\sqrt{x+1}\right)^2-1^2}=\lim_{x\to 0}\frac{\sin x.\left(\sqrt{x+1}+1\right)}{(x+\cancel{1})-\cancel{1}}=\lim_{x\to 0}\frac{\sin x}{x}.\left(\sqrt{x+1}+1\right)=1\times 2=2$$

بما أن $\lim_{x\to 0} f(x)=f(0)$ فإن f متصلة في 0

4)
$$\begin{cases} f(x)=x^2+2x-3 ; x\geq -2 \\ f(x)=\dfrac{x^2+x-2}{x+2} ; x<-2 \end{cases}$$

لندرس اتصال الدالة f في -2 :

لدينا : $f(-2)=(-2)^2+2(-2)-3=-3$

$$\lim_{\substack{x\to -2\\ x>-2}} f(x)=\lim_{\substack{x\to -2\\ x>-2}} x^2+2x-3=-3$$

$$\lim_{\substack{x\to -2\\ x<-2}} f(x)=\lim_{\substack{x\to -2\\ x<-2}}\frac{x^2+x-2}{x+2}=\lim_{\substack{x\to -2\\ x<-2}}\frac{\cancel{(x+2)}(x-1)}{\cancel{x+2}}=\lim_{\substack{x\to -2\\ x<-2}} x-1=-3$$

بما أن $\lim_{\substack{x\to -2\\ x<-2}} f(x)=\lim_{\substack{x\to -2\\ x>-2}} f(x)=f(-2)$ فإن f متصلة في -2

5)
$$\begin{cases} f(x)=2\dfrac{\sin(3x)}{x}+1 \quad ; x>0 \\ f(x)=x+m-\dfrac{1}{2} \quad ; x\leq 0 \end{cases}$$
لنحدد قيمة m لكي تكون f متصلة في 0.

لدينا $f(0)=(0)+m-\frac{1}{2}=m-\frac{1}{2}$

$$\lim_{\substack{x\to 0\\ x<0}} f(x)=\lim_{\substack{x\to 0\\ x<0}} x+m-\frac{1}{2}=m-\frac{1}{2}$$

$$\lim_{\substack{x\to 0\\ x>0}} f(x)=\lim_{\substack{x\to 0\\ x>0}} 2\frac{\sin(3x)}{x}+1=\lim_{\substack{x\to 0\\ x>0}} 2\times 3\times\frac{\sin(3x)}{3x}+1=2\times 3\times 1+1=6+1=7$$

f متصلة في 0 تعني $\lim_{\substack{x\to 0\\ x<0}} f(x)=\lim_{\substack{x\to 0\\ x>0}} f(x)=f(0)$

تعني $7=m-\frac{1}{2}$ أي $m=7+\frac{1}{2}$ أي $m=\frac{15}{2}$.

6) $\begin{cases} g(x) = x - k & ;x < 0 \\ g(0) = 2 \\ g(x) = 1 + \frac{\tan x}{x} & ;x > 0 \end{cases}$. لنحدد قيمة k لكي تكون g متصلة في 0.

لدينا $g(0) = 2$

$$\lim_{\substack{x \to 0 \\ x < 0}} g(x) = \lim_{\substack{x \to 0 \\ x < 0}} x - k = -k$$

$$\lim_{\substack{x \to 0 \\ x > 0}} g(x) = \lim_{\substack{x \to 0 \\ x > 0}} 1 + \frac{\tan(x)}{x} = 1 + 1 = 2$$

g متصلة في 0 تعني $\lim_{\substack{x \to 0 \\ x > 0}} g(x) = \lim_{\substack{x \to 0 \\ x < 0}} g(x) = g(0)$

تعني $-k = 2$ أي $k = -2$

تصحيح التمرين 2:

1. لدينا : $\begin{cases} f(x) = \frac{x^3 - 8}{x - 2} & ;x \neq 2 \\ f(2) = 12 \end{cases}$.

لنحدد D_f : $D_f = (\{x \in \mathbb{R} / x - 2 \neq 0\}) \cup \{2\} = (\{x \in \mathbb{R} / x \neq 2\}) \cup \{2\} = (\mathbb{R} / \{2\}) \cup \{2\} = \mathbb{R}$

- الدالة f متصلة على $\mathbb{R}/\{2\}$ (لأن f دالة جدرية)
- لندرس اتصال f في 2 : لدينا $f(2) = 12$

لنحسب $\lim_{x \to 2} f(x)$:

$$\lim_{x \to 2} f(x) = \lim_{x \to 2} \frac{x^3 - 8}{x - 2} = \lim_{x \to 2} \frac{x^3 - 2^3}{x - 2} = \lim_{x \to 2} \frac{(x-2)(x^2 + 2x + 2^2)}{x - 2} = \lim_{x \to 2} x^2 + 2x + 4 = 12$$

بما أن $\lim_{x \to 2} f(x) = f(2)$ فإن f متصلة في 2.

<u>خلاصة :</u> الدالة f متصلة على $\mathbb{R}$.

2. لدينا : $f(x) = x^5 - 6x^2 + 3x + 7$

الدالة f متصلة على $\mathbb{R}$ (لأنها دالة حدودية)

3. لدينا : $f(x) = 2\sin x + 3\cos x$

$f_1 : x \mapsto 2\sin x$ متصلة على $\mathbb{R}$

$f_2 : x \mapsto 3\cos x$ متصلة على $\mathbb{R}$

إذن $f = f_1 + f_2$ متصلة على $\mathbb{R}$ (كمجموع لدالتين متصلتين على $\mathbb{R}$)

4. لدينا : $f(x) = \sqrt{x^2 - 1}$

لنحدد D_f : لنحدد $D_f = \left\{ x \in \mathbb{R} / x^2 - 1 \geq 0 \right\}$

إذن : $D_f =]-\infty, -1] \cup [1, +\infty[$

x	$-\infty$ -1	1 $+\infty$
$x2-1$	$+$	$-$ 0 $+$

نضع $f_1 : x \mapsto x^2 - 1$

لدينا : الدالة f_1 متصلة على $\mathbb{R}$ بالخصوص على D_f و $0 \geq (x)$ $f_1(x)$ $(\forall x \in D_f)$

إذن الدالة $f = \sqrt{f_1}$ متصلة على D_f.

5. لدينا : $f(x) = \dfrac{\sqrt{x}}{x^2 + 1}$. لنحدد D_f : $D_f = \left\{ x \in \mathbb{R} / x^2 + 1 \neq 0 \quad , \quad x \geq 0 \right\} = \left\{ x \in \mathbb{R} / x \geq 0 \right\} = \mathbb{R}^+$

$f_1 : x \mapsto \sqrt{x}$ متصلة على $\mathbb{R}^+$

$f_2 : x \mapsto x^2 + 1$ متصلة على $\mathbb{R}$ بالخصوص على $\mathbb{R}^+$ و $0 \neq (x)$ $f_2(x)$ $(\forall x \in \mathbb{R}^+)$

إذن $f = \dfrac{f_1}{f_2}$ متصلة على $\mathbb{R}^+$ (كخارج دالتين متصلتين على $\mathbb{R}^+$)

6. لدينا : $f(x) = (x^2 - 3x + 4) \times \cos x$

$D_f = \mathbb{R}$

$f_1 : x \mapsto x^2 - 3x + 4$ متصلة على $\mathbb{R}$

$f_2 : x \mapsto \cos x$ متصلة على $\mathbb{R}$

إذن $f = f_1 \times f_2$ متصلة على $\mathbb{R}$ كجداء دالتين متصلتين على $\mathbb{R}$

7. لدينا : $f(x) = \dfrac{x^2 + x - 1}{x^2 + 1} + \sqrt{x^2 - x + 4}$

$D_f = \mathbb{R}$

$f_1 : x \mapsto x^2 + x - 1$ متصلة على $\mathbb{R}$

$f_2 : x \mapsto x^2 + 1$ متصلة على $\mathbb{R}$ و $0 \neq (x)$ $f_2(x)$ $(\forall x \in \mathbb{R})$

- إذن $h = \dfrac{f_1}{f_2}$ متصلة على $\mathbb{R}$

$f_3 : x \mapsto x^2 - x + 4$ متصلة على $\mathbb{R}$ و $f_3(x) \geq 0 \quad (\forall x \in \mathbb{R})$

- إذن $k = \sqrt{f_3}$ متصلة على $\mathbb{R}$

❖ و بالتالي : $f = h + k$ متصلة على $\mathbb{R}$ كمجموع دالتين متصلتين على $\mathbb{R}$

تصحيح التمرين 3:

1. لنبين أن المعادلة $(E) : x^5 - x^3 + 5x - 4 = 0$ تقبل حلا على الأقل في المجال $[0,1]$

نعتبر الدالة $f : x \mapsto x^5 - x^3 + 5x - 4$

✓ الدالة f متصلة على المجال $[0,1]$

✓ $\begin{cases} f(0) = -4 \\ f(1) = 1 \end{cases} \Rightarrow f(0) \times f(1) < 0$

إذن حسب مبرهنة القيم الوسيطية : المعادلة $f(x) = 0$ تقبل حلا على الأقل في المجال $[0,1]$

2. لنبين أن المعادلة $(E) : 2\sin x = x$ تقبل حلا على الأقل في المجال $I = \left]\frac{\pi}{3}, \pi\right[$

$(2\sin x = x \Leftrightarrow 2\sin x - x = 0)$

نعتبر الدالة $f : x \mapsto 2\sin x - x$

✓ الدالة f متصلة على المجال $\left[\frac{\pi}{3}, \pi\right]$

✓ $\begin{cases} f\left(\frac{\pi}{3}\right) = \sqrt{3} - \frac{\pi}{3} = \frac{3\sqrt{3} - \pi}{3} > 0 \\ f(\pi) = -\pi < 0 \end{cases} \Rightarrow f\left(\frac{\pi}{3}\right) \times f(\pi) < 0$

إذن حسب مبرهنة القيم الوسيطية المعادلة $f(x) = 0$ تقبل حلا على الأقل في المجال $\left]\frac{\pi}{3}, \pi\right[$

و منه المعادلة (E) تقبل حلا على الأقل في المجال $\left]\frac{\pi}{3}, \pi\right[$

تصحيح التمرين 4 :

لنبين أن المعادلة $x^3 + 2x - 4 = 0$ تقبل حلا وحيدا α في المجال $\left]1, \frac{3}{2}\right[$

نعتبر الدالة $f : x \mapsto x^3 + 2x - 4$

✓ الدالة f متصلة على المجال $\left[1,\frac{3}{2}\right]$

✓ الدالة f قابلة للاشتقاق على المجال $\left[1,\frac{3}{2}\right]$

ليكن $x \in \left[1,\frac{3}{2}\right]$: $\quad f'(x) = \left(x^3+2x-4\right)' = 3x^2+2$

إذن : $f'(x) > 0 \quad \left(\forall x \in \left[1,\frac{3}{2}\right]\right)$

إذن الدالة f تزايدية قطعا على $\left[1,\frac{3}{2}\right]$

✓ $\begin{cases} f(1) = -1 \\ f\left(\frac{3}{2}\right) = \frac{19}{8} \end{cases} \Rightarrow f(1) \times f\left(\frac{3}{2}\right) < 0$

إذن حسب مبرهنة القيم الوسيطية بالوحدانية المعادلة $f(x) = 0$ تقبل حلا وحيدا في المجال $\left[1,\frac{3}{2}\right]$

تصحيح التمرين 5:

لنبين أن المعادلة $2x^3+7x-4=0$ تقبل حلا وحيدا α في المجال $\mathbb{R}$ و أن $\frac{1}{2} < \alpha < 1$

أولا : لنبين أن المعادلة $2x^3+7x-4=0$ تقبل حلا وحيدا α في المجال $\mathbb{R}$

نضع : $f : x \mapsto 2x^3+7x-4$

✓ الدالة f متصلة على $\mathbb{R}$

✓ الدالة f قابلة للاشتقاق على المجال $\mathbb{R}$

ليكن $x \in \mathbb{R}$: $\quad f'(x) = \left(2x^3+7x-4\right)' = 6x^2+7$

إذن : $f'(x)' > 0 \quad (\forall x \in \mathbb{R})$

إذن الدالة f تزايدية قطعا على $\mathbb{R}$

✓ لنحسب $f(\mathbb{R})$: $\quad f(\mathbb{R}) = f\left(\left]-\infty,+\infty\right[\right) = \left]\lim_{x\to-\infty} f(x), \lim_{x\to+\infty} f(x)\right[= \left]-\infty,+\infty\right[= \mathbb{R}$

إذن $0 \in f(\mathbb{R})$

و بالتالي المعادلة $f(x)=0$ تقبل حلا وحيدا α في المجال $\mathbb{R}$

ثانيا : لنبين أن $\frac{1}{2}<\alpha<1$

✓ الدالة f متصلة على $\left[\frac{1}{2},1\right]$

✓ $\begin{cases} f\left(\frac{1}{2}\right)=\frac{-1}{4} \\ f(1)=5 \end{cases} \Rightarrow f\left(\frac{1}{2}\right)\times f(1)<0$

إذن حسب مبرهنة القيم الوسيطية : $\frac{1}{2}<\alpha<1$

تصحيح التمرين 6:

نعتبر الدالة g المعرفة على $[a,b]$ بما يلي : $g(x)=f(x)-bx$

الدالة g متصلة على $[a,b]$ (كمجموع دالتين متصلتين على $[a,b]$: حسب المعطيات f دالة عددية متصلة على مجال $[a,b]$ و $x\mapsto -bx$ متصلة على $\mathbb{R}$ بالخصوص على $[a,b]$)

لدينا $g(a)=f(a)-ba$ و بما أن $f(a)<ab$ فإن $f(a)-ab<0$ و منه $g(a)<0$

لدينا $g(b)=f(b)-b^2$ و بما أن $f(b)>b^2$ فإن $f(b)-b^2>0$ و منه $g(b)>0$

إذن $g(a)\times g(b)<0$

و بالتالي حسب مبرهنة القيم الوسيطية : يوجد c من $[a,b]$ بحيث $g(c)=0$

و منه يوجد c من $[a,b]$ بحيث $f(c)-bc=0$

أي يوجد c من $[a,b]$ بحيث $f(c)=bc$

تصحيح التمرين 7:

1. نضع $f:x\mapsto 2x^3+x-1$

أولا : لنبين أن المعادلة $2x^3+x-1=0$ تقبل حلا وحيدا α في المجال $\mathbb{R}$

✓ الدالة f متصلة على $\mathbb{R}$

✓ الدالة f قابلة للاشتقاق على المجال $\mathbb{R}$

ليكن $x\in\mathbb{R}$: $f'(x)=(2x^3+x-1)'=6x^2+1$

إذن : $(\forall x\in\mathbb{R})\quad f'(x)'>0$

إذن الدالة f تزايدية قطعا على $\mathbb{R}$

✓ لنحسب $f\left(\mathbb{R}\right)$: $f\left(\mathbb{R}\right)=f\left(\left]-\infty,+\infty\right[\right)=\left]\lim_{x\to-\infty}f\left(x\right),\lim_{x\to+\infty}f\left(x\right)\right[=\left]-\infty,+\infty\right[=\mathbb{R}$ إذن $0\in f\left(\mathbb{R}\right)$

و بالتالي المعادلة $f\left(x\right)=0$ تقبل حلا وحيدا α في المجال $\mathbb{R}$

ثانيا : لنبين أن $0<\alpha<1$

✓ الدالة f متصلة على $[0,1]$

✓ $\begin{cases} f\left(0\right)=-1 \\ f\left(1\right)=2 \end{cases} \Rightarrow f\left(0\right)\times f\left(1\right)<0$

إذن حسب مبرهنة القيم الوسيطية : $0<\alpha<1$

2. لندرس إشارة الدالة f :

الحالة 1: إذا كان $x\leq\alpha$

لدينا الدالة f تزايدية قطعا على $\mathbb{R}$ إذن $f\left(x\right)\leq f\left(\alpha\right)$ و منه $f\left(x\right)\leq 0$

(α حل للمعادلة $f\left(x\right)=0$ إذن $f\left(\alpha\right)=0$)

الحالة 2: إذا كان $x\geq\alpha$

لدينا الدالة f تزايدية قطعا على $\mathbb{R}$ إذن $f\left(x\right)\geq f\left(\alpha\right)$ و منه $f\left(x\right)\geq 0$

تصحيح التمرين 8:

1. لدينا $g\left(0\right)=\sin\left(0\right)+2\cos\left(0\right)=\left(0\right)+2\times\left(1\right)=2$ إذن $g\left(0\right)>0$

لدينا $g\left(\frac{\pi}{2}\right)=\sin\left(\frac{\pi}{2}\right)+2\cos\left(\frac{\pi}{2}\right)=\left(1\right)+2\times\left(0\right)=1$ إذن $g\left(\frac{\pi}{2}\right)<1$

2. لنبين أن المعادلة $g\left(x\right)=x$ تقبل حلا على الأقل في المجال $\left[0,\frac{\pi}{2}\right]$

نعتبر الدالة h المعرفة على $\left[0,\frac{\pi}{2}\right]$ بما يلي : $h\left(x\right)=g\left(x\right)-x$

✓ الدالة h متصلة على $\left[0,\frac{\pi}{2}\right]$ (كمجموع دالتين متصلتين على $\left[0,\frac{\pi}{2}\right]$)

✓ $\begin{cases} h\left(0\right)=g\left(0\right)>0 \\ h\left(\frac{\pi}{2}\right)=g\left(\frac{\pi}{2}\right)-\frac{\pi}{2}<1-\frac{\pi}{2}<0 \end{cases} \Rightarrow h\left(0\right)\times h\left(\frac{\pi}{2}\right)<0$

إذن حسب مبرهنة القيم الوسيطية : المعادلة $h\left(x\right)=0$ تقبل حلا على الأقل في المجال $\left[0,\frac{\pi}{2}\right]$

و منه المعادلة $g(x)=x$ تقبل حلا على الأقل في المجال $\left[0,\frac{\pi}{2}\right]$

تصحيح التمرين 9:

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

$$f\left(\frac{-1}{2}\right)=4\left(\frac{-1}{2}\right)^3-3\left(\frac{-1}{2}\right)-\frac{1}{2}=4\left(\frac{-1}{8}\right)+\frac{3}{2}-\frac{1}{2}=\frac{-1}{2}+\frac{3}{2}-\frac{1}{2}=\frac{1}{2}$$

$$f(0)=4(0)^3-3(0)-\frac{1}{2}=-\frac{1}{2}$$

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

2)

- الدالة f متصلة على $\left[-1,-\frac{1}{2}\right]$ و $f(-1)\times f\left(\frac{-1}{2}\right)<0$ إذن حسب مبرهنة القيم الوسيطية المعادلة $f(x)=0$ تقبل حلا على الأقل في $\left[-1,-\frac{1}{2}\right]$
- الدالة f متصلة على $\left[-\frac{1}{2},0\right]$ و $f\left(\frac{-1}{2}\right)\times f(0)<0$ إذن حسب مبرهنة القيم الوسيطية المعادلة $f(x)=0$ تقبل حلا على الأقل في $\left[-\frac{1}{2},0\right]$
- الدالة f متصلة على $[0,1]$ و $f(0)\times f(1)<0$ إذن حسب مبرهنة القيم الوسيطية المعادلة $f(x)=0$ تقبل حلا على الأقل في $[0,1]$

❖ <u>خلاصة :</u> المعادلة $f(x)=0$ تقبل على الأقل ثلاثة حلول في المجال $[-1;1]$

تصحيح التمرين 10:

نعتبر الدالة g المعرفة على $[a,b]$ بما يلي : $g(x)=f(x)-x$

- ✓ الدالة g <u>متصلة</u> على $[a,b]$ (كمجموع دالتين متصلتين على $[a,b]$)
- ✓ بما أن f دالة معرفة من $[a;b]$ نحو $[a;b]$ فإن $f(a)\in[a;b]$ و $f(b)\in[a;b]$

و منه $a\leq f(a)$ و $f(b)\leq b$ أي $f(a)-a\geq 0$ و $f(b)-b\leq 0$ إذن $g(a)\geq 0$ و $g(b)\leq 0$

و بالتالي : <u>$g(a)\times g(b)\leq 0$</u>

إذن حسب مبرهنة القيم الوسيطية : المعادلة $g(x)=0$ تقبل حلا على الأقل في المجال $[a;b]$
و بالتالي : المعادلة $f(x)=x$ تقبل حلا على الأقل في المجال $[a;b]$.

つづく