# الباب الأول

# نظرية المعادلات

# Theory of equations

**مقدمة :**

درسنا في السابق حل المعادلات من الدرجة الأولى والثانية. المعادلة من الدرجة الأولى في الصورة:

**Ax+b = o**

ويكون الحل في الصورة:

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

وبالنسبة للمعادلة من الدرجة الثانية:

$$ax^2 + bx + c = 0$$

فيكون الحل طبقا للقانون:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

وهنا سوف ندرس طرق حل المعادلات من الدرجة الثالثة والرابعة.

## Definitions : تعاريف

### (1) جذر المعادلة:

هو قيم المتغير x التي تجعل قيمة الدالة مساوية للصفر. فمثلا يقال للعدد a جذرا للمعادلة F(x)=0 إذا كان F(a)=0.

### (2) دالة كثيرة الحدود:

$$F(x) = a_0 x^n + a_1 x^{n-1} + \ldots + a_{n-1} x + a_n \qquad (1)$$

الدالة (1) تسمى دالة كثيـرة الحـدود **Polynomial** أو دالـة جذرية صحيحة في x من الدرجة n ، حيث n عدد صـحيح موجـب، $a_0 \neq 0$

وإذا كان x=a هو جذر للمعادلة فيكون (x-a) هو أحد عوامل كثيرة الحدود.

**(3) إذا كانت الدالة F(x)** من الدرجـة **n** وكانـت a جـذرا للمعادلة ومكرر **k** من المرات فإن **a** تسمى صفرا لكثيـرة الحدود، ويكون في هذه الحالة

$$F(a) = F'(a) = F''(a) = \ldots\ldots\ldots\ldots = F^{k-1}(a) = 0$$

## Theory of remainder : نظريةالباقي

إذا قسمت كثيرة الحدود F(x) على القيمة (x-a) فإن نظرية البـاقي هي: R=F(a)

**البرهان:**

إذا افترضنا أن Q(x) هو خارج قسمة F(x) على (x-a) وأن R هي الباقي أي أن:

$$F(x) = (x-a)Q(x) + R$$

بوضع x=a في كلا الطرفين نحصل على:

**F(a)=R**

## طريقة هورنر للقسمة التركيبية

هي طريقة للقسمة تستخدم كبديل عن القسمة المطولة والتي نقسم فيها كثيرة حدود على معادلة من الدرجة الأولى أو معادلة من الدرجة الثانية قابلة للتحليل وهي تعتمد على النظرية التي تنص على

**F(x) = (x – a) Q(x) + R (1)**

حيث إننا إذا أردنا قسمة كثيرة الحدود F(x) على (x-a) فإننا نكتب معاملات F(x) بالترتيب، والتي ليست موجودة يكتب مكانها (0) ثم نقوم بكتابة a في الطرف الآخر

ويكون

$$a\overline{)a_n \ldots a_{n-1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots a_0}$$

$$\ldots\ldots a_n a \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$a_n \ldots (a_{n-1} + a_n a_0) \ldots\ldots\ldots + R$$

الناتج هو معادلة أقل منها بدرجة

**مثال1:**

أوجد خارج قسمة المقدار

$$f(x) = 2x^3 - 7x^2 + 7x - 2$$

على(x+1) .

**الحل:**

$(x + 1) = [x - ( -1)]$

أولا نقوم بكتابة المعاملات ونجري عملية القسمة

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 2 | -7 | 7 | -2 |
| -1 | | -2 | 9 | -16 |
| | 2 | -9 | 16 | **R** = -18 |

فيكون الباقي هو **R = -18**

ويكون خارج القسمة هو:

$$\mathbf{Q(x)= 2x^2 - 9x + 16}$$

**مثال2:**

أوجد خارج قسمة

$$f(x) = 2x^3 - 7x^2 + 7x - 2$$

على (x-2) .

**الحل:**

$(x - 2) = [x - (+2)]$

أولا نقوم بكتابة المعاملات ونجري عملية القسمة

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 2 | -7 | 7 | -2 |
| 2 | | | | |
| | | 4 | -6 | 2 |
| | 2 | -3 | 1 | R= 0 |

فيكون الباقي هو: **R = 0**

ويكون خارج القسمة هو:

$$\mathbf{Q(x)= 2x^2 - 3x + 1}$$

## القسمة على المقدار(ax-b):

الدالة F(x) يمكن كتابتها على الصورة:

$$\mathbf{F(x) = (ax - b)\, Q(x) + R}$$
$$\mathbf{= a(x-b/a)Q(x)+R}$$

**مثال3:**

أوجد خارج قسمة المقدار

$$f(x) = x^4 - 3x^3 + 4x^2 + x + 5$$

على $(2x - 1) = 2[x - (1/2)]$

**الحل:**

من الواضح أن $a=2$ ، $b=1$ أي أن

$b/a = 1/2$

أولا: نقوم بكتابة المعاملات ونجري عملية القسمة

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| (1/2) | 1 | -3 | 4 | 1 | 5 |
| | | (1/2) | -(5/4) | (11/8) | (19/16) |
| | 1 | -(5/2) | (11/4) | (19/8) | R= (99/16) |

ويكون الباقي هو: **$R = (99/16)$**

وخارج القسمة هو:

$$\mathbf{Q(x) = \tfrac{1}{2}\left[x^3 - (5/2)x^2 + (11/4)x + (19/8)\right]}$$

## القسمة على المقدار $(x-a)(x-b)$.

**مثال4:** أوجد خارج قسمة المقدار

$$f(x) = 3x^3 - 4x^2 + 2x + 6$$

على $(x + 1)(x - 1)$

**الحل:** أولا: نقوم بكتابة المعاملات ونجري عملية القسمة على أحد القوسين ثم نكرر نفس العملية على القوس الآخر.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 3 | -4 | 2 | 6 |
| 1 | | | | |
| | | 3 | -1 | 1 |
| | 3 | -1 | 1 | $7 = R_1$ |
| -1 | | | | |
| | | -3 | +4 | |
| | 3 | -4 | $5 = R_2$ | |

ويكون للدالة خارج القسمة **$Q_1(x) = 3x - 4$**

والباقي في هذه الحالة معادلة من الدرجة الأولى الشكل العام لها هو

**$R = R_2(X-a) + R_1$**

بمعنى أن

$R = 5(x-1) +7=5x -5+7= 5x+2$

**مثال5:** أوجد خارج قسمة المقدار

$$f(x) = x^5 - 5x^4 + 9x^3 + 6x + 13$$

على $$x^2 - 3x + 2 = (x-2)(x-1)$$

**الحل:**

أولا: نقوم بكتابة المعاملات ونجري عملية القسمة على أحد القوسين ثم نكرر نفس العملية على القوس الآخر.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | –5 | 9 | 0 | 6 | 13 |
| 2 | | 2 | -6 | 6 | 12 | 36 |
| | 1 | -3 | 3 | 6 | 18 | $49 = R_1$ |
| 1 | | 1 | -2 | 1 | 7 | |
| | 1 | -2 | 1 | 7 | $25 = R_2$ | |

تكون للدالة خارج القسمة

$$Q(x) = X^3 - 2X^2 + X + 7$$

ويكون الباقي في هذه الحالة معادلة من الدرجة الأولى الشكل العام لهـا هو:

$$R = R_2(X-a) + R_1$$

بمعنى أن

$$R = 25(X-2) + 49$$

❋ ❋ ❋

# تمارين

استخدم طريقة هورنر للقسمة لإيجاد خارج القسمة والباقي للدوال الآتية:

1) $f(x) = 3x^6 - 7x^5 + 5x^4 - x^2 - 6x - 8$

على $(x + 2)$

2) $f(x) = 5x^5 - 7x^3 + 6x^2 - 2x + 4$,

على $(x - 1)$

3) $f(x) = x^5 - 5x^4 + 9x^3 - 6x^2 - 16x + 13$

على $(x^2 - 3x + 2)$

4) $f(x) = 3x^4 - 2x^3 + 5x^2 + 4x - 3$

على $(2x + 3)$

5) $f(x) = 5x^4 - 3x^3 - 2x^2 - 3x + 1$

على $(x - 2)(2x-3)$

❉ ❉ ❉

# خواص كثيرة الحدود

# Polynomial properties

**الخاصية الأولى:**

## العلاقة بين معاملات كثيرة الحدود وجذورها

إذا كانت هناك كثيرة حدود من الدرجة n على الصورة

$$F(x) = a_0 x^n + a_1 x^{n-1} + ...... + a_n x^0,$$

وكانت $x_1,.....,x_n$ هي جذور كثيرة الحدود.

والآن سوف نذكر بعض هذه العلاقات بين هـذه الجـذور والمعـاملات $a_0, a_1, ..., a_n$

(1) إذا كانت F(x) من درجة n فإن لها عدد n من الجذور بالتحديـد وليس ضروريا أن تكون هذه الجذور مختلفة.

(2) إذا كانت جميع معاملات كثيرة الحدود F(x) حقيقية فإن الجـذور التخيلية (إن وجدت ) يجب أن تكون مقترنة

بمعنى أنه إذا كان (a+ib) جذرا للمعادلة فان المرافق (a-ib) يجب أن يكون أيضا جذرا من جذور المعادلة.

(3) إذا كانت $x_0, x_1, ..., x_n$ هي جذور المعادلة فإن:

$$1)\quad \sum_{i=1}^{n} x_i = x_1 + .......... + x_n = \frac{-a_1}{a_0}$$

$$2)\ \sum_{i,j=1}^{n} x_i x_j = x_1x_2 + x_1x_3 + \ldots = \frac{a_2}{a_0}$$

$$\sum_{i,j,k=1}^{n} x_i x_j x_k = x_1x_2x_3 + x_1x_2x_4 + \ldots = \frac{-a_3}{a_0}$$

.

.

3) .

$$x_1x_2x_3\ldots x_n = (-1)^n \frac{a_n}{a_0}.$$

**مثال 1:** في المعادلة من الدرجة الثالثة:

$$a_0x^3 + a_1x^2 + a_2x + a_3 = 0$$

إذا كانت $x_1, x_2, x_3$ جذورا للمعادلة فإن:

1) $x_1 + x_2 + x_3 = -\frac{a_1}{a_0}$

2) $x_1x_2 + x_1x_3 + x_2x_3 = \frac{a_2}{a_0}$

3) $x_1x_2x_3 = -\frac{a_3}{a_0}$

**مثال 2:**

إذا كانت $x_1, x_2, x_3$ هي جذور المعادلة

$x^3 - 2x + 1 = 0$ ... (I)

فاثبت أن:

$$1)\ x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 = 4$$

$$2)\quad x_1^3 + x_2^3 + x_3^3 = -3$$

$$3)\ x_1^4 + x_2^4 + x_3^4 = 8$$

**الحل :** من الخاصية الأولى السابقة يكون

$$a_0 = 1, a_1 = 0, a_2 = -2, a_3 = 1$$

وبالتالي

$$a)\ x_1 + x_2 + x_3 = -\frac{a_1}{a_0} = 0$$

$$b)\ x_1x_2 + x_1x_3 + x_2x_3 = -2$$

$$c)\ x_1x_2x_3 = 1 \Rightarrow \text{From a), b), c)} \Rightarrow$$

$$x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 = (x_1 + x_2 + x_3)^2 - 2(x_1x_2 + x_1x_3 + x_2x_3)$$
$$= 0 - 2(-2) = 4$$

(2) بما أن الثلاثة جذور $x_1, x_2, x_3$ هي جذور للمعادلة (I)

$$x_1^3 - 2x_1 + 1 = 0,$$
$$x_2^3 - 2x_2 + 1 = 0,$$
$$x_3^3 - 2x_3 + 1 = 0$$

بجمع الثلاث معادلات ينتج أن

$$(x_1^3 + x_2^3 + x_3^3) - 2(x_1 + x_2 + x_3) + 3 = 0.$$
$$\Rightarrow (x_1^3 + x_2^3 + x_3^3) - 2(0) + 3 = 0,$$
$$(x_1^3 + x_2^3 + x_3^3) = -3$$

(3) بما أن الثلاثة جذورهي جذور للمعادلة فلابد أن يحققوها

وبالضرب في x

$$x_1^4 - 2x_1^2 + x_1 = x_2^4 - 2x_2^2 + x_2$$
$$= x_3^4 - 2x_3^2 + x_3$$
$$= 0$$

بجمع الثلاث معادلات ينتج أن

$$(x_1^4 + x_2^4 + x_3^4) - 2(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2) + (x_1 + x_2 + x_3) = 0$$
$$\Rightarrow (x_1^4 + x_2^4 + x_3^4) - 2(4) + (0) = 0$$
$$(x_1^4 + x_2^4 + x_3^4) = 8.$$

**ملاحظة:**

إذا اختلفت إشارتي F(b),F(a) فإن أحد جذور المعادلة F(x)=0 يقع بين a,b.

**تعريف:**

إذا كانت كثيرة الحدود مرتبة ترتيبا تنازليا حسب قوى x وكـان فيهـا حدين متتاليين مختلفين في الإشارة فإننا نقول: إن كثيرة الحدود تحتـوي على تغير واحد في الإشارة.

## الخاصية الثانية:

# قاعدة ديكارت للإشارات

# Descart`s Rule of signs

المعادلة F(X) ليس لها جذور موجبة حقيقية أكثر من عدد التغيرات في إشارة كثيرة الحدود ويكون عدد الجذور الموجبة مساوي لعدد التغيـرات في الإشارة أو أقل منه بمقدار زوجي.

كما أن عدد الجذور الحقيقية السالبة لا تزيد عن عدد التغيرات في إشارة الدالة F(-x) .

**مثال:**

حدد إشارات جذور المعادلة

$$f(x) = 2x^5 - 4x^4 - 9x - 2$$

**الحل :**

بما أن الدالة F(x) بها تغير واحد في الإشارات فإن F(x)=0 يكون لها جذر موجب واحد على الأكثر وبما أن

$$F(-x) = -2x^5 - 4x^4 + 9x - 2$$

بها تغيران في الإشارة فتكون الدالة لها على الأكثـر جـذران سـالبان والجذران الآخران لابد وأن يكونا تخيليان على الأقل أو يكون لها أربعة جذور تخيلية وليس لها جذور سالبة على الإطلاق.

## الخاصية الثالثة:

# تحويل المعادلات

نحتاج في بعض الأحيان إلى تحويل معادلة إلى أخرى وتـربط جـذور المعادلتان علاقة معا.

أ- تكوين معادلة جذورها مكبرة k مرة لجذور معادلة معلومة :

يتم ذلك بضرب المعاملات لكثيرة الحدود الأصلية F(x)

في قوى k المختلفة تبعا للقاعدة التالية:

$$F(x) = a_0x^n + a_1x^{n-1} + ..... + a_n,$$

فتكون المعادلة التي جذورها تساوي k مرة من هذه المعادلة:

$$g(x) = a_0x^n + a_1kx^{n-1} + a_2k^2x^{n-2} ... + a_nk^n.$$

**مثال:**

كون المعادلة التي جذورها عشر مرات جذور المعادلة:

$a)\qquad 2x^3 - 4x^2 + 3x - 5 = 0$

$b)\qquad 5x^4 - 3x + 8 = 0$

**الحل:**

$a)\qquad 2x^3 - 40x^2 + 300x - 5000$

$b)\qquad 5x^4 - 3000x + 80000 = 0$

# تكبير (تصغير) جذر المعادلة

هو تكوين معادلة أخرى تزيد أو تنقص جذورها بمقدار معين وذلك يـتم

تبعا لما سيوضح بالأمثلة الآتية:

## أمثلة :

**مثال1:** أوجد المعادلة التي تزيد جذورها بمقدار "2" عن جذور المعادلة

$$f(x) = x^4 + 6x^3 + 12x^2 + 11x + 1$$

**الحل:**

نقوم بقسمة الدالة على $(x+2) = [x - (-2)]$ ولكن نستمر حتى النهاية

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| -2 | 1 | 6 | 12 | 11 | 1 |
| | | -2 | -8 | -8 | -6 |
| | 1 | 4 | 4 | 3 | $R_1=-5$ |
| | | -2 | -4 | 0 | |
| | 1 | 2 | 0 | $3=R_2$ | |
| | | -2 | 0 | | |
| | 1 | 0 | $0=R_3$ | | |
| | | -2 | | | |
| | 1 | $-2=R_4$ | | | |
| | $1=Q_n$ | | | | |

حيث $Q_n$ تأخذ الشكل:

$$g(y) = Q_n(y).y^n + R_n.y^{n-1} ... + R_1$$

فتكون المعادلة الجديدة التي تزيد جذورها بمقدار 2 هي:

$$g(y) = y^4 - 2y^3 + 3y - 5$$

$$put \qquad y = x + 2 \Rightarrow F(x) = (x+2)^4 - 2(x+2)^3 + 3(x+2) - 5$$

**مثال2:** أوجد المعادلة التي تنقص جـذورها بمقـدار "2" عـن جـذور المعادلة : $f(x) = 2x^4 - 3x^3 + 4x^2 - 5x + 6$

**الحل:** نقوم بقسمة الدالة على (x-2) ولكن نستمر حتى النهاية

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | -3 | 4 | -5 | 6 |
| 2 | | | | | |
| | | 4 | 2 | 12 | 14 |
| | 2 | 1 | 6 | 7 | $20=R_1$ |
| | | 4 | 10 | 32 | |
| | 2 | 5 | 16 | $39=R_2$ | |
| | | 4 | 18 | | |
| | 2 | 9 | $34=R_3$ | | |
| | | 4 | | | |
| | 2 | $13=R_4$ | | | |

$2=Q_n$

تكون المعادلة الجديدة التي تنقص جذورها بمقدار 2 هي

$$g(y) = 2y^4 + 13y^3 + 34y^2 + 39y + 20$$

وبوضع

$y = (x-2) \rightarrow$

$$F(x)=2(x-2)^4+13(x-2)^3+34(x-2)^2+$$
$$+39(x-2)+20=0$$

## الحلول التقريبية للمعادلات

## Approximate solutions of equations

هي عبارة عن طرق لإيجاد حلول تقريبية للمعادلات تكون قريبة من الحل الأساسي ولكنها لاتساويه وتستخدم في المعادلات التي يصعب الحصول منها على الحل الأساسي، وهناك ثلاث طرق:

1) طريقة نيوتن.

2) طريقة هورنر.

3) طريقة الوضع الزائف.

## طريقة نيوتن

## Newton`s Method

هذه الطريقة يستخدم فيها التكرار **(iteration)** لحل المعادلة **F(x)=0** حيث F(x) لابد وأن يكون لها المشتقة الأولى F`(x). هذه الطريقة مشهورة جدا لأنها سهلة الاستعمال وتعطي حلول تقريبية جيدة.

**تعتمد هذه الطريقة على الخطوات الآتية:**

إذا أعطيت الدالة **F(x)** التي لها **مشتقاتها التفاضلية** وأيضا أعطيت

نقطة البداية $x_0$ فيكون **التقريب الأول** هو$x_1$ حيث :

$$x_1 = x_0 - \frac{F(x_0)}{F'(x_0)}$$

وبالتالي التقريب رقم n+1 هو:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{F(x_n)}{F'(x_n)} \qquad (1)$$

ومن الواضح أنه لابد من وجود نقطة للبداية $x_0$ وتعين إما بفرض أي: نقطة أو بتعيين فترة يوجد بها الجذر الحقيقي ولتكن [a, b] ثم نعين

قيمة النقطة $x_0 = \frac{b+a}{2}$

نتوقف عن تعيين القيم التقريبية إذا وجدنا أن هناك جذران الفرق بيـنهم بسيط جدا أو يتحدد في المسألة عدد المرات عدد المرات المطلوب إيجاد التقريب لها.

**مثال:**

استخدم طريقة نيوتن لتعيين حلول تقريبية للمعادلة التالية

$$F(x) = x^3 + x - 1$$

**الحل:** باستخدام طريقة نيوتن للحل يكون القانون العام للحل هو:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{F(x_n)}{F'(x_n)} = x_n - \frac{x_n^3 + x_n - 1}{3x_n^2 + 1}$$

ولكن المشكلة هنا أنه لا توجد نقطة بداية فنقوم بتعين فترة يقع بها الجذر وهي الفترة [0, 2]

**ملاحظة:** يوجد أكثر من فترة ولك الاختيار، المهم أن نقطة البداية هي النقطة التي تتوسط تلك الفترة وهي $x_0 = 1$

وبوضع $n=0$

$$\therefore x_1 = x_0 - \frac{x_0^3 + x_0 - 1}{3x_0^2 + 1} = 1 - \frac{1+1-1}{3+1} = 0.75,$$

$$x_2 = 0.75 - \frac{0.1718}{2.6875}$$
$$= 0.686047$$

$$x_3 = 0.686047 - \frac{\cdots}{\cdot\cdot}$$
$$= 0.68234$$
$$x_4 = 0.6823278$$

يتضح من النتائج أن $x_4$ هي الحل لأن الفرق بينها وبين $x_3$ أقـل مـا يمكن، أي أن: $x_3 - x_4 = [(1.177865).(10)]^{-5} \rightarrow 0$

* * *

# طريقة هورنر

# Horner`s Method

فى بعض الأحيان لا نستطيع أن نوجد جذور المعادلة تحليليا ومن ثم فمن الطبيعي أن نستخدم طريقة تقريبية لإيجاد هذه الجذور عدديا. ومن هـذه الطرق **طريقة هورنر**.

أولا نبدأ باستخدام قاعدة الإشارات والعلاقات بين الجذور لتعيين نقطـة الانطلاق التي سنقوم بقسمة المعادلة عليها وذلك لتعيين المعادلـة التـي تنقص جذورها بهذا المقدار ونعين حل هذه المعادلة الجديدة وذلك بحذف القيم الكبيرة ونكرر العملية هذه أكثر من مرة ثم نقوم بجمع هذه الزيادات كلها.

**مثال:** استخدم طريقة هورنر لتعيين حلول تقريبية للمعادلة

$$f(x) = x^4 - 12x^2 + 12x - 3 = 0$$

الواقع بين $(2,3)$.

**الحل:** باستخدام طريقة هورنر حيث إن **f (3) = 6**

وأيضا **f(2) = 16-48+24-3= -11**

فنتيجة لتغير الإشارة يعني أن أحد جذور المعادلة يقع في تلـك الفتـرة وبالتالي تكون الفترة المناسبة لبداية الحل. وطريقة هورنر تتلخص فـي خطوات ثلاث.

(1) نحصل على معادلة تنقص جذورها بمقدار "2" وذلك كما يلي:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 0 | -12 | 12 | -3 |
| 2 | | | | | |
| | | 2 | 4 | -16 | -8 |
| | 1 | 2 | -8 | -4 | $-11=R_1$ |
| | | 2 | 8 | 0 | |
| | 1 | 4 | 0 | $-4=R_2$ | |
| | | 2 | 12 | | |
| | 1 | 6 | $12=R_3$ | | |
| | | 2 | | | |
| | 1 | $8=R_4$ | | | |
| | 1 | | | | |

تكون المعادلة الجديدة التي تنقص جذورها بمقدار 2 هي

$$g(y) = y^4 + 8y^3 + 12y^2 - 4y - 11 = 0$$

ولتحويل الحسابات إلى التعامل مع أرقام صحيحة نضرب جذور المعادلة (1) في العدد 10 لنحصل على

$$y^4 + 80y^3 + 1200y^2 - 4000y - 110000 = 0 \quad (2)$$

جذورها تقع في الفترة (0,10) بإهمال الحدين الأولين في المعادلـة (2) نجد أن لها جذر موجب وحيد يقع في الفترة (8,9) وبذلك يكون الـرقم العشري الأول في جذر المعادلة الأصلية هو (0.8) .

نعمل على إنقاص جذر المعادلة (2) بمقدار 8 نحصل على

$$z^4 - 112z^3 + 350z^2 + 32608z - 21044 = 0 \qquad (3)$$

جذورها تقع بين (0,1) ثم نضرب الجذر في العدد 10 نحصل على

$$z^4 - 1120z^3 + 35000z^2 + 32608000z - 210440000 = 0 \qquad (4)$$

نلاحظ أن الحدين الآخرين في معادلة (4) هما اللذان يؤثران علـى قيمة الجذر ولذلك نهمل الحدود الأخرى عند التجربة في تعين الفترة التي تقع فيها الجذور ومن ثم نرى أن المعادلة (4) لها جذر يقع فـي الفترة (6,7) وبالتالي فإن الجذر الموجب للمعادلة الأصلية لـ رقمين عشريين هو $x = 2.86$

**طريقة أخرى لشرح الخطوة السابقة:**

بإهمال الحدين الأولين في المعادلة (2) نجد أن لها جذر موجب وحيد يقع في الفترة (8,9) وبذلك يكون الرقم العشري الأول فـي جـذر المعادلة الأصلية هو (0.8) . نعمل على إنقاص جذر المعادلـة (2) بمقدار 8 نحصل على

$$g(y) = y^4 + 8y^3 + 12y^2 - 4y - 11 = 0$$

الكبيرة ينتج أن $12y^2 - 4y - 11$

1) ومنها نستطيع إيجاد قيمتين لـ y من خلال القانون العام وهمـا 0.805,1.13-. نعوض في المعادلة ونختار القيمة التي تعطي أقل قيمة ونكون المعادلة التي ينقص جذورها بمقدار القيمة المطلقـة

0.8 تقريبيا لأقرب رقم عشري.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.8 | 1 | 8 | 12 | -4 | -11 |
| | | 0.8 | 7.04 | 15.232 | 8.9856 |
| | 1 | 8.8 | 19.04 | 11.232 | -2.0144 |
| | | 0.8 | 7.68 | 21.376 | |
| | 1 | 9.6 | 26.72 | 32.608 | |
| | | 0.8 | 8.32 | | |
| | 1 | 10.4 | 35.04 | | |
| | | 0.8 | | | |
| | 1 | 11.2 | | | |
| | 1 | | | | |

فتكون المعادلة التي تنقص جذورها بمقدار 0.8 عن المعادلة g(y)

هي: $h(z) = z^4 + 9.6z^3 + 31.16z^2 + 29.5z - 2.8336$

بإزالة الحدود الكبيرة وإيجاد جذور المعادلة

$$z = 0.058 \quad or \quad z = -0.9887$$

وبالتعويض عن قيم z في المعادلة ونأخذ القيمة التي تعطي أقل ناتج

$$\therefore z =\cong 0.06$$

2) بنفس الطريقة نقوم بإزالة الحدود الكبيرة وإيجاد الحل لأقرب رقم مئوي ويكون 0.06 ويكون الحل النهائي هو

$$x = 2 + 0.8 + 0.06 + 2.86$$

وهو الحل التقريبي الذي حصلنا عليه.

# طريقة الوضع الزائف

# Method of false position

تتلخص تلك الطريقة في أنه إذا كانت F(x) دالة مستمرة فـي الفتـرة $\left[a_n , b_n\right]$ وتحقق الشرط:

$$F(a_0).F(b_0) < 0$$

(أي أن إشارتي $F(a_0), F(b_0)$ مختلفتين) فإن الحل التقريبي **بطريقة التكرار(iteration) هو:**

$$C = \frac{a_n F(b_n) - b_n F(a_n)}{F(b_n) - F(a_n)}$$

وبعد حساب القيمة C يبقى أمامنا ثلاث خيارات:

(1) إذا كانت F(C)=0 فتكون القيمة C هي الجذر المطلوب.

(2) أما إذا كانت $F(a_n).F(C) < 0$

نضع $a_{n+1} = a_n , \qquad b_{n+1} = c$

(3) ماعدا ذلك نضع

$$a_{n+1} = C, \qquad b_{n+1} = b_n$$

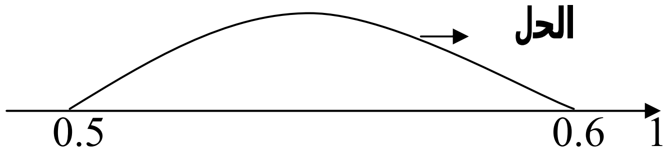
**مثال:** استخدم طريقة الوضع الزائف لتعيين حلول تقريبية للمعادلة:

$$F(x) = x^2 + x - 1 = 0$$

القريب من النقطة x=1.

**الحل:** باستخدام طريقة الوضع الزائف أولا نبحث عن فترة يكون بهـا الحل وذلك عن طريق إيجاد دوال بعض النقط حتى نحصل على نقطتين تتبادلان الإشارة مثل **f(1) = 1** **F(0.5) = - 0.25,**

إذن يمكن اختيار **$a_0$=0.5** , **$b_0$ =1**




فيكون الحل موجود في الفترة [1 , 0.5] وعلى ذلك نستطيع تعيين قيمة الـ $x_1$ والحل التقريبي الأول باستخدام القانون:

$$x_1 = \frac{a_0 F(b_0) - b_0 F(a_0)}{F(b_0) - F(a_0)} =$$

$$= \frac{0.5 \times 1 - 1 \times (-0.25)}{1 - (-0.25)} = C = 0.6$$

وبالتعويض في المعادلة الأصلية بالقيمة $x_1 = 0.6$ فنحصل على قيمـة دالة النقطة الجديدة F(0.6) = -0.04

وعلى ذلك يكون الحل يقع في الفترة [0.6,1] وبوضع

$a_{n+1}$=0.6, $b_{n+1}$=1

$$x_2 = \frac{(0.6).1 - (1)(0.04)}{1 + 0.04} = 0.615384615$$

ونكرر نفس القانون لكن بالنسبة للفترة الجديدة وهكذا حتى نتوقف نتيجة لتكرار جذران.

# تمارين

(1) أوجد الحل الحقيقي للمعادلات الآتية باستخدام طريقة الوضع الزائف

$(1) x^4 = 3,$

$(2) x^3 - 5x = 6,$

$(3) x^3 - 2x = 5.$

(2) باستخدام الثلاث طرق أوجد مجموعة الحلـول التقريبيـة لإيجـاد الجذور الحقيقية للمسائل التالية:

1) $f(x) = x^3 - 5x + 3$ 2) $f(x) = x^4 - x^3 - 2x - 34$

3) $f(x) = x^3 - 3.5x^2 + 4.79x - 1$ 4) $f(x) = x^3 - 2x + 5$

(3) استخدم طريقة هورنر للقسمة لإيجاد خارج القسمة والبـاقي عنـد قسمة:

$i) F(x) = 3x^6 - 7x^5 + 5x^4 - x^2 - 6x - 8$

على (x+2)

$ii) F(x) = 5x^5 - 7x^3 + 6x^2 - 2x + 4$

على (x-1)

$iii) F(x) = x^5 - 4x^4 + 9x^3 - 6x^2 - 16x + 13$

على $(x^2-3x+2)$

(4) إذا كانت $F(x) = 2x^3 - 8x^2 + 5$

أوجد g(x) التي تزيد عن جذور F(x) بمقـدار 2 وأيـضا h(x) التـي تنقص جذورها بمقدار 3 عن g(x).

(5) أوجد المعادلة التي تزيد جذورها بمقدار 2 عن جذور المعادلة:

$$F(x) = x^4 - 2x^3 - 3x^2 - 5x + 4$$

(6) باستخدام طريقة نيوتن ثلاث مرات أوجد الجذر الحقيقي لكل من

$$3x^3 + x^2 - 11x + 6 = 0, \qquad 2x^3 + 3x - 4 = 0.$$

❋ ❋ ❋

# المعادلات من الدرجة الثالثة

# Equations of third degree

# Kardan`s Method طريقة كاردان

أولا: معلوم الشكل العام للمعادلة من الدرجة الثالثة هو:

$$x^3 + b_1 x^2 + b_2 x + b_3 = 0$$

ولتطبيق طريقة كاردان لابد وأن يكون معامـل $x^2$ يـساوي الـصفر وللتخلص من هذا نتبع الآتى قبل إجراء الطريقة:

**نقوم بإجراء تعويضة وهي:**

$$x = y - \frac{b_1}{3}$$

وبذلك نحصل على معادلة خالية من الحد التربيعي ويكون شكلها العام:

$$y^3 + ay + b = 0$$

ثم نقوم بتطبيق الطريقة وهي تتلخص في ثلاث احتمالات للحـل تعتمـد على قيمة معينة اسمها المميز: $\Delta$

**الاحتمال الأول:** أن تكون قيمة المميز قيمة موجبة (أكبر من الصفر)

$$\Delta = \left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{3}\right)^3 \succ 0$$

في هذه الحالة يكون للمعادلة **جذر حقيقي وجذران تخيليـان مترافقـان**

ويمكن تعينهم عن طريق حل المعادلة $m^2 - bm - (\frac{a}{3})^3 = 0$

ثم نوجد الجذور $m_1, m_2$ ثم نعين القيم $l = (m_1)^{\frac{1}{3}}, n = (m_2)^{\frac{1}{3}}$

ومنها تكون الجذور الثلاث هي $\left(l + n, lw + nw^2, lw^2 + nw\right)$

## الاحتمال الثاني:

أن تكون قيمة المميز $\Delta$ تساوي الصفر $\Delta = \left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{3}\right)^3 = 0$

في هذه الحالة يكون للمعادلة **جذور حقيقية ومنها جـذران متـساويان**

ونعينهم عن طريق حل المعادلة $m^2 - bm - (\frac{a}{3})^3 = 0$

ثم نوجد الجذور $m_1 = m_2$ ثم نعين القيم $l = (m_1)^{\frac{1}{3}}$ ومنهـا تكـون الجذور الثلاث هي $(2l, -l, -l)$

**الاحتمال الثالث:** أن تكون قيمة المميز أقل من الصفر

$$\Delta = \left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{3}\right)^3 \prec 0$$

وفي هذه الحالة نعين الجذور من العلاقة

$$2r^{\frac{1}{3}} \cos\frac{\theta + 2\pi k}{3} ......., k = 0,1,2$$

حيث إن قيم المتغيرات هي

$$r^2 = -\left(\frac{a}{3}\right)^3, \qquad \cos\theta = -\frac{b}{2r}$$

# أمثلة :

**مثال1:** حل المعادلة

$$x^3 - 9x + 28 = 0$$

**الحـــل:** خالية من الحد التربيعي إذًا نبدأ الحل

عن طريق تعيين إشارة المميز حيث بالمقارنة مع المعادلة العامة:

$$x^3 + ax + bx = 0$$

نحصل على: a=-9, b=28

$$\Delta = \left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{3}\right)^3 = (14)^2 + (-3)^3 \succ 0$$

وعلى ذلك تكون المعادلة من الدرجة الثانية هي:

$$m^2 - 28m + 27 = 0$$

ويكـــون حلهـــا هـــو $m_1 = -1, m_2 = -27$ وعلـــى ذلـــك قيمـــة $l = -1, n = -3$

ومنها الجذور للمعادلة المعطاة هي:

$$l + n = -4, \Rightarrow \left(-4, -w - 3w^2, -w^2 - w\right)$$

$$\because w^2=-\frac{1}{2}-\frac{-\sqrt{3}}{2}i,\, w=-\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{3}}{2}i$$

**فإن الجذور هي:** **(-4, 2+3i ,2-3i )**

**مثال2:** حل المعادلة

$$x^3-15x^2-33x+847=0$$

**الحل:** أولا نلاحظ أن المعادلة تحتوي على حـد تربيعـي لابـد مـن التخلص منه قبل بداية الحل وذلك عن طريق التعويض

$$x=y-\frac{a_1}{3a_0}=y+5$$

وباستخدام التعويض المباشر أو أي طريقة أخرى

(هورنرللقسمة التركيبية)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 1 | -15 | -33 | 847 |
| | | 5 | -50 | -415 |
| | 1 | -10 | -83 | 432 |
| | | 5 | -25 | |
| | 1 | -5 | -108 | |
| | | 5 | | |
| | 1 | 0 | | |
| | 1 | | | |

نحصل على المعادلة الخالية من الحد التربيعي:

$$y^3 - 108y + 432 = 0 \qquad (3)$$

وبالمقارنة بالمعادلة:

$$y^3 + ay + b = 0$$

ويمكن إجراء الحل حيث $a = -108$ , $b = 432$

ومنها إيجاد قيمة المميز

$$\Delta = \left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{3}\right)^3 = (216)^2 + (-36)^3 = 0$$

وعلى ذلك نكون المعادلة هي:

$$\because m^2 - bm - (-a/3)^3 \Rightarrow$$

$$m^2 - 432m + (108/3)^2 = 0 \Rightarrow$$

$$m = \frac{432 \pm \sqrt{(432)^2 - 4(108/3)^3}}{2} = 216$$

وعلى ذلك قيمة

$$\therefore l = (b/2)^{1/3} = \sqrt[3]{216} = 6$$

ومنها الجذور للمعادلة (3) هي (6,6,-12) وتكون الجـذور الأصـلية للمعادلة هي:

(-7,11,11)

**مثال3**:

حل المعادلة $x^3 - 6x + 4 = 0$

**الحل**:

أولا المعادلة خالية من الحد التربيعي إذا نبدأ الحل عن طريـق تعيـين إشارة المميز حيث: a=-6, b=4

ومنه المميز:

$$\Delta = \left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{3}\right)^3 \prec 0$$

وعلى ذلك تكون طريقة الحل هي إيجاد

$$r = \sqrt{8} = 2\sqrt{2}, \qquad \cos\theta = \frac{-b}{2r} = \frac{-1}{\sqrt{2}},$$

$$\theta = \frac{3\pi}{4}$$

وتكون الجذور هي

$$2r^{\frac{1}{3}} \cos\frac{\frac{3\pi}{4} + 2\pi k}{3} = 2\sqrt{2}\cos\frac{3\pi + 8\pi k}{12},$$

$$k = 0,1,2. \Rightarrow$$

$$x_1 = 1.82, \qquad x_2 = -2.6, \qquad x_3 = 0.732.$$

إذن مجموعة الحل هي:

$$(1.82, \qquad -2.6, \qquad 0.732)$$

# المعادلات من الدرجة الرابعة

# Equations of fourth degree

## Ferrary Method طريقة فراري



الصورة العامة لمعادلة الدرجة الرابعة هي:

$$a_0x^4 + ax^3 + bx^2 + cx + d = 0 \qquad (1)$$

وتتلخص طريقة الحل فيما يلي:

**أولا:** نجعل معامل $x^4$ يساوي الواحد وذلك بالقسمة على $a_0$ ثم نكتب المعادلة على الصورة

$$x^4 + ax^3 = -bx^2 - cx - d$$

**ثانيا**: بطريقة إكمال المربع:

$$\left(x^2 + \frac{a}{2}x + l\right)^2 = \frac{a^2}{4}x^2 + l^2 + (2l)x + alx - bx^2 - cx - d,$$

$$\therefore \left(x^2 + \frac{a}{2}x + l\right)^2 = (\frac{a^2}{4} + 2l - b)x^2 + (al - c)x + l^2 - d$$

ثم نختار $l$ بحيث يكون الطرف الأيمن للمعادلة الأخيرة على الصورة:

$$(mx + n)^2$$

وتصبح المعادلة الأخيرة النهائية على الصورة:

$$\left(x^2+\frac{a}{2}x+l\right)^2=(mx+n)^2 \qquad (2)$$

وبذلك يكون

$$\begin{aligned} m^2 &= \frac{a^2}{4+2l-b}, \\ n^2 &= l^2-d, \qquad (3) \\ mn &= \frac{1}{2}(al-c) \end{aligned}$$

ومن (3) يكون:

$$(\frac{a^2}{4}+2l-b)(l^2-d)=\frac{1}{4}(al-c)^2$$

وهذه معادلة من الدرجة الثالثة في $l$ ونوجد أحد جذورها بأبسط الطرق الممكنة (طريقة التخمين) ونعوض بقيمته في (3) فنحصل على قيمتـي m,n ثم نعوض بقيمة m,n في (2) نحصل على معادلتين من الدرجـة الثانية

$$x^2+\frac{a}{2}+l=\pm(mx+n)$$

ومنها نحصل على الأربع جذور للمعادلة (1) وستوضح الطريقة كمـا في المثال التالي:

**مثال:**

حل المعادلة

$$x^4+4x^3-6x^2+20x+8=0....................(1)$$

**الحل:** $\because a=4,\quad b=-6,\quad c=20,\quad d=8$

أولا نكتب المعادلة (1) في الصورة

$$x^4+4x^3=6x^2-20x-8$$

وبعدها نكتب الطرف الأيسر في صورة إكمال مربع والبـاقي للطـرف الآخر:

$$\because\left(x^2+\frac{a}{2}x+l\right)^2=(\frac{a^2}{4}2l-b)x^2+(al-c)x+l^2-d$$

بمقارنة هذه المعادلة بالمعادلة الأصلية نحصل على

$$\left(x^2+2x+l\right)^2=(10+2l)x^2+(4l-20)x$$
$$+(l^2-8)=(mx+n)^2 \qquad (2)$$

وبتطبيق القاعدة

(معامل $x^2$)(الحد المطلق) = مربع (نصف معامل x)

وعلى ذلك يكون: $(10+2l)(l^2-8)=(2l-10)^2$

ومنها نحصل على المعادلة التكعيبية التالية:

$$l^3+3l^2+12l-90=0........................(3)$$

ويمكن إيجاد أحد جذور هذه المعادلة باستخدام التخمين فنجد أن : $l=3$ تحقق المعادلة (3) وأخيرا نجد أن:

$m^2 = 16$ , $n^2 = 1$ ,$mn = 4 \Rightarrow m = 4, n = -1,$

$$\Rightarrow \left(x^2+2x+3\right)^2 = (4x-1)^2 \Rightarrow \left(x^2+2x+3\right) = \pm(4x-1)$$

**أولا:**

$$\left(x^2+2x+3\right) = (4x-1)$$

ومنها المعادلة التربيعية الأولى هي

$$x^2 - 2x + 4$$

ويكون حلها $x = 1 \pm \sqrt{3}i$

والمعادلة الثانية هي

$$\left(x^2+2x+3\right) = -(4x-1)$$

وبالاختصار

$$x^2 + 6x + 2$$

وتكون جذورها هي $x = (-3 \pm \sqrt{7})$

وتكون الجذور الأربع هي

$.(1 \pm \sqrt{3}i), (-3 \pm \sqrt{7})$

❋ ❋ ❋

# تمارين

**حل المعادلات الآتية:**

$$1)x^3 - 18x - 35 = 0,$$

$$2)x^3 - 12x + 16 = 0,$$

$$3)x^3 + 6x^2 + 9x + 3 = 0,$$

$$4)x^4 + 6x^3 + 12x^2 14x + 3 = 0,$$

$$5)x^4 + 32x - 60 = 0,$$

$$6)x^3 - 12x - 16 = 0,$$

$$7)(x-3)(x-5)(x+6)(x+8) = 504,$$

$$8)x^3 - 12x - 9 = 0,$$

$$9)x^3 - 3x + 1 = 0$$

❋ ❋ ❋