



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة البصرة  
كلية التربية للعلوم الصرفة  
قسم الرياضيات



---

## حل المعادلات التفاضلية الاعتيادية بمتسلسلات القوى

---

مقدم إلى قسم الرياضيات كلية التربية للعلوم الصرفة جامعة البصرة  
وهو جزء من متطلبات نيل شهادة بكالوريوس علوم الرياضيات

من قبل الطالبة

منى

إشراف

م.د. مهند موسى عيسى

2025 - 2024

## الآية

قال تعالى

(يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ  
خَبِيرٌ)

صدق الله العلي العظيم

سورة المجادلة (11)

## الإهداء

إلى الكهف الحصين وغيث المضطر المستكين وملاذ المؤمنين ومنقذ العالمين حضرة جناب الموقر صاحب الزمان (عج).

إلى من بها أعلوا وعليها ارتكز ، إلى النبيوع الذي لا يمل من العطاء ، والدعاء المستجاب (والدتي العزيزة).

إلى والدي المبجل أطل الله في عمره وأمدّه بالصحة والعافية.

إلى خير سند (اخوتي واخواتي).

## شكر و تقدير

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيدنا محمد وآله الطيبين الطاهرين. يسرني أن أتقدم بالشكر

الجزيل و الثناء الجميل إلى د. مهند موسى عيسى كان له الأثر الطيب في إنجاز هذا البحث ولو لا ملاحظاته وإنجازه لما خرج البحث بالصورة النهائية فجزاه الله خير الجزاء.

وانتقدم بخالص شكري وتقديري لجميع أساتذتي في قسم الرياضيات - كلية التربية للعلوم الصرفة - جامعة البصرة بدون استثناء.

## المحتويات

1	المستخلص
2	مقدمة
	الفصل الأول : مفاهيم أساسية
4	1 - 1 المعادلة التفاضلية .....
4	2 - 1 رتبة المعادلة التفاضلية .....
5	3 - 1 درجة المعادلة التفاضلية .....
6	4 - 1 المعادلة التفاضلية الخطية .....
7	5 - 1 حل المعادلة التفاضلية .....
8	6 - 1 الحل العام و الحل الخاص .....
8	7 - 1 المتتابعات و المتسلسلات .....
10	8 - 1 بعض متسلسلات القوى للدوال .....
	الفصل الثاني : طريقة متسلسلات القوى لحل المعادلات التفاضلية
12	1 - 2 مقدمة .....
12	2 - 2 بعض الامثلة التطبيقية .....
18	الاستنتاجات
19	المراجع

## المستخلص

في هذا البحث سوف نقدم طريقة متسلسلات القوى لحل المعادلات التفاضلية الاعتيادية. حيث في الفصل الاول سوف نقدم اهم المفاهيم الاساسية في المعادلات التفاضلية الاعتيادية مثل تعريف المعادلة التفاضلية الاعتيادية و رتبة المعادلة و تعريف حل المعادلة ... وفي الفصل الثاني سوف نقدم بعض الامثلة لكيفية حل المعادلات التفاضلية الاعتيادية بإستخدام متسلسلات القوى.

## مقدمة

تُعَدُّ المعادلات التفاضلية الاعتيادية (ODEs) من الأدوات الأساسية في الرياضيات التطبيقية والعلوم الهندسية، حيث تُستخدم لنمذجة العديد من الظواهر الفيزيائية، والهندسية، والاقتصادية، والبيولوجية. فهي تصف العلاقات بين الدوال ومشتقاتها، مما يساعد في فهم كيفية تغير الأنظمة الديناميكية مع الزمن أو عبر متغيرات أخرى. وتبرز أهمية حل هذه المعادلات في مجالات متعددة مثل تحليل الدوائر الكهربائية، ميكانيكا الموائع، علم الفلك، ونظرية التحكم.

من بين الطرق المتاحة لحل المعادلات التفاضلية الاعتيادية، تأتي طريقة متسلسلات القوى كأداة فعالة، خاصة عندما لا يمكن إيجاد الحل بصيغة مغلقة باستخدام الطرق التحليلية التقليدية مثل طريقة الفصل أو عامل التكامل. تعتمد هذه الطريقة على تمثيل الحل كمتسلسلة قوى حول نقطة معينة، ثم تحديد معاملات هذه المتسلسلة من خلال التعويض في المعادلة التفاضلية.

تتميز طريقة متسلسلات القوى بأنها توفر حلولاً دقيقة في شكل موسّع يمكن استخدامه لإيجاد تقديرات عددية للحل، كما أنها تُعطي تمثيلاً للحل حتى في نقاط يصعب فيها استخدام طرق أخرى، مثل النقاط الشاذة العادية. وتُستخدم هذه الطريقة في حل المعادلات ذات المعاملات المتغيرة التي لا يمكن حلها بالطرق التقليدية، كما تُعد الأساس لطريقة فروبينياس التي تعالج الحالات التي تحتوي على نقاط شاذة مفردة.

في هذا السياق، سنتناول في هذا البحث منهجية حل المعادلات التفاضلية باستخدام متسلسلات القوى، بدءاً من التعريف بمفهوم المتسلسلات، مروراً بالخطوات العملية لتطبيق الطريقة، وانتهاءً ببعض التطبيقات المهمة التي تبرز فاعليتها.

# الفصل الأول

## مفاهيم أساسية



## 1 - 1 المعادلة التفاضلية [2]

هي علاقة بين المتغير المعتمد والمتغير المستقل (المتغيرات المستقلة) تدخل فيها المشتقات أو التفاضلات وتسمى المعادلة التفاضلية اعتيادية إذا كان المتغير المعتمد دالة في متغير مستقل واحد وبالتالي لا تحتوي إلا على مشتقات عادية. حيث الشكل العام لها

$$F(x, y', y'', y''', \dots, y^{(n)}) = 0$$

حيث  $y^{(n)} = \frac{d^n y}{dx^n}$  المشتقة من الرتبة  $n$  للمتغير  $y$  بالنسبة إلى  $x$ .

### مثال 1 - 1

ليكن  $x$  هو المتغير المستقل و  $y$  هو المتغير المعتمد. فالعلاقات التالية تمثل معادلات تفاضلية اعتيادية

$$\frac{dy}{dx} + y = 3 \sin x \quad (1)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{1}{x} \frac{dy}{dx} + y = 0 \quad (2)$$

## 2 - 1 رتبة المعادلة التفاضلية [2]

إذا كانت المشتقة النونية  $y^{(n)}$  هي أعلى مشتقة تظهر في المعادلة التفاضلية الاعتيادية قيل أن هذه المعادلة من الرتبة  $n$ .

### مثال 2 - 1

المعادلة (1) هي معادلة اعتيادية من الرتبة الأولى. أما المعادلة (2) هي معادلة تفاضلية اعتيادية من الرتبة الثانية.

## 3 - 1 درجة المعادلة التفاضلية [2]

هي الاس المرفوع إليها أعلى مشتقة تظهر في المعادلة التفاضلية ، وقبل تحديد درجة المعادلة التفاضلية يجب وضعها في أبسط صورة قياسية صحيحة من حيث المشتقات.

### مثال 1 - 3

المعادلة

$$\left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)^3 + x\left(\frac{dy}{dx}\right) + x^2y^3 = 0$$

هذه معادلة تفاضلية من الرتبة الثانية و الدرجة الثالثة. أما المعادلة

$$\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^3\right]^{1/2} + 3\left(\frac{d^2y}{dx^2}\right) + xy = 0$$

قبل تحديد درجة المعادلة يجب وضعها على صورة خالية من الجذور. بإجراء عمليات بسيطة نلاحظ أن

$$1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^3 = \left(3\frac{d^2y}{dx^2} + xy\right)^2$$

$$\Rightarrow 9\left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)^2 + 6xy\frac{d^2y}{dx^2} - \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + x^2y^2 - 1 = 0$$

وهذه معادلة تفاضلية من الرتبة الثانية ومن الدرجة الثانية

### 4 - 1 المعادلة التفاضلية الخطية [2]

هي المعادلة الخطية في المتغير المعتمد و مشتقاته جميعاً. الصورة العامة للمعادلة التفاضلية الخطية من الرتبة  $n$

$$p_n(x)y^{(n)} + p_{n-1}(x)y^{(n-1)} + \dots + p_1(x)y' + p_0(x)y = Q(x)$$

أو

$$\sum_{i=0}^n p_i(x)y^{(i)} = Q(x)$$

حيث المتغير المعتمد  $y$  و جميع مشتقاته مرفوعة إلى الاس واحد ولا توجد حواصل ضرب مشتركة في ما بينها ، و الدوال  $Q(x)$  و  $p_i(x)$  هي دوال للمتغير المستقل  $x$  خطية أم غير خطية لا تؤثر على خطية المعادلة التفاضلية.

### ملاحظة

من تعريف المعادلة التفاضلية الخطية يمكننا القول أي معادلة تفاضلية فيها المتغير المعتمد  $y$  أو أحد مشتقاته مرفوعة إلى أس غير الواحد أو وجدنا حاصل ضرب في ما بينها. سوف نطلق عليها معادلة تفاضلية غير خطية.

### مثال 1 - 4

لدينا المعادلة

$$x^2 y'' + xy' + y = \cos x$$

معادلة تفاضلية اعتيادية خطية. أما المعادلة

$$yy' + y'' = e^{3x}$$

هذه المعادلة التفاضلية غير خطية لوجود حاصل ضرب  $yy'$ . وأيضا لدينا

$$y' + x\sqrt[4]{y} = \cot x$$

وهذه كذلك ليست خطية فيها المتغير المعتمد  $y$  مرفوع إلى الأس  $1/4$  (غير الواحد).

### 1 - 5 حل المعادلة التفاضلية [5]

تسمى الدالة  $y = y(x)$  حلاً للمعادلة التفاضلية  $F(x, y, y', y'', \dots, y^{(n)})$  إذا كانت

1. قابلة للاشتقاق  $n$  من المرات

2. تحقق المعادلة التفاضلية أي أن  $F(x, y(x), y'(x), y''(x), \dots, y^{(n)}(x)) = 0$

### مثال 1 - 5

أثبت أن  $y(x) = c \sin x$  حلاً للمعادلة التفاضلية  $y'' + y = 0$  حيث  $c$  ثابت.

الحل

نشتق العلاقة ونقوم بتعويضها في المعادلة التفاضلية

$$y = c \sin x \Rightarrow y' = c \cos x \Rightarrow y'' = -c \sin x$$

الآن نعوض

$$y'' + y = -c \sin x + c \sin x = 0$$

□

## 6 - 1 الحل العام و الحل الخاص [5]

الحل العام للمعادلة التفاضلية من الرتبة  $n$  هو حل يحتوي على  $n$  من الثوابت الاختيارية وبالطبع يحقق المعادلة التفاضلية.

أما الحل الخاص هو أي حل يحقق المعادلة التفاضلية لا يشتمل على أي ثابت اختيارية وقد نحصل عليه أحيانا بالتعويض عن الثوابت الاختيارية في الحل العام بقيم محددة.

### مثال 6 - 1

الحل العام للمعادلة التفاضلية  $y''' - 5y'' + 6y' = 0$  يكون  $y(x) = c_1 + c_2 e^{2x} + c_3 e^{3x}$  حيث  $c_1, c_2, c_3$  ثوابت اختيارية.

ونجد أن بعض الحلول الخاصة على الصور

$$y = 3 + 5e^{2x}, \quad y = 5 - 2e^{3x}, \quad y = e^{2x} + e^{3x}$$

## 7 - 1 المتتابعات و المتسلسلات [3]

### تعريف 1 - 7 - 1

لنكن  $X$  مجموعة ما، نسمي متتابعة من  $X$ ، كل دالة  $u$  من  $\mathbb{N}$  إلى  $X$ ، نرمز لذلك بالرمز  $(u_n)$  حيث صورة العدد  $n$  بواسطة الدالة  $u$  ويسمى بالحد العام للمتتابعة  $(u_n)_{n \geq 0}$

### مثال

$$u : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$n \rightarrow u_n = 2n + 1$$

### تعريف 1 - 7 - 2

لتكن  $(u_n)$  متتابعة عددية، ان العبارة

$$u_1 + u_2 + \cdots + u_n + \cdots \quad (3)$$

تسمى متسلسلة عددية والاعداد  $u_1, u_2, \dots$  تسمى بحدود المتسلسلة. اما  $u_n$  يسمى بالحد العام للمتسلسلة. نعتبر المجاميع الجزئية

$$\begin{cases} S_1 = u_1 \\ S_2 = u_1 + u_2 \\ \vdots \\ S_n = u_1 + u_2 + \cdots + u_n \end{cases}$$

$(S_n)$  تسمى متتابعة المجاميع الجزئية. اذا كانت الغاية

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_n \quad (4)$$

موجودة و منتهية ، أي أن  $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = S$  فإننا نسميها مجموع المتسلسلة (3). ونكتب

$$S = \sum_{n=0}^{\infty} S_n \quad (5)$$

### تعريف 1 - 7 - 3

في الرياضيات، متسلسلة القوى (في متغير واحد) هي متسلسلة لانهاية تأخذ الشكل

$$\sum_{n=0}^{\infty} a_n(x - c)^n = a_0 + a_1(x - c) + a_2(x - c)^2 + \cdots \quad (6)$$

حيث  $c$  يسمى مركز المتسلسلة، في الكثير من الحالات المركز يساوي صفراً  $c = 0$  وفي هذه الحالة نسمي المتسلسلة بمتسلسلة ماكلورين وتأخذ الشكل

$$\sum_{n=0}^{\infty} a_n x^n = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots \quad (7)$$

## 8 - 1 بعض متسلسلات القوى للدوال

### 1. المتسلسلة الهندسية

$$\frac{1}{1-x} = \sum_{n=0}^{\infty} x^n = 1 + x + x^2 + \dots, \quad (|x| < 1)$$

### 2. الدالة الأسية

$$e^x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots, \quad (|x| < \infty)$$

### 3. الدوال المثلثية

$$\sin x = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!} = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} + \dots, \quad (|x| < \infty)$$

$$\cos x = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n}}{(2n)!} = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} + \dots, \quad (|x| < \infty)$$

### 4. الدوال الزائدية

$$\sinh x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!} = x + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} + \dots, \quad (|x| < \infty)$$

$$\cosh x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^{2n}}{(2n)!} = 1 + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} + \dots, \quad (|x| < \infty)$$

## الفصل الثاني

طريقة متسلسلات القوى لحل المعادلات  
التفاضلية

## 2 - 1 مقدمة

سوف نقدم في هذا الفصل طريقة لحل المعادلات التفاضلية الاعتيادية الخطية بطريقة متسلسلات القوى. حيث يمكن حل المعادلات التفاضلية الخطية ذات المعاملات المتغيرة بطريقة عامة. وذلك بفرض الحل هو متسلسلة قوى  $x$ ، ثم نعوض عن  $y$  ومشتقاتها بالمعادلة المعروفة ونجد معاملات قوى  $x$ . وسنوضح ذلك بالأمثلة التالية

## 2 - 2 بعض الأمثلة التطبيقية [6]

### مثال 2 - 1

جد الحل المتسلسل للمعادلة التفاضلية  $y' = y$

الحل

نفرض ان حل المعادلة التفاضلية هي متسلسلة القوى التالية

$$y = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} c_n x^n$$

ولأجل تحديد المعاملات  $c_1, c_2, \dots$  نجد

$$y' = c_1 + 2c_2x + 3c_3x^2 + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)c_{n+1}x^n$$

بالتعويض عن  $y, y'$  في المعادلة الاصلية نحصل على

$$\sum_{n=0}^{\infty} (n+1)c_{n+1}x^n = \sum_{n=0}^{\infty} c_n x^n$$

وبتساوي المعاملات المتشابهة نحصل على

$$(n+1)c_{n+1} = c_n, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$



عندما  $n = 0$

$$c_1 = c_0$$

عندما  $n = 1$

$$2c_2 = c_1 \Rightarrow c_2 = \frac{c_1}{2} \Rightarrow c_2 = \frac{c_0}{2}$$

عندما  $n = 3$

$$3c_3 = c_2 \Rightarrow c_3 = \frac{c_2}{3} \Rightarrow c_3 = \frac{c_0}{6}$$

ان حل المعادلة التفاضلية هو

$$\begin{aligned} y &= c_0 + c_0x + \frac{c_0}{2!}x^2 + \frac{c_0}{3!}x^3 + \dots \\ &= c_0 \left( 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots \right) \\ &= c_0 e^x \end{aligned}$$

حيث  $c_0$  من الممكن ان يأخذ اي قيمة حقيقية

## مثال 2 - 2

جد الحل المتسلسل للمعادلة التفاضلية  $y'' + y$

**الحل**

نفرض ان الحل هو متسلسلة بالشكل التالي

$$y = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} c_n x^n$$

$$y' = c_1 + 2c_2x + 3c_3x^2 + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)c_{n+1}x^n$$

$$y'' = 1 \cdot 2c_2 + 2 \cdot 3c_3x + 3 \cdot 4c_4x^2 + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(n+2)c_{n+2}x^n$$

بالتعويض عن  $y, y''$  في المعادلة الاصلية وجمع الحدود المشابهة

$$\sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(n+2)c_{n+2}x^n + \sum_{n=0}^{\infty} c_nx^n = 0$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} [(n+1)(n+2)c_{n+2} + c_n]x^n = 0$$

اذن نحصل على العلاقة التكرارية

$$c_{n+2} = \frac{-c_n}{(n+1)(n+2)}, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

عندما  $c = 0$

$$c_2 = \frac{-c_0}{2}$$

عندما  $n = 1$

$$c_3 = \frac{-c_1}{6}$$

عندما  $n = 2$

$$c_4 = \frac{-c_2}{12} \Rightarrow c_4 = \frac{c_0}{24}$$

عندما  $n = 3$

$$c_5 = \frac{-c_3}{20} \Rightarrow c_5 = \frac{c_1}{120}$$

وعلى هذا فإن حل المعادلة التفاضلية هو

$$y = c_0 + c_1x - \frac{c_0}{2}x^2 - \frac{c_1}{6}x^3 + \frac{c_0}{24}x^4 + \frac{c_1}{120}x^5 + \dots$$

$$= c_0 \left( 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} + \dots \right) + c_1 \left( x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} + \dots \right)$$

$$= c_0 \cos x + c_1 \sin x$$

حيث  $c_0, c_1$  ثوابت اختيارية

### مثال 2 - 3

جد الحل العام للمعادلة التفاضلية

$$(1 - x^2)y'' - 2xy' + 6y = 0$$

الحل

نفرض ان الحل هو متسلسلة بالشكل التالي

$$y = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} c_n x^n$$

$$y' = c_1 + 2c_2x + 3c_3x^2 + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)c_{n+1}x^n$$

$$y'' = 1 \cdot 2c_2 + 2 \cdot 3c_3x + 3 \cdot 4c_4x^2 + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(n+2)c_{n+2}x^n$$

نعوض عن  $y, y', y''$  في المعادلة الاصلية نحصل على

$$(1 - x^2) \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(n+2)c_{n+2}x^n - 2x \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)c_{n+1}x^n + 6 \sum_{n=0}^{\infty} c_n x^n = 0$$

$$\begin{aligned} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(n+2)c_{n+2}x^n - \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(n+2)c_{n+2}x^{n+2} \\ - \sum_{n=0}^{\infty} 2(n+1)c_{n+1}x^{n+1} + \sum_{n=0}^{\infty} 6c_n x^n = 0 \end{aligned}$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(n+2)c_{n+2}x^n - \sum_{n=2}^{\infty} n(n-1)c_nx^n - \sum_{n=1}^{\infty} 2nc_nx^n + \sum_{n=0}^{\infty} 6c_nx^n = 0$$

$$2c_2 + 6c_3x - 2c_1x + 6c_0 + 6c_1x + \sum_{n=2}^{\infty} [(n+1)(n+2)c_{n+2} - (n(n-1) + 2n - 6)c_n]x^n = 0$$

$$(2c_2 + 6c_0) + (6c_3 + 4c_1)x + \sum_{n=2}^{\infty} [(n+1)(n+2)c_{n+2} - (n^2 + n - 6)c_n]x^n = 0$$

$$(2c_2 + 6c_0) + (6c_3 + 4c_1)x + \sum_{n=2}^{\infty} [(n+1)(n+2)c_{n+2} - (n+3)(n-2)c_n]x^n = 0$$

بالمساواة مع الطرف الآخر نحصل على

$$\begin{cases} c_2 = -3c_0 \\ c_3 = \frac{-2c_1}{3} \\ c_{n+2} = \frac{(n+3)(n-2)}{(n+1)(n+2)}c_n, \quad n = 2, 3, 4, \dots \end{cases}$$

عندما  $n = 2$

$$c_4 = 0$$

عندما  $n = 3$

$$c_5 = \frac{6}{(4)(5)}c_3 = -\frac{c_1}{5}$$

عندما  $n = 4$

$$c_6 = \frac{(7)(2)}{(5)(2)}c_4 = 0$$

اذن الحل النهائي

$$\begin{aligned} y &= c_0 + c_1x - 3c_0x^2 + \frac{2}{3}c_1x^3 + \frac{1}{5}c_1x^5 + 0 + \dots \\ &= c_0(1 - 3x^2) + c_1\left(x - \frac{2}{3}x^2 - \frac{1}{5}x^5 + \dots\right) \end{aligned}$$

حيث  $c_0, c_1$  ثوابت اختيارية.

## الاستنتاجات

من خلال دراسة طريقة متسلسلات القوى لحل المعادلات التفاضلية الاعتيادية، توصلنا إلى عدة استنتاجات مهمة تتعلق بكفاءة هذه الطريقة ودورها في إيجاد الحلول في الحالات التي يصعب فيها استخدام الطرق التحليلية الأخرى. يمكن تلخيص أهم هذه الاستنتاجات كما يلي:

1. قابلية التطبيق على معادلات متنوعة: تُعد طريقة متسلسلات القوى أداة قوية لحل المعادلات التفاضلية التي تحتوي على معاملات متغيرة، والتي قد لا تكون قابلة للحل باستخدام الطرق التقليدية مثل الفصل أو التكامل المباشر.
2. تمثيل الحل بشكل دقيق: من خلال التعبير عن الحل كسلسلة لا نهائية من الحدود، يمكن الحصول على تمثيل دقيق للحل في منطقة التقارب، مما يسهل إيجاد تقديرات عددية محسنة عند الحاجة.
3. القدرة على التعامل مع النقاط الشاذة العادية: يمكن استخدام متسلسلات القوى لحل المعادلات التي تحتوي على نقاط شاذة عادية، وهو ما يجعلها مفيدة في العديد من التطبيقات الفيزيائية والهندسية حيث تتغير معاملات المعادلة التفاضلية.

## المراجع

- [1] روجي إبراهيم الخطيب، مقدمة في المعادلات التفاضلية، دار الميسرة للطباعة والنشر.
- [2] إسماعيل بوقفة و عايش النهاودة، المعادلات التفاضلية العادية حلول و تطبيقات، الجامعة العلوم والتكنولوجيا اليمنية.
- [3] علي حميدة و عبدالوهاب ببيبي، التحليل، جامعة عمار تليجي الأغواط، 1973.
- [4] وليم بويس و ريتشارد دبريما، مبادئ المعادلات التفاضلية، دار جوان وايلي و إخوانه.
- [5] حسن مصطفى العويضي و عبد الوهاب عباس رجب و سناء علي زارع، المعادلات التفاضلية (الجزء الأول)، مكتبة الرشيد، 2006.
- [6] خالد أحمد السامرائي و يحيى عبد سعيد، طرق حل المعادلات التفاضلية، جامعة بغداد، 1986.
- [7] عبد الشافي فهمي عبادة و حسن مصطفى العويضي و عفاف أبو الفتوح صالح، المعادلات التفاضلية وتطبيقاتها، دار الفكر العربي، 2010.
- [8] مجدي أمين كتيبي و مروان أمين كتيبي، المرشد لحل المعادلات التفاضلية العادية، 1999.