الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا للأساتذة - الشيخ محمد البشير الإبراهيمي

القبة – الجزائر

مجلة بشائر العلوم

فصلية، ثقافية، علمية، تعميمية

تصدرها المدرسة العليا للأساتذة، الشيخ محمد البشير الإبراهيمي

القبة – الجزائر

العدد 16 أكتوبر 2025

كلمة العدد 16	
علوم طبيعية	
تصنيف صخور عائلة الغرانيت وعلاقتها بالموقع الجيوديناميكي	فاتن بن مرزوق-بشيري وآخرون
الاسمرار الإنزيمي في الخضر والفواكه: التحديات والحلول المبتكرة لتحسين الجودة	طاهر جخيوة، الطيب برمضان
فلك ورياضيات	
قصة الكوكب الافتراضي "فولكان"	غَسَّـان القَيْمَري
إنشاء العلم الوطني الجزائري بالرياضيات	محمد زروالـــي
مبرهنة فيثاغورس في التقليد الرياضي في دار الإسلام	وسيلة غرابة
الرياضيات التعليمية: ما هي الرياضيات التي تُدرَّس؟ الجزء 2: مبادئ المنطق الرياضياتي الكلاسيكي	ناجي هرماس
ثقافة تكنولوجية	
مدخل إلى دراسة البطارية الكمومية باستعمال تماثل التبديل	عزّ الدّين مسّيخ
المبادئ الأساسية لأشعة الليزر وبعض تطبيقاتها	خليل قليفط، عبد الحميد زغداوي
العلم المفتوح في خدمة العلم والمجتمع (2): العلم المفتوح في المنطقة العربية وإفريقيا	محمد خوجة
تعليمية العلوم	
من أجل تعزيز مكانة الكيمياء في المناهج التعليمية في المدارس العليا بالجزائر (1)	عبد الله لعريبي
المحتويات المعرفية في برامج التكوين الأولي لأساتذة الرياضيات	محمود شنتي وآخرون
التحليل البُعدي: منطلقاته الإبستمولوجية وفوائده التّكوينية (2)	محمد الطيب سعداني
التقليد في "الفنون الحرّة "عبر العصور الوسطى (2)	يورج ويلر Jörg Willer ترجمة مهدي بن بتقة
شخصية العدد	
الأستاذة مُوزَة الربَّان رئيسة منظمة المجتمع العلمي العربي (الدوحة)	تقديم: أبو بكر خالد سعد الله
عرض كتاب	
فلسفة العلم: مقدمة قصيرة جدًا Philosophy of Science: A Very Short Introduction	تأليف: سمير عكاشة عرض: ليلى زيتوني

كلمة العدد 16

ها هي **بشائر العلوم** تُطلّ على قرّائها بتمام عامها الرابع، وقد أضحت فضاءً معرفيًّا يتنامى حضوره يومًا بعد يوم. وما يدلّ على تعطّش جمهور القرّاء إلى المعرفة الهادفة بلغة الضاد، وإلى خطاب علميّ يجمع بين الجدّية والسلاسة أن عدد زوّار المجلةفاق خلال24 شهرا عتبة 200 ألف زائر، بعد نشر ما يناهز 250 مقالة.

ويأتي هذا العدد ليواصل المسيرة التي رسمتها بشائر العلوم منذ انطلاقتها مركزًا على التنوّع في المادة العلمية التي تسعى إلى خدمة الأساتذة في كل مراحل التعليم، وكذا الطلبة والتلاميذ. وفي هذا السياق، نقدم هنا أربعة محاور تحمل العناوين التالية: علوم طبيعية، فلك ورياضيات، ثقافة تكنولوجية، تعليمية العلوم.ففي المحور الأول نجد مقالتين تبحث إحداهمافي تصنيف صخور الغرانيت وعلاقتها بالموقع الجيوديناميكي، بينما تتناول الأخرى موضوعا حيويا يتعلّق بالاسمرار الإنزيمي في الخضر والفواكه وما يطرحه من تحديات وحلول مبتكرة لتحسين الجودة.

أما محور الفلك والرياضيات فيقود القارئ في رحلة ممتعة بين قصة كوكب افتراضي ، وإضاءات حول رمزية إنشاء العَلم الوطني الجزائري باستخدام أدوات الرياضيات. ثم يعرّج على مبرهنة فيثاغورس موضحا مكانتهافي التقليد الرياضي بدار الإسلام. كما نواصل الحديث عن تعليمية الرياضيات التي تُدرّس في المدرسة الجزائرية، مركزين هذه المرة على مبادئ المنطق الرياضي.

وفي محور الثقافة التكنولوجية، نطّلع على مدخل إلى دراسة البطارية الكمومية، ثم ننتقل إلى الحديث عن المبادئ الأساسية لأشعة الليزر وبعض تطبيقاتها العملية. وينتهي بنا مشوار هذا المحور بإطلالة على العِلم المفتوح في المنطقة العربية وإفريقيا، وكيف يخدم تلك المجتمعات.

أما محور تعليمية العلوم، فينادي بتعزيز مكانة الكيمياء ضمن المناهج التعليمية في المدارس العليا للأساتذة الجزائرية.ويسلط الضوء على البرامج التكوينية لأساتذة الرياضيات، وعلى الأبعاد الإبستمولوجية للتحليل البُعدي وفوائده التكوينية.ثم نواصل تقديم مادة مترجَمة من الألمانية حول "الفنون الحرّة" عبر العصور الوسطى.

وكما عوّدْنا القارئ، يضمّ هذا العدد الركن القارّ "شخصية العدد" الذي نُسلّط فيه الضوء هذه المرة على السيدة القطرية مُوزَة الربّان،أستاذة الفيزياء، ورئيسة منظمة المجتمع العلمي العربي. فمن خلال ما تبذله هذه الشخصية، يتضح أنّ رسالتها لا تقتصر على نشر الثقافة العلمية في العالم العربي فحسب، بل تمتدّ لتشمل الارتقاء باللغة العربيةالعلمية، وتأكيد قدرتها على استيعاب أحدث المفاهيم وصقل المصطلحات العلمية. كما تتميّز هذه المنظمة بكونها من المؤسسات العربية القليلة التي تحمل على عاتقها هذا الدور المزدوج: خدمة العلم واللغة العربية معًا.أما الركن القار الثاني فيقدم كتابا متميّزا منشورا باللغة الإنكليزية، عنوانه "فلسفة العلم: مقدمة قصيرة جدًا ".

ولا يمكن أن نُغفل، ونحن نقدم العدد السادس عشر من مجلة بشائر العلوم، الإشارة إلى مفارقة غريبة تستحق أن تُسجّل: لو نستثني أقلام المتقاعدين، لما وجدنا في هذا العدد سوى مقالة يتيمة وحيدة من هيئة تدريس المدرسة العليا للأساتذة-القبة! أيعقل أن تكون نخبة مؤسسة تكوين المكوّنين عندنا غائبة عن صفحات مجلّتهاالعلمية التربوية؟والمدهش أن المتقاعدين الذين يملكون كل المبررات لرَكْن أقلامهم يكتبون بجدية وحيوية، بينما زملاؤهم "في الخدمة" يتفنّنون في التكاسل أكثر مما يتفنّنون في كتابة المقالات! يبدو من المناسب، والحال هذه، أن نُدرجمقررًا جديدًا بعنوان "فنّ التفنّن في الغياب عن بشائر العلوم" ضمن مناهج المدرسة العليا للأساتذة-القبة !؟

ومع ذلك،نختم كلمتنا بهذا التحدي: نراهن أن العدد القادم سيحطّم الرقم القياسي في إسهامات أساتذةمؤسستنا، فهل أنتم أهلٌ لهذا الرهان يا قوم؟ وبالله التوفيق

هيئة التحرير

طاقم المجلة

- **المشرف العام**

مدير المدرسة : الطاهر بلال

- **هيئة التحرير**

رئيس التحرير : الأستاذ أبو بكر خالد سعد الله (قسم الرياضيات)

مديرة التحرير: الأستاذة ليلى زيتوني (قسم الرياضيات)

الأمانة : ليلى بن شويخ

الإشراف التقني :

الأستاذ علي نصبة (قسم الإعلام الآلي)

المهندسة إيمان براهيمي

علوم طبيعية

تصنيف صخورعائلة الغرانيت وعلاقتها بالموقع الجيوديناميكي

فاتن بن مرزوق-بشيري[1]، سارة مقدم[1]، لطيفة رمكي[1]، رقيّة خلوي[1-2]، حميد بشيري[2]، يُسرا قارة[1]، صارة ميلودي[1]

[1]قسم العلوم الطبيعية، مخبر تعليمية العلوم، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

[2]كلية العلوم الجيولوجية والجغرافيا والتهيئة العمرانية، جامعة هواري بومدين، باب الزوار

1. مقدمة

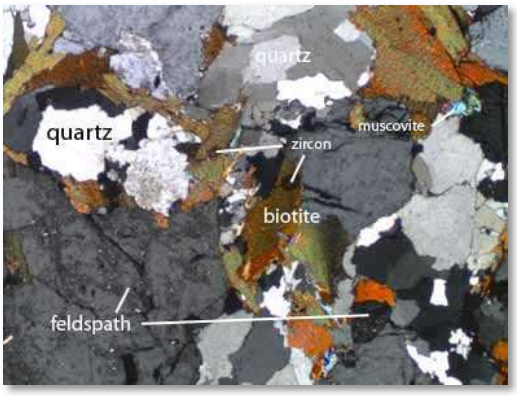
تُشكّل عائلة الغرانيتات الفئة الحامضية من الصخور النارية الجوفية، التي تتبلور ببطء في أعماق القشرة الأرضية نتيجة تبرد الصهارة تحت ضغط ودرجات حرارة مرتفعة. تتميز الغرانيتات بتنوّع كبير في تركيبها الكيميائي والمعدني، وهو ما يعكس تباين الظروف الجيولوجية التي صاحبت نشأتها. وتشمل هذه الظروف نوع الصهارة الأصلية، وعمق الغرفة الماغماتية، وطبيعة الصخور المحيطة بها، بالإضافة إلى تأثير العمليات التكتونية والبيئية الأخرى.

في هذا المقال، سنستعرض أهم الخصائص الفيزيائية والكيميائية لصخور الغرانيت، ونناقش أبرز التصنيفات المعتمدة في دراستها، مثل تصنيفي S-type وI-type، وغيرهما. ثم نتناول العلاقة بين هذه الأنواع والسياقات الجيوديناميكية التي تتشكّل فيها، مثل مناطق التصادم القاري أو حدود الصفائح التكتونية. ونختم المقال بعرض مجموعة من الأمثلة المحلية التي تُبرز تنوع الغرانيتات، ودورها في فهم التطور الجيولوجي الإقليمي.

2. تعريف صخورعائلة الغرانيتات

تتميز صخور عائلة الغرانيتات بألوان فاتحة تشمل الأبيض، الرمادي، الوردي، الأحمر، الأزرق، وبنسيج حُبيبي يتراوح ما بين الخشن والمتوسط (0.5 إلى 10 سم)، مما يجعل بلورات المعادن مرئية بالعين المجردة. تتكون بشكل رئيسي من معادن الكوارتز (>20%)، الفلسبار البوتاسي، والبلاجيوكلاز، وقد تصل نسبتها إلى 90% من الحجم الإجمالي للصخرة. بالإضافة إلى ذلك، تشتمل على معادن داكنة مثل الميكا، الأمفيبول، البيروكسان، الغرونا، والكورديريت بنسبة لا تزيد عن 20% (الشكل 1-أ).

الشكل 1-أ. صورة لصخر الغرانيت Granite (مشاهدة بالعين المجردة)



الشكل 1- ب. صورة لشريحة زجاجية من صخر الغرانيت

ملاحظة بالمجهر المُستقطب بالمُحلل:1- الكوارتز Quartz (QZ) شفاف 2- البلاجيوكلاز Plagioclase (FK) أبيض3- الفلسبار البوتاسي Feldspath potassique (FK)وردي 4-بيوتيت وأمفبول Biotite (BiO) +Amphibole أسود.

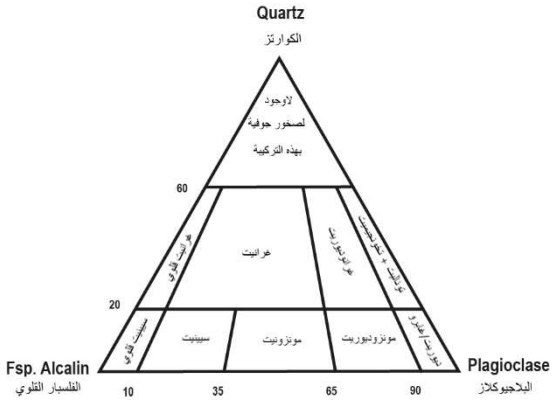
هناك أيضًا معادن أخرى تُسمى بالمعادن الملحقة، مثل الأباتيت، الزركون، التيتانيت، الألانيت، التورمالين وأكاسيد الحديد. توجد هذه المعادن بكميات صغيرة جدًا وبأحجام دقيقة لا تُلاحظ إلا بالمجهر المُستقطب (الشكل1-ب)، وهي ذات أهمية اقتصادية كبيرة أحيانًا، نظرًا لاحتوائها على عناصر كيميائية نادرة، تُعرف بالعناصر الأرضية النادرة (Rare Earth Elements/REE). تُشكّل صخور عائلة الغرانيتات 45% من صخور القشرة الأرضية ومعظم القارات.

3. تصنيف عائلة الغرانيتات

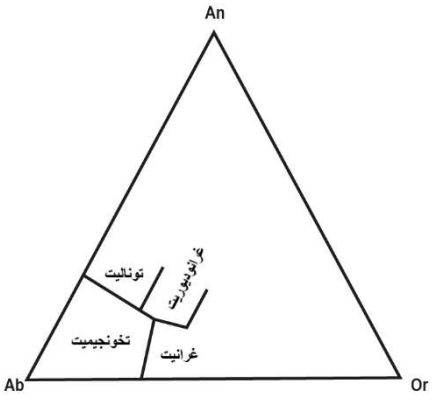
عرف تصنيف الصخور النارية (الماغماتية)، بما في ذلك صخور عائلة الغرانيتات، تطورًا كبيرًا، حيث اعتمد المؤلفون على معيارين رئيسيين في التصنيف، وهما النسيج والتركيب المعدني. فالأول يُشير إلى الخصائص الفيزيائية للمكونات المعدنية، ويُستخدم لتحديد ظروف وتاريخ تبريد الصهارة، سواء كانت قد تبردت في الأعماق (صخور جوفية)، أو قرب السطح، أو على السطح (صخور سطحية). في حين أن الآخر مرتبط بالتركيب الكيميائي للمعادن المكونة للصخر، ويُعد أساسيًا في تحديد اسم الصخر وخصائصه الكيميائية (الأُلفة الكيميائية). ويشمل هذا التحليل الكيميائي عدة مؤشرات، مثل درجة التشبع بالألمنيوم (A/CNK)، ونسبة الأكاسيد القلوية كالصوديوم والبوتاسيوم ($Na_2O + K_2O$)، وغيرها من المعاملات، وصولًا لأصل الصهارة (باستخدام العناصر الكيميائية الأثرية والنادرة والنظائر)، ومنه تحديد الموقع الجيوديناميكي المُحتمل لتشكّله.

1.3. التصنيف المعدني

- **تصنيف ستريكايسن**: هو نظام يُستخدم لتصنيف الصخور النارية بناءً على تركيبها المعدني. طوّره الباحث ألبرت ستريكايسن (Streckeisen) سنة 1967، وصادق عليه الاتحاد الدولي للعلوم الجيولوجية (IUGS) في عام 1973. يعتمد هذا التصنيف على نسبة المعادن الرئيسية الثلاثة: الكوارتز (Qz)، الفلسبار القلوي (البرتيت+الأورتوز) (A)، الفلسبار الكلسي-الصودي (البلاجيوكلاز) (P)، وذلك بالنسبة للصخور النارية الحامضية المشبعة بالسليس (الشكل 2-أ).
- **تصنيف باركر (Barker)**: هو نظام يُستخدم لتصنيف الصخور النارية الغرانيتية بناءً على نسب معادن الفلدسبار الثلاثة الأساسية المكونة لها (An – Ab – Or). يُعرف هذا النظام بـ "مثلث باركر" (Barker Ternary Diagram)، ويعتمد على النسب الوزنية أو المولية للمكونات التالية: An أنورتيت (القُطب الكلسي لسلسلة معادن البلاجيوكلاز)، Ab ألبيت (القُطب الصودي لسلسلة معادن البلاجيوكلاز) وOr أورتوكلاز (يُمثل الفلسبار البوتاسي القلوي) (الشكل 2-ب).



الشكل 2-أ: مخطط لتصنيف الصخور الحامضية المندسة عائلة الغرانيتات ممثلة باللون الوردي (Streckeisen 1967)

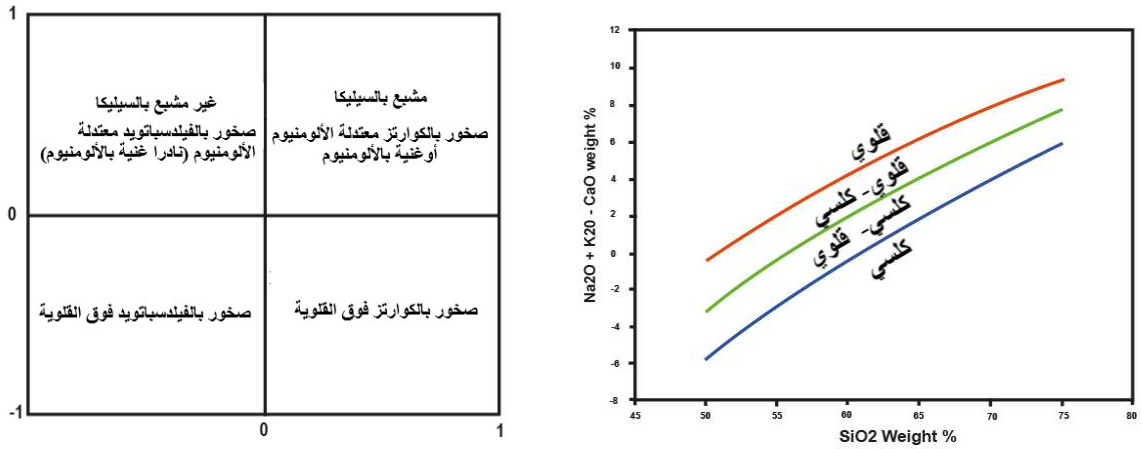


الشكل 2-ب: مثلث لتصنيف الغرانيتات An-الانورتيت-Ab-الألبيتOr-الأورتوز(Barker 1979)

تتم عملية تحديد نسب المعادن في الصخرة بطريقتين: إما بحساب نسبة كل معدن مقارنة بالحجم الكُلي للعينة، باستخدام آلة حاسبة مرتبطة بالمجهر المُستقطب (point counter)، أو كما هو الحال حاليًا بواسطة برامج رقمية متطورة؛ أو باستعمال قاعدة CIPW (Cross, Iddings, Pirsson, Washington)، التي تعتمد على تحويل التحليل الكيميائي للصخور النارية إلى نسب معيارية للمعادن النظرية (الشكل 2أ وب).

2.3. التصنيف الكيميائي

يعتمد التصنيف الكيميائي للغرانيتات على التحليل الكيميائي للعناصر الرئيسية: SiO_2-Al_2O_3-CaO-K_2O-Na_2O-FeO-MgO، لتحديد أسماء عينات الصخور بدقة (الشكل 3)، وكذلك لمعرفة الطبيعة الكيميائية للصخور (الشكل 3-أ و3-ب).



الشكل 3: أمثلة عن مخططات بيانية لتحديد الألفة الكيميائية للغرانيتات (أ) قلوية/ قلوية-كلسية/ كلسية-قلوية/كلسية (ب) دليل التشبع بالألومنيوم والسليكا (Frost and Frost, 2008)

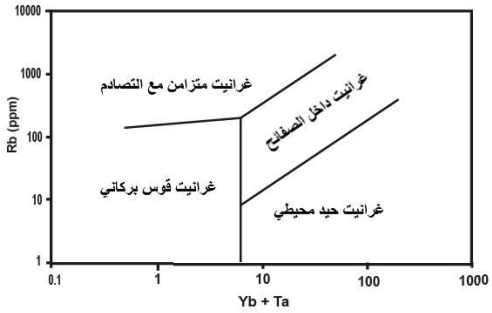
- **تصنيف بيرس وآخرون** (Pearce et al.,1984): اقترح المؤلفون تصنيفًا يربط بين البصمة الكيميائية والموقع الجيوديناميكي باستخدام العناصر الكيميائية غير المتوافقة (incompatible element). ومنه تم تحديد أربعة أصناف من الغرانيتات وفقًا لموقع النشأة، وهي (الشكل 4):

1- غرانيت التصادم (Collision granites, COLG): وهي مجموعة الغرانيتات الأوروجينية (Orogenic) التي تنشأ أثناء الدورة البانية للجبال وبعدها مباشرة. الأولى متزامنة (Synorogenic) مع الدورة، ناتجة من الانصهار الجزئي للقشرة الأرضية. أما الأخرى (Post-orogenic) فتضُم الغرانيتات التي تنشأ من الانصهار الجزئي للوشاح أو من تمازج ماغما منبثق من الانصهار الجزئي للقشرة والوشاح معًا.

2- غرانيت الجزر القوسية والسلاسل الجبلية البركانية (Volcanic Arc Granites, VAG): تضُم الغرانيتات الناتجة في مناطق الغوص (محيط-محيط/محيط-قارة) وأصلها مزدوج، إما من القشرة أو الوشاح.

3- غرانيت الظهرات الوسط محيطية (Ocean Ridge Granites, ORG): ناتجة عن الانصهار الجزئي للوشاح.

4- غرانيت داخل الصفائح (Within Plates Granites, WPG): يتميز بطبيعته القلوية، وله مصدران محتملان: القشرة و/أو الوشاح.



الشكل 4: رسم بياني للتصنيف الجيوديناميكي للغرانيتات (Pearce, et al., 1984)

3.3. التصنيف المعدني-الكيميائي

ساهمت التطورات الكبيرة التي حدثت في المجال التقني مع بداية السبعينيات والثمانينيات في ظهور العديد من الأبحاث في مجال الجيوكيمياء، حيث اعتمد الباحثون على الخصائص الكيميائية للصخور والمعادن لتحديد أصل الصهارة ومكان نشأتها بدقة كبيرة. من أهم الوسائل المستخدمة:

- مطيافية الأشعة تحت الحمراء (Infrared spectroscopy)،
- حيود الأشعة السينية (X-ray diffraction, XRD)،
- المجهر الإلكتروني الماسح (Scanning electron microscopy, SEM)،
- التحليل الكيميائي باستخدام الأشعة السينية (X-ray fluorescence chemical analysis, XRF)،
- المسبار الإلكتروني الدقيق لتحليل المعادن (Electron microprobe for mineral analysis).

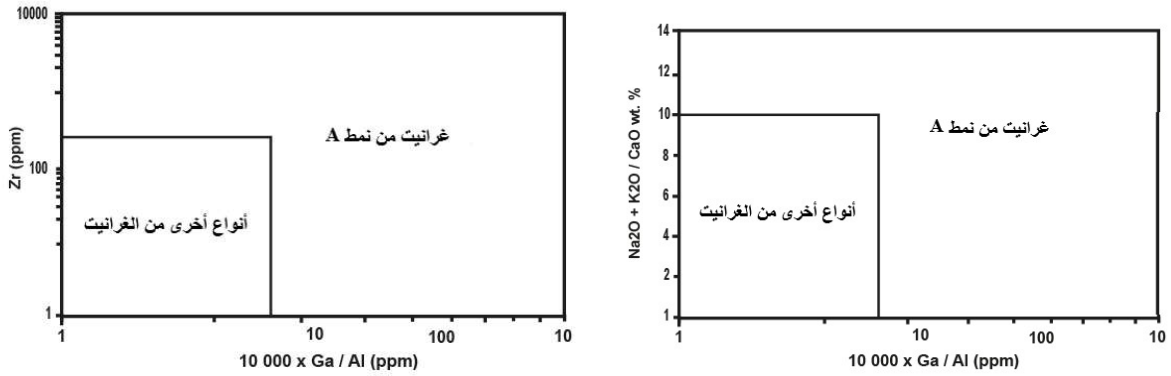
- **تصنيف شابل وو ايت ((Chapelle and White (S-I-M-A)**: يعتمد هذا التصنيف على التركيب المعدني والخصائص الكيميائية لبعض العناصر الكيميائية الرئيسية (Majors element)، والعناصر الأثرية (Traces element)، والنظائر (Isotope). ومن خلاله، تم تحديد أربعة أنواع من الغرانيتات حسب المنشأ والموقع الجيوديناميكي، مُلخصة في الجدول رقم 1.

الجدول 1: ملخص تصنيف 2001 Chapelle and White (S-I-M-A)

تصنيف S-I-M-A	التواجد والمصدر	الخصائص المعدنية والكيميائية
الصخور الغرانيتية S (Sediments)	-تنشأ من الانصهار الجزئي للرواسب المتحولة (القشرة)، عند التصادم القاري. -تتواجد في مواقع التحول الإقليمي.	-نسبة عالية من الألومنيوم، لكنها لا تحتوي على هورنبلند، -أهم المعادن الإضافية: البيوتيت ± المسكوفيت ± الكورديريت ± الغرونا، - نسبة عالية من الروبيديوم Rb في الصخور الأصلية المنصهرة، - نسبة نظائر Sri> 0.710.
الصخور الغرانيتية I (Igneous)	-تنشأ من انصهار جزئي للصخور النارية، القشرية العميقة في مناطق الغوص محيطي-قاري.	-تركيزات عالية من الكالسيوم والصوديوم، -تحتوي على هورنبلند وتيتانيت، -مدسوسات غنية بالهورنبلند،

	-تشمل الغرانيتات القلوية-الكلسية، والبوتاسية (بالرغم من اختلافاتهم).	-منطقة المصدر فقيرة بالروبيديوم Rb، -نسب نظائر Sri > 0.708.
الصخور الغرانيتية من نمط A (Anorogenic)	- تنشأ في مناطق التمدد القاري. -يُمكن أن تكون في المرحلة المتأخرة من الدورة أو بعد الدورة الأوروجينية.	-غنية بثاني أكسيد السيليكون (SiO_2)، حتى 77%. - غنية بالقلوياتK_2O+Na_2O، Fe/Mg، والهالوجينات. -غنية بالمعادن الحديدية (بيوتيت +هورنبلاند).
الصخور الغرانيتية M (Mantle)	-تنشأ من انصهار الوشاح عن طريق التبلور الجزئي. -احتمال اختلاطها مع مصهورات القشرة الأرضية. -تشمل غرانيتات الجيود وسط محيطية + مناطق الغوص (رغم اختلافاتهم).	-نسبة منخفضة من الروبيديوم Rb والثوريوم Th واليورانيوم U، -نسب نظائر Sri <0.705، -تُشكل صخور التوناليت.

- **تصنيف والان وآخرون Whalen et al. (1987)** اقترح الباحث والان (Whalen) وآخرون تسع مخططات بيانية تعتمد على بعض العناصر الكيميائية الرئيسية أو الأثرية بدلالة Ga/Al*1000 للفصل بين الغرانيتات من نمط A-type-granites عن بقية الأنواع M-I-S (الشكل 5).



الشكل 5: رسم بياني لتمييزبين الغرانيت من نمط A / مع بقية أنواع الغرانيتات I-S-M لمثالين من تصنيف Whalen et al. (1987)

- **تصنيف باربارانBarbarin (1999) "مُعدل"** حسب قاموس الجيولوجيا (طبعة 2014)، لتصنيف صخور عائلة الغرانيتات، لا بد من العودة إلى المعايير الكلاسيكية للتصنيف التي تستخدم العناصر الكيميائية الرئيسية (FeO/(FeO+MgO), Na_2O+K_2O-CaO/SiO_2, A/ACNK) بالإضافة إلى تصنيف للباحث باربارانBarbarin) (1999) الذي يعتمد على التركيبة المعدنية لتحديد المواقع الجيوديناميكية، ومن خلاله، تم تمييز سبعة أصناف من الغرانيتات.

1- الغرانيت القلوي أو فائق القلوية (Peralkaline and Alcaline Granites, PAG): هي مجموعة من الغرانيتات الغنية بالحديد وذات طبيعة قلوية، مصدرها الوشاح أو مختلط (وشاح+قشرة). تنشأ داخل الصفائح في نظام قوى متباعدة. من أشهر أمثلتها في الجزائر، سلسلة "تاوريرت" التي تظهر في درع الهقار (الجنوب الجزائري). وهي

مُمثَّلة بمجموعة من المركبات الحلقية ذات الشكل الدائري إلى شبه دائري، يترواح طولها ما بين 5 إلى 20كم. تُميز المرحلة المُتأخرة من الدورة الأوروجنية لعموم إفريقيا (Pan-africain orogeny)، نذكر منها المركب الحلقي تين إريت (Tin-Erit A-type complex) (الصورة 1) (Bechiri-Benmerzoug Faten et Azzouni Abla., 2001).

2- الغرانيت المحيطي والريفت (Ocean Ridge Granites, ORG): يُدعى أيضًا بلاجيوغرانيت، وهو غني بالحديد وذو طبيعة قلوية-كلسية، ويرتبط دائمًا بنوع مميز من الغرانيتات يُعرف بـ التخونجيميت (Trondhjemite). غالبًا ما تكون هذه الصخور على هيئة قواطع أو مركبات صغيرة الحجم في أعلى سلسلة الاوفيوليت. تتبلور في المرحلة الأخيرة من التمايز عن طريق التبلور الجزئي للصهارة البازلتية التوليتية. ولن نُغادر منطقة الهقار دون أن نذكر الباتوليت "إهلي" (Eheli) كمثال لهذه العائلة من الغرانيتات. إذ يظهر في غرب كتلة سيلات المحاذية لشبه الراسخ لاتيا (Metacraton LATEA). يتميز الباتوليت "إهلي" بصخوره الكلسية-القلوية من نمط غرانوديوريت-تونالايت. وقد تم تأريخه في 5 ±638 مليون سنة، أي أنه متزامن مع مرحلة الذروة للدورة الأوروجينية لعموم إفريقيا (الصورة 2) ، (Bechiri-Benmerzoug, 2012).

3- الغرانيت المرتبط بتوليت الجزر القوسية (Arc Tholeiitic Granites, ATG): يتواجد في الجزر القوسية بمحاذاة السلاسل البركانية، ومصدرها الوشاح المفقر. تتميز بطبيعتها الماغنيزية والكلسية (البلاجيوكلاز كلسي).

4- الغرانيت الكلسي-القلوي (Calc-Alkaline Granites, CAG): يتميز بطبيعته الكلسية-القلوية، الغني بالمغنيزيوم، ومتوسط التشبع بالألومينيوم. غالبًا ما يتواجد مع التونالايت والغرانوديوريت. تنشأ هذه الفئة من الغرانيت في مناطق الغوص أو عند التصادم. أصلها من الوشاح مع احتمال تلوث بعناصر من القشرة الأرضية. تتبلور هذه الصخور جزئيًا تحت ظروف مؤكسدة انطلاقًا من بازلت غني بالماء. تُعد من الفئات واسعة الانتشار، وتُصنّف حسب المعادن الحديدية-الماغنيزية السائدة فيها، مثل الأمفيبول أو البيوتيت، أو الميكا المزدوجة (البيوتيت والمسكوفيت).

5- الغرانيت فائق الألومنيوم بالميسكوفيت (Muscovite Peraluminous Granites, MPG): تنشأ هذه الفئة من الغرانيت الغنية بالألومنيوم من انصهار الرسوبيات المتحولة في وجود الماء، أثناء التصادم القاري. تُدعى أيضًا بالغرانيت الفاتح (Leucogranite) من أهم المعادن الإضافية المشكلة لهذه الفئة من الغرانيتات هي سليكات الألومنيوم (التوباز أو الأندلوزيت أو الكورديريت وغيرهم. من الأمثلة على هذا النوع من الغرانيتات في الجزائر، نذكر المركب الغرانيتي فلفيلة (سكيكدة/ شمال-شرق الجزائر)، المؤرخ في الميوسان المتوسط، ويتكون من غرانيت بالكورديريت+غرانيت بالتورمالين+غرانيت بالتوباز، بالإضافة إلى بعض السُحن الأخرى. يقترح الباحثون أنه ناتج عن عمليات خلط بين صهارة غنية بألمنيوم وصهارة معتدلة التشبع بالألومنيوم ناتجة عن الانصهار الجزئي للقشرة القارية المتوسطة،(Bouabssa et al., 2005) .

6- الغرانيت فائق التشبع بالألومنيوم بالكورديريت (CordieritePeraluminous Granites, CPG): تتميز هذه الصخور بالتشبع الفائق بالألومنيوم وبأحجامها الكبيرة. تنشأ نتيجة انصهار القشرة عند التصادم، وتتميز باحتوائها معدن الكورديريت والميسكوفيت. كما تحتوي على مدسوسات غامقة اللون ذات نسيج ميكروحبيبي، وتُعدّ شاهدًا على اختلاطها مع ماغما قاعدي من الوشاح (مثل سُحنة الغرانيت بالكورديريت المنتسبة لمركب فلفيلة/المذكور أعلاه).

7- الغرانيت القلوي-الكلسي (Potassic Calco-alkalin Granites, KCG): تنشأ هذه الغرانيتات في مرحلة ما بعد التصادم، وتتكون من صخور المونزونيت كوارتزيت ومونزوديوريت كوارتزيت، وهي غنية بالماغنيزيوم والبوتاسيوم ومتوسطة التشبع بالألومنيوم. تتوضع هذه الصخور في القشرة السميكة، مُصاحبة لتمزقات الليتوسفار،

وأصلها مختلط (الوشاح+القشرة القارية). ومن الأمثلة الجزائرية على هذا النوع من الغرانيتات، نذكر المركب القلوي-الكلسي الغني بالبوتاسيوم المُسمى "تين آمزي" (Tin-Amzi)، الذي يظهر جنوب -غرب مدينة تمنراست (الهقار الأوسط) على شكل قبب أو قواطع. يتكون من سُحنتين: الأولى مُمثلة بالغرانيت بالبيوتيت، والأخرى مُمثلة بغرانيت بالبيوتيت+الأمفبول. توضعت هذه الصخور ضمن القاعدة الاستحالية الغنايزية التي يعود تشكلها للدورة الأيبورنية (قبل 2000 مليون سنة). وقد أظهرت الدراسات أن توضع صخور مركب "تين-آمزي" مرتبط بسياق تصادمي، وهي متزامنة إلى متأخرة النشأة (أثناء إلى ما بعد التصادم)، وقد تم تأريخها ما بين 525 و538 مليون سنة (Loumi et Mahdjoub., 2009).

الصورة 1: منظر عام للمركب الحلقي "تين-إغريت"

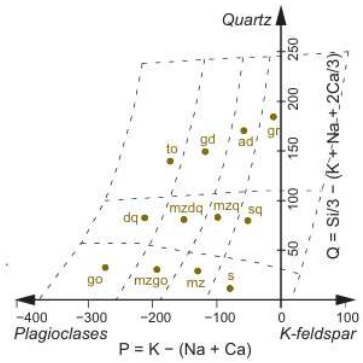
الصورة 2: منظر لمكشف من باتوليت "إهلي"

كتلة سيلات الهقار الغربي (الجنوب الجزائري)

4.3. التصنيف المثالي

ناقش الباحثون (Bonin et al ;2020) تاريخ تصنيف الغرانيتات وقدّموا عرضًا مُفصلًا في مقالة طويلة استعرضوا فيها أبرز التصنيفات المقترحة منذ عام 1917 إلى غاية 2017، على امتداد 43 صفحة.

وقد حددوا الخصائص الرئيسية التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند تصنيف الغرانيتات، وهي: الحموضة/القاعدية، القلوية، الألومنيوم، توازن الحديد/المغنيسيوم، وتوازن الصوديوم/البوتاسيوم. وتوصلوا إلى أن جميع التصنيفات المُقترحة لا تجمع بين هذه العناصر مجتمعة، باستثناء التصنيف الذي قدّمه ديبون (Debon) ولو فورت (Le Fort) Debon et Le Fort (1983, 1988)، والذي يعتمد على العناصر الكيميائية المُتعددة في صيغة شوارد موجبة (Multications). وقد اعتبروه التصنيف الأمثل لعائلة الغرانيتات (الشكل 6).

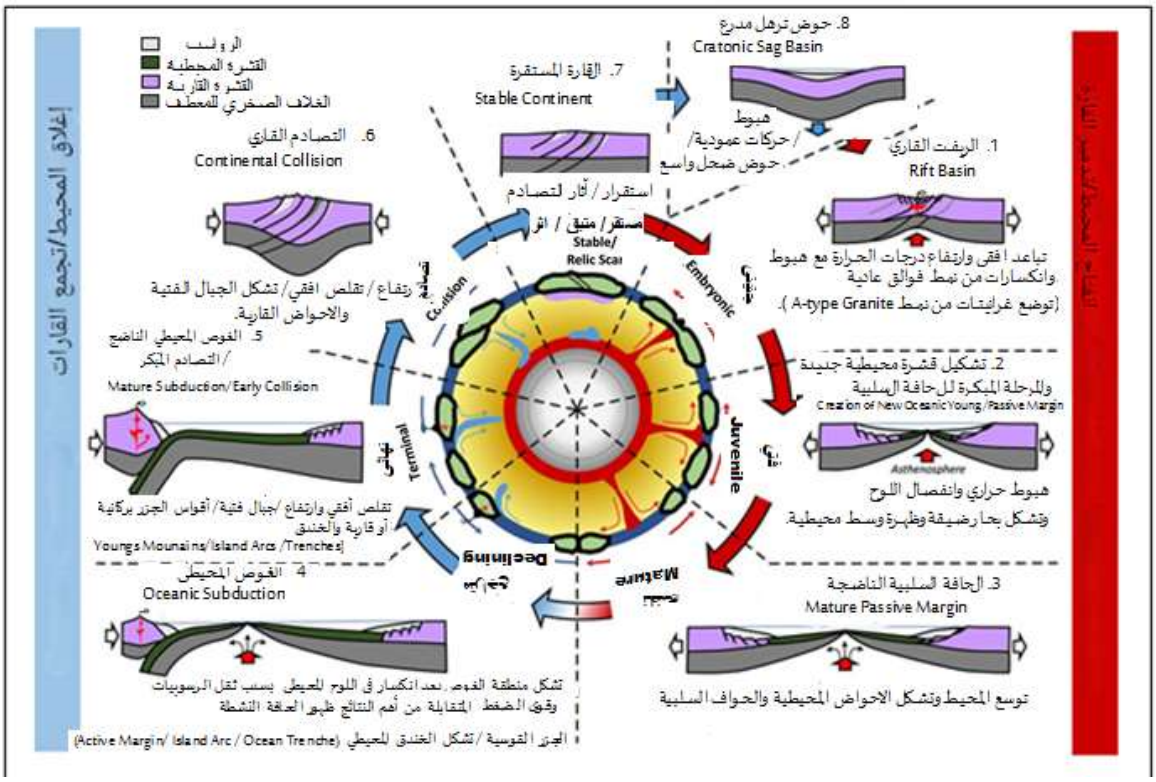


الشكل 6: مُخطط تصنيف عائلة صخور الغرانيتات Debon et Le Fort (1988)

4. الغرانيتات ودورة ويلسون

تتشكّل الصخور الغرانيتية في مختلف مراحل دورة ويلسون، وهي الدورة التي اقترحها الجيوفيزيائي الكندي جون توزو ويلسون (John Tuzo Wilson)، ما بين 1966 و1968، وسُمّيت باسمه في مقال نشر سنة 1974 من قِبل زميليه الجيولوجيين كيفين بورك (Kevin Burke) وجون ديوي (John Dewey).

تُعد دورة ويلسون نموذجًا جيولوجيًا يشرح كيفية تفكك القارات وتشكل أحواض محيطية جديدة من خلال الظهرات الوسط محيطية (التباعد)، ثم إعادة غلقها من جديد عبر مناطق الغوص (التقارب)، وهو ما يؤدي في النهاية إلى التصادم وتشكّل السلاسل الجبلية.



الشكل 7: مراحل دورة ويلسن (R. W. WILSON et al., 2019)

تتألف دورة ويلسون من سلسلة مستمرة من العمليات الجيولوجية التي تمتد على فترة زمنية تتراوح بين 400 و600 مليون سنة. يُمكن تلخيص هذه الدورة في ثماني مراحل [10] وهي (الشكل 7):

1- درع قاري مستقر (Stable Continental Craton) : مرحلة لا تشهد أي نشاط تكتوني.

2- الريفت القاري (Rift Basin): تباعد أفقي وارتفاع درجات الحرارة مع هبوط وانكسارات من نمط فوالق عادية (توضع غرانيتات من نمط A-type Granite).

3- تشكّل قشرة محيطية جديدة والمرحلة المبكرة للحافة السلبية (Creation of New Oceanic Young /Passive Margin): هبوط حراري وانفصال اللوح وتشكّل بحار ضيقة وظهرة وسط محيطية وتوضع غرانيتات من نمط بلاجيوغرانيت و/أو TTG.

4- الحافة السلبية الناضجة (Mature Passive Margin): توسع المحيط وتشكل الأحواض المحيطية والحواف السلبية.

5- الغوص المحيطي (Oceanic Subduction) تشكل منطقة الغوص بعد انكسار في اللوح المحيطي بسبب ثقل الرسوبيات وقوى الضغط المتقابلة (من أهم النتائج ظهور الحافة النشطة /الجزر القوسية/تشكل الخندق المحيطي (Active Margin/ Island Arc / Ocean Trenche) توضع غرانيتات من نوع كلسي-قلوي.

6- الغوص المحيطي الناضج/التصادم المُبكر (Mature Subduction/Early Collision): تقلص أفقي وارتفاع/جبال فتية/أقواس الجزر بركانية أو قارية والخندق (Youngs Mounains/Island Arcs /Trenches).

7- التصادم القاري (Continental Collision): ارتفاع/تقلص أفقي/تشكل الجبال الفتية والأحواض القارية.

8- القارة المستقرة (Stable Continent): استقرار/آثار التصادم. توضع غرانيتات من نمط مشبع إلى غني بالألومنيوم.

9- حوض ترهل مدرع (Cratonic Sag Basin): هبوط/حركات عمودية/حوض ضحل واسع. وتوضع غرانيتات من نمط المتأخر القلوي من نمط A.

5. خلاصة

يبدو أن تصنيف عائلة الغرانيتات ليس بالأمر الهيّن، كما فصلنا سابقًا، ويعود ذلك إلى تنوع هذه الصخور من حيث التركيب المعدني والكيميائي اللذين يعكسان بالضرورة تنوع الشروط المسيطرة عند تشكُّل الصهارة الأم في مواقع مختلفة من دورة ويلسون.

وعلى الرغم من مرور ما يقارب القرن على إصدار أولى مخططات التصنيف، لا تزال عائلة الغرانيتات تشغل الوسط الجيولوجي، نظرًا لأنها تُشكّل الجزء الأكبر من القشرة الأرضية. وتكمن أهميتها في إمكانات الاستثمار الاقتصادي المرتبطة بها، إذ تختزن بعض معادن الغرانيتات عناصر كيميائية تُعرف باسم "العناصر الأرضية النادرة"، وهي مواد تدخل في الصناعات الحديثة، مثل شاشات الهواتف وبطاريات الليثيوم. كما تمتاز صخور الغرانيتات بجمالية وصلابة، الأمر الذي جعلها تُستخدم منذ قرون طويلة في مجال البناء ونحت التماثيل (الشكل 8).

الشكل 8: تمثال من صخر الغرانيت الوردي يُمثل رأس الملك أمنحتب الثالث (تاسع فراعنة الأسرة الثامنة عشر حكم مصر في الفترة ما بين 1391 ق.م. و1353 ق.م. موجود بالمتحف البريطاني.

المراجع

[1] Bechiri-Benmerzoug, F. Les granitoïdes de type TTG de la région de Silet, Hoggar, Algérie : Cartographie, pétrologie, géochimie isotopique et géochronologie. Éditions universitaires européennes, 2012.

[2] Bechiri-Benmerzoug, F., and Azzouni-Sekkal, A. Le complexe annulaire panafricain du Tin Erit : Un exemple d'évolution subsolvus-hypersolvus d'une suite granitique. Bulletin du Service Géologique de l'Algérie 12(2), (2001) 183–200.

[3] Bonin, B., Janoušek, V., and Moyen, J. F. Chemical variation, modal composition and classification of granitoids. Geological Society, London, Special Publications 491, (2020) 9–51.

[4] Bouabsa, L., Marignac, C., Chabbi, M., and Cuney, M. The Filfila (NE Algeria) topaz-bearing granites and their rare metal minerals: Petrologic and metallogenic implications. Journal of African Earth Sciences, 56(2–3), (2010) 107–113.

[5] Dewey, J. F., and Burke, K. C. A. Hot spots and continental breakup: Implications for collisional orogeny. Geology 2(3), (1974) 422–424.

[6] Frost, B. R., and Frost, C. D. A geochemical classification for feldspathic igneous rocks. Journal of Petrology 49(11), (2008) 1955–1969.

[7] Loumi, and Mahdjoub. Le granite panafricain calco-alcalin et hautement potassique de Tin Amzi (Hoggar central) : pétrographie et géochimie. Bulletin du Service Géologique National, 20(2), (2009) 93–108.

[8] Pearce, J. A., Harris, N. B. W., and Tindle, A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology 25, (1984) 956–983.

[9] Streckeisen, A. Classification and nomenclature of igneous rocks. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen 107, (1967) 144–240.

[10] Wilson, R. W., Houseman, G. A. Buiter, S. J. H. McCaffrey, K. J. W. and Doré, A. G. Fifty years of the Wilson Cycle concept in plate tectonics: An overview. Geological Society, London, Special Publications 470, (2019) 1–17.

الاسمرار الإنزيمي في الخضر والفواكه: التحديات والحلول المبتكرة لتحسين الجودة

طاهر جخيوة[1]، الطيب برمضان[2]

[1]ماستر في الكيمياء الحيوية التطبيقية، جامعة عمار ثليجي، الأغواط

aminebiochimiste25@gmail.com

[2]أستاذ بالمدرسة العليا للأساتذة طالب عبد الرحمن، الأغواط

مقدمة

نشهد يوميًا إنتاج ومعالجة وشحن الأطنان من الفواكه والخضروات في شروط وظروف مدروسة، وذلك بهدف تمكين الإنسان من اقتنائها وتناولها طازجة وسليمة. ورغم هذه الاحتياطات، فإن العديد من هذه المنتجات قد لا تصل إلى المتاجر في حالتها السليمة والجيدة للاستهلاك. فبعض الفواكه والخضروات، مثل المشمش والفطر والخس وغيرها، يظهر عليها اسمرار يؤدي إلى تغير في اللون والطعم والقيمة الغذائية، وذلك مع مرور الوقت. يُطلق على هذا التحول اسم "ظاهرة اللون البني الإنزيمي" أو "عملية الاسمرار الإنزيمية" (Enzymatic browning).

تُعدّ حالة الاسمرار الإنزيمي للأغذية أحد مشاكل فقدان جودة الفواكه والخضروات، على الرغم من أنها لا تجعل الطعام ضارًا عند تناوله. كما أن الغسيل بالماء لا يكفي في منع التلون ولا إضعاف فعاليته. وتُعرف هذه الظاهرة بأنها أحد التفاعلات الشائعة التي تحدث بعد الحصاد، أثناء جمع الفواكه والخضروات وتخزينها، وكذلك في المنتجات الغذائية وحتى المأكولات البحرية. يؤدي هذا التحول اللوني البني غير المرغوب فيه إلى تدهور المظهر، وانخفاض مدة الصلاحية، وتراجع جودة الغذاء، مما يساهم في زيادة هدر الطعام ويترتب عليه خسائر كبيرة مرتبطة بتكلفة إنتاج الأغذية [1].

تُعدّ عملية الاسمرار من بين عمليات الأكسدة المعروفة في مجال علوم الأغذية، خاصة لغنى العديد من الأغذية، مثل التفاح والبطاطا الحلوة، بالمركبات الفينولية المسببة لهذه الظاهرة. وقد أصبح هذا الإشكال موضوعًا ذا اهتمام وبحث في تخصص تكنولوجيا الصحة والغذاء، بهدف فهم آلية الاسمرار الإنزيمي وطرق التعامل معه. الأمر الذي يمكّن الباحثين والمصنعين من تحسين جودة المنتجات الغذائية، وتقليل الأضرار الناتجة عن هذه الظاهرة، والمساهمة في تحقيق فوائد اقتصادية وصحية للمستهلكين [13].

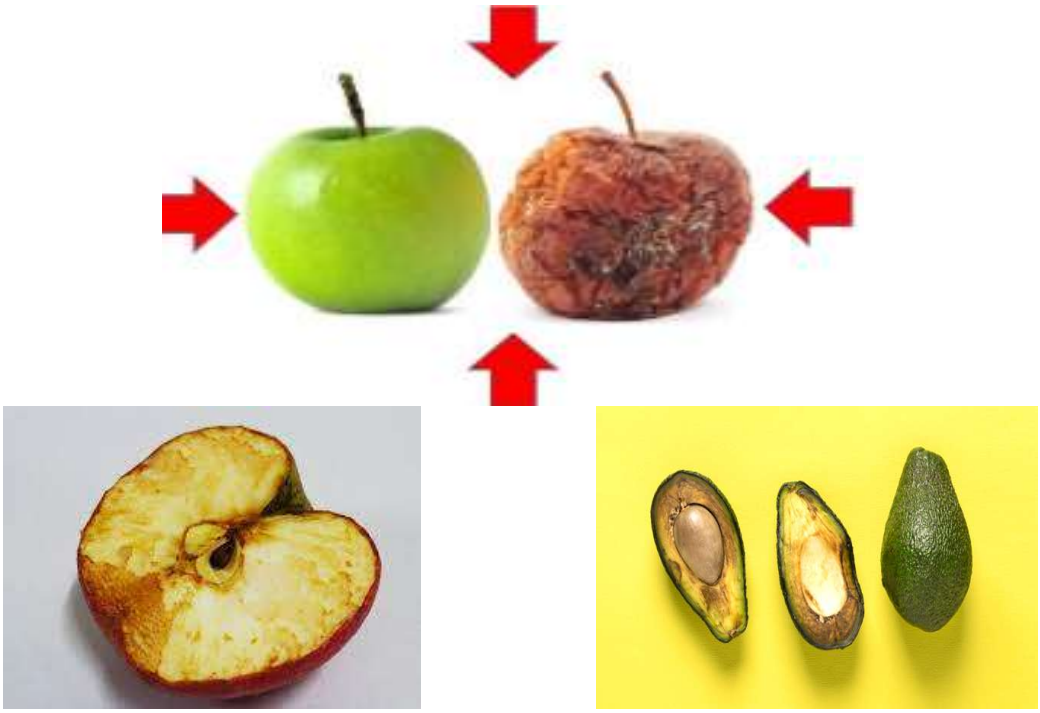
سنحاول من خلال هذا المقال إعطاء وصف علمي لظاهرة الاسمرار الإنزيمي في الأغذية، بدءًا من تعريف الظاهرة وأسبابها، وصولًا إلى شرح المكونات والمركبات الأساسية والعمليات الكيميائية المرتبطة بها. كما سنتطرق إلى تأثير الاسمرار الإنزيمي على جودة الأغذية وتغيّر الخصائص الفيزيائية والكيميائية للأطعمة. وعلاوة على ذلك، سنرصد أهم الاستراتيجيات المتبعة للحد من هذه الظاهرة، بهدف تحسين جودة المنتجات الغذائية.

1. تفاعلات الاسمرار الإنزيمي وآليات حدوثه في الأغذية

يؤثر الاسمرار سلبًا على القيمة التجارية للعديد من المنتجات الزراعية، مثل فواكه التفاح والموز والخيار والعنب والمانجو والكمثرى والخوخ والمشمش، وخضروات الباذنجان والخس والبطاطس، وحتى بعض الحبوب. وعلى الرغم من أننا عادة ما نربط الاسمرار الإنزيمي بتغيرات لونية غير مرغوب فيها في الأغذية، إلا أن له بعض الجوانب الإيجابية أو الأدوار المفيدة في بعض الحالات الطبيعية والصناعية. وفيما يلي بعض الأمثلة على "الاسمرار الإنزيمي الإيجابي":

1.1. تكوين اللون والنكهة في بعض الأطعمة والمشروبات

خلال عملية تخمير الشاي، التي تتضمن أكسدة أوراق الشاي، تلعب إنزيمات البوليفينول أوكسيداز دورًا حاسمًا في أكسدة مركبات الكاتشين (Catechins) الفينولية. وتؤدي هذه الأكسدة إلى تكوين مركبات الثيافلافين (Theaflavins) والثياروبيجين (Thearubigins)، وهي المسؤولة عن اللون البرونزي المميز والنكهة والرائحة الفريدة للشاي الأسود [3][5]. ويُظهر الشكل1 أدناه آثار التحول البني في بعض الفواكه.



الشكل 1: آثار التحول البني في بعض الفواكه

تشمل تفاعلات الاسمرار الإنزيمي تلك التي تقوم بها إنزيمات الأوكسيديز متعدد الفينول، وهي إنزيمات موجود في الأطعمة. وعلى عكس ذلك، فإن الاسمرار غير الإنزيمي ينتج عن تفاعلات ميلارد (Maillard Reactions)، وتفاعلات الكرملة أو التكرمل (Caramelization Reactions)، والتفاعلات البنية لحامض الأسكوربيك.

ويؤثر هذا التفاعل على القيم الغذائية للأطعمة، من خلال فقدان القيمة الغذائية وتغير اللون وتدهور الجودة الحسية للطعام [4].

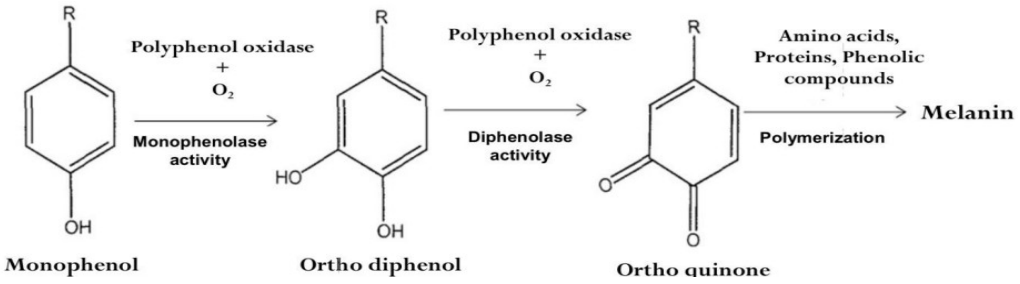
2.1. أسباب الاسمرار الإنزيمي

يتحكم في معدل التسمير الإنزيمي عدد من العوامل، من أبرزها تركيز إنزيمات البوليفينول أوكسيداز (Polyphenol oxidase; PPO)، إذ إن وجود هذه الإنزيمات بكميات كبيرة قد يُسرّع من عملية التسمير. كما أن كمية ونوعية المركبات الفينولية الموجودة في الفواكه والخضروات لها أثر كبير في حدوث التسمير. أما فيما يخص العوامل الفيزيائية، فيمكن لدرجات الحرارة العالية أو المنخفضة أن تؤثر على نشاط الإنزيمات وتفاعلات الأكسدة. كذلك يؤثر مستوى الحموضة (pH) في نشاط الإنزيمات وفعالية التفاعل، ويُعدّ توفر الأكسجين داخل الأنسجة عاملًا محركًا وضروريًا لتفاعلات الأكسدة. وعلاوة على ذلك، قد تُسهم إنزيمات إضافية، مثل إنزيم البيروكسيداز في تفاعل الاسمرار العام في بعض الفواكه والخضروات [7].

3.1 آليات حدوث الاسمرار الإنزيمي

يُعدّ الاسمرار التأكسدي أو الإنزيمي تفاعلًا يحدث بين إنزيم البولي فينول أوكسيديز والمركبات الفينولية بوجود الأكسجين الجوي (O_2). ويحدث هذه التفاعل عندما تتعرض الثمرة لجروح خارجية، أو بعد تقطيعها أو تقشيرها، حيث يصبح الأكسجين الخارجي على تماس مباشر مع النسيج النباتي الذي كان محميًا بالقشرة. ونتيجة لهذا التفاعل، تتحول الفينولات الأحادية (Monophenols) إلى فينولات ثنائية (Diphenols)، ثم إلى مركبات الكوينون (Quinones) عديمة اللون، والتي تتجمع بدورها (تتبلمر) وتتفاعل مع الأحماض الأمينية وبروتينات الأنسجة، منتجة صبغة ذات لون بني تُعرف بصبغة الميلانين (Melanin) [12].

ملاحظة: يُعدّ الكوينون المنتج الأولي لعملية الأكسدة، حيث يتكاثف بشكل متكرر ليؤدي إلى إنتاج الميلانين، وهو بوليمر بني غير قابل للذوبان. فعلى سبيل المثال، في ثمرة التفاح، يتواجد إنزيم الفينولاز والفينول داخل الخلية. وعند تقطيع التفاح، تتعرض لأكسجين الهواء، مما يؤدي إلى تحويل الفينول إلى صبغة الميلانين ذات اللون البني. وقد تم توضيح هذا التفاعل في الشكل 2.



الشكل 2: تشكل الميلانين أثناء التفاعل البني الإنزيمي

كما ذكرنا سابقًا، فإن الاسمرار قد ينشأ نتيجة للأكسدة الإنزيمية وغير الإنزيمية، وكلاهما يؤدي إلى تكوين مركبات الكينونات. وتجدر الإشارة أيضًا إلى أن درجة الاسمرار ترتبط بمركبات البروسيانيدينات (Procyanidins)، وهي عبارة عن تانينات مكثفة، بالإضافة إلى الكاتيشينات الأحادية أعلى مركبات وأنواع الفينولات الأخرى.

تحتوي معظم الأنسجة النباتية على أنزيم PPO، غير أن فعاليته تختلف من نبات إلى آخر، كما تختلف تراكيز المركبات الفينولية من ثمرة إلى أخرى. إضافة إلى ذلك، فإن مستويات PPO في النسج تتباين تبعًا لمرحلة نضج الثمرة وظرف النمو. لذلك، لا يحدث الاسمرار بالمعدل ذاته في جميع المواد الغذائية ولا في جميع مراحل نمو النبات والثمرة.

تلعب ركائز الإنزيم الفينولية دورًا مهمًا في تحديد شدة الاسمرار، وتختلف من محصول إلى آخر. فعلى سبيل المثال، يُعدّ الكاتيشين الركيزة الرئيسية في العنب والشاي، بينما يوجد حمض الكلوروجينيك بوفرة في التفاح والبطاطس وعباد الشمس والبطاطا الحلوة والباذنجان. أما في القمح، فحمض الفيروليك هو الركيزة الرئيسية [8] [11].

ولذلك، فإن تحديد معدل الاسمرار الإنزيمي في الفواكه والخضروات يعتمد على عدة عوامل نذكرها كالآتي :

- تركيز الأوكسيديز متعدد الفينول،
- تركيز المركبات الفينولية الموجودة،
- مستوى الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة،
- توفر الأكسجين في الأنسجة.

4.1. التأثيرات البيئية

تُعدّ تفاعلات الاسمرار شديدة الحساسية للعوامل البيئية، إذ إن التعرض للأكسجين يُمثّل عاملًا أساسيًا لبدء التفاعل الإنزيمي. لذا، تُعتبر تقنيات الحد من تلامس الأكسجين، مثل استخدام الماء المُحمَّض أو مضادات الأكسدة، من

الاستراتيجيات الفعّالة للحد من الاسمرار. بالإضافة إلى ذلك، يمكن للمعالجات الفيزيائية، مثل المعالجة الحرارية والتبريد، أن تبطئ أيضًا النشاط الإنزيمي وتحافظ على جودة المنتجات الطازجة.

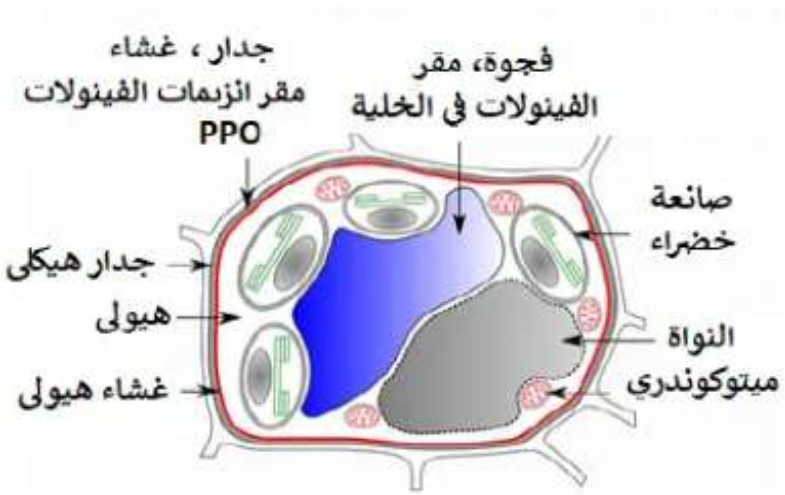
إن فهم هذه الديناميكيات المعقدة للاسمرار الإنزيمي يسمح بتحسين تقنيات معالجة الأغذية وإدارة جودة المنتجات بشكل أفضل والتحكم في سلسلة توريد الأغذية على نطاق واسع [9].

2. الإنزيمات المتدخلة في الاسمرار الإنزيمي

الاسمرار الإنزيمي للفواكه والخضروات هو عملية يتم فيها أكسدة الفينولات بواسطة إنزيمات مثل الفينولاز إلى الأوكوينونات، التي تتبلمر بسرعة لتشكيل أصباغ بنية. تتضمن مجموعة الفينولاز إنزيمات مثل: الفينول أكسيداز، الكريسولاز، الدوبا أكسيداز، الكتيكولاز، الأوكسيديز متعدد الفينول، أوكسيديز البطاطا، اللاكاز، التيروسيناز، أوكسيديز البطاطا الحلوة، بيروكسيداز العنب. ومن بين جميع هذه الإنزيمات، حظيت الأوكسيديزات متعددة الفينول (PPO) بأكبر قدر من الدراسة فيما يتعلق بظاهرة الاسمرار في الفواكه والخضروات [11].

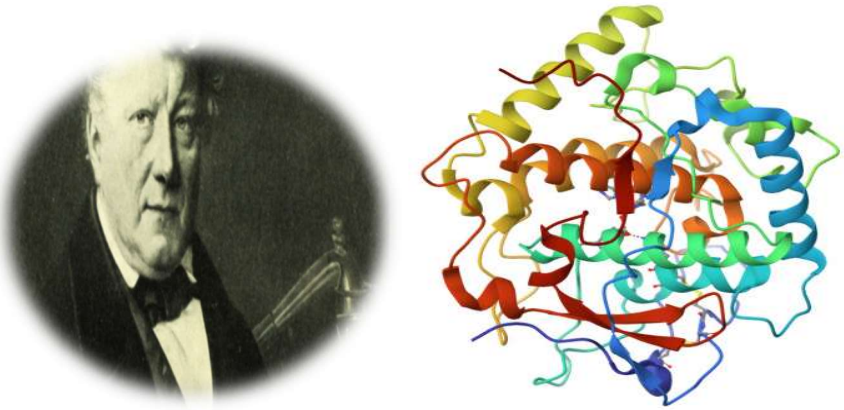
يُعدّ إنزيم بوليفينول أوكسيداز إنزيمًا يحتوي على النحاس ومشفرًا في النواة، وينتمي إلى عائلة إنزيمات الأكسدة والاختزال (Oxidoreductase). يتكون هذا الإنزيم عادةً من ثلاثة أجزاء رئيسية: ببتيد بلاستيدي، ومركز نشط به أيون النحاس، ونهاية كربوكسيلية (C-terminal).

في النباتات، يتولى الببتيد الناقل مهمة توجيه طلائع هذا الإنزيم إلى البلاستيدات، حيث تتم معالجته إلى شكله الناضج ويصبح وظيفيًا. تتراوح الكتل الجزيئية لإنزيمات البوليفينول أوكسيداز بين 12 و400 كيلو دالتون، ويعزى هذا التفاوت إلى وجود أشكال بوليميرية مختلفة للإنزيم؛ إذ يمكن أن يوجد على شكل مونومير، كما هو الحال في بذور عباد الشمس، أو على شكل رباعي، كما هو الحال مع التيروزيناز في الفطر [12].



الشكل3: رسم تخطيطي يوضح مكان تواجد إنزيم PPO المسؤول عن أكسدة الفينولات داخل الخلية النباتية

تم اكتشاف الأوكسيديز متعدد الفينول (الشكل 4) لأول مرة على يد العالِم شونبين (Schönbein) عام 1856 في نبات الفطر، حيث أظهر أن هذا الإنزيم يُسرّع العملية التأكسدية، لا سيما عندما يكون الرقم الهيدروجيني في النطاق بين 5 و7. ويتواجد هذا الإنزيم أيضًا في بعض أنواع البكتيريا والفطريات واللافقاريات والنباتات بالإضافة إلى جميع الثدييات [14].



الشكل4: البنية البلورية لإنزيم PPO

يُظهر الجدول التالي بعض خصائص إنزيم البوليفينول أوكسيداز في بعض أنواع الفواكه.

الجدول 1: خصائص إنزيم البوليفينول أوكسيداز في بعض الفواكه

الفاكهة	الركيزة	درجة الحرارة المثلى °م	درجة الحموضة المثلى	المرجع
التفاح	كاتيشول	15	7	Oktay et al. (1995)
الموز		30	7	Unal (2007)
فراولة		25	5	Dalmadi et al. (2006)
عنب	حمض الكلوروجينيك الكاتيشين	25	5	Rapeanu et al. (2006)
دقلة نور	4 ميثيل كاتيشول	35	6,4	Daas Amiour et Hambaba(2016)
تمور		40	7,2	Daas Amiour et Hambaba (2016)

لماذا كل هذه الجهود من أجل التخفيف من ظاهرة الاسمرار أو الوقاية منها؟

لقد تمّت دراسة الأساليب الحالية لفهم التحكم في تأكسد المنتجات الناتج عن إنزيم أوكسيداز البولي فينول، والبحث في استكشاف تقنيات حديثة لتحسين جودة المحاصيل، سواء من حيث التسويق أو التخزين المناسب. تواجه الفواكه الاستوائية، مثل البابايا والمانجو والأفوكادو، تحديات في عمليات الشحن إلى الأسواق البعيدة بسبب قابليتها السريعة للتلف، مما يجعل من الضروري تطوير استراتيجيات جديدة لتحسين مدة صلاحية التخزين والنقل لهذه الفواكه. وقد يسهم ذلك في تعزيز اقتصاديات الدول الاستوائية، وزيادة توافر الفواكه والخضروات في الأسواق العالمية على مدار السنة.

3. أساليب الحد من تفاعلات الاسمرار الإنزيمي

توجد العديد من الطرق للحد من الاسمرار الإنزيمي، إلا أن بعض هذه الطرق فقط يُستخدم عمليًا [2]، وذلك لأسباب تتعلق بالتكلفة أو السمية أو اللوائح التنظيمية أو التأثيرات السلبية على جودة المنتج [6]. وتتمثل هذه الطرق في:

- تعطيل الإنزيمات بالحرارة: من خلال عمليات السلق والبسترة.
- نقع الفواكه في ماء مالح أو محلى: مما يحد من وصول الأكسجين إلى الأنسجة.
- خفض درجة الحوضة (pH).
- إزالة الأكسجين من الوسط المحيط.

هل هناك دور التكنولوجيا الوراثية الحديثة في هذه العملية؟

سنحاول في ما يلي أن نقدّم موجزًا لدور الهندسة الوراثية في السيطرة على الاسمرار الإنزيمي:

- باستخدام تقنيات الهندسة الوراثية: يمكن تعديل جين إنزيم بولي فينول أوكسيداز بهدف خفض نشاطه أو تثبيطه.
- من خلال الهندسة الوراثية: يمكن تطوير إنزيمات أخرى تعمل على تثبيط نشاط الإنزيم PPO، ويمكن إضافة هذه الإنزيمات المثبطة كمكونات طبيعية في المنتجات الغذائية.
- وقد يتم كذلك تطوير إنزيمات بديلة لإنزيم PPO لا تسبب الاسمرار.

بشكل عام، توفر الهندسة الوراثية إمكانيات واعدة للتحكم في الاسمرار الإنزيمي، سواء عبر التعديل المباشر على الإنزيم أو إنتاج بدائل وإنزيمات مثبطة له [12].

4. الآفاق المستقبلية

تزداد شعبية الأعمال المتعلقة بالفواكه والخضروات المقطعة والطازجة نتيجة تزايد الطلب على الجودة من حيث الطزاجة والمظهر. يمكن لطرق المعالجة هذه، مثل التقطيع والتقشير، أن تؤدي إلى تغيرات سلبية في الجودة، مثل التحول البني الناتج عن أكسدة الإنزيمات، مما يقلل من القيمة الغذائية ويزيد من احتمال تكوين مركبات سامة.

تُشكل هذه الظاهرة تحديًا في مجال حفظ الأغذية وضمان جودتها. تشمل الرؤى المستقبلية للاستراتيجيات المبتكرة في التقليل من التأكسد، مثل استخدام مثبطات إنزيمية طبيعية أو صناعية مع التركيز على أمان المواد المستخدمة في إنتاج الغذاء، وتحسين ظروف المعالجة واستخدام تقنيات متقدمة مثل تحرير الجينات لتطوير محاصيل ذات ميولات منخفضة للتأكسد. إضافة إلى ذلك، يعمل الباحثون على استكشاف مواد تعبئة جديدة وابتكار علاجات مضادة للأكسدة، تهدف إلى الحفاظ على نضارة المنتجات الغذائية وجاذبيتها. ومن خلال دمج كل هذه الأساليب، تسعى صناعة الأغذية إلى تحقيق أهداف متعددة: إطالة العمر الافتراضي للمنتجات، تعزيز رضا المستهلك، تقليل حجم الخسائر الناتجة عن التلف.

من الضروري إجراء دراسات على فعالية التركيبات المختلفة من العلاجات لأن أي علاج فردي لا يمكنه بشكل فعال إطالة عمر المنتج الطازج المقطّع، بينما يعمل في الحفاظ على جودة وسلامة المنتج. من جهة أخرى قد تكون التكنولوجيا الوراثية الحديثة خياراً آخر للوقاية من التأكسد البني في الفواكه والخضروات في الحفاظ عليها وتقديمها للمستهلك بجودة غذائية عالية ومظهر سليم من الاسمرار الإنزيمي.

المراجع

[1] Anklam, E., H.-D. Belitz, W. Grosch, and P. Schieberle. Food chemistry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry,* 382, (2005): 10–11.

[2] Arbaoui, S., Soufi, S. and Bettaieb. T. In vitro control of oxidative browning: case of amaryllis (*Amaryllis belladonna* L.) / Contrôle du brunissement enzymatique en culture in vitro: cas de l'amaryllis (*Amaryllis belladonna* L.). *Journal of New Sciences,* 60 (2018) 3850–3855.

[3] Balentine, D. A., Wiseman, S. A. and Bouwens, L. C. M. The chemistry of tea flavonoids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition,* 37(8) (1997) 693–704.

[4] Bharate, S. S., and Bharate, S. B. Non-enzymatic browning in citrus juice: chemical markers, their detection and ways to improve product quality. *Journal of Food Science and Technology,* 51(10) (2014) 2271–2288.

[5] Gupta, S., et al. Food browning, its type and controlling measures: A Review Article. *Chemical Science Review and Letters,* 11(44), (2022) 29–45.

[6] Ioannou, I. Prevention of enzymatic browning in fruit and vegetables. *European Scientific Journal,* 9(30), (2013).

[7] Martinez, M. V. and Whitaker, J. R. The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trends in Food Science & Technology,* 6(6), (1995) 195–200.

[8] Moon, K. M., Kwon, E. B. Lee, B. and Kim, C. Y. Recent trends in controlling the enzymatic browning of fruit and vegetable products. *Molecules,* 25(12) (2020) 2754.

[9] Singh, B., Suri, K. Shevkani, K. Kaur, A., Kaur, A. and Singh, N. Enzymatic browning of fruit and vegetables: A review: improvements and innovations. In *Enzymes in Food Technology*, 63–78, Springer, Singapore, 2018.

[10] Sui, X., Meng, Z. Dong, T. Fan, X. and Wang, Q. Enzymatic browning and polyphenol oxidase control strategies. *Current Opinion in Biotechnology,* 81 (2023) 102921.

[11] Taranto, F. et al. Polyphenol oxidases in crops: Biochemical, physiological and genetic aspects. *International Journal of Molecular Sciences,* 18(2) (2017) 377.

[12] Wang, C., Meng, L., Zhang, G., Yang, X., Pang, B., Cheng, J., He, B. and Sun, F. Unraveling crop enzymatic browning through integrated omics. *Frontiers in Plant Science,* 15 (2024) 1342639.

[13] Whitaker, J. R. Polyphenol Oxidase. In *Food Enzymes: Structure and Mechanism*, edited by P. F. Fox, 271–307, Springer, Boston, 1995.

[14] Yuan, X., Zhan, Z., Lin, W., Zhang, C., and Wang, B. The membrane may be a key factor influencing browning: A mini review on browning mechanisms of fresh-cut fruit and vegetables from a multi-omics perspective. *Frontiers in Nutrition*, 12 (2025) 1534594.

فلك ورياضيات

قصة الكوكب الافتراضي "ڤولكان"

غَسَّان القَيْمَري
أستاذ في علوم الحاسوب، جامعة الفجيرة، الإمارات
ghassan@uof.ac.ae

عزيزي القارئ،

في مقالةٍ سابقة، تحدّثنا عن قصة اكتشاف كوكب نِبتون، الكوكب الثامن في نظامنا الشمسي، وأول كوكب يُكتشف بواسطة معادلات رياضية، لا من خلال المشاهدة بالعين المجردة أو باستخدام التلسكوب.

وقد ذكرنا في المقالة ذاتها قصة المنافسة بين عالمين فلكيين، أحدهما في فرنسا، ويُدعى أوربان لو ڤاريه[1] (Urbain Le Verrier)، والآخر في إنجلترا، ويدعى جون آدامز[2] (John Adams)، وكيف أقرّ جون آدمز بأن الاكتشاف الفعلي لكوكب نِبتون يعود الفضل فيه إلى مجهود لوڤاريه.

وذكرنا أيضًا أن اكتشاف نِبتون كان حدثًا مثيرًا في تطور علم الفلك في القرن التاسع عشر؛ فقد كان تأكيدًا دراميًا وانتصارًا لقانون نيوتن[3] (Newton) للجاذبية الذي أثار الجدل في وقتها. ذلك أن نِبتون هو أول كوكب يتم اكتشافه بالوسائل الرياضية، بدلًا من وسائل الرصد والملاحظة. وتلك كانت نقطة تحوّل مهمة، بدأ فيها الاستنباط الرياضي وتكوين النظرية العلمية بأخذ زمام المبادرة في البحث الفلكي.

ولقصة اكتشاف نِبتون ثمة بقية شائقة، نرويها في هذه المقالة. فقد أخذت الحماسة أوربان لو ڤاريه، الذي درس مدار أورانوس واكتشف نِبتون، فقرر أن يستخدم الأسلوب نفسه لدراسة مدار عطارد وفهم سبب الانحراف في مداره؛ حيث افترض وجود كوكب آخر - أيضًا - غير معروف، يؤثر على سير دورانه.

وُلد أوربان لو ڤاريه عام 1811. التحق في عام 1833 بجامعة النخبة في باريس، جامعة العلوم التطبيقية (Ecole Polytechnique). وفي عام 1839، قدّم عمله الأول إلى أكاديمية العلوم الفرنسية، والذي ناقش فيه مسألة استقرار النظام الشمسي، بناءً على عمل لابلاس[4] (Laplace). فقد كان لابلاس من العلماء الكلاسيكيين الذين طوروا نظرية الاضطرابات[5] (Perturbation theory) المتعلقة بكيفية تأثر حركة كوكب من الكواكب التي تدور حول الشمس

---

[1] أوربان لوڤاريه (1811–1877) كان رياضيا وفلكيًا فرنسيًا، وهو مشهور بتنبؤه بوجود كوكب نبتون باستخدام الحسابات الرياضية فقط.

[2] جون آدامز (1819–1892) كان رياضياً وفلكيًا إنكليزيًا. درس الاضطرابات في مدار كوكب أورانوس وافترض أن هناك كوكبًا غير معروف يؤثر على حركته. قام بحساب موقع نبتون بشكل مستقل عن لوڤاريه، ولكن لم يتم التصرف بناءً على تنبؤه بالسرعة الكافية مقارنةً بأوربان لوڤاريه، وبالتالي ارتبط اكتشاف كوكب نبتون باسم لوڤاريه.

[3] إسحق نيوتن (1642–1727) هو عالم فيزياء ورياضيات وفلك إنكليزي. يُعتبر واحدًا من أعظم العقول في تاريخ العلم، وكان له تأثير هائل في الثورة العلمية. من أبرز إنجازاته: قوانين الحركة الثلاثة، قانون الجذب العام، اكتشاف أن الضوء الأبيض يتكون من ألوان الطيف المختلفة، وأسس، بالتوازي مع لايبنتز (Leibniz)، فرعًا جديدًا من الرياضيات وهو التفاضل والتكامل. كتب مؤلفه الشهير "الأصول الرياضياتية للفلسفة الطبيعية" (Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica) عام 1687، الذي وضع فيه قوانينه للحركة والجاذبية.

[4] بيير سيمون لابلاس (1749-1827) هو عالم رياضيات وفيزياء وفلك فرنسي، ويُعد من أبرز العلماء الذين ساهموا في تطوير العلوم الطبيعية والرياضية خلال القرن الثامن عشر. له إسهامات رائدة في: الميكانيكا السماوية، وبيّن في نظرية الاضطرابات أن النظام الشمسي مستقر على المدى الطويل، وهو إنجاز كبير في علم الفلك. وله مقولة مشهورة، هي "يمكننا اعتبار الحالة الراهنة للكون نتيجةً لماضيه وسببًا لمستقبله."

[5] نظرية الاضطراب هي طريقة رياضية مستخدمة في الفيزياء والرياضيات لتحليل نظام معقد. فعندما لا يمكننا حل معادلة فيزيائية أو رياضية بدقة (لأنها معقدة جدًا)، نستخدم نظرية الاضطراب لتقريب الحل. نبدأ من نظام نعرف حله جيدًا، ثم نضيف تأثيرًا صغيرًا (الاضطراب)،

بالكواكب الأخرى. فقد بيّنت نظرية الاضطرابات توازن النظام الشمسي واستقراره، وأصبح بالإمكان إجراء حسابات الجاذبية بين أكثر من كوكبين بدقة عالية جدًا. وقد اعتُبر اكتشاف كوكب نبتون من قِبل أوربان لو ڤاريه، الذي اعتمد في حساباته على الانحرافات في حركة كوكب أورانوس، انتصارًا لقانون نيوتن للجاذبية ولنظرية الاضطراب.

بعد اكتشافه لكوكب نبتون، بدأ أوربان لو ڤاريه في دراسة كوكب عطارد، وكان هو أول من ذكر بأنه لا يمكن تفسير مدار عطارد من خلال التأثير المشترك للشمس والكواكب الأخرى المعروفة باستخدام قانون نيوتن للجاذبية.

كانت المشكلة هي أن النقطة التي كلما يقترب فيها عطارد من الشمس، في حضيضه الشمسي (Perihelion)، تتحرك أكثر مما ينبغي. يُطلق على هذه الإزاحة، أو التغير في اتجاه محور دوران جسم ما بمرور الوقت، بالترنح المداري[6] (Precession). اعتقد لو ڤاريه أن التحرك الإضافي يمكن حسابه إذا كان هناك كوكب صغير بين عطارد والشمس، فاقترح تسمية الكوكب الجديد، إن وُجد، بڤولكان (Vulcan) على اسم إله النار في الأساطير الرومانية، مما يجعله اسمًا مناسبًا لكوكب قريب جدًا من الشمس.

في 22 ديسمبر 1859، ادّعى أحد هواة علم الفلك، واسمه إدموند ليسكاربولت[7] (Edmond Lescarbault)، أنه شاهد عبور الكوكب. وبعد زيارة قصيرة قام بها لو ڤاريه إلى مرصد ليسكاربولت، أعلن لو ڤاريه، في 2 يناير 1860، عن اكتشاف ڤولكان، الكوكب الافتراضي داخل مدار عطارد، وذلك في اجتماع لأكاديمية العلوم في باريس، رغم تعذّر وجود أي رؤية موثوقة لڤولكان.

كان أوربان لو ڤاريه مقتنعًا أيّما اقتناع - وحتى وفاته - بأنه اكتشف كوكبًا جديدًا. ونظرًا لاكتسابه سمعة طيبة بين العلماء المعاصرين، وبسبب نجاحه في البحث عن نِبتون، فقد بدا هذا التفسير جديرًا بالثقة إلى حد بعيد. وهكذا بدأ الفلكيون في البحث عن الكوكب الافتراضي ڤولكان.

انتشرت أخبار اكتشاف ڤولكان بسرعة، مع ذلك، لم يقبل كل العلماء هذا الاكتشاف. فقد أعلن العالِم إيمانويل لايس[8] (Emmanuel Liais) بأنه لم يرَ الكوكب المدعو ڤولكان، مؤكدًا أنه كان يدرس سطح الشمس باستخدام تلسكوب أقوى مرتين من تلسكوب ليسكاربولت، وقام بدراسته في الوقت نفسه التي ذكر فيه ليسكاربولت أنه لاحظ عبور الكوكب الغامض.

قام أوربان لو ڤاريه بحساب مدار الكوكب بناءً على ملاحظة ليسكاربولت وملاحظات عدد من علماء الفلك الهواة الذين أرسلوا إلى ليسكاربولت رسائل يدّعون فيها أنهم لاحظوا عبور ڤولكان أيضًا، ولكن بقي الأمر غير مؤكد.

كانت عمليات رصد جسمٍ داخل مدار عطارد في ذلك الوقت صعبة للغاية، لأنه يجب توجيه التلسكوب إلى نقطة قريبة جدًا من حافة الشمس، حيث لا تكون السماء مظلمة أبدًا. وفضلاً عن ذلك، فإن أيّ خطأ في توجيه التلسكوب قد يُلحق أذًى بالغًا ببصر الراصد، وقد يسبّب ضررًا لا رجعة فيه للعين. كما يمكن أن يتسبب السطوع الشديد بانعكاسات ضوئية في البصريات تربك المراقب وتجعله يرى أشياء غير موجودة. ولأكثر من نصف قرن، حاول علماء الفلك تعقّب الكوكب الافتراضي ڤولكان، خاصة أثناء كسوف الشمس، ولكن دون الوصول إلى نتائج مؤكدة أو قاطعة.

ونحسب كيف يتغير الحل تدريجيًا. ولهذه النظرية تطبيقات مهمة في علم الفلك لدراسة تأثيرات الجاذبية الصغيرة بين الكواكب على مداراتها. وأيضًا لحساب التأثيرات الثانوية على الأنظمة المستقرة في ميكانيكا الكم وميكانيكا السوائل وديناميكا السوائل والديناميكا الحرارية والكهرومغناطيسية.

[6] مقدار الإزاحة، أو الترنح المداري، هو بالنسبة لعطارد 43 ثانية قوسية (arcseconds) تقريبًا في كل قرن.

[7] إدموند ليسكاربولت (1814-1894) كان طبيبًا فرنسيًا هاويًا في علم الفلك، اشتهر بادعائه في القرن التاسع عشر أنه رصد كوكبًا غير معروف مرَّ بين الأرض والشمس، أُطلق عليه اسم "ڤولكان" (Vulcan).

[8] إيمانويل لايس (1826-1900) هو عالم فلك ومهندس ومستكشف فرنسي عاش في القرن التاسع عشر، ويُعد من الشخصيات المرموقة في تاريخ الفلك والجغرافيا. تميز بإسهاماته العلمية من جهة، وبأنشطته السياسية والإدارية من جهة أخرى، لا سيما في البرازيل.

قضى أوربان لو ڤاريه معظم حياته المهنية في مرصد باريس. وأصبح في النهاية مديرًا لتلك المؤسسة، من عام 1854 إلى عام 1870، ومرة أخرى من عام 1873 إلى عام 1877، وهي السنة التي توفي فيها، وهو لا يزال مقتنعًا باكتشاف كوكب آخر. غير أنه ومع تواصل البحث عن ڤولكان، بدأ معظم علماء الفلك يشكون شكوكًا بائنة في وجوده.

فيما بعد، اتضح أن قوانين نيوتن للجاذبية لا تنجح في تفسير حركة الأجسام المدارية القريبة من الشمس، مثل مدار كوكب عطارد؛ إذ إن مدارات الكواكب القريبة تتغير بمرور الوقت. يمتلك عطارد مدارًا إهليلجيًا (Elliptical orbit) واضحًا على خلاف معظم الكواكب. وتتراوح المسافة بين عطارد والشمس ما بين 45,926,546 كيلومتر عند الحضيض، أقرب نقطة له من الشمس، و69,862,206 كيلومتر عند الأوج (Aphelion)، أبعد نقطة له عن الشمس، وهذا الاختلاف بين موقعيه في الأوج والحضيض يزيد عن 50%.

تتبع الكواكب الأخرى مدارات شبه دائرية حول الشمس، حيث تتفاوت مواقعها من الشمس بين الحضيض والأوج بنسب مئوية بسيطة. على سبيل المثال، يبلغ بُعد الأرض عن الشمس في الحضيض 147,098,000، بينما يبلغ بُعدها في الأوج 152,098,000 وهذا الاختلاف لا يزيد عن 3.4%.

تبيّن أيضًا أن مدارات الكواكب القريبة تتغير بمرور الوقت كلما اقترب كوكب صغير بحجم عطارد من الشمس، حيث إن أقرب نقطة لعطارد من الشمس لا تحدث دائمًا في المكان نفسه. ويُطلق على هذه الإزاحة (أو التغير في اتجاه محور دوران جسم ما بمرور الوقت) بالترنح المداري. ونتيجة لذلك، يتخذ مدار عطارد حول الشمس شكل زهرة. وتُعرف هذه الظاهرة باسم ترنح شوارزشيلد المداري[9] (Schwarzschild Precession)، لوصفها هذا النوع من الدوران في المدارات الإهليلجية للأجسام المدارية القريبة من شمسها.

أخيرًا، وفي عام 1915 فقط، أصبح بالإمكان فهم طبيعة دوران كوكب عطارد، الذي يشبه الوردة حول الشمس، من خلال النظرية النسبية العامة لألبرت آينشتاين[10] (Albert Einstein)، والتي كانت طريقة مختلفة تمامًا لفهم الجاذبية مقارنة بميكانيكا نيوتن الكلاسيكية. فنظرية آينشتاين مكّنتنا من التنبؤ بدقة بحركة عطارد في الحضيض الشمسي دون اللجوء إلى افتراض وجود ڤولكان.

بعد أربعمئة عام، جاء آينشتاين ليُقدّم وجهة نظر مختلفة عن الجاذبية، ووجهة نظر منطقية لطبيعة دوران عطارد حول الشمس. فبدلًا من "قوة" جاذبة، استنتج أن كل جسم يؤدي إلى انحناء نسيج الزمان والمكان (الزمكان[11])،

---

[9] ترنح شوارزشيلد المداري: بما أن الإزاحة (الترنح المداري) لكل قرن تقدر بحوالي 43 ثانية قوسية (arcsecond)، وإجمالي التقدم المطلوب لدورة كاملة: 360 درجة = 1,296,000 ثانية قوسية، فإن الزمن اللازم لعطارد لإكمال وردة كاملة يصبح 30140 سنة بحسب إزاحة شوارزشيلد.

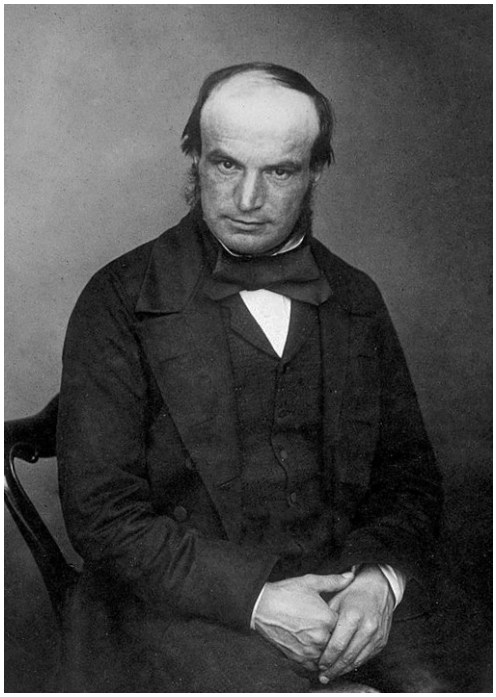
[10] ألبرت آينشتاين (1879-1955) طوّر فكرة الزمكان في النظرية النسبية الخاصة (1905)، حيث أظهر أن الزمن ليس ثابتًا، بل يعتمد على سرعة المراقب. في النظرية النسبية العامة (1915)، وصف الزمكان بأنه نسيج يمكن أن ينحني بسبب وجود الكتلة والطاقة، مما يفسر الجاذبية بطريقة جديدة. وأن الكتل الكبيرة (مثل الأرض أو الشمس) تقوم بثني نسيج الزمكان، مما يؤدي إلى ما نعرفه بالجاذبية. الزمكان هو الأساس لفهم الكون، الجاذبية، الثقوب السوداء، وتمدد الكون. بدون هذا المفهوم، لم نكن لنفهم كيف يعمل الكون على نطاقه الواسع.

[11] الزمكان (Spacetime) هو مفهوم في الفيزياء يدمج الأبعاد الثلاثة للمكان (الطول، العرض، الارتفاع) مع البعد الرابع (الزمن) في كيان واحد يُعرف بـ الزمكان. بدلًا من اعتبار الزمان والمكان منفصلين كما في الفيزياء الكلاسيكية، ويُنظر إليهما على أنهما نسيج مترابط يؤثر كل منهما على الآخر. قدم هرمان مينكوفسكي Hermann Minkowski (1864-1909)، عالم الرياضيات الألماني، في عام 1908، النموذج الرياضي للزمكان، والذي أصبح يعرف باسم فضاء مينكوفسكي، موضحًا أن الفضاء والزمن مرتبطان في بنية رباعية الأبعاد. مينكوفسكي كان من أساتذة آينشتاين، ومفهوم فضاء مينكوفسكي أصبح الإطار الهندسي الأساسي الذي استخدمه آينشتاين لتطوير نظرية النسبية الخاصة في عام 1905. فضاء مينكوفسكي كان أساسيًا لفهم النسبية الخاصة، حيث قدّم الإطار الرياضي للزمكان رباعي الأبعاد. لكنه لم يكن كافيًا لوصف الجاذبية، مما دفع آينشتاين إلى استخدام الهندسة غير الإقليدية (الريمانية) في نظريته عن النسبية العامة، في عام 1915.

وهذا ما يؤدي إلى الجاذبية. وقد مكّن هذا النموذج الجديد من حل مشكلة عطارد؛ إذ أظهر أن الشمس تحني الفضاء لدرجة أنها تُشوّه مدارات الأجسام القريبة منها، بما في ذلك مدار عطارد.

تبيّن هذه القصة الاختلاف بين طبيعة العلم وطبيعة الاعتقاد. فدليل واحد يكفي لدحض أي نظرية تبدو غير قابلة للجدل، حتى لو كانت نظريات لنوابغ مثل نيوتن أو أينشتاين. لقد ثبت، على سبيل المثال، خطأ النظرية المتعلقة بالأنتروبيا[12] (Entropy) التي اقترحها أحد أكثر الفيزيائيين تبجيلًا في جيلنا، ستيفن هوكينج[13] (Stephen Hawking). هذا لم يحرج العالم الكبير، لأن جوهر العلم هو أن يتحدى العلماء وجهات نظر بعضهم البعض باستمرار، وأن يكونوا مستعدين للتخلي عن نظرياتهم، مهما كانت متقبلة، إذا تثبت فيما بعد عدم صحتها بالدليل العلمي.

يحمل البشر معتقدات وأساطير تعود إلى عصور طويلة، تجعلهم في كثير من الأحيان يتحيزون لأفكار غير عقلانية، وهذا يعود في كثير من الأحيان لكون الطبيعة البشرية قادرة على خداع الذات. قصة ڤولكان تجعلنا ندرك مدى صعوبة فهم ما تخبرنا به الطبيعة، خصوصًا عندما تريد أن تقول "لا". وهذا يفسر لماذا بقي العلماء لأكثر من ستين عامًا يحاولون اكتشاف ڤولكان، لأن الصورة التي رأوا بها العالم تطلبت أن يكون به ڤولكان.



جون آدامز John Adams (1819-1892)

أوربان لو ڤاريه Urbain Le Verrier (1811-1877)

[12] في الفيزياء الكلاسيكية، كان يُعتقد أن الثقب الأسود لا يُمكنه أن يُصدر أي إشعاع، وبالتالي لا يفقد طاقة ولا يمكن أن يكون له "إنتروبيا" (درجة الفوضى أو عدم الانتظام). لكن هذا المفهوم تغير بشكل جذري بعد مساهمات يعقوب بيكنشتاين (Jacob Bekenstein)، الذي اقترح أن للثقوب السوداء إنتروبيا تتناسب مع مساحة أفق الحدث.

[13] ستيفن هوكينغ (1942–2018)، كان عالم فيزياء نظرية وكونيات بريطاني، ويُعتبر من أعظم علماء العصر الحديث. اشتهر بأبحاثه حول الثقوب السوداء وأصل الكون. اشتهر باكتشافه لإشعاع هوكينغ، وساهم في تطوير نظريات حول الانفجار العظيم (The Big Bang). أشهر كتبه: "تاريخ موجز للزمن" (A Brief History of Time)، والذي حاول فيه شرح طبيعة الزمان، والثقوب السوداء، ونشأة الكون بأسلوب بسيط للقارئ العادي.

إنشاء العلم الوطني الجزائري بالرياضيات

محمد زروالي
أستاذ الرياضيات، متوسطة قرابصي عبد الله عين مليلة، أم البواقي
طالب دكتوراه هندسة طاقوية، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة محمد خيضر، بسكرة
med.zerouali@hotmail.com

مقدمة

من خلال تجربتنا الميدانية مع تلاميذ المرحلة المتوسطة، لاحظنا أن رسم التلميذ للعلم الوطني الجزائري لا يعتمد على معايير محددة تُمكِّنه من رسم العلم الجزائري بكفاءة، وإنّما يرتكز أساسًا على مهارة التلميذ وهوايته في الرسم. وهذا ما دفعني إلى إنشاء مشروع يهدف لتمكين تلميذ المرحلة المتوسطة من إنشاء العلم الوطني الجزائري بأبعاد موحّدة في كامل التراب الوطني، وفق قواعد ومراحل رياضياتية تتوافق ومستواه الدراسي. وقد ركّزت في هذا المشروع على تلميذ السنة الأولى متوسط، كما يمكن إدراج خطوات إنشائه في مرحلة التعليم الابتدائي.

ويهدف هذا المشروع إلى ربط التلميذ بوطنه، وتعزيز حُبّه لرموزه، وتمكينه من دخول تاريخ أجداده من خلال رسم علم بلاده وفق قواعد وضوابط محددة، تُمكّنه من استرجاع همم الأبطال والبطلات الذين خاطوا الراية الوطنية بوسائل بسيطة، بل تكاد تنعدم في وقتها. ورغم ذلك، رفرفت الراية عبر كامل التراب الوطني، وأصبحت مكسبًا من مكاسب الثورة الجزائرية.

1. نبذة تاريخية عن العلم الوطني الجزائري

مرّ العلم الوطني الجزائري بعدة مراحل؛ إذ كان في البداية جزءًا تابعًا لعلم الدولة العثمانية، وقد حافظ البايات على شكله ولونه الأحمر. ثم اتخذ لونًا أخضر يتوسطه الأبيض مع وجود يدٍ مبسوطة في عهد الأمير عبد القادر. ترجع فكرة تصميم العلم الحالي حسب المؤرخين، إلى سنة 1929، وهو العام الذي فكّر فيه مصالي الحاج في إنشاء علم يرمز إلى الحرية، بعد أن أصبح يردد وينادي باستقلال الجزائر منذ عام 1927 في مدينة بروكسل ببلجيكا. ومع مرور السنوات، أصبحت الفكرة حلمًا تبنّاه نجم شمال إفريقيا، وذلك بين سنتي 1933 و1934، حين اعتمد رايةً حملت الألوان: الأبيض والأخضر والأحمر، للتعبير عن وحدة دول شمال إفريقيا الثلاث [1].

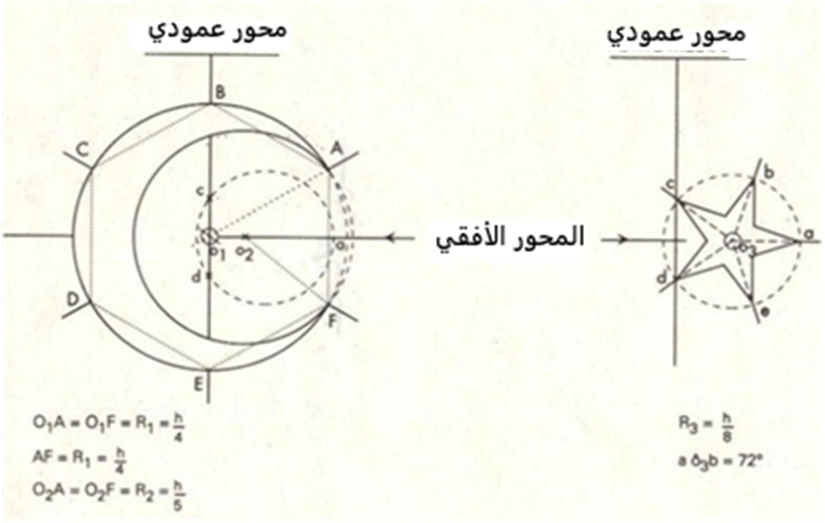
ظهر العلم في شكله الحالي لأول مرة خلال مظاهرات 17 جويلية عام 1937 في بلكلور بالجزائر العاصمة، ويُعزى تصميمه وحياكته إلى زوجة مصالي الحاج في شهر أوت 1934، وهو التاريخ الذي يُعدّ بمثابة ميلاد العلم الوطني الجزائري. وبعد مجازر 8 ماي 1945، ترسّخت لدى الجزائريين قناعة بضرورة الكفاح المسلّح لاسترجاع الحرية، ومع اندلاع الثورة التحريرية المباركة في الفاتح من نوفمبر عام 1954، تبنّت جبهة التحرير الوطني العلم، الذي أصبح يحمل دلالة أعمق، تمثّلت في رمزية دماء الشهداء الذين سقطوا في ماي 1945 [2].

ولم يتّخذ العلم الوطني شكله النهائي إلا بعد الاستقلال، حيث تم اعتماده رسميًا بألوانه: الأخضر والأبيض والأحمر، وبعنصريه المميّزين: النجمة والهلال، وذلك وفق مقاييس محددة تم الاتفاق عليها خلال اجتماع مجلس وزراء الحكومة الجزائرية يوم 4 أفريل عام 1962 [3]. وفي هذا السياق، صدر أول قانون يُنظّم العلم الوطني تحت رقم 145-63، وذلك في 25 أفريل 1963 [2].

2. تركيبة العلم

يخضع العلم الوطني الجزائري لعدة خصائص ومقاييس دقيقة، كما ورد في النصوص التنظيمية المحددة لمواصفات الراية الوطنية الجزائرية. وتشمل هذه الخصائص حسابات دقيقة تتعلق بالأبعاد والمساحات ودرجات الألوان الثلاثة التي يتكون منها العلم [4]. وعند رسم العلم، يجب مراعاة ما يلي:

- يأخذ العلم شكلًا مستطيلًا مُقسّمًا إلى شطرين متساويين: أبيض وأخضر، وفي قلبه هلال ونجمة حمراوان.
- تتكوّن تركيبة اللون الأخضر من مزج الأصفر والأزرق بالتساوي، أما الأحمر فيكون خالصًا ونقيًا.
- يجب أن يكون طول العلم يساوي مرة ونصف عرضه، بحيث يكون اللون الأخضر أقرب إلى السارية والأبيض في النصف الآخر.
- تُرسم النجمة الخماسية داخل دائرة وهمية نصف قطرها يساوي ثُمن (1/8) عرض العلم، بحيث يلامس رأسان من النجمة منتصف العلم، على أن تبقى داخل الجزء الأبيض منه.
- أما الهلال فيُرسم من تقاطع دائرتين؛ إحداهما كبرى تتوسّط العلم، نصف قطرها رُبع (1/4) عرض العلم، والأخرى صغرى، نصف قطرها خُمس (1/5) عرض العلم.



الشكل 1: ملحق القانون 63- 145، المؤرخ في 25 أفريل 1963والمتضمن تحديد خصائص ومميزات العلم الوطني الجزائري

3. خطوات إنشاء العلم الوطني الجزائري

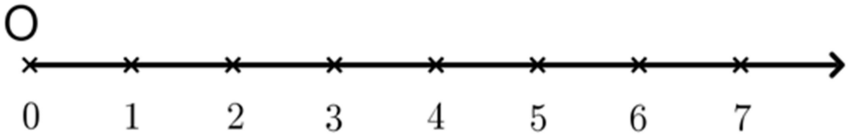
لا يمكن لتلميذ المرحلة المتوسطة أن يرسم العلم الوطني الجزائري وفق ما يحدده القانون المحدد لخصائص ومميزات العلم دون تبسيط. ومن هنا جاءت فكرة هذا المشروع، الذي يهدف إلى تبسيط خطوات إنشاء العلم الوطني بما يتوافق مع المنهاج المدرسي للمرحلة المتوسطة. ولتحقيق ذلك، قسّمنا عملية رسم العلم إلى ثلاث مراحل أساسية، تليها مرحلة رابعة خاصة بالتلوين. يتم تنفيذ هذه الخطوات بعد أن يكتسب تلميذ السنة الأولى من التعليم المتوسط الموارد المعرفية والمهارية الخاصة بالثلاثي الأول من السنة الدراسية، وذلك بتوظيف الكفاءات التالية:

- التعليم على نصف مستقيم مدرج تدريجًا منتظمًا،
- إنشاء الأشكال الهندسية: الدائرة والمستطيل والنجمة الخماسية،
- إنشاء زاوية أو مثيل لزاوية معلومة،

- إنشاء قوس يقايس قوسًا آخر معلومًا،
- التعرف على خصائص الأوتار في الدائرة،
- التمكن من مفاهيم التقاطع والتعامد والتقايس،
- الاستعمال السليم للمصطلحات الرياضياتية،
- الاستخدام الصحيح للأدوات الهندسية والتدرب عليها.

أ- المرحلة الأولى: رسم الهلال

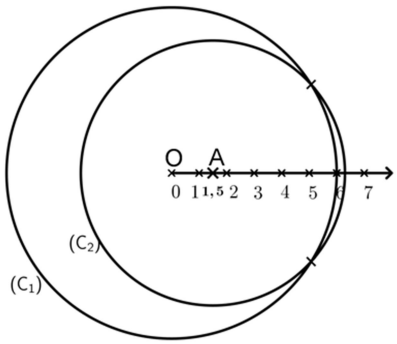
يبدأ التلميذ أولى خطوات الإنشاء بتعيين نقطة تتوسّط ورقة بيضاء، لتكون مبدأ لنصف مستقيم مدرج تدريجًا منتظمًا يتضمّن 7 وحدات على الأقل، وتختلف وحدة التدريج باختلاف مقاس الورقة المُختارة. وفي هذا المقال اخترنا 1سم كمثال.



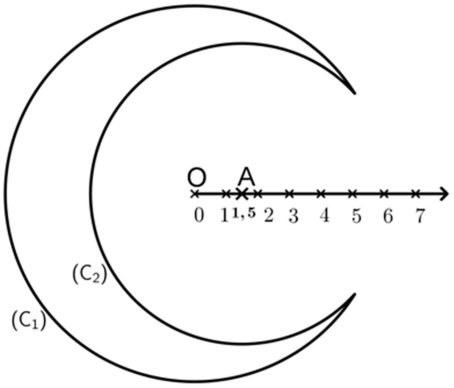
الشكل 2: عيّن O نقطة في وسط ورقة بيضاء، ثم ارسم نصف مستقيم مدرج (7 وحدات على الأقل) مبدؤه النقطة O.

بعد أن يُتم التلميذ رسم نصف المستقيم المدرّج، يختار النقطة O مركز دائرة أولى قطرها 6 وحدات، ثم يرسم دائرة أخرى مركزها النقطة A فاصلتها $A\,(1{,}5)$ ونصف قطرها 4,8 وحدة على نفس المستقيم المدرج.

ينتج عن تقاطع الدائرتين نقطتان، تشكلان فيما بعد حدود الهلال. ثم يقوم التلميذ بالتخلص من القوسين من جهة اليمين. وبذلك، يكون قد أتمّ في نهاية هذه المرحلة إنشاء شكل الهلال.



الشكل 3 : (1) ارسم دائرة (C_1) مركزها النقطة $O(0)$ ونصف قطرها 6سم. (2) عيّن النقطة $A\,(1{,}5)$ على نصف المستقيم المدرج، ثم ارسم دائرة (C_2) مركزها النقطة A ونصف قطرها 4,8سم.



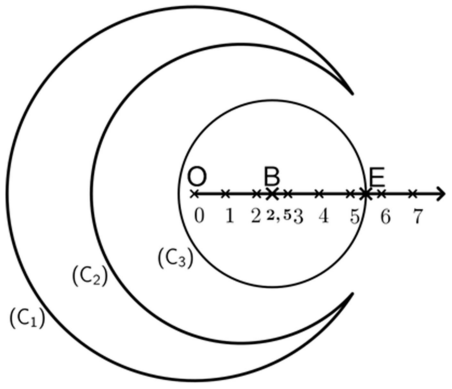
الشكل 4 : عين نقطتي تقاطع الدائرتين (C_1) و (C_2) ثم قم بالتخلص من القوسين المتقاطعين من جهة اليمين.

ب- المرحلة الثانية: إنشاء النجمة الخماسية

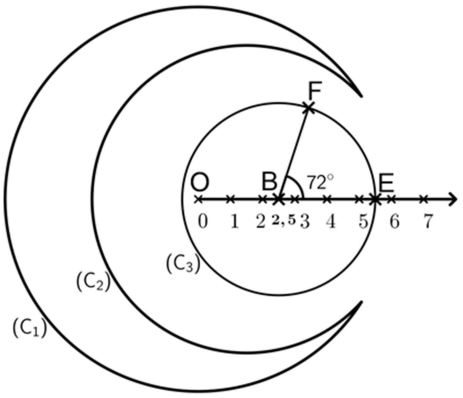
ما إن يُنهي التلميذ رسم الهلال، حتى ينطلق في رسم النجمة الخماسية على نفس نصف المستقيم المدرّج. يعيّن أولًا النقطة B التي فاصلتها 2,5 لتكون مركز دائرة ثالثة (C_3) تحيط بالنجمة الخماسية، فيتحصل على النقطة E ،

نقطة تقاطع نصف المستقيم المدرّج مع الدائرة (C_3)، والتي ستكون رأس إحدى شعب النجمة الخماسية (الشكل 5).
بعد ذلك، يستعين التلميذ بالمنقلة المدرّجة لرسم زاوية قيسها $E\hat{B}F = 72°$، فيتحصل على النقطة الثالثة، والتي تسمى F، تقع على الدائرة (C_3) (الشكل 6). وباتباع المراحل ذاتها، يرسم التلميذ ثلاث زوايا متتابعة وبنفس القيس أي $F\hat{B}G = 72°$ و $G\hat{B}H = 72°$ و $H\hat{B}I = 72°$. فيتحصل على النقط التالية: E ؛ F ؛ G ؛ H ؛ I (الشكل 7)، والتي ستكون فيما بعد رؤوس الشعب الخمسة للنجمة الخماسية.

يمكن للتلميذ الاستغناء عن استعمال المنقلة بعد تحديد الزاوية الأولى $E\hat{B}F = 72°$، ويستبدلها بالمدور الذي سبق له التدرّب عليه في السنة الأولى من التعليم المتوسط، حيث يُنشئ قوسًا يُقايس قوسًا معلومًا. وبهذه الطريقة، نكون قد ساهمنا في تدريب التلميذ على الاستعمال السليم للمدور، وهو من الأدوات التي كثيرًا ما يُواجه فيها صعوبات في هذه المرحلة التعليمية، ما يستوجب معالجتها من خلال مشاريع تطبيقية كهذا المشروع.

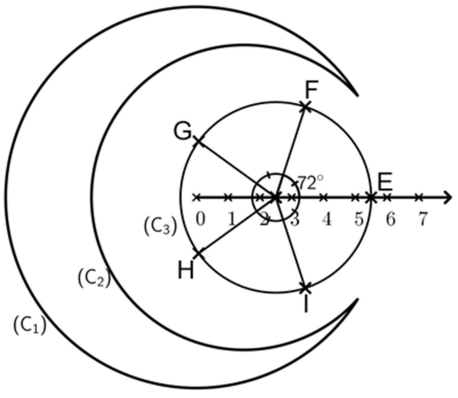


الشكل 5 : رسم الدائرة (C_3) مركزها النقطة B ونصف قطرها 3سم.

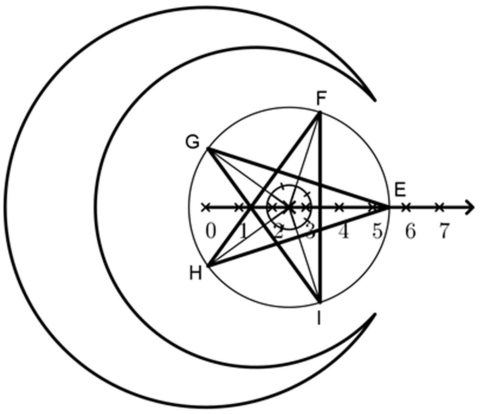


الشكل 6 : رسم الزاوية الأولى $E\hat{B}F = 72°$

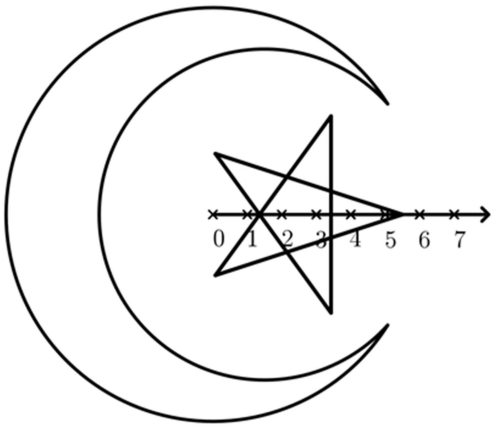
بعد إتمام الإنشاء الصحيح للمراحل السابقة، يبدأ التلميذ في رسم الأوتار $[EG]$ ؛ $[GI]$ ؛ $[IF]$ ؛ $[FH]$ ؛ $[HE]$، وهي التي ستحدد فيما بعد الشكل النهائي للنجمة الخماسية (الشكل 8). ثم يقوم التلميذ بإزالة جميع الخطوط الزائدة لتتضح معالم النجمة الخماسية بشكل نهائي (الشكل 9).



الشكل 7: وبنفس الطريقة وبنفس القيس، أنشئ الزوايا:
$F\hat{B}G = 72°$ ؛ $G\hat{B}H = 72°$ و $H\hat{B}I = 72°$.



الشكل 8 : رسم الأوتار

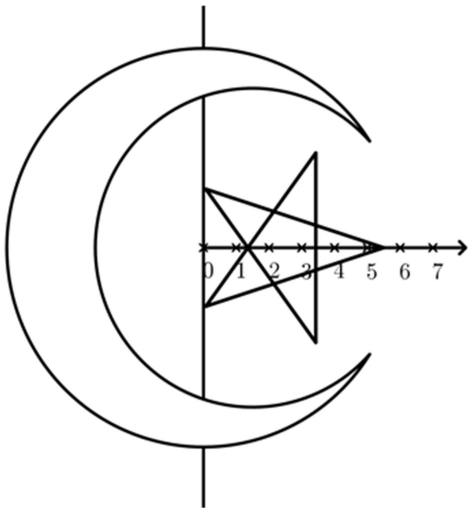


الشكل 9 : حذف الخطوط الزائدة للحصول على النجمة الخماسية

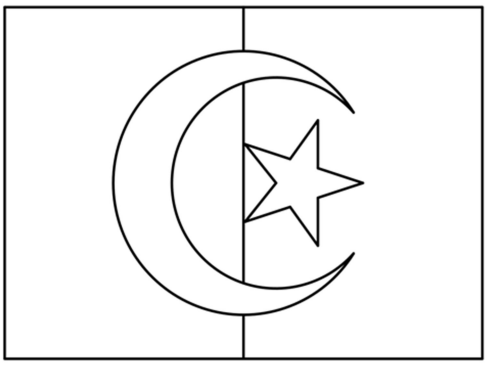
ينبغي على التلميذ في هذه المرحلة حذف الدائرة الوهمية المحيطة بالنجمة الخماسية، إلى جانب كل الخطوط الزائدة، مع الإبقاء على نصف المستقيم المدرج. بعد ذلك، ينطلق في المرحلة الثالثة، والمتمثلة في رسم العلم داخل مستطيل، وستحدد طريقة رسمه فيما يلي.

ج- المرحلة الثالثة: رسم الإطار

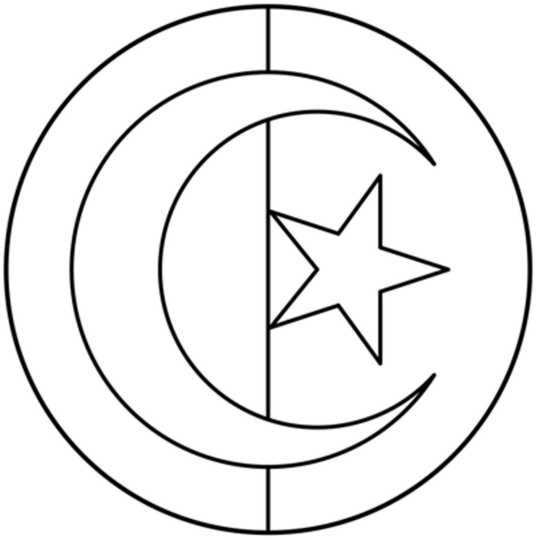
كمرحلة أخيرة، نوجّه التلميذ إلى رسم المستطيل ببعديه، والذي يمثّل شكل وروح العلم الوطني الجزائري، ويتم ذلك برسم مستقيم عمودي على نصف المستقيم المدرج في مبدئه، دون أن يقطع الهلال (الشكل 10). بعد ذلك، يرسم التلميذ مستطيلين متقايسين ومتناظرين بالنسبة إلى المستقيم العمودي، بُعداهما 8 و12 وحدة (الشكل 11). وتُعدّ هذه الخطوة آخر مرحلة في عملية الإنشاء، قبل الانتقال إلى التلوين. كما يمكن رسم الشكل داخل دائرة نصف قطرها 8سم (الشكل 12).



الشكل 10: ارسم المستقيم العمودي على نصف المدرج المستقيم في النقطة O طوله 16سم دون أن يقطع الهلال.



الشكل 11 : رسم الشكل وسط مستطيل بُعداه: 16سم و24سم



الشكل 12 : رسم النجمة والهلال داخل دائرة

د- المرحلة الرابعة: التلوين

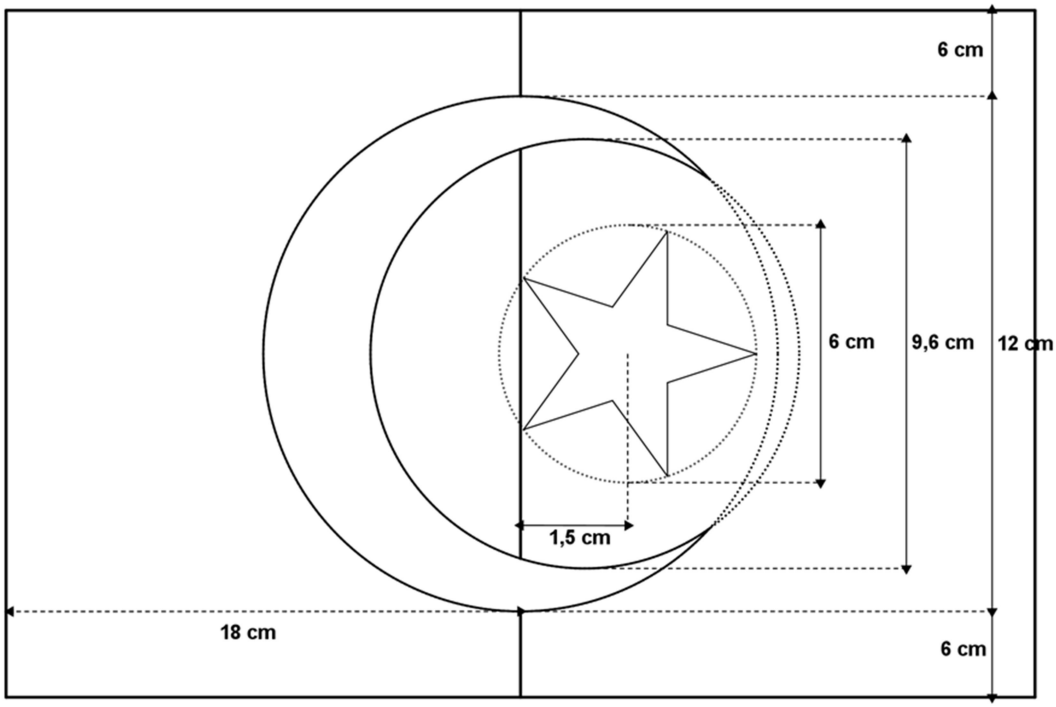
اكتسب العلم الوطني الجزائري معناه الاستقلالي الصريح عن فرنسا، وظهر إلى الوجود سنة 1934، بعد أن دعا إليه مصالي الحاج منذ سنة 1927، حيث كان يقول: "العلم الجزائري ثلاثي الألوان على النحو التالي: الأبيض والأخضر، إضافة إلى النجمة والهلال باللون الأحمر" [3] [5].

ويتكوّن علم الجمهورية الجزائرية من مستطيل مكون من جزءين: أخضر وأبيض، يتوسطه نجم وهلال باللون الأحمر. وفيما يلي مواصفات درجات الألوان المعتمدة في علم الجزائر [6]:

- يجب أن يكون اللون الأخضر خالصًا، ناتجًا عن مزيج متساوٍ من الأصفر والأزرق. ويبلغ طوله الموجي، وفقًا لمخطط التباينات اللونية لرود، 5.411، ويقع في الموضع 600 على الطيف الطبيعي.
- أما اللون الأحمر، فيجب أن يكون خالصًا، لونًا أوليًا غير قابل للتحليل، كما هو موضح. ويبلغ طوله الموجي 6.562، ويقع في الموضع 285 على الطيف الطبيعي.

4. مخطط و أبعاد العلم الوطني الجزائري

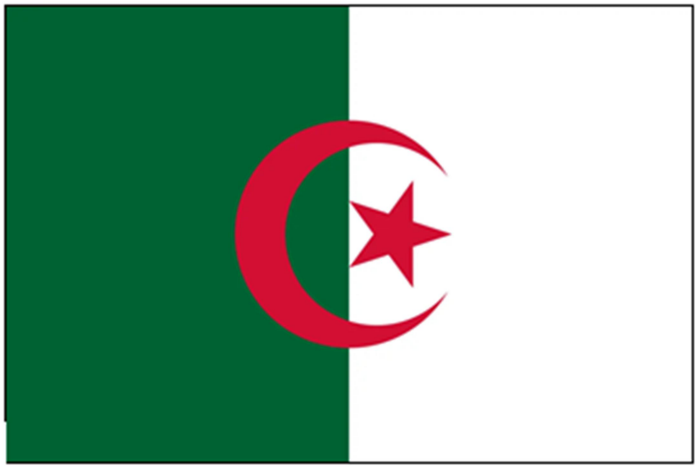
في (الشكل 13)، يظهر مخطط لأبعاد العلم الوطني الجزائري بوحدة السنتمتر، وذلك بعد استيفاء جميع مراحل الإنشاء السابقة، بحيث يُرسم الهلال والنجمة الخماسية وسط ورقة ذات مقاس A_4 ، اعتمادًا على الأدوات المتوفرة خلال الحصة التطبيقية. كما يمكن أيضًا رسم العلم الوطني الجزائري على ورقة بمقاس A_3 داخل مستطيل طوله 36سم وعرضه 24سم (الشكل 16)، وهو ما يتوافق مع ما ورد في ملحق القانون 63-145، المؤرخ في 25 أفريل 1963، والمتضمّن تحديد خصائص ومميزات العلم الوطني الجزائري (الشكل 1) [4].



الشكل 13 : أبعاد العلم الوطني الجزائري (نموذج المشروع) على ورقة مقاس A_3

5. رمزية الألوان والأشكال في العلم الوطني الجزائري

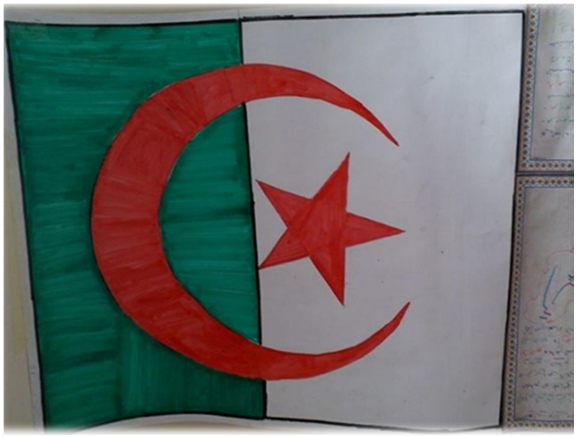
- اللون الأبيض: يرمز إلى السلام والنقاء والحرية.
- اللون الأخضر: يرمز إلى الإسلام وإلى ثروات البلاد.
- اللون الأحمر: يرمز إلى دماء شهداء الجزائر.



الشكل 14: رمزية الألوان والأشكال في العلم الوطني

6. نماذج إنشاءات بعض تلاميذ السنة الأولى متوسط

الشكل 15: نماذج وأعمال تلاميذ السنة الأولى متوسط خلال حصة ورشة تطبيقية لمدة ساعة ونصف على الأكثر لرسم العلم الوطني الجزائري



الشكل 16: رسمة لتلاميذ السنة الأولى متوسط في ورقة مقاس A_3

خاتمة

يمكننا القول إنه، في ظل غياب قواعد بسيطة التنفيذ تُقيّد التلميذ في كيفية رسم العلم الوطني وفق منهج علمي رياضياتي، وبالاعتماد على ما اكتسبه خلال مساره الدراسي، خاصة في مرحلة التعليم المتوسط، ارتأينا تبسيط خطوات إنشاء العلم الجزائري لتلميذ السنة الأولى متوسط، وذلك عبر مراحل صحيحة ومنظمة، بهدف الوصول إلى علم مرسوم بدقة وانضباط.

ومن خلال هذا المشروع، نسعى إلى توحيد طريقة رسم العلم الجزائري عبر كامل التراب الوطني، مع إبراز أهمية احترام الضوابط المحددة والقواعد التي تُبيّن كيفية رسمه. كما يمكن التحكم في أبعاد العلم من خلال اختيار وحدة قياس مناسبة لوحدة التدريج المنتظم في أولى مراحل الإنشاء. لذلك، نقترح إدراج خطوات الإنشاء في صفحة مخصّصة ضمن الكتاب المدرسي، مرفقة بأسئلة وتعليمات، كما هو موضّح ومرتّب في (الملحق)، وذلك لفائدة تلاميذ المرحلة المتوسطة، وخاصة في كتاب الرياضيات للسنة الأولى متوسط.

المراجع

[1] ميريام أكرور، الحماية القانونية للعلم الوطني، مجلة صوت القانون، ، 6(2)، 1020-1030، 2019.

[2] معراج جديدي، نشأة العلم وأسسه القانونية، Revue Algérienne des Sciences Juridiques et Politiques،50(2)، 143-154، (2013).

[3] محمد لحسن زغيدي، العلم الوطني الجزائري: دلالات رمزية ومسيرة نضالية، مطبعة دار هومة، الجزائر، 2014.

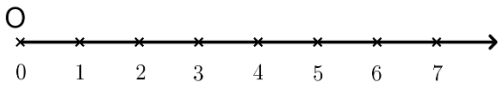
[4] حباسي شاوش، أصول العلم الوطني الجزائري المعاصر: تطوره الشكلي وتحليل مضمونه (الإيديولوجي والسياسي) الوطني (1518-1945م)، مجلة الدراسات التاريخية، 6(1)،103-127، (1995).

[5] ملحق القانون 63- 145، المؤرخ في 25 أفريل 1963 والمتضمن تحديد خصائص ومميزات العلم الوطني الجزائري.

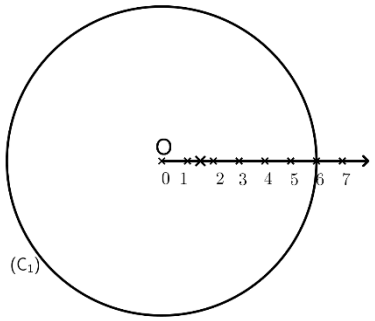
[6] Messali Hadj & Renaud de Rochebrune, Les mémoires de Messali Hadj (1898-1938), J.-C. Lattès, Paris, 1982.

الملحق: الصفحة المقترحة للكتاب المدرسي بعنوان "العلم الوطني الجزائري"

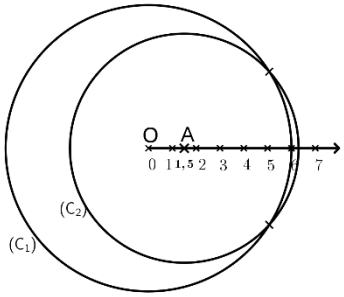
1) عين O نقطة في وسط ورقة بيضاء، ثم ارسم نصف مستقيم مدرج (7 وحدات على الأقل) مبدؤه النقطة O ووحدة التدريج فيه هي 1سم.



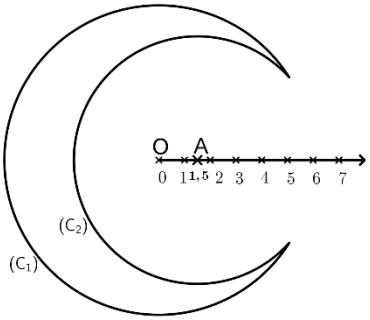
2) ارسم الدائرة الأولى (C_1) مركزها النقطة $O(0)$ ونصف قطرها 6سم.



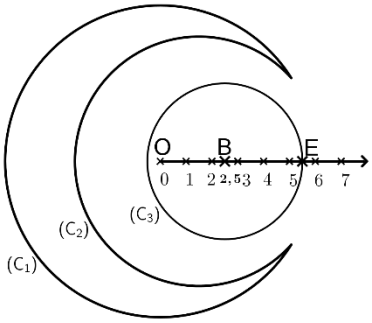
3) عين النقطة $A(1,5)$ على نصف المستقيم المدرج ثم ارسم دائرة (C_2) مركزها النقطة A ونصف قطرها 4,8سم.



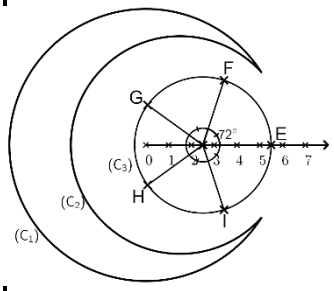
4) عين نقطتي تقاطع الدائرتين (C_1) و (C_2) ثم قم بالتخلص من القوسين المتقاطعين من جهة اليمين.

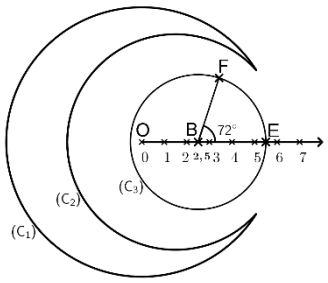


5) عين على نفس المستقيم المدرج النقطة $B(2,5)$. ثم أرسم الدائرة (C_3) مركزها النقطة B ونصف قطرها 3سم.

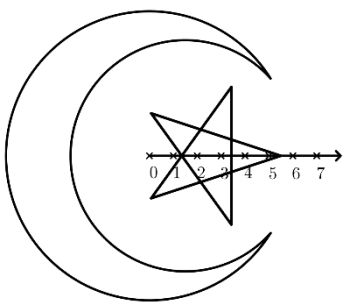
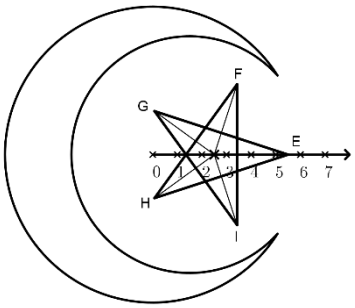


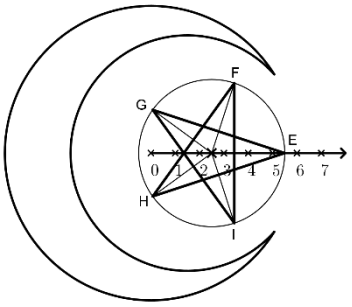
6) عين E نقطة تقاطع الدائرة (C_3) ونصف المستقيم المدرج، ثم أنشئ زاوية $E\hat{B}F = 72°$ تقطع الدائرة السابقة (C_3) في النقطة F. بنفس الطريقة وبنفس القيس انشئ الزوايا: $F\hat{B}G = 72°$ ؛ $G\hat{B}H = 72°$ و $H\hat{B}I = 72°$





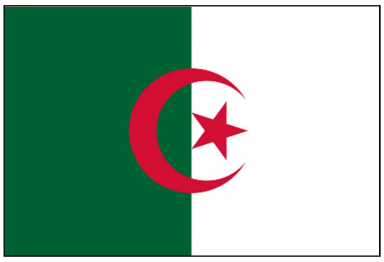
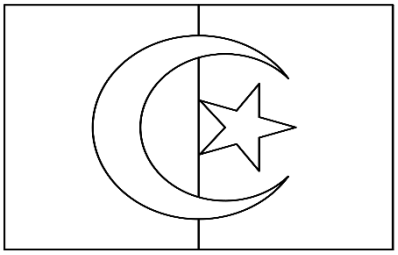
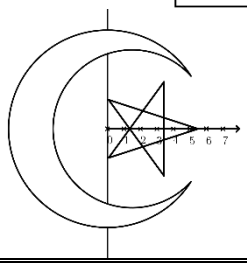
7) ارسم الأوتار: $[EG]$ ؛ $[GI]$ ؛ $[IF]$ ؛ $[FH]$ و $[HE]$ ثم قم بإزالة الدائرة (C_3) واحذف الخطوط الزائدة لتتحصل على النجمة الخماسية.

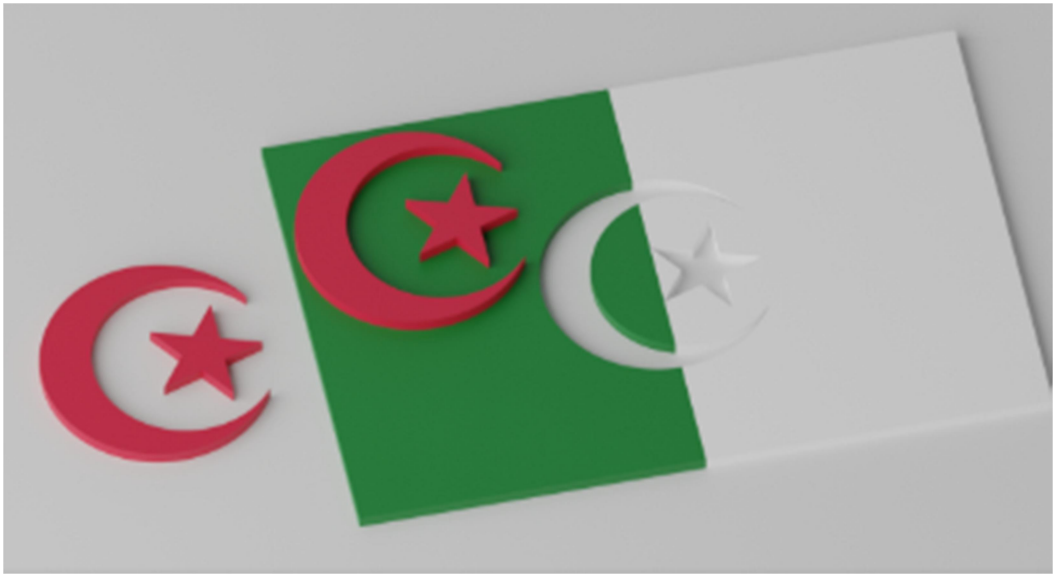


8) ارسم المستقيم العمودي على نصف المدرج المستقيم في النقطة O طوله 16سم، دون أن يقطع الهلال. ثم ضع الشكل وسط مستطيل بُعداه 16سم و24سم.

9) استعمل اللونين الأحمر والأخضر لتلوين العلم الجزائري ثم اشرح إلى ماذا يرمز كل لون؟

****



مبرهنة فيثاغورس في التقليد الرياضي في دار الإسلام

غرابة وسيلة
أستاذة بقسم الرياضيات والإعلام الآلي، كلية العلوم، جامعة الدكتور يحي فارس، المدية
مخبر الإبستمولوجيا وتاريخ الرياضيات، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
gheraba.ouassila@univ-medea.dz

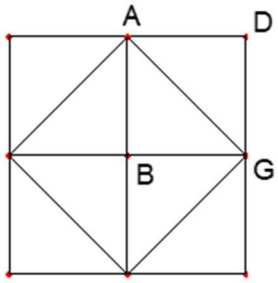
استكمالًا لمقالات مبرهنة فيثاغورس، نحاول في هذا الجزء الأخير فهم المبرهنة من خلال دراستها في التقليد الرياضي العربي، وذلك عبر أعمال رياضيين من دار الإسلام.

1. الخوارزمي (ت. 850م)

اسمه محمد بن موسى، وأصله من خوارزم، وكان منقطعًا إلى خزانة الحكمة للمأمون. يُعدّ من علماء الهيئة، وقد كان الناس، قبل الرصد وبعده، يعتمدون على زيجيه الأول والثاني، المعروفَين بالسند هند [5].

أثبت الخوارزمي في كتابه **الجبر والمقابلة** مبرهنة فيثاغورس في الحالة الخاصة المتعلقة بالمثلث القائم المتقايس الساقين. ويختلف برهان الخوارزمي عن إثبات أُقليدس (Euclid). ولقد استبعد بروكلوس (Proclus) هذه الحالة الخاصة في كتابه، ومشيرًا إلى أن أُقليدس لم يُثبتها هندسيًا، رغم أن الفيثاغوريين أثبتوا قبله أن العدد $\sqrt{2}$ ليس عددًا ناطقًا، وهو طول وتر في مثلث قائم الزاوية طولا ضلعا القائمة فيه 1 [10].

ربّما كان وجود المبرهنة في كتاب الخوارزمي لغرض حرفي، لأنه زاوج فيه (خاصة في الجزء الهندسي) بين الأشكال الهندسية وتطبيقاتها، وكان إثباتها معروفا عند اليونان والهنود [11]. والإثبات في الشكل 1 [8].



الشكل 1

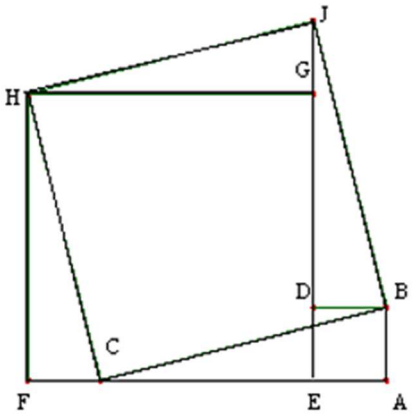
ملاحظات:

- الطريقة المستخدمة في الإثبات هي إتمام المربع، وقد ظهرت هذه الطريقة أيضًا في حوار بين سقراط (Socrates) وعبدٍ له لم يدرس الرياضيات، أدرجها أفلاطون (Plato) عن أستاذه. وفي هذا الحوار جعل سقراط عبده يستنتج خطأً أن ضعف مساحة مربع طول ضلعه قدم هو مربع ضعف ضلعه [10]. ولا نجد هذه الطريقة عند الطوسي في كتابه **تحرير أوقليدس**.
- وُجد هذا الشكل أيضًا في **السولباسوتراس** الهندية، وقد يُعدّ إثباتًا مرئيًا للمبرهنة: مساحة مربع تقع رؤوسه على منتصفات أضلاع مربع آخر، تساوي ضعف مساحته" [9].

2. ثابت بن قرة (ت. 901م)

هو أبو الحسن ثابت بن قرة بن مروان بن ثابت بن كرايا بن مارينوس بن سلامويوس، وُلد سنة 212هـ وتوفي سنة 288هـ كان صيرفيا في حرّان، فاستصحبه محمد بن موسى ووصله بالمعتضد، وأدخله في جملة المنجمين. وأصل رياسة الصابئة في بلاد الإسلام وبحضرة الخلفاء ثابت بن قرة [5].

كرّس ثابت بن قرة مؤلفَين للبناءات الهندسية. ففي كتابه **رسالة في الحجة المنسوبة إلى سقراط في المربع وقطره**، قدّم حلًا للمسألة التالية: تقسيم مربع مبني على وتر مثلث قائم الزاوية إلى قطع نستطيع أن نركّب بها المربعات المبنية على أضلاع المثلث عينه. وهي فكرة تختلف تمامًا عن فكرة إثبات أُقليدس لمبرهنة فيثاغورس. يُظهر الشكل 2 أحد رسوم ثابت بن قرة، هنا بُني المربع $BCHJ$ على وتر المثلث ABC وقُطّع فيما بعد إلى أجزاء أعطت بدورها الشكل $BAFHGD$. وهذا الشكل ليس سوى المربعين $ABDE$ و$EFHG$ المبنيين على أضلاع المثلث ABC [2].



الشكل 2

ملاحظة

قدّم النيريزي (ت. 922م) هذا الإثبات أيضًا أثناء شرحه لكتاب **الأصول** لأُقليدس، ونسبه إلى ثابت بن قرة دون إعطاء مصادره [2]. وهو الإثبات الثامن في كتاب **تحرير أُقليدس** للطوسي.

3. أبو الوفاء البوزجاني (ت. 997م)

هو محمد بن محمد بن يحيى بن إسماعيل بن العباس، وُلد ببوزجان من بلاد نيسابور سنة 328هـ قرأ على عمه وخاله ما يتعلق بالعدديات والحساب، وتعلّم الهندسة على يد أبي يحيى الماوردي، انتقل إلى العراق سنة ثمان وأربعين. من مؤلفاته: **كتاب ما يحتاج إليه العمال، تفسيركتاب الخوارزمي في الجبروالمقابلة، تفسيركتاب ديوفنطس في الجبر، كتاب معرفة الدائرة من الفلك، كتاب الكامل** [5]، وغيرها من الكتب.

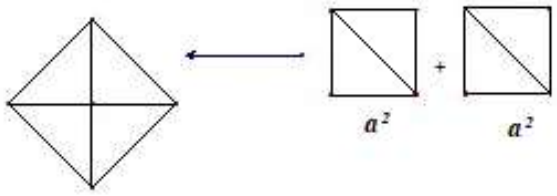
أراد أبو الوفاء البوزجاني تشكيل مربع باستخدام التقطيع، انطلاقًا من مربعات صغيرة. وقد حلّ أبو الوفاء المسألة خصيصًا لفائدة المهندسين والحرفيين، وذلك من أجل تغيير ممارساتهم لمهنتهم بطرقهم غير الدقيقة بأخرى مدروسة رياضيًا في كتابه **كتاب فيما يحتاج إليه الصانع من أعمال الهندسة**. يحتوي الكتاب على عدد كبير من إنشاءات تطبيقية هامة لمسح الأراضي، وأعمال الهندسة عند الحرفيين [11].

حل المسألة باستخدام خواص حسابية للعدد الطبيعي n، مع تفصيل حالتين:

أ- **الحالة التي يكون فيها العدد n مربعًا أو مجموع مربعين:**

أ-1. في حالة كان n من الشكل a^2، أي أن لدينا مربعات متقايسة عددها a^2، فإن المربع المطلوب تشكيله بهذه القطع سيكون طول ضلعه a. وبالعكس، يمكننا تقطيع مربع مساحته a^2 إلى مربعات عددها a^2، وذلك بتقطيع أضلاع المربع إلى a جزءًا.

أ-2. في حالة تشكيل مربع من مربعات عددها $2a^2$: في المرحلة الأولى نشكّل مربعين كما مرّ سابقا في أ-1، مساحة كل منهما a^2. ثم نقسم المربعين على مستوى قطريهما، فنحصل على 4 مثلثات قائمة ومتقايسة الساقين. عند لصق هذه المضلعات على مستوى أضلاعها نحصل على مربع، كما يبيّنه الشكل 3.



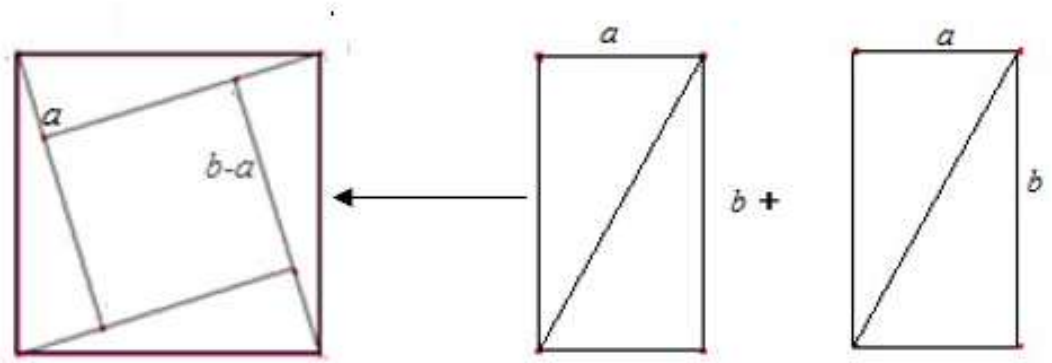
الشكل 3

أما إذا كان لدينا مربع مساحته $2a^2$ ونريد تجزئته إلى مربعات متساوية عددها $2a^2$، فإننا نقوم بالعملية العكسية [6].

أ-3. في حال تشكيل مربع انطلاقًا من مربعات عددها يساوي $a^2 + b^2$ (حيث $a < b$)، نأخذ مستطيلين بعداهما a وb حيث a وb عددان طبيعيان. يحتوي كلٌّ من المستطيلين إذن على ab مربعًا. نقسم المستطيلين على مستوى القطر إلى أربعة مثلثات قائمة، ونحيطها على مستوى أوتارها حول مربع طول ضلعه $(b - a)$، كما هو مبيّن في الشكل 4، فيتشكل مربع يتكون من $(b - a)^2$ مربعًا.

يتشكل المربع المطلوب انطلاقًا من العلاقة:

$$\left(\sqrt{a^2 + b^2}\right)^2 = 4(ab/2) + (b - a)^2.$$

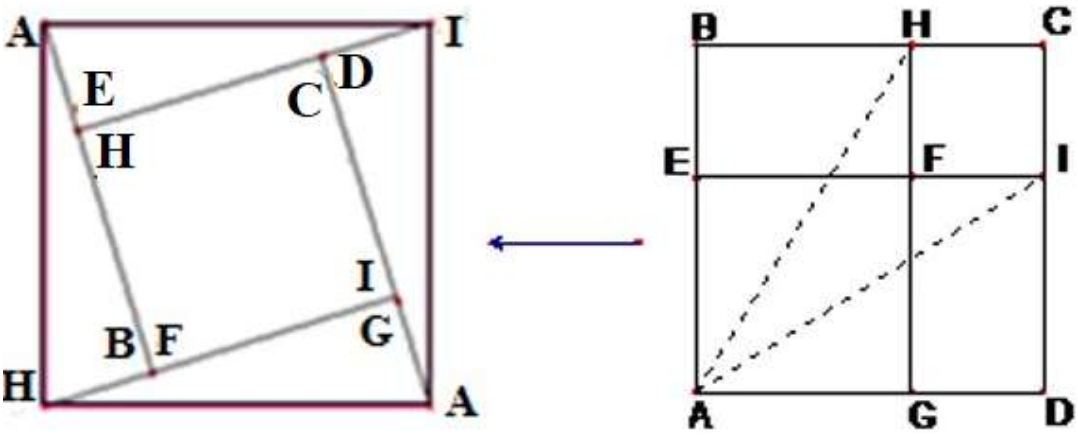


الشكل 4

ب- في الحالة الثانية: إذا لم يكن n مربعًا ولا مجموع مربعين:

ب-1. نريد تشكيل مربع انطلاقًا من مربعين طولي ضلعيهما c وd بحيث $c > d$: نفرض أن المربع $AEFG$ طول ضلعه d والمربع $ABCD$ طول ضلعه c، بحيث يشتركان في رأس الزاوية القائمة، وأن الضلعين اللذين يحصرانها متطابقان كل منهما لنظيره في المربع الآخر، كما هو موضح في الشكل 5. نمدّ الضلعين FI وFH، فنحصل على المربع $HFIC$ الذي طول ضلعه $c - d$، والمستطيلين $EIDA$ و$BHGA$ اللذين بعداهما c وd (بعد إلصاق المربع

$EFGA$ والمستطيل $FIDG$). بعد ذلك نقسم المستطيلين بحسب قطريهما، ونشكّل المربع تكون أضلاعه هي أقطار المستطيلات بحيث يكون المربع $HFIC$ في الوسط، كما هو مبيّن في الشكل 5 [6].

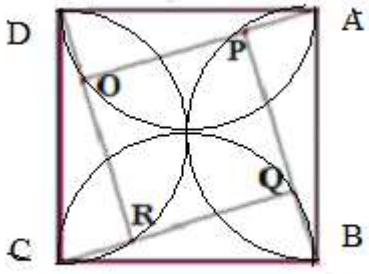


الشكل 5

ب-2. أما في الحالة العكسية، أي عند تقطيع مربع طول ضلعه ليس عددًا طبيعيًا إلى مربعين طول أحد ضلعيه معلوم، نرسم المربع $ABCD$ طول ضلعه c، كما هو مبين في الشكل 6. ثم نشكّل أنصاف الدوائر أقطارها c، ونعيّن النقط R، Q، P، O بحيث يكون المربع $OPQR$ طول ضلعه $b-a$. ووفق العلاقة

$$a^2+b^2 = 4(ab/2) + (b-a)^2$$

نجد المطلوب [8].



الشكل 6

ملاحظة

يشبه الإثبات **ب-2**. الإثبات الوارد في كتاب **تحرير أُقليدس** لنصير الدين الطوسي، غير أن الطريقة ليست نفسها؛ إذ رسم الطوسي المثلث قبل مربع الوتر، في حين قام أبو الوفاء البوزجاني بالعكس. وبذلك يمكن تفسير وجود الدوائر في شكل أبو الوفاء البوزجاني [8].

4. ابن الهيثم

هو أبو علي الحسن بن الحسن بن الهيثم (عاش بين 965م و1041م)، وقد حظي بتقدير واهتمام كبيرين في الدراسات الحديثة، وله مكانة بارزة في المجالات العلمية عمومًا وفي الرياضيات خصوصًا. ومن بين مؤلفاته كتاب **في حل**

شكوك أُقليدس في الأصول، وهو أضخم كتبه المحفوظة في الرياضيات. وقد ألّفه بعد انتهائه من تأليف رسالته في **شرح مصادرات أُقليدس** [4].

قال ابن الهيثم في كتابه **في حل شكوك أُقليدس في الأصول**، في سياق حديثه عن مبرهنة فيثاغورس: "وهذا الشكل هو شكل علمي وليس يعترض فيه شيء من الشكوك إلا أنه يمكن أن يبين بطريق غير هذا الطريق الذي ذكره أُقليدس". وهي المبرهنة 47 في كتاب **الأصول**. وقدّم ابن الهيثم الإثبات التالي [4]:

- نرسم المثلث ABG القائم في G، ثم نرسم المربع $ABED$ ضلعه $[AB]$ منطبقًا على المثلث.

• في حالة $AB = AG$ فإن:

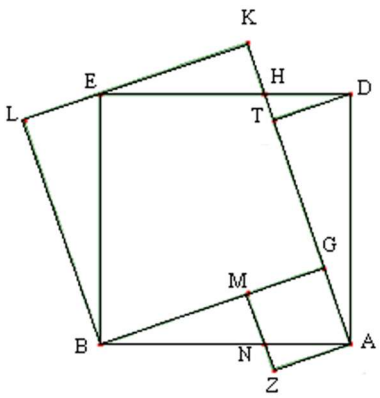
$$\Delta(DGA) = \Delta(AGB) = \Delta(BGE) = \Delta(EGD)$$

وكل اثنين من هذه المثلثات هي مربع الضلع $[AB]$ أو $[AG]$.

• في حالة $AB \neq AG$:

- نضع: $H = (AG) \cap (DE)$، $(BL) \perp (BG)$، $(BL) \perp (EL)$، $K = (EL) \cap (AG)$.
- بما أن $(EL)//(BG)$ و (BE) قاطع فإن $\angle EBG = \angle BEL$، و$\angle EBG = \angle BAG$ لأنهما متممان لنفس الزاوية $\angle ABG$ لقائمة، و$ED = BE$. إذن $\Delta(EBL) = \Delta(ABG)$، وبالتالي $BL = BG, EL = AG.$
- بما أن $(BL)//(GK)$ و $\angle K = \frac{\pi}{2}$ فإن $(GKLB)$ مربع وهو مربع $[GB]$.
- نرسم المربع $(AGMZ)$ وهو مربع $[GA]$.
- لتكن T مسقط D على (AG). لدينا $\angle ADT = \angle BAG$ لأن كل منهما متممة $\angle DAT$ من قائمة.
- $\angle DAT = \angle ABG$ لأنهما متممتا $\angle GAB$ من قائمة، إذن $\Delta(ADT) = \Delta(ABG)$، ومنه $DT = AG$ ، ومنه $\Delta(EBL) = \Delta(ABG)$، إذن $\Delta(ADT) = \Delta(EBL)$.
- لدينا $\angle TDH = \angle ZAN$ لأنهما متممان لزاويتين متساويتين $\angle GAB$، $\angle ADT$ من قائمة، و$\angle DTH = \frac{\pi}{2}$، $DT = AZ$، ومنه $\Delta(DTH) = \Delta(AZN)$.
- لدينا $KL = GB$، $GM = EL$ ومنه $KE = MB$.
- مما سبق نجد $\Delta(HKE) = \Delta(MNB)$.
- ومنه $S_{(AGMZ)} = S_{(AGMN)} + S_{(DTH)}$
- ومنه $S_{(ADT)} + S_{(MNB)} + S_{(BGHE)} = S_{(GKLB)}$
- إذن $S_{(ADT)} + S_{(DTH)} + S_{(NMB)} + S_{(ANMG)} + S_{(GBEH)} = S_{(ABED)}$.

ومنه المطلوب.



الشكل 7

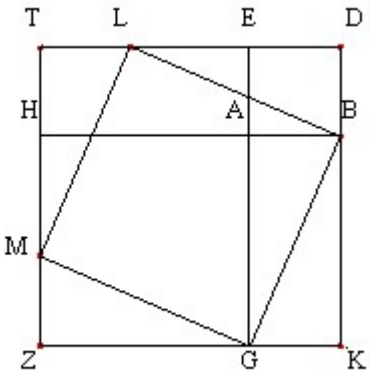
ملاحظة: إثبات ابن الهيثم هو الإثبات الثاني عشر في كتاب **تحرير أوقليدس** للطوسي.

5. المؤتمن بن هود (ت. 1085م)

هو أبو عمير بن أحمد بن هود، المعروف بالمؤتمن، ثالث ملوك مملكة بني هود التي حكمت إمارة سرقسطة بين عامي 1039م و1146م. لم يَدُم حكمه سوى أربع سنوات. تبرز أعماله العلمية في كتابه **الاستكمال**. الإثبات الذي يعادل مبرهنة فيثاغورس قدّمه في هذا الكتاب في المبرهنة 22 [7]. وإثباتها كالتالي:

ليكن المثلث ABG، زاويته القائمة A. إذن لدينا $GB^2 = AB^2 + AG^2$.

- نرسم على $[AB]$ المربع AD، وعلى $[AG]$ المربع AZ. إذن H، A، B (على التوالي E، A، G) على استقامة.
- نمدّد $[ZH]$ و $[DE]$ إلى أن يلتقيا عند T من جهة H، E.
- كذلك نمدّد $[ZG]$ و$[DB]$ إلى أن يلتقيا عند K من جهة B، G.
- نعيّن L على (TD)، وM على (TZ) بحيث $DL = TM = BK$. نصل MG، LM، BL.
- إذن $(ZT) // (GE) // (KD)$ و $(ZK) // (BH) // (DT)$. و$ED = BA = KG$ و $HZ = GA = BK$.
- ومنه $KD = TZ$ و$\angle BKG = \frac{\pi}{2}$، وبالتالي $S_{(KT)}$ مربع. إذن $KG = BD = LT = MZ$.
- و $S_{(GL)}$ مربع مساو لـ BG^2. و$S_{(AK)} = 2\Delta(BGK)$ و $S_{(AK)} + S_{(AT)} = 4\Delta(BGK)$.
- و $4\Delta(BGK) = \Delta(BGK) + \Delta(BLD) + \Delta(MZG) + \Delta(LTM)$.
- إذن لدينا $S_{(BM)} = S_{(DA)} + S_{(AZ)}$. إذن $GB^2 = AB^2 + AG^2$.



الشكل 8

ملاحظة:

ورد هذا الشكل عند الطوسي في الإثبات السابع عشر، لكن النقطة A لا تقع داخل المربع، كما أن طريقة الإثبات تختلف عمّا قدمّه المؤتمن بن هود، إذ إن هذا الأخير استخدم المتطابقة

$$(a + b)^2 = a^2 + b^2 + 2\,ab$$

بشكل هندسي، في حين استخدمها الطوسي بشكلها الجبري [7].

6. الطوسي [3]

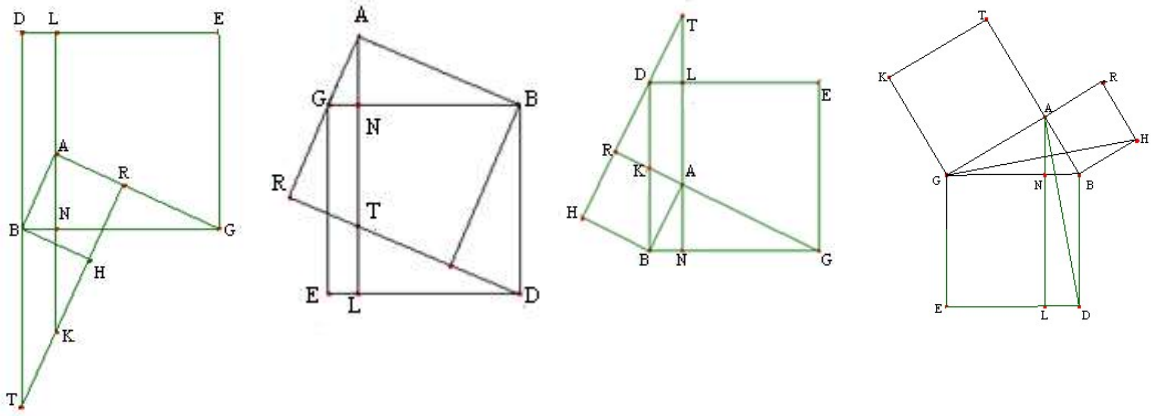
نصير الدين أبو جعفر محمد بن محمد بن الحسن، المعروف بنصير الدين الطوسي، وكان يُلقّب بالمحقق الطوسي، أو خواجه الطوسي، أو خواجه نصير. أصله من سِواح، وهي منطقة تقع في همذان، وُلد طوس بخراسان، أو في

الجبل الواقع في فارس، يوم الأحد 11 جمادى الأول 579هـ، الموافق لـ 17 فيفري 1201م. توفيّ قرب بغداد يوم 18 ذو الحجة 672هـ، الموافق لـ 26 جوان 1274م، أثناء رحلة إليها. ودُفن، حسب وصيته، بجوار مرقد الإمام موسى الكاظم في مسجد الرشيد. كان الطوسي فلكيًا، ورياضيًا، وعالم معادن، وعالم منطق، وفيلسوف، وعالم أخلاق، وعالم دين.

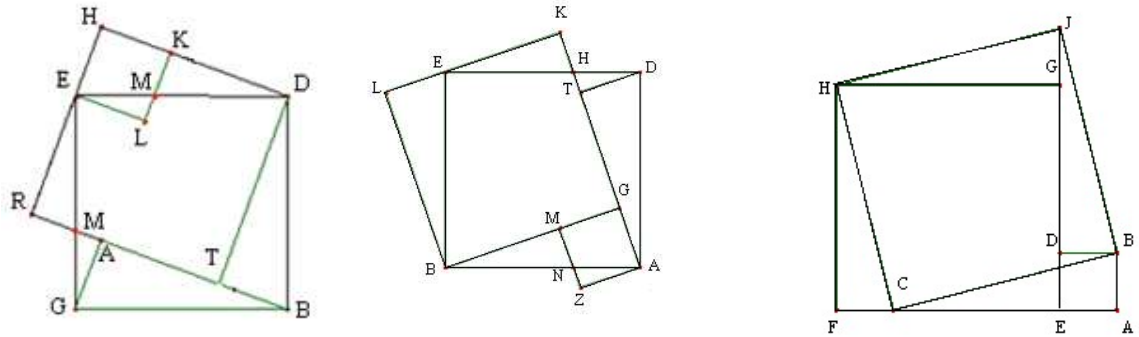
من أشهر مؤلفات الطوسي **تحرير أوقليدس**. ويُقصد بالتحرير عادةً تنقيح الكتاب وتصحيحه من أخطاء النُسّاخ. غير أن تحرير الطوسي تجاوز ذلك إلى تطوير الكتاب وتحديث مصطلحاته. وقد استند فيه الطوسي إلى نسخة الحجاج إصلاح ثابت بن قرة. أنجز الطوسي تحريره لكتاب أُقليدس في نسختين: إحداهما مختصرة، والأخرى مطولة.

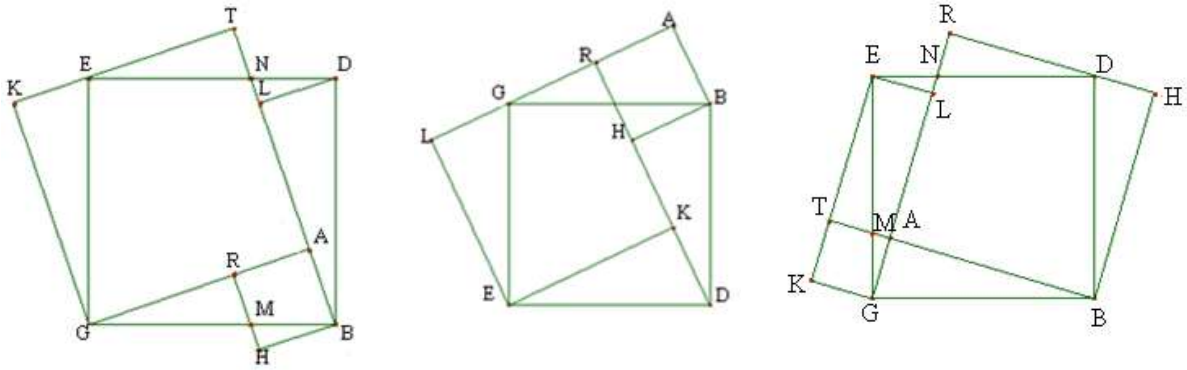
يُطنب نصير الدين الطوسي في عرض البراهين المختلفة لهذه المبرهنة في كتابه، بذكر اختلافات وقوع مربعات عديدة. ويحتوي الجزء المحقق على 18 إثباتًا للمبرهنة، منها ما ذكره علماء قبله ومنها إثباتات لا يُعرف مصدرها. وقد بيّن الطوسي غرضه من ذكر هذا الكم من الإثباتات في قوله: "وإنما أطنبت الكلام بإيراد هذه الأوجه لأنها تفيد التدرب في الصناعة فإن هذه الأوضاع يدور بعضها على بعض ولما رأيت من كثرة إعجاب المبتدئين ببعض ما ظفروا به منها."

1- الإثباتات من 1 إلى 4: الإثبات الأول هو الذي قدّمه أُقليدس في كتاب **الأصول**. أما البراهين من الثاني إلى الرابع، فتقوم على نفس الفكرة، إذ تعتمد على الاستنباط والاستنتاج، كما تستند إلى تساوي المثلثات وتساوي المساحات وذلك باستخدام المبرهنات المقدّمة في المقالة الأولى من كتاب **الأصول**. المربعات مرسومة على أضلاع المثلث بطريقة مباشرة باستخدام المبرهنة 46 من المقالة الأولى من كتاب **الأصول** والتي تنص على: لنا أن نعمل على كل خط مستقيم محدود مربعًا.

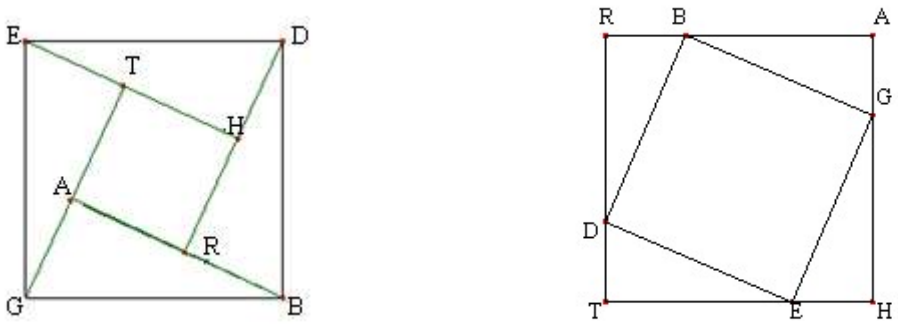


2- الإثباتات من 5 إلى 16: تعتمد على طريقة التحليل والتركيب في إنشاء مربعات أضلاع المثلث، وذلك باستخدام مستقيمات موازية أو عمودية على أحد أضلاع المثلث. مربعات أضلاع المثلث هي مربعات كاملة ليست بالضرورة مرسومة على أضلاع المثلث. ولإثبات تقايس المساحات، استُخدمت طريقة التقطيع واللصق.





3- الإثباتان 17 و18: مربعًا ضلعي الزاوية القائمة ليسا مرسومين في الشكل، واستُخدمت طريقة جبرية وهندسية في آن واحد لإثبات مبرهنة فيثاغورس.



رابط مقال "مبرهنة فيثاغورس في العالم القديم" https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n14/article14-13.pdf

رابط مقال "مبرهنة فيثاغورس عند اليونان" https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n15/article15-10.pdf

المراجع

[1] روزنفيلد، بوريس أ. و يوشكفيتش، أدولف ب. الهندسة، في موسوعة تاريخ العلوم العربية، ج. 2، إشراف رشدي راشد بمعاونة ريجيس مورلون، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، 1997.

[2] سعيدان، أ. س. هندسة أُقليدس في أيد عربية، دار البشير، عمان، 1991.

[3] غرابة، و. مبرهنة فيثاغورس عند نصير الدين الطوسي (ت. 579هـ/ 1274م)، (تحقيق وتحليل)، رسالة دكتوراه ، المدرسة العليا للأساتذة، القبة، 2010.

[4] ابن الهيثم، كتاب في حل شكوك كتاب أقليدس في الأصول، معهد تاريخ العلوم العربية والإسلامية، جامعة فرنكفورت، 1985.

[5] ابن النديم، الفهرست، تحقيق إ. رمضان، دار المعرفة، بيروت، 1997.

[6] Fourrey, E. Curiosités géométriques, Vuibert, Paris, 2001.

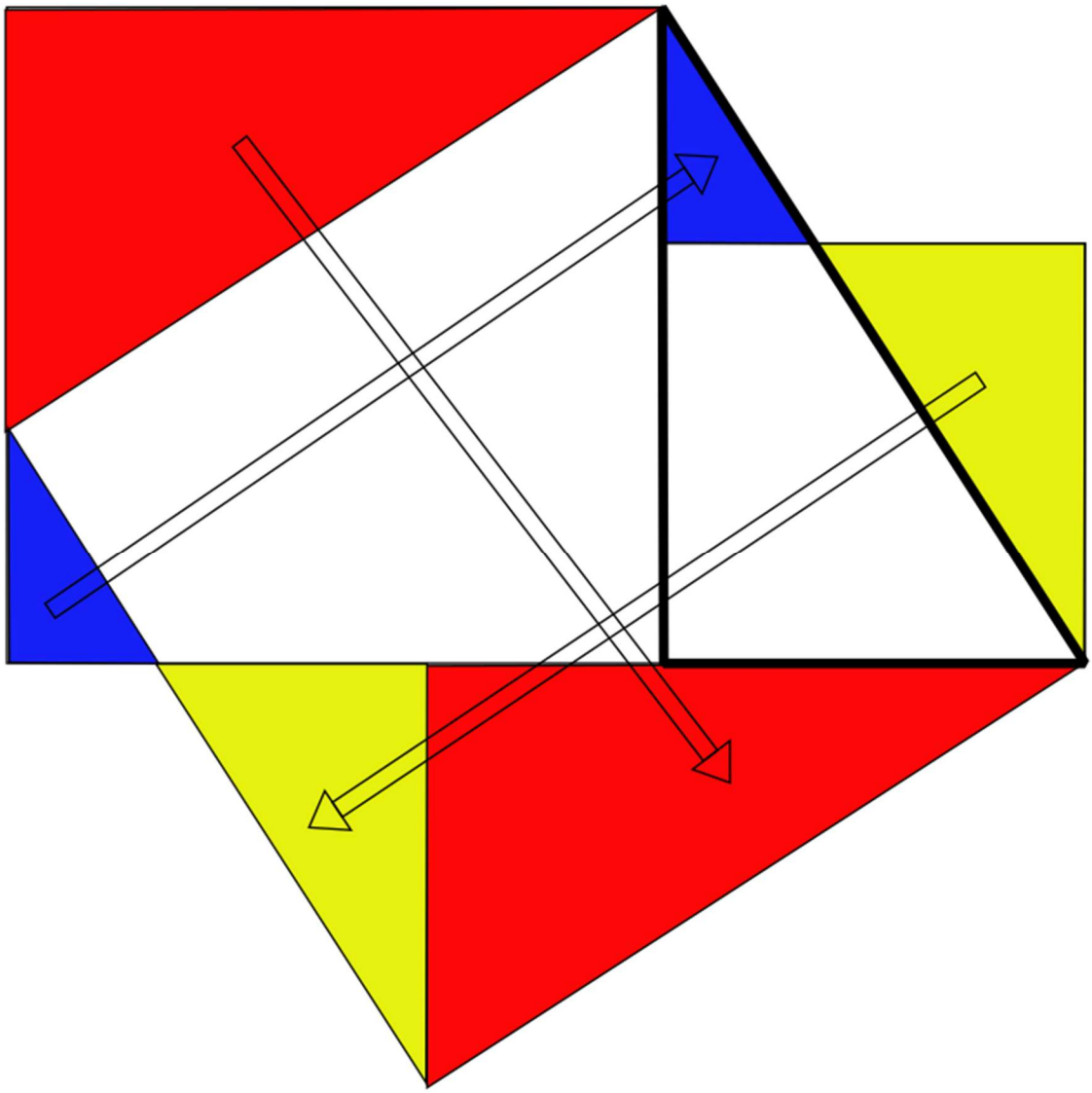
[7] Guergour, Y. La géométrie euclidienne chez al-Mu'taman Ibn Hūd (m.478/1085) : Contribution à l'étude de la tradition géométrique arabe en Andalus et au Maghreb.Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 2006.

[8] Guergour, Y. Le roi de Saragosse Al-Mu'taman Ibn Hūd (m.1085) et le théorème de Pythagore : ses sources et ses prolongements, LLULL, 28 , 415-434, 2005.

[9] Katz, V. J. A History of Mathematics: An Introduction, Harper Collins College, New York, 1993.

[10] Lucas, N. H. B., Jones, P. S. and Bedient, J. D. The Hystorical Roots of Elementary Mathematics, Dover, New York, 1988.

[11] Youschkevitch, A. P. Les mathématiques arabes (VIII^{e}-VX^{e} siècles), Vrin, Paris, 1976.



شكل يظهر في أحد الألغاز الرياضية

الرياضيات التعليمية: ما هي الرياضيات التي تُدرَّس؟
الجزء الثاني: مبادئ المنطق الرياضياتي الكلاسيكي

ناجي هرماس
أستاذ بقسم الرياضيات، جامعة زيان عاشور، الجلفة
nadjihermas@gmail.com

هذا المقال مهدى إلى أستاذة الرياضيات السابقة بالمدرسة الأساسية، الطور الثاني، فاطنة داودي.

1. مقدمة

أذكّر في البداية ببتين من الشعر للإمام الشافعي رحمه الله، مفيدين لأي طالب علم:

أخي لن تنال العلم إلا بستةٍ ... سأنبيك عن تفصيلها ببيانِ
ذكاءٌ وحرصٌ واجتهادٌ وبُلغةٌ ... وصحبةُ أستاذٍ وطـولُ زمانِ

تنفق جميع الدول في العالم أموالًا لتدريس الرياضيات لأجيالها الناشئة، وتكمن وراء ذلك بالتأكيد أسباب معينة. ولذلك، يحق للمرء التفكير في أسئلة من قبيل: ما هي الأسباب التي تجعل تدريس الرياضيات مشروعًا مجتمعيًا ضروريًا؟ وما هي الرياضيات التي تُدرّس للناشئة؟ وبالأحرى، ما هي الرياضيات التعليمية؟

فيما يتعلق بالسؤال الأول، يمكن القول عمومًا إن تدريس الرياضيات يستمد مشروعيته المجتمعية من سببين رئيسيين، هما:

أ- تطوير وتنمية المهارات العقلية الاستنباطية لدى الناشئ، وذلك لكون الرياضيات تمثل النموذج الأكثر وضوحًا وحضورًا للتفكر البشري الاستنباطي الضروري لحياة الأفراد ولحياة المجتمع. ويمكن الزعم، دون مبالغة، بأن تعلّم الرياضيات هو تعلّم حِرفة البرهان، أو أيضًا فن البرهان.

ب- الرياضيات علم ضروري لفهم وتطوير واستخدام الكثير من المعارف البشرية، مثل العلوم الدقيقة كالفيزياء والكيمياء، وعلوم المهندسين مثل الإعلام الآلي والإلكترونيك والآلية، وغيرها.

ويجب لفت انتباه مُدرّسي الرياضيات بالمدارس الابتدائية والمتوسطة والثانوية، وحتى في الجامعات، إلى ضرورة وضع الهدف الأول المرجو من تدريس الرياضيات نصب أعينهم، وذلك لكي يعطوا أولًا فرصًا أكبر للشباب الناشئ لتحقيق أهدافه المشروعة في الحياة، وثانيًا، لكي يمنحوا نشاطاتهم التعليمية معان حقيقية جادة وخالية من العبث.

يمكن القول إن الرياضيات التعليمية هي الرياضيات الكانتورية، أي الرياضيات المؤسَّسة على نظرية المجموعات لكانتور (Cantor) وعلى المنطق الرياضي الكلاسيكي. بناءً على هذا، ينبغي على مُدرّسي الرياضيات الجادين الإلمام بالمبادئ الأساسية لهذه النظرية، والاطلاع اطلاعًا كاملًا على المبادئ الأولية للمنطق الكلاسيكي، مثل المعرفة الكاملة بمعاني الروابط المنطقية في إطار هذا المنطق، والمعرفة المقبولة بالمسلمات المنطقية، وبمبادئ الاستنباط الأكثر شهرة واستخدامًا.

حدّد علماء الرياضيات عشر مسلّمات تُؤسِّس لنظرية المجموعات، والمعروفة في أبجديات الرياضيات باسم "مسلّمات زرميلو وفرانكل + مسلّمة الاختيار". ومن جانبهم، اعتمد خبراء التعليم ومؤلّفو كتب الرياضيات هذه المسلّمات كأهداف تعليمية قاعدية في عملية تدريس الرياضيات. وينبغي، كما أُشير إلى ذلك آنفًا، أن يُلّم مدرّسو الرياضيات الجادّون بهذه المسلمات، وربما تكفيهم مبدئيًا معرفة خمس منها، والتي سنتحدث عنها في هذا الجزء. ولمساعدة القارئ الكريم على

الاطلاع عليها سريعًا، نورد اسمها بالإنكليزية: "Zermelo-Fraenkel Axioms + Axiom of choice"، وكثيرًا ما يُشار في الكتب اختصارًا إلى نظرية المجموعات المستخدمة في الرياضيات التعليمية بالاسم ZFC.

من الأمور الأساسية أيضًا أن يعرف مدرس الرياضيات لغة نظرية المجموعات، حتى يصير بمقدوره معرفة طريقة تكوين الصيغ الرياضياتية معرفة كاملة.

لقد أُعدَّ هذا المقال حول الرياضيات التعليمية تحديدًا لتحقق الهدفين المشار إليهما، وبذلك يصير عونًا وسندًا لجميع مُدرّسي الرياضيات في المدارس الثانوية، ولمدرّسي الرياضيات في السنوات الجامعية الأولى.

يعرض المقال لغة نظرية المجموعات، وهي اللغة الرياضياتية العالمية الضرورية لكتابة كل قضايا الرياضيات رمزيًا، والمبادئ الأولية للمنطق الرياضي الكلاسيكي الأولي المعتمَد في تدريس هذه الرياضيات. يُقدّم المقال واحدًا من أبسط نُظم الاستدلال الرياضياتي وأكثرها ألفة واستخدامًا في البراهين الرياضياتية. كما تم تضمينه الطريقة الصحيحة، التي يُفترض أن يتبنّاها مُدرّسو المنطق في إعداد دروسهم، لتعريف الصيغ والمبادئ الصحيحة. إحدى الغايات من هذا التضمين هي تبيان الهدف الحقيقي من تدريس جداول الصحة في برامج المنطق، وهو الهدف الذي لا يُقدّم أيّة خدمة لتعلم حرفة البرهان الرياضياتي، علمًا بأن المنطق أُسّس تحديدًا من أجل ترسيخ هذه الحرفة في الأذهان.

يتبنّى المقال وجهة النظر التي اتفق عليها غالبية علماء الرياضيات في بداية القرن العشرين، وهي عرض هذا العلم في إطار نظرية المجموعات، وبواسطة لغة رياضياتية عالمية هي لغة هذه النظرية. ولا يحتوي على أمور جديدة حول المنطق الرياضياتي الكلاسيكي والرياضيات، وإنما تكمن أهميته في أنه، بحسب المؤلف، لا توجد نصوص عربية تتناول موضوع الرياضيات التعليمية بالطريقة ذاتها، اللهم باستثناء النص المعروض في كتاب "الجبر" للأستاذ الفرنسي روجي غودمان (Roger Godement)، والذي قام الأساتذة مختار عبيد وأبو بكر خالد سعد الله ويوسف عتيق بتعريبه. جميع الكتب المصاغة بالعربية، التي تتناول جانبًا من المنطق الأولي، سواء كانت محلية أو قادمة من مصر أو سوريا، والتي قام المؤلف بمعاينتها، لا تتناول سوى جداول الحقيقة، وهذا يعني أنها لا تتناول المنطق كما ينبغي، وإنما تتناول بالأحرى موضوعًا آخر يتعلق بجبور بول (Boole). وهذا، في نظر المؤلف، أعاق فهم المنطق الأولي على الرغم من بساطته، ومن ثمة أضرّ بعملية تدريس الرياضيات الأولية.

يتضمن المقال أيضًا نصًّا قصيرًا، ولكنه دقيق جدًا، حول الصورنة والرياضيات الصورية، التي طالب هيلبرت (Hilbert) بتأسيسها في بداية القرن العشرين. ويمكن لطلاب فلسفة العلوم استخدامه في مقالاتهم والاستفادة منه ونشره لديهم.

يُعنى الجزء الثاني من هذا المقال بالمبادئ الأولية للمنطق الرياضي الكلاسيكي.

2. المنطق الرياضي الكلاسيكي CML

يُقال إن المنطق هو نظام للحكم والتقييم، وهو نظام لإثبات صفات الحق والصدق والصِّحة والصواب من عدمها. ولا يوجد بطبيعة الحال منطق واحد، كما هو واضح تمامًا من تنوع وثراء الحياة من حولنا. ولعل ما يُسمى بالمنطق التجريبي العادي هو أكثرها وضوحًا واستخدامًا في الحياة العادية للناس. ويُستند في الحكم على صحة المقولات من عدمها في هذا المنطق إلى وصفها لوقائع معينة حدثت بالفعل فيما يدور حولنا.

ويمتلك كل إنسان منطقًا خاصًا به، يُدعى أحيانا بمنطق الفيلسوف، والذي يتكون أساسًا من أخلاط عديدة لطرق حكم وتقييم مرتبطة بالثقافة والعقائد والقناعات الخاصة حول الوجود والحياة والموت وبمستوى التعليم وبيئة النشأة وغيرها. ويظهر هذا المنطق قويًا لدى أناس أكثر من غيرهم، حيث يترك هؤلاء غالبًا تراثا فلسفيًا يكون مؤثرًا بدوره

في القناعات الخاصة للناس. وربما تكون أنواع المنطق الاستنباطي، والتي تبدو في ظاهرها خالية من تأثيرات وقناعات الذات المُفكِّرة، مستخلصة بطرق ما من هذا المنطق.

أول أنواع المنطق الاستنباطي ظهورًا في التاريخ هو المنطق القياسي الأرسطي، الذي أسسه الفيلسوف اليوناني أرسطو (Aristotle). وفي العصر الحديث، وتحديدًا في نهاية القرن التاسع عشر، انطلقت مجددًا عمليات تأسيس فروع المنطق الاستنباطي المحورية في التفكير الاستنباطي. ويُعدّ المنطق الرياضياتي الحديث نموذجها الأكثر حضورًا وشهرة. ويمكن القول، من دون مبالغة، إن النظريات الرياضياتية هي النظم المركزية فيما أصبح يُعرف منذ بداية القرن العشرين بالنظم الاستنباطية المسلماتية، والتي قدّم لها فريجه (Frege) في كتابه "Begriffsschrift" الصادر في عام 1879، نظامًا مُسلَّماتيًا حديثًا للبرهان. ولاحقًا، نُوقشت أنظمة أخرى للبرهنة في الرياضيات في أعمال راسل (Russell)، وبخاصة في كتابه المشهور "أساسيات الرياضيات"، الذي ألّفه بالاشتراك مع وايتهيد (Whitehead) خلال الفترة ما بين 1910 و1913. كل هذه النظم تنتمي إلى عائلة نظم الاستدلال الهيلبرتية، والمعروفة اختصارًا بالاسم HK، في إطار المنطق الرياضياتي الكلاسيكي.

يُعرف المنطق الرياضياتي الكلاسيكي أيضًا باسم المنطق المُكَمَّم الكلاسيكي (Classical Quantificational Logic) (CQL)، وباسم منطق المُسْنَدات الكلاسيكي (Classical Predicate Logic) (CPreL)، وهو المعتمد بصفة رسمية في الرياضيات التعليمية والأكثر استخدامًا في البحوث الرياضياتية. وقد واجه استخدام هذا المنطق في الرياضيات، في بداية القرن العشرين، معارضة شديدة من بعض علماء الرياضيات، مثل راسل وبراور (Brouwer) مؤسس الرياضيات الحدسية، وذلك بسبب قناعات شخصية خاصة بهم. وانتصر له من ناحية أخرى عدد كبير من الرياضاتيين، على رأسهم هيلبرت (Hilbert).

1.2. الصيغ والمبادئ الصحصحية

نذكّر بالمبدأ الآتي، وهو مبدأ مركزي في المنطق الرياضياتي الكلاسيكي:

مبدأ الصحصحة (tautology) الموسعة ليوست (Post). في إطار المنطق الرياضياتي الكلاسيكي، كل صيغة صحصحية هي مسلّمة منطقية، وكل قاعدة استدلال صحصحي هي قاعدة استدلال منطقي.

لكن ما المقصود بالصيغة الصحصحية؟ وما هو الاستدلال الصحصحي؟

تُسمّى مجموعة الدوال $\{0,1\}^{\mathrm{PFor}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})}$ بمجموعة دوال الحقيقة، أو مجموعة تكليفات الحقيقة. إذا كانت $v\colon \mathrm{PFor}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set}) \to \{0,1\}$ دالة حقيقة، فإنه يمكن تمديدها تراجعيًا بطريقة وحيدة إلى المجموعة $\mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$، وذلك بوضع:

$$v(\neg P) = 1 - v(P), v(P \wedge Q) = v(P)v(Q) = \min\{v(P), v(Q)\}$$
$$v(P \vee Q) = \max\{v(P), v(Q)\}, v(P \Rightarrow Q) = \max\{1 - v(P), v(Q)\}$$
$$v(P \Leftrightarrow Q) = \min\{v(P \Rightarrow Q), v(Q \Rightarrow P)\}$$

نقول إن $P \ni \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$ صيغة صَحْصَحية أو صيغة بَيِّنَة أو صيغة صحيحة صحصحيًا حسب فيتجنشتاين (Wittgenstein) إذا كان، من أجل كل دالة حقيقة $v\colon \mathrm{PFor}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set}) \to \{0,1\}$، يكون $v(P) = 1$. ونكتب في هذه الحالة $\vDash P$.

من ناحية أخرى، يمكن أن نحدد تراجعيًا جميع الصيغ الأولية الداخلة في كتابة P، ومن ثمة نستطيع كتابة ما يسمى بجدول الحقيقة لـ P. ويمكن التحقق من دون صعوبة من أنه لكي تكون P صيغة صحصحية، يلزم ويكفي أن يظهر الواحد فقط في العمود الأخير في هذا جدول.

نقول إن P خاطئة صحصحيًا إذا كانت $\neg P$ صيغة صحصحية، وفي هذه الحالة يظهر الصفر وحده في العمود الأخير لجدول الحقيقة للصيغة P. ومن الطبيعي أن يُطرح السؤال الآتي: هل يمكن أن توجد صيغة تكون صحيحة وخاطئة صَحْصَحيًا في آنٍ واحد؟ الإجابة هي بالنفي، وذلك لأن افتراض وجود هذا النوع من الصيغ يؤدي إلى الصيغة الخاطئة $1 = 0$. وعلى هذا الأساس نقول إن مجموعة الصيغ الصحصحية خالية من التناقض. وتمنح هذه النتيجة بعض الأمان لعلماء الرياضيات، فهي تؤكد لهم بأنه إذا تم العثور على تناقض ما في الرياضيات، فإنه والحالة هذه لن يكون ناشئًا من المبادئ الصحصحية في حد ذاتها، وإنما قد يكون مصدره استخدام خاطئ لهذه المبادئ أو مبادئ ومسلمات رياضية أخرى.

نقول إن P تستلزم صحصحيًا Q إذا كانت $P \Rightarrow Q$ صيغة صحصحية، ونقول إنهما متكافئتان صحصحيًا إذا كانت $P \Leftrightarrow Q$ صيغة صحصحية.

لتكن Γ مجموعة صيغ رياضياتية. نقول إن P هي نتيجة صحصحية لـ Γ، ونكتب ذلك رمزيا كما يلي $\Gamma \vDash P$، إذا تحقق الشرط التالي: إذا وُجد الواحد في إحدى الخانات بجميع جداول الحقيقة لصيغ Γ، فإنه يوجد بالضرورة في نفس الخانة بجدول الحقيقة للصيغة P. ويقال في هذه الحالة أيضًا إن P قابلة "للاشتقاق أو للاستنباط أو للاستنتاج" صحصحيًا من مجموعة الصيغ Γ. ونسمي $\Gamma \vDash P$ "استدلالًا أو استنباطًا أو استنتاجًا" صحصحيًا. وليس من الصعب الملاحظة بأن الكتابة هي $\emptyset \vDash P$ بالضبط الكتابة $\vDash P$.

في المبرهنة التالية، نعرض بعضًا من أهم الصيغ والاستدلالات الصحصحية، والتي تُستخدم بصورة ضمنية ودون أن يُشار صراحة إلى أسمائها، في جميع البراهين الرياضياتية. ويمكن التأكد من صحتها بواسطة جداول الحقيقة.

مبرهنة 1. من أجل كل $P \in \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$، وكل $Q \in \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$ وكل $R \in \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$، لدينا:

1) $\vDash P \wedge Q \Leftrightarrow Q \wedge P$، تبديلية الرابط $\wedge$؛

2) $\vDash P \vee Q \Leftrightarrow Q \vee P$، تبديلية الرابط $\vee$؛

3) $\vDash (P \wedge Q) \wedge R \Leftrightarrow P \wedge (Q \wedge R)$، تجميعية الرابط $\wedge$؛

4) $\vDash (P \vee Q) \vee R \Leftrightarrow P \vee (Q \vee R)$، تجميعية الرابط $\vee$؛

5) $\vDash P \vee (Q \wedge R) \Leftrightarrow (P \vee Q) \wedge (P \vee R)$، توزيعية الرابط $\vee$ على الرابط $\wedge$؛

6) $\vDash P \wedge (Q \vee R) \Leftrightarrow (P \wedge Q) \vee (P \wedge R)$، توزيعية الرابط $\wedge$ على الرابط $\vee$؛

7) $\vDash P \vee Q \Leftrightarrow \neg(\neg P \wedge \neg Q)$ وَ $P \wedge Q \Leftrightarrow \neg(\neg P \vee \neg Q)$، قانونا مورجان (1847)؛

8) $\vDash P \wedge Q \Leftrightarrow \neg(P \Rightarrow \neg Q)$، التعبير عن الرابط $\wedge$ بواسطة الرابطين $\Rightarrow$ وَ $\neg$؛

9) $\vDash P \vee Q \Leftrightarrow (\neg P \Rightarrow Q)$، التعبير عن الرابط $\vee$ بواسطة الرابطين $\Rightarrow$ وَ $\neg$؛

10) $\vDash P \Rightarrow P$، مبدأ الهوية أو مبدأ استلزام الذات؛

11) $\vDash P \vee \neg P$، مبدأ الثالث المرفوع؛

12) $\vDash \neg(P \wedge \neg P)$، مبدأ عدم التناقض؛

13) $\vDash P \Leftrightarrow \neg\neg P$، مبدأ النفي المضاعف؛

14) $\vDash (P \Rightarrow Q) \Leftrightarrow (\neg Q \Rightarrow \neg P)$، مبدأ عكس النقيض؛

15) $P, P \Rightarrow Q \vDash Q$، قاعدة القياس الاستثنائي **(MP)**؛

16) $P \Rightarrow Q, \neg Q \vDash \neg P$، القاعدة **MT**؛

17) $P \vee Q, \neg P \vDash Q$، القاعدة **MTP**؛

18) "$\Gamma, P \vDash Q$ إذا، وإذا فقط، $\Gamma \vDash P \Rightarrow Q$"، مبدأ الاستنباط **DP**؛

19) $\vDash \big((P \Rightarrow Q) \Rightarrow \big((Q \Rightarrow R) \Rightarrow (P \Rightarrow R)\big)\big)$، قاعدة السلسلة أو خاصية التعدي للرابط $\Rightarrow$؛

20) $\vDash \big(P \Rightarrow (Q \Rightarrow R)\big) \Rightarrow \big((P \Rightarrow Q) \Rightarrow (P \Rightarrow R)\big)\big)$، صيغة فريجه؛

21) $\vDash \big((P \Rightarrow Q) \Rightarrow P\big) \Rightarrow P$، صيغة بيرس (Pierce)؛

22) $P \Rightarrow Q, P \Rightarrow R \vDash P \Rightarrow Q \wedge R$، مبدأ البرهان بالأجزاء؛

23) إذا كان $\Gamma \vDash P \Rightarrow Q$ وَ$\Gamma \vDash P \Rightarrow R$ وَ$\Gamma \vDash P$، فإن $\Gamma \vDash Q \wedge R$، مبدأ البرهان بالأجزاء؛

24) $P \Rightarrow R, Q \Rightarrow R \vDash P \vee Q \Rightarrow R$، مبدأ البرهان بالحالات؛

25) إذا كان $\Gamma \vDash P \Rightarrow R$ وَ$\Gamma \vDash Q \Rightarrow R$ وَ$\Gamma \vDash P \vee Q$، فإن $\Gamma \vDash R$، مبدأ البرهان بالحالات، وكحالة خاصة، إذا كان $\Gamma \vDash P \Rightarrow R$ وَ$\Gamma \vDash \neg P \Rightarrow R$، فإن $\Gamma \vDash R$؛

26) $P \Rightarrow R, Q \Rightarrow T \vDash P \vee Q \Rightarrow R \vee T$، مبدأ المأزق البناء؛

27) إذا كان $\Gamma, P \vDash R$ وَ$\Gamma, Q \vDash T$، فإن $\Gamma, P \vee Q \vDash R \vee T$، مبدأ المأزق البناء؛

28) $\vDash (P \Rightarrow Q \wedge \neg Q) \Rightarrow \neg P$، مبدأ إثبات النفي بالتناقض؛

29) إذا كان $\Gamma, P \vDash Q \wedge \neg Q$، فإن $\Gamma \vDash \neg P$، مبدأ إثبات النفي بالتناقض؛

30) $\vDash (\neg P \Rightarrow Q \wedge \neg Q) \Rightarrow P$ ، مبدأ البرهان بالتناقض؛

31) إذا كان $\Gamma, \neg P \vDash Q \wedge \neg Q$، فإن $\Gamma \vDash P$، مبدأ البرهان بالتناقض؛

32) $\vDash P \wedge \neg P \Rightarrow Q$، مبدأ الحذف الضعيف للنفي أو أيضا مبدأ "Ex Falso Quodlibet"؛

33) إذا كان $\Gamma \vDash P \wedge \neg P$، فإن $\Gamma \vDash Q$، مبدأ "Ex Falso Quodlibet"؛

34) $\vDash \big(P \Rightarrow (Q \Rightarrow R)\big) \Leftrightarrow \big(Q \Rightarrow (P \Rightarrow R)\big)$، مبدأ تبادل المَحال؛

35) $\vDash \big(P \Rightarrow (Q \Rightarrow R)\big) \Leftrightarrow (P \wedge Q \Rightarrow R)$، Importation and Exportation؛

36) $P \Rightarrow R \vDash P \wedge Q \Rightarrow R$، مبدأ تقوية السابقة؛

37) $P \Rightarrow R \vDash P \Rightarrow Q \vee R$، مبدأ إضعاف النتيجة؛

38) $P \wedge Q \vDash P$، مبدأ حذف الرابط $\wedge$؛

39) $P, Q \vDash P \wedge Q$، مبدأ إدخال الرابط $\wedge$؛

38) $P \vDash P \vee Q$، مبدأ إدخال الرابط $\vee$؛

39) $\vDash P \Leftrightarrow P \wedge P$، مبدأ خمول الرابط $\wedge$؛

40) $\vDash P \Leftrightarrow P \vee P$، مبدأ خمول الرابط $\vee$؛

41) $\vDash P \Rightarrow (Q \Rightarrow P)$، مبدأ تأكيد النتيجة؛

42) $\vDash \neg P \Rightarrow (P \Rightarrow Q)$، مبدأ إهمال السابقة؛

43) $P \vee Q, \neg P \vee R \vDash Q \vee R$، مبدأ القص.

2.2. نظام للاستدلال في المنطق الرياضياتي الكلاسيكي

نقدّم فيما يلي، في إطار لغة نظرية المجموعات $\mathfrak{L}_1\mathrm{Set}$، أحد "نظم الاستدلال" الأكثر ألفة واستخدامًا في المنطق الرياضياتي الكلاسيكي والمنتمي إلى المجموعة غير المنتهية HK، وهو النظام المكوّن من المسلّمات التالية:

أ) $\Gamma \vDash P$، حيث $\mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set}) \ni P$ وَ$\mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set}) \supseteq \Gamma$؛

ب) $P[x \leftarrow t] \Rightarrow (\exists x)P$ حيث $\mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set}) \ni P$ وَt حد قابل للتعويض في مكان المتغير x؛

ت) $x = x$؛

ث) $t = s \Rightarrow (P[x \leftarrow t] \Leftrightarrow P[x \leftarrow s])$، حيث $P \ni \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$ وَt وَs حدان قابلان للتعويض في مكان x.

ج) $P \Rightarrow Q / (\exists x)P \Rightarrow Q$، حيث $P \ni \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$ وَ$Q \ni \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$، علمًا أن المتغير x لا يظهر حرًا في الصيغة Q. تدعى $\exists \downarrow$ قاعدة برهان أو استدلال أو استنباط أو استنتاج، ويقال إن الصيغة $(\exists x)P \Rightarrow Q$ قابلة للاشتقاق من الصيغة $P \Rightarrow Q$. ولهذه القاعدة في الحقيقة اسم خاص متواتر في أبجديات المنطق هو "قاعدة إدخال المكمم الوجودي".

نذكّر بأن المسلمة أ) هي بالضبط مبدأ الصحصحة الموسعة لبوست. وسنشير فيما يلي إلى النظام أ) + ب) + ت) + ث) + ج) اختصارًا بـ CML.

لتكن $\Gamma \subseteq \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$ مجموعة صيغ معطاة. إن مجموعة الصيغ القابلة للبرهان انطلاقًا من Γ، والتي نرمز لها بالرمز Thm_Γ، هي أصغر مجموعة صيغ (بالنسبة للاحتواء) في $\mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$ محققة للشروط:

- $\mathrm{Thm}_\Gamma \supseteq \Gamma$؛
- إذا كان $\Gamma \vDash P$، فإن $P \ni \mathrm{Thm}_\Gamma$؛
- Thm_Γ تحتوي على الصيغ الواردة في المسلمات ب) وَت) وَث)؛
- Thm_Γ مستقرة بالنسبة للقاعدة ج)؛ بمعنى أنه إذا كانت $P \Rightarrow Q \ni \mathrm{Thm}_\Gamma$، فإن $(\exists x)P \Rightarrow Q \ni \mathrm{Thm}_\Gamma$، مع العلم أن المتغير x لا يظهر حرًا في الصيغة Q.

يُشار في أغلب كتب المنطق إلى الكتابة الرمزية $P \ni \mathrm{Thm}_\Gamma$ بالكتابة الرمزية $\Gamma \vdash P$، والتي تسمى أحيانًا استدلالًا. ويقال في هذه الحالة بأن P قابلة "للبرهان" أو "الاشتقاق" أو "الاستنباط" أو "الاستنتاج" من Γ. ويمكن، كما هو واضح تمامًا، استبدال الرمز $\vDash$ بالرمز $\vdash$ في جميع العبارات الرمزية الواردة في المبرهنة 1، وتبقى جميعها صحيحة بلا استثناء. ونشير، بالمناسبة، إلى أن أول استخدام للرمز $\vdash$ كان من قِبل فريجه في عام 1879، ثم استُخدم لاحقًا من قِبل كلِيْني (Kleene) في عام 1934، ومن قِبل روسر (Rosser) في عام 1935. ويجدر التنبيه إلى أنه لا ينتمي إلى اللغة $\mathfrak{L}_1\mathrm{Set}$، وإنما ينتمي إلى لغة المراقب، ويستخدم فقط للدلالة على أن P قابلة للبرهان انطلاقًا من Γ.

يمكن التأكد، من دون صعوبة، بأنه إذا كانت $\Lambda \supseteq \Gamma$ وَ$\Gamma \vdash P$، فإن $\Lambda \vdash P$. تستبدل الكتابة $\{P_1, \ldots, P_n\} \vdash P$ بالكتابة $P_1, \ldots, P_n \vdash P$ والكتابة $\emptyset \vdash P$ بالكتابة $\vdash P$. وفي الحالة الأخيرة، نقول إن P قابلة للبرهان مطلقًا أو قابلة للبرهان في CML.

لتكن $\Gamma \subseteq \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$ مجموعة صيغ معطاة. لدينا ثلاث مجموعات من الصيغ غير المجموعة Thm_Γ؛ اثنتان منهما لا تتعلقان بالمجموعة Γ، وهما:

- مجموعة الصيغ الصحصحية: $\mathrm{Taut} = \{P \in \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set}) : \vDash P\}$؛
- مجموعة الصيغ القابلة للبرهان مطلقًا: $\mathrm{Thm}_{\mathrm{CML}} = \{P \in \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set}) : \vdash P\}$؛
- مجموعة الصيغ القابلة للاشتقاق صحصحيًا من Γ: $\mathrm{Taut}_\Gamma = \{P \in \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set}) : \Gamma \vDash P\}$؛

وليس صعبا الملاحظة بأنه لدينا الاحتواءات التالية:

$$\mathrm{Taut} \subseteq \mathrm{Taut}_\Gamma \subset \mathrm{Thm}_\Gamma, \mathrm{Taut} \subset \mathrm{Thm}_{\mathrm{CML}} \subseteq \mathrm{Thm}_\Gamma$$

يقال إن Γ متسقة أو غير متناقضة إذا كان $\mathrm{Thm}_\Gamma \neq \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$. وفي الحالة الأخرى، يقال إنها غير متسقة أو متناقضة. ولقد ذكرنا سابقًا بأن المجموعة Taut خالية من التناقض. كذلك يُبرهن بأن $\mathrm{Thm}_{\mathrm{CML}} \neq \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$، وعلى هذا الأساس يقال إن CML غير متناقض.

إن $P[x \leftarrow t]$ هي الصيغة الناتجة عن P بتعويض المتغير x بالحد t. ولكي تكون عملية التعويض صحيحة رياضياتيًا يجب التقيد تمامًا بالشرطين التاليين:

- المتغيرات الحرة هي وحدها الحدود القابلة للتعويض، فلا يصح رياضياتيًا تعويض حد لا متغير بحد آخر أو تعويض متغير مقيد بحد؛
- عند تعويض متغير حر x بحد t في صيغة P، ينبغي الانتباه جيدًا إلى أنه لا يجب أن يصير أي متغير وارد في كتابة هذا الحد مُقيَّدا في $P[x \leftarrow t]$ بعد التعويض.

ومن أجل إتاحة فهم أعمق لما ذكر آنفا، نورد هنا بعض الأمثلة. لنعتبر مثلًا الصيغة $(\forall y)(x = y)$. يوجد بهذه الصيغة متغيران؛ أحدهما حر، وهو x، والآخر مقيد بالمكمم العمومي، وهو y. فإذا قمنا (من دون انتباه) بتعويض x بالحد t المساوي للمتغير y في الصيغة المذكورة، فسنحصل مستندين على المسلمة المنطقية ب) على الصيغة

$$(\forall y)(y = y) \Rightarrow (\exists x)(\forall y)(x = y).$$

الصيغة الواردة في اليسار صحيحة لأنها بكل بساطة هي الواردة في المسلمة المنطقية ت)، وعليه تعطينا قاعدة الاستدلال MP ما يلي

$$(\exists x)(\forall y)(x = y).$$

ويمكن الملاحظة من دون صعوبة أن هذه الصيغة ليست محققة إلا في المجموعات أحادية العنصر. بيد أن هذا تناقض، لأنه يخالف حقيقة كون المسلمة المنطقية ب) محققة في جميع المجموعات. والسؤال هو: ما الذي أدى بنا إلى الحصول على هذا التناقض؟ والإجابة بكل بساطة أن عملية التعويض التي قمنا بها مخالفة للشرط الثاني؛ إذ أن المتغير المُعوَّض x واقع في نطاق المكمم العمومي، وتم تعويضه بالمتغير y، والذي أصبح مقيدًا بعد عملية التعويض.

لنعتبر الآن الصيغة $(\exists y)(x \neq y)$. يوجد كذلك بهذه الصيغة متغيران؛ أحدهما حر، وهو x، والآخر مقيد بالمكمم الوجودي، وهو y. لنقم (من دون احترام الشرط الثاني) بتعويض المتغير الحر x بالحدين t الذي يساوي x وَs الذي يساوي y في الصيغة المعتبرة، ثم لنستخدم المسلمة المنطقية ث) للحصول ما يلي:

$$x = y \Rightarrow \big((\exists y)(x \neq y) \Leftrightarrow (\exists y)(y \neq y)\big).$$

بما أن المتغير y يظهر حرًا في الصيغة الواقعة على اليسار، فإنه يمكن تعويضه بالحد $x = t$، فنحصل على الصيغة

$$x = x \Rightarrow \big((\exists y)(x \neq y) \Leftrightarrow (\exists y)(y \neq y)\big).$$

الآن تخبرنا المسلمة المنطقية ت) والقاعدة MP أنه لدينا

$$(\exists y)(x \neq y) \Leftrightarrow (\exists y)(y \neq y).$$

وعليه، استنادًا إلى مبدأ عكس النقيض **14** في المبرهنة 1، يأتي

$$(\forall y)(x = y) \Leftrightarrow (\forall y)(y = y).$$

نستخدم مرة أخرى المسلمة المنطقية ت) والقاعدة MP لنحصل على

$$(\forall y)(x = y).$$

بيد أن هذه الصيغة غير محققة إلا في المجموعات أحادية العنصر. وقد حصلنا على هذا التناقض لأننا لم نحترم بكل بساطة الشرط الثاني أثناء إجرائنا لعملية التعويض.

نعلم أن الصيغة $(\forall x)(x \notin \emptyset)$ صحيحة استنادًا إلى تعريف المجموعة الخالية $\emptyset$. فإذا قمنا بتعويض هذه الأخيرة بمجموعة الأعداد الطبيعية $\mathbb{N}$، والتي تُنشأ في إطار النظرية ZFC، فسنحصل على الصيغة الخاطئة $(\forall x)(x \notin \mathbb{N})$. وواضح تمامًا سبب الحصول على هذا التناقض، لأن التعويض المُجرى غير صحيح رياضياتيًا كونه يخل بالشرط الأول.

نعطي فيما يلي بعض أشهر الصيغ وقواعد الاستدلال الصحيحة في المنطق CML.

مبرهنة 2. من أجل كل $P \in \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$ وكل $Q \in \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$ وكل $\Gamma \subseteq \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$ لدينا:

1) $Q \vdash P \Rightarrow (\forall x)Q$، حيث لا يظهر x حرا في P؛

2) $\vdash P[x \leftarrow t] \Rightarrow (\exists x)P$. وكحالة خاصة، $\vdash P \Rightarrow (\forall x)P$؛

3) $\Gamma \vdash P$ إذا، وإذا فقط، $\Gamma \vdash (\forall x)P$. وكحالة خاصة، $P \vdash (\forall x)P$؛

4) $\vdash (\exists x)P \Leftrightarrow (\exists z)P[x \leftarrow z]$، حيث لا يظهر z حرا ولا مقيدا في $(\exists x)P$؛

5) $\vdash (\forall x)P \Leftrightarrow (\forall z)P[x \leftarrow z]$، حيث لا يظهر z حرا ولا مقيدا في $(\forall x)P$؛

6) إذا كان $\Gamma \vdash P \Rightarrow Q$، فإن $\Gamma, P \vdash Q$، ويكون العكس، المسمى بمبدأ الاستنباط، صحيحا إذا كانت P لا تحوي متغيرات حرة (مغلقة).

7) $P \Rightarrow Q \vdash (\exists x)P \Rightarrow (\exists x)Q$ وَ $P \Rightarrow Q \vdash (\forall x)P \Rightarrow (\forall x)Q$؛

8) تكون Γ غير متسقة (متناقضة) إذا، وإذا فقط وجدت صيغة $P \in \mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set})$ بحيث $\Gamma \vdash P$ وَ $\Gamma \vdash \neg P$؛

9) نفرض أن p صيغة جزئية من P، ولنقم بتعويضها بالصيغة $\mathcal{P}$ في بعض الأماكن التي تظهر فيها في P، فنحصل بذلك على صيغة جديدة $\mathcal{P}$. في هذه الحالة لدينا $P \Leftrightarrow \mathcal{P} \vdash P \Leftrightarrow p$.

البرهان. نقدّم هنا برهانين للقضيتين الأولى والثانية. ويمكن العودة إلى المرجع [11] بخصوص براهين بقية القضايا.

برهانٌ للقضية الأولى؛

1. $P \Rightarrow Q$ (فرضية)
2. $\neg Q \Rightarrow \neg P$ (حسب **1** ومبدأ عكس النقيض)
3. $(\exists x)\neg Q \Rightarrow \neg P$ (حسب **2** والقاعدة جـ))
4. $P \Rightarrow \neg(\exists x)\neg Q$ (حسب **3** ومبدأ عكس النقيض)
5. $P \Rightarrow (\forall x)Q$ (حسب **4** وتعريف المكمم العمومي في CML)
6. $P \Rightarrow Q \vdash P \Rightarrow (\forall x)Q$ (حسب **1** وَ**5**). انتهى البرهان.

برهانٌ للقضية الثانية؛

1. $\neg[x \leftarrow t] \Rightarrow (\exists x)\neg P$ (حسب المسلمة المنطقية ب))
2. $\neg(\exists x)\neg P \Rightarrow P[x \leftarrow t]$ (حسب **1** ومبدأ عكس النقيض)
3. $(\forall x)P \Rightarrow P[x \leftarrow t]$ (حسب **2** وتعريف المكمم العمومي في CML). انتهى البرهان. ■

رابط الجزء الأول من المقال:

مراجع

[1] J. Barwise (ed.), Handbook of Mathematical Logic, Studies in Logic, vol. 90, North Holland, 1977.

[2] A. Church, Introduction to Mathematical Logic, vol. 1. Princeton University Press, 1956.

[3] M. Foreman and A. Kanamori, Handbook of Set Theory, Springer, 2010.

[4] H. Herrlich, Axiom of Choice, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2006.

[5] A. Indrzejczak, Natural Deduction, Hybrid Systems and Modal Logics, Springer, 2010.

[6] T. Jech, Set Theory, The Third Millenium Edition, revised and expanded, Springer, 2003.

[7] S. C. Kleene, Introduction to Metamathematics, North Holland/Van Nostrand, Amsterdam, New York. 1952.

[8] Yu. I. Manin, A Course in Mathematical Logic for Mathematicians, Springer, 2010.

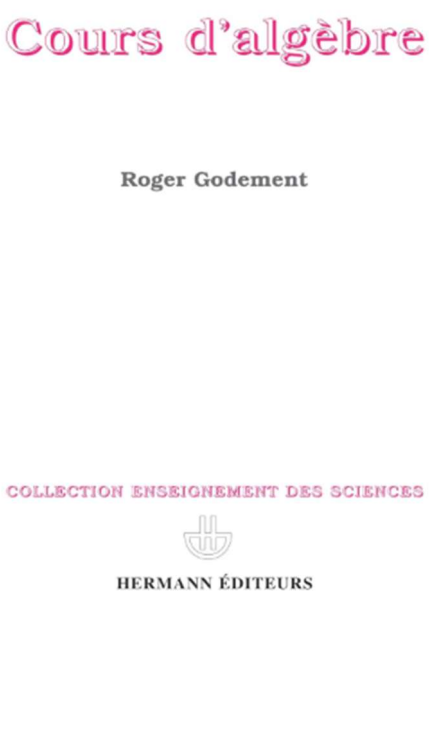
[9] E. Mendelson, Introduction to Mathematical Logic, CRC Press/Taylor & Francis Group, 2015.

[10] J. R. Shoenfield, Mathematical Logic, Addison-Wesley Pub., 1967.

[11] G. Tourlakis, Lectures in Logic and Set Theory, Vol. 1: Mathematical Logic, Cambridge University Press, 2003.

[12] G. Tourlakis, Lectures in Logic and Set Theory, Vol. 2: Set Theory, Cambridge University Press, 2003.

[13] R. L. Vaught, Set Theory: An Introduction, Birkhäuser, Boston, 1995.



روجي غودمان Roger Godement (1921-2016)

ثقافة تكنولوجية

مدخل إلى دراسة البطارية الكمومية باستعمال تماثل التبديل

عزّ الدّين مسيخ
باحث في مركز البحث في تكنولوجيا نصف النواقل للطاقوية
شارع الدكتور فرانز فانون، الجزائر العاصمة، الجزائر
amessikh@yahoo.com

في حالة الجسيمات المتطابقة، لا تتغير المعادلات عند تبادل المتغيرات، وهو ما يساعد على تقليل عدد المتغيرات والحصول على حلول أكثر دقة وبسرعة أعلى. في هذا المقال، سنتطرق إلى مفهوم يُستخدم في تبسيط المعادلات، وهو تناظر التبديل (Permutation Symmetry) الذي يقودنا إلى تبسيط المعادلة الرئيسية في البصريات الكمومية (Master equation)، ومن ثم نطبّقه على نموذج البطارية الكمومية.

فكرة هذا المقال مستمدة من المرجعين [2] و [4]؛ إذ يشرح المرجع الأول تماثل التبديل بشكل مفصل، بينما يعرض الآخر نموذج شحن لبطارية كمومية في خزان حراري.

1. مقدمة

يُعدّ مفهوم الإشعاع الفائق (Superradiance) من المفاهيم المعرّفة في البصريات الكمومية. وقد طُرح هذا المفهوم لأول مرة على يد روبرت هـ. ديكي (Robert H. Dicke) عام 1954، ويُعبّر عن الحالة التي تُصدر فيها مجموعة من الذرات أو الجزيئات المُثارة، عندما تكون متقاربة ومُترابطة، إشعاعًا بمعدل أعلى بكثير من الذرات المُنفردة، وذلك بفضل التأثيرات التعاونية (Collective effects).

إن هذا السلوك الجماعي لهذه المجموعة هو ما يؤدي إلى انبعاث مُعزز ومُتماسك للضوء. وقد توقع ديكي أن شدة الإشعاع المنبعث تتناسب مع مربع عدد الباعثات (Emitters)، وليس بشكل خطي كما هو متوقع من الباعثات المستقلة. عندما يكون عدد الباعثات كبيرًا، يصعب حل معادلة الحركة (Master Equation)، إلا أنّه في حال كانت هذه الباعثات متطابقة، يمكننا استخدام التناظر لتبسيط المسألة، مما يؤدي إلى تقليل عدد المعادلات اللازمة للحل. وعادةً ما يعني التناظر في المعادلات أن بعض التحويلات -مثل التباديل- تُبقي النظام ثابتًا، مما يسمح بالتخلص من درجات الحرية الزائدة وتبسيط العمليات الحسابية. ويُعد هذا الاستعمال شائعًا في الإشعاع الفائق أو البطاريات الكمومية.

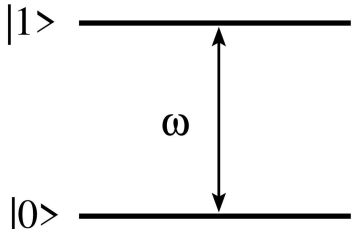
تُعدّ البطارية الكمومية جهازًا يوظّف مبادئ ميكانيكا الكم لتخزين الطاقة والاحتفاظ بها وإطلاقها بكفاءة تفوق كفاءة البطاريات التقليدية. وهي لا تعتمد على التفاعلات الكيميائية أو العمليات الفيزيائية الكلاسيكية، بل تستخدم أنظمة كمومية - مثل الذرات أو الجسيمات الكمومية الأخرى - لتخزين الطاقة في حالاتها الكمومية.

2. الأنظمة ذات المستويين

يُعدّ النظام ثنائي المستوى أو نظام الحالتين (Two-level System) أبسط الأنظمة الكمومية. والحالتان الأساسيتان اللتان يتواجد فيهما هذا الثنائي هما القاعدتان $|0\rangle$ و$|1\rangle$. لذلك تكون الحالة الكمومية النقية (Pure State) $|\psi\rangle$ لهذا الثنائي عبارة عن تركيبة خطية على النحو التالي:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, \quad |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1.$$

أما في الحالة الكمومية المختلطة (Mixed State)، فيتم تمثيل أية حالة كمومية بواسطة مصفوفة الكثافة أو مؤثر الكثافة (Density Matrix)، والتي يُرمز إليها عادة بالحرف ρ. في الحالة النقية تكون $\rho = |\psi\rangle\langle\psi|$، أما في الحالة المختلطة، فتكون عبارة عن مصفوفة 2×2 ذات أثر يساوي واحدًا. لمزيد من التوضيح يرجى الرجوع إلى [1].



يُمثّل الشكل أعلاه نظامًا ذا مستويين، حيث يكون الفرق بين ترددي الحالة الأرضية $|0\rangle$ والحالة المثارة $|1\rangle$ مساويًا للتردد ω. يمكن وصف نظام واحد مكون من مستويين بأربع لفات مغزلية (Spin):

$$\sigma_{11} = |1\rangle\langle 1|, \quad \sigma_{00} = |0\rangle\langle 0|$$
$$\sigma_{10} = |1\rangle\langle 0|, \quad \sigma_{01} = |0\rangle\langle 1|$$

تُحقق هذه اللفات المغزلية خاصية جبر لي (Lie Algebra) التي يرمز لها بـ $su(2)$:

$$[\sigma_{10}, \sigma_{01}] = \sigma_{11} - \sigma_{00}, \quad [\sigma_{10}, \sigma_{11}] = -\sigma_{10}, \quad [\sigma_{01}, \sigma_{11}] = \sigma_{01}.$$

3. تمثيل الأنظمة ذات المستويين

في حالة وجود عدة أنظمة كمومية، نحتاج إلى فضاء هيلبرت يكون بُعده مساويًا جداء الأبعاد المكوّنة له. فعلى سبيل المثال، عندما يكون لدينا نظام واحد فإننا نحتاج إلى بُعدين $|0\rangle$ و$|1\rangle$، أما إذا كان لدينا N نظامًا فإننا نحتاج إلى 2^N:

$$|i_1\rangle \otimes |i_2\rangle \otimes \cdots \otimes |i_N\rangle, \quad i_k \in \{0,1\}.$$

ونعرّف اللفات المغزلية الأربعة للمجموعة بالشكل التالي:

$$J_{ij} = \sum_{k=1}^{N} \sigma_{ij}^{k}, \quad i,j \in \{0,1\}.$$

تخضع هذه المؤثرات لعلاقات التبديل ذاتها التي تخضع لها المؤثرات الفردية المقابلة:

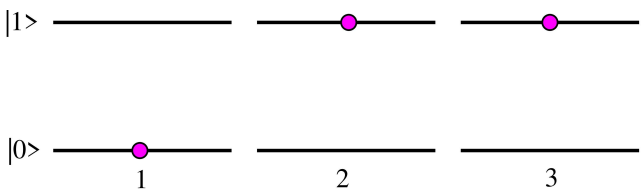
$$[J_{10}, J_{01}] = J_{11} - J_{00}, \quad [J_{10}, J_{11}] = -J_{10}, \quad [J_{01}, J_{11}] = J_{01}.$$

ومع تزايد قيمة العدد N يكبر بُعد فضاء هيلبرت أُسيًا. فعلى سبيل المثال، بُعد فضاء هيلبرت المكون فقط من 30 نظامًا هو عدد كبير: $2^{30} = 1073741824$. عندما تكون الأنظمة ذات المستويين كلها على شاكلة واحدة، حينئذ يمكننا تقليل بُعد فضاء هيلبرت من دالة أسية إلى دالة متعددة الحدود، وهذا ما سنوضحه فيما يلي.

لنبدأ أولًا بثلاثة أنظمة ثنائية المستوى حتى تكون الفكرة واضحة، ثم نعممها إلى عدد كيفي من الأنظمة. في حالة ثلاثة أنظمة، يكون بُعد فضاء هيلبرت يساوي 8. ويمكن كتابتهم بالشكل التالي:

$$\left|\begin{matrix} n \\ \mathbf{u_n} \end{matrix}\right\rangle$$

حيث n هو عدد الأنظمة الموجودة في الحالة $|1\rangle$ و $\mathbf{u_n}$ مجموعة الأنظمة المرافقة لها. فعلى سبيل المثال، الشكل أدناه يرمز إلى الحالة $\left|\begin{matrix} 2 \\ \{2,3\} \end{matrix}\right\rangle$. في هذه الحالة يوجد نظامان في الحالة المثارة: النظام الثاني والنظام الثالث.



إذا كانت الأنظمة متشابهة تمامًا، فلا نفرّق بينهما وتصبح عدد الحالات التي لها نفس العدد n تعطى بعدد التوافيق:

$$C_n^N = \frac{N!}{n!\,(N-n)!}.$$

لحساب الكميات الفيزيائية التي تُعرف باسم بالملاحظات (Observables)، نستعين بالتعريف التالي. القيمة المتوسطة للملاحظ O تُعطى بالعلاقة:

$$\langle O \rangle = \mathrm{Tr}[O\rho]$$

ولحساب هذه القيمة المتوسطة نحتاج لإيجاد عناصر المصفوفة ρ:

$$\begin{aligned}\langle m, \mathbf{u_m}|\rho|n, \mathbf{u_n}\rangle &= \mathrm{Tr}[|n, \mathbf{u_n}\rangle\langle m, \mathbf{u_m}|\rho] \\ &= \langle |n, \mathbf{u_n}\rangle\langle m, \mathbf{u_m}|\rangle\end{aligned}$$

المصفوفات $|n, \mathbf{u_n}\rangle\langle m, \mathbf{u_m}|$ تُشكّل قاعدة متكاملة في فضاء ليوفيل(Liouville) لمجموعة أنظمة N ثنائية المستوى. وفي الحقيقة توجد $(2^N)^2$ مصفوفة. إذا كانت الجملة التي نحن بصدد دراستها متكونة من أنظمة متشابهة، فمن الأفضل كتابة هذه المصفوفات بالشكل التالي:

$$|n, \mathbf{u_n}\rangle\langle m, \mathbf{u_m}| = \left|\begin{matrix} n_{11}\ n_{10} \\ \mathbf{u_{11}}\ \mathbf{u_{10}} \end{matrix}\right\rangle \left\langle\begin{matrix} n_{11}\ n_{01} \\ \mathbf{u_{11}}\ \mathbf{u_{01}} \end{matrix}\right|$$

حيث

$$n_{11} + n_{10} + n_{01} + n_{00} = N$$
$$\mathbf{u_{11}} \cup \mathbf{u_{10}} \cup \mathbf{u_{01}} \cup \mathbf{u_{00}} = \mathbf{u_N}$$

$$n = n_{11} + n_{10},\ \ m = n_{11} + n_{01}$$

$$\mathbf{u_n} = \mathbf{u_{11}} \cup \mathbf{u_{10}},\ \ \mathbf{u_m} = \mathbf{u_{11}} \cup \mathbf{u_{01}}$$

أي أنّ n_{ij} يُمثّل عدد اللفات المغزلية للمؤثر σ_{ij}. وبما أن N ثابت، فإن عدد الحالات يصبح دالة كثير الحدود من الدرجة الثالثة [5]:

$$\frac{(N+3)!}{3!\,N!} = \frac{1}{6}(N+1)(N+2)(N+3).$$

4. معادلة الحركة الأساسية

عندما نهمل تأثير المحيط على مجموعة من الأنظمة ثنائية المستوى، فإن معادلة الحركة الأساسية تُكتب على النحو التالي [1]:

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{i}{\hbar}[\rho, H_0],\quad H_0 = \hbar\omega J_{11}$$

حيث H_0 هاميلتونيان المجموعة المعزولة (Close system) و $\hbar$ هو ثابت بلانك.

أما عندما تكون المجموعة مفتوحة (Open System)، فإننا نضيف إلى المعادلة السابقة تأثير المحيط على المجموعة، فتصبح المعادلة تعطى بحسب الانبعاث التلقائي:

- الانبعاث التلقائي الفردي (Individual Spontaneous Emission)

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{i}{\hbar}[\rho, H_0] + \frac{\gamma}{2}\sum_{i=1}^{N}(2\sigma_{01}^{i}\rho\sigma_{10}^{i} - \sigma_{11}^{i}\rho - \rho\sigma_{11}^{i}).$$

- الانبعاث التلقائي الجماعي (Collective Spontaneous Emission)

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{i}{\hbar}[\rho, H_0] + \frac{\gamma}{2}(2J_{01}\rho J_{10} - J_{10}J_{01}\rho - \rho J_{10}J_{01}),$$

حيث γ هو معامل التخميد (Damping rate).

كما هو واضح من شكل المعادلتين، تظهر مؤثرات على كلّ من يمين ويسار المؤثر ρ. سنوضّح فيما يلي كيفية الحصول على معادلة الحركة لعناصر المصفوفة ρ، ونختار فقط الحد الذي يشمل الهاميلتونيان، أما الحدود الأخرى فسنكتفي بذكر تأثير المؤثرات على يمين ويسار المصفوفة ρ دون برهان.

لنبدأ بالمعادلة الخاصة بـ N نظامًا في الحالة المعزولة:

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{i}{\hbar}[\rho, H_0],$$

فنجد

$$\begin{aligned}\langle m, \mathbf{u_m}|\dot{\rho}|n, \mathbf{u_n}\rangle &= i\omega\langle m, \mathbf{u_m}|(\rho J_{11} - J_{11}\rho)|n, \mathbf{u_n}\rangle \\ &= i\omega[\langle m, \mathbf{u_m}|\rho J_{11}|n, \mathbf{u_n}\rangle - \langle m, \mathbf{u_m}|J_{11}\rho|n, \mathbf{u_n}\rangle].\end{aligned}$$

نحتاج لحساب تأثير J_{11} على يمين ويسار المؤثر ρ. وبما أن $J_{11}|n, \mathbf{u_n}\rangle = n|n, \mathbf{u_n}\rangle$، فإن المعادلة السابقة يمكن كتابتها على الشكل التالي:

$$\langle m, \mathbf{u_m}|\dot{\rho}|n, \mathbf{u_n}\rangle = i\omega(n - m)\langle m, \mathbf{u_m}|\rho|n, \mathbf{u_n}\rangle$$

أو

$$\langle m, \mathbf{u_m}|\dot{\rho}|n, \mathbf{u_n}\rangle = i\omega(n_{10} - n_{01})\langle m, \mathbf{u_m}|\rho|n, \mathbf{u_n}\rangle$$

في حالة التشابه فإن المعادلة أعلاه لا تتعلق إلا بـ m وn فقط وليس بـ $u_{n,m}$. ولذلك نكتبها بالشكل التالي:

$$\dot{\rho}[n_{11}, n_{10}, n_{01}] = i\omega(n_{10} - n_{01})\rho[n_{11}, n_{10}, n_{01}].$$

فإذا أردنا حساب القيمة المتوسطة لمؤثر ما، فإننا نضطر إلى استخدام عدد التوافيق. وكما هو معلوم، فإن العدد $n!$ يصبح كبيرًا جدًا، وسيعاني حساب القيمة المتوسطة من عدم الاستقرار العددي (Numerical instability)، لذلك من الأفضل تغيير المعادلات بحيث تشمل المتغيرات $\mathcal{P}$ المعرفة كما يلي:

$$\mathcal{P}[n_{11}, n_{10}, n_{01}] = C^{N}_{n_{11},n_{10},n_{01}}\rho[n_{11}, n_{10}, n_{01}],$$

حيث

$$C^{N}_{n_{11},n_{10},n_{01}} = \frac{N!}{n_{11}!\, n_{10}!\, n_{01}!\, n_{00}!}$$

فتصبح المعادلة السابقة

$$\dot{\mathcal{P}}[n_{11}, n_{10}, n_{01}] = i\omega(n_{10} - n_{01})\mathcal{P}[n_{11}, n_{10}, n_{01}],$$

فلا نحتاج بعد ذلك لحساب عاملي الأعداد ونتحصل على قيم مستقرة.

بعد حل المعادلة الأساسية، يمكننا إيجاد القيمة المتوسطة لأي مؤثر. فعلى سبيل المثال، القيمة المتوسطة للمؤثر J_{11} يمكن حسابها بسهولة، إذ تعطى بالعلاقة التالية:

$$\langle J_{11}\rangle = \sum_{n=0}^{N} n\mathcal{P}[n, 0, 0].$$

الآن، سنكتب دون برهان التأثيرات التي تُحدثها المؤثرات J_{xy} على يمين ويسار المصفوفة ρ وذلك من غير الدخول في تفاصيل الإثبات.

$$J_{xx}\rho \to \sum_k n_{kx}\mathcal{P}[\cdots]$$
$$\rho J_{xx} \to \sum_k n_{xk}\mathcal{P}[\cdots]$$
$$J_{xy}\rho \to \sum_k \Theta[n_{kx}]\,(n_{ky}+1)\mathcal{P}[n_{ky}+1, n_{kx}-1]$$
$$\rho J_{xy} \to \sum_k \Theta\,[n_{yk}](n_{xk}+1)\mathcal{P}[n_{xk}+1, n_{yk}-1]$$

حيث إن الدالة $\Theta[x]$ تأخذ القيمة الصفر عندما $x=0$، وواحدًا في باقي القيم.

5. حساب موضع الحالات

بعد تحديد تأثيرات المؤثرات على كلّ من يمين ويسار مصفوفة الكثافة ρ، يمكننا حساب المصفوفة الكلية $\mathcal{M}$ للجملة، والتي تنتج عن المعادلة التفاضلية الخطية:

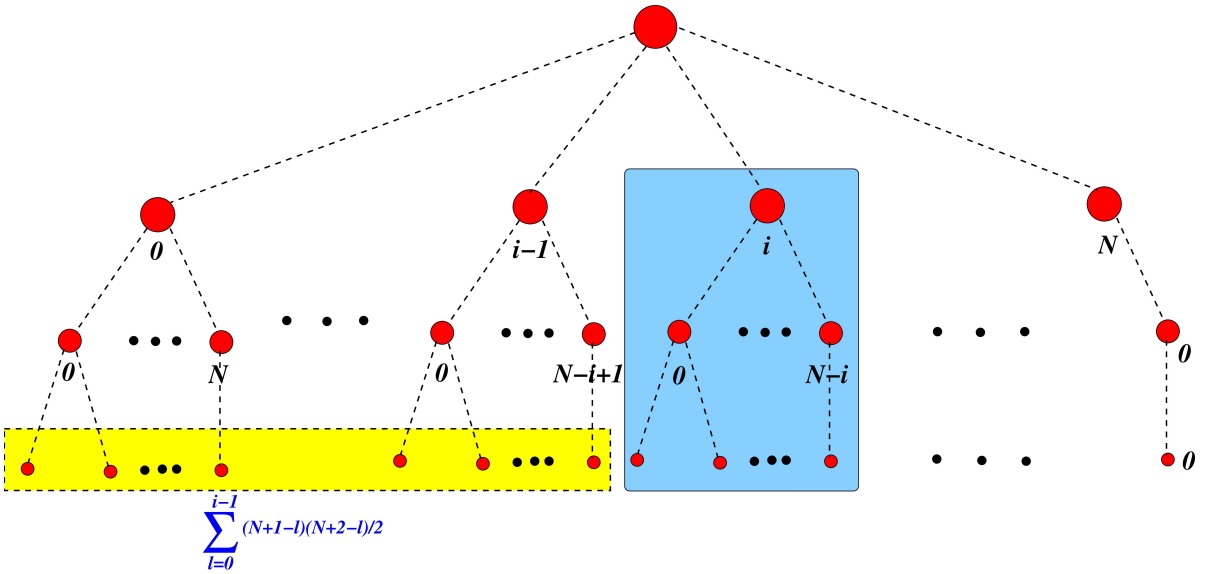
$$\dot{\mathcal{P}}[n_{11}, n_{10}, n_{01}] = \mathcal{M}\mathcal{P}[n_{11}, n_{10}, n_{01}].$$

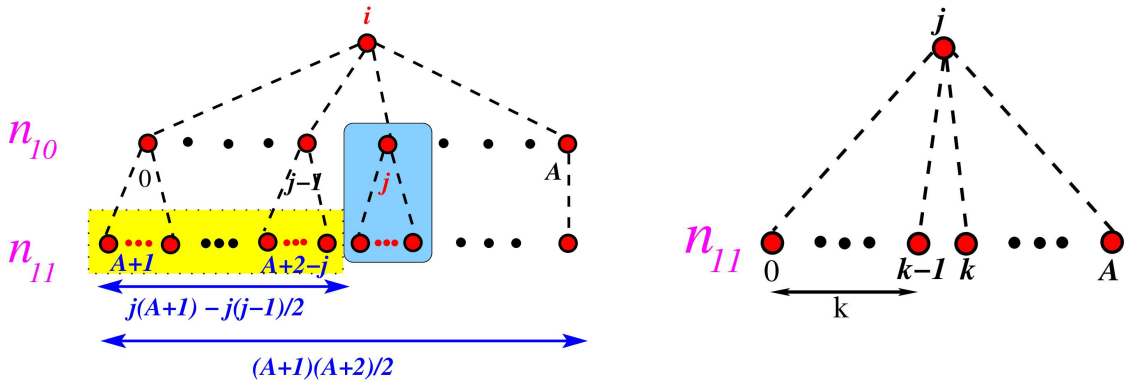
من خلال المعادلات أعلاه، نلاحظ أن هذه التأثيرات إما أنها لا تُغيّر ترتيب المتغيّر $\mathcal{P}$، أو أنها تُغيّر ترتيبه من خلال زيادة واحد في بُعد معيّن وإنقاصه من بُعد آخر. لذلك، نحتاج إلى معرفة موضع أو ترتيب الحالات المعطاة بالأعداد $\{n_{11}, n_{10}, n_{01}\}$. ويمكن تحديد الموضع كما هو مبين في الشكل أدناه.

$$L_1 = \frac{1}{2}\sum_{l=0}^{i-1}(N+1-l)(N+2-l)$$
$$L_2 = j\left[(N-i+1) - \frac{1}{2}(j-1)\right]$$
$$L_3 = k.$$

إذن الموضع يعطى بالعلاقة التالية:

$$d[i,j,k] = L_1 + L_2 + L_3, \quad (i,j,k) = (n_{01}, n_{10}, n_{11})$$





6. شحن بطارية كمومية

نعتبر نظام شحن بطارية كمومية مكوّنًا من نظامين:

- النظام الأول: البطارية الكمومية، وهو مجموعة من أنظمة N_B ثنائية المستوى، بطاقة انتقالية $\hbar\omega$.
- أما النظام الآخر: الشاحن، فيتكون من مجموعة من أنظمة $N_C \geq N_B$ ثنائية المستوى، بنفس الطاقة الانتقالية للبطارية.

كلا النظامين موجودان في خزان حراري. بافتراض أن النظامين والخزان الحراري غير مترابطة في البداية، ووفقًا لتقريب بورن-ماركوف (Born-Markov)، تُعطى المعادلة الرئيسية أثناء الشحن بواسطة معادلة ليندبلاد (Lindblad) [4]:

$$\dot{\rho} = -i\omega[J^z, \rho] + \frac{\gamma}{2}(2J^-\rho J^+ - J^+J^-\rho - \rho J^+J^-).$$

هنا البطارية والشاحن قريبان من بعضهما البعض ويخضعان للانبعاث الجماعي حيث:

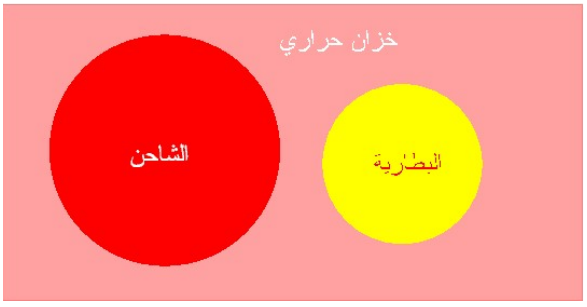
$$J^- = J^B_{01} + J^C_{01}, \quad J^+ = J^B_{10} + J^C_{10}.$$

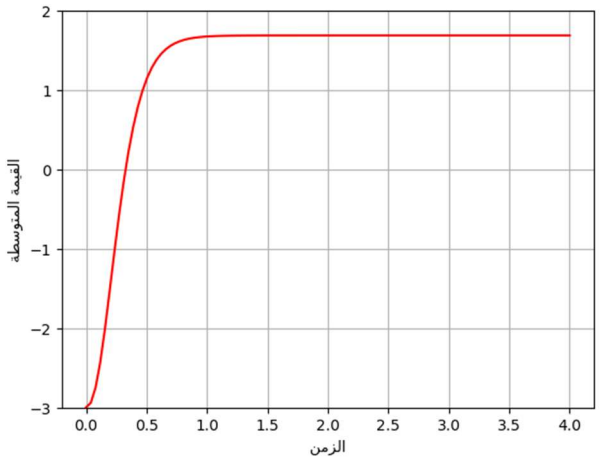
وJ^z هو مجموع مؤثرات مصفوفة باولي (Pauli Matrix σ_z) للنظامين البطارية والشاحن.

ملاحظة: لدينا نوعان من ثنائي المستوى، البطارية والشاحن، لذلك تصبح المتغيرات على الشكل:

$$\mathcal{P}[n^0_{11}, n^0_{10}, n^0_{01}; n^1_{11}, n^1_{10}, n^1_{01}]$$

ويعطى ترتيبها بـ $p = d_0p_1 + p_0$، حيث d_0 هو بُعد نظام البطارية، p_0 وp_1 هما ترتيبا المتغيرات n^0 وn^1 المعطى بالعلاقة $d[i,j,k]$ أعلاه.





الشكل أعلاه يوضّح نموذج البطارية الكمومية والقيمة المتوسطة $\langle J_{11}\rangle - \langle J_{00}\rangle$ بدلالة الزمن. المعلمات المستخدمة هي: عدد أنظمة البطارية $N_B = 3$، وعدد أنظمة الشحن $N_C = 5$. والظروف الأولية هي: البطارية فارغة تمامًا أي في حالتها الأرضية $|0, \phi\rangle$، في حين أن الشاحن في الحالة المثارة $|5, \{1 \dots 5\}\rangle$.

نلاحظ أن القيمة المتوسطة دالة متزايدة بالنسبة للزمن، مما يدل على أن البطارية في طور الشحن. كما يمكن التثبت من أن انتقال الطاقة هذا لا يمكن اعتباره ناتجًا عن انبعاث فوتون من الشاحن يليه امتصاص البطارية له، بل هو تأثير ميكانيكي كمي بحت، ينشأ عن السلوك الجماعي لكل من البطارية والشاحن والخزان.

ملاحظة: في المقال القادم، سوف نشرح بالتفصيل، خطوة بخطوة، حل المعادلة الأساسية وحساب القيم المتوسطة للمؤثرات باستخدام برمجة بايثون (Python)، والبرهان على أن الشحن هو نتيجة السلوك الجماعي.

المراجع

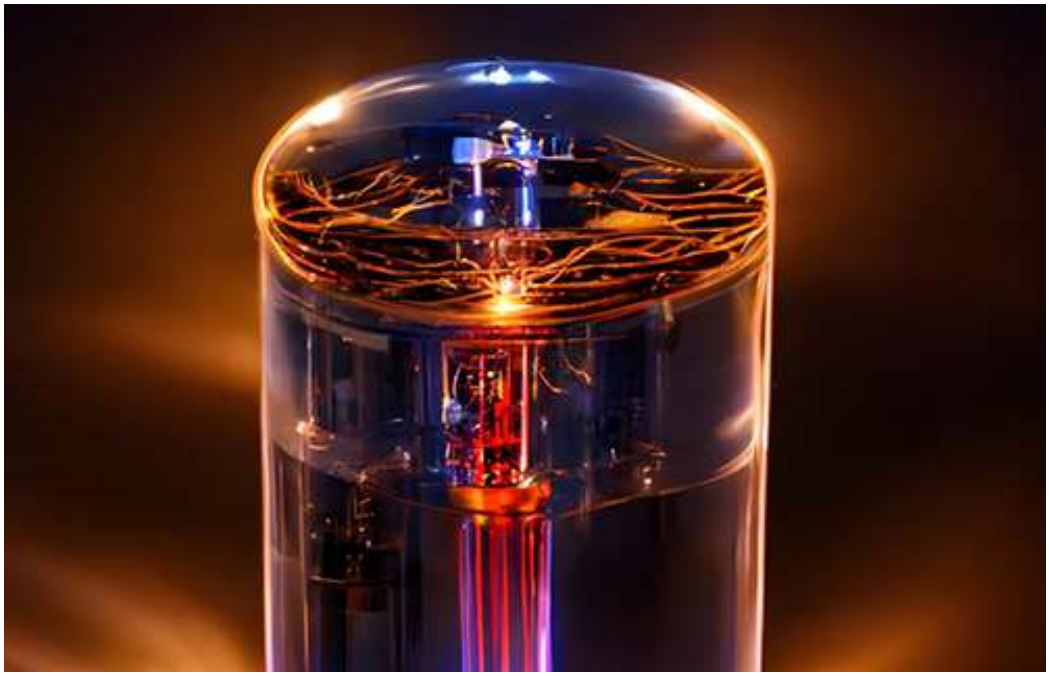
[1] Ficek Z. and Wahiddin M.R. Quantum Optics for Beginners. CRC Press, 2014.

[2] Gegg M. and Richter M. Efficient and exact numerical approach for many multi-level systems in open system CQED. New Journal of Physics. 2016 Apr 26,18(4).

[3] Mandel L. and Wolf E. Optical Coherence and Quantum Optics. Cambridge University Press, 1995

[4] Quach J.Q. and Munro W.J. Using dark states to charge and stabilize open quantum batteries. Physical Review Applied. 2020 Aug 1,14(2).

[5] Rosen K.H. Discrete Mathematics and Its Applications. New York, McGraw-Hill, 1999.



المبادئ الأساسية لأشعة الليزر وبعض تطبيقاتها

خليل قليفط[1]، عبد الحميد زغداوي[2]

[1]مخبر البحث على المواد الفعالة وتثمين الكتلة الحية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

[2] مخبر ن-جسم وبنية المادة، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

1. مقدمة

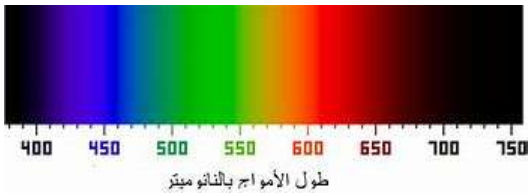
الليزر (laser) يعني تضخيم الضوء بانبعاث الإشعاع المحفّز (light amplification by stimulated emission of radiation)، وهو عبارة عن حزمة ضوئية تتكون من فوتونات تشترك في ترددها وتتطابق موجاتها، مما يؤدي إلى حدوث ظاهرة التداخل البنّاء بين الموجات، فتتحول إلى نبضة ضوئية ذات طاقة عالية.

كان أينشتاين (Einstein) أول من وضع الأساس النظري في عام 1918، والذي يُعدّ شرطًا أساسيًا لعملية الإصدار القسري لتوليد الليزر. لم يكن اكتشاف أشعة الليزر وليد المصادفة أو نتيجة عمل فردي، بل جاء نتيجة بحوث متعاقبة وجهود متنوعة في بلدان مختلفة، مما جعل هذا الاكتشاف حصيلة جهد بشري مشترك ساهم فيه علماء نظريون وآخرون تجريبيون.

نشأت أشعة الليزر عن تطوير فكرة المايزر (maser)، التي اقترحها تشارلز تاونز (Charles Townes) عام1951. والمايزر هو تضخيم الأمواج الميكروية بواسطة الإصدار القسري للأشعة. ومنذ ذلك الحين، أصبح المايزر تقنية معروفة، فاستُخدم في مجالات الرادار والراديو. وفي عام 1958، اقترح تاونز وَآرثر شاولو (Arthur Schawlow) تطوير مايزر جديد يعمل ضمن منطقة الترددات الضوئية للطيف الكهرومغناطيسي.

اعتمادًا على ذلك، تم تصميم أول جهاز ليزر في عام 1960 على يد ثيودور مايمان (Theodore Maiman)، حيث استخدم بلورة الياقوت الأحمر، وبالتالي كان أول ليزر هو ليزر الياقوت عالي النقاوة، الذي يمكن تحفيز إنتاجها لأشعة ضوئية من لون واحد، أي بطول موجة واحدة وفي طور موجي واحد. وعند تطابقها مع بعضها وانعكاسها عدة مرات بين مرآتين داخل بلورة الليزر، تنتظم الموجات وتتداخل وتخرج من الجهاز بطاقة عالية كما هو مرغوب. وتُستخدم كلمة "الليزر" للتعبير عن أي منطقة من مناطق الطيف. ولمعرفة الليزر، لابد من التعرف على الطيف الكهرومغناطيسي، الذي يمتد من الموجات الراديوية الطويلة إلى الموجات القصيرة لأشعة جاما عالية الطاقة.

وكما هو معروف، فإن المنطقة الضيقة من الطيف، والتي تُعرف بالطيف المرئي أو الضوء الأبيض، تتكوّن من الألوان الضوئية التالية: الأحمر، البرتقالي، الأصفر، الأخضر، الأزرق، النيلي، والبنفسجي.



الشكل 1: أطياف الضوء المرئي وأطوال موجاتها بالنانومتر

كما أن ترددات هذه الإشعاعات وأطوالها الموجية تختلف، مقارنةً بالموجات الصوتية، في حين تتميز أضواء أشعة الليزر بكثافتها وتركيزها. وفي الليزر، يعمل الاضطراب الطبيعي للموجات على ترابطها، حيث تنبعث الفوتونات لكل الإشعاعات الطيفية على شكل دفعات منتظمة ذات تردد واحد. ونظرًا لترابط الموجات، فإن الفوتونات تقوي بعضها

البعض، مما يزيد من قدرتها على نقل الطاقة. لقد توسعت تقنية الليزر لتشمل ما وراء نطاق الموجات فوق البنفسجية، وصولًا إلى الأشعة السينية عالية الطاقة، ويمنح كل طول موجي في هذه المناطق القدرة والإمكانات اللازمة للإنسان لابتكار تطبيقات متنوعة.

2. خصائص ومميزات الليزر

يُنتج الليزر حزمة ضوئية رفيعة جدًا وقوية، وبعض هذه الحزم رفيعة إلى درجة تمكّنها من ثقب مائتي حفرة فوق نقطة في حجم رأس الدبوس. وبفضل إمكانية تركيز أشعة الليزر إلى هذا المستوى من الدقة، تصبح هذه الأشعة شديدة القوة. فعلى سبيل المثال، يمكن لبعض الحزم اختراق الماس، وهو أصلب مادة في الطبيعة، بينما يستطيع بعضها إحداث تفاعل نووي صغير. كما يمكن نقل حزمة الليزر إلى مسافات بعيدة دون أن تفقد قوتها، مما يقودنا إلى دراسة خصائص شعاع الليزر، بغض النظر عن مادته أو نطاق طيفه. ومن بين مميزاته:

- أحادي اللون: أي أنه يتميز بعرض طيفي ضيق ينتج عنه تردد مفرد ونقي، وهذه خاصية كانت تتميز بها الأشعة الراديوية دون سواها.
- توازي الحزم الضوئية: أي أن التشتت أو التفرق في الحزمة يكون معدومًا، كما أنها بطبيعتها مركزة دون الحاجة إلى استخدام عدسات. وقد يصل قطرها إلى أقل من قطر رأس الدبوس، كما يمكنها الانتقال إلى مسافات طويلة بفقدها مقدار ضئيل من الطاقة، خاصة عند غياب المواد الممتصة في مسارها.
- توازي الحزم الضوئية أو الاتجاهية: يتميز الضوء العادي بكونه منفرجًا ويزداد الانفراج كلما زاد الابتعاد عن مصدره، حيث إن جميع المصادر التقليدية تصدر الضوء في جميع الاتجاهات (مثل الضوء المنبعث من المصباح). أما "الاتجاهية" فهي إحدى سمات ضوء الليزر التي تجعله ينتقل في اتجاه واحد ضمن نطاق ضيق. بالرغم من أن جميع أنواع الضوء تنتشر في النهاية وتتباعد عند تحركها عبر الفضاء، فإن ضوء الليزر يتميز بدرجة عالية من الاتجاهية مقارنة بأي مصدر تقليدي، مما يجعل التشتت أو التفرق في حزمته شبه معدوم.
- الترابط: الترابط بين موجات الحزمة الواحدة عالٍ جدًا ومتزامن، وهذا يساعد الموجات الضوئية أو الفوتونات على تقوية بعضها البعض، مما يمنح الحزمة طاقة وقدرة عاليتين. ويمكن أن يكون هذا الترابط ترابطًا بناءً، حيث يكون الفرق بين الموجات معدومًا، أو ترابطًا هدامًا، حيث يوجد فرق في الطور بين الموجات. يُعدّ الترابط من الخصائص المميزة لضوء الليزر، ويظهر عند حدوث الانبعاث الحثي، وهو عامل أساسي في التكبير الضوئي، حيث تنبعث الفوتونات بفرق طور محدد ومتوافق مع بعضها البعض. يوصف هذا الترابط بأنه ترابط زمني وترابط فضائي، وكلاهما مهم في إنتاج التداخل، والذي يستخدم في حالة رسم الضوء العادي غير المترابط، نظرا لكونه صادرًا عن ذرات مستقلة تبعث فوتونات بزمن وقدره 108 ثانية.
- الشدة الضوئية: يتميز شعاع الليزر بشدة عالية ومركزة في حزمة ذات قطر ضيق لا يتجاوز مليمترًا واحدًا. ومع استخدام البصريات الملائمة، يمكن تعديل عرض الحزمة وفق الحاجة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن تركيزها في بقعة صغيرة تملك قدرة كثافية هائلة (أي القدرة لكل وحدة المساحة).

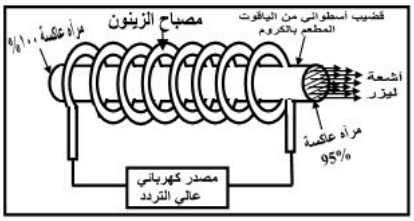
3. عيوب استخدام الليزر

تتمثل عيوب أشعة الليزر في كونها حزمة خطيرة، خاصة عند تعرّض العين لها، كما أنها تتطلّب قدرة عالية للتشغيل. وتعتمد تقنيات البحث المختلفة في هذا المجال بشكل عام على تحويل أنواع متعددة من الطاقة إلى طاقة ضوئية، مما يستلزم دقة متناهية في ضبط المستويات البصرية لضمان بدء الانبعاث الليزري.

4. العناصر الأساسية لليزر

يحمل العنصر الليزري في طياته القدرة على النفاذ في أغوار المواد، سواء كانت غازية أو صلبة أو سائلة، مما يؤدي إلى تسخين ذراتها وجزيئاتها وتحفيزها لإنتاج شعاع مميز بخصائصه الفيزيائية الفريدة وتطبيقاته المتنوعة. يتميز هذا الشعاع بجودة فائقة، ويتألف من دقائق ضوئية تُعرف بالفوتونات، ذات ترددات أو أطوال موجبة تعتمد على نوع المادة المثارة والطريقة المستخدمة في الإثارة. وقد يكون هذا الشعاع مرئيًا أو غير مرئي للإنسان، كما يمكن أن يكون مستمر التدفق أو متقطعًا (نبضيًا).

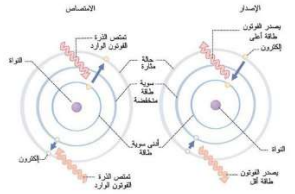
من المعروف في علم المواد أن المواد المختلفة تتكون من ذرات عنصر أو أكثر من عناصر الجدول الدوري، والتي يتجاوز عددها 104. تتحد ذرات هذه العناصر بطرق متنوعة لتكوّن عددًا لا يحصى من الجزئيات، التي بدورها تُشكّل المركبات المختلفة، مما يمنح المواد خصائصها المعروفة. من الممكن نظريًا إنتاج شعاع الليزر من كل هذه العناصر أو مركباتها، لكن عمليًا، تتطلب هذه العملية إيجاد طرق تحفيز مناسبة. وخلال السنوات القليلة الماضية، تم التوصل إلى إنتاج شعاع الليزر من عدد كبير من الذرات والجزيئات، سواء كانت في حالة غازية أو صلبة أو سائلة. بعض هذه الأجهزة متوفر تجاريًا، بينما لا يزال البعض الآخر قيد التجربة والبحث. تتميز هذه الأجهزة بتنوع أشكالها وأحجامها وطاقاتها، إلا أن أساسيات تصميمها واحدة، حيث تعتمد على ثلاثة عناصر رئيسية مشتركة: الوسط المادي، مصدر الطاقة، والمرنان.



الشكل 2: رسم تخطيطي لجهاز الليزر

المواد الفعالة شائعة الاستخدام حاليًا لإنتاج أشعة الليزر تشمل ما يلي:

- البلورات الصلبة: مثل الياقوت الصناعي (ruby)، وعقيق الألمنيوم، والزجاج المسمى بالياج (yag). على سبيل المثال، الوسط الفعّال في جهاز الليزر الروبي هو بلورة أكسيد الألمنيوم المطعمة بذرات الكروم، حيث تلعب هذه الذرات دورًا أساسيًا في منح الوسط الفعّال خصائصه الفريدة. في ليزر الروبي، تقوم ذرات الكروم بامتصاص الضوء ذي اللون الأزرق والأخضر، بينما تعكس فقط اللون الأحمر، مما يؤدي إلى إنتاج أشعة الليزر ذات اللون الأحمر. الوسط الفعّال في هذا النظام يكون على شكل أسطوانة، حيث تحتوي إحدى نهايتي الأسطوانة على مرآة عاكسة تمامًا للأشعة، بينما يوجد في الطرف الآخر مرآة عاكسة جزئيًا. يحيط بهذه الأسطوانة مصباح ضوئية عالية الشدة، تعمل على تمرير الضوء الأبيض داخل الوسط الفعّال. وكما هو معلوم، فإن طيف الضوء الأبيض الكهرومغناطيسي يتكون من ألوان متعددة. دور ذرات الكروم هنا هو امتصاص اللونين الأزرق والأخضر من هذا الضوء، مما يؤدي إلى إكساب إلكترونات ذرات الكروم طاقة، فتُمكّنها من الانتقال من مستوى الطاقة الأرضي إلى مستوى طاقة أعلى. وأثناء عودة هذه الإلكترونات إلى مستوى الطاقة الأرضي، ينبعث ضوء أحمر (انظر الشكل 3). عند انبعاث هذا الضوء، تقوم المرايا العاكسة (الكلية والجزئية) بعكسه وإرجاعه إلى الوسط الفعال، مما يؤدي إلى إثارة ذرات الوسط (أي انتقال الإلكترونات إلى مستويات أعلى). تتكرر هذه العملية، مما يؤدي إلى إنتاج مستمر للضوء الأحمر (الليزر)، حتى يكتسب هذا الضوء قدرة عالية.



الشكل 3: انتقال الإلكترون من مستوى إلى آخر وإصدار أو امتصاص ضوء

- المواد الغازية: مثل خليط غاز الهيليوم والنيون، وخليط الكادميوم والهيليوم وبخار الماء. يُعدّ خليط الهيليوم-نيون من أشهر مواد الوسط الفعّال لليزرات الغازية، وهو غير مكلف ماديًا. يعمل هذا النوع عند الطول الموجي 632نانومتر في منطقة اللون الأحمر في الطيف الكهرومغناطيسي، وكذلك عند الطول الموجي 543.5 نانومتر في منطقة اللون الأخضر من الطيف. يتكون جهاز الهيليوم-نيون لليزر من الوسط الفعّال (خليط من غاز الهيليوم وغاز النوين) داخل أنبوب زجاجي تحت ضغط منخفض، ومصدر الطاقة وهو عبارة عن تفريغ كهربي في حدود 1000 فولط بين الكاثود والأنود الموجودين عند نهايتي الأنبوب. تبدأ عملية إنتاج الليزر عندما تتصادم إلكترونات التفريغ مع ذرات الهيليوم. تتسبب هذه العملية في إثارة ذرات الهيليوم وانتقالها من المستوى الأرضي إلى المستوى الأعلى من مدارات الإلكترونات في الذرة، وهي المستويات المثارة. يحدث تصادم بين ذرات الهيليوم المثارة في المستوى الأرضي مع ذرات النيون القريبة منها عند هذا المستوى من الطاقة، حيث تنتقل الطاقة إلى ذرات النيون، مما يؤدي إلى انتقال إلكترونات ذرات النيون إلى المستوى الأعلى نتيجة لتوافق مستويات طاقة ذرات الهيليوم مع مستويات طاقة ذرات النيون. ينبعث شعاع الليزر وتعمل المرايا على عكس هذا الشعاع مرة أخرى، وتحدث تصادمات وتتكرر عملية الانبعاث لنحصل على الليزر.
- الجزيئات المتأينة: مثل غاز الأرجون وغاز الكربتون، حيث يُعد غاز الأرجون من الغازات النادرة ويُستخدم كوسط فعّال لإنتاج ليزر الأرجون. يتميز هذا الليزر بعمله في نطاق الموجات المستمرة، ويغطي أطوالًا موجية تتراوح بين 408.9 نانومتر و686.1 نانومتر، كما أنه يعمل بقدرة عالية تصل إلى 100 واط باستخدام عدة انتقالات. يتكون جهاز ليزر الأرجون من أنبوبة بلازما مزودة بقاذفة تحت تفريغ عالٍ ومركبة مرتين (resonator assembly)، تُركّب فيها القاذفة (bore) وتعمل بدور العدسة لتجميع الضوء المتوافق عند طول موجي واحد، حتى تتمكن أنبوبة البلازما من إنتاج طاقة ليزرية. وللحصول عليها توضع مرايا عمودية عند طرفي القاذفة: إحداهما عاكسة تمامًا للضوء والأخرى عاكسة جزئيًا، بحيث يمكن ضبط زوايا المرايا. لكي تقوم أنبوبة البلازما بعملها، يجب دعمها بمصدر جهد لإحداث تفريغ داخل القاذفة. يؤدي ذلك إلى استثارة وتأيين ذرات الارجون، لتنتقل من مستوى طاقة أدنى إلى مستوى طاقة أعلى، وعندها تُطلق فوتونات ذات طاقة مناسبة. يعتمد الطول الموجي لهذه الفوتونات على المستويات الطاقوية، حيث يقع ضمن نطاق 400-600 نانومتر، مع انبعاث فوتونات فوق بنفسجية.
- الجزيئات الغازية: مثل غاز أول أكسيد الكربون وغاز ثاني أكسيد الكربون، يُعد هذا النوع من الوسط الفعّال قادرًا على إنتاج ليزر متصل بقوة 10 كيلو واط. تعمل آلية هذا الليزر بطريقة مشابهة لليزر الهيليوم-نيون، حيث يستخدم التفريغ الكهربائي في ضخ الإلكترونات مع إضافة نسبة من غاز النتروجين. إن لليزر أكسيد الكربون دورٌ فعال، ويمكن إنتاج الليزر حتى وإن كانت كفاءته في حدود 30%. ويُستخدم في اللحام وعمليات القص. يحدث الانبعاث لهذا النوع من الليزر عند الطول الموجي 10.6 ميكرومتر، وقدرة شعاعه تتراوح ما بين 10 وات و25 كيلووات أو حتى 100 كيلووات. والوسط الفعّال هو خليط من غاز ثاني أكسد الكربون والهيليوم والنتروجين بنسب 0.8: 7: 1 على التوالي. يتم ضخ الإلكترونات عن طريق التفريغ الكهربائي بتيار متردد أو تيار مستمر.

- الصبغات السائلة: هي صبغات كيمائية عضوية مختلفة مذابة في الماء. يعمل هذا النوع من الليزرات عند الترددات المستمرة مع جزيئات محدده ذات صبغة كيمائية. ولجزيئات هذه الصبغات عدد كبير من خطوط الطيف، ولكل خط طيف خصائصه، ويمكن ضبط ترددات هذه الخطوط لإنتاج الليزر.

5. تطبيقات الليزر

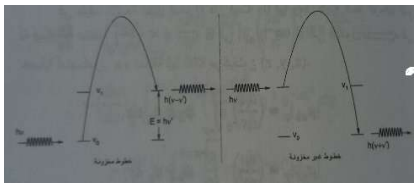
تنبع تطبيقات الليزر بشكل مباشر من خصائصه الفريدة، مما يجعله أداة مهمة في عدة مجالات منها:

1.5. تطبيقات الليزر في الفيزياء والكيمياء

لاحظ راماان (Raman) أنه عند سقوط ضوء شديد بطول موجي معين على جزيء، فإن شعاعًا بنفس الطول الموجي سيتشتت عن الجزيء، بالإضافة إلى خطوط أخرى ضعيفة الشدة متقاربة وبطول موجي أقصر بقليل أو أكبر بقليل من طول موجة الشعاع الساقط. فمثلًا، لو كانت طاقة الشعاع الساقط hv_o، فإن طاقة الأشعة المشتتة تعطى بالعلاقة:

$$hv = hv_o \mp \Delta E$$

حيث إن ΔE هو فرق الطاقة بين مستويين متذبذبين أو مستويين دورانيين للجزئ. هذا المقدار لا يعتمد على المصدر الضوئي، بل يعتمد فقط على خصائص التركيب الجزيئي للمادة (انظر الشكل 4).



الشكل 4: نموذج الهزاز التوافقي لراماان

لقد فتح هذا المجال إمكانيات البحث في ظواهر متعددة تعتمد على القابلية الجديدة لقياسات التحليل الزمني القصير جدًا. إذ إن معظم العمليات في الفيزياء والكيمياء وعلم الأحياء تحدث على مقاييس زمنية في حدود البيكوثانية. يمكن تضييق عرض النطاق الترددي إلى بضع عشرات كيلوهرتز، مما يسمح بإجراء القياسات الطيفية بدقة تحليلية تفوق المطيافية التقليدية بعدة مراتب، تتراوح بين 3 و6.

مما سبق، تتضح أهمية استخدام الليزر كمصدر ضوئي في علم الأطياف، مقارنةً بالمصادر الضوئية التقليدية، ويمكن تلخيصها فيما يلي:

- بما أن نسبة الجزء المتشتت من الأشعة الساقطة صغيرة جدًا، فإن استخدام حزمة الليزر الشديدة يوفر وسيلة أكثر دقة وأسهل للكشف عنه وقياسه.
- يسهم استخدام الليزر في زيادة قدرة التحليل للطيف الناتج، وذلك بسبب النقاوة الطيفية للمصدر.
- يزداد التشتت مع زيادة تردد الإشعاع الساقط، لذا فإن استخدام مصدر الليزر الذي يعمل قرب الضوء الأزرق (ليزر أيون -الأركون) يكون مثاليًا.
- يمكن الكشف عن الأشعة المشتتة باستخدام أجهزة الكشف الاعتيادية المتوفرة للاستخدام في المدى المرئي.

يُستخدم الليزر في كل الأغراض التشخيصية، ولإنتاج تفاعلات كيميائية غير قابلة للانعكاس (الكيمياء الضوئية باستخدام الليزر).

يمكن الحصول على معلومات مهمة حول تركيب وخصائص الجزيئات متعددة الذرات، بالإضافة إلى قياس التركيز ودرجة الحرارة لصنف معين من الجزيئات.

يمكن استخدام أشعة الليزر في الكيمياء الضوئية، على سبيل المثال في فصل النظائر، حيث يتم إثارة انتقائية لنوع النظير المرغوب فيه بواسطة أشعة الليزر. تتم هذه العملية من خلال التأين الضوئي للنظير المطلوب باستخدام ضوء ذي طول موجي ملائم، طالما أن هذا النظير قد ضخ إشعاعيًا إلى عدد من الحالات المثارة، وبعد ذلك يُجمع النظير المؤين باستخدام حقل كهربائي مستمر.

2.5. تطبيقات في علم الأحياء

يُستخدم الليزر كأداة للتشخيص أو لإحداث تغير غير قابل للانعكاس في الجزيئات الحية للخلية أو للأنسجة (علم الأحياء الضوئي).

- التفلور المستحث بواسطة نبضات الليزر القصيرة جدًا في DNA.
- استثارة رامان كوسيلة لدراسة الجزيئات الحية، مثل الهيموغلوبين والرودوبسين المسؤول عن عملية الإبصار.
- مطيافية ترابط الفوتون للحصول على معلومات حول درجة تجمع الجزيئات الحية المختلفة.
- تقنيات التحلل بضوء ومضائي ضمن نطاق البيكوثانية لفحص السلوك الديناميكي للجزيئات الحية بدقة في حالتها المثارة.

يُستخدم الليزر في علم الأحياء لإحداث تغير غير قابل للانعكاس في الخلية أو مكونات الخلية (تقنية الحزمة الدقيقة micro beam)، حيث تُركز أشعة الليزر بواسطة ميكروسكوب على منطقة من الخلية قطرها يساوي تقريبًا الطول الموجي لليزر ($0.5\ \mu m$)، لغرض دارسة عمل الخلية بعد التغيير الذي يُحدثه الليزر في منطقة معينة من الخلية.

3.5. تطبيقات الليزر في الطب

- لغرض المعالجة: تُجرى الدراسات حول كيفية تدمير الخلية الحية أو أجزاء منها باستخدام تقنية حزمة الليزر المجهرية، حيث يُوجَّه الضوء عبر العدسة الشيئية للمايكروسكوب إلى منطقة صغيرة من الخلية قطرها قريب من طول موجة الليزر المستخدم. والهدف الأساسي من هذه الدراسة هو مراقبة استجابة الخلية ووظائفها بعد إحداث تدمير جزئي لها باستخدام الليزر.
- في الجراحة: يُستخدَم مشرط الليزر كبديل للمشرط التقليدي، حيث تُوجَّه حزمة الليزر المركزة وتنتخب الأشعة تحت الحمراء، فتمتص أنسجه الجسم هذا الجزء من الإشعاع بشكل فعّال، ومن قِبل جزيئات الماء مما يؤدي إلى تبخرها بسرعة، متبوعا بقطع في النسيج.

من مزايا استخدام مشرط حزمة الليزر في الجراحة:

- إمكانية إحراء شق بدقة عالية، خاصة عند توجيه الحزمة باستخدام مايكروسكوب (الجراحة المجهرية)،
- القدرة على إجراء العمليات في مواضع يصعب الوصول إليها باستخدام الأدوات التقليدية،
- تقليل الخسائر الجانبية، مثل النزيف الناتج عن قطع الأوعية الدموية، مقارنةً بالمشرط التقليدي.

ومن مساوئ استخدام مشرط الليزر:

- التكلفة العالية والتعقيد في تقنية هذه الوحدة الجراحية،
- سرعة القطع مقارنةً بالمشرط التقليدي،
- مخاطر الأمان المرتبطة باستخدامه.

- طب العيون: يُستخدم ليزر الأرجون في علاج انفصال الشبكية وتقرحاتها، حيث تمتص خلايا الدم الحمراء في الشبكية شعاعه الأخضر المار عبر عدسة العين، مما يؤدي إلى تأثير حراري يساعد في إعادة ربط الشبكية.
- الأنف والأذن والحنجرة: يُستخدم الليزر في جراحات القصبة الهوائية، والبلعوم، والأذن الوسطى، وغيرها من الأعضاء التي يصعب الوصول إليها، مع إمكانية إجراء العمليات بدقة عالية باستخدام الميكروسكوب الجراحي.

- جراحة الفم: يُستخدم الليزر في إزالة الأورام الحميدة والخبيثة، كما يُسهم في وقف النزيف الدموي، والتخفيف من الآلام وتقليل احتمالية التقرح بعد العمليات الجراحية.
- الأمراض الجلدية: يُستخدم الليزر في إزالة البقع والوشم، إضافةً إلى علاج أمراض الأوعية الدموية التي تسبب تغيّر لون الجلد وبعض الاضطرابات الجلدية الأخرى.
- جراحة القلب: يُستخدم الليزر في فتح قنوات جديدة إلى القلب للمرضى الذين يعانون من ألم الذبحة الصدرية والتصلب التعصدي الناتج عن انسداد بعض الأجزاء من الشرايين التاجية، خاصةً في الحالات التي لا يمكن فيها إجراء عملية التحويلة التقليدية.

4.5. تطبيقات الليزر العسكرية

- **مقدرة المدى الليزرية** تعتمد تقنية قياس المدى بالليزر على نفس المبدأ المستخدم في عمل الرادار، حيث تُوجَّه نبضة ليزر قصيرة الأمد (بحدود 10 نانوثانية) نحو الهدف، ويتم استقبال النبضة المستطارة المرتدة بواسطة مستلم بصري يتضمن كاشفًا ضوئيًا. بقياس زمن طيران نبضة الليزر (ذهابًا وإيابًا) وبمعرفة سرعة الضوء يمكن حساب بعد الهدف.
- **السيطرة والتوجيه**
- **تخصيص الهدف**: يعتمد الليزر المستخدَم في تحديد الأهداف على مبدأ بسيط، حيث يوضع في موقع استراتيجي لإضاءة الهدف. ونظرًا لشدة سطوع حزمة الليزر، يظهر الهدف على شكل نقطة مضيئة عند رصده عبر مرشح بصري. يتم تحديد موقع الهدف، ثم يُوجَّه السلاح نحوه من محطة أرضية أو طائرة. ويزوَّد السلاح بجهاز تحسس، والذي قد يتكوّن من عدسة لتصوير الهدف وإسقاط صورته على كاشف ضوئي رباعي، مما يتيح إحكام التحكم في آلية توجيه السلاح. بهذه الطريقة، يتم تنفيذ عملية التصويب بدقة عالية.
- **الأسلحة موجهة الطاقة**: في هذه التقنية، يتطلب النظام الليزري قدرة عالية تصل إلى ميجاواط لفترة زمنية لا تقل عن بضع عشرات من الثواني، حيث تُوجَّه حزمة الليزر نحو الهدف (طائرة، صاروخ) عبر نظام تحكم بهدف إحداث تلف غير قابل للإصلاح في أجهزة التحسس أو إلحاق ضرر بسطح الهدف، مما يؤدي إلى إسقاطه. ونظرًا للتحديات التي تواجه المحطات الأرضية، مثل ظاهرة التنوير الحراري (thermal blooming) حيث تؤدي حزمة الليزر إلى تسخين الجو وامتصاص الأشعة، مما يكوّن عدسة سالبة تُضعف شدة الليزر وتفرّق الأشعة—فإن نقل الليزر إلى ارتفاعات عالية يصبح ضروريًا. لذا، يتم حمله على متن طائرة تحلق على ارتفاعات شاهقة أو قمر صناعي، مما يحدّ من تأثير الظواهر الجوية ويعزز كفاءة السلاح الليزري. ومن أبرز أنواع الليزر المستخدمة في هذه الأنظمة الليزرات الكيميائية مثل فلوريد الهيدروجين (HF) وفلوريد الديوتيريوم(DF)، نظرًا لإمكانية تخزين الطاقة المطلوبة على شكل طاقة كيميائية، مما يُغني عن الحاجة إلى مصادر طاقة خارجية مثل الكهرباء.

5.5. تطبيقات الليزر في الحياة اليومية

- الأقراص الليزرية (CD)،
- قارئ الرموز الشريطية (barcodes)،
- الطابعات الليزرية،
- الحاسوب الضوئي،
- الجايروسكوب الضوئي،
- عروض الليزر في المناسبات والاحتفالات،
- الماسح الليزري.

المراجع

[1] إيناس محمد الأتربي، الطب والحياة-الليزر والأمراض الجلدية، دار جامعة نايف، 2016.

[2] عبد الحميد زغداوي، وليد قصار، التحليل الطيفي باستعمال أطياف الاشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء، ديوان المطبوعات الجامعية، الجزائر، 2010.

[3] عبد الحميد زغداوي، وليد قصار، الجامع في التحليل الطيفي، ديوان المطبوعات الجامعية، الجزائر، 2020.

[4] عبد الله صالح الضويان، تطبيقات الليزر العسكرية، الندوة العلمية الإرهاب البيولوجي، مركز الدراسات والبحوث، الرياض، 2005.

[5] سمير عشور، مقدمة في الليزر وتطبيقاته، دار الكتب العلمية، القاهرة، 2014.

[6] رنا أياد غالب، لبنى عبد العظيم البياتي، التطبيقات البيولوجية والطبية لأشعة الليزر، Journal of University of Babylon 28(3) 2020.

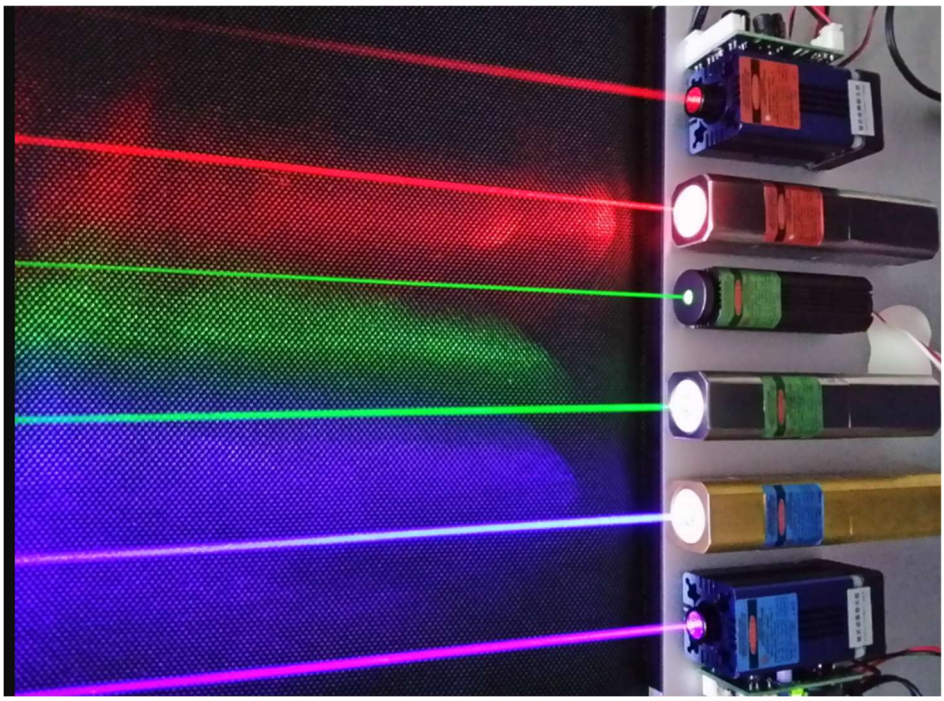
[7] محمد كوسا، فيزياء الليزر وتطبيقاته، منشورات جامعة دمشق، 2005-2006.

[8] J.L. Bromberg, The Laser in America, 1950-1970. MIT Press, 1991.

[9] R.Y. Chiao, Amazing Light: A Volume Dedicated to Charles Hard Townes on his 80th Birthday. Springer, 2012.

[10] A.H. Rawicz, Theodore Harold Maiman and the Invention of Laser. Photonics, Devices, and Systems IV. 713802. SPIE, 2008.

[11] A.L. Schawlow, Laser Spectroscopy of Atoms and Molecules. Science 202, (1978), 141-147.



العلم المفتوح في خدمة العلم والمجتمع (2):
العلم المفتوح في المنطقة العربية و إفريقيا

محمد خوجة
أستاذ باحث، سوناطراك – المعهد الجزائري للبترول بومرداس
الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيات
mohamed.khodja@sonatrach.dz

مقدمة

في إطار اتجاه العالم نحو تأسيس مجتمع المعرفة، تبنّت الجامعات الأوروبية الكبرى العلم المفتوح كمعيار أساسي لحالة المعرفة في السنوات الخمس الماضية، كما تتبناه منظمة اليونيسكو في الحِقْبَة الحالية، وتسعى لبحث حالة المعرفة وتداولها بواسطته، وحث المجتمعات النامية والساعية إلى التنمية على تطبيقه، وتعميمه، لخلق المناخ الاجتماعي العلمي للمجتمع. وتتحدد فكرة اليونيسكو حول المفهوم بإتاحة فرص الوصول إلى المعلومات والبيانات الموثقة على أوسع نطاق، مع المشاركة النشطة، بحيث يمكن للعلم المفتوح أن يكون بمنزلة تغيير حقيقي لطبيعة وحالة العلم والتكنولوجيا والابتكار داخل المجتمعات، وأن يكون محاولةً لمنح الفرد حقّه في العلم والمعرفة.

تعاني الكثير من الدول النامية من الفجوة العلمية والمجتمعية بين العلم والسياسة، خاصة عندما يتم تصميم السياسات وبناء الخطط التنفيذية دون أية روابط علمية، وهو ما يشكّل الكثير من الكوابح في تحقيق النتائج المتوقعة، بالإضافة إلى أن الكثير من تلك السياسات تكون مفتقدة. يساعد علم المواطن في تكوين ثقافة جديدة بواسطة مشاركة المواطنين والسياسيين في كل خطوة من خطوات البحث، بدايةً من وضع خطته، ثم متابعة كل مرحلة من مراحله، وصولًا إلى مناقشة نتائجه وتفسيرها، ووضع التوصيات. وبذلك يصبح متخذ القرار والمواطن شريكين فاعلين في إنتاج المعرفة، وبصورة مباشرة في الفهم والاستيعاب والتطبيق. من الناحية الأخرى، يستفيد المواطنون المشاركون في تلك العملية في تثقيفهم، وتوعيتهم بكافة المستجدات، وبناء ثقافة ترسّخ لبناء مجتمع المعرفة، وتتيح للمواطنين الفرصة لتوجيه اهتمام العلماء والسياسيين نحو الفئات المهمشة، التي عانت من الاستبعاد على كافة المستويات.

يساهم العلم المفتوح في دعم الباحثين، ولا سيما في الدول النامية. والعلم المفتوح جزء من الحركة التي تهدف إلى تعزيز الحرية والشفافية في الحصول على العلوم والفنون والثقافة. إن العالَم بصفة عامة يتجه إلى تبنى سياسات أكثر انفتاحًا بخصوص العلم المفتوح، ولهذا التوجه أوجهٌ إيجابية للدول ذات المؤسسات البحثية، التي بصفة عامة تستفيد من كم الإتاحة للبحوث. تؤكد توصياتُ اليونيسكو بشأن العلم المفتوح إتاحةَ الاطلاع بحرية على معارف البحث العلمي في جميع المجالات، وتمكين الجميع من الاستفادة منها لمصلحة العلماء والمجتمع.

ولكي تنجح الحكومات في عملية تحوّلها المزدوج، الأخضر والرقمي، لن يلزمها زيادة الإنفاق على البحث والتطوير فحسب، بل سيلزمها أيضًا استثمار هذه الأموال استراتيجيًا. وسيتبع ذلك وضع رؤية طويلة الأمد بشأن سياساتها الاقتصادية والرقمية والبيئية والصناعية والزراعية، من جملة أمور أخرى، ومواءمتها لضمان تآزر هذه السياسات. ولكي تكون الإصلاحات والسياسات والموارد متسقة، ينبغي أن تتوجه جميعها إلى الوجهة ذاتها، ونحو الهدف الاستراتيجي ذاته للتنمية المستدامة. أما بخصوص البلدان النامية، فإن التحول المزدوج الأخضر والرقمي يُعجل بعملية تصنيع تستغرق عادة عقودًا من الزمن.

1. العلم المفتوح في المنطقة العربية

تتمتع المنطقة العربية، بما تمتلكه من لغة تُعد إحدى اللغات العالمية، وتاريخ مشترك، وتراث ثقافي عميق، بإمكانات كبيرة وواعدة لدعم توصية اليونيسكو عن العلم المفتوح. وبصفة خاصة، ومن حيث الوصول الحر للمعرفة العلمية، تتوفر المنطقة العربية على بعض منصات دوريات الوصول الحر، وكثير من المستودعات المؤسساتية. من ناحية أخرى، انتشرت في الآونة الأخيرة بعض مؤسسات الترويج والمناصرة للعلم المفتوح في المنطقة العربية، وأُقيمت بعض الندوات والمؤتمرات على المستوى الإقليمي والوطني لتشجيع ودعم مبادرات العلم المفتوح والمكتبات الرقمية المفتوحة، والكتب المفتوحة، والمصادر التعليمية المفتوحة، ومشروعات البيانات المفتوحة. كما تتوافر بعض السياسات والتشريعات المنظمة لبعض ممارسات العلم المفتوح في المنطقة.

وكثيرةٌ هي التحديات التي تواجه العالم العربي، كمنطقة نامية، لتنفيذ العلم المفتوح، منها ضعف تمويل البحوث ومشروعات البنية الأساسية، والفجوة الرقمية بين الدول العربية. وفي حين لا توجد دراية كافية بمفهوم العلم المفتوح لدى كثير من الباحثين، فإن هناك على الجانب الآخر ضعفًا واضحًا في الحوافز المقدّمة لهم للنشر في صيغ الوصول الحر. كما لا يوجد عادة إلزام من الجامعات ومراكز البحوث العلمية للباحثين بالإتاحة الحرة للمطبوعات والبيانات البحثية. وبالرغم من ذلك، توفر هذه التحديات أيضًا فرصًا للنمو، وعلى رأسها بناء القدرات، وإقبال المنظمات الدولية المعنية على دعم مبادرات العلم المفتوح ذات الصلة.

في إطار حشد الجهود داخل المنطقة العربية لتحقيق التحول نحو العلم المفتوح، وضمان مساهمته الفعليّة في سدّ الفجوات المعرفية والتكنولوجية بين البلدان وداخلها، وسعيًا نحو الاتفاق على القيم والمبادئ المشتركة وتحديد تدابير ملموسة بشأن حرية الوصول للبيانات، وتحديد الملامح الرئيسية للعلم المفتوح في السياق العربي، نظّمت الألكسو "المنتدى العربي للعلم المفتوح: آفاق مستقبلية للعلم المفتوح في العالم العربي" في نوفمبر 2023 بالكويت. تناول المنتدى عدة محاور تتعلق بمجالات العلم المفتوح، مع مبادرات وحلول مقترحة للنهوض بالعلم المفتوح لتقليل الفجوات المعرفية والرقمية، وحقوق الملكية الفكرية، والتراخيص المفتوحة، والتعاون العربي والعالمي لتعزيز العمل في مجال العلم المفتوح.

أفضت الندوة إلى توصيات تمحورت حول العمل على إنشاء شبكة عربية للعلم المفتوح تطلقها الألكسو، والعمل على تطوير استراتيجية عربية للعلم المفتوح، ودعوة الجامعات العربية ومؤسسات التعليم العالي إلى تعزيز التعاون فيما بينها في مجال التعليم المفتوح، والربط مع المؤسسات التعليمية الدولية تحقيقًا لأهداف التنمية المستدامة، ودعوة منصات المصادر المفتوحة للتنسيق فيما بينها لتبادل الخبرات والاستفادة من التجارب الناجحة.

وقدّم بعض الباحثين العرب رؤية شاملة ومفصلة تتصل بعناصر متنوعة، تتناول مفاهيم العلم المفتوح، والوصول الحر، وعلوم المواطن، والأسس المعرفية للعلم المفتوح، والجهات الفاعلة، ودور المكتبات ومؤسسات المعلومات، والتحديات عن طريق نشر دلائل غنية بالمعلومات. فهي تقدّم دراسة مفصلة للعلم المفتوح، تناقش القضايا ذات الصلة ومن جوانب مختلفة.

2. العلم المفتوح في إفريقيا

هيمنت على السرد العالمي للعلم المفتوح، إلى حد بعيد، رواية البلدان المتقدمة. ومع ذلك، إذا كان للحركة أن تحقق الأهداف الحقيقية للوصول العالمي المفتوح، فمن الضروري وضع احتياجات العلوم المفتوحة في البلدان النامية في سياق واقع نظام بيئي علمي ناشئ، يعاني من نقص التمويل، مبنيٍ على بنية تحتية علمية ضعيفة. يتطلع النظام البيئي الإفريقي للعلوم والتكنولوجيا والابتكار إلى أيام أكثر إشراقًا مع اكتساب حركة العلوم المفتوحة زخمًا باطراد. وَسَط تحديات البنية التحتية في إفريقيا، تعمل على قواعد البيانات المبتكرة وخوادم ما قبل الطباعة على زيادة ظهور البحوث الأفريقية.

بعض منصات البحث المفتوحة، مثل AfricArXiv، التي استضافتها جنوب إفريقيا و المنصة الإفريقية للعلوم المفتوحة (AOSP)تهدف إلى وضع العلماء وأنظمة العلوم في إفريقيا في طليعة العلوم المفتوحة كثيفة البيانات .تم إطلاق هذه المنصة لأول مرة في عام 2017، وتقوم الآن بتكثيف أنشطتها.

في حين أن هناك حاجة لزيادة الإرادة السياسية على المستوى الوطني لتعزيز ممارسات العلوم المفتوحة، فإن التعاون هو المفتاح لتحقيق أهدافها. في سنة 2022، من أصل 1074 ولاية علمية مفتوحة على مستوى العالم، يوجد 36 فقط في إفريقيا. وفقًا للأمين العام لاتحاد الجامعات الإفريقية: "العلم المفتوح هو السبيل لجعل العلم له تأثير على المجتمع". البيانات المفتوحة، والمنهجية المفتوحة، والدفاتر المفتوحة هي الأدوات الرئيسية لإتاحة المعلومات. إن الميزة الديموغرافية لإفريقيا تتيح مجالًا كبيرًا لغرس ممارسات العلوم المفتوحة بين الباحثين. وقد تم التأكيد على دور أمناء المكتبات كأصحاب مصلحة رئيسيين في النظام البيئي العلمي المفتوح. كما يجب أن تتبنى المكتبات التغيير والتعامل مع الشكل المتغير للمعلومات.

3. التحديات التي تواجه أنظمة التعليم العالي في إفريقيا

تواجه أنظمة التعليم العالي في إفريقيا مجموعة من التحديات التي تؤثر على كلٍّ من جودة التعليم وقدرة المؤسسات على تلبية متطلبات الطلاب وأصحاب العمل. فيما يلي بعض التحديات الرئيسية:

أ- **الوصول والقدرة على تحمّل الثمن**: توجد عقبات كبيرة في الوصول إلى التعليم العالي بسبب عوامل مثل الفقر والمسافة والافتقار إلى البنية التحتية. وإضافة إلى ذلك، حتى بالنسبة لأولئك القادرين على الحضور، يمكن أن تكون تكلفة الرسوم الدراسية والنفقات الأخرى باهظة.

ب- **الجودة**: لا يزال هناك تباين كبير في جودة التعليم في جميع أنحاء القارة. غالبًا ما يتم انتقاد جودة التعليم العالي في إفريقيا، حيث تكافح العديد من الجامعات للحفاظ على مستوى عالٍ من الأكاديميين، ويرجع ذلك إلى نقص الاستثمار في البحث والبنية التحتية، فضلًا عن نقص أعضاء هيئة التدريس المؤهلين.

ج- **التمويل**: في معظم البلدان الإفريقية لا يوجد تمويل كافٍ للتعليم العالي.

د- **البحث والابتكار**: تفتقر العديد من المؤسسات إلى الموارد اللازمة لإجراء البحوث المتطورة، وترجمة تلك البحوث إلى تطبيقات عملية. وهذا ينعكس في انخفاض مخرجات البحث والابتكار.

هـ- **التكنولوجيا**: تعمل التكنولوجيا على تغيير مشهد التعليم العالي، والمؤسسات التي أخفقت في مواكبة ذلك بسرعة تُخاطر بالتخلف عن الركب. لا تزال العديد من الجامعات في إفريقيًا تواجه تحديات في دمج التكنولوجيا في وظائف التدريس والتعلّم والبحث والإدارة.

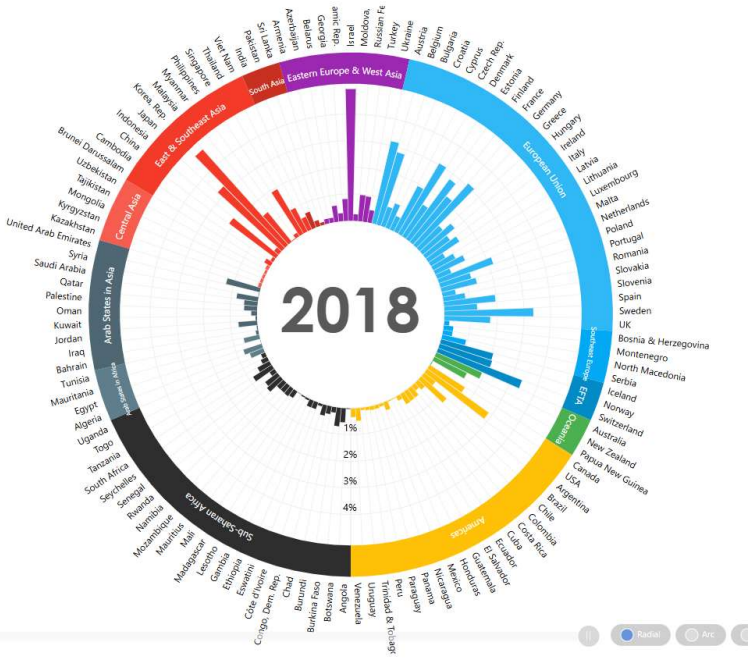
و- **قابلية التوظيف والملاءمة**: تواجه العديد من البلدان الإفريقية فجوة في المهارات، حيث يفتقر الخريجون إلى المهارات التي يبحث عنها أصحاب العمل.

ز- **التدويل**: مع تزايد العولمة، لا تزال العديد من الجامعات الإفريقية تواجه تحديات في جذب الطلاب وأعضاء هيئة التدريس الدوليين والاحتفاظ بهم، خاصة في تلك البلدان التي لا تكون فيها اللغة الإنكليزية هي لغة التدريس المختارة.

ح- **المواءمة**: هناك نقص في المواءمة بين أنظمة التعليم العالي في كل القارة الإفريقية.

ط- **عدم الاستقرار السياسي والاقتصادي**: يمكن أن يشمل ذلك اضطرابات التمويل، ومخاوف تتعلق بالسلامة للطلاب وأعضاء هيئة التدريس، والتحديات في جذب الأفراد الموهوبين والاحتفاظ بهم.

ستتطلب معالجة هذه التحديات جهودًا متضافرة من المنظمات الدولية والإقليمية، والحكومات، والجامعات، وأصحاب المصلحة الآخرين، للاستثمار في أنظمة التعليم العالي وإصلاحها في إفريقيا. وقد يشمل ذلك: زيادة التمويل، وتحسين الهياكل الأساسية والتكنولوجيا، وتعزيز المواءمة، والتركيز على تطوير المهارات والمعارف ذات الصلة بالقوى العاملة. يُبيّن الشكل 1 الاختلاف البارز في الإنفاق العام على البحث والتطوير بين الدول الكبرى والدول النامية.



الشكل 1. رسم بياني للإنفاق العام على البحث والتطوير (2018)

4. الذكاء الاصطناعي والروبوتات في قمة التقنيات الشاملة

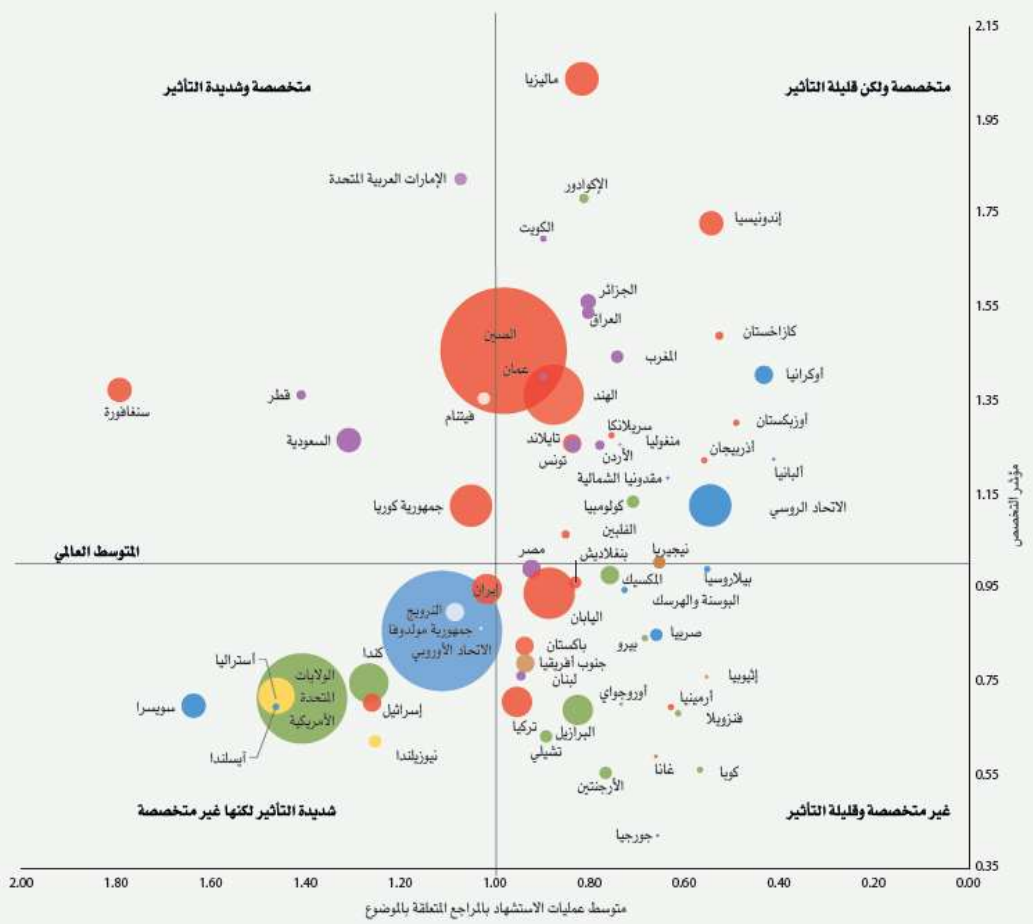
يُنظر إلى التقنيات الرقمية على أنها حيوية للقدرة التنافسية الاقتصادية في المستقبل. ومن بين التقنيات الشاملة، سيطر مجال الذكاء الاصطناعي والروبوتات على الإنتاج العلمي في 2018-2019، بغض النظر عن مستوى دخل البلدان. منذ عام 2015، أدّت الزيادة في المنشورات المتعلقة بالذكاء الاصطناعي من قِبل البلدان منخفضة الدخل إلى خفض حصة مجموعة العشرين من الإنتاج ميكانيكيًا. بين عامي 2015 و2019، زادت المنشورات حول التقنيات الاستراتيجية الشاملة بنسبة 33٪، وتتعلق هذه الزيادة أيضًا بالبلدان ذات الدخل المنخفض، التي سجّلت بعضًا من أسرع معدلات النمو في فئتي المنشورات. عمومًا، زاد الإنتاج العلمي بنسبة 71٪ في البلدان منخفضة الدخل، وقفز بنسبة 170٪ في التقنيات الشاملة.

في عام 2019، شكّلت التقنيات الشاملة 18٪ من الإنتاج العلمي العالمي، بقيادة الذكاء الاصطناعي والروبوتات. وبين عامي 2015 و2019، انخفضت حصة الصين والاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة في الذكاء الاصطناعي والروبوتات، حيث عزّزت البلدان النامية إنتاجها في هذا المجال. ثاني أكثر التقنيات شيوعًا هي الطاقة، في حين يحتل علم المواد المرتبة الثالثة. تهيمن الطاقة على المشهد العلمي، ورابع أسرع مجال نموًا هو علوم النانو وتكنولوجيا النانو، ويرجع الفضل في ذلك إلى حد بعيد إلى الصين، التي أنتجت حوالي 50٪ من المنشورات في هذا المجال في عام 2019.

يبيّن الشكل 2 ترتيب عدد المنشورات العلمية حسب التكنولوجيات الاستراتيجية الشاملة. أما الشكل 3، فيبيّن متوسط عمليات الاستشهاد بالمراجع المتعلقة بالتكنولوجيات الاستراتيجية الشاملة للمجالات حسب البلد والمنطقة. ومن اللافت للنظر مدى مواءمة أولويات التنمية على مدى السنوات الخمس الماضية. واليوم، تعطي البلدان من جميع

مستويات الدخل الأولوية للانتقال إلى اقتصاد رقمي "أخضر". يُظهر هذا الانتقال المزدوج ضرورة مزدوجة: من ناحية، تحقيق أهداف التنمية المستدامة بحلول عام 2030، ومن ناحية أخرى، الانتقال إلى مجتمع رقمي سريع. والبلدان مقتنعة بأن قدرتها التنافسية الاقتصادية في المستقبل ستعتمد على سرعة تحولها. ويشير العنوان الفرعي لتقرير اليونيسكو العلمي، المعنون "سباق مع الزمن من أجل تنمية أفضل"، إلى هاتين الأولويتين.

الشكل 2. عدد المنشورات العلمية حسب التكنولوجيات الاستراتيجية الشاملة (2018-2019)



الشكل 3. التخصص ومتوسط عمليات الاستشهاد بالمراجع المتعلقة بالتكنولوجيات الاستراتيجية الشاملة للمجالات حسب البلد والمنطقة في الفترة 2011-2019 لدى البلدان التي لديها ما لا يقل عن 1000. يتناسب حجم الدائرة مع حجم المنشورات.

المصدر: Scopus (Elsevier), excluding Arts, Humanities and Social sciences ; data treatment by Science-Metrix

خلاصة

ينبغي للدول الأعضاء أن تقوم، وفقًا لظروفها الخاصة وبُناها الإدارية وأحكامها الدستورية، برصد السياسات والآليات المتعلقة بالعلم المفتوح باستخدام مجموعة من النهوج الكَمّيَّة والنوعية، بحسب الاقتضاء. وتشجع الدول الأعضاء على النظر فيما يلي:

أ- استخدام آليات رصد وتقييم ملائمة لقياس فعالية وكفاءة السياسات والحوافز الخاصة بالعلم المفتوح، استنادًا إلى أهداف محددة. ويشمل ذلك تحديد العواقب غير المقصودة والآثار السلبية المحتملة، ولا سيما على الباحثين الذين ما زالوا في بداية مسيرتهم المهنية أو الوظيفية.

ب- جمع ونشر معلومات وتقارير عن إنجازات العلم المفتوح، وممارساته الجيدة، وابتكاراته وبحوثه وعواقبه، بدعم من اليونسكو، ووفقًا لنهج متعدد الأطراف.

ج- النظر في وضع إطار للرصد يشتمل على مؤشرات نوعية وكمية، ويُدرج في الخطط الاستراتيجية الوطنية، ويُنشر على الصعيد الدَّوْليّ، ويقترن بأهداف ينبغي تحقيقها، وبإجراءات ينبغي اتخاذها في الأجل القصير والمتوسط والطويل، لتطبيق هذه التوصية. وينبغي لرصد العلم المفتوح أن يظل خاضعًا خضوعًا مباشرًا لإشراف جهات عامة تضم الأوساط العلمية، وأن تساعد عليه، قدر المستطاع، بُنى أساسية مفتوحة وشفافة وغير خاضعة لحقوق الملكية. ويمكن أن يكون القطاع الخاص من الجهات التي تتولى رصد العلم المفتوح، ولكن لا ينبغي تفويض رصد العلم المفتوح إلى القطاع الخاص.

د- وضع استراتيجيات ترمي إلى رصد فعالية العلم المفتوح، وكذلك إلى رصد كفاءته في الأجل الطويل، وتشتمل على نهج تشاركي متعدد الأطراف. ويمكن التركيز في هذه الاستراتيجيات على تعزيز الصلة بين العلوم والسياسات والمجتمع، وزيادة الشفافية، وضمان المساءلة عن البحوث، من أجل إجراء بحوث جيدة تشمل الجميع وتتسم بالإنصاف وتتيح التصدي بفعالية للتحديات العالمية.

رابط مقال العلم المفتوح في خدمة العلم والمجتمع: مفاهيم وتحديات (1)
https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n15/article15-11.pdf

المراجع

[1] نزهة ابن الخياط، فاتن سعيد بامفلح، الدليل المرجعي العربي للعلم المفتوح : المكتبات ومؤسسات المعلومات نموذجا، دار سوهام للنشر والتوزيع، أكتوبر 2022.

[2] عبد الوهاب جودة الحايس، محمد حسين أنور جمعه، علم المواطن كآلية لتجسير الفجوة بين العلم والسياسة، المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر، مجلد 2، العدد 4، أكتوبر 2023، 126-152.

[3] Susan Schneegans, Jack Lewis and Tiffany Straza, UNESCO Science Report: The race against time for smarter development – Executive Summary, 2021. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377250

[4] UNESCO Recommendation on Open Science, 2021. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379949

تعليمية العلوم

من أجل تعزيز مكانة الكيمياء في المناهج التعليمية في المدارس العليا بالجزائر (1)

عبد الله لعريبي

أستاذ بالمدرسة العليا للأساتذة بالقبة حاليا، وبالمدرسة الوطنية المتعددة التقنيات بالحراش سابقا.

dr.abdallah.laribi@gmail.com

مقدمة

بمناسبة انكباب المدارس العليا على إصلاح مناهجها التعليمية، كتب الأستاذ أبو بكر خالد سعد الله، في مطلع شهر جوان المنصرم، مقالًا في جريدة الشروق بعنوان: "الكيمياء... إصلاحها بات ضروريًا" [8].

استهل مقاله بقوله: "تنكبّ هذه الأيام المدارس العليا على إصلاح مناهجها التعليمية. وقد وقَعت هذه المدارس قبل سنة في خطأ جسيم يتمثّل في تقزيم دور الكيمياء أكثر مما كان مقزّمًا. وذلك بإزالة قسم الكيمياء وضمّه إلى قسم الفيزياء تحت مسمى "العلوم الفيزيائية" رغم أنف وصرخات الكيميائيين. وتحجّج القوم عند الإقدام على هذا القرار بكون مرحلة التعليم الثانوي تعرف هذا التوجه حيث أن هناك مادة يدرّسها أستاذ واحد تشمل مادتي الفيزياء والكيمياء تحمل اسم "العلوم الفيزيائية". وفي ذلك ظلم كبير للكيمياء وأهلها ولمستقبل البلاد. فمن المعلوم أن الفيزياء متغلبة عن الكيمياء في هذا المسمى المشترك. والتوجه العام عندنا في الجزائر منذ الاستقلال - ونحن نقلّد في ذلك فرنسا - هو تغليب الفيزياء على الكيمياء في التعليم الثانوي".

ويُعدّ المقال، على قصره، مرافعة علمية لصالح الكيمياء لتأخذ مكانتها اللائقة بها كتخصص قائم بذاته له قسمه الخاص، وليس فرعًا "تحت جناح قسم الفيزياء"! ودعّم الكاتب مرافعته ببيان أن مكمن هذا الخلل راجع إلى اتّباعنا النموذج الفرنسي، الذي يقوم فيه أستاذ واحد بتدريس مادتي الفيزياء والكيمياء في المرحلة الثانوية، رغم أن هذا النموذج ليس شائعًا عالميًا، بل العكس هو الصحيح، حيث تعتمد معظم الدول -خصوصًا في العالم الأنكلوساكسوني، وأوروبا الشرقية، وآسيا وأمريكا اللاتينية- نظامًا يفصل بوضوح بين تدريس الفيزياء والكيمياء، يقضي بتدريس كل تخصص من قِبل أستاذ متخصص.

وقدّم الكاتب، في نهاية مقاله، اقتراحات عملية لتصحيح الوضع الحالي بشكل مرن وتدريجي، بعد مراجعة المناهج بالشكل المعمول به عالميًا، من خلال عملية إعادة الضبط في التكوين والتوظيف بناءً على الحاجيات المستقبلية، ومن دون اللجوء إلى إعادة هيكلة جذرية.

يهدف هذا المقال إلى تدعيم ما ذهب إليه الأستاذ سعد الله، في مقاله السالف الذكر، بتعزيز مكانة الكيمياء في المناهج التعليمية في المدارس العليا بالجزائر، من خلال رؤية تنطلق من صميم تاريخ العلوم وأهمية علم الكيمياء، ببيان لماذا ينبغي النهوض مجددًا بالكيمياء، وإعادة الاعتبار لها، في مناهجنا التعليمية، خاصة في هذا العصر الذي أصبحت فيه العلوم الكيميائية مطلوبة بشكل متزايد لحلّ التحديات الكثيرة في مجالات الصحة والطاقة والبيئة وإنتاج المياه والغذاء، وغيرها من المجالات الحيوية التي تسهم في تحسين جودة الحياة، وكذلك بالنظر إلى المساهمات الإبداعية التي قدّمها علماء الحضارة العربية الإسلامية، ماضيًا وحاضرًا، في هذا العلم.

وعليه تناولنا في الجزء الأول من المقال تعريف الكيمياء لغة واصطلاحًا، مبيّنين الفرق بينها وبين الخيمياء، مع الإشارة إلى أهم فروعها، ثم قدّمنا نبذة عن الكيمياء في الحضارات القديمة، قبل أن ننتقل إلى رصد مسارها في الحضارة

العربية الإسلامية، من خلال التعريف بأربعة من أبرز علماء المسلمين في الكيمياء، وهم: خالد بن يزيد، وجابر بن حيان، والكندي، والرازي. أما فيما يتعلق بانتقال الكيمياء من العرب إلى الغرب وأثر هذا الانتقال في النهضة العلمية الأوروبية، فسيتم تناول ذلك ضمن الجزء الثاني من المقال، إلى جانب عرض موجز للكيمياء الحديثة وتطورها، وتسليط الضوء على شخصية "أبو كيمياء الفيمتو"، وإبراز شهادات من علماء غربيين في حق المساهمات الرائدة لعلماء المسلمين في ماضي علم الكيمياء وحاضره، وصولًا إلى الخاتمة التي تؤكد مكانة هذا العلم في المناهج التعليمية للمدارس العليا في الجزائر.

1. ما الكيمياء؟

1.1. الكيمياء لغة

يفرّق مؤرخو العلوم الغربيون، بين الكيمياء المعرفة بأل التعريف العربية، وبين كيمياء بغير أداة التعريف، فيقولون: الكيمياء Alchemy وَكيمياء Chemistry. ويطلقون الاسم الأول على علم الكيمياء القديم، المنقول عن جابر بن حيان والمتداول بين الناس في القرون الوسطى، ويطلقون الاسم الثاني على علم الكيمياء الحديث، الذي هذّبه وأحكم قواعده العلامة الفرنسي لافوازييه (1743–1794) Lavoisier [5].

أما في التقليد العلمي العربي، فلم تكن هناك سوى كلمة واحدة للدلالة في الوقت نفسه على الكيمياء والخيمياء، وهي كلمة "الكيمياء". ويُسمى هذا العلم كذلك "الحكمة"، و"الصنعة" [1].

فالكيمياء اسم صنعة، وهي كلمة عربية، كما جاء في مختار الصحاح، من كمي بمعنى استتر. ووجه التسمية ظاهر؛ لأن الكيمياء القديمة من الصناعات السرية المستترة، وكان منتحلو هذه الصناعة يراعون فيها قاعدة الستر والإخفاء.

أما العلماء الغربيون فلم يتفقوا على أصل كلمة كيمياء Alchemy، فقد جاء في معجم لاروس Larousse أن كيمياء لفظ يوناني مشتق من كيموس بمعنى العصارة. وقال بعضهم: "إنه مشتق من اللاتينية"، وجميعهم متفقون على أن "أل" الموجودة في كلمة الكيمياء هي "أل" التعريف العربية [5].

2.1. الكيمياء اصطلاحًا

عرّف جابر بن حيان الكيمياء في كتابه العلم الإلهي بقوله: "الكيمياء هو الفرع من العلوم الطبيعية الذي يبحث في خواص المعادن والمواد النباتية والحيوانية وطُرق تولّدها وكيفية اكتسابها خواص جديدة" [11].

تغيّر تعريف الكيمياء عبر العصور بسبب التطور الحاصل في النظريات والاكتشافات التي وسّعت من مفهوم هذا العلم، ويمكن تعريفها بأنها العلم الذي يتناول دراسة خواصّ العناصر والمركّبات والقوانين التي تحكم تفاعلاتها، وبخاصّة عند اتحاد بعضها ببعض، أو تخليص بعضها من بعض، كما جاء في معجم المعاني الجامع.

3.1. فروع الكيمياء

بمرور الزمن تطور علم الكيمياء وتوسّع، ونشأت عنه عدّة فروع، منها: الكيمياء العضوية، الكيمياء غير العضوية، الكيمياء التحليلية، الكيمياء الفيزيائية، الكيمياء الصناعية، الكيمياء الحيويّة، الكيمياء النوويّة، كيمياء الكم، الكيمياء البيئية، كيمياء المواد، وغيرها.

ومع التقدم التكنولوجي والتحديات البيئية، ظهرت فروع جديدة أخرى، منها: كيمياء النانو، الكيمياء الخضراء، الكيمياء الحاسوبية، كيمياء الأنظمة، الكيمياء المستدامة، وغيرها.

2. الكيمياء في الحضارات القديمة

تعود أصول الكيمياء إلى ما قبل التاريخ، حين اكتشف الإنسان النار خلال العصر الحجري القديم، فكانت أول وسيلة مكّنت البشر من التحكم في المادة وتحويلها، مثل الطهي، وصناعة الأدوات، وصهر المعادن. وقد اعتُبر إشعال النار وترويضها من أولى خطوات "التحول الكيميائي" البدائي [12].

وفي مصر القديمة، حوالي 3000 ق.م، استُخدمت مبادئ كيميائية في التحنيط، وصباغة الأقمشة، وصناعة مستحضرات التجميل، بالإضافة إلى استخراج الذهب والنحاس بطرق معقدة نسبيًا، تدل على وعي تقني متقدم [14]. أما في حضارة بلاد الرافدين، فقد برع السومريون والبابليون في صهر المعادن وصناعة البرونز والفخار والخزف، إلى جانب تحضير الأدوية والعطور من مصادر طبيعية، وذلك منذ الألفية الثالثة قبل الميلاد [10].

وفي الهند القديمة، تداخلت الكيمياء مع طب الأيورفيدا Ayurveda، حيث استُخدمت المعادن والأحجار الكريمة في تحضير العلاجات. كما عرف الهنود تقنية إنتاج الفولاذ عالي الجودة المعروف بـ"ووتز" Wootz، وأتقنوا عمليات التقطير والتبلور منذ حوالي 1500 ق.م [14].

ويرى بعض المؤرخين أنه من الممكن اعتبار الصين الموطن الحقيقي الذي نبتت فيه الكيمياء. فمنذ القرن الثالث وما قبله، ظهرت كتابات كيميائية ذات ملامح خاصة عند جماعة "الطاو" Taoism. وكان الهدف الأساسي من التجارب الكيميائية هو محاولة اكتشاف مواد يمكن أن تطيل العمر (إكسير الحياة) أو تمنع أجساد الموتى من الفساد، وتحويل المعادن الرخيصة إلى معادن ثمينة كالذهب والفضة [10].

وفي الفكر الإغريقي، تحوّلت الكيمياء من مجرد ممارسة تطبيقية إلى مجال للتأمل الفلسفي حول أصل المادة وبنيتها. فقد كان طاليس الملطي (625–546 ق.م) Thales of Miletus أول من اقترح أن الماء هو الأصل الأول لكل شيء، باعتباره أساس الحياة وأبسط مكوّنات الطبيعة. ثم جاء بعده أناكسيماندر (610–546 ق.م) Anaximander، واقترح وجود مادة لا متناهية تُدعى "الأبيرون" Apeiron، بينما اعتبر أناكسيمينس (حوالي 585–525 ق.م) Anaximenes أن الهواء هو العنصر الأساسي في الكون [12]، [13].

أما إمبيدوقليس (حوالي 494–434 ق.م) Empedocles، فقد قدّم نظرية العناصر الأربعة: الهواء، النار، الماء، والتراب، التي ظلّت مؤثرة على الفكر الفلسفي والعلمي لقرون، وأصبحت أساسًا لفهم الطبيعة في العالمين اليوناني والعربي [13]، [14].

وقدّم ديموقريطوس (460–370 ق.م) Democritus واحدة من أولى المحاولات لفهم المادة من منظور فيزيائي، حين افترض أنها تتكوّن من جسيمات صغيرة غير قابلة للتجزئة سمّاها "ذرات" Atoms، تختلف في الشكل والترتيب والحركة. وعلى الرغم من غياب الدليل التجريبي، فقد مثّلت هذه النظرية خطوة فلسفية نحو العلم الحديث [10].

لاحقًا، قام أرسطو (384–322 ق.م) Aristotle بتطوير أفكار إمبيدوقليس وأضاف مفهوم "الصفات الأربع": الحار، البارد، الرطب، الجاف، لتفسير التحولات بين العناصر. وقد أثّرت هذه الرؤية تأثيرًا بالغًا في الفكر الإسلامي الوسيط وأوروبا اللاتينية، وظلت مهيمنة حتى القرن السابع عشر الميلادي [12].

ويمكن القول، بالإضافة إلى ما ذكر آنفًا، إن الكيمياء القديمة أو الخيمياء، في الحضارات القديمة، اختلطت فيها المفاهيم العلمية بالخرافات والأساطير، وتميزت كذلك بالمحاولات الفاشلة لتحويل المعادن الرخيصة إلى ذهب وفضة، وبالبحث عن "إكسير الحياة"، وركّز الإغريق على النقاش العقلي والتأمل الفلسفي بدلًا من التجارب المعملية. ومع ذلك، مهّدت هذه الأفكار الطريق لاحقًا لتطور الكيمياء كعلم مستقل قائم على المنهج التجريبي في العصور الإسلامية، ثم في أوروبا.

3. الكيمياء في الحضارة العربية الإسلامية

ظلّت الكيمياء القديمة على حالها حتى ظهر علماء المسلمين الذين أَسَّسوا للمنهج العلمي الدقيق، واستندوا إلى التجربة العلميّة وإشراك الحس والعقل معًا في الوصول إلى الحقائق العلميّة في هذا الحقل من العلوم بالذات، حيث تحولت الكيمياء من مرحلة الفلسفة النظرية إلى علم تجريبي قائم على الملاحظة والتجربة. ونكتفي بذكر أربعة من العلماء المسلمين الذين تركوا بصمات واضحة في علم الكيمياء.

1.3. خالد بن يزيد

ظهرت بدايات علم الكيمياء مع خالد بن يزيد (655–704م)، حفيد الخليفة الأموي الأول معاوية بن أبي سفيان وابن الخليفة الثاني يزيد بن معاوية، الذي تتلمذ على يد الراهب الرومي مريانوس وتعلَّم منه صنعة الطبّ والكيمياء [6].

وهو عَلَمٌ من أعلام المسلمين، لُقِّبَ بحكيم آل مروان. واهتمَّ بالكيمياء اهتمامًا كبيرًا بعد أن كانت محاطة بالخرافات. ويُذكر أنه جلب لها الكثير من الكتب وأشرف على ترجمتها، فكان من أوائل من انشغلوا بالكيمياء من المسلمين وشجعوا على الاهتمام بها [15]. وانتقلت معه الكيمياء من طور البدايات المترجمة عن اليونانيّة إلى طور الإنجازات العينيّة والاكتشافات الواضحة. وقد كان له فيها، على الراجح من الأقوال، رسائل منها: السر البديع في فك الرمز المنيع، فردوس الحكمة في علم الكيمياء، كتاب الرحمة في الكيمياء، ومقالتا مريانوس الراهب [6].

2.3. جابر بن حيان أبو الكيمياء

وُلد جابر بن حيان، على أشهر الروايات، سنة 101هـ/721م، وقيل أيضًا 117هـ/737م، وتوفي سنة 197هـ/813م، وقيل أيضًا 195هـ/810م [11]. وهو عالم عربي مسلم، يُعدّ مؤسِّس علم الكيمياء بلا جدال وأشهر علماء المسلمين فيه، وقد ألّف كتبًا عديدة تُرجم الكثير منها إلى اللاتينيّة، وظلَّت المرجع الأوفى للكيمياء زُهاء ألف عام. وقد اشتملت على كثير من المركَّبات الكيميائية التي لم تكن معروفة من قبل، وهو الأمر الذي جعل مؤلَّفاته موضع دراسة مشاهير علماء الغرب، أمثال: كوب، وبرثولية، وكراوس، وهولميارد، الذي أنصفه ووضعه في القمَّة، وبدَّد الشكوك التي أثارها حوله العلماء المغرضون، وكذا سارتون Sarton الذي أرَّخ به لحِقبة من الزمن في تاريخ الحضارة الإسلاميَّة [6]، [16].

فجابر بن حيان، المعروف في الغرب باسم Geber، وهي الترجمة القروسطية لاسمه العربي [16]، هو الذي جعل التجربة أساس العمل. لذلك يُعَدُّ أوَّل مَنْ أدخل التجربة المخبريّة في منهج البحث العلمي الذي أرسى قواعده. وتراه في ذلك يدعو إلى الاهتمام بالتجربة ودقّة الملاحظة، التي يقوم عليهما المنهج التجريبي، فيقول: "ومِلاكُ كمال هذه الصنعة العملُ والتجربة؛ فمَن لم يعمل ولم يُجَرِّب لم يظفر بشيء أبدًا" [6].

ويعود لجابر بن حيان فضل السبق في بعض الإنجازات في علم الكيمياء، منها:

1. أضاف جوهرين إلى عناصر اليونان الأربعة وهما (الكبريت والزئبق).
2. أدخل تحسينات على طرق التبخير والتصفية والانصهار والتبلور والتقطير.
3. استطاع إعداد الكثير من المواد الكيميائية كسلفيد الزئبق وأكسيد الأرسين.
4. شرح بالتفصيل كيفية تحضير الزرنيخ والأنتيمون.

وهناك من المؤرخين من ينسب إليه أيضا الإنجازات التالية، ولعل بعضها جاءت على يد تلاميذه، منها [11]:

1. اكتشف "الصودا الكاوية" أو القطرون (NaOH).
2. أول من استحضر ماء الذهب.
3. أول من أدخل طريقة فصل الذهب عن الفضة بالحلّ بواسطة الأحماض، وهي الطريقة السائدة إلى يومنا هذا.
4. أول من اكتشف حمض النتريك.
5. أول من اكتشف حمض الهيدروكلوريك.

6. أول من اكتشف حمض الكبريتيك وقام بتسميته بزيت الزاج.
7. نجح في وضع أول طريقة للتقطير في العالم، فاخترع جهاز تقطير، يستخدم فيه جهاز زجاجي له قمع طويل لا يزال يُعرف في الغرب باسم "Alembic" من "الإنبيق" باللغة العربية. وقد قام بتحسين نوعية زجاج هذه الأداة بمزجه بثاني أكسيد المنجنيز.
8. صنع ورقًا غير قابل للاحتراق.

ولجابر بن حيان مؤلفات عديدة وأكثرها في الكيمياء. ذكر ابن النديم أن له مائة واثنى عشر كتابًا، منها: كتاب الخواص الكبير، كتاب الخواص، كتاب السر المكنون، كتاب التجميع، كتاب التصريف، كتاب الميزان الصغير، كتاب السبعين، كتاب الخمسين، كتاب البحث، كتاب الحاصل، كتاب القديم، كتاب الاشتمال، كتاب الملاغم، كتاب رسالة في الكيمياء، كتاب الأسرار، كتاب في علم الصنعة الإلهية والحكمة الفلسفية، كتاب الرحمة، كتاب الذهب، كتاب الأسرب، كتاب تدبير الحكماء، كتاب التنزيل، كتاب التصعيد، كتاب التنقية، كتاب الحديد، كتاب الخارصين، كتاب الفضة، كتاب النحاس، كتاب السموم، كتاب خواص إكسير الذهب، كتاب المقابلة والمماثلة، كتاب نار الحجر، كتاب كشف الأسرار وهتك الأستار، كتاب صندوق الحكمة، كتاب الروح، كتاب الصبغ [2].

وتُرجمت معظم هذه المؤلفات إلى اللغة اللاتينية، ثم نُقلت بعد ذلك عن اللاتينية إلى عدة لغات أوروبية ، لتصبح بعد ذلك أساسًا لعلم الكيمياء في الغرب حتى نهاية القرن الثامن عشر الميلادي. وقد حظيت هذه المؤلفات باهتمام بالغ في أوروبا، إذ نالت شهرة واسعة، وكان لها أثر عظيم في إحياء علوم الكيمياء في الغرب خلال العصور الوسطى.

3.3. الكندي

أبو يوسف يعقوب بن إسحاق الكِندي (185–256هـ/805–873م)، علّامة عربي مسلم. برع في الفلك، والفلسفة، والكيمياء، والفيزياء، والطب، والرياضيات، والموسيقى، وعلم النفس، والمنطق. كان الكندي أول من وقف معارضًا بشدة مقولة الكيميائيين بإمكان تحويل المعادن الخسيسة إلى معادن ثمينة، وألَّف في ذلك "رسالة في بطلان دعوى من يدّعي صنعة الذهب والفضة"، وكذلك "رسالة في التنبيه على خدع الكيميائيين"، قال فيها: "من يزعم أنه قادر على تحويل العناصر إلى ذهب هو دجّال متعدٍ على علم الله" [9].

وله مؤلفات أخرى منها: "كيمياء العطر والتصعيدات"، ويُعد من أوائل الكتب العربية التي تناولت تصنيع العطور باستخدام التقطير [8]، ورسالة إلى أحمد بن المعتصم بالله فيما يطرح على الحديد والسيوف حتى لا تنثلم ولا تكل، ورسالة في نعت الحجارة والجواهر ومعادنها وجيدها ورديئها وأثمانها، ورسالة في قلع الآثار من الثياب وغيرها [5].

لم يستخدم الكندي السحر أو الرموز الغامضة، بل فسّر العمليات الكيميائية بلغة علمية مباشرة، وفرّق بين علم الكيمياء الحقيقي الذي يقوم على التجربة والملاحظة، وبين "الخيمياء الزائفة" التي تعتمد على الوهم، فساهم في وضع أُسس علم الكيمياء الإسلامي كعلم تطبيقي قائم على التجربة لا على السحر والخرافة [9]. كما اشتغل بأهم فروع الكيمياء، مثل: الكيمياء المعدنية والكيمياء العضوية والكيمياء الصناعية وكيمياء البيت، ولعل رسالته في قلع الآثار عن الثياب تشتمل على قليل أو كثير من المواد المستعملة لهذه الغاية في يومنا هذا [5].

4.3. الرازي

أبو بكر محمد بن يحيى بن زكريّا الرَّازِيّ (250–311هـ/864–923م) طبيب وكيميائي وفيلسوف ورياضيّاتي مسلم من أصول فارسية. تتلمذ على كتب جابر فساهم هو الآخر في تأسيس علم الكيمياء، بإضافات غير مسبوقة، وقد دوَّن ذلك في مقدمة كتابه "سرّ الأسرار"، فقال: "وشرحنا في هذا الكتاب ما سطرته القدماء من الفلاسفة مثل: أغاثا ديموس، وهرمس، وأرسطوطاليس، وخالد بن يزيد بن معاوية، وأستاذنا جابر بن حيان، بل وفيه أبواب لم يُرَ مثلها، وكتابي هذا مشتمل على معرفة معادن ثلاثة: معرفة العقاقير، ومعرفة الآلات، ومعرفة التدابير (التجارِب)" [6].

وتفوّق الرازي بكتابة تجاربه وتوضيح العمليات التي اتبعها والأجهزة التي استخدمها. ويُستدل من كتابه "سرّ الأسرار" على أنه كان يقوم بالتقطير والتكليس والبلورة، وذلك منذ أكثر من ألف ومئة عام! [3].

كما اشتهر بممارسته الكيمياء على قواعد محددة، مثلما يفعل الكيميائيون اليوم؛ فأقام مختبرًا متطورًا، وصمّم ووصف واستخدم أكثر من عشرين أداة، ما زال كثير منها يُستخدم اليوم للتقطير، مثل البوتقة، ووعاء الإنبيق أو المعوجة، ورأس الإنبيق، وأنبوب التوصيل، إضافة إلى أنماط مختلفة من الأفران أو المواقد [3].

ويُعدّ عصر الرازي، من لدن المؤرخين، العصر الذي حققت فيه الكيمياء أكبر ازدهار لها، بحيث ظهرت على أثر ذلك عدة كتب للتعميم، كما وقع بالنسبة للعلوم الأخرى. وهكذا نجد بابًا خاصا بالكيمياء في مفاتيح العلوم للخوارزمي الكاتب، وآخر في رسائل إخوان الصفا المشهورة [1].

وبصفة عامّة، يمكن القول إن علماء المسلمين كشفوا عن أهم أُسُس الكيمياء وأسرارها، وهم الذين استخدموا هذا العلم في المعالجات الطبيَّة وصُنْعِ العقاقير، فكانوا أوَّل من نشر تركيب الأدوية والمستحضرات المعدنيَّة وتنقية المعادن، وغير ذلك من المركَّبات والمكتشفات التي تقوم عليها كثير من الصناعات الحديثة. وقد اعتمدوا في تجاربهم على عِدَّة آلات ووسائل كيميائية، مثل: الإنبيق، والميزان الدقيق الذي كان مهمًّا للغاية؛ حتى يحدِّدوا النِّسَبَ بين الموادِّ والعَلاقات الوزنيَّة [6].

خاتمة

يتبيّن مما سبق أن علماء الحضارة العربية الإسلامية لم يكونوا مجرد ناقلين للعلوم القديمة، بل طوّروا علم الكيمياء، وصاغوا قواعده وأسسه، بفضل تأسيسهم للمنهج العلمي التجريبي، فحوّلوه من خرافات وفلسفات باطنية إلى علم تجريبي قائم على الملاحظة والتجربة.

وبفضل ترجمة أغلب مؤلفات الكيميائيين المسلمين إلى اللغة اللاتينية، أصبحت أساسًا لعلم الكيمياء في الغرب حتى نهاية القرن الثامن عشر الميلادي. وقد حظيت باهتمام بالغ في أوروبا، فنالت شهرة واسعة، وكان لها أبلغ الأثر في إحياء علوم الكيمياء في الغرب.

وانطلاقًا من هذا، بات من الضروري تعزيز مكانة الكيمياء في مناهجنا التعليمية، من خلال فصلها عن الفيزياء وتدريسها على يد أساتذة متخصصين، منذ المرحلة الثانوية، كما هو معمول به في معظم دول العالم، حتى يزداد اهتمام طلابنا بهذا العلم، ويبدعوا فيه، كما أبدع فيه السلف.

مراجع

[1] جبار، أحمد، العلوب العربية في عصرها الذهبي، بيت الفنون والعلوم والآداب، الرباط، 2008.

[2] حربي، خالد، العلم الإسلامي: أسس الحضارة الحديثة، دار الوفاء لدنيا الطباعة والنشر، الإسكندرية، 2015.

[3] الحسيني، سليم، ألف اختراع واختراع: التراث الإسلامي في عالمنا، كتاب جماعي، مؤسسة العلوم والتكنولوجيا والحضارة، المملكة المتحدة، 2011.

[4] خاطر، محمد إبراهيم، الإسلام والنهضة العلمية، دار ابن الجوزي، القاهرة، 1433هـ/ 2012م.

[5] الخالدي، روحي، الكيمياء عند العرب، مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة، القاهرة، 2014.

[6] السرجاني، راغب، ماذا قدم المسلمون للعالم، ج1، مؤسسة اقرأ للنشر والتوزيع والترجمة، القاهرة، 1431هـ/2010م.

[7] السرجاني، راغب، العلم وبناء الأمم، مؤسسة اقرأ للنشر والتوزيع والترجمة، القاهرة، 1428هـ/2007م.

[8] سعد الله، أبو بكر خالد، الكيمياء... إصلاحها بات ضروريا، جريدة الشروق، 2025/06/03.
https://shorturl.at/F6b01
[9] عبد الواحد، أحمد عبد النبي، علم الكيمياء عند الكندي، مجلة جامعة الأنبار للعلوم الإنسانية، المجلد 1، (2018)، ص. 59–76.
[10] نهان، خالد علي، الكيمياء عند العرب والحضارات القديمة، مكتبة النافذة، مصر، 2011.
[11] جابر بن حيان، ويكيبيديا الموسوعة الحرة، آخر تعديل لهذه الصفحة كان يوم 15 يونيو 2025.
ar.wikipedia.org/wiki/جابر_بن_حيان
[12] Asimov, Isaac, A Short History of Chemistry, Anchor Books, Doubleday & Company, 1965.
[13] Baudet, Jean C., Histoire de la chimie, De Boeck Supérieur, 2017.
[14] Cobb, Cathy & Goldwhite, Harold, Creations of Fire : Chemistry's Lively History from Alchemy to the Atomic Age, Plenum Press, 1995.
[15] Djebbar, Ahmed, Une histoire de la science arabe, Editions du seuil, Paris, 2001.
[16] Hill, Donald R., Islamic Science and Engineering, Edinburgh University Press, 1993.

المحتويات المعرفية في برامج التكوين الأولي لأساتذة الرياضيات

محمود شنتي [1]، محمد الطاهر طالبي [1]، المصطفى أورهاي [2]
[1] مخبر تعليمية العلوم، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
[2] المدرسة العليا للأساتذة، مراكش-المغرب (GREDIM)
mahmoud.chenti@g.ens-kouba.dz

1. مقدمة

في سياق مجموعة المقالات المتعلقة بالتكوين الأولي لأساتذة الرياضيات، التي نُشرت في أعداد سابقة بمجلة "بشائر العلوم"، نضع بين أيديكم تتمةً في الموضوع ذاته، وهي دراسة بعنوان: المحتويات المعرفية في برامج التكوين الأولي لأساتذة الرياضيات.

نُقدّم في هذا العمل دراسةً تتناول جوانب التكوين والمحتويات المعرفية لبرنامج التكوين الأولي لأساتذة الرياضيات، وقد اعتمدنا فيها على دراسة [10] أجرتها الرابطة الدولية لتقييم التحصيل التعليمي (IEA)، حول التكوين الأولي لمعلّمي الرياضيات في 17 دولة. وتهدف هذه الدراسة إلى توفير بيانات عن المعرفة التي يكتسبها معلمو المدارس الابتدائية والإعدادية والثانوية، ودراسة أوجه الاختلاف في طبيعة وبرامج تكوين معلّمي الرياضيات داخل البلدان وفيما بينها [10]. ركزنا هنا بالخصوص على جانبين من المحتوى المعرفي:

- المحتوى المعرفي التّخصصي،
- المحتوى التربوي-التعليمي للرياضيات.

2. جوانب التكوين والمحتوى المعرفي

إن البحث في التكوين الأولي للمعلّمين واسع ومتشعّب، حيث تساهم في بناء جوانبه عدة متغيرات، منها المعتقدات الأولية للمعلّمين المحتملين وهويتهم ومدى فعالية طرق تكوينهم ومحتوى برامج التكوين، وغيرها [8]. تختلف جودة المعلّمين المتخرجين بحسب جودة المحتوى وكيفية تنظيم الممارسات التعليمية ومدى الحرص على تمكين جميع المتكونين من الإلمام الجيد بالمواد التي سيُكلَّفون بتدريسها [1]. لم يعد المعلّم متخصصًا في مجال معرفي معين، بل بات من الضروري أن يمتلك معرفة تربوية كافية، وأن يكون قادرًا على المشاركة في التدريس التأملي وتعديل مناهجه التعليمية بما يتلاءم مع الحاجيات الفردية للتلاميذ، وغيرها. من الواضح، إذن، أن التكوين الأولي للمعلمين ينبغي أن يشمل، بالإضافة إلى الجانب التّخصصي، جانب التعليمية والجوانب التربوية وممارسة التدريس تحت الإشراف، وغيرها [5].

1.2. معرفة المعلّم

هناك اختلاف في الأدبيات بين المعرفة التي يمتلكها المعلّم فعليًا والمعرفة التي ينبغي أن يمتلكها. يجب إدراج فهمنا لماهية المعرفة اللّازمة لتدريس مفهوم رياضياتي معين ضمن المعرفة التي يمتلكها المعلّمون الذين يقومون بتدريس هذا المفهوم [2]. وبالتالي يجعلنا هذا الفهم نميز بين المعرفة المقدّمة إلى الطلاب في كليات التخصص بالجامعات، وتلك المقدّمة للطلاب المعلّمين في مؤسسات تكوين المعلّمين [8]. تتعدد الآراء حول طبيعة المعرفة المطلوبة لتدريس الرياضيات، وما الذي ينبغي أن تتضمنه، وكيفية تقديمها بأفضل الطرق، وفي أي سياقات يمكن تحقيق أفضل تعلّم ممكن. وغالبًا ما تُناقش معرفة المعلّم على أنها تتكون من ثلاثة جوانب [8]:

- معرفة التّخصص المتعلقة بالمفاهيم الرياضياتية، واستخدام التقنيات والاستدلال والبرهان وما إلى ذلك. هي المعرفة الجوهرية للحقائق والإجراءات والمفاهيم وما إلى ذلك.
- المعرفة التربوية المتعلقة بالمبادئ العامة للتعليم، مثل نظريات التعلّم والجوانب الاجتماعية والنفسية والأخلاقية للتعليم ووظائفه وإدارة الصف وتقييمه.
- معرفة المحتوى التربوي - التعليمي المتعلقة بشروط وأساليب وفن تدريس وتعلّم الرياضيات و"توضيح العلاقة وكذلك التمييز بين معرفة موضوع ما لذاته والقدرة على تمكين الآخرين من معرفته".

2.2. جوانب التكوين

فيما يتعلق بالمحتويات المعرفية، تُظهر برامج التكوين الأولي للمعلّمين أوجه تشابه تتضمن ثلاثة جوانب أساسية [4]:

- **المعرفة التخصصية**: من الضروري أن يمتلك المعلّمون المحتَملون معرفة صلبة بالموضوع التخصصي.
- **المعرفة التربوية-التعليمية**: يجب أن يكون المعلّمون المتدربون مستعدين كفاية من حيث التعليمية وعلم التربية من طرق التدريس ونظريات التعلّم، بالإضافة إلى التكوين في الإدارة الصفية والتدريس الجماعي.
- **الممارسة**: تُعدّ المشاركة في المدارس والدروس الحقيقية جزءًا مهمًا جدًا من عملية تدريب المعلمين الأولية. إن الاتصال ببيئات التعليم والتعلم منذ بداية التدريب يعني خبرة ملموسة في فصول حقيقية، بما في ذلك تعلّم كيفية التعامل مع القضايا الحقيقية الكامنة في التدريس وإدارة الصف. تتضمّن الخبرة العملية ملاحظة المدرسة والفصول الدراسية والتدريس المشترك تحت إشراف معلّم متمرس وخبرات التدريس الأولى.

2. 3. التكامل بين جوانب التكوين

تشير عدّة دراسات إلى أن التكامل بين جوانب التكوين الثلاثة يُعدّ أمرًا لازمًا وضروريًا، حيث يُظهر تحليل محتوى البرامج وجود فجوة واضحة بين هذه الجوانب، إلى جانب التجزئة الناتجة عن العدد الكبير من الدورات الدراسية المنفصلة. يتعلق هذا التكامل أيضًا بنوع النموذج المتبع، المتتالي أو المتزامن، إضافة إلى تعقيدات الممارسة المهنية في حد ذاتها، إلى جانب ظروف التنظيم وثقل البرامج وتعقيدات العملية التكوينية.

يُعدّ تحقيق التكامل بين جوانب التكوين الثلاثة أمرًا استراتيجيًا في تكوين المعلّمين الطلاب. يُفترض أن يقوم المسؤولون عن التكوين بتصميم أنشطة التدريب بطريقة تسمح بتكامل المكونات المختلفة [3]. وترى منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية ضرورة دمج جوانب التكوين الثلاثة لإعداد معلّمي المستقبل لحياتهم المهنية بطريقة متوازنة وفعّالة وأكثر كفاءة [5]. كما أظهرت دراسة متعلقة بتكوين المعلّمين وتطويرهم في مادة الرياضيات خلال عامي 2007 و2008، أن برامج التكوين في الدول التي سجّلت أعلى النتائج في المسابقات الدولية، هي تلك التي تضمن توازنًا أكبر بين مختلف جوانب التكوين [1].

4.2. المحتويات المعرفية

من أجل الوصول إلى فهم أعمق للمعرفة اللّازمة لتدريس الرياضيات، اعتمدنا على الدراسة [10] التي أجرتها الرابطة الدولية لتقييم التحصيل التعليمي (IEA) حول التكوين الأولي لمعلّمي الرياضيات في 17 دولة. تهدف هذه الدراسة إلى توفير بيانات عن المعرفة التي يكتسبها معلّمو المدارس الابتدائية والإعدادية والثانوية، ودراسة الاختلافات في طبيعة وبرامج تكوين معلمي الرياضيات داخل البلدان وفيما بينها [10]. سعينا من خلال هذه الدراسة إلى الحصول على معلومات

حول مستويات المحتوى المعرفي المقدم في برامج التكوين. وقد تم تصنيف هذا المحتوى المعرفي، بناءً على نتائج هذه الدراسة، إلى ثلاثة أنواع: المبتدئ والمتوسط والمتقدّم. ويعرض الجدول 1 مواصفات كل مستوى من هذه المستويات.

الجدول 1. معرفة المحتوى الرياضياتي [10]

مستوى المحتوى المعرفي	التفصيل
مبتدئ	محتوى الرياضيات الذي يتم تدريسه عادةً في الصفوف التي يعدها المعلّم المستقبلي للتدريس.
متوسط	محتوى الرياضيات الذي يتم تدريسه عادةً في الصف الأول أو الثاني الذي يتعدى الصف الأعلى الذي يعده المعلم المستقبلي للتدريس فيها.
متقدّم	محتوى الرياضيات الذي يتم تدريسه عادةً بعد ثلاث سنوات أو أكثر من الصف الأعلى الذي يعده المعلم المستقبلي للتدريس فيها.

أ) المحتوى المعرفي التّخصصي

غالبًا ما يُطلب من الطلاب المعلّمين للمرحلة الثانوية أن يمتلكوا معرفة رياضياتية أوسع وأعمق من تلك التي تدّرس عادة في التعليم الثانوي. ومع ذلك، يرى يوسيسكين (Usiskin) [12] أن "رياضيات المعلّمين" ينبغي النظر إليها على أنها نوع خاص من الرياضيات. وتقدّم دراسة متعلقة بالمعرفة المهنية للمعلّمين والتفعيل المعرفي لتدريس الرياضيات وتطوير الكفاءة الرياضياتية والمحتوى المعرفي المتعلق بالرياضيات، تصورها على أنها "فهم رياضياتي عميق للرياضيات التي تدّرس في المدرسة"، أي "التعمق في الرياضيات الأولية".

في هذا الخصوص، فإن معلّمي الرياضيات الذين لديهم "فهم عميق" للرياضيات التي سيدرسّونها هم أقل عرضة لنقل مفاهيم خاطئة إلى التلاميذ، أو اتخاذ قرارات خاطئة عند التخطيط للدروس ومخططات العمل أو تنقصهم الدقة في تقييم التلاميذ [11]. من الضروري التمييز بين المحتوى المعرفي المُقدَّم للتلاميذ داخل المؤسسات التعليمية، والمقاربة البيداغوجية المعتمدة، وكذلك التوجّه العام للنظام التعليمي، إذ يمكن التمييز بين اتجاهين رئيسيين:

- الاتجاه الذي يركّز على التعمّق في الجانب النظري المجرّد للرياضيات، كما هو الحال في المدرسة الفرنسية والمدرسة الجزائرية وغيرهما.
- الاتجاه الذي يركّز على الجانب الوظيفي-التطبيقي للرياضيات مثل المدرسة الأنجلو-أمريكية.

يوضّح الجدول 2 المحتوى الرياضياتي الذي تم تكييفه في الدراسة [10] بناءً على دراسات سابقة. وقد تم تصنيف هذا المحتوى إلى أربعة مجالات فرعية:

- الأعداد والعمليات،
- الهندسة والقياس،
- الجبر والدوال،
- البيانات والاحتمال.

يمثّل هذا المحتوى، في مجمله، مواد مناسبة لتكوين معلّمي مرحلة التعليم المتوسط، وقد يُعدّ مناسبًا أيضًا بدرجة معينة لمعلّمي المرحلة الثانوية [10].

الجدول 2. المحتوى الرياضياتي: المجالات الفرعية [10]

المجالات الفرعية	المحتويات
الأعداد والعمليات	الأعداد الطبيعية، الكسور والأعداد العشرية، تمثيلات الأعداد، النماذج والعلاقات، النسب والتناسب والنسبة المئوية، الأعداد الناطقة، نظرية الأعداد.
الهندسة والقياس	هندسة أشكال، هندسة القياس، التموقع والحركة
الجبر والدوال	النماذج، العبارات الجبرية، المعادلات والدوال، المواضيع المتقدّمة مثل: النهايات والاستمرار والمصفوفات.
البيانات والاحتمال	تنظيم البيانات والتمثيل، قراءة وتفسير البيانات، الاحتمالات.

كما أشارت تحليلات مناهج الرياضيات في مرحلتي التعليم الابتدائي والثانوي، ضمن برامج إعداد المعلّمين في الدول المشاركة، إلى أن بعض البلدان أولَت اهتمامًا أقل لمجال الاحتمالات والإحصاء مقارنةً بالمجالات الفرعية الثلاثة الأخرى للمحتوى.

ب) المحتوى التربوي-التعليمي للرياضيات.

تدرس تعليمية الرياضيات الظواهر المرتبطة بعمليتَي تعليم هذه المادة وتعلّمها. إن العلاقة بين المحتوى المعرفي للتخصص ومحتوى التعليمية قد يوضّحها قول الباحثين كاهان (Kahan) وكوبر (Cooper) وبيثيا (Bethea) [6] "إن معرفة الرياضيات ضرورية، لكنها وحدها لا تكفي". لا بد إذن من المعرفة المتعلقة بالتعليمية حيث: "يتم بناء المحتوى المعرفي للتعليمية انطلاقًا من المحتوى المعرفي التخصصي". وبالتالي، ينبغي توضيح العلاقة بين المحتوى التّخصصي والمحتوى التعليمي أثناء بناء المحتوى المعرفي لبرامج التكوين، وذلك بما يضمن تغطية كافية من حيث العمق والاتساع والشمول في محتوى الرياضيات المدرسية، بما يؤهّل المعلّمين لتدريسها [11].

لا يوجد توافق في الآراء حول أفضل طريقة لتصنيف ووصف جوانب هذا البعد التعليمي (الديداكتيكي) المرتبط بتدريس الرياضيات [8]. ويُلاحظ وجود اختلافات بين المفهوم الفرانكفوني "تعليمية الرياضيات" والمفهوم الأنجلو/أمريكي "الرياضيات التربوية". استنادًا إلى ثلاث دراسات مرجعية، وهي: الدراسة الدولية MT21 [9] والدراسة الألمانية COACTIV [7] ومشروع تعلّم الرياضيات للتدريس (LMT) في الولايات المتحدة الأمريكية، قام فريق البحث TEDS-M [10] بتطوير المحتوى التربوي-التعليمي الخاص بمعلّمي مرحلة التعليم المتوسط، والذي قد يُعدّ مناسبًا كذلك للمرحلة الثانوية. وقد قُسّم هذا المحتوى إلى ثلاث مجالات فرعية، وهي:

- معرفة المناهج الرياضياتية،
- معرفة التخطيط لتدريس وتعليم الرياضيات،
- تشريع الرياضيات.

ويُعرض هذا التقسيم بشكل مفصل في الجدول 3.

الجدول 3: المحتوى التربوي-التعليمي للرياضيات [10]

المجالات الفرعية	المحتوى
معرفة المنهاج الرياضياتي	– وضع أهداف التّعلم المناسبة – معرفة مختلف أنماط التقييمات – اختيار المسارات الممكنة ورؤية الروابط داخل المنهاج – تحديد الأفكار الرئيسية في برامج التعلّم – معرفة منهاج الرياضيات
معرفة التخطيط لتدريس وتعليم الرياضيات	– تخطيط واختيار الأنشطة المناسبة – اختيار صيغ التقييم – التنبؤ باستجابات الطلاب النموذجية بما في ذلك المفاهيم الخاطئة – تخطيط الأساليب المناسبة لتمثيل الأفكار الرياضياتية – ربط الطرق التعليمية والتصاميم التعليمية – تحديد النهج المختلفة لحل المشاكل الرياضياتية – التخطيط للدروس الرياضياتية
تشريع الرياضيات	– تحليل وتقييم الحلول والحجج الرياضياتية للطلاب – تحليل محتوى أسئلة الطلاب – تشخيص استجابات الطلاب النموذجية بما في ذلك المفاهيم الخاطئة – شرح وتمثيل المفاهيم والإجراءات الرياضياتية – تعميم أسئلة مثمرة – الاستجابة للقضايا الرياضياتية غير المتوقعة. – توفير التغذية الراجعة المناسبة.

- يشمل فرع المناهج الرياضياتية المعرفة النظرية الأولية التي ينبغي أن يمتلكها المعلّم للتدريس بفعالية. ويتضمن، من بين عناصر أخرى، المعرفة بالمناهج وطرق تعلّم التلاميذ وأهداف التدريس وأساليب التقييم وأنواعه، فضلًا عن الإلمام بالمفاهيم الرئيسية في الرياضيات المدرسية والعلاقات التي تربط بينها.
- يشمل فرع التخطيط المعرفة اللازمة لتخطيط عمليتي التعليم والتعلّم في الرياضيات، ويتضمن كذلك الأعمال التحضيرية الضرورية التي تسبق التدريس، مثل تقييم أنشطة تخطيط الدروس، واختيار أساليب التدريس وتخطيطها، والتنبؤ بتفاعلات التلاميذ المحتملة، ورصد المفاهيم الخاطئة التي قد تظهر أثناء التعلّم.
- يشمل فرع تشريع الرياضيات الأنشطة الأساسية التي يمكن أن تحدث في الفصل الدراسي أثناء سير الحصة. ولا يُنظر إلى المعلّمين من منظور هذا المجال كمقدّمي دروس فقط، بل كفاعلين تفاعليين داخل البيئة الصفّية.

وقد خلص تقييم TEDS-M لهذا الفرع إلى أهمية قياس قدرة المعلّم على تحليل التفاعل بينه وبين التلاميذ، من خلال التعامل مع أسئلتهم، وتطوير الحلول، وملاحظة الحجج والمفاهيم الخاطئة والاستجابة لها، إلى جانب تقديم التفسيرات والتعليقات المناسبة.

المراجع

[1] اليونسكو، التعليم والتعّلم تحقيق الجودة للجميع، التقرير العالمي لرصد التعليم للجميع 2013/4، منشورات اليونسكو، 2014.

[2] Ball, D.L., Hill, H.C., & Bass, H., Knowing mathematics for teaching: Who knows mathematics well enough to teach third grade, and how can we decide?, American Educator, 29(1), (2005), 14-17.

[3] Bednarz, N., & Perrin-Glorian, M.J., Formation à l'enseignement des mathématiques et développement de compétences professionnelles: articulation entre formation mathématique, didactique et pratique, Actes du 2ème colloque EMF (Espace Mathématique Francophone), 2003.

[4] Commission Européenne, La Profession enseignante en Europe: Pratiques, perceptions et politiques, Rapport Eurydice, 2015. http://www.eurydice.org

[5] Darmody, M., & Smyth, E., Entry to Programmes of Initial Teacher Education, A Report Funded by the Teaching Council of Ireland, Dublin: ESRI, 2016.

[6] Kahan, J.A., Cooper, D.A., & Bethea, K.A., The role of mathematics teachers' content knowledge in their teaching: A framework for research applied to a study of student teachers, Journal of Mathematics Teacher Education, 6, (2003), 223–252.

[7] Kunter, M. et al., Linking aspects of teacher competence to their instruction: Results from the COACTIV project. In M. Prenzel (eds.), Studies on the Educational Quality of Schools: The final report on the DFG Priority Programme, Münster, Waxmann, 2007.

[8] Liljedahl, et al., Components of mathematics teacher training. In Even, R., & Ball, D.L. (eds), The professional Education and Development of Teachers of Mathematics, New ICMI Study Series, vol 11. Springer, Boston, 2009.

[9] Schmidt, W.H. et al., Teacher education matters: A study of middle school mathematics teacher preparation in six countries, Teachers College Press, Columbia University, New York, 2011.

[10] Tatto, M.T, The Teacher Education and Development Study in Mathematics (TEDS-M): Policy, Practice, and Readiness to Teach Primary and Secondary Mathematics in 17 Countries, Technical Report, ERIC, 2013.

[11] Tay, E.G., Lim, S.K., Ho, W.K., & Toh, T.L., Preparing mathematics teachers in Singapore: The issue of mathematics content knowledge. In Teacher Education in the 21st Century, Springer, Singapore, 2017.

[12] Usiskin, Z., Teachers' mathematics: A collection of content deserving to be a field, The Mathematics Educator, 6(1), (2001), 86–98.

التحليل البُعدي
منطلقاته الإبستمولوجية وفوائده التّكوينية (2)

محمد الطيب سعداني
أستاذ متقاعد بقسم الكيمياء، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
mohamedens13@gmail.com

"لا تجرينّ أبدا (في العلوم الفيزيائية) عملية حسابية دون المعرفة القبلية لنتيجتها."
جـ ويلر (J. Wheeler)

1. الفوائد المرجوّة من ترسيخ تعليم التحليل البعدي

ما من شكّ في أنّ التّمرس على استخدام تحليل الأبعاد يعزّز لدى المتعلمين فهمًا أعمق للمنهج العلمي، ويساهم في تنمية عدد من الملكات الأساسية المرتبطة به، من خلال تطوير قدراتهم التحليلية، وصقل تفكيرهم النقدي، وتمكينهم من فهم أعمق للمفاهيم الفيزيائية، وتلكم هي الغاية الأسمى من تعليم العلوم الفيزيائية. ونورد فيما يلي، بكثير من الإيجاز، جملة من هذه الملكات التي يُجمع عليها أهل الاختصاص.

- **تعزيز التفكير المنطقي**

يتطلّب تحليل الأبعاد من الطلّاب التحقّق من تجانس الوحدات في معادلة تصف ظاهرة فيزيائية. ويرسّخ هذا النمط من السّلوك لديهم ملكة التفكير المنطقي المنهجي، ويُكسبهم قدرة تلقائية على التحقق من صحّة كل علاقة يتوصّلون إليها، وعلى التثبّت فيما إذا كانت النتائج المحصّلة ممكنة فعلًا أم لا. وبذلك، تتعزّز لديهم القدرة على اكتشاف الأخطاء وتصويبها، وذلك هو حجر الزّاوية في التربية العلمية.

- **إدراك العلاقات بين المقادير**

باستخدام تحليل الأبعاد، يكتشف الطلاب العلاقات بين كميات فيزيائية مختلفة، قد تبدو، للوهلة الأولى، أن لا صلة بينها (مثل القوة والمسافة والكتلة) ممّا يتيح لهم فهم كيفية ترابط متغيرات بعلاقات، وإمكان تفسير الظواهر الفيزيائية بعلاقات أساسية بسيطة دونما حاجة، في كثير من الأحيان، إلى معرفة تفاصيل القوانين بالضرورة. ويُعدّ هذا النمط من التبسيط مكسبًا أساسيًا في تعلّم العلوم، إذ يسمح باختزال ظواهر معقّدة إلى مفاهيم أقلّ تعقيدًا، ومن ثمّ أيسر فهمًا.

- **تطوير القدرة على التجريد والنّمذجة**

يُعدّ التحليل البعدي مثالًا على النّمذجة المبسّطة التي تساعد المتعلمين على الانتقال من مشكلة ملموسة إلى تمثيل تجريدي. والانتقال من الملموس إلى المجرد يُعدّ من صلب المنهج العلمي، حيث تُستعمل المفاهيم النظرية لنمذجة الظواهر الملحوظة، ممّا يسمح للطلبة بتعميم النتائج وفهم كيفية تطبيق المبادئ العامة على أنظمة معيّنة مختلفة.

- **التحقق من صحّة النتائج**

يُعدّ تحليل الأبعاد أداةً فعّالة للتحقّق من صحّة صيغة أو نتيجة فيزيائية، وهذا أمر بالغ الأهمية في التربية العلمية. إذ إن تعويد الطلاب على التحقق بصورة آلية منهجية من الوحدات والأبعاد، من شأنه أن ينمّي فيهم فطرة التحقق التلقائي من نتائجهم وفيما إذا كانت هذه النتائج متّسقة منطقيًا وفيزيائيًا.

- **تنمية التفكير النقدي**

معلوم أنّ تحليل الأبعاد لا يُفضي إلى قيم دقيقة مكتملة، إنّه يعطي فقط رتب مقادير والبنى العامة للعلاقات. وتدريب الطلاب على اعتماد منهجية تمكّنهم من تحديد العلاقات بين المتغيرات، دون توفّر قياسات دقيقة، كفيلٌ بتطوير تفكيرهم النقدي وبتوريثهم فطنةً يقظة تجعلهم يتبنّون الشّك المنهجي ليس فقط في قيم المقادير، بل وحتّى في العلاقات بين المقادير، وتحديد ما هو جوهري في مشكلة معينة.

إنّ استعمال التّحليل البُعدي لا يقتصر على مجالات الفيزياء والهندسة فحسب، بل إنه يشمل علومًا أخرى مثل الكيمياء وعلوم الأحياء. وهو يُكسب طلّاب كلّ هذه العلوم مهاراتٍ من شأنها أن تُعدّهم للبحث العلمي في مستقبل أيامهم. وجملة القول: إنّ التحليل البُعدي يُعدّ أداةً منهجية أساسية تجمع بين البساطة والقوّة والعمق والعمومية، وتنمّي لدى الطلّاب الحدس الفيزيائي والتفكير المنهجي النقدي. وهي ملكاتٌ يكتسبونها بتعويدهم التحقق من تجانس أبعاد المعادلات، ومهارات أخرى أساسية لتجنب الأخطاء في الحسابات المعقدة.

وبديهيٌ أنّه يكون من المستحسن، من أجل كل هذا، أن يُزوَّد الطلّاب بهذه المنهجية في وقتٍ مبكّرٍ من تعلّمهم، مع مراعاة مقتضيات التحويل التعليمي. ولذلك، ندعو إلى مزيد من العناية به؛ ندعو إلى تبنّيه كمنهجية بيداغوجية في ترسيخ ملكات علمية أساسية، منها: اختبار التجانس في المعادلات، وتبسيط المعقّد، واستيعاب المفاهيم وفهمها، واكتساب الدقة العلمية، والقدرة على التنبؤ، وذلك بتعزيز مهاراتهم التحليلية والتركيبية.

2. حدود التحليل البعدي

إذا كان لا جدال في أنّ تحليل الأبعاد طريقة يُعتدّ بها في التحقق من اتساق المعادلات الفيزيائية وفي تبسيط المشكلات المعقدة عن طريق تقليل عدد المتغيرات، فذلك لا يعني أنّه خلوّ تمامًا من بعض أوجه القصور، التي نذكر منها:

- من المبادئ التي يرتكز عليها تحليل الأبعاد مبدأ الإهمالية (negligeability)، أي تقدير أنّه يمكن عدم الاكتراث بتأثير بعض المتغيرات في تطوّر النظام المدروس، وقد ينجرّ عن هذا خطأ في النتائج إذا كانت هناك إساءة في التقدير. وبعبارة أخرى، فإنّ الفرضيات الاختزالية -التي يعتمدها تحليل الأبعاد لتبسيط دراسة الظواهر بالتقليل من عدد المتغيرات- إن كانت غير صحيحة، فإنه- تبعًا لذلك- ستكون النتائج التي يفضي إليها تحليل الأبعاد غير صحيحة أيضًا بالضرورة.
- عدم تمكينه من تحديد الثوابت التي لا أبعاد لها، مثل 2π في عبارة دورة النواس.
- عدم تمكينه من الحصول على العلاقات الدقيقة مكتفيًا بالشكل العام للمعادلة فقط.
- قصوره -وحده- عن الإيفاء بوصف النظم المعقدة وتحديد العلاقات بين المتغيرات التي تصفها.

ومجمل القول إنّ تحليل الأبعاد أداة جدّ مفيدة وكافية للتحقق من اتساق المعادلات وللحصول على معلومات نوعية حول العلاقات بين المقادير الفيزيائية في غالبية الحالات. لكنه لا يكفي، وحده، عندما يتعلق الأمر بنُظم فيزيائية جدّ معقدة.

3. مكانة التحليل البعدي في التعليم في بلادنا وتقديم طريقة العامل

نقصد بالتعليم التعليم العام حصرًا، حيث لا جدال في أنّ الزّمن المخصص لتدريسه لا يكاد يتجاوز الحصتين في الأقسام العلمية، في مطلع السنة الدراسية، وأن الأساتذة يدمجون هذه الطريقة في دروس الفيزياء في مواطن قليلة، تكاد تنحصر في أمثلة كلاسيكية، من أكثرها رواجًا: اكتشاف علاقة الدّور T_0 (مدّة الذبذبة) النظرية لمذبذب توافقي لكتلة متّصلة بنابض حيث $T_0 = Cm^{\frac{1}{2}}k^{-\frac{1}{2}}$.

ولا يحظى التحليل البعدي بتقويم باستثناء أسئلة رتيبة في بعض الامتحانات. ذلكم ما يتعلّق بمكانته في الفيزياء. ولا يوجد ذكر للتحليل البعدي في دروس الكيمياء في بلادنا رغم رواج طريقة العامل (label factor method) -المعروفة أيضًا باسم طريقة عامل التحويل- كتقنية شائعة الاستخدام في جل بلاد العالم (وهي تقنية متفرّعة عن التحليل البعدي) تمكّن من اختصار مراحل حلول جل المسائل في الكيمياء. ومن أجل ذلك أودّ اغتنام فرصة كتابة هذا المقال لعرض خطوطها العامة:

- تعتمد هذه الطريقة على الفكرة الأساسية أنه:

$$a = b \Rightarrow \frac{a}{b} = 1 \quad ; \quad \frac{b}{a} = 1$$ والضرب في 1 لا يغير قيمة المقدار.

تُسمّى النسبتان $\frac{a}{b}$ و$\frac{b}{a}$ عاملي تحويل، ويُختار منهما العامل الذي بضربه في المقدار المعطى (المراد تحويل وحدته) يؤدي إلى اختزال الوحدات بينهما.

وهكذا، يمكن الانتقال من نظام وحدات إلى آخر (التحويلات بين الوحدات) عن طريق ضرب المقدار المراد التعبير عنه بوحدة أخرى في هذا العامل:

المقدار بالوحدة المرغوب فيها = المقدار بالوحدة المعطاة × عامل التحويل.

وتنطوي هذه الطريقة على الخطوات التالية:

1- كتابة الكمية المعطاة في البدء بوحدتها،

2- تحديد عامل (أو عوامل) التحويل أي العلاقات بين الوحدات المختلفة،

3- ترتيب عوامل التحويل على كسور لإلغاء الوحدات غير المرغوب فيها،

4- ضرب الوحدات وتبسيطها للحصول على الوحدة المطلوبة.

تستعمل عوامل التحويل في الحسابات الكيميائية لإجراء التحويلات بين وحدات مثل الكتلة والحجم أو كمية المادة أو الطاقة، ومن عوامل التحويل الكتلة المولية M بوحدة الـ $gmol^{-1}$. تُستخدم الكتلة المولية للتحويل بين الجرام والمول وبين المول والجرام.

$$M_{(g)}(X) \xleftrightarrow{\frac{1}{2}} 1mol(X) \qquad \frac{1\ mol(X)}{M_{(g)}(X)}(1) \qquad \frac{M_{(g)}(X)}{1\ mol(X))}(2).$$

على سبيل المثال، إذا أردنا التعبير عن كتلة مقيسة بالجرامات (g) في تفاعل كيميائي بمقدار مقيس بالمولات (mol)، نستعمل عامل التحويل (1):

$$m_{(g)}(X)\frac{1\ mol(X)}{M_{(g)}(X)} = m_{(g)}(X)\frac{1\ mol(X)}{M_{(g)}(X)} = n_{mol}(X).$$

وإذا أردنا التعبير عن مقدار مقيس بالمولات (mol) بكتلة مقيسة بالجرامات (g) في تفاعل كيميائي، نستعمل عامل التحويل (2):

$$n(mol)(X)\frac{M_{(g)}(X)}{1(mol)(X)} = nM_{(g)}(X) = m_g(X).$$

ومن عوامل التحويل المستعملة بكثرة ثابت أفوجادرو: $N_A = 6{,}022\ 140\ 76 \times 10^{23}\ mol^{-1}$ (الذي ثبتت قيمته بصورة نهائية في تاريخ 2019/05/20)، والذي يُستخدم للتحويل بين المولات والجزيئات، والحجم المولي للغاز ($0{,}022\ 414\ m^3/mol^{-1}$) $V_m = 22{,}414\ Lmol^{-1}$ في الظروف العادية لدرجة الحرارة والضغط

(CNTP: 0 °C و101 325 Pa)، ويُستخدم للتحويل بين أحجام ومولات الغاز وعامل التحويل بين وحدات الطاقة 1cal = 4,184 J، إلخ.

وقد نحتاج إلى أكثر من عامل تحويل واحد، كما هو الحال عند التعبير عن تركيز معطى بـ %(m,m) إلى تركيز بالمولارية، أي بـ $molL^{-1}$، كما في المثال التالي:

لنفرض أننا نريد حساب التركيز المولي c لمحلول من حمض الهيدروكلوريك HCl انطلاقًا من المعطيات المدوّنة على الملصق المثبّت على القارورة الخاصة بهذا الحمض التجاري، والتي نستفيد منها أنّ النسبة الكتلية المئوية لـ HCl هي % (m,m) = 37 % ، وأنّ كتلته المولية هي M_{HCl}=36,46 $gmol^{-1}$، وأنّ كتلته الحجمية هي $\rho = 1,19\ cm^{-3}$.

Hydrochloric Acid 37%
Molecular Formula : HCl
Formula Weight : 36.46 g/mol
Density : 1.19 g/cm³

ملاحظات:

- تُترجم density في اللغة الإنكليزية، في سياق مقالنا، بالكتلة الحجمية لا بالكثافة.
- لا نحبّذ استعمال مصطلح النقاوة، ونفضّل استعمال النسبة الكتلية المئوية بدله.

النسبة % 37 = %(m,m) تعني أنه يوجد 37 g(HCl) في كل 100 g من المحلول (solution)، أي أن

$$37\%(m,m) = \frac{37\ g(HCl)}{100\ g(solution)} = \frac{x\ mol(HCl)}{1\ L(solution)} ?$$

أي أن وحدتي الانطلاق هما الجرامات لكل من المحلول والمذاب ونريد أن نعبّر عن هذا التركيز في النهاية بالمول من المذاب في اللتر من المحلول: $molL^{-1}$

$$37\%(m,m) = \frac{37\ g(HCl)}{100\ g(solution)} = \frac{x\ mol(HCl)}{1\ L(solution)} ?$$

$$\frac{37\ g(HCl)}{100\ g(solution)} \times \ldots \times \ldots \times \ldots = \frac{x mol(HCl}{1\ L(solution)}$$

نحتاج إلى العامل $\frac{1\ molHCl}{36,46\ gHCl}$ لتحويل 37 g من HCl، المنحلة في 100 g من المحلول إلى عدد مولات HCl المنحلة في 100 g من المحلول،

ونحتاج إلى العامل $\frac{1,19\ g(solution)}{1\ cm^3(solution)}$ لتحويل عدد مولات HCl المنحلة في 100 g من المحلول إلى عدد مولات HCl المنحلة في $1cm^3$ من المحلول،

ونحتاج إلى العامل $\frac{1000\ cm^3(solution)}{1\ (Lsolution)}$ لتحويل عدد مولات HCl المنحلة في $1cm^3$ من المحلول إلى عدد مولات HCl المنحلة في 1L من المحلول.

$$\frac{37g(HCl)}{100\ g(solution)} \frac{1\ mol(HCl)}{36,46\ g(HCl)} \frac{1,19\ g(solution)}{1\ cm^3(solution)} \frac{1000\ cm^3(solution)}{1\ L(solution)} = \frac{xmol(HCl)}{1\ L(solution)}$$

$$\frac{37\cancel{g(HCl)}}{100\ \cancel{g(solution)}} \frac{1\ mol(HCl)}{36,46\ \cancel{g(HCl)}} \frac{1,19\ \cancel{g(solution)}}{1\ \cancel{cm^3(solution)}} \frac{1000\ \cancel{cm^3(solution)}}{1\ L(solution)} = \frac{12\ mol(HCl)}{1\ L(solution)}$$

$$= 12\ M = c$$

بسّطنا الطّريقة لإظهار كلّ مراحلها. والواقع أن لا حاجة لذلك، فبشيء من التدريب يمكن تلخيصها في سطر واحد، وهذا هو الدّارج في أغلب بلاد العالم.

ونرى، مثلًا، استعمال الأعداد الستكيومترية (التّسمية الرّسمية المعتمدة، لا "المعاملات")، وهي أعداد تستعمل في المعادلات الكيميائية الموازنة للإشارة إلى النسب التي تتفاعل وفقها المتفاعلات وتنتج وفقها النواتج في تفاعل كيميائي، كعوامل تحويل.

- ليكن التفاعل المنمذج بالمعادلة التالية:

$$4Ag(s) + 2H_2S(g) + O_2(g) \rightarrow 2Ag_2S(s) + 2H_2O(l)$$

إذا وضع في الوسط التفاعلي 0,950 g من Ag و0,140 g من H_2S و0,0800 g من O_2، فما يكون عدد جزيئات $Ag_2S(s)$ الناتجة على فرض أنّ مردود التفاعل 98,5 %؟

$$M_{Ag} = 107{,}87\ gmol^{-1}, M_{H_2S} = 34{,}08\ gmol^{-1}, M_{O_2} = 32{,}00\ gmol^{-1}$$
$$M_{Ag_2S} = 247{,}80\ gmol^{-1}, M_{H_2O} = 18{,}02\ gmol^{-1}$$

يتضح من الأعداد الستكيومترية للمعادلة الكيميائية:

$$4Ag(s) + 2H_2S(g) + O_2(g) \rightarrow 2Ag_2S(s) + 2H_2O(l)$$

أنّ من بين عوامل التحويل المفيدة للإجابة عن السؤال:

$$1\ molH_2S \leftrightarrow 34{,}08\ gH_2S \Rightarrow \frac{1\ molH_2S}{34{,}08\ gH_2S} \text{و} 2\ molH_2S \leftrightarrow 2\ molAg_2S \Rightarrow \frac{2\ molAg_2S}{2\ molH_2S}$$
$$1\ molH_2S \leftrightarrow 6{,}022.10^{23} molecAg_2S \Rightarrow \frac{6{,}022.10^{23} molecAg_2S}{1\ molAg_2S}.$$

ومن ثمّ (ملاحظة: molec اختصار لـ molecule بالإنكليزية وmolécule بالفرنسية أي الجزيء) لا نبسط كيفية الوصول إلى إنّ المتفاعل المحدّد هو H_2S، فليس ذلك موطن اهتمامنا، ومن ثمّ نكتب مباشرة:

$$0{,}140\ gH_2S \frac{1\ molH_2S}{34{,}08\ gH_2S} \frac{2\ molAg_2S}{2\ molH_2S} \frac{6{,}022.10^{23} molecAg_2S}{1\ molAg_2S} \frac{98{,}5}{100} = 2{,}44.10^{21} molecAg_2S.$$

$$0{,}140\ \cancel{gH_2S} \frac{1\ \cancel{molH_2S}}{34{,}08\ \cancel{gH_2S}} \frac{2\ \cancel{molAg_2S}}{2\ \cancel{molH_2S}} \frac{6{,}022.10^{23} molecAg_2S}{1\ \cancel{molAg_2S}} \frac{98{,}5}{100} = 2{,}44.10^{21} molecAg_2S.$$

4. الخاتمة

عرضنا في مقالنا هذا الأسس الإبستمولوجية للتحليل البعدي لإظهار صلته الوثيقة بالمنهج العلمي وما له من أهميّة في التربية العلمية الحقّة، وقدّمنا طريقة العامل كتقنية شائعة الاستخدام في جل بلاد العالم في تدريس الكيمياء. ولا شك عندي في أنّ مقالًا بمثل هذه الوجازة لن يوفّي الموضوع حقّه، فموضوع بهذه الأهمية يتطلّب المزيد من البسط والتعمّق. غير أنّه لم يكن من مقاصدي تقديم عرض علمي شامل مكتمل عن التحليل البعدي، وإن كنت قد وُفّقت في لفت الانتباه إلى ضرورة إيلائه مزيدًا من العناية في مناهجنا التعليمية في مختلف المراحل، فذلك حسبي وغايتي.

فلم يكن غرضي سوى الإشارة إلى ما في ترسيخ التحليل البعدي في تعليمنا من فوائد جمّة، من أهمّها تمكين المتعلّمين من التحقق من تجانس المعادلات التي يكتبونها، ومن أن للمعادلة المتجانسة حظوظًا في أن تكون صحيحة، فيما تكون المعادلة غير المتجانسة خاطئة بالتأكيد. كما يهدف المقال إلى إكساب المتعلمين القدرة على استعمال الاستدلال الاستقرائي -وهو السّائد في العلوم التجريبية كلها- وبذلك ينمو لديهم الحسّ الفيزيائي، أي القدرة على التنبؤ بشكل العلاقات بين المقادير الفيزيائية المختلفة دون الحاجة إلى معادلات معقّدة. أي، في نهاية المطاف، فهم الظواهر بدل الاكتفاء بتفسير سطحي لها، كما هو سارٍ في أغلب الحالات. فباستخدام هذه الطريقة، يُرجى أن يكتسب الطلاب حدسًا فيزيائيًا وفهمًا أعمق للقوانين الفيزيائية.

رابط الجزء الأول من المقال: https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n15/article15-1.pdf

مراجع

[1] سعداني، محمد الطيب، مدخل إلى تدريس العلوم الفيزيائية في السنوات الأولى الجامعية، مطبعة الورسم، 2018.

[2] Bridgman, P. W. Dimensional Analysis, New Haven: Yale University Press, 1922.

[3] Gibbings, J. C. Dimensional Analysis, Springer, 2014.

[4] Lemons, Don S. A Student's Guide to Dimensional Analysis, Cambridge University Press, Cambridge, 2017.

[5] Macagno, E. O. Historico-critical review of dimensional analysis. Journal of the Franklin Institue, 292(6), (1971), 391-402.

[6] Santiago, J. G. A First Course in Dimensional Analysis: Simplifying Complex Phenomena Using Physical Insight, The MIT Press, 2019.

[7] Analyse dimensionnelle https://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_dimensionnelle

[8] Hébert, B. La puissance de l'analyse dimensionnelle https://www.youtube.com/watch?v=an3zN3uhDz

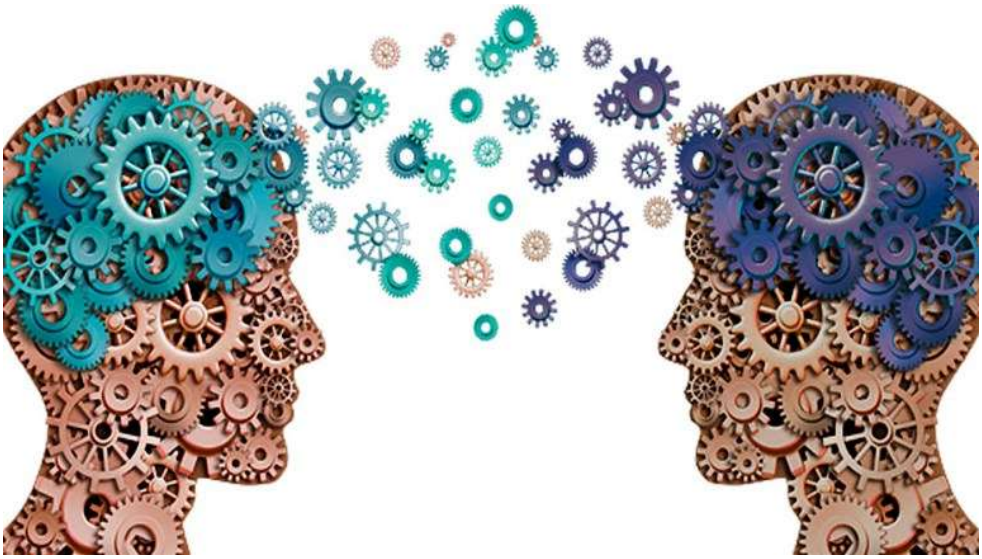
[9] Hébert, B. Les 4 utilisations essentielles de l'analyse dimensionnelle https://www.youtube.com/watch?v=_nuMFHPAIE0

[10] Djellal, S. Analyse dimensionnelle, Part 1 (Introduction) https://www.youtube.com/watch?v=WPSyFcqwbgU

[11] Djellal, S. Analyse dimensionnelle, Part 2 (Dimensions, modélisation) https://www.youtube.com/watch?v=fX3foXaLcPU

[12] Djellal, S. Analyse dimensionnelle, Part 3 (Théorème de Vaschy-Buckingham) https://www.youtube.com/watch?v=gqML35S1l_s

[13] Djellal, S. Analyse dimensionnelle, Part 4 (Exemples d'application de Vaschy-Buckingham) https://www.youtube.com/watch?v=43fsc1a0XPE



التقليد في "الفنون الحرة" عبر العصور الوسطى[1] (2)

يورج ويلر [1] Jörg Willer (2017-1936)

ترجمة (بتصرف) مهدي بن بتقة[2]

[1] أستاذ ألماني مختص في تعليمية الفيزياء، [2] أستاذ بقسم الفيزياء، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

1. نقطة التحول (انقطاع) عن التقاليد التربوية الغربية

يُطلق على عصر التاريخ العلمي في العصور الوسطى اسم "المدرسي؛ الدراسي"، الكلمة المشتقة من اللغة اليونانية "scholastikos"، وهي مشتقة في الأصل من كلمة المدرسة "schole" باليونانية، وقد ظهرت بالفعل في الأدبيات اليونانية. ومصطلح "المدرسي؛ الدراسي" يعني طريقة ممارسة العلوم، التي تمت زراعتها أو غرسها في مدارس ومدارس عليا العصور الوسطى. ويشير اسم المدرسة في حد ذاته إلى ما يُسمى بعصر التاريخ الفكري، وقد تكوّن بطريقة فريدة تقريبًا من خلال المدارس والمدارس العليا (الجامعات).

وعلى الرغم من أن الاهتمام المعرفي الرئيسي في ذلك الوقت تمحور حول اللاهوتيات، إلا أنه، هل سيكون من الخطأ مساواة "المدرسية" مع اللاهوتيات؟ ولكن حتى اللاهوت في ذلك الوقت كان يعمل بالمفاهيم والأساليب العلمية التقليدية. وشملت هذه الأساليب العودة إلى أصحاب التقليد، حيث تم منحهم السلطة، غير أنه كان لا بد من تأكيد هذه السلطة في النزاعات العقلانية. وتطورت المحاضرات، باعتبارها وسيلة لتوصيل النتائج التي وضعتها السلطات، والمجادلات كاختبارات لصحة هذه النتائج، إلى أشكال التدريس السائدة في المدارس العلمية.

كان من الواضح، أنه في مثل هذه المناقشات، تمت مناقشة العلاقة الأساسية بين سلطة المعرفة التقليدية والبصيرة القائمة على التفكير المتسق. وربما يهز بعض الأحكام المسبقة عن المدرسة، التي تؤمن على ما يبدو بقدر كبير بالسلطة، حيث أن أحد مؤسسيها، يوهانس سكوتس إيريجينا (Johannes Scotus Erigena)، أعطى الأولوية للسلطة المؤسسة بشكل متماسك، وبالتالي لا يمكن انتهاك حرمتها من السلطة، وهو ما لا تدعمه مثل هذه الرؤية العقلانية.

ومع ذلك، ظلت الإشارة إلى السلطات التقليدية سمةً سائدةً في العلوم المدرسية. تم أيضًا مناقشة المعرفة العلمية ومواصلة تطويرها باستخدام هذه الطريقة، كما تم تدريس مواد علوم الطبيعة ضمن أشكال التدريس الناتجة من المحاضرات والمناظرات. ولذلك، اتسمت علوم الطبيعة في العصور الوسطى بالعودة المستمرة إلى تراث العلوم القديمة. وبما أن أساسيات العلوم القديمة، وخاصة علوم الطبيعة، قد وُضعت في أعمال المؤلفين اليونانيين، فإن العودة إلى تراث العلوم القديمة تعني دائمًا العودة إلى تعاليم اليونانيين.

ومع ذلك، كُتبت هذه المادة التعليمية بلغة أصبحت غريبة عن الثقافة الغربية، كما استخدمت أيضًا نصًا أجنبيًا. ومع هذا ظل الاهتمام بدراسة أعمال المؤلفين اليونانيين حيًا. يجب أن نتذكر فقط، أن مؤسسين مهمين للتقاليد المدرسية الغربية، وهما بوثيوس (Boethius) وكاسيودروس (Cassiodorus)، قد قاما بدور الوسيط بين التقاليد التعليمية اليونانية البيزنطية والغربية. ولذلك، يمكننا في البداية الاكتفاء بالخلاصات التي كتبها هذان المؤلفان وآخرون لأغراض مدرسية. ثم جرى لاحقًا اللجوء إلى الترجمات التي أصبحت معروفة من خلال مواجهتهم للعلوم الإسلامية، وأخيرًا حدث التحول إلى أعمال العلوم اليونانية في شكلها الأصلي.

---

[1] هذا المقال هو ترجمة (بتصرف) من الألمانية إلى العربية لفصل (ص. 51--72) من كتاب صدر سنة 1990، عنوانه "الفيزياء وتكوين الإنسان تاريخ الفيزياء ودروسها" (Physik und Menschliche Bildung Eine Geschichte der Physik und ihres Unterrichts).

أحدث الشكل المتغير للجوء إلى تعاليم العلوم اليونانية نقاط تحول في تطور العلوم في العصور الوسطى. ومع ذلك، فإن التساؤل عمّا إذا كان هذ اللجوء قد أدّى إلى إحياء المساعي العلمية، أو على العكس، ما إذا كان هذا الإحياء قد فرض العودة إلى التفكير، يبدو أنه طُرح بشكل خاطئ، لأن هذه التأثيرات تكون دائمًا متبادلة. وبالإضافة إلى ذلك، ينبغي أخذ شبكة متنوعة من التفاعلات التاريخية الأخرى بعين الاعتبار، دون الخوض في هذا بمزيد من التفصيل. تجدر الإشارة ببساطة إلى أنه، في الوقت ذاته تقريبًا الذي وقعت فيه نقاط التحول في التاريخ الفكري في العصور الوسطى، حدثت أيضًا تغييرات في المجال السياسي يمكن تفسيرها على أنها مؤشرات على مثل هذه التفاعلات. وهناك أربع نقاط تحول تشكّل هيكل هذا التطور:

- يُعدّ عصر النهضة الكارولنجية أيضًا فترة إعادة تأسيس الإمبراطورية في الغرب (حوالي 800م).
- تُمثّل بداية المدرسة المدرسية المبكرة أيضًا فترة تقسيم إمبراطورية الفرنجة (حوالي 850 إلى 900م).
- تتزامن بداية المدرسة العليا مع إعادة تنظيم الحكم السياسي من قِبَل فريدريك الثاني (Frederick II) في ألمانيا وإيطاليا، ومن قِبَل لويس التاسع (Louis IX) في فرنسا (حوالي 1200 إلى 1250م).
- تتزامن الفترة المدرسية المتأخرة مع نهاية الانقسام الغربي من خلال مجمع الكنيسة في كونستانز (Konstanz) (1414 إلى 1418م)، ومع وسقوط الإمبراطورية البيزنطية (سقوط بيزنطة عام 1453 وأثينا عام 1456م).

أدت كلٌّ من هذه الفترات إلى تعميق تأثير اللغة اليونانية في العلوم الغربية، غير أن هذا التأثير لم يتحقّق إلا ببطء وبصعوبة. وقد نشأ ذلك من التداخل بين فرعي التقليد التعليمي اللذين انحدرا من الجذر نفسه، أي من الثقافة الهلنستية-الرومانية، لكنهما انفصلا لفترات زمنية طويلة. لم يكن من الممكن الاستيلاء على تراث العلوم القديمة ببساطة، بل كان لا بد من الاستيلاء عليه من جديد في إطار عملية إبداعية استمرت قرونًا، في ظل الظروف المتغيرة للثقافة الناشئة حديثًا. وقد كانت المدرسة والمدرسة العليا (الجامعة) هما الفضاء الذي تمت فيه عملية الاستيلاء هذه.

2. النهضة الكارولنجية والمدرسية المبكرة

لقد حدد التفاعل بين القرارات السياسية الإطار الذي أثّرت من خلاله الثقافة اليونانية البيزنطية على الثقافة الكارولنجية. وقد كانت العلاقات قائمة منذ فترة طويلة بين الأباطرة البيزنطيين وحكام الفرنجة؛ وحمل شارل الكبير (Charlemagne)، على غرار ملك القوط الشرقيين ثيودريك (Theodoric)، لقب باتريسيوس (Patricius)، الذي منحه إياه الإمبراطور البيزنطي. وعندما سعى شارل الكبير إلى تأسيس إمبراطورية الفرنجة، نشأ خلاف كبير بين القوتين، إلا أن العلاقات بينهما لم تتدهور على المدى الطويل.

وكجزء من سياسته الإمبراطورية الموجهة ضد بيزنطة، أقام شارل الكبير علاقات مع الخليفة هارون الرشيد، الذي كان يقيم في بغداد. وقد فتح ذلك أفقًا آخر لتأثير التقليد العلمي اليوناني على الثقافة الكارولنجية. وبهذا أدى الفتح (الغزو) العربي الإسلامي لمناطق واسعة من الإمبراطورية الرومانية الشرقية، في البداية، إلى انتكاسة ثقافية شديدة. وكان فتح الإسكندرية عام 642 م يعني أيضًا نهاية المدرسة العليا (الجامعة) التي كانت لا تزال قائمة هناك. إلا أن المنتصرين سرعان ما شرعوا في الاستيلاء على الأصول الثقافية للمهزومين، وقد تم ذلك أحيانًا بطريقة منهجية تقريبًا. فقد قام العلماء في عهد الخلفاء العباسيين بجمع أعمال العلوم اليونانية وترجمتها وتطويرها وإثرائها ونسخها. ولأجل هذا الغرض، نصت معاهدة السلام على تسليم الإمبراطور البيزنطي المهزوم عددًا كبيرًا من الأعمال اليونانية. وقد ظهرت رمزية هذا التحوّل في الساعة المائية التي نالت إعجابًا كبيرًا، والتي قدّمتها سفارة الخليفة العباسي هارون الرشيد خلال حفل تتويج الإمبراطوري شارل الكبير؛ حيث عكست هذه الهدية مدى تقدّم العرب المسلمين بوصفهم طلابًا أذكياء في نقل العلوم والتقنيات اليونانية.

على الرغم من تعدّد إمكانيات تأثير الثقافة اليونانية، إلا أن عصر النهضة الكارولنجية مثّل ولادة جديدة واعية للثقافة الرومانية الغربية، جنبًا إلى جنب مع المطالبات الإمبراطورية بالسلطة: "روما الذهبية تولد من جديد"[2]. ومع ذلك، ظل تأثير التعليم اليوناني في المدرسة والعلوم محدودًا ومقتصرًا على ما نقله الأدب اللاتيني المتأخر.

بدأ التعامل المباشر مع الكتابات اليونانية في مدرسة البلاط بباريس فقط، عندما تلقّى لويس الورع (Louis the Pious)، ابن شارل الكبير، عددًا من تلك الأعمال من بيزنطة. فقام ابنه الإمبراطور شارل الأصلع (Charles the Blad) بتعيين يوهانس سكوتس إيريجينا في مدرسة بلاطه في باريس. وبما أنه كان يتقن اللغة اليونانية، فقد تمكّن من العمل كمترجم، كما قام بتحرير الكتاب المدرسي اللاتيني لمارتيانوس كابيلا (Martianus Capella). وقد اعتمد ريميجيوس أوكسير (Remigius of Auxerre)، وهو مدرّس (معلم) في ريمس (Reims) وباريس، على المؤلّفين اليونانيين في كتبه المدرسية وفي شروحاته على الكتب المدرسية التقليدية. ومع ذلك، لا يبدو أن هذا قد قدّم حافزًا فعليًا لتطوّر المعرفة العلمية فيما بعد.

في المقابل، كان الباحثون العرب المسلمون في الفترة ذاتها يستلهمون أنُموذَجاتهم (نماذجهم) اليونانية ويقومون بأعمال مستقلة في علوم الطبيعة. ومن أقدم هذه الأعمال، ما يُنسب إلى جابر بن حيّان (حوالي 800م)، المعروف في الغرب باسم "جابر"، حيث يَرِد في أحد النصوص المنسوبة إليه أنه يذكر فيه أن المغناطيس الذي كان قادرًا على رفع قطعة من الحديد تزن مئة درهم، لم يعد قادرًا بعد مدّة من الزمن على رفع قطعة تزن ثمانين درهمًا فقط. وبذلك تكون قوة المغناطيس قد انخفضت، رغم بقاء حجمه على حاله. ويميّز هذا التقرير بوضوح بين حجم المغناطيس وقوته ووزن الحديد المرفوع. ومع ذلك، لم تُستخلص من هذه الملاحظة استنتاجات تؤدي إلى تجارب إضافية.

بعد حوالي مائتي سنة، عاش الحسن بن الهيثم، وقد ألّف كتابًا مدرسيًا شاملًا في البصريات، أوضح فيه مفهوم شعاع الضوء، ودرس علاقة زاوية الانكسار بزاوية السقوط عند انكسار الضوء على السطوح البينية للوسائط المختلفة. ولهذا الغرض، وصف طريقة لقياس زوايا الانكسار، ولكي يتمكن أخيرًا ولو من دون تقديم القيم المقاسة من الادعاء الذي اقترحه بطليموس، بأن قانون الانكسار خاطئ.

ويتناول كتاب "ميزان الحكمة"، الذي ألّفه الخازني (بعد 1100 م)، طرق القياس الميكانيكية، حيث وفقًا لأرخميدس تمت مناقشة بناء واستخدام ميزان شعاعي (ذو مؤشر) مزوّد بخمس كفّات وزن بالتفصيل. وقد جُمعت القياسات الدقيقة لكثافات 50 مادة مختلفة في جدول بشكل مذهل. واصل علماء الطبيعة العرب المسلمون عمل أسلافهم اليونانيين -سواء في المناقشات الرياضياتية أو في الممارسة التجريبية- بشكل مستقل. وتُذكر إنجازاتهم في علم الفلك هنا على سبيل الإشارة فقط.

أصبحت الخلافة التي تأسست في إسبانيا ذات أهمية خاصة في نقل هذا التراث إلى الغرب، إذ كان لدى الخلفاء الأمويين الذين حكموا هناك مخطوطات من الكتابات اليونانية، تم شراؤها وجمعها واستنساخها. كما أُنشأت مكتبات وأكاديميات علمية ومدارس في قرطبة، وغرناطة، وطليطلة، وإشبيلية، وفالنسيا، وقد زار هذه المدن باحثون مسيحيون لتعلّم اللغة العربية. ويقال إن جربير (Gerbert) درس في قرطبة وإشبيلية، قبل أن يُدرّس الفنون في مدرسة الكاتدرائية في ريمس. وقد قدّر معاصروه طريقته في شرح وتفسير الحقائق العلمية للطلاب، من خلال استخدام أدوات مثل الأحادية (Monochord) أو الكرات السماوية، مما جعل هذه المعارف أكثر قابلية للفهم. وكان يحظى بالاحترام والخوف جزئيًا بسبب معرفته العلمية، وتبوأ لاحقًا العرش البابوي تحت اسم سيلفستر الثاني (Sylvester II). أسس فولبرت (Fulbert)، أحد تلاميذ جربير، مدرسة شارتر (Chartres)، حيث وُجدت ترجمات لاتينية للأعمال العربية. وبالإضافة إلى

[2] Zitiert bei Driesch/Esterhues, Geschichte der Erziehung und Bildung, Paderbor, Bd.1, [4]1950, S. 166 (Worte eines Dichters aus der Hofschule Karls des Großen).

ذلك، استمر الاهتمام بدراسة المؤلفين اليونانيين، الذين جاؤوا بعد بوثيوس، مع توجيه اهتمام خاص إلى علوم الطبيعة. وقد أدّت مدرسة شارتر دورًا مهمًا في إتاحة المعرفة بعلوم الطبيعة اليونانية أمام الغرب.

3. علوم الطبيعة في زمن المدرسة العليا

قدّم عمل "أرسطو-استقبال" في القرن الثاني عشر زخمًا جديدًا لمناقشة المشكلات العلمية، والتي بدأت معالجتها في المدرسة العليا. وقد نشأت هذه الظاهرة بسبب الحروب الصليبية، التي عززت التجارة مع الشرق وأسهمت -وإن كان ذلك أحيانًا بصورة غير مقصودة - في تبادل الأدب، وبالتالي تبادل الأفكار.

إن مصطلح "أرسطو–استقبال" يبدو محدودًا إلى حد ما، إذ يوحي بأن أعمال أرسطو وحدها، والتي ظلت مجهولة إلى ذلك الحين، هي التي دخلت دائرة النقاش الفكري في ذلك العصر. ولكن في الواقع، بالإضافة إلى اكتشاف الكتابات والتعليقات الأرسطية، أصبحت مجموعة واسعة من الأعمال الأخرى لمؤلفين يونانيين، وبخاصة علماء الطبيعة، متاحة لجمهور علمي أوسع. من بين هؤلاء: ثاوفرسطس (Theophrastus)، وجالينوس (Galenus)، وأبقراط (Hippocrates) وأُقليدس (Euclid)، وأرخميدس (Archimedes). وقد أصبحت هذه الأعمال معروفة في الغرب لأول مرة من خلال مساعي العلوم الإسلامية.

وفي هذا السياق، تبرز مساهمة ابن رشد من قرطبة، الذي اشتُهر بوصفه مترجمًا ومعلقًا على أعمال أرسطو (Aristotle)، وقد استند إليه العديد من أساتذة المدرسة المدرسية. كما نُظر بعين التقدير إلى قراءته النقدية لكتاب "المجسطي"، المؤلَّف الشهير لبطليموس (Ptolemy). وسرعان ما بدأ المفكرون في الغرب أيضًا بترجمة النصوص اليونانية مباشرة.

ومن الجدير بالذكر أن هذا العصر شهد بداية ازدياد ملحوظ في البحث العلمي الفردي وانتشاره. وقد كان روبرت جروسيتست (Robert Grosseteste) أحد أبرز مترجمي أرسطو، كما يُعدّ مؤسسًا ومستشارًا لمدرسة أكسفورد، التي اكتسبت منذ نشأتها سمعة مرموقة بفضل اهتمامها الخاص بالرياضيات والفيزياء. ولم يعد جروسيتيست نفسه يرى أن الفنون العلمية هي خادمة للاهوت، بل اعتبر الفلسفة، وفقًا للغة ذلك الوقت، إطارًا جامعًا للفيزياء وللرياضيات. وقد ألّف أعمالًا عن المشاكل والصعوبات الفيزيائية وخاصة فيما يتعلق بالبصريات (الضوء). واصل تلميذه روجر بيكون (Roger Bacon)، وهو عضو في الجمعية الدينية (الرهبنة) الفرنسيسكانية، هذا العمل. وقد اهتم على وجه الخصوص بانعكاس الأشعة الموازية للمحور على المرايا البؤرية. وكان أول من اكتشف أن الأشعة المتوازية المحورية، والتي تكون على مسافات مختلفة، من المحور البصري لمرآة كروية، لا تتقاطع عند نفس النقطة البؤرية بعد انعكاسها. ولقد أشار بشكل صحيح إلى انحرافات طول نقاط الاتصال هذه، كما وضّح كيفية صنع مرآة بؤرية مكافئة، وحدد طولها البؤري بشكل صحيح إلى ربع المعلم (الوسيط).

اشتهر بيكون بفضل إسهاماته في مجال البصريات، وكذلك من خلال مسلماته عن نظرية العلم. فقد دعا إلى منهج تدريجي في العلم، ينطلق من السهل إلى الصعب، وهو الطريق في تقديم العرض في الدراسات، التي تؤدي إلى مسار التفكير القاطع وإلى التحقق من التجربة. كما طالب بالاعتراف بالعلم التجريبي باعتباره سيد العلوم التأملية والقابلة للملاحظة، داعيًا إلى جعل العلوم مفيدة للحياة العملية. ومثل هذا العلم، كما توقع بيكون، يمكن أن ينجح في اختراع الأجهزة، التي نسميها اليوم السيارات أو الطائرات أو الغواصات. من المفترض أن أفكار بيكون عن نظرية العلم، كانت مستوحاة من أطروحة كتبها بيير دي ماريكورت (Pierre de Maricourt)، والتي تناول فيها تجاربه في المغناطيسية وتطوّر البوصلة التي كانت مستخدمة، في تلك المرحلة.

إن تأسيس الجامعات، الذي تزامن مع بداية المدرسة العليا، يشهد أيضًا على الميل الجديد نحو البحث العلمي الفردي. وقد كانت الأشكال الأولى للجامعات عبارة عن مدارس فنية (متخصصة)، تهدف إلى إعداد الأفراد للمِهن التقنية،

ما يُعرف اليوم بالتقني السامي. وُجدت مدارس عليا للطب في ساليرنو (Salerno)، ومونبلييه (Montpellier)، ومدارس للدراسات القانونية في بولونيا (Bologna)، وبادوا (Padua)، وفلورنسا (Florence)، وأورليانز (Orléans). ومع توسّع نطاق الدراسة ليشمل تخصصات متنوعة، ظهرت مدارس عليا (جامعات) تضم كليات متعددة، وكانت مهمة الكلية الفنية هي تزويد الطلاب، ذوي الخلفيات التعليمية المختلفة جدًا والذين أتوا من دول مختلفة، بتكوين أساسي موحد في الفنون.

بعد اجتياز امتحان أول ينال الطالب "البكالوريا (baccalaureus)"، ثم يتقدم إلى امتحان آخر للحصول على "ماجستير في الآداب (magister artium) أو أستاذ في الفنون"؛ وبعد هذه المرحلة، كامتحان نهائي، يُسمح للطالب بالتفرغ للدراسات المتخصصة الفعلية في الكليات الأخرى لإكمال دراسته كـ "دكتور (doctor)". وقد ارتبطت درجة الماجستير بالحق، وأحيانًا أيضًا بالواجب، في التدريس في الكلية الفنية، بينما كانت "درجة دكتور (Dorktorgrad)"، هي التي تمنح صاحبها الحق في التدريس في الكليات الأخرى غير الفنية. أما مصطلح "المراحل العامة (Studia Generalia)"، الذي استُخدم آنذاك للإشارة إلى هذا النمط الجديد من المؤسسات التعليمية، فقد كان يدلّ على أن الامتحانات التي تجرى فيها والدرجات التي تُمنح معترف بها على نطاق واسع في مختلف الأماكن. ولهذا السبب، أصبحت هذه الجامعات مراكز جذب للطلاب من جميع البلدان، وكانت اللغة المشتركة للتعليم فيها هي اللغة اللاتينية.

تم توحيد المعلمين والطلاب في هيئات معترف بها قانونيًا، وتمتعت هذه الهيئات بامتيازات متعددة. وقد أطلقت عليها تسميات "جامعة المعلمين (universitas magistrorum)" و"جامعة العلماء (universitas Scholarium)"، وهي التي منحت هذا النمط الجديد من المدارس اسمه الدائم: "الجامعة". تكونت الجامعات في العصور الوسطى من أربع كليات، وكانت الدراسة تبدأ في كلية الآداب، حيث يتلقّى الطلاب تكوينًا أساسيًا إلزاميًا، ثم ينتقلون إلى التخصصات الفعلية في كليات الطب والحقوق واللاهوت. ومع ذلك، لم تكن جميع الجامعات تضم هذه الكليات الثلاث؛ فقد كان غياب كلية اللاهوت أمرًا شائعًا، غم أن المرء قد يفترض أن وجودها كان ضروريًا في جامعة من العصور الوسطى. وبما أن هذه الجامعات نشأت أصلًا عن المدارس الفنية، فقد كانت الهيئة التدريسية في جامعات الجنوب تتكوّن في الغالب من علمانيين، بينما كان التدريس في جامعات الشمال يُسند عادة إلى رجال الدين.

في البداية، تم تشجيع دراسة المؤلفين اليونانيين بشكل خاص في الجامعات، ونتيجة لذلك، تطورت كلية الآداب والفنون، التي كانت تُدرَّس فيها لاحقًا التخصصات العلمية. ومع مرور الوقت، تطورت لتصبح كلية الفلسفة، ولكنها احتفظت بوظيفتها المتمثلة في تمهيد الدراسات الجامعية، مما أضفى على تعليم علوم الطبيعة طابعًا تمهيديًا لفترة طويلة. بالإضافة إلى ذلك، فإن أسلوب التعليم الذي كان يقتصر على المحاضرات والمناظرات، حيث كانت الكتب لا تزال تُنسخ يدويًا وتُعد ثمينة، قد أعاق تطور علوم الطبيعة من الناحية التجريبية. فقد كانت هذه الطريقة تركّز بالأساس على التفسير الرياضياتي للحقائق الفيزيائية. وفي ذلك السياق، بدأ الباحثون بتوضيح العلاقات بين الكميات (المقادير) المتغيرة من خلال تمثيلات رسومية، مما أدى إلى إدخال مفهوم "الدالة الرياضية".

ومع ذلك، فإن هذا التقدم لا يمكن أن يخفي حقيقة أن الانتعاش المؤقت الذي شهدته علوم الطبيعة في بداية الفترة المدرسية العليا سرعان ما تلاشى مرة أخرى. فبالرغم من تأسيس جامعات جديدة في مختلف أنحاء أوروبا في القرن الرابع عشر الميلادي، إلا أن القليل فقط يُعرف عن اكتشافات فيزيائية في تلك الفترة. إن تقرير الرئيس المؤسس لجامعة هايدلبرغ (Heidelberg) بتاريخ 24 مارس 1387 في ألمانيا، والذي بموجبه أُلقيت محاضرة في الفيزياء في اليوم الأول من التعليم، لا ينبغي أن يؤدي إلى استنتاجات خاطئة.

رابط الجزء الأول من المقال: https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n15/article15-2.pdf

شخصية العدد

الأستاذة مُوزَة الربَّان

رئيسة منظمة المجتمع العلمي العربي (الدوحة)

رئيسة مؤسسة الربّان للدراسات والبحوث (الدوحة)

ليس سرًا اليوم بأن وتيرة المعرفة تتسارع وأن تحديات التنمية تتعدّد، ومن ثمّ فهي تستدعي حضورا مكثفا لجميع الطاقات البشرية في كل البلدان. وفي هذا السباق، تظهر أسماء نسائية عربية تترك بصمتها في مجالات كثيرة، كان يُعتَقد أنها حكرٌ على الرجال أو أنها بعيدة عن اهتمام القيادات النسائية. ومن بين هذه الشخصيات تبرز الأستاذة القَطَرِيّة مُوزَة بنت محمد بن خالد الربَّان، بوصفها واحدة من النساء العربيات اللواتي جمعن بين التكوين الأكاديمي الرفيع والانخراط الفاعل في المؤسسات العلمية والمساهمة العملية في تجسيد رؤية عربية متميّزة للتنمية. ومن هذا الباب، تسهم الأستاذة موزة الربّان في مجالات العلوم الدقيقة والبحث العلمي وترقية اللغة العربية العلمية.

زاولت موزة الربّان دراستها في بلدها قَطَر، ونالت من جامعتها شهادة الدكتوراه في الفيزياء الذريّة، وهذا بعد أن تحصلت على الماجستير في فيزياء الجوامد. تولّت بعد ذلك التدريس بجامعة قطر، وترأست قسم الفيزياء. كما كانت عضوًا فاعلًا في المجالس الأكاديمية بالجامعة، وشاركت في تصميم المناهج العلمية لكل من الفيزياء التطبيقية والفيزياء الطبية، بالإضافة إلى برامج الماجستير في علوم هندسة المواد. ومن جهة أخرى، ساهمت في إثراء المكتبة العلمية العربية عبر تأليف ومراجعة ونشر العديد من المقالات المحكمة.

ومنذ بداية المشوار المهني، اتضح أن السيدة موزة تحمل طموحًا يتجاوز الإنجاز الشخصي. وما يؤكد ذلك أنها تولّت منذ مطلع 2010 منصب رئيسة منظمة المجتمع العلمي العربي (https://arsco.org)، تلك المنظمة العلمية التي تُعنى بتشجيع البحث باللغة العربية، وتعميم الثقافة العلمية على مستوى العالم العربي، وإعادة الاعتبار للعلم بوصفه أداة تنوير وتحوّل اجتماعي. وفي هذا السياق، تشرف الأستاذة موزة على المجلة العلمية المحكمة المجلة العربية للبحث العلمي التي تصدرها المنظمة، ورأت النور عام 2020.

نقرأ في صفحة المجلة أنها "ليست مجرد مجلة، ولكنها جزء من مشروع حضاري نهضوي للأمة. تسعى [المجلة] لجسر الهوّة بين الواقع الذي يُهمل فيه استخدام اللغة العربية في الكتابة العلمية الرصينة وبين مستقبل مشرق يتمكن

فيه الباحث العربي من أن يكتب ويقرأ ويفكر ويتعلم ويُعلِّم بلغته الوطنية كما ينبغي. كما تسعى لرفع مستوى الكتابة العلمية شكلا ومضمونًا". واللافت في موقع المنظمة أيضا وجود صفحة "نبراس" (https://www.arsco-nbras.net) التي تمثّل المكتبة الالكترونية وتعرض كتبا وأوراقا بحثية ودراسات، علمًا أن كل ما فيها متاح للجمهور الذي يقرأ بالعربية، وهذا دعما للغة العلمية العربية، ولنشر الوعي والثقافة العلمية في المجتمع العربي.

وقد أظهرت الأستاذة موزة عناية خاصة بالتحرير الأكاديمي العلمي، وحرصا على إرساء معايير جودة عالية في النشر البحثي باللغة العربي، اللغة الوحيدة التي تنشر بها المجلة العربية للبحث العلمي التي أدرجت بفهارس سكوبس (Scopus) ودليل دوريات الوصول الحرّ (DOAJ) . وتعدّ الأستاذة موزة من الأصوات القليلة التي نادت وتنادي، من موقعها الأكاديمي والإداري، بضرورة تمكين البحث العلمي باللغة العربية، وربطه بالاحتياجات الحقيقية للمجتمع. ومن خلال دورها القيادي في منظمة المجتمع العلمي العربي، استطاعت أن توفر منبرًا مهمًا للباحثين العرب، وأن تروّج للنشر العلمي باللغة العربية، وهي من الأصوات التي أكدت مرارًا على أن النهضة لا تقوم إلا إذا كانت لغتها العلمية هي نفسها لغة الأمة.

ساهمت الأستادة موزة في دعم البحوث التطبيقية، لا سيما تلك التي تهدف إلى تحقيق الأمن الغذائي والتنموي في بلدان المنطقة، وشاركت في إعداد وتصميم برامج ومشاريع متعددة برعاية جهات عربية وإسلامية. ومن بين هذه المبادرات: برنامج الأمن الغذائي القطري؛ مشاريع استراتيجية بالشراكة مع البنك الإسلامي للتنمية، خاصة في فلسطين واليمن والسودان والصومال؛ تأسيس جمعية علمية زراعية في حضرموت (اليمن)؛ تطوير منظومة الغذاء والبحث العلمي الزراعي. كما شاركت في تنظيم مؤتمرات ومنتديات علمية مهمّة في عديد دول المنطقة.

ونظرًا لإسهاماتها المتميزة، نالت الأستاذة موزة عام 2019 جائزة المؤسسة العربية للعلوم والتكنولوجيا غير الحكومية تقديرًا لدورها البارز في دعم العلم وخدمة المجتمع. وفي هذا السياق، نشير إلى أن الأستاذة موزة ناشطة في دعم القضايا الإنسانية والعلمية في ظروف الأزمات والحروب. فقد انخرطت في مبادرات إنسانية لتمويل العلماء في مثل تلك ظروف الصعبة، وفي مبادرات تُعنى ببناء شبكات الدعم العلمي للباحثين في المناطق المتأثرة بالنزاعات والكوارث. واللافت في شخصية الأستاذة موزة هو ذلك الجمع المتناغم بين الانتماء الوطني القَطَرِي، والرؤية العربية الإسلامية الشاملة.

الأستاذة موزة الربّان نموذج للمرأة العربية المسؤولة التي لم تستسلم لمغريات المناصب الشكلية بل سخّرت حضورها للمساهمة في بناء مستقبل عربي قائم على العلم والكفاءة والسيادة في مجال المعرفة. نتمنى لها كلّ النجاح.

10 أسئلة تجيب عنها الأستاذة مُوزَة الربّان

رئيسة منظمة المجتمع العلمي العربي (الدوحة)

رئيسة مؤسسة الربّان للدراسات والبحوث (الدوحة)

السؤال 1. أنتم تشرفون على هيئتين علميتين، يبدو أن لهما أهدافا مشتركة وأهدافا أخرى متكاملة. فهل لكم أن توضحوا تاريخ وأهداف كل من هاتين المؤسستين. ومن كان من وراء إنشائهما؟

الجواب:

نعم هذا صحيح، منظمة المجتمع العلمي العربي هي منظمة غير ربحية تركز أهدافها ونشاطاتها على توطين العلم في وطننا العربي، وهي مسجلة رسمياً في بريطانيا منذ العام 2010. وقد تأسست برؤية من مجموعة من الأساتذة الفضلاء منهم بالإضافة إليّ، الأستاذ رشدي راشد، والأستاذ أنطوان زحلان وآخرون.

أما مؤسسة الربّان للدراسات والبحوث فهي مؤسسة وقفية خاصة، وأنا المؤسس لها؛ وهي مسجلة رسمياً في دولة قطر، مجالها هو العلم النافع، أي انتاج ودعم العلم وتطبيقاته، وخاصة ما ينفع الناس والمجتمع، وتأليف وترجمة ونشر الكتب التي تتوافق مع رؤيتها. ومن أبرز ما قامت، وتقوم به، هو رعاية منظمة المجتمع العلمي العربي مع كل أنشطتها.

" المجلة العربية للبحث العلمي (اجسر) كانت وماتزال تحدياً حقيقياً".

السؤال 2. من المنجزات اللافتة لمنظمة المجتمع العلمي العربي إصدار المجلة العلمية للبحث العلمي التي تنشر البحوث الأصيلة باللغة العربية دون غيرها. وقد قطعت شوطا جعلها تُصنّف في قاعدة بيانات "سكوبس" كمثيلاتها من المجلات الأكاديمية التي تنشر باللغات الأخرى. ما هي الصعوبات التي واجهتكم لتحقيق هذا المكسب... وربما لازالت تواجهكم للتقدم بسرعة أكبر؟

الجواب:

نعم، المجلة العربية للبحث العلمي (اجسر)، كانت وماتزال تحدياً حقيقياً، فكما تعلمون، يميل معظم الباحثين العرب لنشر بحوثهم في مجلات مصنفة عالمياً وبلغات أجنبية. ونحن نقدر ذلك بسبب شروط الترقية في جامعاتنا (العربية)، والمنظمة قامت على رؤية توطين العلم وأن لا توطين ونهضة علمية حقيقية إلا عندما يمارس العلم بلغة أهله، تعليما وتعلما وتطبيقا. وهذا بالإضافة إلى هدف دعم وتشجيع استخدام اللغة العلمية العربية وتوليد المصطلحات العلمية وتوثيقها.

كل ذلك وأكثر من الأهداف والمبادئ التي دفعتنا بتوفيق الله، إلى قبول التحدي والمضي في تحقيق أحد أهم إنجازات منظمة المجتمع العلمي العربي. وقد صُنّفت المجلة في العديد من المنصات العالمية بلغتها العربية وهي ملتزمة بالقيم العلمية والفنية لهذه المنصات، ومنها قاعدة بيانات "سكوبس". لقد كان لدينا إصرار على أن لا يُنشر في المجلة إلا الأوراق العلمية عالية الجودة والتي تليق بلغتنا العربية، ومن خلال نظام صارم للمراجعة والتحكيم للمادة العلمية وطريقة الكتابة والإخراج الفني الذي ينافس أي مجلة عالمية عالية المستوى. ذلك كان سبب قبولها وإدراجها في تلك المنصات العالمية المذكورة. نشير في الأخير إلى أن المجلة شاملة لعدد من التخصصات العلمية، وابتداءً من عددها القادم سيكون فيها قسم خاص بتاريخ وفلسفة العلوم العربية بإذن الله.

"منظمة المجتمع العلمي العربي منظمة غيرربحية تركز أهدافها ونشاطاتها على توطين العلم في وطننا العربي".

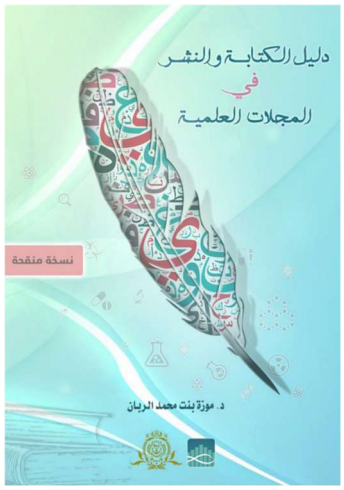
السؤال 3. ما هي منجزات مؤسسة الربّان للدراسات والبحوث؟ وما هي خطتها وطموحاتها؟

الجواب:

أهم منجزات مؤسسة الربّان هي رعاية منظمة المجتمع العلمي العربي بكل إنجازاتها ونشاطاتها، منذ تأسيسها حتى اليوم. كما قامت المؤسسة أيضاً بدعم وتمويل بعض المشاريع العلمية في الدول العربية وبترجمة وتأليف ونشر العديد من الكتب. ومن أهم مشاريعها الحالية، ترجمة ونشر الموسوعة الإيطالية لتاريخ العلوم العربية الإسلامية، لما لها من قيمة علمية متميزة على ما يشبهها.

فالفريق الذي قام بتأليفها وتحريرها هم من الأساتذة الأكفاء المشهود لهم، والناشر المتخصص أيضا، ثم إخراجها بشكل رائع ومتميز وراقٍ. ومن مميّزات هذه الموسوعة المنهج الذي سارت عليه تحت إشراف الأستاذ الكبير رشدي راشد بنسق يبين أهمية مكانة العلوم العربية في تطور العلوم والحضارة الإنسانية، وهي تدحض ادعاءات من يقولون أن دور العرب كان منحصرا في الحفظ والترجمة فقط. وهذه الرؤية هي مما تسعى إليه المنظمة وتتبناه في تصحيح التاريخ لأجيالنا ليعرفوا تاريخهم ويعتزوا به، وللعالم أجمع لكي يعرف دور الحضارة العربية الإسلامية في تطور الحضارة والمعارف الإنسانية.

هناك أيضا كتب أخرى ترجمتها المؤسسة ونشرتها في تاريخ العلوم: كتاب محادثة مع رشدي راشد، وآخر هو عن رشدي راشد ومشروعه العلمي. وثمّة كتاب قيد الترجمة حول الرياضيات في الهند الإسلامية خلال القرن السابع عشر. كما نشرت المؤسسة كتابين للأستاذ عبد الرؤوف المناعمة من غزة ومن تحت النار، عن الأمراض المعدية أثناء الحروب والكوارث، وعن الحملات الصحية للتوعية أيضا أثناء الحروب والكوارث. وفضلا عن ذلك فللمؤسسة خطط لإصدار عدد من الكتب والموسوعات في موضوعات مختلفة.



"قامت المؤسسة بدعم وتمويل بعض المشاريع العلمية في الدول العربية وبترجمة وتأليف ونشر العديد من الكتب".

السؤال 4: بوصفكم كنتم شغلتم منصب رئيسة قسم الفيزياء في جامعة قطر، ومارستم تدريس العلوم الفيزيائية، وشاركتم في وضع عدد من المناهج الدراسية في جامعتكم، وتتابعون مجريات التعليم في العالم العربي، ما رأيكم في لغة تدريس المواد العلمية في الجامعات العربية والردّة التي أصابت لغة الضاد في كثير من جامعاتنا؟ هل ترون أن هناك أملا في تمكين اللغة العربية في مجال تدريس العلوم؟

الجواب:

الأمل دائما موجود بإذن الله. وهذه الأمة لا تخلو من أصحاب الفكر والمبادئ. التعليم باللغة الأم ضرورة، ويشهد على ذلك سلوك جميع الأمم في الماضي والحاضر. وقد كان ذلك معتمدا في العديد من الدول العربية إلى وقت ليس ببعيد. ولكن في رأيي، أن الهجمة الثقافية والتقنية الغربية في الأربعين سنة الأخيرة، وربما بضغوط خارجية، وتولي المناصب ومتخذي القرارات في شؤون التعليم أناس لا يملكون رؤية علمية ولا نهضوية ولا وعي ولا ثقافة حقيقية. هم منبهرون بالآخر وليس لديهم اعتزاز بالذات ولا علم لهم بالتاريخ ولا حركة المجتمعات،

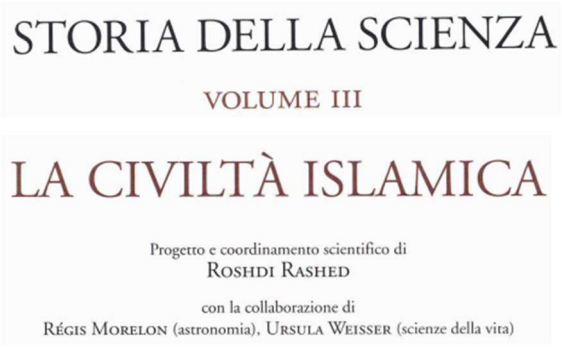
أدّى ذلك إلى تحويل التعليم من العربية إلى لغات أجنبية، ليس فقط في الجامعات بل حتى في المدارس ورياض الأطفال، والذي اعتبره شخصياً جريمة بحق هذه الأجيال والأوطان والأمة. فقد نشأ عن ذلك جيل لا يجيد التحدث أو القراءة بالعربية، ناهيك عن انتمائه إلى هويته العربية الإسلامية ومعتقداته. وربما هذه المخرجات بيّنت للناس وللقيادات خطأ هذا المنحى.

ولكنني متفائلة مع ظهور مفكرين وباحثين من ذوي المبادئ يكتبون ويتحدثون وينشرون آراءهم في وسائل الإعلام المختلفة والتقنيات الحديثة. وقد يكون هذا من حسنات تلك المنابر، ويقرعون أجراس الإنذار. لقد قامت منظمة المجتمع العلمي العربي على هذه الرؤية وتلك المبادئ، وهي تعمل عليها أيضا وتسير في هذا الركب المبارك بعون الله. الحمد لله، بدأت العديد من الدول والمؤسسات بالدعوات للاهتمام باللغة العربية وإعادة الاعتبار لها في التعليم وغيره، وكما يقال، لا يصح إلا الصحيح.

السؤال 5. **هل تتعاونون في إطار منظمتكم مع منظمات عربية أخرى، مثل المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم بتونس أو مكتب تنسيق التعريب بالرباط لدعم استخدام اللغة العربية في المجالات العلمية؟**

الجواب:

نعم، لدينا تعاون مع المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، ومن خلالها مع العديد من المؤسسات العربية التي تعمل في مجال التعريب. وقد سبق أن نظمنا معهم ملتقى حول المصطلحات العلمية العربية.



الموسوعة الإيطالية التي هي قيد الترجمة إلى العربية في منظمة المجتمع العلمي العربي.

السؤال 6. **ما يلاحظه القارئ العربي هو النقص الكبير-رغم بعض الجهود هنا وهناك- في نشر الثقافة العلمية باللغة العربية عبر المجلات والكتب من قبل المختصين وفي دعم هذا التوجه. ذلك ما ترك المجال واسعا للهواة لنشر من خلال وسائل الاعلام المختلفة أخبار علمية سيئة التقديم أو مبالغ فيها أو مزيّفة. فهل فكرت منظمتكم في هذا الموضوع؟**

الجواب:

بكل تأكيد، فمن أهم أهداف المنظمة ونشاطها هو نشر الثقافة العلمية. إن النشر العلمي بلغة المجتمع العربي وبيد مختصين هو أساس نشر الثقافة العلمية. فالأخبار والمقالات العلمية متوفرة وبكثرة بلغات العالم أجمع، لكن المجتمع العربي لا يجني ثمارها إلا إذا صيغت باللغة العربية. فالنشر –كما هو معلوم– لا يقتصر على التأليف فقط، بل يشمل كل وسيلة يمكن أن تسهم في إيصال تلك الثقافة ونشرها بين الناس.

وتقوم المنظمة بذلك عبر أنشطة متعددة، من بينها نشر مقالات علمية مبسطة موجهة لغير المختصين، مع الحرص على إرفاقها بالمصادر والمراجع التي تمكّن الراغبين – وخاصة المتخصصين – من التوسع والاطلاع. كما تعمل على ترسيخ ثقافة الاستناد إلى المراجع في كل خبر علمي، وتعزيز قيم الأمانة العلمية وحفظ الحقوق، وذلك عبر موقعها الرسمي.

كما تنشر المنظمة دراسات علمية واحصائيات وبحوث وكتب تزيد من وعي القارئ العربي بالأمور المتعلقة بالعلم وبلغة مبسطة أيضا يستطيع غير المتخصص فهم معظمها واستيعاب الفكرة، وذلك من خلال موقع "نبراس"، التابع للمنظمة.

ومن جهة أخرى، تدير المنظمة ندوات علمية افتراضية مع شخصيات علمية عربية. يتحدث الضيف فيها عن مسيرته العلمية ومشاريعه وإنجازاته، وكل ذلك بلغة عربية واضحة. من خلال هذه الندوات يتم تسليط الضوء على عالم

الأكاديميين العرب الذي غالبا ما يكون مجهولا من قبل المجتمع. فهذه الندوات تجسر الهوة بين المجتمع العلمي والمجتمع الكبير وتزيد من الوعي العلمي والثقافة العلمية... وأخيراً وليس آخراً، فإن مجلة "أجسر " تسير في نفس الاتجاه بما تنشره باللغة العربية.

أضف إلى ذلك منصّات المنظمة في وسائل التواصل الاجتماعي، لها حضور قوي وأثر واضح في توصيل المعلومات.

"هذه الأمة لا تخلو من أصحاب الفكر والمبادئ. التعليم باللغة الأم ضرورة".

وقد ذكرت في سؤلك موضوع الأخبار والمعلومات غير الصحيحة، وهي ظاهرة منتشرة للأسف، وعلاجها والحدّ منها يتطلب جهودا مستمرة؛ أولها نشر التفكير العلمي والمنطقي بحيث يستطيع المتلقي التمييز بين المعقول وغير المعقول، والشك حتى التثبت وطلب الدليل، "قل هاتوا برهانكم إن كنتم صادقين". وهذا التفكير العلمي ينبغي أن يكون أساس التعليم من مراحله الأولى إلى العليا، ويدعمه الإعلام بكل أنواعه ووسائله.

كما أن زيادة عدد المنصّات الموثوقة التي تنشر المعلومات الصحيحة وبأساليب يفهمها الناس ببساطة، وزيادة دور المجتمع العلمي من الباحثين والأطباء وغيرهم من خلال التحدث وتوصيل المعلومات الصحيحة وتفنيد الخرافات. فهذا واجب أخلاقي يقع على هذا المجتمع العلمي. والمنظمة تحاول دعوة وتوعية أفراد ومؤسسات المجتمع العلمي بواجبه تجاه المجتمع ودعوتهم وإتاحة الفرصة لهم في تبيان الحقيقة العلمية وتفنيد الخرافة.

السؤال 7. في نفس السياق، لحد الآن لا يوجود موقع إلكتروني عربي متكامل -تشرف عليه هيئة ناضجة وذات مصداقية، مثل هيئتكم- يوفر المصطلح العلمي باللغة العربية وما يقابله بلغات أخرى مع متابعة الجديد في المصطلح وعرضه في الموقع بشكل مستمر... ويكون متاحا لجميع الراغبين (من كتّاب ومترجمين وطلاب وأساتذة...) في طلب مصطلح من المصطلحات. يحدث هذا في الوقت الذي نجد فيه الكثير من الهيئات العربية والمو اقع الإلكترونية تُعنى بالشعروالمعاجم التاريخية والأدبية حتى بلغنا درجة التشبع والاجترار. ألا ترون أنه أمر مؤسف... بل مهين للغة العربية العلمية؟

الجواب:

هناك جهود كبيرة ومعتبرة تقوم بها المؤسسات العربية التي تعمل في مجال التعريب، ولكنها كباقي موسساتنا العربية، ليس بينها تنسيق ولا تعاون بما يكفي. والأدهى أن إنتاجها يبقى فيها ولا يطبق ولا يستفاد منه. نتمنى أن تنضوي كل هذه المؤسسات تحت مظلة واحدة، تنظم وتنسق هذه الجهود لتتكامل. وكذلك فإن من الأهمية بمكان، تطبيق التقنيات الحديثة والذكاء الاصطناعي في طريقة نشر هذه النتائج وكيفية الاستفادة منها، وأن تتاح بشكل كامل للمتصفح والباحث العربي. ليس هذا فحسب بل يجب أن يكون بين هذه المظلة للمؤسسات اللغوية والجامعات والمدارس تعاون وثيق لتطبيق ما يتم اعتماده من مصطلحات فيها، واعتماد ما يتم استخدامه في هذه المؤسسات من مصطلحات وتعريبه.

نعم، يجب أن تكون هناك منصة وموقع الكتروني تفاعلي لهذه المظلة يخدم الجمهور ويوفر احتياجاته. ولما كانت معظم هذه المؤسسات، إن لم يكن كلها، مؤسسات رسمية حكومية أو تابعة لجامعة الدول العربية، فإن هذه المظلة

ومنصتها الالكترونية يجب أن تكون رسمية وحكومية أيضا، ويجب أن يتم تأسيسها بناء على قرار من أعلى المستويات لأنها ببساطة لن تستجيب ولن تتعاون مع أي مؤسسة خاصة. وقد طُرحت هذه الرؤية في المنتدى الذي ذكرته لك حول المصطلحات العلمية تحت مظلة الألكسو والذي شارك فيه العديد من هذه المؤسسات من مختلف الدول العربية، ولكن المتابعة والتنفيذ شيء آخر.

"هناك جهود كبيرة ومعتبرة تقوم بها المؤسسات العربية التي تعمل في مجال التعريب، ولكنها -كباقي موسساتنا العربية- ليس بينها تنسيق ولا تعاون بما يكفي'.

السؤال 8. في منظمكم (منظمة المجتمع العلمي العربي) أسستم جائزة تشجيعية للباحثين العرب. هل ترون أن هذا النوع من الجوائز يدعم حقا التقدم العلمي في البلاد العربية؟

الجواب:

كما ذكرت لك، فإن الهدف العريض للمنظمة هو توطين العلم في بلداننا العربية، ومن ذلك تشجيع توجيه البحوث التطبيقية نحو خدمة المجتمع وحل المشاكل التقنية والبيئية والصناعية والزراعية وغيرها داخل الدول العربية، بالإضافة إلى شرط الكتابة والتقديم باللغة العربية. ومن جهة أخرى، فإنه عند إطلاق جائزة في مجال معينّ يرسل إلينا المتخصصون في هذا المجال، وبالتالي نتعرف على المتميزين منهم، ونضيفهم إلى قواعد بياناتنا. وهذا يتيح لنا إمكانية التشبيك بينهم من أجل تحقيق أحد أهداف المنظمة، وهو تشجيع تكوين الشبكات العلمية المتخصصة، خاصة من خلال الندوة العلمية المتخصصة والمصاحبة لحفل تسليم الجائزة.

هذا بالنسبة لأهداف المنظمة، أما سؤالك هل تدعم هذه الجوائز حقا التقدم العلمي في البلاد العربية، فلا أظن أنها تدعم التقدم العلمي بشكل واضح، ولكن يمكننا القول إن مثل هذه الجوائز تُظهر تقدير مجتمعاتنا للعلوم والبحث العلمي وتشجع الباحثين، خاصة أن الدول العربية تفتقر إلى الجمعيات والأكاديميات العلمية إلا ما ندر.

السؤال 9. كانت لكم مشاركات عديدة في دعم بحوث تطبيقية في عدة بلدان عربية. هل أنتم راضون عموما عن مستوى التعاون مع الجهات التي اشتركت معكم في هذه المشاريع؟

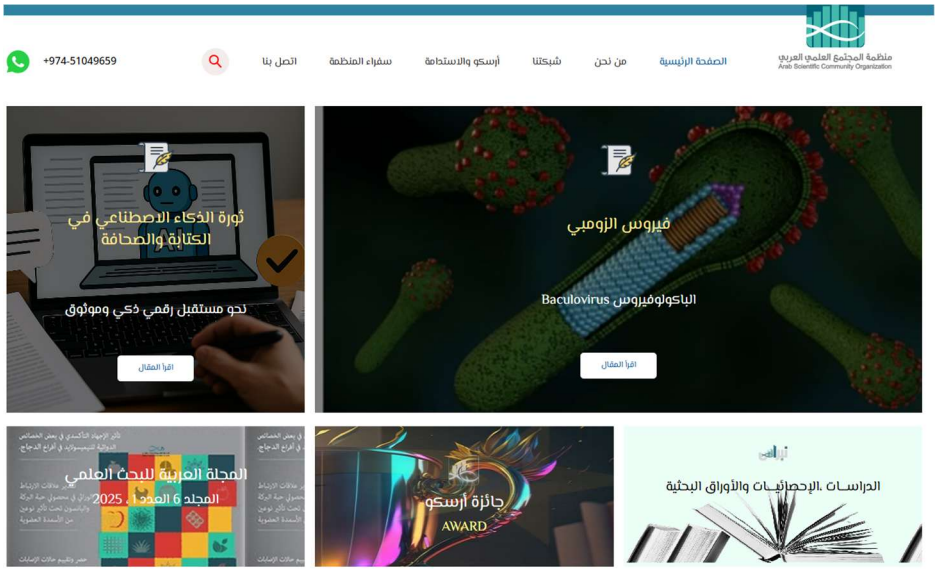
الجواب:

هذا جانب مهم جداً من أنشطة المنظمة يحقق أهدافها بصورة عملية وعلى أرض الواقع، وقد لا يعلمه الكثيرون. بنينا عدة مشاريع في قطر وفي الصومال وفي اليمن، تجمعها فكرة مبتكرة لربط الجامعات بالمجتمع، وتحقيق توطين العلم

والاعتماد على الذات والبناء على الموجود، ونبذ التبعية العلمية والاقتصادية والتحرر منها، وتحقيق الأمن الغذائي والمائي والاجتماعي والصحي، وطبعا الاقتصادي. كما تهدف هذه المشاريع إلى رفع مستوى البحث العلمي وتميزه في هذه الجامعات والحفاظ على ثرواتنا البشرية العلمية، وغير ذلك كثير...

لقد بذلنا فيها جهوداً جبارة، وسعينا بكل ما نستطيع لتحقيقها، ولكن الأوضاع في دولنا العربية أكثر تعقيداً مما كنا نظن. ولعل الله يهيأ الوقت والمكان المناسب لتنفيذها ويختار لها من يقوم عليها.

بالنسبة لي، فقد بذلت كل ما أستطيع في سبيل تحقيقها، وعزمت –راجيةً من الله العون والسداد– على كتابتها وبيان فلسفتها في مؤلَّفٍ لعلّ الله يهيئ له من يتبناها وينفذها ممن أنعم الله عليه بالقدرة والنفوذ لتحقيقها، سائلةً المولى صفاء النية وقبول العمل.



السؤال 10. لكم الكلمة الأخيرة... مع شكرنا لكم على إتاحة هذه الفرصة لمجلة بشائر العلوم التي ستفيد بها قراءها.

الجواب:

وأنا أشكركم بأن أتحتم لي هذه الفرصة وإجراء المقابلة مع مجلتكم المرموقة.

أما كلمتي الأخيرة، فأوجهها أولا للحكومات العربية، فنحن أمة ولا شك مستهدفة، وهي تملك من الثروات والقدرات الشيء الكثير، وأهمها هي ثروتنا البشرية الشابة والمتميزة. فحافظوا عليهم. التربية والأخلاق العربية والإسلامية التي تقوم على المبادئ والقيم والأنفة والانتماء، التعليم المتميز النوعي. والاستفادة من علمائنا في الخارج فهم ثروة لا تقدّر بثمن. التعاون والتكامل بين المؤسسات العلمية العربية ووضع خطط استراتيجية للسياسة العلمية. كما ينبغي اعتماد اقتصاد الإنتاج بدلا عن الاستهلاك والخضوع لقرارات الدول المستفيدة، ممثلة في بنكها الدولي، واعتماد الإنتاج الغذائي والصناعي والتقني، والإنتاج الذي يحقق الاكتفاء الذاتي ويحرر الدول من التبعية، ويوفر فرص العمل للشباب المتعلم ويزيد انتاجيته.

"ساهموا في نشر الوعي في المجتمع، وساهموا في توصيل ونشر العلم والمعرفة. ادعموا لغتكم العربية العلمية في منشوراتكم ومحاضراتكم وبين طلابكم".

وثانياً، أوجه كلمة للمجتمع العلمي العربي أفراداً ومؤسسات، اعرفوا من أنتم، وما هو دوركم، وما هو واجبكم تجاه مجتمعاتكم ودولكم؟ أخرجوا من داخل أنفسكم وأهدافكم الشخصية الضيقة إلى واجباتكم الأخلاقية. التزموا بالدقة والأمانة والاتقان في كل أعمالكم ونتائجكم العلمية وتطبيقاتها في مجالات عملكم، سواء في مخابركم أو عياداتكم الطبية أو مشاريعكم الهندسية أو في أي مجال آخر. ساهموا في نشر الوعي في المجتمع وساهموا في توصيل ونشر العلم والمعرفة. ادعموا لغتكم العربية العلمية في منشوراتكم ومحاضراتكم وبين طلابكم...

هذا، والله نسأل أن يهدينا ويردنا إليه، ويكون عملنا صالحاً وعلمنا نافعا.. آمين.

من إصدارات منظمة المجتمع العلمي العربي.

عرض الكتاب

عرض كتاب

فلسفة العلم: مقدمة قصيرة جدًا

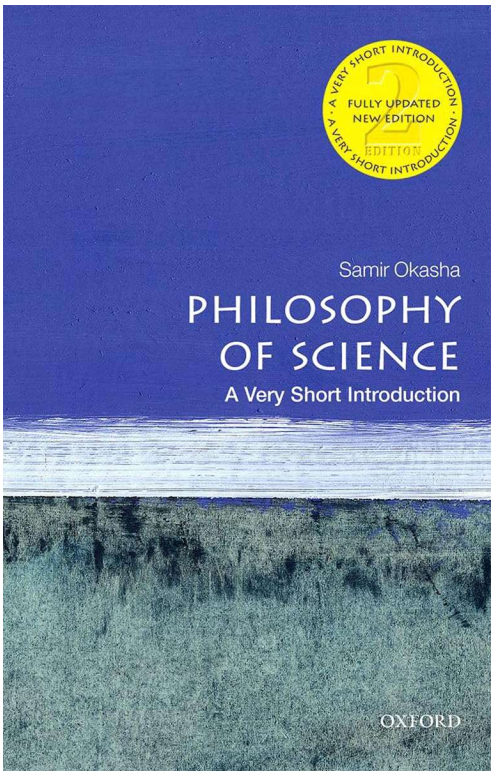
Philosophy of Science : A Very Short Introduction

تأليف: سمير عكاشة Samir Okasha

عرض: ليلى زيتوني

أستاذة بقسم الرياضيات، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

leila.zitouni@g.ens-kouba.dz



غلاف الطبعة الثانية من كتاب "فلسفة العلم: مقدمة قصيرة جدا" (2016)

مقدمة

منذ عام 1995، تُصدر دار نشر جامعة أكسفورد (Oxford University Press) سلسلة كتب بعنوان "مقدمة قصيرة جدًا". تُقدّم هذه الكتب مداخل موجزة وأصيلة إلى طيف واسع من المواضيع. ويعمل مؤلفوها –وهم من الخبراء المتخصصين– على تبسيط المفاهيم المعقدة وجعلها في متناول جمهور واسع من القراء. وقد بلغ عدد العناوين المنشورة ضمنها، حتى جوان 2025، 750 عنوانًا، تُرجم العديد منها إلى لغات أخرى.

وفي إطار هذه السلسلة، صدر عام 2002 كتاب "فلسفة العلم: مقدمة قصيرة جدًا"، وتلته طبعة ثانية عام 2016. ومؤلف الكتاب هو الفيلسوف البريطاني (من أصول مصرية) سمير عكاشة، أستاذ فلسفة العلم بجامعة بريستول. له العديد من المؤلفات في فلسفة العلم، وتحديدًا فلسفة علم الأحياء، من أبرزها: "فلسفة علم الأحياء: مقدمة قصيرة جدًا"

(2019)، و"التطور ومستويات الانتخاب" (2006)، الذي نال عنه جائزة لاكاتوش[1] (Lakatos Award) لعام 2009. كما حصل عكاشة على زمالة الأكاديمية البريطانية (Fellow of the British Academy) عام 2018.

يستعرض المؤلف في هذا الكتاب نظرة عامة على أبرز موضوعات فلسفة العلم المعاصرة. يبدأ بعرض موجز لتاريخ العلم، ثم ينتقل إلى مناقشة طبيعة التفكير العلمي، والتفسير العلمي، والثورات العلمية، وهذا إلى جانب نظريات مثل الواقعية واللّاواقعية. كما يتناول قضايا فلسفية خاصة ببعض العلوم، مثل مشكلة التصنيف في علم الأحياء، وطبيعة الزمان والمكان في الفيزياء. أما في الفصل الأخير، فيناقش مسألة العلم والدين، ويتساءل فيه عمّا إذا كان العلم خيرًا محضًا.

1. ما هو العلم؟

"ما هو العلم؟" سؤالٌ فلسفيٌ، ومِثل غيره من الأسئلة الفلسفية، هو أكثر تعقيدًا مما قد يبدو عليه في الوهلة الأولى. لكن لماذا يكون في الأصل البحث في تعريف العلم ضمن اهتمامات الفلاسفة، بدلًا من أن يكون من اهتمامات العلماء أنفسهم؟

تُعدّ "فلسفة العلم" أحد فروع الفلسفة، وتهتم أساسًا بتحليل مناهج البحث المستخدَمة في العلوم. ومن مهام فلاسفة العلم التشكيك في الافتراضات التي يعتبرها العلماء بديهية. تاريخيًا، كان للعلماء دور أساسي في تطور فلسفة العلم، ويُعدّ ديكارت (Descartes) ونيوتن (Newton) وآينشتاين (Einstein) أمثلة بارزة على ذلك؛ إذ كان لكل منهم اهتمام عميق بأسئلة تتعلق بالعلم، وبماهية مناهج البحث التي ينبغي استخدامها، وبما إذا كانت هناك حدود للمعرفة العلمية. لكن في ظل توسّع العلوم وتشعب التخصصات، ونتيجة للفجوة المتزايدة بين العلوم الطبيعية والعلوم الإنسانية التي تميّز التعليم حاليًا، لم يعد كثير من العلماء يُبدون اهتمامًا كبيرًا بفلسفة العلم، بل إن بعضهم لا يعرف عنها إلا القليل.

وبالعودة إلى سؤال "ما هو العلم؟"، يمكن أن نجيب، مثلًا، بأن العلم هو محاولة لفهم العالَم الذي نعيش فيه وتفسيره والتنبؤ به. ويرى كثيرون أن السمات المميزة للعلم تكمن في الأساليب الخاصة التي يستخدمها العلماء لدراسة العالَم، وأبرز مثال على ذلك هو استخدام التجارب، الذي شكّل نقطة تحوّل تاريخية في تطور العلم. ومع ذلك، ليست كل العلوم تجريبيةً. ومن السمات المهمة الأخرى للعلم بناءُ النظريات؛ فالعلماء لا يكتفون بتسجيل نتائج التجارب والملاحظات، بل يسعون عادةً إلى تفسيرها من خلال نظرية عامة.

يُعدّ كارل بوبر (Karl Popper) مِن أبرز فلاسفة القرن العشرين الذين حاولوا الإجابة عن السؤال التالي: "ما الذي يمكن اعتباره علمًا؟". لقد اعتقد بوبر أن السمة الأساسية للنظرية العلمية هي قابليتها للتكذيب (falsifiability)، بمعنى أنها تقدّم تنبؤات محددة يمكن اختبارها. ورأى أن بعض النظريات التي يُزعم أنها علمية لا تستوفي هذا الشرط، ولذلك فهي لا تستحق أن تُعتبر علمًا على الإطلاق، بل هي مجرد علم زائف (pseudoscience). وكانت نظرية التحليل النفسي لفرويد (Freud) أحد أبرز الأمثلة التي استشهد بها كارل بوبر على العلم الزائف.

محاولة بوبر للتمييز بين العلم والعلم الزائف تبدو معقولة. ومع ذلك، يرى العديد من الفلاسفة أن معيار بوبر مفرط في التبسيط. مِن الانتقادات التي وجّهها بوبر للفرويديين تجاهلهم أيّ بيانات تتعارض مع نظرياتهم، بدلًا من الاعتراف بأنها قد دُحضت. ويبدو هذا بالفعل إجراءً مشكوكًا فيه. لكن هناك أدلة تشير إلى أن هذا الأسلوب ذاته معتمد بين العلماء "المحترمين". ومِن الأمثلة التاريخية التي توضح ذلك قصة اكتشاف كوكب نبتون. قدّمت نظرية الجاذبية لنيوتن تنبؤات حول المسارات التي ينبغي أن تتبعها الكواكب أثناء دورانها حول الشمس. وعمومًا، كانت هذه التنبؤات متوافقة مع المشاهدات. مع ذلك، لم يكن المدار المرصود لكوكب أورانوس متطابقًا تمامًا مع ما تنبأت به نظرية نيوتن. لتفسير هذا

[1] هي جائزة تُقدم سنويًا تقديرًا لمساهمة بارزة في فلسفة العلم. تُمنح هذه الجائزة تكريمًا للفيلسوف المجري البارز في فلسفة العلم والرياضيات إيمري لاكاتوش (Imre Lakatos).

التعارض، اقترح عالمان، بشكل مستقل، وجود كوكب غير مكتشَف بعد، يمارس قوة جاذبية إضافية على أورانوس. وتمكّن كل منهما من حساب كتلة هذا الكوكب وموقعه، استنادًا إلى الفرضية القائلة بأن جاذبيته كانت مسؤولة عن السلوك الغريب لأورانوس. وبعد فترة وجيزة، تم اكتشاف كوكب نبتون في الموقع المتنبّأ به.

عمومًا، لا يتخلّى العلماء عن نظرياتهم بمجرد أن تتعارض مع البيانات التجريبية، بل يسعون إلى إيجاد طرق لتفسير هذا التعارض دون الحاجة إلى التخلي عن النظرية. لكن إذا استمرت نظرية ما في التناقض مع عدد متزايد من البيانات، ولم يتم العثور على تفسير مقنع لهذا التعارض، فسيكون من الضروري في النهاية التخلي عنها.

2. الاستدلال العلمي والتفسير في العلم

1.2. الاستدلال الاستقرائي

يميز علماء المنطق تمييزًا واضحًا بين نوعين من الاستدلال: الاستنباط والاستقراء. في الاستنباط، إذا كانت المقدمات صحيحة، فلا بد أن تكون النتيجة صحيحة أيضًا. أما في الاستقراء، فإننا ننتقل من مقدمات تتعلق بأشياء تم فحصها إلى استنتاجات حول أشياء من النوع ذاته لم يتم فحصها. يعتمد العلماء باستمرار على الاستقراء كلما انتقلوا من بيانات محدودة إلى استنتاج عام. لكن ما الذي يجعل من الاستقراء استدلالًا مُقنعًا؟

قدّم الفيلسوف الإسكتلندي ديفيد هيوم (David Hume) إجابة بسيطة، ولكنها جذرية، عن هذا السؤال. فقد رأى أن الاستقراء لا يمكن تبريره عقلانيًا على الإطلاق. وأشار إلى أن البشر يستخدمون الاستقراء باستمرار، سواء في الحياة اليومية أو في العلم، على نحو يشبه العادة الغريزية. وحسب رأيه، لا يمكن تقديم مبرر وجيه لهذا الاستخدام. وقد لاحظ هيوم أننا، عند القيام باستدلال استقرائي، نفترض ضمنيًا ما سمّاه "انتظام الطبيعة" (uniformity of nature)، وهو افتراض، في نظره، لا يمكن إثباته.

إذا كان هيوم محقًا، فإن الأسس التي يقوم عليها العلم ليست صلبة كما تبدو عليه. وتُعرف هذه الحالة المحيّرة في الفلسفة باسم "مشكلة الاستقراء عند هيوم". وقد قدّم الفلاسفة عشرات الردود على مشكلة هيوم، لكن هذه المسألة لا تزال محل بحث نشط حتى اليوم.

2.2. التفسير في العلم

يُعدّ تفسير ما يحدث في العالم من حولنا أحد الأهداف المهمّة للعلم. وعلى مرّ التاريخ، كان السعي وراء التفسير العلمي مدفوعًا بنوعين من الدوافع: دافع عملي؛ أو دافع نابع من الفضول الفكري. لكن ما المقصود تحديدًا بالتفسير العلمي؟ هذا سؤال فلسفي قديم.

يُعتبر نموذج همبل، المعروف باسم "نموذج القانون الشامل للتفسير"، أحد النماذج الشهيرة للتفسير العلمي، ويُنسب إلى الفيلسوف الألماني كارل همبل (Carl Hempel). لقد اقترح همبل أن التفسيرات العلمية تأخذ عادةً الشكل المنطقي للحُجّة؛ فهي تتكوّن من مجموعة من المقدمات يتبعها استنتاج. يُصرّح الاستنتاج بحدوث الظاهرة التي نريد تفسيرها، بينما تُبيّن المقدمات لماذا هذا الاستنتاج صحيح. واشترط همبل أن تتضمّن المقدمات قانونًا عامًا واحدًا على الأقل.

استنتج همبل من نموذجه نتيجة مثيرة للاهتمام حول العلاقة بين التفسير والتنبؤ. فعند تقديم تفسير لظاهرة ما وفقًا لنموذج القانون الشامل، فإنّ القوانين والحقائق الجزئية المستند إليها في التفسير كانت ستمكّننا من التنبؤ بحدوث الظاهرة، لو لم نكن نعلم بها مسبقًا. وقد عبّر همبل عن هذه الفكرة بقوله: "إنّ كل تفسير علمي هو في جوهره تنبؤ محتمل". كما اعتقد أنّ العكس صحيح أيضًا: فكل تنبؤ موثوق هو تفسير محتمل.

ينجح نموذج القانون الشامل في تمثيل البنية المنطقية لكثير من التفسيرات العلمية. ومع ذلك، فهو يواجه بعض الإشكالات، من أبرزها وجود أمثلة مضادة محرجة لهذا النموذج. فهناك حالات منسجمة شكليًا مع متطلبات نموذج همبل، لكنها مع ذلك لا تُعدّ، بحسب الحدس الفلسفي، تفسيرات علمية حقيقية. وتشير هذه الأمثلة إلى أنّ نموذج همبل واسع الصلاحية إلى نحو مفرط؛ إذ يسمح بقبول حالات ينبغي في الواقع استبعادها.

ونتيجة لذلك، كان من الطبيعي البحث عن طريقة بديلة لفهم التفسير العلمي. يرى بعض الفلاسفة أن المفتاح يكمن في مفهوم السببية، إذ إنّ تفسير الظاهرة يكون في كثير من الأحيان هو تحديد ما الذي سبّبها. ورغم عدم وجود فرق كبير بين نموذج القانون الشامل والنموذج السببي، فإن كثيرًا من الفلاسفة يفضّلون النموذج السببي بفضل قدرته على تجنّب بعض الإشكالات التي تواجه نموذج القانون الشامل.

3.2. هل يمكن للعلم أن يفسّر كل شيء؟

رغم تمكّن العلم الحديث من تفسير الكثير عن العالم الذي نعيش فيه، فإن العديد من الحقائق لا تزال عصيّةً على التفسير العلمي، ومن أبرز الأمثلة على ذلك أصل الحياة. هل العلم قادر، من حيث المبدأ، على تفسير كل شيء؟ الإجابة عن هذا السؤال ليست سهلة. فمن الغرور الادّعاء بأن العلم يستطيع تفسير كل شيء. لكن من جهة أخرى، فإن العلم يتغيّر ويتطوّر بسرعة، وما يبدو اليوم غير قابل للتفسير من منظور العلم قد يصبح من السهل تفسيره غدًا.

يرى كثيرٌ من الفلاسفة أن ثمة سببًا منطقيًا بحتًا يجعل من المستحيل الإقرار بأن العلم سيتمكّن من تفسير كل شيء. ذلك أن تفسير شيء ما يستدعي الاستعانة بشيء آخر. لكن ما الذي يفسّر هذا الشيء الآخر؟ فبغضّ النظر عن مدى ما يمكن أن يفسّره علم المستقبل، فإن التفسيرات التي سيقدّمها ستعتمد بالضرورة على بعض القوانين والمبادئ الأساسية. ولأن لا شيء يمكن أن يفسّر ذاته، فإن بعض هذه القوانين والمبادئ ستظلّ، لا محالة، بلا تفسير.

3. تغيّر العلم والثورات العلمية

يتغيّر العلم بسرعة، وحول مسألة التغيّر العلمي تدور مجموعة من الأسئلة الفلسفية المثيرة للاهتمام، من بينها: هل تتغير الأفكار العلمية وفق نمط معيّن يمكن تمييزه؟ وكيف يُفسَّر التحوّل الذي يحدث عندما يتخلى العلماء عن نظرية قائمة لصالح نظرية جديدة؟ وهل النظريات العلمية الجديدة أفضل بالضرورة من سابقاتها؟

في عام 1963 نشر توماس كُون (Thomas Kuhn)، المؤرّخ والفيلسوف الأمريكي المتخصّص في فلسفة العلم، كتابًا بعنوان "بُنية الثورات العلمية"، تناول فيه الأسئلة السابقة، وقد ترك هذا الكتاب أثرًا بالغًا على فلسفة العلم لاحقًا. وقبل عرض أفكار كون، ينبغي التوقف عند التجريبية المنطقية (logical empiricism) التي كانت التيار الفلسفي السائد بين فلاسفة العلم في العالم الناطق بالإنكليزية من فترة ما بعد الحرب العالمية الثانية إلى غاية منتصف ستينيات القرن العشرين.

كان التجريبيون المنطقيون يقدّرون العلوم الطبيعية والرياضيات والمنطق تقديرًا عاليًا. فالتقدّم العلمي الذي شهده العالَم في بدايات القرن العشرين ترك في نفوسهم أثرًا بالغًا، ودفعهم إلى السعي لجعل الفلسفة ذاتها أكثر "علمية". في المقابل، لم يولوا اهتمامًا يُذكر بتاريخ الأفكار العلمية. فحسب رأيهم، سياقُ الاكتشاف، أي العملية التاريخية الفعلية التي يتوصّل من خلالها العالِم إلى نظرية معيّنة، هو مسار نفسي ذاتي لا يخضع لقواعد دقيقة، وبالتالي لا يستحق اهتمام فيلسوف العلم.

أما توماس كُون فقد كان له رأيٌ مغاير؛ إذ رأى أن دراسة تاريخ العلم تُمكّن الفلاسفة من تعلّم الكثير، وأن إغفالها من قِبل التجريبيين المنطقيين أدّى إلى رسم صورة ساذجة وغير دقيقة عن النشاط العلمي. وقد أولى كون اهتمامًا خاصًا بالثورات العلمية، أي الفترات التي يشهد فيها العلم اضطرابًا عميقًا تُستبدَل فيه الأفكار العلمية السائدة بأخرى جديدة

كليًا، مثل الثورة الكوبرنيكية في علم الفلك. ومع ذلك، فإن العلم لا يكون في معظم الأحيان في حالة ثورة، ولهذا استخدم كون مصطلح "العلم العادي" (normal science) لوصف الأنشطة الاعتيادية التي ينخرط فيها العلماء عندما لا تكون تخصّصاتهم تمرّ بتحوّل ثوري. أما "النموذج الإرشادي" (paradigm)، وهو مفهوم مركزي في فكر كون، فيُشير إلى مجموعة من الافتراضات والمعتقدات والقيم المشتركة التي توحّد أفراد الجماعة العلمية وتُتيح لها ممارسة "العلم العادي" بصورة مستقرة.

يُعدّ "العلم العادي" بطبيعته نشاطًا محافظًا؛ فالعلماء لا يسعون إلى إحداث اكتشافات كبرى تغيّر وجه العلم، بل يعملون على تطوير وتوسيع النموذج القائم. كما أن النموذج الإرشادي لا يكون محل اختبار أو تشكيك مباشر. وإذا واجه أحد الممارسين نتائج تتعارض مع النموذج، فغالبًا ما يفترض أنّ الخلل في الأسلوب التجريبي لا في النموذج ذاته. وتستمر فترة "العلم العادي" عقودًا، بل قد تمتد قرونًا كاملة. غير أن تراكم "الأنماط الشاذة"، أي الظواهر التي لا يمكن التوفيق بينها وبين النموذج، يفضي إلى نشوء أزمة داخل الجماعة العلمية، فيتزعزع الإيمان بالنموذج القائم. وهنا يظهر ما يسمّيه كون "العلم الثوري"، حيث يطرح نموذج جديد نفسه. وغالبًا ما يتطلّب ترسيخ هذا النموذج جيلًا كاملًا حتى يعتنقه جميع أفراد الجماعة العلمية، وعندئذ تكتمل الثورة العلمية.

وإذا كان المتوقع أن يكون تبنّي العلماء لنموذج جديد مبنيًا فقط على أدلة علمية فإن كُون رأى الأمر على نحو مختلف. فقد اعتبر أن هذه العملية تنطوي على قدر من القناعة الشخصية أو ما يشبه الإيمان، حتى وإن وُجدت أسباب وجيهة للتخلي عن النموذج القديم، وقد كتب يقول: "إنّ التحوّل في الولاء من نموذج إلى آخر هو بمثابة تجربة تحوّل أو 'اعتناق' لا يمكن فرضها بالقوة." ولتفسير انتشار القبول بنموذج جديد داخل المجتمع العلمي، أشار كُون إلى أن ضغط الأقران عامل حاسم؛ فكلما كان تأثير أنصار النموذج الجديد قويًا، ازداد احتمال انتشاره وقبوله على نطاق واسع.

4. انتقادات في وجه العلم

1.4. العِلْمَوية

يُستخدم اتهام شخص بالتصرف على نحو "غير علمي" في الغالب باعتباره انتقادًا له، إذ يُنظر إلى السلوك العلمي بوصفه عقلانيًا ومحمودًا، بينما يُعدّ السلوك غير العلمي غير عقلاني ومستحقًا للازدراء. ويرجع ذلك إلى المكانة الرفيعة التي يحظى بها العلم في المجتمعات المعاصرة. لكن ماذا عن "العلموية"؟

يستخدم بعض الفلاسفة مصطلح "العِلْمَوية" (scientism) بصيغة ازدرائية للدلالة على ما يرونه نوعًا من عبادة العلم أو موقفًا ينطوي على تبجيل مفرط للعلم الحديث. ويُشير معارضو العِلْمَوية إلى أن العلم ليس الشكل الوحيد المشروع للسعي وراء المعرفة، وليس الطريق الوحيد لفهم العالم. وغالبًا ما يُؤكد هؤلاء المعارضون أنهم لا يعادون العلم في حد ذاته؛ بل ينصبّ اعتراضهم على الافتراض القائل بأن المناهج العلمية صالحة بالضرورة للتطبيق على كل موضوع وكل مجال.

قد يبدو من المفاجئ أن يُصرّ بعض الفلاسفة على أن العلم هو الطريق الشرعي الوحيد إلى المعرفة. فبالنسبة لهم، الأسئلة التي لا يمكن حسمها بالوسائل العلمية ليست، في جوهرها، أسئلة حقيقية. وقد أيّد هذا الرأي الفيلسوف الإنكليزي برتراند راسل (Bertrand Russell). وليس من المستغرب أن يرفض العديد من الفلاسفة هذا الإخضاع لتخصصهم لصالح العلم؛ إذ يُعدّ هذا الرفض أحد منابع الاعتراض على " العِلْمَوية". ويرى هؤلاء أن البحث الفلسفي يمتلك أدواته المنهجية الخاصة التي تمكّنه من الوصول إلى أنواع من الحقائق لا تستطيع العلوم وحدها بلوغها. ومع أن أنصار هذا الرأي يقرّون بأن الفلسفة ينبغي أن تتسق مع العلوم، أي ألا تطرح ادعاءات تتعارض مع ما تثبته المعارف العلمية، فإنهم يرفضون الاستنتاج القائل إن هذا يجعل من العلم المصدر المشروع الوحيد للمعرفة.

لقد انتقلت بعض الأسئلة التي شغلت الفلاسفة عبر التاريخ، مثل الإدراك والخيال والذاكرة، إلى نطاق العلوم التجريبية، وبالأخص علم النفس. بل إن دائرة الأسئلة التي تُصنّف على أنها "فلسفية" أخذت في الانكماش عبر القرون مع توسّع العلوم في الاستحواذ على المزيد منها شيئًا فشيئًا. مع ذلك، تظل هناك أمثلة على أسئلة فلسفية تبدو حقيقية، وتقع خارج نطاق أي علم من العلوم.

2.4. هل العلم خالٍ من القيَم؟

يتفق الجميع على أن المعرفة العلمية استُخدمت أحيانًا في أغراض غير أخلاقية، مثل تطوير الأسلحة النووية والكيميائية. غير أن مثل هذه الحالات لا تُثبت أن ثمة ما هو مرفوض أخلاقيًا في المعرفة العلمية ذاتها، بل إن الاستخدام الذي تُوظف فيه تلك المعرفة هو ما قد يكون غير أخلاقي.

ويرى كثير من الفلاسفة أنه لا معنى للحديث عن العلم أو المعرفة العلمية بوصفها أخلاقية أو غير أخلاقية في ذاتها. فالعلم معنيّ بالحقائق، والحقائق في حد ذاتها لا تحمل دلالة أخلاقية. ووفقًا لهذا الرأي، فإن العلم نشاط يخلو جوهريًا من القيم؛ إذ تتمثل مهمته في تزويدنا بالمعلومات عن العالم، بينما ما يقرره المجتمع بشأن استخدام تلك المعلومات هو شأنٌ آخر.

لكن يرى بعض الفلاسفة أن البحث العلمي محمّل، بالضرورة، بأحكام قيمية. أحد أوجه هذا الاعتراض يتمثل في أن العلماء لا يستطيعون دراسة كل شيء دفعة واحدة، بل عليهم اختيار موضوعات محددة للبحث. وهذا الاختيار ينطوي، ولو بوجه ضعيف، على أحكام تتعلق بالأهمية، وهي في جوهرها أحكام قيمية. وجه آخر للاعتراض يقوم على أن أي مجموعة من المعطيات يمكن تفسيرها، من حيث المبدأ، بأكثر من طريقة. ومن ثمّ، فإن اختيار العالم لنظرية معينة لن يكون محددًا بالمعطيات وحدها. أما الحجة الثالثة فتتمثل في أن المعرفة العلمية لا يمكن فصلها عن تطبيقاتها بالطريقة التي يشترطها القول بحيادية العلم. ووفقًا لهذا الرأي، فإن تصوير العلماء على أنهم باحثون منزّهون يسعون خلف المعرفة لمحض المعرفة، من دون اكتراث بالتطبيق العملي، هو تصوير ساذج. ويزداد هذا الاعتراض قوة إذا أخذنا في الاعتبار أن كثيرًا من الأبحاث العلمية المعاصرة تُموَّل من قِبل القطاع الخاص.

خاتمة

يبيّن لنا هذا الكتاب أن فلسفة العلم ليست ترفًا فكريًا بل هي ضرورة لفهم طبيعة المعرفة التي يقوم عليها العالَم. فالعلم ليس معزولًا عن الأسئلة الفلسفية والأخلاقيةإذ يتقاطع معها باستمرار. وتكمن قيمة الكتاب في قدرته على عرض مواضيع فلسفية معقدة بلغة ميسرة للقارئ غير المتخصص، وفي أنه يحفّز على التفكير النقدي في القضايا التي تناولها. لا يقدّم هذا الكتاب إجابات نهائية بقدر ما يفتح الباب أمام مزيد من التساؤلات، وذلك ليُذكّرنا بأن قيمة الفلسفة تكمن في أسئلتها أكثر مما تكمن في أجوبتها.

الأستاذ سمير عكاشه