***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 13 : جانفي 2025**

| فهرس العدد 13 | |
|---|---|
| | |
| **أخلاق وموسيقى** | |
| الآداب والأخلاقيات: بين دلالة المصطلح العلمي والمفهوم التقليدي | مبارك بحري |
| سيميائيون أم مؤرخو سيميائيات :قراءة في البعد الغائب (1) | محمد صاري |
| بعض العلاقات بين الرياضيات والموسيقى عبر التاريخ | فتحي صالح |
| | |
| **فيزياء** | |
| تاريخ ميكانيكا الكم | إبراهيم سعد الله |
| حول مفهوم الكتلة النسبوية | جمال ضو |
| | |
| **تعليمية** | |
| ملاحظات حول صعوبات تدريس وتقويم الظواهر الفلكية في التعليم الثانوي | عبد العزيز براح |
| دراسة علمية وتعليمية لتمارين المسعى العلمي في بكالوريا العلوم الطبيعية في الجزائر | عبد الكريم كاملي وآخرون |
| الدروس الخصوصية... بين المنافع والمخاطر | محمد مرابط |
| | |
| **علوم طبيعية** | |
| منطقة سيدي عيسى) الجزائر)، شواهد التصادم القاري في السلسلة المغاربية | نـــصر الديـن بـــوزكرية |
| تنوّع وأهمية الدخن في الجنوب الجزائري (تديكلت) | محمد لمغربي وآخرون |
| | |
| **رياضيات وتاريخ** | |
| حول خوارزمية احتمالية | ناجي هرماس |
| الهندسة الكسورية: عالم من الجمال والتعقيد (1) | سكينة عثماني |
| علم الرياضيات في عهد الخلافة الأموية بالأندلس (316-422ه/928-1031م)، الجزء 1: عوامل الازدهار | مرزاق بومداح |
| | |
| **شخصية العدد** | |
| محمد خوجة، نائب رئيس الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيات | تقديم: أبو بكر خالد سعد الله |
| **عرض كتاب** | |
| 21درسًا للقرن الحادي والعشرين | تأليف :يوفال هراريY. Harari<br>عرض: أبو بكر خالد سعد الله |

# كلمة العدد 13

يمثل هذا العدد أول أعداد السنة الرابعة لمجلة **بشائر العلوم** وقد ناهز عدد زوار موقعها الإلكتروني خلال الـ 15 شهرا الماضية 110 آلاف زائر حيث يستطيع كل من يرغب في تنزيل أي مقال أن يقوم بذلك دون قيد أو شرط وقد دعّمت المجلة مكانتها بفتح صفحة فيسبوكية قبل أيام تعرض فيها المقالات والأخبار العلمية. كما شارفت المجلة على نشر ما مجموعه 200 مقال منذ صدورها. ولذلك كله صار لها جمهور عريض ومتابعون كثر.

تستهل صفحات هذا العدد بتقديم مقال حول دلالة المصطلح العلمي والمفهوم التقليدي للآداب والأخلاقيات، تليه قراءة تهم السيميائيين ومؤرخي السيميائيات. وننهي هذا المحور بالتطرق إلى بعض العلاقات التي ربطت الموسيقى بالرياضيات عبر التاريخ. وفي المحور الخاص بالفيزياء تطرقنا إلى موضوعين، أحدهما يرسم لنا كيف ظهرت ميكانيكا الكم بعد مخاض عسير، أما الثاني فيتعمق في مفهوم الكتلة والنسبية ويحاول رفع اللبس الذي نجده عند بعض القراء في هذا المجال.

ننتقل بعد ذلك إلى حقل تعليمية العلوم ونبدأ بتقديم ملاحظات حول صعوبات تدريس الظواهر الفلكية في التعليم الثانوي. ثم نهتم بالعلوم الطبيعية ونجري دراسة علمية وتعليمية لتمارين البكالوريا في الجزائر. وما من شك أن كل الأسر في البلاد التي تتابع تمدرس أطفالها لها عين على الدروس الخصوصية. ولذا يتطرّق أحد المواضيع إلى هذا النوع من الدروس مستعرضا منافعها ومخاطرها. وفي محور العلوم الطبيعية، أدرجنا موضوعين، الأول في الجيولوجيا حول شواهد التصادم القاري في السلسلة المغاربية بمنطقة سيدي عيسى الجزائرية، بينما تطرّق الثاني لتنوّع وأهمية حبوب الدُّخْن (البشْنَة) في الجنوب الجزائري.

وقد خُصِّص آخر محور في هذا العدد للرياضيات إذ تناولنا في البداية إحدى الخوارزميات الاحتمالية. وبعد ذلك جاء الجزء الأول من مقال مطوّل يعرفنا بالهندسة الكُسُوريَّة وما يحيط بها من جمال وتعقيد. ومجلة **بشائر العلوم** تهتم دائما بتاريخ العلوم، ومن هذا الباب أدرجنا موضوعا يحدثنا عن عوامل ازدهار علم الرياضيات في عهد الخلافة الأموية بالأندلس (316-422ه/928-1031م).

وكما عوَّدتْكم مجلة **بشائر العلوم**، فهي تقدم في كل عدد من أعدادها شخصية علمية. وقد اخترنا هذه المرة التعريف بالأستاذ محمد خوجة، نائب رئيس الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيات والباحث في مخابر شركة سونطراك. أما ركن "عرض كتاب" فيقدم لكم كتابا بعنوان "21 درسًا للقرن الحادي والعشرين" من تأليف يوفال نوح هراري Harari .Y يفيد كثيرا في استشراف المستقبل.

في الختام، لا زلنا نكرّر أن مجلة **بشائر العلوم** بحاجة ماسة إلى إسهام هيئة تدريس المدرسة العليا للأساتذة-القبة بمواضيع في شتى التخصصات من أجل إثراء محتواها وخدمة سمعة المؤسسة. .

نتمنى أن يجد القارئ الكريم بعض ما ينشده من ثقافة علمية في هذا العدد. 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)

- **الإشراف التقني :**

الأستاذ علي نصبة (قسم الإعلام الآلي)

المهندسة إيمان براهيمي

# أخلاق وموسيقى

# الآداب والأخلاقيات
# بين دلالة المصطلح العلمي والمفهوم التقليدي

مبارك بحري
أستاذ بقسم الهندسة الكهربائية، كلية التكنولوجيا، جامعة محمد خيضر، بسكرة
mebahri@gmail.com

## مقدمة

يحظى موضوع الآداب والأخلاقيات المهنية في الجزائر باهتمام في قطاعات عديدة، أهمها قطاع التعليم العالي والبحث العلمي وقطاع الصحة العمومية وقطاع التربية الوطنية. ولأن الآداب والأخلاقيات تتعلق بسلوكيات الفرد في تعامله مع الغير، فإن لها أهمية بالغة في تنظيم الحياة الاجتماعية، وتؤثر على رقي العلاقات وجودة التعاملات.

إن اهتمام الباحثين بموضوع الأخلاق ليس جديدًا، فقد انشغل الفكر البشري بهذا الموضوع منذ بداية التاريخ. تناوله فلاسفة الإغريق والرومان، وفلاسفة الهند والصين قبلهم، وفلاسفة المسلمين من فقهاء وأصوليين وممن اشتغلوا بعلم الكلام. كما تناوله فلاسفة عصر النهضة الأوروبية والفلاسفة المعاصرون، نظرًا لأهميته في تقنين وضبط سلوكيات الفرد في إطار قيم وأعراف مجتمعية.

عرفت كلمة الأخلاق اصطلاحات عديدة عبر التاريخ الإنساني، نذكر منها مرحلة القرون الوسطى حيث استقر مفهوم الأخلاق على المصطلح الديني. ثم في مرحلة عصر النهضة الأوروبية، تم العدول عنه إلى مصطلح الأخلاقيات الذي أصبح يُستدل به على قيم اجتماعية جديدة سُميت بالقيم المدنية أو قيم المواطنة (valeurs citoyennes) ابتداءً من الحقبة التي واكبت قيام الثورة الفرنسية وما تلاها في أواخر القرن الثامن عشر الميلادي.

وفي هذا المقال نعرض لثلاث نقاط: أولها التطرق إلى معنى الآداب والأخلاقيات بالمفهوم المعاصر، ومعنى الأدب والأخلاق بالمفهوم المشاع في الثقافة العربية الإسلامية؛ وثانيها التذكير بالمرجعية الفكرية لمفهوم الآداب والأخلاقيات الذي يرافق نظام التكوين الأوروبي ل. م. د. (ليسانس، ماستر، دكتوراه)؛ وثالثها دور الأخلاقيات المتميز في صناعة النهضة وتحقيق الوحدة، من خلال توضيح كيف أنه يشكل عنصرًا مهمًا في بناء الوحدة الأوروبية.

## 1. في مصطلح الأخلاق والأخلاقيات

إن اشتراك كلمتي الأخلاقيات والأخلاق في جذر لغوي واحد، وتعلق المصطلحين بموضوع السلوكيات، يتسبب في إحداث إسقاط تلقائي لدلالة مصطلح الأخلاق على مصطلح الأخلاقيات. وهذا ما يؤدي إلى تناول موضوع الأخلاقيات بطريقة لا تستوفي المدلول الذي يتضمنه مصطلح الأخلاقيات، وبالتالي يُفقد المصطلح معناه ويبتعد به عن التأسيس للقيم المهنية بمفهومها المعاصر.

استعمل العرب كلمة الأدب للتعبير عن السلوكيات الراقية "إنسانيًا" في جميع التعاملات، فألّفوا في أدب الحوار وأدب القضاء وأدب التجارة وأدب المعلم وأدب المتعلم وفي أدب الضيافة وأدب المعاشرة وفي أدب تربية الحيوان وغيرها. واستعملوا كلمة الأخلاق للدلالة ذاتها، حتى أن التمييز بين كلمتي الأدب والأخلاق يكاد لا يُعرف، فلو استبدلنا كلمة أدب بكلمة أخلاق فيما سبق ذكره من الآداب لما تغير المعنى. فنقول: ألّف العرب في أخلاق الحوار وفي

أخلاق القضاء وأخلاق التجارة وغيرها. ولعل هذا الترادف حاصل من مفهوم الصفة ومعناها في العربية؛ فمفرد الأخلاق خُلقٌ وهو صفة، والأدب هو اكتساب تلك الصفة.

والحقيقة أن هذا المعنى للأخلاق الذي لا يزال سائدًا في الفكر العربي، لا يستوفي المدلول الذي يتضمنه مصطلح الأخلاقيات بالمفهوم الغربي المعاصر، ولذلك فهو لا يدل عليه.

لقد عبّر الفكر الغربي عن القيم الأخلاقية باستعمال مصطلح (éthique) ومصطلح (déontologie) من المعجم اللغوي اليوناني القديم. فكلمة (déontologie) مشتقة من كلمة (deontos) اليونانية، التي تُعرّفها موسوعة (Universalis) بأنها "ما يجب من قواعد السلوك الحسن". وكانت هذه القواعد في العصور الوسطى في أوروبا مشتقة من تعاليم الكنيسة، ثم تحوّل معناها في عصر النهضة لتعكس طموحات إنسانية، ولتصبح في العصر الحديث الواجبات التي تلازم الحقوق الفردية". كما تُعرّف موسوعة (Universalis) كلمة (éthique)، المشتقة من كلمة (ethos) اليونانية، بأنها "تعني سلوكيات الفرد في المجتمع".

وقد شهد عصر النهضة الأوروبية نشاطًا فكريًا وفلسفيًا كبيرًا. فبعد قيام الثورة الفرنسية، كانت منظومة القيم في المجتمع الفرنسي لا تزال متجذرة في المسيحية، ومن أجل تكريس مفهوم جديد للقيم الأخلاقية يكون متوافقًا مع مبادئ الثورة الفرنسية، التي هي الحرية والأخوة والعدالة، ويكون في نفس الوقت متحررًا من تعاليم الكنيسة. حيث واكب الثورةَ الفرنسية نشاطٌ فكريٌ وفلسفيٌ كبير، أسّس لمرجعية أخلاقية جديدة بديلة عن مرجعية الكنيسة، وتبنتها الجمهورية الفرنسية كمنظومة أخلاقية رسمية. إذ أخرجت هذه المرجعية الأخلاقية الجديدة من قاموس مفرداتها كلمةَ الأخلاق (la Morale) لما يتضمنه المصطلح من معنى ديني، وتبنّت مصطلحي الآداب والأخلاقيات (L'éthique et la déontologie) للدلالة على كل ما يُلحق بالأخلاق أو يُنعت بأنه أخلاقي في المجتمع.

لقد عُرفت الأخلاقيات بأنها "التفكير في القيم والمعايير الأخلاقية التي تتعلق بالإنسان وبعلاقته بالشخص الآخر وبالمجتمع"، وعُرفت الآداب بأنها "مجموعة القواعد والتوصيات والإجراءات المتعلقة بالممارسة السليمة والحسنة لمهنة معينة". هذه هي دلالات كلتا الكلمتين بالمفهوم الغربي. وحين ننتقل بالمصطلحين إلى العربية، نجد أن الترجمة الرائجة لمصطلح (éthique) هي الأخلاقيات، وذلك في مصادر منها قواميس وموسوعات ومنصات رقمية مثل (Google translate) و (Reverso) و (Cambridge dictionnary) وغيرها. كما تعرض نفس المراجع ترجمة مصطلح (déontologie) بأنه علم الأخلاق! وهنا نقف على إقلاب لدلالة المصطلحين بين ما تقدمه مراجع الترجمة إلى العربية وبين المصطلح الأصلي لكل من الكلمتين.

إن ترجمة مصطلح (L'éthique) إلى مصطلح الأخلاقيات، وترجمة مصطلح (La déontologie) بأنه علم الأخلاق، هي ترجمة لا تفي بالمعنى الصحيح، بل تستبدل دلالة المصطلحين ببعضهما. إن هذا التبديل بين المصطلحين يتسبب دون شك في الالتباس بينهما في كل ما يُكتب بالعربية حول الآداب والأخلاقيات، خاصة أن في مؤلفات ومنشورات كثيرة هناك من يتحدث عن الأخلاقيات المهنية، وهناك من يتحدث عن آداب المهنة، وهو ما يدل على أن الآداب والأخلاقيات تحتاجان إلى ضبط اصطلاحي لا يمكن أن تقوم به إلا أكاديمية للغة العربية.

## 2. من الأدب والأخلاق إلى الآداب والأخلاقيات

من خلال تعريف الأخلاقيات وتصنيفها على أساس أنها المتطلبات السلوكيات للمهنة، أحدث الفكر الغربي مساهمة نوعية في الحياة الاجتماعية، ذلك أن ربْط الأخلاقيات بالمهن أكسبها مرونة في تعريفها وسهولة في قياس مدى حضورها. وبهذا التعريف، صار من الممكن تعديل الأخلاقيات بحسب الحاجة لتتلاءم مع المهنة وتستجيب لمتطلباتها النوعية. فكان أن أُلحقت بالمهن الموجودة مجموعة الأخلاقيات التي تتعلق بها، كما عُرفت لكل مهنة جديدة أخلاقيات

تخصها. ومن ذلك تبلورت وعُرفت أخلاقيات الطب، وأخلاقيات الصحافة، وأخلاقيات السياسة، وأخلاقيات القضاء، وأخلاقيات التعليم وغيرها.

وهنا نقف على حقيقة تطور القيم في الحياة، وهي الحقيقة التي لا يزال الفكر المعاصر في المجتمعات العربية المسلمة لم يسلم بها، بسبب التقيد بالمفهوم التقليدي للأخلاق. ومن ذلك ما نشهده من ارتكاز الخطاب السياسي والديني والتربوي في مجتمعاتنا على مصطلح الثوابت الدينية والوطنية، بطريقة تعميمية لمفهوم القيم والمبادئ والمسلمات، تجعل هذا الخطاب يزيد في تغذية وتكريس العجز الفكري في المجتمع.

إن المفهوم التقليدي للأخلاق لا يوقف السلوك المتحايل على معنى الأخلاق، بل يجعله يزداد، ما دام معيار الأخلاق في المجتمع يستند إلى القصد والهيئة، وهما عنصران عاريان من دلائل الإثبات ولا يمكنهما أن يؤسسا لمنظومة سلوكيات صحيحة.

إن المتميز في معنى الأخلاقيات في المفهوم الغربي أنها تُمثل التزام الفرد بإظهار السلوكيات التي تعرّفها الممارسة الحسنة في التعامل مع غيره أثناء أداء مهنته. فالأخلاقيات تُلزمه باحترام سلوكيات معينة في عمله، وتعاقبه على مخالفتها، دون أن تهتم كثيرًا بمدى صدق هذا الفرد في مراعاة السلوكيات المطلوبة منه أثناء أداء عمله أو بمدى اقتناعه بها. وهذه واحدة من الإشكالات المطروحة أمام تجديد الفكر العربي المسلم، ولعل طرحها في هذا السياق يثير اهتمام الباحثين والمفكرين ليعالجوها بما يتناسب مع واقع الحياة في مجتمعاتنا العربية المسلمة.

## 3. في مفهوم الآداب والأخلاقيات المدنية

نظرًا لارتباط القيم الأخلاقية بالخلفية الدينية والثقافية، فإنه لا بد من إقحام الظاهرة الدينية السائدة في المجتمعات العربية في موضوع تطور الأخلاق ونشأة الآداب والأخلاقيات. فبينما بقي الفكر الإسلامي طيلة قرون يجتهد داخل الصندوق ولا يخرج عن منظومة أخلاقية تخص الإنسان المسلم في المجتمع المسلم، كان الواقع يفرض على هذا الإنسان المسلم أن يتعامل وأن يتعايش مع الناس على اختلاف خلفياتهم الثقافية والدينية والفكرية، سواء في البلدان المسلمة أو في غيرها. وكان المسلم مشتتًا بين تصورات ومفاهيم مثالية وبين واقع لا يقدر على مجاراته بفعالية. في حين أن المقاربة الغربية أحدثت قفزة نوعية في معالجة مسألة الأخلاق في المجتمع عندما ألغت من قاموسها كلمة الأخلاق (la morale) واستعارت بدلًا منها كلمتي الآداب والأخلاقيات، وألحقت بكل منهما مصطلحًا محددًا.

وبقدر ما تبدو هذه المقاربة غريبة، فإنها تدعو للتأمل. لأننا حين ندرك ذكاءها فإننا لن نتمالك إلا أن نحيي قوة العقل البشري في الإبداع، ونستلهم منها أهمية النقد وحاجة الفكر العربي المسلم اليوم إلى مثل هذا الذكاء.

وعندما نتساءل: هل إلحاق الأخلاقيات بالمهن يكفي للإحاطة بمسألة الأخلاق؟ فالجواب هو أن ذلك يكفي لتغطية مسألة السلوكيات وليس مسألة الأخلاق، لأن الأخلاقيات ليست الأفعال في حد ذاتها، وإنما هي السلوكيات التي تُرافق وتُجسد القيام بتلك الأفعال. فالأخلاقيات هي كيفية القيام بالفعل. فمثلًا، بائع التذاكر في محطة السفر يخاطبك بألفاظ ينتقيها لسمعك، ويقابلك بتعابير وجه تفهمها، ويتصرف معك بلغة جسد تفهم إيحاءاتها، ويقبض منك المال بطريقة يختارها، ويسلّمك الصرف والتذكرة بحركة يقصدها. وجميع هذه السلوكيات التي يُلحقها بائع التذاكر بمعاملته حين يبيعك التذكرة، يستطيع أن يضمنها مزاجه وتقييمه لشخصك وكل ما يرغب في الإيحاء لك به، دون أن يمنعه ذلك من تقديم الخدمة لك، فهو فيما يتعلق بمهنته قد باعك تذكرة الركوب. ورغم امتعاضك من المعاملة، فإنك تعجز عن الاعتراض على سلوكه السيء بطريقة مدنية متحضرة، لأنه سوف يحتج بأنه أدى مهمته وقدّم لك الخدمة المطلوبة، إلا إذا كان بائع التذاكر هذا يخضع في مهنته إلى ميثاق أخلاقيات يحدد له السلوكيات

المطلوبة في المعاملة المسماة بيع التذكرة، ومثل ذلك في المعاملة المسماة مراقبة تذكرة الراكب وفي غيرها من المعاملات التي تختص بمهنته.

وأما خارج فضاء مهنة الفرد، فإن القانون يُعرّف ويحدد السلوكيات غير المقبولة، ويخصها بعقوبات واضحة بحيث يُلزم الجميع بالتوقف دونها في الأماكن المشتركة والعمومية.

لقد أوصل هذا الذكاءُ التشريعَ في البلدان الغربية إلى تطور اجتماعي ملحوظ، عندما عرّف المهن والوظائف، وبيّن قواعد وشروط ممارستها، وحدّد لكل مهنة أو وظيفة ميدان اختصاص وصلاحيات، وألحق بممارستها حقوقًا وواجبات. فضَبَط عمل الفرد من أبسط مهنة إلى أعقدها ومن أدنى وظيفة إلى أعلاها، بنصوص تشريعية واضحة ضمن مصفوفة مرتبة.

فتجد كل فرد من المجتمع، حين أداء مهنته، يعمل أولًا لإنجاز أهداف محددة (وفقًا للتشريع المتعلق بوظيفته)، وثانيًا باحترام إجراءات عملية معرفة (وفقًا لنظام الجودة)، وثالثًا باعتماد سلوكيات مضبوطة (وفقًا لميثاق الأخلاقيات الخاص بالمهنة التي يمارسها وبالمؤسسة التي ينتسب إليها) دون الاتكال على حسن المقاصد وسلامة النوايا. فهل هناك أبلغ من هذا لضمان الحقوق والحريات، ولضمان المتطلبات والواجبات؟

## 4. الآداب والأخلاقيات ومفهوم القيم العالمية

ذكرنا أن الآداب والأخلاقيات هي قيم اجتماعية تصوغها البنية الثقافية للمجتمع، حيث تقوم عليها التنشئة في البيت، وتقوم عليها التربية في المدرسة، وتستند إليها التشريعات. ولكننا نجد أن الأدبيات الغربية تتبنى مصطلح القيم العالمية، رغم أن القيم العالمية في موضوع الآداب والأخلاقيات ليست محل إجماع.

ففي الوقت الذي يعتبر فيه كثير من المفكرين في البلدان المختلفة أن القيم العالمية هي مجموعة من القيم المشتركة بين شعوب العالم، كالحرية والصدق والأمانة واحترام الغير والتسامح والنزاهة، نجد أن الأدبيات الغربية تُضمّن مصطلح القيم العالمية قيمًا تخص المجتمع الغربي وحده، مثل المساواة المطلقة بين الجنسين وحرية الإجهاض والحرية في تغيير الطبيعة الجنسية وغيرها، على أساس أنها قيم مشتركة أو تلك التي يجب أن تكون مشتركة بين الأمم والشعوب. هذا على الرغم من أن هذه القيم التي تُسوّق للمجتمعات في العالم لا تزال محل جدل فلسفي وفكري متواصل داخل المجتمعات الغربية نفسها.

وبالرغم من أن المنظومة الغربية استطاعت عبر قوتها المتعددة الأوجه أن تحقق الريادة في إنتاج المعرفة وفرض هيمنة على جميع موارد الفكر والثقافة، بحيث جرت في سياق فلسفتها الحياتية مجتمعات كثيرة، فإن الفكر الإنساني لا يزال يرسخ الثقافة المحلية ويُعرّف الآداب والأخلاقيات المحلية عبر الإنتاج المعرفي الواسع والمتعدد الروافد الثقافية.

## 5. في الآداب والأخلاقيات الجامعية ونظام ل. م. د (LMD)

إن اعتماد نظام ل. م. د (LMD) وبرمجة مادة الآداب والأخلاقيات في جميع المسارات الأكاديمية هو وسيلة فعالة لنشر ثقافة الآداب والأخلاقيات وترسيخ الممارسات الأخلاقية في قطاع التعليم العالي والبحث العلمي. فعلى غرار بلدان الطوق لدول الاتحاد الأوروبي، قطع التأسيس للآداب والأخلاقيات الجامعية في بلدان المغرب العربي، وفي الجزائر خصوصًا، شوطًا كبيرًا من خلال التأسيس لثقافة الأخلاقيات عبر تنصيب الهيئات واستصدار التشريعات التي تُمكّن من معالجة قضايا الآداب والأخلاقيات المطروحة داخل القطاع.

ومع تحقيق هذا العمل المتميز عبر اعتماد نظام ل. م. د (LMD) في جامعاتنا، فإنه يجدر التعريج على السياق الذي أدرجت فيه الآداب والأخلاقيات في البرامج التكوينية لنظام ل. م. د (LMD). إن ذلك يعود لمضامين

اتفاقية بولونيا (Bologne) حول إصلاح التعليم العالي في دول الاتحاد الأوروبي كواحدة من سلسلة اتفاقيات تندرج ضمن بناء الاتحاد الأوروبي، والتي تكشف لنا على براعة الفكر الغربي في معالجة قضايا مصيرية لشعوب تكاد لا تملك شيئًا من عناصر الاتحاد بالمفهوم البسيط.

إن نظام ل. م. د (LMD) هو عبارة عن مقاربة جديدة للتعليم العالي تم اعتمادها سنة 2002، والشُروع في تنفيذها من قِبل دول الاتحاد الأوروبي ابتداءً من سنة 2004 لتحقق توحيد الشهادات، وتوحيد محتويات التكوين، وتوحيد القيم الجامعية بين مؤسسات التعليم العالي في بلدان الاتحاد الأوروبي. فقد كانت فكرة الوحدة الأوروبية جريئة جدًا لِما كان أمامها من عداوات تاريخية واختلافات لغوية بين شعوب أوروبا. ورغم ذلك، نجح الفكر الغربي في تصور وحدة أوروبية، اجتهد في التنظير لها، واستطاع أن يرتقي بها إلى مستوى مشروع سياسي واقتصادي وثقافي اقتنع به المفكرون والسياسيون، بسبب ما تضمنته من ضمان يوفر لشعوب أوروبا شروط الاستقرار والأمان وتجنب الصراعات والحروب بينها.

وبقدر ما كانت الفكرة إبداعية، بقدر ما كانت تواجهها تحديات كبيرة. فكيف تُوحّد شعوبٌ بثقافات مختلفة ولغات مختلفة ومستويات اقتصادية متباينة وتركيبات اجتماعية مختلفة ومعتقدات دينية غير متوافقة؟ لكن العبقرية الغربية نجحت في تجسيد فكرة مشروع الوحدة الأوروبية، الذي يمكن أن يوصف اليوم بأنه أكبر هندسة لوحدة سياسة واقتصادية وثقافية استطاع الانسان أن ينجزها بطريقة سلمية، وبرضى الأنظمة والشعوب، وبتكاتف جهودها، رغم انعدام عناصر التوحيد بالمفهوم التقليدي البسيط.

لقد جعل الذكاء الأوروبي من فكرة كانت حلمًا يراود بعض المفكرين في بدايات القرن التاسع عشر مشروعًا يُنجز ويتحقق في أقل من مئة عام. إن مشروع الوحدة الأوروبية هو كتاب مفتوح للمثقف العربي الذي يستشعر أهمية الوحدة بين البلدان العربية، حيث يجد فيه قوة الفكر وسداد المقاربة، إنها هندسة نجحت في تحقيق وحدة بين دول يمكن القول إن ما يفرقها أكثر مما يوحدها، مع الحفاظ على خصوصيات الشعوب واحترام سيادة الأنظمة السياسية.

## 6. عن الآداب والأخلاقيات الجامعية في الجزائر

عندما نتأمل في تاريخ الجزائر الحديث، نجد أن موضوع الآداب والأخلاقيات كان حاضرًا باستحياء في جميع القطاعات الوطنية، حيث لم يكن هناك اهتمام بالمواثيق الأخلاقية في المؤسسات، باستثناء تلك التي كانت تتعامل مع الهيئات والمؤسسات الأجنبية. أما اليوم، فقد أصبحت مسألة الأخلاقيات حاضرة في جميع ميادين الحياة، وأصبح من أولويات الباحث والمفكر والسياسي الجزائري والمثقف العربي عمومًا الاهتمام بمسألة الأخلاقيات، لأن القيم الأخلاقية التي يقرها قطاع التعليم العالي ويكرسها تدريسًا وتطبيقًا هي التي ستُشكل المفاهيم الأخلاقية لدى الطالب اليوم، وهي التي ستتشبع بها أجيال الغد.

ولذلك فإن التعامل مع موضوع الآداب والأخلاقيات بحساسية وترك الاهتمام به يُعتبر تقصيرًا في المسؤولية، خاصة من المنتسبين إلى قطاعات التعليم العالي والصحة والتربية الوطنية والتكوين المهني، نظرًا لما تعانيه هذه القطاعات من تفشي سلوكيات تتقاذفها المصالح والأمزجة، فلا هي تخدم مشاريع التنمية الوطنية، ولا هي تساهم في حماية حقوق الافراد.

كذلك سكوت المختصين والباحثين والمشرفين على الشؤون العامة عن موضوع الآداب والأخلاقيات لا يخدم المصلحة الوطنية، بل يضرها، لأنه يؤسس لما يمكن أن نسميه "النفاق الأخلاقي" من خلال التلاعب بالمصطلحات

وتوظيف المفاهيم في غير محلها، مثل التعقل والتسامح للتستر على التجاوزات والضغط على الفرد حتى يستسيغها ويذعن لسلوكيات تهين النفوس وتكسر القلوب وتحطم العزائم وتثبط الهمم.

والمجتمعات التي تترسخ فيها قيم دينية واجتماعية وثقافية تختلف عن قيم الثقافة الغربية، مثل المجتمعات العربية والمسلمة، مدعوة بإلحاح إلى التأسيس لقيمها الاجتماعية بطريقة موضوعية وشجاعة، وإلا فإنها سائرة لا محالة للتخلي عن قيمها لتتبني بدلًا منها القيم الاجتماعية الغربية بكل سلاسة وتدرج. ولعل هذا الموضوع يستحق أن يُدرج ضمن أولويات مشاريع البحث الوطنية، لأهميته في تثمين قيمنا المحلية وتحقيق تجانس مبادرات التنمية التي تشرف عليها القطاعات المختلفة.

كذلك يمكن أن نعتبر أن واحدة من فوائد اعتماد تدريس مادة الآداب والأخلاقيات في التعليم العالي هي كشف الأثر الكبير الذي تركه اختلاف مشارب التكوين للأساتذة والباحثين الجزائريين، نتيجة اختلاف ثقافات البلدان التي تكوّنوا فيها وتخرجوا من جامعاتها ومعاهدها ومراكزها البحثية.

ويتجسد هذا الاختلاف في تصور الآداب والأخلاقيات بين الأساتذة الباحثين العائدين من الخارج، عبر ما يشهده الواقع من معالجات متباينة لقضايا متشابهة تتعلق بالأخلاقيات بين مؤسسة وأخرى. كما يظهر ذلك في اختلاف السلوكيات عند الممارسة الأكاديمية والبحثية.

ففي مسألة الانتحال، على سبيل المثال، نجد أن أخلاقيات البحث العلمي في الدول الغربية تشدد على احترام صارم للإنتاج المعرفي، فتمنع الاقتباس من الغير وتمنعه من المؤلف نفسه من خلال تعريف الانتحال وكذلك الانتحال الذاتي. بينما نرى في دول المشرق العربي، وخاصة في مصر، تصورًا وفهمًا مختلفين لمعنى الاقتباس، حيث يمكنك أن تصادف مؤلفات هي أقرب إلى الترجمة لكتب منشورة في بلدان غربية لمؤلفين آخرين. وليس غريبًا القول إن هذه الظاهرة تمس على الخصوص الإنتاج المعرفي الصادر باللغة العربية.

وبناءً على ذلك، فإن موضوع الاتهام بسرقة الإنتاج العلمي والمعرفي عمومًا يعود لاختلاف مفهوم الانتحال بين الأكاديميين والباحثين، وخاصة بين المؤلفين ومن ينتسبون إلى اللجان والمجالس العلمية ولجان أو مجالس الآداب والأخلاقيات في المؤسسات الجامعية والبحثية.

لا شك أن متطلبات المرحلة كثيرة ومتشعبة، لكن يبقى من أولوياتها تركيز الباحثين والمثقفين على بناء ما يمكن تسميته بمنظومة وطنية للأخلاقيات الجامعية، لمواجهة التحديات الناتجة عن كثرة عدد المؤسسات التكوينية والبحثية، والارتفاع المذهل لمجلات النشر المتخصصة، وظهور ناشرين متطفلين يتكسّبون من منشورات البحث العلمي دون مراعاة أخلاقيات النشر والنزاهة العلمية.

كما أن تقارب السن بين الطلبة وأعضاء هيئة التدريس من المؤطرين والمشرفين، وتوفر أدوات الذكاء الاصطناعي وانتشار وسائط التواصل الاجتماعي، قد أظهرت سلوكيات مستحدثة بات لابد من ضبطها وتحديد المقبول منها لحماية الوظائف والأدوار والعلاقات المهنية.

إن ما ينتظره القطاع من هذه المنظومة الوطنية للأخلاقيات الجامعية هو تعريف القيم الجامعية الوطنية و توضيح المبادئ والمفاهيم وضبط الممارسات الصحيحة من أجل الارتقاء بثقافة الآداب والأخلاقيات داخل قطاع التعليم العالي، وهي المهمة التي لا يمكن تحقيقها إلا عبر تكاتف جهود رؤساء المؤسسات ورؤساء لجان ومجالس الآداب والاخلاقيات في تلك المؤسسات نظرا لما يواجه هاته المهمة من ممارسات مترسخة لا تتماشى مع الاهداف المرجوة.

إن التأسيس لمنظومة وطنية للآداب والأخلاقيات الجامعية، وإنجاح جهود ترقية المعاملات، وحماية الحقوق والحريات، ونشر قيم النزاهة واحترام الآخر داخل قطاع التعليم العالي، سيُسهم في دعم التنمية الوطنية من خلال تقديم تجربة ناجحة يحتذى بها في القطاعات الوطنية الأخرى من مؤسسات وشركات وبنوك وغيرها.

## خاتمة

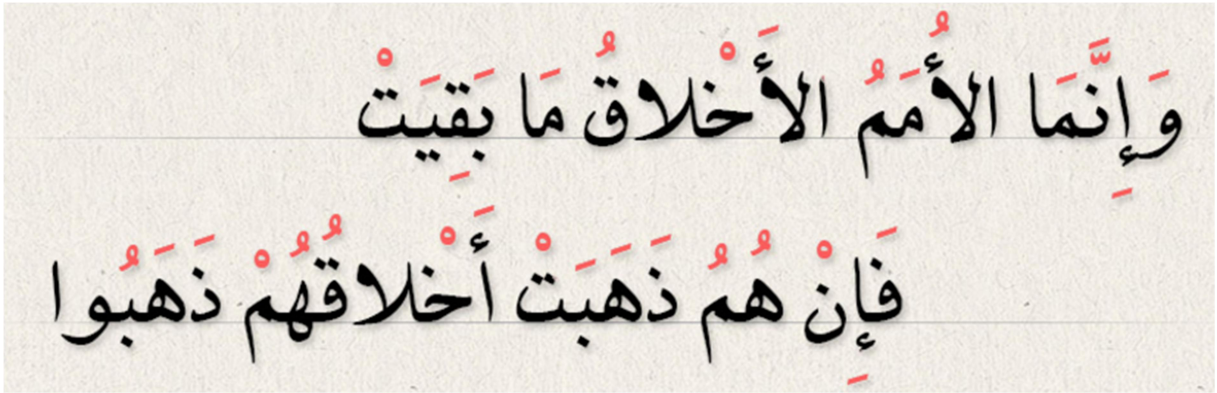
إن التجاوزات التي تتعلق بالآداب والأخلاقيات ليست محدودة النوع ولا معلومة العدد، وبالتالي فإن التعامل معها بموضوعية يعتمد أولًا على الفهم الصحيح لدلالة المصطلحات، وعلى تعريف القيم الوطنية والاجتهاد في التأسيس لها داخل جميع المؤسسات التكوينية والبحثية.

إن المعاملات اليومية في فصول الدراسة وفي أقسام التدريس وفي الكليات وفي مخابر البحث وفي المكتبات الجامعية وفي المطاعم وفي النوادي وفي الأحياء الجامعية تتعقد يومًا بعد يوم، نتيجة كثرة الأنشطة وكثرة المتعاملين فيها وتشابك العلاقات بينهم واختلاف ثقافاتهم واهتماماتهم. وهذه العوامل لا يمكن تحييدها إلا إذا التزم كل فرد في سلوكياته بقيم الآداب والأخلاقيات الجامعية، لأنها وحدها الكفيلة بحماية حريته وحقوقه، وهي وحدها التي توصد دونه باب القضايا التي قد تنال من سمعته أو من كرامته أو تفسد عليه وظيفته.

**********

والصدقُ أرفع ما اهتز الرجالُ لهُ

وخيرُ ما عوّدَ أبناً في الحياةِ أبُ



# سيميائيون أم مؤرخو سيميائيات
# قراءة في البعد الغائب (1)

محمد صاري
أستاذ اللسانيات بجامعة محمد الشريف مساعدية- سوق أهراس، الجزائر
m.sari@univ-soukahras.dz

تهدف المقالة إلى إجراء قراءة تقويمية للكتابة السيميائية العربية. وقد وقع اختياري على نخبة من البحوث الحديثة التي احتوتها مجلة "عالم الفكر" في عدد خاص محوره السيميائيات. حاولنا أن نكشف عن بعض الأبعاد الغائبة في المغامرة السيميائية العربية، لعل أبرزها البعد التعليمي والبعد التراثي، فضلًا عن البعدين الإجرائي والتراكمي. وقد تبين أن كل البحوث الواردة في المدونة بحوث تبشيرية؛ تُعرِّف بالأعلام والمبادئ والاتجاهات والميادين، إلخ، وتغري القارئ العربي وتمنّيه بمستقبل زاهر "لهذا الكائن غير الموجود" بتعبير ميشال أريفي (Michel Arrivé)، أو "الذي لم يوجد بعد رغم حقه في الوجود" بتعبير فرديناند دي سوسور (Ferdinand de Saussure). فهو حقل معرفي لا يزال لين العود، طري الجانب، لم تكتمل أطرافه بعد في البيئة التي أوجدته، ونخبة البحوث والدراسات التي استقريناها تكشف، عمومًا، عن غياب للسيميائيين وحضور للمؤرخين والمنظرين.

## 1. مقدمة

إن الحاجة إلى بناء علم أو نظرية للأدب، لاسيما بعد الأزمة الخانقة التي شاهدتها التيارات النقدية في أواسط الستينيات، دعت اللسانيين ومنظري الأدب والنقاد إلى إجراء مراجعات للأدوات النقدية القائمة التي تطاردها الموضة لدى المنظرين والروتين لدى الممارسين. فالإحساس بالحاجة إلى الموضوعية في التحليل، والعلمية في الطرح، والرغبة في تجديد أنماط التعامل مع اللغة بوجه عام، والنص الأدبي على الخصوص، وإعطاء نفس جديد للنقد في ضوء النظريات اللسانية والفلسفية، كل ذلك أدى إلى ثورة في المناهج وانفتاح الأدب على العلوم. فلم يعد تداخل الاختصاصات والتعاون المكثف الذي يجري في المجالات المعرفية المختلفة، بما في ذلك النقد الأدبي واللسانيات، موضوعًا لنقد واسع النطاق، بل أصبح سمة من سمات البحث العلمي في القرن العشرين [2].

لقد بدت أكثر الفترات ازدهارًا في تاريخ الدراسات النقدية حين تسلّم البنيويون زمام القيادة، حيث أظهروا اختلافًا واضحًا عن عصر ما قبل البنيوية في التنظيم المنهجي للمعرفة، وفي تفسير الحقائق المعروفة على نحو جديد، وفي توسيع مجال اهتماماتها توسيعًا ملحوظًا، وفي انغماس دارسيها في تعاون يتسم بتداخل التخصصات، وفي استعارة إجراءات منهجية جديدة واستثمارها في تحليل ظواهر اللغة والأدب [2]. ورغم الانتقادات الإيجابية والسلبية التي وُجهت إليهم فقد ظل كثير من أفكار البنيويين من المسلمات التي تَقَبَّلَتْها أجيال متعاقبة من اللسانيين والنقاد، وأسسوا عليها مناهج للتحليل ونظريات للأدب (1).

ولعل أبرز الأدوات التحليلية التي تعاظم الاهتمام بنقلها، والتعريف بأصولها ومفاهيمها في الكتابة اللسانية والنقدية العربية "السيميولوجيا" أو "السيميائية"، التي تحتل في المشهد الفكري المعاصر مكانة مميزة [4]. رغم أن صياغة حدودها النظرية، وتحديد أساليبها وإجراءاتها لم تحسم بعد، أكد المناطقة على ضرورة وجودها، وبشر اللسانيون بمستقبل زاهر ينتظرها، نستشف ذلك من خلال قول سوسور عنها في المحاضرات: "...يمكننا أن نتصور علمًا

موضوعه دراسة حياة الإشارات داخل المجتمع؛ فهو يشكل جزءًا من علم النفس الاجتماعي، وبالتالي جزءًا من علم النفس العام، وسأطلق عليه علم العلامات سيميولوجيا (Sémiologie).. وستكون مهمته التعرف على كنه هذه العلامات، وما القوانين التي تحكمها. ولكون هذا العلم لم يظهر إلى الوجود بعد، لم يمكن التكهن بطبيعته وماهيته، ولكن له حق في الوجود، ولن تكون اللسانيات سوى جزء من هذا العلم العام، وستطبق قوانينه التي ستكشف عليها، فهي (أي اللسانيات) تحتل مكانة محددة بين كتلة الحقائق الأنثروبولوجية. وتقع على علماء النفس مسؤولية تحديد الموضع الدقيق لعلم العلامات". أما واجب اللساني كما يصرح سوسور فهو: "تحديد ما يجعل من اللغة نظامًا خاصًا داخل كتلة معطيات علم العلامات" [14]. هذه هي العبارة الواردة في المحاضرات، والشاردة أو الملبسة التي – إن جاز القول – "يَسْهَرُ الخَلْقُ جَرَّاهَا ويَخْتَصِمُ"، ورد ذكرها مباشرة بعد تحديد سوسور لمفهوم "اللسان"، وتشبيهه أو حمله على أصناف أخرى من الدلالات على المعاني، اللفظية وغير اللفظية، وذلك بقوله: "اللسان نسق من العلامات المعبرة عن أفكار، وهو بذلك شبيه بنظام الكتابة، وأبجدية الصم البكم، والطقوس الرمزية، وصيغ المجاملة، والإشارات العسكرية، إلخ، إلا أنه يُعد أهمها (أرقاها) جميعا" [14].

وانطلاقا من هذه الإشارات، التي تحمل الملبس والمضمر، الواردة في عبارة سوسور، علّق علماء اللسان ونقاد الأدب ودارسوه آمالاً عريضة في التعامل مع اللغة والكشف عن هندسة العلامة وأشكال وجود المعنى وانزلاقاته في الأذهان والأعيان... فهل يمكن اعتبار السيميائية نسقًا متكامل الأطراف؟ كيف تم تَلقيها من قبل القارئ العربي؟ بل كيف تتجلى في الكتابة اللسانية والنقدية العربية؟ على شكل فلسفة، أم علم، أم نظرية، أم منهج نقدي، أم تقنية من تقنيات التحليل النفسي، إلخ؟ ما مدى استثمار الكتابة اللسانية والنقدية العربية لهذا الوافد في تجديد القراءة وتوليد الأفكار؟ هل بلغت التجربة العربية النضج الذي حققته الكتابة الغربية إجراءً وتنظيرًا؟ وبإيجاز ما البعد الغائب في التجربة السيميائية؟

## 2. مناهج للتحليل ونظريات للأدب [7]

إن التعامل مع النص وبخاصة الأدبي منه، يُعد من أعسر ما يُقدم عليه الدارس من مواضيع. فهو نص خاص ومتفرد، يتميز بالكثافة ووفرة الدلالة، تنحرف فيه اللغة عن المألوف (2). وإن التشويه الجمالي المقصود لمكوناته اللغوية عن المعيار العادي [11]، يجعل تلقيه عملية معقدة، ومن هنا توالت النظريات والمناهج عليه ينسخ بعضها بعضًا. وإنّ التجاوز الحاصل في تاريخ النقد من نظرية إلى أخرى ومن منهج إلى آخر، كما يعتقد بعضهم، لا يشير في الواقع إلى وجود حركة ارتقائية في النمو والتطور، من الأدنى إلى الأعلى؛ إنه مجرد استبدال لممارسة بممارسة أو لنظرية بنظرية أخرى، يُتصور أنها أكثر عطاء وخصوبة من سابقتها.

إنّ حركة الأنساق المتنافسة وإن أدت إلى تزحزح للأفكار، واهتزاز في الوعي الجمعي، تبدو في الواقع مظهرًا موضوعيًا (ترفًا)، ذا حركة دائرية وليست خطية تصاعدية. ولعل انتقال النقد، ونقاد النقد، من الحديث عن المؤلف إلى الاهتمام بالنص، إلى التركيز على القارئ، ثم إلى الدعوة للاهتمام بهذه العناصر مجتمعة، يشير بوضوح إلى هذه الحركة الدائرية. فالمؤلف والنص والقارئ أقطاب مركزية في الخطاب النقدي، تأسست عليها مناهج للتحليل ونظريات للأدب. يُمثل كل ركن منها مرحلة أو سلطة معينة في تاريخ درس الأدب ونقده.

لنبدأ بسلطة المؤلف التي تعكس الثورة الأولى للمناهج والنظريات، وشعارها "الأدب مصنوع يدل على الصانع مثلما تدل سائر المصنوعات على سائر الصانعين" [12]. فالعمل الأدبي، عند القائلين بهذا الاتجاه، مرآة تعكس شخصية الأديب، لا يُفهم أو يحلل إلا من خلال العوامل الذاتية أو الموضوعية التي ساهمت في تكوينه، بل إن كل نص أدبي لا يضع أيدينا على سمات مؤلفه هو نص زائف [10]. ومما تتسم به هذه المقاربة التاريخية للأدب أنها تمنح الذات المبدعة في

بعديها الفردي والاجتماعي مكانة كبيرة، حيث تسعى إلى إبراز أثر الوسط الاجتماعي في الإبداع الأدبي، وفهم العبقريات الفذة في صلتها بروائعها الأدبية. على أن الْتماس النقاد لمختلف الإرشادات عن الأديب، والتسلح بمعرفة دقيقة وموسعة للعصر الذي أسهم في تشكيل عبقريته، ليس القصد منه فهم الشاعر لنفسه كما يقول طه حسين، وإنما فهم الشاعر من حيث هو صورة من صور الجماعة التي يعيش فيها [12].

هذه حلقة في تاريخ درس الأدب ونقده، قامت على الحفظ والرصد التاريخي المستند إلى حياة المبدع وأحداث عصره. ولعل أبرز الأسباب التي حملت المشتغلين بالأدب والنقد إلى الإقلاع عن هذا المنهج، تشابه الدراسات النقدية على مستوى النتائج والتأويلات، والنزعة التفسيرية للأدب لدى أنصاره. فقد ركّزوا على شخصية الأديب، وغالوا في الربط بين بعض أعماله وجزئيات من حياته، وملابسات وضعه الاجتماعي، أما العمل الأدبي، وهو موضوع الأدب، فمعطى ثانوي بالنسبة إليهم [1]. لهذا قام المنهج البنيوي على ضرورة إعادة الاعتبار أو السلطة للنص والنص فقط، وذلك بتخليصه من الزوائد التي طغت عليه. وكانت عبارة "موت المؤلف أو اختفائه" هي شعار ثورة المناهج النقدية الجديدة. " فالنص الأدبي ليس أدبيًا بمعناه أو فحواه، وأنه ليس كذلك من حيث نشأته وما يتدخل فيها من مؤثرات، وإنما هو أدبي بحكم "صياغته"، و"أسلوبه"، و"طريقته"، و"وظيفة اللغة فيه" [12].

وهكذا تمرّد البنيويون (3) على الدراسات الأدبية التقليدية، ووضعوا مشكلة المنهج نصب أعينهم، فلم يكن التفسير هدفهم، بل التوصل إلى فهم الطرائق الأدبية، ووسائل تحقيقها لغايتها [9] أي إرساء قواعد لعلم الأدب، لأن "النقد الأدبي يضع النص في سياق معين، أيًا كان هذا السياق، ويهبه معنى من المعانين وقد يتضمن الحكم عليه، وربما يتضمن أحكام قيمية. وأما "علم الأدب" أو علم الشعر مجازًا فهو يدرس أحوال وشروط ذلك المعنى، والأبنية الشكلية التي تنظم النص من الداخل، وتتيح له أن يكتسب معاني كثيرة" [9]. وهكذا استفاد النقد البنيوي من اللسانيات من زاويتين: الأولى من حيث تطبيقاتها المباشرة على الأدب، مما أدى إلى ظهور الأسلوبية، والثانية هي التطلع إليها باعتبارها المثل الأعلى للعلم المضبوط، الذي يصف أبنية اللغة وتراكيبها دون الحكم عليها [9].

ويبدو النص في سياق الطرح البنيوي كيانًا مستقلًا يتضمن طرائقه الخاصة، ونسيجًا من العلاقات الداخلية المتشابكة، فلا يوجد شيء خارجه (بمعنى رفض التاريخ الأدبي للنص، والمؤثرات غير اللغوية)، ولا يُقدِّم أي معلومة ليست فيه، ولذا لا بد من دراسته دراسة علمية. هذا الهاجس العلمي لدى الجيل الأول من البنيويين أظهر التحليل البنيوي وكأنه الأسلوب الوحيد للاقتراب من النص بالطريقة العلمية، كما أظهر النص وكأنه مادة كيميائية يجب إخضاعها لنظام صارم عند الفحص [5].

إن معاملة النص الأدبي كمادة تجريبية يمكن إخضاعها دائمًا لقوانين أو قواعد عامة تحكم النصوص اللغوية، هي عملية لا تؤدي فحسب إلى تجاهل الذات المتكلمة، والتضحية بمضمون الأثر، وإغفال هوية النص الأدبي وخصوصيته، بل إنها كذلك عملية تسمح بإمكانية أن يكون أي نص أدبي موضوعًا أو مادة تجريبية للنقد وإن كان ضئيل القيمة مادام الهدف لم يعد هو النص في ذاته وإنما التناول أو التأطير المنهجي له [5]. ثم إن النص الأدبي ليس شكلاً مجردًا يعكس ظاهرة منعزلة، ويخاطب قارئًا لازمانيًا (مطلقًا)، بل إنه كما تقول كريستيفا: إبداع يتعدى على النظام وفقًا لطاقة المتحدِّث [9]. فهو ذو طبيعة زمانية، ويخاطب قارئًا يحيا في إطار تاريخي قد يكون مغايرًا لتاريخية النص [9].

هذه بعض الانتقادات التي أدت إلى إعلاء السلطة الثالثة في درس الأدب والنقد، ألا وهي سلطة القارئ الذي شكّل محور الدراسة، وبؤرة اهتمام شتى الاتجاهات التفسيرية [9]. حيث يرفض أنصار هذا التوجه أن يكون النص أحادي أو نهائي المعنى، بل إنه ينفتح على عدد غير متناه من القراءات، ويتحمل عددًا لا يُحصى من التأويلات بفضل ما في خصائصه الصياغية من كثافة خلاقة. فالقراءة هي الوجه الآخر من الكتابة. وإن الوجود الحقيقي للنص يكمن داخل وعي متلقيه. فالقارئ مبدع ثان، يشارك في إنتاجية النص الأدبي منذ اللحظة التي يصبح فيها مكتملًا ومعطى من الرموز

والعلامات [5]، وذلك من خلال الغوص عن الدلالات وتفاعلاتها واختلافاتها المتواصلة. قال بارت: "إن الأثر الأدبي يكون خالدًا ليس لأنه يفرض معنى مفردًا على أناس مختلفين، ولكن لأنه يوحي بمعان متعددة" [6]. وقال أيضًا: "قد يستبد في النصوص الجمع معنى من المعاني بالقارئ، لكن عدد القراءات ليس محدودًا أبدًا، فإمكاناته هي إمكانات اللغة في التعبير لا حصر لها ولا حدّ" [12]. فالنص، في منظور بارت، يتضمن كوكبة من الدوال لا بناء من المدلولات [9].

ويبالغ بعض الدارسين عندما يفهم أن الحداثة وما بعدها تعطي القارئ سلطة مطلقة، "تفتح النص عليه، وتقول له: افعل به ما تشاء، افهمه كما تشاء، أوِّله كما يتراءى لك...أنت منتج لا مستهلك، قد ترى من الدلالات ما لم يره أحد، وقد يخطر لك ما لم يخطر في بال المؤلف..." [10]. فليس كل نص يتضمن مدلولات متعالية، وليست كل قراءة مؤهلة لأن تخلق المعنى، وليس كل تفسير يتصف بالشرعية والقبول [11]. فالنص يتوجه إلى قارئ نموذجي تعوَّد على القراءة. قد لا يكون لديه إلمام بالنظريات النقدية، ولكن يُفترض أن لديه ما يقيه من التعسف في الاستنطاق والاعتباط في التأويل.

وما يلاحَظ على نظرية تعدد القراءة أنها تعين الناقد على التحرر، وتعين القارئ والكاتب أيضًا على إعادة طرح صورة الذات وصورة العالم من حولها. والسؤال الذي يُطرح ههنا: ألا يؤدي تكرار تحليل النصوص نتيجة إنكار معانيها السابقة، أو نتيجة إثبات عدم إمكان فهمها، إلى تفسيرات ارتيابية متضاربة، أو إلى فوضى الدلالة ولا نهائيتها، أو إلى إحداث لون من الرتابة والملل في درس الأدب؟ ألا تصبح التفسيرات النسبية المؤقتة (الظرفية) نهائية ومطلقة في إطارها التاريخي، أي من وجهة نظر العصر الذي لا يسمح بنقضها؟ [9] ومتى يكتمل فهم النص؟ أو متى يكتمل معناه؟

هذه باختصار نبذة موجزة عن السلطات الثلاث التي دارت الدراسات الأدبية في فلكها تجاوزًا وإقصاءً، (سلطة الكاتب، وسلطة النص وسلطة القارئ)، حيث أدت إلى إنجازات ثورية في النظريات والمناهج التي تناوبت على دراسة الأدب (كالمنهج البلاغي، والتاريخي، والنفسي، والاجتماعي، والبنيوي، وما تفرع عنه كالمنهج السيميائي، الذي يعد امتدادًا وتطويرًا طبيعيًا لأفكارها، وتنقيحًا لمفاهيمها التي لم تكن قد تبلورت بعد. فما الجديد الذي أضافه هذا العلم أو المنهج الواعد الذي لم يوجد بعد (أي السيميائية)، والتي ادّعى المروجون لها والمبشرون بها امتلاكها فصل الخطاب؟ (4)

## 3. و اقع التجربة السيميائية العربية

ليس من السهل إجراء دراسة تقويمية للكتابة السيميائية العربية التنظيرية والتطبيقية والمترجمة، فالموضوع واسع ومتشعب، ومحاولة عرض كل الأدبيات التي تناولت الجهاز المعرفي للسيميائيات قد يكون ضربًا من العنت [3]، ولكن كما يقال: ما لا يدرك كله لا يترك جله. ولعل أبرز المعايير التي تساعد على تحديد مدى خصوبة المنجز السيميائي العربي، هو اختبار تمثل هذا الحقل العلمي لدى الممارسين، ومقارنة نتائجه على فعل القراءة وتوليد الأفكار، هل يمثل إضافة بالنسبة لنظريات الأدب ومناهج التحليل الأخرى؟ ولكي لا تكون عملية الرصد عملية ذاتية أو عشوائية فقد وقع اختياري على عينة من البحوث المنشورة في المجلد الخامس والثلاثين من مجلة عالم الفكر [13]. وقد دفعني إلى هذا الاختيار أسباب عديدة أجملها في النقاط الآتية:

1- طبيعة العدد المذكور والقيمة العلمية للمجلة، فقد خصصت "عالم الفكر" محور هذا العدد للسيميائيات.

2- نوعية البحوث الواردة فيه، حيث اشتمل على نخبة حديثة ومتنوعة من المقالات المحكمة التي تم انتقاؤها ومكاتبة أصحابها.

3- طبيعة أسماء الباحثين الذين شاركوا في إنجاز هذا العدد، فجلهم من الأسماء البارزة في الكتابة النقدية والسيميائية.

## التعليقات

(1) كالتفكيكية والسيميائية اللتين اعتبرهما بعضهم خطأ، من المناهج المعارضة للبنيوية الأولى. والحقيقة أنهما امتداد وتطوير طبيعي لأفكارها، وتنقيح لكثير من مفاهيمها التي لم تكن قد تبلورت بعد. انظر [9]، ص101.

(2) رغم أن قضية التمييز بين اللغة الأدبية وغير الأدبية شكليًا ووظيفيًا تُعد من أكثر الآراء الخصبة التي ساعدت، نظريًا، على تشكيل الاتجاهات الحديثة في الأسلوبية، فإن بعضهم يعارض هذه الفكرة مبينًا أن ما يسمى الاستخدامات الأدبية للغة لها ما يقابلها في التخاطب اليومي، يظهر ذلك على سبيل المثال في الدعاية والإعلان وسرد النكت والمزاح...انظر [11]، ص595.

(3) يُعد رولان بارت (Roland Barthes) ورومان جاكسون (Roman Jakobson) وتزيفيتان تودوروف (Tzvetan Todorov) وجريماس (Greimas) وجيرار جينيت (Gérard Genette) من أبرز أعلام النقد الفرنسي، الذين أوصلوا البنيوية إلى ذروتها، باعتبارها منهجًا للتحليل ونظرية للأدب. أما خارج مجال النقد الأدبي فأهم أعلام البنيوية هم كلود ليفي شتراوس (Claude Lévi-Strauss)، وميشيل فوكو (Michel Foucault)، وجاك لاكان (Jacques Lacan). انظر [9]، ص101.

(4) انظر الخلاصة التي انتهى إليها كل من: محمد أديوان في [1]، ص 124–125، وسعيد علوش في بحثه القيم [8]، ص16.

## المراجع


[1] أديوان، محمد، النص والمنهج، ط1، دار الأمان، الرباط.

[2] إفيتش، ميلكا، اتجاهات البحث اللساني، ترجمة سعد مصلوح ووفاء كامل فايد، ط2، المجلس الأعلى للثقافة، الكويت، 2000.

[3] بادي، محمد، سيميائيات مدرسة باريس : المكاسب والمشاريع (مقاربة إبيستمولوجية)، مجلة عالم الفكر.

[4] بنكراد، سعيد، السيميائيات: مفاهيمها وتطبيقاتها، منشورات الزمن، الرباط.

[5] توفيق، سعيد، في ماهية اللغة وفلسفة التأويل، ط1، المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع، بيروت، 2002.

[6] حجازي، سمير، النقد الأدبي المعاصر، ط2، دار الكتاب الجامعي، الكويت، 1996.

[7] صاري، محمد، ثورة مناهج أم أزمة مناهج : مكاسب، قضايا، آفاق، مجلة التواصل، جامعة عنابة، العدد 33، السنة 2013.

[8] علوش، سعيد، علاقة النظرية بالمنهج، أعمال الندوة الدولية حول قضايا المنهج في الدراسات اللغوية والأدبية، النشر العلمي والمطابع، جامعة الملك سعود، الرياض، 2010.

[9] عناني، محمد، المصطلحات الأدبية الحديثة، ط3، الشركة المصرية العالمية للنشر – لونجمان، القاهرة، 2003.

[10] قصاب، وليد، مقالات في الأدب والنقد، ط1، دار البشائر، دمشق، 2006.

[11] كولنج، ن. ي.، الموسوعة اللغوية، المجلد الثاني، ترجمة، محي الدين حميدي وعبد الله الحميدان، النشر العلمي والمطابع، جامعة الملك سعود، السعودية، 1421هـ.

[12] الواد، حسين، مناهج الدراسات الأدبية، ط4، منشورات عيون، الدار البيضاء، 1988.

[13] عالم الفكر، المجلد35، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، الكويت، يناير- مارس2007.

[14] Ferdinand De Saussure, Cours de linguistique générale, ENAG/ Editions, 2 ed, 1994.

# بعض العلاقات بين الرياضيات والموسيقى عبر التاريخ

فتحي صالح
أستاذ بقسم العلوم الموسيقية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
fethi.salah@g.ens-kouba.dz

## مقدمة

العلاقات بين الرياضيات والموسيقى غنية ومتعددة الأوجه، تمتد إلى آلاف السنين وتشمل تقاليد ثقافية وفكرية مختلفة. قد تبدو الرياضيات والموسيقى، للوهلة الأولى، وكأنهما مجالان منفصلان تمامًا. ومع ذلك، فإن هذين الميدانين مترابطان بعمق في الواقع إلى الحد الذي يمكن أن تساهم فيه الموسيقى بدورها وبشكل فعّال في تطوير تعلّم الرياضيات [2]. بداية من التدوين الموسيقي ومن بنية المؤلفات الموسيقية إلى نظرية الأعداد والترددات (في الفيزياء وعلم الصوت الموسيقي)، تلعب الرياضيات دورًا أساسيًا في الموسيقى. تسلّط هذه المقالة الضوء بطريقة موجزة عن كيفية اجتماع هذين المجالين وكيف يكمل كل منهما الآخر من خلال تطورهما التاريخي.

قبل التطرق إلى الجوانب التاريخية للعلاقات بين الرياضيات والموسيقى، من المفيد أن نقدّم باختصار، فيما يلي -خاصة للقرّاء غير المتخصصين في الموسيقى- أمثلة تبيّن بوضوح وجود بعض الرموز والعناصر الرياضية الأولية والبسيطة في التدوين الموسيقي، ليكون ذلك بمثابة مدخل لاكتشاف العناصر التي تسلط الضوء على العلاقات المذكورة.

في الواقع، يمكننا من خلال التدوين الموسيقي أن نرى بشكل مباشر استعمال أبسط العناصر الرياضية في المجال الموسيقي. العلاقة بين الرياضيات والموسيقى واضحة بالفعل في التدوين الموسيقي، وخاصة التدوين الحديث. ومع تطور أدوات الاكتشافات العلمية والتكنولوجية، نكتشف تدريجيًا مدى وحجم استخدام معظم الفروع الرياضية في جميع مستويات وجوانب الواقع الموسيقي تقريبًا (انظر: [1] و[8] و[11] و[12]).

## 1. الأعداد وبعض الأشكال الهندسية المستخدمة في التدوين الموسيقي

الشكل 1. مقارنة بين تدوين موسيقي قديم (يمين) وحديث (يسار)

على الرغم من أن أقدم المدونات الموسيقية تستخدم العلامات الأيقونية أو الحروف الأبجدية، يظهر في الشكل1 مدى استعمال الأعداد وبعض الأشكال الهندسية في التدوين الموسيقي، مما يبيّن أنه لا يمكن الاستغناء عن هذه العناصر الرياضية في تمثيل الأصوات وتغيرات خصائصها (مثل المدة الزمنية لكل صوت، سرعة تدفق الأصوات، حدّة أو ارتفاع الأصوات، إلخ) حيث بقيت هذه العناصر متداولة حتى عصرنا الحالي.

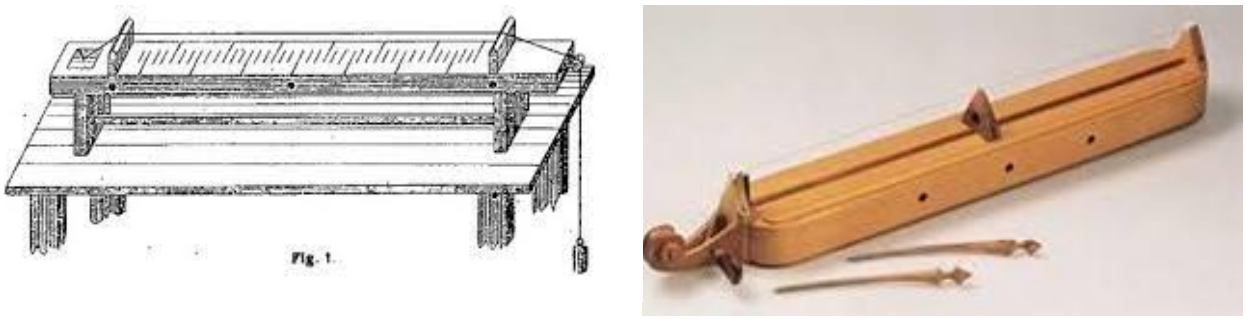
بالنسبة للأشكال الهندسية (في مثال التدوين القديم للشكل 1 الذي يرجع تاريخه إلى حوالي القرن الثالث عشر الميلادي) نلاحظ، بالإضافة إلى الخطوط الأفقية المتوازية (المعروفة بـ"المدرج الموسيقي"، الذي يمثّل محورًا لدرجات الحدّة أو الارتفاع) والخطوط العمودية المتوازية (التي تحدّد مجالات زمنية متساوية أو وحدات زمنية في محور الزمن)، وجود أشكال مثل المربعات والمعيّنات التي تشير إلى المدة الزمنية النسبية لكل صوت مدوّن. ورغم أن هذه المربعات والمعينات تنتُج عن استخدام ريش الطيور والحبر في كتابة الموسيقى (تمامًا كما استُخدم لكتابة اللغة)، فإن المدوّنين كانوا يدركون أهمية وجود أشكال هندسية ثابتة وإمكانية تنويعها (مثل دوران الريشة الذي سمح بتحويل المربع إلى معيّن). مع مرور الزمن، تحولت المربعات والمعيّنات إلى أشكال بيضاوية في التدوين الحديث بفضل تطور وسائل التدوين والطباعة.

## 2. من العصر الإغريقي القديم إلى نهاية العصور الوسطى في أوروبا والعالم العربي الاسلامي

رغم أن حضارات أقدم، مثل الصين والهند وبلاد الرافدين، سبقت الحضارة اليونانية في اكتشاف العديد من الظواهر المثيرة للاهتمام، إلا أنه كثيرًا ما يُقال إن الفضل يعود إلى فيثاغورس (حوالي 570-495 ق.م) في اكتشاف العلاقة بين طول الوتر ودرجة (حدّة) النغمات (أي الأصوات ذات ميزة وسيقية) والمسافات (الفواصل) بينها، وذلك باستخدام أو صنع "أحادي الوتر" أو المونوكورد، الذي كان يسميه الاغريق "القانون" (kanon). وهو جهاز بسيط يحتوي على وتر واحد ومسطرة تتيح قياس طول ذلك الوتر أثناء الاستماع إلى الأصوات الناتجة عن النقر عليه.

يُعدّ "القانون" أداة مهمة في دراسة العلاقة بين حدّة النغمات الناتجة عن اهتزاز الوتر والنسب العددية المستنتجة من النسب بين أطوال الأجزاء المهتزة للوتر ذاته. هذا الجهاز مرتبط ارتباطًا وثيقًا بما اكتشفه فيثاغورس ثم أقليدس، ولكن في سياق مختلف بالنسبة لهذا الأخير. استخدم فيثاغورس القانون لإثبات أن درجة النغمة الموسيقية مرتبطة بطول الوتر المهتز، وأن النسب البسيطة (مثل 1:2، 2:3 و4:3) تُنتج أنغامًا وفواصل (مسافات بين النغمات) متناغمة أي ذات ميزة الانسجام.

يُعرف أقليدس، الذي عاش حوالي 300 قبل الميلاد (أي بعد حوالي قرنين من فيثاغورس)، بكتابه الشهير في تاريخ الرياضيات بعنوان "الأصول" (Elements Euclid's). كما يُنسب إليه، دون توثيق مؤكد، كتابان هما: "تقطيع القانون" (Sectio Canonis) [10] و"مدخل إلى الهارمونيا" (Introductio Harmonica). ومن خلال هذين الكتابين، يتضح جليًا استعماله للقانون، وبالتالي اهتمامه بعالم الموسيقى والنغمات المنسجمة وعلاقتها بالنسب العددية.




الشكل 2. أحادي الوتر أو المونوكورد أو "القانون"

بفضل استخدام "القانون" تم اكتشاف العلاقة بين طول الوتر وطبقة أو درجة أو حدّة الأصوات الموسيقية وإمكانية ترتيبها فيما يُعرف بـ "السلم الموسيقي" (musical scale)، أي مجموعة النغمات المستخدمة لإنتاج المقطوعات الموسيقية. كان هذا قبل اكتشاف مفهوم التردد أو التواتر (frequency) في نهاية القرن السابع عشر وبداية القرن الثامن عشر، مع تطور علم فيزياء الصوت واكتشاف ميكانيك الاهتزازات. بعد ذلك، لجأ الباحثون إلى استخدام وحدة لقياس درجة أو حدة النغمات، وهي "الهرتز" (Hz)، التي تُمثّل عدد الاهتزازات في وحدة الزمن، أي الثانية. وقد سُمّيت هذه الوحدة نسبةً إلى المهندس والفيزيائي الألماني هاينريش هيرتز Heinrich Hertz (1857-1894).

أما أشهر الفلاسفة الإغريق، أفلاطون (حوالي 427-347 ق.م.) وأرسطو (388-322 ق.م.)، فقد استكشفا الروابط بين الرياضيات والموسيقى. اعتبر أفلاطون الموسيقى وسيلة لتثقيف الروح، بينما اهتم أرسطو بالمبادئ الرياضية التي تقوم عليها السلالم الموسيقية و"التناغم" أو "الانسجام" (Harmony) بين الأصوات الموسيقية.

كتب الفيلسوف الروماني بويثيوس Boethius (480-524) كتابًا عنوانه "مؤسسة الموسيقى" (De Institutione Musica)، وكان لهذا الكتاب تأثير كبير في أوروبا خلال العصور الوسطى. صنّف بويثيوس الموسيقى إلى ثلاثة أنواع: "موسيقى الأجرام السماوية" (mundana Musica)، وهو نوع يعبّر عن العلاقة بين علم الفلك والموسيقى؛ و"موسيقى الجسد والروح البشرية" (Humana Musica)؛ و "الموسيقى المادية" (Musica Instrumentalis)، وهو النوع الأقرب إلى المفهوم الحالي للموسيقى. وقد جمع عمله بين المبادئ الرياضية ونظرية الموسيقى.

كان لنظرية الموسيقى في الحضارة العربية الاسلامية تأثير كبير على الموسيقى ونظرية الموسيقى في أوروبا [4]، ولا سيما من خلال ترجمات النصوص العربية إلى اللاتينية، خاصة في المركز الأندلسي للترجمة: طليطلة [5]. لعبت هذه الترجمات دورًا في نقل المعرفة الموسيقية والفلسفية بين الثقافات، مما أدى إلى إثراء نظرية الموسيقى الغربية. ساهم المؤلفون العرب والمسلمون بشكل كبير في تطوير النظرية الموسيقية، حيث دمجوا الجوانب الرياضية والفلسفية والجمالية. ولم يقتصر عملهم على إثراء الموسيقى فحسب، بل كان لهم أيضًا تأثير عميق على الموسيقى ونظرية الموسيقى على مستوى العالم.

حظيت نظرية الموسيقى، خاصة خلال العصر الذهبي للحضارة الإسلامية (تقريبًا من القرن الثامن إلى القرن الثالث عشر الميلاديين)، بتاريخ غني ومؤثر. ونذكر فيما يلي أهم المؤلفين [7]:

أ. يعقوب بن اسحاق الكِنْدِي (801-873 م)، ومن أشهر مؤلفاته في الموسيقى [6]:

- الكتاب الأعظم في التّأليف
- رسالة الكندي في اللّحون والنّغم
- رسالة في أجزاء خبريّة في الموسيقى (الشكل 3)
- رسالة في خبر صناعة التّأليف
- كتاب المصوّتات الوتريّة من ذات الوتر الواحد إلى ذات العشرة أوتار
- مختصر الموسيقى في تأليف النّغم وصنعة العود -> قول على اللّحون (أقليدس)

الشكل 3. رسالة الكندي في أجزاء خبريّة في الموسيقى

من مخطوط المكتبة الوطنيّة - برلين (ألمانيا): 1240/424

ب. كان الفارابي، المعروف بأبي نصر محمد بن محمد الفارابي (872-950م)، أحد أعظم فلاسفة الإسلام وعلماء الموسيقى في العصور الوسطى. له إسهامات بارزة في الموسيقى، حيث كتب العديد من المؤلفات التي أثّرت في تطور هذا العلم، ومن أهم مؤلفاته في الموسيقى [3]:

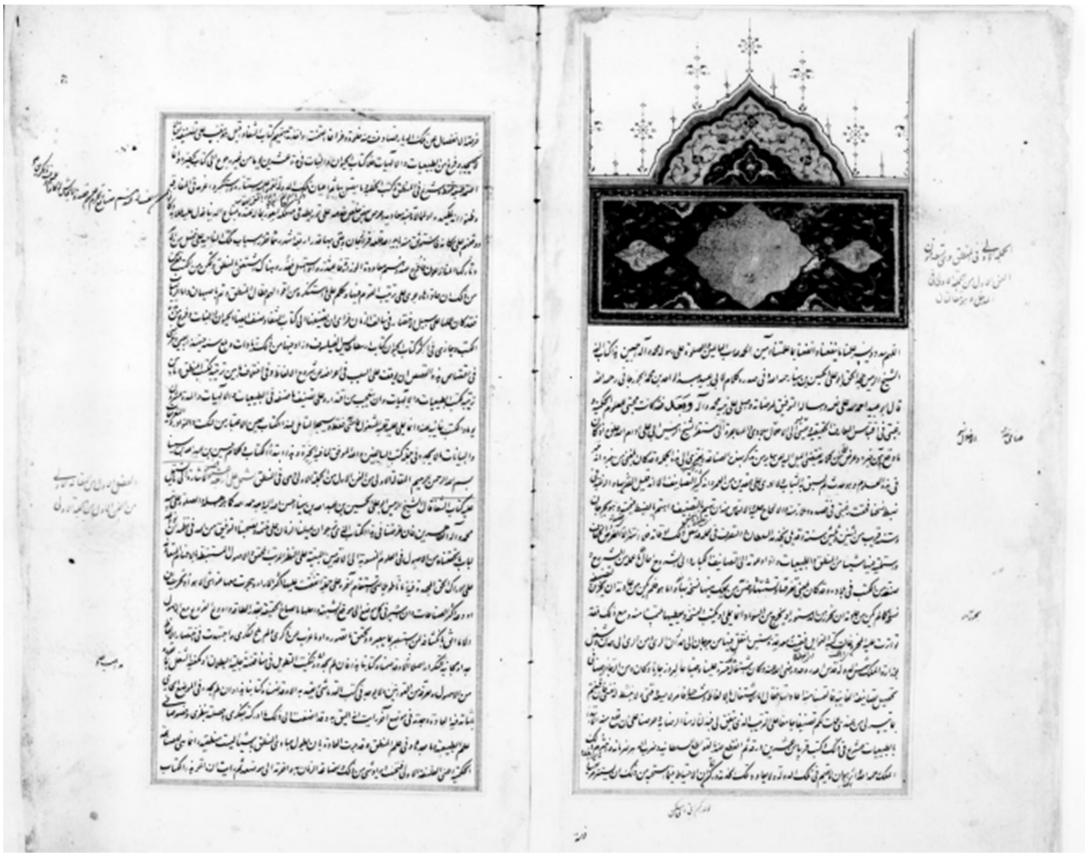
- المدخل إلى صناعة الموسيقى (المقالة الأولى)
- كتاب إحصاء العلوم
- رسالة في علم الموسيقى
- كتاب إحصاء الإيقاعات
- كتاب الموسيقى الكبير (الشكل 4)
- كتاب جليل في علم الموسيقى وعلم التّأليف والخواص من علوم الفلسفة النظرية
- كتاب في الإيقاعات
- من كتاب المدخل في الموسيقى

الشكل 4. من "كتاب الموسيقى الكبير" للفارابي
من مخطوط المكتبة الوطنيّة - مدريد (اسبانيا): 241

كانت إسهامات الفارابي في الموسيقى ذات تأثير كبير، ليس فقط في العالم الإسلامي، بل في الغرب أيضًا، حيث تُرجمت أعماله إلى اللاتينية ودُرست في أوروبا لعدة قرون.

ج. من جهته، كان ابن سينا (980-1037م)، المعروف بأبي علي الحسين بن عبد الله بن سينا، عالمًا موسوعيًا وفيلسوفًا وطبيبًا، وله إسهامات مهمة في علم الموسيقى. وعلى الرغم من أن الموسيقى لم تكن مجال تخصصه الرئيسي، إلا أنه تناولها ضمن كتاباته الفلسفية والطبية. من أهم مؤلفاته التي تناولت الموسيقى:

- القانون في الطّب
- رسالة في الحروف
- رسالة في النّفس
- في بيان أقسام العلوم الحكمية والعقلية
- كتاب الشّفاء / الرياضيات: جوامع علم الموسيقى (الشكل 5)
- كتاب النّجاة



الشكل 5. من "كتاب الشفاء" لابن سينا
من مخطوط المكتبة الوطنية الفرنسية – 6829

لم تكن نظرة ابن سينا للموسيقى على أنها مجرد فن جمالي، بل أيضًا كعلم يرتبط بالرياضيات والفلسفة وله دور في العلاج والصحة. لقد أثّرت إسهاماته في هذا المجال بشكل كبير في الفكر الموسيقي في العالم الإسلامي وخارجه.

لا يمكن أن ننهي هذه اللمحة التاريخية الموجزة عن الحضارة العربية الإسلامية دون ذكر عالمين يرجع لهما الفضل كذلك، ولو بطريقة غير مباشرة، في ربط الرياضيات بالموسيقى، وهما: صفي الدين الأرموي وشمس الدين الصيداوي الدمشقي.

د. صفي الدين عبد المؤمن أبو يوسف بن فخر الأرموي (1230-1294م) هو موسيقي وعالم موسيقى بارز من العصر العباسي، ويُعتبر من أهم المنظرين في علم الموسيقى في التاريخ الإسلامي. كان له تأثير كبير في تطوير النظرية الموسيقية العربية الإسلامية. من أشهر مؤلفاته في الموسيقى:

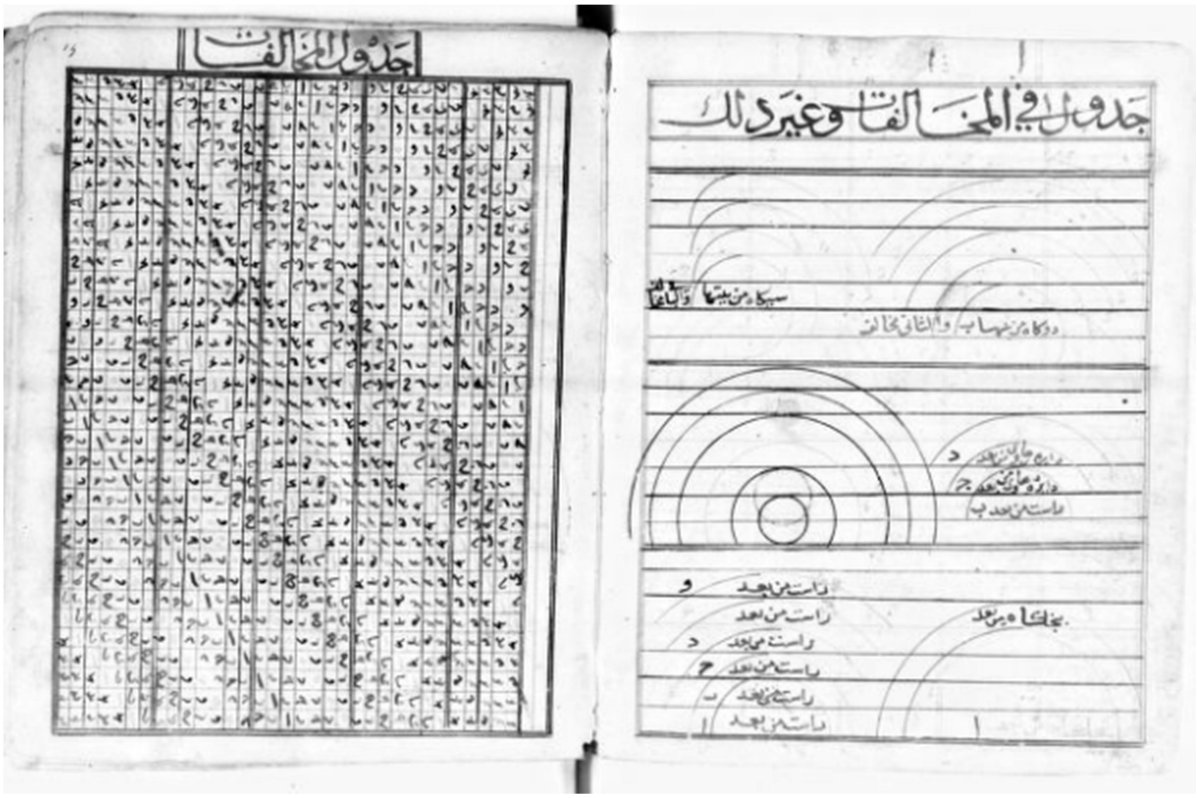
- الرسالة الشرفيّة في النسب التأليفية (الشكل 6)
- فائدة في علم الموسيقى
- كتاب الأدوار

الشكل 6. من "الرسالة الشرفية في النسب التأليفية" للأرموي
من مخطوط المكتبة الوطنيّة - برلين (ألمانيا): Bs. Lbg. 11

أسس صفي الدين الأرموي من خلال هذه المؤلفات قواعد النظريات الموسيقية العربية، وكان له تأثير كبير على تطور الموسيقى في العالم الإسلامي والمناطق المجاورة. تُعتبر أعماله مرجعًا لا غنى عنه لدراسة الموسيقى العربية التقليدية وتاريخها.

هـ. شمس الدين الصيداوي الدمشقي (ت. 1504م)، المعروف أيضًا باسم شمس الدين محمد أبو عبد الله الذهبي الصيداوي الدمشقي، هو موسيقي ومنظر موسيقي من العصر المملوكي. ومع ذلك، لا تتوفر الكثير من المعلومات حول تفاصيل حياته أو مؤلفاته. اشتهر الصيداوي في الأوساط الموسيقية في عصره بإسهاماته في توثيق وترسيخ علم الموسيقى العربية. من أهم وأشهر مؤلفاته:

- اللّفظ الرّائق في مدح خير الخلائق
- كتاب الإنعام في معرفة الأنغام (الشكل 7)
- كنز الطّرب وغاية الأرب في مدح سيّد العجم والعرب




الشكل 7. من "كتاب الإنعام في معرفة الأنغام" للصيداوي
من مخطوط المكتبة الوطنيّة - باريس (فرنسا): 2480

على الرغم من أن مؤلفاته ليست مشهورة بقدر مؤلفات علماء موسيقى مثل الفارابي أو صفي الدين الأرموي، إلا أن شمس الدين الصيداوي الدمشقي ساهم في تطور النظرية الموسيقية العربية وإثراء التراث الموسيقي الإسلامي.

## 3. من عصر النهضة إلى القرن التاسع عشر

كانت العلاقات بين الرياضيات والموسيقى وثيقة ومتداخلة بشكل كبير من عصر النهضة إلى القرن التاسع عشر. يمكن تتبع هذه العلاقات من خلال عدة مفاهيم وأفكار، نعرض أبرزها فيما يلي:

- **النظرية الفيثاغورية**

قبل عصر النهضة، كان هناك اهتمام كبير بنظرية فيثاغورس التي تربط بين الرياضيات والموسيقى. اكتشف فيثاغورس العلاقة بين الطول النسبي للأوتار المهتزة والأنغام الموسيقية الناتجة عنها. ومن خلال هذه النظرية، تم التأكيد على أن النسب الرياضية تتحكم في تناغم الأصوات، وهذا المفهوم بقي مؤثرًا خلال عصر النهضة وما بعده.

- **التناغم والنسب**

في عصر النهضة (من القرن الرابع عشر إلى السابع عشر)، كان هناك تركيز على الجمال والتناسب، ليس فقط في الفن والهندسة المعمارية، ولكن أيضًا في الموسيقى. واستخدمت النسب الرياضية لإنشاء ألحان متناغمة. كما استخدم الموسيقيون والملحنون النسب البسيطة مثل 2:1 (الأوكتاف)، 3:2 (الخامسة المثالية أو التامة)، و4:3 (الرابعة المثالية أو التامة) لبناء ألحانهم.

- **الاهتمام العلمي والرياضي بالموسيقى**

في القرنين السابع عشر والثامن عشر، ازدادت الأبحاث العلمية التي تهتم بالموسيقى بشكل رياضي. على سبيل المثال، استخدم الملحن الألماني يوهان سيباستيان باخ Johann Sebastian Bach (1685-1750) الرياضيات في تأليف موسيقاه، حيث كان يهتم بالتناظر والتناغم الرياضي في أعماله، وبالخصوص في فن "الفوقا" (Fuga). في الوقت ذاته، بدأ علماء الرياضيات مثل رينيه ديكارت René Descartes (1596-1650) وكارل فريدريش غاوس Carl Friedrich Gauss (1777-1855) بالاهتمام بالموسيقى من منظور رياضي.

- **نظرية الأعداد، الاحتمالات في الموسيقى**

خلال القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، تطورت نظرية الأعداد وتطبيقاتها في الموسيقى. استخدم ملحنون مثل وولفغانغ أماديوس موزارت Wolfgang Amadeus Mozart (1756-1791) الأعداد والنسب الرياضية، بل وحتى الاحتمالات (Musikslisches Würfelspiel/Musical dice game) في تنظيم مؤلفاتهم الموسيقية، حيث كانت الأنماط والهياكل الموسيقية تعتمد على قواعد رياضية.

- **علم فيزياء الصوت**

مع تطور علم فيزياء الصوت في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، بدأ العلماء في فهم كيفية إنتاج الأصوات ونقلها. أدى ذلك إلى تحسين الآلات الموسيقية وتطوير نظرية الموسيقى بشكل أكبر. هؤلاء العلماء، ومن بينهم هيرمان فون هيلمهولتز Hermann von Helmholz (1821-1894)، درسوا مكونات الأصوات وكيفية إنتاجها وتنظيمها، مما ساهم في فهم أعمق للعلاقة بين الرياضيات والموسيقى.

## 4. في القرن العشرين

في القرن العشرين، تطورت العلاقة بين الرياضيات والموسيقى بشكل كبير، حيث شهدت هذه الفترة تغييرات جذرية في كل من النظرية الموسيقية والتقنيات الموسيقية، مع زيادة استخدام المفاهيم الرياضية في الموسيقى. يمكن تقسيم هذه العلاقة إلى عدة جوانب رئيسية:

- **التأليف الموسيقي القائم على النظم الرياضية**

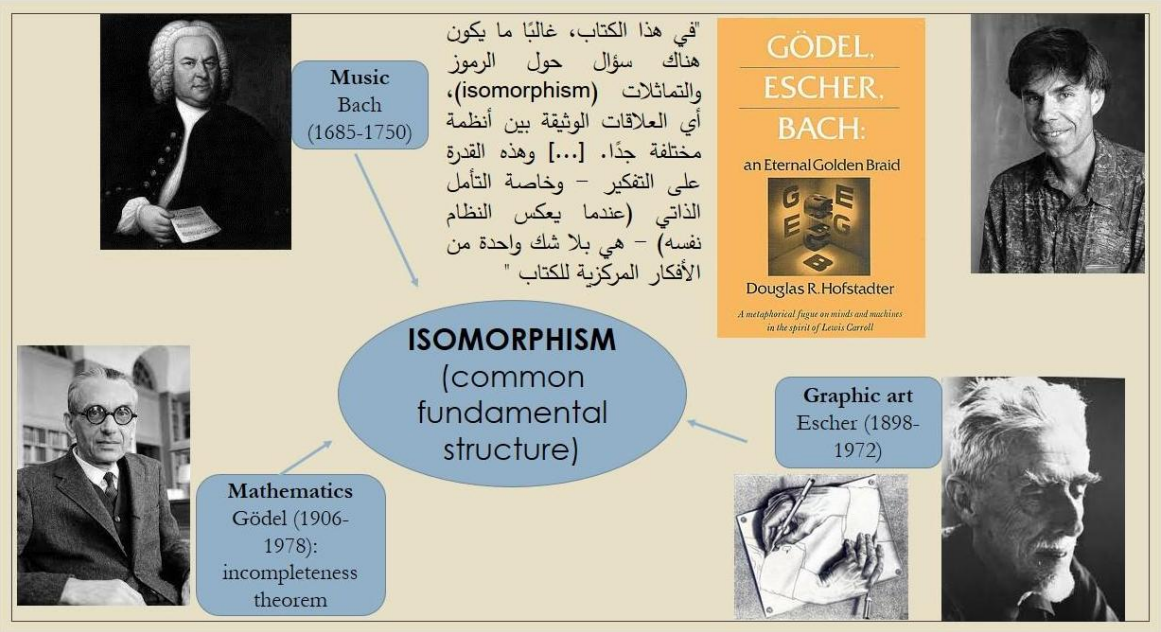
– **الموسيقى التسلسلية** (Serialism): في أوائل القرن العشرين، ابتكر الملحن النمساوي أرنولد شونبيرج Arnold Schönberg (1874-1951) نظامًا موسيقيًا جديدًا يسمى "الدوديكافونية" (dodecaphony) أو "الموسيقى الاثني عشرية النغمات" (twelve-tone serialism)، وهو نظام يستخدم سلسلة من 12 نغمة موسيقية دون تكرار لأي نغمة حتى تُستخدم جميع النغمات. هذا النظام يتطلب تنظيمًا صارمًا للنغمات، ويُعد مثالًا على استخدام النظم الرياضية في التأليف الموسيقي.

– **الموسيقى العشوائية** (cAleatoric musi): تم استخدام الرياضيات أيضًا في الموسيقى العشوائية، حيث يتم استخدام طرق حسابية أو عشوائية لتحديد عناصر معينة من العمل الموسيقي، مثل الألحان أو الإيقاع. يُعد جون كيج John Cage (1912-1992) من أشهر الملحنين في هذا السياق، حيث استخدم العمليات العشوائية والحسابية لإنشاء موسيقاه.

- **تحليل الموسيقى باستخدام الرياضيات**

في القرن العشرين، تم استخدام الرياضيات لتحليل الموسيقى بطريقة أكثر دقة. على سبيل المثال، استخدم علماء الموسيقى مثل ألين فورتي Allen Forte (1926-2014) نظرية المجموعات (Set theory) لتطوير طرق

جديدة لتحليل الموسيقى الكلاسيكية والحديثة، مما أتاح فهمًا أعمق للبنية والتناغم الموسيقي. ومع تطور التحليل، تم اكتشاف علاقات وثيقة بين مجالات متنوعة مثل الرياضيات والموسيقى والفنون التصويرية (الشكل 8)، كما أظهر ذلك بوضوح دوجلاس هوفستادتر (Douglas Hofstadter) في كتابه المعنون بـ Gödel, Escher, Bach : an Eternal Golden Braid [9]. ويسلط هوفستادتر الضوء على العلاقات التماثلية (isomorphism) بين أعمال باخ وعالم الرياضيات كورت جودل Kurt Gödel (1906-1978) من خلال نظريته في عدم الاكتمال (incompleteness theorem) وأعمال الفنان التشكيلي الهولندي موريتس كورنيليس إيشر Maurits Cornelis Escher (1898-1972).




الشكل 8. علاقة التماثل (isomorphism) بين الرياضيات، الموسيقى والفن التشكيلي

- **المعالجة الرقمية للأصوات**

مع ظهور الحاسوب في منتصف القرن العشرين، تم استخدام الرياضيات على نطاق واسع في معالجة الأصوات. تطورت خوارزميات لتحليل الصوت وتركيبه، مما أتاح إنشاء أصوات جديدة وتطوير الموسيقى الإلكترونية. كانت رياضيات التحليل التوافقي (Fourier analysis) أساسًا لفهم كيفية تحليل الصوت وتركيبه.

- **التأليف الموسيقي بواسطة الحاسوب**

في منتصف القرن العشرين، بدأت الحواسيب تُستخدم لإنشاء الموسيقى باستخدام الخوارزميات الرياضية لتوليد الألحان والإيقاعات. الملحن اليوناني إيانس كزيناكيس Iannis Xenakis (1922-2001) كان من أبرز من استخدم تقنيات رياضية مثل الحساب الإحصائي (statistical calculation) والنظرية الاحتمالية (process Stochastic) لتوليد موسيقى بواسطة الحاسوب.

- **الموسيقى الكسورية (Fractal music)**

في أواخر القرن العشرين، بدأ بعض الملحنين في استكشاف استخدام الرياضيات الكسورية في الموسيقى. الكسوريات، تلك الهياكل الرياضية المعقدة التي تتكرر بنمط ذاتي، أضافت بُعدًا جديدًا للإبداع الموسيقي، حيث تم تطبيقها لإنشاء تراكيب صوتية ذات طابع متكرر ومعقد.

- **الذكاء الاصطناعي والموسيقى**

في أواخر القرن العشرين، بدأت الأبحاث في استخدام الذكاء الاصطناعي لتوليد وتحليل الموسيقى. تعتمد هذه التقنيات على خوارزميات رياضية معقدة للتعلم الآلي والتعرف على الأنماط، مما سمح للآلات بإنتاج موسيقى تلقائيًا تشبه إلى حد كبير الأساليب البشرية.

## خاتمة

العلاقات بين الموسيقى والرياضيات عديدة وعميقة. تكمن المبادئ الرياضية في بنية الموسيقى، بدءًا من إنشاء النوتات والإيقاعات وصولًا إلى تأليف وتحليل الأعمال الموسيقية. من خلال استكشاف هذه الروابط، نستطيع تقدير ليس فقط جمال الموسيقى، ولكن أيضًا الدور الحيوي الذي تقوم به الرياضيات في خلقها. وعلى الرغم من أن الموسيقى تُعتبر فنًا يعبر عن المشاعر والعواطف، إلا أن الرياضيات كانت دائمًا جزءًا لا يتجزأ من تطورها. من خلال فهم العلاقة بين النغمات والهياكل الموسيقية، استطاع الملحنون استخدام الرياضيات لإنتاج أعمال موسيقية تتسم بالتعقيد والجمال.

وتشير هذه العلاقات بين الرياضيات والموسيقى إلى تقارب عميق بينهما، حيث تمثل الأرقام والنماذج الهندسية أساسًا لتنظيم الأصوات والأنماط الموسيقية. من العصر الإغريقي القديم، مرورًا بالعصور الوسطى وعصر النهضة وصولًا إلى القرن العشرين، تطورت هذه العلاقات لتشمل أشكالًا وأساليب مختلفة، مما يعكس التداخل بين الرياضيات والموسيقى كفنون تعبيرية تجمع بين العقلانية والجمال. سواء من خلال تنظيم التوافقيات (Harmonics) في العصر الكلاسيكي أو باستخدام العمليات الرياضية في الموسيقى التجريبية الحديثة، تبقى الرياضيات رفيقًا دائمًا للموسيقى، تؤثر فيها وتتأثر بها.

## المصادر والمراجع

[1] بدر، محمود إبراهيم، الرياضيات والموسيقى، مجلة كلية التربية ببنها، العدد 111، 2017، 455-465. article_62702_3736c3a311f1a1671c3bfdf5cda8145d.pdf (ekb.eg)

[2] زهران، العزب محمد، حول استخدام الموسيقى في تعليم الرياضيات، مجلة تربويات الرياضيات، كلية التربية ببنها، العدد 16، 2013، 6-12. article_82412_526d38ffee41b01c389eb83680245cf1.pdf (ekb.eg)

[3] عيدون، أحمد، الفكر الموسيقي عند الفارابي، منشورات المتوسط، ميلانو، ايطاليا، 2024.

[4] فارمر، هنري جورج، حقائق تاريخية عن التأثير الموسيقي العربي، ترجمة (من الإنكليزية) عبد الله مختار السباعي، المؤسسة العربية للدراسات والنشر/المجمع العربي للموسيقى، 2015.

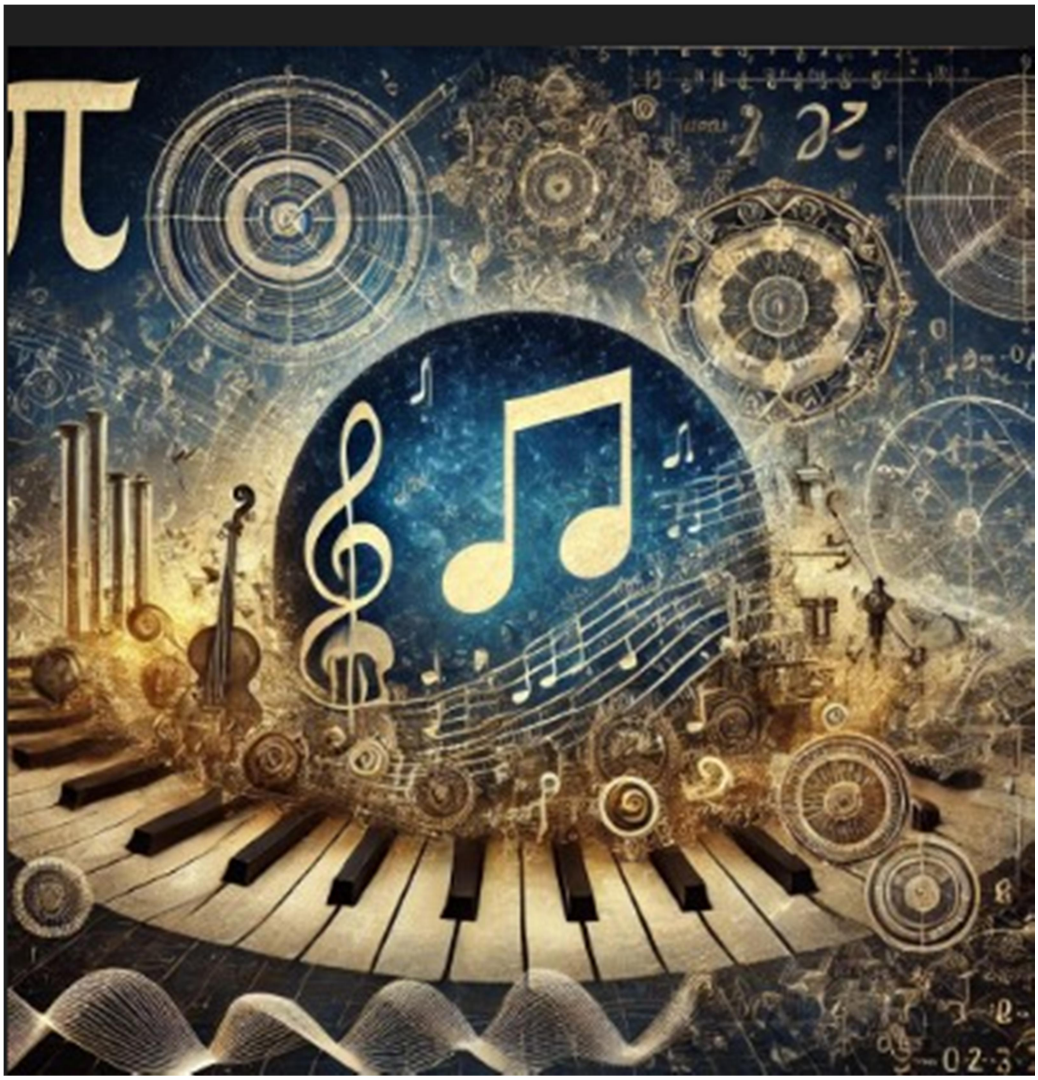
[5] فارمر، هنري جورج، "الترجمات الأولى من اللغة العربية إلى اللاتينية"، حقائق تاريخية عن التأثير الموسيقي العربي، ترجمة (من الإنكليزية) عبد الله مختار السباعي، المؤسسة العربية للدراسات والنشر/المجمع العربي للموسيقى، 2015، 246-248.

[6] الكندي، أبو يوسف يعقوب بن إسحاق، مؤلفات الكندي الموسيقية، تحقيق زكريا يوسف، منشورات الجمل، بغداد-بيروت، 2009.

[7] http://saramusik.org (هذا الموقع عبارة عن فهرس موحّد للمخطوطات الموسيقية والمصادر العربية للموسيقى).

[8] Cohen, G. (sous la dir. de), Maths et Musique, Des destinées parallèles, Tangente HS n°11, 2005. F023007.pdf (livre21.com)

[9] Hofstadter, D., Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid, 1979, NY: Basic Books. Traduction française: Gödel, Escher, Bach: les Brins d'un Guirlande Eternelle, 1985, InterEditions, Paris.
[10] Mathiesen, T. J., An annotated translation of Euclid's division of monochord, Journal of Music Theory, n13, 1975, 236-259. Mathiesen, An Annotated Translation of Euclid's Division of The Monochord | PDF (scribd.com)
[11] The mathematics of music, 20190911-lala-booklet-v0.4-web-text.pdf (imaginary.org)
[12] Wright, D., Mathematics and Music, 2009, 00Book.dvi (wustl.edu)



# فيزيـــــاء

# تاريخ ميكانيكا الكم

إبراهيم سعد الله
أستاذ (متقاعد) بقسم العلوم الفيزيائية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
brahim.sadallah@g.ens-kouba.dz

ظهر النموذج الكمي في التاريخ سنة 1930. وكان النموذج التقليدي هو السائد منذ نشأته؛ إذ أنه نموذج كامل متكامل متسق قائم بذاته بسيط رائع. لكن ظهرت تجربة سنة 1859 تعارضت نتائجها مع نتائجه، وتكرر ذلك في السنوات 1887 و1914 و1923 و1927. وقد كشفت التجربة الأخيرة عن وجود دالة $\psi(\vec{r},t)$ تواكب حركة جسم مادي كلما تحرك. إنها دالة مدسوسة في طيات الطبيعة، وهو ما يمثل أمرًا غريبًا على النموذج التقليدي بحكم جهل أسبابه. ودام هذا التباين 70 عامًا، مما عطّل البحث العلمي طيلة هذه الفترة.

وقبل المضي في عرض الموضوع، نوّد تعريف مصطلحين:

أ- **النموذج التقليدي**: يشير إلى ثلاثة علوم:

1) قوانين الحركة الثلاث لنيوتن (Newton)،

2) معادلات ماكسويل (Maxwell) الأربع ومرافقاتها،

3) قوانين الإحصاء لبولتزمان (Boltzmann).

ب- **النموذج الكمي**: يشير إلى المسلمات الأربع لديراك (Dirac).

## 1. قبل ميلاد ميكانيكا الكم

كان النموذج التقليدي هو عُدّة البحث العلمي في هذا المجال منذ نشأته، فأبلى بلاءً حسنًا، إذ كانت نتائجه متفقة مع نتائج التجارب: طوّر البحث العلمي، وحرّك العربات وآلات النسيج وأدوات الحروب وآلات القياس والاتصالات، حتى سُمّي عهده "عهد النهضة العلمية"، وما إلى ذلك. ولم يخطر على بال أحد الشك في صحته وسلامة أسسه؛ إذ كان نموذجًا سهلًا كاملًا متكاملًا متسقًا قائمًا بذاته ورائعًا.

لكن في عام 1859 ظهرت تجربة لم تتفق نتائجها مع نتائج النموذج التقليدي، تناولت ظاهرة الإشعاع الحراري للجسم العتم (الأسود). تسبب ذلك التباين في صدمة حيّرت الباحثين، ولا يعلم أحد أسبابه. أدى هذا الوضع إلى بلبلة بين العلماء، وظهرت إثر ذلك مدارس فكرية في العالم، مما أثّر في صيرورة البحث. والأدهى من ذلك توالي ظهور تجارب تتضارب نتائجها مع نتائج النموذج التقليدي حتى عام 1927.

نشير إلى أن بلانك (Planck) تمكّن من تفسير نتائج التجربة المذكورة بأفكار غير تقليدية عام 1900. لكن العلماء لم يولوا لذلك التفسير الأهمية التي يستحقها لأن أفكار بلانك لم تكن متفقة الأفكار السائدة في النموذج التقليدي.

انقسمت آراء الباحثين إلى ثلاث فرق:

1) فرقة صمتت ولم تُبدِ رأيها في أسباب التباين.

2) فرقة أوعزت التباين إلى عدم فهم النموذج التقليدي بعمق، ورفضت أن تشوبه شائبة. وهي الفرقة الغالبة، وحجة هؤلاء العلماء ما يرونه من تطبيقات لهذا النموذج في آلات وأدوات تستخدم في الحروب والنسيج وأجهزة القياس والاتصالات، إلخ.

3) فرقة أوعزت التباين إلى وجود خلل يعتري النموذج التقليدي، وهي فئة قليلة العدد. وحسب المراجع، نشب صراع صاخب بين الفرقتين الثانية والثالثة، وامتد وتوسع إلى مدارس مختلفة، ودام مدة فاقت 70 عامًا، وبلغت حدة الصراع درجة تجاوزت المعقول. أما حالة البحث العلمي أثناء تلك الفترة فحدّث ولا حرج، إذ تردّت وتعطلت، حتى صار الباحث لا يثق في أبحاث غيره ويشكك في محتوياتها.

وظهرت تجربة لهنريش هيرتز (Heinrich Hertz) سنة 1887 حول الكهرباء الضوئية، وظهر تباين بين نتائج التجربة ونتائج النموذج التقليدي. كما ظهرت تجربة أخرى لجيمس فرانك (James Franck) وجوستاف هيرتز (Gustav Hertz) عام 1914، وظهر هنا أيضًا تباين في نتائجها مع النموذج التقليدي. ولقد أظهرت هذه التجربة تكميم الذرات، بمعنى أن الإلكترونات في الذرة موجودة في سويات طاقية مختلفة، مؤيدة بذلك نظرية بوهر (Bohr)، وهو ما يرفضه النموذج التقليدي.

وفي عام 1923، بيّن آرثر كومبتون (Arthur Compton) تجريبيًا وحسابيًا، بطريقة غير تقليدية، وجود ازدواجية في سلوك حركة الضوء. يتعلق الأمر بسلوك موجي ماكسويلي مألوف وسلوك جسمي غير مألوف، لا ينفكان عن بعضهما. كما أشرنا أدناه

سلوك لضوء عند النموذج التقليدي واحد: موجي ← سلوك لضوء عند التجربة سلوكان: موجي، جسمي

التخطيط الأول لسلوك حركة الضوء

وهذا مخالف لمفهوم النموذج التقليدي.

وفي عام 1927، جاءت تجربة سُميت "تجربة دفسن وجرمر (Davisson-Germer)" للفيزيائيين الأمريكيين كلنتون دافيسون (Clinton Davisson) وليستر جرمر (Lester Germer)، الهدف منها تحسين أداء أشعة ($X$). فشاهدا، من بين ما شاهدا، أهدابًا (موجة) تواكب حركة إلكترون (جسم مادي). فَتَعَجَّبا مما رصداه، إذ لم يكن ذلك مقصد التجربة. يُروى أنهما أوقفا آنذاك التجربة وهرعا إلى المدرج ليعلنا عما شاهداه. يشير المشهد إلى وجود ازدواجية في سلوك حركة الجسم المادي (سلوك جسمي نيوتني مألوف وسلوك موجي غير مألوف، لا ينفكان عن بعضهما). فقد بيّنت هذه التجربة وجود موجة $\psi(\vec{r},t)$ تواكب حركة جسم مادي كلما تحرك. من الواضح أن المشهد يخالف مفهوم النموذج التقليدي، ومن ثمّ فهذه نتيجة تُعد جديدة، لا بد لأي باحث نظري صادق أن يأخذها بعين الاعتبار.

سلوك لجسم عند النموذج التقليدي واحد: جسمي ← سلوك لجسم عند التجربة سلوكان: موجي، جسمي

التخطيط الثاني لسلوك حركة الجسم المادي

**ملاحظة هامة**: هناك جديد، إن كنت لم تدركه بعد! انظر إلى التخطيطين الأول والثاني السابقين، ولاحظ أن سلوك الضوء والجسم عند التجربة متماثلان؛ حركتهما جسمية وموجية في وقت واحد، لا ينفكان عن بعضهما، وليس بإمكان أحد الفصل بينهما البتة. هذا هو الجديد الذي أبرزته التجربة. أما في النموذج التقليدي، فحركة الضوء تختلف عن

حركة الجسم، وهذه هي الثغرة التي اعترت النموذج التقليدي. في النموذج الكمي، الذي سنطلع عليه لاحقًا، يُعامَل الضوء والجسم المادي على قدم المساواة، كما تقول التجربة. فهذا منعرج جديد.

ينبغي التنويه بأنه، رغم أن كومبتون بيّن بالتجربة والحساب وجود السلوك الجسمي للضوء، فإن ابن الهيثم قال في كتاب "المناظر" ضمن الرسالة الأولى (تاريخ المناظر) "ما الضوء إلا أجسام دقاق".

إن تجربة عام 1927 هي آخر التجارب التي أظهرت تناقضًا بين نتائجها ونتائج النموذج التقليدي. وقد أبرزت وجود الدالة (الموجة) $\psi(\vec{r},t)$ التي تواكب حركة جسم مادي إذا تحرك. هذه دالة كانت موجودة في ثنايا الطبيعة، وشاهدها الإنسان لأول مرة وأبهرت العلماء. لكنهم تساءلوا عن دورها ووظيفتها في المسألة؛ لا أحد كان يعرف ماهيتها أو مصدرها أو علاقتها بالحركة. واستمر حال البحث العلمي متعثرًا مدة سبعة عقود. وبعد هذه التجربة، بات جميع العلماء يدركون أن النموذج التقليدي نموذج منقوص.

حاول بعض كبار العلماء تصحيح الخلل الذي لوحظ في النموذج التقليدي؛ فبذلوا جهودًا مضنية، لاسيما خلال الربع الأول من القرن العشرين. فقد ازداد النقاش آنذاك حدةً شمل العلماء ومدارسهم، وبرزت أفكار مختلفة تهدف إلى جعل النموذج التقليدي يفسر نتائج التجارب المثيرة للجدل. وهكذا، أدخلوا على النموذج وسائط في العلاقات الفيزيائية، وقدّموا نماذج أخرى، لكن بمفاهيم تقليدية، مثل نموذج بوهر ونموذج سمرفيلد (Sommerfeld) وأفكار دي بروي (de Broglie)، وغير ذلك. وفي هذا الخضم، نجح نموذج بوهر ونموذج سمرفيلد في تكميم الدفع الزاوي والطاقة لذرة الهيدروجين، لكنهما سرعان ما فشلا في جهات أخرى. والحقيقة أن هذا المقام لا يسمح بذكر ما جاء في تلك الوثائق التي ظهرت وقتئذ.

وبعد وقت طويل من اكتشاف الموجة $\psi(\vec{r},t)$، تمكن بورن (Born) من تحديد دورها، ووضع ذلك في ثلاث مسلّمات. تقول أولاها "الدالة التي تواكب حركة الجملة الفيزيائية تنطوي على كافة المعلومات التي يمكن الوصول إليها (حول الجملة)." هذه الفكرة مازال العمل بها جاريًا، وتُعدّ عمدة من أعمدة ميكانيكا الكم.

يمكن للمرء أن يتخيّل الحالة التي عاشها الباحث خلال الحقبة 1859-1930؛ إذ كان تائهًا واهمًا غير واثق من نتيجة بحثه، ويشكك في نتائج بحوث غيره. والأدهى أنه لم يكن له سند يثق فيه. وأدى هذا الوضع إلى حالة ارتباك في البحث العلمي، ليس هذا فحسب، بل نشبت خلافات وفتن بين العلماء، لا يسع المقام لذكر تفاصيلها. وحتى هذه المرحلة، لم يكن هناك باحث نظري يأخذ بعين الاعتبار الدالة وازدواجية سلوك الضوء والجسم المادي.

## 2. إرهاصات ميلاد ميكانيكا الكم

في الوقت الذي كان فيه البحث العلمي غارقًا في تناقضات بين نتائج الحساب المستند إلى النموذج التقليدي، ونتائج التجارب، والعلماء هائمون، صدر كتاب لبول ديراك بتاريخ 29 ماي 1930عنوانه "مبادئ ميكانيكا الكم" (Principles of Quantum Mechanics). أسس هذا الكتاب نموذجًا لميكانيكا الكم، وهو نموذج بسيط كامل متكامل متسق قائم بذاته ورائع، حسم فيه المعضلة والصراع الطويل، فأنقذ بذلك البحث العلمي في هذا المجال وأخرجه من الظلمات.

قال ديراك: "لما عزمت على تأليف كتاب 'المبادئ الأساسية لميكانيكا الكم' حدثتني نفسي، هل أكتبه بلغة رياضية أم بلغة لفظية؟ فرجّحت اللغة اللفظية لأجعله أقرب إلى الفيزيائيين".

من هو ديراك؟ إن ديراك من علماء الرياضيات، وله عدة نظريات في الفيزياء، نذكر منها نظرية ميكانيكا الكم، ونظرية بحر الإلكترونات، ونظرية الثقوب (Hole Theory) وصلتها بالمادة المضادة (Antimatter) التي كان مكتشفها. وقد أسس معادلة الحركة الكمية النسبية التي سميت باسمه، واكتشف من خلالها وجود اللف (Spin) الذاتي لكل

جسيم في الطبيعة؛ وهو الدفع الزاوي الذاتي. ولديراك دالة $\delta(x)$ تسمى باسمه، وقد أعطاها الرياضياتي لورنت شوارتز (Laurent Schwartz) معنى رياضيًا دقيقًا. كما توقع ديراك وجود جسيم في الطبيعة، فظهر ذلك الجسم بالقياس بعد أربع سنوات. وله إبداع في الإحصاء الكمي، والإشعاع الكهرومغناطيسي، وكان له نشاط في الديناميكا الكهربائية الكمية (Quantum electrodynamics).

ينبغي التنويه بأن ما جاء في كتاب ديراك يُمثّل ثقافة مختلفة عن ثقافة النموذج التقليدي. ذلك أنه استخدم جبرًا غير تبديلي، بينما استخدم غيره جبرًا مختلفًا. والغريب أن لا أحد يعرف من أين استلهم ديراك أفكاره؛ فلم يذكر شيئًا مما ذكره الآخرون خلال السبعين سنة المشار إليها أعلاه، ولم يتطرق إلى ما تطرق إليه باقي العلماء، ولم يشر إلى ذلك في كتابه. لذلك يحق القول إن نظرية الكم هي من إبداعه.

بالإضافة إلى ما تقدّم، يُلاحَظ أن أصل علم الكم مستقل تمامًا عن أصل العلم التقليدي؛ فلا توجد صلة بين أصليهما، رغم أنهما يعالجان الجملة الفيزيائية ذاتها. إنه لأمر غريب حقًا.

يُستشف من كتاب مبادئ ميكانيكا الكم أن ديراك أسس علم الكم من خلال أربع مسلمات نسردها باختصار:

- **المسلمة الأولى** ربط فيها بين الكائنات الفيزيائية لجملة بالمؤثرات في فضاء هلبرتي، تقول: " كل كائن فيزيائي لجملة فيزيائية، موضعها ودفعاها وطاقتها و ...، يوافقه مؤثر $O$ في فضاء هلبرتي، ويخضع لمعادلة القيم الخاصة (أو القيم الذاتية)"

$$O\varphi_\alpha = a_\alpha\varphi_\alpha$$

حيث $O$ هو المؤثر الذي يوافق الكائن الفيزيائي في فضاء هلبرتي، وحلها يكون على الشكل:

$\{a_\alpha\} = a_1, a_2, \cdots, a_\alpha, \cdots$ أعداد تُسمى القيم الخاصة (أو الذاتية) للمؤثر $O$، وتُسمى مجموعة هذه الأعداد طيفه.

$\{\varphi_\alpha\} = \varphi_1, \varphi_2, \cdots, \varphi_\alpha, \cdots$ دوال خاصة (أو ذاتية) للمؤثر $O$ توافق القيم الخاصة، وتشكل أساسًا تامًا متعامدًا ومتجانسًا.

- وأردف ديراك قائلًا في **المسلمة الثاني**: "إذا ذهبت إلى المخبر وقمت بقياس لكائن فيزيائي لجملة فيزيائية، فلن تشاهد سوى إحدى القيم الخاصة للمؤثر الذي توافقه في الفضاء الهلبرتي لا غير". هنا حدد ديراك ما يمكن مشاهدته عند قياس كائن فيزيائي، أي أن المقدار الفيزيائي للكائن الفيزيائي يساوي القيمة الخاصة للمؤثر الموافق، ولا شيء آخر.
- **المسلمة الثالثة** تعنى بالحالة التي تشغلها الجملة الفيزيائية. وهنا يقول ديراك: "تشغل الجملة الفيزيائية جميع الحالات المتاحة لها في وقت واحد؛ باحتمال $|c_1(t)|^2$ للحالة الأولى، واحتمال $|c_2(t)|^2$ للحالة الثانية، ...، واحتمال $|c_\alpha(t)|^2$ للحالة $\alpha$...، حيث $\sum_\alpha |c_\alpha(t)|^2 = 1$ ، وحيث الدالة التي تصف حالة الجملة في اللحظة $t$ هي

$$\psi(\vec{r},t) = \sum_\alpha c_\alpha(t)\varphi_\alpha(\vec{r})$$

على أن يتحقق الشرط الإحصائي، وهو شرط من شروط بورن

$$\int d^3r|\psi(\vec{r},t)|^2 = 1.$$

وعند القيام بقياس كائن فيزيائي للجملة، تنهار حالاتها إلى الحالة التي تشاهد فيها القيمة الخاصة للكائن.

- أما **المسلمة الرابعة** فحدد فيها ديراك معادلة الحركة الكمية.

وباختصار، فإن المسلمة الأولى تسمى "آلة الحساب"، إذ تُحدد فيها القيم الخاصة المتاحة والدوال الخاصة الموافقة لها. والمسلمة الثانية تسمى "آلة القياس"، إذ يتم فيها تحديد ما يمكن مشاهدته عند القياس، وهي القيمة الخاصة للمؤثر الموافق للكائن. أما المسلمة الثالثة، فقد حدد فيها ديراك حالة الجملة. إن الدالة $\psi(\vec{r},t)$ هي التي أبرزتها التجربة سنة 1927. وهكذا، فالمسلمات الأربع تُعدّ بمثابة قواعد نموذج ميكانيكا الكم الكامل المتكامل القائم بذاته.

نلاحظ أن ثقافة ونهج النموذج التقليدي يختلفان عن ثقافة ونهج النموذج الكمي، فبينهما بون شاسع. ولهذا، اختلف أصلاهما، رغم أنهما يعالجان الجملة الفيزيائية ذاتها. كما نلاحظ أن ساحة العمل في الميكانيكا التقليدية غير محددة بدقة، بينما الأمر عكس ذلك في ساحة العمل في ميكانيكا الكم، وهي فضاء هلبرتي تديره أربع عمليات في منتهى الوضوح والدقة.

بعد اكتشاف النموذج الكمي عام 1930، شرع الباحثون في تبنّيه والعمل في إطاره فنهض البحث العلمي في مختلف الاتجاهات، وغزرت نتائجه، فتطور بسرعة لا نظير لها في التاريخ. ومن ثمّ، اطلع المهتمون على تفاصيل بناء المادة والجزيء والذرة، والنواة وكذا تفاصيل في بناء النواة... حتى قال بعضهم إن ما اكتشفه الإنسان في بضع سنين بعد ظهور النموذج الكمي يفوق ما اكتشفه طوال تاريخه السابق! كيف لا، وقد تمكن العلماء من معرفة بنية نواة الذرة معرفة مفصلة، ووصل بهم الأمر إلى شطرها بعد عشر سنوات من ظهور كتاب ديراك. كما اطلعوا على مقدار الطاقة المنسابة من الانشطار، وصنعوا منها السلاح، وتوصلوا إلى التحكم فيها فأنتجوا الطاقة النووية عبر المفاعلات. ومن جهة أخرى، تمكن الإنسان من إدماج النوى الخفيفة، وعرف مقدار الطاقة المهولة التي تنساب من الاندماج، وصنع من ذلك السلاح، لكنه لم يفلح إلى يومنا هذا في التحكم في هذه العملية. كل ذلك تم إبان تلك الفترة الوجيزة.

ومهما أشدنا بالدور الأساسي الذي أدّاه العالم ديراك في بعث ميكانيكا الكم، فلا بد أن ندرك أن ذلك كان تتويجًا لأعماله وأعمال جيله من علماء الفيزياء الفطاحل.

## 3. في الختام

لقد خلّف عمل الباحثين خلال الربع الأول من القرن العشرين ثروة علمية هائلة، ونحن لا نبالغ في ذلك، فقد تركوا لنا نقاشات واسعة، ومؤلفات، ونماذج وآراء ومدارس حول أسباب التباين بين نتائج التجارب ونتائج النموذج التقليدي. ورغم جهودهم، لم يتمكنوا من الوصول إلى حل شافٍ للقضية. لقد دخلت هذه الثقافة مناهج التعليم في الجامعات، فألحقت ضررًا جسيمًا وعطّلت متعلمي علم الكم على فهمه، وجعلته علمًا غامضًا لدرجة أن كثيرًا منهم قرروا التمسّك بالنموذج التقليدي دون غيره. وإذا نظرنا إلى هذا النموذج من زاوية معينة، وجدنا أنه كان علمًا غير نافع في حينه، إذ لم يستطع حل معضلة التباين وما له علاقة بميكانيكا الكم. والغريب أنه يُدرس تحت عنوان ميكانيكا الكم، وهي بريئة منه.

هناك جامعات كثيرة أفرغت رفوف مكاتبها من تلك الثقافة "التقليدية"، ورغم ذلك، ما زالت مكتبات جامعاتنا تئن بتلك الكتب، ظنًا منها أنها تسهم في تكوين الطالب. فماذا سيتعلم طالب في مجال ميكانيكا الكم من نموذج بوهر أو نموذج سمرفيلد أو من أفكار دي بروي؟ اللهم إلا إذا كان الطالب يهتم بالجانب التاريخي أكثر من غيره.

# حول مفهوم الكتلة النسبوية

جمال ضو
أستاذ بقسم الفيزياء، كلية العلوم الدقيقة، جامعة الشهيد حمه لخضر، الوادي
djsdou@yahoo.com

## 1. الجذور التاريخية

ربما لا توجد معادلة نالت شهرة أعظم من الشهرة التي حظيت بها معادلة الطاقة والكتلة الشهيرة $E = mc^2$. فلقد ترسخت هذه المعادلة في المخيال العام لكل من نال حظًا من التعليم على أنها رمز للفيزياء والعبقرية وآينشتاين (Einstein) والقنبلة الذرية في آن واحد، مع أنها في الواقع لم تُستعمل في حسابات الحصيلة الطاقوية لقنبلتي هيروشيما وناغازاكي أو مشروع مانهاتن! وبالرغم من أن عمر هذه المعادلة قارب القرن وربع القرن، ورغم بساطتها والتسليم بصحتها اليوم، إلا أنها أسالت كثيرًا من الحبر وأثارت الكثير من الجدل وسط الفيزيائيين والمهتمين بتاريخ الفيزياء وفلسفتها على مدار قرن أو أكثر، بل ولا تزال إلى اليوم تُسيل الحبر حول تفسيرها وطريقة اشتقاقها.

كان الظهور الأول "الصريح" لهذه المعادلة في مقالة آينشتاين الأولى في النسبية سنة 1905، بالرغم من أن ما برهنه آينشتاين لم يكن هذه المعادلة بالضبط، بل ما نصه: "إذا فقد جسم طاقة $\Delta E$ في شكل أشعة وهو في حالة سكون، وبقي ساكنًا بالنسبة لمرجع عطالي، فإن كتلته العطالية تنقص بمقدار $\Delta E/c^2$ ". وهو ما يمكن التعبير عنه بالمعادلة التالية:

$$\Delta E = \Delta m\, c^2. \qquad (1)$$

لكن آينشتاين بقوة حدسه ذهب إلى أن كون الطاقة المنزوعة من الجسم تتحول إلى طاقة إشعاعية في هذه الدراسة لا يؤثر على صحة النتيجة بشكل عام. وعليه فإن كتلة الجسم وهو في حالة سكون تقيس محتواه الطاقوي أو تُعبّر عن طاقته. أو بلغة الرياضيات، خلص إلى المعادلة الشهيرة

$$E = mc^2. \qquad (2)$$

بعد سنة من مقالة آينشتاين قدّم الفيزيائي الشهير بلانك (Planck) برهانًا آخر للعلاقة (1)، معطيًا إياها بعدًا آخر أشمل، وعزز صحة وشمولية ما ذهب إليه آينشتاين. لماذا نقول "عزز صحة "؟ لأن برهان آينشتاين الأول لعلاقة الطاقة كان في الحقيقة عرضة للانتقادات في بداية الخمسينات. لن نخوض في هذا الجدل الذي لا يهمنا في هذا السياق، ولكن جدير بالإشارة أن آينشتاين استمر لسنوات عديدة في تقديم براهين متعددة لهذه العلاقة، كما استمر آخرون في البحث عن براهين مختلفة وأكثر دقة، وخالية من العيوب أو الفرضيات غير المسلم بها. نشير أيضًا إلى أن آخر البراهين وأبسطها صدر في سنة 1990. القارئ المهتم بمعرفة تفاصيل الجدل والجذور التاريخية يمكنه العودة إلى كتاب جامر (Jammer) [4].

في الحقيقة، المعادلة (1) أو (2) ليستا بالضبط ما يعنينا في هذا المقال، بل موضوع المقال هو تعميم المعادلة (2) وتفسيرها، أو طاقة جسم متحرك في النسبية وعلاقتها بما بات يُعرف بالكتلة النسبوية، والجدل الذي أثاره ولا يزال يثيره مفهومها إلى يومنا هذا، سواء من الناحية المفاهيمية الفيزيائية الصرفة أو البيداغوجية أو الفلسفية.

الكتلة النسبوية هي تعريفًا العبارة الشهيرة التالية

$$M = \frac{m}{\sqrt{1-v^2/c^2}}, \qquad (3)$$

حيث $m$ هي كتلة السكون.

الآن، من أين أتى هذا التعريف وما هي مسوغاته؟ في الواقع، الإجابة عن هذا السؤال تحتاج إلى مقال منفصل بذاته، لكن من المهم الإشارة إلى بعض المراحل التي نعتقد أنها مهمة في سياق نقاشنا للجدل الذي أثاره هذا المفهوم ومدى ارتباطه بالطريقة الأمثل التي يجب أن تقارب بها نظرية النسبية عند تدريسها للطلبة.

قد يُفاجأ غير المطلع بأن العلاقة (3)، أو ما يكافئها، ظهرت قبل مقالة آينشتاين الأولى حول النسبية لسنة 1905. فقد ظهر مفهوم الكتلة المتعلقة بالسرعة لأول مرة في مقالة لورنتز (Lorentz) سنة 1904، في سياق نظرية آبرهام (Abraham) للإلكترون، التي تقوم على أن كتلة الإلكترون ذات جذور كهرومغناطيسية صرفة. هذا الأمر لا ينبغي أن يكون مفاجئًا في الواقع، فالبنية الرياضياتية، مثل تحويلات لورنتز وصيغة تحويل الحقل الكهرومغناطيسي من معلم عطالي إلى آخر، بل وحتى جزء لا بأس به من مفاهيم النسبية، سبق وأن ظهرت في أعمال بوانكاريه (Poincaré) ولورنتز وبعض العلماء الآخرين الأقل شهرة. بل إن بوانكاريه كان سبّاقًا لفكرة امتلاك الأشعة الكهورمغناطيسية لكتلة عطالية مكافئة لطاقتها في مقالة له سنة 1900.

بعد مقالة آينشتاين الأولى في النسبية، كتب ماكس بلانك مقالة مهدت لأول مرة لاعتماد مفهوم الكتلة النسبوية بشكل مستقل، اعتمادًا على صياغة هاميلتون (Hamilton) للميكانيكا، والتي كانت من نتائجها معادلة الحركة التالية:

$$\frac{dM\vec{v}}{dt} = q\left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right) = \vec{F}. \qquad (4)$$

الطرف الثاني للمعادلة السابقة هو ما بات يُعرف بقوة لورنتز. وبالعودة إلى القانون الثاني لنيوتن، الذي ينص على أن القوة هي التغير في كمية الدفع، أي

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}, \qquad (5)$$

فإن التعريف الطبيعي والآلي لكمية الدفع الخطي في النسبية يكون

$$\vec{p} = M\vec{v}. \qquad (6)$$

الفصل الجديد الحقيقي، الذي يمكن أن نعتبره قد أسّس لمفهوم الكتلة النسبوية، بدأ سنة 1909 من خلال أعمال تولمان (Tolman) ولويس (Lewis) [6]، وبالأخص تولمان. فبناءً على تجارب تصورية عامة لتصادمات ميكانيكية مرنة وبتطبيق مبدأ انحفاظ الدفع الخطي وكذلك انحفاظ الكتلة، وبشكل مستقل عن النظرية الكهرومغناطيسية، التي كثيرًا ما ارتبطت النسبية بها، استطاع لويس وتولمان الوصول إلى العبارتين (5) و (6). وهو ما دفع تولمان ولويس إلى استخدام مصطلح الكتلة النسبوية، ربما لأول مرة، حيث جاء في مقالهم: "إن هذه العبارة هي الأنسب للتعبير عن كتلة جسم يتحرك".

أعمال تولمان وطريقته في اشتقاق وتعريف الكتلة النسبوية وتبرير مفهومها، تم اعتمادها من قِبل بقية العلماء في كتبهم المرجعية حول النسبية. من بين هؤلاء: بورن (Born)، برغمان (Pergmann)، مولر (Møller)، وروسر (Rosser)، شوارتز (Schwartz)، ولاحقًا فاينمان (Feynman) وباولي (Pauli) وآخرون.

الآن، بالاعتماد على هذا المفهوم وبدراسة التصادمات غير المرنة، أو مفهوم العمل والطاقة الحركية، يمكن البرهان على أن الطاقة الكلية لجسم متحرك تأخذ العبارة العامة والشهيرة التالية:

$$E = Mc^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \qquad (7)$$

الآن، إذا قبلنا مفهوم الكتلة النسبوية وأن الكتلة العطالية لجسم متحرك تُعطى بالعبارة (3)، فإن الطاقة والكتلة العطالية تكونان دائمًا متناسبتين، وأن مفهوم انحفاظ الكتلة ما هو إلا انحفاظ الطاقة، وهو ما يطلق عليه عادة "تكافؤ الكتلة والطاقة".

في هذا السياق، لخص ماكس بورن الصورة في كتابه الشهير حول النسبية قائلًا: "المادة بالمفهوم الأوسع للكلمة (بما في ذلك الضوء وكل أشكال الطاقة) تمتلك مقدارين: العطالة، مقاسة بالكتلة، والقدرة على القيام بعمل، مقاسة بطاقتها. هذان الاثنان متناسبان فيما بينهما." أما المعادلة (2) فتصبح مجرد حالة خاصة عند انعدام سرعة الجسيم، حالة السكون، والتي من الأفضل أن تُكتب الآن بالشكل التالي

$$E_0 = mc^2.$$

لهذا، فإن مفهوم الكتلة النسبوية يبدو مغريًا جدًا وموحدًا للمفاهيم، هذا من ناحية. أما من ناحية أخرى، وإذا تذكرنا أن مفهوم أو تعريف الكتلة العطالية هو بالأساس مقاومة الجسم للتسارع، نرى من خلال تعريف الكتلة النسبوية، المعادلة (3)، أنه كلما زادت سرعة الجسم زادت مقاومته للتسارع، وتقارب كتلته إلى المالانهاية عند الاقتراب من سرعة الضوء، مما يجعل بلوغ سرعة الضوء مستحيلًا، لأن ذلك يحتاج لطاقة لا نهائية لتحريك الجسم. بهذا الشكل، تكون الدائرة المنطقية للنسبية الخاصة قد أُغلقت من ناحية الحركيات والديناميكا، إذ أن مسلماتها الأساسية هي أن سرعة الضوء سرعة صامدة وحدية، ومن ناحية أخرى قوانين الحركة تمنع أي جسم ذي كتلة من بلوغ سرعة الضوء.

مفهوم الكتلة النسبوية لا يبدو أنه أثار أي حفيظة أو انتقاد ذي أهمية إلى غاية الستينات، بالرغم من أن إشارة إلى هذا الموضوع وردت في رسالة كتبها آينشتاين سنة 1948، ولم يُكشف عنها النقاب إلا بعد عقود من وفاته (فهي ضمن تراث آينشتاين المملوك للجامعة العبرية)، والتي جاء فيها "ليس من الجيد إدخال مفهوم الكتلة النسبوية، $M = \frac{m}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$، لجسم والتي لا يوجد لها تعريف واضح". وأضاف "الأفضل ألا يتم استعمال كتلة إلا كتلة السكون." [1].

## 2. الكتلة النسبوية بين المؤيد والمعارض

من خلال ما توفر من مراجع، فإن أول انتقاد ذي أهمية لمفهوم الكتلة العطالية المتعلقة بالسرعة أو الكتلة النسبوية ظهر في كتاب Spacetime Physics للفيزيائيين ويلر (Wheeler) وتايلور (Taylor)، حيث جاء في الجزء الخاص بالإجابة عن بعض الأسئلة والمفاهيم المتعلقة بمفهوم الكتلة ما يلي: "إن مفهوم الكتلة النسبوية عرضة لسوء الفهم، ولهذا لن نستعمله هنا. فهو يجعل زيادة طاقة الجسم تبدو وكأنها نتيجة لتغير في البنية الداخلية للجسيم... بينما هي نتيجة لزيادة السرعة، والتي هي في أصلها من الخصائص الهندسية للفضاء-زمن."

لكن انتقاد تايلور وويلر لمفهوم الكتلة النسبوية في هذه الجملة العابرة لم يكن له الأثر الكبير على خيارات من يؤلفون كتب النسبية، ولم يُثر أي جدل واسع. في سنة 1987 نشر أدلر (Adler) مقالًا يمكن اعتباره أول مقال يتم فيه انتقاد مفهوم الكتلة بشكل منهجي [1]، ولكن هذا المقال أيضا لم يثر أي ضجة حقيقية.

المقال الذي يبدو أنه أطلق شرارة الجدل العلمي الحقيقي والحملة ضد مفهوم الكتلة النسبوية هو مقال الفيزيائي النظري الشهير والمختص في الجسيمات الدقيقة أوكن (Okun)، والذي نشره بالتوازي في مجلة سوفياتية ونظيرتها الأمريكية سنة 1989 [7].

مقال أوكن يرتكز على الحجج نفسها التي قدّمها أدلر، لكن طرح أوكن كان أشد شراسة وقسوة، فقد جاء في مقاله: "في اللغة الحديثة للنسبية، توجد كتلة واحدة، وهي الكتلة النيوتنية $m$، التي لا تتغير مع السرعة" و "توجد كتلة واحدة في الفيزياء لا تتعلق بالمرجع". كما ألقى أوكن باللائمة على العلماء من أمثال تولمان وباولي وبورن، الذين ميّزوا بين "كتلة السكون" و"الكتلة النسبوية المتعلقة بالسرعة". واعتبر أنهم كانوا سببًا في نشر هذا اللبس، الذي لم تنجُ منه حتى "أكثر الكتب جدية في الفيزياء النسبوية".

الموقف المتطرف لأوكن وخطابه القاسي فتح الباب سريعًا على مصراعيه لردود وردود مضادة. صحيح أن النقاشات التي تلت مقال أوكن ليست من النوع الذي قد يغيّر وجه الفيزياء، بل لم يشعر بها أغلب العاملين في حقل الفيزياء النظرية، إلا أن هذا الجدل كان له بعض التأثير المتصاعد في الطريقة الأمثل أو الأكثر وجاهة لشرح مفهوم الكتلة والطاقة في كتب النسبية. كما أدى إلى انقسام وسط فئة من الفيزيائيين النظريين، وعلى رأس كبار الفيزيائيين الذين تصدوا للرد على مقال أوكن نجد الفيزيائي ريندلر (Rindler)، الذي قال في معرض رده ما يلي: "إن خطاب أوكن الشرس ضد مفهوم الكتلة النسبوية مضر بفهم النسبية، ... ...بالنسبة لي، الكتلة النسبوية مفيدة كمفهوم حدسي (إرشادي). إنها تعطيني شعورًا بمقدار الدفع الخطي عند سرعات مختلفة. العلاقة $E = Mc^2$ تذكرني بأن الطاقة لها خصائص كتلية كالعطالة والثقالة، وتخبرني كيف تتغير الطاقة بدلالة السرعة".

أما ساندن (Sandin) فذهب أبعد من ذلك مدافعًا عن مفهوم الكتلة النسبوية مستعملًا حجة جمالية، حيث قال: "إن الكتلة النسبوية ترسم صورة للطبيعة جميلة في بساطتها".. وأن عملية إلغائها..."ستكون شكلًا من أشكال الرقابة.." [8].

## 3. حجج الاعتراض وحجج التبني

في هذا الباب، سنحاول أن نعرض بإيجاز حجج المعترضين على مفهوم الكتلة النسبوية والردود عليها. حجج الاعتراض يمكن أن تعود إلى أحد أو بعض أو كل الأسباب التالية، لأن الأمر يختلف في الواقع من فيزيائي إلى آخر ومن سياق إلى آخر.

فكرة إدخال الكتلة النسبوية المتعلقة بالسرعة، فكرة يجب التخلي عنها لصالح فكرة البنية الهندسية الرباعية لفضاء مينكوفسكي Minkowski، والاكتفاء بمفهوم كتلة الجسم وهو ساكن كمفهوم صامد مرتبط بطويلة الشعاع الرباعي للطاقة والدفع. كما أن فكرة الكتلة النسبوية تفسد التناسق والجمال الرياضياتي لهذه البنية الهندسية.

1- فكرة تغير الكتلة النسبوية قد تؤدي إلى ترسيخ تصور خاطئ في ذهن الطالب أو المتلقي، مفاده أن هذه الزيادة في الكتلة العطالية هي نتيجة لتغير في البنية الداخلية للجسيم. ولهذا، فالأفضل التخلي عن المفهوم لأسباب بيداغوجية لتفادي ترسيخ هذا التصور الخاطئ.

2- الزيادة في مقاومة التسارع بزيادة سرعة جسم يتحرك هي وهم. هذه الزيادة في الواقع ناتجة عن ظاهرة تمدد الزمن وليس عن زيادة الكتلة العطالية.

فلو أخذنا النقطة الأولى من أسباب الاعتراض، فسنرى أنه بالفعل عند استعمال لغة فضاء مينكوفسكي (البنية الهندسية الطبيعية للزمكان)، فإن كمية الدفع والطاقة تصبحان مجرد مركبات من شعاع رباعي يعرف بشعاع الدفع الرباعي، وهو عبارة عن كتلة السكون والشعاع الرباعي للسرعة الذي يمثل الشعاع المماسي على مسار الجسيم،

$$p^{\mu} = m\frac{d\,x^{\mu}}{d\,\tau} = mu^{\mu}, \qquad (x^0 = ct, x^1 = x, x^2 = y, x^3 = z)$$

$$p^0 = m\gamma c = \frac{E}{c}, \qquad (p^1, p^2, p^3) = \vec{p} = m\gamma\vec{v},$$

هنا $\tau$ يُمثّل الزمن الذاتي للجسيم، مقاسًا بساعة متحركة معه، وهو الوسيط الطبيعي المستعمل لتعليم المسار الكوني للجسيم، بينما $t$ هو الزمن المقاس في المعلم العطالي الذي يتحرك فيه الجسيم بسرعة $\vec{v}$.

مربع طويلة الشعاع الرباعي لكمية الدفع بمترية مينكوفسكي يُعطى، مثلما هو معلوم، بـ

$$p.p = \frac{E^2}{c^2} - \vec{p}^2 = m^2c^2.$$

إذًا، كتلة السكون هي عمليًا طويلة الشعاع، وهي كمية صامدة لا تتعلق بالمعلم العطالي.

من ناحية أخرى، عند الانتقال إلى الميكانيكا الكمومي النسبوي والنظرية الكمومية للحقول الخاصة بالجسيمات الدقيقة، فإن كل ما يحتاجه المرء هو كتلة السكون وشعاع الدفع الرباعي، ولا يصبح هناك أي داعٍ للحديث عن كتلة عطالية نسبوية أو ما شابه. بل لا يصبح لذكر قانون نيوتن والتسارع والقوة أي أهمية إذا ما تعلق بالأمر بالنظرية الكمومية للجسيمات وتفاعلاتها.

ولكن السؤال الذي يطرح نفسه هنا: هل ما سبق يُعدّ مبررًا كافيًا لإلغاء مفهوم الكتلة النسبوية كمفهوم فيزيائي يُعبّر عن عطالة الجسم المتحرك من منظور مراقب عطالي؟

في الحقيقة، لا يوجد أي تناقض علمي أو خطأ في استعمال مفهوم الكتلة النسبوية يمكن للمرء أن يضع أصبعه عليه. وهنا نجد أنفسنا أمام تساؤل آخر: هل يمكن أن نشرح لطالب مبتدئ النسبية انطلاقًا من مفهوم الشعاع الرباعي للدفع؟ وهل يمكننا التعبير عن السرعة من منظور المراقب العطالي باستعمال الشعاع الرباعي المماسي دون الحاجة إلى العودة إلى مفهوم السرعة العادية؟

في تصورنا، من الصعب جعل البنية الهندسية الرباعية للنسبية مبررًا للقطيعة مع المفاهيم التي أسست تاريخيًا للنسبية ولمفهوم العلاقة بين الطاقة والعطالة، فهي المفاهيم التي عبرها يمكن أن يستوعب الطالب المبتدئ ما يحدث بشكل حدسي مباشر وقابل للقياس مخبريًا. وفي هذا السياق، يأتي مفهوم الكتلة العطالية النسبوية كمفهوم إرشادي وحدسي مهم يسمح بالتعامل مع المسائل الميكانيكية النسبوية بأدوات رياضياتية وهندسية بسيطة وحدسية.

فعلى سبيل المثال، مفهوم الكتلة العطالية النسبوية المكافئ للطاقة هو الطريق الأسرع والأسهل لاشتقاق الانزياح نحو الأحمر للضوء الناتج عن الجاذبية، دون الحاجة إلى المرور إلى مفاهيم فيزيائية وهندسية معقدة، وهذا بشهادة حتى المعارضين لمفهوم الكتلة النسبوية.

ما تجدر الإشارة إليه في هذا السياق أيضًا، أن التخلي عن مفهوم الكتلة النسبوية يجعل المرء يتعامل مع أثر زيادة أو نقصان طاقة عبوة غاز (أو جسم مركب أو أشعة كهرومغناطيسية) وجسيم أولي بتصورين مختلفين. فمن ناحية، لا يختلف المعارضون والمؤيدون حول كون زيادة طاقة الغاز عبر تسخينه، مثلًا، تؤدي إلى زيادة كتلته العطالية في معلم سكونه. أما إذا امتص جسيم أولي طاقة، فإن كتلته العطالية لا تزيد من وجهة نظر المعارضين، بل تزيد فقط طاقته نتيجة زيادة طاقته الحركية. لهذا، يعزو معارضو مفهوم الكتلة النسبية زيادةَ كتلة الغاز إلى زيادة الطاقة الحركية للذرات المنفردة، بينما يقدّم مؤيدو الكتلة النسبوية تفسيرًا موحدًا للظاهرتين؛ فزيادة الكتلة العطالية للغاز يمكن تفسيرها بكونها نتيجة لزيادة الكتلة العطالية للذرات منفردة.

في الحقيقة، النقطة الثالثة من أسباب الاعتراض على مفهوم الكتلة النسبوية، والتي تعزو مقاومة الجسم للتسارع إلى ظاهرة تمدد الزمن، هي ربما الأكثر جاذبية ووجاهة. فالقوة المطبقة على جسم متحرك بكتلة سكون معينة ظاهريا تستغرق وقتًا أطول لتسريعه عندما يتحرك الجسم بسرعة أكبر، وهذا بسبب ظاهرة تمدد الزمن، مما يجعل الجسم يبدو وكأن أن لديه مقاومة أكبر للتسارع، مما يجعل الظاهرة ذات طبيعة زمكانية. ولكن هذا لا يعني بالضرورة أن التصور الآخر، الذي يعزو مقاومة التسارع إلى زيادة الكتلة العطالية للجسم، تصور خاطئ، بل هو مجرد تصور يأخذ بعين الاعتبار تأثير الزمكان على عطالة الجسم المقاسة في معلم يتحرك فيه الجسم.

أما في الجهة المقابلة، ما قد يعزز طرح مؤيدي مفهوم الكتلة النسبوية هو ما قام به باحثان في الرياضيات سنة 1972 [5]، وهذا قبل بداية هذا الجدل، حيث أثبتا رياضياتيًا ما أشار إليه فاينمان عرضًا في أحد كتبه من السلسة الشهيرة دروس فاينمان، من أن فكرة الكتلة النسبية وتعديل قانون نيوتن هو كل ما يحتاج إليه المرء لفهم النسبية (ولو أن انطباعنا الخاص أن كلام فاينمان حُمّل أكثر مما يحتمل!). في بحثهما قاما باشتقاق تحويلات لونتز انطلاقًا من مفهوم الكتلة النسبوية وبعض المسلمات المنطقية حول طبيعة الفضاء والزمن، مما أعطى بعدًا آخر لمفهوم الكتلة النسبوية،

وجعل جامر يصف نتيجة عملهما قائلًا: "إن هذا يشير إلى أن العلاقة بين تحويلات لونتز والكتلة النسبوية حميمة أكثر مما كان يُظن" [4].

## 4. هل يمكن حسم الجدل؟

يتضح من خلال ما أوردناه سابقًا أننا أمام موضوع خلافي، ولكل طرف حججه. والشاهد أنه لا يبدو أن أي فئة تمتلك الحجة العلمية الدامغة والكافية لحسم هذا الجدال، وهذا لأسباب عديدة، ربما ذات بُعد فلسفي ونفسي أيضًا. فهذا النقاش يعود بالأساس إلى مسألة مفهوم الكتلة العطالية في حد ذاته، حيث ينطلق أحدهما من فيزياء نيوتن، بينما ينطلق الآخر من النسبية. ومثلما أشار فيرابند (Feyerabend)، فإن محاولة مطابقة الكتلة الكلاسيكية مع الكتلة النسبوية في حالة السكون غير ممكنة لأن المفهومين ينتميان إلى نظريتين غير قابلتين للمقارنة قياسيًا [3]. بل إن إريكسن (Eriksen) وفوينلي (Vøyenli)، في مقال لهما نُشر في السبعينات، قبل هذا الجدل بكثير، أشارا إلى أن عدم إمكانية المقارنة يعود إلى أسس فيزيائية، وليست فلسفية فقط [2]. فقد بيّنا أنه من الخطأ أن نعتبر، مثلما ذهب إليه أوكن، أن الكتلة النسبوية في حالة السكون هي المفهوم الشرعي الوحيد المساوي للكتلة في الفيزياء الكلاسيكية، بل إن المفهومين الكلاسيكي والنسبوي للكتلة يجب الاعتراف بهما كمفهومين كل قائم بذاته.

الشاهد أن الجدل الذي بدأ في نهاية الثمانينات حول مفهوم الكتلة النسبوية، والذي قاده بالأساس مختصون في فيزياء الجسيمات الدقيقة، أثّر بلا شك على طريقة عرض العلاقة بين الطاقة والكتلة ومفهوم الكتلة النسبية في الكتب الحديثة. وكما أشار ريندلر، فإن المختصين في فيزياء الجسيمات الدقيقة هم المستهلك الأكبر لهذه المفاهيم، وبالنتيجة هم من يحددون الاتجاه العام. هذا جعل العديد من الكتب الحديثة تتفادى استعمال مفهوم الكتلة النسبوية أو تذكره بشكل عابر. بل إن بعض الكتب انقلبت من النقيض إلى النقيض في إصدارات أحدث. بينما أصر فيزيائيون آخرون على استخدام المفهوم في كتبهم، وبعضها يُعتبر من أهم الكتب المرجعية الشهيرة.

على ذكر تدريس النسبية وطرق شرحها في الكتب، نشير إلى ما ذكره الفيزيائي الشهير بيل (Bell) في مقال له حول "كيف تدرس النسبية الخاصة"، في سياق ضرر القطيعة الجذرية مع بعض المفاهيم البدائية للفضاء والزمن والاكتفاء باللغة الحديثة. جاء في مقدمة مقاله: "أن النتيجة غالبًا ما تكون تدميرًا كليًا لثقة الطالب في مفاهيم سليمة تمامًا ومفيدة سبق اكتسابها".

ما يتضح من خلال بعض ما عرضنا - وما خفي أعظم- أن مسألة نقاش الكتلة النسبوية والطاقة والعطالة ليست بالأمر السهل والبسيط الذي يمكن أن يحسمه المرء بمجرد انطباعات أو تبني موقف لفيزيائي أو مجموعة من الفيزيائيين. وربما أفضل من لخص المشهد هو جامر في كتابه، حيث خلص إلى أن هذا الصراع في النهاية هو "تباين بين وجهتي نظر متنافستين".

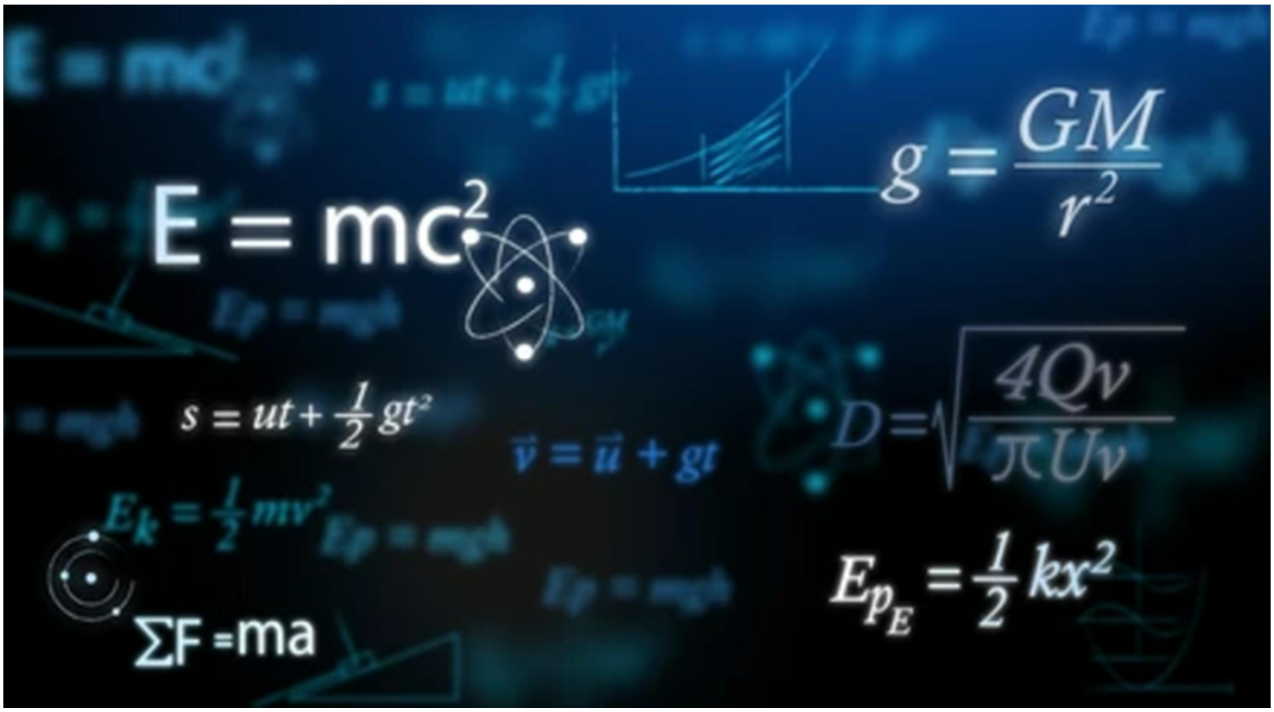
ما تجدر الإشارة إليه في الأخير أنه وإلى حد اليوم، لا نزال لا نمتلك تصورًا كاملًا وشاملًا لجذور الكتلة والعطالة. كما أن هذه المسائل، مثلها مثل كثير من القضايا، لا يمكن حسمها بالتصويت أو بتبني وجهة نظر الاتجاه العام، فكم أثبت التاريخ خطأ الاتجاهات العامة السائدة خلال حقب زمنية مختلفة في العلوم أو في غيرها!

## المراجع

[1] C. G. Adler, Does mass really depend on velocity, dad? Am. J. Phys. 55, 739-743, (1987).
[2] E. Eriksen and K. Vøyenli, The Classical and Relativistic Concepts of Mass, Foundations of Physics 6, 115–124 (February 1976).
[3] P. K. Feyerabend, Problems of Empiricism, in R. G. Colodny, Beyond the Edge of Certainty (Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall, 1965), p. 169.

[4] M. Jammer, Concepts of Mass in Contemporary Physics and Philosophy, Princeton University Press, 2000.
[5] B. V. Landau and S. Sampanthar, A New Derivation of the Lorentz Transformation, American Journal of Physics 40, 599–602 (1972).
[6] G. N. Lewis and R. C. Tolman, The Principle of Relativity and Non-Newtonian. Mechanics, Philosophical Magazine 18, 510–523 (1909).
[7] L. B. Okun, The concept of mass, Soviet Physics Uspekhi 32 (7), 629-638 (1989). Physics Today 42 (6), 31 (1989).
[8] T. R. Sandin, In Defense of Relativistic Mass, American Journal of Physics 59, 1032–1036 (1991).

*********



# تعليميـــــــــة

# ملاحظات حول صعوبات تدريس وتقويم الظواهر الفلكية في التعليم الثانوي

عبد العزيز براح
أستاذ متقاعد، بقسم الفيزياء، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
abdelaziz.berrah@g.ens-kouba.dz

## 1. مقدمة

يهدف هذا المقال إلى تسليط الضوء على بعض الصعوبات العلمية والتعليمية المرتبطة بتدريس قوانين كبلر في الطور الثانوي في الجزائر والعديد من البلدان الأخرى، وخاصة الدول العربية. قدّمنا في مقال سابق في العدد 12 من مجلة "بشائر العلوم" كيفية تأثير هذه الصعوبات على ارتكاب أخطاء فادحة في تمرين البكالوريا حول القمر ألكوم سات 1 لسنة 2018 (شعبة رياضيات وتقني رياضي).

يمكن تلخيص أهم الصعوبات والنقائص في تدريس قوانين كبلر للشعب العلمية للتعليم الثانوي في الجزائر والعديد من البلدان الأجنبية في النقاط التالية:

- **الانتقال الغامض من المدار الإهليجي إلى الدائري في دراسة قوانين كبلر؛**
- **التوظيف الناقص أو الخاطئ لقوانين نيوتن لتفسير حركة الكواكب؛**
- **التوظيف الناقص للطاقة ومبدأ انحفاظها لتفسير حركة الكواكب.**

بعد هذا المقال النقدي، سنقدّم اقتراحات علمية وتعليمية للمعالجة في مقال آخر إن شاء الله.

## 2. ملخص لنقائص تدريس الظواهر الفلكية وقوانين كبلر في الطور الثانوي

### 2.1. النقائص العلمية والتعليمية في الانتقال من المدار الإهليجي إلى الدائري

يمكن تلخيص أهم صعوبات ونقائص تدريس قوانين كبلر للشعب العلمية للتعليم الثانوي في الجزائر والعديد من البلدان الأجنبية في كيفية تقديم نصوص قوانين كبلر، حيث يتم التركيز على كواكب تدور في مدارات إهليجية بسرعة متغيرة والشمس أحد محرقيها، ثم تطبيق هذه القوانين على أقمار تدور حول كواكب مختلفة عن الشمس بحركة دائرية منتظمة، دون شرح كافٍ للتلميذ حول كيفية وشروط الانتقال من المدار الإهليجي إلى المدار الدائري. يؤدي هذا الانتقال المبهم إلى النقائص العلمية والتعليمية التالية:

- ارتكاب أخطاء **بتعميم علاقات صالحة في المدار الدائري وخاطئة في المدار الإهليجي، مثل استخدام عبارة السرعة المدارية** $v^2 = GM/r$، كما ورد في تمرين حول القمر ألكوم سات 1 في باكالوريا 2018 شعبة الرياضيات و ت.ر، والذي قدّمناه في مقال سابق.
- **عدم دراسة مختلف خصائص حركة جسم على مدار إهليجي، وكيفية الانتقال من مدار دائري إلى مدار إهليجي** أو العكس، كما يحدث للقمر الجيومستقر الوارد في عدة تمارين.
- **وجود غموض وأخطاء في استعمال الرمز** $r$ **في العلاقات**، مثل العلاقة السابقة. هل $r$ يُمثّل طول شعاع الموضع للمتحرك، أم نصف قطر الانحناء في موضع المتحرك، أم نصف طول المحور الأعظمي للإهليج، أم نصف قطر المسار الدائري؟ في حالة المدار الدائري، يمكن استخدام الرمز $r$ لتمثيل جميع المقادير

السابقة المتطابقة هندسيًا. أما في حالة المسار الإهليجي، نظرًا للاختلاف الهندسي والميكانيكي للمقادير السابقة، فإن استخدام الرمز $r$ بالطريقة ذاتها يُعدّ خطأ علميًا وتعليميًا فادحًا.

- **غموض في نص القانون الثالث لكبلر وشكل العلاقة المرتبطة به**، حيث يتم استخدام عبارة «**البعد المتوسط للكوكب**» كما جاء في الكتاب المدرسي، بالإضافة إلى صياغة العلاقة على الشكل $T^2 = r^3$.

### 2.2. النقائص العلمية والتعليمية في تطبيق قوانين نيوتن لتفسير حركة الكواكب

في الجزائر، وكما يوضّح الجدول أدناه الخاص بتوجهات المنهاج، يُطلب من الأستاذ التركيز على الحركة الدائرية وتفسير حركة الكوكب باستخدام القانون الثاني لنيوتن وكتابة قوانين كبلر. وبما أن نصوص قوانين كبلر متعلقة بالمسارات الإهليجية، والتي **لا يمكن تفسيرها بالمبدأ الأساسي للتحريك وحده**، بل تحتاج إلى **قانون الجاذبية العامة لنيوتن الغائب ذكره بوضوح** رغم أهميته البالغة. ويظهر الغموض ذاته في التوجهات **بعدم ذكر القانون الثالث لنيوتن**، أي مبدأ الفعلين المتبادلين، لتفسير التأثير المتبادل بين الكوكب المركزي والقمر الذي يدور حوله.

| توجهات المنهاج حول قوانين كبلر | | | |
|---|---|---|---|
| -يتذكر خواص الحركة الدائرية المنتظمة.<br>-يفسر حركة الكواكب أو الأقمار الاصطناعية بواسطة القانون الثاني لنيوتن.<br>-يكتب قوانين كبلر. | 2-شرح حركة كوكب أو قمر اصطناعي | -دراسة حركة كوكب أو قمر اصطناعي | -عرض محاكاة حول حركة الكواكب مع إبراز خواص الحركة الدائرة المنتظمة<br>-تفسير حركة الكواكب أو الأقمار الاصطناعية بقوانين نيوتن<br>-قوانين كبلر |

يسمح تطبيق **قوانين نيوتن الأربع** بتفسير خصائص حركة القمر في المسار الدائري. أما فيما يخص تفسير خصائص الحركة في المسارات الإهليجية، فيجب توظيف مفهوم الطاقة ومبدأ انحفاظها وقوانين نيوتن لتفسير شكل المسار وعبارة السرعة في المسار الإهليجي. بالطبع، لا يمكن الاعتماد على مبدأ فيزيائي أساسي خاص بالقوى المركزية، وهو **مبدأ انحفاظ العزم الدوراني**، لأنه خارج منهاج الطور الثانوي.

نلاحظ أن هذه التوجهات الناقصة والغامضة، مثل «**كتابة قوانين كبلر**»، لا تسمح ببناء الكفاءات الختامية المحددة لهذه الوحدة. في الطور الثانوي، لتفسير أغلبية خصائص حركة الكواكب وقوانين كبلر، نعتمد على قوانين نيوتن، وهي: قانون الجاذبية الكونية، والقانون الأول لنيوتن (مبدأ العطالة)، والقانون الثاني (المبدأ الأساسي للتحريك)، والقانون الثالث (مبدأ الفعلين المتبادلين). لتطبيق هذه القوانين من الناحية التعليمية، يجب تحديد المعلم العطالي للدراسة والجملة المدروسة، وهي خطوة تُطبّق في الجزائر نظرًا لوجود الأسئلة الأولى حولها في تمارين الباكالوريا، على عكس معظم البلدان الأجنبية، وخاصة العربية، حيث نلاحظ غياب التحديد الواضح لمعلم الدراسة.

يتيح المعلم العطالي لتفسير حركة الجسم أو الكوكب باستخدام قوة **الجاذبية الكونية المطبقة على القمر من الكوكب المركزي**، دون إدخال القوة الطاردة المركزية **بشكل خاطئ**، كما يحدث في العديد من الوثائق الأجنبية.

يمكن تلخيص النقائص العلمية والتعليمية في تطبيق قوانين نيوتن في النقاط التالية:

- **غموض مزدوج حول معلم الدراسة، يتمثّل في عدم تعيين المعلم العطالي بوضوح** (معلم مركزي كوكبي) لدراسة حركة قمر أو جسم يدور حول كوكب كيفي«مركزي» وليس حول الشمس، **وإدخال مشوش لمعلم أو قاعدة فرينيه** (Frenet).

- نقائص وأخطاء في الدراسة التحريكية لحركة القمر، تتمثل في **عدم التركيز على وجود قوة واحدة، وهي قوة الجاذبية الكونية المطبقة على القمر من الكوكب المركزي**، لتفسير حركة القمر وفق قوانين كبلر دون ارتكاب **الخطأ الشائع بإدخال القوة الطاردة المركزية في معلم عطالي.**
- عدم توضيح الشرط الخاص بالكتل لتطبيق قوانين كبلر، وخاصة القانون الثالث، حيث يجب أن تكون $M$ **كتلة الكوكب المركزي أكبر بكثير من** $m$ **كتلة الجسم أو القمر المتحرك حوله** أي $M \gg m$.
- **البرهان الصحيح** على القانون الثالث لكبلر في الحركة الدائرية، **وتعميمه الخاطئ** على الحركة الإهليجية عبر استخدام الرمز $r$ بدلًا من $a$ نصف القطر الأعظمي للإهليج.
- خطأ فادح في عبارة السرعة على المدار الإهليجي، حيث يتم استعمال العبارة $v(r) = \sqrt{GM/r}$ الصحيحة في الدائرة والخاطئة في الإهليج. العبارة الصحيحة العامة هي:

$$v(r) = \sqrt{2GM(\frac{1}{r} - \frac{1}{2a})}.$$

حيث $G$ هو ثابت الجاذبية الكونية، و $M$ هو كتلة الكوكب المركزي، و $a$ هو نصف القطر الأعظمي للإهليج.

- غموض وأخطاء في استعمال الرمز $r$: في كتابة العبارات، مثل استخدام عبارة التسارع الناظمي $a_n = v^2/r$ بشكل خاطئ في المسار الإهليجي بدلًا من العبارة الصحيحة $a_n = v^2/R_c$ أو $a_n = v^2/\rho$، حيث $R_c$ أو $\rho$ يُمثّلان نصف قطر الانحناء في تلك النقطة من المسار، والذي يختلف عن $r$ هندسيًا وميكانيكيًا.

| حركة الجسم في المنهاج | |
|---|---|
| -يفسر حركة جسم صلب خاضع لعدة قوى بواسطة الطاقة أو القانون الثاني لنيوتن | -يفسر حركة القذيفة بواسطة الطاقة أو القانون الثاني لنيوتن.<br>-يكتب المعادلات الزمنية ومعادلة المسار.<br>-يناقش تأثير كل من زاوية الميل وسرعة القذف. |
| | يفسر حركة جسم صلب خاضع لعدة قوى بواسطة الطاقة أو القانون الثاني لنيوتن. |

### 2.3. النقائص في توظيف الطاقة ومبدأ انحفاظها في تفسير حركة الكواكب

يمكن اعتبار تهميش أو غياب مفهوم الطاقة من بين النقائص العلمية والتعليمية في دراسة حركة الكواكب وقوانين كبلر. في الجزائر، في وحدة الظواهر الميكانيكية التي تشمل قوانين كبلر وحركة جسم خاضع لعدة قوى، وحسب توجيهات المنهاج، يتم توظيف الطاقة بشكل مكثف في فقرة الجسم الخاضع لعدة قوى، لكنها تغيب في قوانين كبلر، كما يوضح الجدول أدناه.

أما في الوثيقة المرافقة للمنهاج الصادرة في 2005 وفي الصفحة 52، يوجد مثال لتمرين توجيهي يعتمد على الطاقة في حركة الكواكب لمقارنتها مع طاقة الإلكترونات في الذرة. يبدو أن محتوى هذه الوثيقة غير معروف لدى مؤلفي التمرين حول القمر جيوف (Giove) في امتحان باكالوريا 2009 شعبة رياضيات و ت.ر.، خاصة السؤال الخامس المتعلق بالطاقة والحل النموذجي الخاطئ.

من الجانبين العلمي والتعليمي، تُمثّل القوة الجاذبية الكونية مثالًا على القوة المحافظة، أي عملها يتعلق فقط بنقطتي البداية والنهاية وتظل الطاقة الميكانيكية محفوظة. يسمح توظيف هذه القوة بتفسير العديد من خصائص قوانين كبلر التي لا يمكن تفسيرها بقوانين نيوتن. كما يسمح تطبيقها بوجود العبارة الصحيحة لسرعة القمر على المدار

الإهليجي، كما سنوضحه في الاقتراحات الخاصة بالمعالجة. نذكر أن عبارة هذه السرعة كانت مصدرًا للخطأ الجسيم المرتكب في نص وحل التمرين الخاص بإطلاق القمر ألكوم سات Alcom Sat 1 في التمرين الثاني لبكالوريا 2018.

ص 52 من الوثيقة المرافقة لمنهاج الفيزياء 3AS

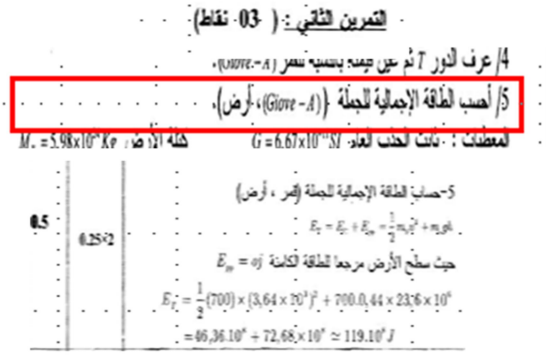
الوثيقة ـ ج ـ مقارنة النظام الذري والنظام الكوكبي

هل من الصحة تعريف الذرة بالمقارنة مع النظام الكوكبي على أنه ناتج التقاطع الإلكتروستاتي بين الإلكترون و النواة ؟

1. نود أن تنشأ عبارة السرعة $v$ للقمر صناعي كتلته $m$ بدلالة نصف قطر مداره $r=R_T+h$ بحيث أن $h$ هو ارتفاع القمر الصناعي و $R_T$ قطر الكرة الأرضية.
نكتب $M_T$ هي كتلة الكرة الأرضية.
المرجع الغاليلي المختار هو المرجع الخاص بمركزية الأرض.
أ. تذكر عبارة قوة جاذبية الثقل التي تمارسها الأرض على هذا القمر الصناعي.
ب. استعمل القانون الثاني لنيوتن لتعريف عبارة التسارع الجاذب (accélération centripète) للقمر الصناعي.
ت. نستنتج عبارة $v$ بدلالة $r$.

2. $E_{pp} = -\frac{GM_T m}{r}$ هي ثابتة الجاذبية العامة، نأخذ الطاقة الكامنة الجاذبية $E_{pp}$ للقمر الصناعي المتداخل مع الأرض ب
أ. لماذا $E_{pp}$ هنا لا تساوي $E_{pp}=mgz$ مع $z=r$ ؟
ب. عين عبارة الطاقة الميكانيكية $E_m$ للقمر الصناعي المتداخل مع الأرض.
ت. $E_m$ هل هي دالة تابعة لـ $r$ ؟

3. رأينا من خلال دراسة الأقمار الصناعية بأننا نستطيع أن نختار عشوائيا قيمة $r$ حسب أي شروط حول شعاع السرعة ؟



التمرين الثاني : ( 03 نقاط)

4/ عرف الدور $T$ لـ جرم يتحرك بحركة دائرية منتظمة ($Giove-A$)، ($Giove-A$)، (الأرض).

5/ أحسب الطاقة الإجمالية للجملة {($Giove-A$)، (الأرض)}.

المعطيات : ثابت الجذب العام $G = 6.67\times10^{-11}\ SI$ كتلة الأرض $M_T = 5.98\times10^{24}\ Kg$

5- حساب الطاقة الإجمالية للجملة (قمر ، أرض)

0.5 | 0.25×2

$E_m = E_c + E_{pp} = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$

حيث سطح الأرض مرجعا لطاقة الكامنة $E_{pp} = mgh$

$E_c = \frac{1}{2}(700)\times(3.64\times10^3)^2 + 700.0.44\times23.6\times10^6$

$= 46.36.10^6 + 72.68\times10^6 \simeq 119.10^6\ J$

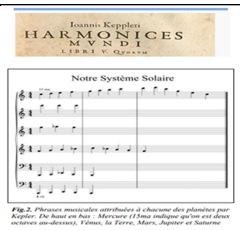
## 3 دور الكتاب المدرسي وتمارين الباكالوريا ودروس عبر الإنترنيت في صعوبات تدريس قوانين كبلر

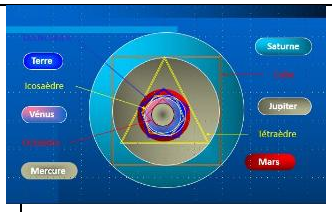
في الجزائر، يمكن اعتبار أن التمارين المطروحة في الباكالوريا وحلولها النموذجية تُمثّل العامل الأساسي في توجيه كيفية تدريس وتقويم كل وحدات العلوم الفيزيائية، وخاصة قوانين كبلر. أدّت هذه الوضعية الخطيرة إلى تهميش الوثائق الرسمية الخاصة بتعليم العلوم الفيزيائية في الطور الثانوي، مثل المنهاج والوثيقة المرافقة والكتاب المدرسي. لتحضير البكالوريا، يلجأ التلميذ وأستاذه إلى الوثائق الرسمية، وخاصة الكتاب المدرسي للعلوم الفيزيائية للسنة الثالثة شعبة ع.ت. و ر. و ت.ر. بالإضافة إلى تمارين الباكالوريا المتعلقة بقوانين كبلر، والوثائق والدروس الخصوصية، حضوريًا أو عبر شبكات التواصل الاجتماعي، ومواقع جزائرية وأجنبية.

سنحاول تحديد دور هذه المصادر المتعددة في خلق صعوبات تدريس قوانين كبلر. بعد زيارتنا لعدة مواقع إلكترونية، يمكن ملاحظة وجود نقائص مشتركة، خاصة في تدريس وتقويم قوانين كبلر، كما سنوضحه من خلال الصور والتعليقات التالية.

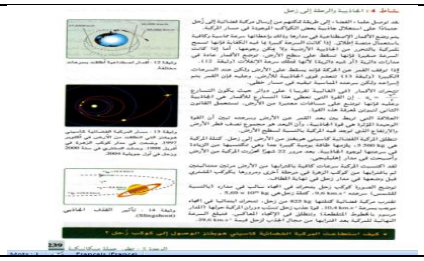
### 3.1 دور الكتاب المدرسي في نقائص تدريس قوانين كبلر

| ملاحظات ملخصة حول محتوى الكتاب المدرسي | الكتاب المدرسي الجزائري للسنة الثالثة (ص. 236، 252، 253 ) |
|---|---|
| **تقديم تاريخي ممتاز** حول أعمال كبلر بتفسير لماذا قوانين كبلر تركز على المدار الإهليجي والطابع المتغير للسرعة المدارية بدلًا من المدار الدائري والسرعة المدارية الثابتة. تُمثّل أعمال وأفكار كبلر الثورة المكملة لثورة حول مركزية الكون والشكل المثالي الدائري لمسارات الكواكب. تحاول أغلبية حسابات كبلر البرهان على أن مسار المريخ ليس دائريًا وسرعته متغيرة. أعطى نظام كوبرنيكس للشمس مركزية الكون بدلًا من الأرض وأعطى كبلر الإهليج المكان الملائم بجوار الدائرة. حاول كبلر تفسير سبب حركة كواكب النظام الشمسي وعددها ويعتمد هذا التفسير الفاشل على أفكار فلسفية حول تناغم الكون وربط كل كوكب بنغمة موسيقية وفق الصورة Harmonices Mundi وربط عددها وترتيبها بالأجسام الأفلاطونية وفق الصورة التالية، أي لكل كوكب نغمة موسيقية وشكل هندسي خاص به. | ـ كبلر Kepler (1630-1571) :<br>عملا بالنظام الهيليومركزي وبمساعدة تيكوبراهي، حاول كبلر تحديد مسارات الكواكب بدقة. لم يتقبل ظاهرة انحراف الكواكب عن الدائرة المثالية التي كان يجدها في حساباته الرياضية و أصبح يشكك في فكرة الحركة الدائرية المنتظمة. وبفعل إتقانه ودقته، نشر سنة 1609 قانونين:<br>(1) : ترسم الكواكب مدارات إهليلجية لا دائرية.<br>(2) : سرعتها ليست ثابتة.<br>عرّض كبلر 48 دائرة متداخلة لكوبرنيك بسبعة إهليلجات بسيطة (كل واحدة خاصة بكوكب). ووضع بعدها قانونه الثالث (3) : النسبة بين مربع دور حركة الكوكب ومكعب المسافة بينه والشمس ثابتة عند كل كواكب النظام الشمسي. كان لهذه القوانين الثلاثة دور أساسي في تطور الميكانيك.<br> <br>الوثيقة 22: كبلر. |




النشاط 4 حول رحلة Cassini كاسيني إلى زحل



**2.تقديم ناقص للغاية للنشاط 4** حول رحلة المركبة كاسيني إلى زحل، حيث يحتوي على شرح يتناقض مع قوانين الميكانيكا، مثل القول بأن القمر يتوقف عن الحركة «يسقط القمر على الأرض»، وعند السرعات الكبيرة تنعدم قوة الجاذبية. بما أن حركة المركبة تتكون أساسًا من دوائر وأقواس إهليجية عند اقترابها من الكواكب، فإن عبارة السرعة المذكورة غير صحيحة، لأن المسار ليس دائريًا فقط. في هذه الحركة، تكون السرعة حتمًا مماسية وبدون إشارة. **كما يغيب تفسير أهم خاصية للسرعة على الإهليج، حيث السرعة أعظمية في نقطة الحضيض وأصغرية في الأوج، أي السرعة تزداد عند اقتراب المتحرك من نقطة الحضيض.**

نلاحظ أيضًا غياب التوضيح الدقيق لمراحل الحركة المختلفة والمعلم المناسب لكل مرحلة، وهو ما سنوضحه في الاقتراحات الخاصة بالمعالجة.

**3.** تقديم قوانين كبلر بشكل تاريخي، بالاعتماد على المسار الإهليجي ثم **إعطاء عبارة السرعة للحركة الدائرية مجاورة لشكل الإهليج**، رغم وجود عبارة الدائرة في النص. في أذهان التلاميذ والأساتذة، تُعتبر العلاقة صحيحة في كل المسارات كما جاء في تمرين الباكالوريا 2018.

**4.** تعبير مبهم للقانون الثالث لكبلر: ما معنى عبارة "**البعد المتوسط للكوكب عن الشمس**"؟ قد ينتبه القارئ إلى الجملة الملونة ولا يلتفت إلى الجملة التي تحتها، والتي توضح أن المسافة المقصودة هي نصف القطر الأعظمي للإهليج. يُستخدم هذا التعبير المبهم بكثرة في العديد من البلدان الأجنبية، وخاصة العربية. بالطبع نلاحظ غياب عبارة السرعة على المدار الإهليجي، وغياب توضيح شروط الانتقال من المدار الإهليجي إلى الدائري.

5. **غياب التحليل الطاقوي لقوانين كبلر.**

درس قوانين كبلر في الكتاب المدرسي

6. يجب تحديد بوضوح مختلف مراحل الرحلة ومعلم كل مرحلة. في المرحلة الأولى، يكون المعلم مركزيًا أرضيًا، ثم بعد الإفلات من الأرض يصبح المعلم مركزيًا شمسيًا بمسار إهليجي، ثم يصبح المعلم مركزيًا كوكبيًا، وهكذا يكون المعلم مركزيًا زحليًا ثم يعود ليصبح مركزيًا شمسيًا.

7. المبالغة في التعليق على أن العلاقة $T^2 = Kr^3$ مستقلة عن كتلة الكواكب، رغم أن الثابت $K$ يتعلق بكتلة الكوكب المركزي. تُمثل العلاقة السابقة التي يجب تقديمها على الشكل $T^2 = 4\pi^2.a^3/GM$، حيث $M$ تُمثل كتلة الكوكب المركزي، العلاقة الأساسية **الميزان الفلكي**، لأنها سمحت بتحديد كتلة الكواكب والثقوب السوداء والمجرات. فهي تتعلق بكتلة الكوكب المركزي **وليست مستقلة عنها**.

8. عكس عدة مواقع ووثائق أجنبية التي تعتمد بشكل خاطئ في الدراسة على القوة الطاردة المركزية، وتستخدم معلم فريني بشكل مبهم، **نلاحظ أن محتوى الكتاب لا يحتوي على هذه النقائص العلمية والتعليمية.**

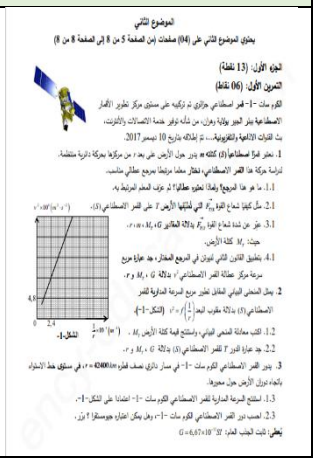
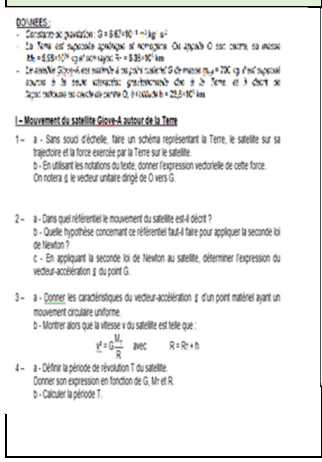
## 3.2.دور تمارين البكالوريا في نقاص تدريس وتقويم قوانين كبلر

بالنسبة لامتحان الباكالوريا في مادة العلوم الفيزيائية في الجزائر، تُمثل التمارين المتعلقة بقوانين كبلر وحركة الكواكب الثابتَ الذي ينتظره المترشحون. أغلبهم يختار الموضوع الذي يحتوي على تمرين حول قوانين كبلر من بين الموضوعين المقترحين، وذلك لأن نمط التمرين يتكرر كل عام، رغم وجود بعض الحالات الخاصة أو الأسئلة الجديدة أحيانًا. يمكن تلخيص هذا النمط كما يلي:

| | |
|---|---|
| تقديم الكوكب أو القمر المدروس | مثال: أقمار المشتري، إطلاق القمر الكوم سات 1، القمر جيوف (Giove)، سبوتنك، أقمار GPS وحركة دائرية منتظمة للكوكب |
| السؤال الأول | ما هو معلم الدراسة؟ ما هي الفرضية لاختياره؟ |
| السؤال الثاني | القوة المطبقة وتطبيق المبدأ الأساسي للتحريك |
| السؤال الثالث | وجود عبارتي التسارع والسرعة المدارية $v$ |
| السؤال الرابع | وجود عبارة الدور $T$ أو تحديد كتلة كوكب |

هذا النمط المتكرر مشترك في عدة بلدان، مع غياب السؤال الأول حول المعلم، الذي يظهر في مواضيع الجزائر وفرنسا، كما يوضحه الجدول التالي. بالإضافة إلى ذلك، يوجد سؤال خامس مفخخ حول الطاقة، مع حل نموذجي خاطئ كما سنوضحه في الاقتراحات الخاصة بالمعالجة.

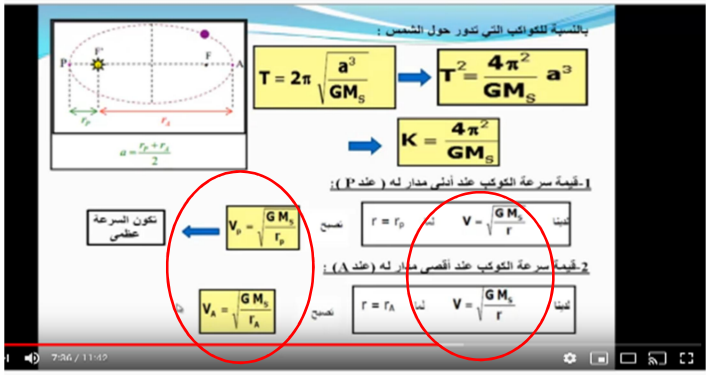
نذكر أن هذا النمط تكرر تقريبًا بنفس الشكل في شعبة الرياضيات سنوات: 2008، 2012، 2013، 2014، 2016، وفي شعبة العلوم سنوات: 2009، 2010، 2014، 2015. مما جعل نشاط الأساتذة والتلاميذ يتمحور حول حفظ الحلول النموذجية بكل ما تحمله من غموض وأخطاء.

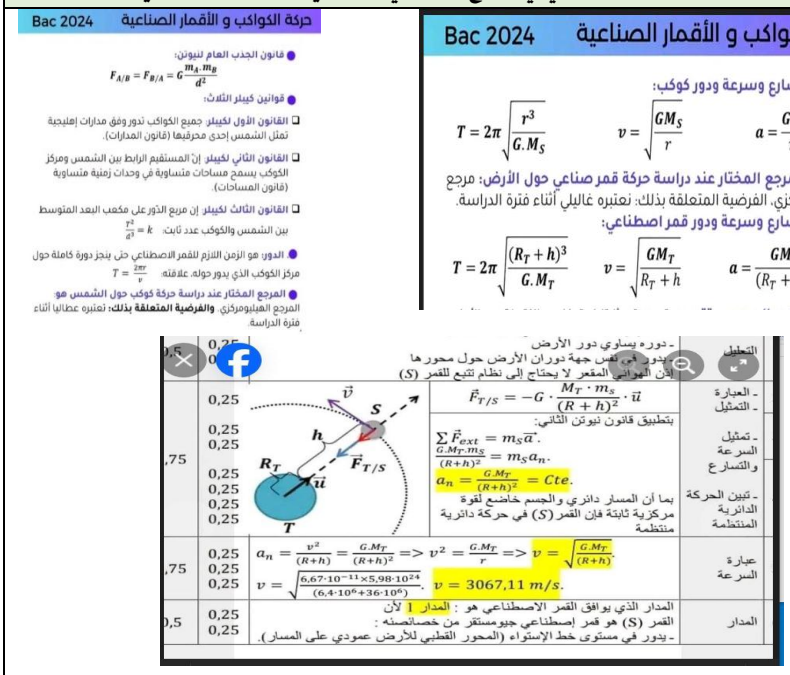
| نص تمرين باك 2018 شعبة ع.ت. حول ألكوم سات1 وحله | نص التمرين حول القمر جيوف باك 2009 شعبة ر .و.ت.ر. | جزء من نص تمرين حول القمر جيوف باك فرنسي Bac- Polynésie 2007 |
|---|---|---|
|  | |  |

### 3.3. دوروثائق عبر شبكة الإنترنت في نقائص تدريس وتقويم قوانين كبلر

نظرًا لاعتماد التلاميذ على العديد من المصادر المتوفرة على شبكة الإنترنت لتحضير امتحان الباكالوريا، فإن محتوى هذه المصادر يؤثر بشكل كبير على مدى تمكنهم من قوانين كبلر. ينطبق الأمر ذاته على الأساتذة الذين يبحثون عن معلومات مكملة للكتاب المدرسي.

نقدّم في الجداول التالية صورًا لبعض الوثائق المتعلقة بقوانين كبلر وحركة الكواكب، مع ملاحظات ملخصة حول مميزاتها.

| ملاحظات | السرعة على المدار الإهليجي حسب وثيقة المركز الوطني للتعليم عن بعد |
|---|---|
| علاقات خاطئة تتضمن تكرارًا للأخطاء الواردة في تمرين الباكالوريا 2018 شعبة ر. و ت.ر.، كما سنوضحه في الاقتراحات لمعالجة هذه النقائص. العلاقة الصحيحة بين السرعتين هي: $v_p r_p = v_A r_A.$ والعبارة الصحيحة للسرعة على المدار الإهليجي هي: $v(r) = \sqrt{2GM\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{2a}\right)}.$ والسرعة في النقطة P تساوي $v(r_P) = \sqrt{2GM\left(\frac{1}{r_P} - \frac{1}{2a}\right)}.$ وفي النقطة A $v(r_A) = \sqrt{2GM\left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{2a}\right)}.$ |  |

| ملاحظات | ملخص للدرس ولحل نموذجي في موقع إلكتروني جزائري لتحضير الباكالوريا |
|---|---|
| تُمثل هذه الوثيقة المقابلة ملخصًا لوثيقة من موقع إلكتروني جزائري لتحضير الباكالوريا، تحتوي على ملخص لما يجب حفظه من علاقات وأنماط حلول حول قوانين كبلر. نلاحظ نفس التعبير المهم كما في الكتاب المدرسي حول القانون الثالث، حيث تظهر عبارة البعد المتوسط بين الشمس والكوكب، والعلاقات المتعلقة بالسرعة تحت عنوان عام، وهي صحيحة فقط في حالة المدار الدائري وخاطئة بالنسبة للمدار الإهليجي. توجد أيضًا عبارة غامضة حول تفسير لماذا المعلم عطالي. «نعتبره عطاليًا أثناء فترة الدراسة» حجة غير مقنعة لعدم تحديد هذه المدة ومقارنتها بمدة أخرى. من الأفضل |  |

الاعتماد على وجود القوى الحقيقية فقط لتفسير الحركة، دون اللجوء إلى قوة وهمية مثل القوة الطاردة المركزية. سنوضح في الاقتراحات الخاصة بالمعالجة وجود معلم نعبره عطاليًا بالنسبة لحركة، وغير عطالي بالنسبة لظاهرة فلكية أخرى.

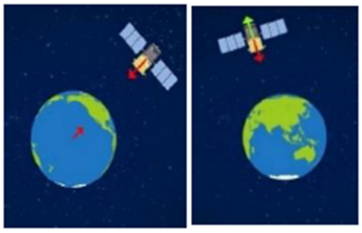
**ملاحظات**

يُقدّم موقع فرنسي مخصص لـ «**تبسيط علم الفلك**» مع تدعيم التصورات «الطبيعية» الخاطئة للتلاميذ في ما يلي:

1. خطأ في رسم شدتي القوتين بين الأرض والقمر، حيث وفقًا للتصورات الطبيعية الخاطئة، الجسم الأكبر يطبق قوة أكبر شدة، عكس ما ينص عليه مبدأ الفعلين المتبادلين.

2. **إدخال القوة الطاردة المركزية** معاكسة لقوة الجاذبية «خوفًا من سقوط القمر على الأرض»، عكس ما ينص عليه قانون نيوتن الثاني، إذ إن قوة الجاذبية **وحدها** تفسر حركة القمر. في تعليمية الفيزياء، تُسمى هذه التصورات الخاطئة حول القوى بأفكار أرسطو، والتي تعتبر أن اتجاه القوة هو نفسه اتجاه الحركة، أي بالترميز الحديث للشعاعين $\vec{F}$ و $\vec{v}$ نفس الحامل والاتجاه.

**بعض الأخطاء الفيزيائية في الشبكة**



**شروط مدهشة لتطبيق قوانين كبلر**

في الموقع السوري المقابل، يُظهر التعبير في الشرط الأول أن الجسم عديم الكتلة يؤدي إلى انعدام قوة الجاذبية المطبقة عليه، لأنها تتناسب مع الكتلة المعنية. الشكل الصحيح للشرط هو أن كتلة القمر $m$ أصغر بكثير من كتلة الكوكب المركزي $M$ وليست $m$ منعدمة.

الشرط الثاني مدهش لأنه يتناقض مع الواقع الذي نعيشه في حياتنا اليومية، حيث نعتمد على الأقمار الجيومستقرة التي تستقبل وتبث الأمواج، أي قنوات الاتصال والتلفزة، وكلها في مدار واحد، ويبلغ عددها الآلاف ويتزايد باستمرار.

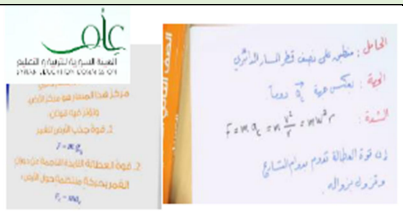
**ملاحظة:** يمثل العدد الممكن من الأجسام المتحركة في مدار حول جسم مركزي إشكالية فيزيائية أساسية وتفصل بين ميكانيكا نيوتن وميكانيكا الكم.

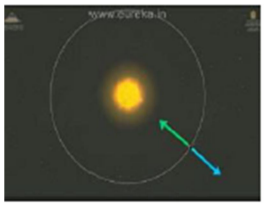
في قوانين كبلر ونيوتن، نصف قطر المدار له قيمة مستمرة وغير مكممة، وعدد الأقمار في المدار غير محدد، كما تدل عليه الحزم

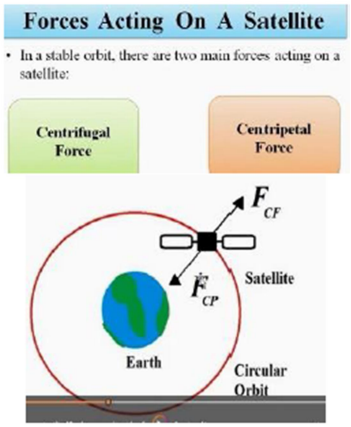
يوجد في المنهاج الجزائري فقرة خاصة بحدود ميكانيكا نيوتن، مع عدم تطبيقها في الذرة على حركة الإلكترونات حول النواة، لأن جميع المدارات في الذرة غير ممكنة، وعدد الإلكترونات في مدار مكمم ومحدود، على عكس عدد الأقمار غير المحدود في مدار معيين.

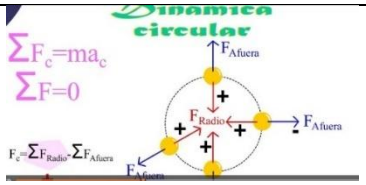
| | |
|---|---|
| التي تدور حول كوكب زحل والمشتري. | |

**وثائق متنوعة بوجود القوة الطاردة المركزية**







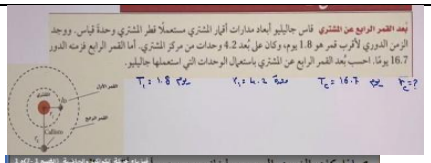

في الصورة العلوية لموقعين إلكترونيين سوريين، يظهر الخطأ بوضوح من خلال وجود قوتين لتفسير الحركة، حيث إن قوة الجاذبية وحدها تفسر حركة القمر. إضافة القوة العطالية، أي القوة الطاردة المركزية، غير صحيح لأن معلم الدراسة، الذي لم يوضح، عطالي ولا يحتاج إلى قوة ثانية.

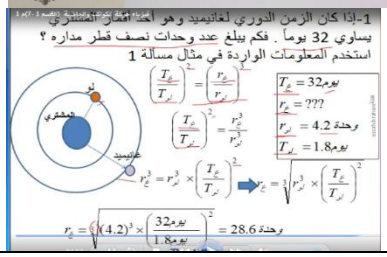
وفقًا لهذه الرسوم التي لا توضح معلم الدراسة، إذا كان المعلم عطاليًا فإن القمر سينفلت عن المسار الدائري ويواصل حركته بحركة مستقيمة منتظمة، حسب مبدأ العطالة.

استقراره على المدار الدائري أو الإهليجي ناتج عن قوة واحدة فقط، وهي قوة الجاذبية العامة المطبقة من الكوكب المركزي على القمر الذي يدور حوله. وجود قوة ثانية معاكسة للجاذبية يؤدي إلى انفلات القمر عن الدائرة ومواصلة الحركة في خط مستقيم.

**وثائق حول أقمار المشتري**

تمثل دراسة حركة أقمار المشتري فرصة ثمينة لعدة تمارين ونشاطات، خاصة على شكل **وضعية إدماجية**، وليس **مجرد تطبيق علاقة القانون الثالث** كما هو الحال في بلدان الخليج العربي، كما توضحه الصور المقابلة.





حسب الشكل وحدة 1.5≈$r_{Lo}$ و$r_{E}$ يساوي وحدة 2.5

ملاحظات حول التمارين:

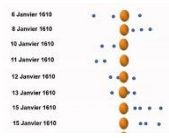
- تم ذكر أعمال غاليليو دون استغلالها بشكل كافٍ، إذ إن مشاهدته لحركة أقمار المشتري في سنة 1610 بأول منظار فلكي بسيط سمحت بتحطيم فكرة أن الأرض هي مركز الكون، وأن كل الأشياء تدور حولها، كما دعمت نظام كوبرنيكس (Copernicus) القائل بمركزية الشمس في الكون.
- ساعدت حركة هذه الأقمار خلال القرنين السابع عشر والثامن عشر الملاحين في تحديد خط الطول لسفنهم في الليل
- رسم بسلم غير صحيح، ولا يسمح لحل بياني، بل يدعم الحل الحسابي فقط.
- في سنة 1676، اعتمد الفيزيائي رومير (Römer) على حركة القمر آيو (Io) لحساب سرعة الضوء، حيث توصل إلى قيمة تقارب 220000 km/s ، رغم بساطة الأدوات والنقص في دقة قياس قطر مدار الأرض حول الشمس. حاليًا، يُشتهر آيو بنشاطه البركاني، وصورته تُلقب بـ"البيتزا".

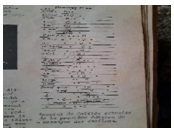
**الأخطاء في النص والحل:**

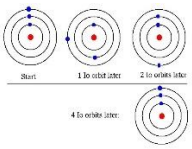
- خطأ مطبعي في اسم القمر، فهو آيو وليس لو (Lo)، وهو قمر مشهور بنشاطه البركاني المميز في النظام الشمسي.

هناك خطأ في قيمة ع$T_E$، حيث إنها تساوي 7.2 يومًا وليس 32 يومًا. بالطبع قيمة ع r في الحل خاطئة، وهي تساوي 10 وحدات تقريبا.

- توجد ظاهرة فلكية نادرة تُعرف بالرنين المستقر، أي تأثير جاذبي دوري، حيث يمكن مشاهدة الأقمار على استقامة واحدة، كما رسمهم غاليليو.







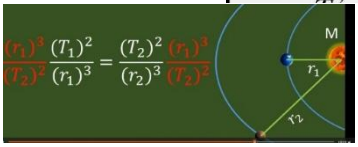
رسم غاليليو

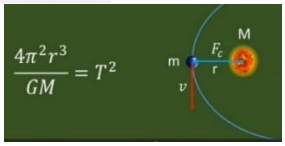
## وثائق حول القانون الثالث لكبلر

العلاقة الأساسية العامة في القانون الثالث لكبلر هي:

$$T^2 = (4\pi^2/GM)a^3$$

حيث $T$ هو دور حركة الكوكب، و $a$ نصف القطر الأعظمي لمداره الإهليجي (**وليس متوسط البعد بين القمر والكوكب المركزي**)، و $M$ كتلة الكوكب المركزي الجذاب، و $G$ ثابت الجاذبية الكونية. يمكن





كتابة العلاقة العامة السابقة على عدة أشكال حسب هدف الدراسة، ولكل شكل بعض الفوائد وعدة نقائص نظرًا لغموض المصطلح ثابت $K$. على سبيل المثال، العلاقة $T^2 = Ka^3$ صالحة فقط في نظام كوكبي محدد، و $K$ ثابت لكل الأجسام التي تدور حول الكوكب المركزي. على سبيل المثال، بالنسبة لجميع كواكب النظام الشمسي، $K$ ثابت ويساوي $K = 3 \times 10^{-19} m^{-3} s^2$. نفس الملاحظة تنطبق على القمر والأقمار الصناعية حول الأرض، حيث يكون $K = 9.9 \times 10^{-14} m^{-3} s^2$. أما بالنسبة لأقمار المشتري فلـ $K$ قيمة أخرى. من الفوائد تسهيل الحسابات لمختلف كواكب نظام معين. أما من أهم النقائص فهي تهميش دور العلاقة في تحديد كتل الكواكب والنجوم وتُسمى العلاقة بالميزان الكوني. استغلال هذه العلاقة أدى إلى اكتشافات عديدة مثل الثقوب السوداء، خاصة الثقب المركزي لمجرتنا.

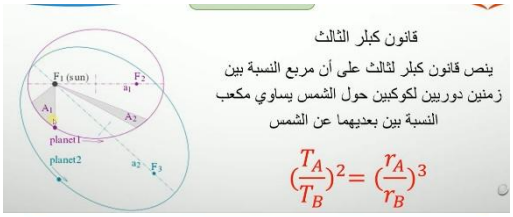
في حالة النظام الشمسي، وباختيار وحدات ملائمة $T$ بالسنوات الأرضية و $a$ بالوحدة الفلكية، أي نصف قطر مدار الأرض حول الشمس، تأخذ العلاقة شكلًا خاصًا وهو $1^2 = K1^3$، ومنه $K = 1$ والعلاقة تصبح $T^2 = a^3$ [3] كما هو موضح في الصورة المقابلة. من الجانب التعليمي، يؤدي استعمال هذه العلاقة دون توضيح وحدات $T$ و $a$ إلى النتائج السلبية التالية:

- شكل العلاقة يتناقض مع خاصية أساسية للعلاقات الفيزيائية، وهي تجانس الطرفين.
- استعمال وحدات معقدة بالنسبة للتلاميذ، مثل السنة الضوئية AL (a.l) والوحدة الفلكية UA (u.a).

لمقارنة حركة عدة كواكب حول كوكب مركزي بمدارات مختلفة، يمكن استعمال العلاقة $\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3}$ حيث $a$ يمثل نصف القطر الأعظمي للإهليج.

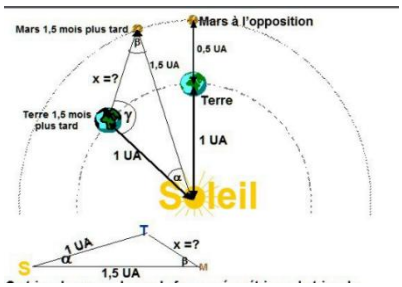
- لا يجب استعمال الرمز $r$ في مكان

Kepler's 3rd Law
$T^2 = A^3$
The square of the period of any planet is proportional to the cube of the semimajor axis of its orbit




| Planète | Rayon $r$ (UA) | Période $T$ (années) | Rapport $T^2/r^3$ |
|---|---|---|---|
| Mercure | 0,387 | 0,241 | 1,002 |
| Vénus | 0,723 | 0,615 | 1,001 |
| Terre | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Mars | 1,524 | 1,881 | 1,000 |
| Jupiter | 5,203 | 11,862 | 0,999 |
| Saturne | 9,534 | 29,456 | 1,001 |

استعمال الوحدة الفلكية UA في تحديد أوضاع الكواكب



| | |
|---|---|
| $a$كما هو الحال في الصور المقابلة، مع تعابير مبهمة مثل "بعد متوسط" أو "بعد بين الكوكب والشمس"، ويجب تحديده بوضوح كنصف القطر الأعظمي للإهليج.<br>يمكن استعمال الرمز $r$ في العلاقة في حالة عدة كواكب كلها بمسارات دائرية حول الكوكب المركزي. | |

## خلاصة

سنقدّم في مقال لاحق، إن شاء الله، اقتراحات للمعالجة تتعلق بتوضيحات علمية وتعليمية حول النقائص الواردة في هذا المقال. ستشمل هذه الاقتراحات المقاربة التاريخية، من كوبرنيكس إلى تيخو براهي وكبلر، ثم غاليليو ونيوتن. كما سنتطرق إلى كيفية توظيف الطاقة لتفسير قوانين كبلر، ووجود عبارة الطاقة الكامنة الجاذبية والطاقة الميكانيكية والسرعة المدارية على الإهليج. إضافة إلى ذلك، سنقترح أنماطًا من التمارين تتماشى مع خصائص الوضعية الإدماجية، وهي أساس المقاربة بالكفاءات.

## المراجع

[1] وزارة التربية الوطنية. مناهج التعليم الثانوي، 2005.
[2] الديوان الوطني للامتحانات والمسابقات، امتحان شهادة البكالوريا، مادة العلوم الفيزيائية.
[3] المركز الوطني للتعليم عن بعد، دروس العلوم الفيزيائية للسنة الثالثة ع. ت. و ر. و ت.ر.
[4] عدد كبير من المواقع الإلكترونية عبر شبكة الإنترنت.

# دراسة علمية وتعليمية لتمارين المسعى العلمي في بكالوريا العلوم الطبيعية في الجزائر

عبد الكريم كاملي [1]، لبنى زايدي [2]، أشواق بنور [2]

[1] أستاذ بقسم العلوم الطبيعية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

[2] طالبة سنة خامسة (تخرج) بقسم العلوم الطبيعية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

abdelkrim.kameli@g.ens-kouba.dz

## المقدمة

عرفت المنظومة التربوية الجزائرية منذ الاستقلال تطورًا ملحوظًا في مناهج التعليم، حيث انتقلت من المقاربات التقليدية القائمة على المحتويات والأهداف إلى مقاربة جديدة قائمة على الكفاءات لا يزال معمولًا بها إلى يومنا هذا. ويُعد التقويم التربوي أحد أكثر عناصر المنهاج تأثرًا بهذا التطور، حيث استُبدلت أساليب التقويم التقليدية المعتمدة على الذاكرة واسترجاع المعارف، بأساليب تقويم حديثة تقيس القدرة على تجنيد المعارف المكتسبة في حل المشكلات وتنمي لدى المتعلم مهارات التحليل، التفسير، الاستنتاج واقتراح الفرضيات والحلول.

تزود مادة العلوم الطبيعية المتعلم بالمفاهيم والمعارف العلمية الأساسية التي تمكنه من فهم جسمه، وبيئته، والكائنات الحية المحيطة به والعلاقات التي تنشأ بينها. وقد بُنيت المناهج الجديدة لمادة العلوم الطبيعية بحيث توجه المتعلم للمشاركة في بناء معارفه بنفسه ومن ثم استثمارها في معالجة وحل القضايا والمشكلات الحياتية التي قد يواجهها، وذلك في إطار المقاربة بالكفاءات التي اعتمدتها وزارة التربية الوطنية منذ الموسم الدراسي (2004/2003)، وهي مقاربة تعليمية تهدف إلى ربط التعليم بالواقع والحياة.

صاحَب تغيير المناهج التعليمية اعتماد كتب مدرسية جديدة تم إعدادها لتواكب المنهجية الحديثة، إلا أن أساليب التقويم التقليدية بقيت على حالها ولم يمسها التحديث. ومن بين السنوات الأساسية في مرحلة التعليم ما قبل الجامعي هي السنة الثالثة من التعليم الثانوي التي تتوج بامتحان مصيري هو امتحان شهادة البكالوريا. في بداية الموسم الدراسي (2018/2017) أصدرت المفتشية العامة للبيداغوجيا "دليل بناء اختبار مادة علوم الطبيعة والحياة" والذي نص على تبني المسعى العلمي كأداة جديدة للتقويم التربوي.

يقيس المسعى العلمي كفاءات المتعلم من خلال وضعه أمام مجموعة من المشكلات البحثية النابعة من واقعه والتي تضعه مقام الباحث عن المعرفة. سيتم في هذا المقال إجراء دراسة نقدية للجانبين العلمي والتعليمي لعينة من وضعيات المسعى العلمي التي وردت في مواضيع امتحان البكالوريا الرسمية واختبارات البكالوريا التجريبية، وذلك للإجابة عن الإشكالية التالية: ما مدى التحكم في المسعى العلمي كأداة تقويم في امتحانات العلوم الطبيعية في الجزائر؟ تم اختيار التمارين التي تناولت موضوع "تأثير المضادات الحيوية على تركيب البروتين" نظرًا لأهمية هذا الموضوع الذي يُعدّ من مواضيع الساعة التي تشغل اهتمام الباحثين وتحتل حيزًا كبيرًا من دراساتهم وأبحاثهم.

## 1. المسعى العلمي (Scientific approach)

تسعى معظم دول العالم إلى تحديث مناهج تعليم العلوم بصورة مستمرة نظرًا لمكانتها ودورها في الرقي بالأمم فكريًا وحضاريًا واقتصاديًا. ويتم ذلك من خلال تبني مجموعة من المشاريع الإصلاحية التي تركز على ربط مناهج العلوم

بقضايا المجتمع وحاجاته، مثل التلوث البيئي، واستخدام الطاقة ومصادرها، والأمراض بمختلف أنواعها، إلخ. كما تهدف إلى مساعدة المتعلمين ليصبحوا متنورين علميًا وتكنولوجيًا [2].

يُعتبر مشروع (2061) الذي أُطلق في سنة 1985 أحد أكثر المشاريع الإصلاحية العالمية انتشارًا وتأثيرًا في التربية العلمية ومناهج العلوم وتدريسها. وقد سلّط هذا المشروع الضوء على مجموعة من المفاهيم الأساسية التي تتميز بها التربية العلمية ومناهج العلوم عن غيرها، ومن هذه المفاهيم مفهوم المسعى العلمي [2].

سنتناول في هذا المقال مفهوم المسعى العلمي وخطوات تطبيقه، كما سنقوم بقياس مدى تحكم تمارين البكالوريا في هذا المسعى ومصداقيتها العلمية، إضافة إلى مدى احترامها لمعايير بناء الاختبارات الواردة في "دليل بناء اختبار مادة علوم الطبيعة والحياة لامتحان شهادة البكالوريا" الصادر في أكتوبر 2017 عن المفتشية العامة للبيداغوجيا التابعة للديوان الوطني للامتحانات والمسابقات.

يُعرّف المسعى بأنه مجموعة من العمليات التي تستهدف فهم الواقع عن طريق الإجابة عن سؤال أو حل مشكل. يتم خلالها اقتراح فرضيات واختبارها للتأكد من صحتها أو نفيها، بهدف الوصول إلى توليد النظريات والقوانين والنماذج، وتأسيس معارف جديدة انطلاقًا من الفرضيات المؤكدة. يمكن القول إذن إن المسعى العلمي هو الأداة التي يستخدمها الباحثون لفهم وتفسير واختبار الأفكار المتعلقة بالظواهر الطبيعية. إضافة إلى ما سبق، يلعب المسعى العلمي دورًا مهما في مساعدة الطلبة المتعلمين ومعلميهم على كيفية تنظيم العلم والمعرفة العلمية.

يُعتبر العالم العربي المسلم ابن الهيثم أول من وضع خطوات هذا المسعى، ثم طوره بعد ذلك الطبيب الفرنسي كلود برنار (Claude Bernard) سنة 1865 وسمّاه بالطريقة التجريبية (Experimental method). وقد تم إدراجه ضمن مناهج تدريس العلوم في إطار الحركات الإصلاحية العالمية للتربية العلمية وعلى رأسها مشروع (2061) [1،2،6].

## 2. خطوات المسعى العلمي

يتم اختصار خطوات المسعى العلمي في كلمة (OPHERIC)، والتي تشير إلى الملاحظة، الإشكالية (المشكل)، الفرضية أو الفرضيات، التجربة، النتائج، التفسير ثم الاستنتاج. يقوم الباحث من خلال هذا المسعى بتطوير فرضية واختبارها، ثم تعديلها بناءً على نتائج الاختبارات والتجارب التي تم الحصول عليها بعد ذلك، يعيد الباحث اختبار الفرضية المعدلة، ويستمر في تعديلها واختبارها حتى تصبح متوافقة مع الظواهر المرصودة ونتائج الاختبارات.

### أ- الملاحظة (Observation)

يُقصد بالملاحظة دراسة السلوكات أو الظواهر الطبيعية في شكلها التلقائي كما تظهر في الطبيعة، والتي تثير اهتمام الباحثين وتدفعهم إلى طرح الأسئلة. تتميز الملاحظة بالدقة والموضوعية، وتسمح بالوصف الدقيق للظاهرة المدروسة. تُصنَّف الملاحظة إلى أنواع، منها: الملاحظة العلمية الدقيقة، والملاحظة البسيطة العفوية التي تعتبر بداية الملاحظة العلمية، والتي تترتب عنها الفرضية. في معظم الأحيان، ينجر عن الملاحظة البحث في خلفية الموضوع وجمع المعطيات الأولية حوله [1].

### ب- المشكل (Problematic)

يتمثل المشكل في السؤال أو مجموعة الأسئلة التي يطرحها الباحث، والتي تنبع من الملاحظة وتتطلب إجابة أو تفسيرًا. تكمن أهمية تحديد المشكلة في أنها تساعد على تحديد:

- أهمية البحث ونوعه وأهدافه،
- الفرضيات والتساؤلات التي يطرحها،
- المنهجية التي سيتم استخدامها،

- نوعية المعلومات والبيانات اللازمة وطرق جمعها وتوفيرها.

يتطلب الإلمام الجيد بمشكلة البحث معرفة جذورها ومراجعة النتائج التي توصلت إليها الدراسات السابقة حولها. هذه خطوة مهمة تساعد في تحديد ما يمكن أن يضيفه الباحث، ومن أين يمكن أن يبدأ؛ بحيث يبدأ من حيث انتهى الآخرون في هذا المجال [3، 4].

ج- الفرضيات (Hypothesis)

تتمثل الفرضيات في الإجابات المحتملة للمشكل المطروح، أو التفسير المنطقي المؤقت للظاهرة أو مجموعة الظواهر التي لاحظها الباحث في العالم الطبيعي. يتم اختبار هذه الفرضيات من أجل المصادقة عليها أو دحضها من خلال التجريب. يوصف اقتراح الفرضيات بأنه عملية إبداعية تستند إلى المعرفة العلمية الحالية، الحدس، أو الخبرة [4].

يُشترط في الفرضيات أن تكون:

- منطقية، بحيث تتناسب والمشكل المطروح وتشكل جوابًا محتملًا له؛
- قابلة للملاحظة والاختبار باستعمال تقنيات مختلفة مثل التجريب؛
- دقيقة وواضحة.

د- التجربة (Experience)

تُعد التجربة أداة لاختبار الفرضيات، فهي توفر البيانات الضرورية لتأكيدها أو إبطالها. يتم إجراء بعض التجارب البسيطة باستخدام الحواس، في حين يتطلب البعض الآخر القيام بقياسات دقيقة بواسطة أجهزة ووسائل خاصة. يقوم الباحث بتصميم التجربة بحيث يكون كل متغير أو عامل قد يؤثر على نتيجتها تحت سيطرته، ويستغرق ذلك الكثير من الوقت والتفكير للتقليل من الأخطاء المحتملة.

يصعب على الباحث التحكم في جميع ظروف التجربة؛ حيث قد تتباين النتائج المتحصل عليها أحيانًا. لذا يجب عليه تكرار التجربة عدة مرات ليتمكن من تقدير حجم هذا التباين ويضمن صحة النتائج ودقتها [5].

هـ- النتائج (Results)

يقوم الباحث بتدوين النتائج المتحصل عليها في نهاية كل تجربة، ويقارن نتائج التجارب المكررة ليتحقق من أنها تؤدي إلى النتيجة ذاتها. يمكن تنظيم النتائج وتقديمها في شكل نصوص، جداول، أو رسوم بيانية [5].

و- التفسير (Interpretation)

يقوم الباحث بتقديم تفسيرات للنتائج المتحصل عليها ويربطها بالفرضية المقترحة سابقًا؛ فإذا توافق التفسير مع الملاحظة الأولية، تُؤكَد صحة الفرضية، أما إذا اختلف معها، فيتم رفضها. تتطلب هذه المرحلة أيضًا الرجوع إلى المؤلفات العلمية ومقارنة النتائج المتحصل عليها مع نتائج التجارب الأخرى ذات الصلة بالموضوع أو الظاهرة. تسمح هذه الخطوة للباحثين بتوضيح معنى بعض النتائج ووضع خبراتهم في سياق أكثر عمومية. يتم إجراء تجارب جديدة في حالة تفنيد الفرضية، أو يُلجأ لاقتراح فرضيات أخرى [5].

ز- الاستنتاج (Conclusion)

يقوم الباحث في هذه المرحلة بربط الحقائق بالفرضيات وتفسير نتائج التجارب التي تحصل عليها للوصول إلى صياغة قاعدة أو تعريف أو نموذج، إلخ.

يمكن للفرضيات المصادق عليها والمدعمة بالأدلة العلمية أن تصبح لاحقًا عرضة للرفض إذا توفرت معطيات جديدة يمكنها تفنيدها. كما يمكن اعتبارها غير كاملة فقط، فيلجأ الباحثون حينها إلى تكييفها لتتماشى مع هذه المعطيات. يمكن القول إذن إن تأكيد صحة الفرضية لا يعني انتهاء المسعى العلمي تمامًا؛ فالعلم ممارسة تتسم بالتشكيك المستمر في العالم من حولنا. لذلك، فإن مشاركة ونشر الاكتشافات العلمية وتراكم المعارف حول المواضيع

المختلفة يساهم باستمرار في تطوير فهمنا للآليات التي تحكم الظواهر الطبيعية، ويسمح لنا بالتشكيك في فرضياتنا الأولية وإعادة صياغة أسئلتنا.

خطوات المسعى العلمي

## 3. و اقع تطبيق المسعى العلمي في مادة العلوم الطبيعية في الجز ائر

يسمح تبني المسعى العلمي كمنهج لتدريس العلوم الطبيعية بتحويل المتعلم من متلقٍ للمعرفة إلى باحث عنها، يتساءل عن الظواهر التي يلاحظها من حوله ويفترض لها حلولًا يقوم باختبارها للمصادقة عليها أو نفيها. وهو ما يتماشى مع المقاربة بالكفاءات التي تبنتها وزارة التربية الوطنية في إصلاحاتها الأخيرة منذ الموسم الدراسي (2004/2003).

لا يزال استعمال المسعى العلمي كأداة تعليمية في الجزائر في بداياته؛ حيث يقتصر على مجهودات الأساتذة في تكييف خطوات الدرس والتعلمات الواردة في المنهاج مع متطلبات هذا المنهج البحثي. يوجه هذه العملية "دليل ممارسة المسعى العلمي في بناء التعلمات" الذي أصدرته المفتشية العامة للبيداغوجيا في سبتمبر 2018.

تم في هذه الدراسة تقييم مدى استعمال المسعى العلمي كأداة للتقويم في امتحانات العلوم الطبيعية، حيث تم قياس مدى توافق عينة من تمارين البكالوريا والبكالوريا التجريبية -التي تناولت موضوع "تأثير المضادات الحيوية على تركيب البروتين"- مع منهجية المسعى العلمي من الناحية العلمية والتعليمية. نتائج الدراسة المفصلة موجودة في مذكرة التخرج التي أنجزها طلبة التخرج في المدرسة العليا للأساتذة (دفعة 2023). لا يسع هذا المقال لنشرها كاملة لكننا سوف نعرض خلاصة ما توصلت إليه الدراسة.

## 4. نتائج الدراسة

يمكن الحكم على الجانب العلمي للتمارين المدروسة من خلال مقارنة معطياتها بالمعلومات الواردة في المراجع العلمية، في حين يمكن الحكم على جانبها التعليمي من خلال قياس مدى استهدافها للكفاءات الواردة في المنهاج وارتباطها بمحيط المتعلم، ومدى تطبيقها لمنهجية المسعى العلمي، وكذلك مدى احترامها للمعايير الواردة في دليل بناء الاختبارات وملحقه الصادرين عن المفتشية العامة للبيداغوجيا.

سمحت لنا الدراسة النقدية للجانبين العلمي والتعليمي لتمارين البكالوريا واختبارات البكالوريا التجريبية التي تناولت موضوع "تأثير المضادات الحيوية على تركيب البروتين"، والاطلاع على آراء وملاحظات الأساتذة والمفتشين حول تمارين المسعى العلمي في امتحانات العلوم الطبيعية بصفة عامة، بتسجيل النتائج التالية:

- تحتوي بعض التمارين على معطيات خاطئة لا تتوافق مع نتائج الدراسات والأبحاث العلمية.
- تحتوي بعض التمارين على دعائم لا تخدم موضوع التمرين أو لا يكمل بعضها بعضًا.
- تُقيد هذه التمارين المتعلمين بخطة حل ثابتة، حيث تزودهم بدعائم تقود جميعها إلى الحل وفقًا لخطوات محددة بدلًا من مطالبتهم باختيار الدعائم المناسبة وتصميم خطة حل خاصة بهم.
- تفوق معطيات ودعائم بعض التمارين مستوى المتعلمين وقدرتهم على الاستيعاب.
- تقدم أغلب التمارين المشكل العلمي جاهزًا بدلًا من دفع المتعلمين للتساؤل حوله بأنفسهم.
- تحتوي بعض التمارين على معطيات أولية غير كافية لصياغة الفرضيات، أو تفتح المجال لعدد كبير من الفرضيات التي قد تكون صحيحة لكنها لا تتوافق مع الإجابات المُنتظرة من المتعلم.
- يختلف معظم الأساتذة والمفتشين حول مدلول الكثير من الأفعال الأدائية، وهو ما أدخل التلاميذ في دوامات من الحيرة وانعكس سلبًا على نتائجهم وتحصيلهم العلمي.
- تترجم تمارين بعض الباكالوريات الأجنبية حرفيًا -كما هو الحال مع تمرين الماكروليد- دون التأكد من ارتباط موضوعها بواقع المتعلم ومحيطه أو استهدافها للكفاءات الواردة في المنهاج.

تم أيضًا اقتراح تمرين بكالوريا تناول موضوع تأثير المضادات الحيوية على تركيب البروتين. حاولنا أثناء بناء هذا التمرين تحري المصداقية العلمية بالرجوع إلى مختلف المراجع العلمية المتعلقة بالموضوع، مع مراعاة خطوات المسعى العلمي، وكذلك احترام التعليمات الواردة في دليل بناء الاختبارات واستهداف الكفاءة الواردة في المنهاج.

## 5. الخلاصة

يتطلب بناء تمارين المسعى العلمي فهمًا وإلمامًا جيدًا بموضوع الدراسة للتمكن من تكييفه ليتناسب مع مستوى التلاميذ وقدراتهم، بالإضافة إلى توفير معطيات علمية صحيحة ومترابطة تخدم الموضوع ليستغلها المتعلم في تصميم وتنفيذ خطة محكمة للوصول إلى حل المشكل المطروح.

تبين لنا من خلال دراستنا النقدية لتمارين المسعى العلمي التي تناولت موضوع "تأثير المضادات الحيوية على تركيب البروتين" كأنموذج لقياس مدى التحكم في المسعى العلمي كأداة للتقويم في امتحانات العلوم الطبيعية في الجزائر، وجود نقص كبير في التحكم بهذا المنهج البحثي وتطبيق خطواته. حيث احتوت هذه التمارين -على غرار غيرها من تمارين المسعى العلمي الواردة في امتحانات العلوم الطبيعية بصفة عامة- على العديد من مواطن الضعف سواء من الناحية العلمية أو التعليمية. يعود هذا القصور في فهم وتنفيذ المسعى العلمي إلى ضعف تكوين أساتذة ومفتشي المادة في هذا المنهج البحثي؛ إذ يتطلب نجاح أي منهجية أو أسلوب تدريس جديد يتم تبنيه الإلمام بكافة مفاهيمه ووسائله وكيفية تطبيقه للتمكن من ربطه بالمناهج التعليمية المُدرّسة. نشير هنا إلى أن العمل بالمعايير الواردة في دليل بناء الاختبارات يحتاج إلى تكوين خاص أيضًا، خاصة فيما يتعلق بمدلول وتوظيف الأفعال الأدائية.

ارتأينا في ضوء هذه النتائج تقديم مجموعة من التوصيات التي نأمل أن يتم العمل بها لتحسين فهم وتنفيذ المسعى العلمي في مناهج العلوم وتطوير هذا النوع من التمارين مستقبلًا:

- تعريف الأساتذة والمفتشين وبناة المناهج بالمسعى العلمي وتوعيتهم بأهميته في تدريس العلوم.
- تكييف مناهج العلوم الطبيعية ومحتويات الكتب المدرسية بما يتناسب مع متطلبات المسعى العلمي.
- تعميم وتطوير استعمال المسعى العلمي كأداة تعليمية في جميع مستويات الطور الثانوي.
- برمجة دورات وورشات تكوينية للمفتشين وأساتذة التعليم الثانوي وطلبة المدارس العليا للأساتذة لإكسابهم منهجية المسعى العلمي.

## المراجع


[1] المفتشية العامة للبيداغوجيا، دليل ممارسة المسعى العلمي في بناء التعلمات، وزارة التربية الوطنية، الجزائر، 2018.

[2] زيتون، عايش محمود، مستوى فهم طبيعة المسعى العلمي في ضوء المشروع (2061) لدى معلمي العلوم في الأردن وعلاقته ببعض المتغيرات الديمغرافية. المجلة الأردنية في العلوم التربوية، المجلد 9، العدد 2، (2013)، 119- 139.

[3] فارس، علي، المرجع الشامل في هندسة المناهج التعليمية، مؤسسة نور للنشر والتوزيع والطباعة، برلين، 2020.

[4] مصطفى، محمد صلاح الدين، وآخرون، خطوات البحث العلمي ومناهجه، المشروع العربي لصحة الأسرة-جامعة الدول العربية، القاهرة، 2010.

[5] Debret, J., La démarche scientifique: tout ce que vous devez savoir, Scribbr, 2019. https://www.scribbr.fr/article-scientifique/demarche-scientifique/

[6] Sohrab Ghassemi, M.A., Ibn Al Haytham and scientific method, Dissertation submitted to the Faculty of the Graduate School of Arts and Sciences of Georgetown University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Islamic Studies, 2020.

[7] The editors of Encyclopaedia Britannica, Scientific method, Encyclopedia Britannica, 2023. https://www.britannica.com/science/scientific-method

# الدروس الخصوصية.. بين المنافع والمخاطر

محمد مرابط
أستاذ بقسم الرياضيات، جامعة حسيبة بن بوعلي بالشلف
merabetmohamed02@gmail.com

"التعليم ليس تعلّم الحقائق، ولكن تدريب العقل على التفكير."
ألبرت أينشتاين (1879-1955) Albert Einstein

يهدف هذا العرض إلى التعرف على مفهوم الدروس الخصوصية ودواعي انتشارها، وأسباب لجوء التلاميذ والطلبة إليها، مع ذكر بعض إيجابياتها وسلبياتها، لتصبح هاته الدروس واضحة ومسلط الضوء عليها من جميع جوانبها أمام أهل الحل والعقد ومن يهمهم الأمر.

## 1. تصدير

إن نهضات الأمم في الشرق والغرب، وفي القديم والحديث، واستفاقاتها من غفواتها، ونهوضها من كبواتها لم ولن تتحقق إلا بفضل المدرسة التي تعتبر وسيلة من وسائل ارتقاء الأفراد والمجتمعات وسبب تطوّرها وتقدّمها وخلاصها من عوامل التخلف.

ومن المعلوم أن معادلةُ التربيةِ والتعليم –التي تعتبر المدرسة ميدانًا لها– تتشكل من ثلاثة عناصر، هي: المعلّم، والتلميذ، والمقرر الدراسي. ولا تُنجِز هذه المعادلة وعودَها، ولا يمكن قطف ثمارها من دون إعادة بناء متوازٍ لكل عناصرها، حتى يتحقق الهدف الأسمى من التعليم ومؤسّساته، ألا وهو الارتقاء بالمتعلّم علميًّا ونفسيًّا ومهاراتيًّا.

ما يعلمه الجمهور الواسع أن النجاح في المسار الدراسي يمثّل الهاجس الأكبر للمتعلمين وأسرهم، مما يجرّهم نحو الاستعانة بالدروس الخصوصية التي تعتبر ظاهرة تربوية متفشية في كل مراحل الوسط التربوي، وهي في تزايد مستمر، بحيث أصبح الإقبال عليها عادة تتزايد في كل موسم، خاصة مع اقتراب موعد الامتحانات.

وكما أن الدروس الخصوصية أصبحت ظاهرة تتصف بالثبات والدوام، ممّا يضاعف خطورتها ويضع علامات استفهام كبرى حول تنظيم المجتمع لذاته ودوافعه وغاياته، فهي تهدد كيان المجتمع وتهدده بالانهيار البطيء. ورغم ما ينجم عنها من آثار على كافة جوانب وعناصر العملية التعليمية، بل على النظام التعليمي برمته، فإنها لم تحظَ بالاهتمام الكافي والموضوعي من قبل أصحاب القرار. فمنهم من يراها "إفسادًا للعلاقة الطيبة بين المعلم وتلميذه"، و "إذلالًا ومهانة للمعلم الذي ينبغي أن يظل صاحب المثل العليا والمكانة الرفيعة والقدوة الحسنة"، ولا "تتيح للطلبة فرصًا متكافئة من الجانب التحصيلي".

نود في هذا العرض أن نتحدث عن ماهية الدروس الخصوصية، كما سنتناول تاريخ ظهورها وأسباب انتشارها. ثم سنجمع أهم ما تواتر من إيجابيات وسلبيات مرتبطة بها، مع التطرق إلى نظرة المجتمع لها. وسنختتم هذا المقال بتسليط الضوء على تجارب بعض الدول مع ظاهرة الدروس الخصوصية.

## 2. الدروس الخصوصية

الدروس الخصوصية هي "ذلك الجهد التدريسي الذي يُبذل بانتظام وتكرار لصالح التلميذ خارج المدرسة، سواء قام به مدرّس الفصل أو غيره من المدرّسين". وهي أيضًا "كل جهد تعليمي مكرر يحصل عليه التلميذ منفردًا أو في مجموعة نظير مقابل مادي يدفع للقائم به". كما تُعرف بأنها "الدروس التي يؤديها المعلم خارج ساعات الدوام الرسمي، إما في المدرسة حيث يعمل، أو في منزل المتعلم، أو في مكان آخر يتفق عليه المعلم وطالب الدروس الخصوصية".

وقد ظهر مصطلح الدروس الخصوصية بعدة تسميات أخرى، نذكر منها: نظام التعليم الموازي، مافيا الدروس الخصوصية، السوق السوداء للتعليم، التدريس الخاص، نظام تعليم الظل.

## 3. ظهور الدروس الخصوصية

أول من مارس الدروس الخصوصية في التربية هو الفيلسوف اليوناني سقراط (470-399 ق.م) Socrates، حيث كان معلمًا لأفلاطون (420-340 ق.م) Plato، الذي بدوره كان معلمًا لأرسطو (384-322 ق.م) Aristotle، وهذا الأخير أصبح المعلم الخاص للإسكندر المقدوني (356-323 ق.م).

لقد ظهرت الدروس الخصوصية في روسيا حوالي القرن التاسع عشر، حيث نُشرت إعلانات صحف من قِبل معلمين خصوصيين. أما في الهند، فقد ظهرت إعلانات مماثلة خلال تسعينات القرن التاسع عشر للمعلمين الخصوصيين في المنازل لخدمة أسر الطبقة العليا. وفي اليونان، ظهرت مؤسسات تعليمية تسمى Frontistiria في نهاية القرن التاسع عشر.

كما نشير إلى أنه في اليابان ظهرت مدارس خاصة تسمى Jukus منذ أوائل القرن العشرين، لمساعدة الطلاب في التحضير للامتحانات.

## 4. أسباب ظهور الدروس الخصوصية

يرى البعض "أن الدافع الأساسي للطلب على الدروس الخصوصية في جميع الأنظمة حول العالم هو التنافس الاجتماعي، ونظرًا لأن التحصيل الأكاديمي هو المحرك الرئيسي لهذه المنافسة، فإن معظم الدروس الخصوصية تكون مدعومة بالرغبة في تحقيق درجات عالية أو على الأقل مقبولة في الامتحانات". يُضاف إلى ذلك:

- ضيق وقت الحصة الدراسية مقارنة بالوقت اللازم لاستيعاب المنهاج الدراسي.
- تحوُّل الدروس الخصوصية إلى موضة ووسيلة تفاخر وتفاضل بين المتعلمين وذويهم.
- ضعف دخل المعلّم.
- التضخم في عدد المتعلمين في المدارس الحكومية، مما يجعل المعلم غير قادر على متابعة تحصيل جميع المتعلمين والتأكد من استيعاب الجميع للدروس.
- تشتت أذهان المتعلمين بما يُبث على مواقع التواصل الاجتماعي والفضائيات من أخبار ورياضة وفنون، على حساب تركيزهم واجتهادهم على ما هو مقرر عليهم من برنامج دراسي.
- انعدام الثقة بالمدارس ومخرجاتها.
- تعتبر الدروس الخصوصية وسيلة لتخفيف القلق عند الأولياء، كما أنها في نظر البعض بديل عن عجز الأولياء عن تقديم الدعم التعليمي للأولاد.
- تسمح الدروس الخصوصية للآباء والأمهات بمتابعة مستويات أبنائهم العلمية دون أن يتولوا هم هذه المسؤولية.

- ميل التلاميذ إليها، خصوصًا قبيل الامتحانات الرسمية.
- كثافة حجم المنهج، فيضطر المُدرّس إلى التسريع في إعطاء المنهج على حساب فهم الطلاب، مع عدم مراعاة اختلاف قدراتهم العقلية، الأمر الذي يدفع الطلاب إلى اللجوء إلى الدروس الخصوصية.
- الاكتظاظ في الأقسام، فكثرة التلاميذ في الفصل الواحد يؤدي إلى عدم مراعاة الفروق الفردية بينهم، وكذلك بعض المشكلات التي تعيق السير العادي للدروس، مثل الإضرابات أو التسريع في إتمام البرامج الدراسية.
- صعوبة المناهج والمقررات الدراسية.
- السعي للحصول على نتائج ومعدلات تسمح لطلبة القسم النهائي بالتسجيل في التخصص المرغوب فيه.

## 5. إيجابيات الدروس الخصوصية

ظهرت الدروس الخصوصية من أجل تحسين المستوى التعليمي للمتعلم. نحاول تلخيص أهم إيجابياتها فيما يأتي:

- تقوية التلاميذ في المواد الدراسية المقررة، مما يزيد من فرص النجاح والتفوق.
- مساعدة بعض المتعلمين الذين حالت ظروفهم دون الحضور في حجرات المدرسة الحكومية على التدارك.
- مساعدة المتأخرين في التّعلّم على مواكبة أقرانهم.
- دعم الطلبة ذوي النتائج الجيدة للتميز.
- تُعدّ مكملة لدور المدرسة وليست بديلة عنها.
- تساعد المعلم على تحسين حالته الاجتماعية في ظل ضعف مدخوله وزيادة احتياجاته.
- توفر الدروس الخصوصية فرص عمل في القطاع الخاص وزيادة الدخل المادي للمعلم.

## 6. سلبيات الدروس الخصوصية

الدروس الخصوصية ظاهرة توجس منها كثيرون. ومن هذا المنظور، نرى أن للدروس الخصوصية سلبيات يمكن حصرها فيما يلي:

- تحافظ على التفاوتات الاجتماعية وتؤدي إلى تفاقمها.
- هدم مبدأ تكافؤ الفرص التعليمية.
- تفقد التلميذ ميزة الجد والتنقيب والتحصيل والاعتماد على النفس.
- تؤثر سلبًا على أداء المعلم وتحصيل المتعلم في المدرسة الحكومية.
- تعبر –في بعض الأحيان– على أن هناك تقصيرًا في أداء المعلم وإهمالًا من طرف المتعلم في حجرة التدريس.
- زيادة الأعباء الاقتصادية على الأولياء.
- فقدان الثقة فيما تقدمه المدرسة الحكومية من تحصيل يسمح للمتعلم بتخطي الامتحانات الرسمية بنجاح وتفوق وتميز.
- تجعل المتعلم قليل المبادرة والاجتهاد والتفكير.
- تسبب الدروس الخصوصية إرهاقًا ذهنيًا وجسديًا للمعلم، كما تقلل من هيبة المعلم واحترامه.
- إرهاق المتعلم كونها تشكل عبئًا إضافيًا إلى جانب تمدرسه.

- تعوّد المتعلم على الاعتماد على الغير.
- تعوّد المتعلم على الغياب عن المدرسة مقابل الالتحاق بالدروس الخصوصية.
- تساهم في غياب التواصل العلمي والمعرفي بين المتعلم ومدرسه في المدرسة.
- حوّلت المادة العلمية إلى بضاعة رخيصة تباع في أي مكان بلا رقيب ولا حسيب.
- غيبت روح التفكير السليم لدى المتعلمين، وجمّدت تشغيل قدراتهم العقلية.
- حرمان المتعلم من مزايا العمل الفردي المرتكز على المحاولة المتبوعة بالتكرار.
- تفرز طالبًا غير قادر على تحمّل المسؤولية وإدارة شؤون نفسه... وتقتل فيه الإبداع والابتكار والتجديد.
- قزمت أهداف العمليات التعليمة، وحصرتها في اكتساب المقدرة على اجتياز الامتحانات.
- غيّبت القدوة في الحياة المدرسية التي يحاول المتعلم أن يقتدي بها، ويسير على مثالها بعد أن يقتبس منها ما يزينها من صفات أخلاقية في المظهر والكلام والمعاملة.

## 7. نظرة المجتمع لظاهرة الدروس الخصوصية

المدرسة عبارة عن مؤسسة اجتماعية تؤثر وتتأثر بالمجتمع. وبطبيعة الحال، هذا الأخير له رؤية حول الدروس الخصوصية، حيث إن هناك من يراها "ظاهرة سلبية لا تعبّر إلا عن جشع وطمع المدرّسين وسعيهم لطرق الكسب غير المشروع، حيث يقصّرون في أداء واجباتهم خلال اليوم الدراسي لكي يجبروا أولياء أمور الطلاب على اللجوء قسرًا إلى هذه الدروس." كما يصفها البعض بأنها "نتاج السمة الاستهلاكية المتصاعدة والمتوالية للمجتمع، حيث ينشغل كل من الآباء والأمهات في وظائفهم اليومية، سواء في البيت أو العمل لتأمين حاجيات الحياة المتزايدة، مما يضطرهم في النهاية لتسليم شؤون أولادهم من الناحية التعليمية للمدرسين الخصوصيين." ويصفها البعض بأنها شرٌّ لا بد منه.

وهناك من يتهم الدروس الخصوصية بأنها أضلّت المدرسة عن طريق سيرها المستقيم، وجرّدتها من دورها الرائد والنزيه المبني على مبدأ تكافؤ الفرص بين أبناء الوطن الواحد، وأخلّت بعملية الفرز التي تمنح التفوّق لمستحقيه وتمنح التفوّق الذي لا يُستحقّ لمن لا يستحقه، بل وهناك من وصفها بـ"الدروس اللصوصية".

لكن بالمقابل، هناك من يراها إيجابية وليست نتاج تقصير من المعلم وإنما نتاج لطبيعة النظام التعليمي، من كثافة البرنامج وصعوبة استيعابه داخل حجرة الدراسة، "مما يضطر المدرس في المدرسة إلى الإسراع في إعطاء المنهج على حساب فهم الطلاب مع عدم مراعاة اختلاف قدراتهم العقلية، الأمر الذي يستوجب على الطلاب اللجوء إلى الدروس الخصوصية "

وفي هذا السياق، هناك من يعتبر أن الدروس الخصوصية في خدمة المتعلم لما توفره من توسيع المعارف والمكتسبات وإثرائها ودعمها.

## 8. تجارب بعض الدول فيما يخص الدروس الخصوصية

إن تقدم الدول وتطورها يقاس بمدى قدرتها على الاستثمار في التعليم، ومدى استجابة نظامها التعليمي لمتطلبات العصر ومتغيراته. لنأخذ البلدان التالية كنماذج:

- **في اليابان**: بلغت نسبة الذين يتلقون الدروس الخصوصية في طوكيو حوالي 33.7% في المرحلة الابتدائية، و51.9% في المرحلة الإعدادية، و29.3% في المرحلة الثانوية وذلك في سنة 2018.

- **في كوريا الجنوبية**: بلغت نسبة الذين يتلقون الدروس الخصوصية حوالي 83.5% في المرحلة الابتدائية، و71.4% في المرحلة الإعدادية، و67.9% في المرحلة الثانوية وذلك في سنة 2019.
- **في الصين**: أفاد مسح أجراه المعهد الصيني لأبحاث التمويل التعليمي (CIEFR) سنة 2017 أنّ نسبة الالتحاق بالدروس الخصوصية بلغت 60.80% في شمال شرق الصين، و38.1% في الشرق، و38% في الوسط، و30.50% في الغرب.
- **في إنجلترا وويلز**: أجرت مؤسسة ساتن ترست (Sutton Trust) سنة 2019 استطلاعًا، حيث وجدت أن نسبة 27% من الطلاب الذين شملتهم العينة والذين تتراوح أعمارهم بين 11 و16 عامًا قد تلقوا دروسًا خصوصية في وقت ما، وبلغت النسبة في لندن 41%.
- **في الهند**: حسب استطلاع أجري في سنتي 2017 و2018، وجد أن 20% من الطلاب في جميع الصفوف يتلقون دروسًا خصوصية.
- **في اليونان**: وجد أن حوالي 85% من طلاب السنة النهائية في المدارس الثانوية كانوا يتلقون دروسًا خصوصية وذلك في عامي 2017 و2018.
- **في جنوب إفريقيا**: زادت نسبة الالتحاق بالدروس الخصوصية من سنة 2007 إلى سنة 2013 من 4% إلى 29%.
- **في ناميبيا**: زادت نسبة الالتحاق بالدروس الخصوصية من سنة 2007 إلى سنة 2013 من 3% إلى 6%.

## الخاتمة

ظاهرة الدروس الخصوصية واقع فرضت وجوده عدة أطراف، هي: الأسرة، والمتعلم، والمعلم، والمنهاج وواضعوه. وتتزايد حدتها عامًا بعد عام، خاصة بالنسبة لتلاميذ المراحل النهائية. وللتقليل من الآثار السلبية للدروس الخصوصية، يجب دراستها كظاهرة بأسلوب علمي وتحديد أسبابها بكل موضوعية، للوصول إلى أساليب علاج ناجعة، مثل بث وعي اجتماعي لتغيير بعض السلوكيات والثقافات التي تميل إلى الدروس الخصوصية وتفضلها على حساب بذل ومضاعفة الجهد الفكري والذهني للمتعلم.

كما تُعد الدروس الخصوصية سلاحًا ذا حدين، فهي يمكن أن تكون نافعة إذا ساهمت في سد ثغرات الاستيعاب عند المتعلم، وتوضيح بعض المبهمات التي بقيت عالقة في ذهنه. لكن على الجانب الآخر، يمكن أن تكون سببًا في مقتل حافز الرغبة والبحث عن المعلومة لدى المتعلم، لذا ذهب بالبعض إلى تشبيه الدروس الخصوصية بالدواء، إذ يمكن لجرعة منطقية منه أن تحل المشكلة، كما يمكن لجرعة زائدة أن تفاقم المشكلة.

إضافة إلى ما سبق، وللحد من انتشار الدروس الخصوصية، يجب تصحيح أوضاع المدرسين، وتطوير المناهج وأسلوب الامتحانات، بما لا يجعل المتعلم يعتمد على الحفظ والتلقين، وإنما يكتسب المهارات التي تساعده على الفهم والتحليل.

# علوم طبيعيـــــة

# منطقة سيدي عيسى (الجزائر)، شواهد التصادم القاري في السلسلة المغاربية

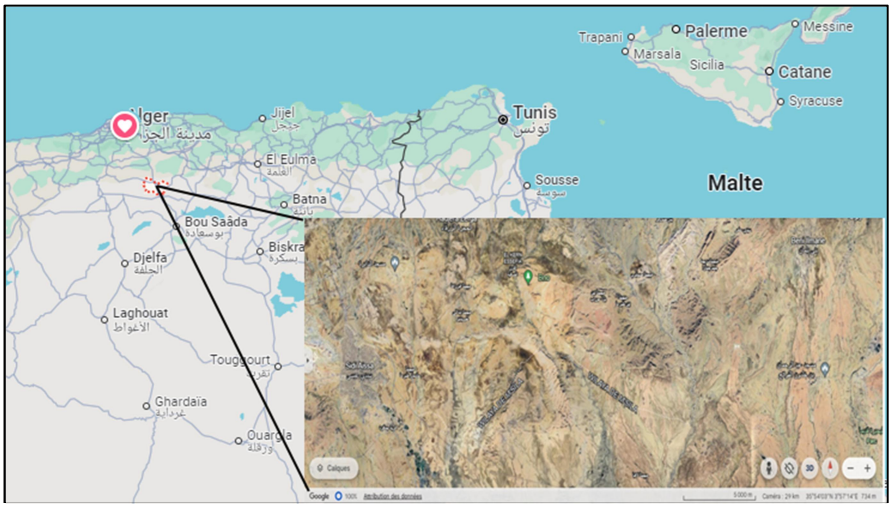
نـصر الدين بـوزكرية
أستاذ بقسم العلوم الطبيعية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
nacereddine.bouzekria@g.ens-kouba.dz

أعطت الدراسة الجيولوجية والتركيبية لمنطقة سيدي عيسى ثلاثة اتجاهات للقوى الضاغطة العظمى: الأولى مبكرة في الطباشيري المتأخر: **δ1** شرقية –غربية؛ والثانية بعد الميوسين: **δ1** اتجاهها غ ش غ- ش ج ش، التي تعرضت لها المنطقة خلال الدور الألبي والتي تتعلق أساسًا بحركة كتلة Al Ca P Ka نحو الجنوب وحركة اللوح الإفريقي نحو الشمال واصطدامهما؛ أما الثالثة، وهي المتأخرة: **δ1-1** اتجاهها ش ق ش-ج غ ج، و**δ1-2** اتجاهها ش غ -ج ق، مرتبطة بهجرة الأغطية المغتربة نحو الجنوب.

تسببت هذه الحركات الثلاث في نشأة السلسلة المغاربية في شمال إفريقيا.

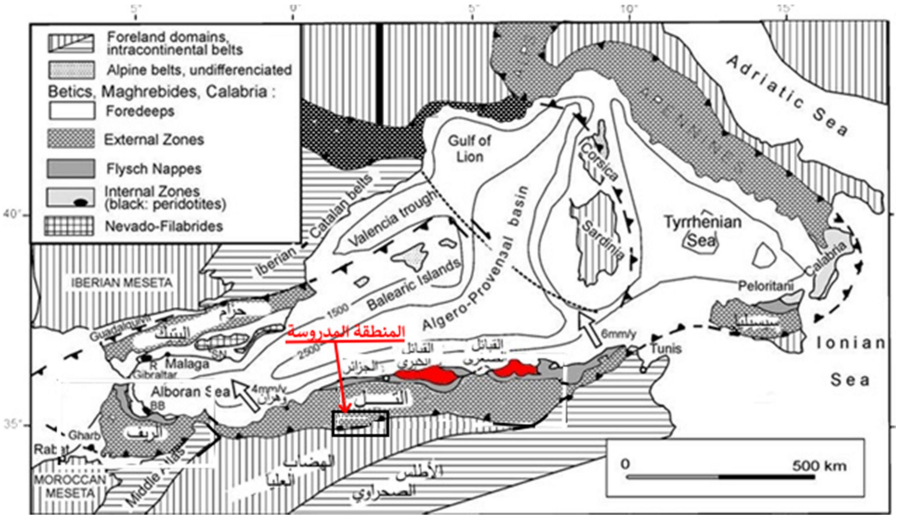
## المقدمة

تنتمي المنطقة المدروسة جغرافيًا إلى ولاية المسيلة جنوب شرق الجزائر العاصمة، حيث تبعد عنها بحوالي 170 كلم. تقع منطقة سيدي عيسى بين خطي طول "3°.44'.03 غربًا و "4°.07'.22 شرقًا ودائرتي عرض"35°.57'.58 شمالًا و "35°.50'.02 جنوبًا.




الشكل1. صورة ملتقطة بالقمر الصناعي لمنطقة سيدي عيسى

من الناحية الجيولوجية، تنتمي المنطقة إلى الجزء الجنوبي من المجال الخارجي للسلسلة المغاربية، ويفصلها من الجنوب عن الهضاب العليا جبهة الصخور المغتربة. تتميز المنطقة بصخور رسوبية يمتد عمرها من الترياس إلى الميوسين، كما تنتمي للدور الألبي. لذلك، هل يمكن أن تسجل منطقة سيدي عيسى شواهد الدورة الألبية في السلسلة المغاربية؟

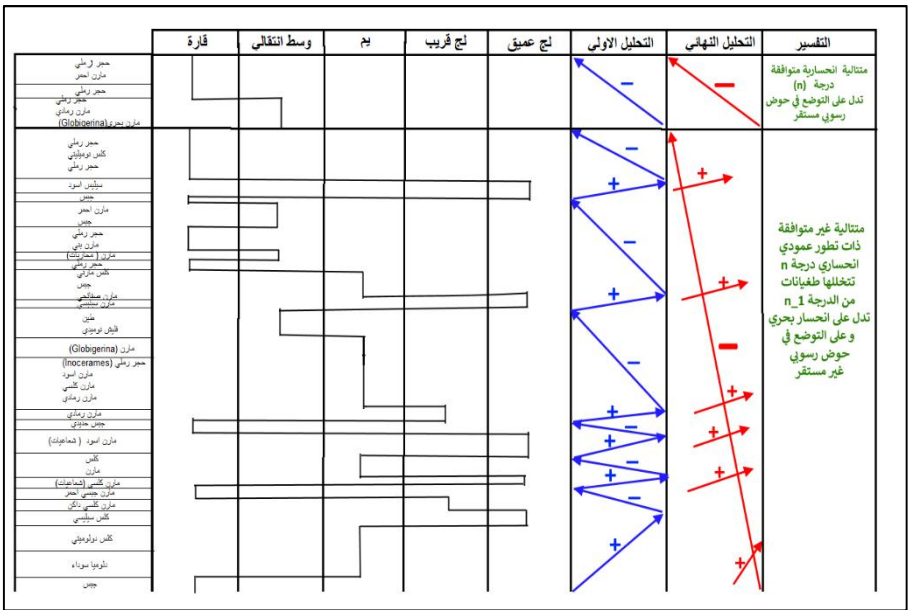



الشكل 2. خريطة تبين موقع سيدي عيسى في السلسلة المغاربية [4]

## 1. الدراسة البتروغرافية

تبيّن من خلال دراسة نوع الصخور وعمرها أن سحن المنطقة تتكون من صخور رسوبية تنتمي إلى حقبتي الميزوزوي والسينوزوي، وتدخل في إطار الدورة البانية للجبال الألبية.

أظهر تحليل المتتالية المنجزة على العمود الطبقي للمنطقة وجود دورة بانية للجبال وبداية دورة أخرى، وأن سحن المنطقة تسجل أحداثًا وقعت في الدورة الألبية. ومن خلال التفسير تبيّن أن المتتالية تسجل انحسارًا بحريًا كبيرًا تتخلله طغيانات، وهو دليل على الغلق المتذبذب للحوض الذي كان يفصل اللوح الأوروأسيوي واللوح الأوروبي، والمتمثل في حوض التيتيس.

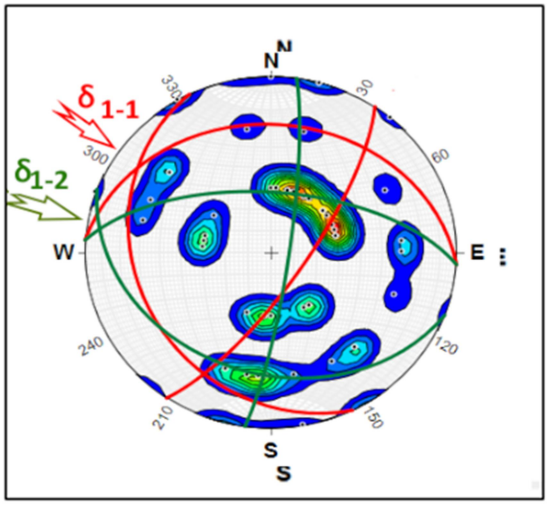



الشكل 3. تحليل وتفسير العمود الطبقي لمنطقة سيدي عيسى

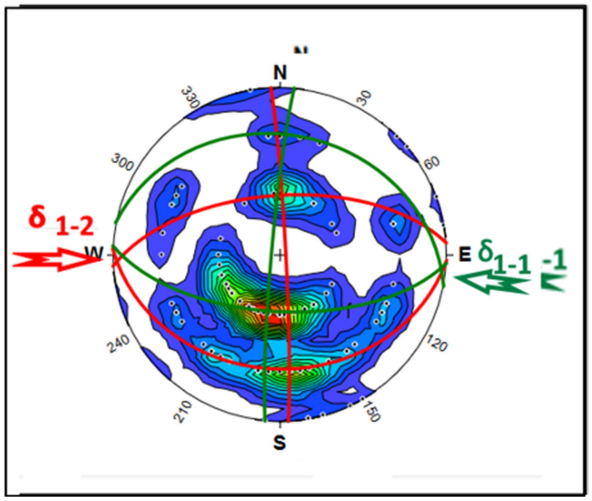
## 2. الدراسة التركيبية

تتضمن هذه الدراسة عدة جوانب تكمل بعضها البعض، والتي من خلالها نستنتج أن القوى الضاغطة التي أثّرت على المنطقة خلال هذه الفترة الزمنية تسببت في نشأة السلسلة المغاربية.

بيّنت الدراسة الإحصائية لاتجاه محاور الطيات المسجلة في نظام الطباشيري أن قوى الضغط العظمى $\delta^1$-1 اتجاهها شرقي-غرب (انظر الشكل 3). كما بيّنت الدراسة ذاتها بالنسبة لفترة الميوسين أن قوى الضغط العظمى $\delta^1$-2 هي غ ش غ-ش ج ش (انظر الشكل 4). من خلال هذه النتائج، نستنتج أن: القوة الأولى والخاصة بالطباشيري تتوافق مع المرحلة الرابعة للنموذج المقترح من قِبل كارلو دوغليوني (Carlo Doglioni) [3] (انظر الشكل 11)؛ بينما القوة الثانية الخاصة بالميوسين تتوافق مع المرحلة الخامسة من نفس النموذج.

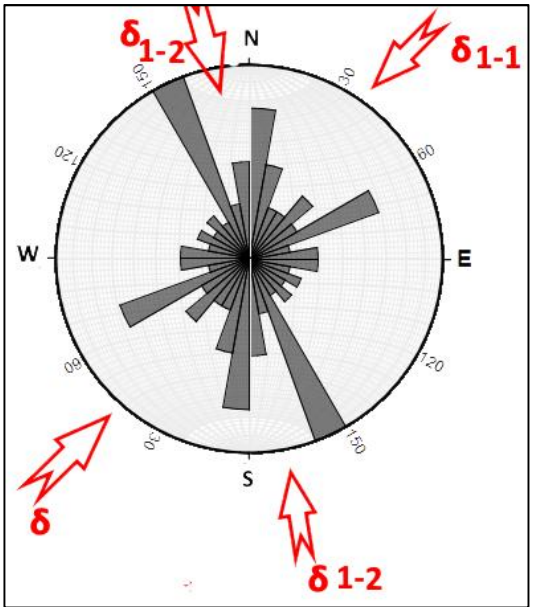



الشكل 4. إسقاطات محاور الطيات على مخططات ولف في الطباشيري

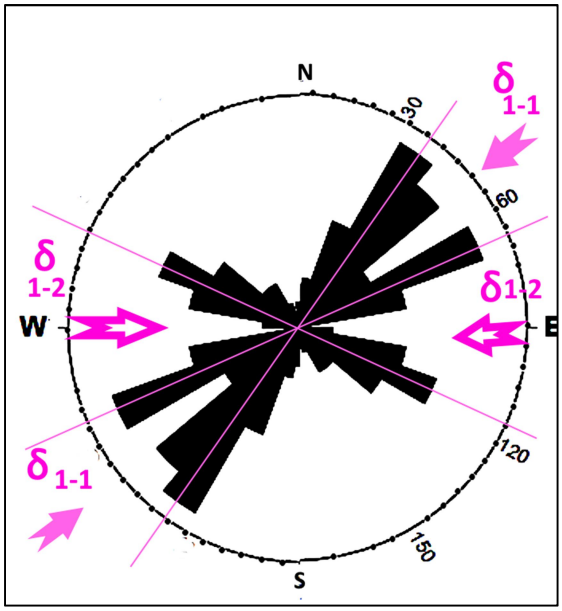



الشكل 5. إسقاطات محاور الطيات على مخطط ولف في الميوسين

كما بيّنت الدراسة الإحصائية لاتجاه الفوالق المنبثقة عن الخريطة الجيولوجية للمنطقة (بمقياس 1/50000)، وكذلك تسجيلات الخطية المرسومة عن طريق صورة القمر الاصطناعي (google earth) (الشكلان 5 و6)، وجود اتجاهين رئيسيين للقوى الضاغطة العظمى، وهما على التوالي: $\delta^1$-1: ش ق ش-ج غ ج، و$\delta^1$-2: ش غ-ج ق.




الشكل 6. إحصائيات اتجاه الفوالق على وردة Stereonet

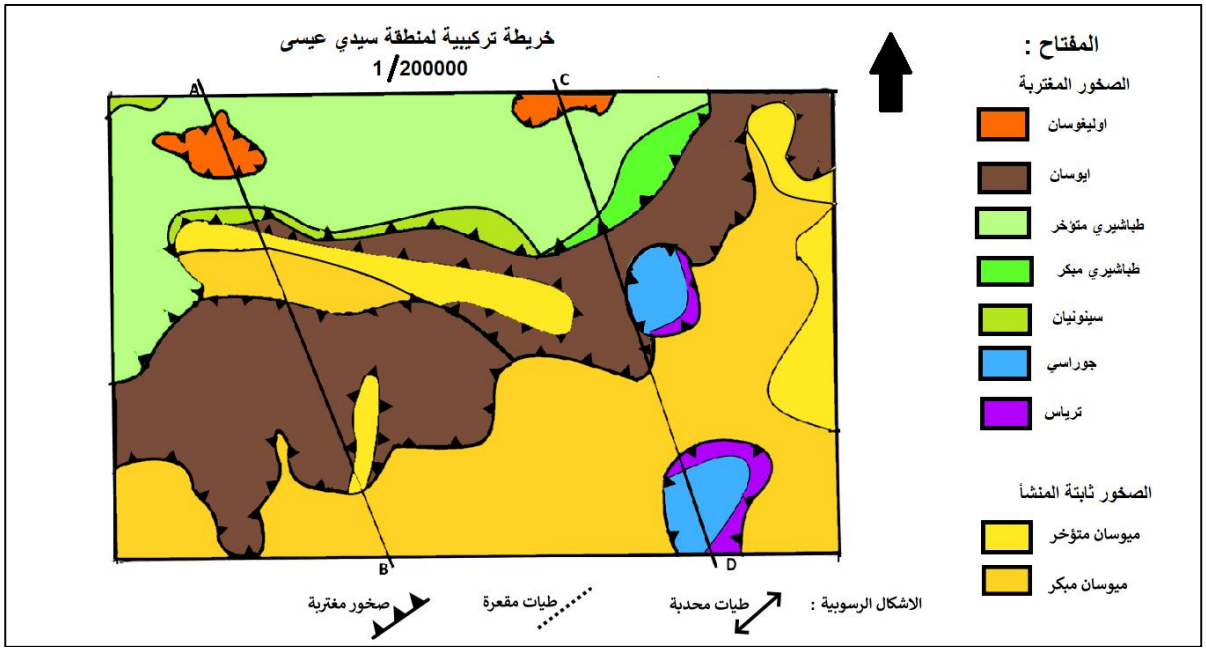



الشكل 7. إحصائيات خطية على وردة Stereonet

تتوافق هذه الاتجاهات المسجلة مع المرحلة السابعة من النموذج المقترح من قِبل دوغليوني [3] (انظر الشكل 11)، والتي تتوافق مع هجرة الأغطية المغتربة من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي. كما أظهرت هذه التسجيلات قوة ضاغطة اتجاهها ق-غ، وهي مرتبطة بالحركة الإزاحية اليمينية التي أثّرت على الكتلة الشمالية المتحركة لشمال إفريقيا بالنسبة للكتلة الثابتة للسطيحة الصحراوية.

تبيّن من خلال الرسم التركيبي (بمقياس 1/200000) المستخرج من الخريطة الجيولوجية لمنطقة سيدي عيسى (بمقياس 1/50000) أن المنطقة تتكون من صخور مغتربة حقيقية، واستنتجنا أن الوحدات الجيولوجية للجسم المغترب موزعة من الشمال إلى الجنوب على شكل كتل صخرية صفائحية ممتدة من الشرق إلى الغرب، وأن صخور الميوسين توجد في حالتين مختلفتين: الأولى تحت صخور الطباشيري في حالة غير عادية، ويتوافق هذا النموذج مع ما هو معروف بالنسبة للصخور المغتربة (الشكل 8)؛ أما الحالة الثانية فهي محمولة داخل الأجسام المغتربة (load layers).

كما تبيّن الخريطة الجيولوجية والرسم التركيبي بروز قطع من صخور الجوراسي على مستوى قبب الترياسي النفاذة (diapir). ويدل هذا على وجود هذه الصخور في الأسفل التي تلعب دور القاعدة الثابتة (indigenous geological training) (انظر الشكل 8).

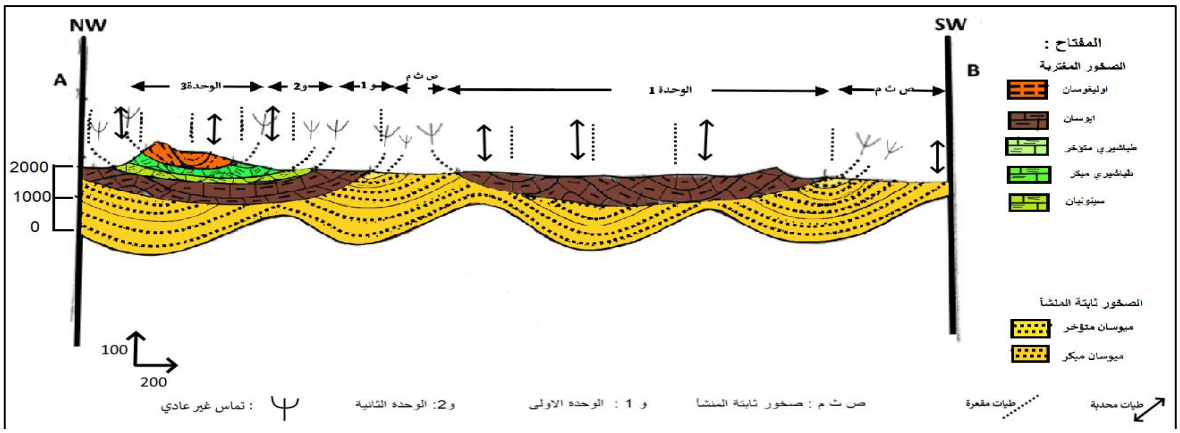



الشكل 8. الرسم التركيبي لمنطقة سيدي عيسى

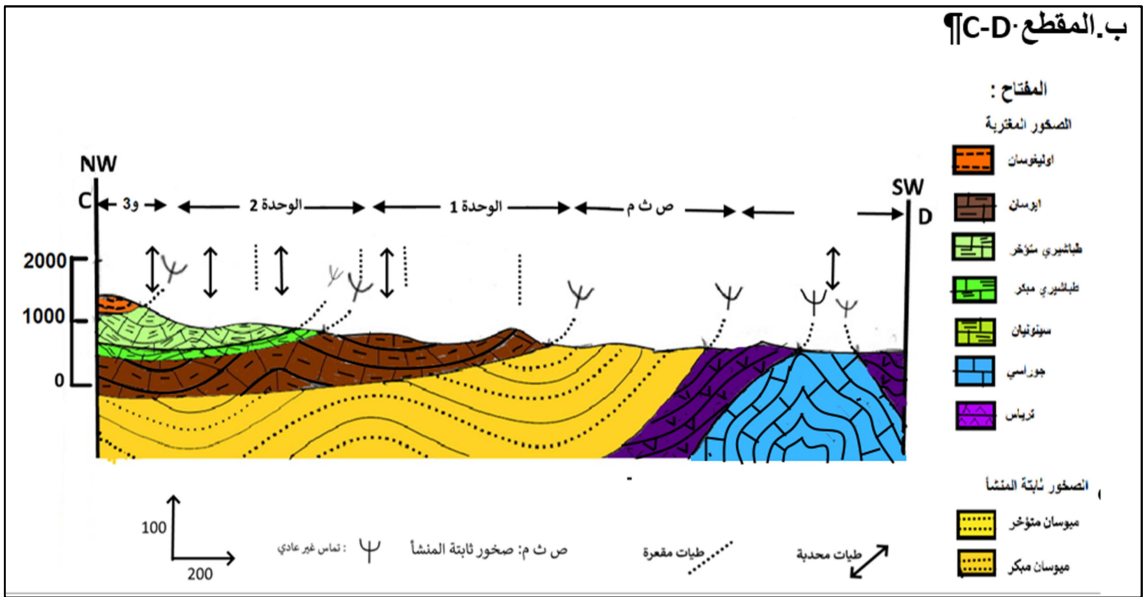
## 3. العلاقة بين الميوسين والصخور المغتربة في منطقة سيدي عيسى

من خلال معاينة خريطة سيدي عيسى، تبيّن أن المنطقة تتميز بوجود نوعين من الميوسين: يظهر الأول في المنطقة الجنوبية الشرقية حيث يستقبل الصخور المغتربة؛ أما الثاني فيظهر في الصخور المغتربة وعمره يتراوح بين الميوسين المتوسط والأعلى. من خلال هذه الملاحظات، نستنتج أن انتقال الصخور المغتربة كان بين الميوسين المتوسط والأعلى (Tortonien-Messinien) أي بين 5 م. س و 11 م. س.

باستغلال المقطعين التركيبيين A-B و C-D (الشكلان 9 و10) المنجزين على الرسم التركيبي، نستنتج وجود مجموعة من الوحدات التركيبية التي تشكل الكتلة المغتربة في منطقة سيدي عيسى، واتجاهها ش ق- ج غ. كما تبين هذه الوحدات تحرشفًا كبيرًا ناتجًا عن تنقّل الكتل المغتربة من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي.




الشكل 9. مقطع (A-B) في الرسم التركيبي لمنطقة سيدي عيسى



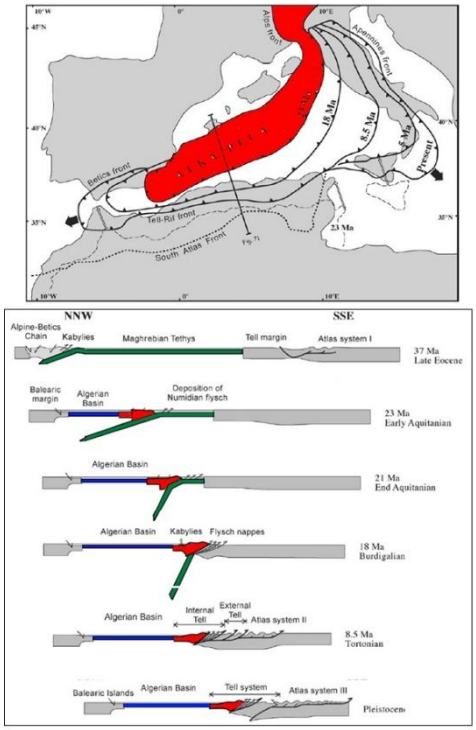

الشكل 10. مقطع (C-D) في الرسم التركيبي لمنطقة سيدي عيسى

| الوحدة الأولى | الوحدة الثانية | الوحدة الثالثة |
|---|---|---|
| سحنة الميوسين | سحنة الطباشيري | سحنة الإيوسين |

يبدي التَماس غير العادي الذي يفصل الصخور الثابتة عن الصخور المغتربة في بعض المناطق فلمًا من صخور الترياس التي ساهمت في تسهيل حركة الانتقال، بينما تظهر في مناطق أخرى صخور الفليش النوميدي الغنية بالغضار، والتي لعبت بدورها دور الطبقة الصابونية التي سهلت عملية السحب نحو الجنوب.

## 4. الخاتمة والمناقشة

استنتجنا من خلال الدراسة الطبقية أن عمر سحن منطقة سيدي عيسى يمتد من الترياس إلى الميوسين، مما يدل على أننا في الدور الألبي. ومن دراسة المتتالية (انظر الشكل 3) تبيّن أنها انحسارية غير متوافقة، مما يدل على المرحلة التقاربية وغلق حوض التيتيس الذي كان يفصل بين اللوح الأوروأسيوي واللوح الأفريقي.




الشكل 11. نموذج كارلو دوغليوني لتطور السلسلة المغاربية من خلال السينوزوي

عبر الدراسة التكتونية، من خلال دراسة محاور الطيات من الخريطة (الشكلان 4 و5)، وباستغلال الدراسة الإحصائية، استنتجنا وجود اتجاهين لقوى الضغط العظمى: الأولى في الطباشيري $1\delta$ :و ي ه شرقية– غربية؛ والثانية في الميوسين $1\delta$ :اتجاهها غ ش غ- ق ج ق. تتوافق هذه الاتجاهات مع حركة كتلة AIKaPeCa من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي وفق نموذج دوغليوني [3]. ونستنتج من المقطع أن الطيات تسجل حركة كتلة AIKaPeCa من جهة والجسم المغترب من الجهة الثانية، وهي من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي.

بينت دراسة الفوالق اتجاهين رئيسيين لقوى الضغط: الأولى $1\delta$-1 : اتجاهها شِ ق ش-ج غ ج؛ والثانية $2\delta$-1 اتجاهها ش غ-ج ق. تتوافق هذه القوة مع الحركات المتأخرة والمتمثلة في هجرة الأغطية المغتربة من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي.

وفي الأخير، ومن خلال دراسة الجسم المغترب، تبيّن من الخريطة الجيولوجية والرسم التركيبي (بمقياس 1/200000) (انظر الشكل 8) المنبثق عنها والمقاطع المنجزة (الشكلان 9 و10) أن الكتل الصخرية مرتبة من الجنوب الشرقي نحو الشمال الغربي على النحو التالي: الكتلة السفلى (الميوسين)، وهي عبارة عن شبه ثابت؛ تعلوها الكتلة المتوسطة (الطباشيري)، وهي عبارة عن صخور مغتربة حقيقية؛ ثم تأتي الكتلة العليا (الإيوسين) في حالة اغتراب ثانٍ.

بيّنت هذه الدراسة مختلف المراحل التي مسّت المنطقة خلال الدور الألبي، والناتجة عن تصادم اللوح الأوروبي مع اللوح الأفريقي ونشوء السلسلة المغاربية وهجرة الأغطية المغتربة على مسافة قدّرها العلماء بعشرات الكيلومترات، أي أن منطقة سيدي عيسى تسجل أغلب شواهد الدورة الألبية البانية للسلسلة المغاربية. ومن هنا يمكن القول إن السلسلة المغاربية هي ناتج تقارب الصفيحتين الأوروبية والإفريقية واصطدام ميكروقارة الألبوران بالحافة الإفريقية خلال الدور الألبي (انظر الشكل 11). وتتكون هذه السلسلة أساسًا من مجالين: داخلي في الشمال وخارجي في الجنوب، حيث تنتمي منطقة سيدي عيسى إلى المجال الخارجي منها.

## المراجع

[1] Bértier, G, Royer, L. and Laffitte, R., Carte géologique au 1/50000 de Sidi-Aissa, Service de la carte géologique de l'Algerie, 1960.
[2] Chevilly, F. and Kieken, M. Notice explicative de la carte géologique au 1/50000, Sidi-AIissa, Service de la carte géologique de l'Algérie, Alger, 1961.
[3] Doglioni, C., Frenandez, M., Gueguen, E. and Sabat, F., On the interference between early Apennines–Maghrebides back arc of the western Mediterranean, Boll. Soc. Geol. It. 118, 1999, 75-89.
[4] Durand-Delga, M., La Méditerranée Occidentale : étapes de sa genèse et problèmes structuraux liés à celle-ci, Mem. Soc. Géol. France, 10, 1980, 203–224.

**********

# تنوّع وأهمية الدخن في الجنوب الجزائري (تديكلت)

محمد لمغربي[1،2]، جعفر جبالي[1]، رشيد صويلح[1]، بوبكر ناجمي [1]

[1]مخبر دراسة وتطوير تقنيات معالجة وتنقية المياه والتسيير البيئي، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

[2]مخبر الكيمياء الحيوية، قسم العلوم الطبيعية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

mohamed.lemgharbi@g.ens-kouba.dz

## مقدمة

تهدف هذه المقالة إلى تثمين الدخن اللؤلؤي (Pearl millet) [Pennisetum glaucum (L.) R. Br.] في منطقة تديكلت[1] بالجنوب الجزائري، حيث يُمثل النبات مجموعة من الحبوب ذات قيمة غذائية وعلفية عالية، بالإضافة إلى فوائده الصحية المتنوعة. كما أنه مُتكيف مع الظروف البيئية والمناخية القاسية للمنطقة، مثل مُلوحة وفقر التربة، والنقص المائي، وارتفاع الحرارة، إلخ.

تتميز حبوب الدخن بارتفاع نسبي للمحتوى العضوي والمعدني مقارنة بالحبوب الشائعة، بالإضافة إلى محتواها العالي من الألياف وبطء تحلل مدخراتها النشوية، مما يساعد على استقرار مستوى السكر في الدم بعد استهلاكها. كما نشير إلى خلو بروتيناتها من الجلوتين[2]. هذه الخصائص جعلت الدخن محور اهتمام عالمي مؤخرًا لما يتمتع به من إمكانات في تخفيف المخاوف الغذائية وتعزيز الاستدامة البيئية، حيث تم إعلان سنة 2023 عامًا دوليًا للدخن في الجمعية العامة للأمم المتحدة، بدعم من 71 دولة. وتعمل الحكومات والمنظمات غير الحكومية، ومراكز البحث الزراعي لتعزيز الوعي لتحسين أصناف الدخن من أجل تنفيذ استراتيجيات تفيد مجتمعات مُزارعي الدخن، وتثمين هذه الثروات الطبيعية لاستغلالها كمصدر غذائي مُستدام للصناعات التحويلية الغذائية.

للمزيد من المعلومات حول المناسبة [https://www.fao.org/millets-202303].

## 1. تعريف المنطقة

تقع تديكلت في الجنوب الغربي من الجزائر على بُعد حوالي 1274 كلم عن العاصمة، وعلى ارتفاع 290 م فوق سطح البحر. تُقدر مساحتها بحوالي 100000 كلم$^2$. يحدها شمالًا هضبة تدمايت، ومن الجنوب منطقة الهقار والتاسيلي، ومن الغرب الساورة وتوات (شكل 1). تُمثل المنطقة سهولًا شاسعة مع ترسبات رملية تعود للزمن الرباعي [2]، وتتميز بمخزون مائي هائل ومناخ صحراوي قاري، مما يجعلها من أشد الصحاري حرارةً في العالم. تساقط الأمطار نادر جدًا بمعدل لا يتجاوز 5 ملم/السنة، ويتراوح معدل درجات الحرارة بين 27 و48°م [11].

**شكل 1. الموقع الجغرافي لمنطقة تديكلت**

https://www.google.com/search?q=خريطة+منطقة+تديكلت

## 2. تعريف النبات

يُسمى الدخن محليًا بالبَشْنَة، وهو نبات عشبي حولي ينتمي إلى الفصيلة النجيلية (Poaceae)، خلطي التكاثر ومُضاعف الصبغيات (2n = 2x = 14)، أزهاره خنثى، ويتميز بنمو خضري وإنتاج سريع، وساق رئيسية يتراوح ارتفاعها بين 0.5 و4م، تحمل أوراقًا شريطية متعاقبة وتنتهي بسنبلة شبه أسطوانية غالبًا. يتميز الدخن بمقاومته للجفاف والأمراض ودورة حياة قصيرة تتراوح بين 48 يومًا للأصناف المُبكرة و180 يومًا للمتأخرة. يضم الجنس (Pennisetum) عدة أنواع تختلف في طول الساق، وشكل ولون السنبلة، وعلى أساس هذه الخصائص المظهرية تم تصنيف وتسمية المجموعات المختلفة محليًا (شكل 2).

**شكل 2. المجموع الخضري للدخن [8]**

تم تنظيم عدة زيارات ميدانية لحقول زراعة الدخن في المنطقة عند النضج في إطار برنامج أنشطة مخبر البحث، بهدف إنجاز دراسة وصفية حسب معايير المعهد الدولي للبحوث لمحاصيل الحبوب في المناطق شبه الجافة والاستوائية (ICRISAT,1993)، حيث تم جرد وتصنيف حوالي 12 مجموعة أساسية (شكل 3).

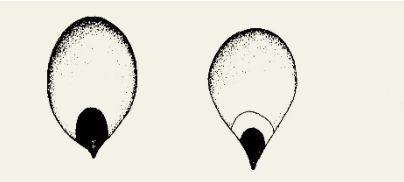
**شكل3. التنوع الحيوي لسنابل الدخن المزروعة بمنطقة تديكلت [8]، [10]**

(1 ←7: سنابل الدخن المحلي، - 8، 9: سنابل الدخن البري، -10، 11، 12: سنابل دخن السودان[4])

## 1.2. حبوب الدخن

تكون حبوب الدخن صغيرة جدًا، مختلفة الشكل والحجم، ومُحاطة بقشور ملونة حسب المجموعات والأنواع. يبلغ طول الحبة حوالي 4 مم، ويتراوح وزن 1000 حبة بين 2.5 و14غ، بمتوسط يُقدر بـ 8غ. كما يبلغ طول الجنين 2 مم، أي نصف طول الحبة، وتُمثل السرة بنقطة سوداء (شكل 4 و5).

**شكل 4. حبوب الدخن [8]، [10]**



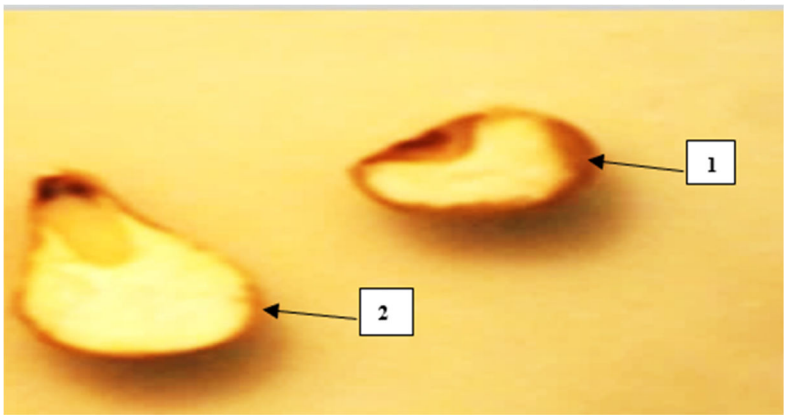
**شكل5. بـذرة الدخن [6]**

من خلال الدراسة التشريحية المخبرية بإجراء مقاطع طولية للبذرة (شكل 6-1) وعرضية (شكل 6-2) [10]، اتضح بأن البذرة مكونة من:

أ -الغلاف: يشكل حوالي 8% من الحجم الكلي للبذرة، ولونه رمادي مبيض إلى أصفر. يتكون الغلاف من ثلاث طبقات: خارجية، ومتوسطة، وداخلية.

ب- الجنين: يشكل 17% من البذرة (اللون الأصفر)، حيث تتمركز فيه كميات معتبرة من الأجسام بروتينية، كما يحتوي الجنين والغلاف على حمض الفيتيك [14].

جـ-السويداء: تشكل 75% من حجم البذرة، وتتكون من أجزاء نشوية (اللون الأبيض) وقرنية (البني الداكن). يحتوي الجزء النشوي على حبيبات كروية نشوية ترتبط بجزيئات صغيرة من البروتين.




**شكل 6. (1) مقطع طولي، (2) مقطع عرضي لبذرة الدخن [8]**

## 3. الأهمية الغذائية للدخن

تُستخدم حبوب الدخن محليًا لتحضير مأكولات تقليدية مختلفة، مثل الحساء، والعصيدة، والخبز، والفطائر، والمشروبات، وغيرها. كما يمكن دمجها أيضًا مع مسحوق التمر الجاف (السفوف) والسلطات والحساء والأطعمة المقلية والمخبوزات. تحتوي حبوب الدخن على نسبة عالية من النشا، مما يجعلها مصدرًا ممتازًا للطاقة بفضل محتواها العالي من السعرات الحرارية. كما أنها غنية بالفيتامينات والمعادن والأحماض الأمينية، وتتميز ببطء هضمها وقلة احتمال تسببها في ردود فعل تحسسية، مما يجعلها مناسبة جدًا للأطفال في مرحلة النمو والنساء الحوامل [13].

وتُعتبر حبوب الدخن مصدرًا ممتازًا للبروتين والألياف. وبما أنها خالية من الجلوتين، والوحيدة من بين الحبوب الشائعة الأخرى التي تحتفظ بخصائصها القلوية بعد الطهي، فهي مثالية للأشخاص الذين يُعانون من مرض الاضطرابات الهضمية (Celiac) [7].

يؤدي اتباع نظام غذائي يعتمد على حبوب الدخن إلى الشعور بالشبع، مما يساعد على إنقاص الوزن، كما يُسهم في تدفئة الجسم في المواسم الباردة [3] (جدول 1).

جدول 1. مقارنة المحتوى الغذائي للحبوب الرئيسية والدخن (غ/100غ) [4]

| المحصول | النشا الكلي(غ) | البروتين(غ) | الدهون(غ) | الألياف(غ) | الأملاح المعدنية(غ) | Ca(مغ) | P(مغ) | Fe(مغ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الدخن اللؤلؤي | 67.5 | 12.5 | 5.0 | 1.2 | 2.3 | 42 | 296 | 8.0 |
| القمح | 71.2 | 11.6 | 1.5 | 1.2 | 1.5 | 41 | 306 | 5.3 |
| الأرز | 78.2 | 6.8 | 0.5 | 0.2 | 0.6 | 10 | 160 | 0.7 |
| الذرة الرفيعة | 72.6 | 10.4 | 1.9 | 1.6 | 1.6 | 25 | 222 | 4.1 |

Ca = الكالسيوم، P = البوتاسيوم، Fe = الحديد

يُستغل المجموع الخضري للدخن (الأوراق خاصة) كعلف لتربية الحيوانات في المنطقة، نظرًا لسرعة نموه وتجدده بعد القطف، حيث يتميز الدخن بالأشطاء؛ أي نمو وظهور عدة فروع أو سوق من النبتة الواحدة. وفي موسم الحصاد، قد يتم قطف السوق مع الأوراق لتجفيفها بالكامل، مما يوفر مصدرًا علفيًا مستدامًا لمربي الماشية في فصلي الشتاء والربيع.

## 4. الأهمية الصحية للدخن

يتراوح المحتوى الكلي للنشا (Total Starch) في حبوب مجموعات الدخن في منطقة تديكلت بين 51.35 و65.87%، بمتوسط منخفض نسبيًا يُقدر بـ 61.43% [9]، وذلك مقارنةً بأصناف الدخن للجرد العالمي لمركز البحوث ICRISAT، والتي يبلغ متوسط محتواها 66.7 % [3].

صنّف براند-ميلر (Brand-Miller) وآخرون (2003) الأغذية إلى ثلاثة أصناف، حسب قيم مُؤشر السكر في الدم[3]، كالتالي: أقل من 55 (منخفضة الهضم)، بين 56 و66 (متوسطة الهضم)، أكبر من 70 (عالية الهضم). وتم تقدير تحلل النشا باستخدام المعادلة من الدرجة الأولى التالية:

$$C_t = C_\infty(1 - \exp[-kt]). \quad (1)$$

حيث تُمثل $C_t$ نسبة تحلل النشا عند الزمن t، و$C_\infty$ تُمثل اتزان نسبة التحلل للنشا بعد 120 دقيقة، وK هو ثابت الحركية لتحلل النشا، وt يُمثل الزمن بالدقيقة، وexp يشير إلى التحلل التجريبي للنشا.

يُمكننا تحديد مؤشر التحليل المائي (HI) عن طريق تكامل المعادلة (1) بين الفترة $t_0 = 0$ و$t_f = 120\ min$ للحصول على المعادلة الثانية:

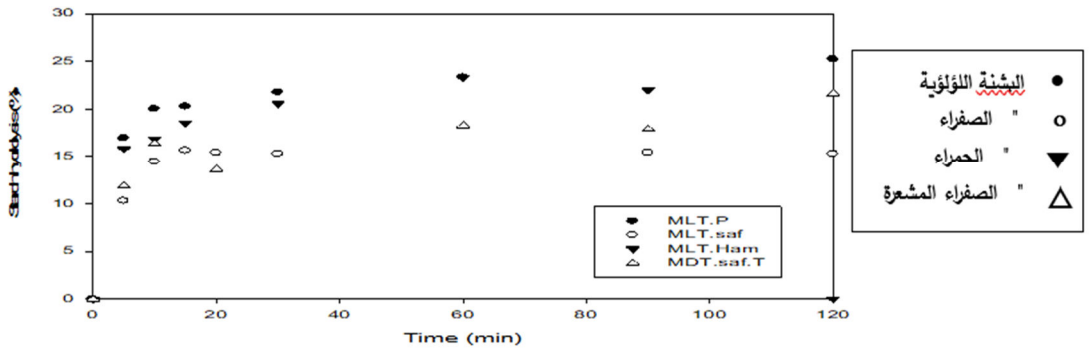
$$AUC_{exp} = C_\infty\ t_f - C_\infty/k(1 - \exp[-kt_f]). \quad (2)$$

يُعبر مُؤشر التحليل المائي (HI) عن نسبة المنطقة تحت المنحنى القياسي للتحليل المائي ( Area Under the Standard Curve of Hydrolysis) (AUCexp)، من الزمن 0 إلى 120 دقيقة وتساوي تقريبًا 7444% دقيقة [5].

جدول2. هضم النشا والمعايير المتوقعة لمؤشر تحلل السكر لنموذج الدرجة الأولى لطحين بعض حبوب الدخن اللؤلؤي لمنطقة تديكلت [9]

| مجموعة الدخن | K ($min^{-1}$) | $C_{\infty, exp}$ (%) | $C_{\infty, th}$ (%) | HI exp (%) | HI th (%) | eGI, exp | eGI, th | $t_{int}$ (min) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| اللؤلؤية | 0.41 | 26.04 | 26.04 | 41.12 | 41.12 | 43.64 | 43.64 | 0-15 |
| اللؤلؤية المُشعرة | 0.16 | 18.98 | 35.57 | 29.01 | 54.35 | 33.20 | 55.05 | 0-20 |
| الصفراء | 0.21 | 15.22 | 17.80 | 23.56 | 27.55 | 28.51 | 31.95 | 0-15 |
| البرية البنفسجية | 0.15 | 27.08 | 19.77 | 41.23 | 30.11 | 43.73 | 34.15 | 0-30 |
| الحمراء | 0.22 | 21.96 | 14.99 | 34.06 | 23.24 | 37.56 | 28.23 | 0-15 |
| السودان طويلة السنبلة | 0.27 | 22.76 | 18.44 | 35.55 | 28.81 | 38.84 | 33.03 | 0-15 |

**K ($min^{-1}$)**: ثابت ميكائيلس، $C\infty_{exp}$: التحليل المائي للنشا في الوقت لانهائي العملي، $C\infty_{th}$: التحليل المائي للنشا في الوقت لانهائي النظري، **$HI_{exp}$**: مؤشر التحليل المائي العملي، **$HI_{th}$** : مؤشر التحليل المائي النظري، **$eGI_{exp}$** مؤشر نسبة السكر في الدم المتوقع العملي، **$eGI_{th}$**: مؤشر نسبة السكر في الدم المتوقع النظري، **$t_{int}$(min)** : (المرحلة السريعة) النموذج من الدرجة الأولى




شكل 7. منحنيات التحليل المائي لطحين بعض حبوب الدخن لمنطقة تديكلت [9]

من خلال نتائج التحليل المائي الإنزيمي بالأميلوجلوكوزيداز (Amyloglucosidase) في المختبر (In vitro) باستخدام طريقة قوني (Goni) المعدَّلة [5]، تبين أن قابلية الهضم لنشا دقيق عينات الدخن المدروسة من منطقة تديكلت مُنخفضة، حيث تقل عن 40% (شكل 7)، وأن قيم مُؤشر نسبة السكر في الدم المتوقعة، سواء العملية أو النظرية لهذه العينات أقل من 55 (جدول 2). بالمقارنة، بلغت نتائج التحليل المائي الإنزيمي وقابلية الهضم لنشا عينات دقيق الدخن من كندا قيمة 101، وللدخن من كينيا حوالي 153. وبالتالي، تصنَّف حبوب الدخن المزروعة في المناطق الصحراوية بالجزائر(تديكلت) بأنها جيدة وصحية لتغذية مرضى السكري، لأنها تساهم في خفض واستقرار نسبة السكر في الدم [9]. علاوة على ذلك، تساعد مضادات الأكسدة الوفيرة في حبوب الدخن على تقليل خطر الإصابة بالأمراض المُزمنة، مثل أمراض القلب والسرطان والاضطرابات العصبية والتنفسية.

يساهم ارتفاع مُحتوى البوتاسيوم (P) والمغنيسيوم (Mg) في حبوب الدخن اللؤلؤي في خفض ضغط الدم والحفاظ على صحة القلب والأوعية الدموية. كما يساعد وجود حمض الفيتيك والنياسين في خفض مستويات الكوليسترول، كما يُقلل من خطر الإصابة بالسرطان [3].

تشير المُعطيات المقدمة بأن الصحراء الجزائرية، مثل منطقة تديكلت، تزخر بثروات نباتية طبيعية كالدخن، حيث تتميز بتنوع حيوي هام وحبوب ذات مُدخرات نشوية وبروتينية مفيدة. مما يؤهل هذه المحاصيل الطبيعية لأن تكون مصادر أولية هامة للصناعات التحويلية الغذائية أو العلفية، لتلبية الطلب المتزايد واستقرار الأمن الغذائي المحلي. بالإضافة إلى الفوائد الصحية لهذه الحبوب كأغذية مُكملة، فإن ذلك يتطلب الاهتمام بتثمين وتحسين زراعة الأصناف المحلية.

## الهوامش

[1]تديكلت: تشمل مدينة عين صالح والبلديات المجاورة، مثل الزاوية، الفقارة، الساهلة، اقسطن، حاسي لحجار، البركة، انغر، وأولف.

[2]الجلوتين: هو بروتين موجود في الحبوب الشائعة مثل القمح، الشعير، الأرز، الذرة والشوفان. يتكون من حمض أميني متعدد، وهو الجلوتاميك، ويلعب دورًا هامًا في مطاطية العجينة. قد يُسبب الجلوتين مرض الاضطرابات الهضمية (Celiac).

[3]مؤشر السكر في الدم: هو نسبة جلوكوز الدم بعد تناول وجبة معينة، وتتراوح بين 0.70 و1.40 غ/ل من الدم.

[4]دخن السودان: دخن مُستأنس من البلدان الجنوبية المجاورة، مثل مالي، النيجر، إلخ، والتي كانت تسمى محليًا "بلاد السودان".

## المراجع

[1] Brand-Miller, J., Hayne, S., Petocz, P. & Colagiuri, S., Low-glycemic index diets in the management of diabetes : a meta-analysis of randomized controlled trials. Diabetes Care, 26(8), (2003), 2261-2267. https://www.researchgate.net/publication/10642736

[2] Flamand, G.B.M., Une mission d'exploration scientifique au Tidikelt. Annales de Géographie. Vol.9. (45), (1900), 233-242.

[3] Food and Agriculture Organization of United Nations [FAO], Grassland index. A searchable Catalogue of Grass and Forage legumes. FAO., 2010. http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/GBASE/Default:htm.

[4] Gahalawat, P., Lamba, N., & Chaudhary, P., Nutritional and health benefits of millets : a review article, Journal of Indian System of Medicine, 12(1), (2024), 4-11. https://journals.lww.com/jism/fulltext/2024/12010/nutritional_and_health_benefits_of_millets

[5] Goni, I., Garcia-Alonsa, A., & Saura-Calixto, F., A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. Nutrition research, 17(3), (1997), 427-437.

[6] ICRISAT., Descripteur du mil pénicillaire (Pennisetum glaucum(L) R.Br.). Conseil International des Ressources Phylogénétiques. Rome, Italie ; Institut International de Recherche sur les Cultures des Zones Tropicales Semi-arides, Patancheru, Inde ISBN, 92, (9043), 1993.

[7] Léder, I., Sorghum and Millets, in Cultivated Plants, Primarily as Food Sources, [Ed. György Füleky], in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, 2004.

[8] Lemgharbi, M., Belhadi, B., Souilah, R., Terbag, L., Djabali, D., & Nadjemi, B., Biodiversity of Pearl Millet [Pennisetum glaucum (L.) R. Br.] in Southern Algeria (Hoggar Region). American Journal of Plant Sciences. (7), (2016), 1673-1684. http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2016.712158

[9] Lemgharbi, M., Souilah, R., Belhadi, B., Terbag, L., Djabali, D. & Nadjemi, B., Starch digestion in pearl millet (Pennisetum glaucum (L.) R. Br.) flour from arid area of Algeria. Journal of Applied Botany and Food Quality, 90, (2017), 126-31.

[10] Lemgharbi, M., Belhadi, B., Souilah, R., Djabali, D., & Nadjemi, B., Biodiversity of pearl millet Pennisetum glaucum (L) R. Br. (Poales Poaceae) in southern Algeria (Tidikelt region). Biodiversity Journal, 14 (3), (2023).

[11] Office National de la Météorologie (ONM), 2024. (Document interne).

[12] Ruffié, J., Ducos, J., &Vergnes, H., Etude hémotypologique des populations du Tidikelt (Sahara Central). Bull. Société Anthropologie de Paris, Tome 4, XIe. Séries. (1963), 531-544.

[13] Saleh, A.S., Zhang, Q., Chen, J., & Shen, Q., Millet grains: nutritional quality, processing, and potential health benefits. Comprehensive reviews in food science and food safety. 12(3), (2013), 281-295.

[14] Simwemba, C.G., Hoseney, R.C., Varriano Marston, E., & Zeleznak, K., Certain B vitamins and phytic acid contents of pearl millet (Pennisetum americanum (L.) Lceke). J. Agric. Food Chem, 32(1), (1984), 31-34.

*******

# رياضيات وتاريخ

# حول خوارزمية احتمالية

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

## 1. خواص شائعة للأعداد الأولية

الأعداد الأولية لها أهمية مركزية في نظرية الأعداد، وتعتبر الجواهر الفردية في عالم الأعداد، حيث إنها تدخل في تركيب بقية الأعداد الطبيعية، وبذلك تُماثل في العالم المادي الذرات التي تتكون منها كل عناصر المادة في الكون. وقد برهن أقليدس وجود ما لا نهاية منها. ونظرًا لأن لهذه الأعداد أهمية في بعض التطبيقات الملموسة مثل استخدامها الحاسم في علم التعمية (Cryptography)، فإنه تجري في الوقت الحالي عمليات حسابية هائلة مستندة إلى الحاسبات الحديثة لاكتشاف أكبر عدد ممكن منها. نشير مثلا إلى أن العدد الميرسيني $2^{1398269}-1$، والذي يتكوّن من أكثر من 400 ألف رقم عشري، هو أحد أكبر الأعداد الأولية المكتشفة حديثا، وقد تم الوصول إلى هذه النتيجة في شهر نوفمبر من عام 1996. وللعلم فإن الأعداد الميرسينية المنسوبة إلى عالم الرياضيات الفرنسي ميرسين (Mersenne) هي الأعداد ذات الشكل $2^n-1$، حيث $n$ عدد طبيعي.

فيما يلي نعرض بعض الخواص البسيطة للأعداد الأولية.

ليكن $n$ عددًا طبيعيًا معطى غير معدوم. نعرّف على مجموعة الأعداد الصحيحة $\mathbb{Z}$ علاقة تكافؤ كما يلي:

$$\forall_{a\in\mathbb{Z}},\forall_{b\in\mathbb{Z}}: a\equiv b \bmod n \Leftrightarrow a-b\in n\mathbb{Z} \Leftrightarrow \exists k\in\mathbb{Z}: a-b=kn.$$

إن صف تكافؤ العدد الصحيح $a$ وفق هذه العلاقة هو "تعريفًا" المجموعة

$$\bar{a}=\{a+kn: k\in\mathbb{Z}\}.$$

ويوجد عدد طبيعي وحيد $r\in\{0,1,\dots,n-1\}$ ينتمي إلى هذا الصف، أي يحقق $a\equiv r \bmod n$. وكما يمكن الملاحظة بسهولة، فإن هذا العدد يمثّل في الحقيقة باقي القسمة الإقليدية للعدد $a$ على $n$، لذلك فإنه يتحدد عمليا بإجراء الخوارزمية المرافقة لهذه القسمة.

يُرمز غالبًا لمجموعة حاصل القسمة الناتجة عن علاقة التكافؤ المشار إليها آنفا بالرمز $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$، وعليه يأتي:

$$\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}=\{\bar{a}: a\in\mathbb{Z}\}=\{\bar{r}: 0\le r\le n-1\}.$$

فيما يخص هذه المجموعة، لدينا النتيجة التالية:

**مبرهنة 1.** ليكن $n$ عددًا طبيعيًا معطى أكبر من أو يساوي 2.

1- $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$ حلقة واحدية وتبديلية؛

2- $\bar{a}$ قابل للقلب في $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$ إذا، وإذا فقط، كان $a\wedge n=1$، أي إذا كان $n$ وَ$a$ أوليين فيما بينهما؛

3- $n$ عدد أولي إذا، وإذا فقط، كانت $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$ حقلًا إذا، وإذا فقط، كانت $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$ حلقة تامة.

من أجل $n\le 2$، نرمز بـ$\mathbb{U}_n$ إلى مجموعة العناصر القابلة للقلب في الحلقة $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$ وبـ$\varphi(n)$ إلى عدد عناصرها، والذي يُعرف في أبجديات نظرية الحساب باسم دليل أويلر (Euler's indicator) لـ$n$. إنه يساوي حسب النتيجة رقم 2 من المبرهنة السابقة عدد كل الأعداد الأولية مع $n$ والأصغر منه. وحسب النتيجة رقم 3 من المبرهنة ذاتها، فإنه إذا كان $n$ أوليًا، فإن $\mathbb{U}_n=\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}-\{\bar{0}\}$، وعليه $\varphi(n)=n-1$. ويصعب في الحالة العامة تحديد $\varphi(n)$، لأن ذلك يتطلب تفكيك $n$ إلى جداء عوامل أولية.

لدينا المبرهنة التالية، والتي تعرف تاريخيًا باسم مبرهنة أويلر.

**مبرهنة 2.** ليكن $n \geq 2$. من أجل كل عدد صحيح $a \in \mathbb{Z}$ أولي مع $n$، $a^{\varphi(n)} \equiv 1 \bmod n$.

**البرهان.** نعلم من نظرية الزمر أنه إذا كانت $G$ زمرة منتهية (Finite group) رتبتها (يعني عدد عناصرها) تساوي $m$، فإن $x^m = e$ من أجل كل $x \in G$، حيث يشير $e$ إلى العنصر الحيادي لـ$G$.

الآن ليكن $a$ عددًا صحيحًا أوليًا مع $n$. من الخاصية رقم 2 الواردة في المبرهنة رقم 1 نستخلص بأن $\bar{a}$ ينتمي إلى الزمرة المنتهية $\mathbb{U}_n$ ذات الرتبة $\varphi(n)$، ومنه المساواة $\bar{a}^{\varphi(n)} = \bar{1}$، والتي تعني بالضبط أن $a^{\varphi(n)} \equiv 1 \bmod n$. ■

نستخلص سريعًا من المبرهنة رقم 2 النتيجة التالية والتي تحمل الاسم المبرهنة الصغرى لفيرما ( Fermat's little theorem).

**مبرهنة 3.** من أجل كل عدد أولي $p$، لدينا

$$\forall_{a\in\mathbb{Z}}: a \wedge p = 1 \Rightarrow a^{p-1} \equiv 1 \bmod p,$$

أو أيضا

$$\forall_{a\in\mathbb{Z}}: a^p \equiv a \bmod p.$$

لقد تم التأكد حديثا من أنه يوجد ما لا نهاية من الأعداد الطبيعية غير الأولية $n$ بحيث:

$$\forall_{a\in\mathbb{Z}}: a \wedge n = 1 \Rightarrow a^{n-1} \equiv 1 \bmod n.$$

تدعى هذه الأعداد بأعداد كارمايكل (Carmichael)، وأصغرها هو 561.

إن مبرهنة فيرما الصغرى تعطي شرطًا ضروريًا فحسب لأن يكون عدد طبيعي معطى أوليًا، بيد أن مبرهنة ويلسون (Wilson) التالية تعطي شرطًا ضروريًا وكافيًا للمسألة ذاتها.

**مبرهنة 4.** ليكن $p \geq 2$. يكون $p$ أوليًا إذا، وإذا فقط، كان $(p-1)! \equiv -1 \bmod p$.

**البرهان.** لدينا $(2-1)! = 1 = 2 - 1 = -1 + 2 \equiv -1 \bmod 2$، وعليه $(2-1)! \equiv -1 \bmod 2$، وهذا يعني أن العلاقة الواردة في المبرهنة صحيحة من أجل $p = 2$. ليكن إذن $p$ عددًا أوليًا بحيث $p \geq 3$. حسب الخاصية رقم 3 من المبرهنة رقم 1 فإن $\mathbb{Z}/p\mathbb{Z}$ حقل، وبالتالي فهي حلقة تامة. ويُستخلص من هذا بأن كثير الحدود $X^2 - \bar{1}$ يقبل بالضبط جذرين تربيعيين في $\mathbb{Z}/p\mathbb{Z}$ هما $\bar{1}$ وَ$-\bar{1}$، وبعبارة أخرى فإن $\overline{p-1} = -\bar{1}$ هما العددان الوحيدان مقلوبا نفسيهما في $\mathbb{Z}/p\mathbb{Z}$. لذلك إذا كان $x \in M = \{\bar{2}, \dots, \overline{p-2}\}$، فإن حتمًا $x \neq x^{-1}$ وَ$x^{-1} \in M$، وبالتالي يمكن كتابة هذه المجموعة على النحو الآتي $M = \{x_1, x_1^{-1}, \dots, x_m, x_m^{-1}\}$، حيث $m = (p-3)/2$. ومنه:

$$\bar{2} \times \cdots \times \overline{p-2} = x_1 \times x_1^{-1} \times \cdots \times x_m \times x_m^{-1} = \bar{1} \times \cdots \times \bar{1} = \bar{1},$$

وَ

$$\overline{(p-1)!} = \bar{1} \times \bar{2} \times \cdots \times \overline{p-2} \times \overline{p-1} = \bar{1} \times \overline{-1} = \overline{-1}.$$

وعليه يأتي $(p-1)! \equiv -1 \bmod p$.

بالعكس لنفرض أن $(p-1)! \equiv -1 \bmod p$. إذا لم يكن $p$ أوليًا، فإنه يوجد عدد طبيعي $q$ قاسم لـ$p$ بحيث $1 < q < p$. إن $q$ يقسم أيضا $(p-1)!$، لذلك نستنتج من العلاقة المفروضة آنفًا أن $q$ يقسم $1$، وهذا مستحيل، لذلك فإن $p$ حتمًا أولي. ■

ونظرًا لأن حساب $(p-1)!$ يتطلب عددًا هائلًا من العمليات الحسابية من أجل قيم كبيرة قليلا لـ$p$، فإن الاستخدام المباشر لنتيجة المبرهنة 4 من أجل معرفة إن كان $p$ أوليًا أم لا هو أمر بلا جدوى عمليًا لكونه يفرض إنجاز حسابات مكلفة للغاية. ومع ذلك توجد مخارج مناسبة تؤدي إلى استخدامات ذات قيمة للنتيجة المشار إليها، منها على سبيل المثال المزاوجة بين عمليات حسابية سهلة الإنجاز واختيارات عشوائية مناسبة لتحديد أولية $p$ من عدمها على ضوء المبرهنة 3. تدعى الخوارزميات الحسابية المنشأة وفق هذه الطريقة بالخوارزميات الاحتمالية ( Probabilistic algorithms)، وهي تلقى رواجًا متزايدًا في الحساب.

ليكن $n \geq 3$ عددًا فرديًا معطى. لدينا:

$$(n-1)! = \frac{n-1}{2}! \times \left(\frac{n-1}{2}+1\right) \times \cdots \times (n-1)$$
$$= \left(\frac{n-1}{2}\right)! \times \prod_{k=\frac{n-1}{2}+1}^{n-1} k = \frac{n-1}{2}! \times \prod_{j=1}^{\frac{n-1}{2}} (n-j).$$

ومنه نحصل على

$$(n-1)! \equiv \frac{n-1}{2}! \times \prod_{j=1}^{\frac{n-1}{2}} (-j) \bmod n \equiv (-1)^{\frac{n-1}{2}} \left(\frac{n-1}{2}!\right)^2 \bmod n.$$

وبالتالي إذا كان $n \equiv 1 \bmod 4$ فإن

$$(n-1)! \equiv \left(\frac{n-1}{2}!\right)^2 \bmod n.$$

من هذه العلاقة ومن المبرهنة رقم 4 نحصل على النتيجة التالية:

**نتيجة 5.** ليكن $p$ عددًا طبيعيًا بحيث $p \equiv 1 \bmod 4$. يكون $p$ أوليًا إذا، وإذا فقط، كان

$$-1 \equiv \left(\frac{p-1}{2}!\right)^2 \bmod p.$$

وهكذا فإذا كان $p$ عددًا أوليًا بحيث $p \equiv 1 \bmod 4$، فإن $-\bar{1}$ هو مربع في الحقل $\mathbb{Z}/p\mathbb{Z}$، ويمثّل $(p-1/2)!$ أحد جذريه التربيعيين. ويصعب حساب هذا الجذر إن كان $p$ كبيرًا قليلًا، لكن توجد مع ذلك خوارزمية احتمالية، سنتحدث عنها فيما يلي، أكثر فاعلية لحسابه.

من ناحية أخرى يُبرهن كتمرين بسيط أنه من أجل كل عدد أولي $p$، إذا كان $-\bar{1}$ مربعًا في الحقل $\mathbb{Z}/p\mathbb{Z}$، فإن $p \equiv 1 \bmod 4$. ومنه النتيجة:

**نتيجة 6.** من أجل كل عدد طبيعي $p$، الدعوتان التاليتان متكافئتان:

1- $p$ يحقق الشرطين $p \equiv 1 \bmod 4$ وَ

$$-1 \equiv \left(\frac{p-1}{2}!\right)^2 \bmod p.$$

2- $p$ عدد أولي وَ$-\bar{1}$ مربع في الحقل $\mathbb{Z}/p\mathbb{Z}$.

فيما يلي نعطي نص مبرهنة العناصر الأصلية (Theorem of primitive elements)، والتي يعتبر برهانها تمرينًا جيدًا في الحساب.

**مبرهنة 7.** ليكن $p$ عددًا أوليًا. يوجد على الأقل عنصر $\xi \in \mathbb{Z}/n\mathbb{Z} - \{\bar{0}\}$ رتبته $p-1$، وبالتالي $\xi^{p-1} = \bar{1}$ وَ$\mathbb{Z}/n\mathbb{Z} - \{\bar{0}\} = \{\bar{1}, \xi, \xi^2, \ldots, \xi^{p-2}\}$. يدعى $\xi$ عنصرًا أصليًا في الزمرة $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z} - \{\bar{0}\}$.

## 2. خوارزمية احتمالية لحساب جذر تربيعي

ليكن $p$ عددًا أوليًا بحيث $p \equiv 1 \bmod 4$. وبالتالي $p - 1 = 2^k q$ حيث $2 \leq k$ وَ$q$ عدد طبيعي فردي.

لنضع

$$\mathcal{G} = \{x \in \mathbb{U}_p : x^{2q} = \bar{1}\}, \mathcal{E} = \mathbb{U}_p - \mathcal{G} = \{x \in \mathbb{U}_p : x^{2q} \neq \bar{1}\}.$$

فيما يخص هاتين المجموعتين لدينا التوطئة التالية:

**توطئة 1**. لدينا $\text{card}\,\mathcal{G}=2q$، وبالتالي $\text{card}\,\mathcal{E}=\text{card}\,\mathbb{U}_p-\text{card}\,\mathcal{G}=2q(2^{k-1}-1)$.

**البرهان**. حسب المبرهنة رقم 7، يمكننا اختيار عنصر $\xi\in\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}-\{\bar{0}\}$ رتبته $p-1$. وبالتالي إذا كان $x\in\mathcal{G}$، فإنه يوجد $i\in\{0,1,\dots,p-2\}$ بحيث $x=\xi^i$، وعليه $\bar{1}=x^{2q}=\xi^{2iq}$، الأمر الذي يعني أن $p-1$ قاسم لـ$2iq$، ونكتب ذلك رمزيًا كما يلي $p-1|2iq$، وتأتي صحة هذا الاستنتاج من حقيقة أن رتبة $\xi$ هي $p-1$. بالعكس إذا كان $x=\xi^i$ بحيث $i\in\{0,1,\dots,p-2\}$ وَ$2iq=\alpha(p-1)$ مع $\alpha$ عدد طبيعي، فإن

$$x^{2q}=\xi^{2iq}=\xi^{\alpha(p-1)}=(\xi^{p-1})^{\alpha}=(\bar{1})^{\alpha}=\bar{1},$$

وبالتالي $x\in\mathcal{G}$. إذن يمكننا أن نكتب $\mathcal{G}=\{x=\xi^i:i\in I\}$ حيث $I=\{i:0\le i\le p-2\wedge p-1|2iq\}$.

لنلاحظ أن التطبيق $i\mapsto\xi^i$ هو تقابل من $I$ إلى $\mathcal{G}$، ويعود ذلك دائما إلى كون رتبة $\xi$ هي $p-1$، ومنه نستنتج بأن للمجموعتين $I$ وَ$\mathcal{G}$ عدد العناصر ذاته. من ناحية أخرى بما أن $p-1|2iq\Leftrightarrow 2^{k-1}|i$، فإن لدينا

$$I=\left\{i=2^{k-1}\alpha:0\le\alpha\le\frac{p-2}{2^{k-1}}\right\}=\left\{i=2^{k-1}\alpha:0\le\alpha\le\left[\frac{p-2}{2^{k-1}}\right]\right\},$$

حيث يشير $\left[\frac{p-2}{2^{k-1}}\right]$ إلى الجزء الصحيح لـ$\frac{p-2}{2^{k-1}}$، وهو تعريفًا العدد الصحيح الوحيد $\beta$ الذي يحقق

$$\beta\le\frac{p-2}{2^{k-1}}<\beta+1.$$

وعليه فإن عدد عناصر $I$ يساوي $\left[\frac{p-2}{2^{k-1}}\right]+1$. لكن

$$\frac{p-2}{2^{k-1}}=\frac{p-1}{2^{k-1}}-\frac{1}{2^{k-1}}=2q-\frac{1}{2^{k-1}}.$$

لذلك بما أن $k\ge 2$، فإن $2q-1<\frac{p-2}{2^{k-1}}<2q$، ومن ثمة يأتي $\left[\frac{p-2}{2^{k-1}}\right]=2q-1$ وَ$\left[\frac{p-2}{2^{k-1}}\right]+1=2q$. انتهى البرهان. ■

لنسحب بصورة عشوائية عددًا من المجموعة $\mathbb{U}_p$. إن احتمال أن يكون هذا العدد من المجموعة الجزئية $\mathcal{G}$ هو

$$\frac{\text{card}\,\mathcal{G}}{\text{card}\,\mathbb{U}_p}=\frac{2q}{2^kq}=\frac{1}{2^{k-1}}\le\frac{1}{2}.$$

وبالتالي إذا كررنا عملية السحب $n$ مرة (مع الإرجاع)، فإن احتمال أن نحصل في كل سحب من هذه السحوبات على عدد من $\mathcal{G}$ هو

$$\frac{1}{2^{n(k-1)}}.$$

وعليه فإن احتمال أن نحصل في أحد السحوبات على عدد من $\mathcal{E}$ هو

$$1-\frac{1}{2^{n(k-1)}}.$$

وبما أن $k\ge 2$، فإن هذا الاحتمال أكبر من أو يساوي

$$1-\frac{1}{2^n}.$$

وهكذا يمكن التأكد على سبيل المثال من أنه بعد إجراء عشرين عملية سحب عشوائية مثلما أشير إليها آنفًا، فإن احتمال أن نحصل في واحدة منها على عدد من $\mathcal{E}$ يساوي أو أكبر من 0.9999990463، أي يساوي تقريبا 1، وهذا معناه حصولنا فعلا على عدد من $\mathcal{E}$ بعد إنجاز عشرين سحبًا متتابعًا.

ويمكن زيادة التأكيد على هذه النتيجة باستخدام مبدأ الاحتمالات العملية لبوريل (Borel)، والذي نصه "إن أية حادثة عشوائية ذات احتمال أقل من $10^{-50}$ لا تتحقق أبدا". وكما أشير آنفًا، فإن احتمال ألا نحصل على عدد من $\mathcal{E}$ بعد إجراء $n$ سحبًا متتابعًا هو أقل من

$$\frac{1}{2^n}.$$

وبما أنه لدينا

$$\frac{1}{2^n} \leq 10^{-50} \Leftrightarrow 10^{50} \leq 2^n \Leftrightarrow 50\frac{\ln 10}{\ln 2} \leq n.$$

فإننا سنحصل حتمًا على عدد من $\mathcal{E}$ إن أجرينا عددًا من السحوبات المتتابعة يفوق العدد الحقيقي

$$50\frac{\ln 10}{\ln 2} \approx 166.10,$$

والذي هو ليس كبيرًا.

تمثّل عملية إنجاز السحوبات الموصوفة آنفًا الخطوة الأولى من الخوارزمية الاحتمالية التي نرغب في تقديمها هنا، ونمر الآن إلى شرح الخطوة الثانية للخوارزمية ذاتها.

لنفترض بأن لدينا عددًا $x$ من المجموعة $\mathcal{E}$. إن المجموعة $\mathcal{I} = \left\{i \geq 1 : x^{2^i q} = \overline{1}\right\}$ ليست خالية لأن $k \in \mathcal{I}$ حسب المبرهنة الصغرى لفيرما، ولا تحتوي على $1$ لأن $x^{2q} \neq \overline{1}$ بسبب انتماء $x$ إلى $\mathcal{E}$. لذلك فإن عنصرها الأصغر $\min \mathcal{I}$ محصور بين $2$ وَ$k$. لنضع $\alpha = \min \mathcal{I} - 2$. من تعريف $\min \mathcal{I}$ نستخلص أن $y = x^{2^{\alpha+1}q} \neq \overline{1}$، بالإضافة إلى ذلك لدينا $y^2 = x^{2^{\alpha+2}q} = x^{2^{\min \mathcal{I}}q} = \overline{1}$، وبالتالي $y = x^{2^{\alpha+1}q} = -\overline{1}$، تأتي هذه النتيجة من حقيقة أن كثير الحدود $X^2 - \overline{1}$ يقبل بالضبط جذرين تربيعيين هما $\overline{1}$ وَ$-\overline{1}$ في الحلقة التامة $\mathbb{Z}/p\mathbb{Z}$. وهكذا حصلنا على جذر تربيعي للعدد $-\overline{1}$ هو $x^{2^\alpha q}$. إن الخطوة الثانية في الخوارزمية المنشودة أصبحت واضحة، وهي: بعد العثور عشوائيًا على عدد من $\mathcal{E}$ نقوم بحساب المربعات المتتابعة للمقدار $x^q$ حتى نحصل على جذر تربيعي لـ$-\overline{1}$.

والآن بمقدورنا عرض خوارزميتنا بواسطة كلمات اللغة العربية، وهي ليست بحاجة إلا لصياغتها بلغات البرمجة الحديثة من أجل تنفيذها واختبار فعاليتها.

"الخطوة الأولى: قم بالسحب العشوائي المتتابع (مع الإرجاع) لأعداد من المجموعة $\mathbb{U}_p$، وتوقّف عن السحب عند العثور على عدد $x$ يحقق $x^{2q} \neq \overline{1}$.

الخطوة الثانية: قم بحساب المربعات المتتابعة للعدد $x^q$، وتوقّف عن الحساب عند الحصول على مربع منها مساوٍ للعدد $-\overline{1}$."

وكما تم توضيح ذلك فإن هذه الخوارزمية قابلة للتنفيذ، بل ويُتحقق من أنها أقل تكلفة حسابية من خوارزمية الضرب المباشرة لحساب المقدار $((p-1)/2)!$.

في الختام نقدّم بالاستناد إلى مبدأ الاحتمالات العملية لبوريل النتيجة التالية:

**نتيجة 8**. ليكن $p$ عددًا طبيعيًا بحيث $p \equiv 1 \bmod 4$. إن لم نحصل على عنصر من $\mathcal{E}$ بعد إجراء أكثر من 167 سحب عشوائي متتابع، فإن $p$ ليس أوليًا.

# الهندسة الكسورية: عالم من الجمال والتعقيد (1)

سكينة عثماني
أستاذة بقسم الرياضيات، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
othmani.sakinaa@gmail.com

"لماذا توصف الهندسة في كثير من الأحيان بأنها "باردة" و"جافة"؟ يكمن أحد الأسباب في عدم قدرتها على وصف شكل السحابة أو الجبل أو الساحل أو الشجرة. فالسحب ليست كرات، والجبال ليست مخاريط، والسواحل ليست دوائر، واللحاء ليس أملسًا، ولا البرق يسير في خط مستقيم". بينوا ماندلبروت

يقدّم هذا المقال لمحة تاريخية عن الهندسة الكسورية عبر العصور الثلاثة: القديم، والوسيط، والحديث. يحتوي هذا الموروث التاريخي على العديد من الكسوريات التي تم توظيفها في مختلف الأعمال الفنية. بعد ذلك، يتم عرض المفاهيم الأساسية للكسير التي قدّمها عالم الرياضيات البولندي بينوا ماندلبروت، مع تصنيف الكسوريات وفقًا لخاصية التشابه الذاتي. كما يتم التطرق لبعض الكسوريات الكلاسيكية، بما في ذلك تلك التي اكتشفها فايرشتراس، كانتور، شيربينسكي، منجر، وكوخ. يعقب ذلك تسليط الضوء على نماذج مثيرة للاهتمام من كسيريات جوليا وماندلبروت، القائمة على الأنظمة الديناميكية والعمليات التكرارية. يُعرض أيضًا مفهوم البعد الكسوري الذي وضعه عالم الرياضيات الألماني هاوسدورف والروسي بيسيكوفيتش، والذي أسس عليه ماندلبروت تعريفه الأولي للكُسير. وأخيرًا، سنتطرق إلى بعض تطبيقات الهندسة الكسورية في الطبيعة والفن.

## مقدمة

﴿بَدِيعُ السَّمَاوَاتِ وَالأَرْضِ﴾ (سورة البقرة: 117)، ﴿إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ﴾ (سورة القمر: 49). من يتأمل في آيات الكون والخلق لا بد أن يرى عظمة وإبداع الله في كل شيء. هذا الخلق البديع المحيط بنا في الكون الفسيح ليس وليد الصدفة أو الظواهر العشوائية، وإنما نتيجة نظام متناسق ومنسجم، حيث كل صوره محكومة بقوانين معينة. فكل شيء خُلق بقياس، وهذا هو سر الإبداع في هذا الكون العظيم والمتوازن. درس العلماء الهندسة المنظمة التي تتحكم في كل أنماط الوجود والحياة، من أصغر الكائنات الحية إلى أكبر المجرات. يعتمد المنظور الهندسي على فهم عميق لهذه المظاهر الخلقية والنظم الهندسية المكونة لها، بما في ذلك الأشكال الهندسية والنسب الرياضية التي تُستخدم في تصميم جميع ما في الطبيعة.

منذ القدم، اهتم علم الرياضيات إلى حد كبير بالمجموعات والدوال التي يمكن تطبيق طرق التفاضل والتكامل الكلاسيكية عليها. أما تلك التي لم تكن سَلِسَة أو منتظمة بما فيه الكفاية، فقد تم تجاهلها باعتبارها مَرَضية ولا تستحق

الدراسة. ومن المؤكد أنه كان يُنظر إليها على أنها فضول فردي، ونادرًا ما كان يُنظر إليها كفئة يمكن أن تنطبق عليها النظريات العامة. إلا أن هذا الموقف تغيّر في السنوات الأخيرة، حيث تم إدراك أهمية دراسة الأجسام غير الملساء، والمسماة بالكسوريات.

يُعرف الكُسير على أنه شكل هندسي معقد ومفصل في الرياضيات على مقاييس مختلفة. وقد صاغ هذا المصطلح قبل أقل من خمسين عامًا أحدُ أكثر علماء الرياضيات ابتكارًا في التاريخ، وهو بينوا ماندلبروت Benoît Mandelbrot (1924-2010)، الذي كان أول من قدّم وشرح المفاهيم التي يقوم عليها هذا المنظور الجديد للهندسة. على الرغم من أن رياضياتيين آخرين مثل جورج كانتور Georg Cantor (1845-1918)، فيليكس هاوسدورف Felix Hausdorff (1868-1942)، هيلج فون كوخ Helge von Koch (1870-1924)، فاكلاف شيربينسكي Wacław Sierpiński (1882-1969)، غاستون جوليا Gaston Julia (1893-1978) قد توصلوا إلى رؤى منفصلة لفهم الكسوريات، فإن هذه الأفكار تم تجاهلها إلى أن جمعها ماندلبروت في نظام متماسك ورائع.

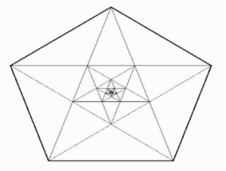
ظهرت نظرية الهندسة الكسورية كفرع مبتكر من فروع الرياضيات الحديثة، حيث تُمثّل رؤية ومنهجية جديدة بشكل أساسي للعالم. وعلى عكس الأشكال الهندسية المنتظمة للهندسة الإقليدية التقليدية، فإن معظم الأنظمة الطبيعية والعديد من المنشآت المبتكرة من قِبل الإنسان غير منتظمة الشكل. توفر الهندسة الكسورية إطارًا لا حدود له لوصف هذه الظواهر المعقدة وقياسها والتنبؤ بها. وقد اكتشف العديد من العلماء أن الهندسة الكسورية هي أداة قوية للكشف عن الأنماط الكامنة في الأنظمة المتنوعة ومعالجة التحديات الحرجة في العلوم التطبيقية.

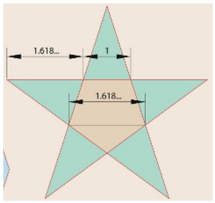
## 1. الخلفية التاريخية

### 1.1. أصول الهندسة الكسورية في العصور القديمة

يُعدّ فيثاغورس Pythagoras (570-495 ق.م.)، المولود في جزيرة ساموس اليونانية، مُعلمًا ومؤسسًا لإحدى أشهر المدارس الفلسفية. ترك فيثاغورس إرثًا فكريًا هائلًا كان له تأثير كبير على العلوم والفلسفة على مر العصور. كما يُعتبر من أوائل من تعاملوا مع التناسب المرتبط بالنسبة الذهبية، المعروفة أيضا باسم "العدد الذهبي" أو "النسبة الإلهية" في الثقافات القديمة، والتي تُقدّر قيمتها بحوالي 1.618.

ظهرت هذه العلاقة عدة مرات في سلسلة لا نهائية من الخماسيات والنجوم الخماسية المتداخلة، والتي تُظهر خاصية التشابه الذاتي المميزة للكسوريات، كما هو موضح في الشكل أدناه [9].






استخدم النحات اليوناني فيدياس Phidias النسبة الذهبية في منحوتاته بشكل متكرر ودقيق. ومن المفترض أن موروث فيثاغورس قد انتقل عن طريق أتباعه، ثيودورس القوريني Theodorus وأفلاطون Plato، إلى أقليدس الإسكندري (Euclid)، وهو عالم رياضيات يوناني عاش في القرن الثالث قبل الميلاد. يُعرف أقليدس بأبي الهندسة لمساهماته الفارقة في إرساء ركائز الهندسة الإقليدية. وتُعتبر كتبه، خاصة "الأصول"، من أهم كتب الرياضيات في التاريخ؛ إذ يؤرخ هذا الكتاب لمسلمات الهندسة الكلاسيكية كركيزة في بناء النظريات والبراهين [9] [10] [11].

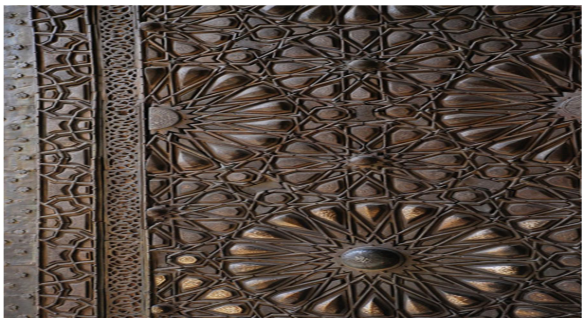
تُعتبر إسهامات أقليدس الأكثر شهرة واستخدامًا على نطاق واسع في واقعنا، وأثرها في أذهاننا عميق جدًا لدرجة أننا بطبيعتنا نحب ونقبل السلاسة المتواجدة في الأجسام المنتظمة والملساء. ونتيجة لذلك، فإن كل ما تصنعه اليد البشرية يكون على شكل مجموعة من عناصر، مثل المثلثات، المربعات، الدوائر وغيرها. لقد آمن أقليدس وخلفه، مثل أبولونيوس Apollonius وأرخميدس Archimedes ، إيمانًا راسخًا بأن كل شيء في هذا الكون له شكل من أشكال هذه الأجسام بطريقة ما. غير أن من الواضح أن هذه الأجسام الهندسية مثالية للغاية مقارنة بما لدينا بالفعل في محيطنا.

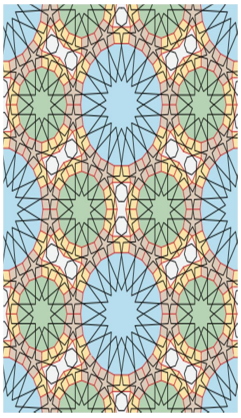
### 2.1. أصول الهندسة الكسورية في العصور الوسطى

استندت معارف الرياضيات في العالم الإسلامي إلى تقاليد مختلفة، منها الرياضيات اليونانية، ابتداءً من الكلاسيكيات الهندسية العظيمة لأقليدس وأبولونيوس وأرخميدس، إلى الحلول العددية للمسائل غير المحددة في كتاب ديوفنتوس (Diophantus) في الحساب، إلى الكتيبات العملية لهيرون (Hero). كان النظام الحسابي الهندي تقليدًا آخر سمح للهنود بالمساهمة في حل المسائل الفلكية بالطرق الجبرية، حساب المثلثات النسبية، وطرق من الهندسة الصلبة.

وبناءً على هذا الرصيد العلمي والمجهودات المبذولة طيلة العصور الوسطى، طوّر العلماء المسلمون، من بينهم محمد بن موسى الخوارزمي، وأبو بكر الكرجي، وعمر الخيام، وأبو الريحان البيروني، وابن الهيثم، علومهم الحسابية والهندسية. حيث نُقلت المعرفة بنظام الأعداد الهندي إلى المسلمين عن طريق الخوارزمي عبر رسالته القصيرة. أما في أواخر القرن العاشر، فقد قدّم الكرجي مفهومًا موسعًا للأعداد الحقيقية ضمن إطار استنتاجي، اعتمد فيه على تصنيف أقليدس للمقادير غير النسبية الواردة في الكتاب العاشر من "الأصول".

أبدى عمر الخيام أيضًا اهتمامًا بدراسة جذور الأعداد الصحيحة. علاوة على ذلك، فإن ابتكار المسلمين للأسطرلابات المتوارثة عن الحضارة اليونانية، حفّز الخيال الهندسي لدى العديد من العلماء المسلمين. نبغ كل من البيروني وابن الهيثم وغيرهم في تطوير الهندسة الإسلامية القابلة للتطبيق على التصاميم الزخرفية، والتي تتسم بالتكرار والتشابه المميزين أيضًا للأشكال الكسورية. تتضمن هذه التطبيقات نماذج خاصة بالزخرفة المعمارية المتجلية بوضوح في مسجد أصفهان وقصر الحمراء [1] [11].



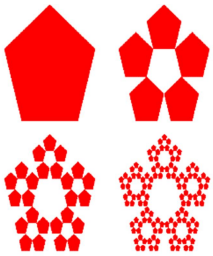


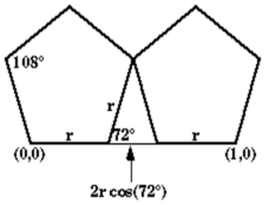
استخدمت أيضًا العديد من التصاميم الزخرفية في التقاليد الرومانية على أرضيات الكنائس، والتي يعود تاريخها إلى القرن الحادي عشر. تشبه هذه التصاميم إلى حد كبير الأشكال الكسورية وتستند إلى تركيب متعدد المقاييس. ينطبق هذا الوصف على الأرضيات المعروفة بأرضيات عائلة كوزماتي (Cosmati) الإيطالية، مما يوحي بطبيعة الحال بوجود تحليل كسوري. يتضح أن هناك بنية معينة في العديد من هذه الأرضيات تُعرف بما نسميه الآن مثلث شيربينسكي، وهو عبارة عن تقسيم فرعي على مقياس أدق وأدق من المثلثات المتشابهة ذاتيًا. هذه البنية إما تكون معزولة في الأرضيات على قرص رخامي أحمر، أو منسوجة في شبكات. تتكرر جميع مثلثات شيربينسكي الموجودة في هذه الزخارف حتى ثلاثة مستويات [3].

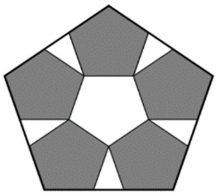
كان آلبرخت دورر Albrecht Dürer (1471-1528) رسامًا ونقاشًا خلال عصر النهضة، وعُرف أيضًا باهتمامه بالنظريات الهندسية. اكتسب شهرة واسعة في العشرينيات من عمره بفضل نقوشه الخشبية عالية الجودة. ويُعدّ من أقدم الفنانين الذين تعاملوا مع الأشكال الكسورية، حيث ابتكر مجسمًا كسوريًا يعتمد على الخماسيات المنتظمة [6]. يمكن إنشاؤه من خلال أخذ شكل خماسي منتظم طول ضلعه $r$ وإحاطته بخمسة خماسيات متماثلة. الشكل الناتج يتوافق مع شكل خماسي أكبر طول ضلعه $R$ مع خمس قطع على شكل مثلثات متساوية الساقين تقع في مركز كل ضلع. الزوايا المتساوية لهذه المثلثات هي 72 درجة، أما الزاوية الثالثة فهي نصف هذه الأخيرة، أي 36 درجة. تندرج النسبة بين أضلاع هذا المثلث ضمن "النسبة الذهبية"، المعروفة جيدًا منذ أيام فيثاغورس كما سبق الذكر.

كل ما نحتاج إلى معرفته الآن هو أن الضلع الأصغر للمثلث يمكن حسابه على أنه $2rcos(75°)$ كما هو موضح في الشكل أدناه. هذا يعني أن النسبة بين طولي ضلعي المثلث الخماسي هي

$$\frac{r}{R} = \frac{1}{2+2\cos(72)}.$$





يمكننا تخيل بدء عملية الإنشاء من المضلع الخماسي الكبير. بمعرفة طريقة حساب $r$ من $R$، يمكننا رسم المضلعات الخماسية الستة الأصغر التي تقع داخل المضلع الكبير. لِمَ الاكتفاء بهذا؟ إذ يمكن أن يستمر التقسيم الفرعي، مع إنتاج خماسيات متناقصة باستمرار. كل مضلع خماسي جزئي هو نسخة من الكل. إذا استمر التقسيم الفرعي إلى ما لا نهاية، فإن خماسيات دورر تشكل جسمًا كسوريًا حقيقيًا [4].

### 3.1. أصول الهندسة الكسورية في العصر الحديث

لم يدخل علم الرياضيات الإسلامي إلى أوروبا إلا في أوائل القرن الثالث عشر الميلادي على يد ليوناردو دا بيزا Leonardo di Pisa (1240-1170)، الملقب بفيبوناتشي. تعلّم فيبوناتشي نظام الأعداد العربي وعاد إلى بيزا حيث شارك مع معاصريه الأوروبيين المعارف التي اكتسبها في إفريقيا. وقام بتأليف العديد من الكتب، أبرزها كتاب *Liber Abaci*. يعرض في هذا الكتاب مسألة الأرانب التي تحتوي على ما يُسمى بمتتالية فيبوناتشي، المرتبطة بشكل مباشر بالعدد الذهبي.

انتقلت أعمال ليوناردو دا بيزا إلى خلفائه مثل لوكا باتشولي Luca Pacioli (1517-1447) وليوناردو دافنشي Leonardo da Vinci (1519-1452)، وكلاهما كان شغوفًا بالحساب والهندسة، كما اشتركا في الاهتمام بالنسب. ويعترف باتشولي في أعماله بإسهامات أسلافه، بما في ذلك فيبوناتشي. وبعد حوالي أربعمائة عام من فيبوناتشي، وبعد حوالي 400 عام من وفاة فيبوناتشي، كان ارتباط متتالية فيبوناتشي بالعدد الذهبي لا يزال مجهولا. ولكن في ذلك الوقت، وضع عالم الرياضيات ألبرت جيرار Albert Girard (1632-1595) مسألة الأرانب في شكلها الرياضياتي، أي أن كل حد من المتتالية يُعرّف بجمع الحدين السابقين في المتتالية.

في عام 1753، أشار روبرت سيمسون Robert Simson إلى أن المتتالية التي يتم الحصول عليها بقسمة حدين متتابعين من متتالية فيبوناتشي متقاربة، وأن نهاية هذه المتتالية في الواقع هي العدد الذهبي. من الواضح إلى حد ما أنه في هذه الفترة، كان علماء مثل لوكا باتشولي قد فهموا بالفعل أهمية العدد الذهبي في الخلق والطبيعة [5] [12] [16]. رأوا بالتأكيد أن هذا التناسب الذهبي هو ما يميز أيضًا مختلف الكسوريات من حولهم في الطبيعة. ويعزى ذلك إلى اشتراك كل من التناسب الذهبي والكسوريات بخاصية التشابه الذاتي في بعض الحالات. تُعدّ الأصداف البحرية والصبار أمثلة توضيحية لذلك.

## 2. تعرّف أكثر على الهندسة الكسورية

ثمة منظور آخر يجب أن ننظر من خلاله إلى الطبيعة، يتجاوز نطاق الهندسة الإقليدية، وهو نوع جديد من الهندسة اللاإقليدية يُعرف الآن باسم الهندسة الكسورية. على الرغم من أن أصول هذا الفرع من الرياضيات ترتبط بعدد من المختصين الذين يعود تاريخهم إلى أواخر القرن التاسع عشر، إلا أن ولادتها من جديد، وتعريفها وتطورها اللاحق يُعزى في المقام الأول إلى عالم الرياضيات البولندي المولد ماندلبروت، بالطريقة نفسها التي تُنسب بها الهندسة الإغريقية إلى أعمال أقليدس.

يكمن الموضوع الفلسفي الأساسي للهندسة الكسورية في أن الطبيعة، على الرغم من أنها تبدو معقدة، تظهر خاصية أساسية تُعرف عمومًا باسم التشابه الذاتي. وبعبارة أخرى، بغض النظر عن مدى تعقيد شكل النظام أو سلوكه الديناميكي، إذا نظر المرء بعناية وخيال كافيين، يمكن أن يجد سمات عند أحد المقاييس مشابهة لتلك الموجودة على المقاييس الأخرى. وعلى الرغم من أن هذه الفكرة رائعة من حيث وضوحها، إلا أن هذه الطريقة في التفكير لم تبدأ في التطور رياضياتيًا وتطبيقها على مختلف فروع العلوم والهندسة إلا مؤخرًا.

## 1.2. تعريف الكسوريات

صاغ ماندلبروت مصطلح "الكسير" من الكلمة اللاتينية "fractus" التي تعني "مكسور" أو "مجزأ" في مقاله التأسيسي عام 1975. وهي صفة لاتينية تشير إلى شكل الحجر بعد ضربه بشدة [12].

في عام 1982، قدّم ماندلبروت التعريف المبدئي التالي للكسوريات: "يُعرف الكسير بأنه مجموعة يتجاوز فيها بعد هاوسدورف-بيسيكوفيتش البعد الطوبولوجي". على الرغم من صحة ودقة هذا التعريف، إلا أنه مقيد للغاية، فهو يستبعد العديد من الكسوريات المفيدة في الفيزياء. بناءً على ذلك، تراجع ماندلبروت في عام 1986 عن هذا التعريف واقترح بدلًا من ذلك ما يلي: "الكسير هو شكل مكون من أجزاء مشابهة للكل بطريقة ما". يتضمن هذا التعديل الميزة الأساسية التي تظهر في التجارب: الكسوريات تبدو متشابهة مهما كان المقياس. بالنظر إلى بعض السحب الركامية الجميلة، نجد أنها تتشكل، على مقاييس مختلفة، من أكوام كبيرة مع نتوءات صغيرة الحجم، والتي بدورها تحتوي على نتوءات أصغر [8] [13].

## 2.2. تصنيف الكسوريات

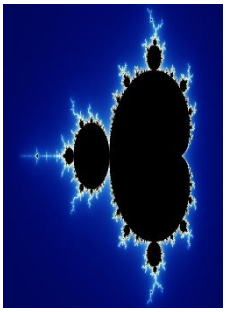
تمتاز الكسوريات بخاصية التشابه الذاتي، حيث إن الجسم المتشابه ذاتيا هو الجسم الذي تشبه الأجزاء المكونة له الكل. يحدث هذا التكرار للتفاصيل أو الأنماط على مقاييس أصغر تدريجيًا، ويمكن أن يستمر، في حالة الأجسام المجردة البحتة، إلى ما لا نهاية. في الواقع، يبقى الجسم المتشابه ذاتيًا ثابتًا تحت تغيرات المقياس، أي أن له تناظرًا متدرجًا. نكتفي بإعطاء مثال على بنية طبيعية تتسم بهذه الخاصية وهو القرنبيط. إذ لا يُعتبر كسيرًا رياضياتيًا كلاسيكيًا،

فهنا يظهر معنى التشابه الذاتي بسهولة دون الحاجة إلى أي رياضيات. يحتوي رأس القرنبيط على أفرع أو أجزاء، والتي عند إزالتها ومقارنتها مع الكل تكون متشابهة إلى حد كبير، ولكنها أصغر فقط [15].

وفقًا لهذه الخاصية يمكن تصنيف الكسوريات إلى ثلاثة أنواع:

أ. **التشابه الذاتي التام:** وهو أقوى أنواع التشابه الذاتي، حيث يظهر الكسير متطابقًا على مقاييس مختلفة. غالبًا ما تُظهر الكسوريات المعرفة بأنظمة الدوال التكرارية تشابهًا ذاتيًا دقيقًا. على سبيل المثال، نبات السرخس، حيث تكون كل سعفة من السرخس (ورقة كبيرة مقسمة) نسخة مصغرة من السرخس بأكمله، وكل فرع من السعفة مشابه للسعفة بأكملها، وهكذا.

ب. **التشابه الشبه الذاتي:** وهو مظهر غير دقيق للتشابه الذاتي، حيث يبدو الكسير مماثلًا بشكل تقريبي عند مقاييس مختلفة. تحتوي الكسوريات شبه المتشابهة ذاتيًا على نسخ صغيرة من الكسير بأكمله في أشكال مشوهة أو متدهورة. ومن الأمثلة على ذلك مجموعة ماندلبروت التي تُظهر نسخًا غير دقيقة للمجموعة الأصلية.



ج. **التشابه الذاتي الإحصائي:** هو النوع الأضعف من التشابه الذاتي، حيث يحتوي الكسير على مقاييس عددية أو إحصائية يتم الحفاظ عليها عبر المقاييس. كمثال عن ذلك، نشير إلى ساحل بريطانيا.

(للبحث صلة)

## المراجع

[1] J. Bonner, Islamic Geometric Patterns : Their Historical Development and Traditional Methods of Construction, Springer, 2017.
[2] G. Cantor, Ueber unendliche, lineare Punktmannichfaltigkeiten, Mathematische Annalen, 21 (4), 545-591, 1883.
[3] E. Conversano, L. Tedeschini-Lalli, Sierpinski triangles in stone on medieval floors in Rome, Journal of Applied Mathematics, 4, 114-122, 2011.
[4] A. J. Crilly, R. A. Earnshow, H. Jones, Fractals and Chaos, Springer Science & Business< Media, New York, 2012.
[5] R. A. Dunlap, The Golden Ratio and Fibonacci Numbers, World Science, 1997.
[6] A. Dürer, The Painter's Manual, translated by W. L. Strauss, Abaris Books, New York, 1977.
[7] K. Falconer, Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications, John Wiley & Sons, New York, 1990.
[8] J. Feder, Fractals, Springer Science & Business Media, New York, 2013.
[9] T. L. Heath, A History of Greek Mathematics, Volume 1: From Thales to Euclid, Oxford University Press, 1921.
[10] R. Herz-Fischler, A Mathematical History of the Golden Number, Dover Publications, Mineola, New York, 1998.
[11] V. J. Katz, The Mathematics of Egypt, Mesopotamia, China, India, and Islam, A Sourcebook, Princeton University Press, 2007.
[12] M. Livio, The Golden Ratio: The Story of Phi, the World's most Astonishing Number, Browdway Books, New York, 2002.
[13] B. Mandelbrot, The Fractal Geometry of Nature W. H. Freeman & Co., New York, 1983.
[14] B. Mandelbrot, C. Evertsz, and M. Gutzwiller, Fractals and Chaos: The Mandelbrot set and Beyond, Springer-Verlag, New York, 2004.
[15] H.O. Peitgen, H. Jürgens, and D. Saupe, Chaos and Fractals: New Frontiers of Science, Springer, New York, 2004.
[16] M. Ronan, Symmetry and the Monster: The Story of One of the Greatest Quests of Mathematics, Oxford University Press, 2006.
[17] K. Weierstras, Uber continuirliche Functionen eines reellen Arguments, die fur keinen Werth des letzteren einen bestimmten Differential-quotienten besitzen, Mathematische Werke,71-74, 1872.

# علم الرياضيات في عهد الخلافة الأموية بالأندلس (316-422هـ/928-1031م)

## الجزء 1: عوامل الازدهار

مرزاق بومداح
عضو بمخبر التاريخ والحضارة والجغرافيا التطبيقية، المدرسة العليا للأساتذة، بوزريعة
أستاذ بقسم التاريخ والجغرافيا، المدرسة العليا للأساتذة، بوزريعة
merzak.boumedah@ensb.dz

### مقدمة

برزت الأندلس كقطب حضاري منذ أن أصبحت تابعة للدولة الإسلامية الناشئة، وساهمت هذه البلاد في ازدهار الحضارة العربية الإسلامية خلال العصور الوسطى، بل وكانت في تلك الفترة إحدى أهم قنوات التواصل الحضاري بين العالم الإسلامي وأوروبا الغربية الغارقة آنذاك في عصور الجهل والظلمات. وشهدت الأندلس خلال عهد الخلافة الأموية نهضة علمية كبيرة شملت مختلف المجالات، سواءً في العلوم الشرعية كالتفسير والحديث والفقه، أو العلوم الإنسانية كالأدب والتاريخ، أو العلوم الدقيقة والتطبيقية كالرياضيات والفلك والطب، وغيرها من العلوم السائدة آنذاك.

يسعى هذا المقال إلى تسليط الضوء على المكانة الرفيعة التي تبوأها علم الرياضيات في المجتمع الأندلسي خلال عصر الخلافة الأموية، مع ذكر أهم العوامل التي ساهمت في ازدهاره.

### 1. الأوضاع السياسية للأندلس من الفتح الإسلامي إلى عهد الخلافة الأموية

كانت الأندلس قبيل الفتح الإسلامي خاضعة لحكم القوط الغربيين، منذ بداية القرن الخامس الميلادي، واستمر هذا الوضع حتى عهد الخليفة الأموي الوليد بن عبد الملك (86-96هـ/705-715م) الذي عيّن موسى بن نصير واليًا على بلاد المغرب الإسلامي. قام موسى بن نصير بإرسال القائد طارق بن زياد في سنة 92هـ/711م، حيث عبر بقواته المضيق الذي عُرف لاحقًا باسمه، ودخل إلى بلاد الأندلس. هناك وقعت معركة وادي لَكّة، التي انتهت بانتصار الجيش الإسلامي على القوط بقيادة لذريق (Roderic).

عقب ذلك، عبر موسى بن نصير بقواته إلى بلاد الأندلس، وتم إخضاع كامل شبه الجزيرة الإيبيرية لحكم المسلمين، باستثناء منطقة صغيرة جدًا في الشمال الغربي. وبعد فتح بلاد الأندلس، عُيّن عبد العزيز بن موسى بن نصير واليًا عليها، ليبدأ بذلك عهد جديد هو فترة حكم الولاة، الذين كانوا يُعيّنون من قبل والي المغرب الإسلامي بموافقة الخليفة الأموي بدمشق. استمر عصر الولاة حتى عهد يوسف بن عبد الرحمن الفهري، آخر ولاة بني أمية، والذي انتهت فترة حكمه في سنة 138هـ/756م.

انهارت الخلافة الأموية بدمشق على يد العباسيين في سنة 132هـ/750م، مما أدى إلى بداية الحكم العباسي للعالم الإسلامي، وملاحقة أمراء بني أمية في مختلف أنحاء البلاد الإسلامية. غير أن أحد الأمراء الأمويين، وهو عبد الرحمن بن معاوية بن هشام بن عبد الملك، استطاع الفرار من قبضة العباسيين والتوجه نحو بلاد المغرب الأقصى، ثم عبر إلى الأندلس، حيث تمكن، بفضل دعم القبائل اليمنية، من الاستيلاء على الحكم في سنة 138هـ/756م، ليبدأ عهد الدولة الأموية بالأندلس. يمكننا تقسيم هذا العهد إلى فترتين رئيسيتين:

- الفترة الأولى هي عصر الإمارة الأموية بالأندلس، والتي تبدأ من سنة 138هـ/756م، تاريخ دخول عبد الرحمن الداخل إلى بلاد الأندلس، وتستمر إلى سنة 316هـ/928م.
- أما الفترة الثانية فهي عصر الخلافة الأموية بالأندلس والتي بدأت في سنة 316هـ/928م، عندما أعلن عبد الرحمن الناصر (عبد الرحمن الثالث) نفسه خليفة للمسلمين، وقد استمرت هذه الفترة حتى سنة 422هـ/1031م، تاريخ إعلان سقوط الخلافة الأموية بالأندلس وبداية عصر ملوك الطوائف.

من الجدير بالذكر التفريق بين الخلافة الأموية التي نشأت في المشرق الإسلامي سنة 41هـ/661م، واتخذ خلفاؤها من دمشق عاصمةً لدولتهم، وكان أول ملوكها معاوية بن أبي سفيان رضي الله عنه، وآخرهم مروان بن محمد الذي انهزم أمام العباسيين في معركة الزاب في سنة 132هـ/750م. امتدت حدود الدولة الأموية من الصين شرقًا إلى طنجة وبلاد الأندلس غربًا. وكانت الأندلس إحدى ولايات الخلافة الأموية العظيمة. وفي المقابل نشأت الدولة الأموية (الإمارة والخلافة) في الأندلس على يد عبد الرحمن الداخل، المعروف بلقب صقر قريش، في سنة 138هـ/756م، واتخذت قرطبة عاصمةً لها، واستمرت هذه الدولة حتى سنة 422هـ/1031م **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

## 2. مكانة علم الرياضيات في عهد الخلافة الأموية بالأندلس

لم يكن للدولة القوطية (415-711م) قبل فتح المسلمين لشبه الجزيرة الإيبيرية (إسبانيا والبرتغال) على يد المسلمين اهتمام كبير في ميدان علم الرياضيات، حيث كان الاهتمام بهذا العلم في العصر القديم محدودا، وربما كان اعتمادهم على العلوم المنحدرة عن الفترة المتأخرة للإمبراطورية الرومانية، وتم الإبقاء على تلك الممارسات المحلية فترة من الزمن بعد الفتح الإسلامي، وهذا لانشغال الفاتحين بتوطيد أركان الدولة، والبناء والتعمير، وإخماد الكثير من الثورات الداخلية، وغير ذلك من الأمور. وقد بدأ الاهتمام بعلم الرياضيات بشكل كبير في عصر الخلافة الأموية، ولم يُعرف، حسب ما توافر من مصادر، أن أحدًا من القوط الغربيين برز أو اشتغل بعلم الرياضيات. ومع دخول المسلمين لبلاد الأندلس، بدأ الاهتمام بعلم الرياضيات، خاصة لما يتضمنه من علمي الحساب والهندسة.

وقد عرّف ابن خلدون علم الحساب بقوله: "هي صناعة علمية في حساب الأعداد بالضم والتفريق. فالضم يكون في الأعداد بالأفراد وهو الجمع. وبالتضعيف تضاعف عددًا بآحاد عدد آخر وهذا هو الضرب والتفريق أيضًا يكون في الأعداد إما بالإفراد مثل إزالة عدد من عدد ومعرفة الباقي وهو الطرح أو تفصيل عدد بأجزاء متساوية تكون عدتها محصلة وهو القسمة. وسواء كان هذا الضم والتفريق في الصحيح من العدد أو الكسر. ومعنى الكسر نسبة عدد إلى عدد وتلك النسبة تسمى كسرًا. وكذلك يكون بالضم والتفريق في الجذور ومعناها العدد الذي يضرب في مثله فيكون منه العدد المربع. فإن تلك الجذور أيضا يدخلها الضم والتفريق وهذه الصناعة حادثة احتيج إليها للحساب في المعاملات وألّف الناس فيها كثيرًا وتداولوها في الأمصار بالتعليم للولدان". وعرّف سعد الخثلان علم الحساب بقوله: "قواعد وأصول يُتوصل بها إلى استخراج المجهولات العددية، كالجمع والطرح والضرب والقسمة".

احتاج مسلمو الأندلس[1] إلى علم الحساب في ميدان الفرائض لمعرفة تأصيل المسائل وتصحيحها، وتحديد كيفية تقسيم التركات بالطريقة الصحيحة، لذا، كان من الضروري لمن أراد تعلم الفرائض وإتقانها أن يتعلم الحساب، بما في ذلك تحليل الأعداد وتركيبها، ومعرفة التعامل مع الكسور. ومن أهم مباحث الحساب التي يحتاجها المتخصص في

[1] خصصنا القول بمسلمي الأندلس من باب التمثيل لا الحصر، ولأن الدراسة متعلقة بهم، وإلا فإن علم الرياضيات يحتاج إليه كل المسلمين في كافة بقاع الأرض، وحتى غير المسلمين يحتاجون إليه في مختلف معاملاتهم اليومية.

الفرائض هي معرفة النسب الأربع، حيث يتوقف عليها التأصيل والتصحيح، وتقسيم التركات، كما تُستخدم في بعض أبواب المواريث مثل مسائل المناسخات، والحمل، والمفقود، والخنثى والخنثى المشكل، والغرقى، والرد، وذوي الأرحام.

تشمل هذه النسب الأربع:

- المماثلة: وتعني تساوي العددين أو الأعداد في المقدار، مثل (2، 2)، (3، 3).
- المداخلة: ويقصد بها انقسام أكبر العددين على أصغرهما بلا كسر، مثل (4، 2)، (8، 4).
- المباينة: وتعني ألا يُقسم أحد العددين على الآخر، ولا ينقسمان على عدد آخر، لأنه ليس بينهما اشتراك، مثال ذلك (2، 3)، (5، 7).
- الموافقة: أن يتفق العددان في القسمة على عدد آخر سوى الواحد، ولا ينقسم الأكبر على الأصغر إلا بكسر، مثل: (4، 6) ينقسمان على عدد آخر هو 2، فيكون هو محل الاتفاق. مثال آخر على ذلك: (8، 20) ينقسمان على عدد آخر هو 4، فيكون هو محل الانفاق.

وأهمية علم الحساب دفعت بعلماء الفرائض إلى اعتباره جزءًا أساسيًا من علم الفرائض، الذي هو العلم بفقه المواريث وحسابها.

بالإضافة إلى ذلك، احتاج مسلمو الأندلس إلى علم الحساب لتحديد مواقيت الصلاة والصيام والحج، ولحساب مقادير الزكاة، والأعوام والشهور والأيام، وكذلك في تقسيم الغنائم، وحساب آجال الديون والإجارات[2]. كما كان التجار بحاجة إلى علم الحساب في تعاملاتهم التجارية والمالية. واحتاج إليه الحاكم أو السلطان لمعرفة عدد جيوشه، ولصرف مرتبات العمال والولاة في مختلف الأقاليم، مما أدى إلى إنشاء عدة دواوين مثل ديوان الجند والخراج. كما كان علم الحساب ضروريًا لتحديد المسافات بين الأقاليم والبلدان.

عرّف ابن خلدون علم الهندسة بقوله: "هذا العلم هو النظر في المقادير إما المتصلة كالخط والسطح والجسم وإما المنفصلة كالأعداد وفيما يعرض لها من العوارض الذاتية. مثل أن كل مثلث فزواياه مثل قائمتين. ومثل أن كل خطين متوازيين لا يلتقيان في وجه ولو خرجا إلى غير نهاية. ومثل أن كل خطين متقاطعين فالزاويتان المتقابلتان منهما متساويتان. ومثل أن الأربعة مقادير المتناسبة ضرب الأول منها في الثالث كضرب الثاني في الرابع وأمثال ذلك". أما القنوجي فيذكر لنا تعريفًا للهندسة بقوله: "علم يُعرف منه أحوال المقادير ولواحقها وأوضاع بعضها عند بعض ونسبتها وخواص أشكالها والطرق إلى عمل ما سبيله أن يعمل بها واستخراج ما يحتاج إلى استخراجه بالبراهين اليقينية."

واحتاج المسلمون إلى علم الهندسة لأهميته ومنافعه الكثيرة، وفي ذلك يقول ابن خلدون: "واعلم أن الهندسة تفيد صاحبها إضاءة في عقله واستقامة في فكره لأن براهينها كلها بينة الانتظام جلية الترتيب لا يكاد الغلط يدخل أقيستها لترتيبها وانتظامها فيبعد الفكر بممارستها عن الخطأ وينشأ لصاحبها عقل على ذلك المهيع" (أي الطريق أو النسق). أما القنوجي فقد أشار إلى فوائد علم الهندسة بقوله: "ومنفعته الاطلاع على الأحوال المذكورة من الموجودات وأن يكسب

---

[2] الإجارات: جمع إجارة وقد عرفها فقهاء المالكية بقولهم:" الإيجار: تمليك منافع شيء مباحة مدة معلومة بعوض". وقال الكشناوي:" ومثلها الكراء، لأن الإجارة والكراء شيء واحد، وإنما اختلفا في التسمية عرفا، فالإجارة هي التعاقد على منفعة الآدمي وبعض المنقولات كالأثاث، وفي بعضها تسمى بالكراء خاصة كمنفعة الحيوان وجميع الأشياء الثابتة كالدور والأراضي وغيرها فإن العقد على منافعها يسمى كراء على معنى الإجارة، وبالعكس عرفا، ولذلك كانت الإجارة والكراء في معنى واحد". ولا بد عند عقد الايجار أو الكراء من تحديد مدة الإيجار أو الكراء الذي يكون بزمن معلوم وثمن معلوم، وهذا يعتمد على علم الحساب. انظر:

محمد بن عرفة، حاشية الدسوقي على الشرح الكبير، دار الفكر، بيروت، د. ت. ط؛ ج4، ص2؛

أبو بكر بن حسن الكشناوي، أسهل المدارك شرح إرشاد السالك في مذهب إمام الأئمة مالك، ط2، دار الفكر، بيروت، د. ت. ط، ج2، ص321.

الذهن حدة ونفاذًا ويروض بها الفكر رياضة قوية لما اتفقوا على أن أقوى العلوم (يعني العلوم التجريبية) برهانًا هي العلوم الهندسية".

واستخدم مسلمو الأندلس علم الهندسة في ميدان البناء والعمارة، حيث اعتمدوا على هذا العلم في مسح الأراضي وفي بناء المنشآت الضخمة، ومن أبرزها مدينة الزهراء التي تبعد عن قرطبة أربعة أميال. شُرع في بنائها في عهد الخليفة الأموي عبد الرحمن الناصر في سنة 325هـ/937م، واستمرت أعمال البناء لمدة ستة عشر عامًا، وأُنفق في عمارتها الأموال الكثيرة، وجُلب إليها الرخام من كافة أقطار البلاد.

كما ازدهرت تقنيات الهندسة الميكانيكية في العالم الإسلامي، بما في ذلك الأندلس، منذ القرن الثالث الهجري/التاسع الميلادي، واستمر عطاء المسلمين فيها حتى القرن العاشر الهجري/السادس عشر الميلادي. عُرفت هذه التقنيات عند المسلمين باسم "الحيل النافعة"، وهي آلات وتجهيزات تعتمد على حركة الهواء (الإيروديناميكا)، أو حركة السوائل وتوازنها (الهيدروديناميكا والهيدروستاتيكا). ويُمثل علم "الحيل النافعة" الجانب التقني المتقدم في علوم الحضارة الإسلامية، إذ كان المهندسون والتقنيون يوظفون معارفهم النظرية لتطبيقات تخدم الدين وتعزز المدنية والعمران. وقد جعلوا الغاية من هذا العلم هو: "الحصول على الفعل الكبير من الجهد اليسير"، ويقصد به استعمال الحيلة مكان القوة، والعقل مكان العضلات، والآلة عوضًا عن البدن. وقد قسّم محمد بن أحمد الخوارزمي، في "مفاتيح العلوم"، الحيل إلى فرعين: الأول هو جر الأثقال بالقوة اليسيرة وآلاته، والثاني يشمل حيل حركات الماء وصنعة الأواني العجيبة وما يتصل بها من صناعة الآلات المتحركة بذاتها.

## 3. عوامل ازدهار علم الرياضيات في عهد الخلافة الأموية

ساهمت عدة عوامل في ازدهار علم الرياضيات، ومن أبرز هذه العوامل نذكر ما يلي:

### أ-اهتمام الخلفاء الأمويين بعلم الرياضيات

اهتم خلفاء بني أمية بعلم الرياضيات، وأولوه كامل الرعاية والتشجيع، حيث جلبوا من العراق ومصر أهم الكتب الأساسية في هذا المجال، قديمة وحديثة. ويُعد عصر الخليفة الأموي عبد الرحمن الناصر (316-350هـ/928-961م) بداية مجيدة لعصر عظيم ازدهرت فيه العلوم بمختلف أنواعها، ومنها علم الرياضيات، فانصرف العلماء إلى تحصيل العلم وتصنيف الكتب في مختلف المجالات. ولا شك أن العديد من الكتب التي أُلّفت في عهده تعكس المناخ الخصب الذي ساد في ذلك العصر، ما ساهم في تطور وإثمار الإنجازات العلمية. أصبحت قرطبة، دار الخلافة، مركزًا علميًا وثقافيًا استقطب العلماء من أقاصي البلاد، مما يدل على عظمة ذلك العصر ومدى ما حققه الأندلسيون من نشاط علمي كبير.

وقد واصل ابنه الحكم المستنصر بالله (350-366هـ/961-977م) اهتمامه بالعلم والعلماء بعد توليه منصب الخلافة. وانعكس إقبال الحكم المستنصر بالله على دراسة مختلف أنواع العلوم ومجالسته للعلماء على تكوين شخصيته، إذ عُرف بشغفه بالمطالعة وكان دائم النظر في الكتب، ولذلك وصفه المؤرخون بأنه كان عالمًا وأقواله كانت حجة لدى العلماء. أسهم الحكم المستنصر بالله في دفع الحركة العلمية عبر تقريب أولي العلم والمعرفة وإكرامهم وتهيئة المناخ الملائم ليتفرغ هؤلاء للعلم والبحث العلمي في شتى حقول المعرفة. فنتج عن ذلك ازدياد عدد العلماء وكثرة المؤلفات، وبرز في علم الرياضيات مسلمة بن أحمد المجريطي، وابن السمح، وأبو الحسن علي بن سليمان الزهراوي ، وغيرهم كثير.

### ب-الرحلات العلمية

كان للرحلات العلمية، سواء نحو بلاد المغرب أو المشرق الإسلامي، أثر هام في ازدهار علم الرياضيات. بدأ الأندلسيون رحلاتهم العلمية طلبًا للعلوم الشرعية، متجهين إلى المدينة المنورة باعتبارها مركز العلم والمنبع الأصيل لهذه العلوم. ولما اتسعت دائرة الاشتغال بالعلوم الأخرى كالرياضيات والفلك والطب، اتجه بعض علماء الأندلس نحو بغداد، التي كانت مركزًا بارزًا للعلوم ومحور نشاطها في ذلك العصر. وكانت الرحلة تبدأ من الأندلس نحو بلاد المغرب الأقصى، ومنها إلى القيروان، التي كانت مركزًا علميًا نشطًا، ثم إلى الفسطاط ومنها إلى القاهرة بعد بنائها. ومن مصر تتشعب أفواج علماء الأندلس لتكون في اتجاهين: الأول نحو بلاد الحجاز لمن يريد طلب العلوم الشرعية، والثاني نحو العراق لمن يرغب دراسة العلوم الأخرى، ومنها علم الرياضيات. فكان الأندلسيون يعودون إلى بلادهم يحملون معهم ما اكتسبوه من علوم ومعارف رياضية، لينقلوها إلى تلاميذهم ويسهموا في نشرها ببلادهم.

كان لوفود العلماء المشارقة إلى الأندلس أثر بارز في نشاط العلوم الرياضية وتطورها، بما كان يحمله أولئك العلماء من ألوان المعرفة، وضروب التآليف العلمية. وقد أشار المقري إلى كثرة الوافدين من علماء المشرق الإسلامي إلى بلاد الأندلس، فقال: "اعلم أن الداخلين للأندلس من المشرق قوم كثيرون لا تحصر الأعيان منهم، فضلًا عن غيرهم، ومنهم من اتخذها وطنًا، وصيرها سكنًا، إلى أن وافته منيته، ومنهم من عاد إلى المشرق بعد أن قضيت بالأندلس أمنيته".

ومن أشهر هؤلاء الرحالة نذكر ما يلي:

- رحلة **محمد بن أصبغ بن لبيب** (ت. 327هـ/939م): من مدينة إِسْتِجَة، وكان بصيرًا بالفرائض والحساب. رحل إلى المشرق الإسلامي، وأخذ العلم عن شيوخه، ومن أبرزهم أبو جعفر العقيلي وأبو سعيد بن الأعرابي.
- **محمد بن عبدون الجبلي العذري** (ت. 361هـ/972م): من أهل قرطبة، رحل في سنة 347هـ/958م إلى مصر والبصرة، وأخذ عن علمائها، ثم عاد إلى بلاد الأندلس في سنة 360هـ/971م. كان من علماء الحساب، وله رسالة في التكسير.

### ج-دخول كتب الرياضيات إلى بلاد الأندلس عن طريق العلماء والتجار

ساهم التجار في عملية انتقال كتب الرياضيات من المشرق الإسلامي إلى الأندلس، حيث فتحت الأندلس أبوابها أمام التجار المشارقة منذ عهد الإمارة الأموية، وخاصة في عهد الأمير الأموي عبد الرحمن الأوسط (176-238هـ/792-852م). كان هؤلاء التجار ينقلون إلى جانب السلع والبضائع كتبًا علمية، ومن بينها كتب الرياضيات. ومن أبرز هؤلاء التجار يُذكر محمد بن موسى الرازي (ت. 273هـ/887م). وواصل التجار بعده عملية نقل كتب الرياضيات من المشرق الإسلامي إلى الأندلس، لا سيما خلال فترة الخلافة الأموية، حيث كانت هذه الكتب تباع في أسواق الأندلس، ويقتنيها العلماء ليستفيدوا منها في تعزيز نشاطهم العلمي.

وقد رحل بعض العلماء إلى المشرق الإسلامي، وجمعوا بعض الكتب أثناء وجودهم هناك، وعادوا بها إلى بلاد الأندلس، ومن بينهم عبد الملك بن حبيب (ت. 239هـ/854م). ونتيجة لهذا الحرص الشديد على اقتناء كتب الرياضيات ونسخها بعد ذلك على نطاق واسع، أقبل الناس عليها علمًا وتعليمًا، مما أدى إلى ازدهار الحياة العلمية في الأندلس، وبرز فيها علماء كبار في علم الرياضيات تركوا آثارًا خالدة في تاريخ الحضارة الإسلامية.

ومن أبرز كتب الرياضيات التي وصلت إلى الأندلس ما يلي:

- كتاب الأصول الهندسية لأُقليدس (Euclid)، وهو أهم الكتب المترجمة عن الإغريق في الرياضيات. وصل هذا الكتاب إلى قرطبة في القرن 4هـ/10م، وحظي باهتمام كبير من قِبل العلماء الأندلسيون كما كان الحال في المشرق، فكتبوا حوله شروحات ومختصرات عديدة.

- كتاب في الشكل القطاع لثابت بن قرة الحراني (ت. 288هـ/901م)، الذي وصل إلى قرطبة، وقد كتب عنه أبو القاسم المجريطي، كما يذكر بروكلمان، عدة دراسات.
- كتاب الحساب الهندي للخوارزمي الذي صاحب دخوله إلى بلاد الأندلس دخول الأرقام الهندية التي ما لبثت أن انتقلت إلى أوروبا. مع العلم أن الخوارزمي يذكر لنا شكلين للأرقام الهندية التي كان يكتبهما العرب، بقي أحدهما المعروف بالأرقام الهندية، وهو الذي ساد في بلاد المشرق الإسلامي، بينما اندثر الشكل الآخر المعروف بالأرقام الغبارية الذي ساد في بلاد المغرب الإسلامي، ومنها انتقل إلى أوروبا، وهو أصل الأرقام العربية الآن.

### د-تدريس العلوم الرياضية في الجوامع والمساجد

أصبحت العلوم الرياضية في عصر الخلافة الأموية بالأندلس تُدرس في الجوامع والمساجد جنبا إلى جنب مع العلوم الدينية والأدبية واللغوية، فكانت قرطبة عاصمة الخلافة والكثير من المدن الأندلسية تعج بعلماء الرياضيات الذين انصرفوا إلى تدريس تلك العلوم في جوامعها، وبثها بين طلبة العلم، ومن أمثلة ذلك العالم الرياضي الشهير أحمد بن محمد الأنصاري الذي كان ضليعا في علم الرياضيات، وذكره ابن صاعد (ت. 462هـ/1070م) في كتابه طبقات الأمم بأنه كان مقدما في علم العدد والهندسة[3]، وكان يجلس في جامع قرطبة في عصر الخليفة الحكم المستنصر بالله، وقد شهد له أستاذه مسلمة المجريطي بالتفوق الكبير في الهندسة والعلوم الرياضية.

وتجدر الإشارة إلى أنه قد ظهرت بقرطبة مدرسة علمية بارزة في علم الرياضيات، وكان لها أثر بالغ في تنشيط العلوم الرياضية وتخريج العديد من العلماء البارزين في هذا المجال. وقد أسس هذه مدرسة العالِم مسلمة بن أحمد المجريطي (ت. 398هـ/1007م).

### هـ-انتشار المكتبات العامة والخاصة في كافة ربوع بلاد الأندلس

كان للأندلسيين في عهد الخلافة الأموية شغف كبير باقتناء الكتب، فكانوا يسعون إلى تزيين منازلهم بخزائن الكتب للحصول على مكانة مرموقة بين الناس وإظهار حبهم للمعرفة وأهل العلم. وبرزت مدن عديدة كمراكز لانتشار المكتبات بأعداد كبيرة، من أبرزها قرطبة عاصمة الخلافة الأموية في الأندلس، إضافة إلى مدن أخرى مثل إشبيلية، وطليطلة، ومرسية، وغرناطة. ويُذكر أن مدينة غرناطة وحدها كانت تضم سبعين مكتبة عامة، عدا المكتبات الخاصة.

أما الخليفة الحكم المستنصر، فقد كان شغفه بالكتب عظيمًا وواسعًا ويشمل شتى صنوف العلم والمعرفة؛ فقام بجلب عيون التآليف النفيسة والمصنفات العربية، من بغداد ومصر والشام وغيرها من ديار المشرق، مما شجع الناس على دراسة علوم الأوائل كالرياضيات والفلك. وقد أسس الحكم مكتبة ضخمة، بلغ عدد كتبها، وفقًا لما أورده المقري، حوالي أربعمائة ألف مجلد.

### خاتمة

نستنتج مما سبق أن علم الرياضيات بشقيه، الحساب والهندسة، قد نال نصيبًا كبيرًا من الاهتمام والرعاية في عهد الخلافة الأموية بالأندلس، نظرًا لحاجة المسلمين إليه سواء في أداء عباداتهم، كمعرفة مواقيت الصلاة والصيام

---

[3] انظر:

صاعد بن أحمد بن صاعد، طبقات الأمم، نشره وذيله بالحواشي: لويس شيخو اليسوعي، المطبعة الكاثوليكية، بيروت، 1912م، ص68؛

محمد بن الأبار، التكملة لكتاب الصلة، دار الفكر للطباعة، بيروت، 1415هـ/1995م، ج1، ص17.

والحج وحساب مقادير الزكاة، أو في معاملاتهم التجارية أو المالية. وقد ساهمت عدة عوامل في ازدهار علم الرياضيات في الأندلس، مما أدى إلى بروز العديد من العلماء في هذا المجال، وهذا ما ستنطرق إليه في مقالنا القادم إن شاء الله تعالى.

(للبحث صلة)

## المصادر والمراجع


[1] محمد بن الأبار، التكملة لكتاب الصلة، دار الفكر للطباعة، بيروت-لبنان، 1415هـ/1995م.

[2] محمد بن عرفة، حاشية الدسوقي على الشرح الكبير، دار الفكر، بيروت-لبنان، د. ت. ط.

[3] ابن القوطية، تاريخ افتتاح الأندلس، تحقيق: إبراهيم الأبياري، ط2، دار الكتاب المصري، القاهرة-مصر1410هـ/1989م.

[4] ابن خلدون عبد الرحمن، ديوان المبتدأ والخبر في تاريخ العرب والبربر ومن عاصرهم من ذوي الشأن الأكبر، ط1، دار الفكر، بيروت-لبنان، 1401هـ/1981م.

[5] المقري أحمد بن محمد، فح الطيب من غصن الأندلس الرطيب، وذكر وزيرها لسان الدين بن الخطيب، تحقيق: إحسان عباس، دار صادر، بيروت-لبنان، 1997م.

[6] ابن صاعد صاعد بن أحمد، طبقات الأمم، طبقات الأمم، نشره وذيله بالحواشي: لويس شيخو اليسوعي، المطبعة الكاثوليكية، بيروت، 1912م.

[7] ابن شاكر بنو موسى، كتاب الحيل، تحقيق: أحمد يوسف الحن وآخران، جامعة حلب، معهد التراث العلمي العربي، حلب-سوريا، 1981م.

[8] الحموي ياقوت، معجم البلدان، ط2، دار صادر، بيروت-لبنان، 1995م.

[9] الجيوسي سلمى الخضراء، الحضارة العربية الإسلامية في الأندلس، ط1، مركز دراسات الوحدة العربية في الأندلس، بيروت-لبنان، 1998م.

[10] عنان محمد عبد الله، دولة الإسلام في الأندلس، ط2، مكتبة الخانجي، القاهرة-مصر، 1411هـ/1990م.

[11] البشري سعد عبد الله، الحياة العلمية في عصر الخلافة الأموية (316-422هـ/928-1030م)، فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر، مكة المكرمة-المملكة العربية السعودية، 1417هـ/1997م.

[12] طوقان قدري حافظ، تراث العرب العلمي في الرياضيات والفلك، دار الكتب المصرية، مصر، 2018م.

[13] طاير حسين، علم الحساب وأثره في بروز الأندلس كقطب حضاري أبو الحسن علي بن محمد القلصادي (ت. 891هـ/1486م)، حوليات التاريخ والجغرافيا، المجلد: 08، العدد: 02، 2019م.

[14] القنوجي محمد صديق خان، أبجد العلوم، ط1، دار ابن حزم، بيروت-لبنان، 1423هـ/2002م.

[15] الخثلان سعد بن تركي، تسهيل حساب الفرائض، ط4، دار التدمرية، 1439هـ/2018م.

[16] السرجاني راغب، الهندسة في الحضارة الإسلامية، تاريخ المشاهدة: 2024/10/27، تاريخ نشر المقال: 2011/10/06م، الموقع الإلكتروني: https://www.islamweb.net/ar/article/171695

# شخصية العدد

# عرض الكتاب

عرض كتاب

# 21 درسًا للقرن الحادي والعشرين

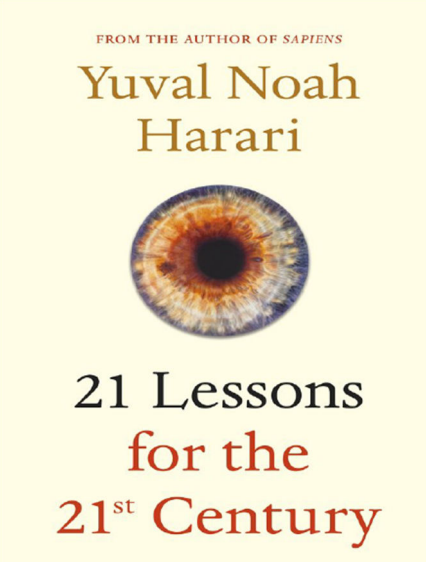
# 21 Lessons for the 21st Century

تأليف: يوفال نوح هراري Yuval Noah Harari

عرض: أبو بكر خالد سعد الله

أستاذ بقسم الرياضيات، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

khaled.sadallah@g.ens-kouba.dz




الطبعة 1: صادرة عن دار Spiegel & Grau، نيويورك، 2018

## 1. مقدمة

صاحب هذا الكتاب هو الأستاذ يوفال نوح هراري المولود عام 1976 في ضواحي حيفا بفلسطين المحتلة، وأصل عائلته اليهودية من لبنان وأوروبا الشرقية. يعمل حاليا في الجامعة العبرية بالقدس كأستاذ لمادة التاريخ. ونال شهادة الدكتوراه من جامعة أكسفورد البريطانية حيث اختص في تاريخ العصور الوسطى والتاريخ العسكري. ألف هراري عدة كتب (بالإنكليزية) كانت الأكثر مبيعا في العالم، تُرجم بعضها إلى أزيد من 30 لغة عالمية، منها اللغة العربية. له معتقدات بوذيّة بعيدة عن الأديان السماوية التي لا يؤمن بها حسب ما يُقرأ عنه. وجاءت أغلب هذه الكتب تدعو إلى التأمل في الماضي وفي مستقبل البشرية. وبطبيعة الحال، لا يمكن أن يتّفق القارئ مع كثير مما جاء في الكتاب، ومع ذلك فهناك من الأفكار والرؤى المستقبلية في الكتاب ما هو جدير بالتعمق فيها فهي تدعونا إلى التأمل لمحاولة تصور جوانب مما سيحلّ بنا وبالعالم مستقبلا. ومن هذا الباب اخترنا عرض هذا المؤلّف في هذا العدد.

كيف يمكننا حماية أنفسنا من حرب نووية، ومن الكوارث البيئية، والاضطرابات الناجمة عن التطور التكنولوجي؟ ماذا يمكننا أن نفعل حيال وباء الأخبار الزائفة؟ وماذا ينبغي أن نعلّم أطفالنا؟ هل لا نزال قادرين على فهم العالم الذي أنشأناه من حولنا؟ تلك هي أبرز الأسئلة والقضايا التي يخوض فيها الكاتب.

### 2. المعلومات الغثة

يستهل الكاتب كلامه بالتأكيد على أن العالم مليء بالمعلومات الغثّة والغامضة والكاذبة، ولذا ينبغي البحث عن الوضوح وحقائق الأمور. فمن الناحية النظرية، يمكن لأي شخص أن يشارك في النقاش حول مستقبل البشرية، ولكنه ليس من السهل بلوغ وضوح الرؤية والتمسك بها. إننا لا ندرك في كثير من الأحيان أننا لا نلّم بالقضايا التي تعدّ أساسية. ثم إن أغلب الناس لا يملكون القدرة على التحقق من المعلومات الواردة عليهم لأن لديهم من المشاكل الملحّة اليومية ما يحول دون ذلك: الالتحاق بأماكن عملهم، رعاية أطفالهم، رعاية أوليائهم المسنين. وللأسف، فالتاريخ لا يرحم: إذا حسم تاريخ البشرية قراره أثناء غيابك -لأنك منشغل بأمورك الخاصة وبذويك- فلا مهرب لك ولهم من تحملّ تداعيات تلك القرارات. إن في ذلك ظلما كبيرا، لكن من قال إن التاريخ عادل؟

لم يهتم الكاتب بالسرد التاريخي لقضايا عاشتها وتعيشها المجتمعات، بل فضّل اختيار دروس وعبر. وهذه الدروس لا ينهيها بإجابات بسيطة، بل المراد منها هو تحفيز التفكير ومساعدة القرّاء على المشاركة في بعض الحوارات الكبرى الراهنة. وفي هذا السياق، يصرّح الكاتب أن مضمون العديد من فصول الكتاب جاء استجابة لأسئلة طُرحت عليه من قبل قرائه والصحفيين وبعض الزملاء. وقد نُشرت قبل صدور الكتاب أجزاءٌ منه في صيغ مختلفة، مما أتاح للمؤلف فرصة تلقي التعليقات وصقل حججه.

تتناول فصول الكتاب موضوع التكنولوجيا، وكذا السياسة، والدين، والفن، وحكمة الإنسان مرورا بحماقاته. والمسألة الجوهرية في كامل فصول الكتاب هي: ماذا يحدث في العالم الحالي، وما المعنى العميق لتلك الأحداث؟ وفي هذا السياق، يطرح الكتاب عديد الأسئلة من صميم واقعنا مثل:"ماذا نفعل لمواجهة تلوث بيئتنا بالأخبار الزائفة؟ هل هناك عودة إلى الدين؟ أي حضارة تهيمن على العالم (الغرب، الصين، الإسلام)؟ هل ينبغي على أوروبا أن تُبقي أبوابها مفتوحة أمام المهاجرين؟ هل يمكن للقومية أن تحلّ مشكلة التغيّر المناخي ومشكلة عدم المساواة بين البشر؟ ".

### 3. محتويات الكتاب

جاء الكتاب في نحو 340 صفحة تضمنت 5 أقسام وزّعت فيها الفصول الواحد والعشرين، كل فصل يحمل درسًا للقرن الحادي والعشرين. ها هو توزيع هذه الفصول:

| | |
|---|---|
| **القسم الأول: التحدي التكنولوجي** | 11. الحرب: لا تستهن أبدًا بحماقة البشر |
| 1. خيبة الأمل: تأجيل نهاية التاريخ | 12. التواضع: أنت لست محور العالم |
| 2. العمل: عندما تكبر، قد لا تجد وظيفة | 13. الله: لا تنطق باسم الله عبثًا |
| 3. الحرية: البيانات الضخمة Big Data تراقبك | 14. العلمانية: اعترف بظلك |
| 4. المساواة: من يملك البيانات يملك المستقبل | **القسم الرابع: الحقيقة** |
| **القسم الثاني: التحدي السياسي** | 15. الجهل: أنت تعرف أقل مما تظن |
| 5. المجتمع: البشر لديهم أجساد | 16. العدالة: إحساسنا بالعدالة قد يكون متقادمًا |
| 6. الحضارة: في العالم، هناك حضارة واحدة فقط | 17. ما بعد الحقيقة: بعض الأخبار الكاذبة تدوم إلى الأبد |
| 7. القومية: المشاكل العالمية تحتاج إلى حلول عالمية | 18. الخيال العلمي: المستقبل ليس كما تراه في الأفلام |
| 8. الدين: الخالق يخدم الأمّة الآن | **القسم الخامس: الصمود** |
| 9. الهجرة: بعض الثقافات قد تكون أفضل من غيرها | 19. التعليم: التغيير هو الثابت الوحيد |
| **القسم الثالث: اليأس والأمل** | 20. المعنَى: الحياة ليست قصة |
| 10. الإرهاب: لا تفزع | 21. التأمّل: راقب فقط |

### 4. على علماء الاجتماع دقّ ناقوس الخطر

صرح المؤلف بخصوص التكنولوجيا أنه لا يهدف في كتابه إلى تغطية جميع تأثيرات التكنولوجيات الجديدة رغم أن التكنولوجيا تَعِد بالكثير، بل هدفه هو تسليط الضوء على التهديدات والمخاطر. وبما أن الشركات والمبتكرين الذين يقودون الثورة التكنولوجية يميلون بطبيعتهم إلى التغنّي بإنجازاتهم، فإن من واجب علماء الاجتماع والفلاسفة والمؤرخين دق ناقوس الخطر وشرح الطرق التي قد تسوء بها الأمور بشكل مروّع.

وهنا يلاحظ أن العولمة تُخضِع سلوكنا وأخلاقنا الشخصية لضغوط غير مسبوقة. فكل واحد منا يجد نفسه عالقًا في العديد من الشبكات العنكبوتية العالمية التي تقيّد حركتنا. بمعنى أن الرتابة اليومية التي نعيشها في محيطنا الضيق تؤثر على حياة الناس والحيوانات في الجانب الآخر من المعمورة. قد تؤدي التكنولوجيا المعلوماتية والتكنولوجيا البيولوجية قريبًا إلى إقصاء مليارات البشر من سوق العمل، مع تقويض الحرية والمساواة. وقد تخلق خوارزميات البيانات الضخمة (Big data) ديكتاتوريات رقمية تحتكر فيها السلطةَ كمشةٌ من الأفراد. وعندئذ سيعاني معظم الناس ليس من الاستغلال فحسب، بل من شيء أسوأ من ذلك بكثير، وهو أنهم سيصبحون عديمي الفائدة في مجتمعاتهم!

ويربط المؤلف التكنولوجيا بالجانب السياسي ويتساءل بعد استعراض التحديات التي نواجهها: هل يمكن لمهندسي فيسبوك استخدام الذكاء الاصطناعي أو الآلة لإنشاء مجتمع عالمي يحافظ على حرية الإنسان والمساواة؟ أم ينبغي علينا قلب مسار العولمة الحالية وإعادة السلطة إلى "الدولة القومية"؟ أو ربما العودة إلى الوراء بشكل أعمق، بحثًا عن الأمل والحكمة في جذور التقاليد الدينية ؟

وواصل المؤلف تحاليله للتحديات التكنولوجية غير المسبوقة ولِما ينجرّ عنها من عواقب وخلافات سياسية عميقة، فلاحظ أن البشرية رغم ذلك قادرة على الارتقاء إلى مستوى الظروف التي تعيشها إن تغلبت على مخاوفها واعتمدت مزيدًا من التواضع في مواقفها. وهنا أشار إلى مواجهة كل أشكال التهديدات على مستوى الأوطان والعالم، وإلى خطر الحروب العالمية، وكذلك التحيزات والكراهية التي تشعل هذه الصراعات.

وفي موضوع البحث عن الحقيقة ومفهومها، تساءل: كيف يمكننا فهم التطورات العالمية والتمييز بين الأفعال السيئة والعدالة. هل يستطيع الإنسان العاقل (Homo sapiens) إعطاء معنى للعالم؟ وهل هناك حدود واضحة بين الواقع والخيال؟

يتناول جزء كبير من الكتاب أوجه القصور في الرؤية الليبرالية للعالم والنظام الديمقراطي. والكاتب لا يعتبر أن الديمقراطية الليبرالية أسوأ من أنظمة الحكم الأخرى، بل يعتقد أنها النموذج السياسي الأكثر نجاحًا لمواجهة تحديات العالم الحديث. وذلك رغم أنه قد لا يكون هذا النظام مناسبًا لكل مجتمع في كل مرحلة من تطوره. بمعنى أن الديمقراطية الليبرالية أثبتت –حسب رأي الكاتب- جدارتها لدى عدد كبير المجتمعات والمواقف مقارنة مع البدائل الأخرى. ومع ذلك يؤكد المؤلف، أنه عند النظر في التحديات الجديدة التي تواجه العالم اليوم، من الضروري إدراك حدود الديمقراطية الليبرالية وكيفية تكييف مؤسساتها الحالية وتحسينها. ومن هذا المنظور يتأسف الكاتب كثيرا على المناخ السياسي الحالي ملاحظا أن أنصار هذا النظام مستعدون للحديث عن مشاكله، لكنهم لا يتحمّلون أي نقد موجّه إليهم. ومن ثمّ يصبح التفكير النقدي بشأن مستقبل جنسنا البشري أكثر خطورة.

### 5. المقاومة قبل فوات الأوان

منذ تسعينيات القرن الماضي، غيّرت شبكة الإنترنت العالم أكثر من أي عامل آخر، لكن الذين قاموا بهذه الثورة هم المهندسون وليست الأحزاب السياسية أو جهات أخرى. ولا زالت المجتمعات تحاول استيعاب ما أصابها جراء هذه الثورة،

وهي شبه عاجزة عن مواجهة الصدمات القادمة، مثل صعود الذكاء الاصطناعي وثورة ما يسمى بـ"سلسلة الكتل" (Blockchain) التي تمثل آلية متقدمة لقواعد البيانات تسمح بمشاركة المعلومات بشكل شفاف داخل شبكة أعمال. كما أن أجهزة الحاسوب جعلت النظام المالي معقدًا إلى درجة لا يمكن لمعظم البشر فهمه. ومع تطور الذكاء الاصطناعي، قد نصل قريبًا إلى مرحلة لا يتمكن فيها أي إنسان من فهم الشؤون المالية. فما تأثير ذلك على العملية السياسية؟ هل يمكن تخيّل حكومة تنتظر –قبل البتّ في أمرها- موافقة خوارزمية حسابية على ميزانيتها أو على إصلاح ضريبي جديد؟

في الوقت نفسه، قد تعيد شبكات "سلسلة الكتل" اللامركزية والعملات المشفرة مثل "البيتكوين" تشكيل النظام النقدي العالمي بالكامل، مما يجعل الإصلاحات الضريبية الجذرية أمرًا لا مفرّ منه. وعلى سبيل المثال، قد يصبح من المستحيل -أو من غير المجدي- فرض ضرائب على الدولار إذا ما توقفت معظم المعاملات عن استخدام العملات الوطنية، أو حتى النقود بوجه عام. قد تجد الحكومات نفسها مضطرة إلى ابتكار أنواع جديدة تمامًا من الضرائب، مثل فرض ضريبة على المعلومات، التي ستكون أهم أصل اقتصادي وربما الموضوع الوحيد لكثير من المعاملات. لكن هل سيتمكن النظام السياسي في العالم من حلّ هذه الأزمة؟

لقد أصبح رجل الشارع يشعر بشكل متزايد أن لا قيمة له في مجتمعه أو محيطه. والجدير بالذكر، حسب رأي المؤلف، أن هناك تفاخرا -في مؤتمرات التكنولوجيا العالية ومراكز التفكير الحكومية- باستعمال ألفاظ غامضة مثل العولمة، وسلسلة الكتل، والهندسة الوراثية، والذكاء الاصطناعي، وتعلم الآلة، مما يجعل رجل الشارع يعتقد أن كل هذه الألفاظ وما تحتويه من معان لا تعنيه شخصيًا. وهنا يذكّر الكاتب بأن الجماهير تمرّدت، خلال القرن العشرين، ضد الاستغلال وسعت إلى ترجمة دورها الاقتصادي الحيوي إلى قوة سياسية. أما اليوم، فتخشى تلك الجماهير من ألا تكون لها أيّ قيمة، وهي تتطلع لاستخدام ما تبقى لديها من قوة سياسية قبل فوات الأوان.

### 6. حول موضوع الهجرة

عندما تناول المؤلف موضوع الهجرة والاندماج في الوسط الذي هاجر إليه الإنسان، كان يضرب أحيانا مثلا بالجزائريين في فرنسا، فيقول بخصوص الهجرة: "أصل النقاش هو الفجوة الموجودة بين الجدول الزمني الشخصي والجدول الزمني الجماعي. فمن وجهة نظر المجتمعات، تعدّ فترة أربعين عامًا فترة قصير، إذ من الصعب أن نتوقع من مجتمع أن يمتصّ بالكامل مجموعات أجنبية خلال أربعة عقود". وهنا يلاحظ أن الحضارات السابقة التي استوعبت المهاجرين الأجانب وجعلتهم مواطنين متساوين مع غيرهم من المواطنين - مثل روما الإمبراطورية، والخلافة الإسلامية، والإمبراطوريات الصينية، والولايات المتحدة - حققت هذا التحوّل على مدى عدة قرون، وليس على مدى بضعة عقود.

أما إذا نظرنا لمشكل الهجرة على مستوى الفرد المهاجر فإننا ندرك أن أربعين عامًا "قد تكون مدة أبدية". بمعنى أن الطفلة المراهقة المولودة في فرنسا بعد عشرين عامًا من هجرة أهلها سترى الوضع الاندماج بصورة أخرى... "فإن الرحلة من الجزائر العاصمة إلى مرسيليا [لهؤلاء الأولياء] تندرج تحت خانة التاريخ القديم. لقد وُلدت هذه المراهقة هنا [في مرسيليا]، مثل جميع أصدقائها، وتتحدث باللغة الفرنسية بدلاً من العربية، ولم تطأ قدمها الجزائر أبدًا. ففرنسا هي الوطن الوحيد الذي عرفته. وفجأة، يأتي من الناس من يخبروها أنها ليست في وطنها وأنها من بلد لم تعش فيه أبدًا؟".

### 7. المطلوب التواضع وعدم استنقاص إسهام الغير

ركّز المؤلف على موضوع التواضع واعتراف كلّ منا بنصيب إسهام الآخر في الحضارة الإنسانية. وأشار إلى أن أن كل شعب من شعوب العالم يميل إلى الاعتقاد بأنه يمثل مركز العالم، وأن ثقافته هي محور التاريخ البشري. وهكذا يعتقد العديد من اليونانيين أن التاريخ بدأ مع هوميروس، وأفلاطون، وأن جميع الأفكار والاختراعات المهمة نشأت في أثينا. "ويردّ

عليهم القوميون الصينيون بأن التاريخ في الواقع بدأ مع الإمبراطور الأصفر وسلالتي شيا وشانغ، وأن كل ما حققه الغربيون أو المسلمون أو الهنود ليس سوى نسخة باهتة من الإنجازات الصينية الأصلية".

وكذلك يزعم القوميون الهندوس الذين يؤكدون أن أجدادهم هم من كانوا وراء "صناعة الطائرات والقنابل النووية". ومضى المؤلف في سرد مزاعم مماثلة لدى العرب والمسلمين وغيرهم. وفي الغرب اليوم، حدّث ولا حرج: فلا شك "أن البريطانيين والفرنسيين والألمان والأمريكيين والروس واليابانيين والعديد من الجماعات الأخرى مقتنعون بأن البشرية كانت ستغرق في الجهل والهمجية والفساد الأخلاقي لولا الإنجازات الباهرة التي حققتها أممهم"!

وقد ذهبت بعض الشعوب إلى حدّ الاعتقاد بأن مؤسساتهم السياسية وممارساتهم الدينية ضرورية لقوانين الفيزياء نفسها. ومن الطرائف أن شعب الأزتيك العريق في المكسيك يعتقد، على سبيل المثال، اعتقادًا راسخًا بأنه "لولا التضحيات التي تُقام سنويًا عندهم، لما أشرقت الشمس ولانهار الكون بأسره".

وضرب المؤلف مثلا آخر حول قومه اليهود، فقال: "كان السؤال الأكثر شيوعًا بين القراء الإسرائيليين [يقصد قرّاء مؤلفات الكاتب] هو: لماذا بالكاد ذكرتُ اليهودية في سرد لتاريخ الجنس البشري؟ ولماذا توسعتُ في الحديث عن المسيحية والإسلام والبوذية بينما لم أخصص سوى بضع كلمات عن الديانة اليهودية والشعب اليهودي؟ هل تعمدتُ تجاهل إسهامهم الهائل في تاريخ البشرية؟ هل كانت لدي أجندة سياسية خفيّة تدفعني إلى ذلك؟"

ويواصل بالقول: "هذه الأسئلة تُطرح بشكل طبيعي عند اليهود الإسرائيليين الذين نشأوا منذ رياض الأطفال على فكرة أن اليهودية هي نجم التاريخ البارز. يكمل الأطفال عادة اثني عشر عامًا من التعليم دون الحصول على أي فكرة واضحة حول المجريات التاريخية العالمية. فلا يتم تعليمهم شيئًا يُذكر عن الصين أو الهند أو إفريقيا، وحتى عندما يتم التطرق إلى الإمبراطورية الرومانية أو الثورة الفرنسية أو الحرب العالمية الثانية، فإنها تُعرض كأجزاء منفصلة من أحجية".

ثم يوضح: "القصة الوحيدة المتماسكة التي يقدمها النظام التعليمي الإسرائيلي تبدأ بالعهد القديم العبري، ثم تتواصل مع حقبة الهيكل الثاني، وتنتقل بين المجتمعات اليهودية في الشتات لتبلغ ذروتها مع صعود الصهيونية والمحرقة وتأسيس دولة إسرائيل. فيغادر معظم التلاميذ المدرسة مقتنعين بأن هذه هي الحكاية الرئيسية في تاريخ البشرية بأكمله. وحتى عندما يتعلمون عن الإمبراطورية الرومانية أو الثورة الفرنسية، يكون النقاش غالبًا حول كيفية تعامل روما مع اليهود أو وضع اليهود القانوني والسياسي في الجمهورية الفرنسية" !

وفي ختام هذا العرض يبدي الكاتب رأيه: "الأخلاق والفن والروحانية والإبداع هي قدرات إنسانية عالمية متجذرة في حمضنا النووي، ويعود أصلها إلى العصر الحجري في إفريقيا". ولذلك يرى أن ما تلوّكه مختلف الشعوب في العالم هو مجرد "أنانية فظّة". لكنه يضيف: "شخصيًا، هذا الأمر [الأنانية الفظة] مألوف عندي لأن اليهود – وهم قوْمي– يعتقدون أيضًا أنهم أهم شيء في العالم. أُذكرْ أي إنجاز أو اختراع بشري، وسيسارعون إلى ادعاء أن الفضل يعود إليهم. وبحكم معرفتي الوثيقة بهم، أعلمُ أنهم مقتنعون بذلك. فذات يوم، حضرتُ درسًا مع مدرب يوغا في إسرائيل. وكان يشرح في مقدمته، بكل جدّية، أن اليوغا اختراع جاء به إبراهيم [عليه السلام]، وأن جميع الوضعيات الأساسية مستمدة من أشكال حروف الأبجدية العبرية! ... وأن إبراهيم [عليه السلام] علّم هذه الوضعيات لابن إحدى زوجاته"، وأن هذا الأخير نقلها إلى الهند!

### 8. المطلوب التأمل

إذا كانت العلوم تواجه صعوبة في فكّ شفرات أسرار العقل، فسبب ذلك، إلى حد كبير، هو عدم توفر أدوات فعالة. يميل الكثير من الناس، بما في ذلك العديد من الباحثين، إلى الخلط بين العقل والدماغ. ومع ذلك، فإنهما في الحقيقة شيئان مختلفان تمامًا. فالدماغ هو شبكة مادية من الخلايا العصبية، والروابط العصبية، والمواد الكيميائية الحيوية. وهناك تقدم لافت للأبحاث حول الدماغ بخطوات عملاقة بفضل المجاهر الدقيقة، والأجهزة الماسحة، والحواسيب

القوية. ومع ذلك، فإن المجهر أو الماسح لا يسمحان برؤية العقل. هذه الأدوات تمكّننا من اكتشاف الأنشطة الكيميائية الحيوية والكهربائية في الدماغ، لكنها لا تتيح لنا الوصول إلى التجارب الذاتية المرتبطة بهذه الأنشطة.

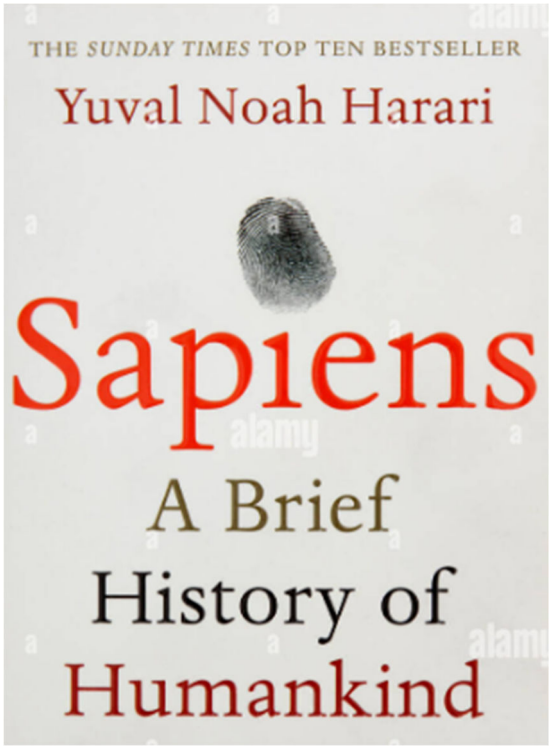
أما العقل فهو تدفّق من التجارب الذاتية، مثل الألم والمتعة، والغضب والحب. يفترض علماء الأحياء أن الدماغ يُنتج بطريقة ما العقل، وأن التفاعلات الكيميائية الحيوية لمليارات الخلايا العصبية تنتج بطريقة أو بأخرى تجارب مثل الألم والحب. لكننا حتى الآن، لا نعرف كيف يظهر العقل من الدماغ. لماذا أشعر بالألم عندما ترسل مليارات الخلايا العصبية إشارات كهربائية بتكوين معيّن، ولكنني أشعر بالحب عندما يكون التكوين مختلفًا؟ لا نعرف شيئًا عن ذلك. ومن ثمّ، فحتى لو كان العقل ينشأ فعلاً من الدماغ، فإن دراسة العقل لا تعادل، اليوم، ما بلغته دراسة الدماغ من نتائج.

مع تطور التكنولوجيا في العصر الحديث، يبرز أمران:

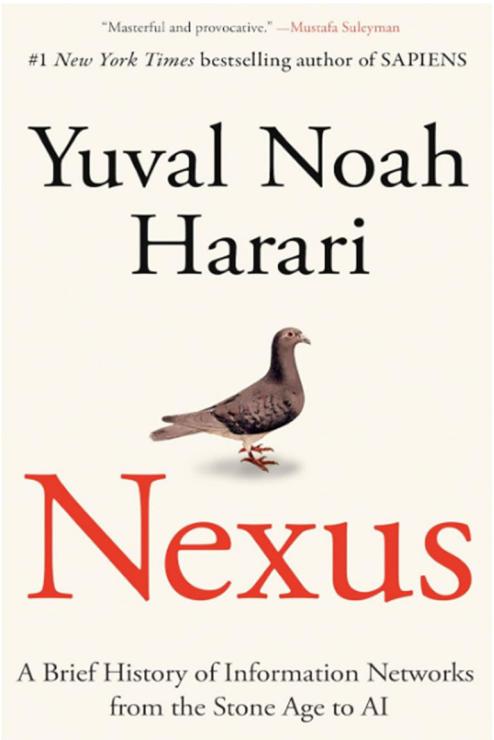
- أولاً: مع التطور البطيء، من عهد السكاكين الحجرية إلى عهد الصواريخ النووية، أصبح من أكثر الأمور خطورة زعزعة النظام الاجتماعي في أي مكان من المعمورة.
- ثانيًا: مع التطور البطيء، من عهد الرسومات الجدارية إلى عهد البث التلفزيوني، أصبح من السهولة بمكان خداع الناس.

في المستقبل القريب، قد تستولي الخوارزميات على زمام الأمور، وستقرر من نحن، وماذا يجب أن نعرف عن أنفسنا. في الواقع، لا يزال لدينا الخيار لبضعة عقود. فإن بذلنا الجهد، يمكننا أن ندرس حقًا من نحن... وإن أردنا أن نستغل هذه الفرصة، فمن الأفضل أن نبدأ ذلك الآن وليس غدًا.

*******




كتاب للمؤلف صدر عام 2011




كتاب للمؤلف صدر عام 2024