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 10 : أبريل 2024

فهرس العدد 10

علوم طبيعية	
لمحة عن جيولوجيا الهقار وعلاقتها بالموارد الطبيعية (الجنوب الجزائري)	فاتن بن مرزوق وآخرون
الطين: تاريخه وبعض تطبيقاته :(2) الطين صحة وغذاء	محمد خوجة وآخرون
الأراضي الرطبة في العالَم والجزائر: أهمية بيولوجية للأنظمة البيئية	الطيب برمضان
تعليمية	
مقاربتان في محاولة لتقسيم الزمن وفي تحديد مفهومه	محمد خضراوي
دراسة في ملمح نهاية الطور الابتدائي بالمدرسة الجزائرية :تقويم مكتسبات التربية العلمية والتكنولوجية - البعد التكنولوجي أنموذجا الجزء الأول: توطئة ومفاهيم أساسية	الطيب زاوي
تاريخ علوم	
من خلال عدسة الإسلام :تاريخ ما قبل اكتشاف النظارات، على ضوء المصادر العربية (4)	فريد بن فغول
الرياضيات بجامعة الجزائر غداة 1962: مخاض عسير (2)	عمار القلي و ومارتن زرنير
مصادر ومحتوى وإسهامات الرياضيات العربية قبل القرن6 ه12/م (3) المصادر اليونانية (الهندسة)	وسيلة غرابة
ذكاء اصطناعي	
الذكاء الاصطناعي أو السباق المحموم نحو المجهول	سعيد قادري
في الأعداد والهندسة	
المسألة المكية	حسن زلاسي
للعدد حكايات: مشروع قانون إنديانا	ليلى زيتوني
الفيزياء والهندسة: الفيزياء كالهندسة والهندسة كالفيزياء الجزء الثالث: مبرهنة نويثر وإثباتها	ناجي هرماس
ماذا الذي فعله ابن التاجر الإيطالي الغني في إفريقيا؟	زكية طبّة
شخصية العدد	
المرحوم الأستاذ محند موساوي (1947-2023)	**حاوره** :أبوبكر خالد سعد الله
عرض كتاب	
كوننا الرياضياتي :بحثي عن الطبيعة النهائية للحقيقة	*__تأليف__ :ماكس تيغمارك **Max Tegmark** * **عرض**: أبو بكر خالد سعد الله

كلمة العدد

يصادف صدور العدد العاشر من مجلة بشائر العلوم الذكرى الستين للمدرسة العليا للأساتذة بالقبة التي تأسست بالمرسوم رقم 64/134 الصادر يوم 24 أفريل 1964. وبهذه المناسبة يسعدنا الإشارة إلى أن صدى المجلة يتسع يوما بعد يوم إذ ناهز عدد زائري موقعها -منذ 15 سبتمبر الماضي- 30 ألف زائر، أي ما يعادل 5 آلاف زائر شهريا، ونحن نطمح إلى المزيد، وقد حافظنا على حجم المادة المنشورة في كل عدد، وهذا ما جعلنا ننشر لحد الآن 150 مادة. والأجمل من ذلك أن كل عدد يظهر قبل موعده بأسبوعين في الموقع.

يتضمن هذا العدد مواضيع متنوعة وزعت إلى عدة محاور. وقد بدأنا بمحور "العلوم الطبيعية" الذي يجد فيه القارئ لمحة عن جيولوجيا الهقار وعلاقتها بالموارد الطبيعية في الجنوب الجزائري. ثم واصلنا الحديث عن الطين: مركزين على بعض تطبيقاته. وينقلنا مقال آخر إلى الأراضي الرطبة في العالَم بصفة عامة والجزائر بصفة خاصة مسلطين الضوء على أهميتها للأنظمة البيئية.

أما المحور الثاني فيتناول موضوعين في العلوم الفيزيائية يخصان التعليمية أولهما يقدم مقاربتين في تقسيم الزمن وتحديد مفهومه. بينما عكف المقال الثاني على دراسة ملمح الطور الابتدائي ساعيا إلى تقويم مكتسبات التربية التكنولوجية. واكتفى الجزء الأول بتقديم توطئة متبوعة باستعراض المفاهيم الأساسية. ثم تطرقنا إلى تاريخ العلوم وتبحرنا في فترة ما قبل اكتشاف النظارات. كما واصلنا الحديث عن الرياضيات وتسلسل أحداثها بجامعة الجزائر غداة 1962، وعن مصادر ومحتوى الرياضيات العربية قبل القرن 6ه/12م بالاعتماد على المصادر اليونانية. وفي محور آخر لم يفتنا الحديث عن الذكاء الاصطناعي والسباق المحموم نحو المجهول.

من جهة أخرى، لم ننس أن 14 مارس صار اليوم العالمي للرياضيات منذ عدة سنوات حسب ما أقرّته منظمة اليونسكو وذلك لأن إحدى القيم التقريبية للعدد هي 3.14 (وهو العدد الذي يمكن قراءته اليوم 14 من الشهر الثالث). لهذا كله ارتأينا أن ندرج في محور الأعداد والهندسة حكايات حول هذا العدد اللغز. وذلك بعد دراسة دقيقة تخص عدد حلول المسألة المكّية. ومن المواضيع المهمة لدى العلميين ربط الاختصاصات فيما بينها، مثل الربط بين الفيزياء والهندسة، وهو الموضوع الذي نواصل تقديمه في هذا العدد بالتركيز على مبرهنة نويثر وإثباتها. ونختم هذا المحور بالعودة إلى الرياضياتي الإيطالي ليوناردو فيبوناتشي الذي اشتهر بكونه تلقى معظم علمه في مدينة بجاية.

وفي ركن "شخصية العدد" قدمنا هذه المرة فقيدنا الأستاذ محند موساوي (1947-2023) الذي عرفته مدرستنا كطالب عام 1965 وذاع صيته في مجال الرياضيات. وبعد أن تغرّب قرابة ربع قرن عاد إلى المدرسة والتحق بمخبر المعادلات التفاضلية الجزئية حيث أبلى البلاء الحسن بتقديم خدمات علمية جليلة لكل من يطلبها من الزملاء وطلبة الماجستير والدكتوراه. وفي الأخير، عرضنا كتاب "كوننا الرياضياتي" الذي يمس أكثر من اختصاص علمي (فلك، فيزياء، رياضيات، فلسفة، ذكاء اصطناعي...).

نجدد دعوتنا للزملاء الكرام من داخل المدرسة وخارجها ليساهموا في نشر الثقافة العلمية على جميع المستويات بتزويد المجلة بما يرونه يصبّ في اختصاصها... فبدون هذه الاسهامات يصعب على المجلة أداء مهمتها على الوجه الأكمل. 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

علوم طبيعية

لمحة عن جيولوجيا الهقار وعلاقتها بالموارد الطبيعية (الجنوب الجزائري)

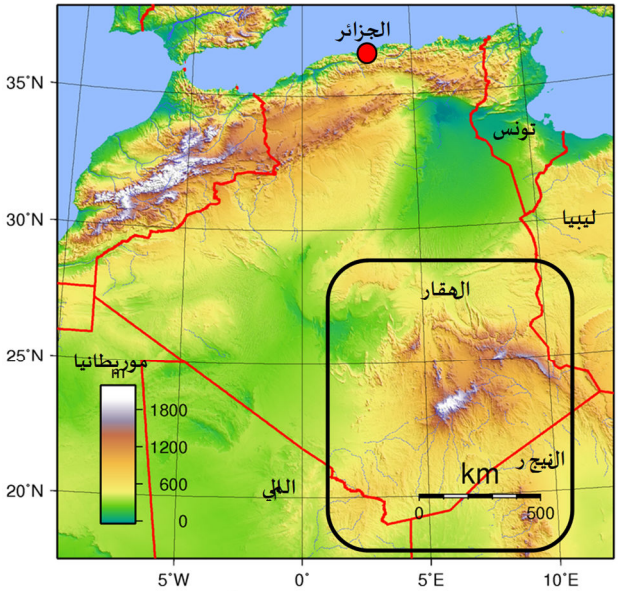
فاتن بن مرزوق-بشيري[1-2]، لطيفة رمكي [1-2]، سارة مقدم [1-2]، صارة ميلودي[1]، رقية خلوي [2]،
يسرا قارة [1]، كلثوم بن لحرش[1]، بشير هني[2]
[1]مخبر تعليمية العلوم، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
[2]قسم العلوم الطبيعية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

1. مقدمة

يُعرف الهقار على أنه سلسلة جبلية تقع في الصحراء الكبرى وعاصمته تمنراست المتواجدة في مركزه والتي تبعد بحوالي 2000 كم عن العاصمة الجزائر. يُمثّل الهقار لأغلب الجزائريين والأجانب وجهة سياحية صحراوية بامتياز كونه يتمتع بمناظر طبيعية استثنائية ومناخ صحراوي جاف. ونظرًا لمناخه الأقل قساوة من بقية مناطق الصحراء الكبرى المحيطة به، بسبب ارتفاعه عن سطح البحر (الشكل1)، يُعدّ الهقار ملجأً مهمًّا لبعض أنواع الحيوانات والنباتات. كما نجد به أعلى قمة في الجزائر والمُمثّلة في جبل طاهات (2918 مترا).

كان الهقار ولا يزال، يجلب الزائرين والعابرين والمستثمرين من كل حدب وصوب بسبب الثروات التي يزخر بها. علاوة عن الموروث الثقافي لأهل المنطقة "الطوارق"، فإنّ التركيبة الجيولوجية للهقار تُمثل موردا طبيعيا ذا قيمة كبرى.

قبل التعرف على أهم الموارد الطبيعية للمنطقة، نُقدّم تعريفا بسيطا لها.



الشكل .1: خريطة طبوغرافية للجزائر تُظهر تباين التضاريس داخل الإطار الهقار (الجزء الجزائري لدرع التوارق وامتداداته الطبيعية نحو مالي والنيجر)

2. تعريف الموارد الطبيعية

الموارد الطبيعيّة هي جميع مصادر المادة والطاقة التي تتوفر في الأرض والفضاء دون أيّ تدخل من الإنسان. وهي نوعان: موارد طبيعية متجددة؛ وموارد طبيعية غير متجددة.

أ. **الموارد الطبيعية المتجددة**: هي التي يمكن لها أن تتجدد باستمرار عبر الزمن وبشكل طبيعي، مثل الكتلة الحيوية والنباتية والمياه والرياح والطاقة الشمسية والجيوحرارية.

ب. **الموارد الطبيعية غير المتجددة**: هي الموارد التي تستوجب فترة زمنية طويلة جدا لكي تتجدد بعد استخدامها، وتتضمن موارد الطاقة الأحفورية والمعدنيّة.

تُشكّل الموارد الطبيعية لأيّ منطقة، ثروة اقتصادية هامة في حالة استغلالها من طرف الإنسان بطريقة عقلانية تحترم الوسط الحضري والبيئة. ترتبط الموارد الطبيعية غالبا بالتركيبة الجيولوجية للمنطقة الموجودة فيها، وهنا تكمن أهمية الدراسات والأبحاث الجيولوجية في المساهمة في تطوير الاقتصاد المحلي العالمي.

3. لمحة تاريخية عن الأبحاث الجيولوجية في الهقار

تُنسب أقدم الأعمال الجيولوجية لإميل فليكس غوتييه (E.F. Gautier)، الذي نشر كتابه المعنون "الصحراء الجزائرية" في 1908. تبعته، في سنة 1922، أبحاث كونار كيليان (Conard Kilian) الذي يعتبره أغلب الجيولوجيين، عرّاب جيولوجيا الصحراء الجزائرية، حيث كان شغوفا جدّا بها وقدّم حولها عدة أبحاث.

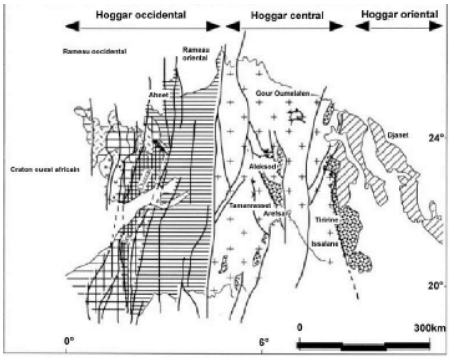
حاليا، بعد قرن من الأبحاث الجيولوجية (1922-2023)، أصبحت البنية الجيولوجية للهقار وتطورها الجيوديناميكي معروفين بشكل جيد، بفضل الأعمال التي أنجزتها أجيال من الجيولوجيين الأوروبيين والجزائريين. ويُمكن تلخيص هذه المعرفة عبر أربعة مراحل.

1- **الفترة 1922-1962**: خلالها لم يكن قد تم تعريف الهقار بعد، وكانت يسمّى الصحراء الوسطى. من أشهر الأعمال الجيولوجية في هذه الفترة تلك التي قام بها كونار كيليان، الذي جاب المنطقة ما بين 1922 و1943 على ظهر الجمال، ونشر العديد من المقالات والكتب في هذا المجال. أول أطروحة دكتوراه في هذا الموضوع كانت لموريس ليلوبر(Maurice Lelubre) الذي عرف دورتين بانيتيْن للجبال (اوروجينية)، يفصل بينهما سطح عدم توافق: الدورة السوغارية (le cycle Suggarien) في القاعدة والدورة الفاروزية (le cycle Pharusien) في القمة [6]. بالنسبة لموريس ليلوبر، فإنّ جميع الصخور المتحولة في سُحنة الغرانوليت والأمفبوليت (درجة حرارة وضغط عاليين)، تشكلت خلال نفس الدورة الأوروجينية القديمة (الدورة السوغارية). في حين تنتمي الصخور قليلة التحول في سحنة الشيست الأخضر (درجة حرارة وضغط منخفض) أو غير المشوهة (مثل الغرانيتات والصخور البركانية) إلى دورة أوروجينية أحدث منها، عرَفها بالفاروزية.

2- **الفترة 1962-1980**: تميزت هذه الفترة باستعمال التزمين المُطلق بفضل تطور تقنيات الجيوكيمياء في العالم، فاستخدمت لدراسة صخور الهقار. أول منشور كان لباحثين سويسريين في 1963. (Lay & Ledent) تلته العديد من المقالات وأطروحات الدكتوراه التي ألغت فكرة الدورتين السوغارية والفاروزية بسبب العثور على صخور قديمة العمر ولكنها غير متحولة أو قليلة التحول، وأخرى حديثة العمر لكنها متحولة. على ضوء نتائج التزمين المُطلق والدراسات الجيولوجية في الميدان، اقترح المؤلفون ثلاث دورات أوروجينية:

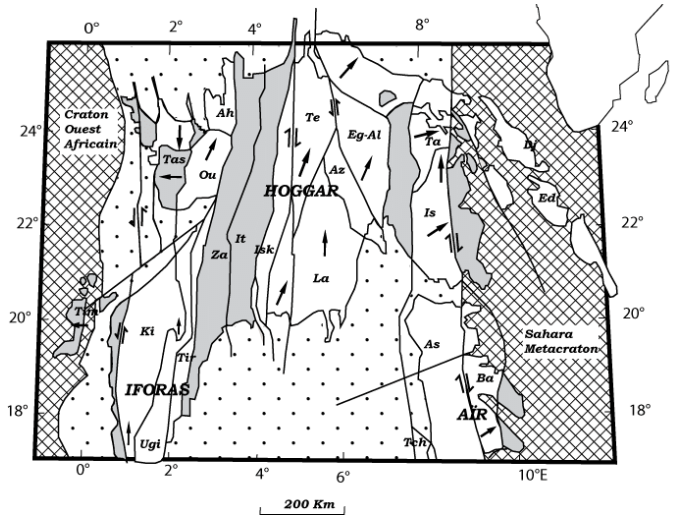
- الدورة الإبورنية في حدود 2 مليار سنة؛
- الدورة الكيبارية المؤرخة في 1,4 مليار سنة؛
- الدورة البان إفريقية التي دامت ما بين 850 و550 مليون سنة.

النموذج الجيوديناميكي المعتمد، يُقسّم الهقار إلى ثلاثة مناطق متباينة، تفصلها الفوالق الليتوسفيرية العُظمى (الفالق 4°50′ والفالق 8°30′): الهقار الغربي، والهقار الأوسط مُتعدد الدورات، والهقار الشرقي (أو السلسلة الفاروزية) [1] (انظر الشكل 2).



الشكل 2: خريطة جيولوجية مُبسطة لدرع الطوارق أين تظهر المناطق الثلاث: الهقار الغربي، الهقار الاوسط مُتعدد الدورات، الهقار الشرقي.

3- **الفترة ما بين 1980-2000**: اقتحم الجيولوجيون الجزائريون مجال البحث الأكاديمي في الهقار نهاية السبعينيات، وكانت أول أطروحة دكتوراه في هذا المجال من إعداد شيخاوي محمد، حول الصخور البركانية في الهقار الغربي سنة 1981. ثم تلاه مجموعة من الباحثين الأكاديميين بالشراكة مع الأجانب، قدّموا أبحاثا قيّمة وأطروحات في جميع التخصصات الجيولوجية المُتاحة: كالبترولوجيا والجيوكيمياء الحديثة (باستعمال العناصر الرئيسية، العناصر الأثرية، العناصر الأرضية النادرة والنظائر) والدراسات البنيوية (Etudes structurales) وعلم الخرائط وعلم المعادن والجيوفيزياء وجيولوجيا المياه. الأمر الذي ساهم بشكل كبير في التعرف على التاريخ الجيولوجي للهقار، الذي يبدو أنه بدأ في الدهر الآركي واستمر إلى الدور الرابعي (حوالي 3400 مليون سنة إلى حوالي 1,51 مليون سنة). تم إلغاء الدورة الكيبارية في الهقار لعدم العثور على أيّ صخور مؤرخة في الميزوبروتيروزوي. تُظهر البُنية العامة للدرع أنه يتشكل من ثلاث وعشرون كتلة ليتوسفيرية (محيطية أو قارية) يفصلها فوالق عُظمى، تتميز كل منها بتراكيب صخرية وأعمار خاصة وتشترك في كونها التحمت خلال مرحلة الذروة للدورة البانية للجبال لعموم إفريقيا [2] (انظر الشكل 3).



الشكل 3: خريطة جيولوجية توضح 23 كتلة ليتوسفيرية ذات طبيعة قارية أو محيطية.

4- **الفترة من 2000 إلى يومنا الحالي**: تميزت نهاية الألفية الثانية بتسارع كبير في وتيرة الأبحاث والدراسات في الهقار. حيث توصل الباحثون إلى نتائج هامة حول الجيوديناميكية العامة للهقار، وتمّ نشر اثني عشر مقالا في الموضوع،

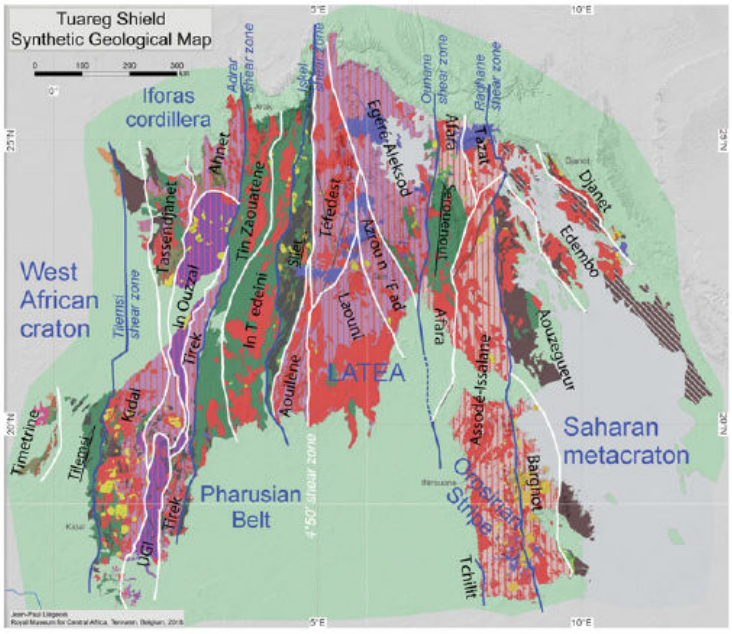
في عدد خاص من مجلة Journal of African Earth Sciences سنة 2003. وكانت بمثابة انطلاقة جديدة لأبحاث أخرى على مدى عشرين عاما، كُللت بمئات الأطروحات والمنشورات في مجلات عالمية ذات قيمة كبيرة. شارك في هذه الأبحاث الجيل الثاني من الباحثين الجزائريين الذين تخرجوا على أيادي الجيل الأول بالشراكة الأجنبية (الشكل 4).

الشكل 4: أجيال من الجيولوجيين الجزائريين والأوروبيين في رحلة علمية خلال المؤتمر الرابع لـ IGCP-485 تمنراست 2006.

نُلخص فيما يلي الخطوط العريضة لجيولوجيا الهقار وفقا لآخر المعطيات، ثم نعرض علاقتها بالموارد الطبيعية.

4. مُلخص جيولوجيا الهقار

يُشكّل الهقار الجزء الجزائري من درع الطوارق (Touareg shield) الذي يمتد نحو الجنوب الغربي باتجاه مالي، ويُسمى أدرار افوراس، كما يمتد نحو الجنوب الشرقي باتجاه النيجر ويدعى الآيير. في منظر علوي، تظهر التراكيب الجيولوجية المُتكشفة بشكل سداسي عموما. تبلغ مساحة درع الطوارق 550000 كم^2 ويُشكل الهقار ثلاثة أرباعها (¾) (الشكل 5). يتكون درع الطوارق من التحام 25 كتلة ليتوسفيرية ذات طبيعة قارية أو محيطية، تفصلها مناطق القص العُظمى والمُمثلة بالفوالق الليتوسفيرية العميقة، اجتمعت إثر تقارب شبه الراسخ الشرق صحراوي والراسخ الغرب إفريقي أثناء الدورة البانية للجبال لعموم إفريقيا (Pan-Africain Orogeny).



الشكل 5: خريطة جيولوجية توضح الكُتل الليتوسفيرية الخمسة وعشرون المُعرفة مؤخرا من طرف [7].

يُمكن تلخيص أطوار الدورة في ثلاثة مراحل:

1- تضمنت المرحلة الأولى (730-630 مليون سنة، خلال الدور Cryogenian) التحام الجُزر القوس والقارية بالرواسخ الإبورنية.

2- المرحلة الثانية (630-580 مليون سنة، خلال الدور Ediacaran) هي مرحلة الذروة والتي تميزت بتصادم الرواسخ الرئيسية مما أدى إلى هجرة الكُتل الليتوسفيرية نحو الشمال على طول مناطق القص الضخمة الموجهة شمال-جنوب إلى حدود 1000 كيلومتر من الإزاحة الجانبية؛ وتوضّع باتوليتات خطية كبيرة ذات طبيعة كيميائية كلسية-قلوية عالية البوتاسيوم (HKCA) ناتجة من تفاعل بين القشرة والوشاح بسبب التصفيح الصخري الخطي على طول مناطق القص الضخمة. كما صاحب ذلك تحوّل في سحنة الشيست الأخضر إلى الأزرق إلى الأفمبوليت (ارتفاع درجة الحرارة وضغط منخفض). ونتيجة لذلك، أصبحت الرواسخ الإبورنية الصغيرة الموجودة في بعض الكُتل من درع الطوارق (عين أوزال، لاويني-أزرو-ن-فاد-تيفيدست-إيجيري-ألكسود، أو ما يُعرف بلاتيا LATEA) مُعرفة بشبه رواسخ (métacratonisation).

3- المرحلة الثالثة (575-540 مليون سنة، أواخر الدور الإدياكاري) اقتصرت على الهقار الشرقي، وتضمنت اصطدام الكُتل بالحافة النشطة على حدود الراسخ الصحراوي الشرقي، والذي يُسمى بالحادثة المرزوقية نسبة للراسخ الذي يحمل نفس الاسم والذي يبدو أنّ الكُتل الثلاثة المُشكلة للهقار الشرقي تُمثل حافته.

مباشرة بعد ذلك، في حدود 540–520 مليون سنة (نهاية الدور الإدياكاري-أوائل الكمبري)، وبسبب إعادة التنشيط المتزامن لمناطق القص الضخمة المتأخرة توضع المركبات الغرانيتية مُتأخرة النشأة (الشكل 6 أ) والمرتبطة بتبلور المعادن النادرة، والمصاحبة للنشاط الحراري-المائي على مستوى القشرة الأرضية مما سمح بتبلور الذهب والمعادن الأخرى الغنية بالعناصر النادرة.

عرف الهقار فترة خمول تكتونية طويلة خلال الباليوزوي مما أدى إلى تشكل بعض الأحواض الرسوبية. لكن خلال الميزوزوي، سجل الهقار الدورة الألبية من خلال إعادة نشاط مناطق القص العظمى إثر تصادم اللوح الأوروبي واللوح الافريقي في الشمال، مما سمح بصعود كميات هائلة من الماغما عبر فوهات بركانية مُتعددة وأدى إلى توضع أسطح من اللافا مباشرة فوق صخور ماقبل الكمبري. وهي تُمثل أجمل المناظر السياحية التي يشتهر بها الهقار (الشكل 6 ب).

الشكل 6 أ.

منظر عام لمركب غرانيتي يُسمى تيوين يظهر في منطقة سيلات على بُعد 135 كم جنوب غرب مدينة تمنراست (مؤرخ في 561 مليون سنة)

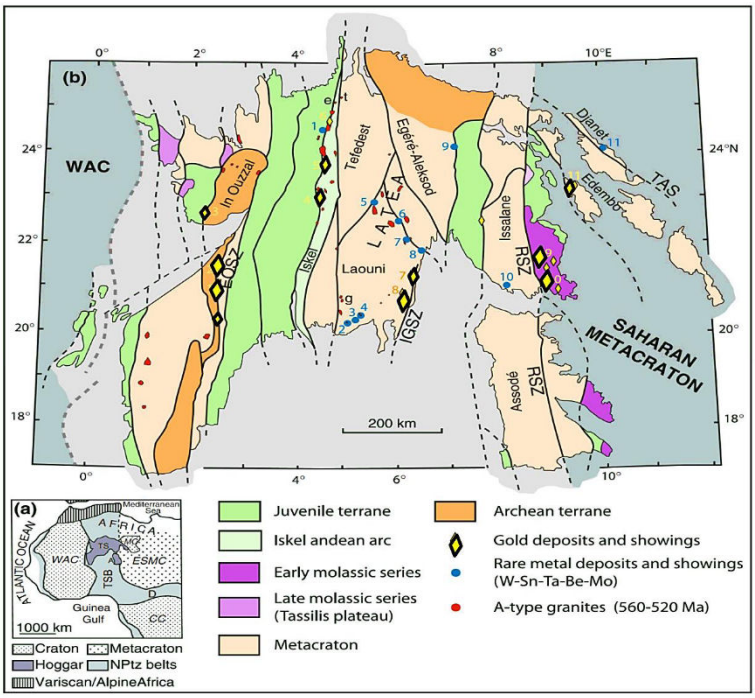
الشكل 6 ب.

أشهر معلم سياحي في مدينة تمنراست مدخنة إهاران عبارة عن بقايا مدخنة بركانية مؤرخ في 6.6 مليون سنة (الحقبة الزمنية الثالثة)

(أُلتقطت الصور في نوفمبر 2022، خلال مهمة جيولوجية-تعليمية لأعضاء فريق بحث من المخبر)

5. الموارد الطبيعية المعدنية في الهقار

ترتبط الموارد الطبيعية المتواجدة في الهقار بنوعية التراكيب الجيولوجية. وكما رأينا أعلاه فإنّ أغلب التشكيلات يعود عمرها إلى ما قبل الكمبري. وقد سجلت ثلاث دورات أوروجينية (الدورة الإبورنية، والدورة البان أفريقية، والدورة الألبية). هذا النشاط التكتوني الطويل كان مرفقا بنشاط ماغماتي هائل، سمح بتوضع مركبات غرانيتية بكميات كبيرة. وتُعتبر مخزنا هاما لكثير من المعادن الثمينة ونصف الثمينة (الشكل 7)، علاوة على توفرها على أنواع من الصخور التي تُستعمل في تزيين البنايات (الرخام والغرانيت والديوريت مثلا).



الشكل 7: خريطة درع الطوارق تبين أهم مو اقع الذهب والعناصر النادرة في الهقار[8]

أهم معدن متواجد في المنطقة ويتم استغلاله حاليا من طرف الدولة والخواص هو الذهب، الذي يتواجد بشكل كبير على هيئة رواسب في قواطع الكوارتز التي توضعت خلال الدورة الأوروجينية لعموم افريقيا، في مناطق التحام الكتل الليتوسفيرية مثلا، منجم تيراك وأمسماسا المتواجدين في الهقار الغربي. أما في مقلع عين أبغي فإنّ رواسب الذهب مصحوبة بصخور الغابرو في حين مقلع تكويات هو مُصاحب للغرانيت. (عيسى جمال الدين وآخرون، 2023) ونُلخص في الجدول التالي العلاقة بين الدورات الأوروجينية والعناصر الكيميائية المُصاحبة لها.

تجدر الإشارة إلى أنّ قواطع الكوارتز الغنية بمعدن الذهب هي تلك المتوضعة في الكتل القارية (شبه الراسخ) أو على حدودها. في حين، القواطع والمركبات الماغماتية المتواجدة في الكتل المحيطية الفتية، لا تحمل رواسب الذهب أو قليلة جدا [8].

الدورة الأوروجينية	النشاط الماغماتي المصاحب لها	العناصر الكيميائية المصاحبة لها
الدورة الإبورنية	1. صخور متحولة من نمط ضغط ودرجات حرارة عالية (سُحنة الغرانوليت والأمفبوليت) 2. مُركبات غرانيتية ذات طبيعة قلوية 3. مُركبات قاعدية إلى فوق قاعدية	اليورانيوم الليثيوم العناصر الأرضية النادرة
الدورة البان إفريقية	1. صخور متحولة من نمط ضغط منخفض ودرجات حرارة عالية (سُحنة الأمفبوليت) 2. مُركبات غرانيتية كلسية-قلوية 3. مُركبات غرانيتية مُتأخرة النشأة (منها الغنية بعناصر التانتال والبريل والفولفغاميت و Sn, W, Ta, Be). 4. مُركبات قاعدية إلى فوق قاعدية منها المصحوب بعناصر معدنية ذات قيمة اقتصادية هامة 5. توضع قواطع الكوارتز الغنية بالذهب 6. هناك تغيير حراري مائي alteration hydrothermal	الذهب الرصاص الزنك اليورانيوم الليثيوم القصدير البيريليوم العناصر الأرضية النادرة
الدورة الألبية	1. حركات تكتونية وفقا للفوالق الكُبرى مصحوبة بنشاط بركاني وماغماتي كبرين 2. التغيير الحراري المائي alteration hydrothermal	غير مُعرفة حاليا

خلاصة

يبدو أنّ قرنًا من الدراسات الجيولوجية في الهقار غير كافٍ لمعرفة أسرار التراكيب الجيولوجية وما تُخفيه من ثروات؛ فالأبحاث الجيولوجية مازالت متواصلة لمحاولة تقصّي الثروات المعدنية التي تزخر بها المنطقة. علاوة عن الثروات السياحية (الشكل 8) والثقافية التي تُميز الهقار، فإنّ الموارد المُتجددة وغير المتجددة تبدو واعدة جدا.

الشكل 8: منظر بانورامي لفوهة بركان إهيري يقع في شمال دائرة سيلات (ولاية تمنراست) الهقار الغربي

(صورة لفريق البحث من مخبر التعليمية-المدرسة العليا للأساتذة، القبة)

المراجع

[1] Aissa, D-E., Bagui, M., Saad, W., Benali, H., Boutaleb, A., Boutrika, R., Chaouche, I., Lazouni, A. & Amieur M. (2023). Aperçu sur les minéralisations aurifères de l'Algérie 2023. In book. Les Ressources minérales de l'Algérie : Métallogénie, Perspectives.

[2] Bertrand, J. M. L., & Caby, R. (1978). Geodynamic evolution of the Pan-African orogenic belt: a new interpretation of the Hoggar shield (Algerian Sahara). Geologische Rundschau, 67(2), 357-388.

[3] Black, R., Latouche, L., Liégeois, J. P., Caby, R., & Bertrand, J. M. (1994). Pan-African displaced terranes in the Tuareg shield (central Sahara). Geology, 22(7), 641-644.

[4] Gautier, E. F. (1908). Missions au Sahara (Vol. 2), Armand Colin.

[5] Kilian, C. (1922). Aperçu général de la structure du Tassili des Ajjer. Comptes rendus de l'Académie des sciences, Paris, 175, 825-827.

[6] Kilian, C. (1925). Au Hoggar—Mission de 1922, Société d'Éditions Géographiques Maritimes et Coloniales, Paris.

[7] Lay C, Ledent D (1963) Mesures d'âges absolus de minéraux et de roches du Hoggar (Sahara central). CR Acad. Sci Paris, 257:3188–3191.

[8] Lelubre, M. (1952). Recherches sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental: Sahara central, Thèse d'Etat, Paris.

[9] Liégeois, J. P. (2019). A new synthetic geological map of the Tuareg Shield: an overview of its global structure and geological evolution, The Geology of the Arab World-An Overview.

[10] Marignac, C., Aïssa, D. E., Bouabsa, L., Kesraoui, M., & Nedjari, S. (2016). The Hoggar gold and rare metals metallogenic province of the Pan-African Tuareg Shield (Central Sahara, South Algeria): an early Cambrian echo of the late Ediacaran Murzukian event? Mineral Deposits of North Africa, 371-404.

الطين: تاريخه وبعض تطبيقاته (2)

الطين صحة وغذاء

محمد خوجة [1]، غازي عثمانين [2] وميشال روتيرو [3]

[1] أستاذ باحث، سوناطراك – المعهد الجزائري للبترول، بومرداس

[2] أستاذ، جامعة محمد بوقرة، بومرداس

[3] أستاذ محاضر لدى الجامعات، جامعة أورليون، فرنسا

mohamed.khodja@sonatrach.dz

ملاحظة

يحتوي هذا المقال على ثلاثة أجزاء: تاريخ الطين وخصائصها الذي نشر في العدد 9 (جانفي 2024)؛ الطين صحة وغذاء؛ التطبيقات الصناعية للمعادن الطينية.

1. مقدمة

استخدام الطين في مجالات الصحة والتوازن الجسدي أو النفسي والفيزيولوجي للإنسان قديم جدا. تزخر الأدبيات بأمثلة من التطبيقات التجريبية مدعومة بتقاليد عرفية، وغالبًا ما تُخلّد على شكل أساطير (في كثير من الأحيان تروى عن الشفاء). وقد عزّزت الكثير من الممارسات ذات الطابع الثقافي أو الديني هذه الاستخدامات، مع أو بدون مبررات تستند إليها، ولكن دائما لأسباب قريبة من الاهتمامات الحيوية. في الموروث الشعبي، المقصود بكلمة "الأرض" التي حولها الحديث هو اللفظ الذي يدل على علاقة قوية لدعم الحياة. بقي على العلميين المعاصرين مهمة التميز بين الاستخدامات المتعددة للطين وتلك التي لها تفسير في الواقع وتلك التي هي أقل منطقية أو حتى المشكوك فيها. هذا هو كل العمل لدمج التقاليد في مجال العلوم.

منذ زمن طويل كانت الاستخدامات الرئيسية للطين تخص وظيفة الجهاز الهضمي والاضطرابات المتعلقة به الأكثر شيوعًا، كما كان يُستعمل لعلاج الأمراض الجلدية. من أجل فعالية الطين نستعمل كميات كبيرة لتأكيد وتثبيت أثره على الصحة لأنه مع الوقت هناك احتمال نقص الفعالية. نحن نعرف الآن أنه في ظل المصطلح العام للطين، توجد العديد من العائلات أو الأنواع المصنفة على أساس وصفها المعدني.

إنّ التقاء الحضارات اليونانية والفارسية والهندية والثقافات المتعددة الأخرى في المنطقة الشرقية القريبة أي (منطقة الشرق الأدنى) وفي إفريقيا والأندلس، سَمَح بإنشاء مُدوّنة نصوص -والتي يطلق عليها اسم الصيدلة في العصور الوسطى- مكتوبة باللغة العربية. منذ القرن الثامن الميلادي، جُمعت أعمال مكتوبة جاءت من مناطق جغرافية بعيدة ثم تُرجمت إلى اللغة العربية. كانت المصادر الرئيسية من الطب الهندي وكتاب السموم للمدعو شناك، منتشرةً باللغة الفارسية والعربية. كما ذُكرت العقاقير الهندية في النصوص الطبية. وتُرجمت إلى اللغة العربية الأعمال العظيمة لجالينوس (القرن الأول الميلادي).Dioscorides (المتوفى حوالي 210م) وكتاب المادة الطبية لدِيوسقوريدس Galen

على مرّ القرون تم إثراء قائمة المنتجات الطبية بما لا يقل عن 400 "دواء" جديد مع التوسع في الأقاليم من قِبل الفاتحين العرب المسلمين، من نهر السند إلى الأندلس. وقد أُدرجت أنواع جديدة من الطين في الطب العلاجي من خلال التجارب المحلية والتجريبية الطبية.

يذكر القرآن الكريم الأرض والطين مرارًا. ذُكرت الأرض بمقابل السماء، باستخدام مصطلح "الأرض" في أكثر من أربعمائة وخمسين حالة. وإذا كان الفضاء المائي يتعارض مع الأرض الصلبة حيث يتواجد البشر والنباتات، عندئذ يكون مصطلح "برّ" هو المستعمل والمألوف. وقد عُرف الطين بعدة مصطلحات، وهي: طين، صلصال، حمى، تراب، سجيل.

مع هذه المجموعة الواسعة من المصطلحات، النص القرآني الذي يتناول تاريخ الأديان وقواعد الحياة لا يذكر أي استخدام علاجي طبي لهذا المنتج. وهذا يتفق مع رؤية ابن خلدون (1332-1406م) الذي يشير إلى الطب في الحضارة العربية-الإسلامية. في كتابه الشهير **المقدمة**، يصف ابن خلدون المجتمع بأسره. وفي الفصل الرابع والعشرين وتحت عنوان "الطب"، يعرض رؤيته ذات الصلة القوية بالموضوع. يذكر ابن خلدون وجود فئات مختلفة من الممارسات الطبية: الطب العلمي الجامع بين النظرية والممارسة والتجريبية؛ الطب التجريبي دون أساس نظري.

وهكذا وضع ابن خلدون الأطباء الذين ظهروا في فترة العصور الوسطى في موقع الاستمرارية لأسلافهم، أمثال جالينوس. وأشار لبعض الممثلين الرئيسيين لهذا العلم، في الشرق الإسلامي: أبو بكر الرازي (865-925م)، ابن سينا (980-1037م)؛ وفي الغرب الإسلامي: ابن زهر (1091- 1161م). باختصار، ذكر ابن خلدون التاريخ العلمي الطبي حيث كان التدريس والنقل الشفهي بارزين عن طريق كتابة الأعمال العلمية والدنيوية الكبرى. هكذا يرتبط هذا "الفن" بالحضارة المدنية للمدن والموارد المادية المتاحة.

ومثل العسل والنبيذ، للطين أساطيره للشفاء، وقد جلب الثروة لأكثر من طبيب. نذكر على سبيل المثال أسطورة بختيشوع بن جبرائيل الذي كان طبيبًا في عهد الخليفة المتوكل (847-861م). عندما اشتكى الخليفة من حرقة في المعدة، وضع الطبيب الطين والماء في "كالاباش" -وهو إناء يُصنع من نبتة تنتمي إلى فصيلة القرعيات- وبعد تسخين الكل قليلا بدأ الخليفة يشرب. بعد هذا لم يَعُد الطعام يشكّل للخليفة أي مشكلة. وبفضل الطين جنى بختيشوع ثلاث مائة ألف درهم.

2. الطين والصحة

تنتج الخصائص العلاجية من أنماط مختلفة من التفاعل بين المعادن الطينية والجسم. فهي تتغير مع المورفولوجيا والهياكل البلورية الخاصة لعائلات مختلفة من المعادن الطينية الموجودة، وكذلك مع طريقة تحضيرها وطرق التطبيق عليها. يمكن تعديل الطين أو حتى تدميره، إذا كان على اتصال مع أوساط غير ملائمة.

على الصعيد الطبي، الاستخدام الأهم للطين يُمارس في التطبيب الذاتي والطب البديل الطبيعي، ولكن استخدامه من قِبل العاملين في المجال الطبي معروف هو أيضا. هذان الجانبان يكمّلان بعضهما البعض. تدريجيا، أعادت الهيئة الطبية والصيادلة وكذلك الإدارة (لدورها في سوق الأدوية)، النظر للطين كعنصرٍ نشطٍ بديلٍ ممكنٍ للأدوية المستخرجة من الصناعات الكيميائية.

2. 1. أي نوع من الطين لأي علاج

وَفقا لنظرية العناصر الأربعة (تم وضعها تدريجيا على مدى عدة قرون في العصور القديمة)، تتكون المواد الخاملة أو الأجسام الحية الموجودة في العالم التحت-قمري (أي ما يقع بين الأرض والقمر) من أربعة عناصر، وهي: النار، الهواء، الأرض، الماء. تتميز هذه العناصر بصفات خاصة، هي: الحار، الجاف، البارد، الرطب. النظريات الخلطية، والمعروفة عند المصريين، ظهرت عند الإغريق بشكل واضح، بدءًا من القرن الخامس قبل الميلاد. وَفقا لهذه النظرية، تدور في جسم الإنسان أربعة سوائل (وتسمى الأمزجة) هي: البلغم، والدم، والصفراء (مادة تفرزها الكبد) أو المرة صفراء، والمرة السوداء. في كل جسم، هناك توافق بين هذه الأمزجة وخصائص العناصر الأربعة السالفة الذكر، وإن وقع خلل في التوازن بينها يحدث المرض. المادة بشكل عام، والمواد الطبية بشكل خاص، التي تتشكل من هذه العناصر، لديها حسب تكوينها خليط

من هذه الصفات. تستطيع هذه المواد أن تؤثر في توازن الأمزجة، وبالتالي على حالة المرض والصحة وَفقا لهذه الصفات. كل مادة يمكن أن تحقق أربع درجات من الجودة، وتستطيع الدرجة الرابعة أن تصل إلى قوة السم.

إنّ الطين يمكن استخدامه لوحده، ولكن في كثير من الأحيان هو جزء من تكوين حين يكون مرتبطًا بأدوية أخرى. فيما هو آت، توضح نصوص بعض الأطباء المشهورين ممارساتهم العلاجية باستخدام الطين. وتجدر الإشارة إلى أنه، في أي حال من الأحوال، لم يستنتج الأطباء المذكورين آنفًا شمولية الاستخدام العالمي للطين ولم يوثقوا استخدامًا دائمًا له.

1.1.2. بحسب حُنَيْن بن إسحاق (804-877م)

قام كبير المترجمين لأعمال جالينوس، حنين بن إسحاق، بإنتاج عدة مصنفات بعضها أعمال أصيلة. أحد أعماله الأصيلة الذي دُرس على نطاق واسع من قِبل الأطباء يتناول طب العيون. قام حنين بجمع هذه الأعمال عن طريق جمع أقوال الأطباء اليونانيين، مدعّمة ببعض التجارب الشخصية. هناك عدة أدوية مستخدمة في علاج العين حيث الطين هو أحد مكوناتها. مثلا، عند تضميد العين، يضاف طين الشموس من أجل التبريد والتعزيز والتكثيف والتجفيف.

مرهم آخر يعود إلى طبيب من القرن السابع الميلادي وهو بولس، يحتوي على الكادميوم، والرصاص الأبيض، وبشلة الزهرة، والصمغ العربي، وصمغ الكثيراء، والألوة، وطين الشموس. هذه المراهم مقترحة لعلاج الرمد، التهاب القرنية مع انسكاب صديدي للعين، تمزق القرنية أو هبوط قزحية العين.

2.1.2. بحسب أبي بكر الرازي (865-925م)

وُلد الرازي في مدينة الري، قرب طهران اليوم. وكان يلقب "بجالينوس العرب" نظرًا لتميزه في الطب السريري وتشخيص الأمراض والعلاجات التي كان يقترحها وَفقا لبيئة وسيكولوجية المرضى. تستشهد المراجع البيبليوغرافية في القرون الوسطى بعمل الرازي الذي كتب بشكل خاص عن الطين الآتي من نيسابور، وهي مدينة تقع في محافظة خراسان في شرق إيران اليوم. مقاطع من كتاب ضائع له، بعنوان "فوائد كريات الطين"، تم ذكرها من قبل أطباء آخرين. يشير الطبيب الأندلسي ابن سمجون (أواخر القرن العاشر) إلى أنّ هذا الطين النيسابوري كان يُعدّ على شكل كريات تشبه في بعض الأحيان شكل الطيور، ويُعطّر بالكافور والمسك، وكان يستخدم كمكوّن لشرب الخمر، فتعطي هذه الكريات نفسًا طيبًا لمن يتناولها وتهدئ آلام المعدة.

أحد أعمال الرازي، الموجه إلى طلاب الطب، هو كتاب **الطب المنصوري** الذي تُرجم عدة مرات إلى اللاتينية ودرس في جامعات باريس ومونبلييه خلال العصور الوسطى. لقد أعطى الرازي للمرة الأولى، التشخيص التفاوتي لكل من المرضين الحصبة والجدري. وله كتاب باللغة العربية تُرجم إلى اليونانية واللاتينية وإلى مختلف اللغات الأوروبية. في كتابه الأصلي، **الحصبة والجدري** باللغة العربية يذكر الرازي جميع مراحل المرض، والأسباب، والأعراض، وكذلك فحص المريض سيكولوجيا. معظم العلاجات هي من اختراع واكتشاف الرازي، وكان الطين أحد الأدوية الذي تدخل ضمن العلاج .

3.1.2. بحسب ابن سينا (980-1037م)

ابن سينا هو فيلسوف وطبيب اشتهر بكتابه الطبي المعروف بـ **القانون**. في هذه الموسوعة يحدد ابن سينا اثني عشر نوعًا من أنواع الطين، جمعها في فصل الأدوية البسيطة. بالنسبة للطين الموصوف بالمأكول أو كما يُسمّى "طين مأكول"، فقد أكد ابن سينا ما ذكره سلفه الرازي، وهو أنّ هذا الطين من شأنه أن يُحدث انسدادًا في الجهاز الهضمي. ومن أجل تجنّب هذه الظاهرة نبّه ابن سينا وقال إنّ استهلاكه المفرط قد يؤدي بصاحبه إلى ما لا يحمد عقباه، لذلك أوصى بتجنب استعماله بشكل متكرر.

ويُعد طين "كريت"، أو كما يسمى "طين إقريطش"، أقل فعالية من غيره. ولكن له مفعول في البثرة أي "حبوب الوجه"، وفي الاحمرار والحكة في الجفون. أما الطين المسمى "كيمولية"، فيمكن أن يكون أبيضًا أو بنفسجي اللون، وقد يفقد خاصية التآكل عند غسله. وإذا كان ذائبًا في الخل، فهو مفيد للحروق والجراح (بشرط استعماله قبل تشكيل

الخراج)، وظهور النفخ أو التجاعيد. وهو مفيد أيضا في المفاصل والتورم على مستوى المفاصل. ميزة الطين المختوم أنه مضاد للسم، وغالبًا ما يتم ذكره عند الإشارة إلى كتابات جالينوس. ويقترح ابن سينا استعمال هذا الطين ضد لدغات الكلاب والحقن المختلفة. استشهد الكتاب السابقون أو اللاحقون لابن سينا بهذا النوع المضاد.

2.2. استخدام الطين في مستحضرات التجميل

استخدام الطين في مستحضرات التجميل قديم جدا. فهو له دور أساسي كحامل معدني نشط أو تفاعلي، ولديه تأثير جلخ خفيف جدا. خصائص الامتزاز والتبادل التي يتميز بها الطين تسمح بإشراك العديد من العناصر النشطة مثل: الأصباغ والعطور والزيوت العطرية والعناصر الأوليقية. كما أنّ استقرار الطين يُمَكّن من استخدامه بثقة في مخاليط (المراهم والمواد الهلامية) حيث يمنحها خصائص تسييلية وانسيابية. أحيانا، يكون من الضروري تعديل خصائص الطين الطبيعية عن طريق إدخال الأيونات أو الجزيئات القطبية في الفضاء البيني مما يسمح بالتأثير على اللزوجة في الوسط.

يمكن للطين أيضا أن يكون بمثابة وسيلة لنقل الأيونات أو الجزيئات إلى هدفها في (أو على) الجسم. تستفيد المراهم المختلفة والكريمات والشامبوهات من هذه الخاصية. تنظيم جزيئات الطين في مرهم ينشئ طاقة. عندما يترسب على البشرة، فإنه يولد التوترات على السطح التي لها دور مهم، ويمكن استخدامها للتجديد (مثل التجاعيد أو الجفاف).

3.2الطين ربما سام

يجب أن ننبه إلى حقيقة مهمة: فيما يتعلق بالكائنات الحية، مجموعات الطين ليست دائما "علاجا" منظما ولا تنتج عنها فوائد فقط. حتى ولو كان لبعض الطين خصائص مفيدة في حالات معينة، فقد يكون أيضا سيئا بل ومؤذيًا أحيانا. بعض الطين المستخدم هو في غاية الخطورة، وهذا حال مواد الكريزوتيل والفيللوسلكات التي تدخل في تشكيل مادة الأسبستوس، وهي عبارة عن مادة صناعية مفيدة جدا من الناحية التقنية ولكن لها تأثير سرطاني على غشاء الجنب الرئوي الذي له علاقة مباشرة مع الشكل الليفي للجسيمات.

يسمح له امتصاصه العالي بتحديد العديد من المواد (الكاتيونات أو الجزيئات) حيث بعضها سام، الأمر الذي يعطيه قوة علاجية، وخاصة في مجال المعدي المعوي. معظم هذه الآليات لا تستخدم إلا الطاقات المنخفضة، مع حالة وسطية عكسية في كثير من الأحيان، مثل الحافز القابل المعاد استعماله إلى ما لا نهاية تقريبا. وهناك نقطة أساسية لفهم آليات عمل معادن الطين هي تكوينها الأيوني وتجميعها مع أيونات تعويضية تبادلية أو جزيئات متحركة، بحيث في كثير من الأحيان تشارك هذه المعادن في نشاطات رئيسية تبادلية مطلوبة ومستخدمة في العلاج.

4.2 الجانب الحسي والنفسي للطين

الكائنات العضوية أو الكائنات الحية هي كائنات مدركة وحساسة، وبعضها واعٍ. وعند الحديث عنها لا يمكن إهمال هذا الجانب الحسي والحسي-النفسي، الذي يخص الاتصال بين جسم حي واعٍ من جهة والطين من جهة أخرى. للكائنات الحية العالية أيضا إمكانية ضبط استجابتها لمفهوم معين. أخذ مفهوم "الطين اللين" بعدًا حقيقيا، كما يقال: "نستجيب بشكل جيد عندما نكون على ما يرام". إذ هناك نوع من التعايش بين الطين والكائن العضوي. إقران الطين مع الماء وبدرجة حرارة مناسبة، للطين خاصية إضافية وهي تأثيره أيضا على مفهوم الرفاهية. نحن نعرف، منذ عشرة آلاف سنة على الأقل، العديد من الاستخدامات التقليدية للطين. جميع الحضارات التي استطاعت الوصول إلى الطين واستخدمته تركت آثارًا عميقة. بدأنا فقط منذ بداية القرن العشرين، وبشكل أفضل التعرف على المزيد من خصائص هذه المعادن بالمقاييس المجهرية والعينية، وبالتالي تَعلُّم السيطرة عليها. في مجال استخداماته العلاجية، يمكن القول إنّ التقدم

العلمي سيوفر التطورات المفيدة باقتران نشاط كيميائي أو فيزيائي-كيميائي تقليدي مرتبط به (أو غير مرتبط) يؤدي إلى أثر فعال ومكمل للعلاج النفسي.

الخلاصة

في مجال الصحة، كان استخدام الطين قديما جدا إلى أن تم استبداله بالكامل بواسطة الطرق الصيدلانية أو الطبية الحديثة التي أتى بها العلم. مكونات الطين من المعادن، والإنسان عاش دائما من خلال الاتصال به. إن الفاعل الرئيسي الذي كان وراء تشكيل الطين هو الماء عبر الأزمنة الجيولوجية، وهو نفس الماء الذي يسمح دائما للكائن الحي بالوجود. وقد ظهرت الحياة من خلال اتصال هذين العنصرين. إذن ليس من المستغرب أن يكون هناك تفاعل قوي بين الطين والماء والكائنات الحية. ومن تلك الكائنات الجنس البشري الذي كان له وحده الفضل في الوصول تدريجيا إلى فهم آليات التفاعل.

لو لم يكن الطب العلمي موجودا لبقي الطب التجريبي هو الطب الوحيد المتاح لنا، كما كان حاضرا إبان فترة طويلة. وفي ظل ظروف معينة لا شك أن الطين سيستمر في الوجود. سيكون ذلك فرصة تسمح للناس باستغلال هذين النهجين في الطب بالرغم من أنهما مختلفان جدا، ولكنهما يستطيعان إثراء بعضهما البعض. هناك العديد من التطبيقات للطين، بدءا من أشغال الهندسة المدنية إلى التكنولوجيا النانوية، وإلى التطبيقات الصحية.

كان الإنسان قد تعرّف بشكل سريع على بعض فوائد الطين، وفي غياب هيكلة علمية لتفكيره، قام الانسان بادئ ذي بدء بنقل ما يمكن أن يلاحظه. ولذلك برزت إلى الوجود الأساطير والأوهام، كانت في كثير من الأحيان قريبة جدا من الواقع. الانسان واع بوجوده ونهايته، وكان دائما بحاجة إلى معرفة أصله. والانتقال التدريجي من الأسطورة إلى هذه الرغبة في المعرفة قد حدث بشكل طبيعي من خلال جلب لون ثقافي لذلك. ويمكن العثور على آثار هذا المسعى في جميع الديانات تقريبا. وإذا كان بإمكاننا الآن توضيح هذا النهج، فيجب علينا إدراك أن وجود تلك المعتقدات تقترب تدريجيا من نموذجنا العلمي. نشير إلى أن هذا التطوّر لا يعدّ جديدا، فهو لا ينتقص من الفائدة الروحية، ولكن بمنحها وضعا أقرب إلى الواقع. عندئذ تستطيع الأسطورة أن تدخل في سياق التاريخ.

ولكن، بالنسبة للكثير من الناس، من الصعب عليهم نسيان هذا الجانب السحري لمادة الطين -المسمى رمزيا "الأرض"- نسيانا تاما. نحن لا نحاول أن نذهب عكس هذا الاتجاه بل نأمل، ببساطة، أن نقدم لهؤلاء الذين يعبرون عن هذه الحاجة أو الرغبة، طريقة للوصول إلى الأساليب العلمية. وذلك دون أن ننسى أن كل ما يسمح بالعودة الحقيقية إلى التوازن والانسجام في الصحة لا يمكن التغاضي عنه: العديد من خصائص الطين تسمح على الأقل بهذا الاختيار.

(للبحث صلة)

نُشر الجزء الأول من المقال في مجلة بشائر العلوم، العدد 9، جانفي 2024.
https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n9/article9-13.pdf

المراجع

[1] عثمانين غازي، محمد خوجة، الطين والصحة خصائص وعلاجات. ترجمة الكتاب من الفرنسية إلى العربية. ميشال روتيرو، نيكول ليفينج، سالسو جومس وَمحاناز كاتوزيان صفادي، دار الخلدونية، الجزائر، 2023.

[2] Bergaya, F., Lagaly, G., General Introduction: Clays, Clay Minerals, and Clay Science. In Developments in Clay Science, Elsevier, Oxford, Chapter 1, 2006, pp. 1–18.
[3] Bernal, J.D., The physical basis of life. Proceedings of the Physical Society Section A 62, 1949, 537–558.
[4] Caillère, S., Contribution à l'étude des minéraux des serpentines, Thèse de doctorat d'Etat es sciences, Muséum National, Paris, 1933.
[5] Ferris, J. P., Montmorillonite catalysis of 30-50 mer oligonucleotides: Laboratory demonstration of potential steps in the origin of the RNA world. Origins of Life and Evolution of the Biosphere, 32, 2002, 311-332.
[6] Grim, R., Applied Clay Mineralogy. McGraw-Hill, New York, 1962.
[7] Rautureau, M., Gomes, C.S.F., Liewig, N., Katouzian-Safadi, M., Clays and Health: Properties and Therapeutic Uses. Springer International Publishing AG, Switzerland, 2007.

الأراضي الرطبة في العالَم والجزائر: أهمية بيولوجية للأنظمة البيئية

الطيب برمضان
أستاذ بقسم العلوم الطبيعية، المدرسة العليا للأساتذة طالب عبد الرحمن، الأغواط
t.Berramdane@ens-lagh.dz

مقدمة

عُرفت المناطق الرطبة قديمًا على أنها أماكن تتجمع فيها المياه وأنها مأوى لمسببات الأمراض الفتاكة كالملاريا. لكن، ومع مرور الوقت، زال هذا المفهوم السيء عند كثير من الباحثين؛ فأصبحت المناطق الرطبة بالنسبة إليهم هي تلك المناطق الإيجابية ومجانية العطاء لدورها البيئي في الحد من أضرار الفيضانات وتموين المنابع المائية والجوفية، إضافة إلى كونها تتميز بتنوّع الإيكولوجي [1].

تُعتبر المناطق الرطبة نظامًا بيئيا مائيا من بين الأنظمة المختلفة الموجودة على سطح الكرة الأرضية، وهي الأكثر انتشارًا في العالم. ولا تُعرف المناطق الرطبة كمنخفضات تتجمّع فيها المياه فحسب، فقد تكون مساحات مائية طبيعية أو اصطناعية، دائمة أو مؤقتة، جارية أو راكدة، مالحة أو عذبة، وتُشكّل مأوى لشتى النباتات والحيوانات، خاصة الطيور المهاجرة وغيرها. وهي ذات عطاء إيجابي لما تلعبه من أدوار اجتماعية واقتصادية وعلمية وبيئية وثقافية وسياحية [1].

ومن أجل حماية المناطق الرطبة وُضعت عدّة اتفاقيات دولية، أهمها اتفاقية رامسار سنة 1971، وهي أول اتفاقية عالمية حول المناطق الرطبة. تميزت اتفاقية رامسار بأهمية دولية وجاءت في إطار التعاون الدولي المشترك [2]. في الثاني من شهر فيفري من سنة 1971، وبالضبط بمدينة رامسار في إيران، تم الإمضاء على معاهدة المحافظة والاستعمال العقلاني والدائم للمناطق الرطبة. صادقت على هذه الاتفاقية 172 دولة منها الجزائر التي قامت بذلك عام 1984، وأصبحت هذه المعاهدة أحد الأسس الرئيسية للمحافظة على المناطق الرطبة [3]. كما أضحى تاريخ 2 فيفري من كل سنة يومًا عالميا للمناطق الرطبة.

تمتاز هذه المناطق في الجزائر بتنوّع كبير؛ إذ تتمثّل في البحيرات والمستنقعات والمروج الرطبة والشطوط والسبخات والواحات. وبما أنّ المناطق الرطبة تكتسي أهمية عالمية بيئية واقتصادية، نقوم في موضوعنا هذا بتوضيح أهمية المناطق الرطبة وأنواعها وأماكن تواجدها في الجزائر.

1. التوزيع الجغرافي للمناطق الرطبة في العالم

توجد الأراضي الرطبة في شتى مناطق العالم، بدءًا من الصحاري الجليدية وصولًا إلى المناطق الاستوائية، إلا أنّ المساحة التي تشغلها الأراضي الرطبة نسبة إلى مساحة الأرض الكلية غير معروفة على وجه الدقة. وفقًا لمركز رصد الحفظ العالمي التابع لبرنامج الأمم المتحدة، تُقدّر مساحة الأراضي الرطبة بحوالي 570 مليون هكتار أي ما يعادل 6% من مساحة سطح اليابسة، تنقسم إلى 2% بحيرات و30% سِباخ و26% فينات fens (وهي مستنقعات من البقايا النباتية) و20% مستنقعات و15% سهول. وتتوزع المناطق الأساسية للأراضي الرطبة على قارات العالم.

1.1. قارة أمريكا الجنوبية

- نهر أورينوكو (Orinoco) في فنزويلا: يغطي مساحة 36000 كم^2 وتسيطر عليه الشواطئ المالحة وغابات المانجروف، ويصبّ في منطقة بحر الكاريبي.
- اللانوس (LIanos): يقع في الجانب الغربي لنهر أورينوكو الذي يتواجد غرب فنزويلا وشمال كولومبيا. يغطي مساحة 450000كم^2، ويمثّل أحد أكبر المناطق الرطبة الداخلية في أمريكا الجنوبية، حيث يرفع فصل الشتاء الماطر مع فصل الصيف الجاف من نسبة الفيضانات السنوية. وهو موطن مهم للطيور المهاجرة والباحثة عن الطعام. ويعتبر أيضا منطقة غنية بالتماسيح الاستوائية وسمك "البيرانا الأحمر" (red piranha).
- نهر الأمازون: يغطي مساحة 3000000كم^2، ويبلغ طوله حوالي 3000كم. يفيض النهر بنسبة ارتفاع تتراوح بين 5 و15متر سنويا. ويعتبر أكبر نهر في العالم بنسبة تدفّق تقدر بحوالي سُدس إلى خُمس المياه العذبة في العالم.
- البانتانال (Pantanal): أحد أكبر المناطق الرطبة في العالم، ويقع في الجنوب الغربي للبرازيل. يغطي مساحة 140000كلم^2 مع حوالي 131000كلم^2 من المساحة المغمورة بمياه الفيضانات.

2.1. قارة أوروبا

- نهر الرون (Rôhne): يعتبر من أهم المناطق الرطبة في فرنسا (الكامارجو)، ويغطي مساحة 900كم^2. يتميز بمناخ حار وجاف صيفًا ومعتدل ورطب شتاءً.
- المستنقعات الساحلية لأوروبا الشمالية: مستنقعات مالحة طينية واسعة النطاق، تتواجد على طول المحيط الأطلسي والسواحل الشمالية لأوروبا.
- نهر الراين (Rhine): يعتبر طريقًا أساسية للنقل البحري في أوروبا، كما أنّ الكثير من الأراضي الهولندية تقع حول نهر الراين.
- أراضي الخث (Peat lands): تتواجد بها أكثر من نصف الأراضي الرطبة في العالم، وتتواجد هذه الأراضي فيما يسمّى بالعالم القديم مثل: إيرلندا، إسكندنافيا، فنلندا، روسيا. وأغلب بنيتها من طحالب "سفنجوم" المتحللة (Sphagnum moss) والتي تتمثل في حوالي 3,46 مليون كم^2 من القطب الشمالي وأراضي الخث.

3.1. قارة إفريقيا

تتواجد الأراضي الرطبة بوفرة في جنوب الصحراء الكبرى الإفريقية، مثل نهر الكونغو والمستنقعات ونهر النيجر وفرع النيل العلوي والغابات الماطرة حيث يلتقي كل من النيل الأزرق والنيل الأبيض في جنوب السودان.

- نهر النيل: ذو تدفق عالٍ، والأراضي المحيطة به حُوّلت إلى مزارع وأراضٍ زراعية.
- نهر الأوكافانغو (Okavango Delta): عدد كبير من الأنهار والقنوات والأراضي والبحيرات تحولت إلى نهر الأوكافانغو. وتتواجد الكثير من غابات المانجروف على طول ساحله.

4.1. قارة أستراليا

تتميز الأراضي الرطبة لهذه القارة بكثرة الانتشار وتأثرها بالجفاف الموسمي وهذا بارتفاع نسبة التبخر وقلة تساقط الأمطار. كما أنّ الأراضي الرطبة الملحية والبحيرات هي الأكثر انتشارا بسبب ارتفاع نسب التبخر.

- نيوزيلندا (زيلاندا الجديدة): في موقع ما في الجزيرة الشمالية هناك سبعة أنواع من الأراضي، حيث حسرت حوالي 90% من أراضيها الرطبة. تتراوح الأمطار الموسمية للجزيرة الجنوبية ما بين 2 و5 متر سنويا، وأدّى ذلك إلى ظهور العديد من أنواع الأراضي الرطبة هناك.

5.1. قارة آسيا

معظم الأراضي الرطبة في آسيا تحولت إلى أراضٍ زراعية.

- جنوب آسيا والجنوب الشرقي لآسيا: تحتوي على أكثر الأراضي الرطبة، من بينها الأنهار: نهر السند (Indus)، نهر الغانج (Ganges)، نهر تشاوفرايا (Chao Phraya)، نهر ميكونغ (Mekong)، النهر الأحمر (Red River).نشير إلى أن نهر الميكونغ الذي وصل إلى مرتبة عالمية مهمة من حيث الطول (4350 كم) والمساحة (795000 كم^2). ينطلق هذا النهر من منبعه (هضبة التيبت)، ثم يواصل عبر أراضي اللاوس وكامبوديا وفيتنام ليصب في بحر الصين الجنوبي. وهو يغطي مساحة 62500كم^2.
- الصين: تتربع على حوالي 650000كلم^2 من الأراضي الرطبة، من خلال نهري اللؤلؤة ويانغتز (Perl and Yangtze). تم الاحتفاظ بحوالي 250000كلم^2 من هذه الأراضي، فيما استعمل حوالي 400000كم^2 منها لحقول الأرز والاصطياد ولمهام أخرى.

2. بعض المناطق الرطبة في الجزائر حسب اتفاقية رامسار

1.2. سبخة ملاح في ولاية غرداية

تقع على بعد 12كم من مدينة منيعة القوليا و5كم من حاسي القارة، وعلى بعد 280كم من الجنوب الغربي لمدينة غرداية، وتبلغ مساحتها 18947هكتار. هي عبارة عن منخفض أندرويك، يتشكل من أرضٍ مالحة ويتكون من وحدتين أساسيتين: حوض مرتفع متوسط الملوحة غني بالتنوع البيولوجي ويشبه بحيرة الأبيض المتوسط؛ وحوض منخفض يعتبر سبخة أو بحيرة مالحة تآكلت ضفافها تماما بالملح [5].

2.2. شط الحضنة في ولاية مسيلة

يشغل شطُ الحضنة وسطَ سهل الحضنة، وطوله من الشرق إلى الغرب 70كم، ومن الشمال إلى الجنوب 20كم. تُقدّر مساحته بـ 1100كم^2، (1000 كم^2 من ولاية مسيلة و100 كم^2 من ولاية باتنة)، وهو واحد من أكبر الشطوط في الجزائر. يُعدُّ شط الحضنة جزءًا مكملًا لأكبر حوض هيدرولوجي للحضنة، ويقع على بعد 40كم من جنوب ولاية مسيلة و20كم من شمال بوسعادة وعلى بعد 80 كم من الشمال الغربي لبسكرة [7].

يُعتبر شط الحضنة منطقة رطبة طبيعية غير ساحلية، وينتمي إلى حوض منحدر أندرويك. يأخذ جزءًا من سلسلة الشطوط المتطورة، حيث تتقارب هناك المياه المستعملة للأطلس الصحراوي في الجنوب والأطلس التلي في الشمال. ومياهها مؤقتة، بدون غطاء نباتي داخلي، ونوعا ما مالحة.

3.2. بحيرة رغاية في ولاية الجزائر (حضيرة طبيعية)

تقع بحيرة رغاية في ولاية الجزائر، وهي تابعة لدائرة رويبة، بين بلدية هراوة وبلدية رغاية. ويقع الجزء الجنوبي والغربي من البحيرة داخل هراوة، وهو يمثل المكان الرئيسي لتجمعات هذه البحيرة. تقع البحيرة على بعد 30كم شرق وسط مدينة الجزائر العاصمة و14كم من ولاية بومرداس، وتبلغ مساحتها 842 هكتار.

تقع المنطقة على هضبة مركزية مرتفعة، حُفرَت بعمق من قبل العديد من الوديان الغزيرة، على نمط متموج من قبل "وادي رغاية" الذي يشكل واديا ضيقا وصغيرا، بما في ذلك اثنين من المنحدرات واحد في الشرق، التي كانت تنتمي سابقا إلى الحقول الزراعية وتشغل في الوقت الراهن "سمداني" و"علي خوجة" مركز الصيد ومحطة الضخ؛ أما الآخر في الغرب، فيحتله دوار "عين الكحلة" والحقل الزراعي "بودهان". في الجزء الشمالي من الوادي تكثر الكثبان غير الثابتة التي تفصل مصب مياه البحر عن "وادي رغاية" [4].

4.2. بحيرة طونقا في القالة

تقع في أقصى الشمال الشرقي من الحظيرة الوطنية للقالة على بعد 5كم و65كم، على التوالي، جنوب شرق وشرق مدينة القالة وعنابة، و4,8كم شرق بحيرة "أوبيرا"، وعلى ارتفاع 2متر من سطح البحر. هذه البحيرة هي عبارة عن مستنقع

للمياه العذبة على اتصال مع البحر الأبيض المتوسط عن طريق قناة "المسيدا". وهي بيضوية الشكل (أبعادها7,1 كم طولا و3,5 كم عرضا). تحتل منخفضًا ساحليا واسعا مع مساحة حوالي 2400 هكتار (في المياه الكاملة)، وتنخفض بشكل كبير في الصيف بسبب التبخر [9].

تبلغ مساحة مستجمع المياه في بحيرة "طونقا" 150كم^2، كما يبلغ متوسط ارتفاعه بين 10 و550متر. يحدّه في الشمال خطّ تلال الكثبان الرملية التي تتراوح في الارتفاع من 70 إلى 100متر؛ أما في الغرب فهي بين مستجمعات مياه البحيرتين طونقا وأوبيرا؛ وغابة القالة في الشمال الغربي؛ وفي الشرق يقتصر على الحدود الجزائرية التونسية على طول جبل حدادة؛ من الشمال الشرقي يقتصر على جبل عرقوب الرشد وكاف سغلب و"شعابة دريدير" (Dridir Chaabet). وأخيرا، يحد الحوض من الجنوب الشرقي "مرتفعات العيون"، "جبل كوريما"و"كاف الحمام".

5.2. بحيرة فتزارة في ولاية عنابة

تقع بحيرة فتزارة في الشمال الشرقي للجزائر على مسافة 18كم من الجنوب الشرقي لمدينة عنابة. تمتد على طول 17كم من الشرق إلى الغرب و13 كم من الشمال إلى الجنوب، وتقدّر مساحتها بحوالي 18600هكتار. وقد تم تصنيفها رسميا كمنطقة محمية ضمن اتفاقية "رامسار" مما يستلزم حماية هذا الموقع.

تُعتبر بحيرة فتزارة واحدة من أهم النظم الإيكولوجية الرطبة والرائعة في أقصى شمال شرق الجزائر. وهي واحدة من أهم البحيرات التي تميز الجهة الشمالية الشرقية للبلاد، علما أنه توجود عدة بحيرات متناثرة على السهول الساحلية. بعبورنا لمنطقة فتزارة فإننا نميز شكلين مورفولوجيين، وهما من الأشكال الجبلية التي تتطابق مع الجبلين "الإيدوغ" و"بليليطا" إلى الشمال، وسلاسل"تليان" الواقعة جنوب سهل عنابة [10].

6.2. بحيرة بني بلعيد (محمية طبيعية) في ولاية جيجل

تقع بحيرة بني بلعيد تحديدا في الشمال الشرقي للجزائر على ارتفاع من 2 إلى 3متر، وتُقدّر مساحتها بـ600هكتار. تقع تحديدا في بلدية "واد العجول" دائرة "العنصر"، على بعد حوالي 32كم من مقر الولاية جيجل، وتمتد على الأرض الزراعية المستوية الواسعة "بلغيموز" إلى شرق المكان الذي ينحدر منه مصب "واد الكبير". يحدها شمالًا البحر المتوسط، وجنوبًا الأراضي الزراعية، وشرقًا "واد الكبير". تتميز البحيرة بحياة نباتية بحيرية لعدد كبير من الأنواع النباتية النادرة، ما أهّلها لتكون منطقة رطبة مهمة، وهي مصنفة ضمن قائمة رامسار العالمية [6].

7.2. الزهرز الشرقي والغربي في ولاية الجلفة

يقع في ولاية الجلفة في منطقة سهبية، على بعد 45كم من مدينة الجلفة و10كم من الجنوب الغربي لبلدية حاسي بحبح و5كم من بلدية الزعفران و200كم من شمال الجزائر. وهو عبارة عن منخفض قليل العمق ناتج عن طوبوغرافيا تسمح بتجمع المياه القادمة من عدة مصادر: "واد ملاح"، "واد الزوبية"، "واد حاجية". بالإضافة إلى أنّ تربته قليلة، وهي لذلك لا تتسرب كثيرا إلى الجوف.

8.2. ضاية الفرد بولاية تلمسان

تقع في ولاية تلمسان، في أقصى الغرب الجزائري. ويحدها من الشمال البحر الأبيض المتوسط ومن الشمال الشرقي ولاية عين تموشنت، وولاية النعامة من الجنوب، وولاية سيدي بلعباس من الجنوب الشرقي، والحدود المغربية الجزائرية من الغرب. حسب موقعها الجيوغرافي، فإنّ ضاية الفرد تعتبر منطقة رطبة قارية، يحدها من الشمال جبل"لاتو" وهو الواجهة الجنوبية لجبال تلمسان، ومن الغرب جبل "تينكريال"، ومن الشرق جبل"ورقلة"، ومن الجنوب جبل "مكيدو" وجبل"كدية بوخامف" وجبل"راوري". تنتمي ضاية الفرد إداريًا إلى دائرة "سبدو"، بلدية "العريشة" ("لعوج" قديما). وتقع على بعد 55كم من مدينة تلمسان. ينتمي الموقع إلى الجزء السفلي من الحوض "العوج" الذي تبلغ مساحته 1370كم^2. صُنفت ضاية الفرد، التي تبلغ مساحتها مساحته 1500هكتار، كموقع رطب.

تتصف ضاية الفرد بمناظر سهبية مستوية، وهي منطقة رطبة طبيعية قارية ذات أهمية عالمية. ضاية الفرد هي عبارة عن منخفض كبير أندرويك عمقه لا يتجاوز 5متر وطبيعته ملحية دائمة. أهم الأودية التي تصب فيه "واد بن تشة" و"واد منصور" [8].

9.2. أوقلات الدايرة في ولاية النعامة

تقع هذه المنطقة على بعد 2كم من بلدية عين بن خليل، و30كم من مقر الولاية، و45كم من مدينة مشرية. حوض الدايرة هو منطقة رطبة مؤقتة، يزوّدها بالماء "واد المرفق" و"واد روقيمة" و"واد العريض" و"واد تاوسانا" و"واد زمري". الحوض عبارة عن وعاء على ارتفاع 1150متر، ذو مياه مؤقتة من شهر أكتوبر إلى شهر أفريل (فترة تساقط الأمطار بمنطقة البحر الأبيض المتوسط). تُعدّ كمية المياه الموجودة به معتبرة وبدون ملوحة (عذبة)، ويتراوح عمقها بين 3 و5متر، كما أنّ الأراضي عميقة وناتجة عن اجتماع الأتربة المجلوبة مع المياه والمنحدرات. يتوفر هذا الموقع على نباتات مختلفة من ضمنها نوعان محميان عالميا، وأربعة أنواع خاصة بالمنطقة. ويوجد كذلك العديد من أنواع الطيور (أكثر من 30 نوعًا) من ضمنها 12 نوعًا محميًا عالميًا، مثل الحبارى [4].

خاتمة

اهتم مقالنا هذا بمعرفة أهم المناطق الرطبة في العالم وفي الجزائر خاصة، وبالتحديد تلك المصنفة ضمن اتفاقية رامسار؛ فهي تُعدّ مصدرًا للتنوع البيولوجي وثروة طبيعية منتجة، رغم المخاطر التي تواجهها. فلقد تعرضت جُلّ المناطق الرطبة في الجزائر إلى عدّة مشاكل لا تزال تهددها إلى حد الآن، كالتوسع العشوائي للمحيطات الفلاحية المجاورة للمناطق الرطبة، وعمليات التجفيف من أجل إنشاء أراضٍ فلاحية جديدة، واستعمال المناطق الرطبة كمصبّ للمياه القذرة ورمي الأوساخ والقاذورات وزيوت المحركات، فينتج عنها أمراض كالملاريا والحمى الصفراء. تُعدّ هذه المناطق هدفًا بشريًا للصيد الجائر للطيور المهاجرة، ومصدرًا لإزالة الغابات من أجل الحطب. بالإضافة إلى ذلك تواجه المناطق الرطبة مخاطر بيئية كالكوارث الطبيعية: الفيضانات، الحرائق، الجفاف، استخراج المعادن.

وتفاديًا لهذا كله نقدّم بعض الحلول والتوصيات من أجل حمايتها، فحماية المناطق الرطبة هي حماية لمصالح الإنسان:

- الاستغلال العقلاني للمناطق الرطبة؛
- تجهيز المصانع بوسائل إزالة التلوث كمحطات تصفية المياه، والحدّ من صبّ المياه القذرة وهذا بإنجاز محطات التصفية؛
- تفادي استهلاك الموارد السَمكية وردع الصيد غير المشروع؛
- تأسيس جمعيات ومنظمات عالمية ومحلية وإبرام اتفاقيات لحماية المناطق الرطبة والمحافظة عليها؛
- تثمين المناطق الرطبة بإصدار قوانين، وإدماجها ضمن المخطط الوطني للتنمية الريفية والفلاحية؛
- تحسيس المواطنين والسلطات المحلية والمركزية حول فائدة المناطق الرطبة في الاقتصاد الوطني، وإدماج السكان المجاورين لهذه المناطق في التسيير المستدام لهذه الثروة؛
- توسيع عدد ومساحة المناطق الرطبة ضمن قائمة "رامسار" في الجزائر؛
- توجيه هذه المناطق للمجال السياحي عن طريق التهيئة والتجهيز، وذلك لما تحتويه من تنوع إيكولوجي متميز بوجود أنواع مختلفة ونادرة من الثروة الحيوانية خاصة الطيور، مما يساهم في تنشيط السياحة في الجزائر.

إنّ حماية هذه البيئات الطبيعية مطلب وطني يعادل أي مطلب عصري حضاري، إذ أنّ العالَم مقبل على أزمة مياه حقيقية لاحت بوادرها في كثير من بقاع الأرض.

المراجع

[1] تايجي، إبراهيم، المناطق الرطبة، بدون سنة.

[2] حولي، لطيفة، المنطقة الرطبة بمنزل بورقيبة بين الأهمية الإيكولوجية وضغط الإنسان على الوسط، الإجازة التطبيقية في الجغرافيا، مسلك التهيئة الترابية، جامعة تونس، 2016.

[3] رامسار (1971)، نص اتفاقية الأراضي الرطبة، كما تم اعتماده عام 1971.

[4] Amar B., Etude portant projet de classement du site de oglat eddaira en aire protégé, (projet relatif à la conservation de la biodiversité et de la gestion durable ressources naturelles), Numéro du projet: ALG/00/G35/A/1G/99, Naama, 2003.

[5] Direction générale des forêts, Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar, 2005.

[6] Elancer.dz.over-blog.com/article/03.01.2018/14:50.

[7] Marre A., Etude géomorphologique du Tell Oriental Algérien de Collo à la frontière tunisienne, Université Aix-Marseille II U.E.R. de géographie, 1987.

[8] Pouget M., les relation sol-végétation dans les steppes Sud-algéroises. Trav. Doc. ORSTOM, Paris 1980.

[9] Slimani A., Evaluation et valorisation des potentialités phylogénétiques fourragères sur les berges des lacs Tonga Oubeira et le lac des Oiseaux dans la région d'El taref, Thèse de doctorat, Université Annaba, 2009.

[10] Zahi F., La qualité des eaux et des sols de la région du lac Fetzara (Nord-Est d'Algérie), Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister, Option: Géosciences, Université Badji Mokhtar-Annaba, Algérie, 2008.

تعليميـــــــة

مقاربتان في محاولة لتقسيم الزمن وفي تحديد مفهومه

محمد خضراوي
أستاذ بقسم الفيزياء، مخبر تعليمية العلوم، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
mohamed.khadraoui@g.ens-kouba.dz

1. مقدمة

تسعى الفيزياء وتهدف إلى محاولة صياغة الحقائق الأساسية عن طبيعة الكون -في حدود إمكانيات العقل البشري- متبعة في ذلك عملية منهجية لجمع البيانات من خلال الملاحظة والتجريب، ثم تنظيم هذه البيانات حتى يتسنى استخلاص النتائج للاستفادة من تطبيقاتها في الحياة اليومية ولتنمية التفكير العلمي للإنسان. وما التقدم الكبير الذي تشهده تطبيقات الفيزياء في تكنولوجيا الاتصالات وفي الطب وفي مختلف النواحي الحياتية للإنسان وغيرها إلا دليل على الأهمية العظيمة لهذا العلم. قيل في هذا السياق: إنّ العلم هو معرفة الأسباب، كما قيل أيضا إنّ العلم هو معرفة الأشياء بمسبباتها ومبادئها.

إنّ السببية في الفيزياء من بين المفاهيم الأساسية التي أقيم عليها العلم التجريبي (الفيزياء). والسببية هي علاقة بين سبب ونتيجة، وهي علاقة تربط شيئا بآخر، فيكون فيها الأول هو السبب والثاني هو المسبب عنه. وقد بنيت قوانين نيوتن الثلاث على مبدأ السببية وأيضا على الحتمية، لكننا نرى أنّ التسليم بمبدأ السببية لا يكون مطلقا، فقد تتوفر الأسباب ولا تحدث الظاهرة، لهذا يقال الأسباب عندها لا بها. غير أنه في العلم الصغير كفاية (الميكروسكوبي) من اللازم التخلي عن فكرة السببية ففيه قوانين الاحتمال تشغل المكان الذي كان يحتله قانون السببية.

تُعرف العلوم بالمبادئ التي تُبنى عليها، وفي هذا السياق جاء في **معجم التعريفات** للجرجاني أنّ: "المبادئ هي التي لا تحتاج إلى برهان بخلاف المسائل، فإنها تتثبت بالبرهان القاطع" [3]. والمبدأ في الفيزياء عامة، هو ما لم تبطله أي تجربة حتى الآن رغم أنه لم يتم إثباته، لذلك لا يُسمح لأحد اعتباره فيزيائيا إذا لم يعرف مبادئ الفيزياء.

ترتبط المفاهيم العلمية التي تصف الظاهرة الطبيعية فيما بينها مشكّلة مبدأ خاصًا بتلك الظاهرة وهي أساس بناء النظريات والقوانين. إنّ المفاهيم هي اللبنات الأساسية في بناء العلوم، وللفيزياء مفاهيمها. وتُعدّ بعض هذه المفاهيم أكثر غموضًا وبالتالي أكثر صعوبة من حيث الفهم والاستيعاب، نذكر منها مفهوم الطاقة ومفهوم الكتلة وغيرهما من المفاهيم. غير أنّ مفهوم الزمن هو من بين المفاهيم الأكثر غموضا وصعوبة، إن في الفيزياء وإن في الفلسفة وإن في غيرهما من المجالات. إننا نشعر بالزمن لكننا لا نعرفه. الزمن مصطلح شفاف ودقيق ولكنه مليء بالمعاني والمدلولات وهو يتجلى في التصورات المختلفة والمتعددة وفي كثرة مدلولاته اللفظية ومن ثَمَّ يحدث لبس كبير في معانيه (كل معنى يسبقه لفظ) ولا تحصل معرفة مدركة إلا قليلا.

إنّ مفهوم الزمن من أعقد المفاهيم وتصوره في الأذهان غير واضح، والمدلول اللفظي غير مفهوم فهمًا دقيقًا لكثرة مدلولاته (الوقت، الحين، المدة، اللحظة، إلخ). قال ابن ملكا البغدادي في هذا السياق: "تمثّل الصورة في الأذهان من مشاهدة الأعيان يسمّى تصورًا ومن مدلولات الألفاظ يسمّى فهمًا وموافقتها بعد التمثّل لمدركاتها يسمّى معرفة" [2]. أي في محاولة معرفة الشيء نمرّ بمراحل ثلاث:

- تصوّر الشيء من خلال المشاهدة العيانية، تحصل الصورة في الأذهان عن الأشياء الموجودة في الأعيان، نتصور فكرة الزمن من خلال حركة الأجسام أو التغير في الأحداث.
- الألفاظ ضرورية ليحصل فهم الشيء، فالزمن ولكثرة الألفاظ الدالة عليه يصعب فهمه.

- تحصل المعرفة بالإدراك لموافقة تمثّل الصورة ومدلولاتها اللفظية؛ كل شيء خارج الذهن إذا أُدرك حصلت له صورة في الذهن تطابق لما أدرك منه بعد التعبير عنه باللفظ الدال على الشيء فتحصل معرفة الشيء.

لقد اختلف مفهوم الزمن من حضارة إلى أخرى ومن حقبة إلى أخرى ومن ثقافة إلى أخرى ومن تخصص في العلوم إلى آخر، وتعددت وجهات النظر بشأنه، لأجل ذلك نقدّم بعض الرؤى المختلفة لمفهوم الزمن.

2. رؤى مختلفة لمفهوم الزمن

جاء في كتاب **الزمان أبعاده وبنيته** لمؤلفه الصديقي، في وصف الزمن في الحضارة اليونانية والهندية، أنّ الحضارة اليونانية القديمة صوّرت الزمن كمفترس يفترس أبناءه ومعنى هذا هو استيعاب الزمان لكل الأحداث. بينما كان الزمان عند الهنود وبعض الحضارات القديمة دائريًا، أي أنه أزلي وأبدي" [6].

يُعتبر الزمان في الحضارة الحديثة مطلقًا ونسبيًا عند إسحاق نيوتن (Isaac Newton)، ونسبيًا فقط عند ألبرت أينشتاين (Albert Einstein). جاء في كتاب صادرٍ عن جامعة مونتريال ما يلي: "ميّز نيوتن في كتابه **المبادئ**، بين المكان المطلق والمكان النسبي، والزمن المطلق والزمن النسبي (ليس له أية علاقة بالزمن النسبي في النظرية النسبية). والمكان المطلق بطبيعته لا علاقة له بأي شيء خارج عن نفسه وهو غير قابل للتغيير، أما المكان النسبي فهو بعدٌ متحرك أو قياس بسيط للمساحات المطلقة. وكذلك ميّز نيوتن بين الزمن المطلق والزمن النسبي؛ فالزمن المطلق أو الرياضي هو المدة التي تمر دون علاقة بأي شيء خارج عنها، والزمن النسبي، الظاهر والشائع، هو مقياس حسّي للمدة، يتم بواسطة الحركة، كالساعة أو اليوم" [11].

مما يدعم قولنا أنّ نيوتن قسّم الزمن إلى مطلق ونسبي ما جاء في مقال بعنوان: **الزمن وفق نيوتن و أينشتاين** لأندري لوزبرغ (André Lausberg) المنشور في مجلة الجمعية الملكية للعلوم بلياج: "الزمن المطلق حقيقي ورياضي، لا يتعلق بأي شيء خارجي، مستقل عن الظواهر، يتدفق بانتظام، نمثّله رياضيا كخط مستقيم من $-\infty$ إلى $+\infty$. أمّا الزمن النسبي فهو ظاهري ومشترك، هو القياس الحسي لجزء من المدة الناتجة عن الحركة، مثل قياس الساعات والأيام والشهور، إلخ [12].

لكن مفهوم الزمن المطلق كما قال به نيوتن تعرّض لانتقادات من طرف غوتفريد لايبنتز (Gottfried Leibniz) حيث طرح إحدى الإشكاليات المتمثلة في:

- هل هذا الزمن إلهي؟

يجيب الباحث في فقرة تقسيم الزمن عن هذه الإشكالية.

كما أنّ الزمن المطلق لم يعد موجودًا بعد ظهور نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين، حيث بنى هذه النظرية على المسلّمتين التاليتين بعد الاستغناء عن فكرة الأثير (يمكن الرجوع إلى تجربة مايكلسن ومورلي Michelson-Morley):

- ثبات سرعة الضوء (في الفراغ)؛
- ثبات القوانين الفيزيائية في جميع المعالم العطالية.

خلص أينشتاين من خلال هاتين المسلمتين إلى نتائج كثيرة نذكر منها ما يهمنا في هذا المقال:

أ. تباطؤ الزمن: يتباطأ الزمن عند جسم بزيادة سرعته، حيث أنّ السرعة محدودة بسرعة الضوء.

يقاس الزمن في المعلم المتحرك (نرمز له بالرمز T') بالنسبة لقياسه في المعلم الساكن (نرمز له بالرمز T) وفق الصيغة التالية:

$$T' = \frac{T}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

هذا هو قانون تمدد الزمن. وهذا التأثير قد تم التحقق منه تجريبيا بالنسبة لعالم الجسيمات الأولية أين تصل السرعات قريبا من سرعة الضوء.

ب. نسبية التزامن: إنّ حدثين متزامنين بالنسبة لمرجع لن يكونا متزامنين بالنسبة لمرجع آخر، هكذا لا ينبغي أن ننسب معنى مطلقًا لفكرة التزامن.

ج. نتج مثلا عن تطبيق خصائص الزمن النسبي في الساعات الذرية المحمولة في الأقمار الصناعية تحديد بدقة مكان المتحرك على سطح الأرض بنظام التموضع العالمي GPS (Global Positioning System).

خلاصة القول هنا أنّ الزمن يوظف حسب نيوتن أو حسب أينشتاين في الفيزياء بمختلف نظرياتها قوانينها.

3. الزمان والحركة

ترتبط الحركة بالزمن، لكنه ليس من ذات الحركة. وفي هذا الشأن يقول جهامي: "إنّ حركة الجسم هي انطباع الحركة في الذهن وليس الحركة ذاتها، لكن الزمان ليس هو الحركة ولا هو من ذاتها، بل الزمن مقياس نسبي إذا طبق على الحركة كالعدد بالنسبة إلى المعدود، فالمعدود يكون متناهيا بينما العدد يمكن تطبيقه إلى ما لا نهاية. وهكذا قل عن الزمن فإنه مستقل عن الحركة كما العدد مستقل عن المعدود، إذ يطبق على كل حركة، هو ينتج منطقيا عن الحركة لكنه ليس من ذاتها" [4].

إنّ الزمان هو مقدار الحركة من جهة التقدم والتأخر، فليس المقدار هو الحركة، أي ذاتها، بل هو صفة لها، فالزمان كمّ مقدّر للحركة، وهو لا يعرف بذاته بل بغيره. فالزمن مشروط بوجود النفس التي تحس للحركة كما جاء عن أبي حامد الغزالي: "يلزم من الحركة الزمان لا محالة، فإن كل حركة في زمان، والزمان هو مقدار الحركة، فإن لم يكن حركة لم يكن زمان في الوجود، وإن لم تحس النفس لحركة لم تحس لزمان كما كان في حق أصحاب الكهف" [8].

لقد أدخل غاليليو غاليلي (Galileo Galilei) سنة 1683 لأول مرة، الزمن بصفة كمية تسمح بربط الرياضيات بالتجارب، واستنتج غاليلي أنّ سرعة سقوط الجسم سقوطًا حرًا تتناسب ببساطة مع مدة السقوط، وصار أول تمثيل للزمن هو الخط الموجه المتكون من سلسلة لحظات متناهية في الصغر. ثم جاء نيوتن ووضع قوانينه الثلاثة في كتابه **الأصول الرياضية للفلسفة الطبيعية** سنة 1687، التي تصف وتفسر كل حركة في الأنظمة والظواهر الفيزيائية، وكل حركة في زمن، وهكذا نتخذ الزمن كوسيط أساسي في القوانين الفيزيائية. إنّ هذا المفهوم للزمن كان ساري المفعول حتى اكتشاف نظرية النسبية في عام 1905 التي ظهر من خلالها مفهوم الزمن النسبي بمفرده دون الزمن المطلق، فهذه النظرية نفت وجود مفهوم الزمن المطلق.

4. تقسيم الزمن

ورد عن عبد الرزاق قسوم أنّ ابن رشد قال: "أن حد الخط هو النقطة وأما في البسيط فهو الخط، وأما في الجسم فالبسيط، وأما في الزمان فالآن، وذلك أن بالنقطة تتصل أجزاء الخط وبالخط تتصل أجزاء السطح وبالسطح تتصل أجزاء الجسم، وبالآن يتصل جزآ الزمان اللذان هما الماضي والحاضر".

قال ابن ملكا البغدادي في كتابه **المعتبر في الحكمة** أيضا في تعريفة لمفهوم الآن الزماني: "إن الآن هو الذي يوجد من الزمان، ولا يوجد زمان البتة، فلولا الآن ما دخل الزمان في موجود على الوجه الذي دخله" [10]. بينما يرى ابن رشد، أنه: "لا يدخل من الزمان في الحقيقة إلا الآن، فالآن هو سيال، ليس بممكن أن يوجد لا مع الزمان الماضي ولا مع المستقبل، فهو ضرورة بعد الماضي وقبل المستقبل، الذي يجوز وجود آن للحاضر أو حاضر قبله ماض، فهو وضع الزمان والآن" [10].

أما من وجهة نظرنا، فإنه يمكننا تقسيم مفهوم الزمن إلى الأصناف التالية:

- الزمن المطلق: هو زمن خارج عن وعي الإنسان وليس كما ادعى نيوتن، أو هو الزمن في عالم الغيب: لا يعلمه إلا الله، وهذه هي الإجابة عن الإشكالية التي طرحها لايبنتز كما ذكرنا سابقا.
- زمن الخلق: هو الزمن الذي تستغرقه عملية الخلق على مبدأ كن فيكون.
- الزمن السرمد: هو عدم الإحساس بمرور الزمن لعدم تعاقب الليل والنهار في حالة إيقاف الأرض عن دورانها حول الشمس، وبهذا فإنّ النهار السرمدي والليل السرمدي يمثّلان زمنًا افتراضيًا (بقدرة الله).
- الزمن في الكائنات الحية: توجد في الكائنات الحية بما فيها الإنسان ساعة طبيعية (حيوية، بيولوجية) تنقل للإنسان الإحساس بالزمن عبر منافذ الحواس كالسمع والبصر، وإذا تعطلت إحدى هذه الحواس بسبب ما كتعطّل حاسة الإبصار بالنوم مثلا، فإنّ الإنسان يفقد الإحساس بالزمن، فهو لا يعرف المدة الزمنية التي انقضت وهو نائم، كما أنّ الحالة النفسية للإنسان هي التي تحدد له طول أو قصر المدة الزمنية.
- الزمان النسبي أو الزمن المعيش أو الحادث: وهو الزمن عند الإنسان، الذي يتعلق بحركة الأرض والشمس والنجوم والكواكب.
- الزمن الرمزي: الذي يدخل فيه مفهوم الزمن الفيزيائي العلمي، وهو مدة (تجدد اللحظات) حدوث الحدث مهما كانت صغيرة ونرمز له بالرمز t. وهو يدخل كوسيط في التفاعلات بين الأجسام بصفة مباشرة، كما هو الحال في حساب السرعة والتسارع في مجال الحركيات وفي قوانين النشاط الإشعاعي أو بصفة غير مباشرة كما هو الحال في حساب الطاقة الحركية والطاقة الكامنة وغيرهما في الميكانيك الكلاسيكي. لكن الفيزياء الحديثة تصف الحدث في الزمن-المكان بنقطة بأربع إحداثيات وتكون إحداثياتها في الزمن-المكان هي(x,y,z,ct) حيث c هو سرعة الضوء.

5. الزمن هو الآن

لإثبات أنّ الزمن ينقسم إلى جزء لا يتجزأ -وهو الآن- نعرض مقولتين حاسمتين في هذا الشأن هما:

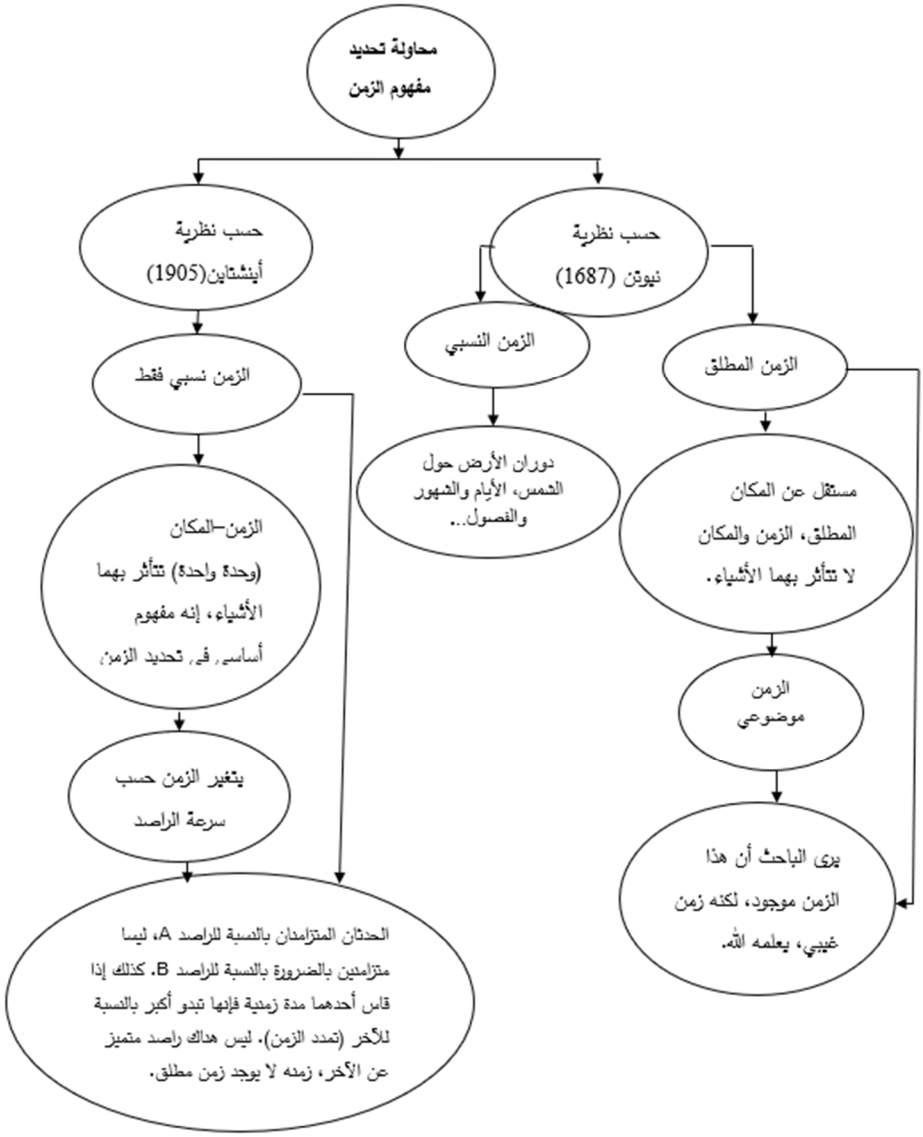
- **المقولة الأولى**: جاء عن أبي حامد الغزالي أنّ "العقل إذا أدرك أشياء فيها تقدّم وتأخّر أن يعقل معها الزمان ضرورة ويكون ذلك لا في زمان، بل في آن والعقل يعقل الزمان في آن" [9]. ذلك لأن الإنسان تميز بفضل ربه بالعقل عن سائر المخلوقات، والعقل يعقل الزمان في الآن.
- **المقولة الثانية**: جاء عن الأشعري في كتابه **مقالات الإسلاميين** أنّ: "العرض لا يبقى زمانين فكل ما نراه من اتصال جسمي يُعبّر في الحقيقة عن تفكك واتصال دائم وإن أوهمنا باتصاله، فضآلة اللحظات أو الآنات المتجددة بتدفق الخلق هو ما يجعل الأشكال الجسمية تبدو متصلة ومتناغمة رغم أنها مفككة على الدوام والله هو الذي يعيد خلقها بعد إفنائها في كل آن. والزمان ليس متصلا، ولو كان متصلا لوقعنا في متاهة القسمة غير المنتهية" [1].

6. المقاربتان

نحاول من خلال هاتين المقاربتين تحديد مفهوم الزمن وتقسيم الزمن من خلال مخططين يلخص كل منهما محتوى كل مقاربة:

1.6. المقاربة الأولى: محاولة تحديد مفهوم الزمن

يبيّن المخطط أدناه محاولة تحديد مفهوم الزمن وفق نظرية نيوتن ووفق نظرية أينشتاين على نحو مختصر:



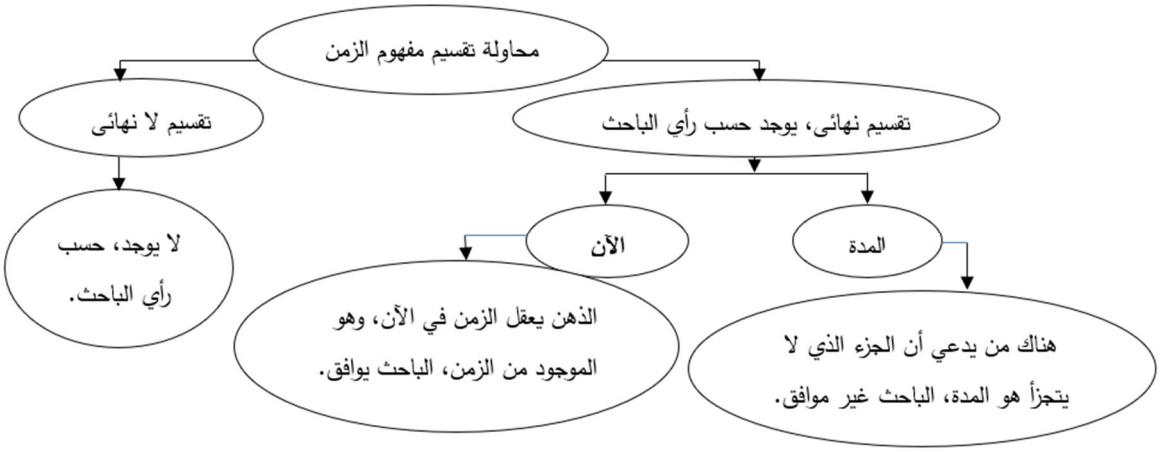
2.6. المقاربة الثانية: محاولة تقسيم مفهوم الزمن

نحاول من خلال هذه المقاربة تقسيم الزمن وفق نظرية نيوتن ونظرية أينشتاين بصفة مختصرة.

إنّ الماضي لم يعد موجودًا والمستقبل لمّا يأت بعد، فالحاضر هو الموجود من الزمان، والآن هو الموجود من الحاضر. وقد أثبت ذلك منطقيا العاتي حيث قال: "إن كان الحاضر غير موجود فلا وجود للزمان، وهذا الحاضر إما أن يكون غير منقسم أو أن يكون منقسمًا إلى أجزاء، فإن كان الحاضر منقسمًا إلى أجزاء، فإما أن تكون أجزاؤه متساوقة فيلزم اجتماع أجزاء الزمان، وهذا محال بالضرورة، وإما أن تكون متلاحقة، فلا يكون الحاضر كله حاضرا، ولا بد من القول إن الحاضر آن أو فصل غير منقسم، وبالتالي يتركب الزمان من آنات متتالية غير متجزأة" [7].

لإثبات أنّ الزمن يتكون من آنات تتالى، فإن فخر الدين الرازي قال: "إنّ الآن عبارة عما يفصل الماضي عن المستقبل، فهو إن كان منقسمًا كان بعضه ماضيًا وبعضه مستقبلًا، فلا يكون فاصل بين جميع الماضي وجميع المستقبل، وإن لم يكن منقسما فلا بد أن ينعدمن لأن الآن لا يبقى ساعة أخرى، فإما أن يكون لعدمه بداية أو لا يكون، والثاني محال، لأن عدمه أمر متجدد ولكل متجدد بداية، وإذا كانت له بداية فبداية عدمه إما أن تكون مقرنة لوجوده أو لا تكون، والأول

باطل لاستحالة الجمع بين العدم والوجود، فإذا بداية عدمه غير مقارنة لوجوده، فإما أن يكون بين الآن الذي هو بداية وجوده وبين الآن الذي بداية عدمه زمان أو لا يكون، فإن كان الأول كان الآن باقيا وهذا خلف، وإن لم يكن فقد تتوالي آنان ثم الكلام في الآن الثاني، فليزم تتالي الآنات" [5]. هذا إثبات قاطع أنّ الزمن منقسم إلى جزء لا يتجزأ وهو الآن.



الخاتمة

إنّ المفاهيم الخاصة بكل فرع من العلوم -والفيزياء علم من العلوم المتميزة- هي مفتاح الدخول إلى صرح ذلك العلم ومن ثم الغوص والتعمق في فهم أسراره واكتساب المعرفة التي تسعد البشرية عند تطبيقها فيما ينفع وليس فيما يضر. مفاهيم الطاقة والكتلة والمادة وغيرها هي مفاهيم أساسية في علم الفيزياء، غير أنّ مفهوم الزمان والمكان هما مفهومان مركزيان؛ فالمكان يتحدد بالأشياء والزمان يتحدد بالأحداث، ولولا المكان ما كان للأشياء وجود ولولا الزمان لحدثت الأحداث (التفاعلات) دفعة واحدة.

إنّ الزمن وفق نظرية نيوتن مستقل عن المكان، مطلق ونسبي، لا تتأثر بهما الأشياء، أي أنّ الرصد والقياس والمشاهدة لا تؤثر على استقلالية الزمن المطلق. لكن الزمن النسبي عند أينشتاين مرتبط بالمكان في وحدة واحدة تدعى الزمن-المكان (الزمكان)، تتأثر بهما الأشياء، لا وجود للأشياء ولا للأحداث خارج نطاق الزمن والمكان. كان للزمن النسبي وفق حسابات أينشتاين نتائج هامة نذكر منها: نظام تحديد المواقع (GPS).

باعتبار أنّ مفهوم الزمن أكثر غموضًا وأصعب فهمًا، وفي محاولة منا لتذليل تلك الصعوبات وتيسير فهمه اقترحنا مقاربتين، وذلك بإدراج مخططين توضيحيين: تناول الأول منهما محاولة تقسيم مفهوم الزمن وفق نظريتي نيوتن وأينشتاين بصورة عامة، واتضح لنا أنّ مفهوم الزمن يعقله الإنسان الواعي. بينما تناول المخطط الثاني محاولة تحديد مفهوم الزمن، وتبين لنا أنّ تحديده يتعلق حصريًا في تعريف الآن، فلولا الآن ما كان للزمان وجود.

المراجع

[1] الأشعري، أبو الحسن علي بن اسماعيل، مقالات الإسلاميين واختلاف المصلين، تحقيق محمد محي الدين عبد الحميد، ج. 2، المكتبة العصرية، بيروت، 1990.

[2] البغدادي، ابن ملكا، المعتبر في الحكمة، إدارة جمعية دائرة المعارف العثمانية، حيدر أباد الدكن، باكستان، 1357هـ.

[3] الجرجاني، علي بن محمد، معجم التعريفات، تحقيق محمد صديق المنشاوي، دار الفضيلة، القاهرة، 2004.

[4] جهامي، جيرار، مفهوم السببية بين المتكلمين والفلاسفة (بين الغزالي وابن رشد)، دراسة وتحليل، دار المشرق، بيروت، 2002.

[5] الرازي، فخر الدين، المباحث المشرقية في علم الإلهيات والطبيعيات، ج 2، شركة أبناء شريف الأنصاري للطباعة والنشر والتوزيع، المكتبة العصرية للطباعة والنشر، بيروت، 1990.

[6] الصديقي، عبد اللطيف، الزمان أبعاده وبنيته، المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع، بيروت، 1995.

[7] العاتي، إبراهيم، الزمان في الفكر الإسلامي، دار المنتخب العربي، بيروت، 1993.

[8] الغزالي، أبو حامد، معارج القدس في مدارج معرفة النفس، شركة الشهاب، الجزائر، 1989.

[9] الغزالي، أبو حامد، مقاصد الفلاسفة، تعليق محمود بيجو، مطبعة الصباح، دمشق، 2000.

[10] قسوم، عبد الرزاق، مفهوم الزمان في فلسفة أبي الوليد بن رشد، المؤسسة الوطنية للكتاب، الجزائر، 1986.

[11] Gauthier, Yvon, Entre science et culture : Introduction à la philosophie des sciences, PUM, Montréal, 2005. https://books.openedition.org/pum/10442

[12] Lausberg, André, Le temps selon Newton et Einstein, Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, Volume 74, Numéro 4, 271-283, (2005). https://popups.uliege.be/0037-9565/index.php?id=287

دراسة في ملمح نهاية الطور الابتدائي بالمدرسة الجزائرية:
تقويم مكتسبات التربية العلمية والتكنولوجية - البعد التكنولوجي أنموذجا
الجزء 1: توطئة ومفاهيم أساسية

الطيب زاوي
مفتش التعليم المتوسط للعلوم الفيزيائية والتكنولوجيا، مديرية التربية لولاية وهران
iem31phy1@gmail.com

مقدمة

في إطار برامج عمل وزارة التربية الوطنية ومواصلةً لمساعيها المستمرة في إصلاح المناهج الدراسية وعصرنة المنظومة التربوية، لاسيما فيما يخص إعادة النظر في تنظيم الامتحانات المدرسية وتكييفها، باشرت الوصاية إجراء الامتحان النهائي "تقييم مكتسبات مرحلة التعليم الابتدائي" [1]، بداية من الموسم الدراسي المنصرم 2023/2022، وفي دورة تُعد ناسخة لسابقاتها المألوفة. وقد تم استكمال هذا المشروع بتوسيع التحوير واعتماد ما يُسمّى بـ "المعالجة البيداغوجية" مع مطلع السنة الدراسية الجارية.

ومن أجل تسليط الضوء على الإجراءات الهامة المصاحبة للعملية المستحدثة، وبغية فهم ماهية العلاقات التي تربط أبرز المتدخلين فيها، وكذا الدراية بنصاب كل واحد منهم من توزيع الأدوار لتفعيلها بما ينسجم وواجباتهم المهنية، أُجريت هذه الدراسة. وقد استندت هذه الدراسة على بعض النصوص المرجعية والوثائق المرتبطة بمستجدات الحال على غرار المرفقات والأدلة [2]، لتُقدّم منتوجا تقويميا لملمح التخرج من المرحلة الابتدائية في إحدى المواد العلمية، ولتُثمر بسند موجه للأستاذ، فتوضّح كل ما يهمه بشأن هذه الآلية البيداغوجية المجدّدة، وتشرح ما يقع على عاتقه من مأموريات والتي على رأسها التخطيط (إعداد الحصائل التربوية وبطاقات سير الأنشطة)، فضلا عن تزويده بأفكار وآراء مقترحة، علّه يتسنى له التنفيذ طبقا للمقرر وفي نفس الوقت التوفيق في المعمول.

في هذا الصدد، ولتحقيق المقاصد المرجوة، نظريا، ألّفنا هذا المبحث في جزءين. الأول للتمهيد كما هو معنون أعلاه، والثاني للتفصيل في الدراسة تشخيصًا وتحليلًا واستخلاصًا. أما عمليا، فالمقام لا يوائمه سوى الإشارة إلى أننا ألحقنا ذات المخطوطة بملفات توضيحية وملحقات رقمية، التي منها ما نقلناها من مصادرها الأصلية دون التصرف في محتوياتها نظرا لطبيعتها كالشبكات التحليلية، ومنها ما قمنا بإعادة صياغته أو حتى بلورته بمجهودنا الذاتي، مستأنسين بما تداوله بعض المنشغلين بالموضوع من الفاعلين في الحقل التربوي.

1. لمحة عن تطور التقييم

إنّ امتحان نهاية مرحلة التعليم الابتدائي المعتمد سالفًا في المدرسة الجزائرية، كان انتقائيا لاقتصاره على المواد الأساسية الثلاث (اللغة العربية والرياضيات واللغة الفرنسية). ولقد ظل هذا الامتحان يوفّر معطيات فردية تخص التلاميذ على شكل كشوف نقطية، بهدف الترتيب والتصريح بالإجازات والعقوبات؛ ومعطيات اجتماعية تعني الأولياء، مفادها نجاح أو رسوب أبنائهم المتمدرسين؛ إلى جانب توفير إحصائيات جماعية تتعلق بالنظام التربوي، لغرض عرض النتائج من حيث الإيجابيات والسلبيات ومقارنة نسب ارتفاعها أو انخفاضها.

وبالتالي، كان التقييم في الواقع كمّيًا، والأثر مجرد وصف للنتائج وليس لمستوى الاكتساب. لذلك لم يخدم المرامي

المجسِّدة لمجمل المبادئ (القيمية والفلسفية والمنهجية) محور التشريع المدرسي المؤطر حينها. وعليه كان ينبغي أن يُستبدل هذا التقييم التقليدي بأساليب حديثة، تعتمد على التقدير النوعي الفاعل لا على الوصفي الناعت؛ فتدعّم جهود التعلّم ليصبح نشطا، وترمّم صنائع الإكساب ليغدو إنمائيا. وهذا في وقتنا الراهن، ما درجت تصبو إليه مقاربات واعدة بنظريات متكاملة معرفيا وبنائيا-اجتماعيا، في شتى مضامير التدريب وميادين التربية والتعليم.

الآن، ومما سُطّر في مسعى تقييم مكتسبات مرحلة التعليم الابتدائي [3] أنه جُعل ليكون امتحانًا شاملًا من خلال تقييم كل المواد لارتباط كفاءاتها المكرّسة في المناهج بملامح تخرج نهائية؛ وليكون تقييما وظيفيا بالانتقال من الفرز والتصنيف إلى وظيفتي التشخيص والتحصيل؛ وبالتخلي على نظام النقطة ليصير بالمقابل يوفّر معطيات تفصيلية تهم المتعلم والولي على حد السواء (شهادات تقييم بتوصيفات نوعية - دفاتر لتقييم المكتسبات)، ويوفّر أيضا معطيات تخص المعلم لإرشاد التعلّم بما يناسب من مهمات تقويمية. بالإضافة إلى معطيات متعددة ومستفيضة تخص النظام ككل (قاعدات لبيانات إجمالية متعلقة بـ: المواد التعليمية والكفاءات الشاملة، الكفاءات الختامية والمؤشرات، المؤسسات التربوية والأفواج، إلخ).

إنّ هذا التقييم في حقيقته هو إلزامي ووقائي، يعني كل التلاميذ بمن فيهم الممتحنين غير المنتقلين وحتى المقبلين أول مرة على الامتحان. وكذلك هو غير إقصائي، يعترف بمكتسبات المتعلمين مهما كان مقدارها. وحين ننظر في هذا التقييم مليًا، سنجده وصفيًا ومعياريًا، لاعتماده توصيفات دقيقة ودالة على مستويات تملّك الكفاءات بجميع معاييرها (درجات التحكم الأربع التي ستبيّن لاحقا في الجزء الثاني). كما نجده توجيهيا، إذ يحدد ماذا يجب على المعلم أن يُعلّم وكيف يجب للمتعلم أن يتعلّم، وهو بذلك تقييم مدمج ضمن سيرورة التّعلّم، زيادة على إمكانه توجيه المناهج وبرامج التكوين. فإذن بالأحرى، نراه أضحى ذا وظيفة تقويمية، لا مناص أن يستجلب ممارسات تتماشى مع مقتضيات هذه المستجدات الإصلاحية.

وبما أنّ التقويم في النظام التربوي الجزائري، وفق منظور المرجعية العامة للمناهج: "يقوم على جمع معطيات حول التعلّمات وتحليلها وتفسيرها، قصد التمكن من اختيار الضبط والتعديل المناسب" [4]، فعقب إتمام الطبعة الأولى من امتحان "تقييم المكتسبات" جاءت "المعالجة البيداغوجية" بنمط محيّن -لاعتبارها كانت ضمن أدوات المنهاج- لتستجيب بالفعل لتلك التدابير التنظيمية المترتبة عن اعتماد هذه النسخة المجربة من التقييم، ولكي تلبي بالنتيجة كل ما هو مطموح من فوائد بيداغوجية وغايات تربوية.

2. المعالجة البيداغوجية

1.2.تعريف

المعالجة البيداغوجية هي عملية تقويم للنقائص المكتشفة في العملية التعليمية التعلّمية وأثناءها. ويمكن القول إنها: "أداء أو مجموعة مهمات، يُعدّها المعلم ويشرف على تنفيذها، بهدف مساعدة المتعلمين على تجاوز صعوبة مؤقتة أو دائمة، لوحظت خلال التعلّم وكان الخطأ مؤشرها". وتُعرّف أيضا -كما تصفها النصوص القانونية المنظّمة لها- بالإجراء الكفيل بسدّ الثغرات لدى المتعلمين وتجاوز الصعوبات المشخّصة لديهم، بما يمكّنهم من مواصلة بناء تعلّماتهم بيُسر [5].

وعليه فالمعالجة البيداغوجية هي ليست إعادة تدريس للمفاهيم أو إرساء لموارد لم تُستوعب من قبل، بل هي عملية ملازمة ومتمّمة للفعل التعلّمي، ينجزها الأستاذ لعلاج القصور في الاكتساب المعرفي وضعف التحصيل المدرسي المسجل على تلامذته. لذلك يجب تمييز عمليات المعالجة البيداغوجية عن حصص الاستدراك والدعم، التي هي في الأصل بالنسبة للاستدراك، تستهدف تجاوز العجز الظرفي في المواد التدريسية الأساسية، وترمي بخصوص الدعم، إلى تقليص الفارق بين الأهداف المنشودة والنتائج المدرسية المحصّل عليها.

بناءً على هذا المفهوم، يمكن تأسيس العناصر الموالية، كأركان تُبنى عليها المعالجة البيداغوجية:

- استقراء المعطيات؛
- اعتماد الشبكات التحليلية؛
- توزيع التلاميذ، وتكرار الصعوبة.

2.2. طبيعة الصعوبة

تُصنّف صعوبات التعلّم إلى صنفين رئيسيين، فقد تكون معرفية أو منهجية. ومن حيث المصدر الذي تنشأ منه الصعوبة، يتجلى أنها دركات، متباينة غالبا في مميزاتها ومترابطة أحيانا في مسبباتها:

- الأولى: العوامل النفسية والصحية والاجتماعية المُعيقة للتعلّم؛
- الثانية: العجز عن إدماج التعلّمات أو توظيف المكتسبات؛
- الثالثة: قلة الاستيعاب في المعارف والمفاهيم؛
- الرابعة: ضحالة المعرفة أو ضآلة امتلاكها.

3.2. خطوات المعالجة

كي تتحقق الأغراض المتوخاة منها وتتجسد النجاعة المنتظرة من ورائها، لا بد لمن يضطلع بتدبير المعالجة البيداغوجية، المرور عبر مراحل مرتّبة ومضبوطة لإنجازها، والتي على رأسها ما يلي:

- تحديد الصعوبة مع وصفها؛
- تحليل الصعوبة وتكهّن أسبابها؛
- إعداد وثائق وسبل المعالجة؛
- اعتماد التغذية الراجعة البنائية.

4.2. المجال الزمني للمعالجة

إنّ إعداد مخطط زمني للمعالجة البيداغوجية، يستدعي مراعاة طبيعة الصعوبات ومدى تكرارها، ويقتضي من ثمة تحديد أوان ومدة العلاج، على أن يتم ذلك خلال مجالين:

- في الأسبوع الأول والثاني من الدخول المدرسي للتلاميذ، بعد حصر النقائص المكتشفة لديهم، والتي أفرزتها الشبكات التحليلية الخاصة بكل مادة.
- على مدار السنة الدراسية، وفق تسلسل التعلّمات وعلاقتها بالمكتسبات المستهدفة بالمعالجة، لتمكين التلاميذ من بناء تعلّمات جديدة.

5.2. أنشطة المعالجة وشروطها

يُفضّل صياغتها في صورة وضعيات ديداكتيكية، لاسيما البسيطة منها لتوظيف المعارف، أو برمجتها على شكل تمارين مكيّفة وأعمال تكميلية، بما في ذلك استثمار المشاريع واستعمال السندات. كما ينبغي تنويعها، بين أنشطة لبناء المفاهيم الأساسية المساعدة على التحكم في التعلّمات، وأخرى تسمح بتعديل مسار التعليم والتعلّم. أما الشروط اللازم توفرها لضمان الإتقان في تسيير أنشطة المعالجة، فهي:

- العمل الفردي و/أو في مجموعات؛

- انتهاج المقاربات التشاركية وتعاون الأقران؛
- توزيع الأعمال على الزمن المتاح؛
- متابعة سيرورة النشاطات وتقييمها؛
- التصويب وتسديد مسارات التعلّم.

3. المتدخلون المباشرون في المعالجة

بمقتضى المنشور الوزاري الإطار المتعلق بالعملية [5]، فإن أعضاء الجماعة التربوية المعنيين بمهام مباشرة في المعالجة البيداغوجية، هم: المفتشون، والمديرون، والأساتذة، ومستشارو التوجيه والإرشاد المدرسي والمهني. حيث أُوكلت لهم أدوار محددة يقومون بها (نسرد أسفله أهمها)، مع إلزامهم بالتنسيق فيما بينهم لإنجاح ذات العملية البيداغوجية.

1.3. في مرحلة التعليم الابتدائي

❖ **مدير المدرسة الابتدائية**

- يسلّم الشهادات ودفاتر التقييمات للأولياء، ويبلّغ الأساتذة بكل المعلومات الضرورية.
- يدرس نتائج امتحان تقييم مكتسبات المرحلة، ويستقرئ المعطيات التي تخص المدرسة.
- ينجز ويحلّل شبكة الكفاءات الشاملة لكل المواد، ويستنتج حصيلة المردود التربوي للمدرسة.
- يضع مشروعا للرفع من مؤشرات الفعالية التربوية والجودة البيداغوجية، ويتابع مراحل الإنجاز.
- يكلّف أساتذة المدرسة بتحضير شبكات المواد لتقييم معايير الكفاءات، استعدادا لمجلس الأساتذة.

❖ **مجلس الأساتذة**

- يدرس شبكة الكفاءات الشاملة وشبكات تقييم معايير الكفاءات الختامية لكل مادة.
- يصيغ الحصيلة التربوية، مع التركيز على النقائص وعلاقتها بمكتسبات التلاميذ القبلية.
- يرسم استراتيجية لتسوية الاختلالات وتحسين النتائج، لتحقيق الرضا الاجتماعي على المدرسة.

❖ **أستاذ التعليم الابتدائي**

- يتفحّص دفاتر التقييم للتلاميذ المعيدين، ويجمع الملاحظات حول مكتسباتهم.
- يضع الخطط لتذليل عقبات تعلّمهم، آخذًا بعين الاعتبار نقاط القوة والضعف لديهم.
- يستغل مخرجات مجلس الأساتذة لبناء التدرجات السنوية، ويصوغ التوثيق ويُجري المعالجة ويقيّمها.

❖ **مفتش التعليم الابتدائي للمواد**

- يطّلع على مخرجات مجالس الأساتذة، ويتعرّف على استراتيجيات المعالجة البيداغوجية في المدارس التابعة له.
- يبحث في كل المستلزمات المطلوبة لتنفيذ الاستراتيجيات، ويكيّف لذلك نشاطاته وتكوينه حسب احتياجات الأساتذة.
- يسطّر برنامج لمرافقة الأساتذة في إجراء المعالجة الجماعية والفردية، ويتابع ويقدم التوجيهات لبلوغ الأهداف المسطرة.

2.3. مرحلة التعليم المتوسط

❖ مدير المتوسطة

- ينظّم جداول مواقيت عمل الأساتذة، ويضبط توزيع وإسناد أفواج السنة أولى متوسط.
- يستغّل نتائج تقييم مكتسبات التلاميذ، ويبلّغ الأساتذة بكافة المعطيات المتوفرة لعملية المعالجة.
- ينسّق ويتابع أعمال الخلايا التربوية بالمؤسسة، قصد التخطيط وتسطير البرامج والأشغال العلاجية.
- يسهر على حسن سير نشاطات المعالجة البيداغوجية، ويعمل على استثمار نتائجها في مشروع المؤسسة.

❖ مجلس التعليم

يطلب المدير من مسؤولي المواد التحضير لاجتماع المجلس، الذي ينعقد تحت رئاسة المدير في الأسبوع الأول من التحاق الأساتذة، فيتولون كلٌ حسب تخصصه:

- مسك الشبكات التحليلية لتقييم مكتسبات التلاميذ الوافدين للمؤسسة.
- إنجاز شبكات تقييم معايير الكفاءات الشاملة للمواد، ولجميع الأفواج.

ويتم في الجلسة:

- تحليل شبكات تقييم معايير الكفاءات الشاملة للمواد، وتشخيص كل العيوب المتطلبة للعلاج.
- صياغة استراتيجيات لتدريس المواد، بالتركيز على كيفيات التكفّل بالحالات موضوع المعالجة.

❖ أستاذ التعليم المتوسط

يحضّر أولا الشبكة التحليلية لتقييم مكتسبات التلاميذ، ثم ينجز شبكات تقييم معايير الكفاءات الختامية لأقسامه، وبعدها يُعدّ حصيلة تربوية للمادة ولكل قسم مسند إليه. هذا التحضير التقني وما يلحقه من تهيئة العوامل والوسائل التي يُستعان بها، قد يتطلب -جراء ما يُوجبه التقويم- التدارك واقتراح التعديل في جوانب أو محطات المعالجة البيداغوجية. ولكي يضمن الأستاذ التكامل في محطاتها وجوانبها، فهو ملزم بأن يؤدّيها في مظهرين:

- المعالجة ضمن الأفواج: حيث يرتب الأستاذ عمله فيها على النحو الآتي:
  - يشكّل في بداية السنة مجموعات التلاميذ المعنيين بالمعالجة حسب النقائص المشتركة.
  - يضع برنامج المعالجة لكل مجموعة، ويعتمد منهجية ملائمة لتنفيذها.
  - يقوم بالمعالجة التمهيدية في الأسبوعين الأوّلين من السنة الدراسية.
- المعالجة الفردية: والتي يكون فيها أداء الأستاذ مقيّدا في النقاط الآتية:
  - تحديد قائمة التلاميذ الذين ينفردون بعدم امتلاك مكتسبات معيّنة.
  - حصر التعلّمات الجديدة التي تحتاج إلى معالجة مكتسبات ناقصة.
  - الحرص على التطبيق الآني واستمرارية المعالجة طيلة السنة الدراسية.

❖ مفتش التعليم المتوسط للمادة

- يطّلع على مخرجات مجالس التعليم، ويتعرّف على استراتيجيات المعالجة البيداغوجية في متوسطات مقاطعته.
- يبحث في كل المستلزمات المطلوبة لتنفيذ الاستراتيجيات، ويكيّف لذلك نشاطاته وتكوينه حسب احتياجات الأساتذة.

- يسطّر برنامج لمرافقة الأساتذة في إجراء المعالجة الجماعية والفردية، ويتابع ويقدم التوجيهات لبلوغ الأهداف المسطرة.

❖ **مستشار التوجيه والإرشاد المدرسي والمهني**

بعد إلمامه بالمعلومات الإحصائية حول خصوصيات كوكبتين من التلاميذ، الجدد في السنة أولى من مرحلة التعليم المتوسط والمعيدين للسنة الخامسة من مرحلة التعليم الابتدائي، تنوط به المهام التالية:

- يشخّص حالات "صعوبات التعلّم" التي مصدرها أسباب نفسية واجتماعية.
- يضع خطة عمل تتضمن تدخلاته مع التلاميذ المعنيين بالمعالجة فرديا وجماعيا.
- يتكفّل بالمرافقة النفسية للتلاميذ، من أجل تعزيز الثقة بالنفس وكذا رفع المعنويات.
- ينظّم مقابلات مع الأولياء للإعلام والتحسيس بضرورة المساهمة في متابعة أبنائهم.

المـراجـع

[1] القرار الوزاري المؤرخ في 8 يناير 2023، الذي يحدد كيفيات تنظيم امتحان تقييم مكتسبات مرحلة التعليم الابتدائي وسيره، وكذا إجراءات القبول في السنة الأولى متوسط.

[2] وزارة التربية الوطنية، "دليل تقييم مكتسبات مرحلة التعليم الابتدائي" للتربية العلمية والتكنولوجية، السنة الدراسية 2023/2022.

[3] المنشور الوزاري رقم 14/و.ت.و/م.ع.ت/2023 والمؤرخ في 18 يناير 2023، المتعلق بتنظيم امتحان تقييم مكتسبات مرحلة التعليم الابتدائي للسنة الدراسية 2023/2022.

[4] اللجنة الوطنية للمناهج - وزارة التربية الوطنية، "المرجعية العامة للمناهج"، مارس 2009، ص58.

[5] المنشور الوزاري رقم 214/و.ت.و/م.ع.ت/2023 والمؤرخ في 19 أوت 2023، المتعلق بالمعالجة البيداغوجية لنتائج تقييم مكتسبات مرحلة التعليم الابتدائي.

تاریخ علوم

من خلال عدسة الإسلام: تاريخ ما قبل اكتشاف النظارات، على ضوء المصادر العربية (4)

فريد بن فغول
باحث حرّ حاليا، ومساعد بمعهد تاريخ العلوم العربية والإسلامية
في إطار جامعة ي. جوته سابقا
benfeghoul@em.uni-frankfurt.de

1. هل في الطب العربي الإسلامي إشارة إلى آلات مساعدة للعين؟

كمشكلة تعاني منها البشرية جمعاء فإنّ ضعف البصر، وخاصّة قُصوّ البصر الشيخوخي (أي فقدان تدريجي لقدرة العين على التركيز على الأجسام القريبة والذي يحدث لكلّ شخص مع بداية سن الأربعين)، عاهة حاول الأطباء في العصور السحيقة معالجتها وَفقًا لمفهومهم الطبي والتدبير العلاجي الموروثَين من الطب اليوناني وصيدلته (أبقراط Hippocrates وجالينوس Galen ودِيُسقوريدس Dioscorides). فأصبح طب العيون من المجالات الطبية التي برع فيها العلماء خاصة من حيث الممارسة الواسعة النطاق والتدوين العلمي [5] [6] [7] [19] [30] [32]، ممّا أعطى دافعًا حاسمًا في أوروبا في العصور الوسطى [21]، وفي الهند حيث اشتهر بمصطلح Unani medicine أي الطب اليوناني العربي [10].

ومن الناحية الاجتماعية فإنّ نجاح الطب العربي وبراعته له أسباب منها بالتأكيد الأمر بالتداوي، ونقل كتب الطب إلى العربية، ومكانته العالية والعناية البالغة التي خُصّ بها منذ أوائل الدولة الإسلامية، وحثّ المجتمع المعرفي الناشئ على طلب العلم والاعتناء به، خصوصًا طب العيون بسبب انتشار أمراض العيون في البلاد الحارّة. كما أنه يتميّز بنظام الامتحانات والمراقبة الشديدة من قبل المحتسب، وإنشاء البيمارستانات (المستشفيات)، وحذق الطبيب وأخيرا وليس آخرا أخلاقياته. لكن أغلب الظنّ أنّ هذه الصورة المُثلى إنّما تعكس عمومًا الحالة في المدن الكبرى.

ولهذه الصنعة منهاجها الخاص الذي يعتمد على مبادئ نظرية (هي النظرية اليونانية للأخلاط الأربعة) والتشريح وتشخيص الأمراض وترسانة من وسائل العلاج من النظام الغذائي (الحمية) إلى مختلف علاجات العيون، كالأكحال، والمساحيق، والمراهم، والبارودات، والشِيافات، ثمّ الحجامة والفصد، والجراحة، وأخيرًا الكيّ. كلّ ذلك موصوف في كثير من التآليف المتخصصة.[17] [18] [30]

وبفضل عتادهم الفكري والمادّي كان لأطباء العيون معرفة دقيقة بالأمراض التي تصيب مرضاهم، كضعف البصر فمَيّزوا فيه بين قُصوّ البصر وقِصره، ووصفوا علاجه لتخفيف العاهة عليهم في أبواب خاصة، كما جاء في **تذكرة الكحالين** لعلي بن عيسى: الباب الخامس: فيمن يرى من بعيد ولا يرى من قريب ومن يرى ما عظُم من الأشياء ولا يرى ما صغُر [وعلاجه] (ص. 293-294). الباب السادس: فيمن يرى من قريب ولا يرى من بعيد وفيمن يرى ما صغُر ولا يرى ما كبُر [وعلاجه] (ص. 294-295) [9]. كما أنهم انتبهوا إلى أنّ بعض الحِرفيين معرَّضون لضعف البصر فوضعوا لهم علاجات خاصّة بهم، كـ"بارود أو شِياف النقّاشين".

هذه الصورة المرسومة هنا بخطوط عريضة من شأنها أن تبعث الأمل في العثور على ذكر العدسات المساعدة للعين في كتب الطبّ. لكن بالرغم من حذقهم وتجهيزهم الرائع يبدو أنّ أطباء بلاد الإسلام لم يبق لهم حيلة على آفة ضعف البصر، وظلّ فنّ الطب العربي القديم عاجزًا عن علاج هذه العاهة إلى أن اكتُشفت الأدوات المساعدة للعين كأحجار القراءة والنظارات في الأوساط الطبية، فمن ثمّ سكوتهم عنها. وأمّا ما يستدعيه كلّ ذلك من التساؤلات فسنترك للمستقبل الإجابة

عنها. لكن تاريخ الطبّ العربي مجال واسع يحتاج إلى تدقيق، ومصادره غزيرة تنتظر التمحيص والتحقيق، وذلك يتطلّب المثابرة والصبر.

هذا ولا بدّ لنا من وقفة سريعة عند نقطة مزعجة وهي: نظرًا لوضع البحث الراهن ما زال من يدّعى تلك الادّعاءات الواهية بشأن النظارات في الطب العربي التي تُردّد بدون كلل وتُكرّر لحدّ السقَم: لقد أتقنوا [أي الأطباء العرب] ... ووصفوا النظارات لضعف البصر، وذلك - ليطفح الكيل - أربع مرات في نفس الكتاب! [14] فيا حبّذا لو كان هذا الخبر صحيحًا وموثّقًا حتى نتمكن أخيرًا من سدّ فجوة مهمة في تاريخ هذا التراث.

وأوّل من تساءل على أسس جدية عن ذكر النظارات في الكحالة العربية قبل أكثر من قرن هو يوليوس هِرشبَرغ Julius Hirschberg (1843-1925)، الطبيب والأستاذ الجامعي الألماني الشهير المتخصص في طب العيون وتاريخه. من خلال أبحاثه الواسعة التي قام بها لكتابة تاريخ طب العيون عند العرب [18] كجزء من التاريخ العام لطب العيون الذي انكبّ عليه عشرين سنة [19]، درس (بالتعاون مع مستشرقَين يُجيدان العربية) طائفة من كتب الكحالة أحصى فيها أكثر من ستين طبيبًا بارزًا عاشوا بين سنة 800م و1300م والذين جعلتهم براعتهم وشهرتهم من أيقونات الحضارة العربية الإسلامية. ومن جملتهم علي بن عيسى الكحّال (المتوفى بعد 1010م)، مؤلف **تذكرة الكحّالين** [9][17]، وهو أوّل كتاب موسوعي لطب العيون. فدرسه هِرشبَرغ دراسة دقيقة وترجمه وعلّق عليه بشكل يكاد لم تبق استزادة لمستزيد، واستخلص مقتصرًا عليه أنّ هذا الكتاب ليس فيه أدنى تلميح إلى العدسات سواءً المحدّبة أو المقعّرة. غير أنّنا نراه يعمّم هذه الملاحظة في موضع آخر، وهذا خطأ منهجي لأنّه كما اعترض مؤرخ العلوم السعودي لطف الله قاري "... عدم ذكرها [أي النظارات] في كتب طب العيون العربية ليس دليلًا كافيًا على عدم معرفتها في بلاد الإسلام" [8].

غير أنّ التحقيق التاريخي - كما أراه - لا يؤيّد بالذات فكرة النظارات كما يذهب إليه قاري في أبحاثه [8] بل العدسات المكبرة كما سنبيّنه عمّا قريب في هذا المقال. ونضيف ما ذكرناه سابقًا من أن كتاب **المرشد في الكحل** للغافقي، (راجع القسم الثاني من هذا المقال)، خالٍ من أي إشارة إلى آلة بصرية مساعدة للعين. وعلاوة على هذا فإنّ الأبحاث الجادّة الكثيرة التي تمّت حتى الآن، حول تاريخ طب العيون العربي لم تُفض إلاّ إلى هذا الاستنتاج السلبي المؤقت. وإن أضفنا إلى هذا العدد كتب الكحالة الجديدة وباقي الأطباء الذين لم يُدرسوا كلهم بعد، فهناك احتمال كبير بأن طبّ العيون لم يقل بعد كلمته الأخيرة في هذا الصدد. وإذ هذا هو جواب طبّ العيون على مسألة الآلات البصرية، فعلينا أن نلتفت إلى ميدان آخر وثيق الصلة بالطب وهو لهذا حريّ بأن يمدّنا ببعض ما نحن بصدده، أعني علم المعادن.

2. الأحجار الكريمة واستخدامها الطلسمي في علاج أمراض العين: التيفاشي كمثال

من بين المعارف الموروثة من العصور القديمة والتي نمت وازدهرت في الحضارة العربية الاسلامية على يد العلماء على اختلاف مللهم ولغاتهم وأديانهم، كان لعلم المعادن [15] مكانة مرموقة عند التجار ومجمّعي التحف والمترَفين وذوي السلطة والجاه. وسريعًا ما أخذ الأطباء، وخاصة أطباء العيون، يستعملون الأحجار الكريمة لِخواصّها العلاجية. هذا النوع من العلاج، الذي يعتمد على قوّة علاجية "عجيبة" كامنة فيها، موصوف في كتب الأحجار وكتب الطب [23]. فهكذا نجد عند القاضي الأديب أحمد بن يوسف التيفاشي (1184-1253م) في كتابه المشهور **أزهار الأفكار في جواهر الأحجار**، وصْف 25 حجرة كريمة لها "خواص في ذاتها وفي منافعها". فالزُّمرّد "مَن أدمن النظر إليه أذهب عن بصره الكلال" (ص.75)، والفيروزَج "يجلو البصر بالنظر إليه" (ص. 144)، والاكتحال بالإثمد ينفع العين من التعب.

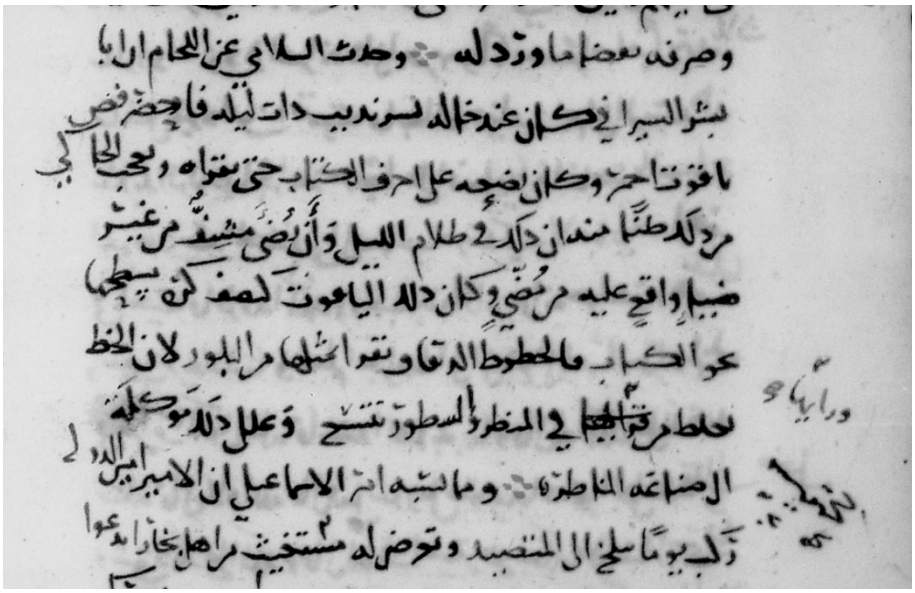
وأما السبج فهو "نافع في إكحال العين ومن خواصه أنه إذا أُخذ فصّ منه وأُدمن النظر إليه أحدّ البصر وأعاد قواه" (ص.187). وبالنسبة له أيضًا يقول ابن البيطار (1197-1248م) في كتابه الشهير **الجامع لمفردات الأدوية والأغذية** [1]: "هو حجر يؤتى به من الهند ... نافع في الأكحال، يمسك البصر ويقويه إذا اتخذ مرآة نفع من ضعف البصر الحادث

عن علة الكبر ..." والجدير بالملاحظة أنّ لوسيان لوكلير Lucien Leclerc، الطبيب الفرنسي (1816-1893) والذي كان طبيباً عسكريًّا في الجزائر بين 1840 و 1844 ومكث فيها مرارًا، ترجم كلمة "مرآة" خطأً بـ bésicles (الكلمة الفرنسية القديمة للنظارات) [25] ظنًّا منه أنّ "مرآة" تعنى النظارة، مع أنّ المقصود وضع هذا المعدن كمرآة أمام العيون وإدمان البصر إليه لخاصّته العلاجية الخفيّة حسب المعتقد القديم.

3. اقتحام حقل جديد: استخدام الأحجار الكريمة كآلات بصرية، البيروني كمثال

على عكس التآليف حول المعادن والأحجار الكريمة لمؤلفين مثل التيفاشي الذين كتبوا إمّا لتلبية احتياجات التجار أو جامعي التحف، أو بهدف التثقيف والترفيه (كالفصول المناسبة في الموسوعات وكتب الأدب)، فإنّ كتاب البيروني **الجماهر في معرفة الجواهر** [3] [11] يمثّل مجموع المعارف المعدنية في العصور الوسطى، كما أنّ شموليته تجعله مرجعًا عظيمًا للتاريخ الثقافي في زمانه. ومثل الكتاب يحتل مؤلفه مكانة خاصة في تاريخ العلوم العربية الاسلامية. وهذا المؤلف هو أبو الريحان محمد بن أحمد البيروني [20]، الذي ولد في 362هـ/973م في مدينة كاث، وهي إحدى ضواحي خوارزم (المقسمة اليوم على أوزبكستان وكازاخستان وتركمانستان)، وتوفي في 440هـ/1048م في غزنة (اليوم غزني، أفغانستان)، والذي طبّقت شهرته الآفاق. وممّا ينمّ عن أصالة هذا العالم وشمولية كتابه هو اكتشاف عديم المثال في الحضارة العربية الإسلامية (لحدّ الآن) لجوهرة عجيبة كانت مدفونة بين صفحات كتاب **الجماهر** منذ ما يقرب من ألف سنة. فلنُصْغِ لما يقوله هذا العالم العبقري الذي أنجبته الحضارة العربية الإسلامية في آسيا الوسطى في كتابه الجليل:

"وحدّث السلاّمي عن اللحام أن أبا البشر السيرافي كان عند خاله بسرنديب ذات ليلة فأحضر فص ياقوت أحمر وكان يضعه على أحرف الكتاب يقرأه وتعجب الحاكي من ذلك ظنًّا منه أن ذلك في ظلام الليل وأن يضيء مشف من غير ضياء واقع عليه من مضيء. وكان ذلك الياقوت كنصف كرة بسطحها نحو الكتاب فالخطوط الدقاق تقرأ بمثلها من البلور لأن الخط يغلظ من ورائها في المنظر والسطور تتسع وعلل ذلك موكلة إلى صناعة المناظر هـ." (63-64) [3].



الشكل1. كتاب **الجماهر في معرفة الجواهر**، صفحة من نسخة كُتبت سنة 626 هـ. مخطوط إسطنبول، سراي، أحمد الثالث، 2047، 90 (الصفحة 44 ظ). النص بين الأيقونتين ❖. بإذن من معهد تاريخ العلوم العربية الإسلامية، فرانكفورت؛ ميكروفيلم رقم 1848.

ما نشاهده في هذا المقطع هو فعلًا مشهد نادر جدًا، يبخل به علينا التراث لحد الآن، ألا وهو الوصف الواضح لياقوتة منحوتة ومصقولة على شكل عدسة محدّبة مستوية، مثل تلك البلورة التي وصفها ورسمها ابن سهل في رسالته

حول الآلات المحترقة (انظر القسم الثالث من مقالنا). إلاّ أنّ هذه تُستخدم للقراءة بتكبير الحروف مع طريقة استخدامها. وعلاوة على ذلك يخبرنا البيروني أنّ هذا التكبير يتمّ أيضًا باستخدام عدسة مصنوعة كالياقوتة لكنها من البلور، ويضيف أنّ سبب هذا التكبير يترتّب على "صناعة المناظر" (أي علم البصريات). أمّا الضوء "العجيب" الملاحظ في الياقوتة وهي في الظلام والذي يضرب البيروني عنه صفحًا فلعلّ له تفسيرًا فيزيائيًا.[13]

وتُذكّرنا هذه القصة بما حكاه الكاتب الروماني بليني Pliny أنّ الإمبراطور نيرون Nero كان يتفرّج على المصارعين في حلقة القتال من خلال زمرّدة (راجع القسم الأول من هذا المقال). إلاّ أنّ الفرق الحاسم بين زمردة نيرون وياقوتة سرنديب هو أنّ خبر البيروني يصف الاستخدام المتعمد للياقوتة كوسيلة مساعدة للقراءة.

وهناك نقطة استفهام أخرى وهي أنّ البيروني بمنهاجه الشمولي يصف كل معدن من حيث المصطلح واللون والرائحة والصلابة والوزن النوعي والكثافة والخصائص الطبية، ويتناول أيضًا الجانب التاريخي والثقافي والأدبي والقصصي. لذلك، من اللافت للنظر أنّ هذه الخاصية البصرية البارزة في الياقوتة والبلور، لم يذكرها البيروني إلا عرضيًا في الجزء القصصي من الفصل الخاص بالياقوت. وهو من جهة أخرى لا يذكر هذه الخاصية في مادّة البلور إطلاقًا! ولهذا غاب هذا الخبر الطريف عن كثير ممن اشتغل بكتاب **الجماهر**. وبما أن السلاّمي المؤرخ، آخر راوٍ في إسناد خبر البيروني، كان حياً عام 961م، فمن الواضح أنّ هذا هو أقدم دليل على استخدام الياقوت والبلور كحجر للقراءة، بشكل عام. ويجدر التذكير هنا أنّ حجارة القراءة من البلور لم تذكر في أوروبا في الأدب والكتابات العلمية إلاّ في منتصف القرن الثالث عشر (راجع القسم الأول من هذا المقال).

4. عدسة من البلور في متحف تفليس: حجر قراءة معاصر للبيروني و ابن سينا و ابن الهيثم

وإذا كان هذا الدليل الموثّق بالقول الصريح على وجود عدسة من البلور الصخري في البيئة العربية الإسلامية، في وقت مبكّر، يُعدّ في حدّ ذاته اكتشافًا غير مسبوق، فإنّ المرء بطبعه يصبو إلى نتيجة ملموسة أكثر كقطعة أثرية على سبيل المثال. ففي غضون ذلك طلّت علينا السرنديبيّة بطرفة جديدة. ففي عام 1950 تم الإبلاغ عن وجود عدسة من البلور محفوظة في مجموعات قسم التاريخ السابق للمتحف الوطني الجورجي في تفليس[26]. وفقًا لعالم المعادن والبلورات السوفييتي ذي الأصل السويسري، جورجي جليبوفيتش لملاين Georgi Glibovitsh Lemmlein (1901-1962)، تم اكتشاف هذه العدسة في مدفن واقع في مستوطنة قوزاقية اسمها جورجي- أفيبسكوي، (في منطقة كوبان، على ضفاف نهر أفيبس Afips)، بالإضافة إلى قطع أثرية أخرى يرجع تاريخها إلى ما بين القرن التاسع والعاشر الميلادي.[26]

يعود تاريخ العدسة نفسها إلى القرن العاشر، مما يعني أنها معاصرة للبيروني (973-1048م)، وابن الهيثم (965-1041م)، وابن سينا (980-1037م). وبما أنّ البيروني قد أعطى وصفًا دقيقًا لحجر القراءة، فإنّ التاريخ المحدّد لهذه القطعة الأثرية (القرن العاشر) يبدو معقولًا. يبلغ قطر العدسة 46 ملم وارتفاعها 24 ملم. وهي في الأساس نصف كروية، لكن سطحها ليس مسطّحًا تمامًا بل محدّب قليلًا؛ لها تكبير مضاعف [26]. العدسة مفقودة منذ عام 1968، ثمّ استبعدت رسميًا من مجموعات المتحف الوطني الجورجي بموجب مرسوم من عام 1969.[24]

الشكل 2. عدسة من البلور موضوعة على صفحة من القرآن الكريم (سورة الأنعام، الآية 70).
لعلّ هذه أقدم صورة لعدسة محدبة مسطحة من البلور الصخري.
سابقًا في المتحف الجورجي الوطني (رقم الجرد A-319). مصدر الصورة:
G. G. Lemmlein, Mineralogicheskie svedeniya Biruni, p. 117, fig. 1.

والأمر اللافت للنظر ههنا هو أنّ من قام بتنسيق الصورة وضع العدسة على صفحة من القرآن الكريم دون أي تعليق. وفي رأينا يشير هذا إلى أنّ الباحثين الذين وجدوا هذه القطعة في مستوطنة قوزاقية (أو المصوّر) لا بد أنهم كانوا يعتقدون أنّ هذه العدسة تنتمي إلى البيئة الحضارية العربية الإسلامية بطريقة أو بأخرى، وهذا قد لا يبعد عن الحقيقة. يكفي أن نذكُر إمارة تفليس التي تأسست بعد الفتح الإسلامي للمنطقة، والتي قامت من 736م إلى 1080م فامتدت على شرق جورجيا باعتبارها النقطة العسكرية الأقصى شمالا للخلافة العباسية [12]. وقد أقامت علاقات ثقافية بالعالم الإسلامي، ويستبين لنا مدى هذه العلاقات من كثرة نسبة "التفليسي" في تاريخ التراث [22]. ومن الجدير بالذكر أيضًا أن المنشورات الروسية الأولى عن كتاب **الجماهر** نشرت صورة هذه العدسة دون تعليق. أمّا المعلومات المتعلقة بظروف هذا الاكتشاف الأثري فهي شحيحة، ولم يأت أحدث مقال عن "عدسة تفليس" بشيء جديد.[16]

وإحدى المسائل المهمة والمعروفة في الأثريات هي تأريخ القطع الأثرية. فإنّ العُمر الجيولوجي لقطعة من البلّور الصخري الخام يُقدّر بعدة ملايين من السنين، بينما تحديد عُمر قطعة بلّور مصنّعة ليس أمرًا سهلًا، علماً بأنّ الطريقة بالكربون المشعّ (C 14) مُجدية فقط لتأريخ المواد العضوية. أمّا تأريخ المواد غير العضوية فللأخصّائيين وسائل مختلفة يعتمدون عليها، منها:

1- فحص سطح القطعة للكشف على آثار معالجتها (كالقطع والخرط والصقل)، ومنها يمكن تحديد مكان مَنشأها وتقنية تصنيعها وأحيانًا كذلك زمان تصنيعها؛[27] [29]
2- فحص القطعة طيفيًا؛[29]
3- ربط عدة مصادر أو "شواهد" موجودة في نفس الطبقة الأثرية، ويبدو أنها أجود طريقة؛[28]
4- هذا وتحليل الآثار الموجودة على الزجاج أسهل من تحليلها على الكوارتز بسبب صلابته.[29]

وبالنسبة لعدسة تفليس المفقودة لا نعرف شيئًا عن مصيرها والفحوص التي قد أجريت عليها لتحديد تأريخها.

الخاتمة

إلى هنا ينتهي مؤقّتًا مطافنا في رحاب التراث وتعاريج تاريخه، سعيًا لإدراك الحقيقة التاريخية الموثّقة حول معرفة الآلات البصرية واستخدامها في البيئة الحضارية العربية الإسلامية، متأرجحين بين مداعبة الأمل وخيبته ومتعة الاكتشاف واستنقاصه. وإذ قد وُفّقنا في إقامة الدليل على معرفة تلك الآلات، وذلك منذ وقت أبعد مما كنا نتصوره، ينبغي ألا نوهم أنفسنا أنّ عملنا انتهى أو قد شارف نهايته. فإن كانت هذه الخطوة حقّا مشجعةٌ للغاية، فلا يزال أمامنا عمل كثير قبل أن نتمكن من سد الثغرات المعضلة في تاريخ تراثنا، وعلينا أن نعترف بأنّ التراث لم يبُح إلى الآن بكلّ أسراره، وبأنّه يتحتم علينا مواصلة الجهود ليلفِظ هذا اليمّ بكنوزه. ومع ذلك ينبغي أن نتذكّر القول الذي يجري منذ قرون مجرى المثل وبصيغ مختلفة:

"العلم شيء لا يعطيك بعضه حتى تعطيه كلّك، فإذا أعطيته كلّك فأنت من إعطائه لك البعض على خطر."

(أبو إسحاق النظام، توفي حوالي 840م، نقلًا عن الخطيب البغدادي **تاريخ بغداد**) [2].

(للبحث صلة)

نُشر الجزء الأول من المقال في مجلة بشائر العلوم، العدد 7، جويلية 2023.
https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n7/article7-6.pdf
نُشر الجزء الثاني من المقال في مجلة بشائر العلوم، العدد 8، أكتوبر 2023.
https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n8/article8-6.pdf
نُشر الجزء الثالث من المقال في مجلة بشائر العلوم، العدد 9، جانفي 2024.
https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n9/article9-7.pdf

المراجع

[1] ابن البيطار، الجامع لمفردات الأدوية والأغذية، ج 3، بولاق 1291.
[2] البغدادي، الخطيب، تاريخ بغداد. (https://shamela.ws/book/736/3532)
[3] البيروني، أبو الريحان، كتاب الجماهر في معرفة الجواهر، تحقيق ف. كرنكو، حيدر آباد، 1936.
[4] التيفاشي، أحمد بن يوسف، أزهار الأفكار في جواهر الأحجار، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 1977.
[5] الحاج قاسم، محمود محمد، طبّ العيون عند العرب، مجلة المورد 3/2، 1975.
[6] الحاسي، علي سعد، تاريخ طب العيون في الحضارة العربية الإسلامية (3 - 8هـ/9 - 14م)، دار النهضة العربية للطباعة والنشر والتوزيع، القاهرة، 2008.
[7] الحمارنة، نشأت، تاريخ أطباء العيون العرب، جزءان، ط 2، 1985.
[8] قاري، لطف الله، نشأة النظارات الطبية بين الشرق والغرب، الفيصل العلمية، المجلد 1، العدد 2 (2003/1414)، 4-13.
[9] الكحال، علي بن عيسى، تذكرة الكحالين، عني بتصحيحه والتعليق عليه الحكيم السيد غوث محي الدين القادري الشرفي، حيدر آباد، 1383هـ/ 1964م.
[10] Ahmad, Jamīl, Hakim Ashhar Qadeer: Unani: the science of Graeco-Arabic medicine. Lustre Press, 1998.

[11] Al-Biruni, Sobranie svendenii dlya poznaniya dragotsennostei (mineralogiya), ed. G. G. Lemmlein, trans. A. M. Belenitsky, Leningrad, 1963.
[12] Asatrian, Garnik; Margarian, Hayrapet, The Muslim Community of Tiflis (8th-19th Centuries), Iran and the Caucasus, 8,1, 2004.
[13] Ball, Sydney H., Luminous Gems, Mythical and Real, The Scientific Monthly 47, no. 6 (1938): 496-505.
[14] Bashar Saad, Omar Said, Greco-Arab and Islamic herbal medicine: traditional system, ethics, safety, efficacy, and regulatory issues, Wiley, New Jersey, 2011.
[15] Clément-Mullet, J., Essai sur la minéralogie arabe, Paris, réed. 1968.
[16] Gurikov, A.V., Unikal'naya opticheskaya linza IX veka iz Muzeya Gruzii v Tbilisi, in Historia Nauki [History of sciences], Ed. by R. R. Dvali and V. D. Parkadze, Tbilisi, 1984.
[17] Hirschberg, Julius, Die arabischen Augenärzte. Nach den Quellen bearb. von·J. Hirschberg, J. Lippert und E. Mittwoch. Erster Theil: Ali ibn Isa. Erinnerungsbuch für Augenärzte. Aus arabischen Handschriften übers, u. erl. von J. Hirschberg und J. Lippert. Leipzig 1904. Zweiter Theil: ʿAmmār b. ʿAlī.al-Mauṣilī: Das Buch der Auswahl von den Augenkrankheiten. Ḫalīfa al-Halab: Das Buch vom Genügenden in der Augenheilkunde. Salāḥ ad-Dīn: Licht der Augen. Aus arabischen Handschriften übers. u. erl. von J. Hirschberg, J. Lippert und E. Mittwoch. Leipzig 1905.
[18] Hirschberg, Julius, [Geschichte der Augenheilkunde bei den Arabern], in: Geschichte der Augenheilkunde im Mittelalter und in der Neuzeit, in: Handbuch der gesamten Augenheilkunde, hrsg. von Th. Saemisch. Zweite, neubearb. Aufl., 13. Bd., Leipzig 1908.
[19] Hirschberg, Julius, The history of ophthalmology, Transl. by Frederick C. Blodi. 11 vols, Bonn, 1983-
[20] Hogendijk, Jan P., The works of Abu Rayhan (al-)Biruni. (https://www.jphogendijk.nl/biruni.html)
[21] Jacquart, Danielle, Françoise Micheau, La médecine arabe et l'Occident médiéval, Maisonneuve & Larose, Paris, 1996.
[22] Japaridze, Gocha, Muslimi moyvaceebi at-Tiflisis nisbit VIII-XIV saukuneebsi, Macne (enisa da literaturis seria) 4, 1989, 77-88; idem, 1, 1990, 65-78.
[23] Käs, Fabian, Die Mineralien in der arabischen Pharmakologie, Eine Konkordanz zur mineralischen Materia medica der klassischen arabischen Heilmittelkunde nebst überlieferungsgeschichtlichen Studien. Wiesbaden, 2010, pp. 195-197.
[24] Koshoridze, Irina, [2019 توضيحات حول عدسة تفليس في برقية بتاريخ 4 فبراير].
[25] Leclerc, Lucien, Traité des simples par Ibn el-Baithar, 3 vols., Paris 1877-1883, n° 1158.
[26] Lemmlein, G. G., Mineralogicheskie svedenija Biruni, in Biruni. Sbornik statej, ed. S. P. Tolstov, Moscow, 1950, 106-27.
[27] Morero, Élise, [2020 توضيحات حول تأريخ الأحجار في برقية بتاريخ 5 ماي].
[28] Pradines, Stéphane, [2020 توضيحات حول تأريخ الأحجار في برقية بتاريخ 17 نوفمبر].
[29] Roth, Hans-Walter, [2020 توضيحات حول تأريخ الأحجار في برقية بتاريخ 1 ماي].
[30] Sezgin, Fuat, Augenheilkunde im Islam: Texte, Studien und Übersetzungen, Frankfurt, 4 vols, 1986.
[31] Sezgin, Fuat, (ed.), Geology and Mineralogy. Texts and Studies. Collected and Reprinted. Ed. F. Sezgin. 2 Vols. 2001 (Natural Sciences in Islam. 27).
[32] Sezgin, Fuat, Geschichte des arabischen Schrifttums, Bd. III: Medizin - Pharmazie - Zoologie -Tierheilkunde bis ca. 430 H. Leiden 1970 (Medizin - Pharmazie, pp. 3-340).

الرياضيات بجامعة الجزائر غداة 1962: مخاض عسير (2)

عمار القلّي [1] ومارتن زرنير Martin Zerner [2]

ترجمة: أبو بكر خالد سعد الله

مقدمة المترجم: نشر هذا المقال بعنوان "مسعى لتعاون مستقل: تشكيل فريق بحث في الرياضيات بالجزائر العاصمة (1966-1978)". لكننا فضلنا في هذه الترجمة عنوانا أكثر إيحاءً بالمضمون الذي نريد التركيز عليه. وها هو العنوان الأصلي:

Une tentative de coopération indépendante : Formation d'une équipe de recherche en mathématiques à Alger (1966-78).

وهذا مرجع المقال:

Amar El Kolli & Martin Zerner : *Une tentative de coopération indépendante*, Cahiers de la recherche sur l'éducation et les savoirs, 9, 2010, 93-113.

يلقي المقال الضوء على الأجواء التي كانت سائدة غداة استقلال الجزائر (1962) في جامعتها الوحيدة التي تسمى الآن جامعة بن يوسف بن خدة (الجزائر 1). كما يقدم معطيات تاريخية حول ما كان يجري في حقل الرياضيات بالجامعة، وهي معطيات يسردها شاهدًا عيان لم تتوفر في غير هذا المقال حسب علمنا. ولذا ارتأينا ترجمة المقال ونشره في مجلة بشائر العلوم ليطلع جمهورها على تلك المرحلة العويصة التي مرّت بها جامعة الجزائر، وعلى محاولة النهوض بالبحث العلمي في الرياضيات بالبلاد.

نشير إلى أن كل ما وضع بين عارضتين [ ] في النص هو إضافة من المترجم، كما أن كل تواريخ الميلاد والممات التي وضعت بين قوسين هي من المترجم أيضا. ونظرا لطول النص فسنقدم ترجمته في ثلاثة أقسام متسلسلة ضمن الأعداد المتوالية 9، 10، 11 من المجلة.

المترجم

العناوين الفرعية

أولا: تشكيل فريق بحث في الرياضيات

1. الرياضيات في الجزائر العاصمة بعد الاستقلال
2. بدايات دكتوراه الدور الثالث في الرياضيات
3. منعرج عام 1972،
4. المسيرة نحو الاستقلالية،
5. آفاق ما تم إنجازه،

[1] عمار القلّي: متقاعد، أستاذ سابق في معهد الرياضيات بجامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا (الجزائر).

البريد الإلكتروني: ajelkolli@wanadoo.fr

[2] مارتن زيرنير Martin Zerner (1932-2017): أستاذ سابق بجامعة نيس (قسم الرياضيات)، وعضو مشارك في وحدة البحث UMR 7219 SPHERE التابعة للمركز القومي الفرنسي للبحث العلمي (CNRS)، في جامعة باريس 7 [المنضمة حاليا لجامعة السوربون Sorbonne Université].

ثانيا: تأملات

6. النوايا،
7. العراقيل،
8. الوسائل المتاحة،
9. تأملات في مشروع "مخروط الماء"،
10. خاتمة.

ملخص

كُتِب هذا المقال ليكون بمثابة شهادة حول تشكيل فريق بحث في الرياضيات بجامعة الجزائر العاصمة [الوحيدة في القطر آنذاك] خلال الفترة 1966-1978. يقدم الجزء الأول (تشكيل فريق بحث في الرياضيات) وصفا لما كان عليه الحال في هذه الجامعة. وبعد تقديم بسطة حول الوضع بعد الاستقلال، نقف عند ظروف انطلاق دكتوراه الدور الثالث (اختصاصها، وتنظيمها، والصعوبات التي واجهتها). وفي هذا السياق، نوضح لماذا وكيف شكّلت السنة الجامعية 1972-1973 سنة تحوّل مزدوجة في حياة فريق البحث وبنيته. أما الجزء الثاني (تأملات) فيستعرض بعض التأملات المبنية على ما جاء في الجزء الأول.

نحن نهتم هنا بدوافع مختلف الجهات الفاعلة. كما نتناول العقبات التي واجهت الفريق أثناء وضع المشروع على السكة. وقد حرصنا، بشكل خاص، على تسليط الضوء حول تأثير التكوين في الجامعات الفرنسية الذي كان يُعدّ آنذاك لدى عديد الرياضياتيين بمثابة المسلك الوحيد للنهوض بالرياضيات في الجزائر. وأخيرًا، سنشير إلى الظروف التي كانت تدفعنا إلى الاعتقاد بأنه باستطاعتنا التغلب، ولو جزئيا، على بعض تلك العقبات.

4. المسيرة نحو الاستقلالية

في سبتمبر 1973، عاد بيير غريسفارد إلى جامعة نيس. وتبعه قدور لمرابط ومحمد السعيد مولاي وأبو بكر خالد سعد الله ومحند موساوي. أما الثلاثة الأوائل فابتعثوا لإعداد رسائل دكتوراه الدور الثالث، وأما موساوي فابتعث لإعداد دكتوراه الدولة. بالنسبة للسنة الجامعية 1973-1974، فهذا أدى إلى تفاقم الفراغ الذي نشأ في السنة السابقة بسبب مغادرة طلبة دبلوم الدراسات المعمقة لأداء الخدمة الوطنية.

عاد يوسف عميرات ويوسف عتيق من الخدمة الوطنية في نوفمبر 1974، فالتحقا بجامعة قسنطينة المُنشأة حديثًا. وظلا هناك حتى ديسمبر 1977. ثم رجعا إلى العاصمة وناقشا أطروحتيهما. كانت الظروف صعبة في قسنطينة، وكان زرنير وجيومونا يقومان بزيارات لهذه الجامعة خلال تلك الفترة، وذلك ما كان يفعله أيضا أعضاء من فريق العاصمة [3].

ناقش عبد الرحمن بن دالي وعبد الرحمن جعدان دكتوراه الدور الثالث في مايو 1975، وكان المشرف عليهما الأستاذ جون سيا كما أسلفنا. وانضم كلاهما إلى فريق البحث. وكذلك فعل كمال حمداش الذي ناقش رسالته تحت إشراف كلود باردوس.

وخلال السنة الجامعية 1975-1976، ناقش حميد زياني أول أطروحة دكتوراه حول موضوع "مخروط الماء" في الجزائر. وفي نيس، ناقش لمرابط ومولاي وسعد الله أطروحات دكتوراه الدور الثالث في جامعة نيس. كما ناقش بن عاشور

[3] هذا هو المكان المناسب لإحياء ذكرى حميد زياني، الذي توفي قبل عدة سنوات [2005]. فقد بادر بالسفر عديد المرات إلى قسنطينة. [للعمل مع زميليْه].

في نفس الجامعة أطروحة دكتوراه الدولة تحت إشراف كلود باردوس الذي قضى هناك السنتين الجامعيتين 1974-1975 و 1975-1976.

عاد خريجو جامعة نيس إلى البلاد، فالتحق بن عاشور ولمرابط في البداية بجامعة قسنطينة، وأقاما هناك لمدة ثلاثة أشهر قبل انضمام بن عاشور، في الجزائر العاصمة، إلى جامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا، والتحاق لمرابط بالمدرسة العليا للأساتذة (القبة). أدى هذا الأخير الخدمة الوطنية في السنة الموالية. أما سعد الله فقد تم تعيينه في المدرسة العليا للأساتذة- القبة [خلال أدائه الخدمة الوطنية] ولا يزال هناك يقوم بالتدريس حتى يومنا هذا. كما تم تعيين مولاي في جامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا.

من جهة أخرى، تمت مناقشة أطروحتين (دكتوراه الدولة) خلال السنة الجامعية 1976-1977: أطروحة محند موساوي في جامعة نيس تحت إشراف بيير غريسفارد، وأطروحة عمار القلّي في الجزائر العاصمة تحت إشراف مارتن زرنير. وإثر ذلك عاد محند موساوي إلى الجزائر العاصمة.

وفي جانفي 1978، عاد يوسف عميرات ويوسف عتيق إلى الجزائر العاصمة وناقشا أطروحتهما (دكتوراه الدور الثالث)[4].

5. آفاق ما تم إنجازه

في ذلك الوقت، أدى العمل المنجز إلى مناقشة 3 طلبة لدكتوراه الدولة ونحو 15 طالبا لدكتوراه الدور الثالث في جامعتي نيس والجزائر العاصمة. وعاد الرياضياتيون الذين تكوّنوا في الخارج إلى الجزائر، وتم تشكيل فريق بحث يتمتع بعلاقات عمل وثيقة وباتصال دائم مع الأكاديميين الأجانب. وكانت هناك تحولات مؤسساتية قائمة تم خلالها حلّ كلية العلوم بجامعة الجزائر ودمج قسم الرياضيات في معهد الرياضيات بجامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا، واستبدلت دكتوراه الدور الثالث بشهادة الماجستير. وهكذا تم أثناء السنة السابقة تأسيس شهادة ماجستير تحت إشراف سعيد بن عاشور ومحند موساوي. لكن عدم وجود نص وزاري رسمي يوضح تأسيس شهادة ماجستير في جامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا حال دون انطلاق العملية، وهو ما دفع طالبين أو ثلاثة إلى الالتحاق بفرنسا لإعداد دبلوم الدراسات المعمقة، ومن بينهم آسيا بن عبد الله، التي ناقشت بسرعة فائقة (ديسمبر 1979) دكتوراه الدور الثالث تحت إشراف كلود باردوس، ثم عادت إلى الجزائر. وهكذا فإن النواة المستقرة التي ضمنت استمرارية العمل وتماسكه قد أدت مهمتها، ولم تعد هناك حاجة لخدماتها إذ أصبح بإمكان أعضاء الفريق الجزائريين الآن الاستغناء عنها. ومن ثمّ لن يعود الرياضياتيون المنتسبون إلى هذه النواة بعد اليوم إلى الجزائر إلا في بعض المناسبات.

لتقييم العمل المنجز، يجب وضعه في سياقه: حتى عام 1976، كان المسار الواجب اتباعه من قبل طالب الرياضيات في الجزائر هو المسار الذي كان ساري المفعول في كليات العلوم الفرنسية عند استقلال الجزائر. فكان دبلوم الدراسات المعمقة -الذي يدوم تحضيره سنة- يلي شهادة الليسانس. في فرع الرياضيات، يتمثل هذا المسار في تكوين تقليدي: محاضرات وأعمال موجهة. ويلي ذلك إعداد دكتوراه الدور الثالث تتوَّج أحيانا بنشر مقال، غالبا ما يكون في مجلة أكاديمية العلوم الفرنسية "Comptes Rendus de l'Académie des Sciences". كانت أطروحة دكتوراه الدور الثالث لعمار القلي قد تُوّجت بمقال في هذه المجلة، بينما لم يكن ذلك حال دكتوراه عبد الحفيظ مصطفاي رغم تقارب موضوعيهما. فلا شك أن هذا الأخير كان منشغلًا جدًا بوظيفته الإدارية –كمدير للمدرسة العليا للأساتذة بالقبة- فحال ذلك دون تمكنه من تحرير المقال. وفي نفس السياق، لم ينشر حميد زياني مقالا إثر مناقشة أطروحته، بينما نشر يوسف عميرات ويوسف

[4] بخصوص حوصلة العمل المنجز في مشروع "مخروط الماء"، انظر المرجع Geymonat, 1982. ويمكن العثور على بعض المؤشرات أيضًا في المرجع Zerner, 1979.

عتيق مقالا مشتركا بعد مناقشتهما لأطروحتيهما. والسبب هو إداري محض. أما المرحلة التالية، وهي إعداد أطروحة دكتوراه الدولة، فيفترض أن تكون بمثابة عمل بحثي أصيل له بعض الأهمية، وكان الأمر كذلك في معظم الأحيان.

إن مناقشة الأطروحات الجامعية شهادة بأن ثمة عملا في مجال البحث العلمي قد تم. لكن التوضيحات المقدمة آنفا تبيّن أن تحليل الاستشهادات المرجعية (التقييم الببليومتري) للعمل البحثي الذي قام به الفريق سيكون من ضرب الخيال. هناك أيضا أسباب أخرى لهذا الوضع، أحدهما هو أنه يكاد يكون من المستحيل فصل المنشورات المعدة في الجزائر عن تلك المعدة في فرنسا، باستثناء الباحثين الذين لم يقضوا أي إقامة طويلة في فرنسا[5]. وقبل كل شيء، يجب أن نأخذ في الاعتبار خصائص البيئة الرياضياتية الفرنسية التي كانت تتطور بسرعة. وحسب علمنا، فهذا التطور لم تتم دراسته. ومع ذلك، دعونا نشير إلى مقال مثير للدهشة كتبه كلود شيفالي Claude Chevalley (1909-1984) [6]: في عام 1966، كان من المفترض أن يقوم بضع مئات من الأشخاص في فرنسا بأبحاث في الرياضيات، والغالبية العظمى منهم هم من الأكاديميين، من رتبة مساعد إلى رتبة أستاذ. لكن معظمهم لا يؤدون هذه المهمة.

هذا يعني أن فئة الباحثين النشطين عددها صغير جدا، وهي متمركزة إلى حد كبير في باريس وتتزايد بسرعة بسبب تدفق الطلبة. وفي كليات العلوم خارج باريس، كانت هناك مشكلة في توظيف رياضياتيين ذوي كفاءة عالية. فمبدأ " النشر أو الموت" لم يكن له أثره بعد، وبشكل عام، كانت الخشية من نشر مقال غير دسم تفوق الخشية من عدم النشر على الإطلاق. وفي عام 1978، تغيّر الوضع بشكل عميق، وتواصل هذا التحوّل خلال العقد الموالي. لقد زاد عدد الرياضياتيين النشطين بشكل كبير. غير أن هذا التحوّل في الجزائر لم يتبع نفس المسار حيث زاد عدد الرياضياتيين بشكل كبير، لكنه ظل بعيدا عن تلبية احتياجات البلاد.

لقد كانت الاتصالات متنوعة بالفعل: مع لوك تارتار Luc Tartar، الذي سيكون المشرف على كمال حمداش خلال إعداده دكتوراه الدولة، ومع فرانسوا مورا François Murat (باريس)، وستتوسع أكثر مع أمبرتو موسكو Umberto Mosco (روما)، وأنطونيو فاسانو Antonio Fasano (فلورنسا)، وميشيل كروزيكس Michel Crouzeix (جامعة رين Rennes) وآلان مينيو Alain Mignot (جامعة نانسي Nancy).

ولإعطاء أمثلة عن الأنشطة اللاحقة لمخبر التحليل، يمكننا ملاحظة ما يلي:

- مدرسة صيفية للباحثين الشباب بمدينة تيبازة (الجزائر) سنة 1982؛
- ملتقى حول الطرق العددية للمهندسين بالتعاون مع شركة سونلغاز في عام 1986؛
- ملتقى مغاربي حول الطرق العددية للمهندسين بالتعاون مع المدرسة الوطنية التونسية للمهندسين (ENIT) ومدرسة المحمدية للهندسين بالرباط. يقام هذا الملتقى مرة كل عامين، وقد نظمت دورته الأولى في الجزائر العاصمة سنة 1987.

كانت فترة التسعينيات صعبة للغاية بالنسبة للمخبر الذي رحل عنه البعض من باحثيه. وشهد العقد الأول من القرن الحادي والعشرين انتعاشًا في هذا النشاط، ويمكن الحصول على المزيد من المعلومات حول الوضع الراهن عبر الموقع الإلكتروني للمخبر[7]. ينتسب إلى هذا المخبر 27 مدرّسًا-باحثًا (منهم 18 امرأة)، موزعين إلى ثلاثة فرق تخصصاتها متقاربة

---

[5] من بين هؤلاء يمكننا أن نذكر عمار القلي وعبد الرحمن بن دالي. فقد نشر الأول النتائج التي توصل إليها في أطروحته في مجلتين عالميتين هما Journal of Approximation Theory وJournal of differential Equations. أما العمل الثاني فيتعلق بالتحليل العددي المرتبط بـ "مخروط الماء" وقد تم نشره في مجلة M2AN التابعة لجمعية الرياضيات التطبيقية والصناعية الفرنسية.

[6] مجهول، 1976. كانت مقالات Impascience مجهولة المصدر ولكنها لم تكن سرية.

[7] رابط الموقع: http://www.lamnedp.usthb.dz . يجد المتصفح قائمة المنشورات من عام 2003 إلى عام 2009.

جدا، حيث يواصل الأعضاء جميعا العمل معًا. ومن بين الأعضاء السبعة والعشرين، هناك 14 يحوزون على دكتوراه الدولة و 13 يحملون شهادة ماجستير.

ثانيا: تأملات

6. النوايا

لنبدأ بكلمة حول نوايا وأهداف الجهات الفاعلة في هذا النشاط، ومنهم كاتبَا المقال. من الواضح أن هذه النوايا يمكن أن تكون مختلفة بالنسبة للجزائريين والأوروبيين، وكذا لدى كل عضو في هاتين المجموعتين. كما يمكن أن تكون أهدافهم قد تطورت بمرور الوقت. لكن لا شك أن الجميع كان على قناعة بأن الجزائر بحاجة إلى تأسيس تعليم جامعي عالي الجودة في الرياضيات، وأن هذا المستوى لا يمكن بلوغه ما لم يتزامن التعليم مع نشاط بحثي.

وكما أسلفنا، لم يكن الوضع بقسم الرياضيات في سبتمبر 1963 مشرقًا؛ بل يمكننا القول بأنه كان كارثيا. وفي السنوات الموالية، لم يشهد القسم تحسنا محسوسا. وقد تزايد عدد الطلبة بسرعة كبيرة فاقت نسبته كثيرا تزايد عدد المدرسين، وذلك على الرغم من الدور الذي أداه المتعاونون. كان لابد من مواجهة هذا الوضع وضمان الدروس.

من الجانب الجزائري، كان هناك خياران ممكنان لتكوين أساتذة المستقبل: إرسال الطلبة لاستكمال تحضير دكتوراه الدور الثالث في الخارج أو فتح هذا التكوين في جامعة الجزائر بمساعدة خارجية. ثمة عيب كبير في الخيار الأول: إن غالبية الطلبة لا يعودون بعد تكوينهم في الخارج، أما الذين يعودون إلى الجزائر فهم يميلون إلى الرجوع بسرعة إلى الخارج. يسمح الخيار الثاني باستغلال طلبة دكتوراه الدولة أثناء إعدادهم لأطروحاتهم، كمدرسين وأيضا ليتعاونوا مع طلبة دكتوراه الدور الثالث. ونظرا للحاجة الماسة إلى المدرسين فقد مالت الكفة إلى الخيار الثاني.

أما فيما يخص الجانب الفرنسي (والإيطالي)، فإن المساعدة في دفع تدريس الرياضيات في الجزائر يستجيب لدوافع مختلفة سنتحدث عنها لاحقا لأنها كانت بالغة الأهمية في هذا السياق.

7. العراقيل

كانت العزلة العلمية تهدد الباحثين الجزائريين، وذلك ناجم بصفة خاصة عن صعوبة السفر إلى الخارج، إذ كان الأمر يتطلب "تصريحا بمغادرة التراب الوطني"، والحصول على المبلغ اللازم بالعملة الصعبة للإقامة، وكذا "أمرا بمهمة" يصعب ويطول الظفر به. وكان هذا عائقًا كبيرًا أمام الاتصال بالأكاديميين الأجانب. يمكن أن نضيف إلى هذا العائق ضآلة محتوى مكتبة [القسم][8]، التي لم تكن تسمح بالوصول إلى الحد الأدنى من المراجع حتى يتمكن [الأستاذ أو الباحث] العمل بشكل مناسب.

كما أن الإجراءات السفر الإدارية اللازمة لمن يتحصل على إذن [من أجل البحث][9] إجراءات مرهقة ويجب تكرار العملية عدة مرات عند إعداد برنامج الدكتوراه الدور الثالث: يتعين تقديم هذه الطلبات الخاصة بـ"الأمر بمهمة" ومتابعتها في مصالح الوزارة الجزائرية وكذلك مع المصالح الثقافية بالسفارة الفرنسية. بعد ذلك، أضيفت أيضا ضرورة المرور

[8] نشير إلى أن مكتبة جامعة الجزائر أحرقت جزئيا من قبل منظمة الجيش السري (OAS). ولا ندري ما إذا تم إتلاف منشورات رياضياتية جراء هذه العملية.

[9] ويأتي هذا الأخير إلى الجزائر، وهو أستاذ فرنسي أو أجنبي، من أجل الإقامة لمدة أسبوع أو أسبوعين لإلقاء محاضرات على طلبة دبلوم الدراسات المعمقة، وتنظيم ندوات، ومتابعة الإشراف على الطلبة.

بمصالح "الهيئة الوطنية للبحث العلمي (ONRS)" الجزائرية. وعلى الرغم من أنه تم تخفيف تلك الإجراءات فيما بعد فقد ظلت تستغرق وقتا طويلا بالنسبة لمن يطلب السفر، ومن ثمّ كانت تشكل عائقا كبيرا.

ويجب أن نضيف إلى ذلك الصعوبات اللوجستية: بمجرد الحصول على "أمر بمهمة" (تذكرة الطائرة، حجز الفندق، دفع فاتورة الفندق بعد مغادرة المحاضر)، وكذا صعوبات الحياة اليومية (ظروف العمل كانت أصعب بكثير من تلك التي نعيشها في فرنسا). فالظروف المعيشية اليومية أكثر صعوبة؛ والتسوّق هو في بعض الأحيان عمل يستغرق وقتا طويلا؛ كما يطرح ذهاب الأطفال إلى المدرسة مشاكل مختلفة، وكذا مستقبلهم.

هذه الصعوبات هي التي تجعل أيضا من تكوّن في الخارج لا يعود إلى البلاد، أو يغادرها بعد فترة وجيزة. بالنسبة لهؤلاء فالعودة إلى الجزائر متعبة للغاية ويجدون صعوبة في التكيّف مع الحياة الجامعية والاجتماعية.

يتمثّل عيب التكوين [في مستوى الدراسات العليا] بالجزائر أنه يستغرق مدة أطول لأن هؤلاء الطلبة يخصصون مدة أقصر لأبحاثهم، ويعانون من العزلة وليس لهم أحيانا الإمكانية في الحصول على المراجع التي تتطلبها أبحاثهم (ندرة المجلات العلمية اللازمة لأي عمل ببليوغرافي، وهي عموما غير صالحة للاستعمال في حالة وجودها لأنها غير مكتملة، أما الكتب الحديثة فيستغرق الحصول عليها في أحسن الأحوال بضع سنوات). وهكذا يقتضي الانتهاء من الأطروحة بصفة عامة وقتًا أطول مما يتطلبه الأمر عند الإقامة في دولة غربية، وهو ما قد يؤدي إلى الفشل، إما بسبب الإحباط أو لأن النتائج [الأصيلة] التي كان يأمل الطالب في الحصول عليها قد تم نشرها في تلك الأثناء من قبل باحث آخر.

النظام المعتمد لدبلوم الدراسات المعمقة ولواحقه كان يطرح مشكلة التواصل بين محاضرَيْن اثنين. كان الأمر سهلا عندما كان هناك مدرّس مقيم في الجزائر، ولكن خلال السنوات التي كان فيها المشرف على دبلوم الدراسات المعمقة هو مارتن زرنير، كان ينبغي أن يكون البرنامج متماسكًا. في ذلك الوقت كانت الأعمال الموجهة تحت إشراف عمار القلّي، ثم جمال تينيو. ولذا كان التحصيل العلمي من دون شك جيدا بالنسبة للطلبة، ولكنه تطلب جهودا معتبرة.

ما من شك أن التزام بعض كبار الرياضياتيين من فرنسا كان بمثابة مصدر قوة خلال السنوات الأولى. سنعود إلى هذه النقطة لاحقا. ولكن ذلك الوضع كان يشكل أيضا عائقا. فرأيهم كان هو رأي روجي غودمان ورأي التعاون التقني والعلمي بشكل عام: إرسال أفضل الطلبة إلى فرنسا ليتكوّنوا هناك. وفضلا عن ذلك، يجب أن نضيف شروطا قاسية في التوظيف. باختصار، كان الرأي يميل إلى النخبوية بدل الميول إلى فكرة جودة التكوين. هذا الانزلاق عشّش بسهولة في النفوس: العلم الجيد لا يمكن أن نتعاطاه إلا في الغرب. وهنا يتذكر مارتن زرنير بمرارة عندما كان عائدا من قسنطينة صحبة باحث لم يتوقف عن تكرار أنه لا يستطيع إجراء بحث علمي في الجزائر، وكان ذلك أيضا رأي المشرف (الفرنسي) على أطروحته. من الواضح أن القضاء على هذه الذهنية الاستعمارية يستغرق وقتًا أطول مما هو متوقعا، سواء على مستوى أدمغة قدماء المستعْمِرين أو أدمغة قدماء المستعْمَرين، كما هو حال استرجاع استقلال الدول.

وكانت النتيجة غير المتوقعة لجهودنا هي أن قسم الرياضيات في الجزائر العاصمة كان يتمتع بسمعة سيئة لدى عديد الرياضياتيين في فرنسا، وخاصة الباريسيين. كان هؤلاء يقيّمون نشاطنا من خلال مؤهلات الطلبة الذين التحقوا بفرنسا لاستكمال تكوينهم، والذين لا يمثلون في الواقع أفضل الطلبة لأن النجباء منهم غالبا ما يمارَس عليهم ضغط ليواصلوا تكوينهم بالجزائر. بالإضافة إلى ذلك، فهؤلاء الباريسيون لا يلتقون أبدا بالوافدين من الجزائر لأن الطلبة الجزائريين في فرنسا كانوا مسجلين في جامعة نيس وليس في جامعات باريس. ربما يكون ذلك مصدرٌ للحدث التالي: كَلفت المديرية العامة للتسلح [في فرنسا] رياضياتيا من باريس، وهو مارسيل بيرجي Marcel Berger، بإعداد تقرير حول "حوصلة وآفاق الرياضيات الفرنسية". وقد نشر هذا التقرير (Berger, 1984) في دورية الرياضياتيين la Gazette des

Mathématiciens[10]. وخلال هجوم كاسح ضد المعادين للنخبوية، جاءت عبارة بشكل عابر في التقرير تقول: "وهكذا دمَّرت الجزائر جامعة الجزائر". وأدى هذا الحكم إلى رد فعل لأعضاء النواة الأوروبية للفريق، الذي أكمله بهذه المناسبة دانييل ليمان[11] بقوله: "للمرة الأولى كان هذا التعاون تعاونًا ناجحًا، في حين أن نتيجة التعاون، في معظم الحالات، كان يتمثل في خلق احتياجات جديدة للتعاون. أما جامعة الجزائر فهي قادرة بشكل متزايد على الاستغناء عن هذا التعاون". نشير إلى أن ذلك المقال أوجز أيضا المواضيع التي تم طرحها هنا.

المراجع

- Adair (P.), 1983, « Rétrospective de la réforme agraire en Algérie », Tiers Monde, n° 24 (93), pp. 153-168.
- Anonyme, 1976, « Fini de folâtrer : une explication de texte », Impascience, n° 4/5, pp. 17-20.
- Bardos (C.), Boutet de Monvel (L.), Geymonat (G.), Grisvard (P.), Lehmann (D.) & Zerner (M.), 1986, « À propos de l'Université d'Alger », Gazette des Mathématiciens, n° 31, pp. 21-22.
- Berger (M.), 1984, « Bilan et Perspectives des Mathématiques françaises », Gazette des Mathématiciens, n° 25 et suivants.
- Cea (J.), Chenais (D.), Geymonat (G.) & Lions (J.-L.) (dirs.), 1996, Partial differential Equations and functional Analysis. In memory of Pierre Grisvard, Boston, Birkhaüser. DOI : 10.1007/978-1-4612-2436-5
- Curbera (G.), 2009, Mathematicians of the World, unite!, Wellesley, A. K. Peters (Eds). DOI : 10.1201/b10584
- Geymonat (G.), 1982, « Una esperienza di collaborazione scientifica », in R. Rainero (dir.), Italia e Algeria : Aspetti storici di un'Amicizia mediterranea, Milan, Marzorati, pp. 509-514.
- Khelfaoui (H.), 2001, « La Science en Algérie, 1ère partie : les Institutions »,
- https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers07-09/010033544.pdf تقرير في إطار مشروع "العلم بإفريقيا في فجر القرن الحادي والعشرين" تحت إشراف R. Waast و J. Gaillard، Paris, IRD éditions.
- Lehto (O.), 1998, Mathematics without borders, Berlin, Springer. DOI : 10.1007/978-1-4612-0613-2
- Schwartz (L.), 1997, Un Mathématicien aux Prises avec le Siècle, Paris, Odile Jacob.
- Vidal-Naquet (P.), 1958, L'affaire Audin, Paris, éditions de Minuit.
- Zerner (M.), 1979, « Some applications of functional Analysis to the Flow of Fluids in porous Media », Proceedings of the second international Symposium in West Africa on functional Analysis and its Applications, Kumasi, pp. 32-48.

[10] نُشر التقرير في سلسلة أعداد بدءا من العدد 25 (جويلية 1984). وتمثل هذه الدورية نشرة داخلية للجمعية الرياضياية في فرنسا Société Mathématique de France التي تنشر أيضًا مجلة علمية تسمى نشرية الجمعية Bulletin de la SMF.

[11] المرجع Bardos et *al.*, 1986. نتذكر أن دانييل ليمان كان من فئة المتعاونين المجندين في إطار الخدمة العسكرية خلال الفترة 1964-1965. وكان مجال بحثه مختلفًا تمامًا عن مجال بحث الفريق المذكور. وأثناء السنة ذاتها، قام مارسيل بيرجي بزيارة إلى الجزائر العاصمة. وعندما سأله أحد كاتبي هذا المقال، اكتفى بالقول إنه "ليس مهتما بالجزائر بل هو مهتم بفرنسا"!

مصادرومحتوى وإسهامات الرياضيات العربية قبل القرن 6هـ/12م (3)
المصادر اليونانية (الهندسة)

وسيلة غرابة
مخبر الإبستمولوجيا وتاريخ الرياضيات، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
أستاذة بقسم الرياضيات والإعلام الآلي، كلية العلوم، جامعة الدكتور يحيى فارس، المدية
o.gheraba@yahoo.fr

نستأنف في هذا الجزء من سلسلة مقالات "مصادر ومحتوى وإسهامات الرياضيات العربية قبل القرن السادس الهجري/الثاني عشر الميلادي" موضوعَ المصادر اليونانية. تحدّثنا في الجزء السابق عن مطلبين في الهندسة لبّتهما الهندسة اليونانية. نتناول في هذا المقال المطلبَ الثالث الذي أنتج ميادين خصبة للبحث في التقليد الرياضي العربي نظرًا لارتباط هذا المطلب بمفاهيم أساسية للهندسة النظرية وإنشاء الأعداد.

الهندسة- المطلب الثالث

كان هذا المطلب نتاجًا لترجمات أمهات الكتب النظرية للهندسة اليونانية. ولصعوبة محتواها استلزم دراسات وشروحات، ما سمح لاحقًا بتأليف عدة أعمال بين القرنين التاسع والحادي عشر الميلاديين، تعلّقت بعدّة ميادين.

1. الميدان الأول

الميدان الأول هو تطبيق معطيات أرخميدس (Archimedes) وكتاب أبولونيوس (Apollonios) في القطوع المخروطية لتحقيق نتائج جديدة مثل تحديد حجم الكرة ومجسمات القطوع [8].

من بين أولى الأعمال الأصيلة في هذا الميدان، كتاب **في معرفة الأشكال البسيطة والكُرِيَّة** لبني موسى (ق. 9م)، حيث أثبتوا قواعد حساب مساحات المثلث والمضلعات المنتظمة المحيطة والمحاطة بالدائرة. كما قاموا بحساب مساحة الدائرة باعتبارها شكلا مسطحا، ومساحة نصف الكرة بطريقة التقسيم اللامتناهي في الصغر وبتقسيم يختلف عن تقسيم أرخميدس. وقد نقل بنو موسى في هذا الكتاب كيفية حساب محيط الدائرة وبالتالي حساب القيمة التقريبية لما يُعرف الآن بالعدد π ونسبوها إلى أرشميدس [3].

اتّبع ثابت بن قرة (ت. 901م) تقليد بني موسى. ففي مؤلَّفيه **في مساحة القطع المكافئ** و**في مساحة المجسّم المكافئ**، ابتدع عملًا تجديديا بالكامل من خلال استخدام المقدمات الحسابية والمجاميع التكاملية، وكان فيهما يجهل ما كتبه أرخميدس في هذا الموضوع. وفي مؤلّفه **في قطوع الأسطوانة وبسيطها**، أخذ ثابت وسائل فعالة من دراسة مخروطات أبولونيوس ومن وسائل إسقاطات وتحويلات هندسية للحسن بن موسى (ق. 9م)، وخاصة ما تعلّق منها بالقطع الناقص، لتطوير وتوسيع مشروع إعداد نظرية الأسطوانة وقطوعها المستوية مشابهة لنظرية المخروط وقطوعه لأبولونيوس. فحوّل البحث الهندسي نحو وجهة جديدة ممَا أدّى إلى إغناء علم الجبر. وترك هذا المؤلَّف، مثلما فعل مؤلّفاه السابقان، أثرًا مهما في تاريخ الرياضيات اللامتناهية في الصغر، وهو التأثير الذي نراه في نتاج مؤلّفين لاحقين، من بينهم ابراهيم ابن سنان وابن سهل وابن الهيثم وشرف الدين الطوسي [3].

أما إبراهيم بن سنان (ت. 946م)، الوريث والناقد لأعمال جدّه ثابت بن قرة، فقد طوّر دراسة التحويلات الهندسية وتطبيقاتها في القطوع المخروطية، وفي حساب مساحة قِطع من القطع المكافئ، حيث استخدم برهانا من دون الخلف وأكثر سهولة من برهان جده ثابت. لقد قدّم ابن سنان مواضيع اجتذبت رياضيي عصره وخلفائهم، كابن الهيثم الذي أتى بعده بنصف قرن. ولا يمكن فهم العديد من أعمال ابن الهيثم دون أبحاث ابن سنان [3].

في استمرارية للتقاليد السابقة التي بدأها بنو موسى، يقوم ابن الهيثم (ت. بعد 1040م) بحساب حجم المجسّم المكافئ الدوراني بطريقة الاستنفاد بشكل مختلف. فقد أثبت أنّ حجم المجسم المكافئ الدوراني الحادث عن دوران حول قطر يساوي نصف حجم الأسطوانة المحيطة باستخدام مجموع قوى الأعداد الطبيعية من القوة واحد إلى القوة أربعة. ويثبت هذا الحساب بالاستقراء، مع ملاحظة أنه يمكن تعميم القوة إلى أي عدد طبيعي. وبنفس الطريقة السابقة يثبت أنّ حجم الكرة يساوي ثلثي حجم الأسطوانة المحيطة التي تكون قاعدتها مساوية للقرص الأكبر في الكرة ويكون ارتفاعها مساويا لقطر الكرة. ويبرر إعادة إثباته هذه النتيجة المعلومة عند سابقيه بأنه أراد أن يكون برهانه أقصر وأوضح منهم [4].

لم يكن تقليد بني موسى متّبعا فقط في الشرق الإسلامي وإنما في الأندلس أيضا، وهذا من خلال ابن السَّمْح (ت. 1035م) المعاصر لابن الهيثم، ويظهر في مؤلفه **الكتاب الكبير في الهندسة**، المفقود في صيغته العربية والمترجم جزءٌ منه إلى العبرية. الجزء الخاص بمسألة الأسطوانة والقطوع الناقصة وصل كاملًا، ويعالج نفس الموضوع المدروس من قِبل الحسن بن موسى بن شاكر، ثم من قِبل ثابت بن قرة في كتابه **في قطوع الأسطوانة** والخاص بإيجاد مساحة قطوع الأسطوانة وخاصيتها المميزة. استند ابن السمح في عمله إلى كتاب الحسن، ويكمن اختلاف عمله عن عمل ثابت بن قرة في المصطلحات وطريقة إثبات الخاصية المميزة للقطع؛ حيث ينطلق ابن السمح من التعريف الذي يستند على البؤرتين ليثبت الشكل الذي يحصل عليه بالقطع المستوي للأسطوانة. أما ثابت بن قرة فيستند على إعداد نظرية خاصة بالأسطوانة وقطوعها مستندًا على كتاب أبولونيوس. ويبيّن ابن السمح أنّ نسبة مساحة القطع الناقص إلى مساحة الدائرة ذات القطر $2b$ تساوي $\frac{b}{a}$ (حيث $2b$، $2a$ طولا محوري القطع الناقص مع $a > b$). وكان الحسن بن موسى قد قام بتحديد هذه المساحة وفقًا لأقوال ثابت بن قرة [3].

العالِم الثاني من الغرب الإسلامي، والذي كانت له اهتمامات بأعمال اليونانيين وبأعمال بني موسى وأعمال ابن الهيثم في البصريات المتعلقة أساسًا بالقطوع من التقليد الرياضي العربي، هو المؤتمن بن هود (ت. 1085م). انخرط المؤتمن في مشروع طموح، وهو تحقيق نوع من تركيب للقضايا التي لا غنى عنها للمعارف الرياضية اليونانية والعربية المستخدمة في تلك الحقبة. فألّف كتابًا بعنوان **كتاب الاستكمال**، عالج فيه أهم مواضيع الرياضيات اليونانية متدرجًا في الصعوبة من كتاب الأصول إلى بعض المبرهنات من كتاب **المجسطي** وبعض المسائل التي تم حلها في الشرق بين القرن التاسع وبداية القرن العاشر الميلادي [9].

درس المؤتمن حساب حجم الكرة للإخوة بني موسى وتحديد مساحة جزء من القطع المكافئ بطريقة إبراهيم بن سنان. كما درس الحل الدقيق والطويل والصعب من المسألة الشهيرة من كتاب البصريات لابن الهيثم، وهي تحديد نقطة (نقاط) الانعكاس على مرآة مستوية كروية أو مخروطية أو أسطوانية (محدبة أو مقعرة) لشعاع ضوئي يأتي من مصدر معين وينتهي عند نقطة معينة أيضا خارج المرآة [9]. يذكر ابن الأكفاني (ت. 1348م) في كتابه **إرشاد الطالب إلى أسنى المقاصد**، أنّ المواضيع التي تدرسها الهندسة في وقته هي عشرة أجزاء ثم يقول "لم أر إلى الآن كتابا يشتمل على هذه الأجزاء العشرة، لكن لو كمل تصنيف **الاستكمال** للمؤتمن بن هود رحمه الله لكان كافيا مغنيا" [1].

العالِم الثالث من الغرب الإسلامي، والذي كان له مشروع فيما يتعلق بالمخروطات، هو ابن سيد (ق. 11م). وهو من أعظم علماء الرياضيات في القرن الحادي عشر في الغرب الإسلامي، وربما أكثرهم ابتكارًا في جيله. أهم مشاريعه ظل غير مكتمل مثل مشروع المؤتمن بن هود الذي لم يكمل الجزء الثاني من كتاب **الاستكمال**. يذكر تلميذُه، الفيلسوفُ الشهير

ابن باجة (ت. 1138م)، مساهماته الأصيلة والمتمثلة في صياغة جديدة لكتاب **المخروطات** لأبولونيوس، حيث أعطى ابن سيد مفاهيم وتعريفات جديدة مكّنت من تقليل عدد المبرهنات وتغيير ترتيبها [9]. هذه المساهمات الأصيلة لا تقل أهمية عن أعمال كبار الرياضياتيين من قامة ابن الهيثم والكوهي وابراهيم بن سنان، الذين كانت مساهماتهم مثل ابن سيد، تدور حول فكرة تقليل عدد المبرهنات والمقدمات الحسابية الكثيرة المستخدمة في حساب مساحات القطوع والتي نجدها مثلا عند ثابت بن قرة في أعماله.

2. الميدان الثاني

الميدان الثاني هو تمديد مفهوم العدد مع تعداد المقدار الموجود في الكتاب العاشر واستخدام مفهوم النسبة في الكتاب الخامس من كتاب **الأصول**. في الكتاب العاشر درس أوقليدس نسبة المقادير من نوع هندسي، وهي المعروفة بالأعداد المنشأة بالمسطرة والبركار، والتي عُرفت لاحقا بالأعداد غير الناطقة، وهي الجذر التربيعي والجذر من الدرجة الرابعة لعدد معطى، إلخ. والكتاب الخامس خُصّص لنسبة مقدارين كيفيين قابلين للقياس، وهي الكسور الناطقة؛ أو غير قابلين للقياس، ومنها مسائل تتعلّق بما يعرف حاليا بالعدد π [10].

تتعلّق هذه النسب في الكتابين الخامس والسادس، بعدّة مسائل منها مسألة الوسطين، وهي مسألة تناسبية كان من ضمنها مسألة تضعيف المكعب. كانت أُولى المحاولات في كتاب بني موسى **في معرفة الأشكال البسيطة والكرّية**. قدّم بنو موسى في هذا الكتاب وصفًا لطريقة استخراج الجذور التكعيبية للأعداد المكتوبة في النظام الستيني. وتطرّقوا بالإضافة إلى ذلك إلى مسألة تثليث الزاوية في نهاية الكتاب، واقترحوا حلّين أحدهما منسوب إلى أرخيتاس (Archytas) وذلك بتقاطع ثلاث مجسمات دورانية مختلفة، أما الحل الآخر فيدخل في التقليد الأرخميدي [7].

تصبّ هذه المسائل في حل معادلات من الدرجة الثالثة، وحلّها الهندسي هو تقاطع القطوع والمجسمات المخروطية. كان الجبريون قد بدأوا منذ نهاية القرن التاسع الميلادي بصياغة المسائل الهندسية بلغة الجبر (ثابت بن قرة والماهاني وآخرون). ثم ظهرت فكرة في منتصف القرن العاشر حول حل معادلات الدرجة الثالثة بواسطة تقاطع مخروطين [5].

فكرة حلول المعادلات بواسطة تقاطع الخطوط لم تحتل، قبل القرنين التاسع والعاشر الميلاديين، مكانًا مركزيًا إلى الحد الذي وصلت إليه خلال هذه الفترة. لا يتعلق الأمر فقط بخواص هذه المنحنيات بل أيضا بقابلية تطبيقها على ميادين لم يتنبأ بها الرياضيون الأوائل مثل أرخميدس وأبولونيوس. وأصبح استخدام تقاطع القطوع المخروطية وحدها دون غيرها تقريبا لحل مسائل مثل تثليث الزاوية، وقاعدة الوسطين، وتضعيف المكعب. وبات استخدام طرائق أخرى يبدو كصدى لذكرى بني موسى القديمة ولدى البيروني فيما بعد. فقد أصبح كل عمل هندسي شرعيًا إذا حصل بالمسطرة والبركار أو إذا حصل بواسطة تقاطع قطعين مخروطيين، في حين أنّ العمل الهندسي بواسطة آلة أو بواسطة المنحنيات المتسامية أصبح مرفوضا مع وجود استثناءات نادرة [5].

عرف الرياضيون الأوائل أنّ معادلات الدرجة الثالثة لا يمكن حلها بواسطة الهندسة المستوية. وقد ذكر عمر الخيام (ت. 1131م) أنّ "المسائل التي لا يمكن أن تستنبط بالهندسة المسطحة لمكان المكعب فيها يحتاج فيها إلى القطوع" [6].

من الأوائل الذين استخدموا المزدوجة هندسية جبرية ومنهم من نجح ومنهم من استعصت عليه، يذكر عمر الخيام ما يلي: "... في حل مسألة من الدرجة الثالثة أعجزت أبا سهل الكوهي وأبا الوفا البوزجاني وأبا حامد الصاغاني وجماعة من أصحابهم، وهي عشرة قسمتها قسمين فكان مجموع مربعيهما مع الخارج من قسمة الكثير على القليل اثنين وسبعين عددا، وكان يؤدي التحليل إلى أموال يعادل مكعبا وجذورًا وأعدادًا، وهؤلاء الأفاضل كانوا متحيرين في هذه المسألة

مدة مديدة حتى استخرجها أبو الجود". ويذكر الخيام أنّ "الماهاني المهندس أثناء قيامه بحل مقدمة أرشميدس التي اتخذها أرخميدس مسلمة في الشكل الرابع من المقالة الثانية من كتابه **الكرة والأسطوانة**، وهي المتعلقة بقسمة الكرة بسطح مستو على نسبة معلومة، استخدم لغة الجبريين للتسهيل فأدى التحليل إلى أعداد وأموال وكعاب متعادلة، ولم يمكنه أن يستخرجه بقطوع المخروطات، فجزم القول إنّ هذا ممتنع. ثم نبغ أبو جعفر الخازن وتنبّه إلى طريقة وأتى به في رسالة" [6].

فالخازن وأبو الجود من أوائل من نجحوا في استخدام القطوع المخروطية لحل معادلة من الدرجة الثالثة. وأدّى ذلك إلى ميدان خاص لوحده يتعلق بحصر الطرائق المستخدمة بتقاطع القطوع المخروطية، قد جرى أولا من خلال الفكر الهلنستي تقريبا ثم ما لبث أن توسع. والمثال الأكثر تعبيرا في هذا الخصوص المسبَّع المتساوي الأضلاع؛ فبينما لم يترك اليونانيون أي عمل للمسبَّع، شهدت نهاية القرن العاشر الميلادي جدلًا حقيقيا داخل الأسرة الرياضية أدّى إلى ظهور ما لا يقل عن اثنتي عشرة رسالة مكرسة لهذا الموضوع [5].

مسألة المسبَّع مبنية على مقدمة أرخميدس، وهي قسمة خط على نسبة معيّنة مساوية لنسبة مربعي خطين. وقد وعد أرخميدس بحلّها ولكنه لم يف بذلك. إنّ الحل الذي حدد للمعادلة التي قُدّمت من قِبل أرخميدس في الحالة العامة هو أصم ويخرج من نطاق نظرية الأعداد؛ وهكذا فهو يتعلّق بالجبر أو الهندسة الذي كان متداولا في ذلك العصر [5].

عمل الرياضياتيون، لأجل عمل المسبَّع، على إيجاد مثلث محاط بدائرة حيث تكون زواياه محقّقة لنسبة معينة (يكون مجموعها في كل حالة سبعة). ولقد صيغت مسألة قسمة خط أرخميدس التي أعاد الرياضياتيون البحث فيها بدءًا من نهاية القرن التاسع، على شكل معادلة من الدرجة الثالثة، وقد حُلّت بواسطة تقاطع قطعين مخروطيين. كان لابن الهيثم باعٌ كبير في حلّ مسألة المسبَّع بطريق هندسية مختلفة بحيث لم يستخدم الجبر لحلها، وهو ما يميّز ابن الهيثم عن أسلافه بشكل عام بِغضّ النظر عن هذه المسالة. يتميز ابن الهيثم بمنهجية البحث عن حلول مسائل الأعمال الهندسية باستخدام القطوع المخروطية، الذي أصبح بواسطة ابن الهيثم فصلا كاملا في الهندسة. يدرس ابن الهيثم في إطار هذا الفصل الجديد بعناية بشكل عام وجود الحلول وعددها وفقًا لنظرية في التركيب وفي التحليل ترتكز على خواص الخطوط المقاربة والخواص الموضعية للقطوع المخروطية المتعلقة بشكل خاص بنقاط تماسها [5].

الحل الذي يقدّمه ابن الهيثم لمسألة المسبَّع هو عدّ كل الحالات الممكنة لكل المثلثات التي يمكن تشكيلها مع أضلاع وخطوط قطرية، ومنها الحالة التي تؤدي إلى قسمة خط أرخميدس التي تشكل المسبَّع، ثم يدرسها كلها. ولم يُخفَ عليه أنّ مسألة عمل المسبَّع المتساوي الأضلاع تعادل في حالتين منه مسألة تثليث الزاوية. وفي النتيجة ترجع دراسته بالرغم من الاختلاف الظاهر إلى حل ثلاث معادلات من الدرجة الثالثة. يعادل الحل الهندسي لابن الهيثم بتحديد نقط تقاطع القطع المكافئ مع قطع زائد، وهو الحل الجبري لمعادلات الخيام الـ 13، 18، 24 في تصنيفه للمعادلات [5].

في الغرب الإسلامي تظهر المساهمات الأصيلة لابن سيد في مجال دراسة المنحنيات، وفي استمرارية لمشروعه الخاص بالمخروطات. كان مشروعه الثاني أكثر طموحًا، ويتعلق بتعريف ودراسة خصائص منحنيات مستوية جديدة، التي ستصبح فيما بعد في أوروبا جزءًا من دراسة منحنيات درجتها أكبر من 2. يذكر تلميذُه ابن باجة أنّ الفئة الأولى من هذه المنحنيات يتم الحصول عليها عن طريق إسقاط منحنيات معينة ناتجة عن تقاطع الأشكال المجسّمة أساسها قطوع مخروطية. ثم ومن المنحنيات المستوية التي تم الحصول عليها، ومن خلال تكرار هذه العملية، يحصل على منحنيات جديدة بدرجة أعلى. بعدها وبفضل هذه المنحنيات، تمكّن ابن سيد من استخراج نتائج جديدة فيما يتعلق بتعدد تنصيف الزاوية وتحديد عدد كيفي من الوسائط بين مقدارين معينين. هذه النتائج الأخيرة عممت كل من النتائج الخاصة بالتقليد اليوناني والخاصة بالتقليد الرياضي في الشرق الإسلامي [9].

هذا العمل هو في الحقيقة ما قام به ديكارت (Descartes) في أهم أعماله حيث يقول: "...يكون المنحنى من النوع الأول والأبسط الذي لا يضم إلا الدائرة والقطع المكافئ والقطع الزائد والقطع الناقص. ولكن هذا المنحنى يكون من النوع

الثاني عندما ترتفع المعادلة إلى البعدين الثالث أو الرابع من هاتين الكميتين غير المحددتين أو من أي واحد منهما، ... وعندما ترتفع المعادلة إلى البعدين الخامس أو السادس يكون المنحنى من النوع الثالث، وهكذا إلى ما لانهاية" [2].

3. الميدان الثالث

أما الميدان الثالث فهو دراسة بعض المسائل المرتبطة بأسس الهندسة، مثل مفهوم النسبة بين مقدارين ومسلمة التوازي. هذان الموضوعان غذّيا عدة مساهمات أصيلة، كان ذلك من خلال التحديد النقدي لتحديدات أوقليدس ولموضوعاته ولأسس كتابه **الأصول**. فقد وسّع العرب نظرية عامة تتعلق بالكسور والتناسبات حلّت محلّ النظرية التي ذكرت في الكتاب الخامس من **الأصول** [7]. فهذا الكتاب خُصص لنسبة مقدارين كيفيين قابلين للقياس، وهو الذي تكون فيه النسبة بين عددين طبيعيين أو كسرين أي جزءين، أو غير قابلين للقياس. وفي هذه الفئة الثانية نجد النسبة الشهيرة بين محيط الدائرة وقطرها، أي العدد π. ويوجد أيضا كل الأعداد التي لا يمكن كتابتها على شكل كسر مضبوط، والتي عرفت فيما بعد بالأعداد الحقيقية الموجبة [10].

اهتم العديد من علماء العصور القديمة والوسطى بشكل خاص بالمصادرة الخامسة. تكمن أهمية المصادرة الخامسة أو أي نص مكافئ في كونها ضرورية لبرهنة عدد من القضايا التي تتعلق بالمثلثات الموجودة في الكتاب الأول من **الأصول**، مثل مبرهنة فيثاغورس (Pythagoras) التي تتوّج الكتاب الأول. لهذا السبب تبدو المصادرة الخامسة إلزامية لكل نظرية التشابه المشروحة في الكتاب السادس من **الأصول** [7].

في الشرق الإسلامي، يبدو أنّ عباس الجوهري (ق. 9م) وكان معاصرًا للخوارزمي، هو أول من سجّل مأخذًا على المصادرة الخامسة، ولكن الافتراض الذي استخدمه يكافئ المصادرة. بعد هذه المحاولة للجوهري بسنوات، اقترح ثابت بن قرة برهانين، الأول يرتكز على افتراض تعاكس اتجاه تباعد وتقارب الخطين المقطوعين بخط ثالث؛ أما الثاني فيرتكز على استخدام الحركة البسيطة، وهي انسحاب على امتداد خط مستقيم ما. يعطي ابن الهيثم فيما بعد استنتاجًا مبتكرًا للمصادرة الخامسة في كتابه **شرح مصادرات أوقليدس**، يتبنى فيه مفهوم الحركة البسيطة التي ارتكز عليها ثابت بن قرة. ويكمن تجديده في إدخال مضلع رباعي فيه ثلاث زوايا قائمة والزاوية الرابعة منفرجة أو حادة. اندفع البيروني (973-1048م) أيضا في نظرية الخطوط المتوازية. وفي مؤلفه الذي يحتوي على استدلال يعقوب الكندي (ت. 873م)، ارتكز على إمكانية تجزئة الكميات إلى مالانهاية. وبقيت هذه المصادرة تشغل بال الرياضياتيين في القرون اللاحقة [7].

المراجع

[1] ابن الأكفاني، شمس الدين، إرشاد الطالب إلى أسنى المقاصد، ت. أ. ب. ح. و. م. سليم الآمدي، المحرر، بيروت، 1322هـ.

[2] راشد، رشدي، بيجان، وهاب زاده، رياضيات عمر الخيام، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، 2005.

[3] راشد، رشدي، الرياضيات التحليلية بين القرن الثالث والقرن الخامس للهجرة، ، ج. 1، المؤسسون والشارحون: بنو موسى، ابن قرة، ابن سنان، الخازن، القوهي، ابن السمح، ابن هود، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، 2011.

[4] راشد، رشدي، الرياضيات التحليلية بين القرن الثالث والقرن الخامس للهجرة، ج. 2، الحسن بن الهيثم، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، 2011.

[5] راشد، رشدي، الرياضيات التحليلية بين القرن الثالث والقرن الخامس للهجرة، ج. 3، الحسن بن الهيثم: نظرية المخروطات، الأعمال الهندسية والهندسة العملية، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، 2011.

[6] رحيم رضا زاده ملك، موسوعة الخيام: رسائله العلمية والفلسفية والأدبية، ترجمة جلال زنكابادي، منشورات أرجوان –دار التكوين، دبي، 2013.

[7] روزنفيلد، بوريس أ.، و يوشكفيتش، أدولف ب.، الهندسة، في موسوعة تاريخ العلوم العربية، ج. 2، إشراف رشدي راشد بمعاونة ريجيس مورلون، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، 2005.

[8] Djebbar, Ahmed, Les mathématiques arabes et leur circulation dans l'Occident latin, In The difusion of the Islamic Sciences in the Western World, Firenze, 2020.

[9] Djebbar, Ahmed, Les mathématiques dans l'espace méditerranéen : l'exemple d'al-Andalus et du Maghreb, History and Pedagogy of Mathematics, Jul 2016.

[10] Djebbar, Ahmed, Les nombres et leurs propriétés en pays d'Islam, chez Encyclopédie de l'Islam Iranienne, 2020.

عينة من الترجمة العربية لكتاب "أصول أقليدس" الذي عرف أيضا بـ"كتاب الأركان".
يبدو أن الأمر يتعلق هنا بترجمة أنجزها إسحاق بن حنين بعد مراجعة ثابت بن قرة.

ذكاء اصطناعي

الذكاء الاصطناعي أو السباق المحموم نحو المجهول

سعيد قادري

أستاذ بقسم الإعلام الآلي، كلية الرياضيات والإعلام الآلي، جامعة محمد بوضياف، المسيلة

said.kadri@univ-msila.dz, kadri.said28@gmail.com

https://kadrisaid28.wixsite.com/sgadri

تمهيد

يُعتبر العقل من أفضل النّعم التي حبا الله بها الإنسان في هذه الحياة وميّزه بموجبها على كثير مما خلق. قال تعالى: ﴿وَلَقَدْ كَرَّمْنَا بَنِي آدَمَ وَحَمَلْنَاهُمْ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ وَرَزَقْنَاهُمْ مِنَ الطَّيِّبَاتِ وَفَضَّلْنَاهُمْ عَلَى كَثِيرٍ مِمَّنْ خَلَقْنَا تَفْضِيلًا﴾ الإسراء (70).

قال المفسّرون إنّ محلّ التكريم هنا هو العقل. ومن لوازم العقل الذكاء الذي يتمتّع به الإنسان. والذكاء غير العقل كما يذهب إليه علماء النفس والتربية والفلاسفة. فالعقل مِن عَقَل الناقة أي لَجَمها، والعاقل من لَجَم نفسه وجوارحه ووجّهها لما فيه مصلحته وخيره، فهو عاقل أو مُتعقّل. أمّا الذكاء فهو القدرات التي يمتلكها الإنسان في الفهم والتحليل والتعلّم وحلّ المشكلات التي تواجهه بشكل أمثل وعقلاني وفي آماد قصيرة.

كما يطلق الذكاء على القدرة على فهم الحياة، والاستفادة من تجاربها، وتوجيه أحداثها بما يحقّق المصلحة الآنية والبعيدة. وبعضهم تحدّث عن أنواع عدّة من الذكاء منها: الرياضي واللغوي والاجتماعي والاقتصادي وغيرها.

ومن هنا أمكن القول أنّ كل عاقل ذكي وليس كل ذكي عاقل، فلربما وجدنا عالمًا متمكّنا في مجال تخصّصه العلمي، مُلّمًا بمفاهيمه، محيطًا بأصوله وفروعه، لكنّه خفيف العقل، سفيه الرأي، متهوّر، مُتبّع لغرائزه ونزواته وانفعالاته، عاجز على أن يعقلها ويلجمها ويوجهها لما يخدم مصالحه. وحينها ربما كان في علمه هلكته وهلكة البشرية بأسرها.

1. هل الحاسوب ذكي؟

المعلوم لدى المختصّين وحتى عند عموم الناس أنّ الحاسوب ما هو إلا آلة صنعها الإنسان وزوّدها بالبرامج المناسبة حتى تتمكن من إنجاز ما يوكل لها من مهام ووظائف بكفاءة أكبر، ووقت أقصر، ودقّة أعلى من الإنسان. لكن هذا الحاسوب لا يفكّر كما يفكّر الإنسان، ولا يحلّل البيانات، ولا يخلص إلى استنتاجات بمفرده، ولا يستطيع أن يتصرّف أو يتّخذ قرارات صعبة دون تدخّل الإنسان. فالإنسان إذًا هو الآمر الناهي والموجّه في كل ما يقوم به الحاسوب.

لكنّ علم الحاسوب نحا خلال العشريات الأخيرة منحًا مختلفًا، وظهرت الكثير من البحوث والاختراعات منحت الأجيال المتأخّرة من الحواسيب قدرات لم تكن تتمتّع بها الأجيال الأولى. لم يَعُد دور الحاسوب يقتصر على إجراء الحسابات، والحصول على الدقة المطلوبة، ولكن أصبح بإمكانه التحليل والاستنتاج والتصرّف أحيانا كثيرة دون حاجة لتدخّل الإنسان، وهو الشأن بالنسبة للروبوتات مثلا، أو السيارات ذاتية القيادة، وكذا التطبيقات الذكية المختلفة التي ظهرت في كلّ المجالات. وظهر بموازاة ذلك علم جديد يعرف بالذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence).

2. تعريف الذكاء الاصطناعي

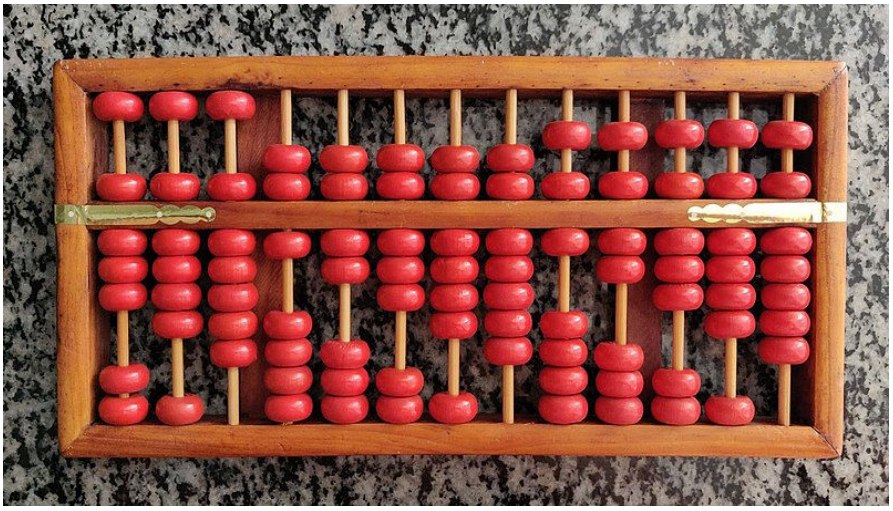
لقد أعطى المختصّون في علم الحاسب الآلي تعريفات عدة للذكاء الاصطناعي منها:

- الذكاء الاصطناعي هو جعل الآلة (الحاسوب) تتفاعل وتفكّر مثل الإنسان.
- هو علم هندسة الآلات والبرامج الذكية.
- هو قدرة الحواسيب على القيام بمهامّ عقلية مثل التفكير، جمع المعلومات وتحليلها وفهمها، التعلّم الذاتي، حلّ المشكلات المختلفة، والقدرة على التصرّف واتخاذ القرارات إزّاء مشكلات معينة.

3. نبذة تاريخية عن نشأة وتطور الذكاء الاصطناعي

الذكاء الاصطناعي ككلّ العلوم الأخرى استفاد من مفاهيم ونظريات واختراعات متعدّدة، فهو إذًا مُحصّلة جهود علمية وأبحاث متقدّمة في مجالات ذات صلة، منها ما هو قديم جدا، ومنها ما هو حديث. فبالنسبة للأبحاث والجهود العلمية القديمة يمكن ذكر المعالم والمحطات التالية:

- جهود أرسطو (Aristotle) في مجال المنطق ونُظم التحليل والاستنتاج (300 سنة قبل الميلاد)؛
- ظهور الآلات الحاسبة أو ما عرف حينها بالمعداد، مثل المعداد الصيني القديم (The Chinese Abacus) (حوالي 400 سنة قبل الميلاد)، إضافة إلى معدادات أخرى تُنسب إلى الإغريق والمصريين القدماء؛
- مساهمات العالم المسلم محمد بن موسى الخوارزمي (ت. 850م) التي كان لها أعظم الأثر على تطور مختلف العلوم لا سيما الرياضيات.



بالنسبة للعصر الحديث يمكن ذكر تأثير الأبحاث والاختراعات التالية:

- ظهور آلة باسكال سنة 1642 والمعروفة باسم باسكالين (Pascal's calculator).
- ظهور آلة لايبنتز (Leibniz) سنة 1694.
- ظهور أول تصميم للحاسوب، من طرف العالم الإنكليزي شارلز باباج (Charles Babage) عام 1833. وهو عبارة عن آلة تتميز بالدقة العالية في الحساب وتشبه إلى حد كبير التصاميم الحالية للحواسيب.
- نشر أول بحث حول الجبر البولي (Boolean algebra) سنة 1854 من طرف الرياضياتي الإنكليزي جورج بول (George Boole) الذي استطاع تكميم المنطق الرياضي الكلاسيكي

(الإغريقي) وربطه تماما بنظام العدّ الثنائي (binary system). ويعتبر المختصون والباحثون في تاريخ العلوم، الجبر البولي بمثابة اللبنة الأولى في تصميم العمليات المنطقية والحسابية للحاسوب الحديث.

- ظهور آلة تورينغ (Turing) لقياس ذكاء الآلة سنة 1950.
- تأسيس شركة آي بي إم (IBM) سنة 1911 كأول شركة مختصة في تصنيع الحواسيب. وقد أنتجت للعالم حواسيبها الثلاثة الشهيرة وهي ENIAC، UNIVAC، EDSAC، خلال الفترة ما بين 1944 و1954.
- ظهور الجيل الأول للحواسيب من خلال نموذج العالم المجري-الأمريكي جون فون نيومان (John von Neumann).
- توالي الأجيال المختلفة للحواسيب (الأول والثاني والثالث والرابع).
- اختراع الشبكات العصبية الاصطناعية (Artificial neural networks) من طرف العالمين الأمريكيين ماكولوتش (McCulloch) وَبيتس (Pitts)، عام 1943.
- تسمية الذكاء الاصطناعي لأول مرّة كفرع من فروع علوم الحاسب عام 1956.
- ظهور أول برنامج ذكي (Logic Theorist) لبرهنة النظريات الرياضية عام 1956.
- خلال الفترة 1967-1979، ظهرت أنظمة ذكية تحاكي الخبير البشري تُعرف باسم الأنظمة الخبيرة، ومن أمثلتها: Denral، MacSyma، MyCin في مجالات الطب والرياضيات والكيمياء.
- ظهور أول لغة برمجة خاصة بالذكاء الاصطناعي تعتمد على المنطق الرياضي وتسمّى لغة برولوغ (Prolog) ومعناها البرمجة باستعمال المنطق (Programming in logic). وكان ذلك عام 1971 على يد الباحثين الفرنسيين آلان كولميرور (Alain Colmerauer) وَفيليب روسل (Philippe Roussel).
- في سنة 1980 استُعملت الخوارزميات الجينية في مجال البرمجة لأوّل مرّة، كما ظهرت البرمجة المنطقية الاستدلالية (Inductive logic programming)، والشبكات البايزية (Bayesian networks).
- 1986: عادت الأبحاث حول الشبكات العصبية الاصطناعية بعد توقف دام طويلا، بعد القفزة النوعية التي عرفتها الحواسيب من حيث سعة الذاكرة وسرعة المعالجة.
- خلال التسعينات من القرن العشرين، ظهر الإنترنت كفضاء واسع لتبادل المعلومات.
- ظهور محركات البحث واستعمال تقنيات الذكاء الاصطناعي فيها (Altavista، Boogle، Ayne، Google)، وظهور الأعوان الذكية (Intelligent agents).
- 1995: اختراع أول سيارة ذاتية القيادة تعرف باسم Navlab 5 مزودة بنظام رؤية يدعى ALVINN يعتمد بشكل كلّي على الشبكات العصبية الاصطناعية، من تصميم وإنتاج جامعة كارنيجي ميلون الأمريكية.
- 1997: شركة آي بي إم (IBM) للحواسيب تُصنّع الحاسوب ديب بلو (Deep Blue) مزود بأذرع وبرنامج ذكي يُمكّنه من لعب الشطرنج. هذه الآلة تمكنت من التغلب على بطل العالم في اللعبة، اللاعب الروسي الشهير غاري كاسباروف (Garry Kasparov)، بعد أكثر من ثلاثين سنة من التربّع على عرش بطولة اللعبة.

- 1999: وكالة ناسا (NASA) تتمكّن من متابعة قمر صناعي يدور حول المشتري باستعمال نظام ذكي مثبت على القمر الصناعي دون الاستعانة بالأرض.
- بعد عام 2000: توالي الاختراعات في مجال الذكاء الاصطناعي وتطبيقاته بشكل مذهل وسريع.

4. تطبيقات الذكاء الاصطناعي

يمكن القول دون مبالغة إنّ الذكاء الاصطناعي أصبح يغزو حياتنا ويدخل في تفاصيلها يومًا بعد يوم. كما أنّ النظم الذكية مبثوثة في كلّ المجالات دون استثناء، ولكن بدرجات متفاوتة بين الدول والقطاعات. سنحاول فيما يلي أن نتحدث عن أهم هذه القطاعات بشكل مختصر حتى نضع القارئ في صورة ما يحدث من تطوّر رهيب ومتسارع في هذا المجال.

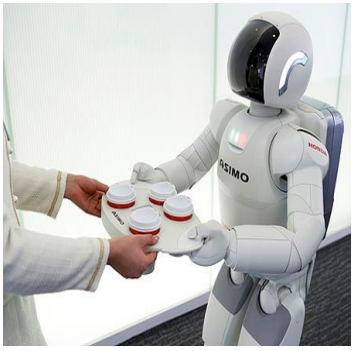
1.4. الروبوتية

يعتبر مجال الروبوتية (Robotics) أحد أهمّ وأقدم تطبيقات الذكاء الاصطناعي، حيث يمكن للروبوتات اليوم القيام بالكثير من الأعمال والمهامّ التي كانت تؤرّق الإنسان، وتسبّب له الإرهاق والملل، خاصّة في المجال الصناعي أين تتولّى الروبوتات أعمال النقل والشحن والتركيب.

وفي المجال الطبي، يمكن للطبيب أن يستعين بالروبوت للقيام ببعض العمليات الدقيقة في بعض الأماكن الحسّاسة من الجسم، مثل استئصال بعض الأورام من المخ أو أماكن حسّاسة أخرى. ويجدر الإشارة هنا إلى وجود ثلاثة أجيال على الأقل من الروبوتات.

- **الجيل الأول**: ويتمتّع بالقدرة على الرؤية والحركة وحمل الأشياء ونقلها من مكان إلى آخر والتحادث باستعمال اللغات الطبيعية وتحليل المعطيات والتصرّف واتخاذ القرار تبعًا لذلك. وهذا الصنف من الروبوتات قد يأخذ شكل إنسان أو حيوان أو أي شكل آخر.

- **الجيل الثاني**: ويُعرف أيضا باسم الروبوتات المنزلية (Domestic robots) نسبة إلى الوظائف التي يقوم بها، حيث يمكنه القيام بمهام النظافة المنزلية، وتقديم القهوة والشاي والأكل للضيوف، والعمل كبستاني بحديقة المنزل، وغيرها من الأعمال المنزلية الاعتيادية التي كانت حكرًا على الإنسان أو ربّة البيت تحديدًا. وهذا الصنف من الروبوتات عادة ما يشبه الإنسان من حيث الشكل.



- **الجيل الثالث فما فوق**: ويتمثل في روبوتات شبيهة إلى حدّ كبير بالإنسان من حيث المظهر الخارجي وحتى الوظائف. وتقوم بأدوار جدّ معقّدة لا يقدر عليها إلاّ الإنسان على الأغلب. ولأنها مزودة بعضلات اصطناعية فهي شديدة الشبه بالبشر، ويمكنها محاكاة كل تعابير الوجه من فرح وحزن، وضحك وبكاء، ورضا وغضب، وخوف وطمأنينة.

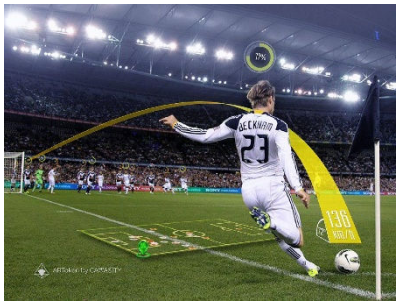
2.4. الحقيقة الافتراضية

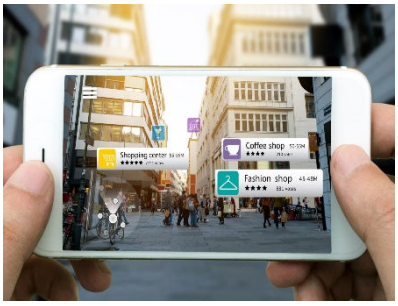
وهي شكل جديد من أشكال التواصل مع الحواسيب، حيث يُزوّد الحاسوب بمعالج مركزي ذي سرعة فائقة، وشاشات عرض ثلاثية الأبعاد، بالإضافة إلى مجموعة من المستشعرات (Sensors) فائقة التطوّر. بالإضافة إلى بعض الملحقات الأخرى مثل الخوذة والنظّارات والقفّازات، مما يجعل المستعمِل يشعر بأنه جزء من المشاهد الافتراضية التي يصنعها الحاسوب فينغمس بشكل كلي فيها.

وللحقيقة الافتراضية تطبيقات عديدة، مثل الألعاب ثلاثية الأبعاد. كما يستعملها بعض الأخصائيين النفسانيين في معالجة بعض أنواع الفوبيا، مثل فوبيا المصعد والعنكبوت وغيرها.

3.4. الواقع المعزّز

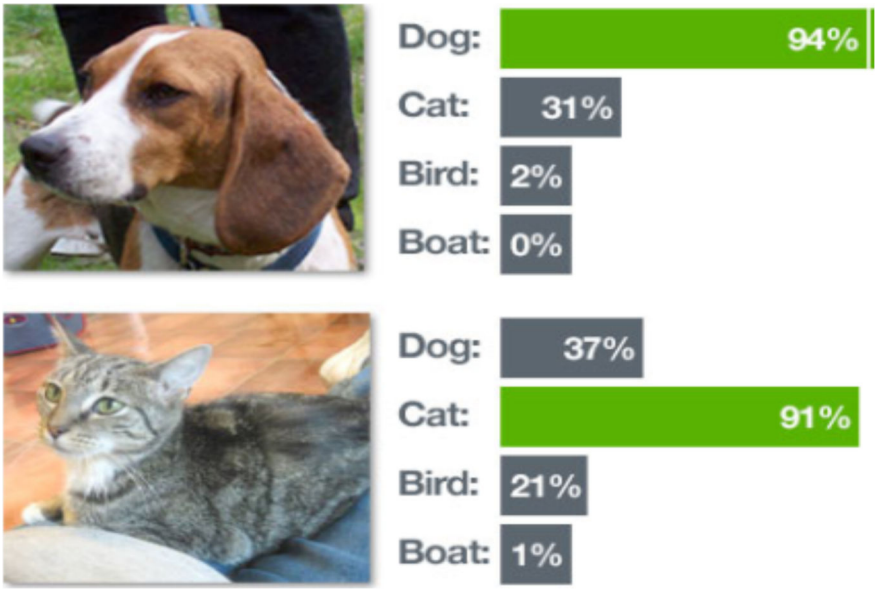
المقصود بالواقع المعزّز (Augmented reality) هو التقاط صور وفيديوهات من الواقع ثمّ تعزيزها بمشاهد ونصوص إضافية بهدف الزيادة في الشرح والإيضاح، وكذا الزيادة في الإثارة والتشويق والجذب.





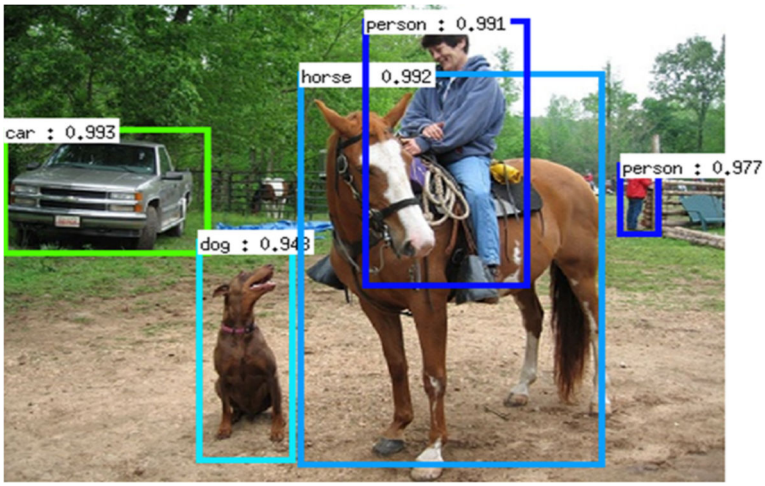
4.4. التصنيف الآلي للصور

يتم تدريب الحاسوب على قاعدة صور قوامها عدد كبير من الصور المصنّفة ابتداء. بمعنى كلّ صورة تمثّل كائنا معينا (إنسان، حصان، قط، سيارة، باخرة، طائرة، إلخ). ومن ثمّ يأخذ الحاسوب فكرة عن العلاقة بين الصورة والصنف المنسوب إليه، وبالتالي استنتاج مجموعة من القواعد التي تساعده على التصنيف. بعد ذلك يمكننا أن نعطيه أي صورة جديدة ويقوم هو بتصنيفها بشكل ذاتي دون تدخل الإنسان.



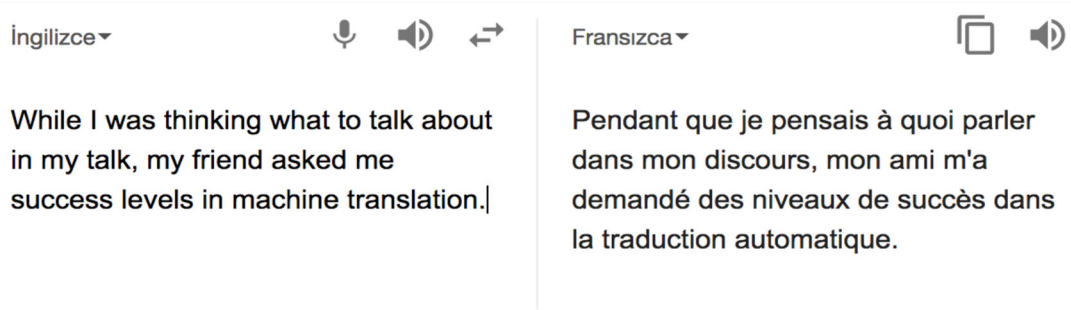
5.4. الكشف عن الكائنات

إدخال صورة مركّبة للحاسوب ويقوم الحاسوب بالكشف عن الكائنات المُركّبة للصورة مع حساب دقة الكشف.



6.4. الترجمة الآلية

تُعدّ الترجمة أحد أهمّ الأعمال التي يحتاجها الإنسان في حياته اليومية خاصّة عند الباحثين والمؤلفين وحتى التجار. وقد تمّ تطوير الكثير من البرامج والتطبيقات في هذا المجال، لكنّ برمجيات الترجمة اليوم أصبحت أكثر سهولة ودقّة لاعتمادها بشكل أساسي على تقنيات الذكاء الاصطناعي. وكأمثلة عن هذه المترجمات يمكن ذكر مترجم جوجل (Google Translator)، DeepL، Reverso، Lingo.

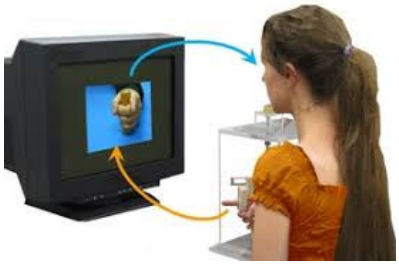


7.4. الأنظمة الخبيرة

النظام الخبير (Expert system) هو نظام آلي يحاكي عمل الخبير البشري في مجال من مجالات المعرفة، وقد ظهر لأوّل مرّة في أواخر الستينات وبداية السبعينات من القرن الماضي. وتقوم فكرته على تجميع الخبرات من خبير أو عدّة خبراء ووضعها في قاعدة معارف، وتطوير تطبيق يعمل عليها من أجل حلّ مشكلات قد تطرأ في مجال من المجالات بدل اللجوء إلى الخبير البشري. ومن أمثلتها: النظام الخبير MyCin في مجال الطب، النظام الخبير Dendral في مجال الكيمياء.

8.4. معالجة اللغات الطبيعية (Natural Language Processing)

وهي من أهم فروع البحث في مجال الذكاء الاصطناعي، وفيه يتمّ التعامل مع اللغات الطبيعية للبشر لأغراض عدّة، منها: فهم النصوص المنطوقة، الترجمة الآلية من لغة إلى أخرى، تلخيص النصوص، التخاطب مع الحاسوب بأوامر شفهية مباشرة دون الحاجة لاستعمال وسائط مثل لوحة المفاتيح أو الفأرة أو غيرها.

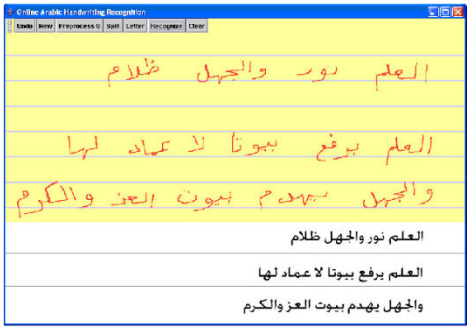


9.4. الألعاب

هي مجال خصب للذكاء الاصطناعي، حيث ظهرت الكثير من برامج الألعاب التي تتطلّب درجة عالية من الذكاء بحيث لا يستطيع الإنسان أن يتغلب فيها على الحاسوب. ومن أمثلتها: لعبة الشطرنج، ولعبة ألفا غو (AlphaGo).

10.4. التعرّف على الكتابة اليدوية

ويتلخّص هذا المجال في تطوير برامج عالية الدقّة واستعمالها في التعرّف على الكتابات اليدوية. ولها تطبيقات هامّة، منها: فهم المخطوطات القديمة، الكشف عن التزوير في الوثائق والصكوك البريدية والبنكية، التحرّيات الشرطية، تصحيح أوراق الامتحانات بطريقة آلية، إلخ.



11.4. التعرّف على الأصوات

تماما مثل التعرّف على النصوص المكتوبة يدويا، يمكن تطوير برامج قادرة على تحليل نصوص منطوقة والتعرّف على أصحابها بدقّة عالية. ولها تطبيقات عدّة، منها مجال التحرّيات الأمنية والكشف عن المشتبه بهم من خلال أصواتهم.

12.4. الرعاية الصحية

للذكاء الاصطناعي عديد التطبيقات في مجال الرعاية الصحية منها: الصور الطبية الدقيقة من خلال جهاز التصوير المقطعي (Scanner) وجهاز التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) وكذا استعمال الروبوتات في إجراء العمليات الجراحية الدقيقة.

13.4. الزراعة الذكية

ويتمثّل استعمال الذكاء الاصطناعي في الزراعة في: عمليات التنبؤ بوقت جني المحاصيل، التنبؤ بالأحوال الجوية والتصرّف تبعًا لذلك، ضبط احتياجات المساحات المسقية بشكل دقيق من خلال متابعة حالة التربة ونسبة الرطوبة فيها، الكشف عن الأمراض التي تصيب النباتات من خلال أخذ صور عن الأوراق أو أجزاء أخرى من النبات وتحليلها والتعرّف على المرض واقتراح الأدوية المناسبة لها.

كما يتم استعمال الروبوتات في بعض المهام الفلاحية كمعالجة الأمراض، والسقي، ورشّ الأسمدة، دون أن ننسى استعمال الطائرات المسيّرة (Drones) في رش المبيدات والأسمدة بمقادير مضبوطة ومساحات محدّدة تبعًا لصور ملتقطة عن المساحات الزراعية وتحليلها وتحديد احتياجاتها من الماء والسماد والأدوية.

14.4. المنازل والمدن الذكية

فكرة المنزل الذكي هي أن يتم التحكّم في المنزل بواسطة نظام أو أنظمة ذكية بغرض ترشيد استهلاك الموارد وضمان السلامة داخل المنزل. فيتمّ مثلا فتح الأبواب والنوافذ وغلقها بشكل آلي، وإشعال الأضواء وإطفائها، وتشغيل المكيّفات والتدفئة المركزية وفقًا لدرجات الحرارة داخل المنزل في فترات مختلفة، ومراقبة استهلاك الماء والكهرباء والغاز، وضبط التموين بالمواد الاستهلاكية وغيرها.

ويمكن تعميم هذه الفكرة على المدينة ككل لتصبح مدينة ذكية من خلال ربط كل شيء داخل المدينة بالاعتماد على تكنولوجيا إنترنت الأشياء (Internet of things). كما يتمّ ربط السيارات والحافلات والقطارات والطائرات والأضواء ثلاثية الألوان وكذا الإنارة العمومية ومحطات البنزين وغيرها، من أجل ضمان التواصل بينها وخلق مرونة أكثر في حركتها دون تسجيل حوادث تصادم خطيرة.

15.4. الإدارة الذكية

وهو مشروع هام تمّ تجسيده في كثير من الدول، بحيث يستطيع المواطن التواصل مع مختلف الإدارات والمصالح الحكومية بطريقة إلكترونية. كما يسمح هذا المشروع باستخراج الوثائق إلكترونيا دون الحاجة إلى التنقّل إلى مقرّات تلك الإدارات، والردّ على أسئلة وانشغالات المواطنين من طرف روبوتات الدردشة الذكية (Smart Chatbots).

ويلحق بهذا المشروع الأنظمة البيومترية المستعملة في تحديد هويات الأشخاص، والانتخاب الإلكتروني باستعمال أجهزة وتطبيقات ذكية، والمنصّات الخدمية المتنوعة في مجالات متعدّدة مثل الصحة والتعليم والرعاية الاجتماعية والمصالح المالية المختلفة.

5. تطبيقات أخرى للذكاء الاصطناعي

هناك تطبيقات متعدّدة للذكاء الاصطناعي في مجالات أخرى يمكن أن نوجزها فيما يلي:

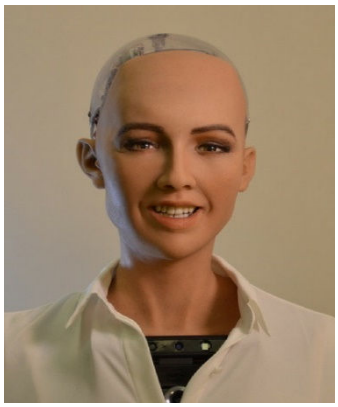
- التطبيقات العسكرية،
- المعاملات المالية،
- النقل بمختلف أنواعه،
- التعليم الإلكتروني،
- تحليل المشاعر على مستوى منصات التواصل الاجتماعي.

6. آخر تطورات الذكاء الاصطناعي

ما من يوم يمرّ إلاّ ويستيقظ فيه العالَمُ على اختراع جديد في مجال الذكاء الاصطناعي وتطبيقاته، مما يجعل من الصعب تتبّع هذه التطورات بشكل دقيق، لذلك نكتفي فيما يلي بذكر أهمّ هذه التطوّرات.

1.6. الروبوت البشري صوفيا

صوفيا اسم مؤنث لروبوت شبيه بالبشر (يأخذ شكل أنثى) تمّ تصميمه من طرف مهندس الروبوتات الأمريكي دافيد هانسون (David Hanson)، وتمّ إطلاقه لأول مرّة من طرف مَخبر بحث في هونغ كونغ في 19 أفريل 2015. كما حصل هذا الروبوت على الجنسية السعودية عام 2017.



ويتمتع الروبوت صوفيا بقدرات خارقة منها: التعرّف على الأشخاص، القيام بمحاكاة تعابير الوجه التي يقوم بها الإنسان من خلال عضلات اصطناعية رُكّبت على وجهه، المحادثة باللغة الطبيعية من خلال الإجابة عن

أسئلة المخاطبين. وقد تمّ استضافة صوفيا في حصّة تلفزيونية مع مذيع بشري واستطاعت أن تجيب تقريبا عن كلّ الأسئلة التي طرحت عليها.

2.6. الأخصائية النفسية إيلي (Dr. Ellie)

الأمر لا يتعلّق هنا بأخصّائية نفسية بشرية كما قد يتبادر إلى أذهان الكثيرين في أوّل وهلة، وإنّما هي روبوت يحلّ محلّ خبيرة في مجال الطب النفسي. وقد تمّ تصميم وإنجاز هذا الروبوت سنة 2012 وزوّد بقدرات عالية تمكّنه من الاستماع الجيد لتصريحات المرضى وتحليلها وفهمها ومعالجتها، وكذا القدرة على التخاطب وطرح الأسئلة المناسبة لفهم الحالة النفسية للمريض وبشكل يجعل هذا الأخير يشعر كأنه أمام أخصّائي نفسي بشري.

تستطيع إيلي تحليل كل أشكال التعابير الصادرة عن المريض مثل حركات الجسم، حركات اليد، حركات العيون، إلخ، مما يُمكّنها من التشخيص الجيّد والسريع للحالات النفسية المعروضة عليها. وقد أجريت دراسة إحصائية على عينّة واسعة من المرضى الذين تمّ عرضهم على الأخصائية الآلية إيلي في مرحلة من المراحل ثمّ على أخصائي نفسي بشري، فلوحظ أنّ المرضى الذين تعاملوا مع إيلي كانوا يعرضون مشكلاتهم بكل طلاقة وراحة ودون أدنى حواجز، وهو ما لم يتمّ مع المحلّل البشري. ونتيجة لذلك كان تشخيص إيلي أدقّ وبالتالي وصف العلاجات كان أكثر فعالية.

3.6. السيارات ذاتية القيادة

وهي سيارات يمكنها السير على الطرق السريعة وداخل المدن وحتى الأماكن شديدة الزحمة دون حاجة لوجود سائق. وقد شرع فعليا في تسويق هذا النوع من السيارات في الكثير من الدول الصناعية مثل الولايات المتحدة، اليابان، الصين، ألمانيا، سنغافورة ودول أوروبية أخرى. ويزداد انتشار هذا النوع من السيارات بشكل متسارع عبر العالم مع بداية انخفاض أسعارها. ومن الشركات الرائدة في مجال تصميم وتصنيع هذه السيارات نذكر شركات: تسلا (Tesla)، بي إم دبليو (BMW)، تويوتا (Toyota)، أودي (Audi).

4.6. المحادثة مع الترجمة الآنية

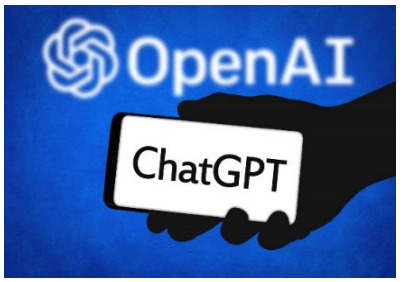
وتتمّ من خلال تطوير برامج سكايب (Skype) للمحادثة مزوّدة بنظام ترجمة آلي متعدّد اللغات ذي كفاءة عالية في فنّ الترجمة، بحيث يمكن لكل طرف في المحادثة أن يتكلّم بلغته الأصلية ويتولّى البرنامج عملية الترجمة الآنية إلى لغة الطرف الآخر.

5.6. تطبيق شات جي بي تي

يعتبر برنامج المحادثة شات جي بي تي (ChatGPT) من أعظم ما توصّل إليه الذكاء الاصطناعي في مجال معالجة اللغات الطبيعية (NLP) خلال السنوات الأخيرة. حيث يتمتّع البرنامج بقدرات عجيبة في المحادثة والفهم والإجابة عن تساؤلات المستخدمين في مختلف فروع المعرفة. كما يستطيع صياغة رسائل وخطابات متعدّدة الأغراض بشكل كامل، وتحرير مذكّرات وأطروحات علمية ومقالات صحفية وعلمية، وترجمة نصوص كاملة إلى لغات عدّة، وبناء وتطوير برامج بأي لغة من لغات البرمجة، وكتابة قصائد شعرية وحتى روايات كاملة.

تمّ تطوير هذا البرنامج من طرف شركة أوبن أيه آي (Open AI) الأمريكية. وقد أطلقت هذه الأخيرة النسخة الأولى منه (ChatGPT 3.0) في نوفمبر2022 ثمّ النسخة الأخيرة منه (ChatGPT 4.0) أشهرًا قليلة بعدها، وبالتحديد في 14 مارس 2023. وتفوق النسخة الجديدة سابقتها من كلّ النواحي بحوالي 40% حسب تقديرات المختصّين والمستعملين.

تمّ تدريب البرنامج المذكور على مئات الملايين من الكتب والمجلات والمدوّنات والمقالات والمواقع الإلكترونية من أجل تزويده بالمعارف اللازمة وذلك باستعمال حواسيب عملاقة (Supercomputers) مزوّدة بأكثر من 285000 وحدة معالجة مركزية (CPU) و10000 وحدة لمعالجة الصور (GPU). كما يعتمد بشكل أساسي على أحد أحدث نماذج التعلّم العميق والمعروف باسم Transformers.

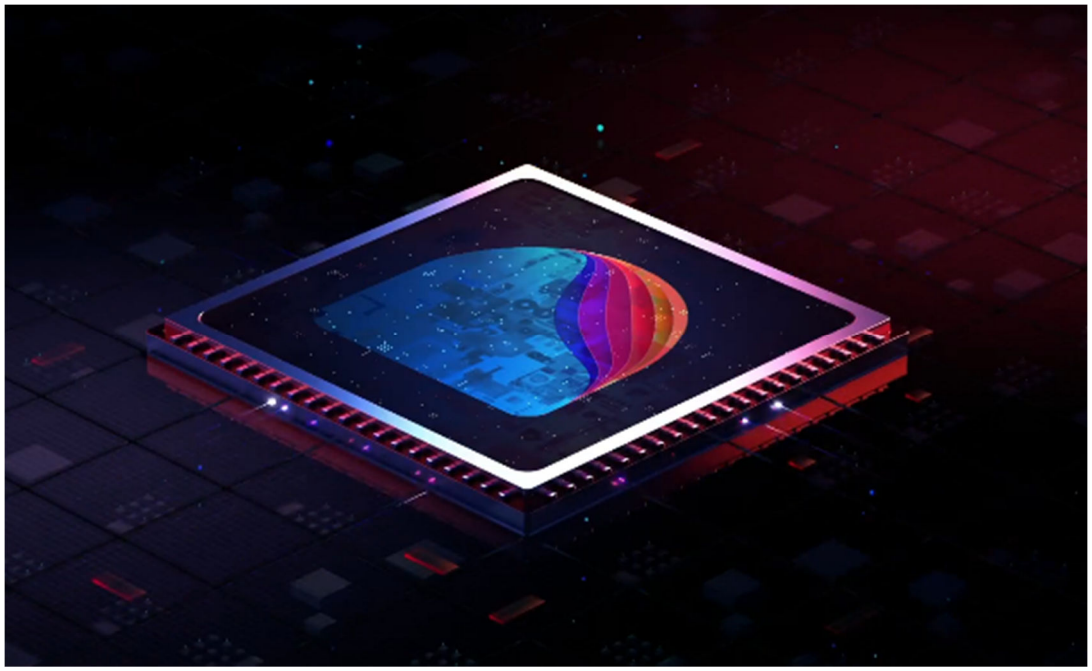


6.6. الاتصالات ثلاثية الأبعاد عن طريق اللمس (Tactile holographic communications)

وتتمثّل هذه التقنية بشكل مبسّط في عرض الصور بثلاثة أبعاد كما تراها العين في الواقع من خلال دمج تقنيتي الليزر والشبكات 5G و 6G .

وقد شُرع في تطبيق هذه التقنية على الأجيال الجديدة من الهواتف الذكية، بحيث ترى الشخص الذي تحادثه ماثلا أمامك بثلاثة أبعاد كما لو أنّه موجود بنفسه أمامك. إضافة إلى ذلك يتمّ حاليا استعمال هذه التكنولوجيا في تطوير وسائل الاتصال عن بعد لتسهيل المحادثة التفاعلية خلال المؤتمرات والندوات العلمية وكذا ضمن الحصص التفاعلية للقنوات الفضائية.

****



في الأعداد والهندسة

المسألة المكية

حسن زلاسي
أستاذ بقسم الرياضيات، جامعة الشهيد حمه لخضر، الوادي
z.hacen@gmail.com

1. مقدمة

لا شك أنّ المسائل الرياضياتية هي الوقود الأساسي الذي يدفع بعجلة البحث والتطوير في الرياضيات. تكون هذه المسائل في العادة مرتبطة بالحياة اليومية للناس، ويساهم بعضها في فهم ظواهر فيزيائية أو فلكية أو غيرها. وقد ذاع صيت علماء مسلمين في العديد من المجالات على غرار الرياضيات، الفيزياء، الفلك، الطب، الكيمياء، إلخ. ومن بين علماء الرياضيات خاصة، نذكر العالم ابن حمزة المغربي والذي اشتهر بحلّه للمسألة المكية التي سنناقشها في هذا المقال.

طُرحت هذه المسألة على العالم ابن حمزة المغربي، والذي كان جزائريا، من قِبل بعض الهنود أثناء زيارته لمكة من أجل أداء مناسك الحج، وقد أوردها في كتابه **تحفة الأعداد لذوي الرشد والسداد**. جاء نص المسألة كالآتي:

"إنّ رجلًا من الهند يمتلك 81 نخلة. النخلة الأولى تعطي في السنة رطلًا واحدًا من التمر، والنخلة الثانية تعطي رطلين والثالثة تعطي 3 أرطال والرابعة 4 أرطال، وهكذا إلى النخلة الواحدة والثمانين التي تعطي 81 رطلًا. مات هذا الرجل وعنده 9 أبناء. أوصى بأن يُعطى كل ابن 9 نخلات بشرط أن يكون جميع الأبناء متساوين في عدد الأرطال التي يحصلون عليها من هذه النخيل. فكيف يمكن تقسيم النخل بحيث يكون لكل ولد 9 نخلات تعطي نصيبًا من التمر يساوي نصيب كل واحد من بقية الإخوة؟"

بعد أن عجز كبار علماء الهند عن الإجابة عن هذه المسألة، طُرحت على العالم ابن حمزة الذي قدم جدولًا يعطي فيه حلا لها. وكان حله كالآتي:

الأبناء	1	2	3	4	5	6	7	8	9
النخيل	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	18	10	11	12	13	14	15	16	17
	26	27	19	20	21	22	23	24	25
	34	35	36	28	29	30	31	32	33
	42	43	44	45	37	38	39	40	41
	50	51	52	53	54	46	47	48	49
	58	59	60	61	62	63	55	56	57
	66	67	68	69	70	71	72	64	65
	74	75	76	77	78	79	80	81	73

من بين الأسئلة التي يمكن أن تتبادر لذهن القارئ: كيف أنشأ العالم ابن حمزة هذا الحل؟ وما هو العدد الإجمالي للحلول الممكنة لهذه المسألة؟ أعتقد أنّ الإجابة عن السؤال الثاني ليست سهلة على الإطلاق، بل أرى أنّ هذا السؤال أصعب من مسألة تعداد المربعات اللاتينية (سأحاول أن أبرر اعتقادي هذا لاحقا).

في هذا المقال سنحاول الإجابة عن هذين السؤالين، حيث سنبيّن كيفية إنشاء حلول أخرى لهذه المسألة، كما نبرهن أنّ عدد الحلول أكبر تماما من عدد المربعات اللاتينية المختزلة.

2. حلول ابن حمزة

لقد اعتمد ابن حمزة في حله على الفكرة التالية:

قسّم النخيل بالتتابع إلى تسع مجموعات، كل مجموعة تحوي 9 نخلات بحيث تحوي المجموعة الأولى النخيل من النخلة 1 إلى النخلة 9، وتحوي المجموعة الثانية من النخلة 10 إلى النخلة 18 وهكذا، مع الحفاظ على ترتيب النخلات في كل مجموعة من الأصغر إلى الأكبر، وفي كل مجموعة نعطي النخيل أرقاما من 0 إلى 8 من الأصغر إلى الأكبر (أو حتى من الأكبر للأصغر) ثم قام بإعطاء كل واحد من الأخوة نخلة من كل مجموعة بحيث لا يأخذ أي واحد منهم نخلتين (أو أكثر طبعا) لهما نفس الترتيب في مجموعتيهما.

بعبارة أخرى، قام ابن حمزة باعتبار تجزئتين لمجموعة النخيل: التجزئة الأولى المذكورة أعلاه والتي ترتبط بحاصل قسمة $i-1$ على 9، حيث i يمثل رقم النخلة، مثلًا:

- المجموعة الأولى $\{1،2،3،4،5،6،7،8،9\}$.
- المجموعة الثانية $\{10،11،12،13،14،15،16،17،18\}$، إلخ.

أما التجزئة الثانية فهي حسب باقي قسمة رقم النخلة على 9. مثلا:

- المجموعة الأولى $\{1، 10،19،28،37،46،55،64،73\}$.
- المجموعة الثانية $\{2،11،20،29،38،47،56،65،74\}$، إلخ.

ومن ثم يأخذ كل طفل 9 نخلات بحيث يكون لديه نخلة وحيدة من كل مجموعة من مجموعات هاتين التجزئتين.

لتسهيل هذه الفكرة، لنعتبر الجدول التالي والذي يضم أرقام النخيل مرتبة ترتيبا تصاعديا.

9	8	7	6	5	4	3	2	1
18	17	16	15	14	13	12	11	10
27	26	25	24	23	22	21	20	19
36	35	34	33	32	31	30	29	28
45	44	43	42	41	40	39	38	37
54	53	52	51	50	49	48	47	46
63	62	61	60	59	58	57	56	55
72	71	70	69	68	67	66	65	64
81	80	79	78	77	76	75	74	73

بإمكان القارئ الآن ملاحظة أنّ التجزئتين المذكورتين أعلاه ما هما إلا أسطر وأعمدة هذا الجدول على الترتيب. وبالتالي فإنّ فكرة ابن حمزة المغربي تتمثل في إعطاء كل ابنٍ نخلةً واحدة من كل سطر ومن كل عمود (لنرمز لهذا الشرط بالرمز (*)).

أولًا، بما أنّ مجموع الأعداد من 1 إلى81 هو 3321، فإنّ كل ابنٍ يجب أن يأخذ 369 رطلًا من المحصول.

لاحظ أنّ حصّة مكونة من 9 نخلات تحقق الشرط (*)، دائما ما تعطي حصة مقبولة (بمعنى أنّ مجموع عناصرها 369). وذلك لأنّ مثل هكذا حصة تحتوي على نخلة من كل سطر وعلى نخلة من كل عمود وبالتالي تحتوي نخيلًا بجميع بواقي القسمة على 9 وهي من 1 إلى 9 (لاحظ أننا قسمنا $i-1$ على 9، وبالتالي البواقي هي من 1 إلى 9 وليس من 0 إلى 8)، وأيضا بجميع القيم الممكنة لحاصل القسمة على 9، وهي من 0 إلى 8. إذًا عناصر هذه الحصة هي من الشكل $9a+b$ حيث الثنائيات التسع (a,b) تحوي كل القيم الممكنة لحاصل القسمة والباقي. وبالتالي مجموعها يساوي

$$9(0+\cdots+8)+1+\cdots+9=369.$$

مبرهنة 1. يوجد !9 حصة تحقق الشرط (*).

يُترك البرهان للقارئ.

لنفرض الآن أنّ الأبناء غير متمايزين فيما بينهم، أي أنّ أي تغيير بين حصص الأبناء فيما بينهم لا يشكل فارقًا في الحل. إعطاء حل لهذه المسألة يتمثل في إعطاء تسعة حصص ذات نفس المجموع 369 بحيث تشكل تجزئة لمجموعة النخيل، أي أنها غير متقاطعة مثنى مثنى. إذا حققت جميع الحصص الشرط (*) نسمي هذا الحل بحل ابن حمزة.

3. الحلول المنتظمة

لتكن $P_1 = \{n_1, \dots, n_9\}$ حصة مكونة من تسع نخلات تحقق الشرط (*). يمكن تكملة هذه الحصة لتشكل حلا للمسألة بالطريقة التالية:

ننشئ الحصة P_2 انطلاقا من P_1 بالطريقة التالية: نفرض مثلا أنّ n_1 هو رقم النخلة الوحيدة من P_1 ذات الباقي 0 (يعني التي تنتمي للعمود الأخير). نضع

$$P_2 = \{n_1 - 8, n_2 + 1, n_3 + 1, \dots, n_9 + 1\}.$$

بنفس الطريقة نعرّف P_3 انطلاقا من P_2 ، ثم P_4 من P_3 وهكذا دواليك.

بهذه الطريقة نحصل في النهاية على حل للمسألة المكية. نسمي هذه الحلول بالحلول المنتظمة.

ملاحظة: إذا انطلقنا من P_i عوضًا عن P_1، مهما كان $i = 1, \dots, 9$، سنتحصل على نفس الحل.

مبرهنة 2. يوجد !8 حلًا منتظمًا.

البرهان. حسب المبرهنة 1، يوجد !9 حصة تحقق الشرط (*)، وكلّ حصة تعطي حلا منتظما وحيدا باتّباع الطريقة أعلاه. لكن حسب الملاحظة المذكورة سابقًا، فإنّ الحصص التسعة المشكّلة لحل ما تعطي كل واحدة منها نفس الحل، أي يوجد بالضبط تسع حصص مختلفة كل واحدة منها تُنتج نفس الحل. ومنه عدد الحلول المنتظمة هو بالضبط $\frac{9!}{9} = 8!$.

إنّ فكرة هذه الطريقة تتمثل في عمل إزاحة نحو اليسار لنخيل الحصة الأولى للحصول على الحصة الموالية بحيث النخلة الموجودة في العمود الأخير تزاح نحو العمود الأول مع البقاء في نفس السطر. وهذا يضمن الحصول على حصة جديدة لا تتقاطع مع سابقاتها ولها نفس المجموع.

مثال 1. في الجدول أدناه الحل المنتظم المولد بالحصة $P_1 = \{1,11,21,31,41,51,61,71,81\}$. كل لون يمثل حصة ابنٍ.

9	8	7	6	5	4	3	2	1
18	17	16	15	14	13	12	11	10
27	26	25	24	23	22	21	20	19
36	35	34	33	32	31	30	29	28
45	44	43	42	41	40	39	38	37
54	53	52	51	50	49	48	47	46
63	62	61	60	59	58	57	56	55
72	71	70	69	68	67	66	65	64
81	80	79	78	77	76	75	74	73

السؤال الذي يتبادر إلى ذهن القارئ الكريم هو ما إذا كان هناك حلولٌ أخرى غير منتظمة. الجواب هو بالطبع نعم، توجد حلول أخرى غير مولدة بالطريقة أعلاه.

مثال 2. في الجدول أدناه حل غير منتظم.

9	8	7	6	5	4	3	2	1
18	17	16	15	14	13	12	11	10
27	26	25	24	23	22	21	20	19
36	35	34	33	32	31	30	29	28
45	44	43	42	41	40	39	38	37
54	53	52	51	50	49	48	47	46
63	62	61	60	59	58	57	56	55
72	71	70	69	68	67	66	65	64
81	80	79	78	77	76	75	74	73

لاحظ أننا تحصلنا على هذا الحل بتغيير ألوان العمودين الأول والثاني في المثال الأول. كما تجدر الإشارة إلى أنّ هذا الحل يحقق الشرط (*)، أي أنه حل لابن حمزة. ومن هنا يمكن أن نتساءل إن كان يمكننا إيجاد حلول لا تحقق (*). الإجابة هي أيضا نعم، والمثال التالي أحد هاته الحلول.

مثال 3. في الجدول أدناه حل لا يحقق (*)، أي أنه ليس حلًا لابن حمزة.

9	8	7	6	5	4	3	2	1
18	17	16	15	14	13	12	11	10
27	26	25	24	23	22	21	20	19
36	35	34	33	32	31	30	29	28
45	44	43	42	41	40	39	38	37
54	53	52	51	50	49	48	47	46
63	62	61	60	59	58	57	56	55
72	71	70	69	68	67	66	65	64
81	80	79	78	77	76	75	74	73

لاحظ أنّ الحصة $\{1,2,30,31,41,51,61,71,81\}$ تحوي النخلتين 1 و 2 من نفس السطر.

ربما يتساءل القارئ عن كيفية إيجاد هذا الحل. يعتمد هذا الحل على الفكرة التالية: نقوم بتغيير نخلتين بين الأخ الأول والثاني، ولنفرض أنّ الفرق بين رقميهما 8 مثلًا. إذًا حصة الأخ الثاني زادت أو نقصت بمقدار 8، لتدارك ذلك نغيّر نخلتين بين الأخ الثاني والثالث، ثم نكرر العملية بين الأخ الثالث والرابع، وهكذا إلى غاية الأخ التاسع. وفي الأخير نقوم بتغيير بين نخلتين بين الأخ الأول والتاسع لتصحيح حصتهما.

4. المربعات اللاتينية وتعداد حلول ابن حمزة

المربعات اللاتينية هي ترتيب خاص من العناصر يتم تنظيمها في شكل مصفوفة مربعة، حيث يتم استخدام مجموعة من الرموز أو الأحرف أو الأعداد دون تكرار في كل صف وفي كل عمود. يعود أصل المربعات اللاتينية إلى اللغة اللاتينية، وهي تقنية قديمة تم استخدامها في الأصل في ترتيب النصوص اللاتينية.

تُعدّ المربعات اللاتينية أداة هامة في عدة مجالات، منها الرياضيات وعلم الحوسبة. تتميز المربعات اللاتينية بخاصية توفير توازن في توزيع العناصر بحيث يكون كل عنصر في كل صف وفي كل عمود متواجدًا مرة واحدة فقط.

من أمثلة المربعات اللاتينية:

-	*
*	-

+	-	*
*	+	-
-	*	+

/	+	-	*
+	*	/	-
-	/	*	+
*	-	+	/

تعداد المربعات اللاتينية من المسائل الصعبة، ولا توجد صيغة سهلة لحساب عددها، والسبب في ذلك يرجع إلى أنه عند إنشاء المربعات اللاتينية، يمكن أن تؤثر الاختيارات المبكرة على عدد الاختيارات اللاحقة (وبالتالي يجب أن تؤخذ في الاعتبار خلال التعداد). وهذا ما يجعل تعدادها ليس سهلا، على عكس المربعات ذات الصف اللاتيني (مصفوفات مربعة $n \times n$ التي يظهر فيها كل رمز في كل صف مرة واحدة فقط، ولكن نسمح بالتكرارات في الأعمدة). العدد هنا هو بالضبط $(n!)^n$. هنا، لا تؤثر القرارات المبكرة على الاختيارات القادمة.

على مَرِّ الوقت، أثبت الرياضياتيون العديد من الحدود العلوية والسفلية وكذا بعض التوافقات لعدد المربعات اللاتينية، والذي يرمز له بـ L_n. في حين توجد العديد من الصيغ والعبارات التي تعطي قيمة L_n، بعضها قد يكون غير عملي للاستخدام المباشر ولكنها تظل مهمة نظريًا. وعلاوة على ذلك، تمتد الدراسة إلى ما هو أبعد من المصفوفات المربعة لتشمل تعداد المستطيلات اللاتينية. كما تجدر الإشارة إلى وجود علاقة تراجعية لعدِّ هذه المستطيلات.

تعداد المربعات اللاتينية معلوم حتى الرتبة 11. وهناك تقريب لعدد المربعات اللاتينية ذات الرتبة 12 [1]. ليس من الصعب أن يلاحظ القارئ الكريم أنّ حلول المسألة المكية التي تحقق الشرط (*) ما هي إلى مربعات لاتينية بُعدها 9، حيث يتم إهمال التمييز بين العناصر أو الرموز المستخدمة في ملئها. بعبارة أخرى، التبديل بين هذه الرموز يُترجم كتبديل بين حصص الإخوة فيما بينهم والذي لا يؤخذ بالحسبان. تجدر الإشارة إلى أنه يوجد $9!$ تبديلة ممكنة بين حصص الإخوة.

هذه المربعات اللاتينية تسمى بـ "المختزلة"، وهي مربعات لاتينية حيث يتم تثبيت ترتيب معين للعناصر في السطر الأول (عادة ما يشترط أيضًا نفس الترتيب في العمود الأول في تعريف المربعات اللاتينية المختزلة، لكن في هذا السياق، لا نحتاج لهذا الشرط). إذا رمزنا بـ R_n لعدد المربعات اللاتينية المختزلة ذات البعد n، فإنّ عدد حلول المسألة المكية التي تحقق (*) هو بالضبط R_9. ولدينا

$$L_n = n! \times R_n$$

حيث $n!$ هو عدد التبديلات الممكنة بين العناصر المستخدمة في ملء المربعات اللاتينية.

إذًا يكفي معرفة L_9 حتى نعرف عدد حلول المسألة المكية التي تحقق الشرط (*). كما ذكرنا سابقاً، قيمة العدد L_9 معلومة وهي [1]

$$\begin{aligned} L_9 &= 2^{35} \times 3^8 \times 5^2 \times 7^2 \times 5231 \times 3824477 \\ &= 5524751496156892842531225600. \end{aligned}$$

إذًا نستنتج أنّ عدد حلول المسألة المكية التي تحقق الشرط (*) هو

$$\begin{aligned} R_9 &= 2^{28} \times 3^4 \times 5 \times 7 \times 5231 \times 3824477 \\ &= 152247340612789154611 20. \end{aligned}$$

لاحظنا في المثال الثالث وجود حلول أخرى لا تحقق الشرط (*)، وبالتالي العدد الكلي للحلول هو أكبر تمامًا من R_9.

كما ذكرنا آنفا، تكمن صعوبة تعداد المربعات اللاتينية في تأثير الاختيارات الأولية على عدد الاختيارات اللاحقة. وهذه الصعوبة لا تختفي إذا ألغينا الشرط (*)، أي أنها تبقى أيضا أثناء تعداد حلول المسألة المكية. بل أرى أنّ تعدادها يصبح أصعب عند إلغاء الشرط (*).

فلو أردنا فقط تعداد الحصص ذات المجموع 369 والتي لا تحقق بالضرورة (*)، أي عدد المجموعات الجزئية $P = \{n_1, \dots, n_9\}$ من مجوعة النخيل بحيث $n_1 + \cdots + n_9 = 369$ لوجدنا الامر أصعب بكثير من الحالة السابقة والتي تحقق الشرط المذكور (انظر المبرهنة 1).

مرجع

[1] B.D. McKay and I.M. Wanless, On the number of Latin squares, Ann. Comb., 9, 335-344 (2005).

***

	الابن الأول	الابن الثاني	الابن الثالث	الابن الرابع	الابن الخامس	الابن السادس	الابن السابع	الابن الثامن	الابن التاسع
أرقام النخيل	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	18	10	4	12	13	14	15	16	17
	26	27	19	20	21	22	23	24	25
	34	35	36	28	29	30	31	32	33
	42	43	44	45	37	38	39	40	41
	50	51	52	53	54	46	47	48	49
	58	59	60	61	62	63	55	56	57
	66	67	68	69	70	71	72	64	65
	74	75	76	77	78	79	80	81	73
عدد الأرطال	369	369	369	369	369	369	369	369	369

جدول ابن حمزة في المسألة المكية

للعدد π حكايات:
مشروع قانون إنديانا

ليلى زيتوني
أستاذة بقسم الرياضيات، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
leila.zitouni@g.ens-kouba.dz

ليست كل الأعداد متماثلة؛ فبعضها أكثر تميّزًا عن البقية. ولو فكّرنا في إعداد قائمة الأعداد الأكثر تميّزًا، لكان π على رأسها. ليس أدلّ على ذلك من كثرة الكتب التي أُلّفت حوله، وفي قائمة مراجع هذا المقال عيّنة بسيطة منها. لا تقتصر محتويات بعض هذه الكتب على الجوانب التاريخية والرياضياتية والتطبيقية للعدد π، هناك جوانب أخرى أكثر إنسانية، فسِحْر هذا العدد تجاوز تأثيرُه الرياضياتيين ليشمل فئات أوسع من المجتمع. إحدى قصص π الأكثر غرابة وتسلية، دارت فصولُها الرئيسية في أروقة المجلس التشريعي لولاية إنديانا في نهاية القرن التاسع عشر. قبل تناول تفاصيل القصة لِنتعرّف بدايةً على بَطلِها.

1. ما هو π؟

لاحظ الإنسان منذ العصور القديمة أنّ نسبة محيط الدائرة إلى قطرها ثابتة مهما تغيّر قطر الدائرة. يمكن ببساطة تعريف π بكونه هذه النسبة الثابتة. بعبارة أخرى، إذا كان C محيط دائرة قطرها d (نصف قطرها r) فإنّ

$$\pi = \frac{C}{d} = \frac{C}{2r}.$$

ومنه تُستخرج صيغة محيط الدائرة التي يحفظها جميع المتعلّمين منذ مراحل التعليم الأولى: $C = 2\pi r$. وإذا كانت نسبة محيط الدائرة إلى قطرها لا تتعلّق بقطر الدائرة، فكذلك هي نسبة مساحة الدائرة إلى مربع نصف قطرها. إذا اعتبرنا A مساحة دائرة نصف قطرها r فإنّ النسبة $\frac{A}{r^2}$ ثابتة مهما تغيّرت قيمة نصف القطر، ويمكن إثبات أنها تساوي نسبة محيط الدائرة إلى قطرها. ونستنتج بذلك الصيغة المعروفة لمساحة الدائرة $A = \pi r^2$. إذًا يمكن أيضًا تعريف π بكونه نسبة مساحة الدائرة إلى مربع نصف قطرها.

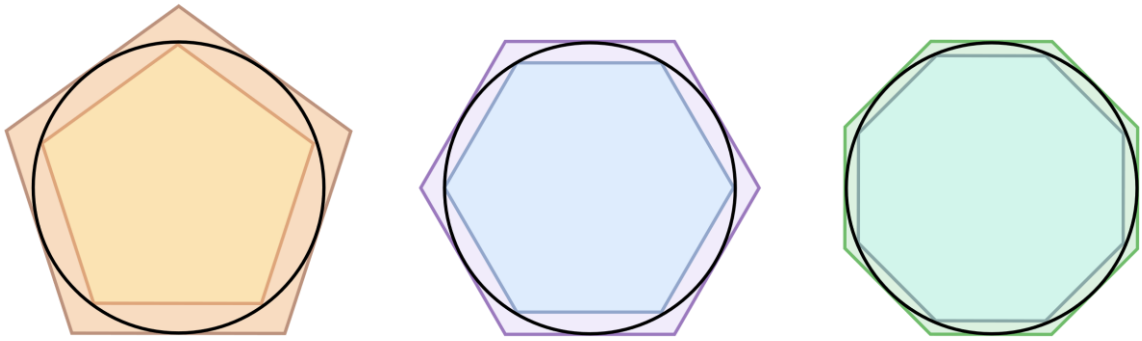
حين يتعرّف التلاميذ في المدارس على صيغتي محيط ومساحة الدائرة، يتعرّفون في الوقت ذاته على القيمة التقريبية الأشهر للعدد π: 3,14، والتي كانت أساس اختيار 14 مارس من كل سنة يومًا للاحتفال بالعدد π. وفي سنة 2019 اعتمدت اليونسكو هذا اليوم من كل سنة يومًا دوليًا للرياضيات من أجل زيادة الوعي العالمي بأهمية الرياضيات. وقد يتعرّف المتعلّمون كذلك على الكسر $\frac{22}{7}$ باعتباره هو الآخر قيمة تقريبية لـ π. لم تكن هذه هي القيم التقريبية الوحيدة للعدد π، فقد تعدّدت مع تغيّر الأزمنة والأمكنة.

أقدم قِيَم معروفة موثّقة للعدد π تعود إلى حوالي 4000 سنة. في سنة 1936، اكتُشف لوحٌ طيني يعود إلى الفترة البابلية القديمة (2000-1600 ق.م.). في هذا اللوح يقوم الكاتب البابلي باعتبار محيط سداسي منتظم، والذي يعلم أنه يساوي ثلاثة أمثال قطره، هو نفسه $\frac{24}{25}$ محيط الدائرة المحيطة به، أي أنّ $3d = \frac{24}{25}\pi d$. وبذلك، تكون قيمة π هي $3 + \frac{1}{8}$ أو 3,125.

أما بردية رايند (The Rhind Papyrus)، المكتشَفة سنة 1855، والتي يعود تاريخها إلى حوالي 1550 ق.م. (لكنها منسوخة عن بَردية أقدم)، فنجد في مسألة من مسائلها أنّ قيمة π هي $\left(\frac{16}{9}\right)^2$ أي 3,16049… جاءت هذه القيمة نتيجة للطريقة المتبعة في حساب مساحة الدائرة والمتمثلة في أخذ مربع الفرق بين قطر الدائرة وتُسُعه أي

$$A = \left(d - \frac{d}{9}\right)^2 = \left(\frac{8d}{9}\right)^2.$$

يُنسب فضلُ السبق في دراسة المسائل المتعلقة بمساحة الدائرة دراسةً رياضياتية رصينة وأصيلة، إلى العالم اليوناني العظيم أرخميدس (Archimedes). في كتابه **قياس الدائرة**، قام أرخميدس بإثبات تساوي نسبة محيط الدائرة إلى قطرها ونسبة مساحة الدائرة إلى مربع نصف قطرها. ولتقدير قيمة π استخدم طريقة الاستنفاد أو إفناء الفرق (Exhaustion). فبأخذ مضلعات منتظمة ذات 6، 12، 24، 48، 96 ضلعًا على التوالي، تَمكّن من الوصول إلى الحصر التالي للعدد π : $3 + \frac{10}{71} < \pi < 3 + \frac{1}{7}$ أي $\frac{223}{71} < \pi < \frac{22}{7}$ أو $3{,}1408\ldots < \pi < 3{,}1428\ldots$. وهذا هو أصل النسبة التقريبية الشهيرة لـ π: $\frac{22}{7}$، والتي استُخدمت قرونًا عديدة وفي حضارات مختلفة.



الشكل 1. تعتمد طريقة إفناء الفرق التي استخدمها أرخميدس لتقدير قيمة π على حصر الدائرة بين مضلعين منتظمين أحدهما محيط بالدائرة والآخر مُحاط بها. وكلما زاد عدد أضلاع المضلعين كانت نتيجة الحساب أدق.

باتباع الطريقة ذاتها التي اعتمدها أرخميدس، قام الرياضياتي والفلكي المسلم غياث الدين الكاشي (القرن 15م)، في كتابه **الرسالة المحيطية**، بإعطاء قيمة تقريبية لـ π بدقة تفوق، وإلى حد بعيد، ليس فقط كل المحاولات السابقة، وإنما أيضا الإنجازات اللاحقة لرياضياتيين أوروبيين. فبأخذ مضلعات منتظمة محيطة ومُحاطة ذات 3×2^{28} ضلعًا، حصل الكاشي على القيمة التي تُعدّ قفزة عملاقة في تاريخ حساب π بـ 16 رقمًا صحيحًا بعد الفاصلة:

$$\pi = 3{,}14159265358979325.$$

وبعد استخدام الطرق الهندسية لحساب π على مدار قرون، ظهرت الأدوات التحليلية في القرن السابع عشر لتُدشّن عهدًا جديدًا في تاريخ الرياضيات، وتُمكّن الرياضياتيين مِن الوصول إلى صِيَغ مبتكرة للعدد π وإلى وضع تعريفات جديدة له. ومنذ اختراع الحاسوب، تكاد لا تمرّ سنة إلا ويعلن باحثون في الرياضيات وفي علوم الحاسوب عن قيمة تقريبية جديدة أدّق للعدد π. ويقدّر عدد الأرقام بعد الفاصلة المعروفة حاليا بالملايير.

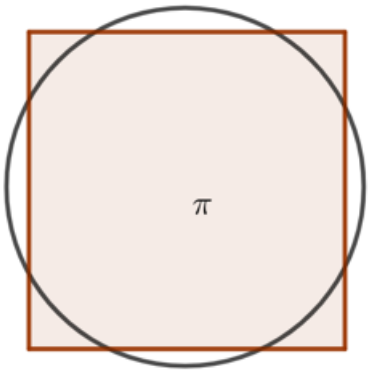
في الواقع، لم تكن كل الجهود المبذولة من أجل π مرتبطة بمسألة الوصول إلى أدّق قيمة تقريبية ممكنة له. هناك مسائل أخرى من نوع مختلف، مثل مسألة تربيع الدائرة.

2. مسألة تربيع الدائرة

تُعدّ مسألة تربيع الدائرة واحدة من ثلاث مسائل كلاسيكية انشغل بها الإغريق في العصور القديمة وظلّت تثير اهتمام الرياضياتيين والهواة على مرّ القرون. تتمثل هذه المسائل في:

- **تربيع الدائرة**: إنشاء مربع تساوي مساحتُه مساحةَ دائرة معطاة؛
- **تضعيف المكعب**: إنشاء مكعب يساوي حجمُه ضعفَ حجم مكعب معلوم؛
- **تثليث الزاوية**: إنشاء زاوية تساوي ثُلُث زاوية معطاة،

على أن تتم هذه الإنشاءات باستخدام المسطرة والبِركار وحدهما.



الشكل 2. تربيع الدائرة التي نصف قطرها 1 يعني إنشاء مربع مساحته π.

حاول العديد من الرياضياتيين -والهواة- على مرّ العصور حلّ هذه المسائل أو إثبات استحالتها، لكنها بقيت مستعصية إلى غاية القرن التاسع عشر. إذْ وعلى الرغم من بساطة نصوصها، احتاج الفصل في هذه المسائل إلى أدوات جبرية جدّ متقدّمة. في سنة 1837، تمكّن الرياضياتي الفرنسي بيير فانتزل (Pierre Wantzel) من إثبات استحالة حل مسألتي تضعيف المكعب وتثليث الزاوية. أما مسألة تربيع الدائرة فكان يجب الانتظار إلى غاية سنة 1882 ليُثبت الرياضياتي الألماني فرديناند ليندمان (Ferdinand Lindemann) استحالتها هي الأخرى.

تؤول مسألة تربيع الدائرة إلى مسألة إنشاء مربع طول ضلعه $\sqrt{\pi}$ وهذا يكافئ القول إنّ العدد π قابل للإنشاء (لمزيد من التفاصيل حول الأعداد القابلة للإنشاء، ندعو القارئ إلى الرجوع إلى مقال حمزة خليف المنشور في العدد 2 من مجلة بشائر العلوم). يمكن إثبات أنّ الأعداد القابلة للإنشاء هي أعداد جبرية (أي أنها جذورٌ لكثيرات حدود بمعاملات ناطقة). أثبت ليندمان في مبرهنته أنّ العدد π متسامٍ أي أنه غير جبري، وبالتالي، لا يمكن أن يكون قابلًا للإنشاء. وبذلك يستحيل إنشاء مربع مساحته π ويستحيل معه تربيع الدائرة.

حتى بَعْد إثبات استحالة تربيع الدائرة لم يتوقف بعض الهواة عن البحث عن حل لها. مِن بين هؤلاء طبيبٌ أمريكي يُدعى إدوارد جودوين.

3. جودوين ومشروع قانون إنديانا

وُلد إدوارد جودوين (Edward Goodwin) في فيرجينيا في العشرينيات من القرن التاسع عشر. درس الطب ومارسه على مدار سنوات في مناطق مختلفة من أمريكا، ليستقر به المقام أخيرا في ولاية إنديانا. لم يُبْدِ اهتمامًا بالرياضيات إلا في الستينيات من عمره. ففي حوار أجراه مع صحيفة محلية، أقرّ جودوين بعدم تكريسه الكثير من الجهد لدراسة

الرياضيات، حتى أنّ مسألة تربيع الدائرة لم تشغل تفكيره إلّا بدءًا من عام 1888. واعتبر في هذا الحوار أنّ مصدر اكتشافاته هو الإلهام! ولكن الناس لن يصدّقوه إن أفصح بذلك [10].

يبدو أنّ جودوين، وبعدما اعتقد أنه وجد حلًا لمسألة تربيع الدائرة، حاول أن يعرض اكتشافَه في المعرض العالمي الكولومبي الذي عُقد في مدينة شيكاغو في عام 1893، لكن المحاولة باءت بالفشل. ونصحه حينها سليم بيبودي (Selim Peabody)، الذي كان مسؤولا عن أحد أقسام المعرض، بإرسال حله إلى مجلة رياضياتية [10]. وفي سنة 1894، نُشر حلُّ جودوين في مجلة الرياضيات الأمريكية الشهرية (The American Mathematical Monthly) [9].

QUERIES AND INFORMATION.

Conducted by J. M. COLAW, Monterey, Va. All contributions to this department should be sent to him.

QUADRATURE OF THE CIRCLE.

By EDWARD J. GOODWIN, Solitude, Indiana.

Published by the request of the author.

A circular area is equal to the square on a line equal to the quadrant of the circumference; and the area of a square is equal to the area of the circle whose circumference is equal to the perimeter of the square.

(Copyrighted by the author, 1889. All rights reserved.)

To quadrate the circle is to find the side of a square whose perimeter equals that of the given circle; rectification of the circle requires to find a right line equal to the circumference of the given circle. The square on a line equal to the arc of 90° fulfills both of the said requirements.

الشكل 3. العنوان والفقرة الأولى من مقال جودوين المتكوّن من صفحتين والمنشور في مجلة AMM

لم يكن نشر الحل كافيًا بالنسبة لجودوين، فاتصل بممثّل مقاطعته في مجلس نواب ولاية إنديانا وأقنعه بتقديم مشروع قانون -من إعداد جودوين نفسه- حول الاكتشاف المذكور في المجلة. وهكذا تم تقديم مشروع القانون رقم 246 لمجلس النواب في 18 يناير 1897، بهدف منح ولاية إنديانا امتياز الاستخدام المجاني -في مدارس الولاية- للطريقة التي اكتشفها جودوين، إذ أنّه كان قد قام بحفظ حقوق ملكية اكتشافه في أمريكا وفي ستّ دول أوروبية! تمّت الموافقة على مشروع القانون في 5 فبراير بعد دراسته من قِبل لجنة التربية التابعة للمجلس، وتقرّر إحالته إلى مجلس شيوخ الولاية [10].

لم تَسِرْ الأمور في مجلس الشيوخ باليُسْر ذاته؛ ففي 12 فبراير قرّر المجلس تأجيل التصويت على مشروع القانون إلى أجل غير مسمّى! أمّا عن أسباب هذا القرار فهي غير معروفة بدقة. مِن الممكن أن تكون الضجة التي أثارتها بعض الصُحف بعد انتشار خبر الموافقة على مشروع القانون في مجلس نواب ولاية إنديانا أثّرت على قرار مجلس الشيوخ. لكن البعض يشير إلى أنّ الرياضياتي الأمريكي كلارنس والدو (Clarence Waldo)، الذي كان عضوًا في أكاديمية علوم إنديانا، تدخّل لدى المجلس بعد أن سمع صدفةً بمناقشة مشروع القانون، فتأجل التصويت على المشروع. وعلى الرغم من أنّه لم يَحْظَ بتأييد إيجابي، لم يُلمّح أحدٌ من الذين رفضوا المشروع بأنّ هناك شيئًا خاطئًا في المضمون الرياضياتي لمَا جاء فيه. لقد اعترف جميع أعضاء مجلس الشيوخ الذين تحدثوا عن مشروع القانون بأنهم لا يرون فيه مزايا حقيقية ويعتبرونه موضوعًا غير مناسب للتشريع [10].

الشكل 4. الرياضياتي كلارنس والدو الذي يُعتقد أنّ كان له دور في عدم تصويت مجلس الشيوخ لصالح مشروع قانون إنديانا رقم 246.

الشكل 5. كاريكاتور يسخر من مشروع القانون، منشور في صحيفة محلية أمريكية في مارس 6 مارس 1897.

على عكس الشائع، لم يكن مشروع قانون إنديانا من أجل فرض قيمة محددة لـ π (ارتبط مشروع قانون إنديانا بالقيمة 3,2، وهي أقل دقة من القيم التي توصّل إليها البابليون والمصريون القدماء) فَلَم تُذكر في المشروع أيّ قيمة صريحة لـ π. لكن القيمة 3,2 كانت واحدة من عدّة قِيَم أخرى يمكن استخراجها من مشروع القانون. أحصى الرياضياتي الأمريكي ديفيد سينغماستر (David Singmaster) تسع قيم مختلفة لـ π استنتجها من مشروع القانون ومن مقال جودوين، المذكور آنفًا، ومن بعض حواراته الصحفية. ومن بين هذه القيم: 2,65 و3,2 و4 [12].

يدّعي جودوين في مشروع القانون أنّ مساحة دائرة تساوي مساحة المربع الذي طول ضلعه ربع محيط الدائرة (الادّعاء ذاته مذكور في ديباجة مقاله. انظر الشكل 3). وهذا يعني أنّ $\pi r^2 = \left(\frac{2\pi r}{4}\right)^2$، إذًا $\pi = 4$. من أجل تبرير القيم الأخرى المستخرجة من مشروع القانون أو المقال أو الحوارات الصحفية، ندعو القارئ إلى الرجوع إلى [11]، [12] أو [3]. ويبدو جليًّا، كما أشار إلى ذلك سينغماستر[12] وَهالربرج (Hallerberg) [11]، أنّ جودوين كان يعتقد أنه إذا كان للدائرة والمربع المحيط ذاته فستكون المساحتان متساويتين، وهذا طبعًا خطأ.

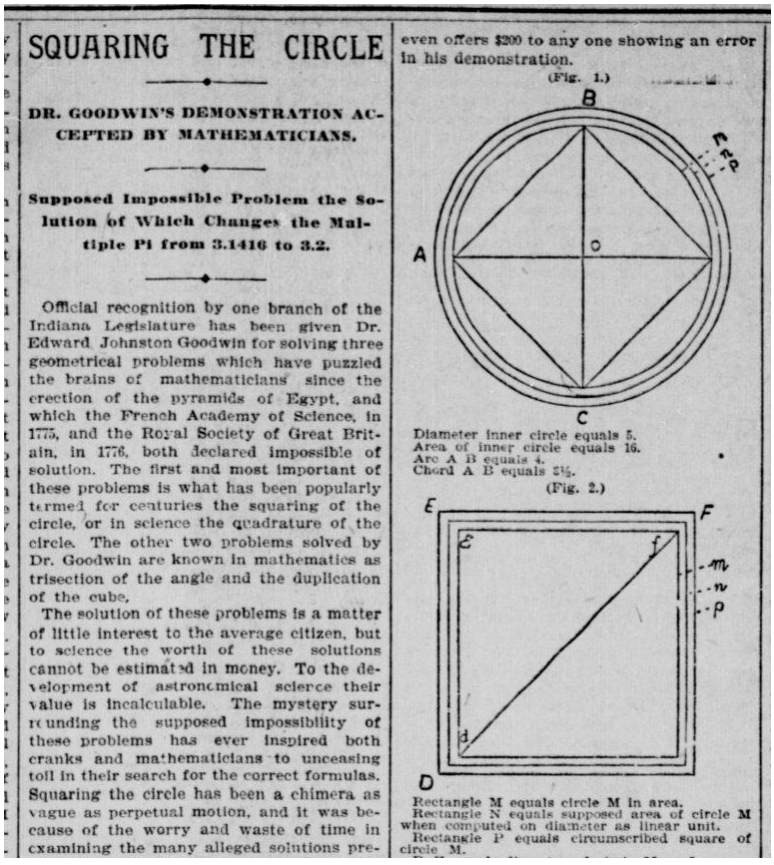
قد يتساءل المرء كيف أَمْكن أن تكون أحداث هذه القصة حقيقية؟! كيف وافقت أكثر المجلات الرياضياتية قراءةً في العالم، على نشر مقال جودوين؟! أسّس مجلةَ الرياضيات الأمريكية الشهرية الرياضياتيُ الأمريكي بنجامين فنكل (Benjamin Finkel) في سنة 1894. فظهور مقال جودوين كان في السنة الأولى للمجلة، التي لم تصبح تابعة لجمعية أمريكا للرياضيات (Mathematical Association of America) إلا بعد عام من تأسيس هذه الأخيرة، أي في سنة 1916. يمكن تصوّر أنّ محرري المجلات حديثة النشأة في حاجة ماسّة إلى مواد للنشر، وقد لا تكون هذه المواد دائمًا في

المستوى المطلوب. من ناحية أخرى، فإن العبارة "بناءً على طلب الكاتب" الموجودة تحت عنوان المقال واسم صاحبه (انظر الشكل 3)، يبدو من خلالها نَصُّ جودوين وكأنه إعلان غير مدفوع أكثر من كونه مقالًا [7] [11].

لم تنشر هذه المجلة أيّ نقد صريح لمقال جودوين في أعدادها اللاحقة، بل إنها نشرت له في السنة الموالية مساهمة في حلّ مسألتي تضعيف المكعب وتثليث الزاوية! مع ذلك تجدر الإشارة إلى مقال الرياضياتي الأمريكي ديفيد سميث (David Smith)المعنون بـ Historical survey of the attemps at the computation and construction of π، والمنشور في عدد المجلة الصادر في ديسمبر 1895. ضمّ المقال إحالةً إلى برهان تسامي العدد π لليندمان [11].

أما فيما يتعلق بأعضاء مجلس النواب فمِنَ الجليّ جهلُهم بالمبادئ الأساسية للرياضيات، ولم تساهم ما نشرته بعض الصحف في توضيح الأمور لديهم. في 20 يناير نشرت جريدة محلية تُدعى Der Tagliche Telegraph مقالًا عرضت فيه تاريخ مسألة تربيع الدائرة ونبّهت فيه إلى زَيْف من يدّعون حلها [10]. المشكلة الوحيدة ربما أنّ هذه الجريدة كانت تنشر باللغة الألمانية. من ناحية أخرى، عملت صحف محلية أخرى تنشر بالإنكليزية في اتجاه معاكس تمامًا وأصرّت على الترويج لاكتشاف جودوين المزعوم حتى بعد قرار مجلس الشيوخ بتأجيل التصويت على مشروع القانون إلى أجل غير مُسمّى [10].

وهذه عيّنة ممّا جاء في بعض الصحف المحلية بعد تقديم مشروع القانون لدى مجلس النواب: "رجلٌ عبقريٌّ، بعض الناس لا يطلقون عليه هذا اللقب، على أيّ حال الدكتور جودوين لا يولي اهتمامًا لانتقاداتهم، لكنه يظل مكتفيًا بعمله ويأمل في رؤية اليوم الذي سيؤمن فيه العالم بنظرية تربيع الدائرة"؛ "إذا عشتُ عشر سنوات، وآمل أن أفعل، فانتبه لجودوين. اكتشافي سيقلب الرياضيات رأسًا على عقب"؛ "تتلألأ عيناه، وتتألّق ملامحه بعبقرية" [10].



SQUARING THE CIRCLE

DR. GOODWIN'S DEMONSTRATION ACCEPTED BY MATHEMATICIANS.

Supposed Impossible Problem the Solution of Which Changes the Multiple Pi from 3.1416 to 3.2.

Official recognition by one branch of the Indiana Legislature has been given Dr. Edward Johnston Goodwin for solving three geometrical problems which have puzzled the brains of mathematicians since the erection of the pyramids of Egypt, and which the French Academy of Science, in 1775, and the Royal Society of Great Britain, in 1776, both declared impossible of solution. The first and most important of these problems is what has been popularly termed for centuries the squaring of the circle, or in science the quadrature of the circle. The other two problems solved by Dr. Goodwin are known in mathematics as trisection of the angle and the duplication of the cube.

The solution of these problems is a matter of little interest to the average citizen, but to science the worth of these solutions cannot be estimated in money. To the development of astronomical science their value is incalculable. The mystery surrounding the supposed impossibility of these problems has ever inspired both cranks and mathematicians to unceasing toil in their search for the correct formulas. Squaring the circle has been a chimera as vague as perpetual motion, and it was because of the worry and waste of time in examining the many alleged solutions pre-

even offers $200 to any one showing an error in his demonstration.

(Fig. 1.)

Diameter inner circle equals 5.
Area of inner circle equals 16.
Arc A B equals 4.
Chord A B equals 3½.

(Fig. 2.)

Rectangle M equals circle M in area.
Rectangle N equals supposed area of circle M when computed on diameter as linear unit.
Rectangle P equals circumscribed square of circle M.

الشكل 6. جزء من المقال المطوّل المنشور في صحيفة إنديانا بوليس بتاريخ 21 فبراير 1897.

وحتى بعد فشل التصويت لصالح مشروع القانون في مجلس الشيوخ لم تتوقف بعض الصحف عن الدفاع عن عمل جودوين. في 21 فبراير، نشرت إنديانا بوليس جورنال (Indianapolis Journal) مقالًا مطوّلًا (انظر الشكل 6)، شبّهت فيه نتيجة جودوين باكتشافات نيوتن وَجاليليو، واعتبرت أنّ اكتشافه هذا سيبقى سواء قُبل مشروع القانون أو رُفض [11].

قضى جودوين سنوات حياته الأخيرة محاولًا افتكاك موافقة الحكومة على إدراج طريقته في تربيع الدائرة في المدارس، لكنه توفي في 27 يونيو 1902 دون أن يحقق أمنيته. وجاء في صحيفة تناولت خبر وفاته "نهايةُ رجل أراد أن يفيد العالَم" [11]. يا تُرى ما الذي يجعل شخصًا بمكانة جودوين، وهو الطبيب المتعلّم، يقوم بما قام به؟ الإجابة عن هذا السؤال تقودنا إلى الحديث عن الرياضيات الزائفة.

4. رياضيات زائفة (pseudomathematics)!

يُذكر أنّ أول استخدام لعبارة الرياضياتي الزائف (pseudomath) كان في كتاب نُشر سنة 1872 للرياضياتي والمنطقي البريطاني أغسطس دي مورغان (Augustus De Morgan). جاء في هذا كتاب: "الرياضياتي الزائف هو الشخص الذي يتعامل مع الرياضيات كما يتعامل القرد مع ماكينة الحلاقة. يحاول القرد أن يحلق ذقنه مقلّدًا سيده؛ ولكنه، لعدم امتلاكه أي فكرة عن الزاوية التي يجب أن يمسك بها ماكينة الحلاقة، يقطع حلقه ... ولا يتمكّن من القيام بذلك مرة أخرى! لكن الرياضياتي الزائف يستمر في عمله، ويُعلن أنه حليق الذقن الوحيد..." [6].

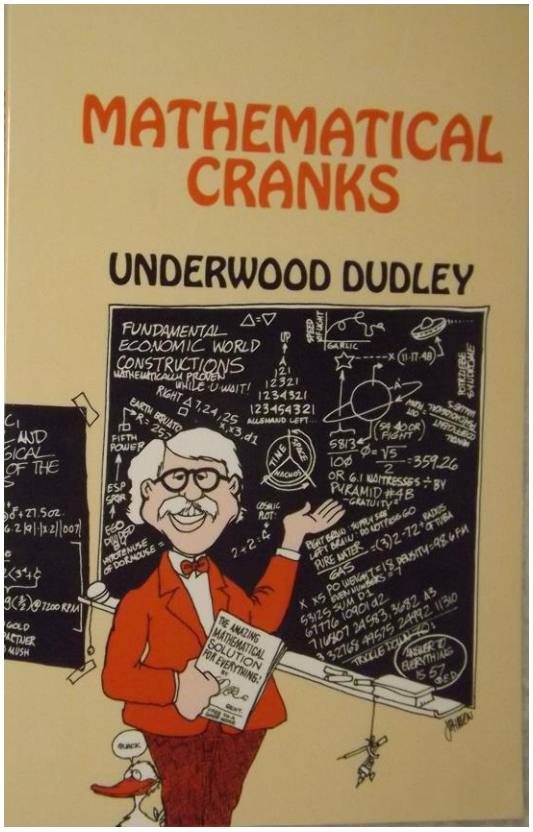
أشار الرياضياتي الأمريكي توبياس دانتزغ (Tobias Dantzig) إلى فئة محددة من المسائل الرياضياتية التي يمكن أن تسحر هواة الرياضيات وتثير اهتمامهم. تنطوي ضمن هذه الفئة مسائل الإنشاءات الهندسية الثلاث: تربيع الدائرة، تضعيف المكعب، تثليث الزاوية، ومسألة فيرما. القاسم المشترك بين مسائل هذه الفئة هو صياغتها الواضحة والمباشرة حتى بالنسبة للذين لا يتعدى فهمهم للرياضيات المبادئ الأولية. لكن لسوء حظ الرياضياتيين الزائفين أو مهووسي الرياضيات (mathematical cranks)، والعبارتان مترادفتان، تتطلب مواجهة هذا النوع من المسائل معارف رياضياتية متقدمة لا يملكها الهواة [4].

لاحظ دانتزغ أنّ الرياضياتيين الزائفين يأتون من جميع طبقات المجتمع وتشمل خلفياتهم التعليمية الطيفَ كله من الأدنى إلى الأرقى تعليما. لكنهم يشتركون جميعًا في تميّزهم بالإصرار والعناد، ولا يقدر على إحباطهم انتقادٌ أو سخرية. ويفسّر قدرتهم العجيبة على الصمود أمام كل أوجه التثبيط بالرغبة المفرطة في الشهرة. ويذكر كمثال، جيمس سميث (James Smith) وهو تاجر من ليفربول ازدهر نشاطه في ستينيات القرن التاسع عشر. لقد قضى نصف حياته وجزءًا كبيرا من ثروته في سبيل الدفاع عن طريقته في تربيع الدائرة. قام سميث بمراسلة عدد من أبرز العلماء البريطانيين في عصره، وحاولوا جميعًا ثنيَه عن الاستمرار في غيّه العلمي، وكانت ردود بعضهم من القسوة ما يجعل أي عاقل يتراجع عن فكرته، لكنه لم يتراجع بل قام بنشر جميع هذه المراسلات في كتاب وزّعه مجانًا! يعتقد دانتزغ أنّ الرياضياتي الزائف مصابٌ باضطراب جنون العظمة وينبغي على علماء النفس دراسة حالته[4].

وإذا كان الرياضياتي الزائف لا يجد في العادة تشجيعًا من قِبل المجتمع العلمي الأكاديمي -الأمر الذي ينسبه إلى الغيرة- فإنه يلقى قَبولًا وترحيبًا من الصحفيين. غالبًا ما تسارع الصحف إلى نشر خبر "مسألة قديمة تحدّت أجيالًا من العلماء يتمكّن أخيرا هاوٍ من حلها!" وفي ظل صخب الصحف يكسب صاحب الحل شهرةً لكنها سرعان ما تتلاشى [4].

قال دانتزغ في مقاله المنشور في سنة 1954: "اليوم، هناك المزيد من الرياضيات الزائفة أكثر مما كانت عليه في أي وقت من التاريخ، ويزداد عدد الرياضياتيين الزائفين بشكل متسارع" [4]. بعد حوالي أربعين سنة من تاريخ ظهور هذا المقال صدر كتاب "مهووسو الرياضيات" (Mathematical Cranks) للرياضياتي الأمريكي أندروود دودلي

(Underwood Dudley). جمع المؤلف في كتابه عشرات القصص من عالم الرياضيات الزائفة، من بينها طبعًا قصة مشروع قانون إنديانا [7]. كان للكتاب صدى جيد، ليس فقط بسبب متعة قراءته وجاذبيته، بل أيضًا لأنه يهم كل المعنيين بالجانب الإنساني للرياضيات، ويسلّط الضوء على فئة من البشر كانت وستظل موجودة بيننا.



الشكل 7. غلاف كتاب "مهووسو الرياضيات" للرياضياتي أندروود دودلي

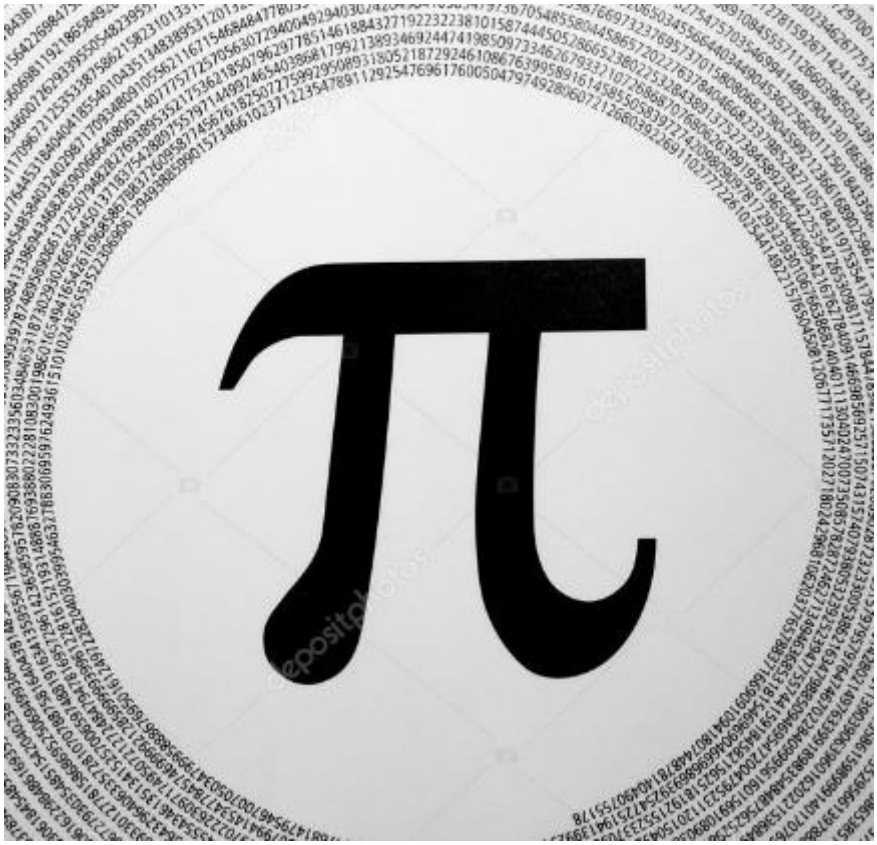
خاتمة

أكاد أجزم أنّ كل واحد منّا قد التقى، ولو مرة واحدة في حياته، بشخص مثل جودوين أو على الأقل سمع بواحد يشبهه. بل يبدو لي أنّ أمثالَه تزايدَ عددُهم بشكل كبير في العالم العربي خلال السنوات الأخيرة. وقد يكون الإعلام ووسائل التواصل الاجتماعي ما ساهم في إظهارهم، فبدا عددُهم أكبر. ولم يَعُد غريبًا أن نقرأ، بين الفينة والأخرى، في عناوين الصحف العربية أو في مواقع الإنترنت أو وسائل التواصل الاجتماعي، عبارات مثل: "أينشتاين العرب"، "شاب عربي عبقري ينجح في حل مسألة أعجزت الرياضياتيين لمئات السنين". وهي، في معظم الحالات، مجرد عبارات تفخيم جوفاء لا تختلف كثيرًا عما صدر في صحف إنديانا عند وصفها لجودوين.

فكرة القضاء على الرياضيات الزائفة بِثَنْي أصحابها عن المضيّ قُدُمًا في مساعيهم تكاد تكون مستحيلة. لذلك يجب ربما التركيز على العوامل الخارجية. مثلا، مِن الضروري وضع أُسُس متينة للصحافة العلمية العربية، فمِن المعيب أن يُسمح بامتهان الصحافة العلمية لمن لا يملك أي شهادة جامعية في تخصص علمي، ولا يكفي أن يكون الواحد صحفيًا ليكتب عن العِلم. كما يجب العمل على دعم مهارة التفكير الناقد في مناهج التعليم ما قبل الجامعي وفي الجامعات على اختلاف تخصصاتها. هذه المهارة مهمة في عصرنا الحالي أكثر من أي وقت مضى، فنحن نعيش في عالَمٍ لا تتوقف فيه المعلومات والأخبار عن التدفق، والزائف منها أكثر من الصحيح. والحديث حول هذا الموضوع ذو شجون.

المراجع

[1] Arndt, J. & Haenel, C., Pi – Unleashed, Springer-Verlag, Berlin, 2000.
[2] Beckmann, P., The History of Pi, St. Martin Press, New York, 1976.
[3] Berggren, L., Borwein, J. & Borwein, P., Pi : A Source Book, Springer, New York, 2004.
[4] Dantzig, T., The Pseudomath, The Scientific Monthly, 79(2) (1954), 113-117.
[5] Delahaye, J.-P., Le fascinant nombre π, Pour la science, Paris, 1997.
[6] De Morgan, A., A Budget of Paradoxes, The Open Court Publishing Company, Chicago, 1915.
[7] Dudley, U., Mathematical Cranks, American Mathematical Society, Washington, 1992.
[8] Eymard, P. & Lafon, J.-P., Autour du nombre π, Hermann, Paris, 1999.
[9] Goodwin, E.J., Quadrature of the Circle, Amer. Math. Monthly, 1(7) (1894), 246-248.
[10] Hallerberg, A.E., House Bill No. 246 revisited, Proc. Indiana Acad. Sci., 84, (1975), 374-399.
[11] Hallerberg, A.E., Indiana's squared circle, Mathematics Magazine, 50(3) (1977), 136-140.
[12] Singmaster, D., The legal values of pi, The Mathematical Intelligencer, 7(2) (1985), 69-72.



الفيزياء والهندسة: الفيزياء كالهندسة والهندسة كالفيزياء

الجزء الثالث: مبرهنة نويثرو إثباتها

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

هذا المقال مُهدى إلى الأستاذ القدير محند موساوي الذي تغرَّبْ، وإلى ذكرى الأستاذ يوسف عتيق، رحمهما الله..

1. مقدمة

في حدود عام 1602 تمكّن يوهانس كبلر Johannes Kepler، مستندًا إلى ملاحظات أستاذه تايخو براهي (Tycho Brahe) الرصدية، من صياغة قوانينه الفلكية الثلاثة الشهيرة، والتي نظر إليها كقوانين رصدية ميدانية ناتجة عن مُراقبات مباشرة للسماء لفترات طويلة.

لاحقًا استطاع نيوتن Newton التحقق من صحة هذه القوانين مستخدمًا القلم والورق وحدهما ومستندًا إلى مسلّمات وقوانين الميكانيكا الكلاسيكية، التي ساهم في وضعها. وقد أطلق هذا النجاح العلمي المذهل الذي حقّقه نيوتن العنان لعمليات بحث فكرية وتجريبية ضخمة وغير مسبوقة في تاريخ الغرب، كانت نتيجتها تأسيس النهضة العلمية الحديثة في الغرب. وعلى هذا الأساس يتفّق جل المؤرخين الغربيين على أنّ نيوتن هو الرجل رقم واحد في حضارتهم المعاصرة. وجعلَ نجاح نيوتن الفلاسفةَ الغربيين ينظرون بعين الدهشة والحيرة الممزوجة بالرهبة إلى الرياضيات القادرة على وصف الأحداث الجارية في الكون، وقالوا من حينها الكثير جدًّا عن سرّ فعاليتها في حل مشكلات العلوم الطبيعية، وعن سر ممارستها من قِبَل الإنسان. ويعطي المرجع [8]، وهو مقال شهير للفيزيائي يوجين بول وينر Eugene Paul Wigner، لمحةً عن طبيعة وتَشعب هذا الموضوع الشائك.

أمّا وجهة نظر علماء الرياضيات إلى علمهم فقد تحدّدت بصورة شبه كاملة منذ نهاية القرن التاسع عشر الميلادي، وتحديدا بعد أن قدَّم كانتور Cantor إلى العالَم نظريته الرائدة في الرياضيات والمسماة "نظرية المجموعات"، والتي اعتبرت من حينها إلى غاية اليوم أساس الرياضيات. وأقرّ الكثير من علماء الرياضيات الكبار، وعلى رأسهم هيلبرت Hilbert، بأنّ الإطار الطبيعي الذي ينبغي أن تُؤسّس داخله الرياضيات المعتادة المستخدمة في حل مشكلات العلوم، والتي تدعى أيضا برياضيات النماذج (Models)، هو نظرية المجموعات الكانتورية (Cantorian set theory)، وهو ما تحقق على نحو كامل منذ بداية القرن العشرين. وتكفي لمحة سريعة للتأكد من أنّ جميع النظريات الرياضية المعتادة أو بالأحرى جميع النماذج الرياضية صيغت في عصرنا بلغة نظرية المجموعات $L_1\mathrm{Set}$، وهي لغة رياضية من الرتبة الأولى وتمتلك الأبجدية التالية:

- رموز الروابط المنطقية: $\neg$، $\wedge$، $\vee$، $\Rightarrow$، $\Leftrightarrow$؛
- رمزي المُكَمِّمين الوجودي والعمومي: $\exists$، $\forall$؛
- رمزي القوسين اليميني واليساري: $($، $)$؛
- رمز المساواة: $=$؛
- رمز الانتماء: $\in$؛
- رموز متغيرات أولى: x، y، z، ...؛

- رموز متغيرات ثانية خاصة بالمجموعات: X، Y، Z، ....

وهكذا فكلّ الصيغ التي نجدها في الرياضيات المعتادة هي في جوهرها 'كلمات' أو 'حشود' أو 'نضائد' لهذه الرموز، ويُعثر على الصيغ الصحيحة من بينها بالبرهان الرياضي المستند إلى المبادئ التوتولوجية وإلى المسلمات المنطقية:

- $\mathcal{P}[x \leftarrow t] \Rightarrow (\exists x)\mathcal{P}$؛
- $x = x$؛
- $t = s \Rightarrow (\mathcal{P}[x \leftarrow t] \Leftrightarrow \mathcal{P}[x \leftarrow s])$؛

والمُستخدم لقاعدتي الاستدلال:

$$\frac{\mathcal{P}, \mathcal{P} \Rightarrow \mathcal{Q}}{\mathcal{Q}} \left(\text{قاعدة القياس الاستثنائي Modus ponens}\right),$$

وَ

$$\frac{\mathcal{A} \Rightarrow \mathcal{B}}{(\exists x)\mathcal{A} \Rightarrow \mathcal{B}} \left(\text{ قاعدة إدخال المُكمِّم الوجودي}\right),$$

حيث لا يظهر المتغير x حرًّا في الصيغة $\mathcal{B}$. ويمكن للقارئ المهتم بهذا الشأن أن ينظر إلى المرجعين [5] وَ[7].

إنها الطبيعة النحوية التي تبنّاها غالبية علماء الرياضيات منذ أكثر من قرن. وإنّ المرء لتستبد به الحيرة والدهشة حين يعلم أنّ كلمات الرياضيات المصاغة بهذه الطريقة البسيطة قادرة على وصف الأحداث الجارية في الكون والتنبؤ بمساراتها بدقة لا حدود لها، ولَيبدو هذا الأمر لغزا حقيقيا من ألغاز الوجود. وفي هذا السياق، هناك وجهة نظر مستندة إلى مبدأ الصورنة (Principle of formalism) المعلَن عنه من قِبَل هيلبرت وبورباكي Bourbaki: "الرياضيات هي لغات بشرية غير منطوقة، تتصف طريقة كتابة كلماتها وجملها بقدرات لا محدودة في الاختصار وإعادة التسمية وإدخال الرموز الجديدة". ويبدو لي بأنّ الله منحنا إمكانيات معينة لاستخدام هذه اللغات الاستثنائية في فهم بعض أسرار الكون الذي نعيش فيه، والله أعلم.

منذ زمن نيوتن إلى غاية بداية القرن العشرين أُسست الرياضيات الواصفة للفيزياء، والتي تشكّلت في مجملها من نظرية المعادلات التفاضلية والصياغتين الهندسيتين الرائعتين للاغرانج Lagrange وهاميلتون Hamilton ومن هندسة ريمان Riemann، التي أُوكل إليها مهمة التعبير رياضياتيا عن نظرية النسبية العامة لأينشتاين Einstein. وهكذا أصبحنا ننظر إلى قوانين الفيزياء عبر الهندسة، فبدت لنا الفيزياء كالهندسة. بَيد أنّ سيدة من هذا العالَم اكتشفت ذات لحظة أنّ العكس أيضا صحيح، فالمبادئ والقوانين الفيزيائية ذات أصول هندسية، وأنّ ما يفعله الفيزيائيون هو أنهم ينظرون إلى الهندسة عبر الفيزياء، ومن ثمة تبدو لهم الأولى كالأخرى.

إيمي أمالي نويثر (1882-1935) Emmy Amalie Noether هي سيدة ألمانية من أصول يهودية ساهمت في عشرينيات القرن العشرين مع كل من إميل أرتين Emil Artin وهيلموت هاس Helmut Hasse وولفجانج كرول Wolfgang Krull وَأوتوشرايير Otto Schreier وبارتيلليندرت فان دير ويردين Bartel Leendert van der Waerden في ملحمة تأسيس الجبر المجرّد الحديث، والذي يُعدّ أهم منجزات المدرسة الألمانية للرياضيات في العصر الحالي. اعتبرت نويثر أيقونة في الرياضيات، حيث وصفها أينشتاين ذات لحظة بأنها أهم عبقرية إبداعية في الرياضيات ظهرت منذ أن سُمح رسميا للنساء بمزاولة التعليم العالي. بيد أنّ نويثر واجهت وضعا مأساويا في عام 1933 حين صرفها النازيون، كونها يهودية، عن العمل في جامعة غوتنغن Göttingen، فرحلت إلى الولايات المتحدة، وتوفيت بعد ذلك بعامين من النشاط الجامعي.

إيمي أمالي نويثر

في عام 1918 قدّمت نويثر مساهمة، في إطار صياغة لاغرانج (Lagrangian formalism)، للميكانيكا الكلاسيكية، ولديها في هذا الشأن مبرهنة مذهلة تحمل اسمها تؤكد أنّ معظم قوانين الحفظ الخاصة بالجمل الميكانيكية الكلاسيكية ذات منشأ هندسي؛ أي أنها ناتجة عن تناظرات حافظة لدالة لاغرانج، الأمر الذي أنار درب البحث للفيزيائيين، الذين أصبحوا يُقابلون بين قوانين الانحفاظ الفيزيائية وبين التناظرات الهندسية الحافظة لخواص دالة لاغرانج. وحتى في حالات قوانين الانحفاظ القليلة حيث لا يكون التناظر واضحًا، كانوا مع ذلك يعتبرون الحفظ ناتجا عن تناظر خفي.

ساعد مبدأ نويثر الفيزيائيين في صياغة مسلّمات ميكانيكا الكم، واعتبروه لبنةً مهمة جدًّا في بناء الفيزياء المعاصرة. وبذلك ترسخت أكثر فأكثر في الأذهان الفكرة المُحيِّرة القائلة بأنّ القوانين الفيزيائية ناتجة عن البنية الهندسية للكون، والتي وفقها أصبحت الفيزياء تابعة على نحو ما للهندسة.

في هذا الجزء الثالث والأخير، نقدم أحد النصوص المتناولة في المراجع العلمية لمبرهنة نويثر المشار إليها، ثم نلحق ذلك بالإثبات المناسب.

2. مفاهيم ومصطلحات من نظرية المنوعات القابلة للتفاضل

من أجل عرض مبرهنة نويثر وإثباتها على نحو دقيق، نحتاج إلى تقديم بعض المفاهيم والمصطلحات الهندسية القاعدية المنتمية إلى نظرية المنوعات القابلة للتفاضل، وهي:

■ منوعة قابلة للتفاضل $\mathcal{M}$؛ تدعى في إطار الفيزياء بفراغ التَّكوُن (Configuration space)، والسبب الكامن وراء هذه التسمية هو أنّ الفيزيائيين يعتبرونها الحيز المكاني الذي تقع فيه الأحداث الفيزيائية.

■ الحِزَمَةُ المماسية (The tangent bundle) للمنوعة $\mathcal{M}$ والتي يرمز لها بالرمز $T\mathcal{M}$. يسمي الفيزيائيون هذه الحزمة بفراغ السرعات أو أيضا بفراغ الطور اللاغرانجي (The lagrangian phase space)، وهي ميدان الإحداثيات التي أدخلها لاغرانج، وعلى هذا الأساس فإنّ دوال لاغرانج مطابقة تماما لمجموعة الدوال $C^\infty(T\mathcal{M};\mathbb{R})$. ولنتذكر بالمناسبة أنّ $T\mathcal{M}$ هي الاتحاد المنفصل للفراغات الشعاعية $T_x\mathcal{M}$، $x \in \mathcal{M}$، بمعنى أن

$$T\mathcal{M} = \coprod_{x\in\mathcal{M}} T_x\mathcal{M},$$

حيث يدعى $T_x\mathcal{M}$ بالفراغ المماسي للمنوعة $\mathcal{M}$ في النقطة x، وأي عنصر من $T_x\mathcal{M}$ يدعى شعاعا مماسيا لـ$\mathcal{M}$ في x.

■ فراغ حقول الأشعة المماسية للمنوعة $\mathcal{M}$، والذي يرمز له بالرمز $\mathfrak{X}(\mathcal{M})$، هو فراغ مجموعة الدوال $X \in C^\infty(\mathcal{M};T\mathcal{M})$ المحققة للشرط

$$(\forall x \in \mathcal{M})(X(x) \in T_x\mathcal{M}),$$

والتي تدعى كل واحدة منها حقل أشعة (Vector field) على $\mathcal{M}$.

■ الحزمة التمماسية (The cotangent bundle) للمنوعة $\mathcal{M}$ والتي يرمز لها بالرمز $T^*\mathcal{M}$. تسمى هذه الحزمة في الفيزياء بفراغ طور الزخم (Momentum Phase Space)، وهي ميدان الإحداثيات التي أدخلها هاميلتون، وعليه فإن دوال هاميلتون، المسماة أيضا بمجموعة الطاقات المعممة، مساوية بالضبط لمجموعة الدوال $C^\infty(T^*\mathcal{M};\mathbb{R})$. كما أنه لدينا أيضا

$$T^*\mathcal{M} = \coprod_{x\in\mathcal{M}} T_x^*\mathcal{M},$$

حيث $T_x^*\mathcal{M}$ هو الفراغ الثنوي (Dual space) للفراغ $T_x\mathcal{M}$، ويدعى بالفراغ التمماسي (Cotangent space) للمنوعة $\mathcal{M}$ في النقطة x، كما تدعى عناصره بالأشعة المماسية (Tangent covectors) لـ$\mathcal{M}$ في x.

■ فراغ الأشكال التفاضلية من الدرجة الأولى للمنوعة $\mathcal{M}$، والذي يرمز له بالرمز $\Omega^1(\mathcal{M})$، هو فراغ مجموعة الدوال $\omega \in C^\infty(\mathcal{M};T^*\mathcal{M})$ المحققة للشرط

$$(\forall x \in \mathcal{M})(\omega(x) \in T_x^*\mathcal{M}),$$

والتي تدعى كل واحدة منها شكلا تفاضليا من الدرجة الأولى أو أيضا حقل أتشعة (Covector field) على $\mathcal{M}$.

لنفترض بأن $\mathcal{M}$ ذات بعد n. لقد أُشير سابقا إلى أن دالة هاميلتون، والتي يدعوها الفيزيائيون بالطاقة المُعمَّمة للنظام اللاغرانجي $(\mathcal{M},\mathfrak{L})$، هي الدالة المعرفة في أي إحداثيات محلية $(q,\dot{q})$ للحزمة $T\mathcal{M}$ كما يلي

$$\mathcal{H}(q,p) = \sum_{k=1}^{n} p_k\dot{q}^k - \mathfrak{L}(q,\dot{q}),$$

حيث

$$p_k = \frac{\partial\mathfrak{L}}{\partial\dot{q}^k}(q,\dot{q}), 1 \le k \le n.$$

يُسمي الفيزيائيون الشعاعين $p = \nabla_{\dot{q}}\mathfrak{L} = (p_1,\dots,p_n)$ وَ $F = \nabla_q\mathfrak{L} = (\partial_{q^1}\mathfrak{L},\dots,\partial_{q^n}\mathfrak{L})$، على التوالي، بالزخم المُعمَّم والقوة المُعمَّمة للنظام اللاغرانجي $(\mathcal{M},\mathfrak{L})$.

إذا كانت $\mathfrak{L}$ لا تتعلق بالزمن، وإذا كان المنحنى γ حلا لمعادلات أويلر-لاغرانج، فإن الطاقة المعممة $\mathcal{H}$ تظل مُنحفظة على طول γ، بمعنى

$$(\forall t)\left(\frac{d}{dt}\mathcal{H}\left(\gamma(t),\nabla_{\dot{q}}\mathfrak{L}(\gamma(t))\right)=\frac{d}{dt}\mathcal{H}(\gamma(t),p(t))=0\right).$$

بالفعل لدينا

$$\frac{d}{dt}\mathcal{H}\left(\gamma(t),\nabla_{\dot{q}}\mathfrak{L}(\gamma(t))\right)=\frac{d}{dt}\left(\sum_{k=1}^{n}\frac{\partial\mathfrak{L}}{\partial\dot{q}^k}\left(\gamma(t),\frac{d\gamma}{dt}(t)\right)\frac{d\gamma^k}{dt}(t)-\mathfrak{L}\left(\gamma(t),\frac{d\gamma}{dt}(t)\right)\right)$$
$$=\sum_{k=1}^{n}\frac{d}{dt}\left\{\frac{\partial\mathfrak{L}}{\partial\dot{q}^k}\left(\gamma(t),\frac{d\gamma}{dt}(t)\right)\right\}\frac{d\gamma^k}{dt}(t)+\sum_{k=1}^{n}\frac{\partial\mathfrak{L}}{\partial\dot{q}^k}\left(\gamma(t),\frac{d\gamma}{dt}(t)\right)\frac{d^2\gamma^k}{dt^2}(t)$$
$$-\sum_{k=1}^{n}\frac{\partial\mathfrak{L}}{\partial q^k}\left(\gamma(t),\frac{d\gamma}{dt}(t)\right)\frac{d\gamma^k}{dt}(t)-\sum_{k=1}^{n}\frac{\partial\mathfrak{L}}{\partial\dot{q}^k}\left(\gamma(t),\frac{d\gamma}{dt}(t)\right)\frac{d^2\gamma^k}{dt^2}(t)$$
$$=\sum_{k=1}^{n}\left[\frac{d}{dt}\left\{\frac{\partial\mathfrak{L}}{\partial\dot{q}^k}\left(\gamma,\frac{d\gamma}{dt}\right)\right\}(t)-\frac{\partial\mathfrak{L}}{\partial q^k}\left(\gamma(t),\frac{d\gamma}{dt}(t)\right)\right]\frac{d\gamma^k}{dt}(t)=0,$$

وذلك لأن γ يحقق محليا معادلات أويلر-لاغرانج. ولنتذكر بالمناسبة أن انحفاظ الطاقات الكلية للنظم الفيزيائية المعزولة هو أحد أشهر المبادئ الفيزيائية، وقد أثبتنا للتو انحفاظ الطاقة المعممة لأي نظام لاغرانجي لا يرتبط بالزمن.

ليكن $X\in C^0(\mathcal{M}\leftarrow T\mathcal{M})$ وَ $f\in C^1(\mathcal{M};\mathbb{R})$. نُعرِّف مشتقة ليه (Lie derivative) للدالة f بالنسبة لحقل الأشعة X كالآتي

$$\mathcal{L}_Xf(x)=df(x)\big(X(x)\big),x\in\mathcal{M}.$$

لدينا بطبيعة الحال $\mathcal{L}_Xf\in C^0(\mathcal{M};\mathbb{R})$. ونشير إلى أن عمليات اشتقاق ليه بالنسبة لمختلف حقول الأشعة هي عمليات طبيعية، ونجدها كثيرا في الهندسة التفاضلية وفي التحليل وحتى في الجبر.

يُقال إن الدالة f هي تكامل أول للحقل X إذا كان $\mathcal{L}_Xf=0$.

لنفرض بأن $\mathcal{M}$ منوعة بناخية، وبأن الحقل X مماس للحافَّة $\partial\mathcal{M}$ (إن لم تكن خالية)، أي بمعنى

$$(\forall x\in\partial\mathcal{M})(X(x)\in T_x\partial\mathcal{M}).$$

في هذه الحالية إذا كان $X\in C^1(\mathcal{M}\leftarrow T\mathcal{M})$، فإنه يقبل تدفقا (Flow) $\mathfrak{F}_X:\mathfrak{D}_X\to\mathcal{M}$. لنتأكد من صحة الحقيقة التالية: "لكي تكون الدالة f تكاملا أولا للحقل X، يلزم ويكفي أن تكون ثابتة على طول مسارات التدفق x ، أي بمعنى

$$(\forall(t,x)\in\mathfrak{D}_X)\big(f\circ\mathfrak{F}_X(t,x)=f(x)\big)$$

أو أيضا

$$(\forall(t,x)\in\mathfrak{D}_X)\left(\frac{\partial(f\circ\mathfrak{F}_X)}{\partial t}(t,x)=0\right)".$$

بالفعل، لنفرض أنّ f تكامل أول للحقل X. وعليه من أجل كل $(t,x)\in\mathfrak{D}_X$ لدينا

$$\frac{\partial(f\circ\mathfrak{F}_X)}{\partial t}(t,x)=df\big(\mathfrak{F}_X(t,x)\big)\left(\frac{\partial\mathfrak{F}_X}{\partial t}(t,x)\right)=df\big(\mathfrak{F}_X(t,x)\big)\Big(X\big(\mathfrak{F}_X(t,x)\big)\Big)$$
$$=\mathcal{L}_Xf\circ\mathfrak{F}_X(t,x)=0.$$

وهو المطلوب. بالعكس، لنفرض أن f ثابتة على طول مسارات التدفق، وعليه

$$(\forall(t,x)\in\mathfrak{D}_X)\left(\mathcal{L}_Xf\circ\mathfrak{F}_X(t,x)=\frac{\partial(f\circ\mathfrak{F}_X)}{\partial t}(t,x)=0\right).$$

وبما أنه لدينا المساواة $\mathfrak{F}_X(0,x)=x$ من أجل كل $x\in\mathcal{M}$، فبأخذ $t=0$ في العلاقة الأخيرة، نحصل على المطلوب:

$$(\forall x\in\mathcal{M})(\mathcal{L}_Xf(x)=\mathcal{L}_Xf\circ\mathfrak{F}_X(0,x)=0).$$

إن الصيغة التالية

$$(\forall v\in T\mathcal{M})(\exists!\,x\in\mathcal{M})(v\in T_x\mathcal{M}),$$

صحيحة، لذلك فإنه توجد دالة وحيدة $\pi_{\mathcal{M}}: v \in T\mathcal{M} \mapsto x = \pi_{\mathcal{M}}(v) \in \mathcal{M}$ مُحققة الشرط

$$(\forall v \in T\mathcal{M})\big(v \in T_{\pi_{\mathcal{M}}(v)}\mathcal{M}\big).$$

تدعى هذه الدالة الإسقاط الطبيعي للحزمة المماسية $T\mathcal{M}$ على $\mathcal{M}$، وهي تنتمي إلى المجموعة $C^{\infty}(T\mathcal{M};\mathcal{M})$. لنفرض الآن أن $X \in C^{2}(\mathcal{M} \leftarrow T\mathcal{M})$، ولنضع

$$\widetilde{\mathfrak{F}}_X(t,v) = \partial_x \mathfrak{F}_X\big(t,\pi_{\mathcal{M}}(v)\big)(v), (t,v) \in \widetilde{\mathfrak{D}}_X,$$

حيث

$$\widetilde{\mathfrak{D}}_X = \{(t,v) \in \mathbb{R} \times T\mathcal{M} : (t,x) = \big(t,\pi_{\mathcal{M}}(v)\big) \in \mathfrak{D}_X\}.$$

بالطبع لدينا $\widetilde{\mathfrak{F}} \in C^{1}\big(\widetilde{\mathfrak{D}}_X;T\mathcal{M}\big)$، كما أن هذه الدالة تمثل تدفقَ حقلِ أشعة $\tilde{X} \ni \mathfrak{X}^{1}(T\mathcal{M})$. لتحديد $\tilde{}$، نستخدم نظم الإحداثيات المحلية للمنوعة $\mathcal{M}$، وليكن $(U,q) = (U,q^{1},\dots,q^{n})$ إحداها. سنضع

$$r(v) = \big(q(x),\dot{q}(v)\big) = \big(q(x),dq(x)(v)\big) \in \mathbb{R}^{n} \times \mathbb{R}^{n}, v \in TU = \coprod_{y \in U} T_y\mathcal{M}.$$

تمثل الثنائية (TU,r) نظام إحداثيات للحزمة $T\mathcal{M}$، والذي يدعى بنظام الإحداثيات المرافق للنظام (U,q).

من ناحية أخرى لنتذكر أنه من أجل كل $v \in TU$ لدينا

$$v = \sum_{k=1}^{n} v^{k} \frac{\partial}{\partial q^{k}}(x), dq(x)(v) = (v^{1},\dots,v^{n}),$$

وعليه

$$X(x) = \sum_{k=1}^{n} X^{k}(x) \frac{\partial}{\partial q^{k}}(x), x \in U,$$

حيث $X^{k} \in C^{1}(U;\mathbb{R})$. الآن إذا كانت $(,v) \in (\mathbb{R} \times TU) \cap \widetilde{\mathfrak{D}}_X$، وإذا كان t صغيرا كفاية، فإنه يمكننا أن نكتب

$$\begin{aligned} r \circ \widetilde{\mathfrak{F}}_X(t,v) &= \Big(q \circ \mathfrak{F}_X(t,x), dq\big(\mathfrak{F}_X(t,x)\big)\big(\widetilde{\mathfrak{F}}_X(t,v)\big)\Big) \\ &= \Big(q \circ \mathfrak{F}_X(t,x), dq\big(\mathfrak{F}_X(t,x)\big) \circ \partial_x \mathfrak{F}_X(t,x)(v)\Big) \\ &= \big(q \circ \mathfrak{F}_X(t,x), \partial_x(q \circ \mathfrak{F}_X)(t,x)(v)\big). \end{aligned}$$

بالاشتقاق بالنسبة للزمن نحصل على ما يلي

$$\begin{aligned} dr\Big(\widetilde{\mathfrak{F}}_X(t,v)\Big)\left(\frac{\partial \widetilde{\mathfrak{F}}_X}{\partial t}(t,v)\right) &= \left(dq\big(\mathfrak{F}_X(t,x)\big)\left(\frac{\partial \mathfrak{F}_X}{\partial t}(t,x)\right), \partial_x\big(\partial_t(q \circ \mathfrak{F}_X)\big)(t,x)(v)\right) \\ &= \Big(dq\big(\mathfrak{F}_X(t,x)\big)\big(X \circ \mathfrak{F}_X(t,x)\big), \partial_x\big(dq(\mathfrak{F}_X)(X \circ \mathfrak{F}_X)\big)(t,x)(v)\Big) \\ &= \big(X^{1} \circ \mathfrak{F}_X(t,x),\dots,X^{n} \circ \mathfrak{F}_X(t,x), \partial_x(X^{1} \circ \mathfrak{F}_X)(t,x)(v),\dots,\partial_x(X^{n} \circ \mathfrak{F}_X)(t,x)(v)\big) \\ &= \Big(X^{1} \circ \mathfrak{F}_X(t,x),\dots,X^{n} \\ &\quad \circ \mathfrak{F}_X(t,x), dX^{1}\big(\mathfrak{F}_X(t,x)\big)\big(\widetilde{\mathfrak{F}}_X(t,v)\big),\dots,dX^{n}\big(\mathfrak{F}_X(t,x)\big)\big(\widetilde{\mathfrak{F}}_X(t,v)\big)\Big). \end{aligned}$$

وبالتالي

$$\begin{aligned} \frac{\partial \widetilde{\mathfrak{F}}_X}{\partial t}(t,v) &= \sum_{k=1}^{n} X^{k} \circ \mathfrak{F}_X(t,x) \frac{\partial}{\partial q^{k}}\big(\widetilde{\mathfrak{F}}_X(t,v)\big) \\ &\quad + \sum_{k=1}^{n} dX^{k}\big(\mathfrak{F}_X(t,x)\big)\big(\widetilde{\mathfrak{F}}_X(t,v)\big) \frac{\partial}{\partial \dot{q}^{k}}\big(\widetilde{\mathfrak{F}}_X(t,v)\big). \end{aligned}$$

فإذا أخذنا $t=0$ في هذه الصيغة، نجد عبارة الحقل $\tilde{X}$ وهي

$$\tilde{X}(v)=\frac{\partial\tilde{\mathfrak{F}}_X}{\partial t}(0,v)=\sum_{k=1}^{n}X^k(x)\frac{\partial}{\partial q^k}(v)+\sum_{k=1}^{n}dX^k(x)(v)\frac{\partial}{\partial\dot{q}^k}(v)$$
$$=\sum_{k=1}^{n}X^k(x)\frac{\partial}{\partial q^k}(v)+\sum_{j,k=1}^{n}\frac{\partial X^k}{\partial x^j}(x)v^j\frac{\partial}{\partial\dot{q}^k}(v).$$

يقال إن الدالة اللاغرانجية $\mathfrak{L}$ لا متغيرة (invariant) بالنسبة إلى X إذا شكّلت تكاملا أولا للحقل $\tilde{X}$، أي إذا حققت محليا المعادلة التفاضلية

$$\mathcal{L}_{\tilde{X}}\mathfrak{L}=\sum_{k=1}^{n}X^k\frac{\partial\mathfrak{L}}{\partial q^k}+\sum_{j,k=1}^{n}\frac{\partial X^k}{\partial x^j}v^j\frac{\partial\mathfrak{L}}{\partial\dot{q}^k}=0.$$

3. مبرهنة نويثر

لهذه المبرهنة عدة نصوص، ولعل النص التالي أيسرها للاستيعاب والفهم.

مبرهنة نويثر. إذا كانت الدالة اللاغرانجية $\mathfrak{L}$ لا متغيرة بالنسبة إلى X، فإن المقدار

$$P_X=\sum_{k=1}^{n}X^kp_k=\sum_{k=1}^{n}X^k\frac{\partial\mathfrak{L}}{\partial\dot{q}^k},$$

مُنحفظ على طول كل مسار مُحقِّقٍ لمبدأ الفعل الحرج.

البرهان. ليكن $\gamma\in C^2([0,T];\mathcal{M})$ منحنى محققا لمبدأ الفعل الحرج. من أجل كل $t\in\gamma^{-1}(U)$، يمكننا أن نكتب

$$P_X\left(t,\frac{d\gamma}{dt}(t)\right)=\sum_{k=1}^{n}X^k\circ\gamma(t)\frac{\partial\mathfrak{L}}{\partial\dot{q}^k}\left(t,\frac{d\gamma}{dt}(t)\right).$$

بالاشتقاق بالنسبة للزمن نحصل على الصيغة

$$\frac{d}{dt}\left(P_X\left(\cdot,\frac{d\gamma}{dt}(\cdot)\right)\right)(t)=\sum_{k=1}^{n}dX^k(\gamma(t))\left(\frac{d\gamma}{dt}(t)\right)\frac{\partial\mathfrak{L}}{\partial\dot{q}^k}\left(t,\frac{d\gamma}{dt}(t)\right)$$
$$+\sum_{k=1}^{n}X^k\circ\gamma(t)\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial\mathfrak{L}}{\partial\dot{q}^k}\left(\cdot,\frac{d\gamma}{dt}(\cdot)\right)\right)(t).$$

ولأن γ يحقق محليا معادلات أويلر-لاغرانج، فإنه يأتي

$$\frac{d}{dt}\left(P_X\left(\cdot,\frac{d\gamma}{dt}(\cdot)\right)\right)(t)=\sum_{k=1}^{n}dX^k(\gamma(t))\left(\frac{d\gamma}{dt}(t)\right)\frac{\partial\mathfrak{L}}{\partial\dot{q}^k}\left(t,\frac{d\gamma}{dt}(t)\right)$$
$$+\sum_{k=1}^{n}X^k\circ\gamma(t)\frac{\partial\mathfrak{L}}{\partial q^k}\left(t,\frac{d\gamma}{dt}(t)\right)=\mathcal{L}_{\tilde{X}}\mathfrak{L}\left(t,\frac{d\gamma}{dt}(t)\right)=0,$$

وهو المطلوب.

صاغ الفيزيائيون قانون 'انحفاظ الزخم' الكلاسيكي بعشرات السنين قبل ظهور مبرهنة نويثر، وبعد الإعلان عنها أصبح نتيجة مباشرة لها.

قانون انحفاظ الزخم. لتكن Ω مجموعة مفتوحة في $\mathbb{R}^n$ وَ $\mathfrak{L}: [0,T] \times \Omega \times \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}$ دالة لاغرانجية معطاة. إذا كانت المُركّبة $\partial_{q^i}\mathfrak{L}$ للقوة المعممة $\nabla_q \mathfrak{L}$ معدومة، فإن المركبة $p_i = \partial_{\dot{q}^i}\mathfrak{L}$ للزخم المعمم $p = \nabla_{\dot{q}}\mathfrak{L}$ ثابتة على طول أي مسار محقق لمبدأ الفعل الحرج.

البرهان. لنضع

$$X(q) = \frac{\partial}{\partial q^i}(q), q \in \Omega.$$

ومنه يأتي

$$X^i = 1, X^k = 0, k \neq i,$$

وَ

$$\tilde{X}(q,\dot{q}) = \frac{\partial}{\partial q^i}(q,\dot{q}), (q,\dot{q}) \in \Omega \times \mathbb{R}^n.$$

وعليه $\mathcal{L}_{\tilde{X}}\mathfrak{L} = \partial_{q^i}\mathfrak{L}$. الآن استنادا إلى مبرهنة نويثر، ندرك أنه إذا كانت $\partial_{q^i}\mathfrak{L} = 0$، فإن المركبة $\sum_{k=1}^{n} X^k p_k = p_i$ منحفظة على طول أي مسار محقق لمبدأ الفعل الحرج. وهو المُراد إثباته.

مراجع للاستزادة

[1] Abraham, R. and Marsden, J.E., Foundations of Mechanics, Addison-Wesley, Redwood City, 1987.

[2] Arnold, V. I., Mathematical Methods of Classical Mechanics, Springer-Verlag, New York, 1989.

[3] Deriglazov, A., Classical Mechanics: Hamiltonian and Lagrangian Formalism, Springer International Publishing Switzerland, 2017.

[4] Godbillon, C., Géométrie différentielle et mécanique analytique, Hermann, Paris, 1969.

[5] Jech, T., Set Theory, The Third Millennium Edition, Revised and Expanded, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1997, 2003.

[6] Marsden, J.E. and Ratiu, T.S., Introduction to Mechanics and Symmetry: A Basic Exposition of Classical Mechanical Systems, Springer-Verlag, New York, 1999.

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

[8] Wigner, E.P., The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences, Communications on Pure and Applied Mathematics, Vol. 13 (1), 1960, 1-14.

ماذا الذي فعله ابن التاجر الإيطالي الغني في إفريقيا؟

زكية طبّة

أستاذة بقسم الرياضيات، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
zakia.tebba@g.ens-kouba.dz

وأنت تسير لساعات متأملًا في بستانٍ من أزهار النرجس الجميلة، أو متجوّلًا مذهولًا لأيامٍ في حضرة أهرامات مصر الرائعة، أو مستلقيًا على أمواج البحر مستمتعًا بسيمفونية بيتهوفن الخامسة، هل بحثت يومًا عن سبب مقنع لوجود هذا التناسق الغامض في الطبيعة؟ ربما لو تمعّنت أكثر ستجد ما لم يجده العلماء وتكشف للعالَم أسرار أخرى حول متتالية فيبوناشي وما شابهها!

1. متتالية فيبوناتشي

في الرياضيات، متتالية فيبوناتشي أو أعداد فيبوناتشي -نسبةً إلى عالم الرياضيات الإيطالي ليوناردو فيبوناتشي (Leonardo Fibonacci)- هي متتالية يساوي كل حد منها مجموع الحدين السابقين.

الحدود الأولى لهذه المتتالية معطاة في الجدول أدناه.

F_0	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	...
0	1	1	2	3	5	8	13	21	34	55	89	144	233	377	610	...

في هذا الجدول الحدّان الأوّلان لهذه المتتالية هما الصفر والواحد، ولكن البعض يحذف الحد 0 ويعوضه بالحد 1، وبعضهم الآخر يبدأ بالواحد والاثنين. لكن في جميع هذه الحالات، يبقى كل حدّ هو مجموع الحدين السابقين له.

تُعرَّف متتالية فيبوناتشي (F_n) بالطريقة التالية: لو اعتبرنا F_n الحدّ ذا الرتبة n لمتتالية فيبوناتشي فإنّه مهما يكن n ينتمي إلى IN فإنّ

$$F_{n+2}=F_{n+1}+F_n$$

مع

$$F_2=1 \text{ و } F_1=1 \text{ (نعتبر } F_0=0\text{).}$$

سمّيت هذه المتتالية نسبة إلى ليوناردو البيزي (Leonardo of Pisa)، والمعروف باسم فيبوناتشي. عَرَّف هذا العالِم هذه المتتالية في كتابٍ له عنوانه ليبر أباتشي، نُشر عام 1202، رغم أنّ هذه المتتالية كانت معروفة وموصوفة في الرياضيات الهندية مائتين سنة قبل الميلاد، في عملٍ قام به بينغالا (Pingala).

2. ماذا تعرف عن فيبوناتشي؟

في مدينة بيزا (Pisa)، إحدى مدن إقليم توسكانا الإيطالي القريب من البحر المتوسط، وفي عام 1170، وُلِد ليوناردو. كانت بيزا في ذلك الوقت مدينة تعجّ بخليط من الأُمم: الإيطاليين والأتراك والليبيين والفرس والعرب. عاش سنوات طفولته في مدينة بجاية مع والده غيلييلمو (Guilielmo)، ذلك التاجر الإيطالي الغني والمشرف على أسواق بيزا في بجاية.

كان من الضروري، لإعداد ابنه ليوناردو ليكون تاجرًا مثله، أن يعلّمه مبادئ الحساب والرياضيات، فسلّم غيلييلمو ابنَه إلى معلّم عربي يُعلّمه هذه العلوم. أُولع ليوناردو بالأرقام العربية، وكان ذكيا محبًّا للرياضيات، ولم يلبث أن

تعلّم الضرب والقسمة وأجادهما. علّمه مُدرّسه "سيدي عمر" كما يقول، حسابَ الكسور على أحدث الطرق التي كانت تُدرَّس في مدارس الحواضر الإسلامية آنذاك. كما تعلّم الجذور وحلّ المعادلات الرياضية التي كان العلماء المسلمون - مثل الخوارزمي وغيره- قد برعوا فيها.

أمضى ابن بيزا طفولته في شمال إفريقيا، وكان يسافر بشكل واسع في الجزائر. تمّ إرساله في رحلة عمل إلى مصر وسوريا واليونان وصقلية ومنطقة بروفنس الفرنسية. وفي عام 1200 عاد إلى بيزا واستثمر المعرفة التي حصل عليها من أسفاره في كتابة مؤلفه الشهير **ليبر أباتشي** (Liber abaci)، الذي عرّف من خلاله العالَم الناطق باللاتينية بنظام العد العشري. لقد نقل فيبوناتشي، حسبما يُذكر، من العالم الإسلامي، الأرقام العربية والتي أصبحت مستعملة في العالم كله في العصر الحالي. وقد قيل أيضا، أنّ من قام بنقل هذه الأرقام هو الراهب الفرنسي جيربيرت الأوريلاكي (Gerbert of Aurillac).

صدر كتاب **ليبر أباشي** المتخصص في الحساب والمحاسبة، في سنة 1202. تأثّر فيبوناتشي في هذا الكتاب بالفترة التي قضاها في العالم الإسلامي، ومما يدلّ على ذلك قيامُه بتحرير جزء من الكتاب من اليمين إلى اليسار. وبنشر هذا الكتاب قام فيبوناتشي بتعريف الأوروبيين بنظام الحساب العربي. لقد كان هذا النظام يفوق بمراحل النظام الروماني المعتمد آنذاك في أوروبا، وقد أدرك فيبوناتشي هذا التفوّق جيدا. مع ذلك واجه هذا النظام عنتًا شديدًا قبل أن ينتشر بصورة مذهلة.

3. مؤلفاتـه

عاد فيبوناتشي في سنة 1200 إلى وطنه الأم إيطاليا، وإلى مدينته بيزا، وهناك ألّف كتبه الأربعة التي اشتهرت فيما بعد، حيث نقل وأحيا من خلال هذه الكتب الرياضيات القديمة، وأضاف إليها من علمه الشيء الكثير. علمًا أن فيبوناتشي عاش في فترة زمنية لم تكن فيها الطباعة قد اكتشفت بعد، لهذا كان يخطّ كتبَه باليد، والطريقة الوحيدة لنسخ الكتب كانت عبر إعادة كتابتها مرة أخرى.

نشر ليوناردو كتابًا في عام 1225، تحت عنوان Practica Geometriae متأثرا فيه بالرياضيات اليونانية. وقد تضمّن هذا الكتاب نظريات مبنية على ما جاء في كتاب **الأصول** لأقليدس (Euclid). وفي كتاب Flos يُظهر فيبوناتشي براعته في حل معادلات جبرية من الدرجات الأعلى من الدرجة الثانية. وهو يُعدّ بحق من خبراء الجبر والعمليات الحسابية العملية في القرن الثالث عشر.

4. كتاب ليبر أباتشي (1202)

ذكر فيبوناتشي في كتاب **ليبر أباتشي** أنه تعلم في مدرسة في بجاية، ولأول مرة الأرقام العربية التسعة (وهي في الأصل هندية) من خلال مدرّسين متميّزين يملكون معرفة كبيرة بهذا العلم. الأمرُ الذي أسعده وسلب لبّه وجعله شغوفا بالرياضيات حتى أنه وجد فيها سعادته أكثر من أي شيء آخر. ومن الواضح في هذا الكتاب تأثّره بالثقافة العربية، وذلك لأنه كتب الكثير من الأعداد من اليمين إلى اليسار على عادة العرب في الكتابة.

في الفصل الأول من هذا الكتاب قدّم فيبوناتشي الأرقام الهندية-العربية، من خلال النظام العشري الذي يعتمد على الأرقام العشرة: من الصفر حتى الرقم تسعة، والتي عُرفت بشكل واسع تحت اسم نظام العدّ العربي أو العشري. ومن المؤكد أنّ الكثير من القضايا والمسائل التي ناقشها في هذا الفصل، كانت مشابهة لتلك التي عُرضت في المصادر العربية.

يبدأ الفصلَ الأول من الكتاب بالجملة التالية: "هذه هي الأرقام الهندية التسعة: 1، 2، 3، 4، 5، 6، 7، 8، 9 ومع هذه الأرقام التسعة، ومع الرمز 0 (صفر) وهو عربي، يمكن كتابة ووصف أي عدد. وترجع أهمية هذا الأمر إلى صعوبة

استخدام الأرقام الرومانية في العد والحساب لأنها طويلة وتزيد من صعوبة الأمر، هذا إذا علمنا أنّ الرياضيات تحتاج ولا شك إلى قدرات خاصة لا تتوفر لدى الكثيرين".

في الفصل الثاني من الكتاب، ناقش فيبوناتشي الكثير من المسائل التي كانت تهمّ تجار بيزا، مثل أسعار البضائع، طريقة حساب أرباح العمليات التجارية، وكيفية تحويل العملات المستخدمة في دول البحر المتوسط.

في الفصل الثالث، قام بحلّ الكثير من المسائل الرياضية، إلا أنّ أشهرها مسألةٌ كانت السبيل إلى اكتشاف ما أصبح يُسمّى فيما بعد بأعداد فيبوناتشي، وهي السبب في شهرته لدى كثير من الناس، حيث أصبح يُعدّ من أعظم علماء الرياضيات الغربيين في القرون الوسطى.

4. أين نجد أعداد فيبوناتشي في الرياضيات؟

تظهر أعداد فيبوناتشي على شكل مجاميع في مثلث باسكال (Pascal) للأعداد الواقعة على أقطار مائلة.

أعداد فيبوناتشي هي مجاميع للأقطار المائلة السطحية المبينة باللون الأحمر في مثلث باسكال

كما تظهر أعداد فيبوناتشي أيضا جوابًا عن معضلة معروفة في التحليل التوافقي: كم عدد طرق كتابة عددٍ ما، وليكن n، على شكل مجموع مرتب لأعداد شرط أن يتم اختيارها من بين الواحد والاثنين. الجواب هو F_{n+1}. على سبيل المثال، إذا كان n يساوي خمسة، فإنّ

$$F_{n+1} = F_6 = 8.$$

5 = 1+1+1+1+1 = 1+1+1+2 = 1+1+2+1 = 1+2+1+1 = 2+1+1+1 = 2+2+1 = 2+1+2 = 1+2+2.

تَمَكَّن عالم الرياضيات الروسي يوري ماتياسفيتش (Yuri Matiyasevich) من إثبات أنّ أعداد فيبوناتشي يمكن أن تعرّف بمعادلة ديوفانتية، وفتح له ذلك باب إثبات معضلة هيلبرت العاشرة.

كما أنّ متتالية فيبوناتشي هي مثال عن المتتاليات الكاملة. هذا يعني أنّ كل عدد صحيح طبيعي يمكن أن يُكتب على شكل مجموع لأعداد فيبوناتشي بدون استعمال هذه الأعداد أكثر من مرة واحدة.

5. هل هنالك معادلة سحرية للكون؟

ربما لا، ولكن هنالك بعض الأمور الشائعة جدًا التي نجدها مرارًا وتكرارًا في العالم الطبيعي من حولنا. مثلًا أعداد فيبوناتشي تعكس أنماطًا مختلفة موجودة في الطبيعة، من مخروط الصنوبر إلى منحنى صدَفة نوتيلوس إلى انحناء الأعاصير. ومن المحتمل أنّ البشر قد عرفوا هذا التسلسل العددي منذ آلاف السنين، فيمكن العثور عليه في النصوص السنسكريتية القديمة، ولكنه ارتبط بهوس رجلٍ بالأرانب.

6. هوس رجلٍ من العصور الوسطى بالأرانب!

في عام 1202، طرح فيبوناتشي في كتابه **ليبر أباتشي** السؤال التالي: كم عدد أزواج الأرانب التي يمكن إنتاجها من زوج واحد من الأرانب في عام واحد، في ظروف مثالية؟ تقتضي هذه التجربة الفكرية أن تلد إناث الأرانب دائمًا أزواجًا، ويتكوّن كل زوج من ذكر واحد وأنثى واحدة.

وبالتفكير في الأمر: يوضَع زوجٌ من الأرانب حديث الولادة في ساحة مُسيّجة ويُترك ليتكاثر، مع الأخذ في الحسبان أنّ الأرانب لا يمكنها التكاثر حتى يبلغ عمرها شهرًا واحدًا على الأقل. لذلك سيكون لدينا زوجٌ واحد في الشهر الأول، ثم تلد الأنثى في نهاية الشهر الثاني، ونحصل على زوجين من الأرانب. وعندما يأتي الشهر الثالث، يُنتج الزوج الأصلي من الأرانب زوجًا آخر من الأرانب حديثة الولادة، بينما ينمو نسلهم السابق فيَصِل إلى مرحلة البلوغ، وهذا سيترك ثلاثة أزواج من الأرانب، اثنان منها سينجبان زوجين آخرين في الشهر التالي.

لنفترض أنّ الأُنثى لدينا تلد زوجًا جديدًا كلّ شهر (ذكر وأنثى) بدءًا من الشهر الثاني وصاعدًا. السؤال الذي طرحه فيبوناتشي هو كم زوجًا سيكون لدينا بعد عام واحد؟

- في نهاية الشهر الأول يتزاوجان لكن مازال هناك زوج واحد فقط.
- في نهاية الشهر الثاني تلدُ الأنثى زوجًا جديدًا، وبالتالي يكون لدينا زوجان من الأرانب الآن.
- في نهاية الشهر الثالث تلد الأنثى الأم زوجًا آخر ليصبح لدينا بالمجمل ثلاثة أزواج.
- في نهاية الشهر الرابع تلد الأنثى الأم زوجًا جديدًا والأنثى التي وُلدت منذ شهرين تلد زوجها الأوّل أيضا، ليكون لدينا خمسة أزواج.

لنتخيل الآن أنّ لدينا X_n زوجًا من الأرانب. بعد n شهر فإنّ عدد الأزواج في الشهر $n+1$ سيكون X_n (في هذه المسألة الأرانب لا تموت) بالإضافة إلى الأزواج الجديدة التي ستولد. ولكن الأزواج التي ستلد هي فقط الأزواج التي عمرها شهر على الأقل وبالتالي سيكون لدينا على الأقل X_{n-1} زوج. وبالتّالي لدينا

$$X_{n+1}=X_n+X_{n-1}$$

والتي هي ببساطة القاعدة الأساسية لتوليد أعداد فيبوناتشي: اجمع آخر عددين لتحصل على العدد التالي. وبمتابعة ذلك ستجد أنه بعد 12 شهرًا (سنة) سيكون لديك 233 زوجا من الأرانب.

7. النحل أفضل

في مستعمرات النحل يوجد أنثى واحدة مميزة فقط تُسمّى الملكة، وباقي الإناث عاملات فقط، وعلى عكس النحلة الملكة فالنحلات الأخرى لا تنتج بيضًا. وذكور النحل لا تقوم بأي عمل وتسمّى بالنحل الكسول. تتم ولادة ذكور النحل من البيوض غير الملقحة، ولذلك فإنّ الذكور لها أم ولكن ليس لها أب. وكل الإناث تتم ولادتها عندما تتناسل الملكة مع ذكر وبالتالي يكون لها أب وأم.

الإناث غالبًا ما ينتهي الأمر بها إلى عاملات، ولكن بعضها الآخر يتغذى بمادة خاصة تُسمّى الهلام الملكي والذي سيجعلها ملكات، فتنطلق لبدء مستعمرة جديدة عندما تشكل أسرابًا. وتغادر منزلها (الخليّة) باحثةً عن مكان جديد لبناء عشّ جديد.

لِنُلْقِ نظرةً على شجرة العائلة لذكر النحل التي نُعبّر عنها بأعداد فيبوناتشي:

- لديه أم فقط.
- لديه جدّان بما أنّ أمه كان لديها أب وأم أيضًا، ولديه ثلاثة آباء لأجداده حيث جدته لديها أب وأم وجده لديه أم فقط. كم لديه جد لأجداده؟

8. أعداد فيبوناتشي مجدّدًا

1.8. النباتات

تعبّر بعض النباتات عن تسلسل فيبوناتشي في أماكن نموها. ففي الأماكن التي تتشكّل فيها أغصان الأشجار أو تنقسم، ينمو جذعٌ واحد حتى ينتج فرعًا، ما ينتج عنه نقطتا نمو، ومن ثم يُنتج الجذع الرئيسي فرعًا آخر، فيعطي بذلك ثلاثة نقاط نمو. ثم يُنتج الجذع والفرع الأول نقطتي نمو إضافيتين، وبذلك يصل المجموع إلى خمسة نقاط. ويستمر هذا النمط من النمو متبعًا متتالية فيبوناتشي.

إضافة إلى ذلك، إذا قمت بحساب عدد البتلات في زهرة ما، فغالبًا ما ستجد العدد الإجماليّ هو أحد حدود متتالية فيبوناتشي. مثلًا، يكون لزهر الزنبق والقزحية (السوسن) ثلاث بتلات، أما الحوذان والورود البرية فلديها خمس بتلات، وللدلفينيوم ثماني بتلات، إلخ.

ورغم أنّ بعض بذور النباتات والبتلات والفروع وما إلى ذلك، تتبع متتالية فيبوناتشي، فهذا بالتأكيد لا يعني أنّ نموّ كل الأشياء في العالم الطبيعي يتبع متتالية فيبوناتشي. وإمكانية تطبيق سلسلة من الأعداد على كائن ما لا يعني بالضرورة ارتباط هذه الأعداد بالواقع، كما هو الحال مع الخرافات العددية، مثل موت المشاهير في مجموعات ثلاثية. إذ في بعض الأحيان لا يتعدى الأمر كونه صدفة.

وقد يجادل بعضهم بأنّ الاعتقاد بانتشار أعداد فيبوناتشي في الطبيعة مبالغٌ فيه، لكنها تظهر بما يكفي لإثبات أنها تعكس بعض الأنماط التي تحدث بصورة طبيعية. ويمكن اكتشاف هذا بملاحظة الطريقة التي تنمو بها النباتات المختلفة. ومن الأمثلة على ذلك: رؤوس البذور وأكواز الصنوبر والفواكه والخضراوات. وبالنظر إلى مجموعة البذور الموجودة في وسط زهرة عباد الشمس مثلا، ستلاحظ ما يشبه الأنماط الحلزونية المنحنية إلى اليسار واليمين بصورة مثيرة للدهشة. وإذا قمت بحساب هذه اللوالب، فستحصل على متتالية فيبوناتشي. قسّم اللوالب يسارًا ويمينًا وستحصل على متتاليين. وعند فك رموز الأنماط الحلزونية في أكواز الصنوبر والأناناس والقرنبيط سوف تعكس أيضًا متتالية فيبوناتشي بهذه الطريقة.

2.8. العواصف

غالبًا ما تتبع أنظمة الأعاصير والعواصف الرعدية متتالية فيبوناتشي. ويمكن اكتشاف هذا بالتحقق من نسب فيبوناتشي الواضحة عندما يتصاعد الإعصار على شاشة رادار الطقس.

3.8. الجسم البشري

ألق نظرةً فاحصة على نفسك في المرآة. ستلاحظ أنّ معظم أجزاء جسمك تتبع الأعداد: واحد واثنان وثلاثة وخمسة. لديك أنفٌ واحدٌ وعينان وثلاثة أجزاء لكل طرف وخمسة أصابع في كل يد. ويمكن أيضًا تقسيم نسب جسم

الإنسان وقياساته وفقًا للنسبة الذهبية. وتتبع جزيئات الحمض النووي هذا التسلسل، إذ تقاس بـ 34 أنجستروم طولًا و21 أنجستروم عرضًا لكل دورة كاملة من الالتفاف المزدوج.

9. لماذا تعكس العديد من الأنماط الطبيعية متتالية فيبوناتشي؟

فكّر العلماء في هذا السؤال لمئات السنين، إذ أن هذا الانعكاس قد يكون في بعض الحالات صدفة فقط. وقد تتواجد النسبة الذهبية في حالات أخرى لأن نمط النمو هذا تطوّر لكونه الأكثر فاعلية، كأن تتعرض أوراق النباتات الجائعة في اتباعه لأقصى تعرض للضوء أو أقصى ترتيب للبذور.

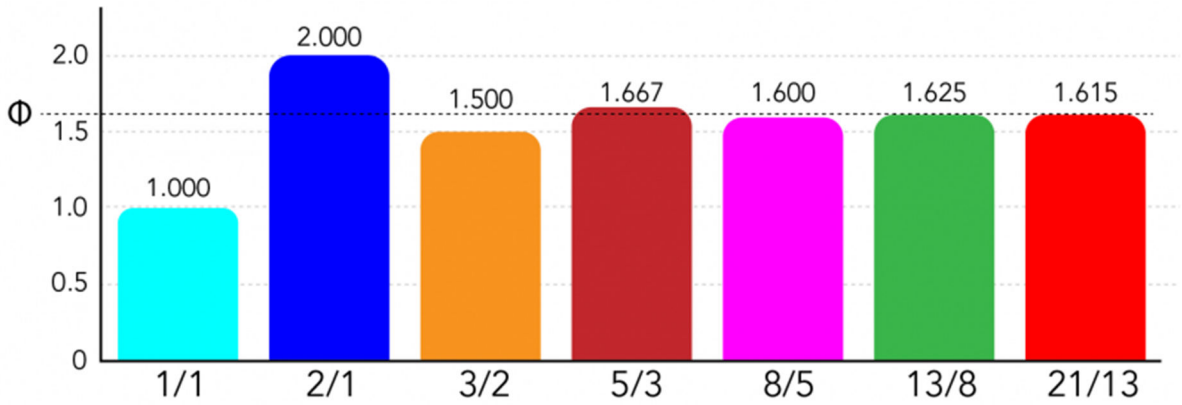
وهنالك وضوح أقل فيما إذا كانت متتالية فيبوناتشي متواجدة في الفن والعمارة، إذ رغم أنّ بعض الكتب تذكر أنّ الهرم الأكبر، والبارثينون، إضافة إلى بعض لوحات ليوناردو دافنشي، صُممت باستخدام متتالية فيبوناتشي والنسبة الذهبية، إلّا أن هذه الفرضية دُحضت عند الاختبار.

****

0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1 597, 2 584, 4 181, ...

متتالية فيبوناتشي التي تنطلق من العدد 0.

****



لاحظ في البيان أن قسمة عنصر من متتالية فيبوناتشي على العنصر الذي يليه من نفس المتتالية فإن النسبة تقترب من الخط الأفقي المتقطع، وهذه القيمة هي النسبة الذهبية !

شخصية العدد

محند موساوي (1947-2023)

قدوة للرياضياتي المتعاون

محند موساوي خلال ملتقى بتيبازا عام 2010

ولد محند أرزقي موساوي يوم 12 جانفي 1947 في بلدية شميني (دائرة سيدي عيش، ولاية بجاية، الجزائر). وتوفي يوم 6 نوفمبر 2023 بمدينة ليون (فرنسا) بعد مرض عضال وبعد وفاة زوجته بشهرين. وقد زاول معظم دراسته في العاصمة فحصل على البكالوريا عام 1965، وعلى الليسانس في الرياضيات من جامعة الجزائر عام 1968، ثم على دبلوم الدراسات المعمقة عام 1969. وبعد أدائه الخدمة الوطنية آنذاك عاد إلى الجامعة، كمعيد، وشرع في نفس الوقت في إعداد دكتوراه الدور الثالث التي نالها في عام 1973.

انتقل بعد ذلك إلى جامعة نيس Nice (فرنسا) لتحضير دكتوراه الدولة في حقل المعادلات التفاضلية الجزئية متخصصا في ما يعرف بالمسائل الحدية في الساحات غير الملساء. أما اختصاصه الواسع فهو التحليل الدالي والعددي والمعادلات التفاضلية الجزئية. وهكذا تحصل على هذه الشهادة عام 1977، والتحق بعدها بجامعة العلوم والتكنولوجيا هواري بومدين (الجزائر العاصمة) فأبلى فيها البلاء الحسن بالإشراف على طلبة الماجستير والدكتوراه وتسيير شؤون معهد الرياضيات حيث كان من أنشط أساتذة الرياضيات الذين عرفهم المعهد وقتئذ.

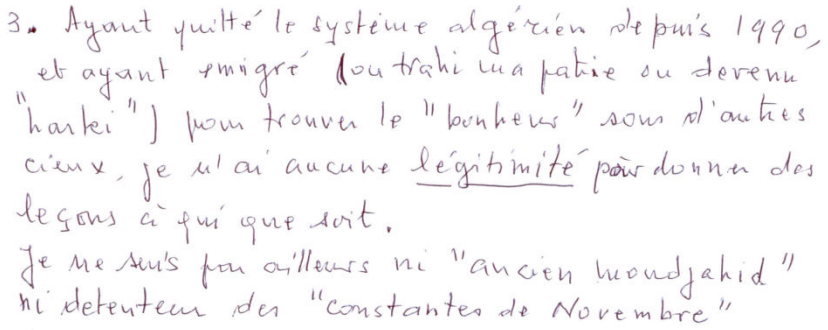
وقد غاب عن هذه الجامعة خلال سنتين جامعيتين إذ كان أستاذا بجامعة رين Rennes (خلال 1984-1985) وجامعة بوردو Bordeaux (خلال 1988-1989) الفرنسيتين. وفي عام 1990 رحل نهائيا إلى فرنسا والتحق بالمدرسة العليا للأساتذة بمدينة ليون Lyon خلال 3 سنوات، استقر بعدها في المدرسة المركزية بليون (Ecole Centrale de Lyon) حتى عام 2011.

ففي تلك السنة أحيل على المعاش. ومن ثم فضل الالتحاق بمخبر المعادلات التفاضلية الجزئية بالمدرسة العليا للأساتذة-القبة حتى سنة وفاته. ولا نستبعد أن يكون اختياره العودة إلى مدرسة القبة، بدل مؤسسة أخرى في الجزائر، هو حنينه إلى المدرسة التي احتضنته خلال 4 سنوات كأحد خريجيها عام 1969. وفضلا عن التدريس، أشرف محند على نحو 20 مذكرة ماجستير وأطروحة دكتوراه معظمها لطلبة جزائريين. أما في مجال البحث العلمي فلم ينقطع عنه أبدا منذ مطلع

سبعينيات القرن العشرين إلى سنة وفاته. وهكذا بلغ عدد منشوراته 46 بحثا بين 1974 و 2022، دون أن ننسى مشاركاته الدائمة في الملتقيات الخاصة بالرياضيات في الداخل والخارج.

خلال حفل تكريمه بالمدرسة المركزية (ليون) بمناسبة إحالته على التقاعد عام 2011

وكنبذة عن أفكار المرحوم حول الجامعة الجزائرية نستقي عينة من إجاباته عن الأسئلة التي طرحتها عليه الأستاذة زينب عزوز (جامعة قسنطينة 1) في جوان 2011 تخص الجامعة والبحث العلمي فأجابها بصراحته المعهودة في 7 صفحات. وقد استهل جملة إجاباته قائلا: "لقد غادرت النظام الجزائري منذ 1990 [وهي السنة التي رحل فيها نهائيا إلى فرنسا]، وبما أني هاجرت (أو خُنت وطني أو أصبحتُ "حرْكِيا") بحثا عن "السعادة" تحت سماء آخر فليس لي أي شرعية لتقديم الدروس لأي كان. ومن جهة أخرى، فأنا لست من "قدماء المجاهدين" ولا متملّكا لـ"ثوابت نوفمبر".


3. Ayant quitté le système algérien depuis 1990, et ayant émigré (ou trahi ma patrie ou devenu "harki") pour trouver le "bonheur" sous d'autres cieux, je n'ai aucune légitimité pour donner des leçons à qui que soit.
Je ne suis par ailleurs ni "ancien moudjahid" ni détenteur des "constantes de Novembre"

فقرة من مخطوطة الرسالة التي وجهها الفقيد في جوان 2011 إلى الأستاذة زينب عزوز ردًا على أسئلتها

وحول المدارس التحضيرية والمدارس الوطنية العليا التي فتحت أبوابها آنذاك، كان جوابه: "قبل سنتين، عند الانطلاق الكارثي "للمدارس التحضيرية" الذائعة الصيت و"للمدارس العليا"، وبعد الأصداء التي بلغتني منها هذه السنة، فكرت أن أكتب بعض السطور حول هذا الموضوع. لقد تألّمت من كيفية معالجة هذه القضية، وتألّمت أكثر من طريقة التكفل بنخبة الحاصلين على البكالوريا. لم أعقب أيضا لأنه لم يكن ممكنا أن أشرح دون 'قذف'، ودون التساؤل عن الأسباب التي جعلت 'قادتنا' ينقلون [إلى الجزائر] هذا النموذج الفرنسي الوحيد في العالم. لو كتبتُ لكان التأويل الوحيد الذي سيخطر على البال هو أنني أريد إعادة "تموضعي" في النظام الجزائري منتهزا الفرصة السانحة".

وفي سياق حديثه عن الجامعة، قال: "حتى يكون هناك 'إقلاع' حقيقي لابد من وجود 'سلطة' و'سلطة مضادة'، وأن تكون لكل منهما قاعدة [شعبية] ومشروع وآفاق. ذلك أن حرية التعبير والمبادرة والشفافية لا تكون مفيدة إلا إذا تمت ممارستها باعتدال وإدراك وبدون خلفيات انتهازية أو طمعٍ في امتيازات مادية شخصية. يتعلق الأمر هنا بثورة في الذهنيات لا تقوم على العنف، بل على صحوة ضمير الفرد والجماعة تخص 'ثمن' أو 'قيمة' المصداقية والدور الاجتماعي للأستاذ الباحث".

وعن السؤال: هل يمكن القيام بالبحث العلمي في بلادنا؟" كان جوابه: نعم هذا ممكن. وهذا من حسن حظنا! هذا السؤال يبدو لي وجيها. فحتى الأرض الجرداء يمكن أن تثمر شريطة أن نعرف كيف نفلحها".

وقبل أن نترك المجال لزملاء وأصدقاء المرحوم للإدلاء بشهاداتهم، نورد ما جاء في مقال صادر عام 2008 حول تاريخ "قسم الرياضيات والمعلوماتية" بالمؤسسة التي اشتغل فيها محند مدة تناهز 18 سنة بمدينة ليون، وهي المدرسة المركزية بليون السابقة الذكر. وردت الفقرة التالية في المقال بقلم كاتبيْه جون فرانسوا ميتر Jean-François Maitre وكريستيان فيال Christian Vial: "في سنة 1993، استفاد المخبر من إحداث منصب أستاذ ثالث فاز به محند موساوي، القادم من المدرسة العليا للأساتذة بليون، وهذا بعد تجربته الطويلة كأستاذ بجامعة الجزائر العاصمة؛ وهو متخصص معترف به في مجال تفرّدات حلول المسائل الحدية التي تخضع للمعادلات التفاضلية الجزئية. فوجوده زاد من إثراء فرع تحليل المعادلات التفاضلية الجزئية في المخبر وفريق المركز القومي الفرنسي للبحث العلمي (CNRS). كما يدعم التعاون مع المخابر الأخرى بمؤسستنا، لا سيما مع مركز ليون للهندسة الكهربائية (CEGELY.25)، وبوجه خاص مشروع ماكسويل "Maxwell" (https://histoire.ec-lyon.fr/index.php?id=857).

ولعل القارئ يريد الاستماع إلى إحدى محاضرات المرحوم ألقاها خلال ملتقى في المعادلات التفاضلية العادية والمعادلات التفاضلية المجردة بجامعة بجاية عام 2015؛ هذا هو رابط الفيديو
https://webtv.univ-bejaia.dz/index.php/2015/05/cours-du-pr-moussaoui-mohand-universite-de-lyon-2/

رحم الله الفقيد.

أبو بكر خالد سعد الله

أمام مقر مخبر المعادلات التفاضلية الجزئية بالمدرسة العليا للأساتذة-القبة، عام 2012

شهادات بعض زملائه حول مسيرته العلمية

جمال الدين تنيو (متقاعد)، أستاذ الرياضيات بجامعة باب الزوار سابقا

عرفت محند خلال العام الدراسي 1966/1965. كنا آنذاك مسجلين في السنة الأولى الجامعية في ما كان يعرف بفرع "MGP" (الرياضيات العامة والفيزياء). غير أن محند كان طالبا بالمدرسة العليا للأساتذة-القبة، بينما كنتُ مسجلا مباشرة في الجامعة. ومن ثمّ كان محند يسكن في إقامة المدرسة بالقبة، وأنا كنت في الحي الجامعي. أذكّر أن طلبة مدرسة القبة في ذلك الوقت كانوا يزاولون دراستهم في الجامعة مثل بقية الطلبة. والفرق بيننا وبينهم هو أنهم كانوا يستفيدون من بعض الدروس التكميلية الخاصة داخل المدرسة. كان عدد الطلبة منخفضا في هذا الفرع (ربما ناهز 80 طالبًا)، علما أن جامعة الجزائر العاصمة كانت وقتئذ الجامعة الوحيدة الموجودة في البلاد.

وخلال السنتين أو الثلاث سنوات الأولى، كنت أنا ومحند نتقابل أكثر مما كنا نقضي وقتًا طويلا مع بعضنا البعض لأن طلبة المدرسة العليا للأساتذة-القبة كانوا بصفة طبيعية يميلون إلى البقاء والتواصل فيما بينهم. وقد تضمنت السنة الثانية الجامعية بالنسبة إلينا (أي السنة الأولى لليسانس في المصطلح الجامعي آنذاك، إذ كانت السنة الجامعية الأولى تسمى "السنة التحضيرية") ثلاث شهادات إجبارية، منها واحدة في الفيزياء. أما السنة الثانية من الليسانس فتشمل شهادة إجبارية اسمها "الرياضيات 2" التي كانت شهادة دسمة، بالإضافة إلى شهادة اختيارية أخفّ منها نسبيًا.

نشير إلى أنه كانت هناك أربع شهادات اختيارية، هي شهادة "MMP" (الطرائق الرياضية في الفيزياء)، والتي اخترناها أنا ومحند وسجلنا فيها. وثمة أيضا شهادة "TMP" (التقنيات الرياضية في الفيزياء) يختارها الطلبة الراغبون في دراسة التحليل العددي. ومن الشهادات الاختيارية أيضا، شهادة الجبر وشهادة الاحتمالات. كان للطلبة حق التسجيل في شهادة ثالثة دعما لتكوين الطالب ولم تكن إلزامية لإنهاء دبلوم الليسانس في الرياضيات. فيما يخصني اخترت شهادة الجبر ولم يكن معي محند، ولا أدري ما إذا اختار شهادة أخرى.

كان يقف على الإشراف المتعاونون الأجانب بدعم من عدد قليل من المدرسين الجزائريين يقدمون حصص الأعمال الموجهة. وكان معظم هؤلاء المتعاونين وافدين من فرنسا (وهم من يطلق عليهم "فيسنا" "VSNA"، أي فئة الشباب الفرنسي خريجي الجامعات الذين كانت لديهم إمكانية اختيار قضاء خدمتهم العسكرية بالصيغة مدنية، وذلك بالقدوم إلى الجزائر للتدريس في الجامعة). أما بقية المتعاونين فجلهم أتى من الاتحاد السوفيتي.

حصلت أنا ومحند على شهادة الليسانس في جوان 1968. وكان محند خلال مشواره الدراسي طالبًا ممتازًا، وهو أيضًا الوحيد -من بين طلبة قسم الرياضيات المنتسبين إلى المدرسة العليا للأساتذة- الذي واصل دراسته العليا.

التحقنا، أنا ومحند، بالدراسات العليا، دبلوم الدراسات المعمقة (DEA)، الذي كان نصفه يتناول المعادلات التفاضلية الجزئية، بينما خصص نصفه الثاني للاحتمالات. وحسب ما أذكر، كنا سبعة طلبة مسجلين في هذا الدبلوم، وهو الوحيد الذي فتح في تلك السنة الجامعية (1968-1969). وكان "الأساتذة المتعاونون"، كما يُطلق عليهم وقتئذ، في أغلب الحالات من الأساتذة المتميزين. ولسوء الحظ، فهم لا يقيمون في الجزائر سوى سنتين أو ثلاث سنوات على الأكثر ثم يغادرون؛ مما جعل توفير التدريس الفعّال بعد التخرج من الصعوبة بمكان. ثم إنه لا يُفتح سوى تخصص واحد كل سنة، وهذا التخصص يتغير من سنة إلى أخرى. أما اختياره فيعتمد على تخصصات الأساتذة الذين يعملون بجامعة الجزائر.

وفي تلك السنة، كان يشرف على جزء المعادلات التفاضلية الجزئية أستاذ من فئة "فيسنا"، هو بوتي دي مونفيل Boutet de Monvel (1941-2014) (الذي أصبح لاحقًا عضوًا في مجموعة بورباكي Bourbaki الشهيرة)، والأستاذ الروسي كارين Karine، وهو أيضًا كان أستاذا ممتازا. أما شقّ الاحتمالات فأشرف عليه عضو آخر من فئة "فيسنا" هو الأستاذ بوليكو Boulicaut؛ وقد ساعده في أداء مهمته ثلاثة أساتذة فرنسيين أتوا الواحد تلو الآخر لقضاء فترات قصيرة في جامعة الجزائر لتقديم دروس في الاحتمالات بتنسيق من قبل الأستاذ بوليكو.

ولذلك نرى أن اختيارنا لتخصص المعادلات التفاضلية الجزئية كان تقريبا مفروضا علينا، وليس من باب التفضيل في ذلك الوقت. ورغم هذا، لم أندم ولم يندم محند على هذا التخصص! نشير في هذا السياق إلى أن الطلبة الذين لم يدرسوا شهادة الاحتمالات (التي كانت خيارية) في الليسانس قد واجهوا صعوبات في متابعة دروس الاحتمالات خلال إعداد دبلوم الدراسات المعمقة. بالنسبة ليَّ تابعت دروس هذه الشهادة في الوقت الذي كنت مسجلا في الدبلوم السالف الذكر، ولا أذكر هل محند تابعها أم لا.

بعد نيل دبلوم الدراسات المعمقة، وبينما التحقت بجامعة نيس (فرنسا) لإعداد دكتوراه الدور الثالث، غادر محند جامعة الجزائر لأداء الخدمة الوطنية. كان ذلك في أكتوبر 1969. وبعد الأشهر الستة التي قضاها محند في الأكاديمية العسكرية بشرشال (علما أنه تزوج أثناء تلك الفترة)، تم نقله لاستكمال مشاوره في الخدمة الوطنية إلى ثانوية بباتنة، حيث ظل هناك حتى صيف 1971.

وعقب حصولي على شهادة دكتوراه الدور الثالث في أكتوبر 1971، عدت مباشرة إلى جامعة الجزائر، فتزامنت عودتي مع عودة محند إثر انتهائه للتو من أداء الخدمة الوطنية. ما قد يبدو من المفارقات هو أنه عندما قَلَّت اتصالاتنا زادت صداقتنا أكثر فأكثر. فعند عودة محند من الخدمة الوطنية وعودتي من جامعة نيس، وجدنا أنفسنا ندرّس معا في قسم الرياضيات بكلية العلوم في جامعة الجزائر. كنت حينها عازبًا وكان محند متزوجًا، وهكذا كان كثيرًا ما يدعوني لتناول الغداء في بيته إذ لم يكن يقيم بعيدًا عن الجامعة.

كان الأستاذ بيير غريسفارد Pierre Grisvard (1940-1994) آنذاك قد أمدّ محند بموضوع أطروحة دكتوراه الدور الثالث. وبما أن الأستاذ غريسفارد قضى السنة الجامعية 1972-1973 بجامعة الجزائر، فقد أتاح بذلك الفرصة لمحند كي يستكمل إعداد أطروحته ومناقشتها وهو قريب من المشرف على عمله. وهذا ما سمح له أيضًا بالالتحاق بجامعة نيس لإعداد دكتوراه الدولة في نفس الوقت (سبتمبر 1973) الذي عاد فيه بيير غريسفارد إلى نفس الجامعة. وهناك كانت لمحند علاقة صداقة متينة مع الزميل قدور لمرابط الذي أترك له الكلمة لمواصلة الحديث عن ذكرياته معه خلال تلك الفترة.

قدور لمرابط (متقاعد)، أستاذ الرياضيات بجامعة باب الزوار سابقا

رحيل المتلازميْن

1) مقدمة

لقد فقدت الأسرة الرياضياتية عالما كبيرا في شخص الراحل محند أرزقي موساوي الذي قدم خدمات جليلة للجامعة الجزائرية. وإثر رحيله، أراد أ.خ. سعد الله أن يشيد بمناقبه من خلال تقديمه كشخصية عدد أفريل 2024 لمجلة "بشائر العلوم" التي تصدرها المدرسة العليا للأساتذة-القبة. وفي هذا السياق، طلب التعاون من بعض الزملاء الذين عرفوا، وكلف كل واحد بالتسلسل بمهمة محددة [تغطي المراحل المتعاقبة لحياة المرحوم]. وطلب مني أن أغطي الفترة 1973-1976 الموافقة للمرحلة التي قضيناها معا كطلبة في جامعة نيس Nice (فرنسا).

ولذلك سأتحدث عن هذه الفترة، ولكنني لن أقتصر على هذه الحدود الزمنية بل سأخترق تلك الحدود قليلا. شهادتي تحمل نصيبا من التغني والعاطفة، إذ لا أستطيع أن أتحدث عن محند بدون الحديث عن زوجته لويزة (1949-2023). إن حشو الكلام الذي سأستعرضه هنا كلام يعكس ذكريات ومشاعر: لقد فقدت صديقين!

2) البداية

في وقت مبكر من صباح يوم 6 نوفمبر 2023، فقدت أسرة الرياضيات عالما من علمائها في شخص شاب يبلغ من العمر 76 عامًا: إنه محند أرزقي موساوي. "قبل لحظة واحدة من وفاته، كان على قيد الحياة".

عندما لا يكون متعبا (فالمرض الذي لا يحب الجزائريون النطق باسمه كان يقضّ مضجعه)، لا يتوانى أبدا عن الرد على الأسئلة التي يوجهها له شريف عمروش أو أ.خ. سعدالله حول ملوسة حلول المسائل الحدية في الساحات غير الملساء (متعددات السطوح أو المضلعات).

كان الزميل عيسى عيبش (جامعة سطيف 1) في بيتي بالعاصمة -قبل مغادرته إلى جامعة أدرار من أجل افتتاح الطبعة 12 لملتقى التحليل الرياضي وتطبيقاته (RAMA12)- عندما اتصل به شريف عمروش (من فرنسا) ليعلن وفاة محند.

لقد كان [محند] في عجلة من أمره ليعيد الربط بين الزوج والزوجة المتلازمين: زوجته لويزة مدني (والدها علي مدني كان معروفا لدى الجزائريين من خلال برنامجه الخاص بتعلم اللغة العربية عبر الإذاعة) رحلت عنا قبل شهرين.

3) أدرار

في 9 نوفمبر 2023 افتتحت الطبعة 12 لملتقى التحليل الرياضي وتطبيقاته بأدرار. وقد ترأست الجلسة الصباحية من اليوم الأول للملتقى، وأعلن الأستاذ شريف عمروش في بداية محاضرته عن وفاة الراحل موساوي، وعرض العمل

المشترك الذي أنجزاه معًا. لقد استغللت هذه السانحة لأشيد بخصال الزوجين موساوي، وذلك بعرض النص التالي على شاشة القاعة مرفوقا بالصورة الحديثة أدناه للزوجين:

الرحيل الكبير للمتلازمين

أراد الرحيل قبلها
لكن القدر لم يستجب.
لويزة حلّقت قبله،
هذه الشمس لم تمت.
دفء هذه الشمس لا زال يصل قلوبنا.
إنها توجهنا في الظلمات.
فتحي وصافي أحاطا بأبيهما محند.
ستّون يومًا من الفراق وضعٌ لا يطاق.
كانت دعوة لَمِّ الشمل أقوى.
وتجدد لقاء المتلازمين.
إنهما يحلّقان معًا فوق رؤوسنا.
إنه ظل موهِن ...

4) اللقاء

التقيت محند أرزقي موساوي سنة 1972 في قسم الرياضيات بكلية العلوم (الجزائر العاصمة) حيث كنت مسجلا في دبلوم الدراسات المعمقة (فرع التحليل الدالي) الذي كان يشرف عليه غريسفارد Grisvard وهودجكين Hodgkin. وكان غريسفارد يقوم أيضا بتدريس مقرر ر12 (المعادلات التفاضلية والحساب التفاضلي)، وكنت آنذاك معيدا شابًا. أما محند موساوي فكان يترجم دروس غريسفارد إلى اللغة العربية ويقدمها لطلبة للقسم المعرب الناشئ.

وفي تلك السنة ناقش محند موساوي دكتوراه الدور الثالث تحت إشراف بيير غريسفارد (حول تفرّدات المسألة الحدية لنيومان Neumann الخاصة بمؤثر لابلاس Laplace في المضلعات).

5) نيس

في 7 أكتوبر 1973، وجدت مجددا الزوجين المتلازمين في جامعة نيس. كنا مبتعثين (لمدة ثلاث سنوات) لإعداد الدكتوراه (أنا: دكتوراه الدور الثالث في الرياضيات، ولويزة: دكتوراه الدور الثالث في اللسانيات، ومحند: دكتوراه الدولة في الرياضيات).

وقد شكلنا مع السعيد بن عاشور (كان يعمل كمعيد في جامعة نيس)، وأ.خ. سعد الله، ومحمد السعيد مولاي، وفرحات معيزة (1948-2022) -الذين كانوا هم أيضًا حائزين على منحة دراسية لإعداد دكتوراه الدور الثالث في الرياضيات- شكّلنا فريقًا متماسكًا وتقاسمنا أحلامًا بمستقبل مشرق.

غالبًا ما كان يجمع هؤلاء جميعا طبقًا الشوربة والكسكسي اللذان كانت تعدّهما لويزة في بيت المتلازمين بشارع Cyrille Besset. وكان النقاش بين لويزة والسعيد بن عاشور غالبًا ما يحتدّ حول مكانة الحمص في الشوربة: كانت ضرورة وضع الحمص في "شوربة الفريك" عند لويزة (طبخ الجزائر العاصمة) يعتبره السعيد بن عاشور (طبخ الشرق الجزائري) بمثابة تدنيس للمقدسات!

6) لويزة وخالد

كانت لويزة تُعدّ آنذاك مذكّرة دبلوم الدراسات المعمقة في اللسانيات فاختارت اللهجة المنطوقة في قرية قمار (واد سوف) لتكون موضوع دراستها. ولذا غالبا ما كانت تقوم بالتسجيل الصوتي لـ أ. خ. سعد الله اعتمادا على سجلّ طويل من المفردات.

7) القهوة ولعبة "البيلوت" (لعبة الورق):

كنا نلتقي في كثير من الأحيان في غرفتي داخل الحي الجامعي "مونتيبلو" Montebello بعد الغداء، لتناول القهوة ولعب "البيلوت" الرباعية (كان محند قد درّب لويزة وخالد على أساسيات هذه اللعبة لاستكمال الفريق):

خالد: "آآآقطع"! لويزة: آه يا ماما! لقد "قطعني"!

8) مجموعات العمل في نيس

كان كبيرنا محند موساوي بالنسبة إلينا (نحن محمد السعيد مولاي، أبو بكر خالد سعد الله، قدور لمرابط) دليلا ومرجعا وسندا. وقد قمنا بتنظيم مجموعتي عمل أسبوعية.

- في 1974: حول كتاب

E. Stein: Singular Integrals and differentiability properties of functions

شارك في المجموعة كل من موساوي، جمال الدين تنيو، مولاي، سعد الله، لمرابط.

- في 1975: حول كتاب

J. Bear: Dynamics of fluids in porous Media

شارك في المجموعة كل من مرتن زيرنير Martin Zerner (1932-2017)، موساوي، مولاي، سعد الله، حمداش، لمرابط. وكان من المزمع أن تعزز هذه المجموعة مشروع "مخروط الماء" بجامعة الجزائر العاصمة التي تضم كل من الأساتذة عمار القلّي، حميد زياني (1948-2004)، يوسف عميرات، يوسف عتيق (1947-2022) مع ربط المشروع بشركة سوناطراك.

9) نيس جوان 1976

هو تاريخ مناقشة دكتوراه الدور الثالث (مولاي، سعد الله، لمرابط) ودكتوراه الدولة (بن عاشور). وعدنا جميعا إلى الجزائر على أمل إنشاء نواة مدرسة جزائرية للرياضيات في قسنطينة. لكن هذه الجامعة لم تستطع إيواءنا ففشل المشروع.

10) نيس جوان 1977

محند موساوي يناقش دكتوراه الدولة في نيس ولويزة مدني [زوجته] تناقش دكتوراه الدور الثالث في اللسانيات ويعودان إلى الجزائر العاصمة.

11) محند وكرة القدم

كان محند شغوفًا بكرة القدم. لذلك سألعب دور المتسلل لإبراز شهادات خارج الحدود الزمنية التي فُرضت علي في هذه الشهادة.

التسلل 1: عمل محند كثيرا في إدارة معهد الرياضيات بجامعة العلوم والتكنولوجيا هواري بومدين، لكن لويزة، الأديبة المختصة في اللسانيات والطاهية الماهرة عرفت كيف تجعله سعيدًا في خضم هذه المهام الناكرة للجميل.

التسلل 2 **(رحيل حميد زياني):** الوفاة المبكرة لصديقه حميد زياني (جامعة نانت Nantes) في عام 2004 أثرت في محند تأثيرا عميقا. وقد رافق محند جثمان زياني -الذي كان بالنسبة إليه بمثابة الشقيق (لم يكن لمحند إخوة)- إلى مثواه الأخير في قريته الأصلية واد أميزور (ولاية بجاية، الجزائر).

التسلل 3: أدار محند مناقشتي لرسالة دكتوراه الدولة بتاريخ 10 أبريل 1987 خلال شهر رمضان.

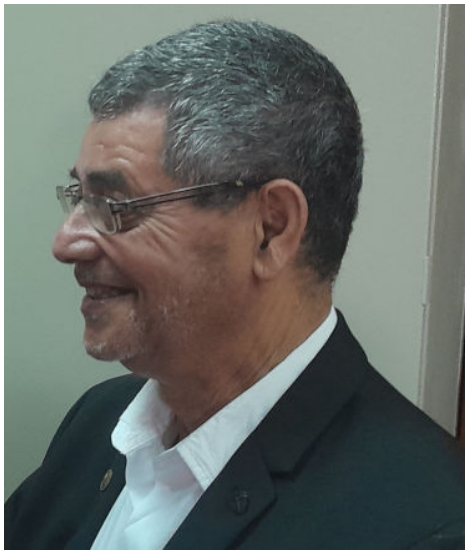
التسلل 4: من الخصال الحميدة لمحند تلك المتمثلة في تنظيم مجموعة عمل حول موضوع محدد كنا تبنيناه بجامعة نيس؛ وقد تمخضت عنها مجموعتَا عمل في عام 1990 حول قابلية التحكم الدقيق (من خلال كتاب جاك-لويس ليونس Lions)، ثم حول الميكانيكا (اعتمادا على كتاب بول جيرمان Germain).

التسلل 5 (كوفيد جوان 2020): يغادر المتلازمان الجزائر إلى فرنسا للالتحاق بولديهما. ومنذ ذلك الحين، صار الاتصال عبر "الواتساب" الوحيد الذي يجمعنا بانتظام...

فراغ هائل: محند نفسه هو الذي أعلن لي عن رحيل لويزة. والأصعب كان نشر خبر الفاجعة على مستوى الأصدقاء والزملاء. لقد "رأيت" بكاءً لا ينقطع على الهاتف؛ لكنني لم "أسمع" أي ابتسامة.

قليل هم زملاء محند الذين لم يعرفوا لويزة. إني أفتقدهما. بل نحن جميعا افتقدناهما...

خلال ملتقى في الرياضيات بورقلة عام 2016



محمد السعيد مولاي (متقاعد)، أستاذ الرياضيات بجامعة باب الزوار سابقا

محند، الأستاذ الباحث والمسؤول في جامعة باب الزوار

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله، أما بعد: في السنوات الأولى من السبعينيات من القرن الماضي، سمعت في قسم الرياضيات بجامعة الجزائر (الوسطى حاليا) حيث كنت طالبا، بتقدم مترشحيْن لمناقشة أطروحة دكتوراه الدور الثالث، على فترتين من الزمن متباينتين بينهما، أحدهما يدعى عبد النور شابور الذي حضرت مناقشته والآخر محند أرزقي موساوي الذي لم تتح لي الفرصة لمتابعة مناقشته. وقد عرفت هذا الأخير عن قرب لما سافرنا معا إلى مدينة نيس الفرنسية مع الزميلين قدور لمرابط وخالد سعد الله، بعضنا (أنا والزميلان) لأجل تحضير شهادة الدكتوراه -الدور الثالث، بينما كان غرض محند تحضير شهادة دكتوراه الدولة، وذلك تحت إشراف الأستاذ بيير غريزفارد لنا جميعا.

وبعد ثلاث سنوات من الدراسة عدت مع زميلايا إلى أرض الوطن والتحقت سنة 1976 بجامعة باب الزوار التي فتحت أبوابها سنتين قبل ذلك واحتضنت [جامعة باب الزوار] كلية العلوم التي كان مقرها بجامعة الجزائر العاصمة [الجزائر 1، حاليا]، ثم التحق محند سنة بعد ذلك بنفس الجامعة من بعد ما فرغ من الدراسة بجامعة نيس وحصوله على الشهادة التي سافر لأجلها. فتعزز به فريق التحليل بنوعيه النظري والعددي:

1. على مستوى مقررات دبلوم الدراسات العليا (DES)، حيث تداول على مقرراتها من السنة الأولى إلى السنة التخصصية الرابعة، وخاصة منها مقرر التحليل العقدي (M13) الذي درّسه به عدة سنين إلى أن عُيّن أستاذا بالمدرسة العليا للأساتذة بمدينة ليون الفرنسية في بداية التسعينيات من القرن الماضي، وقد خلفته في ذلك المقرر لسنين أخرى من بعده.
2. في إدارة معهد الرياضيات، حيث تقلد منصب نائب للمدير عمار القلي آنذاك، فأبدع في إصلاح البرامج وإضافة مقررات متنوعة، وكثيرا ما كان يمثل المعهد في لجان وطنية، منها على سبيل المثال، لجان الترقية، واللجان البيداغوجية ولجان المسابقات لحصول الطلبة المتفوقين على منح متابعة الدراسات في الخارج.
3. على مستوى ما بعد التدرج، ساهم بفعالية كبيرة في الإشراف على الماجستير إنشاءً وتكوينًا ومتابعةً، فترك عددا من الدراسات التكميلية والتوضيحية لطلاب ما بعد التدرج، تلك الدراسات التي أصبحت على مرّ السنين من أهم المراجع المتداولة، أذكر منها على وجه الخصوص مقالاته حول مبدأ الذروة. كما أشرف على رسالات دكتوراه

الدولة، سواء في باب الزوار أو في جامعات أخرى وطنية وأجنبية، وقد سعدت شخصيا بالعمل معه طويلا وبمساعداته الجمة في مجال البحوث العلمية.

أما في مجال النشاط العلمي، فقد كانت له مساهمات متعددة وثرية، سواء في تنظيم الحلقة الأسبوعية (seminar) المحلية الذي أصبح من التقاليد الراسخة في قسم التحليل، أو الملتقيات الوطنية والدولية والأيام الدراسية. كما كان من المبادرين في إنشاء فريق بحث ذاع صيته في ربوع الوطن وفي كثير من البلدان الأجنبية، منها على وجه الخصوص فرنسا. وكان الفريق يضم من أعضائه كلا من الأساتذة جمال الدين تنيو، سعيد بن عشور، عبد الرحمن بن دالي، قدور لمرابط، محمد عمارة، جمال سماعي، والروماني ستيفان بالينت Stefan Balint. وقد كنت ضمن الفريق كما كان لنا تواصل كثيف وحثيث مع باحثين أجانب.

ومن بين مواضيع البحث الرئيسية التي كان الفريق يشتغل حولها، مسألة الأوساط المسامية وعلاقاتها بالاقتصاد الوطني ومجاله الأساسي المتمثل في المحروقات والمياه الجوفية.

وكانت شعبة الرياضيات تستقبل الطلبة الراغبين في دراسة فروعها على اختلاف أنواعها، يسكنهم طموح كبير في تجاوز مراحل التدرج وما بعد التدرج وبلوغ مصف الباحثين المرموقين في العالم، وكثير هم الذين تحقق حلمهم وطموحهم، ومنهم الآن من يشغل مناصب عليا عبر العديد من المؤسسات الدولية العليا.

وبعد أن رأى فريق البحث هجرة المتخرجين إلى بلاد الغرب في تزايد مستمر، اجتهد في إبقائهم على أرض الوطن وذلك بتكوين برنامج دراسي دسم لتخريج مهندسين ذوي مستوى عالٍ في علوم الرياضيات وتطبيقاتها في مختلف المجالات الاقتصادية الحيوية في الوطن، خاصة منها مجال المحروقات والمياه الجوفية في جنوب الجزائر، وهو مجال خاض الفريق فيه أشواطا معتبرة من البحوث، حيث صدر لأعضائه فرادى أو جماعات عدد لا بأس به من المقالات في مجلات محكمة دوليا.

ولما عُيِّنتُ في بداية العشرينيات من القرن الحالي للإشراف على إنشاء مدرسة وطنية عليا للرياضيات في مدينة سيدي عبد الله (غرب العاصمة)، لاستقبال طلبة الرياضيات المتميزين وإمدادهم بتكوين رفيع المستوى يضاهي مصف الدراسات العليا في العالم، كان محند من أهم الباحثين الذين شاركوا معي في وضع ذلك البرنامج، مستعينا بخبراته العديدة التي منها مساهمته الفعالة في بلورة برنامج "المهندس في علوم الرياضيات التطبيقية" المشار إليه آنفا.

رحم الله فقيد الجامعة الجزائرية والجامعات الدولية، محند أرزقي موساوي.

خلال حفل تكريمه بالمدرسة المركزية (ليون) بمناسبة إحالته على التقاعد عام 2011

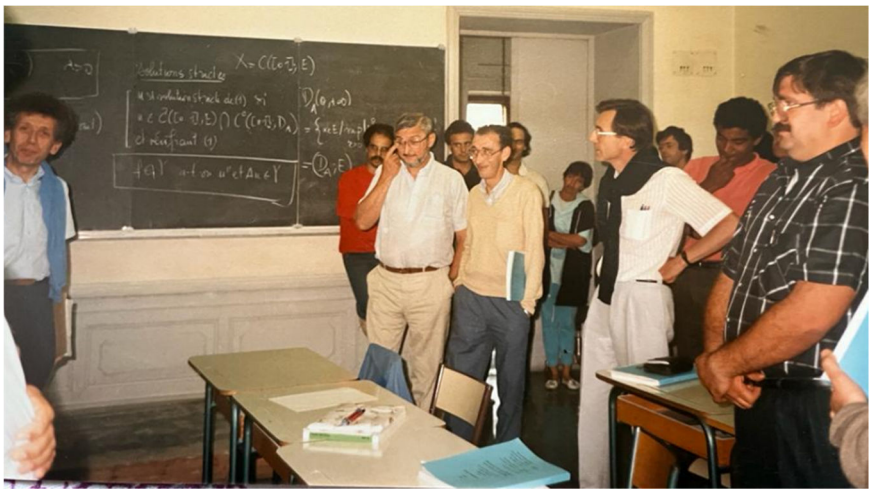
رابح العباس (متقاعد)، أستاذ الرياضيات بجامعة لوهافر سابقا

التقيت محند وزوجته لويزة أول مرة في مدينة نيس عام 1975 عندما التحقت بجامعتها إثر حصولي على منحة دراسية من الحكومة الفرنسية لإعداد دكتوراه الدور الثالث في الرياضيات. وكان محند حينها يقوم بإعداد دكتوراه الدولة تحت إشراف الأستاذ بيير غريسفارد.

وشيئًا فشيئًا، توطدت علاقاتنا الودية مع محند وزوجته. ومع مرور الوقت، أصبح محند مرجعًا علميًا ممتازًا بالنسبة لي، فضلا عن امتلاكه لقيم إنسانية رفيعة. وأثناء مناقشتي للدكتوراه الدولة عام 1987 في جامعة نيس تحت إشراف بيير غريسفارد، تشرفت بعضوية محند في لجنة المناقشة.

في سبتمبر 1994، تم تعييني أستاذًا جامعيًا في جامعة لوهافر Le Havre. ومنذ ذلك التاريخ، حافظنا على اتصالات منتظمة في مجال البحث العلمي فكانت لنا زيارات متبادلة، سيما في إطار العضوية في لجان مناقشة شهادات الدكتوراه والندوات العلمية. وعلى وجه الخصوص، كنا عملنا معًا حول بحث في موضوع معادلة الحرارة ذات المعاملات المتقطعة، ونشر بحثنا في المجلة المرموقة Semigroup Forum. كما شرعنا في تأليف كتاب حول نظرية الاستقطاب بالتعاون مع الأستاذ أ.خ. سعدالله، لكننا للأسف لم نكمل إنجاز هذا المشروع.

لقد غادرنا محند، وأنا في منتهى الحزن والأسى. كان يتمتع بمهارات كبيرة في مجال الرياضيات، وكان ينصت لكل من يسأله في هذا الاختصاص، وكانت مساعدته قيمة للغاية.



كان موساوي عضو لجنة مناقشة أطروحة رابح العباس في جوان 1987 بجامعة نيس، ويظهر الفقيد في الصورة متأبطا هذه الأطروحة، وعلى يساره أستاذه بيير غريزفارد Pierre Grisvard، وذلك خلال إعلان رئيس اللجنة الإيطالي جوزيبي جيمونا Giuseppe Geymonat (أمام السبورة منفردا) نيل الطالب شهادة الدكتوراه .

عيسى عيبش، أستاذ الرياضيات بجامعة سطيف 1

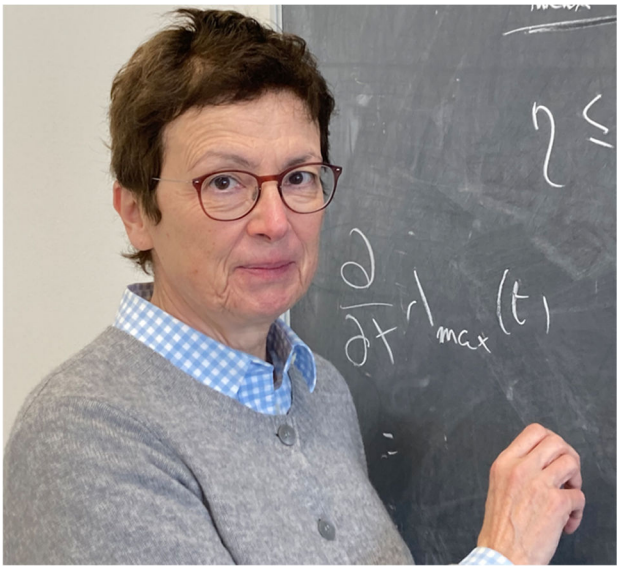
محند موسوي لم يغادر الجزائر قط. فخلال كل سنوات غربته، ظل مهتمًا ومساهما في كل ما ينظم في الجزائر من نشاطات رياضياتية. إنه من الرياضياتيين الجزائريين القلائل الذين استقروا في الخارج وكانوا يتكفلون ماديا بأنفسهم بشكل كامل أثناء تنقلاته المتكررة داخل البلاد. في عام 2011، عندما حان موعد إحالته على المعاش سكنه نوع من الاكتئاب لأنه لم يعد تقريبًا يقصده أقرانه لاستشارته وإشراكه في النشاطات المختلفة، بينما اعتاد على النشاط المستمر والمكثف. ولذا قرر العودة إلى الجزائر.

في البداية، كان لديه عرضان للتوظيف في الجزائر. الاقتراح الأول هو الالتحاق بمخبر المعادلات التفاضلية الجزئية في المدرسة العليا للأساتذة بالقبة، والثاني هو الالتحاق بمخبر الرياضيات التابع لجامعة قالمة. وفي الوقت نفسه، كان يميل إلى جامعة سطيف، وذلك بسبب قرب مسقط رأسه من هذه المدينة، وأيضا نظرا لكونه يعرف سطيف جيدًا إذ زارها مرارا. لقد نصحته آنذاك بقوة أنه من الأفضل الالتحاق بمدرسة القبة.

وعندما استقر في القبة، استفاد من مكتب في مخبر المعادلات التفاضلية الجزئية، وكان سعيدًا جدًا بهذا الاختيار، إذ لاحت حياة جديدة أمام عينيه. ذلك أنه كان منخرطا في جميع أنشطة الرياضيات في البلاد، ولا سيما الورشات التي كانت تنظم في المعادلات التفاضلية المجردة حيث كان يقدم في كل تلك التظاهرات سلسلة من الدروس. كما شارك أيضًا في تنظيم سلسلة الملتقيات التي عرفت باسم "لقاءات التحليل الرياضي وتطبيقاته" (RAMA) من خلال اقتراح المتحدثين في هذه الندوات، بل حتى دعوتهم.

وهكذا، سمحت هذه الأنشطة لعدد كبير من الجزائريين المختصين في الرياضيات من أعماق الجزائر بالتعرف على محند. وقد أدى ذلك إلى سلسلة جديدة من طلب الاستشارات والمساعدات في مجال البحث العلمي وإعداد شهادات الدكتوراه. ومن ثمّ، صار يقدم دورات ومحاضرات في عديد الجامعات الجزائرية لمساعدة -قبل هذا وذاك- العديد من الرياضياتيين الشباب. لقد أثر تحكمه في أدوات التحليل الرياضي وسعة صدره وسهولة الاتصال به على الكثير ممن عرفوه. وتواصل هذا النشاط المكثف حتى عام 2019، أي عشية ظهور جائحة كورونا. في هذا الوقت، بدأ محند يعاني من مشاكل صحية خطيرة، مما ألزمه الالتحاق بعائلته الصغيرة في فرنسا. كانت هذه الفترة صعبة في حياته لأن شوقه للأجواء الجزائرية كان رهيبا. ثم تفاقم مرضه وقضى عليه في آخر المطاف. قبيل استفحال جائحة كورونا، أصبح محند يشعر بالمرارة، وكان ناقدا لاذعا لأنه أدرك أن جزائر تلك الأيام ليست هي الجزائر التي كان يحلم بها.

لقد افتقدناك يا محند!



مارتين ماريون Martine Marion (متقاعدة)، أستاذة الرياضيات بالمدرسة المركزية بليون (ECL) سابقا

شريف عمروش (متقاعد)، أستاذ الرياضيات بجامعة بو Pau الفرنسية سابقا

كان محند متخصصًا في نظرية المعادلات التفاضلية الجزئية، وخاصة في مسائل الملوسة والتفرد المطروحة في ساحات مضلعيّة، وفقًا لتقليد مدرسة غريسفارد Grisvard التي كان محند أحد روادها. وقد امتدت مجالات بحثه أيضًا إلى التحليل الدالي والتحليل العددي.

وصل محند إلى فرنسا سنة 1973، بعد حصوله في نفس السنة على شهادة دكتوراه الدور الثالث تحت إشراف بيير غريسفارد وذلك بكلية العلوم (الجزائر العاصمة). ومع نفس المشرف، واصل إعداد دكتوراه الدولة في جامعة نيس خلال الفترة 1973-1977، والتي عمل خلالها كأستاذ مساعد مشارك في جامعة نيس. ثم عاد إلى الجزائر لتولي منصب أستاذ محاضر بجامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا. وفي عام 1980 ترقى إلى رتبة أستاذ جامعي. شغل هذا المنصب حتى عام 1990. وقد أكسبته شهرته العديد من الدعوات والاستضافات: فكان أستاذا مشاركا في جامعة رين Rennes 1 خلال السنة الجامعية 1984-1985، ومحاضرا مشاركا في جامعة بوردو Bordeaux 1 فخلال السنة 1988-1989، ثم أستاذا محاضرا مشاركا بالمدرسة العليا للأساتذة في ليون Lyon خلال الفترة 1990-1991. قرر في الأخير قبول منصب محاضر في هذه المدرسة، حيث كان أيضا عضوا في لجنة التحاق الطلبة بهذه المدرسة. ثم أمضى 18 عامًا في المدرسة المركزية بليون (ECL) كأستاذ جامعي من عام 1993 إلى عام 2011.

وفي هاتين المؤسستين كان يشارك في التدريس وفي تنشيط البحوث وممارسة المسؤوليات الإدارية. تميز محند في جميع أنشطته بخصاله الحميدة: الحماس، وقوة الشعور بالعمل الجماعي، والثقة في الحكم، والعدالة، والكرم. وقد مكنته صفاته الإنسانية العالية من إدارة عدد من المواقف الصعبة بكفاءة وموهبة كبيرتين وجعلته موضع تقدير الجميع (المدرسون والباحثون والطلبة والموظفون الإداريون). لقد ترك مروره بالمؤسستين ذكرى حيّة للغاية.

كان محند مدرسًا صارمًا له شخصيته الخاصة. لقد كان يخاطب الجمهور بارتياح سواء في قاعة محاضرات السنة الأولى أو خلال إلقائه الدروس الموجهة لطلبة الدراسات العليا. لقد كان يساهم بقوة في الإشراف على الرسائل الجامعية،

وكذا في مناهج التدريس. كان يعرف كيف يشجع الطلبة ويوجههم بإسداء النصائح المناسبة. وفي هذا السياق، كان يشرف على التكوين في دكتوراه الرياضيات التطبيقية الخاص بمنطقة ليون وسانت إتيان St Etienne لمدة أربع سنوات.

لقد أظهر محند فضولاً علمياً كبيراً، وكان يمتلك ثقافة علمية واسعة. بالإضافة إلى عمله البحثي الرائع، سمح له ذلك بإقامة تعاون متعدد التخصصات، لا سيما مع زملاء من أقسام الصوتيات والإلكترونيات، والتقنية الكهربائية والأتمتة في المدرسة المركزية بليون. وأدى هذا التعاون إلى الإشراف على أطروحات وإصدار منشورات بحثية مشتركة.

عمل محند لمدة 8 سنوات في المجلس العلمي للمدرسة المركزية (كنائب للرئيس طيلة 4 سنوات). لقد أدى حسن عنايته، وآرائه الحكيمة والمتوازنة، ونزاهته، وقدرته على إدارة الصعوبات ببراعة، إلى أن أصبح يؤدي في مؤسسته دورًا مهمًا ومقدرًا من قبل الجميع حيث لعب حقًا دور "الحكيم" في العديد من التحكيمات. ومن خلال نشاطه العلمي، كان له أيضًا تأثير كبير على مجموعة الرياضيات في المؤسسة حيث عزز البحث العلمي على مستوى الباحثين الدائمين، وكذا على مستوى الطلبة مسخّرا لهؤلاء وقته وعلمه بسخاء. كما عزز العلاقات الدولية في مجال البحث مع روسيا بشكل خاص.

لم يتردد محند في تولي العديد من المسؤوليات الإدارية، مثل رئاسة قسم الرياضيات وعلوم الحاسوب في المدرسة المركزية بليون لمدة ست سنوات. لقد شغل أيضًا منصب مدير لوحدة CNRS MAPLY بالمركز القومي (الفرنسي) للبحث العلمي التي جمعت باحثين من مؤسسات مختلفة في ليون خلال مرحلة معقدة عرفت بـ"إعادة الهيكلة". وكان إسهامه آنذاك أكثر مما هو مطلوب منه.. ولذلك كان لتلك السنوات أثر عميق عليه.

شارك محند أيضًا على المستوى الوطني الفرنسي، حيث كانت له عهدة في اللجنة الوطنية الجامعية (CNU) امتدت من 1996 إلى 2000. كما شارك في عمل لجنة التقييم الوطنية (الفرنسية) بتقرير حول التكوين العالي في اختصاص الرياضيات الموجهة نحو التطبيقات. وفي هذا السياق، لم ينس أبدًا دعمه لتعزيز الرياضيات في البلدان النامية. وهكذا قدم دروسا ومحاضرات في جامعة سانت لويس Saint Louis في السنغال خلال السنتين 1994 و1997 ضمن بعثة أشرفت عليها وزارة التعاون (الفرنسية).

بعد تقاعده، عاد إلى الجزائر العاصمة حيث انضم إلى مخبر المعادلات التفاضلية الجزئية بالمدرسة العليا للأساتذة-القبة كباحث، وكرّس هناك الكثير من طاقته –متطوّعا- لمساعدة طلبة الماجستير والدكتوراه وكذا الشباب الباحثين في جميع أنحاء البلاد.

كانت خبرته في العديد من مجالات التحليل الرياضي مطلوبة باستمرار، ويتضح ذلك من العدد الكبير من الأطروحات التي أشرف عليها. لقد كان يقدم دروس الدعم لطلبة الدراسات العليا ويحاضر في المؤتمرات والملتقيات أمام جمهور متعطش للعلم يتابع باهتمام كبير. وهو لا يرفض أي طلب من هذا القبيل يتلقاه من داخل البلاد وخارجها. وقد أقام علاقات عديدة على ضفتي البحر الأبيض المتوسط، ولا سيما مع الجالية الجزائرية التي تعيش في فرنسا.

وفضلا عن مكانته العلمية، كان محند شخصًا محبوبًا، وكريمًا، يعشق الحرية، وكان صاحب مبادئ وقناعات راسخة، ومنشغلا للغاية بشأن مستقبل بلده الأصلي. لقد أظهر دائمًا حسًا جماعيًا غير عادي. وما أسعدنا كثيرا هو العمل معه ومشاركة شغفه بالرياضيات. إن الشهادات العديدة التي أعقبت رحيل محند تحمل جميعها ثناءً بليغاً. ولا شك أن مساهماته وأفكاره ستواصل إثراء الأبحاث العلمية المستقبلية حول مسائل حاسمة عديدة.

كل من عرف محند أو عاشره سيتذكره بوصفه شخصا رائعا، ورجلا عظيما.

عبد الحفيظ مقران (متقاعد)، أستاذ الرياضيات بالمدرسة العليا للأساتذة-القبة سابقا

بسم الله الرحمن الرحيم

نبذة وجيزة عن مساهمة الأستاذ محند موساوي رحمه الله في مخبرنا (مخبر المعادلات التفاضلية الجزئية غير الخطية وتاريخ الرياضيات- المدرسة العليا للأساتذة-القبة)

لقد كان من خير الناس لأنه كان من أنفعهم للناس

في الواقع الأستاذ محند موساوي، ليس غريبا عن المدرسة. لقد كان حاضرا بمساهماته بالتدريس في الماجستير وفي الدكتوراه وفي سلسلة الدروس المكثفة التي ينظمها القسم وشارك فيها الكثير من الأساتذة الباحثين من داخل الوطن ومن خارجه. قبل تقاعده بالمدرسة المركزية بليون، تكررت زياراته العلمية لمخبرنا، بصفته عضوا مشاركا فيه، وكان دائم الدعم وملبيا للدعوة، وكنا في حاجة إلى دعمه لنا في المخبر لغزارة علمه في الرياضيات ومن خبرته في ترقيتها والاستفادة من علاقاته الوطيدة مع الكثير من الباحثين اللامعين.

وبعد تقاعده، أعلمنا أنه يستطيع أن يقضي فترات أطول معنا في المخبر. فوجهنا له دعوة لمدة شهرين سنة 2010، كان كثير التنقل في جامعات الوطن، يشارك في تقديم محاضرات، والتأطير، وفي لجان المناقشات، والتظاهرات العلمية. وقد أسرّ لي أنه وجد راحة كبيرة بتواجده في الجزائر، وخاصة عندما لمس رغبة الكثير من طلبة الدكتوراه في الالتقاء به والاستفادة من أجوبته وتوجيهاته ونصائحه، وأن قيامه بهذا العمل يسعده. أعلمته حينئذ أننا كلنا في حاجة إليه، وعرضت عليه الالتحاق بالمخبر بصفة دائمة، فأعلمني أن الكثير من الزملاء في الجامعات الأخرى، قدموا له هذا العرض، أخبرته أن الميزة التي بمخبرنا هي أن المخبر تحت تصرف أي عضو منه، ونقدم كل التسهيلات مع الترحيب بكل من يرغب في الالتحاق بالمخبر.

وبعد التشاور مع الزملاء في المخبر، والاتفاق التام على أهمية الاستفادة من الأساتذة المتقاعدين البارزين، والسعي بتوفير جو يليق بهم ويزيد من عزمهم الاستمرار في العطاء وللاستفادة أكبر من خبرتهم (لقد كانت لدينا تجربة ناجحة مع الأستاذ محمد بن قادة رحمه الله، حيث مكث معنا 20 سنة بعد تقاعده)، كثفنا العمل على جعله يختار مخبرنا، وساعدنا هو بعد ما لمسنا رغبته أيضا في ذلك. وفعلا نجحنا في إقناعه بالالتحاق بمخبرنا، وصار من أبرز أعضائه؛ حيث شارك في التدريس في الماجستير وفي التأطير فيها وفي الدكتوراه؛ لقد كان الأستاذ المشارك في التأطير لأغلب طلبة الدكتوراه عندنا، وكان يتوافد عليه الطلبة من جامعات أخرى لطرح الأسئلة المستعصية، وكان صدره رحبا يتسع لكل من يريد الانتفاع من علمه.

كان الأستاذ محند موساوي، رحمه الله، دمث الخلق، عطوفا، كريما، متحكما في معلوماته وواثقا فيها، ودقيقا في ملاحظاته، وصريحا في تعبيره. انتفع بعلمه الكثيرون من مخبرنا ومن خارجه، فكان من الحريصين على أهمية إتقان الطلبة الدكاترة لعملهم، من ناحية توضيح البراهين ودقتها، وطريقة عرضها وتحرير الأطروحات، حيث كان يقضي الكثير من

الوقت لمراجعة رسائل الدكتوراه لعدد من طلبتنا. كان دائم المواظبة والعمل مع الطلبة ومع أعضاء المخبر في مواضيع بحثية عديدة دون أن يتقاضى، بسب القوانين غير السلسة، أي أجر مادي عن ذلك.

لمست منه أن الفترة التي قضاها معنا بعد تقاعده كانت من أسعد فترات حياته لأنه يستطيع تفرغ للقيام بما يحبه، وهي الرياضيات، دون قيد أو ضغط بعمل إداري يعيقه في ذلك. لقد سعدنا كثيرا بتواجده معنا، ويصعب علينا فراقه أكثر بالمقارنة مع الكثيرين من محبيه: تصور عزيزا عليك تراه تقريبا كل يوم وتدردش معه في مكتبه بجوار مكتبك، وفجأة تفقده. إن فقدانه فاجعة كبرى، لكن لا مفر من قضاء الله، إنا لله وإنا إليه راجعون. أشهد أنه كان دوما من أنفع الناس لمن يسأله لقضاء حاجته في الرياضيات، وأشهد أنه كان كثير الصدقة على المحتاجين حتى على من لا يعرفهم. اللهم اِجعل في ميزان حسناته، كل ما قام به من خدمة الناس، ومحاولة إعادة الثقة لهم في نفوسهم للمواصلة، اللهم أسكنه فسيح جناتك.

محند موساوي (أقصى اليمين) وبجانبه فرحات معيزة (1948-2022)، وقدور لمرابط في أقصى اليسار (في حرم كلية العلوم، جامعة نيس، 1975)

في قاعة المحاضرات التابعة لمخبر المعادلات التفاضلية الجزئية بالمدرسة العليا للأساتذة-القبة، عام 2012

عرض الكتاب

عرض كتاب

كَوْنُنا الرياضياتي

بحثي عن الطبيعة النهائية للحقيقة

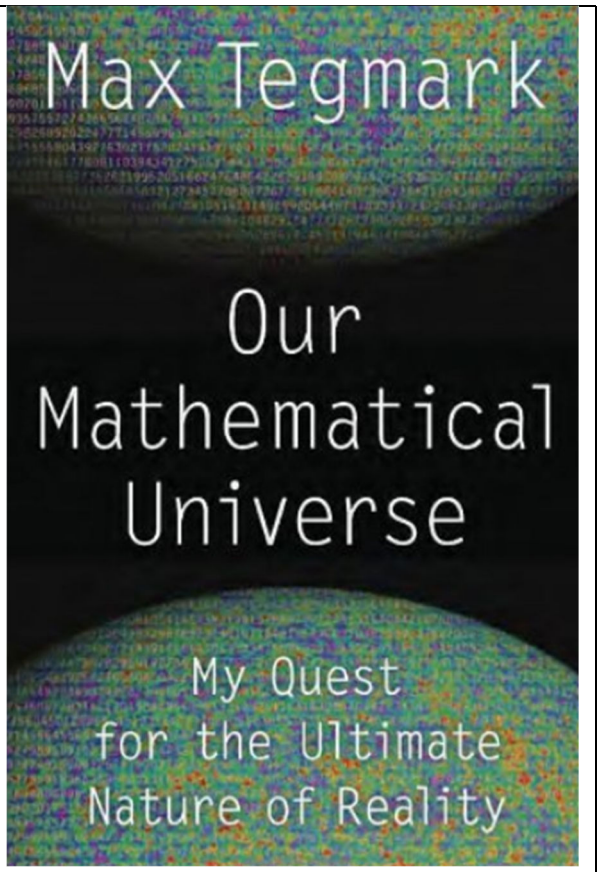
Our mathematical universe
My quest for the utimate nature of reality

تأليف: ماكس تيغمارك Max Tegmark

عرض: أبو بكر خالد سعد الله

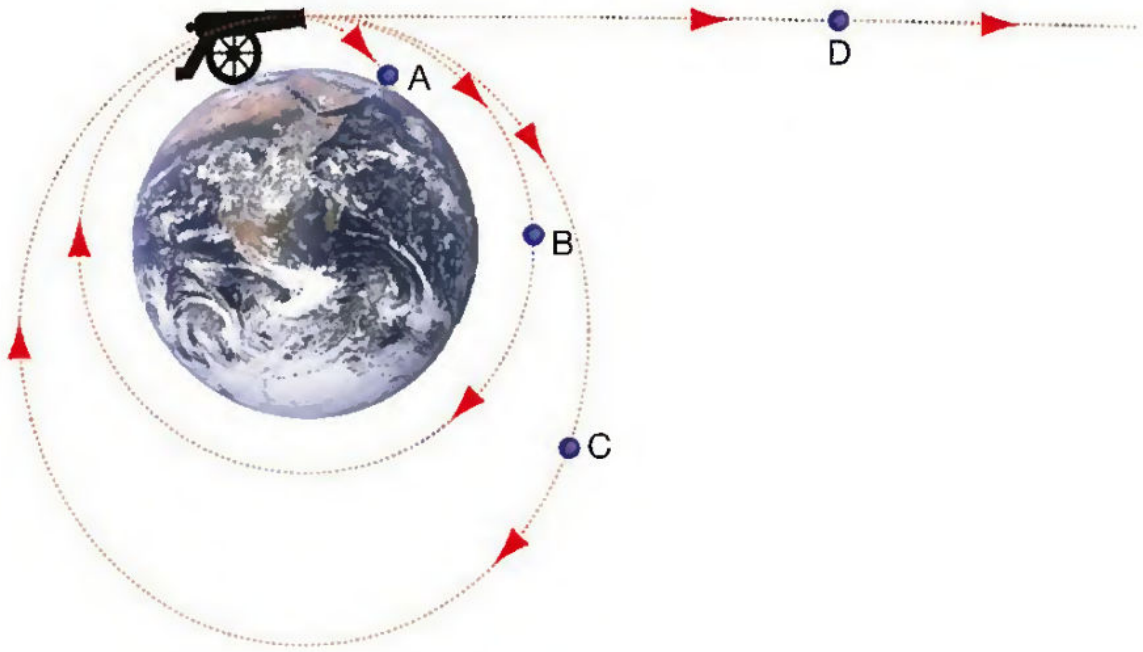
أستاذ بقسم الرياضيات، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
khaled.sadallah@g.ens-kouba.dz

المؤلف: ماكس تيغمارك Max Tegmark



- دار النشر: Alfred A. Knopf (نيويورك).
- الطبعة 1: 2014.
- عدد الصفحات: 432.

رسم توضيحي في الكتاب لبعض قوانين الجاذبية حسب نيوتن



أطلقت قذيفة مدفعية (المسار D) بسرعة تزيد عن 11.2 كلم/ الثانية، فتحررت نهائيًا من جاذبية الأرض (عند إهمال مقاومة الهواء). لكن إذا ما أطلقت القذيفة بسرعة أقلّ (المسار C)، فإننا سنجدها تتحرك على مدار ناقصي (بيضوي) حول الأرض. أما إذا أطلقت أفقيًا بسرعة 7.9 كلم/ الثانية (المسار B)، فسيكون مدارها دائريًا تمامًا. وإذا كانت سرعة القذيفة دون ذلك (المسار A)، فإنها ستصطدم بالأرض في النهاية المطاف.

1. المؤلف

ولد ماكس تيغمارك Max Tegmark بتاريخ 5 ماي 1967 في العاصمة السويدية ستوكهولم. ويعتبر الآن من أكبر علماء الكونيات (الكوسمولوجيا)، كما أنه باحث في مجال التعلم الآلي ويعمل كأستاذ للفيزياء في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (MIT) الشهير في الولايات المتحدة. ومن جهة أخرى، فهو يدير "معهد مستقبل الحياة" (Future of life Institute)، وهو جمعية أمريكية تركز نشاطها على الحدّ من المخاطر المحدقة بالعلوم الإنسانية الوجودية الناجمة عن الذكاء الاصطناعي. وتركز أبحاثه أيضا على ربط الفيزياء بالتعلم الآلي واستخدام الذكاء الاصطناعي.

غادر تيغمارك السويد عام 1990 بعد الانتهاء من المرحلة الجامعية الأولى بالمعهد الملكي للتكنولوجيا في ستوكهولم. وكان أول مشروع أكاديمي له خارج الدول الاسكندنافية قد قاده إلى كاليفورنيا حيث درس الفيزياء في جامعة كاليفورنيا (بيركلي)، وحصل على شهادة الماجستير عام 1992، ثم أحرز على الدكتوراه في الفيزياء عام 1994. وإثر ذلك، عاد إلى أوروبا، وقُبل كباحث بمعهد ماكس بلانك Max-Planck في مدينة ميونيخ الألمانية. وفي عام 1996 عاد إلى الولايات المتحدة لينضم إلى معهد الدراسات المتقدمة (IAS) في برينستون، ثم إلى جامعة بنسلفانيا عام 2003، ثم استقر بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا بدءا من سبتمبر 2004.

نشر تيغمارك أكثر من مائتي بحث، وظهر في عشرات الأفلام الوثائقية العلمية. وقد حصل على العديد من الجوائز العلمية، منها الجائزة الأولى لمجلة العلوم Science magazine عام 2003. ومن مؤلفاته الشهيرة أيضا كتاب "الفرضية

الرياضية للكون" (Mathematical universe hypothesis) الذي نشر عام 2014 الذي يستعرض فيه نظريته الخاصة بالكون. يقول ماكس تيغمارك حول هذه الفرضية: "إذا كانت 'الفرضية الرياضية الكون' صحيحة، فهذا خبر عظيم للعلم لأنه سيكتسب عندئذ إمكانية قيام وحدة أنيقة بين الرياضيات والفيزياء، مما يقودنا إلى فهم الواقع (الحقيقة) بشكل أعمق مما كنا نأمله أبدًا. أعتقد أن وجود نظرية رياضية للكون المتعدد هي أفضل نظرية يمكن أن نتمناها".

2. الكتاب

يقول المؤلف إن كتابه يروي في الواقع رحلته الشخصية في استكشاف طبيعة الحقيقة. ويستهله بالمقولة التالية لريتشارد فينمان Richard Feynman: "تتكون الأشجار أساسًا من الهواء. وعندما تشتعل فيها النيران، فإنها تعود إلى الهواء. وفي الحرارة المنبعثة نجد حرارة الشمس التي كانت ضرورية لتحويل الهواء إلى شجرة. وبالمثل، يمثل الرماد بقايا صغيرة مما لا يأتي من الهواء، بل يأتي من الأرض الصلبة".

ويشير المؤلف إلى أنه عندما ننظر إلى الحقيقة من خلال معادلات الفيزياء، نلاحظ أنها تصف أنماطًا منتظمة. ومع ذلك، فهو يرى أن الرياضيات هي أكثر من مجرد نافذة على العالم الخارجي. بل يزعم في كتابه أن عالمنا المادي لا يتم وصفه من خلال الرياضيات فحسب، بل إنه رياضياتي، وهناك بنية رياضياتية تحتاج إلى التوضيح.

وما يؤكد أهمية الكتاب أنه ترجم مع أعمال أخرى لمؤلفه إلى أكثر من 10 لغات، منها السويدية والفرنسية والروسية والكورية والإسبانية والإيطالية والألمانية والبولندية واليونانية والصينية والتشيكية والرومانية.

وإذا ما نظرنا إلى داخل الكتاب فسنجده يقع في 13 فصلا، ويطرح في الفصل الأول سؤالا مثيرا: ما هي الحقيقة (الواقع)؟ ومن ثمّ يبدأ رحلته لمحاولة التعرّف في الفصل الثاني على مكاننا في الفضاء. وفي هذا السياق، يتساءل عن حجم الأرض والمسافة التي تفصلنا عن القمر، والمسافات بين الشمس والكواكب، والمسافات بين المجرات. ثم يعرّج في الفصل الثالث على موقعنا زمنيًا: من أين يأتي نظامنا الشمسي؟ من أين تأتي المجرّات؟ من أين تأتي الأمواج؟ من أين تأتي الذرات؟ ويتبحر في هذه المسائل فيشعر القارئ العلمي أن الكتاب يريد زعزعة معارفه المكتسبة، حينما يتساءل صاحبه "هل الزمن وهم؟". ويمضي في باقي الفصول في هذا الاتجاه.

ومن المسائل الأخرى التي يتناولها المؤلف رسم الخريطة النهائية لكوننا ومصدر الانفجار الكبير؟ وينكبّ على الخطأ في الانفجار الكبير؟ ويحاول الإجابة عن السؤال: ما هي آليات التضخم الأبدي للكون؟ ثم يغوص في مفهوم "الكون المتعدد" (multiverse) حيث يعتقد بعض العلماء أن على حدود كوننا تقع أكوان أخرى. ويتساءل: هل هي "أكوان متعددة أم كلمات متعددة". ثم يتحدث عن الفيزياء الكمومية ويشرح لماذا عقولنا ليست حواسيب كمومية، وقد لفت انتباهنا أحد العناوين الفرعية وهو "انهيار الإجماع".

كما يتطرق الكاتب للحقيقة الفيزيائية ويقارنها بالحقيقة الرياضية، ويتساءل عن كيفية رد الحقيقة الفيزيائية إلى حقيقة رياضية. ويغوص في البنية الرياضية، ويتناول ما يسميه الفرضية الرياضية للكون. وفي الأخير يتحدث عن مستقبل الفيزياء ومستقبل الحياة ومستقبل كوننا. ويختتم تيغمارك كتابه بدعوة متفائلة للغاية موجهة للناشطين ذوي التفكير العلمي لجعل كوكبنا الأرض قوة للتقدم الكوني.

3. المعجَبون

هناك عدد ضخم ممن اطلعوا على هذا الكتاب وأعجبوا به، وعبروا عن ذلك كتابيا، ومنهم العديد من رجال العلم. نذكر من بين هؤلاء الأستاذ البريطاني أندرو ليدل Andrew Liddle، المتخصص في علم الكون، وهو أستاذ نظرية الفيزياء الفلكية بالمرصد الملكي في إدمبرا، حيث جاءت في مراجعته للكتاب بالمجلة الشهيرة "نيتشر" Nature الفقرة التالية "القمة

التي يسعى تيغمارك أن يقودنا إليها هي 'الكون المتعدد من المستوى الرابع'. ويؤكد هذا المستوى أن الكوْن ليس موصوفًا وصفًا جيدا بالرياضيات فحسب، بل هو في الواقع رياضيات في حد ذاته. فجميع البنى الرياضية الممكنة لها وجود مادي، وتعطي مجتمعة كوْنًا متعددًا يشمل جميع البنى الأخرى. هنا، يأخذنا تيغمارك إلى ما هو أبعد من وجهات النظر المقبولة، ويدافع عن رؤيته الشخصية لتفسير الكون".

ثم يضيف: "يقودنا ماكس تيغمارك في رحلة مذهلة عبر الماضي والحاضر والمستقبل، وعبر الفيزياء وعلم الفلك والرياضيات التي تشكل أساس عمله، وبوجه خاص فرضيته القائلة بأن واقعنا المادي هو بنية رياضية، ونظريته عن الكون المتعدد النهائي. وفي مزيج مبهر من العلوم المتداولة والرائدة، فهو لا يساعدنا فحسب على فهم نظرياته التي غالبًا ما تكون محيّرة للعقل، بل يشاركنا أيضًا بعض الانتصارات وخيبات الأمل المفاجئة في كثير من الأحيان والتي شكلت حياته كعالم. كان رائعا من البداية إلى النهاية. لقد أثار هذا الكتاب حقا اهتمام وإعجاب بعض أبرز العلماء سيما علماء الرياضيات".

ومن المعجبين من رأى أن الكاتب نجح في توضيح دور الرياضيات بشكل مذهل في وصف الكون، وأنه أجهد نفسه في محاولة إرشاد القارئ إلى الإجابات المحتملة على عديد الأسئلة بخصوص فهمنا للحقيقة ذاتها. فهذا الأستاذ ميتشيو كاكو Michio Kaku، مؤلف كتاب "فيزياء المستقبل" (Physics of the future) الصادر عام 2011 يقول عن الكاتب "جريء، جذري. مبتكِر. إنه يغيّر قواعد اللعبة. إذا صدق الدكتور تيغمارك فيما ذهب إليه فإن هذا يمثل نقلة نوعية في العلاقة بين الفيزياء والرياضيات، مما يجبرنا على إعادة كتابة مؤلفاتنا المدرسية. ينبغي أن يطلع على الكتاب كل شخص له اهتمام كبير بكوننا."

ومن العلماء المعجبين أيضا بمضمون الكتاب نجد الباحث ماريو ليفيو Mario Livio ، صاحب كتاب "تخبطات رائعة" (Brilliant blunders) و"هل الخالقُ رياضياتيٌ؟" (Is God a mathematician ?) : "قال جاليليو الشهير إن الكون مكتوب بلغة الرياضيات. الآن يقول ماكس تيغمارك إن الكون هو الرياضيات. ليس عليك بالضرورة أن توافق، لتستمتع بهذه الرحلة الرائعة إلى طبيعة الحقيقة."

بينما عبر آخرون عن إعجابهم بالقول "سوف يستمتع القراء من خلفيات متنوعة بهذا الكتاب. سيجد أي شخص تقريبًا شيئًا ليتعلمه هنا، والكثير مما يجب التفكير فيه، وربما شيئًا يختلف معه". وهذا عالم آخر يشير إلى أن "الكتاب الملهم الذي كتبه خبير حقيقي يقدم مزيجا متفجرا من الفيزياء والرياضيات والفلسفة التي قد تغير وجهات نظرك حول الحقيقة". ونقرا أيضا بأقلام المعجبين: "سرد واضح وجذاب لمختلف نظريات الأكوان المتعددة في الفيزياء الأساسية التي يتم النظر فيها حاليًا، بدءًا من الكون المتعدد لنظرية الكم ... حتى رؤية تيغمارك الكبرى". أما صحيفة نيويورك تايمز فوصفت الكتاب بالعبارة التالية: "هذه هي الكتابة العلمية في أفضل حللها –".

4. النقاد والمتسائلون

يخبرنا المؤلف في موقعه الإلكتروني أنه لم تقتصر البرقيات التي تصله على الإشادة والمدح لعمله، بل تلقى أيضا انتقادات منها للاذعة ومنها الهادف تتمحور حول أسئلة كثيرة، فأجاب عنها. ومن هذه الأسئلة : هل الأكوان الموازية علم أم مجرد تكهنات؟ فعقب بأن كتابه لا يدعي وجود أكوان متوازية. وبدلًا من ذلك، تعتمد كل حججه ومبرراته على ما يعرفّه المنطقيون بقاعدة الفصل (modus ponens): إذا كانت القضية أ تشير إلى أن القضيتين أ و ب صحيحتان، فيجب أن تكون ب صحيحة أيضًا. ومن ثمّ يزعم أنه إذا كانت بعض النظريات العلمية أ لديها ما يكفي من الدعم التجريبي لكي نأخذها على محمل الجد، فيجب علينا أن نأخذ على محمل الجد أيضًا جميع تنبؤاتها ب، حتى لو كانت هذه التنبؤات في حد ذاتها غير قابلة للاختبار (بما في ذلك الأكوان المتوازية، على سبيل المثال). بمعنى آخر، فالكاتب يزعم أن الأكوان المتوازية ليست نظرية علمية، بل هي تنبؤ بنظريات علمية معينة.

يلاحظ الكاتب بهذا الصدد أن النقطة الأساسية التي يغفل عنها العديد من النقاد هي أن الأكوان الموازية ليست نظريات علمية، ولكنها تنبؤات لنظريات معينة. وبخصوص التضخم الكوني –والأمر يتعلق هنا بنظرية علمية- يلاحظ المؤلف أن البشر قلّلوا مرارًا من حجم الكون من خلال افتراض أن كل ما يمكننا ملاحظته في ذلك الوقت كان كل ما هو موجود.

ومن الأسئلة الأخرى التي طرحت على المؤلف بعد صدور كتابه السؤال التالي: أليست الرياضيات مجرد لغة نخترعها ولا نكتشفها؟ فأجاب: أن هذا الخلاف معروف بين علماء الرياضيات والفلاسفة. ومن وجهة نظره، فالإنسان يخترع لغة الرياضيات (الرموز، تسميات الرموز، وما إلى ذلك)، غير أنه من المهم عدم الخلط بين هذه اللغة وبنية الرياضيات التي ركز عليها المؤلف في كتابه. وبنفس المعنى، يتم اكتشاف البنى الرياضية الشائعة في الفيزياء الحديثة بدلاً من اختراعها.

وعندما تساءل أحدهم: "أليست فكرة الكون الرياضي هذه قديمة، يعود تاريخها إلى فيثاغورس؟ عقّب المؤلف بالقول إن جذور هذه الفكرة قديمة جدًا، والفضل الكبير يعود لفيثاغورس وغاليليو حسب الكاتب. لكنهما لم يستفيدا من الاطلاع على كل المعارف الرياضية المذهلة التي كشفت عنها الطبيعة لاحقًا، بدءًا من النسبية العامة إلى ميكانيكا الكم والرياضيات التي تقف وراء بوزون هيغز Higgs. ولهذا السبب يمكننا الآن استكشاف الفكرة وآثارها بمزيد من التفصيل.

وعقّب أحد القراء قائلا: بالتأكيد لا يمكن أن تكون "الأشياء" رياضية؟ فردّ المؤلف مخاطبا المعقّب: "كتجربة فكرية، تخيّل أننا في يوم من الأيام قمنا بتطوير أجهزة حواسيب فائقة التقدم، وأنك شخصية في لعبة حاسوب مستقبلية معقدة وحقيقية للغاية لدرجة أنك واع ومعتقدًا (خطأً) أنك موجود في عالم حقيقي مادي مصنوع من "الأشياء". الآن تبدأ بدراسة عالمك الافتراضي كعالم فيزياء، وتكتشف تدريجيًا أن الكيانات الموجودة في عالمك تبدو كأنها ليس لها أي خصائص في الأساس باستثناء الخصائص الرياضية (نظرًا لأن هذه هي الطريقة التي تمت بها برمجة عالمك). إذا كان بإمكانك تصور عالمك الافتراضي على أنه مصنوع من أشياء حتى لو ظننت أنه رياضي بحت، فنحن بحاجة إلى أن نكون منفتحين على احتمال حدوث نفس الشيء هنا في عالمنا. من المؤكد أن الحاسوب في هذا المثال هو في حد ذاته مصنوع من أشياء، ولكن الشعور بأن الكائنات الموجودة في اللعبة مصنوعة من "أشياء" كان وهمًا ومستقلًا عن الركيزة التي تم بناء الحاسوب انطلاقا منها".

وحول إمكانية وصف الوعي بالرياضيات يقول الكاتب: لا يمكن فهم الوعي حاليًا من خلال الرياضيات، ولا من خلال أي منهج علمي آخر. هل سيكون الأمر كذلك مستقبلا؟ ذلك هو السؤال المثير للاهتمام. هنا يذكر الكاتب أنه شارك في تنظيم مؤتمر حول فيزياء المعلومات حيث تمت دعوة جمع من علماء الأعصاب، فلاحظ الكاتب أن ما شدّ انتباهه هو أن هؤلاء العلماء يعتقدون أن الشعور الذاتي باللون الأحمر، والشعور بالحب، وما إلى ذلك، أمور يمكن فهمها على أنها أشكال رياضية معقدة تتعلق بمعالجة المعلومات في الدماغ. وقد تحدّث عن هذا الموضوع في الفصل الحادي عشر من الكتاب. ويضيف الكاتب "من الواضح أننا لا نعرف حتى الآن ما إذا كانت أفكار هؤلاء العلماء ستَثبُت صحتها أم لا، ولكن أبحاثهم تؤخذ الآن على محمل الجد لدى أسرة علم الأعصاب".

وقد طرح أحدهم السؤال التالي على المؤلف: هل ماكس تيغمارك مجنون؟ فأجاب: "من الواضح أن الإجابة عن هذا السؤال ليست من اختصاصي" !

فيما يلي قائمة الأسئلة الستة عشر التي تم طرحها على المؤلف في كثير من المناسبات.

لقد ركّز الكتاب على هذه الأسئلة. وأجاب عن أحد عشر منها في الفصول الأربعة الأولى، وكشف عن المزالق الدقيقة والمثيرة للاهتمام للخمسة الأخرى:

1) في أي الأشكال لا يمكن أن يكون الفضاء لانهائيًا؟
2) كيف يمكن خلق الفضاء اللانهائي في زمن محدود؟
3) ما الذي يتوسع فيه كوننا؟
4) أين حدث الانفجار العظيم في الفضاء؟
5) هل حدث الانفجار العظيم في نقطة واحدة؟
6) إذا كان عمر كوننا 14 مليار سنة فقط، فكيف يمكننا مراقبة الأجسام التي تبعد 30 مليار سنة ضوئية؟
7) ألا يعتبر هروب المجرات بسرعات أكبر من سرعة الضوء مخالفا للنظرية النسبية؟
8) هل المجرات تبتعد عنا حقًا أم أن الفضاء يتوسع فقط؟
9) هل تتوسع مجرة درب التبانة؟
10) هل لدينا دليل على وجود متفردة الانفجار العظيم؟
11) ألا يشكل خلق المادة من حولنا من خلال التضخم الكوني من العدم تقريباً انتهاكاً لقانون حفظ الطاقة؟
12) ما الذي أدى إلى الانفجار العظيم؟
13) ماذا حدث قبل الانفجار العظيم؟
14) ما هو المصير النهائي لكوننا؟
15) ما هي المادة السوداء والطاقة المظلمة؟
16) هل نحن تافهون؟

مؤلف الكتاب